



Važnost kartiranja prijelaznih litofacijesa u analizi slabopropusnih ležišta kao vrste nekonvencionalnih

Dr. sc. Kristina Novak Zelenika, znanstvena suradnica
Izv. prof. dr. sc Tomislav Malvić, znanstveni savjetnik

Zagreb, 9. svibnja 2014.

Uvod

- U ne tako davnoj povijesti istraživanja ležišta ugljikovodika naftnogeološki sustavi prikazivali su se kao homogeni, iako se i tada znalo da to oni nikako nisu.
- No, kako tehnika i tehnologija svakim danom sve više napreduju, suvremene metode, posebno u geologiji istraživanja ugljikovodika, nam omogućavaju da se složeni geološki sustavi mogu prikazati kao heterogeni.
- Prijelazne slabopropusne litofacijese danas je moguće kartirati i izdvojiti geostatističkim metodama, kao naprednim geološkim alatima kojima se mogu dobiti vrlo detaljni opisi varijabli.
- To je vrlo važno posebno ako se uzme u obzir da svako ležište sadrži i takve litofacijese u bočnom i okomitom slijedu prema nepropusnim laporima, a koji mogu biti u zasićenju ugljikovodicima.

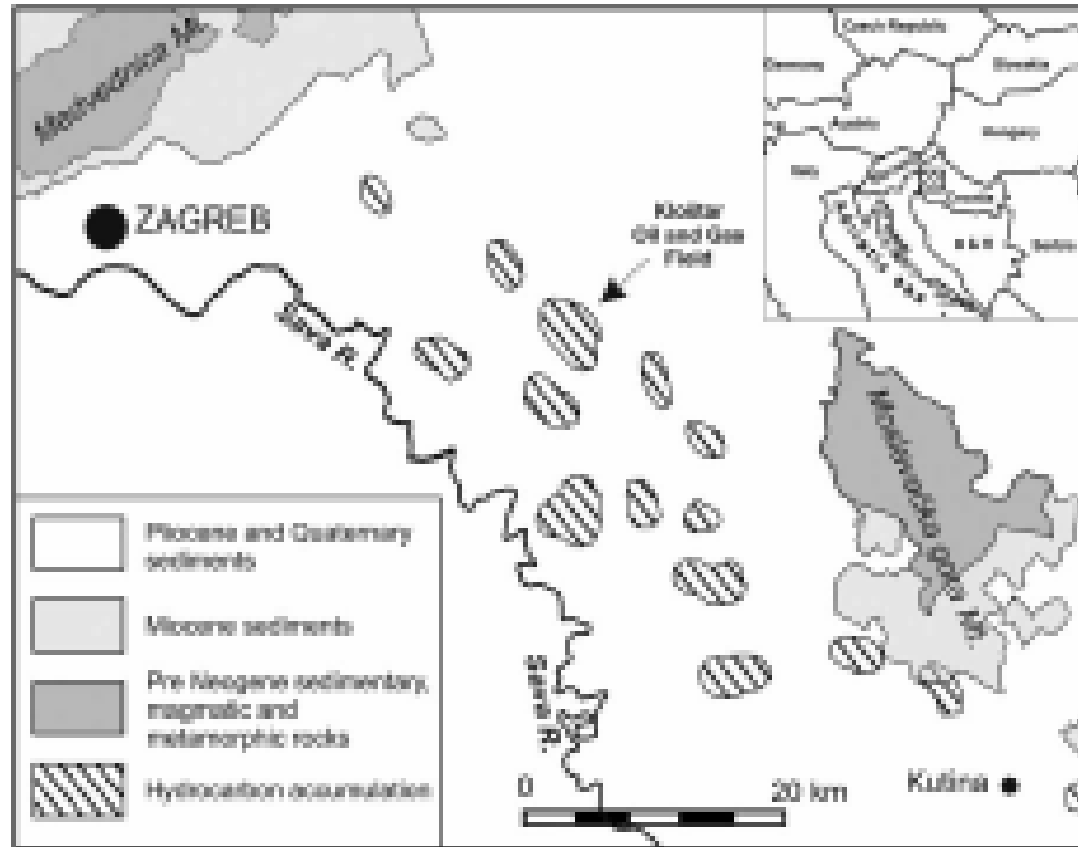
Uvod

- Geostatističke metode korištene u kartiranju litofacijese polja Kloštar su stohastičke realizacije i to sekvencijske indikatorske simulacije (SIS).
- Općenito, stohastičke realizacije omogućuju da se za isti ulazni skup podataka dobiju različita rješenja, koja mogu biti slična, međutim niti jedno nije identično.
- Ono što karakterizira takva rješenja je njihova jednaka vjerojatnost.
- Kartiranje litofacijesa načinjeno je pomoću dvije varijable (šupljikavost i debljina) donjopontskog ležišta.

Uvod

- **Raniji radovi u kojima se takve metode uporabljene u istom polju prikazanom i ovdje, sa sličnom namjenom bili su:**
- Novak Zelenika, K. (2012): Deterministički i stohastički geološki modeli gornjomiocenskih pješčenjačkih ležišta u naftno-plinskom polju Kloštar. Doktorska disertacija, Rudarsko-geološko-naftni fakultet Sveučilišta u Zagrebu, 190 pp., Zagreb.
- Novak Zelenika, K., Cvetković, M., Malvić, T., Velić, J. & Sremac, J. (2013): Sequential Indicator Simulations maps of porosity, depth and thickness of Miocene clastic sediments in the Kloštar Field, Northern Croatia. Journal of Maps, 9,, 4, 550-557.
- **Dva druga nedavna rada analizirala su litofacijese slične onima prikazanim ovdje, samo u Dravskoj depresiji:**
- Malvić, T., Majstorović Bušić, A. (2012): Unconventional hydrocarbon resources of the Bjelovar Subdepression (Pannonian Basin System) in Croatia – an overview. Geologica Carpathica, 63, 6, 481-489.
- Malvić, T., Sučić, A., Cvetković, M., Filip, R. & Velić, J. (2013): Low permeable neogene lithofacies in northern croatia as potential unconventional hydrocarbon reservoirs. Central European Journal of Geosciences. (prihvaćen za objavljivanje).

Uvod



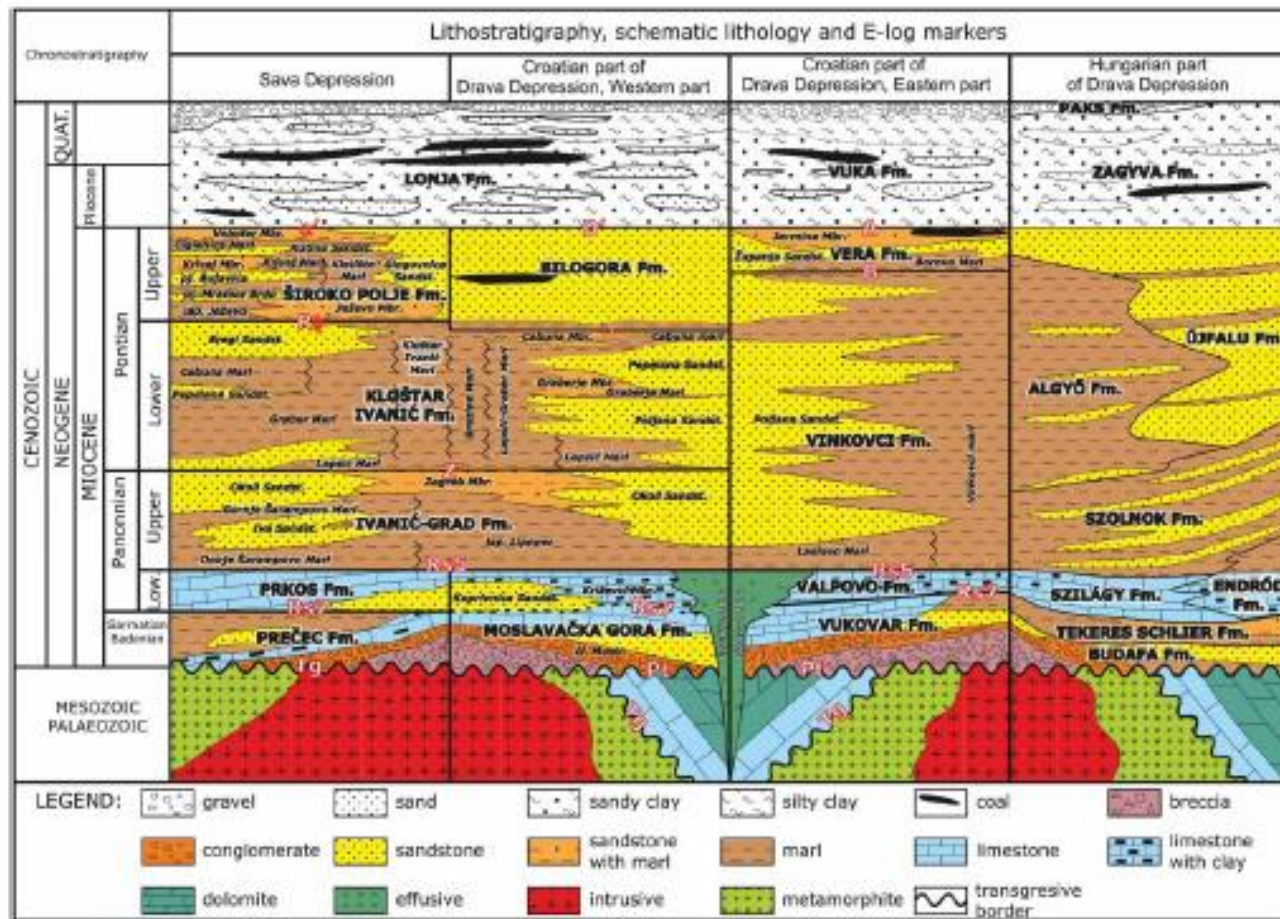
Smjestište polja Kloštar kao promatranog objekta istraživanja (VELIĆ et al., 2011)

Razvoj polja Kloštar unutar Savske depresije

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					oplićavanje i smanjenje saliniteta	udaljeni klastični izvor materijala i mehanizam donosa turbiditnim strujama					završno strukturno oblikovanje, migracija ugljikovodika, kontinentalni okoliši						

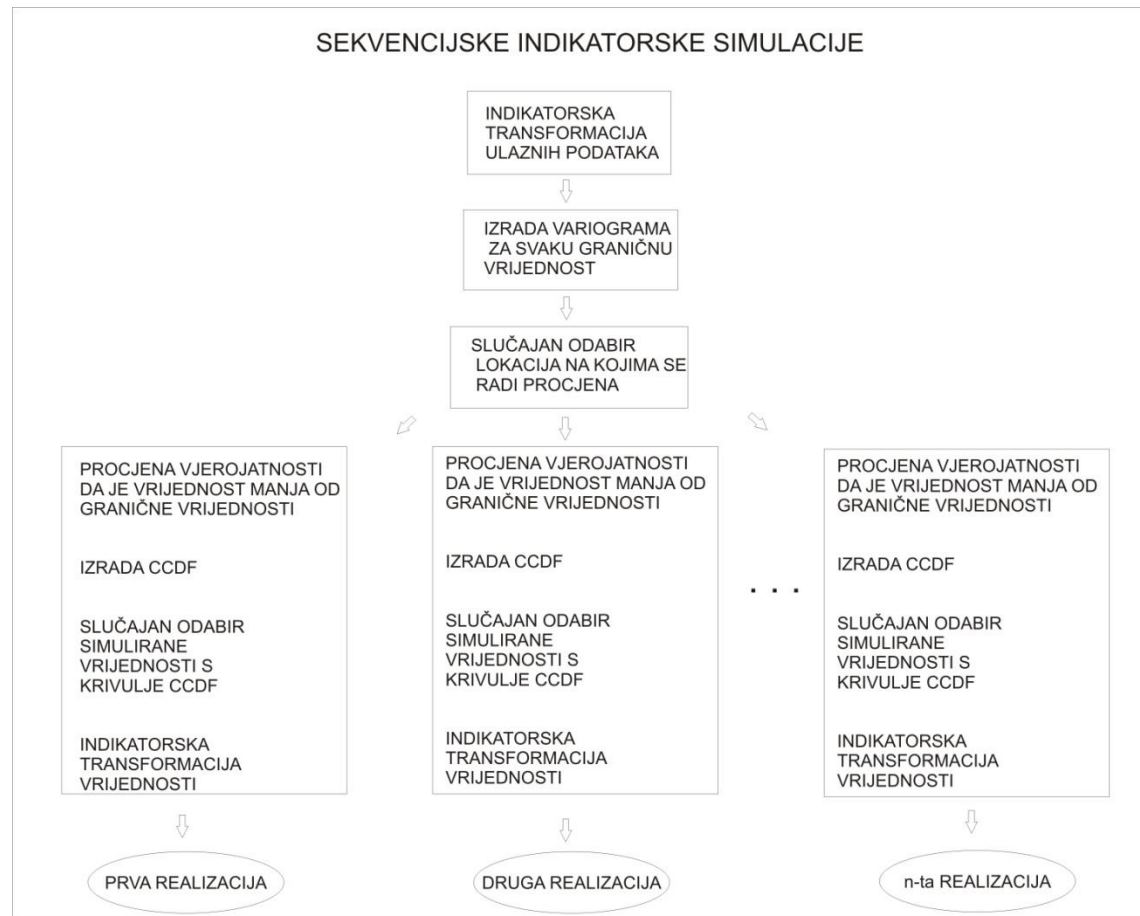
Vrijeme trajanja pojedinih kronostratigrafskih jedinica, razdoblja oblikovanja te dominantni mehanizmi transporta i taloženja materijala hrvatskog dijela Panonskog bazenskog sustava (MALVIĆ & VELIĆ, 2011)

Razvoj polja Kloštar unutar Savske depresije



Litostratografske raščlamba Savske i Dravske depresije (MALVIĆ & CVETKOVIĆ, 2013)

Način izvođenja sekvencijskih indikatorskih simulacija



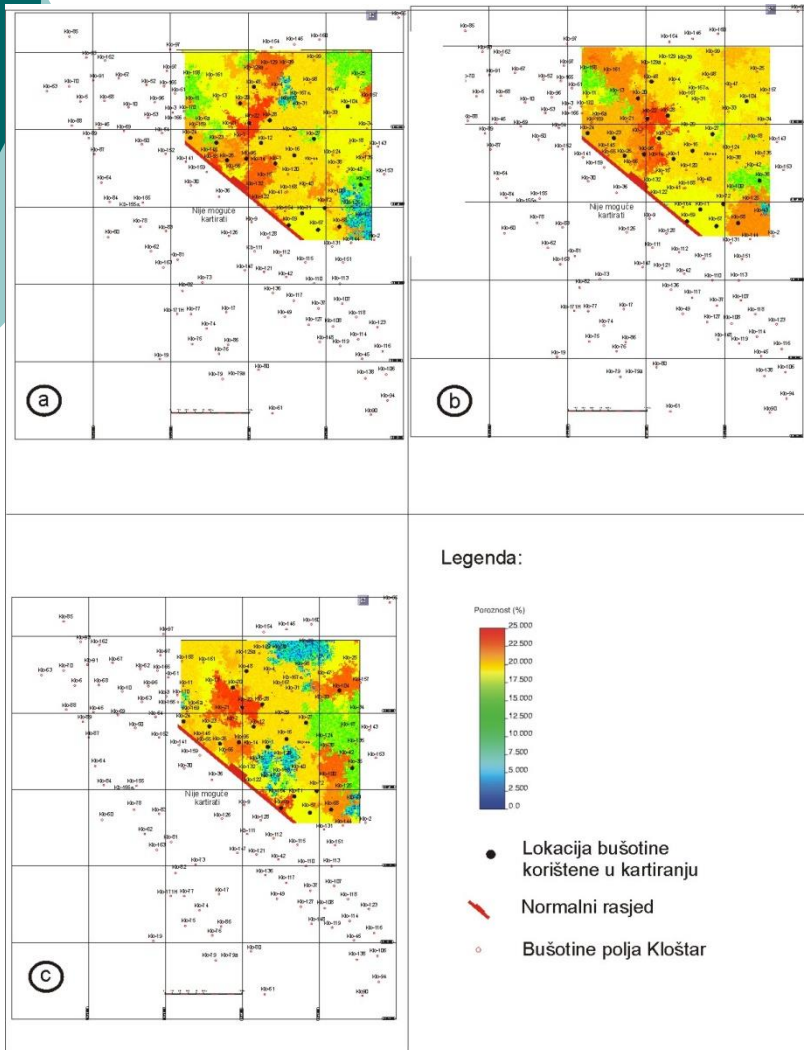
Dijagram toka obradbe podataka metodom sekvencijskih indikatorskih simulacija

Ulazni skup podataka

Bušotina	Šupljikavost (%)	Debljina (m)	Bušotina	Šupljikavost (%)	Debljina (m)
K-1	19,9	13,0	K-11	13,8	3,0
K-2	19,5	12,0	K-12	5,5	4,5
K-3	19,6	12,0	K-13	19,7	13,5
K-4	21,1	13,0	K-14	18,2	25,0
K-5	23,3	11,5	K-15	21,8	6,0
K-6	20,5	12,0	K-16	18,1	9,0
K-7	20,1	11,0	K-17	18,5	10,0
K-8	21,2	9,5	K-18	19,6	11,0
K-9	17,9	20,0	K-19	22,0	8,0
K-10	19,2	17,0	K-20	18,4	6,0

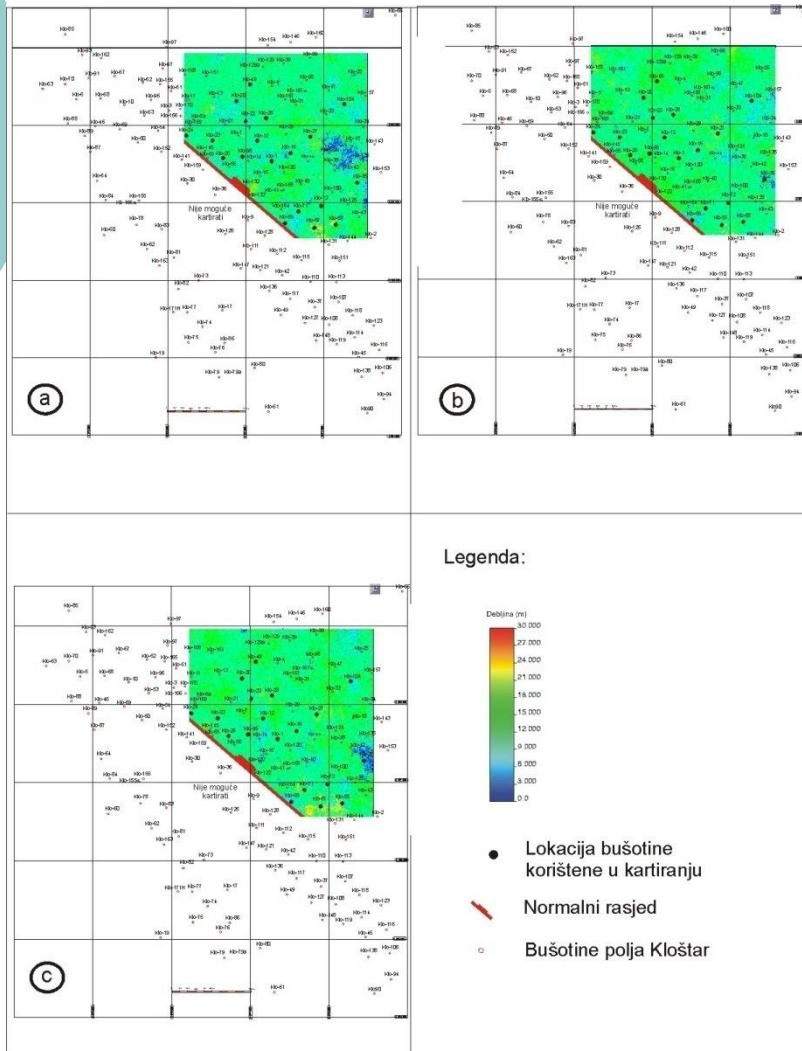
Ulazni skup podataka za kartiranje sekvencijskim indikatorskim simulacijama

Kartiranje sekvencijskim indikatorskim simulacijama



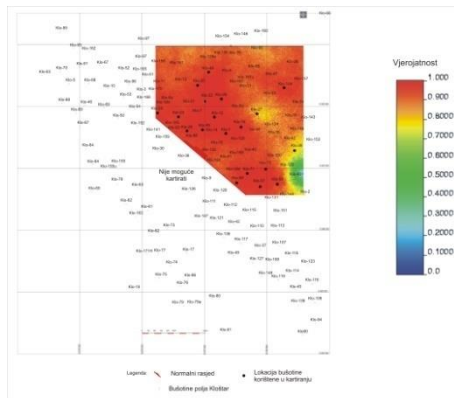
Distribucija šupljikavosti donjopontskog ležišta kartirana sekvencijskim indikatorskim simulacijama: a-prva realizacija, b-pedeseta realizacija i c-stota realizacija

Kartiranje sekvencijskim indikatorskim simulacijama

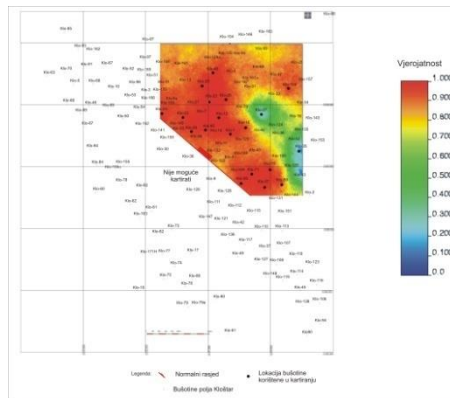


Distribucija debljine donjopontskog ležišta kartirana sekvencijskim indikatorskim simulacijama: a-prva realizacija, b-pedeseta realizacija i c-stota realizacija

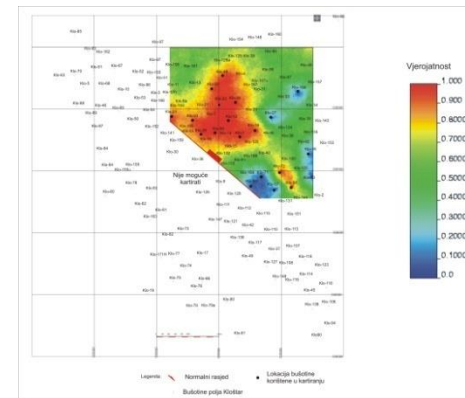
Kartiranje sekvencijskim indikatorskim simulacijama



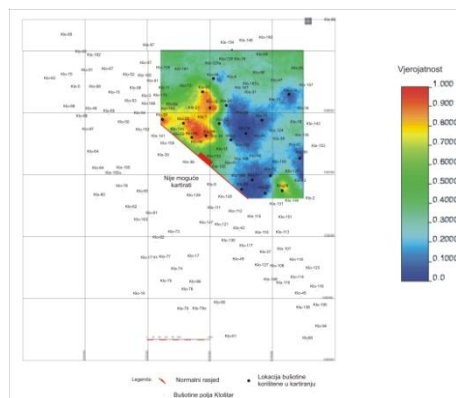
Karta vjerojatnosti varijable šupljikavosti veće od granične vrijednosti 14%



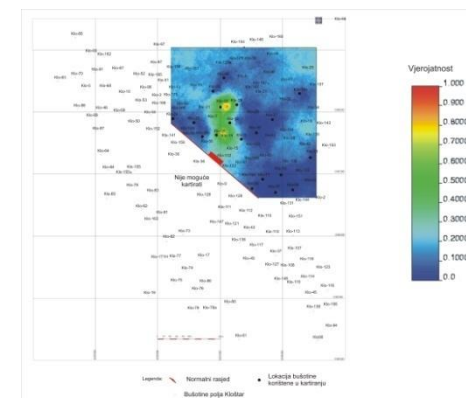
Karta vjerojatnosti varijable šupljikavosti veće od granične vrijednosti 18%



Karta vjerojatnosti varijable šupljikavosti veće od granične vrijednosti 19%

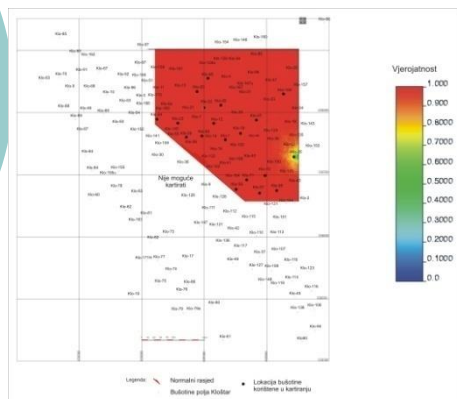


Karta vjerojatnosti varijable šupljikavosti veće od granične vrijednosti 20%

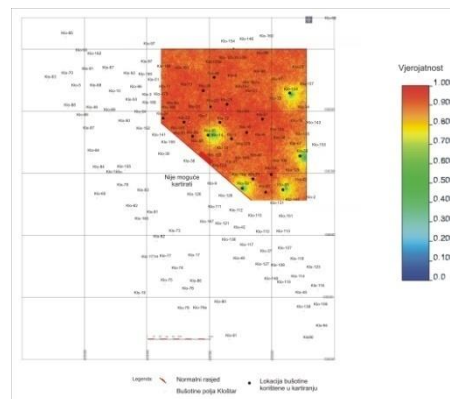


Karta vjerojatnosti varijable šupljikavosti veće od granične vrijednosti 22%

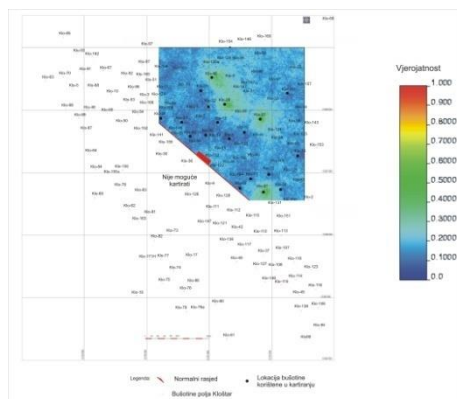
Kartiranje sekvencijskim indikatorskim simulacijama



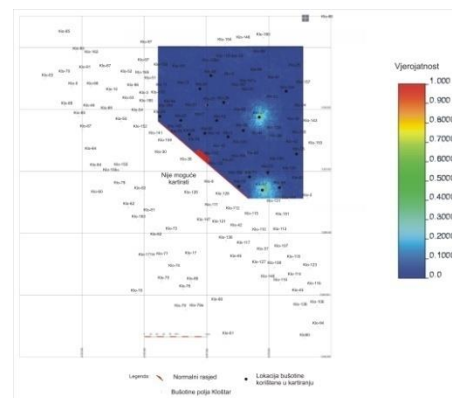
Karta vjerojatnosti varijable debljine veće od granične vrijednosti 5 m



Karta vjerojatnosti varijable debljine veće od granične vrijednosti 9 m



Karta vjerojatnosti varijable debljine veće od granične vrijednosti 13 m



Karta vjerojatnosti varijable debljine veće od granične vrijednosti 17 m

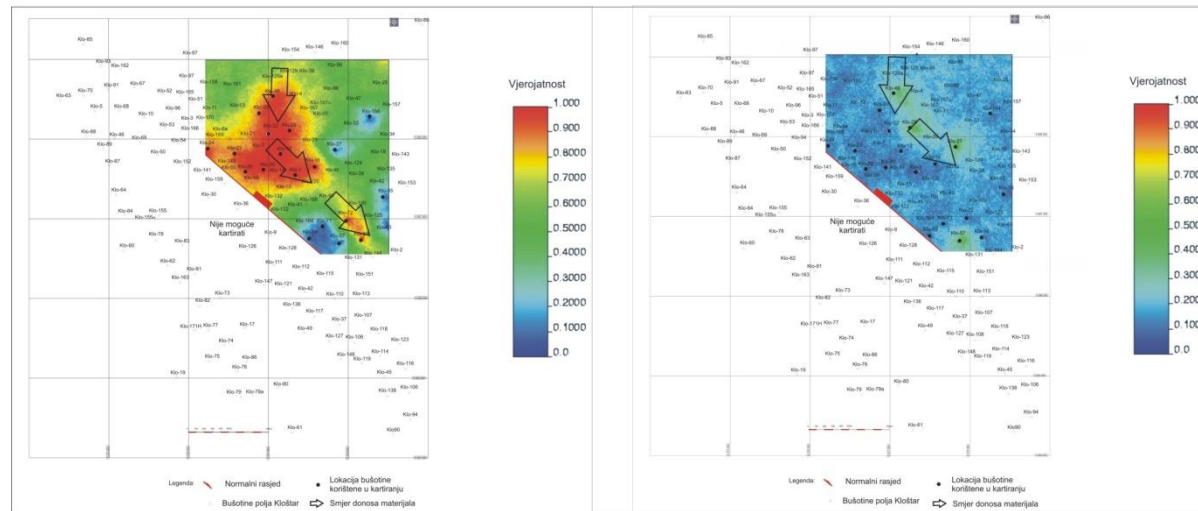
Diskusija i zaključak

- Svaki geološki model je, zbog ograničenja koje točkasto uzorkovanje ima, uvijek u konačnici stohastički i sadrži nesigurnosti.
- Unutar njega moguće je napraviti dodatne geostatističke analize, prvenstveno povećanjem broja ulaznih podataka pa i broja ležišnih varijabli koje se kartiraju (propusnost, mineralni sastav, zasićenje ili udio nepropusnih naslaga).
- Pješčenjačka tijela treba analizirati kao taložne objekte s prijelaznim litofacijesima, budući da su do sada ležišta promatrana uglavnom kroz odnos litofacijesa pješčenjaka i lapora, te ograničena linijom bočne promjene facijesa.
- Razlike u litofacijesima posljedica su taloženja različitih turbiditnih sekvencija i njihovih debljina te njihova prostornog rasporeda uvjetovanog paleobatimetrijskim odnosima.

Diskusija i zaključak

- Rješenje problema dokaza više od dva ležišna litofacijesa dobiveno je kartiranjem varijabli šupljikavosti i debljine donjopontskog ležišta.
- Korištena je pretpostavka kako veća šupljikavost označava neki od dominantno pješčenjačkih litofacijesa, a smanjena neki od laporovitih.
- Takvim kriterijem bilo je moguće razlikovati litofacijese čistih pješčenjaka, laporovitih pješčenjaka, pjeskovitih lapora i čistih bazenskih lapora.
- Također je pretpostavljeno kako bi povećane debljine trebale ukazati na središnji dio taložnog kanala u kojem se taložio najkrupnozrnati materijal.

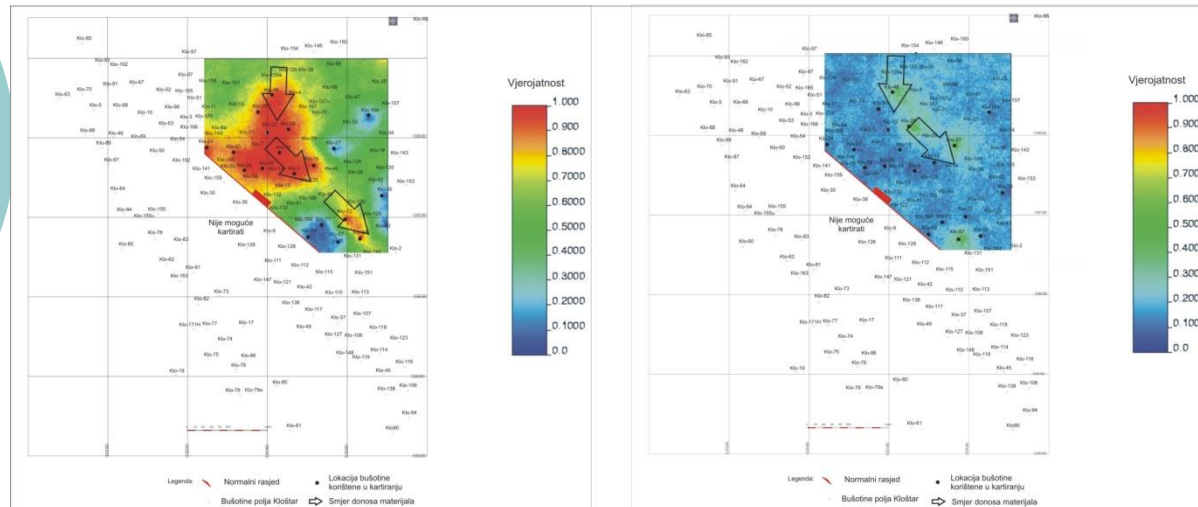
Diskusija i zaključak



Smjer donosa materijala u donjem pontu interpretiran na karti vjerojatnosti šupljikavosti veće od 19 % (lijevo) i debljine veće od 13 m (desno)

- Prilikom kartiranja donjopontskog ležišta povećane šupljikavosti samo su se djelomično poklapale s najvećim debljinama.
- Zbog razvedenog reljefa dna taložnog bazena u najdubljim dijelovima kanala taložili su se pješčenjaci, dok se prema rubovima kanala može očekivati sve više laporovite komponente.
- Interpretacija prostornog rasporeda poroznosti na kartama vjerojatnosti u ležištima donjopontske starosti ukazala je da je krupniji materijal u ovome dijelu Savske depresije uglavnom dolazio sa sjevera.
- Dio toga materijala taložio se u lokalnim sinklinalama.

Diskusija i zaključak



Smjer donosa materijala u donjem pontu interpretiran na karti vjerojatnosti šupljikavosti veće od 19 % (lijevo) i debljine veće od 13 m (desno)

- Tijekom donjega pontu, preostali dio suspendiranog materijala je nastavio migrirati do njegove granice , a zatim se transport srednjozrnatog materijala nastavio paralelno s rasjedom prema jugoistoku.
- Područja najvećih debljina odgovaraju kontinuiranoj izmjeni pješčenjaka i lapora, zaključeno je da takva područja ne predstavljaju taložni kanal.
- Turbiditne struje su erodirale svoju podinu.
- Zbog takvog mehanizma u samome središtu kanala nalaze se samo srednjo i sitnozrnati pješčenjaci, a ne izmjena pješčenjaka i lapora.
- Karta poroznosti točnije ocrta položaj taložnog kanala od karte debljina .

Diskusija i zaključak

- Indikatorskim metodama, odnosno odabranim graničnim vrijednostima, ocrtan je prostorni raspored četiri litofacijesa, interpretiran smjer donosa materijala, te pružanje glavnoga taložnog kanala.
- Regionalni smjer donosa materijala turbiditnim tokovima dokazan je i dopunjen lokalnim promjenama u području strukture Kloštar.
- Sekvencijskim indikatorskim simulacijama dokazano je postojanje više litofacijesa, odnosno heterogenost ležišta.
- Ti litofacijesi se od središta taložnog kanala prema rubu strukture mijenjaju od pješčenjaka, preko laporovitih pješčenjaka, pjeskovitih lapora do lapora.
- Indikatorske karte također daju i vjerojatnost njihove pojave na određenoj lokaciji.
- Stoga je na taj način moguće preciznije okonturiti samo ležište i time točnije procijeniti geološke rezerve ugljikovodika.

Literatura

- Bačani, A., Šparica, M., & Velić, J. (1999): Quaternary deposits as the hydrogeological systems of Eastern Slavonia. *Geologia Croatica*, 52, 2141-152.
- Cvetković, M. (2013): Naftnogeološki potencijal i litostratigrafska razdioba trećega neogensko-kvartarnog megaciklusa u Savskoj depresiji. Doktorska disertacija, Rudarsko-geološko-naftni fakultet Sveučilišta u Zagrebu, 175 pp., Zagreb.
- Ćorić, 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). *Geologia Croatica*, 62, 1, 31-43.
- Haq, B.U. & Eysinga, F.W.B. (1998): Geological Time Table, Fifth Edition (Wall Chart). Elsevier Science, Amsterdam.
- Juang, K. W., Chen, Y.S. & Lee, D. Y. (2004): Using sequential indicator simulation to assess the uncertainty of delineating heavy-metal contaminated soils. *Environmental Pollution* 127, 229-238.
- Malvić, T. (1998): Strukturni i tektonski odnosi te značajke ugljikovodika šireg područja naftnog polja Galovac-Pavljani. Magistarski rad, Rudarsko-geološko-naftni fakultet Sveučilišta u Zagrebu, 111 pp., Zagreb.
- Malvić, T. (2003): Vjerojatnost pronalaska novih zaliha ugljikovodika u bjelovarskoj uleknini. Doktorska disertacija, Rudarsko-geološko-naftni fakultet Sveučilišta u Zagrebu, 123 pp., Zagreb.
- Malvić, T. (2006): Middle Miocene Depositional Model in the Drava Depression Described by geostatistical porosity and thickness maps (case study: Stari Gradac-Barcs Nyugat Field). *Rudarsko-geološko-naftni zbornik*, 18, 63-70.
- Malvić, T. (2008): Primjena geostatistike u analizi geoloških podataka. *INA-Industrija nafte*, 103 pp., Zagreb.
- Malvić, T. & Cvetković, M. (2013): Lithostratigraphic units in the Drava Depression (Croatian and Hungarian parts) – a correlation. *Nafta*, 64, 1, 27-33.

Literatura

- Malvić T. & Velić J. (2011): Neogene Tectonics in Croatian Part of the Pannonian Basin and Reflectance in Hydrocarbon Accumulations. U: New Frontiers in Tectonic Research: At the Midst of Plate Convergence, Schattner, U. (ur.). InTech, 215-238, Rijeka.
- Malvić, T., Velić, J. & Peh, Z. (2005): Qualitative-Quantitative Analyses of the Influence of Depth and Lithological Composition on Lower Pontian Sandstone Porosity in the Central Part of Bjelovar Sag (Croatia). *Geologia Croatica*, 58, 1, 73-85.
- Novak Zelenika, K. (2012): Deterministički i stohastički geološki modeli gornjomiocenskih pješčenjačkih ležišta u naftno-plinskom polju Kloštar. Doktorska disertacija, Rudarsko-geološko-naftni fakultet Sveučilišta u Zagrebu, 190 pp., Zagreb.
- Pletikapić, Ž. (1969): Stratigrafija, paleogeografija i naftoplinonosnost Ivanić-Grad formacije na obodu Moslavačkog masiva. Doktorska disertacija, Rudarsko-geološko-naftni fakultet Sveučilišta u Zagrebu, 70 pp., Zagreb.
- Rögl, F. (1996): Stratigraphic Correlation of the Paratethys Oligocene and Miocene. *Mitteilungen Ges. Geol. Bergbaustudenten Österreich*, 41, 65-73.
- Rögl, F. (1998): Palaeographic Consideration for Mediterranean and Paratethys Seaways (Oligocene to Miocene). *Ann. Naturhist. Mus. Wien*, 99A, 279-310.
- Rögl, F. & Steininger, F. (1984): Neogene Paratethys, Mediterranean and Indo-pacific seaways; u *Fossils and climate*, Brenchey, P.J. (ur.), *Geological Journal*, special issue 11, 171-200.
- Saftić, B. (1998): Genetska stratigrafska sekvencijska analiza u pontskim naslagama zapadnoga dijela Savske depresije. Doktorska disertacija, Rudarsko-geološko-naftni fakultet Sveučilišta u Zagrebu, 136 pp., Zagreb.
- Saftić, B., Velić, J., Sztano, O., Juhas, 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.

Literatura

- Šimon, J. (1970): Prilog stratigrafskoj analizi tercijarnih sedimenata na sjeverozapadnom predjelu Savske potoline. VII kongr. geol. SFRJ, Zagreb, knjiga 1, 347-360.
- Šimon, J. (1973): O nekim rezultatima regionalne korelacije litostratigrafskih jedinica u jugozapadnom području Panonskog bazena. Nafta, 24, 12, 623-630.
- Šimon, J. (1980): Prilog stratigrafiji u taložnom sustavu pješčanih rezervoara Sava-grupe naslaga mlađeg tercijara u Panonskom bazenu sjeverne Hrvatske. Doktorska disertacija, Rudarsko-geološko-naftni fakultet Sveučilišta u Zagrebu, 66 pp., Zagreb.
- Tišljar, J. (1993): Sedimentary bodies and depositional models for the Miocene oil-producing areas of Ladislavci, Beničanci and Obod. Nafta, 44, 10, 531-542.
- Velić, J. & Durn, G. (1993): Alternating lacustrine-marsh sedimentation and subareal exposure phases during Quaternary: Prečko, Zagreb, Croatia. Geologia Croatica, 46, 1, 71-90.
- Velić, J. & Saftić, B. (1991): Subsurface spreading and facies characteristics of Middle Pleistocene deposits between Zaprešić and Samobor. Geološki vjesnik, 44, 69-82.
- Velić, J., Malvić, T. & Cvetković, M. (2011): Palinspastic reconstruction of synsedimentary tectonics of Neogene and Quaternary sediments in the Kloštar Field (Sava depression, Pannonian Basin, Croatia). Z. dt. Ges. Geowiss., 162, 2, 193-201.
- Velić, J., Peh, Z. & Malvić, T. (1999): Lithologic composition and stratigraphy of Quaternary sediments in the area of the "Jakuševac" waste depository (Zagreb, Northern Croatia). Geologia Croatica, 52, 2, 119-130.
- Vrbanac, B. (1996): Paleostrukturne i sedimentološke analize gornjopanonskih naslaga formacije Ivanić-Grad u Savskoj depresiji. Doktorska disertacija, Prirodosl.-matem. fakultet Sveuč. u Zagrebu, 121 pp., Zagreb.
- 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, 61, 1, 55-69.



Predavanje je načinjeno uz potporu:

Projekta „Razvoj geomatematičkih metoda za analizu neogenskih taložnih okoliša hrvatskoga dijela Panonskoga bazenskog sustava“ (voditelj T. Malvić), odobrenog od strane Sveučilišta u Zagrebu kroz program „Potpora istraživanjima 2“ tijekom 2013. godine;

Projekta MZOŠ-a broj 19519512930237 “Stratigrafska i geomatematička istraživanja naftnogeoloških sustava u Hrvatskoj” (voditeljica J. Velić).