

SKLOP 3 / POGLAVJE 1 – Geotermalna energija

Zakaj je Zemlja rezervoar geotermalne energije?

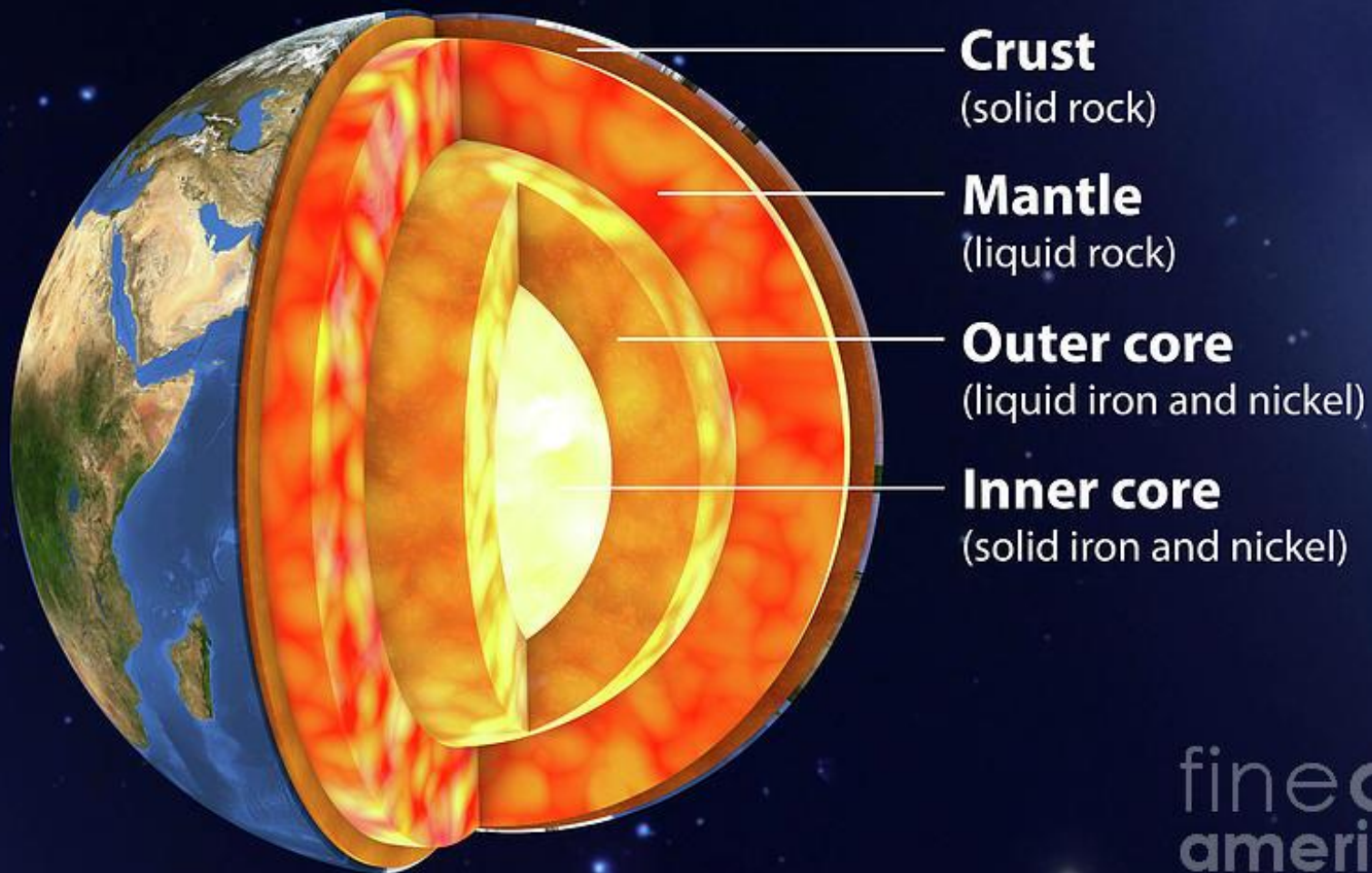
Zemlja je rezervoar geotermalne energije zaradi več ključnih razlogov, ki izhajajo iz njene notranje strukture in zgodovine:

- **Notranja toplota Zemlje:** Zemlja ima vročo notranjost, ki se je ohranila od časa njenega nastanka pred približno 4,5 milijardami let. Jedro Zemlje, ki je sestavljeno iz staljenega železa in niklja, dosega temperature do 6000°C. Ta toplota se postopoma prenaša na površje.
- **Radioaktivni razpad:** V jedru, plašču in skorji Zemlje se nahajajo radioaktivni izotopi, kot so uran, torij in kalij. Razpad teh izotopov sprošča toploto, kar dodatno segreva notranjost Zemlje.
- **Toplotna prevodnost in konvekcija:** Toplota iz jedra Zemlje se prenaša proti površju s pomočjo toplotne prevodnosti in konvekcije. Konvekcijski tokovi v plašču Zemlje premikajo toploto proti površju, kar prispeva k geotermalni energiji.

Ti dejavniki skupaj ustvarjajo ogromno količino geotermalne energije, ki je dostopna za različne uporabe, kot so ogrevanje, proizvodnja električne energije in industrijske procese. Geotermalna energija je obnovljiv vir energije, saj toplota iz notranjosti Zemlje nenehno priteka proti površju.



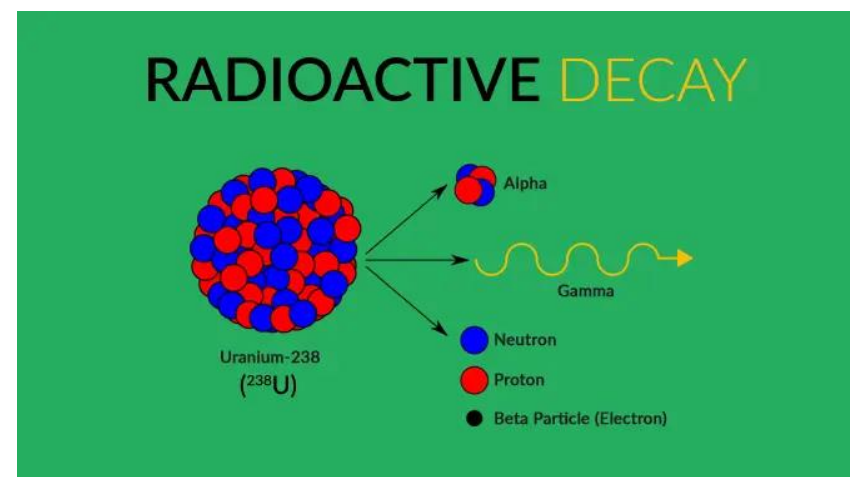
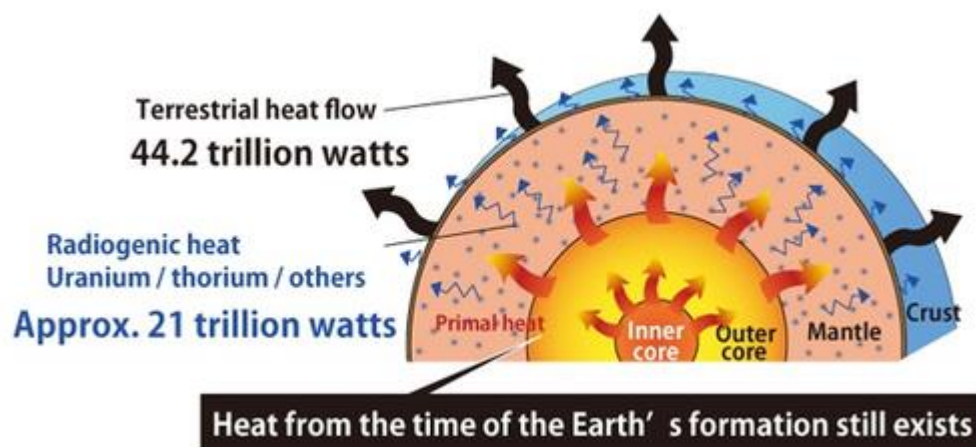
Structure of the Earth



fineart
america

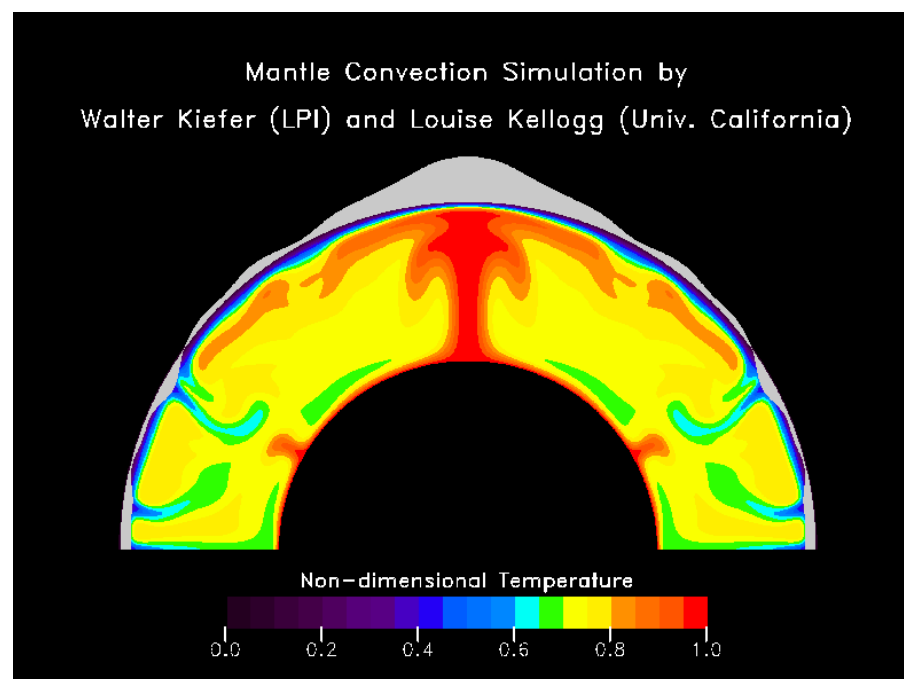
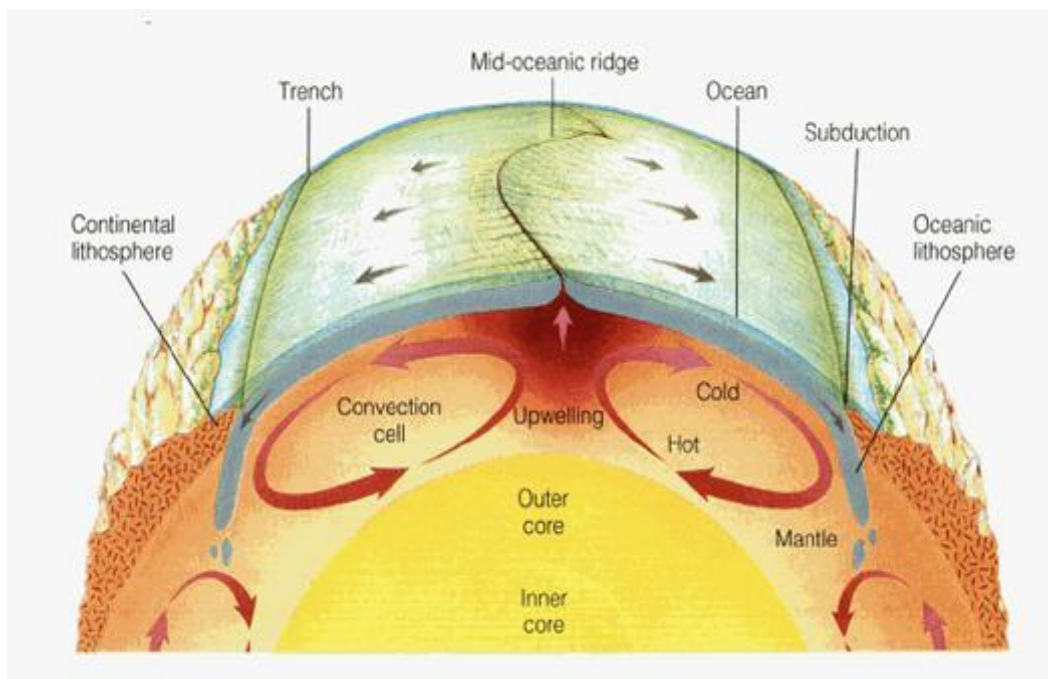
Radioaktivni razpadi v jedru Zemlje

- Radioaktivni razpad v **jedru Zemlje** pomembno prispeva k notranji toploti planeta. Glavni radioaktivni izotopi, ki sodelujejo pri tem procesu, so **uran-238**, **uran-235**, **torij-232** in **kalij-40**.
- Ti izotopi **razpadajo**, pri čemer oddajajo energijo v obliki **toplote**. Ta proces se dogaja skozi zelo dolga obdobja, saj imajo izotopi kot so uran-238 in torij-232 dolge razpolovne dobe.
- **Jedro Zemlje**, sestavljeno pretežno iz **železa in niklja**, vsebuje tudi majhne količine teh radioaktivnih izotopov. Toplota, ki nastane pri radioaktivnem razpadu, se prenaša proti plašču in skorji, kar prispeva k geotermalni energiji in vulkanski aktivnosti.
- Ta proces je ključnega pomena za **konvekcijske tokove v plašču**, ki poganjajo **tektonske plošče**.
- Ocenjuje se, da radioaktivni razpadi prispevajo približno polovico vse notranje toplote Zemlje. Dolgotrajni razpadni procesi bodo še naprej segrevali Zemljo milijarde let. Ta toplota je ključna za številne geološke procese, ki oblikujejo naš planet.



Tektonika plošč

Prenos geotermalne energije iz jedra Zemlje je tesno povezan s tektoniko plošč. Toplota iz jedra Zemlje povzroča **konvekcijske tokove v plašču**, ki premikajo tektonske plošče na površju. Ti tokovi prenašajo vročo, manj gosto snov navzgor in hladno, bolj gosto snov navzdol, kar vodi do nastajanja **srednjeoceanskih hrbtov**, **subdukcijskih območij in riftnih dolin**. Tektonska aktivnost ustvarja geološke pogoje, kot so razpoke in prelomi, skozi katere lahko vroča voda in para dosežeta površje, kar omogoča izkoriščanje geotermalne energije.



Toplotni tok – fizikalni uvod

Toplotni tok pove, koliko toplote steče skozi nek medij v določenem času:

$$P = \frac{\Delta Q}{\Delta t}. \quad \frac{J}{s} = W \text{ (vat).}$$

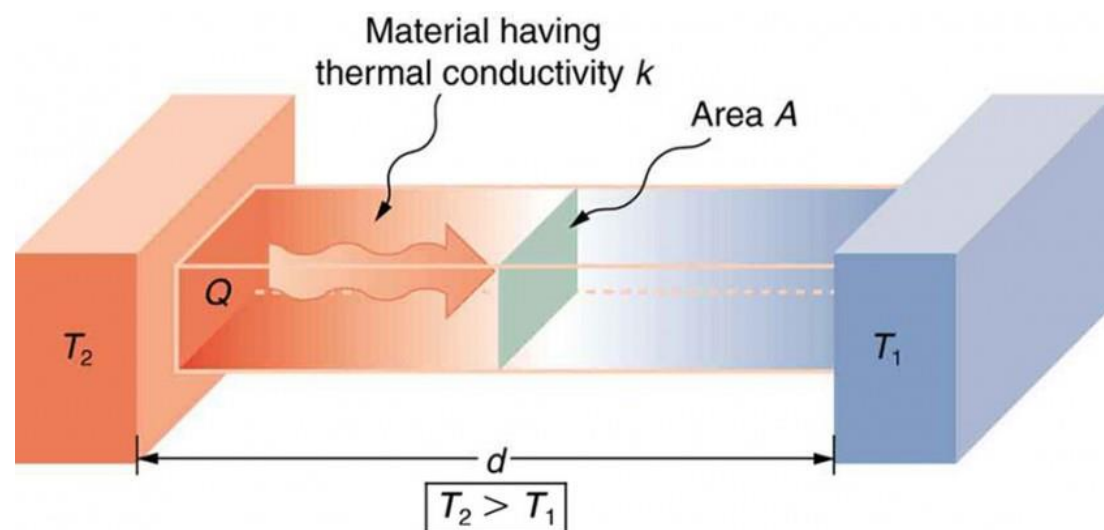
Skozi Zemeljsko skorjo se toplota iz Zemeljskega plašča prevaja s **kondukcijo**.

- Kondukcija (prevodnost) je proces prenosa toplote skozi snov brez premikanja snovi kot celote. Toplota se prenaša s trki med molekulami in prostimi elektroni v materialu.

$$P = \lambda S \frac{\Delta T}{l}.$$

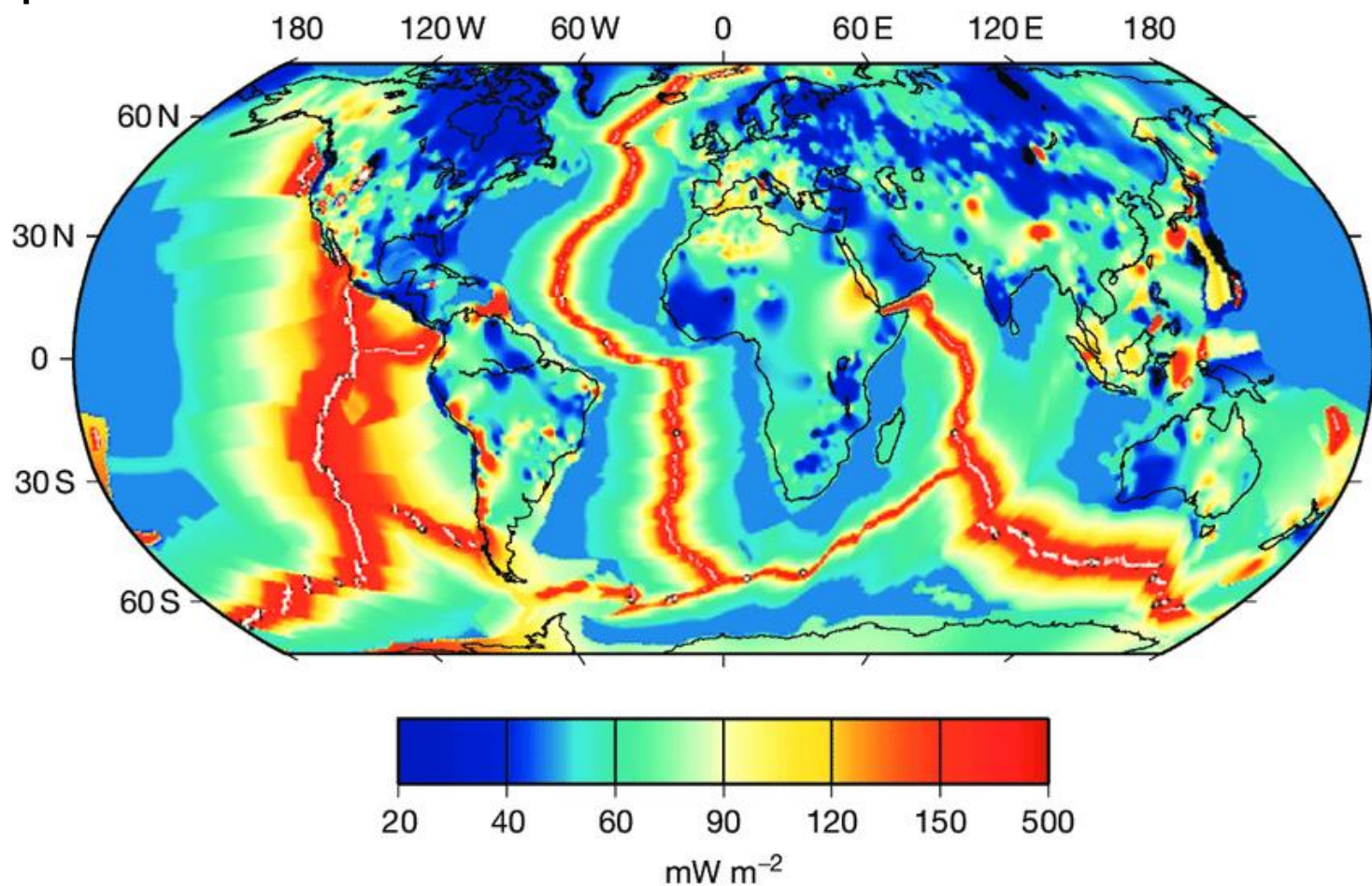
Glede na specifično toplotno prevodnost ločimo dobre in slabe prevodnike:

- Kovine: visoka prevodnost (baker, aluminij)
- Izolatorji: nizka prevodnost (les, steklo, guma)

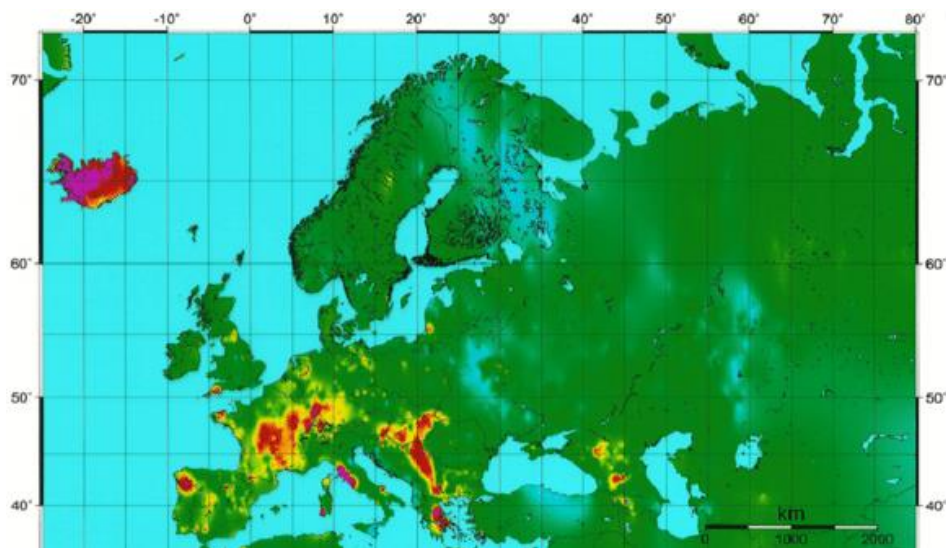


Globalni toplotni tok

Povprečni toplotni tok na Zemljini površini je približno 60 mW/m^2 , vendar se vrednosti močno razlikujejo glede na geografsko lokacijo in lokalne geološke razmere. Na območjih z vulkansko aktivnostjo ali v bližini tektonskih prelomnic so toplotni tokovi lahko veliko višji. Ta naravni prenos toplote vpliva na geološke procese, kot so **vulkanizem, tektonika plošč in potresi**.

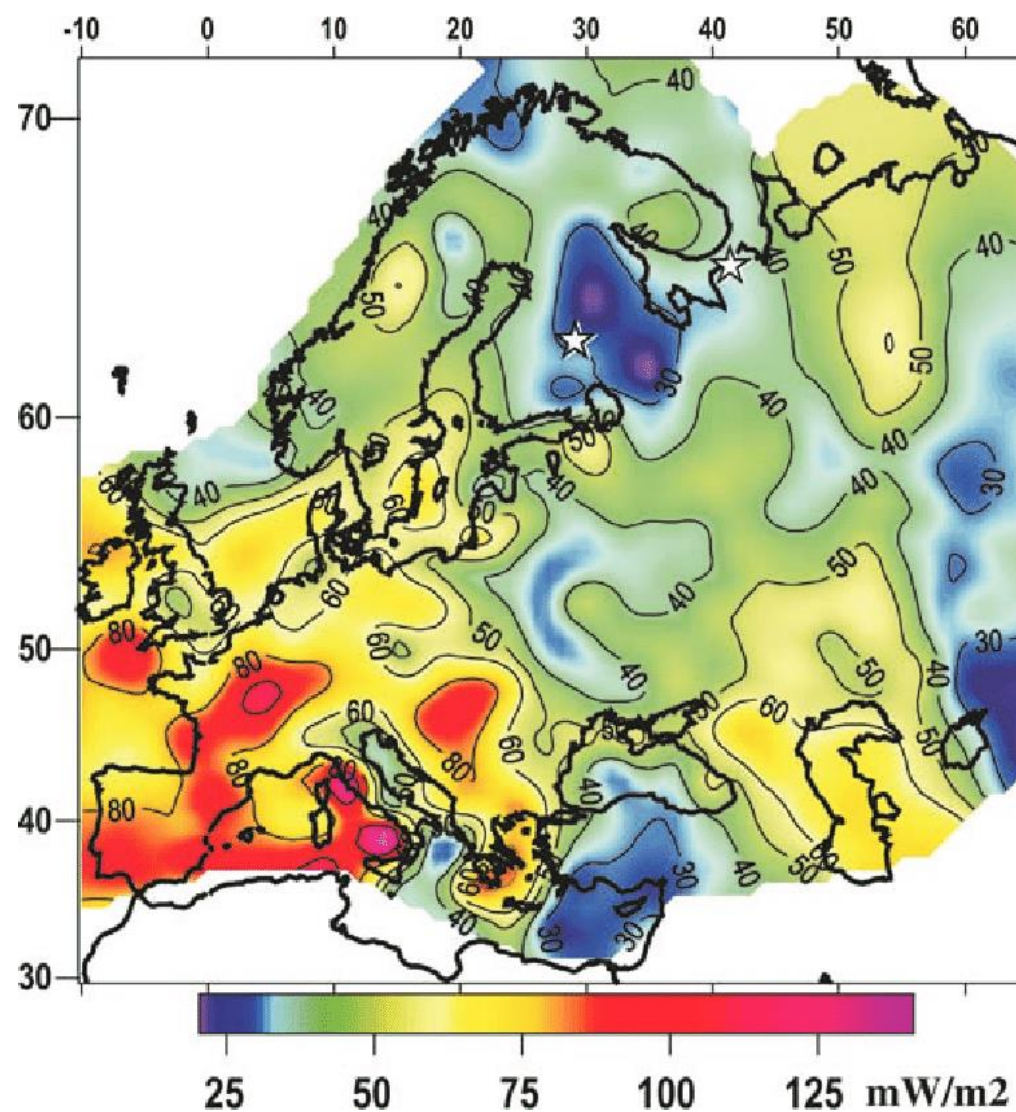


Toplotni tok v Evropi



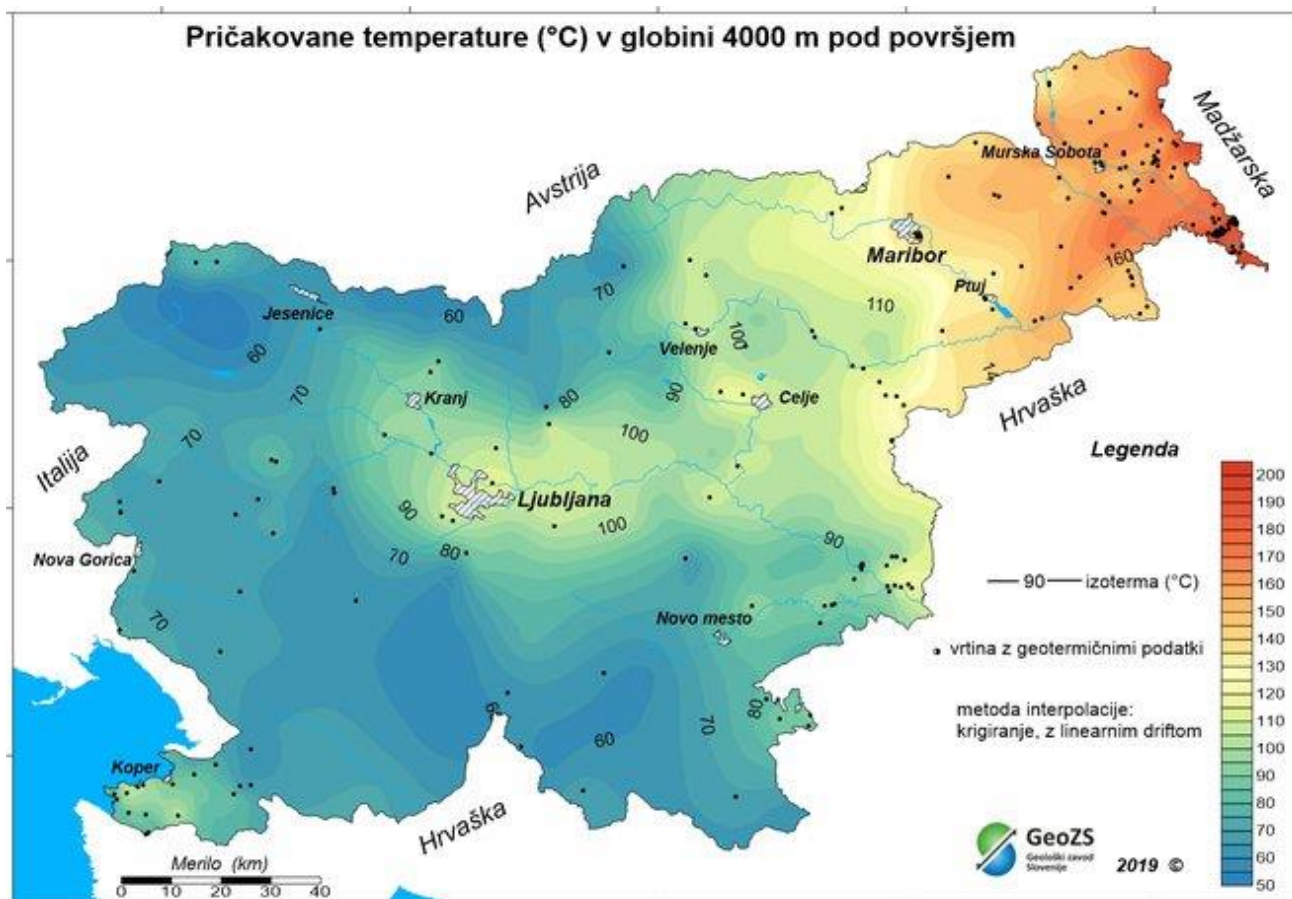
V Evropi imajo največji toplotni tok
geotermalne energije naslednja območja:

Islandija, Italija, Grčija, Turčija, Francija, Španija
Panonska regija

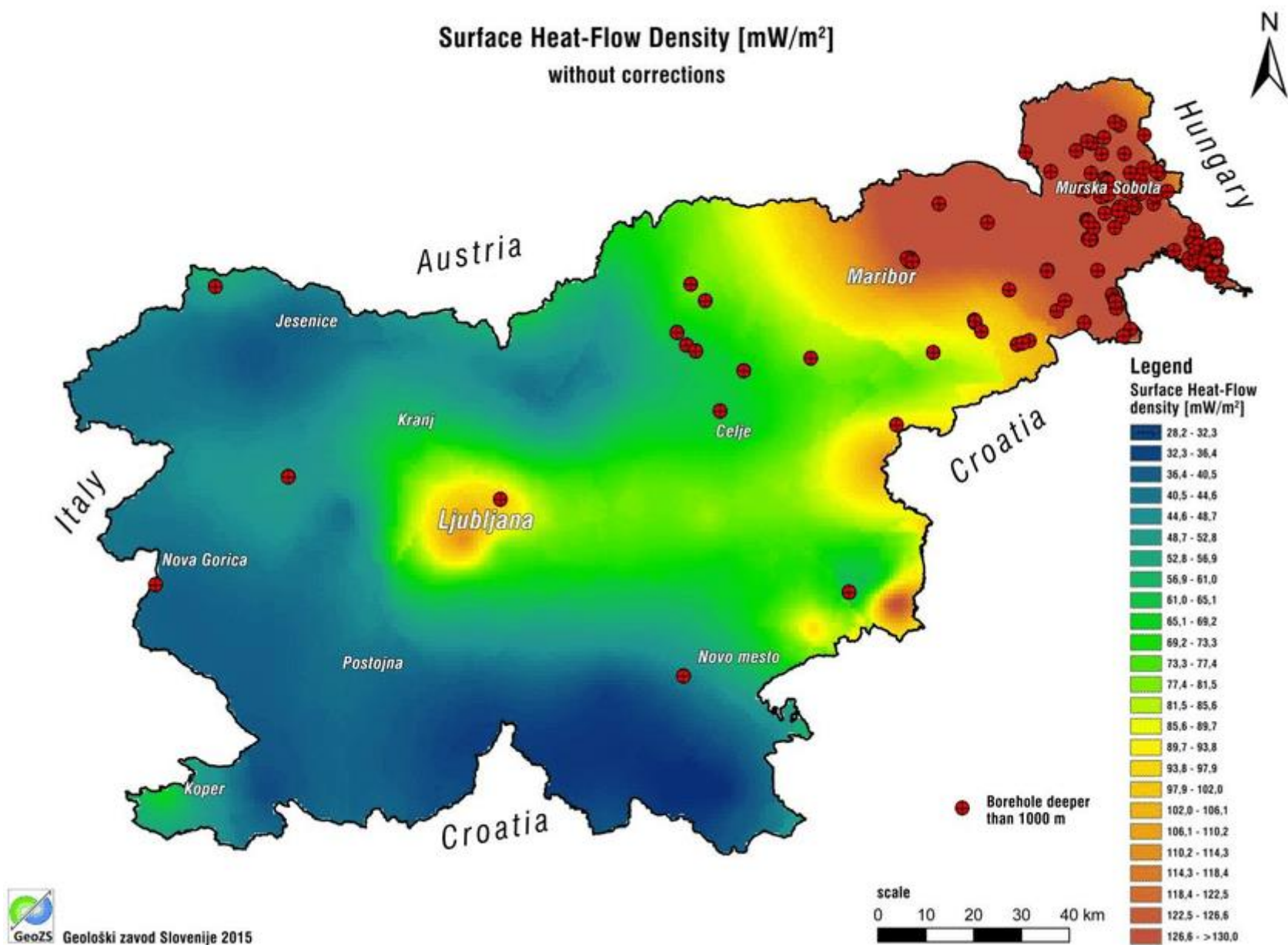


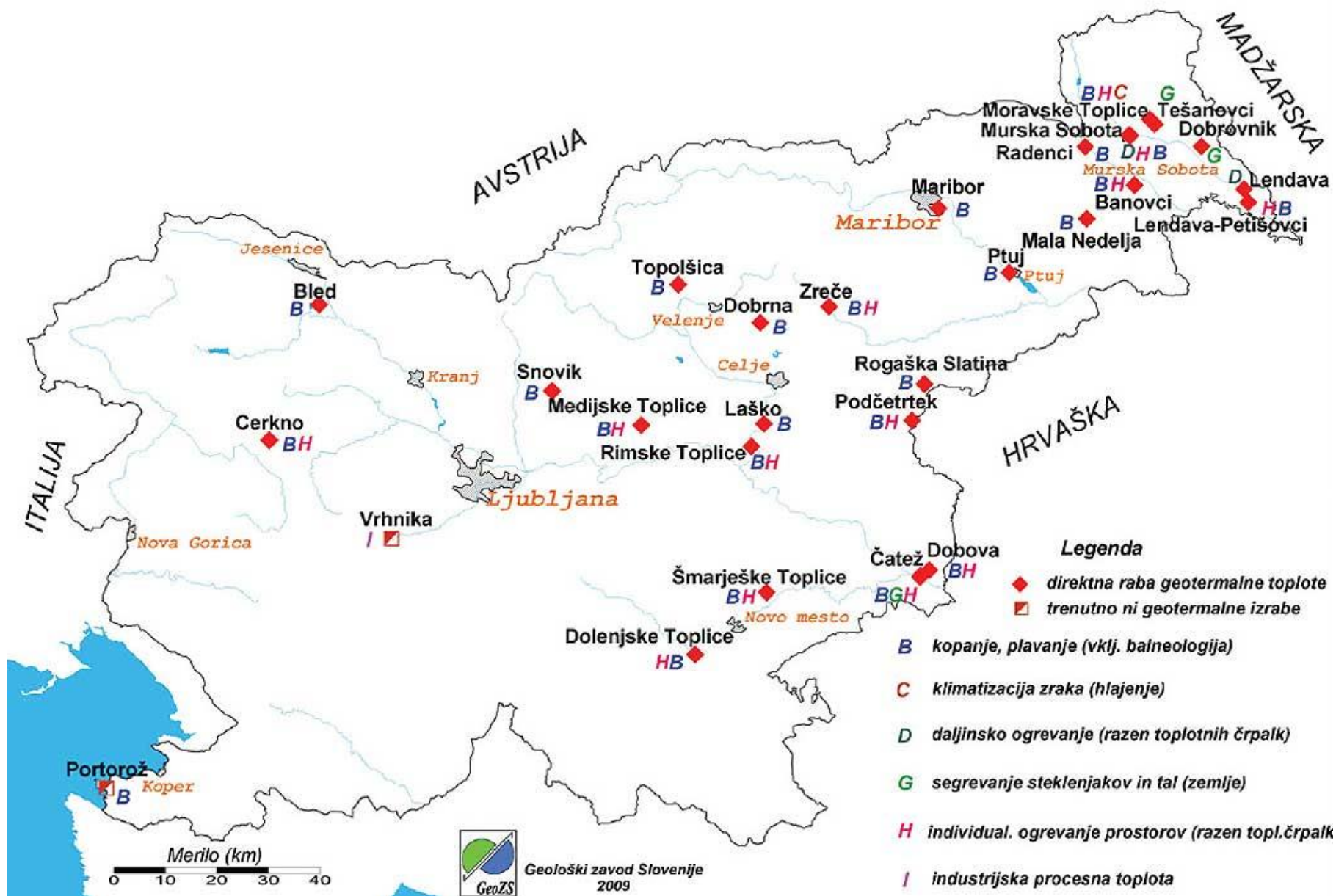
Toplotni tok v Sloveniji

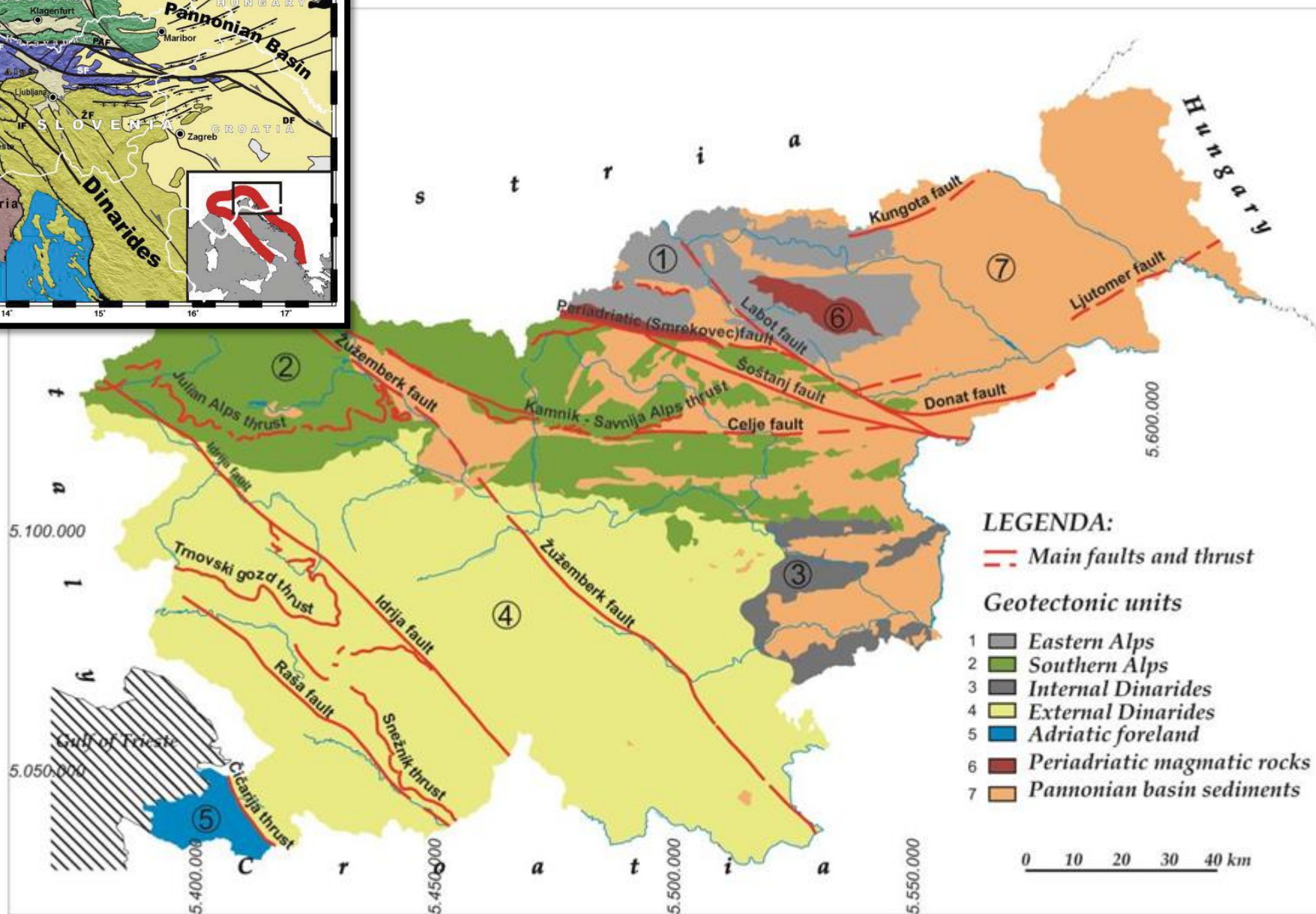
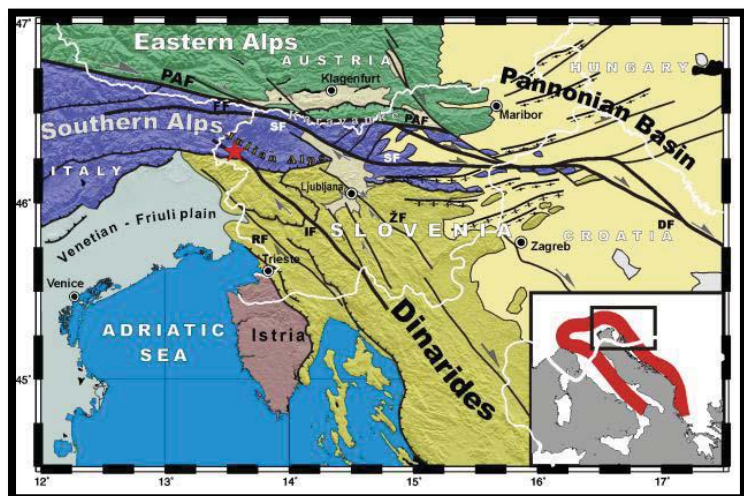
- Toplotni tok geotermalne energije v Sloveniji se giblje med 60 in 100 mW/m², kar je nekoliko nad svetovnim povprečjem.
- Najvišji toplotni tokovi so zabeleženi v severovzhodnem delu države, zlasti v **Pomurju** in **Prekmurju**, kjer so ugodne geološke razmere za izkoriščanje geotermalne energije.

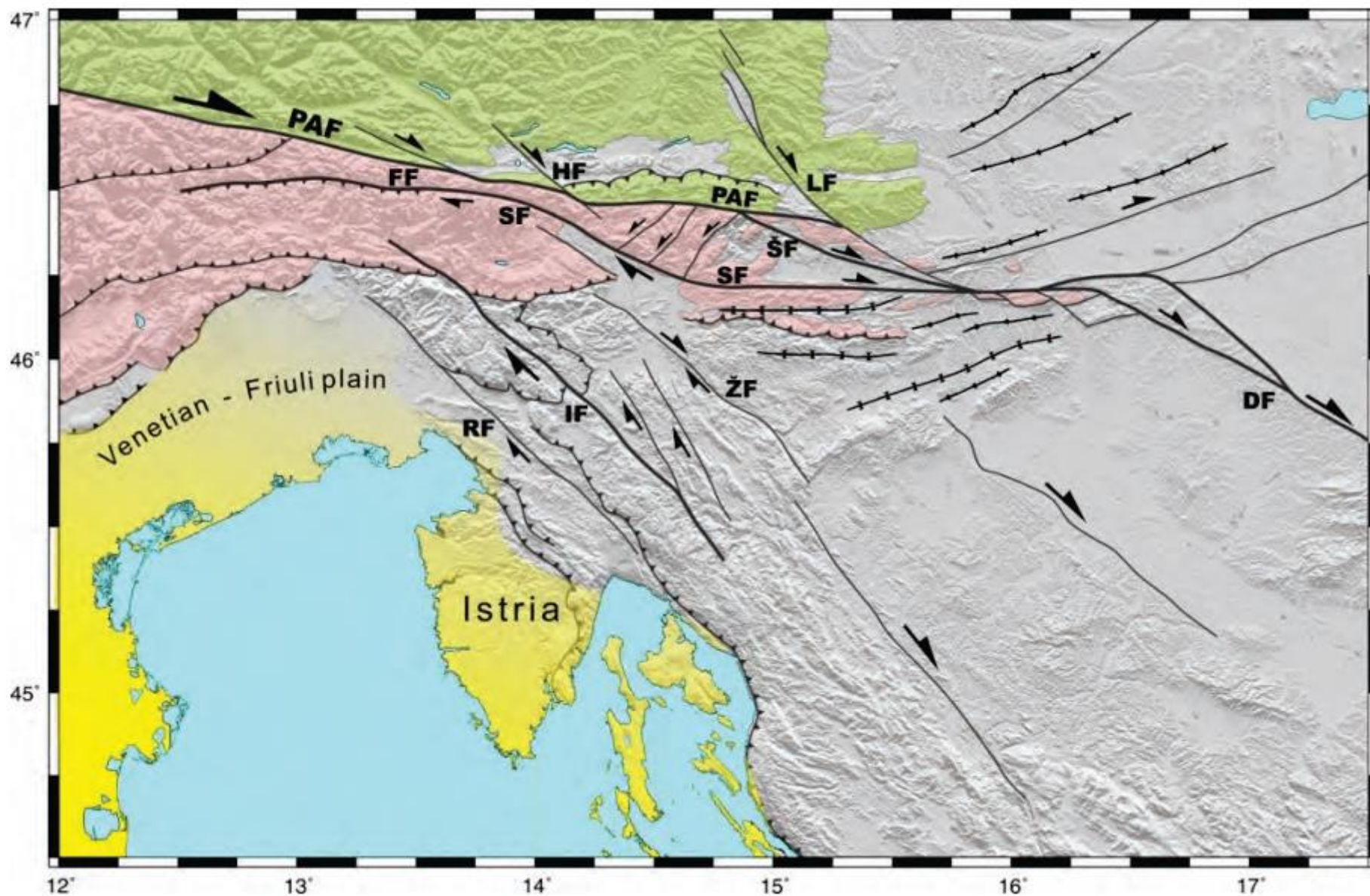


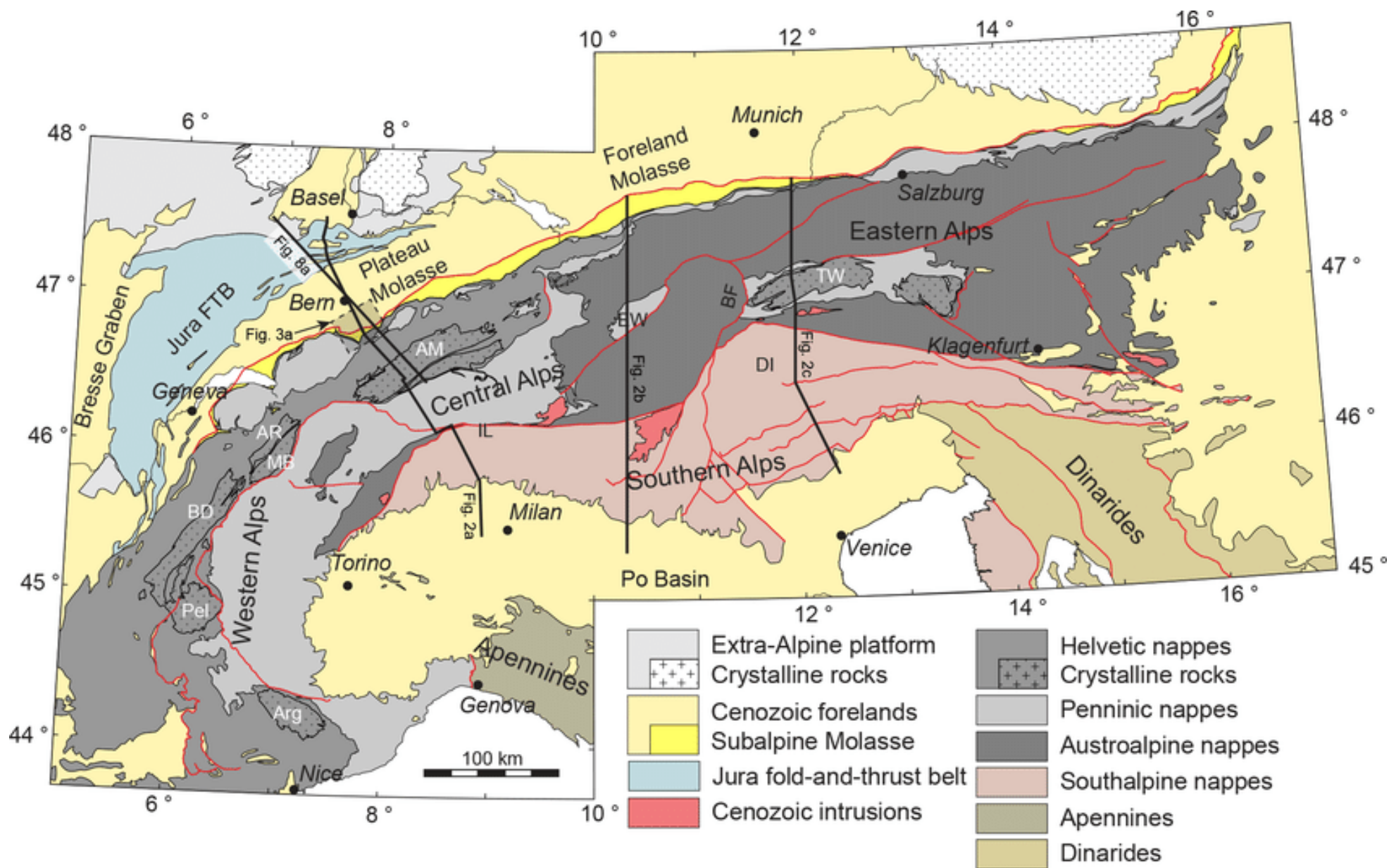
Na območju Slovenije je danes le en visokotemperaturni geotermalni sistem, ki se imenuje Termal II. To območje se razteza v SV Sloveniji in je povezano s sosednjo Madžarsko. V severnem delu Prekmurja se ta sistem nahaja v manjših globinah, do nekje 2000 m, kjer temperatura vode v njem dosega največ 110 °C, medtem ko se v spodnjem delu med mesti Ptuj, Ormož, Ljutomer in Lendava termalna voda nahaja v večjih globinah, tudi več kot 4000 m, kjer termo-mineralna voda zelo verjetno dosega temperature več kot 200 °C.











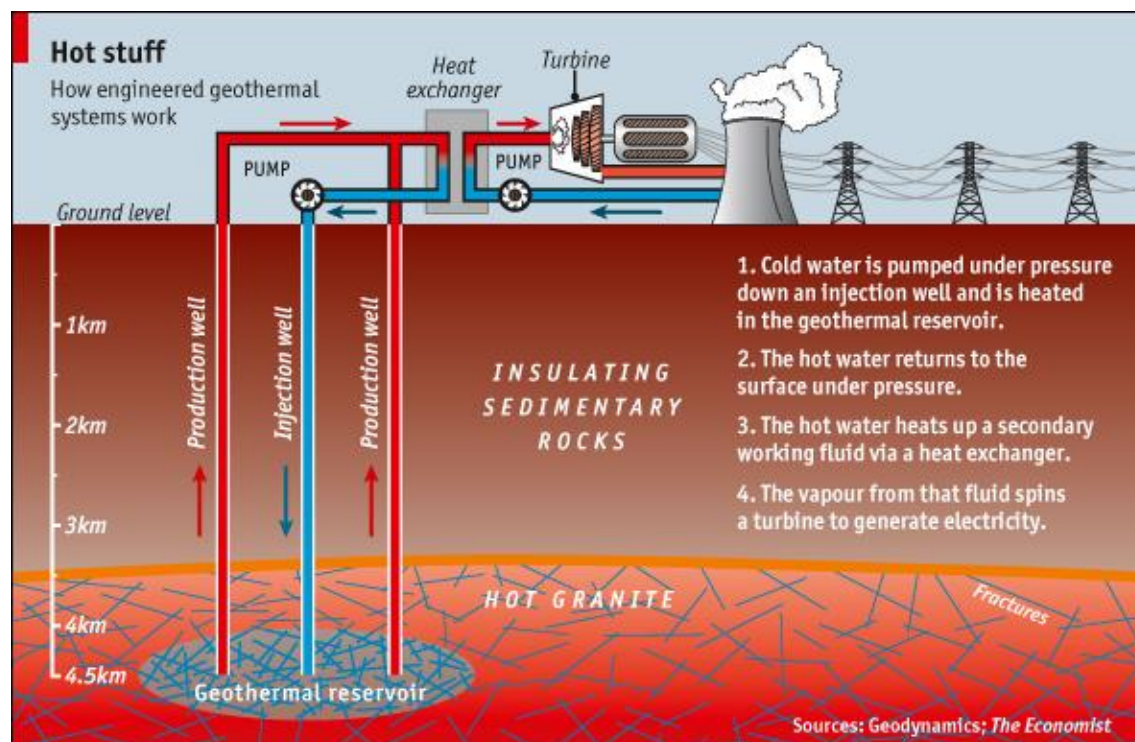
Nizkotemperaturna geotermalna energija

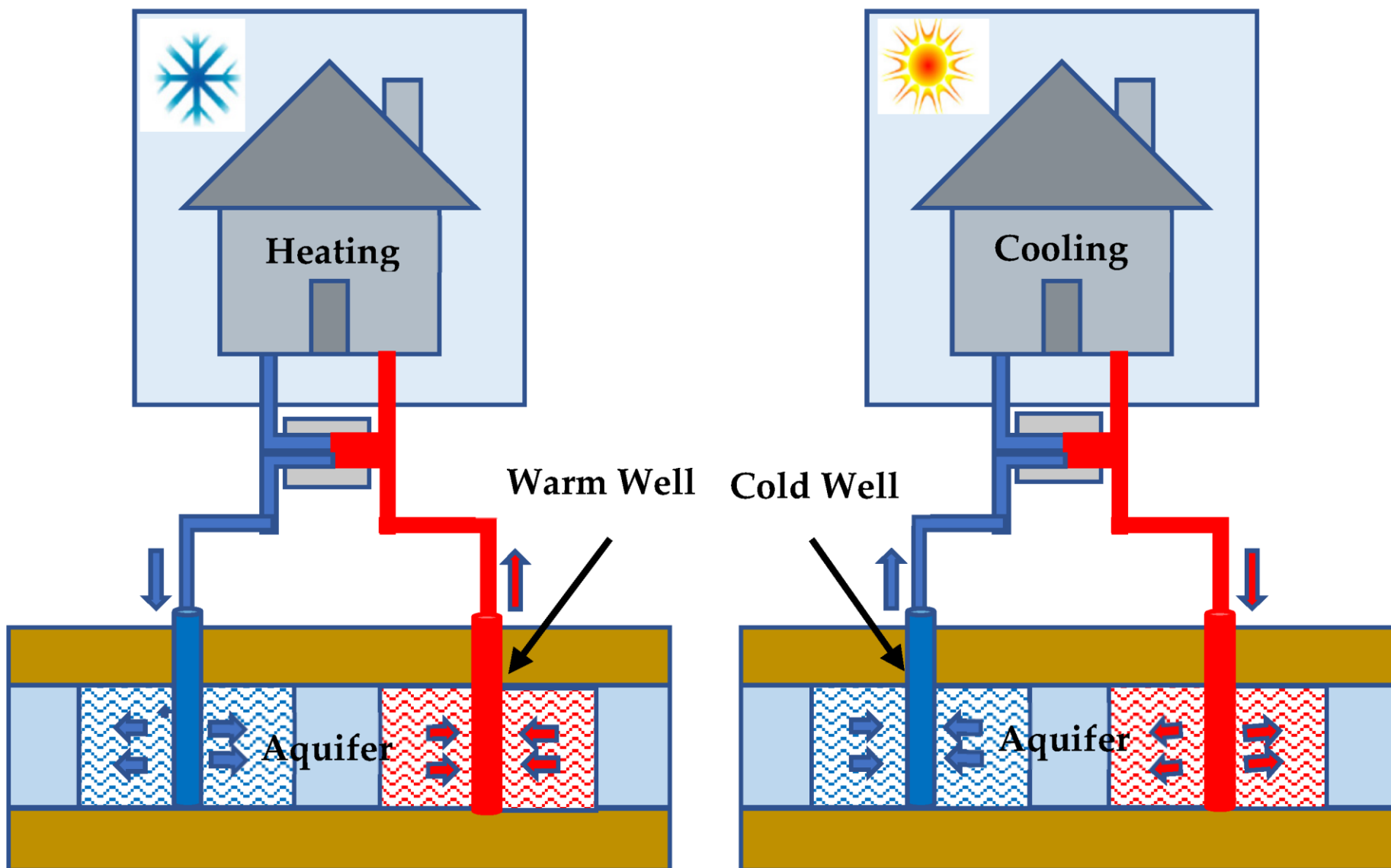
Izkoriščanje nizkotemperaturne geotermalne energije vključuje pridobivanje toplote iz plitvih virov pod površjem zemlje, kjer **temperature segajo od 10°C do približno 150°C**. Ta oblika energije je primerna za ogrevanje, hlajenje in različne industrijske procese. Tukaj je nekaj ključnih metod in uporabe nizkotemperaturne geotermalne energije:

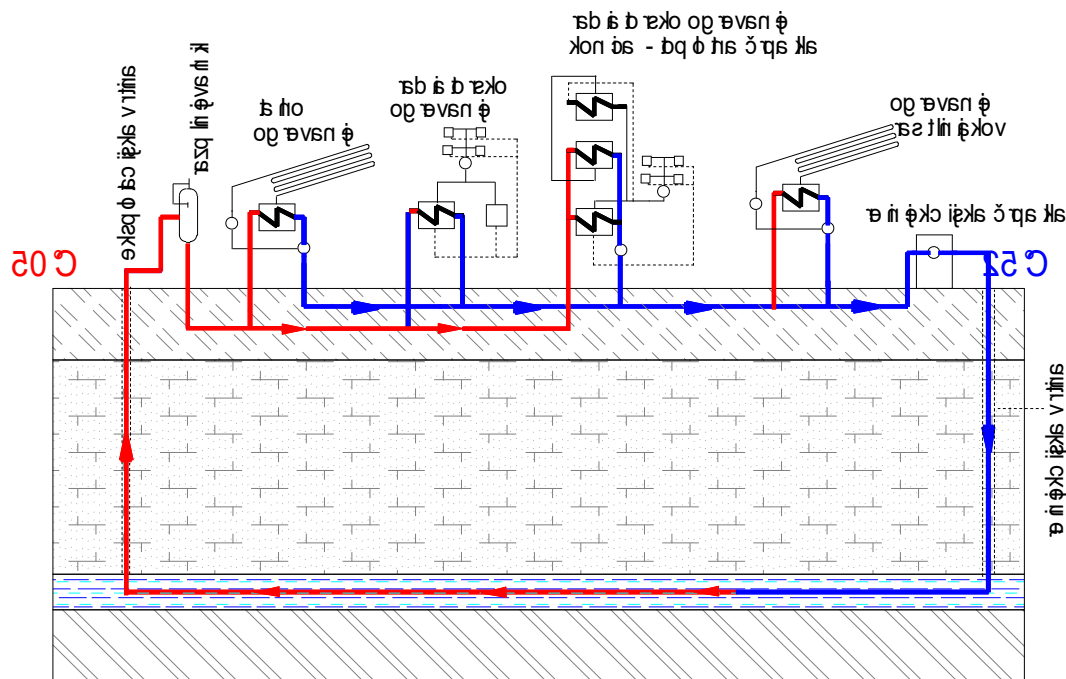
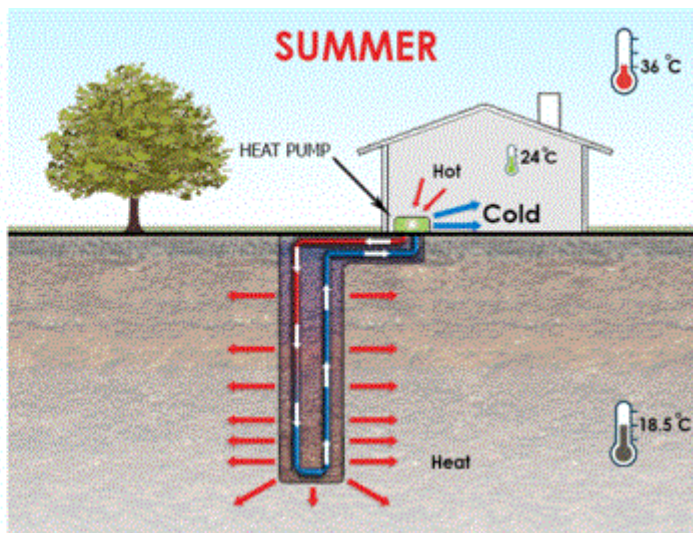
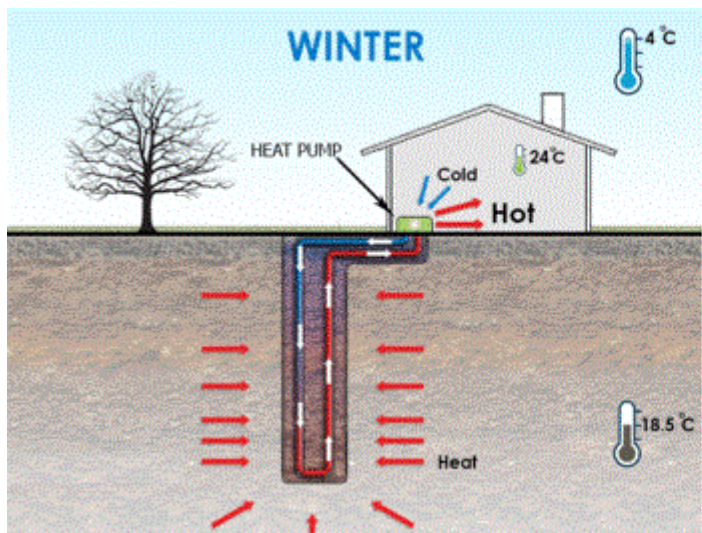
Metode izkoriščanja

Toplotne črpalke:

- **Plitve geotermalne črpalke:** Te naprave izkoriščajo toploto iz plitvih zemeljskih slojev, običajno do globine **200 metrov**. Toplotne črpalke delujejo tako, da pošiljajo tekočino skozi cevi, položene v zemljo, kjer tekočina absorbira toploto. Ta toplota se nato prenese v stavbo za **ogrevanje** ali **hlajenje**.
- **Zaprti in odprti sistemi:** Zaprti sistemi krožijo tekočino skozi zaprte cevi v zemlji, medtem ko odprti sistemi uporabljajo podtalnico kot vir toplote in jo po uporabi vračajo v zemljo.







TERMAL 1 v Murski Soboti

Uporabe nizkotemperaturne geotermalne energije

Ogrevanje in hlajenje stavb:

- **Stanovanjske stavbe:** Toplotne črpalke se pogosto uporabljajo za ogrevanje in hlajenje domov, kar omogoča učinkovito in trajnostno izrabo geotermalne energije.
- **Poslovne in industrijske stavbe:** Podobno se toplotne črpalke uporabljajo v večjih stavbah za zagotavljanje udobne temperature skozi vse leto.

Industrijske aplikacije:

- **Kmetijstvo:** Geotermalna toplota se uporablja za ogrevanje rastlinjakov, sušenje pridelkov in segrevanje ribogojnic.
- **Industrijski procesi:** Nekateri industrijski procesi zahtevajo nizkotemperaturno toploto, ki jo lahko zagotovi geotermalna energija, npr. sušenje lesa, predelava hrane in pasterizacija.
- **Toplice in zdravilišča:** Naravni vroči vrelci so priljubljeni za zdravilišča in termalne kopeli, kjer se naravna geotermalna voda uporablja za terapevtske in rekreativne namene.





Prednosti nizkotemperaturne geotermalne energije

- **Trajnost:** Geotermalna energija je obnovljiv vir, ki ne povzroča emisij toplogrednih plinov med delovanjem.
- **Stalna oskrba:** Za razliko od nekaterih drugih obnovljivih virov, kot sta sončna ali vetrna energija, je geotermalna energija na voljo neprekinjeno, ne glede na vremenske razmere.
- **Energetska učinkovitost:** Geotermalne toplotne črpalke so izjemno učinkovite in lahko zagotavljajo več toplote ali hlajenja na enoto porabljene energije kot konvencionalni sistemi.

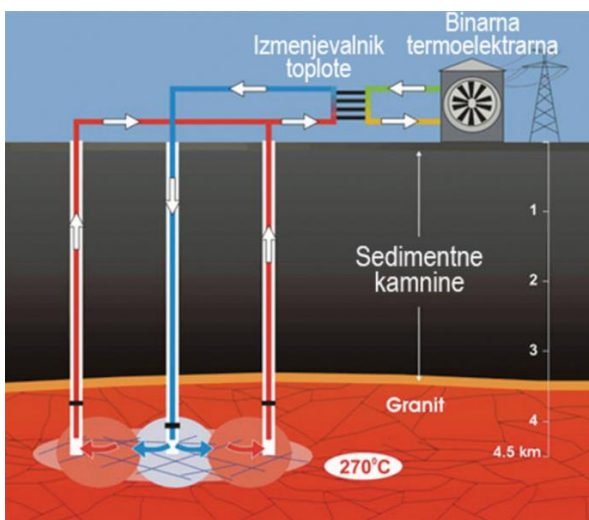
Nizkotemperaturna geotermalna energija tako predstavlja pomemben del trajnostne energetske rešitve, ki lahko pomaga zmanjšati odvisnost od fosilnih goriv in prispevati k zmanjšanju emisij ogljikovega dioksida.

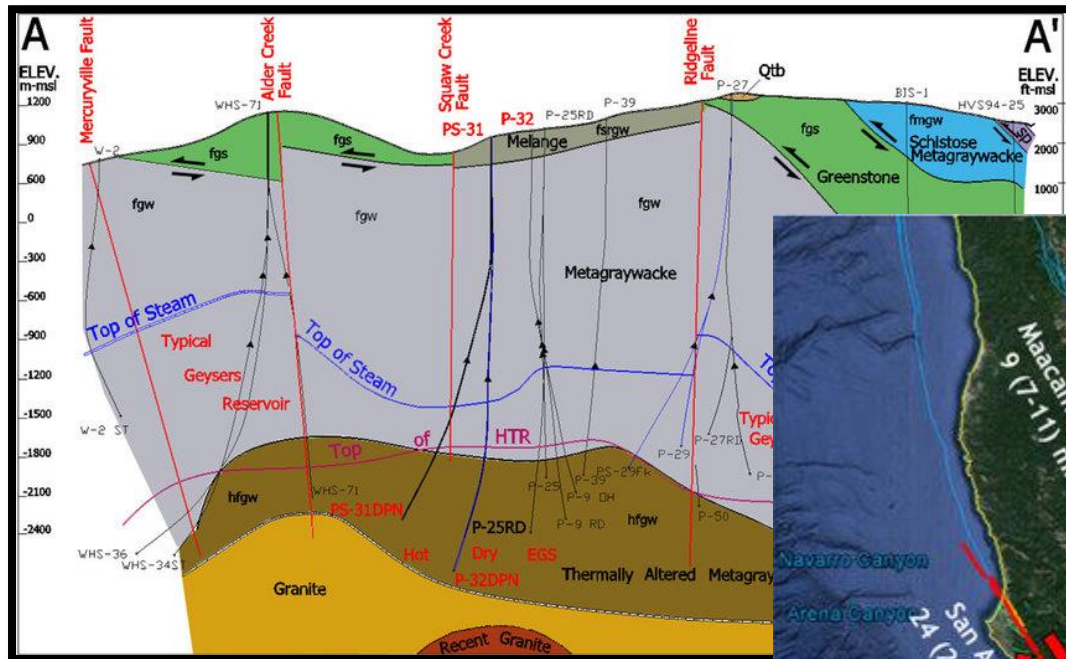
Visokotemperaturna geotermalna energija

Izkoriščanje visokotemperaturne geotermalne energije vključuje pridobivanje toplote **iz globokih virov**, kjer **temperature običajno presegajo 150°C**. Ta oblika geotermalne energije je **primerna za proizvodnjo električne energije in toplote za različne industrijske procese**.

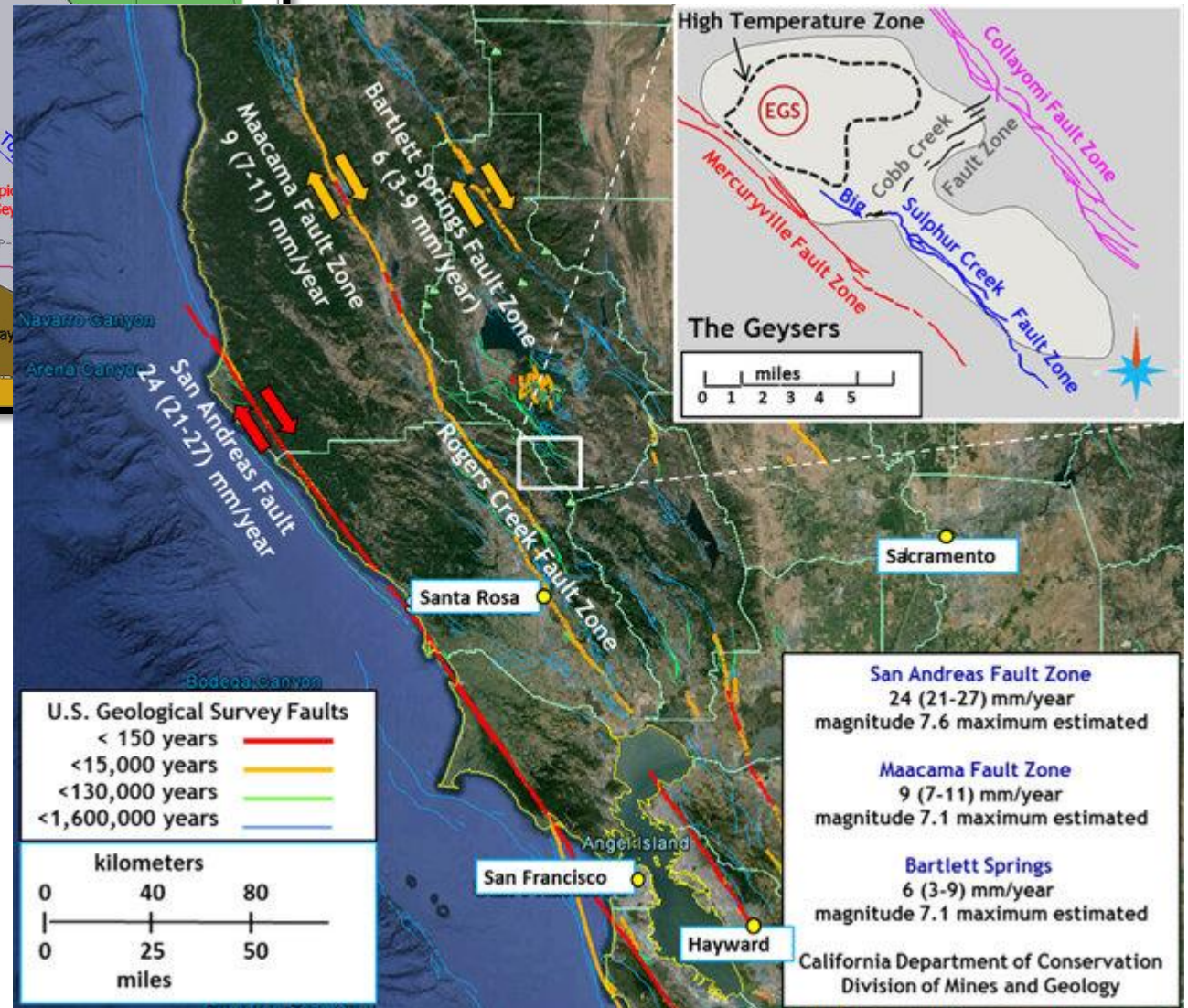
Metode izkoriščanja

- **Para:** Geotermalni sistemi lahko uporabljajo vročo paro, ki prihaja iz podzemlja naravno in se neposredno usmerja v turbine za proizvodnjo električne energije. Primer tega je geotermalno polje Geysers v Kaliforniji, ZDA.
- **Sistemi z uparjeno tekočino (Flash Steam):** Sistemi s sproščanjem pare vključujejo vbrizgavanje vroče vode (preko 182°C) iz podzemlja v nizkotlačni rezervoar, kjer se hitro upari (flash) in ustvarja paro, ki poganja turbine. Preostala vroča voda se lahko ponovno vbrizga v rezervoar za nadaljnjo uporabo.





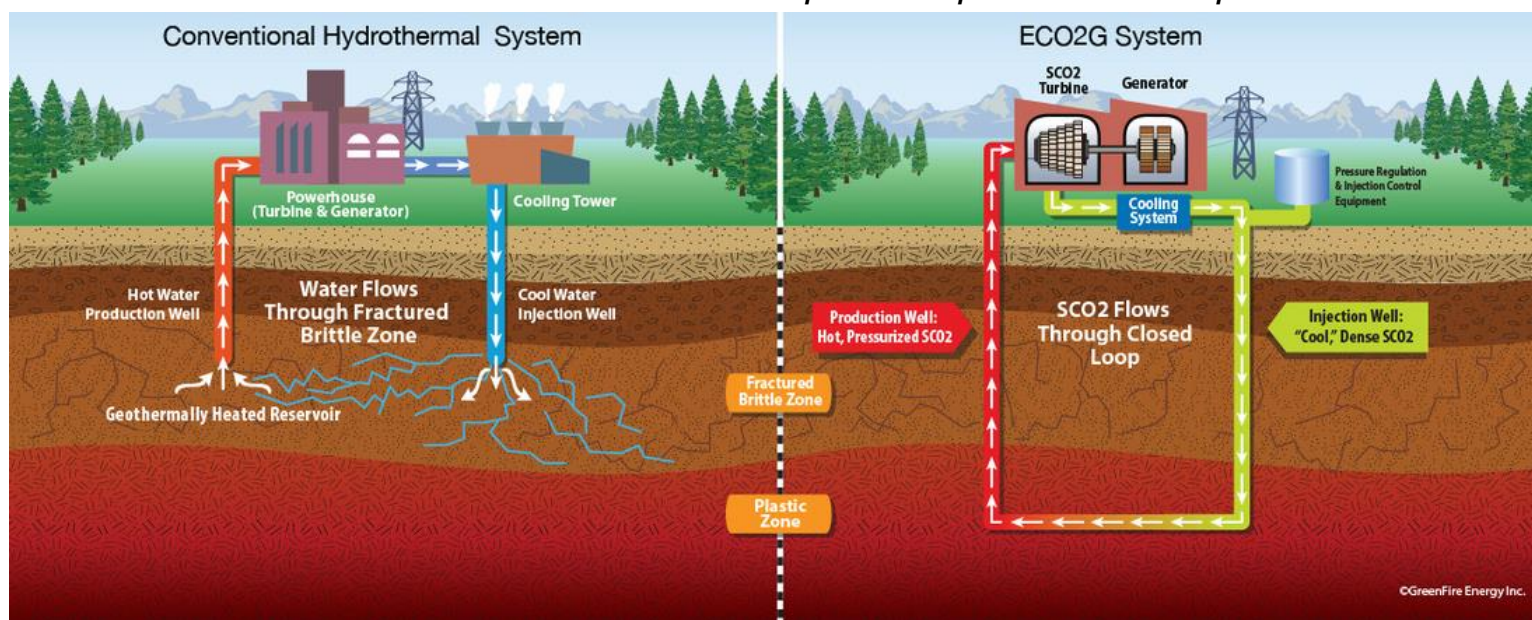
Tektonska struktura **Geysers** sistema
v Kaliforniji.



Uporabe visokotemperaturne geotermalne energije

- **Proizvodnja električne energije:** Visokotemperaturna geotermalna energija se primarno uporablja za proizvodnjo električne energije. Paro ali vročo vodo se vodi v turbine, ki so povezane z generatorji za proizvodnjo električne energije. Ta metoda je zanesljiva in lahko zagotavlja stalno oskrbo z energijo ne glede na vremenske razmere.
- **Industrijski procesi:** Visokotemperaturna geotermalna energija se uporablja tudi v industriji za procese, ki zahtevajo visoke temperature, kot so sušenje, sterilizacija, pasterizacija in različne kemične reakcije (Geothermal DHC).
- **Ogrevanje:** Poleg proizvodnje električne energije se visoke temperature geotermalne energije uporabljajo za daljinsko ogrevanje v mestih in industrijskih območjih, kjer se toplota prenaša skozi izolirane cevi do končnih uporabnikov (MDPI).

Odprti in zaprti visokotemperaturni sistemi



Prednosti visokotemperaturne geotermalne energije

- **Obnovljiv vir:** Geotermalna energija je obnovljiv vir, ki lahko zagotavlja energijo več desetletij, če se pravilno upravlja.
- **Nizke emisije:** Proizvodnja geotermalne energije povzroča zelo malo emisij toplogrednih plinov v primerjavi s fosilnimi gorivi.
- **Zanesljivost:** Geotermalna elektrarna lahko deluje neprekinjeno, 24 ur na dan, ne glede na vremenske razmere, kar zagotavlja stabilno oskrbo z energijo.
- **Lokalni vir:** Geotermalna energija zmanjšuje odvisnost od uvoženih goriv in povečuje energetske neodvisnost.

Primeri izkoriščanja

- **Islandija:** Ena najbolj znanih držav, ki izkorišča visokotemperaturno geotermalno energijo, kjer geotermalne elektrarne zagotavljajo velik delež električne energije in ogrevanja.
- **Kalifornija, ZDA:** Geotermalno polje Geysers je največje kompleks suhe pare na svetu, ki zagotavlja pomemben delež električne energije za severno Kalifornijo.

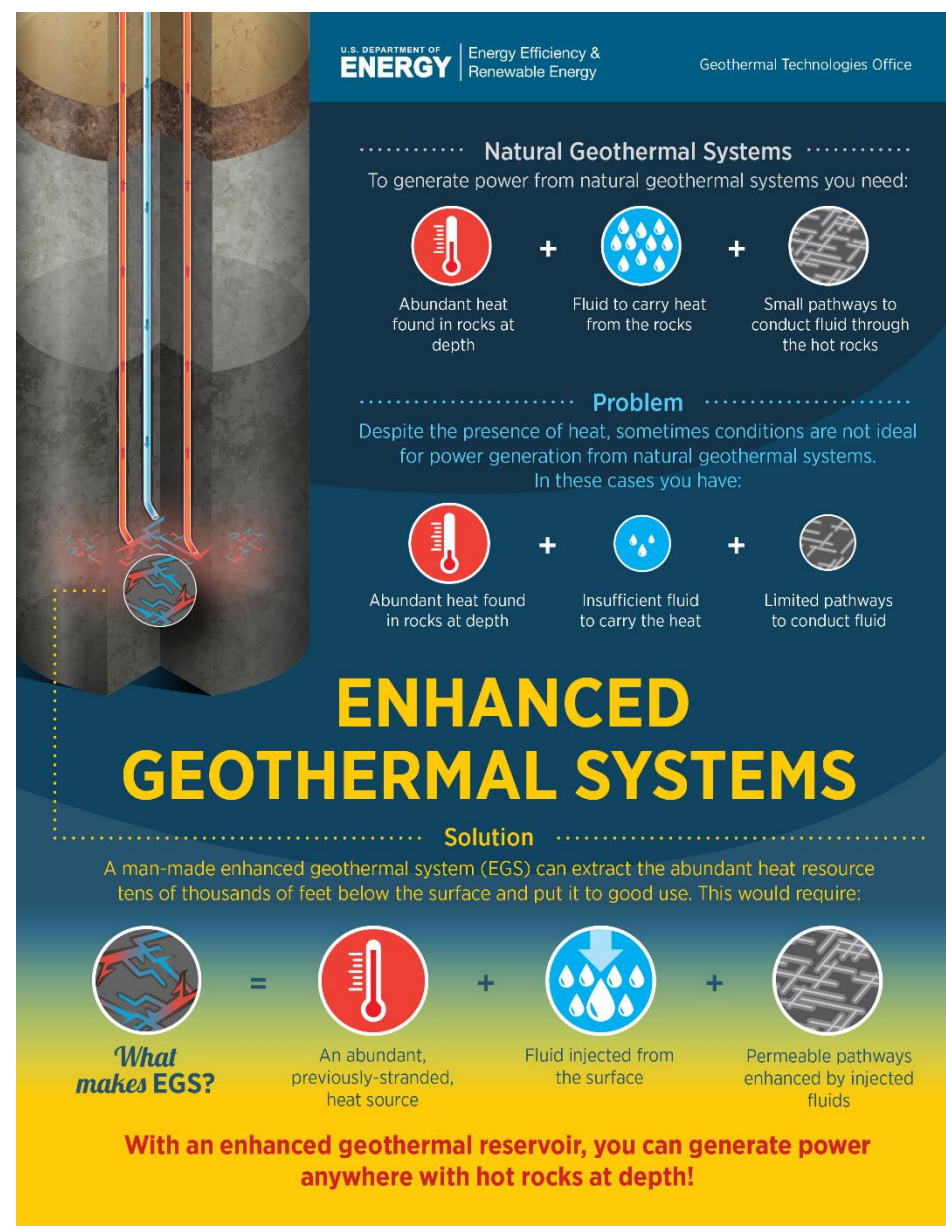
Visokotemperaturna geotermalna energija tako predstavlja pomemben del trajnostnega energetskega sistema, ki pomaga zmanjšati emisije ogljikovega dioksida in povečuje energetske varnost.

Hlajenje vročih kamnin (Enhanced Geothermal Systems - EGS)

- **Vrtanje vrtin:** Globoke vrtine do vročih kamnin (150-300°C).
- **Ustvarjanje razpok:** V visokotemperaturne kamnine se črpa visokotlačna voda, ki ustvarja mikro-razpoke in poveča površino za prenos toplote.
- **Kroženje vode:** Hladna voda se črpa v razpoke, kjer se segreje in nato vrača na površje kot vroča voda ali para.
- **Proizvodnja energije:** Segreta voda ali para poganja turbine za proizvodnjo električne energije.

Prednosti:

- Povečanje geotermalnega potenciala tudi na območjih brez naravnih vodonosnikov.
- Stalna oskrba z energijo ne glede na vremenske razmere.
- Nizke emisije toplogrednih plinov.



Vertikalni zemeljski kolektor (grelno število = 3 - 4)

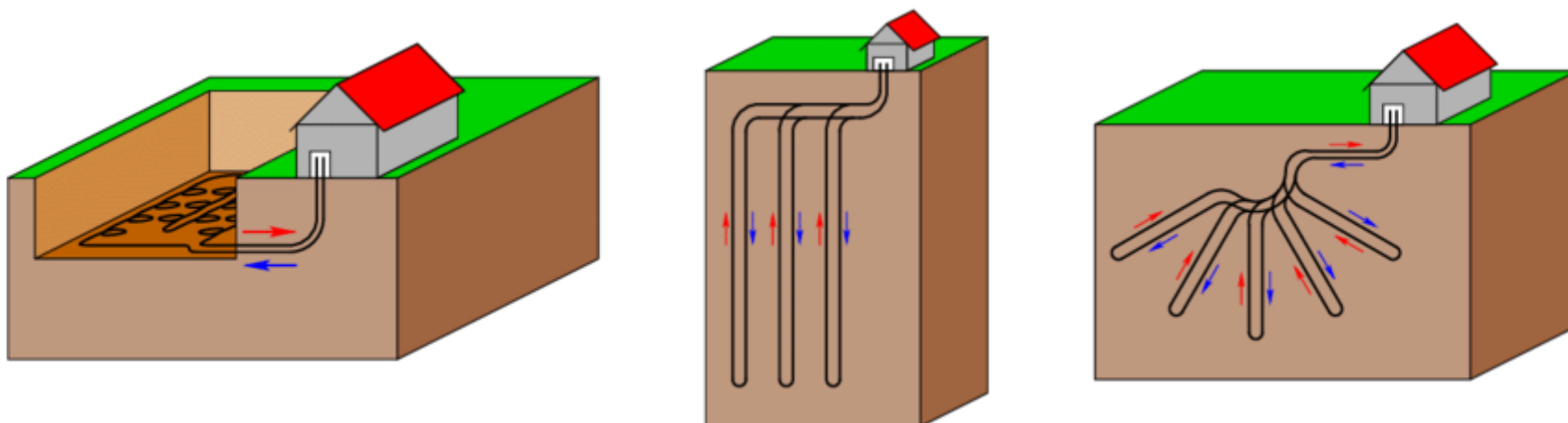
Vertikalni zemeljski kolektor je sestavni del geotermalnega sistema, ki izkorišča toploto iz tal za ogrevanje in hlajenje stavb. Sistem je sestavljen iz cevi, nameščenih v globoke vrtime, običajno **med 50 in 150 metrov**.

Struktura in delovanje

- **Vrtine:** Globoke 50-150 metrov, odvisno od geoloških lastnosti.
- **Cevi:** Cevi skozi katere kroži toplotni prenašalnik (voda ali mešanica vode in antifriz).
- **Prenos toplote:** Toplotni prenašalnik absorbira toploto iz zemlje in jo prenaša v toplotno črpalko.
- **Kroženje:** Zaprt sistem, kjer prenašalnik kroži brez izpusta v okolje.

Uporaba

- **Stanovanjske stavbe:** Zanesljivo ogrevanje in hlajenje domov.
- **Komercialne zgradbe:** Ogrevanje in hlajenje pisarn, trgovin ipd.
- **Industrijske aplikacije:** Stabilne temperature za različne industrijske procese.



Horizontalni zemeljski kolektor (grelno število = 2.5)

Horizontalni zemeljski kolektor je del geotermalnega sistema, ki se uporablja za ogrevanje in hlajenje stavb. Cevi so nameščene vodoravno v zemlji **na globini od 1,2 do 1,8 metra**. Na tej globini naprej položimo fini pesek in cevi. Če je zemlja vlažna, potrebujemo manjšo površino in krajše cevi, saj je učinkovitost sistema večja.

Za horizontalni zemeljski kolektor moramo imeti okoli hiše dovolj nezazidanega prostora, približno 2-kratno površino objekta. **Če ima ogrevani objekta 150 m², potrebujemo za horizontalni zemeljski kolektor 300 m² prostora. Uporaba:** Stanovanjske stavbe, manjše komercialne zgradbe, kmetijske aplikacije.

Struktura in delovanje

- **Globina:** Cevi so položene na plitvi globini, kjer je temperatura zemlje stabilna.
- **Cevi:** Polietilenske cevi v zankah ali zvezdastih vzorcih, skozi katere kroži toplotni prenašalnik (voda ali antifriz).
- **Prenos toplote:** Toplotni prenašalnik absorbira toploto iz zemlje in jo prenaša v toplotno črpalko.
- **Kroženje:** Zaprt sistem omogoča stalno kroženje brez izpusta v okolje.

Prednosti

- Nižji stroški namestitve
- Enostavnost
- Učinkovitost



Škodljivi vplivi koriščenja geotermalne energije

Izkoriščane geotermalne energije ima tudi določene škodljive vplive na okolje:

- **Usedanje tal, ki nastane pri praznjenju vodonosnikov:** Posedanje tal preprečimo z vračanjem vode v vodonosnik.
- **Onesnaževanje voda** (toplotno onesnaževanje površinskih voda, v katere spuščamo zavrženo geotermalno vodo – v kanalizacijo lahko vračamo vode, ki imajo manj kot 40 °C, v vodotoke pa manj kot 30 °C). Z izlivom izkoriščene termalne vode v reke ali jezera se poveča vsebnost škodljivih snovi (karbonati, silikati, sulfait, kloridi, Hg, Pb, Zn, itd), trdnih snovi (pesek, mulj) in slanost,
- **Usedline:** v ceveh sistema nastajajo usedline, ker termalne vode vsebujejo raztopljene pline (O₂, CO₂) in trdne snovi apnenec, kremen, kalcijev sulfat, kalcijev fosfat), emulgirana olja, parafine, pesek, mulj itd. Nekateri raztopljene snovi (H₂S, O₂, CO₂) povzročajo tudi korozijo cevi.

Pri proizvodnji električne energije, kjer izkoriščamo paro iz geotermalnih nahajališč, lahko pride do onesnaževanja zraka, ker para vsebuje pline (**CO₂, H₂S, NH₃, CH₄, N₂, H₂**). Pline pred uporabe pare izločimo v **izločevalnikih**. Največji problem predstavlja **H₂S**, ki oksidira v žveplov dioksid, ta pa v žvepleno kislino, ki povzroča **kisel dež**. Emisije škodljivih snovi pa manjše kot pri kotlih, v katerih sežigamo fosilna goriva (plin, nafto, premog). Razen onesnaževanja zraka, para iz geotermalnih nahajališč povzroča tudi **hrup** (pri prostem izpustu pare znaša zvočna moč tudi do **120 dB**, zato je potrebno vgraditi dušilnike.

Prednosti koriščenja geotermalne energije

- **Obnovljivost in trajnost:** Neizčrpen vir energije, ki se lahko uporablja dolgoročno.
- **Nizke emisije:** Zanemarljive količine toplogrednih plinov v primerjavi s fosilnimi gorivi.
- **Zanesljivost:** Na voljo 24/7, neodvisno od vremenskih pogojev.
- **Energetska učinkovitost:** Toplotne črpalke proizvedejo več enot toplote na porabljeno enoto električne energije.
- **Lokalna energija:** Zmanjšuje odvisnost od uvoženih goriv in povečuje energetska neodvisnost.
- **Manjša uporaba zemljišč:** Zavzema manj prostora kot druge obnovljive vire energije.
- **Večnamenskost:** Uporaba za električno energijo, ogrevanje, hlajenje in industrijske procese.
- **Ekonomične koristi:** Dolgoročni prihranki zaradi visoke učinkovitosti in nizkih obratovalnih stroškov.

