

Primjena samonadopunjavajuće (bootstrap) metode u izračunu reprezentativne srednje vrijednosti šupljikavosti sloja

Litvić, Nikola

Undergraduate thesis / Završni rad

2022

Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj: **University of Zagreb, Faculty of Mining, Geology and Petroleum Engineering / Sveučilište u Zagrebu, Rudarsko-geološko-naftni fakultet**

Permanent link / Trajna poveznica: <https://urn.nsk.hr/urn:nbn:hr:169:532047>

Rights / Prava: [In copyright](#) / [Zaštićeno autorskim pravom](#).

Download date / Datum preuzimanja: **2024-07-17**



Repository / Repozitorij:

[Faculty of Mining, Geology and Petroleum Engineering Repository, University of Zagreb](#)



SVEUČILIŠTE U ZAGREBU

RUDARSKO – GEOLOŠKO – NAFTNI FAKULTET

Preddiplomski studij geološkog inženjerstva

**PRIMJENA SAMONADOPUNJAVAJUĆE (BOOTSTRAP) METODE U
IZRAČUNU REPREZENTATIVNE SREDNJE VRIJEDNOSTI ŠUPLJIKAVOSTI
SLOJA**

Završni rad

Nikola Litvić

GI 2159

Zagreb, 2022.

PRIMJENA SAMONADOPUNJAVAJUĆE (BOOTSTRAP) METODE U IZRAČUNU
REPREZENTATIVNE SREDNJE VRIJEDNOSTI ŠUPLJIKAVOSTI SLOJA

NIKOLA LITVIĆ

Završni rad izrađen: Sveučilište u Zagrebu

Rudarsko-geološko-naftni fakultet

Pierottijeva 6, 10 000 Zagreb

Sažetak

Samonadopunjujuća metoda je neparametarska statistička metoda koja omogućuje ponovnim uzorkovanjem ulazni skup podataka za dobivanje novog skupa podataka koji je normalno distribuiran. Samonadopunjujuća metoda primijenjena je na polju "A", ležište "L" koje se nalazi u zapadnom dijelu Savske depresije. Primijenjena je na geološku varijablu šupljikavosti na skupu od 25 podataka. Minimalni broj ponovnog uzorkovanja potreban za veliki uzorak da bi se dobila normalna raspodjela je 1000. Intervalna procjena šupljikavosti za ležište "L" dobivena samonadopunjujućom metodom iznosi 0,1875 do 0,2144 95 postotnom razinom pouzdanosti.

Ključne riječi: samonadopunjavanje, šupljikavost, veliki skup podataka, testovi normalne razdiobe, Savska depresija.

Završni rad sadrži: 31 stranicu, 10 slika, 4 tablice.

Jezik izvornika: hrvatski

Završni rad pohranjen: knjižnica Rudarsko-geološko-naftnog fakulteta
Pierottijeva 6, 10 000 Zagreb

Voditelj: dr. sc. Tomislav Malvić, red. prof.

Komentor: dr.sc. Josip Ivšinović, znanstveni suradnik

Ocjenjivači: dr. sc. Tomislav Malvić, red. prof.

dr. sc. Rajna Rajić, red. prof.

prof. dr. sc. Željko Andreić

Datum obrane: 08. srpnja 2022.

SADRŽAJ

1. UVOD	1
2. GEOLOŠKE KARAKTERISTIKE ISTRAŽIVANOG PODRUČJA.....	2
2.2. Osnovne značajke istraživanog područja	4
2.3. Geološki uvod u istraživano područje Savske depresije	5
2.4 Faze transtenzije i transpresije u neogenu i kvartaru	8
2.5 Neogenska i kvartarna sedimentacija kroz megacikluse	10
2.5.1 Prvi megaciklus donjeg i srednjeg miocena	10
2.5.2. Kasni miocen-drugi megaciklus	11
2.5.3 Pliocen i kvartar- treći megaciklus	11
2.6. Glavni mehanizmi taloženja za ležišne stijene u neogenu	12
2.6.1. Mehanizmi taloženja tijekom badena	12
2.6. Mehanizmi taloženja tijekom kasno panonskog i rano pontskog razdoblja	14
2.7. Kratak pregled dokazanih rezervi ugljikovodika u ležištima u HPBS-u.....	14
3. STATISTIČKI TESTOVI U ANALIZI GEOLOŠKIH VARIJABLI	17
3.1. Anderson-Darling (A-D) test.....	19
3.1.2 Kolmogorov-Smirnov (K-S) test.....	20
4. REZULTATI PRIMJENE SAMONADOPUNJAVAJUĆE METODE	21
5. ZAKLJUČAK.....	25
6. LITERATURA	26

POPIS SLIKA

Slika 2-1. Regionalne geološke makrojedinice unutar Panonskoga bazenskog sustava (Malvić i Velić, 2010)	3
Slika 2-2. Depresije u hrvatskom dijelu Panonskog bazena (Velić, 2007).....	4
Slika 2-3. Zemljopisna karta Hrvatske s označenim granicama Savske depresije	5
Slika 2-4. Kronostratigrafske, biostratigrafske i litostratigrafske jedinice Savske depresije (Malvić i Velić, 2010)	6
Slika 2-5. Karta čitavog neogena od kvartara s akumulacijama ugljikovodika (iz Saftić i sur., 2003).....	7
Slika 2-6. Shematski prikaz tipičnog rasprostiranja aluvijalnih lepeza i litofacijesa	12
Slika 2-7. Shematski prikaz tipičnog okoliša taloženja u ranom badenu (Malvić i Velić, 2010).....	13
Slika 2-8. Shematska paleogeografska situacija na granici između Savske i Dravske depresije na kraju kasno Panonskog razdoblja (Vrbanac i sur., 2010)	15
Slika 4-1. Dijagram toka primjene samonadopunjavajuće metode za mali i veliki uzorak (izvornik na engleskom jeziku) (Ivšinović i sur., 2021).....	21
Slika 4-2. Histogrami šupljikavosti ležišta „L“ dobiveni samonadopunjavajućom metodom.....	23

POPIS TABLICA

Tablica 1. Vremenski opseg glavnih tektonskih i taložnih događaja u neogenu i kvartaru u HPBS-u.....	10
Tablica 2. Osnovni statistički podatci o šupljikavosti ležišta „L“	22
Tablica 3. Rezultati testa normalnosti za skupove podataka nakon primjene samonadopunjavajuće metode	22
Tablica 4. Intervalna procjena šupljikavosti ležišta „L“	23

POPIS KORIŠTENIH KRATICA I OZNAKA

AD- vrijednost Anderson-Darling testa

AD*- korekcijska vrijednost Anderson-Darling testa

DKS- vrijednost Kolmogorov-Smirnov testa

F(x)- empirijska funkcija razdiobe

HPBS - hrvatski dio Panonskoga bazenskog sustava

m-broj ponovljenog uzorkovanja

n- veličina uzorka

P(x)- kumulativna funkcija teoretske razdiobe K-S testa

TOC– ukupni organski ugljik (engl. *Total Organic Carbon*)

X_i -skup podataka nakon ponovljenog uzorkovanja,

\bar{X} -srednja vrijednost uzorka nakon ponovljenog uzorkovanja

sup- supremum skupa udaljenosti,

X_i -skup podataka nakon ponovljenog uzorkovanja,

\bar{X}_n -srednja vrijednost bootstrap skupa podataka

S_m -standardna devijacija bootstrap uzorka

z- vrijednost iz jednolike razdiobe

p- vjerojatnost

1. UVOD

Dubinski geološki podatci odlikuju relativno malim skupom vrijednosti koji u većini slučaja nije normalno distribuiran. Uzrok nejednolike distribucije ulaznih podataka je mali broj izbušenih bušotina na analiziranom području, nedostatak karotažnih mjerenja, dobivanje geoloških podataka iz korelacijskih odnosa sa susjednim bušotinama itd. Razlozi manjeg broja mjerenja iz jezgara izbušenih ležišta i karotažnih mjerenja je smanjivanje cijene troškova bušenja i bušotinskih servisa. U slučaju malih naftno-plinskih polja, vrlo često, zbog kompleksne geološke građe, ugljikovodici se pridobivaju iz manjih hidrodinamičkih jedinica, što za posljedicu ima i manji ulazni skup podatak za analizu geoloških varijabli. Kako bi se dobili što pouzdaniji podatci o šupljikavosti, propusnosti, zasićenosti fluida, koji su ključni u geološkoj razradbi ležišta, potrebno je primijeniti pouzdan statistički alat. Samonadopunjavajuća metoda je primjenjiva u slučaju procjene pouzdanosti intervala pojedinih geoloških varijabli. Ima široku primjenu u različitim granama znanosti (**Novoa and Mendez, 2009; Olatayo, 2013; Zhong i sur., 2016; Bochniak i sur., 2019; Ablanedo-Rosas i sur., 2020; Phan i sur., 2021; Tewari i sur., 2021**).

U geomatematici i prvi put na području hrvatskoga dijela Panonskog bazenskog sustava (HPBS) prvi su primijenili metodu samonadopunjavanja **Ivšinić i sur. (2021)** na primjeru naftno-plinskog polja u zapadnom dijelu Savske depresije. Analizirali su šupljikavost i trošak utiskivanja slojne vode u ležištu „K“ za mali ulazni skup podataka.

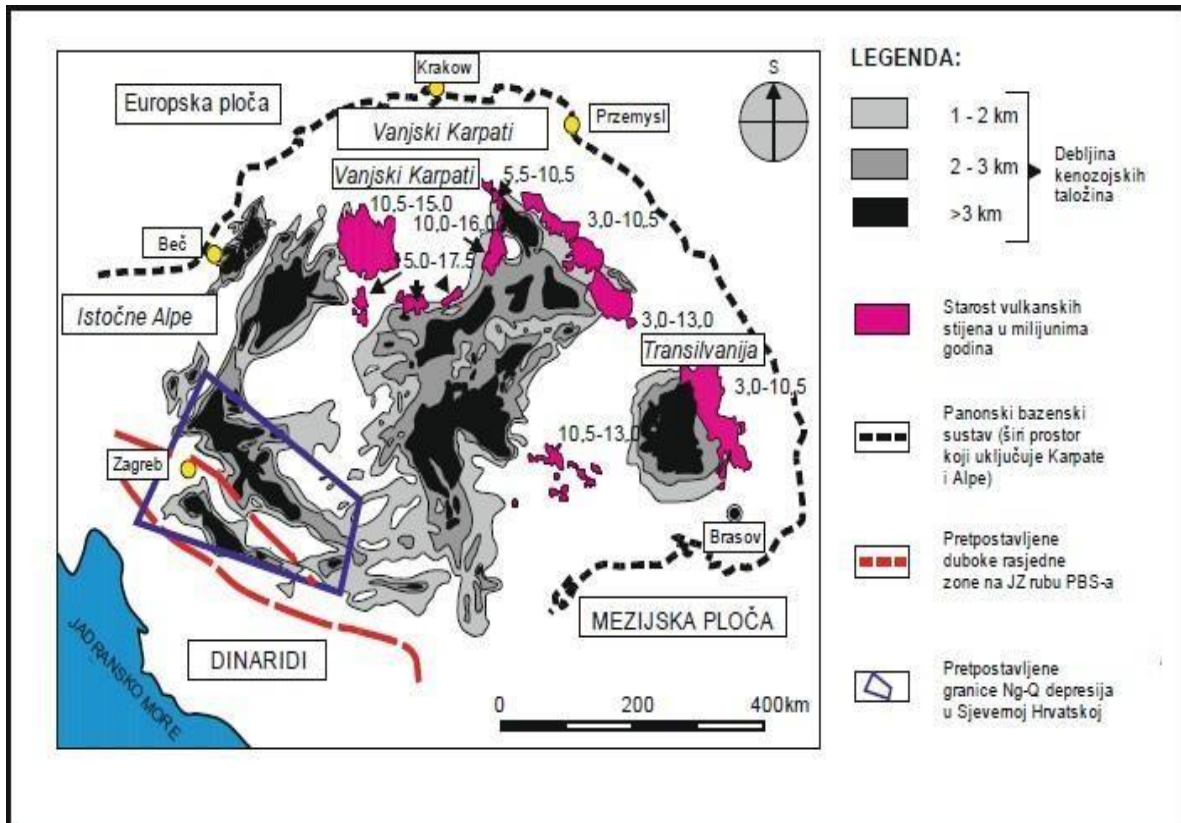
U ovom radu obrađen je skup ulaznih podataka za geološku varijablu šupljikavosti (25 podataka) u polju „A“, ležište „L“, koje se nalazi u zapadnom dijelu Savske depresije. Određen je broj potrebnih ponovljenih uzorkovanja do dobivanja normalnosti razdiobe. Testirana je normalna razdioba statističkim testovima Anderson-Darling (A-D) i Kolmogorov-Smirnov (K-S) nakon svakog broja ponovljenog uzorkovanja.

2. GEOLOŠKE KARAKTERISTIKE ISTRAŽIVANOG PODRUČJA

Analizirani prostor pripada zapadnom dijelu Savske depresije. Odabrana je jedna dubinska geološka struktura sa svim pripadajućim mjerenjima. U istraživačkoj strukturi otkrivena su ležišta ugljikovodika u gornjomiocenskim pješčenjacima iz kojih se oni još uvijek dobivaju sekundarnom metodom utiskivanja (slojne) vode, a u svrhu podržavanja ležišnog tlaka. U završnom radu istraživački prostor je opisan kao naftno-plinsko polje „A“, ležište „L“.

Panonski bazenski sustav (**slika 2-1**) dio je pretežito nizinskih područja koji se prostiru između planinskih lanaca Alpa, Karpata i Dinarida. Predstavlja zalučni bazen Karpata. Hrvatskoj pripada njegov jugozapadni dio, koji je omeđen rijekama Kupom i Savom na jugu, Dravom na sjeveru, Dunavom na istoku i Murom na zapadu. Dio koji se nalazi na teritoriju Republike Hrvatske zauzima površinu od 30 000 km² i zahvaća: Mursku, Dravsku, Savsku i Slavonsko-srijemsku depresiju. Depresije su prikazane na **slici 2-2** (**Velić**, 2007).

Od toga polovica posjeduje prirodne uvjete (temperatura, tlak, šupljikavost, poroznost), koji su neophodni za nastanak ugljikovodika te u određenim količinama koje su isplative za pridobivanje (**Velić**, 2007). U hrvatskom dijelu Panonskog bazena (skr. HPBS) naftogeološka istraživanja počinju već u XIX. stoljeću. Do danas je načinjeno gotovo 950 istraživačkih bušotina, snimljeno preko 30 650 km seizmičkih profila, od čega 30 000 digitalnom opremom, a tijekom zadnjih nekoliko godina gotovo 2200 km² 3D seizmike.



Slika 2-1. Regionalne geološke makro jedinice unutar Panonskoga bazenskog sustava (Malvić i Velić, 2010).

U građi Panonskog bazenskog sustava prisutna su dva različita kompleksa stijena: a) magmatsko-metamorfni i manjim dijelom sedimenti paleozojske i mezozojske starosti, i b) sedimenti pokrov-bazenska ispuna, kojeg čine stijene kvartara.



Slika 2-2. Depresije u hrvatskom dijelu Panonskog bazena (Velić, 2007).

2.2 Osnovne zemljopisne značajke istraživanog područja

Većina granica između depresija hrvatskog dijela Panonskog bazenskoga sustava proteže se duž planina ili gora te vezanih dubinskih struktura (pragova). Područje Savske depresije pripada sjevernom dijelu Hrvatske (slika 2-3).

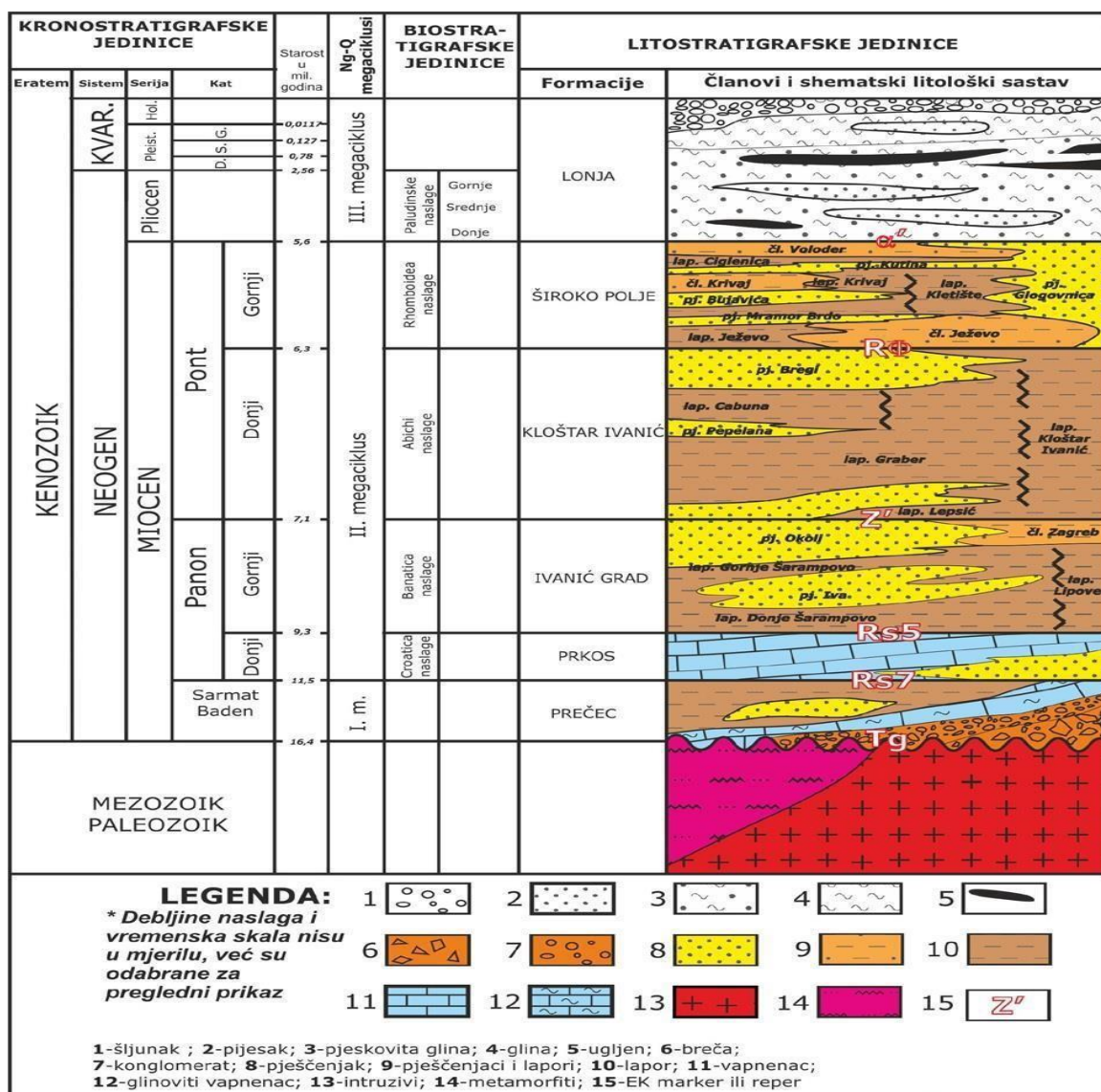


Slika 2-3. Zemljopisna karta Hrvatske s označenim granicama Savske depresije

Savska depresija smjestila se između struktura: Dugo Selo te Moslavačke gore, zatim, Papuka, Dilj gore, Prosare i Vinkovačkog ravnjaka. Pripadaju joj Karlovačka i Požeška subdepresija. Veća naselja unutar depresije su: Dugo Selo, Ivanić Grad, Kloštar, Križ, Kutina, Novska, Nova Gradiška, Slavonski Brod, Požega, Karlovac i Popovača. Kroz nju se pruža Posavski prometni pravac koji spaja zapadnu i srednju Europu s jugoistočnom Europom i jugozapadnom Azijom. Klima je kao i u većini unutrašnjosti Hrvatske, umjereno kontinentalna i karakteriziraju ju hladnije zime te topla i vlažna ljeta.

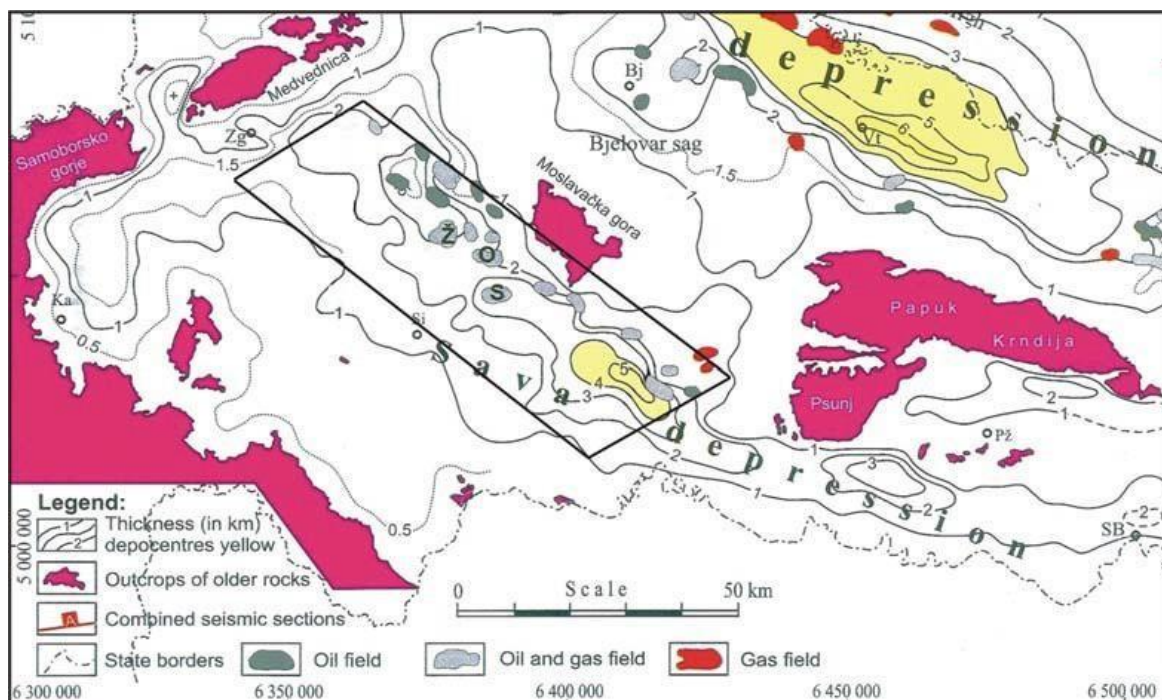
2.3 Geološki uvod u istraživano područje Savske depresije

Savska depresija je smještena uz jugozapadni rub Panonskog bazenskog sustava. Najveće dubine neogensko-kvartarnih sedimenata su u zapadnom dijelu južno od Moslavačke gore, a procijenjene su na više od 5 000 m (Velić, 2007). Površina zapadnog dijela Savske depresije iznosi približno 8 000 km², dok je okomita projekcija dosad otkrivenih ležišta ugljikovodika oko 930 km². Šimon (1973, 1980) je utvrdio postojanje šest litostratigrafskih jedinica u Savskoj depresiji.



Slika 2-4. Kronostratigrafske, biostratigrafske i litostratigrafske jedinice Savske depresije (Malvić i Velić, 2010).

Ležišta ugljikovodika potvrđena su u svim formacijama, osim u najmlađoj formaciji Lonja. Najviše ugljikovodika se pridobilo iz gornjopanonskih i donjopontskih ležišta, na dubinama od 500 do 2 300 m (Velić, 2007). Najvažnije ležišne stijene su panonski i pontski pješčenjaci (drugi megaciklus) koji započinju transgresivnim sedimentima donjopanonskog razdoblja, u obliku lokalno taloženih pješčenjaka te proslojeni s kalcitinimlaporima, koji su bili taloženi u plitkom jezeru. Takve se naslage nastavljaju taložiti i u gorenjem panonu. U donjem pontu i dalje prevladavaju turbiditne naslage, sporadično one iz aluvijalnih lepeza. Aluvijalne taložine su većinom zabilježene uz SI rub Savske depresije.



Slika 2-5. Karta debljina neogena i kvartara s ležištima ugljikovodika (Saftić i sur., 2010).

Vrlo visoki sadržaj organskog ugljika utvrđen je u laporima, kalcitnim laporima, glinovitim vapnencima srednjeg i starijeg miocena. Prosječni sadržaj organskih tvari u matičnim stijenama je 1,30 i 1,37 %. Intervali izvornih stijena leže na dubinama između 1 200 i 3 362 metara. „Prosječna debljina intervala iznosi 100-200 m. Većina matičnih stijena ima dobar generirajući potencijal. Utvrđeno je regularno linearno povećanje starosti s povećanjem dubine. Organska tvar je u katagenetskom stadiju. Prisutne su toplinske promjene koje omogućuju stvaranje ugljikovodika“ (Barić i sur., 2000, 2003.; Troškot-Čobrić i sur., 2009).

Područje Savske depresije označeno je kao dobro istraženo područje, ali unatoč tome, neki autori ukazuju na potrebu daljnjih i orijentiranih istraživanja (Vlašić i Bauk, 1994.; Velić i sur., 2002). Zapravo, kada se količine sedimenata ograničene stratigrafskim markerima uspoređuju s brojem bušotina koje su prodrle u te horizonte, neke jedinice nisu toliko istražene kao što se isprva činilo. Svega 51 % bušotina, od ukupno 3 700, izbušilo je EK-marker Rs7, koji predstavlja granicu između sarmata i panona. Na temelju toga, se zaključilo, kako taložine drugog megaciklusa, nisu dovoljno dobro istražene. Prethodno provedena istraživanja u Savskoj depresiji dovela su do otkrića ukupno 20 naftnih i plinskih polja. Štoviše, njih 14 obuhvaća ležišta ugljikovodika u sedimentima iz donjopanonskog razdoblja. Odmah iza njih, nalaze se pješčenjaci donjepontskog razdoblja. Područje Savske depresije sadrži polja s vrlo dugim razdobljem proizvodnje. Nažalost,

posljednjih desetljeća(20-30 godina) imamo kontinuirano smanjenje proizvodnje ugljikovodika.

2.4 Faze transtenzije i transpresije u neogenu i kvartaru

Prva transtenzijska faza u HPBS-u, s maksimumom u badenu (16,4 do 13,0 milijuna god.; **Haq i Eysinga**, 1998), kada je tektonika klizanja bila glavni mehanizam strukturnog razvoja. Vrbanac je (2002) opisao regionalne morske uvjete kao dominantne za HPBS tijekom kasnog badena s nekoliko velikih planina poput otoka. Tijekom ekstenzije, izvori klastita su: a) siliciklastične stijene ili b) karbonati koralinacenskih sp. i briozoanskih sp. grebena (**Malvić**, 1998, 2003). Taj materijal je bio taložen uglavnom u aluvijalnim lepezama. U proksimalnom dijelu, taložili su se krupnozrnati sedimenti, a u distalnom dijelu, srednjo i sitnozrnasti pješčenjaci (**slika 2-6**). To objašnjava postupno smanjenje vrijednosti šupljikavosti u ležištima srednjeg miocena u mnogim strukturama. Ponekad mogu sadržavati značajan dio neugljikovodičnih sastojaka (Hg, N₂, CO₂, H₂S, kloridi, itsl.).

Zbog litološke sličnosti vrlo je teško odrediti granicu između badenskog i sarmatskog razdoblja. Gornji baden općenito predstavlja prijelaz između ekstenzijskih i post-ekstenzijskih faza u sjevernoj Hrvatskoj (**Pavelić**, 2002). Općenito, možemo reći kako je okoliš uglavnom bio kontroliran paleoreljefom predneogena, brzom erozijom, snagom aluvijalnih lepeza i lokalnom tektonikom. Sarmat je bilo razdoblje kada je započela prva transpresija u HPBS-u, te opća regresija (13,0 do 11,5 milijuna godina; **Haq i Eysinga**, 1998), tipična za središnji Paratetis (npr., **Rögl i Steininger**, 1984; **Kovač i sur.**, 1997; **Pavelić**, 2001; **Vrsaljko i sur.**, 2006). Transtenzijska tektonika, zamijenjena je transpresijom na gotovo cijelom području PBS-a. Tektonika je i dalje lokalno kontrolirala sedimentaciju, ali značaj aluvijalnih lepeza značajno se smanjio (**Royden**, 1998 **Rögl i Steininger**, 1984;), (**Pavelić**, 2001, 2002). Razina mora biva spuštена, a samim time se smanjila i slanost. Dubokojezerski turbiditi koji potječu iz Alpa, bivaju taloženi u velikim dijelovima PBS-a. Bili su vrlo izdašni izvori sedimentata u HPBS-u gornjeg panona do donjega ponta. Kada su gotovo u potpunosti zamijenjeni aluvijalnim lepezama i jezerskim okolišima. Velike količine sedimentnog materijala transportirane su iz istočnih Alpi u HPBS kroz nekoliko turbidtnih događanja, pokrenuti djelovanjem karbonatnih rampi. Svaka ta, možemo ju nazvati, epizoda taloženja, premještala je sedimente na više desetaka kilometara. Taj materijal se taložio uz tektonsku rampu te „guranjem“ stigao do konačne

pozicije taloženja u Murskoj, Savskoj, Dravskoj te Slavonsko-srijemskoj depresiji. Sukcesivni turbiditni pomaci, predstavljali su dominantni kasno miocenski mehanizam sedimentacije u hrvatskim depresijama (**Vrbanac**, 2002). Turbiditne sekvencije bile su izvor srednje do sitnozrnastih pješčenjaka, predstavljajući glavni ležišni litofacijes u HPBS-u. Važno je naglasiti da ovaj mehanizam nije bio stalno aktivan, već je povremeno prekidao tipičnu hemipelašku sedimentaciju u jezerskom okruženju HPBS-a.

Sedimenti bogati organskom tvari nastavljaju se taložiti nakon gornjega badena, sve do kraja donjega panona. Ti sedimenti, tj. vapnenci, laporoviti vapnenci i kalcitni lapori, danas se mogu naći na dubinama između 2000 i 4000 m. Takve izvorne stijene su dobri izolatori, jer uzrokuju dugu lateralnu migraciju kao povoljan mehanizam za nakupljanje ugljikovodika (**Malvić**, 2003). U ranom panonu dogodila se druga transtenzijska faza. U velikim jezerskim, slankastim i na kraju slatkovodnim okruženjima, karakterističnih dubina do nekoliko stotinjaka metara (**Vrbanac i sur.**, 2010), slanost je kontinuirano smanjena zbog dotoka slatke vode i nedostatka otvorene veze s morskim okruženjima. Razdoblja koja vežemo uz drugu transpresijsku fazu su: gornji pont (6,3-5,6 milijuna godina), pliocen (5,3- 2,6 milijuna godina) i kvartar (2,6-0,0 milijuna godina). U tom vremenu su bile izdignute negativne cvjetne strukture, a ugljikovodici su migrirali u ležišta. Karakteristika su sporadično jezerski, a ponajviše močvarni, riječni i kontinentalni sedimenti (les). Ta je sedimentacija predstavljala razdoblje sveukupne regresije i smanjenja područja taloženja u završnoj kontinentalnoj fazi. Glavni opisani regionalni i taložni događaji u kronostratigrafskoj vremenskoj skali shematski su prikazani u **Tablici 2-1**.

Tablica 2-1. Vremenski opseg glavnih tektonskih i taložnih događaja u neogenu i kvartaru u HPBS-u (Malvić, 2010).

starost u milijunima godina																			
19	18	17	16	15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0
otnang		karpat	baden			sarmat		panon			pont		dacij, romanij			pleistocen, holocen			
								rani			kasni		rani		kasni				
moguća djelomična ekstenzija		prva transtenzijska faza			prva transpresijska faza		druga transtenzijska faza					druga transpresijska faza							
		lokalno trošenje stijena s kopna i mehanizam donosa aluvijalnim lepezama			oplicavanje i smanjenje saliniteta		udaljeni klastični izvor materijala i mehanizam donosa turbiditnim strujama					završno strukturalno oblikovanje, migracija ugljikovodika, kontinentalni okoliši							

2.5 Neogenska i kvartarna sedimentacija kroz megacikluse

Neogenski i kvartarni sedimenti podijeljeni su u tri megaciklusa (Velić i sur., 2002, Velić 2007). Svaki je opisan dubinom i starošću sedimenata, vrstama zamki i petrofizikalnim svojstvima. Sedimenti navedenog razdoblja se čak mogu naći na brežuljcima okolnih planina, ali to je u vrlo malom postotku (oko 3 % ukupnog volumena). Najveći dio je pokriven kvartarnim naslagama (Velić, 2007). U rubnim dijelovima depresije HPBS debljina depresije neogena kreće se u rasponu od 500 do 1 500 metara, dok u središnjem području može doseći debljinu od 3 500 metara u Slavonsko-srijemskoj, 5 500 metara u Murskoj i Savskoj depresiji i gotovo 7 000 metra u Dravskoj depresiji (Velić, 2007). Svaki megaciklus uključivao je stijene taložene u jednom superciklusu relativne promjene razine mora, što je ispravo karakterizirano postupnim povećanjem, a kasnije naglim smanjenjem razine vode (Mitchum, 1977). Svi megaciklusi su litološki različiti zbog toga što su vladali različiti uvjeti kod trajanja svakog megaciklusa (Šimon, 1980).

2.5.1 Prvi megaciklus donjeg i srednjeg miocena

Najstariji megaciklus trajao je u donjem i srednjem miocenu. Ono što je karakteristično za ovo razdoblje je heterogena klastična litologija. Nastanak tufova i efuziju u sedimentima toga doba, neki autori smještaju u eger i egenburg (Pamić, 1997). Baden se često opisuje kao

razdoblje kada se morska sedimentacija odvijala posvuda u HBPS-u (**Lucić i sur.**, 2001, **Vrbanac**, 2006). Heterogenost stijena popraćena je velikim promjenama debljine. Primjerice, u Dravskoj i Savskoj depresiji debljina ovih sedimenata može se razlikovati i više od 2 000 m na udaljenosti od kakva 3-4 km. Generalno, psamitični sedimenti ovog megaciklusa uglavnom se talože na rubovima kao rezultat djelovanja aluvijalnih lepeza, a pelitni sedimenti u središnjim dijelovima. Pelitni sedimenti često predstavljaju matične stijene (npr. **Troskot-Čorbić i sur.**, 2009).

2.5.2 Kasni miocen-drugi megaciklus

Ciklus je vezan uz kasno miocensko doba (panon i pont). On uključuje taložine Sava grupe (formacije Ivanić-Grad, Kloštar-Ivanić i Široko Polje) u Savskoj i zapadnoj Dravskoj depresiji. Zatim, formacije Vinkovci i Vera u istočnoj Dravskoj i Slavonsko-Srijemskoj depresiji, potom, lendavsku formaciju u Murskoj depresiji. Taloženje je trajalo približno 5,9 milijuna godina (**Rögl**, 1996). Najstariji dio nalazi se na dubini od 5 000 m na području Virovitice. Općenito, predstavljen je ujednačenim nizovima pješčenjaka, silita i lapora s prijelaznim litotipovima. Panonski se sedimenti talože u slankastom, a pontski u slatkovodnom jezerskom okruženju. Debljina varira od cca 2 000 m (u malim razvučenim dijelovima pod depresije Hrvatsko zagorje, do više od 4 000 m u najdubljim dijelovima Dravske depresije (**Velić i sur.**, 2002). Maksimalne debljine smještene se u središnjem dijelu, gdje je također locirana i maksimalna debljina pješčenjaka. Ti se pješčenjaci postupno isklinjavaju prema rubovima, gdje bivaju zamijenjeni laporima.

2.5.3 Pliocen i kvartar- treći megaciklus

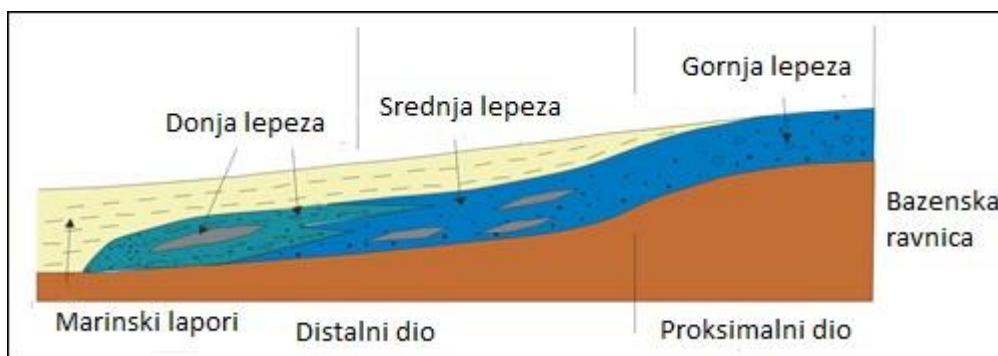
Najmlađi je 1. megaciklus pliocenskog i kvartarnog razdoblja, koji je trajao otprilike 5,6 milijuna godina (**Rögl**, 1996). Opisuje formaciju Lonje u Savskoj i zapadnoj Dravskoj depresiji, Vuke u istočnoj Dravskoj i Slavonsko-srijemskoj depresiji, te Mursku formaciju. Ono što karakterizira ovaj megaciklus je izmjena slabo učvršćenih pješčenjaka i meke gline s rijetkim lignitom. Samo u najdubljim dijelovima (ispod 500 m) sabijanje može biti dovoljno jako za glinovite vapnence, lapore i sitnozrnaste pješčenjake. U najplićim dijelovima sedimente čine: šljunak, les i mulj. Debljina može doseći više od 1 500 m u Savskoj depresiji i gotovo 2 200 m u Dravskoj (**Velić i sur.**, 2002). Svi su ti sedimenti proizvod uglavnom kontinentalnog okruženja.

2.6 Glavni mehanizmi taloženja za ležišne stijene u neogenu

Sustavi taloženja kroz neogen HPBS-a mogu se razmatrati kroz dva glavna ciklusa taloženja većeg dijela klastičnih ležišnih litofacijesa, s različitim transportnim mehanizmom i izvorima klastičnih materijala. Prvo razdoblje pripada 1. transtenziji badenu. Drugo je razdoblje 2. transtenzije i 2. megaciklusa (donji panon-donji pont).

2.6.1 Mehanizmi taloženja tijekom badena

Razdoblje badena započinje taloženjem krupnozrnatih aluvijalnih sedimenata. Morski okoliši prekrivali su cijelu sjevernu Hrvatsku (Vrbanac, 1996, 1998, Ćorić i sur., 2009). Nepravilan, prethodno trošen paleoreljef paleozojskih i mezozojskih stijena ispod neogena rezultirao je značajnim dubinskim razlikama i imao je važnu geomorfološku ulogu na morskom dnu. Smatra se da je dobar dio današnjih gora i planina u sjevernoj Hrvatskoj, kao što su Medvednica, Kalnik, Moslavačka gora, Psunj i Papuk, bili izolirani otoci. Također, važno je spomenuti grebene litoralnih algi kojih je bilo u izobilju u plitkim vodama morskog okoliša, gdje su takvi grebeni erodirani morskim strujama. Predstavljali su važan izvor karbonatnih klasta, koji su kasnije ponovno taloženi kao ležišne stijene.

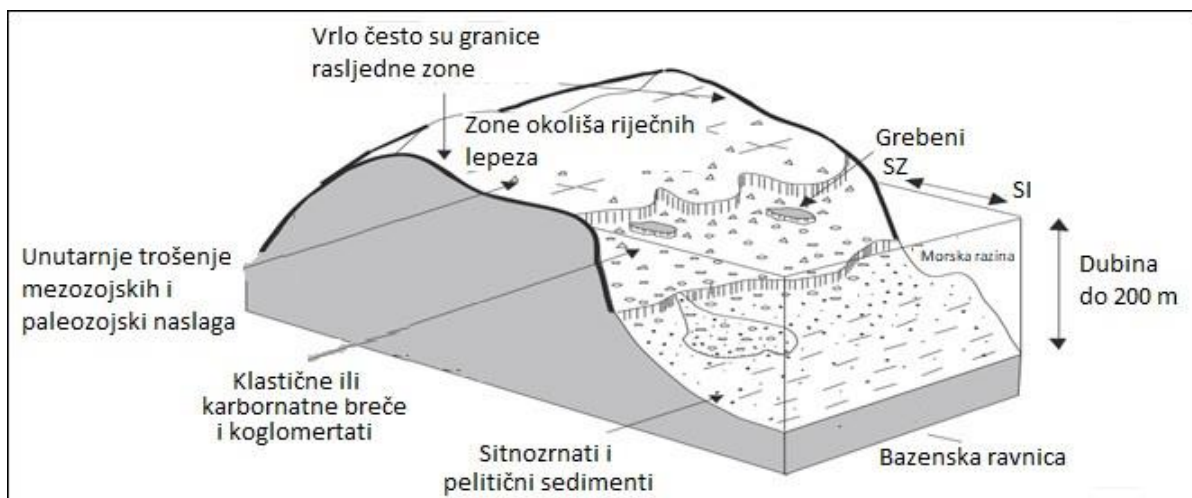


Slika 2-6. Shematski prikaz tipičnog rasprostiranja aluvijalnih lepeza i litofacijesa. (modificirano prema Malvić i Velić, 2010).

Glavni mehanizam koji je premještao klastite u plitko more, bile su aluvijalne lepeze, podijeljene u proksimalni, središnji i distalni dio (Malvić, 1998). Grubo zrnati sedimenti taložili su se u proksimalnom dijelu (slika 2-6), gdje se mogu pronaći karbonatni klasti nastali od

grebenskih organizama, što je pokazatelj jake erozije i visoke energije lepeze. U središnjem dijelu aluvijalne lepeze taložio se uglavnom srednjo-zrnati pijesak (**slika 2-6.**). U tom dijelu možemo pronaći zeleno obojane sedimente, što upućuje na povećani sadržaj minerala tinjca i klorita. Oni su pokazatelj slabog reduktivnog okoliša u moru s općenito normalnom slanoćom (**Odin i Matter, 1981; Tišljar, 1993**). Sitnozrnasti pijesak i mulj taložili su se u donjem dijelu lepeze (**slika 2-6**), ovaj slijed karakterizira migraciju lepeze u vremenu i prostoru.

Gornji baden obuhvaćao je izolatorske stijene, koje su ponekad i matične stijene, a takav se pelitski slijed često nastavlja u sarmatu i donjem panonu. Jedna tipična ugljikovodična struktura, s badenijskim ležištima smještena između glavnih ekstenzijskih rasjeda i povezana s uzdignutom predneogenskom podinom.



Slika 2-7. Shematski prikaz tipičnog okoliša taloženja u ranom badenu (modificirano prema **Malvić i Velić, 2010**).

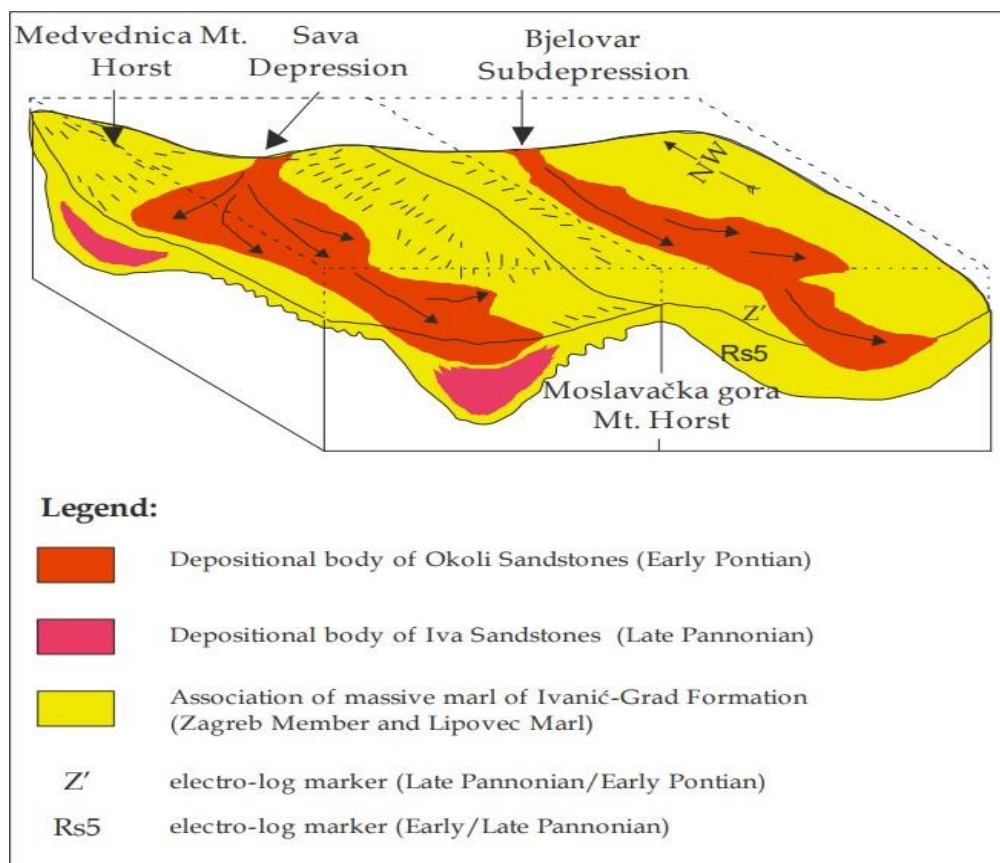
Krupnozrnati sedimenti aluvijalnih lepeza imaju veliki ugljikovodični potencijal, zbog toga što su nakon nekoliko milijuna godina, često okamenjeni u dobre akumulacijske stijene, sa značajnom primarnom šupljikavosti (više od 10 %). Takve su stijene u većini slučajeva prekrivene naslagama pelita, koje ponekad uključuju facijese bogate organskom tvari (kerogen tipa II i III;) (**Barić i sur., 1991, 1993**). To bi na kraju značilo kako se badenska sekvencija često može opisati kao cjeloviti ugljikovodični sustav. To potvrđuje veliki broj otkrića nafte i plina u takvim sedimentima u cijelom HPBS-u (Dugo Selo, Žutica, Križ, Bujavica, Đeletovci, Tovarnik;) (**Velić, 2007**).

Aluvijalni okoliši su relativno kratke dužine od nekoliko kilometara (**Malvić, 1998**), ali karakteriziraju ih česte promjene petrofizikalnih svojstava zbog lokalnih izvora materijala i

područja taloženja. S obzirom na to, badenski litofacijes karakteriziraju heterogenost debljina i poroznosti.

2.6.2 Mehanizmi taloženja tijekom kasnog panona i ranog ponta

U tom vremenu (9,3-5,6 milijuna godina) depresije HPBS, bile su jezerski dijelovi Panonskog bazena, podijeljeni u neovisna izdužena područja boćatog okoliša (npr. Savska depresija imala je širinu 25 km i duljinu 100 km). U tom je razdoblju PBS bio otvoreni jezerski sustav, sastavljen od nekoliko povezanih bazena s aktivnim dotocima koje su **Berczi i sur.** (1998), detaljno opisali. Sastav vode određivan je kontinuiranim dotocima slatke vode iz rijeka, što je rezultiralo razvojem prvo slankastog i na kraju jezerskog okoliša. Mehanizam prijenosa sedimenata obuhvaćao je turbidite. Veći dio siliciklastičnog materijala potječe iz jednog izvora (istočne Alpe). Prostor s prvom tektonskom rampom na ulasku u HPBS-a, koja je nakupljala klastite, bila je vjerojatno Murska depresija, kao relativno plitak prostor. Višekratno reaktivirani turbiditi su materijal prenosili do Savske, Dravske i Slavonsko-srijemske depresije. Najjači pokazatelj smjera turbidita je geometrija tijela pješčenjaka. Tijekom razdoblja mirovanja, tj. klasične jezerske sedimentacije, taložen je sitan detritusa kroz cijeli HPBS. Strukturno su glavni taložni kanali prolazili duž središnjih dijelova depresija, pa i subdepresija, dok se manji dio pjeskovito-siltnog materijala taložio u među kanalnom području. Uz to su se položaji kanala mijenjali u prostoru i vremenu, kontinuirano migrirajući i tako definirajući među-kanalni uzorak. U tome je presudnu ulogu imala Moslavačka gora, koja je razdvojila Savsku i Dravsku depresiju. Turbiditi su se razdvajali pa dijelom išli u Savsku, a dijelom u Dravsku depresiju.



Slika 2-8. Shematska paleogeografska situacija na granici između Savske i Dravske depresije na kraju kasno Panonskog razdoblja (Vrbanac i sur., 2010).

Sedimentne, mineraloške i petrografske značajke gornjopanonskih i donjipontskih sedimenata u HPBS-u vrlo su slične. Većina detritusa potječe od alpske mineralne skupine (Šćavničar, 1979). Prijenos iz Alpa trajao je jako dugo, a materijal je pretaložen nekoliko puta. To objašnjava, zašto su pješčenjaci uglavnom srednje do sitno zrnati s relativno zaobljenim zrnima. Prema velikoj udaljenosti od istočnih Alpa, može se pretpostaviti da su rubovi HPBS-a, nisu bili ispunjeni samo turbiditima, već i klastitima podrijetlom iz mnogo bližih planina, poput Moslavačke gore.

2.7. Kratak pregled dokazanih rezervi ugljikovodika u ležištima u HPBS-u

„Iznos dokazanih i isplativih rezervi nafte i kondenzata kreće se od $9330,92 \times 10^3 \text{ m}^3$ (2005. godina) do $13\,471,08 \times 10^3 \text{ m}^3$ u 2013. godini, dok količine njihova pridobivanja postupno opadaju od $1332,61 \times 10^3 \text{ m}^3$ na $639,96 \times 10^3 \text{ m}^3$ (Velić i sur., 2016). Odnos pridobivanja i rezervi postupno opada, što znači da je blagi porast rezervi uopće ne utječe na količinu crpljenja.

Eksploatacijske rezerve plina tijekom promatranog razdoblja padaju. Najveće su bile 2007. godine ($40\,919,70 \times 10^6 \text{ m}^3$), a najmanje 2014. godine ($17\,932,98 \times 10^6 \text{ m}^3$) (Velić i sur., 2016). Sveukupne potrebe u Hrvatskoj za naftom u 2013. godini bile su $3032,8 \times 10^3 \text{ m}^3$ te plina $2809,90 \times 10^6 \text{ m}^3$. Također, važno je napomenuti kako potrošnja nafte opada, što daje povoljan trend sa stajališta emisije stakleničkih plinova.

3. PRIMIJENJENI MATEMATIČKI ALATI U ANALIZI GEOLOŠKIH VARIJABLI

Samonadopunjavajuća metoda je neparametarska statistička metoda koja metodom slučajnog ponovljenog uzorkovanja ulaznog skupa podataka osigurava intervalnu procjenu vrijednosti analizirane varijable. Široku primjenu ima u ulaznim skupovima koji su definiraju kao mali skup vrijednosti (<20) ili početak velikog skupa vrijednosti. Dovoljnim brojem uzorkovanja ulaznog skupa postiže se lakši uvid ima li analizirana varijabla normalnu razdiobu. Tada je moguće načiniti i pouzdane osnovne statističke izračune intervalne procjene, očekivanja i varijance, te parametarske statističke testove (T-test, F-test itd.). Postoji više vrsta samonadopunjavajuće metode, a to su: bajezijansko samonadopunjavanje, zaglađeno samonadopunjavanje (engl. Smooth bootstrap), parametarsko samonadopunjavanje (engl. Parametric bootstrap), divlje samonadopunjavanje (engl. Wild bootstrap) itd. Razlika između metoda samonadopunjavanja je u algoritmu odabira podataka unutar ulaznog skupa. U ovom radu primjena je glatka samonadopunjavajuća metoda. Ova metoda je primjenjiva za analizu geološki varijabli (Ivšinović i sur., 2021).

Prilikom svakog slučajnog uzorkovanja, potrebno je izračunati srednju vrijednost novonastalog skupa podataka po izrazu:

$$\bar{X}_i = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n X_i \quad (1)$$

Gdje su:

- \bar{X} - srednja vrijednost uzorka nakon ponovljenog uzorkovanja,
- X_i - skup podataka nakon ponovljenog uzorkovanja,
- n - veličina uzorka.

Iz izračunatih srednjih vrijednosti pojedinih skupova podataka, dobiva se novi skup podataka za danju statističku obradu. Izraz za srednje vrijednosti nadopunjavajućeg skupa podataka

$$\bar{X}_m = \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m \bar{X}_i \quad (2)$$

Gdje su:

- \bar{X}_m - srednja vrijednost samonadopunjavajućeg skupa podataka,
- \bar{X} - srednja vrijednost uzorka nakon ponovljenog uzorkovanja,
- m- broj ponovljenih uzorkovanja.

Standardna devijacija nakon m ponovnih uzorkovanja se računa prema izrazu:

$$S_m = \sqrt{\frac{1}{m} \sum_{i=1}^m (\bar{X}_i - \bar{X}_m)^2} \quad (3)$$

Gdje su:

- S_m - standardna devijacija samonadopunjavajućeg uzorka,
- \bar{X}_m - srednja vrijednost samonadopunjavajućeg skupa podataka,
- \bar{X} - srednja vrijednost uzorka nakon ponovljenog uzorkovanja,
- m- broj ponovljenih uzorkovanja.

Izračunom potrebne samonadopunjavajuće statistike (srednje vrijednosti i standardne devijacije) za novonastali samonadopunjavajući uzorak može se izračunati intervalna procjena očekivanja po sljedećem izrazu:

$$\left\langle \bar{X}_m - z \frac{S_m}{\sqrt{m}}, \bar{X}_m + z \frac{S_m}{\sqrt{m}} \right\rangle \quad (4)$$

Gdje su:

- S_m - standardna devijacija samonadopunjavajućeg uzorka,
- z- vrijednost iz normalne razdiobe,
- \bar{X}_m - srednja vrijednost samonadopunjavajućeg skupa podataka,
- \bar{X} - srednja vrijednost uzorka nakon ponovljenog uzorkovanja,
- m- broj ponovljenih uzorkovanja.

Interval pouzdanosti za bilo koju statističku mjeru predstavlja raspon mogućih vrijednosti unutar kojega se s izvjesnom vjerojatnosti nalazi ta statistička mjera (Šimundić, 2008). Uobičajena pouzdanost skupa se uzima 90 % ili 95 %. Većom vrijednosti pouzdanosti

rezultira sa širim intervalom skupa brojeva, tj. vrijednosti. Postupak se ponavlja onoliko puta, koliko je potrebno da se ulazni skup podataka koji nije normalno distribuiran u novom samonadopunjavajućem uzorku postaje normalno distribuiran.

3.1. Utvrđivanje normalnosti podataka nakon primjene samonadopunjavajuće metode

Za ulazne skupove podataka koji nemaju normalnu distribuciju podataka za izračun opisne statistike, potrebno je primijeniti samonadopunjavajuću metodu. U svrhu određivanja trenutka dobivanja normalne razdiobe potrebno je skupove podataka dobivene samonadopunjavajućom metodom testirati dobivenu razdiobu na normalnost podataka. Radi kontrole i analize podataka primijenjeni su sljedeći testovi na postojanje normalne razdiobe:

- a) Anderson-Darling (A-D) test
- b) Kolmogorov-Smirnov (K-S) test

3.1.1 Anderson-Darlingov (A-D) test

Anderson-Darlingov (A-D) test normalnosti se primjenjuje kod provjere distribucije različitih skupova podataka. Izraz za izračun vrijednosti (A-D) je (**Yap and Sim, 2011; Heo i sur., 2013; Jäntschi and Bolboacă, 2018**):

$$AD = -n - \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (2i-1) \ln(p_i(1-p_{n-i+1})) \quad (5)$$

Gdje su:

AD- vrijednost Anderson-Darling testa,

n- veličina uzorka,

p- vjerojatnost.

Korekcijski faktor za A-D test normalnosti (skr. A-D*) za mali uzorak se dobiva iz izraza (**Yap and Sim, 2011; Jäntschi and Bolboacă, 2018**):

$$AD^* = AD \cdot \left(1 + \frac{0.75}{n} + \frac{2.25}{n^2} \right) \quad (6)$$

Gdje su:

AD*- korekcijska vrijednost Anderson-Darling testa

AD- vrijednost Anderson-Darling testa,
n-veličina uzorka.

Korekcija vrijednost A-D testa za veliki uzorak je zanemariva. Minimalni broj podataka za testiranje je 20. Minimalna testna vrijednost (engl. „p-value“) za provjeru A-D testa je 0,10.

3.1.2. Kolmogorov-Smirnov (K-S) test

Kolmogorov-Smirnov (K-S) je statistički test za dokazivanje normalne razdiobe kod neparametarskih ulaznih podataka. Izraz za vrijednost K-S testa je (**Lopes i sur.**, 2007; **Yap and Sim** 2011; **Hasani and Silva** 2015; **Luiz and de Lima** 2021):

$$DKS = \sup |F(x) - P(x)| \quad (7)$$

Gdje su:

DKS- vrijednost Kolmogorov-Smirnov testa,

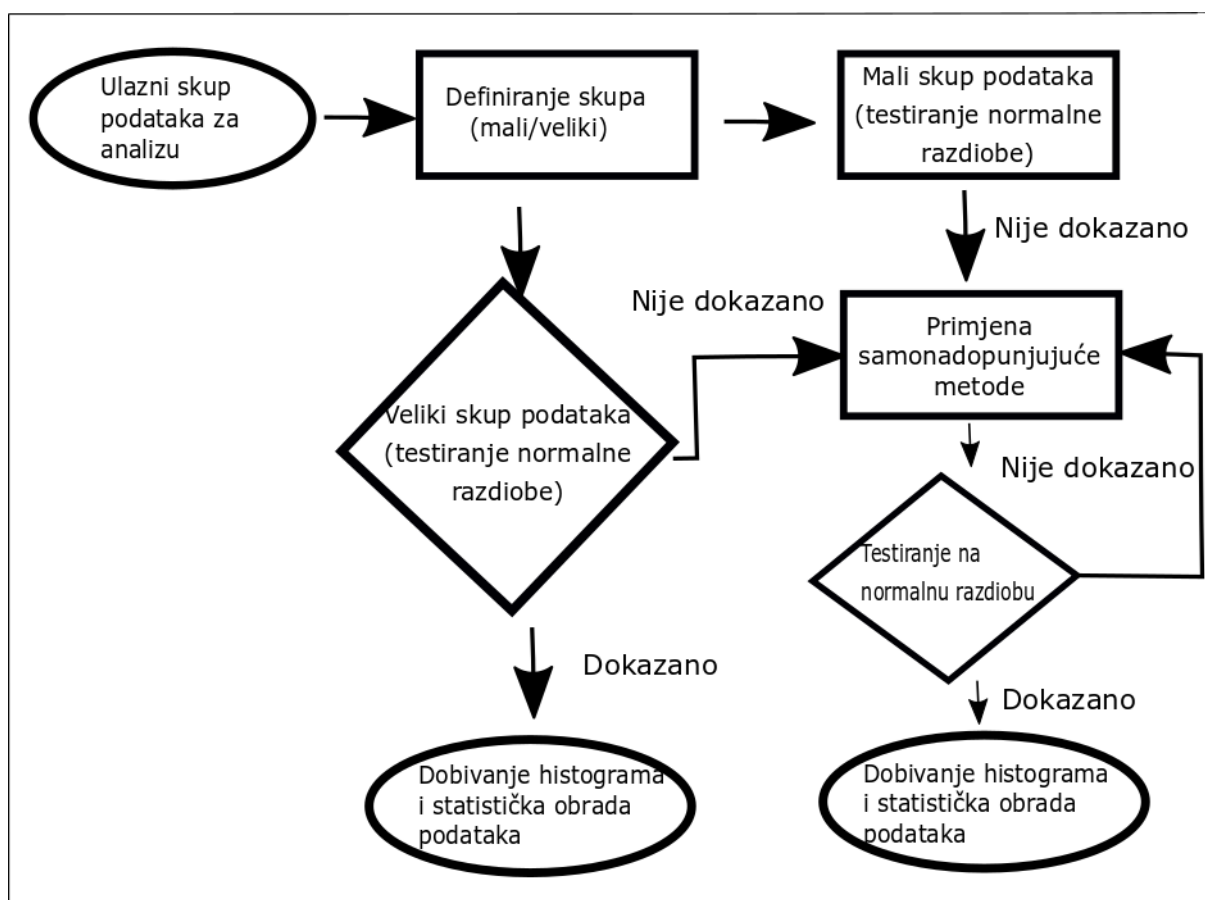
sup- supremum skupa udaljenosti,

F(x)- empirijska funkcija razdiobe,

P(x)- kumulativna funkcija teorijske razdiobe K-S testa.

4. REZULTATI PRIMJENE SAMONADOPUNJAVAJUĆE METODE

Podaci koji su primijenjeni u ovom radu su preuzeti iz radova **Ivšinović (2019)** i **Malvić i sur., (2019a)**. Analizirana varijabla je šupljikavost ležišta „L“ polja „A“. Podatci o šupljikavosti su dobivene iz analize jezgara izbušenih bušotina te analizom karotažnih mjerenja. Broj analiziranih vrijednosti skupa podataka je 25, koji prema podjeli **Malvić i sur., (2019b)** pripada velikom uzroku ili skupu podataka. Prema veličini uzorka definira se dijagram toka za primjenu bootstrap metode (**Slika 4-1**).



Slika 4-1. Dijagram toka primjene samonadopunjavajuće metode za mali i veliki uzorak (izvornik na engleskom jeziku) (**Ivšinović i sur., 2021**)

Prema toku dijagrama na **slici 4-1**, ulazni skup podataka je potrebno testirati na normalnost razdiobe, u slučaju negativnog testa, potrebno je primijeniti samonadopunjavajuću metodu do postizanja normalne razdiobe podataka. Uobičajeni broj ponovljenog uzorkovanja prilikom primjene samonadopunjavajuće metode je 500, 1 000 i 2 000 (**Carpenter and Bithell,**

2000; Grunkemeier and Wu, 2004). Ulazni podaci o šupljikavosti ležišta „L“ je prikazano u **tablici 4-2**.

Tablica 4-2. Osnovni statistički podatci o šupljikavosti ležište „L“

Šupljikavost	n	K-S	A-D	Normalna razdioba	Min	Max	\bar{X}	s
	25	Ne	0,02	Ne	0,145	0,239	0,202	0,026

Broj ponovljenih uzorkovanja primijenjen u ovom radu je: 500, 1 000, 1 050, 1 100 i 1 250. Rezultati testiranja normalne razdiobe podataka je prikazano u **tablici 4-3**.

Tablica 4-3. Rezultati testa normalnosti za skupove podataka nakon primjene samonadopunjavajuće metode

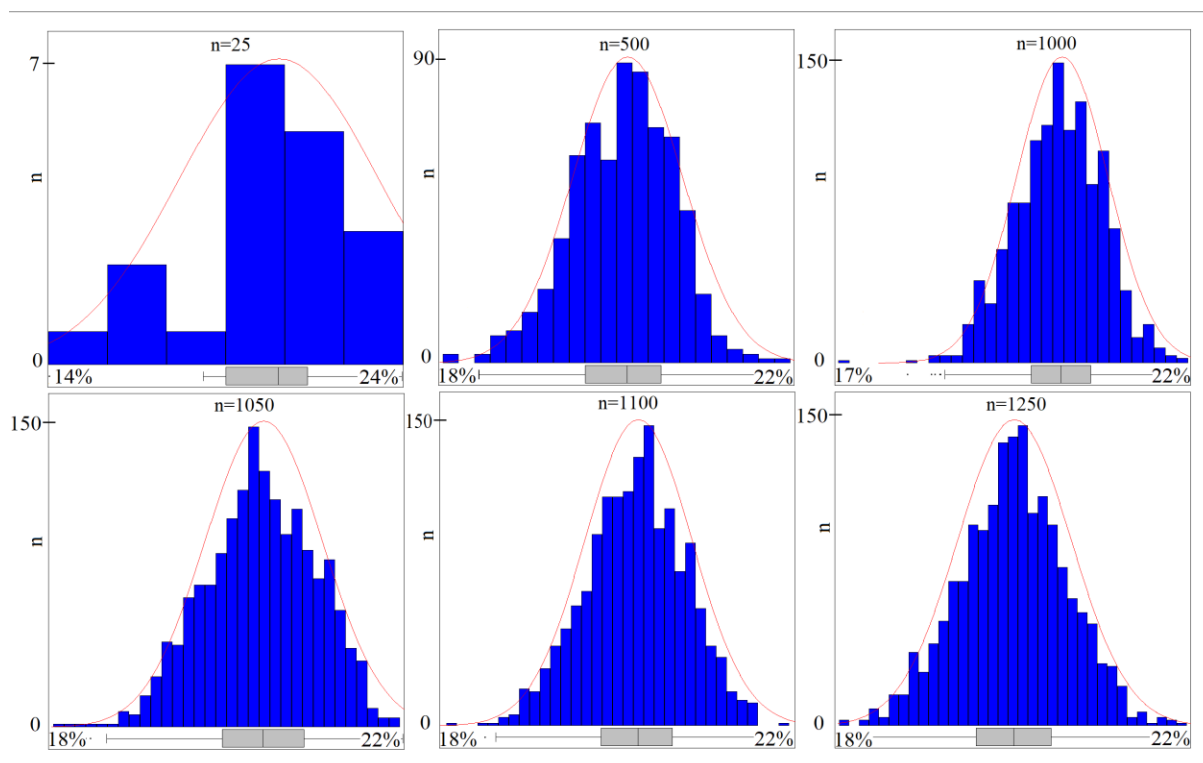
Šupljikavost	m	K-S	A-D	Normalna razdioba
	25	Ne	0,02	Ne
	500	Ne	0,03	Ne
	1000	Ne	0,04	Ne
	1050	/	0,05	Ne
	1100	/	0,2	Da
	1250	/	0,64	Da

Kako se može primijeniti iz **tablice 4-3** kako statistički K-S test nije primjenjiv pri testiranju brojeva većih od 1 000 jer se ne dobiva testna vrijednost (alatna ograničenost testa). Prilikom testiranja 500, 1 000 i 1 050 primjećuje se rast A-D testa i približavanje granici od 0,10 za prihvaćanje testa. Nakon toga se testirala vrijednost od 1250 i vrijednost A-D je porasla na 0,64 što indicira postojanje normalne razdiobe. Testirala se dodatno i 1100 ponovljenih uzorkovanja i testna vrijednost A-D testa iznosila je 0,20. Normalnost razdiobe ulaznih podataka za šupljikavost ležišta „L“ je između 1 050 i 1 100 ponovljenih uzorkovanja, nakon 1 100 realizacija dobiva se uvijek normalna razdioba ulaznog skupa podataka. Izračunata intervalna procjena očekivanja šupljikavosti ležišta „L“ za slučajevne načinjenih realizacija 1100 i 1250 je prikazano u **tablici 4-4**.

Tablica 4-4. Intervalna procjena šupljikavosti ležišta „L“

Šupljikavost	m	Interval pouzdanosti (95%)
	25	-
500	-	
1000	-	
1050	-	
1100	<0,1875 , 0,2144>	
1250	<0,1877 , 0,2144>	

Prema procjeni intervala pouzdanosti šupljikavosti ležišta „L“ vidljiva kako je razlika na četvrtoj decimali između donje vrijednosti šupljikavosti za realizacije 1100 i 1250. Zanimariva razlika između vrijednosti procijenjenih intervala za 1100 i 1250 dovodi do zaključka kako nije potrebno raditi procjenu za 2 000 ponovljenih uzorkovanja. Grafički prikaz rezultata samonadopunjavajuće metode je prikazan na **slici 4-2**.



Slika 4-2. Histogrami šupljikavosti ležišta „L“ dobiveni samonadopunjavajućom metodom

Iz **slike 4-2** je vidljiva promjena histograma prema izgledu krivulje normalne razdiobe (crvena crta). Broj razreda u slučaju načinjenih 500 realizacija je 22 (širina od 0,001818), a slučaju načinjenih 1 000, 1 050, 1 100, 1 250 je 32 (širina od 0,00125). Vrlo jasno se vidi razlika između načinjenih realizacija 1 050 i 1 100 kada dolazi do promjene u normalnosti podataka dobivenih samonadopunjavajućom metodom. To je vidljivo iz **slike 4-2** kako plavi stupovi manje prelaze granicu normalne razdiobe (crvena crta) u slučajevima 1100 i 1250 u kojima većina plavih stupova blizu ili ispod crvene krivulje. Normalnost razdiobe podataka dobiva nakon 1100 načinjenih realizacija, što je potvrđeno A-D testom.

5. ZAKLJUČAK

Zaključci ovog završnog rada su:

- Minimalni broj ponovljenog uzorkovanja za veliki uzorak na primjeru šupljikavosti ležišta „L“ je 1100. Normalnost ulaznih podataka je dobivena između 1050 i 1100 veličine uzorka ponovljenog uzorkovanja.
- Prilikom testiranja normalne razdiobe velikog uzorka dobivenog samondopunjavajućom metodom preporuka je primjena Anderson-Darlingova (A-D) statističkog testa, jer Kolmogorov-Smirnovljev (K-S) statistički test nije primjenjiv za uzorak veći od 1 000 (ograničenost Excel makroa).
- Intervalna procjena šupljikavosti ležišta „L“ dobivena samondopunjavajućom metodom iznosi od 0.1875 do 0.2144 s pouzdanošću od 95 %.
- Samonadopunjavajuća metoda je primjenjiva kod velikog uzorka ($n > 20$) što je vidljivo iz rezultata šupljikavosti ležišta „L“ i zbog toga je primjenjiva na cijelo, područje Savske depresije sa sličnim geološkim karakteristikama kao ležište „L“, tj. unutar formacije Kloštar-Ivanić.

6. LITERATURA

1. ABLANEDO-ROSAS, J.H., GUERRERO CAMPANAUR, A., OLIVARES-BENITEZ, E., SANCHEZ-GARCIA, J.Y. and NUNEZ-RIOS, J.E. (2020). Operational Efficiency of Mexican Water Utilities: Results of a Double-Bootstrap Data Envelopment Analysis. *Water*, 12, 553. <https://doi.org/10.3390/w12020553>
2. BERCZI, I., HAMOR, G., JAMBOR, A. and SZENTRYÖRGYI, K. (1988). Neogene Sedimentation in Hungary. In: *The Pannonian Basin*, L.H. Royden and F. Horváth (Eds.), AAPG Memoir, Vol. 45, pp. 57-67, ISBN 0891813225, Tulsa, USA.
3. BOCHNIAK, A., KLUZA, P.A., KUNA-BRONIOWSKA, I. and KOSZEL, M. (2019). Application of Non-Parametric Bootstrap Confidence Intervals for Evaluation of the Expected Value of the Droplet Stain Diameter Following the Spraying Process. *Sustainability*, 11, 7037. <https://doi.org/10.3390/su11247037>
4. CARPENTER, J. and BITHELL, J. (2000). Bootstrap confidence intervals: when, which, what? A practical guide for medical statisticians. *Statistics in Medicine*, 19, 1141-1164.
5. ČORIĆ, S., PAVELIĆ, D., RÖGL, F., MANDIĆ, O., VRABAC, S., AVANIĆ, R., JERKOVIĆ, L. & VRANJKOVIĆ, A. (2009). Revised Middle Miocene datum for initial marine flooding of North Croatian Basins (Pannonian Basin System, Central Paratethys) The Pannonian Basin System (PBS) originated during the Early Miocene as a result of extensional processes between the Alpine-Carp. *Geologia Croatica*, Vol. 62, No. 1, pp. 31-34, ISSN 1330-030X
6. GRUNKEMEIER, G. L. and Y. WU (2004). Bootstrap resampling methods: something for nothing? *The Annals of Thoracic Surgery*, 77, 1142–1144. doi:10.1016/j.athoracsur.2004.01.005
7. HASSANI, H. and SILVA, E.S. (2015). A Kolmogorov-Smirnov Based Test for Comparing the Predictive Accuracy of Two Sets of Forecasts. *Econometrics* 2015, 3, 590-609. <https://doi.org/10.3390/econometrics3030590>
8. HAQ, B. U. & EYSINGA, F. W. B. (Eds.) (1998). *Geological Time Table, Fifth Edition (Wall Chart)*. ISBN 0444828656, Elsevier Science, Amsterdam, The Netherlands.
9. HERNITZ, Z. i JURAK V. (1973). Primjena paleostrukturalne i statističke analize naslaga mlađeg tercijara u području Ivanić-Grada (sjeverna Hrvatska). *Nafta*, Vol. 24, No. 7-8, pp. 343-367, ISSN 0027- 755X

10. HEO, J-H., SHIN, H., NAM, W., OM, J. & JEONG, C. (2013). Approximation of modified Anderson–Darling test statistics for extreme value distributions with unknown shape parameter. *Journal of Hydrology*, 499, 41–49. doi:10.1016/j.jhydrol.2013.06.008
11. IVŠINOVIĆ, J., PIMENTA DINIS, M., MALVIĆ, T. & PLEŠE, D. (2021). Application of the bootstrap method in low-sampled Upper Miocene sandstone hydrocarbon reservoirs: a case study. *Energy sources part A-recovery utilization and environmental effects*, 43, doi:10.1080/15567036.2021.1883773.
12. IVŠINOVIĆ, J. (2016). Statistička obrada troškova odvajanja pridobivene slojne vode iz pješčenjačkih ležišta Savske depresije. In: *Proceedings of the Matematičke metode i nazivlje u geologiji 2016*, Zagreb, Croatia, 29. October 2016.
13. IVŠINOVIĆ, J. (2019). 'Odabir i geomatematička obradba varijabli za skupove manje od 50 podataka pri kreiranju poboljšanoga dubinskogeološkoga modela na primjeru iz zapadnoga dijela Savske depresije', doktorska disertacija, Rudarsko-geološko-naftni fakultet, Zagreb.
14. JÄNTSCHI, L. and BOLBOACA, S.D. Computation of Probability Associated with Anderson–Darling Statistic. *Mathematics* 2018, 6, 88. <https://doi.org/10.3390/math6060088>
15. KOVAČ, M., BARATH, I. & NAGYMAROSY, A. (1997). The Miocene collapse of the AlpineCarpathian-Pannonian junction – an overview. *Acta Geol. Hungarica*, Vol. 40, No. 3, pp. 241-264, ISSN 1788-2281.
16. LUČIĆ, D., SAFTIĆ, B., KRIZMANIĆ, K., PRELOGOVIĆ, E., BRITVIĆ, V., MESIĆ, I. & TADEJ, J. (2001). The neogene evolution and hydrocarbon potential of the Pannonian Basin in Croatia. *Marine and petroleum Geology*, Vol. 18, No. 1, pp. 133-147, ISSN 0264-8172.
17. LOPES, R. H. C., REID, I., HOBSON, P. R.(2007). The two-dimensional Kolmogorov-Smirnov test. XI International Workshop on Advanced Computing and Analysis Techniques in Physics Research, April 23-27, 2007, Amsterdam, the Netherlands.
18. LUIZ, B. A. J. and DE LIMA, M. A. (2021). Application of the Kolmogorov-Smirnov test to compare greenhouse gas emissions over time. *Rev. Bras. Biom.*, Lavras, 39, 1, 60-70. doi: 10.28951/rbb.v39i1.498
19. MALVIĆ, T. (1998). Strukturni i tektonski odnosi, te značajke ugljikovodika širega područja naftnoga polja Galovac-Pavljani. Rudarsko-geološko-naftni fakultet, Zagreb.
20. MALVIĆ, T. (2003). Naftnogeološki odnosi i vjerojatnost pronalaska novih zaliha ugljikovodika u bjelovarskoj uleknini. Rudarsko-geološko-naftni fakultet, Zagreb.

21. MALVIĆ, T., VELIĆ, J.(2010). „ Neogene Tectonics in Croatian Part of the Pannonian Basin and Reflectance in Hydrocarbon Accumulations“, Zagreb, Croatia.
22. MALVIĆ, T., IVŠINOVIĆ, J., VELIĆ, J. & RAJIĆ, R. (2019a). Kriging with a Small Number of Data Points Supported by Jack- Knifing, a Case Study in the Sava Depression (Northern Croatia). *Geosciences*, 9 (1), 36, 24 doi:10.3390/geosciences9010036.
23. MALVIĆ, T., IVŠINOVIĆ, J., VELIĆ, J. & RAJIĆ, R. (2019b). Interpolation of Small Datasets in the Sandstone Hydrocarbon Reservoirs, Case Study of the Sava Depression, Croatia. *Geosciences*, 9 (5), 201, 11 doi:10.3390/geosciences9050201.
24. MITCHUM, R.M. Jr. (1977). Glossary of terms used in seismic stratigraphy, In: *Seismic Stratigraphy-Applications to Hydrocarbon Exploration*, U. Payton (Ed.), AAPG Memoir, Vol. 26, pp. 205-212, ISBN 0891813020, Tulsa, USA.
25. NOVOA, C. M. and MENDEZ, F. (2009). Bootstrap methods for analysing time studies and input data for simulations. *International Journal of Productivity and Performance Management*, 58, 5, 460-479. DOI 10.1108/17410400910965724
26. OLATAYO, T. (2013). On the Application of Bootstrap Method to Stationary Time Series Process. *American Journal of Computational Mathematics*, 3, 1, 61-65. doi: 10.4236/ajcm.2013.31010
27. Pamić, J. (1997). Vulkanske stijene Savsko-dravskog međuriječja i Baranje (Hrvatska) *Nafta*, special issue, 192 p., ISSN 0027-755X.
27. PAVELIĆ, D. (2002). The south-western boundary of Central Paratethys. *Geologia Croatica*, Vol. 55, No. 1, pp. 83-92, ISSN 1330-030X.
28. PHAN, T.V., WANG, G., LIU, L. and ASTIN, R.H. (2021). Bootstrapped Motion of an Agent on an Adaptive Resource Landscape. *Symmetry*1, 13, 225. <https://doi.org/10.3390/sym13020225>
29. RÖGL, F. (1996). Stratigraphic correlation of the Paratethys Oligocene and Miocene. *Mitteilungen der Gesellschaft der Geologie- und Bergbaustudenten in Wien*, Vol. 41, (annually), pp. 65–73, 1 tab., ISSN 0435-8104.30.
30. RÖGL, F. & STEININGER, F. (1984). Neogene Paratethys, Mediterranean and Indo-Pacific seaways, In: *Fossils and Climate*, P. J. Brenchey (Ed.), 352 p., Geological Journal special issue, no. 11, Wiley and Sons, pp. 171–200, ISBN 047190418X, Chichester, UK.
31. ROYDEN, L. H. (1988). Late Cenozoic tectonics of the Pannonian Basin System, In: *The Pannonian Basin*, L.H. Royden and F. Horváth (Eds.), AAPG Memoir, Vol. 45, pp. 27–48, ISBN 0891813225, Tulsa, USA.
32. SAFTIĆ, B., VELIĆ, J., SZTANO, O., JUHASZ, G. & IVKOVIĆ, Ž. (2003). Tertiary subsurface facies, source rocks and hydrocarbon reservoirs in the SW part of the Pannonian

- Basin (northern Croatia and south-western Hungary): *Geologia Croatica*, 56, 1, 101-122.
33. ŠČAVNIČAR, B. (1979). Pješčenjaci pliocena i miocena Savske potoline.
 34. ŠIMON, J. (1973): O nekim rezultatima regionalne korelacije litostratigrafskih jedinica u Jugozapadnom području Panonskog bazena. *Nafta*, 12, 623-630.
 35. ŠIMON, J. (1980). Prilog stratigrafiji u taložnom sustavu pješčanih rezervoara Sava-grupe naslaga mlađeg tercijara u Panonskom bazenu sjeverne Hrvatske. Rudarsko-geološko-naftni fakultet, Zagreb, Hrvatska.
 36. ŠIMUNDIĆ, A. (2008). Interval pouzdanosti. *Biochemia Medica*, 18 (2), 154-161.
 37. TEWARI, S., DWIVEDI, U.D. and BISWAS, S. (2021). A Novel Application of Ensemble Methods with Data Resampling Techniques for Drill Bit Selection in the Oil and Gas Industry. *Energies*, 14(2), 432. <https://doi.org/10.3390/en1402043>
 38. TROSKOT-ČORBIĆ, T., VELIĆ, J. & MALVIĆ, T. (2009). Comparison of the Middle Miocene and the Upper Miocene source rock formations in the Sava Depression (Pannonian Basin, Croatia). *Geologia Croatica*, Vol. 62, No. 2, pp. 123-133, ISSN 1330-030X.
 39. VLAŠIĆ, B. & BAUK, A. (1994). Possibilities of oil and gas exploration and production in the Republic of Croatia: *Nafta*, 45, 263-272.
 40. VELIĆ, J., (2007). *Geologija ležišta nafte i plina*, Rudarsko-geološko-naftni fakultet, Sveučilište u Zagrebu.
 41. VELIĆ, J., WEISSER, M., SAFTIĆ, B., VRBANAC, B. B. & IVKOVIĆ, Ž. (2002). Petroleum-geological characteristics and exploration level of the three Neogene depositional megacycles in the Croatian part of the Pannonian Basin: *Nafta*, 53, 6-7, 239-249.
 42. VELIĆ, J., MALVIĆ, T., CVETKOVIĆ, M. & VRBANAC, B. (2010). Characteristics of Hydrocarbon Fields in the Croatian Part of the Pannonian Basin. *Oil Gas European Magazine*, Vol. 36, No. 3, pp. 146-147, ISSN 0342-5622.
 43. VELIĆ, J., KIŠIĆ, K. & KRASIĆ, D. (2016). Značajke pridobivanja i preradbe nafte i prirodnog plina u Hrvatskoj u razdoblju od 2000. do 2014. godine. Rudarsko-geološko-naftni zbornik, Vol 31 No. 2
 44. VRBANAC, B. (1996). Paleostrukturalne i sedimentološke analize gornjopanonskih naslaga formacije Ivanić grad u savskoj depresiji. Doktorska disertacija, Sveučilište u Zagrebu, Prirodoslovno-matematički fakultet, Zagreb.

45. VRBANAC, B. (2002). Facies and facies architecture of the Ivanic Grad Formation (late Pannonian)—Sava Depression, NW Croatia. *Geologia Croatica*, Vol. 55, No. 1, pp. 57–77, ISSN 1330-030X.
46. VRBANAC, B., VELIĆ, J. & MALVIĆ, T. (2010). Sedimentation of deep-water turbidites in main and marginal basins in the SW part of the Pannonian Basin. *Geologica Carpathica*, Vol. 61, No. 1, pp. 55-69, ISSN 1335-0552.
47. ZHONG, H., VAN GELDER, P., WANG, W., WANG, G., LIU, Y. and NIU, S. (2016). The Influence of Statistical Uncertainty in the Hydraulic Boundary Conditions on the Probabilistically Computed High Water Level Frequency Curve in the Rhine Delta. *Water*, 8, 147. <https://doi.org/10.3390/w8040147>
48. YAP, B. W. & SIM, C. H. (2011). Comparisons of various types of normality tests. *Journal of Statistical Computation and Simulation*, 81(12), 2141–2155.
doi:10.1080/00949655.2010.520163

ZAHVALA

Zahvaljujem autorima xcel macro na web adresi: <https://www.excelforum.com/tips-and-tutorials/793135-one-sample-kolmogorov-smirnov-in-excel.html> i autoru statističkog programa Develve.



KLASA: 602-01/22-01/151
URBROJ: 251-70-15-22-2
U Zagrebu, 4. 7. 2022.

Nikola Litvić, student

RJEŠENJE O ODOBRENJU TEME

Na temelju vašeg zahtjeva primljenog pod KLASOM 602-01/22-01/151, URBROJ: 251-70-15-22-1 od 4. 7. 2022. priopćujemo vam temu završnog rada koja glasi:

PRIMJENA SAMONADOPUNJAVAJUĆE (BOOTSTRAP) METODE U IZRAČUNU REPREZENTATIVNE SREDNJE VRIJEDNOSTI ŠUPLJIKAVOSTI SLOJA

Za mentora ovog završnog rada imenuje se u smislu Pravilnika o izradi i ocjeni završnog rada Prof. dr. sc. Tomislav Malvić nastavnik Rudarsko-geološko-naftnog fakulteta Sveučilišta u Zagrebu i komentora Dr. sc. Josip Ivšiniović.

Mentor:

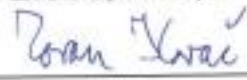


(potpis)

Prof. dr. sc. Tomislav Malvić

(Ime, ime i prezime)

Predsjednik povjerenstva za
završne i diplomске ispite:



(potpis)

Doc. dr. sc. Zoran Kovač

(Ime, ime i prezime)



Komentor:



(potpis)

Dr. sc. Josip Ivšiniović

(Ime, ime i prezime)

Prodekan za nastavu i studente:



(potpis)

Izv. prof. dr. sc. Borivoje
Pašić

(Ime, ime i prezime)