



REPUBLIKA SLOVENIJA
MINISTRSTVO ZA KOHEZIJO
IN REGIONALNI RAZVOJ

Iceland 
Liechtenstein
Norway grants



Sodelujemo skupaj za
zeleno, konkurenčno
in vključujočo Evropo.

INFO-GEOTHERMAL

Podpiranje učinkovite kaskadne uporabe
geotermalne energije z dostopom do
uradnih in javnih informacij

Delovni sklop C – Komunikacija
Aktivnost A.C. 6 Izobraževalna gradiva

december 2023
Verzija 1.0

Projekt INFO-GEOTHERMAL sofinancirajo Islandija, Lihtenštajn in Norveška s sredstvi Finančnega mehanizma EGP v višini 1.073.529,41 €. Namen projekta je podpiranje učinkovite kaskadne uporabe geotermalne energije z dostopom do uradnih in javnih informacij.

Dosežek D.C 6.2, Fizični model geotermalnih rezervoarjev v SV Sloveniji

Vodilni partner:

GeoZS

Avtorji:

Dejan Šram¹, Nina Rman¹, Andrej Lapanje¹, Simona Adrinek¹ & Igor Rižnar²

Grafična zasnova:

Staška Čertalič¹

1 Geološki zavod Slovenije, Dimičeva ulica 14, SI-1000 Ljubljana

2 G.E. Igor Rižnar s.p

Izdajatelj: Geološki zavod Slovenije, Ljubljana

Leto izida: 2023

E-publikacija

Publikacija je brezplačna.

© Geološki zavod Slovenije

Kataložni zapis o publikaciji (CIP) pripravili v
Narodni in univerzitetni knjižnici v Ljubljani
COBISS.SI-ID 177838851
ISBN 978-961-6498-77-7 (PDF)

Ta dokument je nastal s finančno podporo Finančnega mehanizma EGP. Za vsebino tega dokumenta so odgovorni izključno avtorji, navedi zgoraj, in zanj v nobenem primeru ne velja, da odraža stališča Nosilca programa Blaženje podnebnih sprememb in prilagajanje nanje.

1 UVOD

V okviru aktivnosti A.C. 6 Izobraževalna gradiva smo izpopolnili digitalni model s 4 geološkimi sloji, ki prikazujejo geološko sestavo SV Slovenije do 6 km v globino. Model je tehnično nadgradil obstoječo verzijo*, kjer so ponazorjeni geotermalni rezervoarji v podlagi in v neogenskih plasteh. Skupaj je upoštevanih 10 geoloških plasti, ki so bile za potrebe 3D tiska združene glede na debelino, litostratigrafijo in geopotencial v štiri plasti:

1. Združene Murska formacija (sedimenti deltne ravnice in čela), Ptujsko-grajska formacija in kvartarni aluvialni vodonosniki (rdeče-modra plast v tiskanem modelu);
Sedimenti deltnega čela Murske formacije so najpomembnejši regionalni in čezmejni geotermalni vodonosnik v Sloveniji, ki se izkorišča za ogrevanje in balneologijo. Ležijo na dnu prve plasti, kjer je z rdečo označeno območje, na katerem je temperatura v rezervoarju višja od 40 °C. Višji sloji so obarvani modro. Kvartarnih aluvialnih vodonosnikov ni mogoče razdvojiti v uporabljenem merilu, vendar na njih ne smemo pozabiti, saj so pomemben vir pitne vode.
2. Lendavska formacija (združeni turbiditni in pobočni sedimenti) z lokalnimi nahajališči plina, nafte in termalne vode (črna plast v tiskanem modelu);
3. Haloška in Špiljska formacija z lokalnimi viri pitne, mineralne in termalne vode ter plina in nafte (rjava plast v tiskanem modelu) in
4. predneogenska podlaga iz pretežno metamorfnih kamnin z lokalnimi geopotenciali (bela plast v tiskanem modelu).

Model je bil izdelan z namenom uporabe na javnih dogodkih in izobraževanjih o geotermalnem potencialu SV Slovenije. Za obdobje trajanja projekta bo za določen čas razstavljen na naslovih vseh projektnih partnerjev. Po koncu projekta bo model ostal na GeoZS, vendar bo dostopen vsem projektnim partnerjem v promocijske in izobraževalne namene.

* https://www.geo-zs.si/?option=com_content&view=article&id=718

2 Tehnična navodila sestavljanja tiskanega 3D modela

Za postavitev makete so poleg osnove na plošči potrebni trije sloji geoloških plasti (rjave, črne in rdeče-modre barve), nosilci za 3D postavitev (prozorni stebrički št. 1 – 10) in vertikalni geološki profili (št. 1 – 10), ki dopolnjujejo geološko informacijo modela.

Pomemben je vrstni red vstavljanja prozornih stebričkov v plasti. Vsak stebriček je označen s številko, ki se mora ujemati s številko v odprtini v spodnji, beli plasti. Rdeča puščica na stebričku mora biti obrnjena proti severu. Stebriček mora biti postavljen tako, da je magnet (siv krog) v stebričku vedno spodaj.

Za postavitev prve, »rjave« plasti (Haloška in Špiljska formacija) je treba v belo podlago najprej postaviti stebričke 1, 3, 4 in 8. Nato nanje postavimo rjavo plast. Naslednji korak je postavitev stebričkov 6, 7 in 9 v rjavo in belo plast. Nanje postavimo »črno« plast (Lendavska formacija). Sledi postavitev stebričkov 2, 5 in 10, na katere postavimo vrhno »modro – rdečo« plast (Murska in Ptujsko-grajska formacija ter kvartarni aluvialni vodonosniki). Ko so vsi stebrički postavljeni, nanje položimo geološke profile plasti z enako številko, ki se stikata. Preverimo, da so profili pravilno obrnjeni glede na vpade plasti. Maketa je tako sestavljena.

Model se med lokacijami (npr. z avtom) prenaša zložen, BREZ 3D postavitve. Nosilce in geološke profile se prenaša v plastični škatlici, plasti pa zložene eno na drugo na osnovni plošči, zaščitene s priloženim stiroporjem.

3 Konceptualna razlaga tiskane 3D makete

3D geološki model Mursko-Zalskega bazena je bil prvič natisnjen v sklopu projekta "Green Line", financiranega iz mehanizma Interreg Slovenija-Madžarska. Konceptualna razlaga posameznih plasti natisnjene modela je bila v obliki brošure izdana že za potrebe omenjenega projekta, z naslovom: "3D geološki model Mursko-Zalskega bazena (spremnno besedilo)". V nadaljevanju kot prilogo tega poročila in za lažjo uporabo modela v praksi dodajamo omenjeno brošuro.

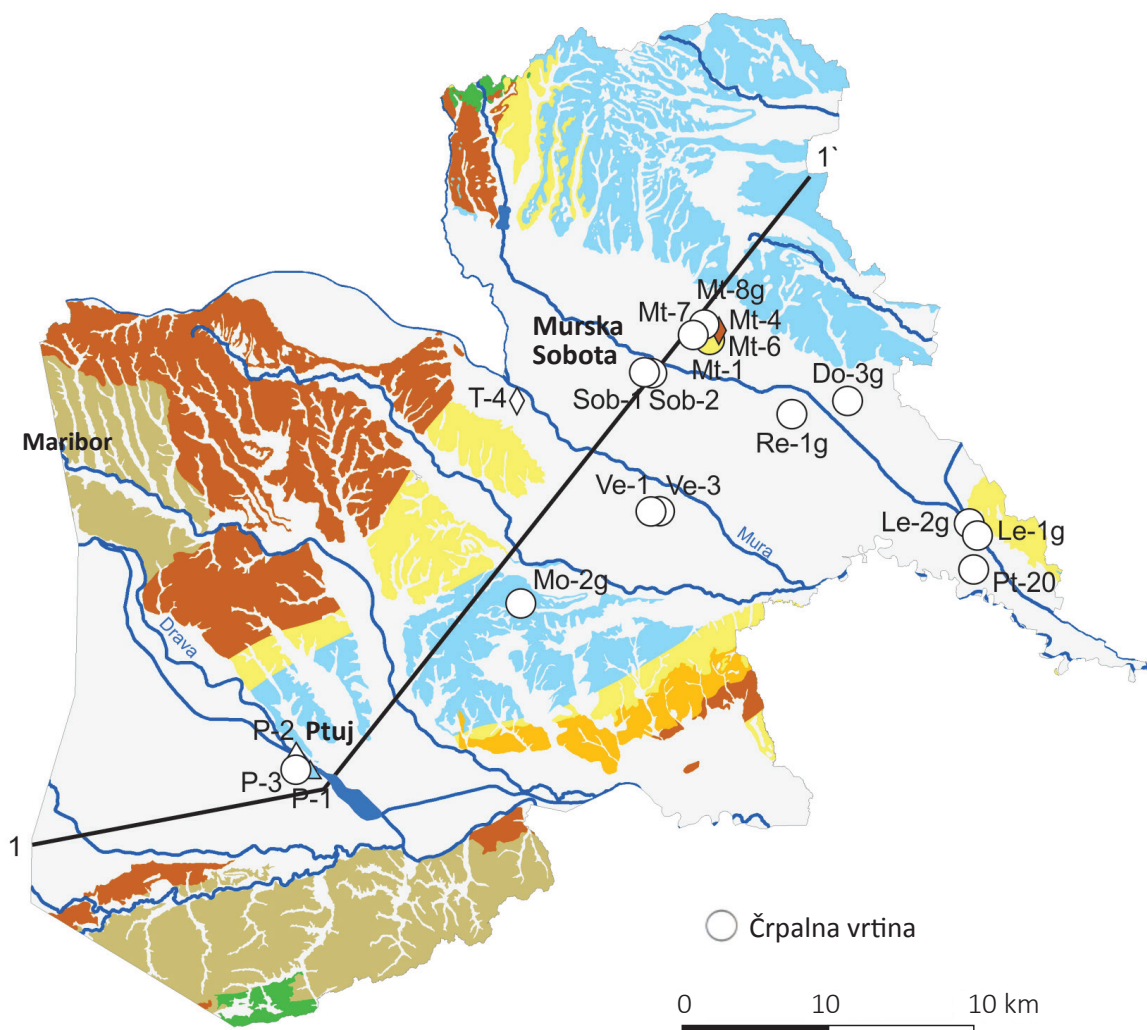


3D GEOLOŠKI MODEL MURSKO-ZALSKEGA BAZENA

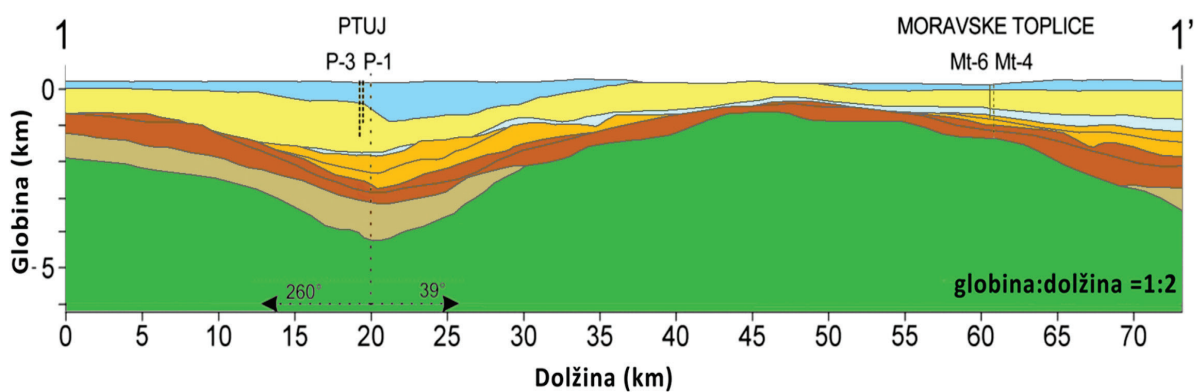
(spremno besedilo)



POENOSTAVLJENA LITOSTRATIGRAFSKA KARTA



GEOLOŠKI PREREZ



V sklopu projekta Green Line, ki je financiran iz mehanizma Interreg Slovenija-Madžarska, smo natisnili 3D geološki model Mursko-Zalskega bazena. Ta sedimentacijski bazen je čezmejen in se razteza med SV Slovenijo in JZ Madžarsko. Območje razdelimo na deset litostratigrafskih enot, in sicer (od najstarejše do najmlajše):

1. kamnine predneogenske podlage sedimentacijskega bazena
2. Haloška formacija
3. Špiljska formacija - badenijske starosti
4. Špiljska formacija - sarmatijske starosti
5. Lendavska formacija - turbiditni sedimenti
6. Lendavska formacija - pobočni sedimenti
7. Murska formacija - sedimenti deltnega čela
8. Murska formacija - sedimenti deltne ravnice
9. Ptujsko-Grajska formacija in
10. kvartarni aluvialni zasip

Geološka zgradba tega območja je razmeroma dobro poznana, podrobnejše informacije lahko pridobite iz literature, ki je navedena na koncu tega priročnika. Poenostavljena litostratigrafska karta površja, prečni geološki prerez v smeri JZ-SV in profili geotermalnih vrtin v slovenskem delu Mursko-Zalskega bazena pa so prikazani tudi na naslednjih straneh.

Tridimenzionalni model je izdelan v merilu 1 : 200 000 in je bil za potrebe tiska poenostavljen. Glede na debelino, starost in zgradbo kamnin in sedimentov ter njihov geopotencial (bodisi za pridobivanje energetskih in mineralnih surovin ali podzemne vode) smo oblikovali štiri združene plasti:

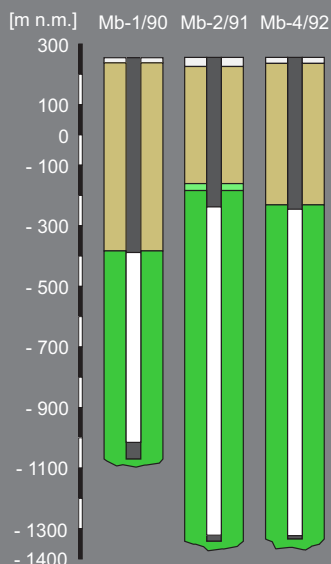
1. kamnine predneogenske podlage bazena
2. Haloška in Špiljska formacija
3. Lendavska formacija (združeni turbiditni in pobočni sedimenti)
4. Murska formacija (sedimenti deltne ravnice in čela), Ptujsko-Grajska formacija in kvartarni aluvialni zasip.

PREDSTAVITEV

INFORMATIVEN PRIKAZ RAZLIČNIH GEOPOTENCIALOV V LOKALNEM IN REGIONALNEM MERILU JE PODAN V SPODNJI PREGLEDNICI

PLAST	LITOSTRATIGRAFSKA ENOTA	PREPUSTNE KAMNINE	PITNA VODA 	TERMALNA VODA 	PREMOG 	NAFTA IN PLIN 	CO ₂ 
1. plast, zgornji del	Ptujsko-Grajska formacija in kvartarni aluvialni vodnosniki	prodi in peski	regionalno ✓	lokalno ✓	lokalno ✓	ne ✗	ne ✗
1. plast, spodnji del	Murska formacija	peski	regionalno ✓	regionalno ✓	lokalno	ne ✗	lokalno ✓
2. plast	Lendavska formacija	peščenjaki	ne ✗	lokalno	ne ✗	lokalno ✓	lokalno ✓
3. plast	Špiljska in Haloška formacija	peščenjaki, breče, apnenci	lokalno ✓	lokalno ✓	ne ✗	lokalno ✓	lokalno ✓
4. plast	predneogenska podlaga	magmatske in metamorfne kamnine, breče, dolomiti in apnenci	lokalno ✓	lokalno ✓	ne ✗	ne ✗	lokalno ✓

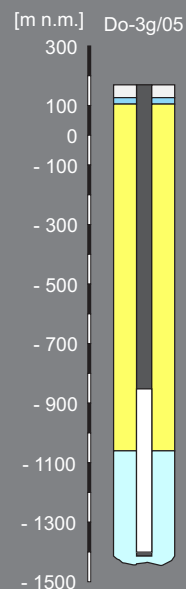
Terme Maribor



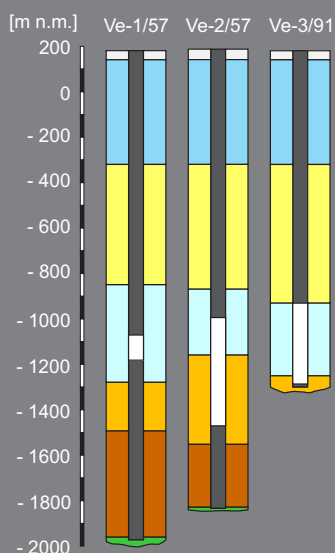
Zdravilišče Radenci



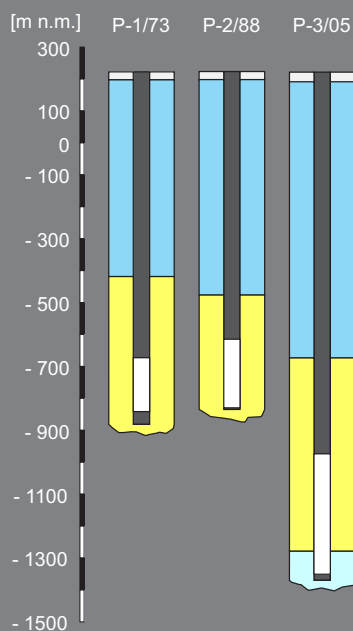
Ocean Orchids d.o.o.



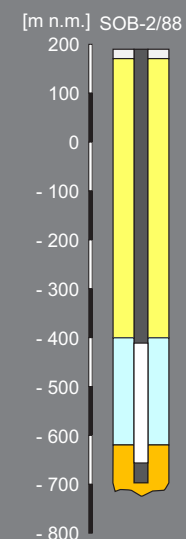
Terme Banovci



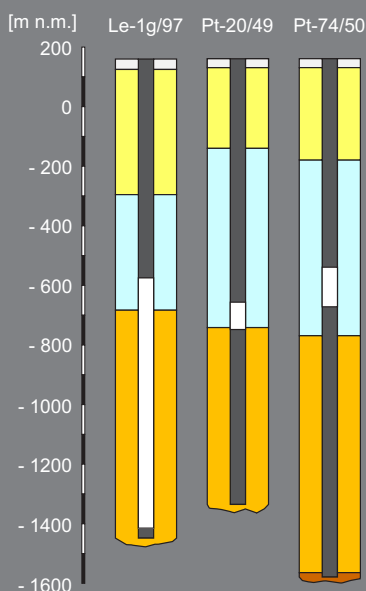
Terme Ptuj



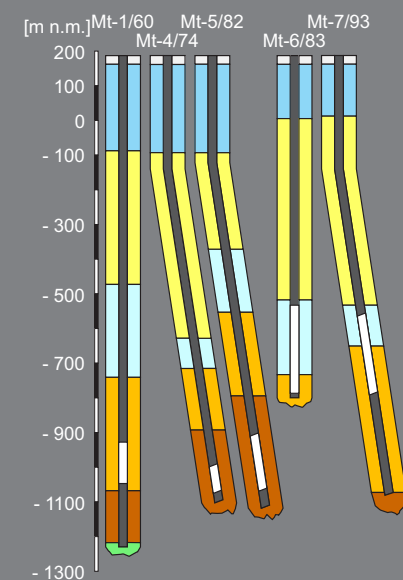
Hotel Diana d.o.o.



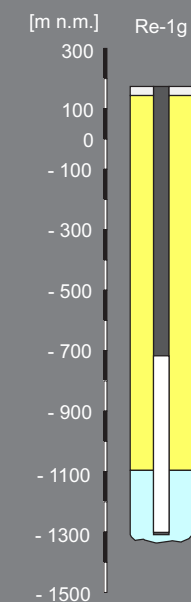
Terme Lendava d.o.o.



Terme 3000 - Moravske Toplice



Paradajz d.o.o.



LEGENDA

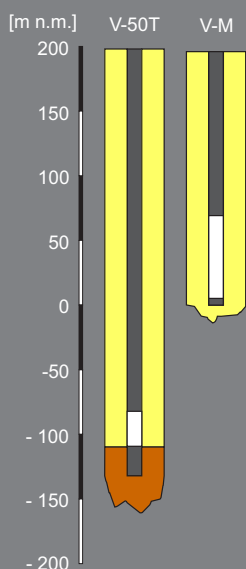
OBDOBJE	FORMACIJA	LITOLOŠKI OPIS
Q	aluvialni sedimenti	rečne naplavine
M ₇ - P _I	Ptujsko-Grajska fm.	prodnat in meljast pesek, peščen in glinast prod, melj in meljasta glina
M ₇ - M ₈	Murska formacija- deltna ravnica	glina, melj, meljast in prodnat pesek, peščen prod, premog in ostanki lesa
M ₇ - M ₈	Murska formacija- deltno čelo	pesek, peščenjak, melj, glina in premog
M ₇ - M ₈	Lendavska formacija	glina, laporovec, peščenjak, melj, meljevec, glinasti lapor in lapor
M ₅ - M ₇	Špiljska formacija	aljni apnenec, meljast lapor, glinast lapor in lapor z vložki peska
M ₄ - M ₅	Haloška formacija	konglomerat, peščenjak, peščeni lapor, pesek, muljasta breča, tuf
Ca	predneogenska podlaga	amfibolit, skrilavec, filit, gnajs, blestnik, pegmatit, levkofilit, kvarcit

CEVITEV VRTINE

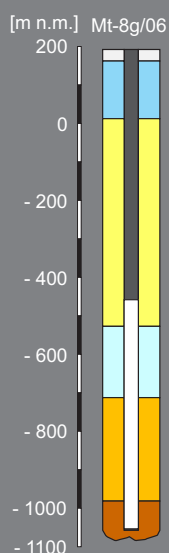
- Polna cevitev
- Filtrski/odprt odsek

SHEMATSKI PRIKAZ VRTIN S TERMALNO VODO

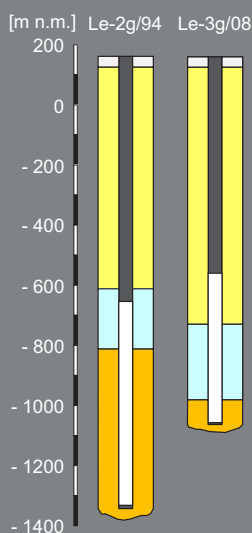
Radenska d.o.o.



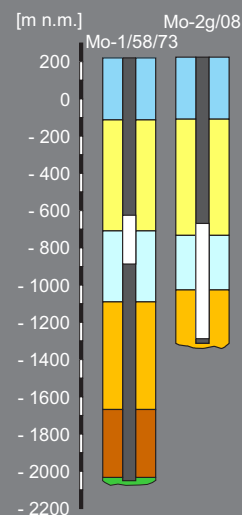
Terme Vivat



Petrol d.d.



Bioterme Mala Nedelja



OPIS

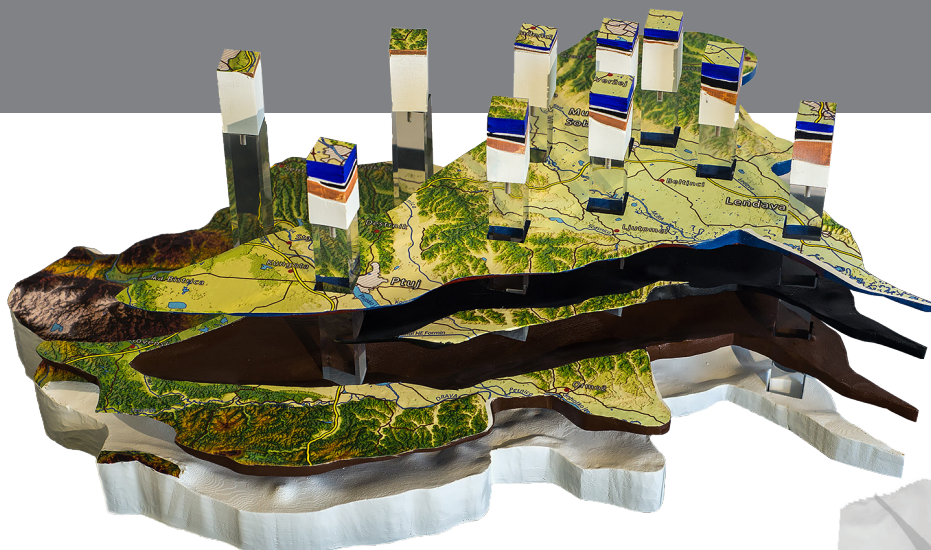
Panonski bazen je obsežno območje, ki se je pred približno 17 milijoni let začelo naglo pogrezati zaradi dogodkov globoko pod Zemljinim površjem. Pogrezanje ni bilo enakomerno in ob prelomih so nastala manjša pogreznjena območja, ki jih imenujemo tudi sub-bazeni. Mursko-Zalski bazen, ki leži na zahodnem obrobju Panonskega bazena, združuje več manjših subbazenov, ki so nastajali sočasno.

Panonski bazen je nastal v osrednjem delu Centralne Paratetide, izginjajočega oceana, od katerega je danes ostalo le še Blatno jezero na Madžarskem. Panonski bazen je danes z vseh strani omejen s hribovji (Vzhodnimi Alpami, Dinaridi, Balkanom in Karpati), ki so kot kopna masa obstajali že v času pogrezanja. To je v grobem potekalo v dveh fazah.

PRVA FAZA POGREZANJA

Na jugu se je raztezala Jadransko-Dinarska tektonska mikroplošča (mikrokontinent Adria). Obsegala je približno območje nekdanje Jugoslavije, Albanije, zahodne Grčije, Jadransko morje in del jugovzhodne Italije. Adria se je južneje dotikala Afriškega kontinenta, na severu pa je obstajal Evropski kontinent. Med Adrio in Evropo se je še v kredi, za časa življenja zadnjih dinosavrov, raztezalo morje.

Zaradi vztrajnega pomikanja Afriškega kontinenta in obrobnih mikrokontinentov (tudi Adrie) proti severu se je ocean Centralne Paratetide zapiral. Oceansko dno med celinama je proti jugu in jugozahodu tonilo pod Adrio, zaradi česar je nad tem območjem iz raztaljenih kamnin toneče oceanske plošče nastala vroča magma, ki se je dvigala proti površju. Ti vulkani so bili



3D model

Belo obarvano plast v 3D modelu Mursko-Zalskega bazena predstavljajo kamnine v njegovi podlagi.



Hydrogeokemijski tip vode:
Ca-Mg-HCO₃, Na-HCO₃, Na-Cl

Skupne raztopljene snovi:
215 - 23,000 mg/l

Težave pri uporabi vode:
Nekatere zelo obarjajo karbonatne minerale ('vodni kamen'), prosti plini

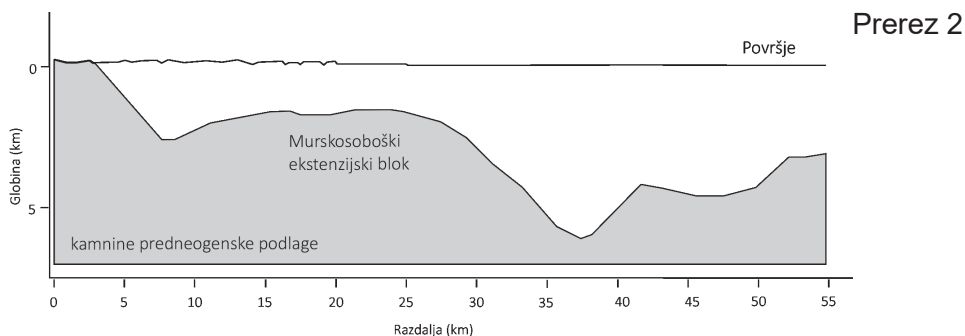
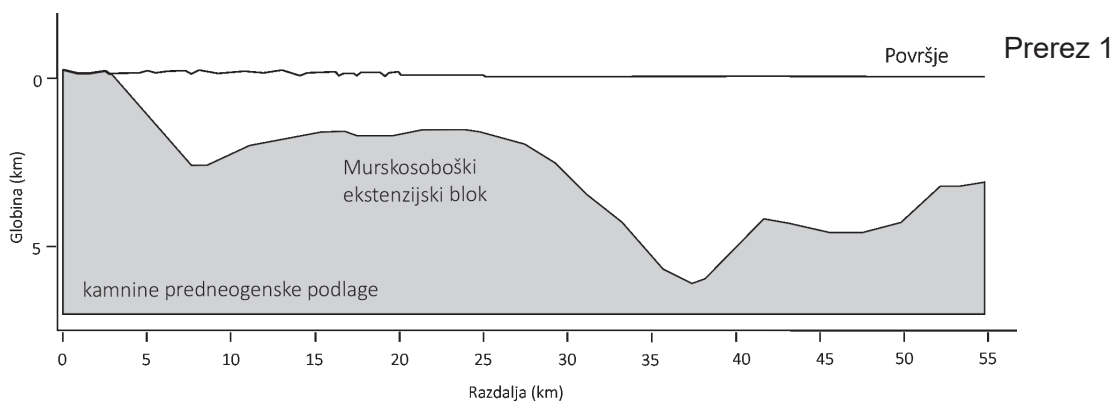
LASTNOSTI PODZEMNE VODE

povezani z razpiranjem zemeljskega površja (rifting) podobno, kot se danes dogaja na območju vzhodnoafriškega rifta.

Vrste kamnin poznamo v glavnem iz vrtin, saj izdanjajo le na območju Pohorja. Osrednji del dna Mursko-Zalskega bazena je pravzaprav pogreznjen vzhodni podaljšek Pohorja. Zgrajen je iz metamornih kamnin (predvsem gnajsa, blestnika in amfibolita) in ga imenujemo Murskosoboški ekstenzijski blok. Vzdolž jugovzhodnega roba tega masiva poteka pas mezozojskih kamnin, ki so zastopane v glavnem s triasnimi klastičnimi, karbonatnimi in tudi vulkanskimi kamninami. Na posameznih mestih so na njih ohranjeni tudi kredni klastiti in celo paleogenske karbonatne kamnine. Slednje poznamo zgolj iz vrtin in redkih izdankov na površini.

Pred-neogensko podlago sestavljajo različne kamnine na različnih globinah, prevladujejo pa metamorfne kamnine, ki lahko vsebujejo leče karbonatnih kamnin. Posledično je temperatura podzemne vode različna. V Mariboru se pridobiva termalna voda iz globine 1500 m in s temperaturo na ustju do 42 °C, medtem ko se je v Benediktu pridobivala termalna voda iz globine 1800 m in s temperaturo iztoka približno 80 °C.

KAMNINE PREDNEOGENSKE PODLAGE BAZENA



Izdatnost vrtin:

Nizka do srednja, 0,5 - 8 l/s

Uporaba vode:

Kopanje in balneologija, ogrevanje prostorov

Prosti plini v vodi:

Zelo različne koncentracije prostega CO₂, ponekod vsebuje H₂S

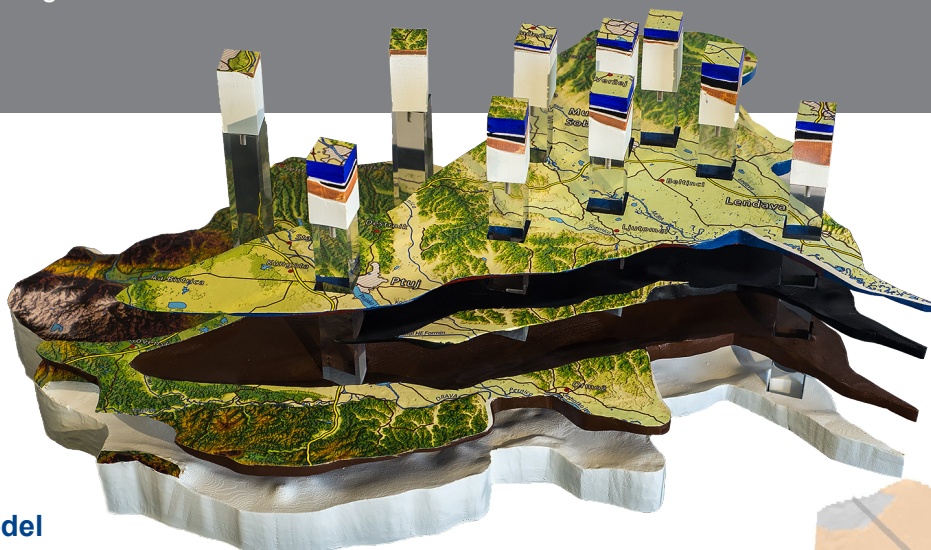
OPIS

Razpiranje zemeljske skorje se je na površju odražalo kot pogrezanje posameznih tektonskih blokov. Vmes so nastali tektonski jarki, katerih nastanek je podoben precej obsežnejšem Vzhodnoafriškem velikem tektonskem jarku. Te so sprva zapolnjevali obsežni zemeljski plazovi, kamninski podori in vršaji manjših vodotokov. Ob nadaljnjem, razmeroma hitrem pogrezanju, pa je ta območja zalilo morje, ki ga že lahko razumemo kot Panonsko morje.

Na območju severovzhodne Slovenije poteka med Mariborom in Goričkim t.i. Rabski snop položnih normalnih prelomov, vzdolž katerih je s pogreznitvijo nastal Radgonsko-Vaški subbazen. Bolj ali manj sočasno, pred približno 17 milijoni let, je vzdolž vzhodnega roba Pohorja ob pogreznitvi Murskosoboškega ekstenzijskega bloka nastal Mariborski subbazen. Od

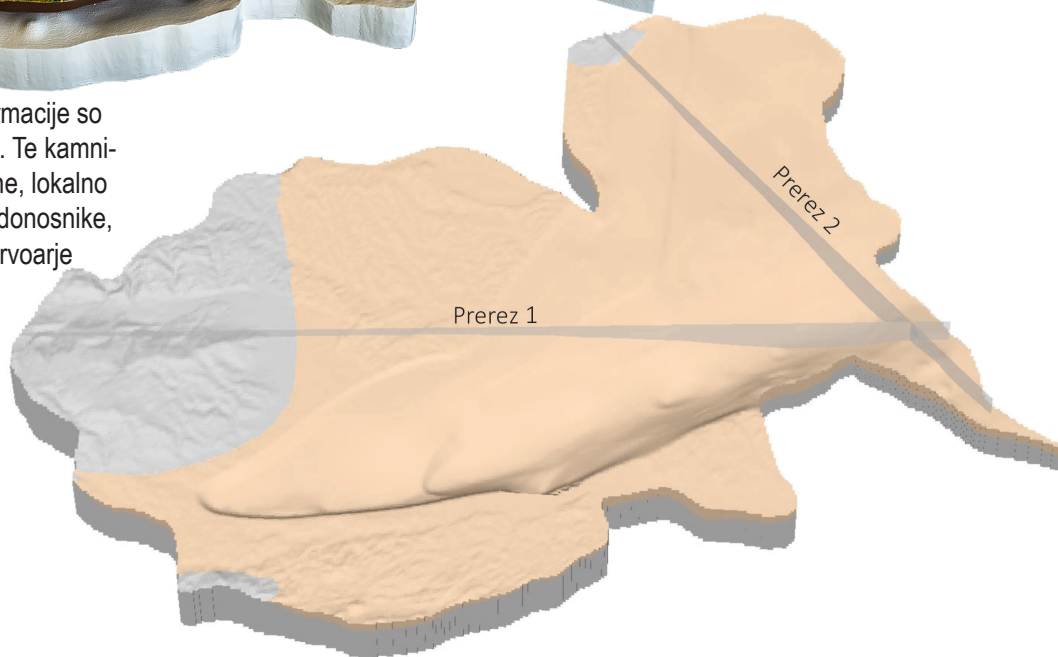
Pragerskega mimo Ptuja in Ljutomera proti Beltincem je vzdolž današnjih Haloz nastal Haloško - Ljutomersko - Budafaški subbazen, ki je pogreznjen za kar 4 km. Pogrezanje je bilo v začetku zelo hitro, najbrž precej hitreje kot 1 mm/leto. Povprečna globina teh subbazenov je bila med 400 in 1000 m.

Začetna faza njihovega zasipavanja je sprva potekala s pomočjo manjših vodotokov. Tako sta se do sarmatija (pred približno 13 milijoni let) zapolnila celotna Mariborski in Radgonsko-Vaški subbazena, deloma pa tudi Haloško-Ljutomersko-Budafaški. Pretežno klastični sedimenti prve faze so v modelu združeni v t.i. Haloški in Špiljski formaciji. Sedimenti Haloške formacije, v globljih delih subbazenov pa tudi Špiljske formacije, so v glavnem slabo prepustni.



3D model

Kamnine Haloške in Špiljske formacije so v modelu prikazane v rjavi barvi. Te kamnine so regionalno slabo prepustne, lokalno pa lahko tvorijo geotermalne vodonosnike, vodonosnike pitne vode ali rezervoarje nafte in zemeljskega plina.



Hidrogeokemijski tip vode:
Na(-Cl)-HCO₂/(CO₂)

Skupne raztopljene snovi:
Od 11.100 do 15.400 mg/l

Težave pri uporabi vode:
Nekatere zelo obarjajo karbonatne minerale ('vodni kamen'), visoka vsebnost organskih snovi (TOC, benzen...), prosti plini

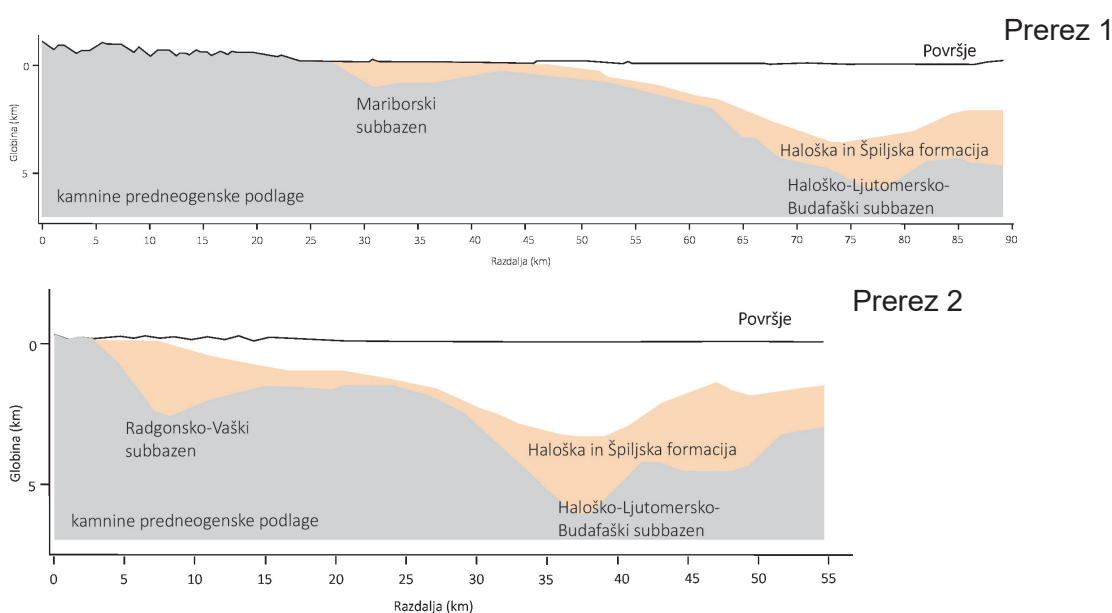
LASTNOSTI PODZEMNE VODE

Iz Haloške formacije se lokalno pridobiva manjše količine hladne pitne vode, vendar ta formacija ne vsebuje večjih pomembnih količin podzemne vode.

Algni peščeni apnenec Špiljske formacije ima sicer omejeno raztezanje v prostoru, vendar je dobro prepusten za vodo in pline, zato tvori lokalne vodonosnike pitne in termomineralne vode, lahko pa vsebuje tudi nafto in plin. To nakazuje, da tok podzemne vode ni več aktiven in je voda v geotermalnih vodonosnikih in nahajališčih ogljikovodikov stagnantna. V Moravskih Toplicah je na globini okoli 1300 m podzemna voda segreta nad 80 °C, zato izteka iz vrtin s 75 °C, ima pa tudi veliko ogljikovodikov in prostega CO₂. Slednji je značilen tudi v Radencih, kjer so geotermalne vrtine globoke med 400 in

800 m, termomineralna voda pa ima temperaturo 38 °C na ustju vrtine. Na obeh lokacijah voda izteka iz vrtin brez pomoči potopnih črpalk, zaradi t.i. plinskega dviga zaradi zelo velikih količin prostega CO₂.

HALOŠKA IN ŠPILJSKA FORMACIJA



Izdatnost vrtin:
Nizka, 1-4 l/s

Uporaba vode:
Kopanje in balneologija,
ogrevanje sanitarne vode,
individualno ogrevanje prostorov,
ogrevanje rastlinjakov

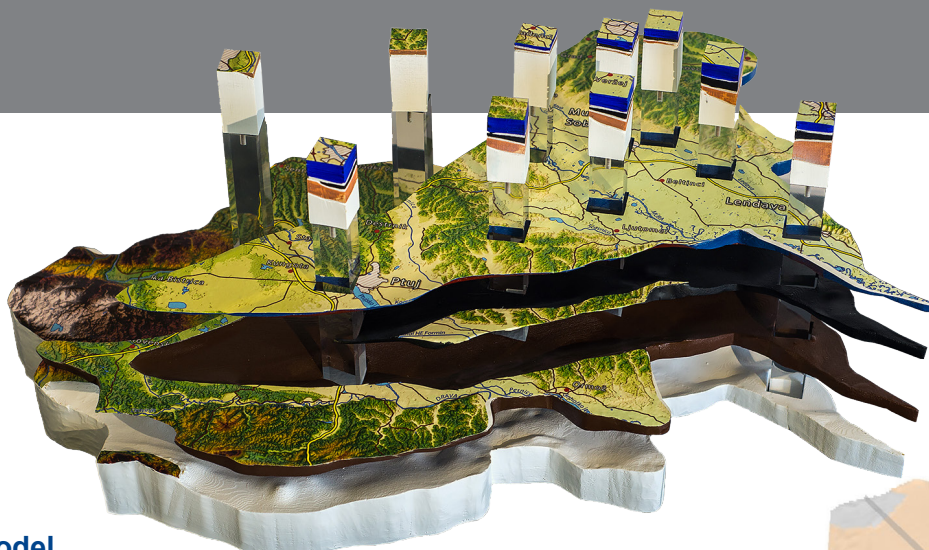
Prosti plini v vodi:
Običajno velike koncentracije
prostega CO₂, ponekod vsebuje
nafto, metan in druge ogljikovodike

OPIS

DRUGA FAZA POGREZANJA

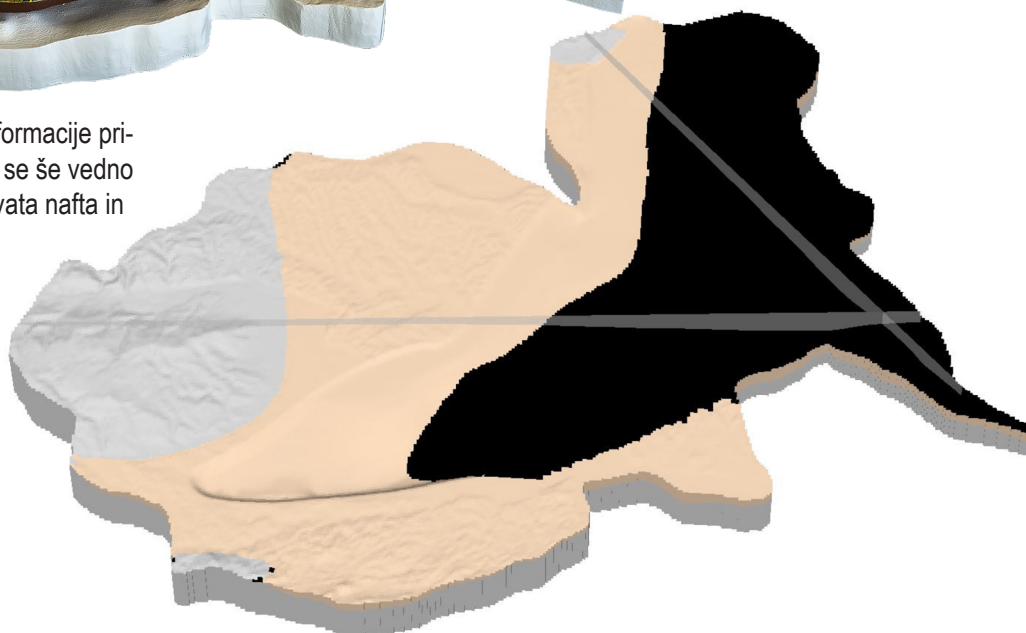
Pred približno 16 milijoni let je prvemu sunku pogrezanja sledila kratkotrajna faza stiskanja ozemlja, ki jo geologi imenujemo Štajerska orogenetska faza. Po njej se je naglo pogrezanje nadaljevalo in zajelo še širše območje. Zato najdemo morske sedimentne kamnine na zahodu vse do Moravč. Vemo tudi, da je bilo preko zahodne Slovenije Panonsko morje nekaj časa povezano tudi s tedanjim Sredozemskim morjem. V zaledju se je hidrografska mreža že močno razvila, zato je območje, ki ga predstavlja model, začela preplavljati obsežna rečna delta, podobno, kot današnja delta Donave postopoma zasipava Črno morje. Reke so prinašale ogromne količine sedimentov z dvigajočih se Alp in jih odlagale v obsežni delti, od

koder so jih turbiditni tokovi odnašali v globlje dele morja. Turbiditni tokovi so podvodni plazovi, ki s čela rečne delte odnašajo sedimente v globlje dele bazena. Na dnu bazena so se ti plazovi diferencirali, tako da se je najprej odložili debeleje zrnati material, torej pesek, nato pa vse drobnejši mulj. Ta, prostorsko dokaj omejena peščena telesa, so zaradi svoje dobre prepustnosti pomembni rezervoarji ogljikovodikov. Iz njih smo včasih pridobivali nafto, danes pa v bolj simboličnih količinah zemeljski plin in termomineralno vodo. Ker se Haloško-Ljutomersko-Budafaški in Vzhodnomurski-Orseški subbazena nadaljujeta proti vzhodu, se tudi turbiditni sedimenti Lendavske formacije nadaljujejo proti vzhodu na Madžarsko.



3D model

V 3D modelu je plast Lendavske formacije prikazana v črni barvi, saj sta se oz. se še vedno iz nje v manjših količinah pridobivata nafta in zemeljski plin.



Hidrogeokemijski tip vode:
 $\text{Na-Cl-HCO}_2/(\text{CO}_2)$

Skupne raztopljene snovi:
Od 4200 do 8600 mg/l

Težave pri uporabi vode:
Prosti plini, lahko povišana vsebnost organskih snovi (parafin)

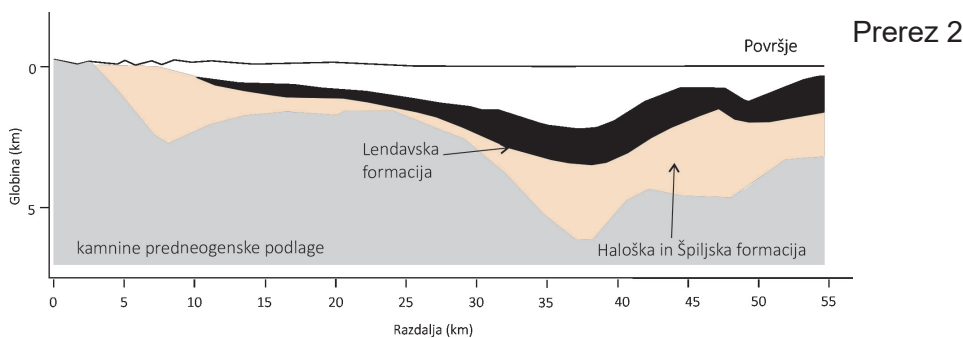
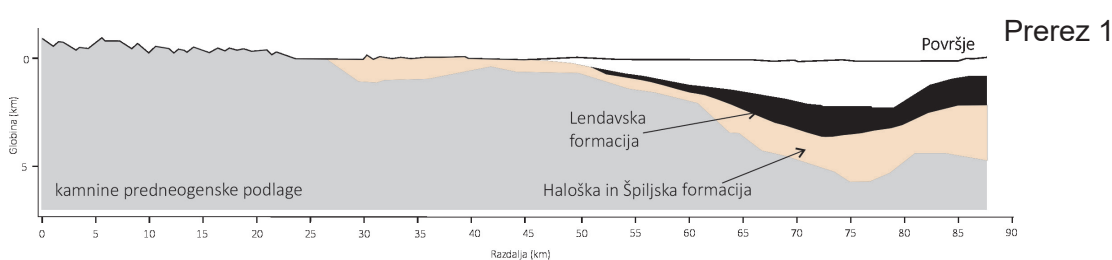
Sčasoma je turbiditne sedimente prekrila proti jugu napredujoča rečna delta "Pradonave". Tako so se ostali subbazeni v Mursko-Zalskem bazenu zapolnili že do konca pannonija oziroma pontija, pred približno 6 milijoni let. Delta se je pomikala še naprej proti jugu in do danes zapolnila tudi preostale dele Panonskega bazena.

LASTNOSTI PODZEMNE VODE

Podzemna voda v Lendavski formaciji je bila infiltrirana pred več deset tisoč leti in nima več aktivnega toka v globljih delih, pravimo da stagnira. Kjer je oblika plasti ustrezna (konveksna), delujejo kot rezervoar ogljikovodikov in CO₂. Zaradi razmeroma nizke izdatnosti peščenih

plasti v tej formaciji ni aktivnih geotermalnih vrtin, ki bi zajemale vodo le iz nje. Nekaj geotermalnih vrtin v Banovcih, Lendavi, Mali Nedelji, Murski Soboti in Moravskih Toplicah večino termalne vode pridobi iz višje ležeče Murske formacije, manjši del pa iz Lendavske formacije, ki tako vodi zagotovi višjo temperaturo in mineralizacijo. Temperatura termalne vode iz Lendavske formacije dosega med 48 in 65 °C na površju.

LEDAVSKA FORMACIJA



Izdatnost vrtin:
Nizka, do 5 l/s

Uporaba vode:
Mešanica z vodo iz
Murske formacije

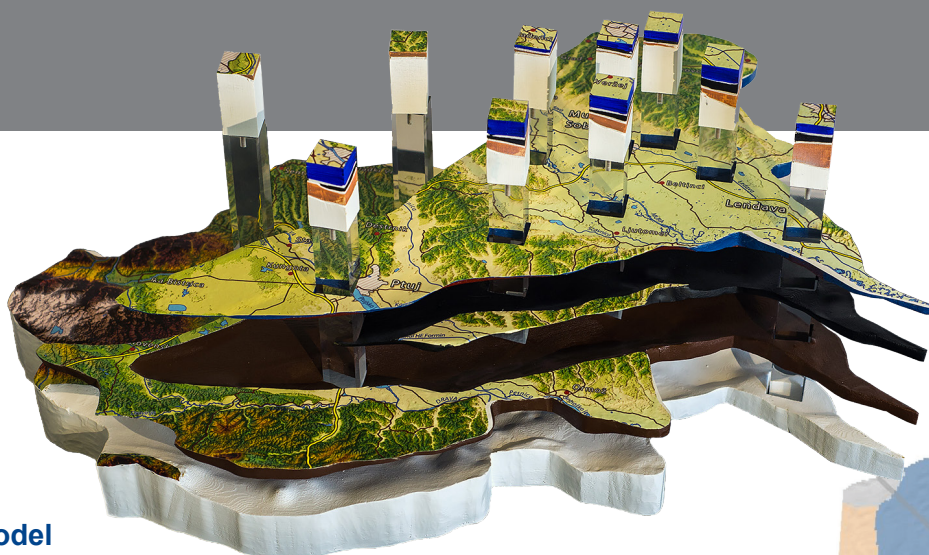
Prosti plini v vodi:
Običajno velike koncentracije pro-
stega CO₂, ponekod vsebuje nafto,
metan in druge ogljikovodike

OPIS

Večji del do nekaj sto metrov debelega paketa sedimentov deltnega čela, ki prekrivajo turbiditne sedimente Lendavske formacije, sestavljajo slabo sprjeti peski. Ti tvorijo najpomembnejši regionalni geotermalni vodonosnik v Sloveniji. Nad njim so se odložili sedimenti deltne ravnice, med katerimi prevladuje slabo prepusten poplavni mulj z vmesnimi lečami proda in peska, ki predstavljajo sedimente rečnih kanalov v delti. V sedimentih deltne ravnice so pogoste leče in plasti premoga, ki pa ga danes ne izkoriščamo več. Sedimente rečne delte in deltne ravnice združujemo v Mursko formacijo, ki jo lahko sledimo proti jugu in vzhodu, le da se na Madžarskem in Hrvaškem imenuje drugače. Pogrezanje Panonskega bazena v osrednjem delu Velike madžarske nižine in na območju

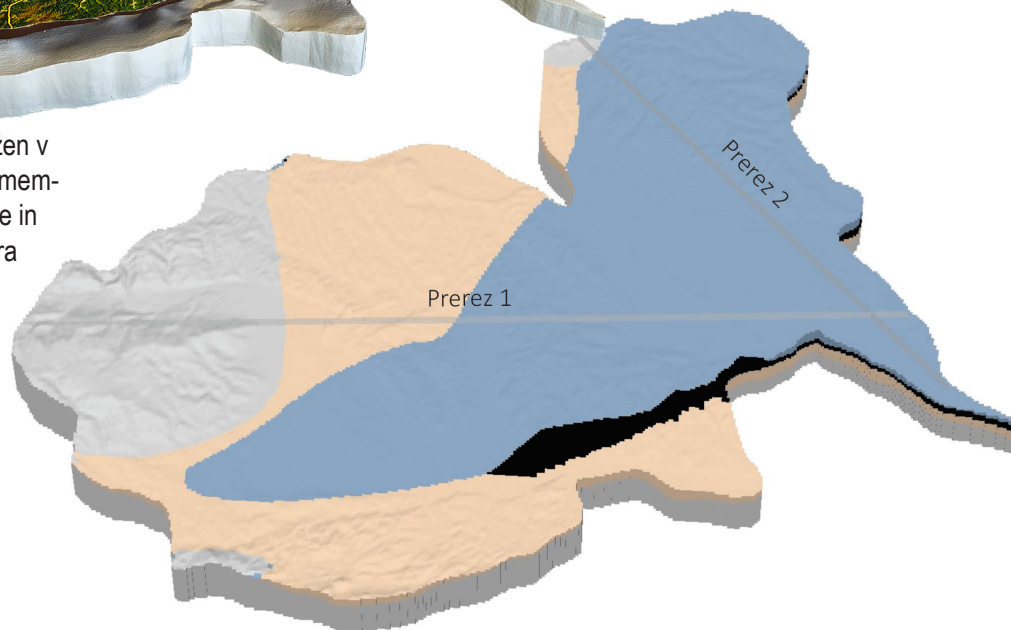
JZ Slovaške (Donavski bazen) sicer zamira, a poteka še danes. Pri nas, na zahodnem obrobju, se je pogrezanje končalo pred približno 6 milijoni let. Od takrat se zaradi vztrajnega približevanja Afrike in z njo tudi Adrie ozemlje Mursko-Zalskega bazena stiska in dviga. Novonastale razmere so botrovale nastanku nove hidrografske mreže. Takratne reke so z dvigajočih se Vzhodnih Alp tekle proti vzhodu, kjer pogrezanje še ni zamrlo. Za seboj so pustile prodnate sedimente, ki jih združujemo v Ptujsko-Grajsko formacijo. Iz nje pridobivamo termalno in pitno vodo.

Z nadaljevanjem dviganja ozemlja in nastopom ledene dobe (pleistocena) pred približno dvema milijonoma let so se hidrografske razmere na območju SV Slovenije spet spreme-



3D model

Paket teh kamnin je v modelu združen v eno plast, ki predstavlja naše najpomembnejše vodonosnike pitne, mineralne in termalne vode. Zgoraj je temperatura podpovršja nižja od 40 °C, zato je obarvana modro, kjer pa presega 40 °C, je rdeča.



Murska formacija

Hidrogeokemijski tip vode:
Na-HCO₂/(CO₂)

Skupne raztopljene snovi:
Od 550 do 1200 mg/l

Težave pri uporabi vode:
Nekatere pitne vode imajo povečano vsebnost železa, mangana in arzena
Izdatnost vrtin:
Dobra do zelo dobra:
10-40 l/s

Uporaba vode:
Kopanje in balneologija, daljinsko ogrevanje, ogrevanje sanitarne vode, individualno ogrevanje prostorov, ogrevanje raslinjakov, klimatizacija, taljenje snega

Prosti plini v vodi:
Večinoma nizke koncentracije prostega CO₂

nile. Sčasoma so privedle do porečij, kakršne imamo danes. Rečni sedimenti Drave, Mure in njihovih pritokov predstavljajo zelo pomembne, a hkrati izredno ranljive vire pitne vode.

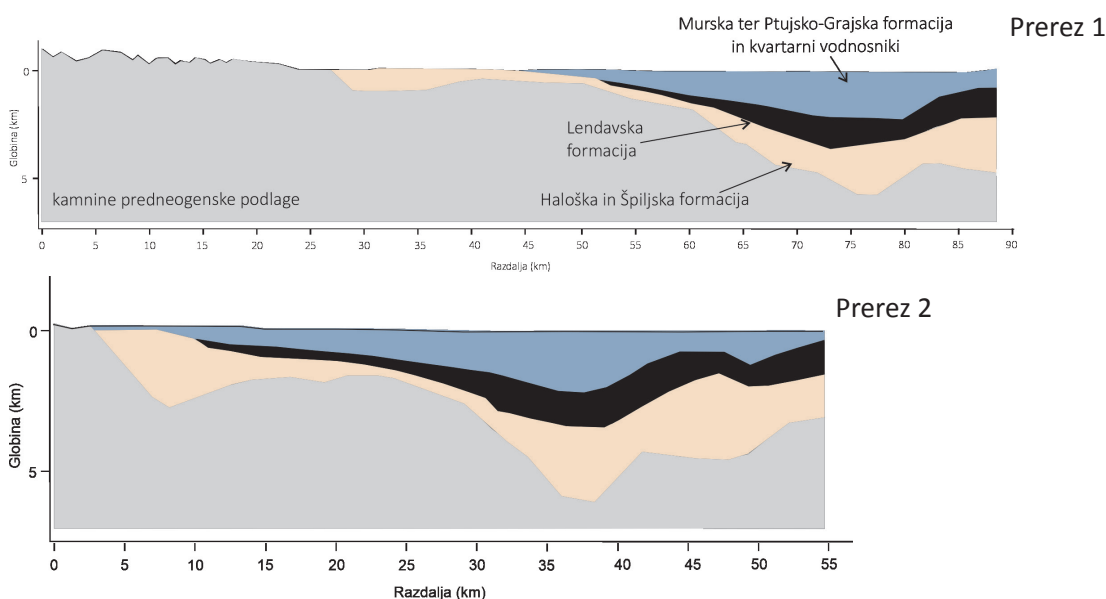
LASTNOSTI PODZEMNE VODE

Podzemna voda v Murski formaciji je deževnica, ki se je infiltrirala v tla v pleistocenu, pred nekaj deset tisoč leti. Tok v tej formaciji je zelo počasen, vendar regionalen, še vedno aktiven in celo čezmejen. Za doseganje temperature vode na ustju vrtin med 50 in 66 °C je potrebno izvrtati vrtine z globino nekje med 600 in 1600 m. Ta voda se pridobiva vse od Ptujja do meje z Madžarsko. V okolici Radencev se subtermalna voda pridobiva že na okoli 200 m in je zaradi

veliko prostega plina CO₂ mineralizirana. Iz te formacije se pridobiva tudi pitna voda.

Podzemne vode v Ptujsko-Grajski formaciji so bile infiltrirane pred nekaj tisoč do sto leti in imajo počasen podzemni tok. Kljub temu, da so plasti tudi 1000 m globoko, voda na ustjih geotermalnih vrtin na Ptujju dosega le 25-38 °C. To je tudi pomemben vir hladne, pitne vode.

MURSKA in PTUJSKO-GRAJSKA FORMACIJA ter KVARTARNI ALUVIALNI ZASIPI



Ptujsko-Grajska formacija

Hidrogeokemijski tip vode:

Na(-Ca)-HCO₂

Skupne raztopljene snovi:

Od 400 do 500 mg/l

Težave pri uporabi vode:

Načeloma ne povzročata težav rabe

Izdatnost vrtin:

Srednja, približno 7 l/s

Uporaba vode:

Kopanje in balneologija

Prosti plini v vodi:

Nizke koncentracije prostega CO₂

Dodatne informacije o zgradbi in geopotencialih SV dela Slovenije lahko dobite v sledeči literaturi

ANDJELOV, M., GALE, U., KUKAR, N., TRIŠIČ, N., UHAN, J. 2006: Ocena količinskega stanja podzemnih voda v Sloveniji. *Geologija* 49/2, 383–391.

CIGIT, K. 1958: O geoloških razmerah filovske nafne strukture. *Geologija* 4, 171-187.

FODOR, L., JELEN, B., MÁRTON, E., RIFELJ, H., KRALJIĆ, M., KEVRIĆ, R., MÁRTON, P., KOROKNAI, B., BÁLDI BEKE, M. 2002: Deformacije, stratigrafija in paleogeografija severovzhodne Slovenije in jugozahodne Madžarske od miocena do kvartarja. *Geologija* 45/1, 103-114.

GABOR, L., RMAN, N. 2016: Mofete v Slovenskih goricah. *Geologija* 59/2, 155-177.

HASENHÜTTL, C., KRALJIĆ, M., SACHSENHOFER, R.F., JELEN, B., RIEGER, R. 2001: Source rocks and hydrocarbon generation in Slovenia (Mura Depression, Pannonian Basin). *Marine and Petroleum Geology* 18, 115-132.

JELEN, B., RIFELJ, H. 2011: Površinska litostratigrafska in tektonska strukturna karta območja T-JAM projekta, severovzhodna Slovenija. Ljubljana, GeoZS: <http://www.geo-zs.si/podrocje.aspx?id=489>.

KERČMAR, J. 2018: Nahajališča zemeljskega plina na naftno-plinskem polju Petišovci. *Geologija* 61/2, 163-176.

KRALJ, P. 2001: Das Thermalwasser-System des Mur-Beckens in Nordost-Slowenien, doktorat. Aachen, RTWH Lehrstuhl für Ingenieurgeologie und Hydrogeologie.

KRALJ, P., KRALJ, P. 2000: Thermal and mineral waters in north-eastern Slovenia. *Environmental Geology* 39, 488-500.

KRALJ, P., KRALJ, P. 2012: Geothermal waters from composite clastic sedimentary reservoirs: geology, production, overexploitation, well cycling and leakage - A case study of the Mura basin (SW Pannonian basin). V YANG, J. (Ur.): *Geothermal energy, technology and geology*. New York, Nova Science Publishers, 47-92.

LAPANJE, A. 2006: Izvor in kemijska sestava termalnih in termomineralnih vod v Sloveniji. *Geologija* 49/2, 347-370.

MARKIČ, M., TURK, V., KRUK, B., ŠOLAR, S.V. 2011: Premog v Murski formaciji (pontij) med Lendavo in Murskim Središčem ter v širšem prostoru SV Slovenije. *Geologija* 54, 97-120.

NÁDOR, A., LAPANJE, A., TÓTH, G., RMAN, N., SZÓCS, T., PRESTOR, J., UHRIN, A., RAJVER, D., FODOR, L., MURÁTI, J., SZÉKELY, E. 2012: Transboundary geothermal resources of the Mura-Zala basin : a need for joint thermal aquifer management of Slovenia and Hungary. *Geologija* 55/2, 209-223.

PLENIČAR, M. 1954: Obmurska naftna nahajališča. *Geologija* 2, 36-93.

RAJVER, D., LAPANJE, A., RMAN, N. 2012: Možnosti proizvodnje elektrike iz geotermalne energije v Sloveniji v naslednjem desetletju. *Geologija* 55/1, 117-140.

RMAN, N. 2014: Analysis of long-term thermal water abstraction and its impact on low-temperature intergranular geothermal aquifers in the Mura – Zala basin, NE Slovenia. *Geothermics* 51, 214-227.

RMAN, N., GÁL, N., MARCIN, D., WEILBOLD, J., SCHUBERT, G., LAPANJE, A., RAJVER, D., BENKOVÁ, K., NÁDOR, A. 2015: Potentials of transboundary thermal water resources in the western part of the Pannonian basin. *Geothermics* 55, 88-98.

RMAN, N., LAPANJE, A., RAJVER, D. 2012: Analiza uporabe termalne vode v severovzhodni Sloveniji. *Geologija* 55/2, 225-242.

RMAN, N., JANŽA, M., ŠRAM, D., MEZGA, K., KOREN, K., MARKIČ, M., JERŠEK, M. 2016: Reka Mura v očeh geologa. *Proteus* 78/6-8, 258-265.

SZŐCS, T., RMAN, N., SÜVEGES, M., PALCUS, L., TOTH, G., LAPANJE, A. 2013: The application of isotope and chemical analyses in managing transboundary groundwater resources. *Applied Geochemistry - Special Issue* 32, 95-107.

ŠRAM, D., RMAN, N., RIŽNAR, I., LAPANJE, A. 2015: The three-dimensional regional geological model of the Mura-Zala basin, northeastern Slovenia. *Geologija* 58/2, 139-154.

TOMLJENOVIC, B., CSONTOS, L. 2001: Neogene – Quaternary structures in the border zone between Alps, Dinarides and Pannonian Basin (Hrvatsko zagorje and Karlovac basins, Croatia). *International Journal of Earth Sciences* 90, 560-578.

ŽLEBNIK, L. 1978: Terciarni vodonosniki v Slovenskih gorica in na Goričkem. *Geologija* 21, 311-324.

Priporočamo vam tudi ogled podatkovnih portalov:

eGeologija : <https://egeologija.si/>

eVrtine - pregledovalnik vrtin : <https://e-vrtina.si/>

Geotermalni informacijski portal Donavske regije (DRGIP) : <https://www.darlinge.eu/>

Pregledovalnik projekta TRANSENERGY : <http://transenergy-eu.geologie.ac.at/>