



INFO-GEOTHERMAL

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

Supporting efficient cascade use of geothermal energy by unlocking official and public information

Delovni sklop T1 – Zagotavljanje informacij o globoki geotermalni energiji

Aktivnost A 1.2 Priprava razpoložljivih podatkov za objavo

Dosežek: DT 1.2.2 Poročilo o pripravi 3D digitalnega geotermalnega modela SV Slovenije

WP T1 - Providing information on deep geothermal energy

A 1.2 Preparation of available datasets for publication

DT 1.2.2 Report on preparation of the 3D digital geothermal model of NE Slovenia

**April 2024
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.



Vodilni partner / Lead partner: Geološki zavod Slovenije

Avtorji / Authors: Simona Adrinek¹, Špela Kumelj¹, Nina Rman¹, Andrej Lapanje¹
Ines Piščanec¹, Zbigniew Małolepszy²

Pri pripravi gradiva so sodelovali / Materials were prepared with the help of:

Jernej Bavdek, Matija Krivic, Tina Peterneš, Jernej Pliberšek, Andrej Vihtelič, Nika Pišek Szillich (študentka), Dominik Szrek²

¹ Geološki zavod Slovenije / Geological Survey of Slovenia, Dimičeva ulica 14, 1000 Ljubljana, Slovenia (GeoZS)

² Polish Geological Institute – National Research Institute, Rakowiecka Street 4, 00-975 Warsaw, Poland (PGI)

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.



Kazalo

1	Uvod	1
2	Podatki o modelu / Metapodatki.....	1
3	Opis portala EGDI in 3D pregledovalnika.....	2
4	Navodila uporabnikom za uporabo »Digitalne baze podatkov 3D geotermalnega modela SV Slovenije«	2
5	Vsebinski opis »Digitalne baze podatkov 3D geotermalnega modela SV Slovenije«	6
5.1	Zbrani podatki	6
5.2	Reference.....	8

Content

1	Introduction	15
2	Model info / Metadata.....	15
3	Description of EGDI portal and 3D viewer	16
4	User instructions for using the "Digital database of the 3D geothermal model of NE Slovenia"	16
5	Content of the "Digital database of the 3D geothermal model of NE Slovenia"	19
5.1	Collected data	19
5.2	References	22

Kazalo slik

Slika 1: Splošno opozorilo ob vstopu v Digitalno bazo podatkov 3D geotermalnega modela SV Slovenije.....	3
Slika 2: Osnova stran Digitalne baze podatkov 3D geotermalnega modela SV Slovenije.	3
Slika 3: Temperaturne karte projekta GeoMol (2014).	8
Slika 4: Temperature na dnu predneogenske podlage, pripravljene v okviru projekta Transenergy (2013).	9
Slika 5: Temperature na globini 1000 m, 2500 m in 5000 m ter pričakovana globina do izoterme 50°C, 100°C in 150°C, pripravljene v okviru projekta Transenergy (2013).	10
Slika 6: Simulirane temperature na dnu deltnega čela Murske formacije, nastale v okviru ARSO projekta (Rman in Šram, 2020).	10
Slika 7: Temperaturne karte globin 100 m, 250 m, 500 m, 1000 m, 1500 m, 2000 m, 2500 m, 3000 m, 4000 m in 5000 m, izdelane na Geološkem zavodu Slovenije.....	12
Slika 8: Karta porazdelitve temperatur na površini trdnih tal, izdelana na Geološkem zavodu Slovenije.....	12
Slika 9: Karte pričakovane globino do izoterme 50°C, 100°C in 150°C, izdelane na Geološkem zavodu Slovenije.	12
Slika 10: Karte pričakovane globino do izoterme 30°C, 50°C, 75°C, 100°C, 125°C in 150°C, izdelane v okviru projekta DARLINGe (2019).	14

Table of figures

Figure 1: Disclaimer when entering the 3D viewer.	17
Figure 2: Basic view of 3D viewer.	17
Figure 3: Temperature maps of GeoMol project (2014).	22
Figure 4: Temperatures on the top of pre-neogene basement, prepared in Transenergy project (2013).	23
Figure 5: Temperatures at a depth of 1000 m, 2500 m and 5000 m and the expected depth to the 50°C, 100°C and 150°C isotherm, prepared in the Transenergy project (2013).	24
Figure 6: Simulated temperatures at the bottom of the delta front of the Mura Fm, created within the ARSO project (Rman and Šram, 2020).	24
Figure 7: Temperature maps of depths of 100 m, 250 m, 500 m, 1000 m, 1500 m, 2000 m, 2500 m, 3000 m, 4000 m and 5000 m, prepared at the GeoZS.	26
Figure 8: Map of temperature distribution on the surface of solid ground, prepared at the GeoZS.	26
Figure 9: Maps of the expected depth to the 50°C, 100°C and 150°C isotherm, prepared at the GeoZS.....	26
Figure 10: Maps of expected depth to the 30°C, 50°C, 75°C, 100°C, 125°C and 150°C isotherms, prepared as part of the DARLINGe project (2019).	28

1 Uvod

Eden izmed pomembnih dejavnikov za razvoj rabe geotermalne energije v Sloveniji je ocena dostopnosti razpoložljivih pod površinskih podatkov, s pomočjo katere je sploh možno opredeliti območja z geotermalnim potencialom in ugotavljati, kje so potrebne še nadaljnje raziskave. Zahvaljujoč številnim evropskim projektom smo v zadnjem desetletju ustvarili več baz podatkov in portalov z javno dostopnimi podatki o geotermalni energiji. Zato smo v sklopu projekta INFO-GEOTHERMAL na GeoZS s pomočjo inovativnih EGD I orodij in v sodelovanju s PGI-NRI združili obstoječe in javno dostopne 3D geološke in temperaturne podatke ter objavili 3D digitalni geološki in geotermalni model SV Slovenije, kjer so na voljo vsakomur in v preprosti, vizualno privlačni obliki.

2 Podatki o modelu / Metapodatki

3D digitalni geološki in geotermalni model SV Slovenije smo pripravili s pomočjo spletnih orodij, ki omogočajo, da lahko vsak posameznik sam preveri globino in temperaturo rezervoarja na izbrani lokaciji. Območje SV Slovenije predstavlja neogenski Mursko-Zalski sedimentacijski bazen s velikim geotermalnim potencialom. Digitalni model predstavlja integracijo in vizualizacijo arhivskih podatkov, zbranih na Geološkem zavodu Slovenije, in najnovejših informacij o geološki zgradbi in temperaturnih razmerah v različnih globinah, raziskanih v sklopu različnih slovenskih in evropskih projektov (navedeni v referencah). Prikazani sloji se zaradi različnih izhodišč priprave modelov lahko razlikujejo, zato je za oceno zanesljivosti potrebno upoštevati osnovno literaturo in namen modela (glej referenco za posamezni sloje modela, včasih je opisana tudi validacija). Uporabljeni so sloji iz projektov GeoMOL, TRANSENERGY, DARLINGe, arhiva GeoZS in ARSO matematičnega modela.

Na pregledovalniku je na voljo več temperaturnih kart oziroma izračunov iz njih, povezanih z oceno globokega geotermalnega potenciala, in orodje za lokacijsko poizvedbo. Prikazani modeli so regionalnega značaja, zato so primerni za pred-investicijsko, orientacijsko študijo potenciala globoke geotermalne energije in ne za natančno lociranje novih globokih vrtin. Pri interpretaciji podatkov upoštevajte, da so pripravljeni v merilu 500 m × 500 m × 50 m in niso točkovno natančni.

Kontakt: Geološki zavod Slovenije, Oddelek podzemne vode – hidrogeologija, Dimičeva ulica 14, 1000 Ljubljana, Slovenija

Kontaktna oseba: doc. dr. Nina Rman, univ. dipl. inž. geol. (nina.rman@geo-zs.si) ali mag. Andrej Lapanje, univ. dipl. inž. geol. (andrej.lapanje@geo-zs.si).

Datum objave pregledovalnika: 30. 4. 2024

Citiranje pregledovalnika: Lapanje, A., Małolepszy, Z., Adrinek, S., Kumelj, Š., Atanackov, J., Rman, N., 2024: Digitalna baza podatkov 3D geotermalnega modela SV Slovenije. Ljubljana, Geološki zavod Slovenije. Dostopno na povezavi: <https://geo3d.pgi.gov.pl/Slovenia/index.html> (povzeto dne DD.MM.YYY).

Izjava o omejitvi odgovornosti: Podatki so dostopni pod Creative Commons - Attribution 4.0 International (CC BY 4.0) licenco (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0>). Regionalni 3D geološki in geotermalni podatki, prikazani v pregledovalniku, so izdelani na osnovi arhivskih podatkov, zbranih na Geološkem zavodu Slovenije v okviru več projektov, kjer je Geološki zavod Slovenije sodeloval in interpretiral informacije o podzemlju za slovensko območje. Natančnost podatkov posameznega projekta je odvisna od natančnosti in gostote podatkovnih

točk, strokovnega geološkega znanja, kompleksnosti raziskanega območja ter namena priprave sloja. To je razlog, da lahko njihova vsebina oziroma informacija odstopa od trenutnega védenja in realnega stanja. Vsebine ne nadomeščajo podrobnih študij in niso namenjene podrobnemu načrtovanju za izgradnjo novih globokih vrtin ter ne nadomeščajo dovoljenj s strani pristojnih pravnih organov. Informacije, pridobljene s 3D pregledovalnika, predstavljajo model in ne popolne realnosti! Novi podatki o podzemlju in tehnični razvoj lahko spremenijo model, zato nadaljnja uporaba teh podatkov in zaključki niso odgovornost projektne skupine. Reference posameznih plasti, pridobljene iz rezultatov projektov, so navedene pri razlagi strukture. Projektna skupina ne prevzema nobene odgovornosti za škodo, povzročeno zaradi neprimerne uporabe predstavljenih vsebin.

Povezava do metapodatkov: Metapodatkovni opis 3D digitalnega geotermalnega modela SV Slovenije se nanaša na vsebino, strukturo, kvaliteto, lastništvo, distribucijo, tehnologijo, namen, uporabnost in druge elemente, ki so pomembni za pravilno interpretacijo oziroma uporabo podatkov geotermalnega modela. Metapodatkovni opis se nahaja na spletnem portalu Geološkega zavoda Slovenije eGeologija, dostopen je na povezavi: <https://egeologija.si/geonetwork/srv/slv/catalog.search#/metadata/663b80b8-31d3-498c-8336-60b6900d93fb>

3 Opis portala EGDI in 3D pregledovalnika

EGDI je Evropska geološka podatkovna infrastruktura Zveze evropskih geoloških zavodov (EuroGeoSurveys – EGS). Zagotavlja dostop do vseevropskih in nacionalnih zbirk geoloških podatkov in storitev evropskih geoloških zavodov. EGDI je osrednji element v prizadevanjih EGS za vzpostavitev geološke službe za Evropo.

EGDI omogoča dostop do več kot 800 slojev zemljevidov in velikega števila dokumentov (poročila, slike, preglednice itd.). Na voljo je tudi zbirka podatkov za 3D geološke modele. Sloje je mogoče prikazati na zemljevidih (ang. EGDI map viewer, dostopno na povezavi: <https://www.europe-geology.eu/data-and-services/map-viewer/>), vse informacije pa je mogoče poiskati v prostem besedilnem iskalniku. Številni znanstveni izrazi so dokumentirani v slovarju, obstaja pa tudi večjezični tezaver ključnih besed, ki se uporablja v iskalniku in za iskanje slojev v povezanem katalogu metapodatkov.

Podatki 3D geotermalnega modela Slovenije se nahajajo v EGDI 3D bazi, ki so preko spletnih servisov vidni na 3D pregledovalniku Poljskega geološkega zavoda. Več informacij v povezavi z geološkim modeliranjem in interaktivnim 3D pregledovalniku geoloških struktur je dostopnih na povezavi <https://geo3d.pgi.gov.pl/en>.

4 Navodila uporabnikom za uporabo »Digitalne baze podatkov 3D geotermalnega modela SV Slovenije«

Glavna prednost 3D pregledovalnika »Digitalne baze podatkov 3D geotermalnega modela SV Slovenije« je lokacijsko iskanje preko uporabe topografske karte oziroma preko funkcije »Vrtina«, kamor vpišemo željeno koordinato (državni koordinatni sistem D96TM).

Ob vstopu se prikaže »Izjava o omejitvi odgovornosti« in način citiranja 3D spletnega pregledovalnika (Slika 1), ki za nadaljevanje dela z aplikacijo zahteva našo potrditev (»Razumem«).

Digitalna baza podatkov 3D geotermalnega modela SV Slovenije SL

Izjava o omejitvi odgovornosti:

Podatki so dostopni pod Creative Commons - Attribution 4.0 International (CC BY 4.0) licenco (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0>).

Regionalni 3D geološki in geotermalni podatki, prikazani v pregledovalniku projekta INFO-GEOTHERMAL, so izdelani na osnovi arhivskih podatkov, zbranih na Geološkem zavodu Slovenije v okviru več projektov, kjer je Geološki zavod Slovenije sodeloval in interpretiral informacije o podzemlju za slovensko območje. Geološki modeli so litostratigrafski, brez opredelitve tektonskih struktur, kar lahko vpliva na prepustnost kamnin.

Natančnost podatkov posameznega projekta je odvisna od natančnosti in gostote podatkovnih točk, strokovnega geološkega znanja, kompleksnosti raziskanega območja ter namena priprave sloja. To je razlog, da lahko njihova vsebina oziroma informacija odstopa od trenutnega vedenja in realnega stanja. Vsebine ne nadomeščajo podrobnih študij in niso namenjene podrobnemu načrtovanju za izgradnjo novih globokih vrtin ter ne nadomeščajo dovoljenj s strani pristojnih pravnih organov.

Informacije, pridobljene s 3D pregledovalnika, predstavljajo model in ne popolne realnosti! Novi podatki o podzemlju in tehnični razvoj lahko spremenijo model, zato nadaljnja uporaba teh podatkov in zaključki niso odgovornost projektne skupine. Reference posameznih plasti, pridobljene iz rezultatov projektov, so navedene pri razlagi strukture. Projektna skupina ne prevzema nobene odgovornosti za škodo, povzročeno zaradi neprimerne uporabe predstavljenih vsebin.

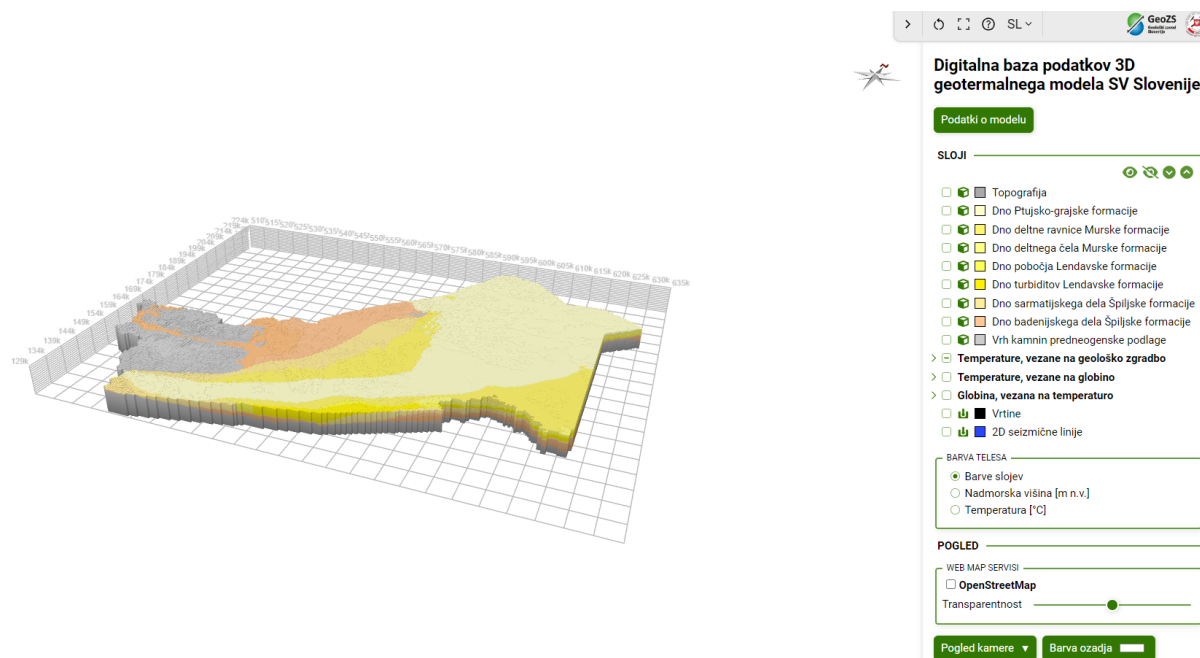
Referenca: Lapanje, A., Malolepszy, Z., Adrinek, S., Kumej, Š., Atanackov, J., Rman, N., 2024: Digitalna baza podatkov 3D geotermalnega modela SV Slovenije, projekt INFO-GEOTHERMAL. Ljubljana, Geološki zavod Slovenije. Dostopno na povezavi: <https://geo3d.pgi.gov.pl/Slovenia/index.html> (citirano dne DD.MM.YYYY).

Kliknite "Razumem", če razumete zgoraj navedeno in želite nadaljevati.

Razumem

Slika 1: Izjava ob vstopu v Digitalno bazo podatkov 3D geotermalnega modela SV Slovenije.

Po sprejemu »Izjave o omejitvi odgovornosti« na uvodnem obvestilu se odpre osnovna stran pregledovalnika (Slika 2), ki ob zagonu prikazuje litostratigrafijo ozemlja, izdelanega v okviru projekta GeoMol (2014).



Slika 2: Osnova stran Digitalne baze podatkov 3D geotermalnega modela SV Slovenije.

Zgoraj desno spletni pregledovalnik prikazuje osnovne funkcionalnosti, od leve proti desni, »Skrij«, »Ponastavi«, »Celoten zaslon«, »Pomoč« in »Jezik«.



Pod osnovnimi funkcionalnostmi se nahaja gumb »Podatki o modelu«, kjer so povzete osnovne informacije o vsebini modela skupaj z referencami, kontaktno osebo, načinom citiranja, pogoji uporabe prikazanih podatkov in povezava do metapodatkovnega opisa.

Podatki o modelu

Nadalje pregledovalnik omogoča izbiro slojev v polju »SLOJ«, prikazanih v obliki volumnov (ang. Voxel) oziroma slojev. Po potrebi iz spustnega seznama zamenjamo izbiro sloja. Posameznim slojem nato v polju »BARVA TELES« spreminjamo željeno lastnost.

BARVA TELES

- ☒ Barve slojev
- ☐ Nadmorska višina [m n.v.]
- ☐ Temperatura [°C]

V polju »POGLED«, lahko s pomočjo funkcije »WEB MAP SERVISI« uporabimo »OpenStreetMap«, ki omogoča pogled in izbiro željene lokacije preko pregledne topografske karte, skupaj s prikazom večjih krajev. Slednjem sloju lahko po potrebi spreminjamo prosojnost »Transparentnost«.

WEB MAP SERVISI

☒ OpenStreetMap

Transparentnost

V polju »POGLED« lahko izbiramo med »Pogled kamere«, ki omogoča samodejen zasuk območja kot želimo, in pa »Barva ozadja«, s čimer lahko spremenimo barvo ozadja 3D pregledovalnika.

POGLED

Pogled kamere Barva ozadja

Pokaži vse

Od zgoraj

Spodaj

Od severa

Od juga

Od vzhoda

Od zahoda

Ponastavi pogled

Pri polju »FUNKCIJE« imamo možnost uporabe »Vertikalnega previšanja«, kar pomeni, da lahko slojem zvišamo oziroma znižamo razmerje globine s pomočjo drsnika ali z vpisom željenega faktorja desno od drsnika.

VERTIKALNO PREVIŠANJE

Druga funkcija je izdelava »Prečnega prereza«, kje lahko profil naredimo glede na »X-os«, »Y-os« ali »Z-os« s pomočjo uporabe drsnika. Ustvarjen pogled lahko nadalje obrnemo za 180° s pomočjo gumba »Obratno«. V kolikor želimo prečni profil po svojih željah uporabimo opcijo »Poljubna črta«. Kadar pregledujemo prečne profile, lahko istočasno ustvarimo tudi prerez vrtnice za lokacijo na prečnem profilu. To storimo tako, da hkrati z vklopom gumba »Poljubna črta«, vključimo tudi gumb »Vrtina« in se premikamo po ustvarjenem prečnem profilu ali vpišemo željene koordinate vrtnice na prečnem profilu.

PREČNI PREREZI

X-os

Y-os

Z-os

Poljubna črta

Tretja funkcija »Razišči model« omogoča preko gumba »Povleci objekte navzgor/navzdol« pregled prikazanih slojev tako, da se jim zviša razdalja po Z osi. S klikom na gumb »Ponastavi objekte« se vrnemo na predhodno stanje pogleda.

RAZIŠČI MODEL

Povleci objekte navzgor/navzdol

Ponastavi objekte

Na voljo so tudi še 4 druge funkcije:

1. »Vrtina«: S to funkcijo se ustvari poljubno vrtino s klikom na posamezen sloj ali z vpisom željenih koordinat in klikom na gumb »Potrdi«. Profil vrtine se ustvari na levi strani pregledovalnika skupaj z legendo slojev. Z dodatnim klikom na gumb »Prikaži globino« lahko preklapljamo med nadmorsko višino (m) in globino (m).

Vrtina

5166867.5

N

558505.4

E

Potrdi
ali
oddaj

2. »Koordinatna mreža«: S tem gumbom lahko vključimo ali izključimo prikaz koordinatne mreže.

Koordinatna mreža

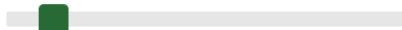
3. »Izolinije«: Z desnim klikom na miški in sočasno potrditvijo gumba na tipkovnici »Ctrl« se nam vklopijo izolinije, ki jih po potrebi gostimo s pomočjo drsnika. Ko želimo izolinije izklopiti, ponovno pritisnemo desni klik miške in gumb na tipkovnici »Alt«.

Izolinije

Razdalja (m) 310

Debelina

0.5



4. »Postavitev tiska«: Pri vklopu funkcije se nam odpre novo okno, ki omogoča prenos trenutne slike zaslona v obliki pdf dokumenta.

Postavitev tiska

5 Vsebinski opis »Digitalne baze podatkov 3D geotermalnega modela SV Slovenije«

5.1 Zbrani podatki

Digitalni model predstavlja sintezni prikaz najnovejših informacij o geološki zgradbi in temperaturnih razmerah v podzemlju SV Slovenije, raziskanem v sklopu več nacionalnih in evropskih projektov (navedeni v referencah). Posamezni temperaturni sloji so ločeni v tri skupine podatkov in nadalje glede na projekt, v katerem so bili podatki pridobljeni oziroma interpretirani. Posamezni geološki sloji so povzeti iz rezultatov projekta GeoMol, in so prikazani skupaj s temperaturnim slojem v 1. skupini podatkov.

Temperature, interpolirane v okviru projekta GeoMol, vključujejo temperaturo deltna ravnice Murske formacije (za opise geoloških formacij glej članek Šram in sod. 2015), deltnega čela Murske formacije in predneogenske podlage. Temperature ostalih prikazanih geoloških plasti so bile interpolirane v okviru tega projekta s pomočjo statističnega modeliranja. Uporabljena je bila linearna interpolacija med vhodnimi podatki na omenjenih slojih. Predpostavlja, da temperatura narašča linearno z globino glede na geotermalni gradient, ki ga omejujejo vhodni sloji temperatur.

Posamezni geološki sloji so povzeti iz rezultatov projekta GeoMol (2014) in projekta ARSO (2020), ki prikazuje od površja navzdol naslednje plasti oziroma litologije:

Projekt GeoMol (2014)	Projekt ARSO (2020)	Projekt Transenergy (2013)
Topografija	Topografija	
Dno Ptujsko-Grajske formacije	Dno Ptujsko-Grajske formacije	
Dno deltna ravnice Murske formacije	Dno deltna ravnice Murske formacije	
Dno deltnega čela Murske formacije	Dno deltnega čela Murske formacije	
Dno pobočja Lendavske formacije	/	
Dno turbiditov Lendavske formacije	/	
Dno sarmatijskega dela Špiljske formacije		
Dno badenijskega dela Špiljske formacije	/	
Vrh kamnin predneogenske podlage	Vrh kamnin predneogenske podlage	Vrh kamnin predneogenske podlage

Posamezni temperaturni sloji so ločeni v tri skupine podatkov in nadaljnje glede na projekt, v katerem so bili podatki pridobljeni oziroma interpretirani (z izjemo projekta GeoMol, kot že omenjeno):

1. SKUPINA: Temperature, vezane na geološko zgradbo

a. Projekt GeoMOL (2014)

- i. Aluvij s Ptujsko-grajsko formacijo
- ii. Deltna ravnica Murske formacije
- iii. Deltno čelo Murske formacije
- iv. Pobočje Lendavske formacije
- v. Turbiditi Lendavske formacije
- vi. Sarmatijski del Špiljske formacije
- vii. Badenijski del Špiljske formacije
- viii. Haloška formacija
- ix. Kamnine predneogenske podlage



- b. *Projekt Transenergy (2013)*
 - i. Temperatura na vrhu predneogenske podlage
- c. *Projekt ARSO (2020)*
 - i. Temperatura na dnu Ptujsko-grajske formacije
 - ii. Temperatura na dnu deltnje ravnice Murske formacije
 - iii. Temperatura na dnu deltnega čela Murske formacije
 - iv. Temperatura na vrhu predneogenske podlage

2. SKUPINA: Temperature, vezane na globino

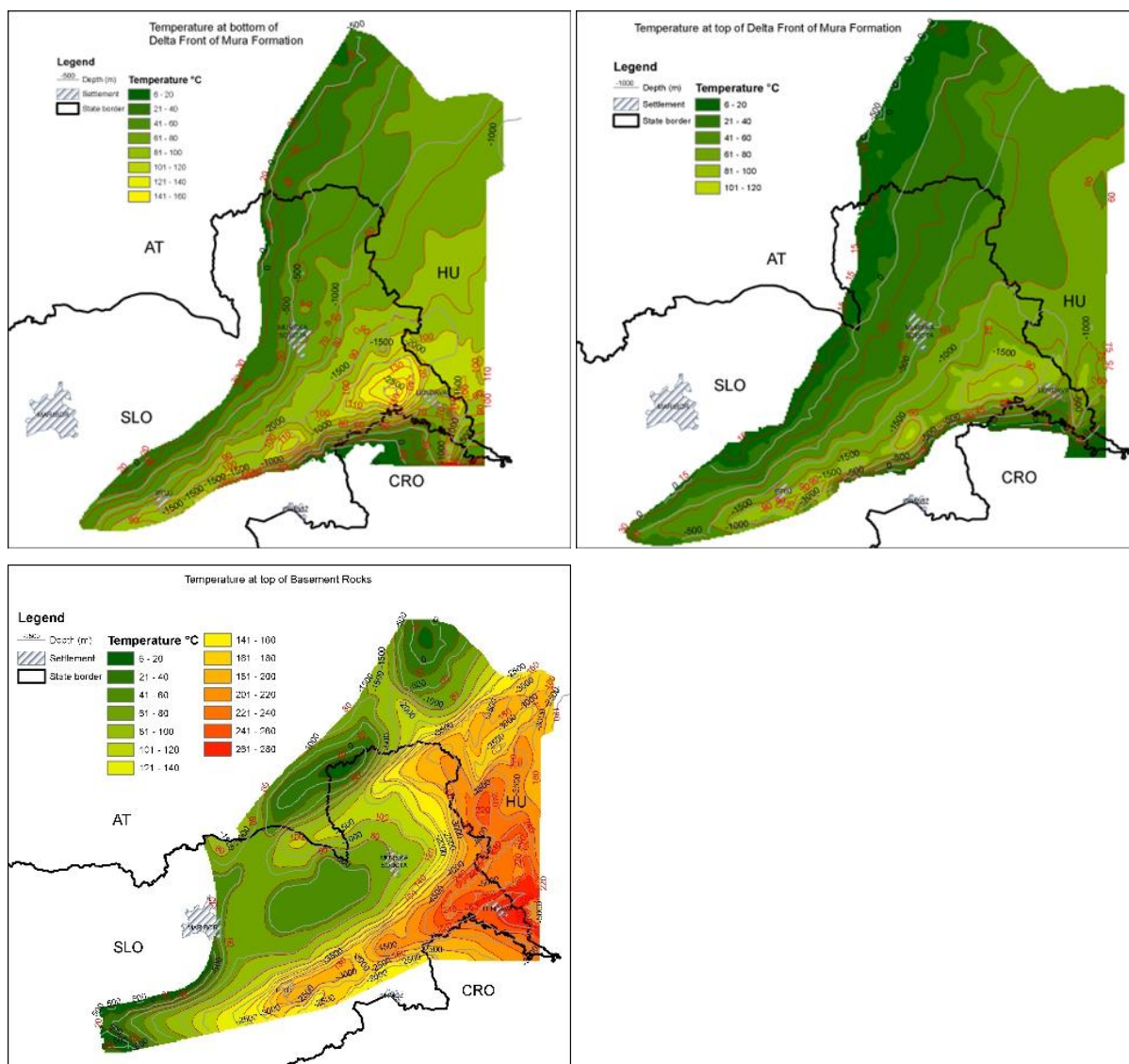
- a. *Projekt Transenergy (2013)*
 - i. Temperatura na 1000 m
 - ii. Temperatura na 2500 m
 - iii. Temperatura na 5000 m
- b. *Arhiv Geološkega zavoda Slovenije (2020)*
 - i. Temperatura na površini trdnih tal
 - ii. Temperatura na 100 m
 - iii. Temperatura na 250 m
 - iv. Temperatura na 500 m
 - v. Temperatura na 1000 m
 - vi. Temperatura na 1500 m
 - vii. Temperatura na 2000 m
 - viii. Temperatura na 2500 m
 - ix. Temperatura na 3000 m
 - x. Temperatura na 4000 m
 - xi. Temperatura na 5000 m

3. SKUPINA: Globina, vezana na temperaturo

- a. *Projekt Transenergy (2013)*
 - i. Globina s temperaturo podzemlja 50°C
 - ii. Globina s temperaturo podzemlja 100°C
 - iii. Globina s temperaturo podzemlja 150°C
- b. *Projekt DARLINGe (2019)*
 - i. Globina s temperaturo podzemlja 30°C
 - ii. Globina s temperaturo podzemlja 50°C
 - iii. Globina s temperaturo podzemlja 75°C
 - iv. Globina s temperaturo podzemlja 100°C
 - v. Globina s temperaturo podzemlja 125°C
 - vi. Globina s temperaturo podzemlja 150°C
- c. *Arhiv Geološkega zavoda Slovenije (2020)*
 - i. Globina s temperaturo podzemlja 50°C
 - ii. Globina s temperaturo podzemlja 100°C
 - iii. Globina s temperaturo podzemlja 150°C

5.2 Reference

Projekt GeoMol ([Internet 1](#)) – Partnerji iz Avstrije, Francije, Nemčije, Italije, Slovenije in Švice so pripravili podatke o geoloških strukturah nemške molase, Padske nižine in SV Slovenije, z namenom, da bi jih uporabili pri skupnem upravljanju s čezmejnimi geotermalnimi vodonosniki (Slika 3).

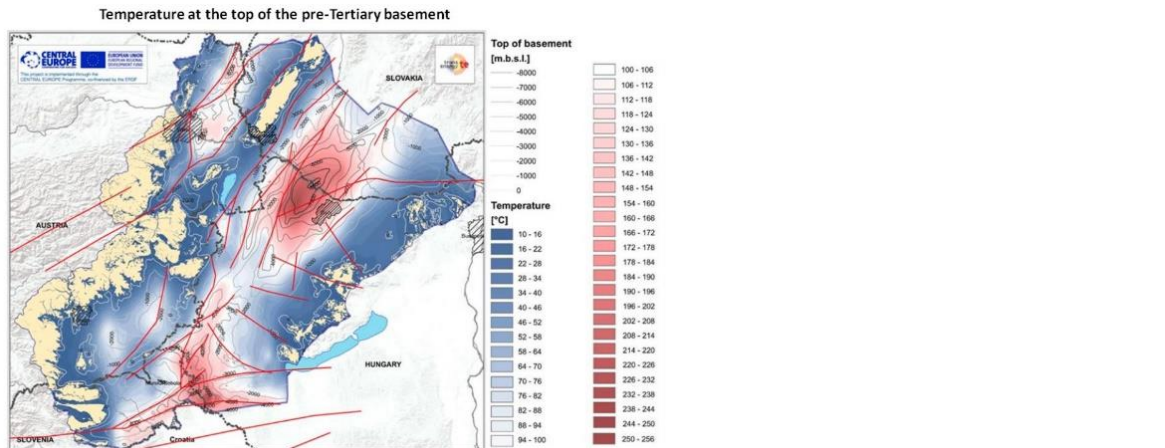


Slika 3: Temperaturne karte projekta GeoMol (2014).

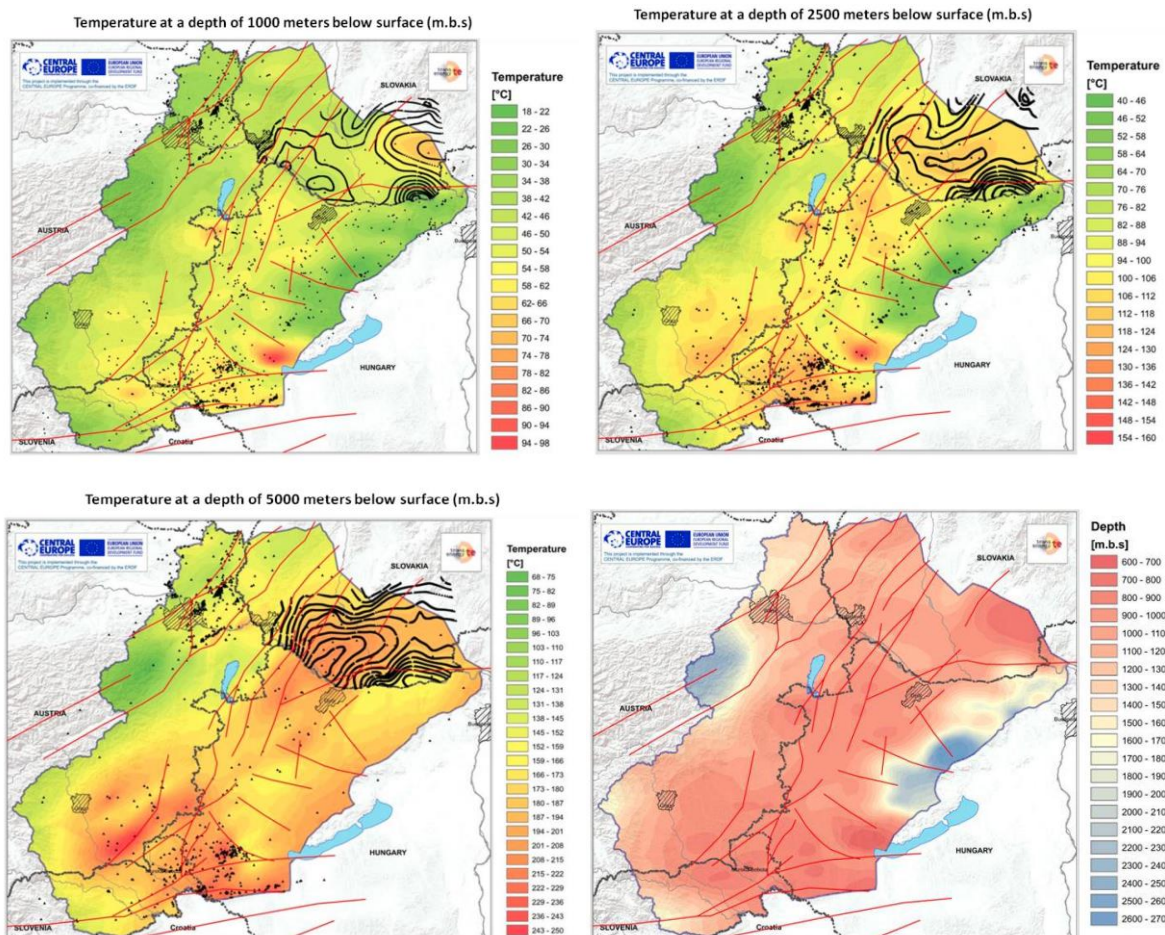
Allenbach, R., Baumberger, R., Bottig, M. in sod. 2015. GeoMol - assessing subsurface potentials of the Alpine foreland basins for sustainable planning and use of natural resources : project report. Augsburg: Bayerisches Landesamt für Umwelt: = Bavarian Environment Agency, 188 pp.

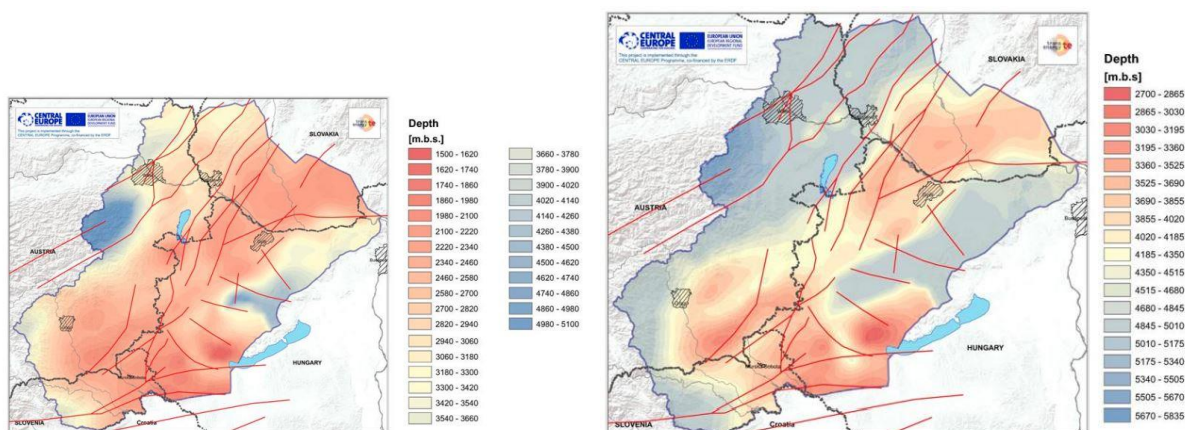
Internet 1: Spletna stran projekta GeoMol, dostopna na povezavi https://www.geomol.eu/home/index_html. Citirano dne: 24. 4. 2024.

Projekt Transenergy ([Internet 2](#)) – Projekt se je ukvarjal s čezmejnimi viri geotermalne energije Slovenije, Avstrije, Madžarske in Slovaške. Pri tem so izdelali orodje za spodbujanje večje, a hkrati tudi trajnostne rabe geotermalnih virov (Slika 4, Slika 5).



Slika 4: Temperature na dnu predneogenske podlage, pripravljene v okviru projekta Transenergy (2013).





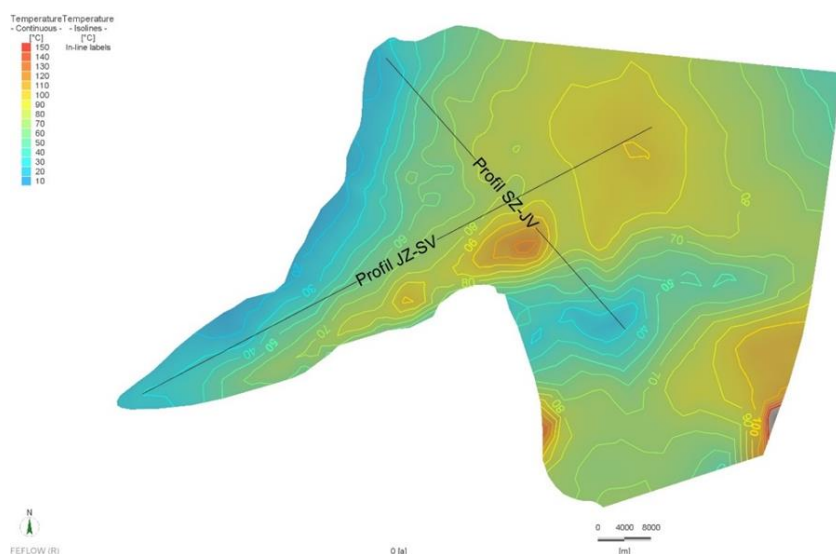
Slika 5: Temperature na globini 1000 m, 2500 m in 5000 m ter pričakovana globina do izoterme 50°C, 100°C in 150°C, pripravljene v okviru projekta Transenergy (2013).

Goetzl, G., Zekiri, F., Hoyer, S., Lenkey, L., Švasta, J. Rajver, D. 2012: Summary Report „Geothermal Models at Supra-Regional Scale“. Poročilo Transenergy projekta. Dostopno na: <http://transenergy-eu.geologie.ac.at/>. (podatki pridobljeni 23. 11. 2023).

Internet 2: Spletna stran projekta Transenergy, dostopna na povezavi <http://transenergy-eu.geologie.ac.at/>. Citirano dne 24. 4. 2024.

TRANSENERGY team. 2014. Layers Geothermal Potential on the Web Map by Transenergy - Transboundary Geothermal Energy Resources of Slovenia, Austria, Hungary and Slovakia EN. Dostopno na <http://transenergy-eu.geologie.ac.at/>. (podatki pridobljeni 23.11.2023).

Projekt ARSO model (Rman in Šram, 2020; Rman in sod., 2023) – Projekt postavitve in nadgradnje »Državnega hidrogeološkega črpalnega matematičnega modela toka podzemne vode in prenosa toplote v globokem geotermalnem telesu podzemne vode v severovzhodni Sloveniji« (Slika 6).

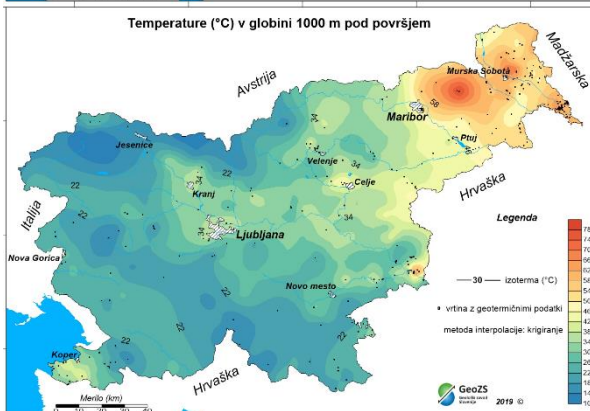
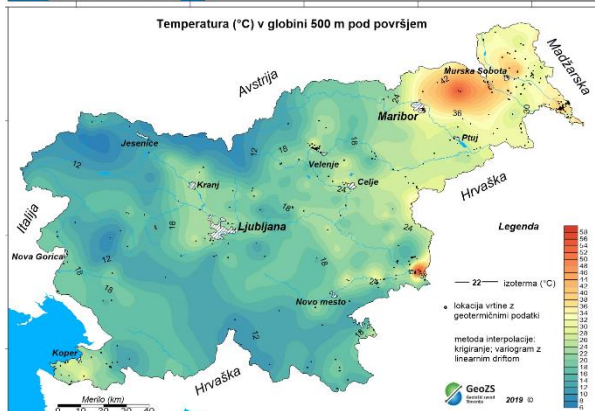
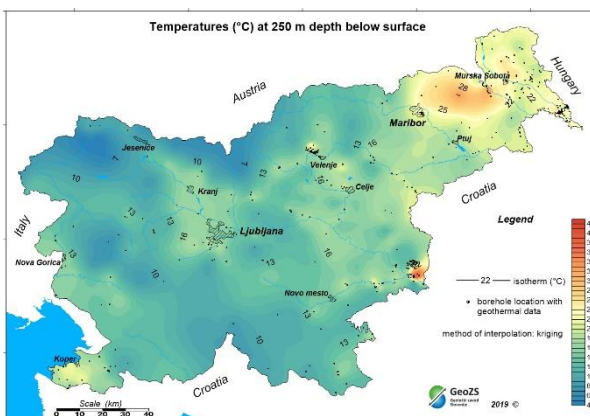
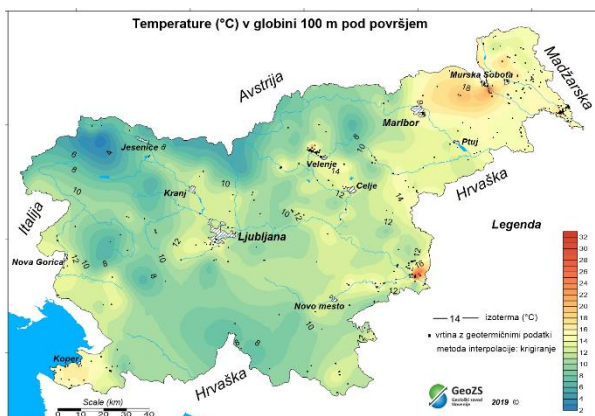


Slika 6: Simulirane temperature na dnu delnega čela Murske formacije, nastale v okviru ARSO projekta (Rman in Šram, 2020).

Rman, N., Šram, D. 2020. Hidrogeološki matematični model prenosa toplote v globokem geotermalnem telesu podzemne vode severovzhodne Slovenije – novelacija modela v letu 2020, Geološki zavod Slovenije, Ljubljana.

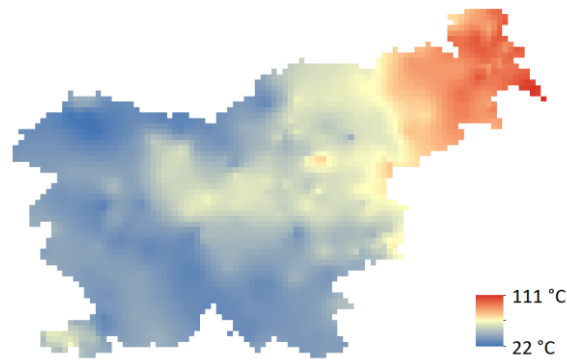
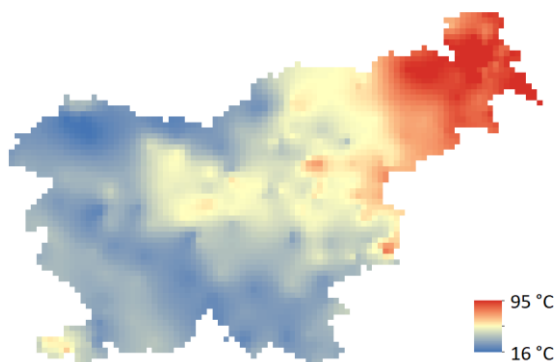
Rman, N., Adrinek, S., Lapanje, A. 2023. Hidrogeološki matematični model prenosa toplote v globokem geotermalnem telesu podzemne vode severovzhodne Slovenije – novelacija modela v letu 2023, Geološki zavod Slovenije, Ljubljana.

Arhiv Geološkega zavoda Slovenije (GeoZS) ([Portal eGeologija](https://portal.egeologija.si/)) – Preko različnih državnih in evropskih nalog GeoZS vodi in posodablja podatke o temperaturi podzemlja v Sloveniji in jih vsako leto prikazuje v obliki posodobljenih kart, dostopnih na portalu eGeologija (Slika 7, Slika 8 in Slika 9).

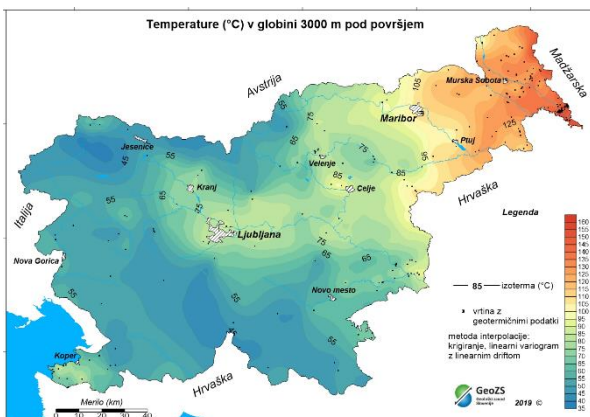
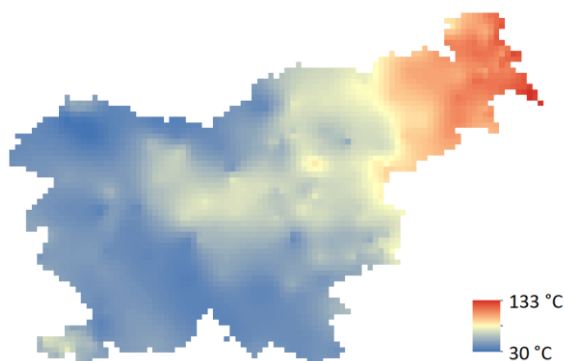


Temperatura (°C) v globini 1500 m pod površjem

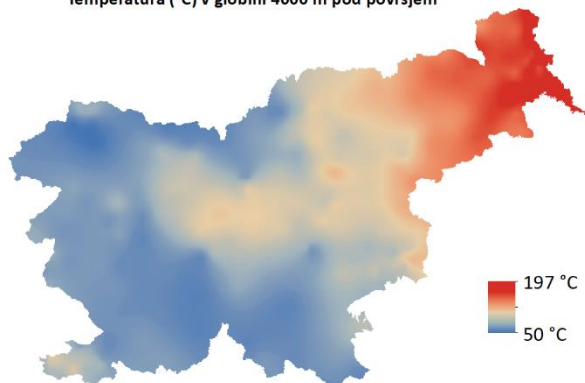
Temperatura (°C) v globini 2000 m pod površjem



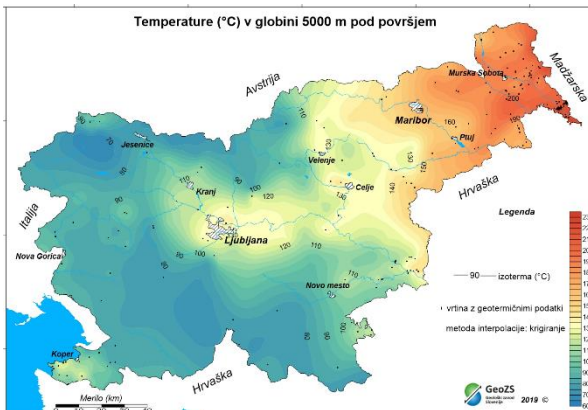
Temperatura (°C) v globini 2500 m pod površjem



Temperatura (°C) v globini 4000 m pod površjem

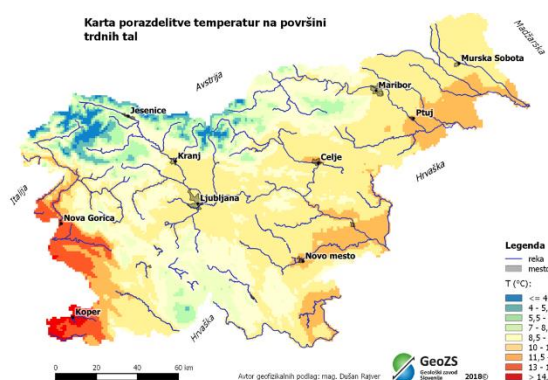


Temperature (°C) v globini 5000 m pod površjem



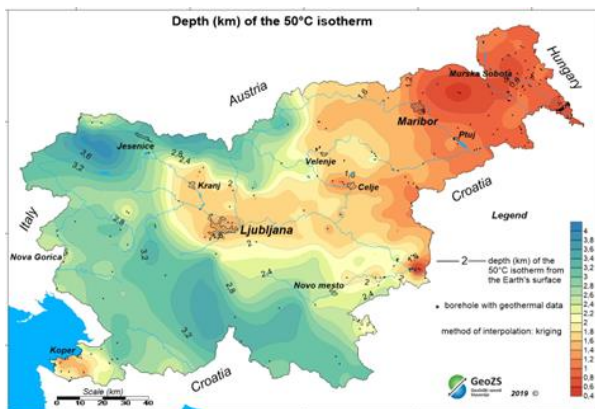
Slika 7: Temperaturne karte globin 100 m, 250 m, 500 m, 1000 m, 1500 m, 2000 m, 2500 m, 3000 m, 4000 m in 5000 m, izdelane na Geološkem zavodu Slovenije.

Karta porazdelitve temperatur na površini trdnih tal

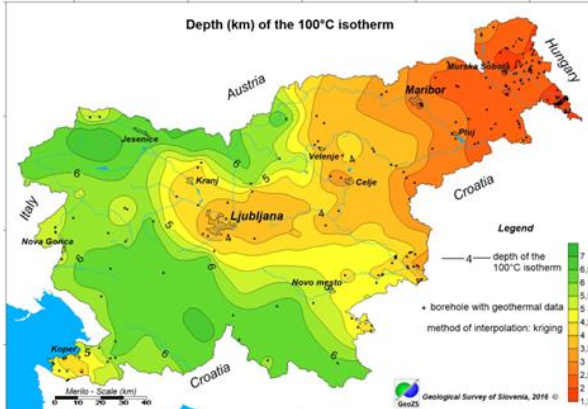


Slika 8: Karta porazdelitve temperatur na površini trdnih tal, izdelana na Geološkem zavodu Slovenije.

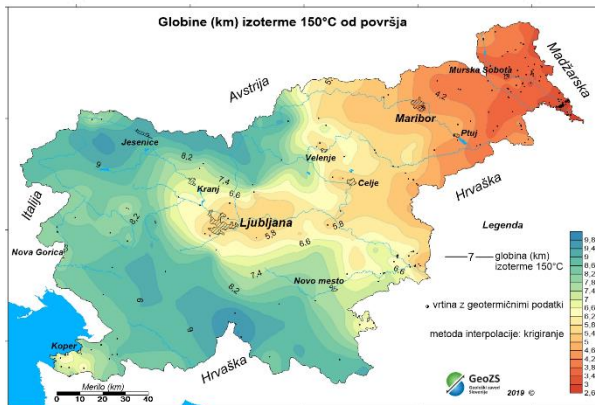
Depth (km) of the 50°C isotherm



Depth (km) of the 100°C isotherm



Globine (km) izoterme 150°C od površja



Slika 9: Karte pričakovane globino do izoterme 50°C, 100°C in 150°C, izdelane na Geološkem zavodu Slovenije.

Rajver, D., Janža, M., Lapanje, A. 2012. Karta pričakovanih temperatur v globini 100 m. Geološki zavod Slovenije, Ljubljana. Dostopno na spletni povezavi: <https://egeologija.si/geonetwork/srv/slv/catalog.search#/metadata/c03497ab-a7ec-4952-9222-06bf3f2dcae9>

Rajver, D., Janža, M., Lapanje, A. 2012. Karta pričakovanih temperatur v globini 500 m. Geološki zavod Slovenije, Ljubljana. Dostopno na spletni povezavi: <https://egeologija.si/geonetwork/srv/slv/catalog.search#/metadata/36a851e6-0784-4e3f-a23c-85d7ca582230>

Rajver, D., Janža, M., Lapanje, A. 2012. Karta pričakovanih temperatur v globini 1000 m. Geološki zavod Slovenije, Ljubljana. Dostopno na spletni povezavi: <https://egeologija.si/geonetwork/srv/slv/catalog.search#/metadata/f5dc2716-bc26-439a-a0bb-9e220135e59c>

Rajver, D., Janža, M., Lapanje, A. 2012. Karta pričakovanih temperatur v globini 2000 m. Geološki zavod Slovenije, Ljubljana. Dostopno na spletni povezavi: <https://egeologija.si/geonetwork/srv/slv/catalog.search#/metadata/80f49f4d-5611-4759-b63f-45ee88008665>

Rajver, D., Janža, M., Lapanje, A. 2012. Karta pričakovanih temperatur v globini 3000 m. Geološki zavod Slovenije, Ljubljana. Dostopno na spletni povezavi: <https://egeologija.si/geonetwork/srv/slv/catalog.search#/metadata/58e26010-011f-47a4-8073-04a06d72ad4a>

Rajver, D., Janža, M., Lapanje, A. 2012. Karta pričakovanih temperatur v globini 5000 m. Geološki zavod Slovenije, Ljubljana. Dostopno na spletni povezavi: <https://egeologija.si/geonetwork/srv/slv/catalog.search#/metadata/69c810f9-a2c3-4213-b467-ad719833060e>

Rajver, D. 2018. Karta porazdelitve temperatur na površini trdnih tal. Geološki zavod Slovenije, Ljubljana. Dostopno na spletni povezavi: <https://egeologija.si/geonetwork/srv/slv/catalog.search#/metadata/1c5e682c-41e3-44a2-bfa5-8e236d78fe61>

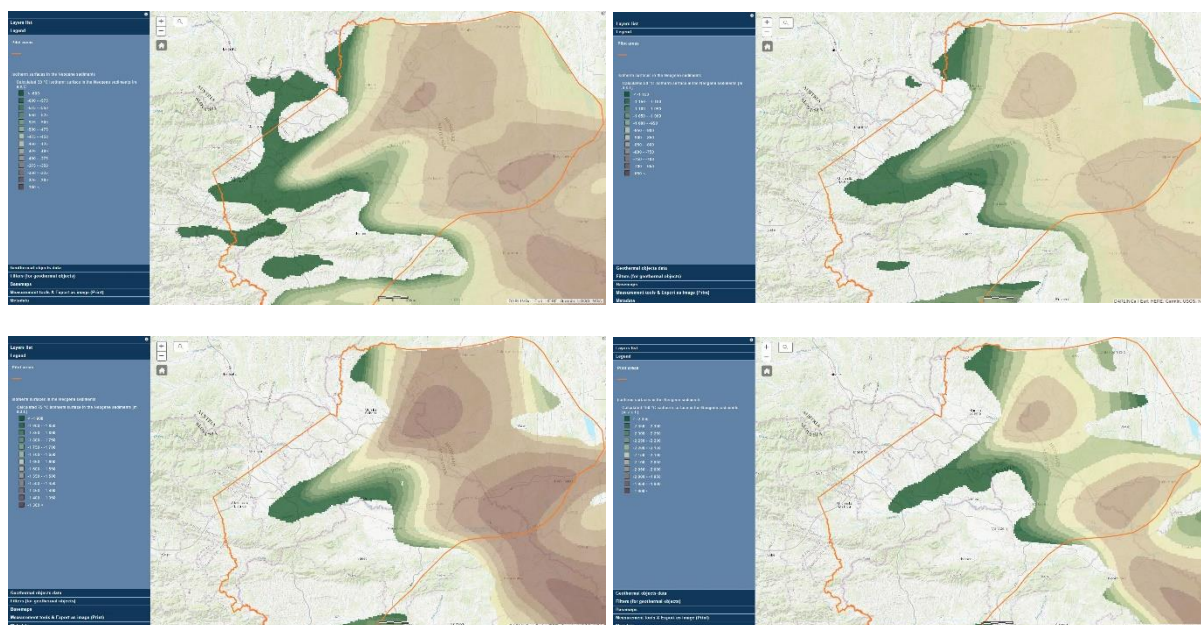
Rajver, D. 2018: Pričakovane temperature v globinah 4000 m. V: NOVAK, Matevž (ur.), RMAN, Nina (ur.). Geološki atlas Slovenije. Ljubljana: Geološki zavod Slovenije, 30-31.

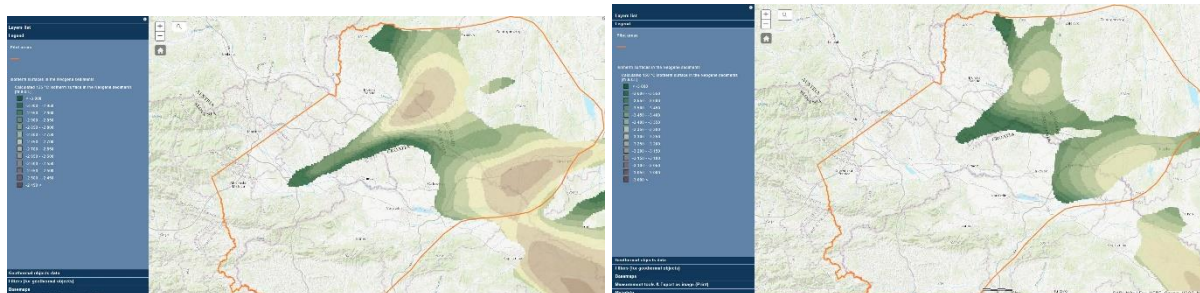
Rajver, D. 2020. Karta pričakovanih temperatur v globini 250 m, 1500 m, 2500 m (neobjavljeno). Geološki zavod Slovenije, Ljubljana.

Rajver, D. 2020. Karta pričakovane globine do izoterme 100 °C (neobjavljeno). Geološki zavod Slovenije, Ljubljana.

Rajver, D. 2018: Pričakovane globine izoterm 50 °C in 150 °C = Expected depths of the 50 °C and 150 °C isotherms. V: NOVAK, Matevž (ur.), RMAN, Nina (ur.). Geološki atlas Slovenije = Geological atlas of Slovenia. Ljubljana: Geološki zavod Slovenije, 32-33.

Projekt DARLINGe (Internet 3) – Projekt je združil 15 partnerjev z geoloških raziskovalnih ustanov, univerz, industrije, regionalnih energetske in razvojnih agencij ter ministrstev in občin. Zraven se je pridružilo še 7 strateških partnerjev iz Madžarske, Slovenije, Srbije, Bosne in Hercegovine ter Romunije. Končni rezultat je pregledovalnik Danube Region Geothermal Information Platform (DRGIP), kjer so na voljo orodja za pregled geotermalnih rezervoarjev in dejanske rabe, za upravljanje s tveganji, za fazni razvoj projektov, za primerjalno analizo in pregled zakonodaje (Slika 10).





Slika 10: Karte pričakovane globino do izoterme 30°C, 50°C, 75°C, 100°C, 125°C in 150°C, izdelane v okviru projekta DARLINGe (2019).

Rotár-Szalkai, A., Maros, G., Bereczki, L. in sod. 2018. D.5.1.1. Identification, ranking and characterization of potential geothermal reservoirs. Report of DARLINGe project. MBFSZ, Mannvit, InnoGeo, GeoZS, LEAP, HGI-CGS, ZARA, IGR, Terratechnik, FMG, FZZG, GSRS. Poročilo dostopno na <https://www.interreg-danube.eu/approved-projects/darlinge/outputs>.

DARLINGe team. 2019. Danube Region Geothermal Information Platform (DRGIP) - Layers named Isotherm surfaces in the Neogene sediments. Dostopno na <https://www.darlinge.eu>. (podatki pridobljeni 23. 11. 2023).



1 Introduction

One of the most important factors for the development of the use of geothermal energy in Slovenia is the assessment of the availability of available subsurface data, with the help of which it is possible to define areas with geothermal potential and determine where further research is needed. Thanks to many European projects, we have created several databases and portals with publicly available data on geothermal energy over the last ten years. Therefore, as part of the INFO GEOTHERMAL project at GeoZS, using innovative EGD tools and in collaboration with PGI-NRI, we have combined existing and publicly available 3D geological and temperature data and published a 3D digital geological and geothermal model of north-eastern Slovenia that is available to everyone and in a simple, visually appealing form.

2 Model info / Metadata

We have created a 3D digital geological and geothermal model of northeastern Slovenia using online tools that allow each individual to check the depth and temperature of the reservoir at the selected location. The area of NE Slovenia represents the Neogene Mura-Zala sedimentary basin with great geothermal potential. The digital model represents the integration and visualization of archival data collected at the Geological Survey of Slovenia and the latest information on the geological structure and temperature conditions at various depths studied within the framework of various Slovenian and European projects (listed in the references). The displayed layers may differ due to the different starting points of modeling. For the assessment of reliability, it is therefore necessary to consider the basic literature and the purpose of the model (see the reference for the individual model layers, sometimes the validation is also described). Layers from the projects GeoMOL, TRANSENERGY, DARLINGe, the GeoZS archive and the mathematical model ARSO are used.

Several temperature maps or calculations from these relating to the assessment of deep geothermal potential, as well as a location query tool, are available in the viewer. The information displayed is regional and is suitable for pre-investment and orientation studies. It is not intended to directly locate new deep geothermal wells. When interpreting the data, it should be noted that they were created on a scale of 500 m × 500 m × 50 m and are not point-precise.

Contact: Geological Survey of Slovenia, Department of Groundwater – Hydrogeology, Dimičeva ulica 14, 1000 Ljubljana, Slovenia

Contact person: doc. dr. Nina Rman, univ. dipl. inž. geol. (nina.rman@geo-zs.si) or mag. Andrej Lapanje, univ. dipl. inž. geol. (andrej.lapanje@geo-zs.si).

Viewer publication date: 30. 4. 2024

Citation of viewer: Lapanje, A., Małolepszy, Z., Adrinek, S., Kumelj, Š., Atanackov, J., Rman, N., 2024: Digital database of 3D geothermal model of NE Slovenia. Ljubljana, Geological survey of Slovenia. Available on: <https://geo3d.pgi.gov.pl/Slovenia/index.html> (summarized on DD.MM.YYY).

Disclaimer: Data are available under the Creative Commons – Attribution 4.0 International (CC BY 4.0) license (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0>). The regional 3D geological and geothermal data displayed in the

viewer were created and gathered at the Geological Survey of Slovenia archive database as part of several projects in which the Geological Survey of Slovenia was involved and interpreted information about the subsurface for the Slovenian area. The accuracy of the data of an individual project depends on the accuracy and density of the data points, the professional geological knowledge of the modeler, the geological complexity of the investigated area and the purpose for which the individual layers were prepared. This is the reason why their content or information may differ from the current status. The contents do not replace detailed studies and are not intended for detailed planning of new deep geothermal wells and do not replace permits from the competent legal authorities. The information from the 3D viewer represents a model, not reality! New subsurface data and technical developments may change the model, so further use of this data and conclusions are not the responsibility of the project team. References of individual layers obtained from project results are given in the explanation of the structure. The project team accepts no responsibility for damage caused by inappropriate use of the content presented.

Metadata link: The metadata description of the 3D digital geothermal model of NE Slovenia refers to the content, structure, quality, ownership, distribution, technology, purpose, usability and other elements that are important for the correct interpretation or use of the geothermal model data. The metadata description can be found on the web portal of the Geological Survey of Slovenia eGeologija and can be accessed via the link:
<https://egeologija.si/geonetwork/srv/slv/catalog.search#/metadata/663b80b8-31d3-498c-8336-60b6900d93fb>

3 Description of EGDl portal and 3D viewer

EGDI is the European Geological Data Infrastructure of the Union of European Geological Surveys (EuroGeoSurveys - EEC). It provides access to pan-European and national collections of geological data and services of European geological institutes. EGDl is a central element in the EEC's efforts to establish a Geological Service for Europe.

EGDI provides access to more than 800 map layers and many documents (reports, images, spreadsheets, etc.). A database of 3D geological models is also available. The layers can be displayed on maps (EGDI map viewer, available at the link: <https://www.europe-geology.eu/data-and-services/map-viewer/>), and all information can be searched with a free text search engine. Many scientific terms are documented in the dictionary, and there is also a multilingual keyword thesaurus used in the search engine and for searching for layers in the associated metadata catalog.

The data of the 3D geothermal model of Slovenia can be found in the EGDl 3D database, which can be viewed via online services on the 3D viewer of the Polish Geological Survey. More information about geological modeling and the interactive 3D viewer for geological structures can be found at <https://geo3d.pgi.gov.pl/en>.

4 User instructions for using the "Digital database of the 3D geothermal model of NE Slovenia"

The main advantage of the 3D viewer "Digital database of the 3D geothermal model of NE Slovenia" is the location search using a topographic map or via the "Well" function, where you enter the desired coordinate (national coordinate system D96TM).

Upon entering, we are presented with a "Disclaimer" and a 3D web browser citation (Figure 1), which requires our confirmation ("I understand") to continue working with the application.

Digital database of 3D geothermal model of NE Slovenia

EN ▾

Disclaimer:

Data are available under the Creative Commons - Attribution 4.0 International (CC BY 4.0) license (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0>).

The regional 3D geological and geothermal data displayed in the viewer of project INFO-GEOTHERMAL were created and gathered at the Geological Survey of Slovenia archive database as part of several projects in which the Geological Survey of Slovenia was involved and interpreted information about the subsurface for the Slovenian area. The geological models are lithostratigraphic, without delineation of the tectonic structures that can influence the permeability of the rock.

The accuracy of the data of an individual project depends on the accuracy and density of the data points, the professional geological knowledge of the modeler, the geological complexity of the investigated area and the purpose for which the individual layers were prepared. This is the reason why their content or information may differ from the current status. The contents do not replace detailed studies and are not intended for detailed planning of new deep geothermal wells and do not replace permits from the competent legal authorities.

The information from the 3D viewer represents a model, not reality! New subsurface data and technical developments may change the model, so further use of this data and conclusions are not the responsibility of the project team. References of individual layers obtained from project results are given in the explanation of the structure. The project team accepts no responsibility for damage caused by inappropriate use of the content presented.

Reference: Lapanje, A., Malolepszy, Z., Adrinek, S., Kumelj, Š., Atanackov, J., Rman, N., 2024: Digital database of 3D geothermal model of NE Slovenia, project INFO-GEOTHERMAL. Ljubljana, Geological Survey of Slovenia. Available on: <https://geo3d.pgi.gov.pl/Slovenia/index.html> (Accessed on DD.MM.YYYY).

Click the "I understand" button if you understand the above and wish to continue.

I understand

Figure 1: Disclaimer when entering the 3D viewer.

After accepting the "Disclaimer" on the introductory notice, the main page of the web browser (Figure 2) opens, which, when launched, shows the lithostratigraphy of the area created as part of the GeoMol project (2014).

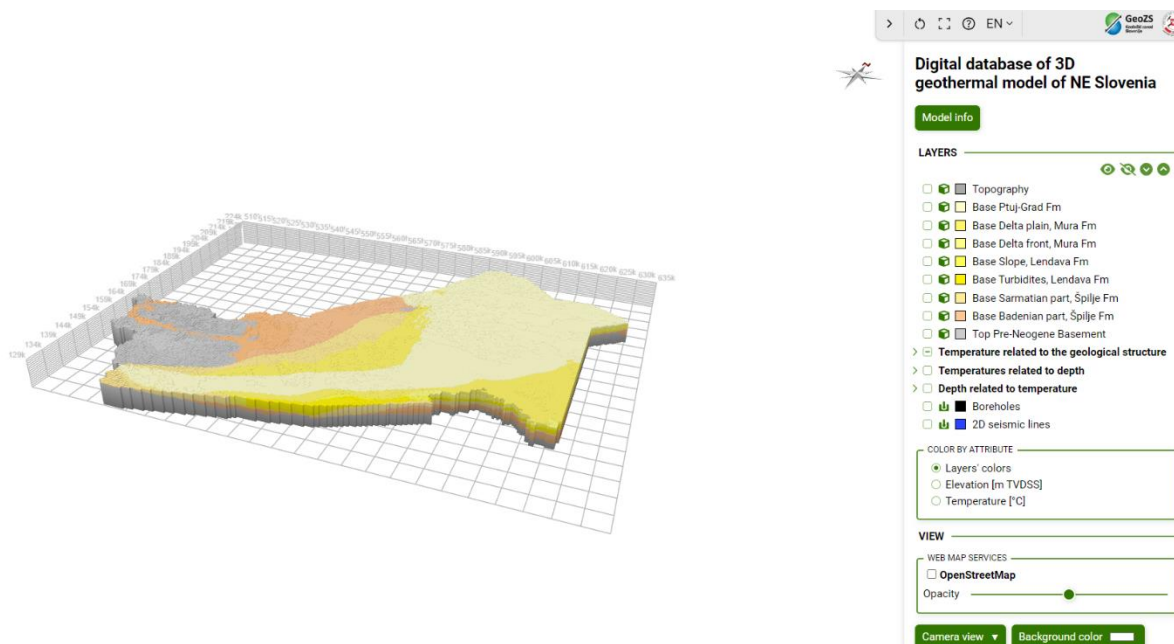


Figure 2: Basic view of 3D viewer.

At the top right, the web browser shows the basic functionalities, from left to right, "Toggle Control Panel", "Restart", "Fullscreen", "Help" and "Language".



Below the basic functionalities is the "Model info" button, which summarizes the basic information about the content of the model together with references, contact person, citation, terms of use of the displayed data and a link to the metadata description.

Model info

Furthermore, the viewer allows you to select layers in the LAYERS field. If necessary, change the layer selection from the drop-down list. Then change the desired property of each layer in the COLOR BY ATTRIBUTE field.

COLOR BY ATTRIBUTE

- ☒ Layers' colors
- ☐ Elevation [m TVDSS]
- ☐ Temperature [°C]

In the VIEW field, with the help of the WEB MAP SERVICES function, we can use "OpenStreetMap", which allows you to view and select the desired location via a transparent topographic map, together with the display of larger places. We can change the "Opacity" of the last layer if necessary.

WEB MAP SERVICES☐ OpenStreetMap

Opacity

In the VIEW field, you can choose between "Camera view", which enables the automatic rotation of the area as you want, and "Background color", which allows you to change the background color of the 3D viewer.

VIEW

Camera view ▼

Background color

In the FUNCTIONS field, we can use function "Vertical exaggeration", which means that we can increase or decrease the depth of the layers using the slider or by entering the desired factor on the right of the slider.

FUNCTIONS**VERTICAL EXAGGERATION**

1

Another function is to create a "Cross Sections" where we can make a profile according to the "X-axis", "Y-axis" or "Z-axis" by using the slider. The created view can be further rotated by 180° using the "Reverse" button. If we want a cross profile according to our wishes, use the "Arbitrary line" option. When inspecting cross profiles, we can also simultaneously create a borehole cross section for a location on the cross profile. We do this by turning on the "Arbitrary line" button and also turning on the "Borehole" button and moving along the created cross profile or entering the desired coordinates of the well on the cross profile.

CROSS SECTIONS

X-axis

Y-axis

Z-axis

Arbitrary line

The third function "Explore model" allows, via the "Drag objects up/down" button, to inspect the displayed layers by increasing their distance along the Z axis. By clicking on the "Reset objects" button, we return to the previous state of the view.

EXPLORE MODEL

Drag objects up/down

Reset objects

At the end of the toolbar, we have 4 other functions:

1. **"Borehole"**: With this function, you can create any borehole by clicking on an individual layer or by entering the desired coordinates and clicking on the **"Submit"** button. A profile is created on the left side of the viewer along with a layer legend. With an additional click on the **"Show depth"** button, we can switch between true vertical depth and measured depth.

Borehole

N E **Submit**

2. **"Coordinate grid"**: With this button, the coordinate grid can be turned on or off.

Coordinate grid

3. **"Isolines"**: By right-clicking on the mouse and pressing the **"Ctrl"** button on the keyboard at the same time, the isolines are activated, which can be adjusted using the slider if necessary. When we want to turn off the isolines, press the right mouse button again and press the **"Alt"** button on the keyboard.

Isolines

Interval (m) 200 Thickness 0.5

4. **"Printout"**: When the function is activated, a new window opens, which allows us to download the current screen image in the form of a pdf document.

Printout

5 Content of the "Digital database of the 3D geothermal model of NE Slovenia"

5.1 Collected data

The digital model represents the integration of the latest information on the geological structure and temperature conditions in the underground of NE Slovenia, researched as part of various national and European projects (listed in the references). The individual temperature layers are separated into three groups of data and further categorized according to the project in which the data were obtained or interpreted. The individual geological layers are taken from the results of the GeoMOL project and are presented together with the temperature layers in 1. group of data.

The temperatures interpolated in the scope of the GeoMol project are for the Delta plain of Mura Fm (for descriptions of the geological formations see the article Šram et al. 2016), Delta front of Mura Fm and Pre-Neogene Basement rocks. Temperatures of the other layers were created as derivatives within this project with the statistical

modelling of linear interpolation between input data on surfaces mentioned above. It assumes temperature increasing linearly with depth according to geothermal gradient delineated by bounding input surfaces.

The individual geological layers are summarized from the results of the Transenergy project (2013), GeoMol project (2014) and ARSO project (2020), which shows the following layers and lithologies from the surface down:

Project GeoMol (2014)	Project ARSO (2020)	Project Transenergy (2013)
Topography	/	/
Base Ptuj-Grad Fm	Base Ptuj-Grad Fm	/
Base Delta plain, Mura Fm	Base Delta plain, Mura Fm	/
Base Delta front, Mura Fm	Base Delta front, Mura Fm	/
Base Slope, Lendava Fm	/	/
Base Turbidites, Lendava Fm	/	/
Base Sarmatian part, Špilje Fm		
Base Badenian par, Špilje Fm	/	/
Top Pre-Neogen basement	Top Pre-Neogen basement	Top Pre-Neogen basement

Individual temperature layers are separated into three groups of data and further according to the project in which the data was obtained or interpreted (except for the GeoMol project, as already mentioned):

1. GROUP: Temperatures related to the geological structure

a. GeoMOL project (2014)

- i. Alluvium with Ptuj-Grad Fm
- ii. Delta plain of Mura Fm
- iii. Delta front of Mura Fm
- iv. Slope of Lendava Fm
- v. Turbidites of Lendava Fm
- vi. Sarmatian part of Špilje Fm
- vii. Badenian part of Špilje Fm
- viii. Haloze Fm
- ix. Pre-Neogene Basement rocks

b. Transenergy project (2013)

- i. Temperature on the top of the pre-Neogene basement

c. ARSO model project (2020)

- i. Temperature at the bottom of Ptuj-Grad Fm
- ii. Temperature at the bottom of the delta plain of the Mura Fm
- iii. Temperature at the bottom of the delta front of the Mura Fm
- iv. Temperature at the top of the pre-Neogene basement

2. GROUP: Temperatures related to depth

a. Transenergy project (2013)

- i. Temperature at 1000 m
- ii. Temperature at 2500 m
- iii. Temperature at 5000 m

b. Archive of the Geological Survey of Slovenia (2022)

- i. Temperature on the surface of solid ground
- ii. Temperature at 100 m
- iii. Temperature at 250 m
- iv. Temperature at 500 m
- v. Temperature at 1000 m
- vi. Temperature at 1500 m
- vii. Temperature at 2000 m
- viii. Temperature at 2500 m
- ix. Temperature at 3000 m
- x. Temperature at 4000 m
- xi. Temperature at 5000 m

3.GROUP: Depth related to temperature

a. Transenergy project (2013)

- i. A depth with an underground temperature of 50°C
- ii. A depth with an underground temperature of 100°C
- iii. A depth with an underground temperature of 150°C

b. Project DARLINGe (2019)

- i. A depth with an underground temperature of 30°C
- ii. A depth with an underground temperature of 50°C
- iii. A depth with an underground temperature of 75°C
- iv. A depth with an underground temperature of 100°C
- v. A depth with an underground temperature of 125°C
- vi. A depth with an underground temperature of 150°C

c. Archive of the Geological Survey of Slovenia (2022)

- i. A depth with an underground temperature of 50°C
- ii. A depth with an underground temperature of 100°C
- iii. A depth with an underground temperature of 150°C

5.2 References

GeoMol project (Internet 1) – Partners from Austria, France, Germany, Italy, Slovenia and Switzerland prepared data on the geological structures of molasses and the Po Valley, with the aim of using them in international decision-making, and made them publicly available (Figure 3).

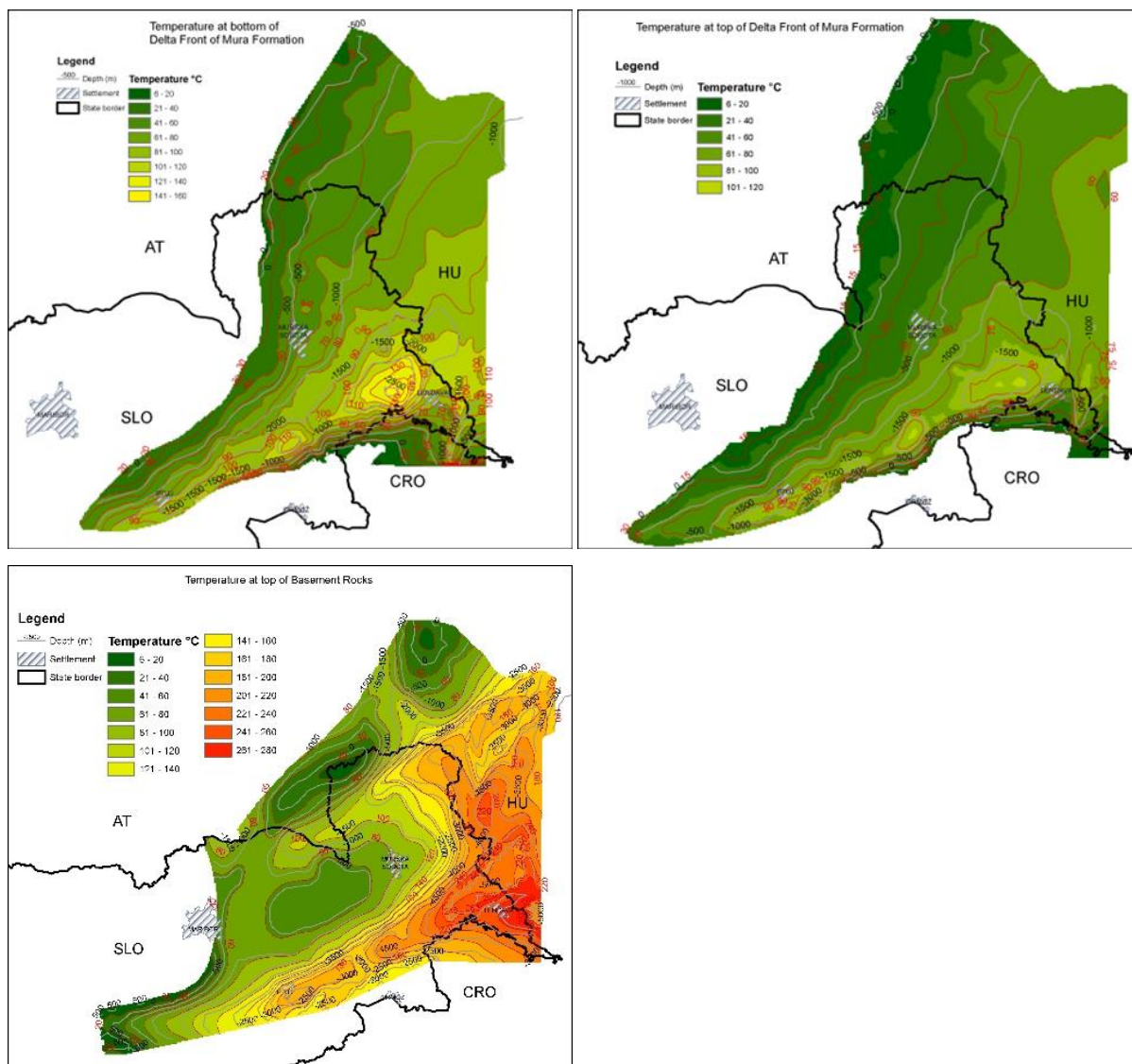


Figure 3: Temperature maps of GeoMol project (2014).

Allenbach, R., Baumberger, R., Bottig, M. in sod. 2015. GeoMol - assessing subsurface potentials of the Alpine foreland basins for sustainable planning and use of natural resources : project report. Augsburg: Bayerisches Landesamt für Umwelt: = Bavarian Environment Agency, 188 pp.

Internet 1: Spletna stran projekta GeoMol, dostopna na povezavi https://www.geomol.eu/home/index_html. Citirano dne: 24. 4. 2024.

Transenergy project (Internet 2) – The project investigated the cross-border sources of geothermal energy in Slovenia, Austria, Hungary, and Slovakia. In doing so, they created a tool to promote greater, but at the same time, sustainable use of geothermal resources, which was created based on already existing scientific knowledge (Figure 4, Figure 5).

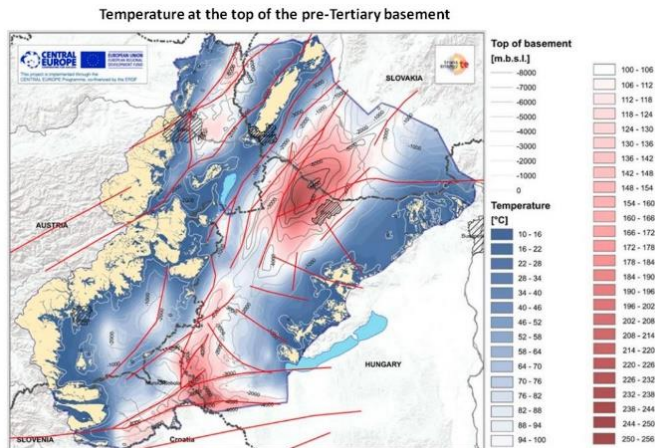
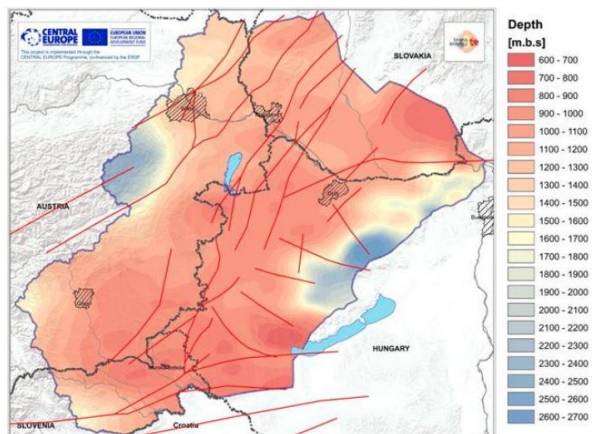
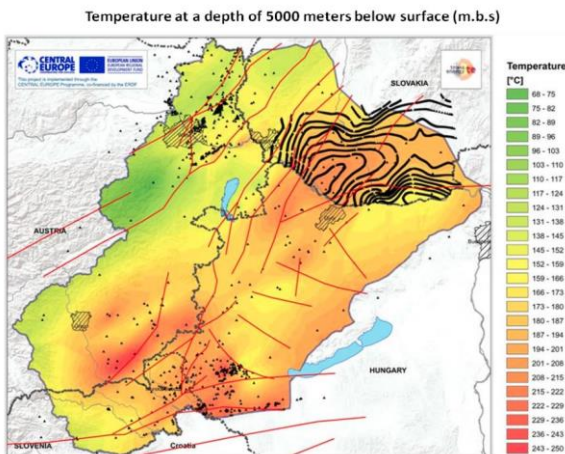
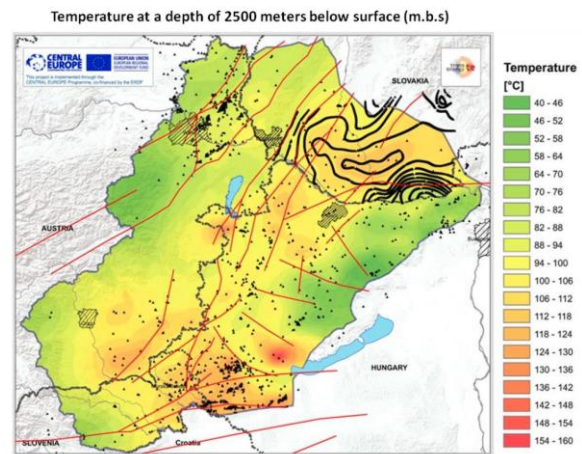
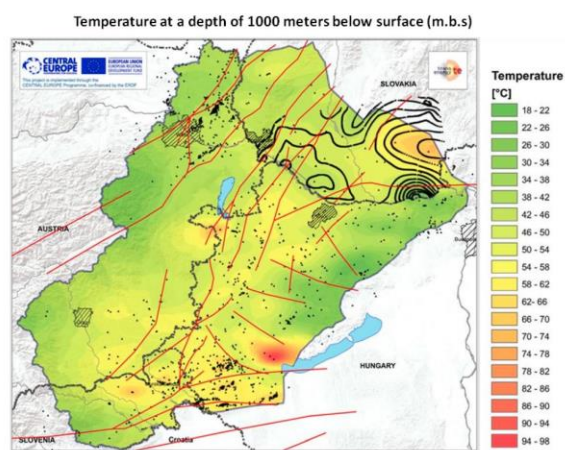


Figure 4: Temperatures on the top of pre-neogene basement, prepared in Transenergy project (2013).



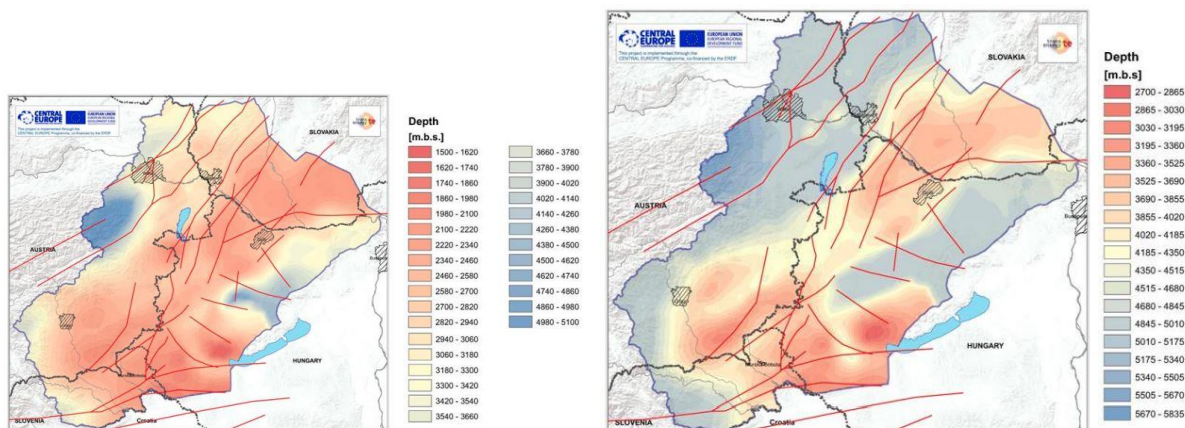


Figure 5: Temperatures at a depth of 1000 m, 2500 m and 5000 m and the expected depth to the 50°C, 100°C and 150°C isotherm, prepared in the Transenergy project (2013).

Goetzl, G., Zekiri, F., Hoyer, S., Lenkey, L., Švasta, J., Rajver, D. 2012: Summary Report „Geothermal Models at Supra-Regional Scale“. Poročilo Transenergy projekta. Dostopno na: <http://transenergy-eu.geologie.ac.at/>. (podatki pridobljeni 23. 11. 2023).

Internet 2: Spletna stran projekta Transenergy, dostopna na povezavi <http://transenergy-eu.geologie.ac.at/>. Citirano dne 24. 4. 2024.

TRANSENERGY team. 2014. Layers Geothermal Potential on the Web Map by Transenergy - Transboundary Geothermal Energy Resources of Slovenia, Austria, Hungary and Slovakia EN. Dostopno na <http://transenergy-eu.geologie.ac.at/>. (podatki pridobljeni 23.11.2023).

ARSO project (Rman and Šram, 2020; Rman et al., 2023) – The project of setting up and upgrading the “National hydrogeological mathematical model of groundwater flow and heat transfer in a deep geothermal aquifer in northeastern Slovenia (Figure 6).

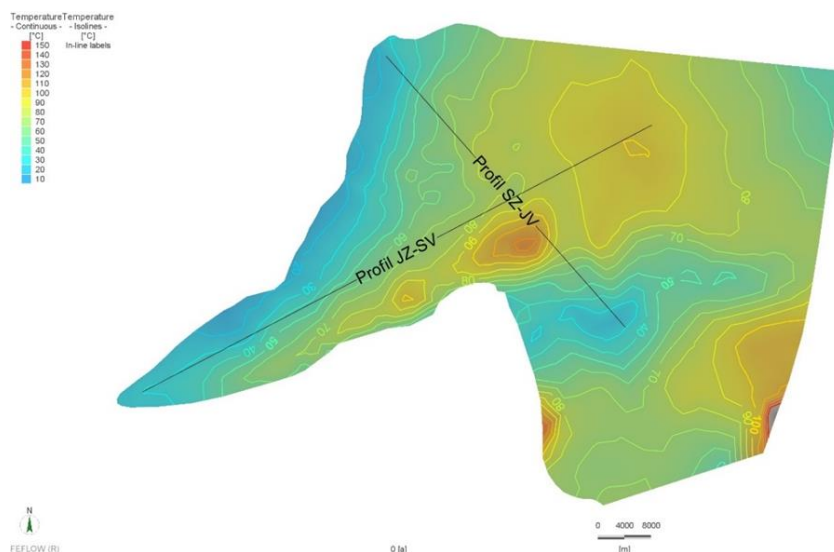
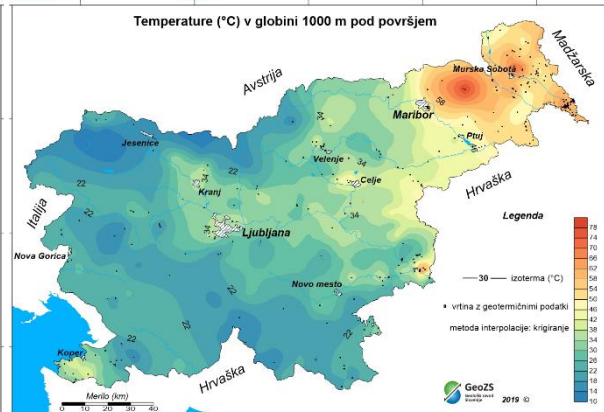
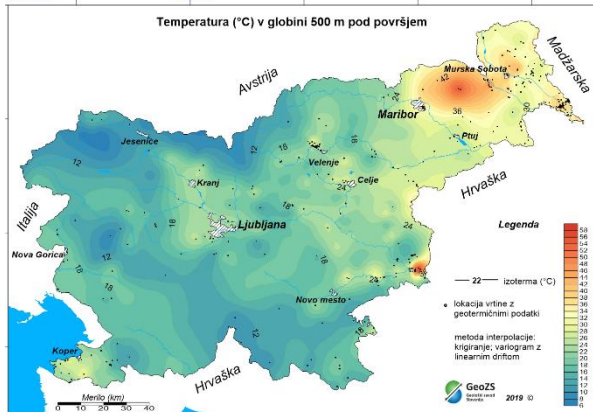
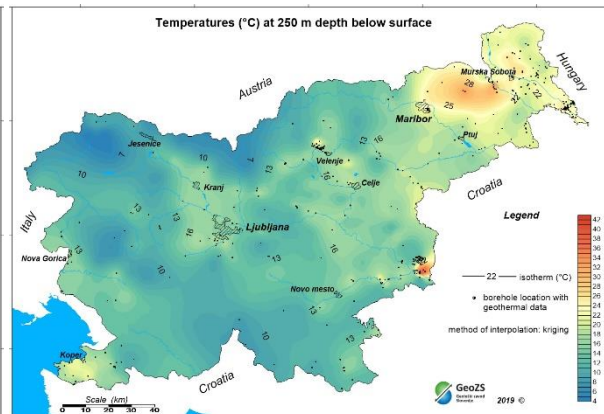
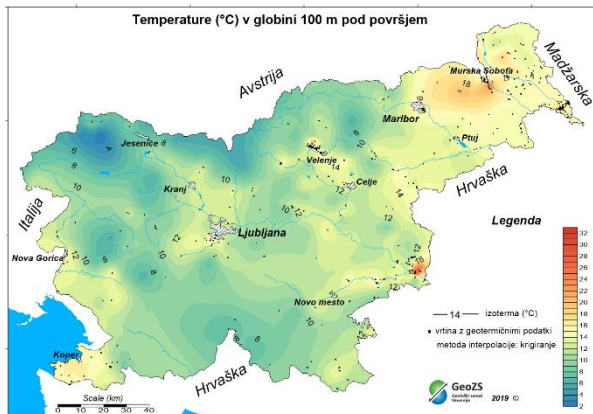


Figure 6: Simulated temperatures at the bottom of the delta front of the Mura Fm, created within the ARSO project (Rman and Šram, 2020).

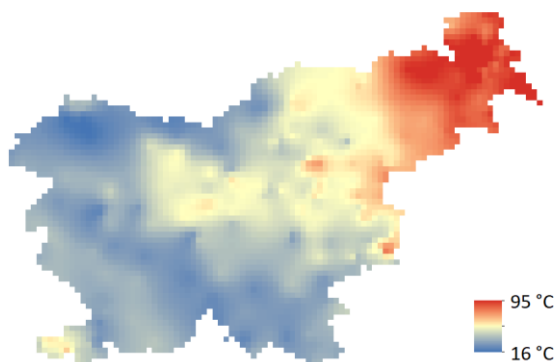
Rman, N., Šram, D. 2020. Hidrogeološki matematični model prenosa toplote v globokem geotermalnem telesu podzemne vode severovzhodne Slovenije – novelacija modela v letu 2020, Geološki zavod Slovenije, Ljubljana.

Rman, N., Adrinek, S., Lapanje, A. 2023. Hidrogeološki matematični model prenosa toplote v globokem geotermalnem telesu podzemne vode severovzhodne Slovenije – novelacija modela v letu 2023, Geološki zavod Slovenije, Ljubljana.

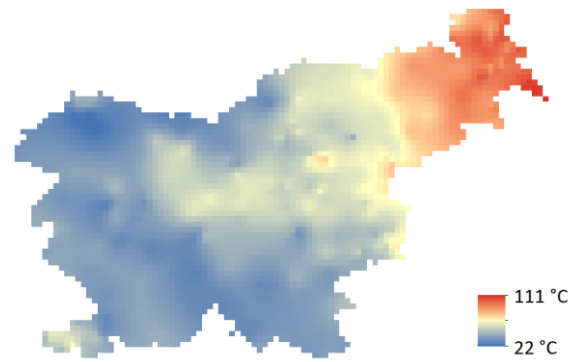
Archive of the Geological Survey of Slovenia (GeoZS) ([Portal eGeologija](#)) – Through various national and European tasks, GeoZS maintains and updates the temperature data of the underground in Slovenia and displays them every year in the form of updated maps, accessible on the eGeology portal (Figure 7, Figure 8 in Figure 9).



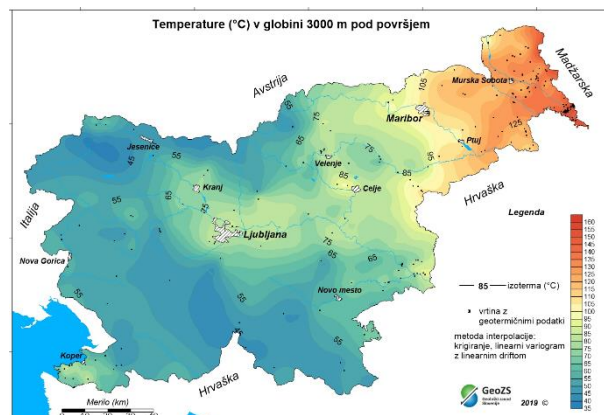
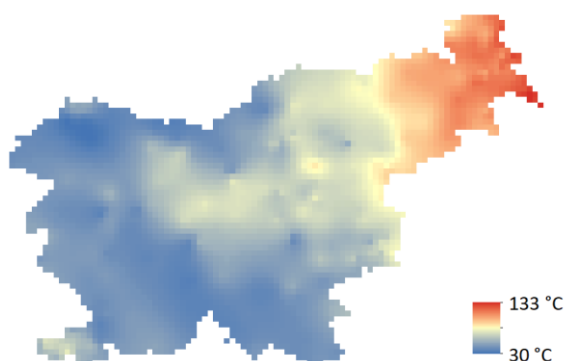
Temperatura (°C) v globini 1500 m pod površjem



Temperatura (°C) v globini 2000 m pod površjem



Temperatura (°C) v globini 2500 m pod površjem



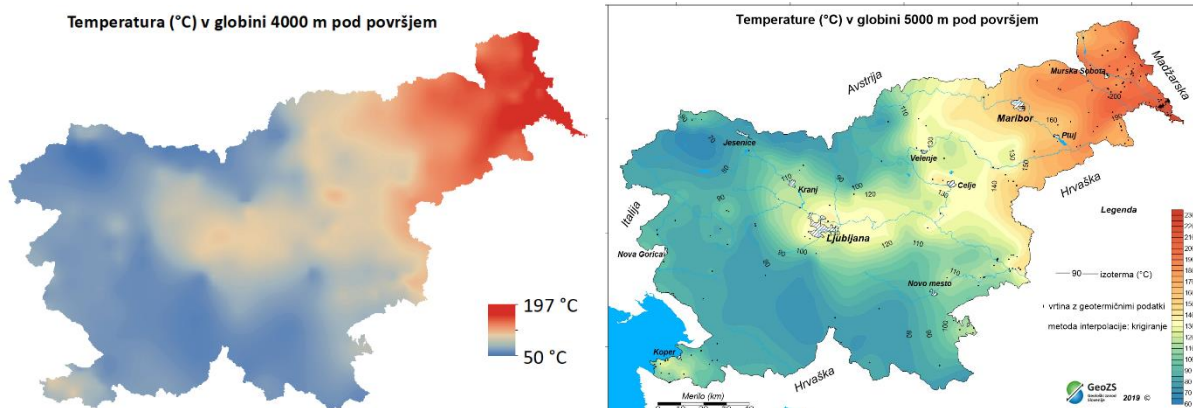


Figure 7: Temperature maps of depths of 100 m, 250 m, 500 m, 1000 m, 1500 m, 2000 m, 2500 m, 3000 m, 4000 m and 5000 m, prepared at the GeoZS.

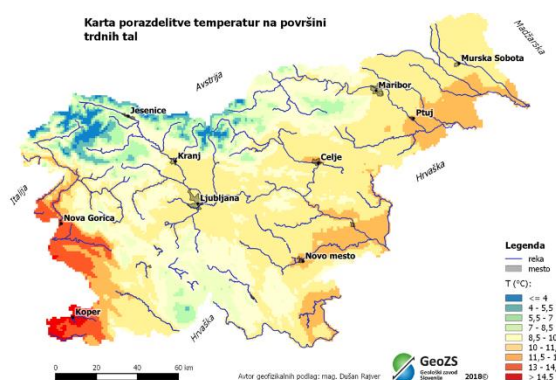


Figure 8: Map of temperature distribution on the surface of solid ground, prepared at the GeoZS.

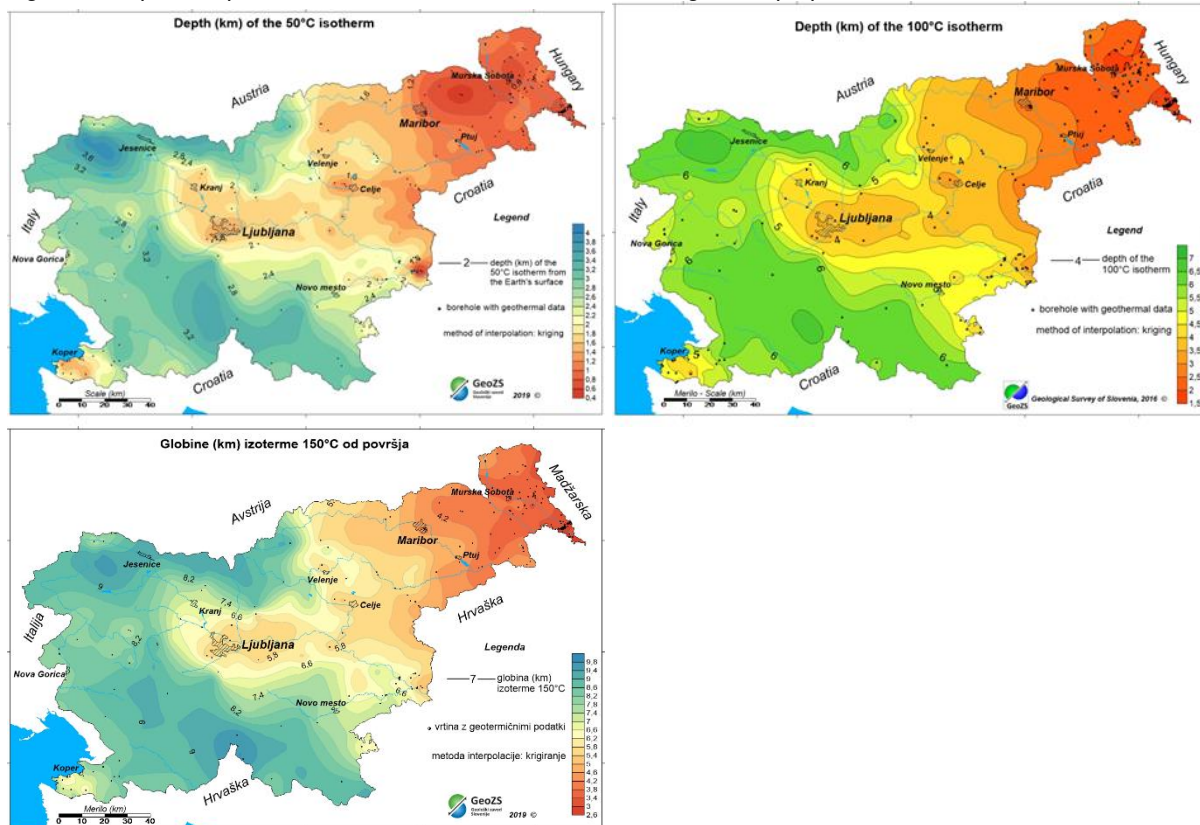


Figure 9: Maps of the expected depth to the 50°C, 100°C and 150°C isotherm, prepared at the GeoZS.

Rajver, D., Janža, M., Lapanje, A. 2012. Karta pričakovanih temperatur v globini 100 m. Geološki zavod Slovenije, Ljubljana. Dostopno na spletni povezavi: <https://egeologija.si/geonetwork/srv/slv/catalog.search#/metadata/c03497ab-a7ec-4952-9222-06bf3f2dcae9>

Rajver, D., Janža, M., Lapanje, A. 2012. Karta pričakovanih temperatur v globini 500 m. Geološki zavod Slovenije, Ljubljana. Dostopno na spletni povezavi: <https://egeologija.si/geonetwork/srv/slv/catalog.search#/metadata/36a851e6-0784-4e3f-a23c-85d7ca582230>

Rajver, D., Janža, M., Lapanje, A. 2012. Karta pričakovanih temperatur v globini 1000 m. Geološki zavod Slovenije, Ljubljana. Dostopno na spletni povezavi: <https://egeologija.si/geonetwork/srv/slv/catalog.search#/metadata/f5dc2716-bc26-439a-a0bb-9e220135e59c>

Rajver, D., Janža, M., Lapanje, A. 2012. Karta pričakovanih temperatur v globini 2000 m. Geološki zavod Slovenije, Ljubljana. Dostopno na spletni povezavi: <https://egeologija.si/geonetwork/srv/slv/catalog.search#/metadata/80f49f4d-5611-4759-b63f-45ee88008665>

Rajver, D., Janža, M., Lapanje, A. 2012. Karta pričakovanih temperatur v globini 3000 m. Geološki zavod Slovenije, Ljubljana. Dostopno na spletni povezavi: <https://egeologija.si/geonetwork/srv/slv/catalog.search#/metadata/58e26010-011f-47a4-8073-04a06d72ad4a>

Rajver, D., Janža, M., Lapanje, A. 2012. Karta pričakovanih temperatur v globini 5000 m. Geološki zavod Slovenije, Ljubljana. Dostopno na spletni povezavi: <https://egeologija.si/geonetwork/srv/slv/catalog.search#/metadata/69c810f9-a2c3-4213-b467-ad719833060e>

Rajver, D. 2018. Karta porazdelitve temperatur na površini trdnih tal. Geološki zavod Slovenije, Ljubljana. Dostopno na spletni povezavi: <https://egeologija.si/geonetwork/srv/slv/catalog.search#/metadata/1c5e682c-41e3-44a2-bfa5-8e236d78fe61>

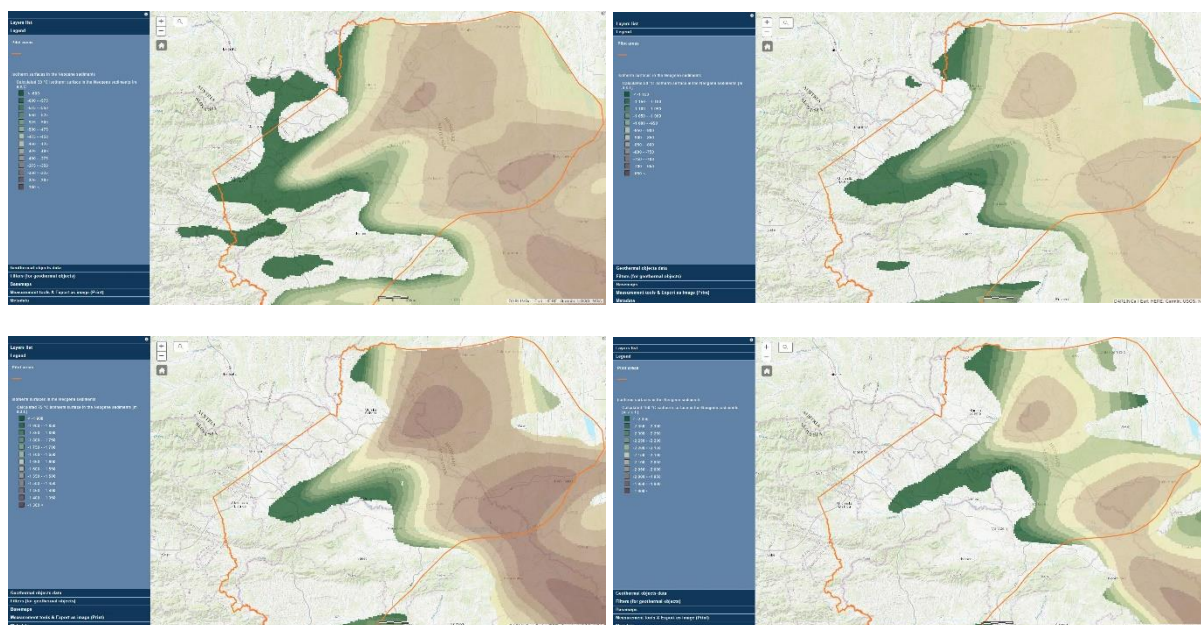
Rajver, D. 2018: Pričakovane temperature v globinah 4000 m. V: NOVAK, Matevž (ur.), RMAN, Nina (ur.). Geološki atlas Slovenije. Ljubljana: Geološki zavod Slovenije, 30-31.

Rajver, D. 2020. Karta pričakovanih temperatur v globini 250 m, 1500 m, 2500 m (neobjavljeno). Geološki zavod Slovenije, Ljubljana.

Rajver, D. 2020. Karta pričakovane globine do izoterme 100 °C (neobjavljeno). Geološki zavod Slovenije, Ljubljana.

Rajver, D. 2018: Pričakovane globine izoterm 50 °C in 150 °C = Expected depths of the 50 °C and 150 °C isotherms. V: NOVAK, Matevž (ur.), RMAN, Nina (ur.). Geološki atlas Slovenije = Geological atlas of Slovenia. Ljubljana: Geološki zavod Slovenije, 32-33.

DARLINGe project (Internet 3) – The project brought together 15 partners from geological research institutions, universities, industry, regional energy and development agencies, ministries and municipalities. In addition, 7 strategic partners from Hungary, Slovenia, Serbia, Bosnia and Herzegovina and Romania joined in. The result is the Danube Region Geothermal Information Platform (DRGIP) viewer, which provides tools for the overview of geothermal reservoir and their actual use, risk management, project development, benchmarking and legislation (Figure 10).



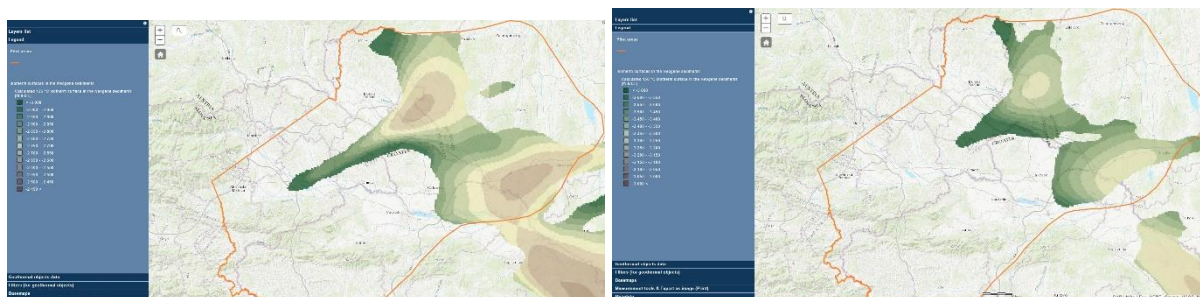


Figure 10: Maps of expected depth to the 30°C, 50°C, 75°C, 100°C, 125°C and 150°C isotherms, prepared as part of the DARLINGe project (2019).

Rotár-Szalkai, A., Maros, G., Bereczki, L. in sod. 2018. D.5.1.1. Identification, ranking and characterization of potential geothermal reservoirs. Report of DARLINGe project. MBFSZ, Mannvit, InnoGeo, GeoZS, LEAP, HGI-CGS, ZARA, IGR, Terratechnik, FMG, FZZG, GSRS. Poročilo dostopno na <https://www.interreg-danube.eu/approved-projects/darlinge/outputs>.

DARLINGe team. 2019. Danube Region Geothermal Information Platform (DRGIP) - Layers named Isotherm surfaces in the Neogene sediments. Dostopno na <https://www.darlinge.eu>. (podatki pridobljeni 23. 11. 2023).