



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 T3 Priprava smernic za razvoj projekta
Aktivnost AT. 3.1 Smernice in ciljno usmerjeno usposabljanje strokovnjakov**

Dosežek: D.T 3.1.1 Smernice za tehnično zasnovo projekta in določanje parametrov geotermalnih vrtin in dubletov

**Work Package T3 Preparing guidelines on project development
Activity AT 3.1 Guidelines and targeted trainings of experts**

Deliverable: D.T 3.1.1 Guidelines for project technical design and determination of parameters of geothermal wells and doublets

**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: Matej Prkič¹, Nina Rman², Andrej Lapanje²

¹ GeoGreen d.o.o., Ledavska ulica 26, 9000 Murska Sobota, Slovenia

² Geološki zavod Slovenije / Geological Survey of Slovenia, Dimičeva ulica 14, 1000 Ljubljana, Slovenia
(GeoZS)

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 vsebine

1	POVZETEK.....	1
2	ABSTRACT.....	1
3	POSTOPEK PRIDOBIVANJA DOVOLJENJ	2
3.1	PODLAGA V ZAKONODAJI.....	2
3.1.1	DOVOLJENJE ZA RAZISKOVANJE PO ZRUD-1	2
3.1.2	DOVOLJENJE ZA RAZISKOVANJE PO ZV-1	2
3.1.3	DOVOLJENJE ZA RAZISKOVANJE PO ZUNPEOVE	3
3.2	PROJEKTNÁ DOKUMENTACIJA	3
3.3	DOVOLJENJA	4
4	OPIS TEHNIČNEGA PRISTOPA K VRTANJU GEOTERMALNIH VRTIN	4
4.1	GEOLOŠKE IN HIDROGEOLOŠKE ZNAČILNOSTI LOKACIJE.....	4
4.2	ANALIZA HIDRAVLICNEGA IN TEMPERATURNEGA VPLIVA RABE TERMALNE VODE	5
4.3	METODE VRTANJA	5
4.3.1	VERTIKALNO VRTANJE.....	7
4.3.2	USMERJENO VRTANJE	7
4.3.3	HORIZONTALNO VRTANJE	7
4.4.	VZORČEVANJE IN JEDROVANJE.....	7
4.4.1	VZORČENJE.....	8
4.4.2	JEDROVANJE	8
4.5.	KAROTAŽNE MERITVE	8
4.6.	DOLOČITEV KONSTRUKCIJE VRTINE	9
4.7.	DIMENZIONIRANJE TEHNIČNIH IN PROIZVODNIH ZAŠČITNIH CEVI	10
4.7.1	DIMENZIJA ZAŠČITNIH CEVI	11
4.7.2	MATERIALI ZAŠČITNIH CEVI	11
4.7.3	CEMENTACIJA ZAŠČITNIH CEVI	11
4.7.4	ŽURNAL ZAŠČITNIH CEVI IN POSTAVITEV CENTRALIZERJEV	12
4.7.5	DOLOČITEV DIMENZIJE IN TIPA MATERIALA ZA FILTRNE CEVI	13
4.8.	VGRADNJA OPTIČNIH VLAKEN	13
5	POTEK DEL	14
5.1	IDEJNA ZASNOVA PROJEKTA.....	14



5.2	IZDELAVA TEHNIČNE DOKUMENTACIJE.....	14
5.3	PRIDOBITEV DOVOLJENJ	15
5.4	IZBOR IZVAJALCA VRTALNIH DEL	16
5.5	VRTANJE VRTINE	16
5.5.1	VERTIKALNA VRTINA	19
5.5.2	USMERJENA ALI HORIZONTALNA VRTINA	19
6	TESTIRANJE VRTIN	21
6.1	OSNOVNI NAČINI TESTIRANJA VRTIN	21
6.2	OPREMA ZA IZVEDBO TESTIRANJA	22
7	INTERPRETACIJA PODATKOV	25
8	ZAKLJUČEK	25
9	LITERATURA	26

Kazalo slik

Slika 1: Predstavitev procesa vrtanja po ključnih segmentih.....	5
Slika 2: Tipi vrtin glede na metodo vrtanja. Vir: https://link.springer.com/article/10.1007/s40948-016-0038-y	6
Slika 3: Tipična konstrukcija vrtine v odvisnosti od nahajališča. Vir: Dumas, 2013.	9
Slika 4: Upoštevanje podatkov za dimenzioniranje zaščitnih cevi globokih geotermalnih vrtin. Vir: Dumas, 2013.	10
Slika 5: Metoda cementacije po Perkinsu. Vir: https://horizonoilwell.com/horizon-oilwell-academy-ltd-iraq-training-courses-center/	12
Slika 6: Priprava delovišča za vrtanje geotermalne vrtine v SV Sloveniji (foto S. Mozetič).	17
Slika 7: (a) Prikaz delovišča za vrtanje vrtine, (b) primer vtiskovalne vrtine s površinsko infrastrukturo in (c) črpalne vrtine.	18
Slika 8: Okvirni časovni okvir izvedbe projekta.....	20
Slika 9: Ustje črpalne (levo) in reinjekcijske (desno) geotermalne vrtine.	23
Slika 10: Shematski prikaz testiranja.	24



1 Povzetek

Z namenom podpiranja učinkovite kaskadne rabe geotermalne energije z uporabo dostopnih uradnih in javnih informacije so izdelane smernice za razvoj geotermalnih projektov in izvedbe geotermalnih vrtin. V luči celostne obravnave so izpostavljeni zakonski okvirji, potreba dokumentacija, upravni postopki in potek projekta od ideje do izvedbe. Potek razvojnih faz projekta je prikazan in opisan z vidika tehničnega pristopa za lociranje, projektiranje in izvedbo vrtine. Prikazane so osnovne razlike med tipi vrtin, načinom opremljanja, potrebne površinske infrastrukture s prednostmi in slabostmi glede na ciljno nahajališče geotermalne energije. Tovrstni projekti so kompleksni in za uspešno izvedbo potrebujejo sodelovanje strokovnjakov s področij geološke, rudarske, energetske, strojniške, procesno kemijske, elektro in gradbene stroke.

2 Abstract

In order to support the efficient cascade use of geothermal energy by using accessible official and public information, guidelines for the development of geothermal projects and geothermal wells have been drawn up. In the light of a holistic approach, legal frameworks, the need for documentation, administrative procedures, and the course of the project from idea to implementation are highlighted. Demonstration of the development phases of the project is shown and described from the point of view of the technical approach to locating, designing and executing the well. Provided are also basic differences between the types of wells, the method of equipping, the necessary surface infrastructure with advantages and disadvantages in relation to the target thermal energy deposit are shown. Projects of this type are complex and require for successful implementation the cooperation of experts from the fields of geology, mining, energetics, chemical processing, electrical profession, and mechanical and civil engineering.





3 Postopek pridobivanja dovoljenj

Za izvedbo raziskovanja geotermalne energije na območju Slovenije ni vzpostavljenega sistema oziroma protokola za izvedbo raziskave. Raziskovanje geotermalne energije poteka na tri načine, in sicer po Zakonu o rudarstvu (ZRud-1), Zakonu o vodah (ZV-1) ali Zakonu o uvajanju naprav za proizvodnjo električne energije iz obnovljivih virov energije (ZUNPEOVE-1). Vse zakonske podlage so med sabo prepletene in vključujejo še okoljski vidik po Zakonu o varstvu okolja - ZVO (4). V nadaljevanju so predstavljeni postopki pridobitve dovoljenja za raziskovanje po vseh zakonskih podlagah.

3.1 Podlaga v zakonodaji

3.1.1 Dovoljenje za raziskovanje po ZRud-1

Dovoljenje za raziskovanje se izda na podlagi izvedenega javnega razpisa. Odločitev o izvedbi javnega razpisa sprejme ministrstvo, pristojno za rudarstvo na podlagi (Vir: Zrud-1):

- ugotovitve o interesu gospodarsko utemeljenega izkoriščanja mineralne surovine (geotermični energetski vir) ali
- vloge, ki jo pri ministrstvu, pristojnem za rudarstvo, vloži posamezna zainteresirana pravna ali fizična oseba.

Dovoljenje za raziskovanje mineralne surovine lahko na način in pod pogoji, ki jih določa Zakon o rudarstvu (ZRud-1), pridobi pravna ali fizična oseba:

- ki ima sedež v državah članicah Evropske unije, Evropskega gospodarskega prostora in Švicarske konfederacije ter v državah članicah Organizacije za gospodarsko sodelovanje in razvoj (v nadaljnjem besedilu: države pogodbenice) oziroma ki je državljani države pogodbenice, in
- ki ni iz države pogodbenice, ampak iz tretje države, vendar samo, če je izpolnjen pogoj materialne vzajemnosti. Šteje se, da je ta pogoj izpolnjen, če ima interesent, ki je iz tretje države, sedež oziroma bivališče v Republiki Sloveniji in v svoji državi lahko opravlja dejavnost pod enakimi ali podobnimi pogoji, pod katerimi lahko opravlja dejavnost v Republiki Sloveniji. V primeru sedeža pravne osebe oziroma bivališča fizične osebe v več tretjih državah se pri ugotavljanju vzajemnosti upošteva pravni red tiste države, ki je najstrožji.

3.1.2 Dovoljenje za raziskovanje po ZV-1

Pravna ali fizična oseba, ki namerava raziskovati podzemne vode, mora izpolnjevati predpisane pogoje in pred izvedbo del, povezanih z raziskovanjem podzemnih voda, pridobiti dovoljenje za raziskave. V dovoljenju se določijo pogoji, pod katerimi se sme izvesti raziskava podzemnih voda. Vodo, ki jo izvajalec raziskave načrpa, lahko uporablja samo za raziskave. Vse pridobljene podatke mora izvajalec raziskave v enem mesecu po zaključku raziskave podzemnih voda brezplačno sporočiti ministrstvu, in sicer v elektronski obliki (Vir: ZV-1).

Za pridobitev dovoljenja za raziskavo podzemnih voda se vloži vloga pri Direkciji RS za vode na predpisanem obrazcu. Izpolnjeni vlogi je treba priložiti naslednje dokumente (Vir: ZV-1):

- strokovne osnove ali program hidroloških raziskav za izdelavo vrtine;
- za vrtine/vodnjake (ne velja za opazovalne vrtine, namenjene monitoringu podzemnih voda), globine 50 m in več, projekt vrtine, ki je izdelan za zahtevne objekte skladno z Gradbenim zakonom;
- Za vrtine/vodnjake, globlje od 300 m, revidiran rudarski projekt vrtine, ki je izdelan skladno z Zakonom o rudarstvu;
- kopijo načrta parcele z vrisom predvidenih objektov (vrtin);
- izjavo lastnika nepremičnine (oz. vodovoda v primeru rabe vode iz vodovoda), na kateri je predviden odvzemni objekt (ni treba, če je vodno ali priobalno zemljišče v lasti RS);



- mnenje pristojnega izvajalca gospodarske javne službe, ki opravlja dejavnost vodooskrbe (v primeru, ko omenjena javna služba ni tudi prosilec za pridobitev dovoljenja), če gre za raziskavo na območju vodonosnika pitne vode;
- pisno pooblastilo (če prosilca zastopa pooblaščenec).

3.1.3 Dovoljenje za raziskovanje po ZUNPEOVE

Ta zakon z namenom doseganja podnebne nevtralnosti in ciljev na področju deleža energije iz obnovljivih virov v bruto končni porabi v Republiki Sloveniji ureja vzpostavitev prednostnih območij umeščanja naprav, ki proizvajajo električno energijo iz obnovljivih virov energije in vključuje raziskovalno geotermalno koncesijo. Ureja raziskovanje in izkoriščanje geotermalne energije kot obnovljivega naravnega vira za namene spodbujanja raziskovanja in proizvodnje električne energije z izrabo geotermalne energije, ki obsega raziskovanje geotermalnega potenciala, načrtovanje, dovoljevanje in postavitve naprav, ki proizvajajo in shranjujejo električno energijo, proizvedeno z izrabo geotermalne energije. Raziskovalno koncesijo tvorijo naslednje faze izvajanja (Vir: ZUNPEOVE):

- faza raziskovanja geotermalnega potenciala,
- pripravljalna faza (v katero spadajo priprava prostorskega izvedbenega akta, pridobivanje potrebnih dovoljenj in gradnja geotermalne elektrarne),
- faza raziskovalne proizvodnje električne energije.

Raziskovalna geotermalna koncesija po tem zakonu se lahko podeli, če je predvideno raziskovanje in raziskovalno izkoriščanje geotermalne energije na enega od naslednjih načinov (Vir: ZUNPEOVE):

- zaprt sistem z geokolektorjem oziroma geosondo, tako da se toplotna energija iz geoloških plasti odvzema s pomočjo v zanko povezanega cevne sistema, montiranega v vrtino (vertikalni kolektor) ali vodoravno položenega v določeni globini pod površjem tal (horizontalni kolektor), kot nosilec za odvzem toplote pa se uporablja ustrezna tekočina, nepredušno zaprta v ta cevni sistem (Vir: ZUNPEOVE),
- z reinjektiranjem, tako da se toplota iz geoloških plasti odvzema preko vsaj dveh vrtin, ki sta na površju medsebojno povezani, kot nosilec za odvzem toplotne energije pa se uporablja naravna podzemna voda, ki se jo v eni vrtini črpa iz določene geološke strukture oziroma vodonosnika do odzjemnega mesta toplote, po odvzemu toplote iz nje pa se ta voda preko druge vrtine oziroma vrtin v celoti vrača nazaj v izvorno geološko strukturo oziroma vodonosnik. Vrtine morajo biti globoke vsaj 2.000 metrov (3).

3.2 Projektna dokumentacija

Za izvedbo postopkov pridobitve dovoljenja za raziskovanje je treba pridobiti dokumentacijo, ki je pogoj za pričetek postopkov izvedbe. Tehnična dokumentacija za izvedbo globinskega dela geotermalnega sistema obsega naslednje dokumente:

- Geološke strokovne osnove in program hidrogeoloških raziskav.
- Geološko študijo geotermalnega potenciala z modelom hidravličnega in temperaturnega vpliva.
- Revidiran rudarski projekt za izvedbo vrtalnih del pri izkoriščanju geotermičnih energetskih virov.
- Poročilo o vplivih nameravanega posega na okolje oz. predhodni postopek.
- Rudarski projekt izvedenih del.
- Izdelavo hidrogeološkega poročila o izgradnji vrtine.

Navedena dokumentacija predstavlja ključne dokumente za izvedbo globinskega dela sistema. Poleg navedene dokumentacije je v nadaljnji fazi treba pripraviti še druge dokumente za izvedbo površinskega sistema izkoriščanja geotermalnega vira. Za površinski sistem pa je treba pripraviti še naslednje dokumente:

- Prostorsko dokumentacijo za umeščanje objektov rabe (OPN, OPPN).
- Gradbeno dokumentacijo in načrte.
- Strojno dokumentacijo in načrte.
- Elektro dokumentacijo in načrte.
- Okoljsko dokumentacijo in načrte.

3.3 Dovoljenja

Za izvedbo podzemnega geotermalnega sistema je treba pridobiti naslednje dovoljenja:

- Dovoljenje za raziskovanje ZRud-1 (MNVP), ZUNPEOVE (MOPE).
- Dovoljenje za raziskavo podzemnih voda po ZV-1 (DRSV).
- Vodno soglasje (DRSV).
- Odločbo glede potrebe po izvedbi PVO (MNVP).
- Koncesijo za rabo po preizkušanju vira (MNVP/MOPE).

Za izvedbo površinskega geotermalnega sistema je treba pridobiti naslednja dovoljenja:

- Urejena prostorska dokumentacija in namembnost zemljišč (OPN, OPPN).
- Gradbeno dovoljenje (Upravna enota).
- Uporabno dovoljenje (Upravna enota).
- Okoljevarstveno soglasje (MOPE).

4 Opis tehničnega pristopa k vrtanju geotermalnih vrtin

Vrtanje geotermalnih vrtin spremlja več različnih izzivov in dejavnikov, ki vplivajo na končni rezultat posega v podzemlje. Pomembna je dobra priprava in analiza razpoložljivih podatkov na širšem območju predvidene izvedbe vrtine s poudarkom na geologiji in hidrogeologiji. Navedeni panogi predstavljata inicialno informacijo glede pričakovanih izzivov podzemlja v času vrtanja vrtine. Poleg navedenih so zaželeni tudi rudarski podatki o vrtanju morebitnih vrtin v bližnji okolici s poudarkom na analizi potencialnih izzivov, ki so se pojavljali v času izvajanja vrtalnih del ali ob inicialnem testiranju vrtin. V nadaljevanju je predstavljen tehnični pregled izvedbe globokih geotermalnih vrtin (globljih od 300 m) v odvisnosti od:

- Geoloških in hidrogeoloških značilnosti lokacije.
- Analiza modela hidravličnega in temperaturnega vpliva.
- Metode vrtanja.
- Konstrukcije vrtine.
- Določitve tehničnih in proizvodnih značilnosti zaščitnih cevi.
- Določitev dimenzije in tipa materiala za filtrne cevi.

Te parametre je moč določiti šele po izdelavi geološko-hidrogeoloških osnov.

4.1 Geološke in hidrogeološke značilnosti lokacije

Prvi korak pri raziskovanju in določanju lokacije za izvedbo globoke geotermalne vrtine je vezan na izdelavo geoloških strokovnih osnov in programa hidrogeoloških raziskav. Navedene aktivnosti so osnova za opredelitev primernosti potencialne lokacije in izdelavo ocene naravnih danosti z realno možnostjo izkoriščanja. Pomemben vir podatkov za izdelavo preliminarne analize predstavljajo:

- Seizmični profili podzemne strukture nahajališča
- Poročila in izsledki strukturno tektonskih analiz
- Podatki iz okoliških globokih vrtin
- Podatki o črpanju bližnjih/podobnih vrtin o pretoku, temperaturi in tlaku na ustju vrtine.

Na osnovi navedenih podatkov se izdelava strokovne osnove geoloških in hidrogeoloških raziskav, ki obsegajo:

- lokacijo raziskovalne vrtine,
- pričakovani geološki profil vrtine,
- opredelitev potrebnih geoloških in hidrogeoloških raziskav (vzorčenje, meritve, karotaža,...),
- predviden obseg inicialnega testiranja vrtine.

Strokovne osnove predstavljajo prvi dokument na podlagi katerega sledi odločitev o nadaljnjih aktivnostih vezanih na izvedbo vrtine in analizo potenciala z modelom hidravličnega in temperaturnega vpliva.

4.2 Analiza hidravličnega in temperaturnega vpliva rabe termalne vode

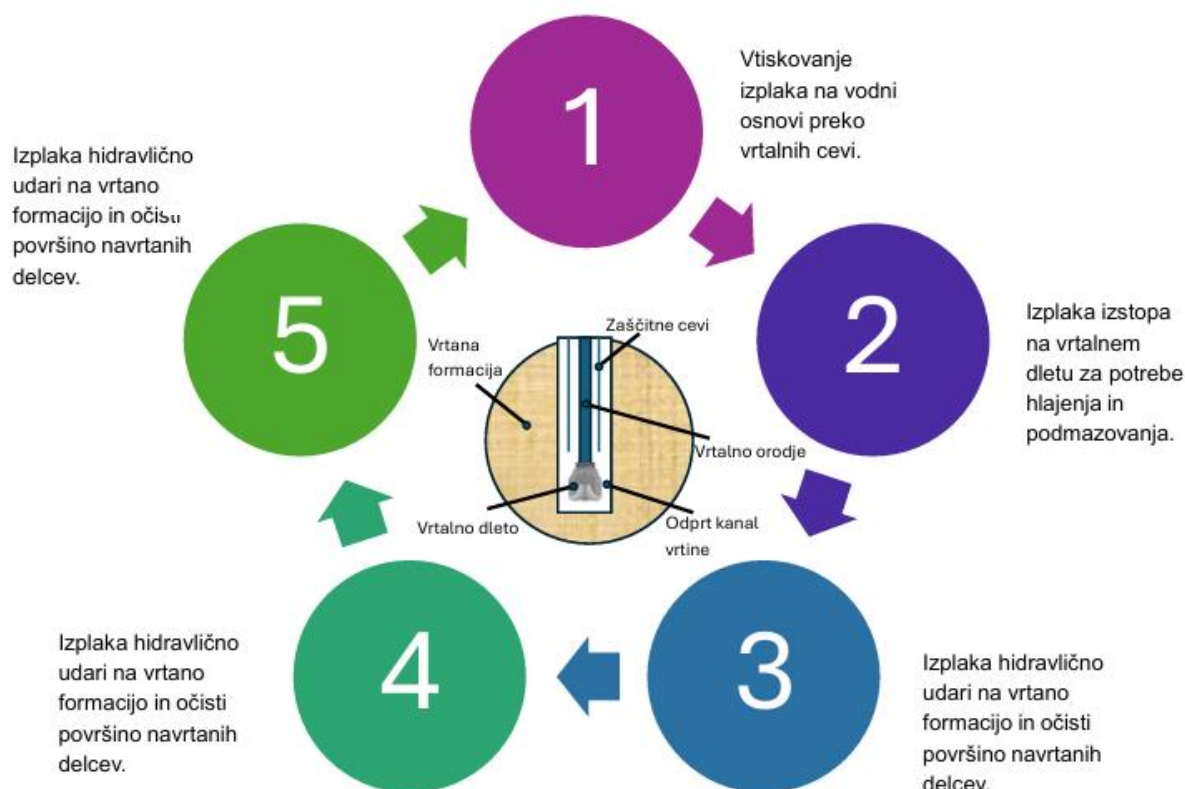
Strokovnim geološkim in hidrogeološkim osnovam sploh pri razvoju večjega sistema ali rabe več vrtin sledi numerična analiza hidravličnega in temperaturnega odziva nahajališča na črpanje in injektiranje termalne vode ob različnih predpostavkah oziroma scenarijih. Ključni parametri, ki se upoštevajo pri analizi, so vezani na:

- Velikost nahajališča oz. vodonosnih plasti in dinamika toka podzemne vode (debelina, bariere,...)
- Hidrogeološke in geotermične lastnosti nahajališča
- Oddaljenost in oblika črpalnih in injekcijskih vrtin ter obstoječih vrtin
- Pričakovana količina črpanja in injektiranja
- Temperaturni izkoristek v sistemu rabe (pričakovani odvzem toplote ΔT)
- Kemizem in mineralizacija vode.

Rezultati analize ocenijo časovno komponento snovnega preboja in temperaturnega vpliva v vodonosniku, torej spremembe njegovega količinskega in kakovostnega stanja vsaj v celotnem obdobju amortizacije projekta. Običajno se preizkuša na vsaj 25 let delovanja. V odvisnosti od rezultatov in izvajanja obratovalnega monitoringa je mogoče izdelati prognozo obratovanja in pričakovanih učinkov črpanja in reinjektiranja vode na lokaciji.

4.3 Metode vrtanja

Geološkim raziskavam sledijo rudarske, ki tehnično opredelijo in predlagajo najprimernejši način izvedbe raziskovalne vrtine. Za začetek se določi metoda vrtanja, ki je odvisna od globine, geologije, tipa garniture, zahtevnosti vrtanega nahajališča, temperaturno/tlačnih pogojev in drugih lastnosti, opredeljenih v geološki in hidrogeološki strokovni dokumentaciji, ki je osnova za izdelavo rudarskega projekta za izvedbo vrtine. Za globoko vrtanje se največkrat uporablja metoda vrtanja z izplako, ki omogoča vzdrževanje stabilnosti vrtanega kanala vrtine, kontrolo nad izgubami/dotoki, iznos navrtanega materiala in hlajenje ter mazanje vrtnega orodja. Proces vrtanja lahko prikažemo v 5-ih točkah, ki so prikazane na Sliki 1. (7)



Slika 1: Predstavitev procesa vrtanja po ključnih segmentih.

V grobem lahko metode vrtanja razdelimo v tri skupine v odvisnosti od trajektorije vrtine, in sicer na sliki 2 (Vir: Tianshou, 2016):

- Vertikalno vrtanje.
- Usmerjeno vrtanje.
- Horizontalno vrtanje.



Slika 2: Tipi vrtin glede na metodo vrtanja. Vir: <https://link.springer.com/article/10.1007/s40948-016-0038-y>.

Načini izvedbe vrtin se razlikujejo glede globine, vrtane formacije in temperaturno- tlačno stanje vodonosnika. Najpogostejše metode vrtanja so:

- Vrtanje na zrak – udarno.
- Vrtanje z vijačnim svedrom – auger.
- Vrtanje z orodjem na jekleni vrvi.
- Vrtanje z reverzno cirkulacijo.
- Vrtanje z direktno cirkulacijo.

Med navedenim metodami sta za izvedbo geotermalnih vrtin v Panonskem bazenu najprimernejši metodi za vrtanje z reverzno in direktno cirkulacijo. Izbira metode je odvisna od vrtane formacije (peščenjaki ali karbonati), slojnega tlaka formacije in bližine delujočih vrtin. Glede na navedeno je pri določitvi metode vrtanja potrebno upoštevati stanje nahajališča in zavarovati obstoječe črpalne oziroma injekcijske objekte pred morebitnimi vplivi, ki bi lahko bili povezani z vrtanjem novih vrtin v obstoječa nahajališča:

- Vrtanje z direktno cirkulacijo
 - o Peščenjaki ali karbonati
 - o Visok slojni tlak, nahajališče intaktno
 - o Oddaljenost obstoječih vrtin več kot 300 m
 - o Vrtanje manjših premerov pod 450 mm
 - o Vrtanje preko nahajališč z plini
 - o Stabilne in nestabilne kamnine



- Vrtanje z indirektno cirkulacijo
 - o Karbonati ali peščenjaki
 - o Nizek slojni tlak, nahajališče v proizvodnji
 - o Oddaljenost obstoječih vrtin manj kot 50 m
 - o Vrtanje velikih premerov nad 500 mm
 - o Vrtanje preko nahajališč brez plinov
 - o Stabilne kamnine

4.3.1 Vertikalno vrtanje

Vertikalno vrtanje je prva metoda izvedbe vrtine, ki se uporablja še danes. Ne glede na naziv vertikalno vrtanje je treba poudariti, da nobena vrtina ni popolnoma vertikalna. Vse so vsaj nekaj stopinj odklonjene. Posledica odklona je povezana z odporom vrtnane formacije, sestavo orodja za vrtanje, lego vrtanih plasti in drugimi dejavniki, ki vplivajo na neželen odklon vrtine. Kljub vsemu danes obstaja orodje, ki mogoča izvedbo popolnoma vertikalnih vrtin z uporabo metode in opreme za usmerjeno vrtanje. Pogoji za deklariranje vertikalnosti vrtine so opisani v ZRud-1.

4.3.2 Usmerjeno vrtanje

Usmerjeno vrtanje je metoda vrtanja vrtine, ki sledi predvideni trajektoriji, ki je določena z odklonom in azimutom vrtine z namenom doseganja določenega cilja. Usmerjene vrtine so vse vrtine, ki imajo nalogo zadeti točno določen cilj pod površjem. Usmerjene vrtine se navadno odklanjajo do 60° od vertikale. Pri izvedbi se uporablja orodje, ki omogoča podzemno usmerjanje skupaj z merilnimi napravami, ki so potrebne za umeščanje dejanske lokacije vrtalnega orodja.

V Sloveniji je izvrtanih kar nekaj geotermalnih vrtin, ki so usmerjene (Mt-4, Mt-5, Mt-7 in Mt-9 v Moravskih Toplicah, Kor-1g v Korovcih,...). Prednost usmerjenih vrtin je zajem večje debeline nahajališča v primerjavi z vertikalnimi. Usmerjene vrtine vstopajo v nahajališča pod kotom in zato zajamejo večjo efektivno dolžino nahajališča. Njihovo obratovanje je primerljivo z vertikalnimi vrtinami. So pa tehnično bolj zahtevne za izvedbo (vrtanje začrtani smeri, vzdrževanje odklona, vgradnja zaščitnih cevi in filtrov, izvedba zasipa in podobno). Večino usmerjenih vrtin je črpalnih, injekcijski sta Mt-7 in Mt-9, vendar prva sedaj obratuje kot proizvodna vrtina, druga pa še ni bila testirana.

4.3.3 Horizontalno vrtanje

Horizontalno vrtanje je podobno usmerjenemu vrtanju, ker uporablja enako tehnologijo in princip izvedbe. Kljub temu je to metodo smiselno izpostaviti zaradi določenih prednosti in izzivov, ki jih prinaša. Vrtanje horizontalnih vrtin ali vrtin pod velikim kotom je podobno vrtanju usmerjenih vrtin, pri čemer ima to vrtanje določene posebnosti kot so visoki odklon in kot odmika (več kot 60°) ter dolge tangencialne in horizontalne sekcije. Največji izzivi pri izvedbi horizontalnih vrtin so poleg vzdrževanja odklona še zadostno čiščenje in iznos navrtanega materiala, preprečevanje rušenja kanala in vzdrževanje preventivne varnosti pred dotoki slojnih tekočin. Postopek izvedbe horizontalne vrtine temelji na vrtanju od površine do nahajališča, ki se začne na projektirani globini nad ciljnim nahajališčem odklanjati od navpične ravnine z namenom, da je vstop v nahajališče skoraj pod vodoravnim nagibom in trajektorija vrtine ne gre iz nahajališča, vse dokler se ne doseže zelene dolžine vrtine.

4.4. Vzorčevanje in jedrovanje

Za potrebe razumevanja podzemlja, kontrole prognoze ter dejanskega stanja geologije in zbiranje podatkov o lastnostih ne le ciljnih ampak tudi prevrtanih nahajališč je ključnega pomena izvajanje geološke spremljave. Tekom vrtanja se mora izvajati predpisano geološko vzorčenje, ki je opredeljeno v strokovnih geoloških in hidrogeoloških osnovah, rudarskem projektu za izvedbo vrtine in dovoljenju za raziskavo podzemnih voda. Zajem podatkov glede na izvedbo lahko delimo na vzorčenje in jedrovanje, kar je podrobneje opredeljeno v nadaljevanju.



4.4.1 Vzorčenje

Vzorčenje predstavlja zbiranje vzorcev s strani pooblaščenega geološke službe, ki spremlja vrtanje in vzorči navrtan material vsakih običajno 5 m. Na podlagi vzorčenja se sproti izdeluje mastelog (geološki profil vrtine), ki je osnovni orientir podzemnega dogajanja pri izvedbi vrtine. Pri vzorčenju izpirkov se izvaja več analiz, od katerih je ena pomembnejših granulometrija. Pomembno je zajeti reprezentativen vzorec ciljnih nahajališč in izdelati granulometrijsko analizo, na podlagi katere se preveri velikost zrn in ustreznost izbire projektiranih filtrov ter zasipa.

K vzorčenju spada tudi spremljanje črpalnega poskusa in merjenje čiščenja vrtine (termalna voda mora imeti primerljivo prevodnost, kot jo imajo proizvodne vrtine na širšem območju) v času njene aktivacije in inicialnega črpanja. Po aktivaciji in črpanju se izvede vzorčenje in kemijska in izotopska analiza načrpane termalne vode.

4.4.2 Jedrovanje

Jedrovanje predstavlja posebno tehniko vrtanja, pri kateri se iz vrtine odvzame vzorec kamnine v dolžini med 3 in 9 m, odvisno od potreb in opreme. Ta vzorec predstavlja pomembno informacijo o nahajališču vezano na hidrogeološke lastnosti nahajališča. Deli jedra se analizirajo v laboratoriju in s petrološkega, sedimentološkega in hidrogeološkega vidika z namenom pridobitve čim več informacij, vezanih na:

- Prepustnost,
- Poroznost,
- Transmisivnost,
- Kemizem
- Heterogenost in izotropnost itd.

Navedene analize vezane na vzorčenje in jedrovanje so pomembne za razumevanje podzemlja in nujno potrebne za kvalitetno upravljanje in vzdrževanje vrtin. Brez navedenih podatkov ni mogoče celostno analizirati delovanja in vplivov vrtin med sabo in izdelati kvalitetnega modela spremljanja podzemnega toka termalne vode v nahajališčih.

4.5. Karotažne meritve

Pred izvedbo vgradnje zaščitnih cevi je treba izvesti karotažne meritve. Predpisane karotažne meritve v izreku dovoljenja za raziskavo podzemnih voda zajemajo naravni gama, EL/SP in T/dT. Poleg navedenih je smiselno izvesti še meritve:

- Odklona in azimuta vrtine ($^{\circ}$),
- Kaliper (merjenje premera vrtine) (mm),
- Akustična karotaža (intervalni čas prehoda, počasnost P-valov) ($\mu\text{s/m}$),
- CBL (kvaliteta cementnega kamna med formacijo in zaščitnimi cevmi),
- Pregled vrtine s kamero po koncu del in pred pričetkom proizvodnje.

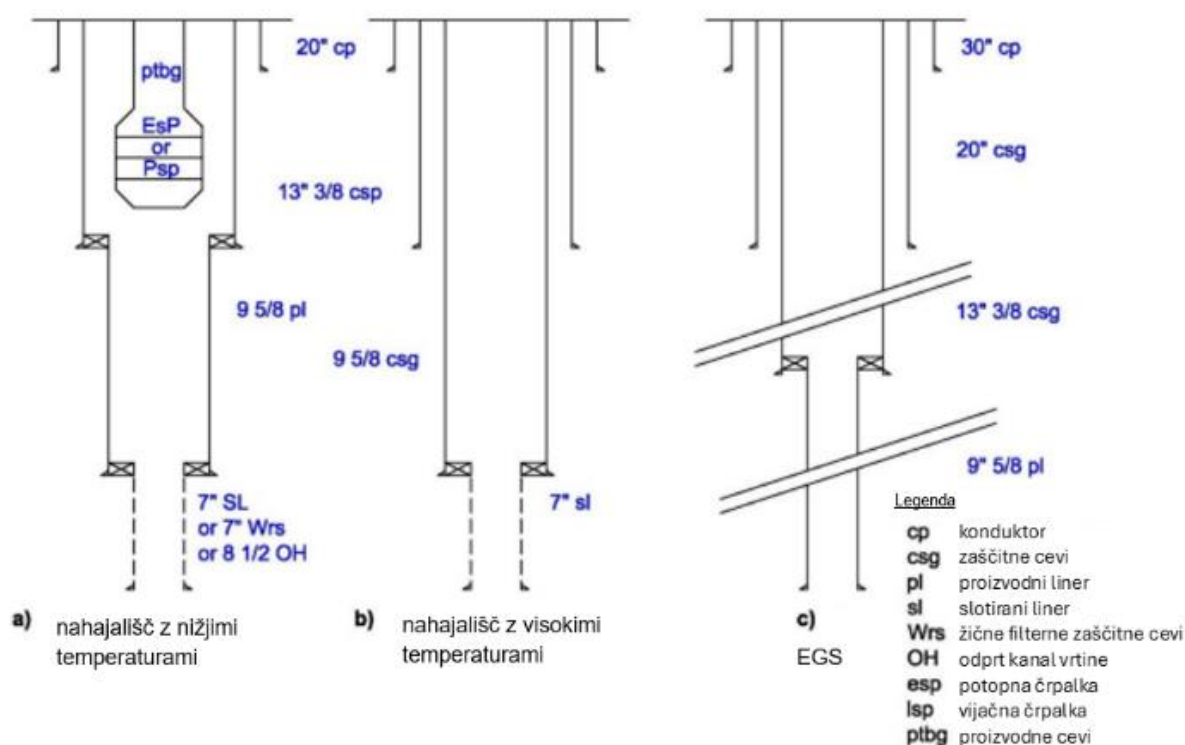
Meritve so pomembne za določitev slojev kvalitetnih nahajališč, katere se potem cevi s filtrnimi odseki. Brez karotažnih meritev je prekrivanje vodonosnih plasti težavno in nezanesljivo. Pridobljeni podatki predstavljajo izhodiščno stanje na vrtini pred pričetkom aktivnosti črpanja ali injektiranja, katere je mogoče v času življenjske dobe vrtine ponovno preveriti in s tem spremljati morebitne spremembe zajetega nahajališča. Podrobnejša razlaga je dostopna na povezavi https://www.geo-zs.si/PDF/Monografije/Karotaza_brosura.pdf.

4.6. Določitev konstrukcije vrtine

Konstrukcija in dimenzioniranje vrtine je pomembno za optimalno uporabo v času njene življenjske dobe. Ključne lastnosti, ki morajo biti upoštevane pri dimenzioniranju so:

- Tip nahajališča in hidrogeološke lastnosti (peščenjaki, karbonati, neprepustne kamnine),
- Temperaturni gradient (naraščanje temperature z globino),
- Tlačni gradient (naraščanje tlaka z globino),
- Kemična in izotopska sestava proizvodnega medija (mineralizacija, pH,...),
- Pričakovana proizvodnja (količina vode, ki se bo črpala/reinjektirala),
- Prisotnost plinov (morebitna prisotnost plinov, vrsta in količina).

V odvisnosti od uskladiščene geotermalne energije ločimo 3 izvedbene tipe konstrukcij vrtin. Vrtine, ki proizvajajo iz nahajališč z nižjimi temperaturami (termalna voda, temperatura do 120 °C), imajo običajno vgrajene potopne črpalke v vrtini. Zato je treba vrtino dimenzionirati na način, da je možna vgradnja potopne črpalke ustrezne dimenzije in karakteristik za proizvodnjo termalne vode. V primeru nahajališč z visokimi temperaturami (iz vrtine priteka dvofazni fluid ali čista vodna para) se pričakuje samoizlivna proizvodnja, zato je dimenzioniranje vrtine temu prilagojeno. Kot tretji primer imamo izkoriščanje geotermalne energije iz sistema, ki nima prepustnosti, ima pa visoke temperature (EGS). Tovrstni sistem se razlikuje od prvih dveh po dimenzijah in pričakovanih pretokih medija. Predstavljeni tipi so prikazani na spodnji Sliki 3, na kateri je vidna dimenzijska konstrukcija vrtin (vir: Dumas, 2013).



Slika 3: Tipična konstrukcija vrtine v odvisnosti od nahajališča. Vir: Dumas, 2013.

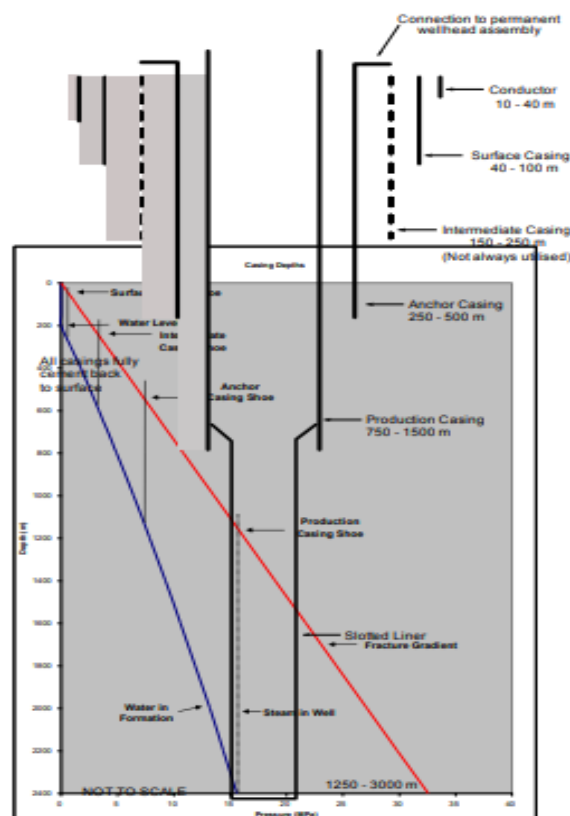
Ustrezno dimenzioniranje vrtine je ključno za doseganje pričakovanih proizvodnih lastnosti z upoštevanje omejitev, kot so globina nahajališča, temperatura, tlak, proizvodni medij, prisotnosti plinov in kemijska sestava. Pomembno je zagotoviti ustrezno dimenzioniranje vrtine, kar vpliva na njeno izdatnost in varnost v času proizvodnje. Standardi nalagajo, da je običajna tehnična zaščitna cev, premera 244 mm (9 5/8" API), namenjena povezavi med nahajališčem in površino. Za cevitev proizvodnih intervalov (5) pa se uporabljajo proizvodne slotirane cevi ali proizvodne cevi z predizdelanimi filtri premera od 177 mm do 168 mm (7" - 6 5/8") (vir: Teodoriu, 2016).

Glede na nahajališče ločimo:

- Geotermalna nahajališča v peščenjakih,
- Geotermalna nahajališča v karbonatih,
- Geotermalna nahajališča v slabo prepustnih kamninah.

4.7. Dimenzioniranje tehničnih in proizvodnih zaščitnih cevi

Dimenzioniranje tehničnih in proizvodnih zaščitnih cevi mora zagotoviti dolgoročno varnost obratovanja vrtine pri vseh pogojih. Ključne lastnosti zaščitnih cevi morajo nadvladati vse potencialne postopke, izvedene iz površine (tlačni preizkus, kemijsko obdelavo, testiranje injektivnosti,...) in pričakovane značilnosti vrtanih nahajališč z ujetimi tekočinami v času vrtanja in proizvodnje vrtine. Globine postavitve zaščitnih cevi so navadno določene z analizo podatkov iz sosednjih vrtin z vključevanjem značilnosti kamnin, temperature, vrste tekočin, kemične sestave in tlaka. Zelo pomemben je podatek o gradientu loma, zbran iz bližnjih vrtin. Postavitev tehničnih zaščitnih cevi pred pričakovanimi proizvodnimi intervali mora biti ustrezno dimenzionirana, da se cementna peta tehnične zaščitne cevi ne izpostavlja potencialnim povišanim tlakom ciljnega nahajališča. Spodnja slika (Slika 5) predstavlja primer ustreznega dimenzioniranja in postavitve zaščitnih cevi v odvisnosti od gradienta loma in nivoja termalne vode v vrtini, v kolikor so ti podatki na voljo (vir: Dumas, 2013).



Slika 4: Upoštevanje podatkov za dimenzioniranje zaščitnih cevi globokih geotermalnih vrtin. Vir: Dumas, 2013.

4.7.1 Dimenzija zaščitnih cevi

Dimenzijo zaščitnih cevi določa premer vrtanja, ki je standardiziran glede na dolgoletne tehnične izkušnje pri izvedbi vrtine in spremljanju proizvodnje. Tipični proizvodni premer vrtanja geotermalnih vrtin na širšem območju Panonskega bazena znaša med 216 mm (8,5") in 311 mm (12,25"). Slotirani ali perforirani linerji so ponavadi dimenzionirani tako, da jih je mogoče varno vgraditi in izvesti cementacijo ali zasip. Pri izbiri zaščitnih cevi je pomembno upoštevanje dimenzij spojníc, ki so večje od nominalnega zunanega premera cevi in imajo minimalno toleranco med odprtim kanalom vrtine in nominalnim premerom zaščitne cevi. Priporočena dimenzija medprostora vrtanega kanala vrtine in nominalnega premera zaščitnih cevi mora znašati vsaj 50 mm (2"). To toleranco je treba upoštevati pri nadaljnjih postopkih priprave vrtine za proizvodnjo, kot sta cementacija in vgradnja peščenega zasipa.

Tipična zasnova vrtine v peščenjakih bi vključevala:

- Konduktor zaščitno cev premera 762 mm (30") do globine 24 metrov.
- Površinsko zaščitno cev premera 508 mm (20") do globine 80 metrov.
- Prvo tehnično zaščitno cev premera 337 mm (13 3/8") do globine 270 metrov.
- Drugo tehnično zaščitno cev premera 244 mm (9 5/8") do globine 800 metrov.
- Proizvodno zaščitno cev premera 178 mm (7") do globine 2.400 m.

Tipična zasnova vrtine v karbonatih bi vključevala:

- Konduktor zaščitno cev premera 762 mm (30") do globine 24 metrov.
- Površinsko zaščitno cev premera 508 mm (20") do globine 80 metrov.
- Prvo tehnično zaščitno cev premera 337 mm (13 3/8") do globine 270 metrov.
- Drugo tehnično zaščitno cev premera 244 mm (9 5/8") do globine 800 metrov.
- Proizvodno zaščitno cev premera 178 mm (7") do globine 2.000 m.
- Odprt kanal vrtine premera 159 mm (6 1/4") od 2.000 do 2.400 m

4.7.2 Materiali zaščitnih cevi

Zaščitne cevi so navadno jeklene in narejene po standardu naftne industrije API Spec. 5CT ali 5L. Na splošno se jeklo z najnižjo natezno trdnostjo uporablja za zmanjšanje možnosti odpovedi zaradi krhkosti povzročene s strani vodika ali zaradi sulfidne napetostne korozije. Najprimernejša jekla API so (5):

- Spec. 5CT razredov H-40, J-55 in K-55, C-75 in L-80;
- Spec. 5L razredov A, B in X42.

V primerih, ko se pojavijo posebni pogoji, kot so močno jedke tekočine, je lahko upravičena uporaba drugih specializiranih materialov.

Za dolgoročno proizvodnjo preko slotiranih cevi v karbonatnih ali nepropustnih nahajališčih se pri izbiri proizvodnih zaščitnih cevi največkrat uporablja standard naftne industrije API Spec. 5CT ali 5L. Za filtrne cevi v peščenih nahajališčih se uporabljajo nerjaveči ali podobni materiali, ki so odporni na morebitno korozijo in druge vplive (Vir: HP well screen):

- 304 / 316L / 904L;
- Duplex/Alloy 825/625/C276.

4.7.3 Cementacija zaščitnih cevi

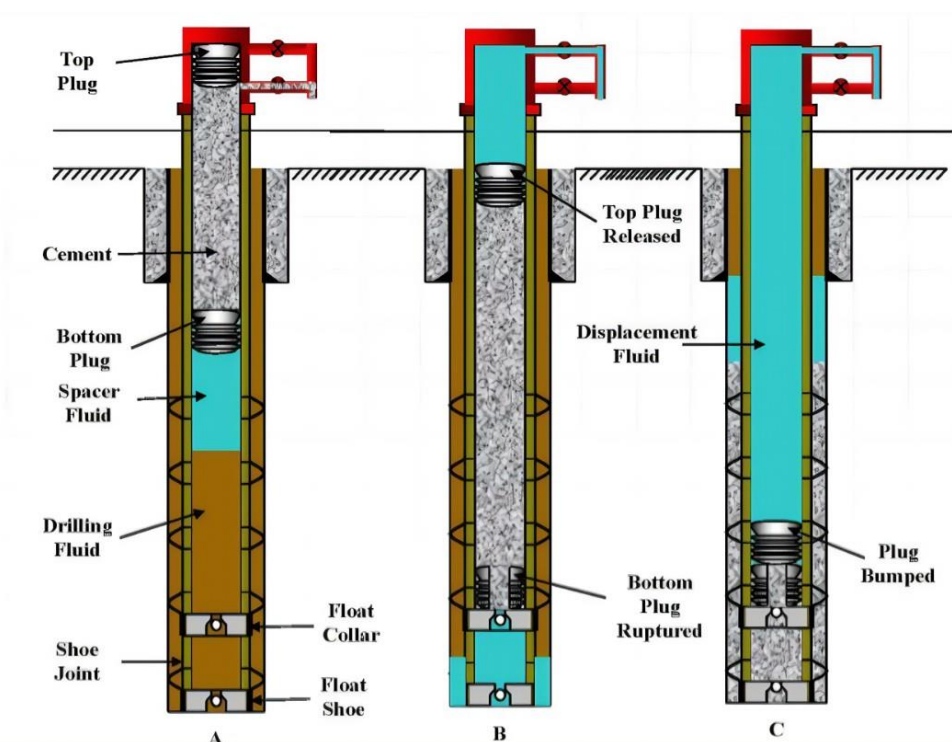
Pri cementaciji zaščitnih cevi geotermalnih vrtin je treba upoštevati raztezni temperaturni koeficient v povezavi s toplotnimi obremenitvami zaščitnih cevi. Visoke toplotne obremenitve zaščitnih cevi zahtevajo enakomerno cementiranje po celotni dolžini z namenom enakomerne porazdelitve obremenitve vzdolž zaščitnih cevi. S tem se izognemo koncentraciji toplotnih obremenitev in neenakomernemu raztezanju zaščitnih cevi. Glavni cilj vsakega programa cementiranja zaščitnih cevi je zagotovitev popolne napolnjenosti medprostora (prostor med vrtano formacijo in zunanostjo zaščitnih cevi). Le ob uspešno izvedeni cementaciji je mogoča dolgoročna izpostavljenost geotermalnim tekočinam in temperaturnim spremembam vzdolž zaščitnih cevi. Kljub vsemu pa je zagotovitev tovrstne cementacije izziv predvsem zaradi različnih lastnosti vrtanih formacij kot sta permeabilnost in slojni tlak.

Za premagovanje tovrstnih izzivov se po navadi uporabljajo cementne kaše, katerih gostota je pod $1,7 \text{ kg/dm}^3$. Največkrat uporabljene metode so (vir: von Flatern, 2016):

- Uporaba dodatkov za zniževanje gostote cementne kaše kot so pucolan, perlit, kroglice iz sferičnega votlega silikata.
- Izpiranje medprostora z zapornimi tekočinami na osnovi natrijevega silikata.
- Penjeni cement.
- Fazno cementiranje.
- Povezovanje dveh nizov zaščitnih cevi, kar pomeni da so zaščitne cevi vgrajene in cementirane v dveh ločenih fazah.

Za uspešno izvedbo cementacije je pomembna določitev ustrezne gostote cemente kaše v odvisnosti od gradienta tlaka vrtnanih formacij in po možnosti izvedba predcementacije formacij, v katerih so bile zabeležene izgube izplake med vrtanjem. Najpomembneje je dobiti cementno kašo na površino in dno vrtnice cementirati z nahodno mešanico cementsa večje gostote za zagotavljanje tesnosti cementne pete. Največkrat uporabljena metoda cementacije v SV Sloveniji je metoda po Perkinsu, ki poteka po naslednjih fazah (vir: von Flatern, 2016):

- A) Vgradnja predhodnega cementacijskega čepa in potiskanje izplake v medprostor.
- B) Vgradnja nahodnega cementacijskega čepa in potiskanje cementsa v medprostor.
- C) Potiskanje vode/izplake do tlaka nasedanja nahodnega cementacijskega čepa.



Slika 5: Metoda cementacije po Perkinsu. Vir: <https://horizonoilwell.com/horizon-oilwell-academy-ltd-iraq-training-courses-center/>

4.7.4 Žurnal zaščitnih cevi in postavitve centralizerjev

Za postavitve zaščitnih cevi v tehničnem in proizvodnem delu vrtnice je z namenom zagotovitve ustrezne kvalitete in pričakovane življenjske dobe vrtnice smiselno upoštevati naslednja pravila in priporočila stroke.

Za postavitve žurnala zaščitnih cevi se priporoča naslednja sestava:

- Peta zaščitnih tehničnih cevi.
- Prva zaščitna tehnična cev z dvema centralizerjema.

- Protipovratni ventil zaščitnih tehničnih cevi.
- Vse nadaljnje zaščitne tehnične cevi s centralizerjem na sredini.
- Pomembno je varjenje prvih 5 in zadnjih 5 spojev zaščitnih tehničnih cevi.
- Centralizerji se ne varijo na zaščitne cevi.

Za postavitev proizvodnih cevi se priporoča naslednja sestava:

- Peta zaščitnih proizvodnih cevi.
- Najmanj 30 m usedalnika s centralizerji na sredini zaščitnih proizvodnih cevi.
- Postavitev slotiranih/filernih proizvodnih cevi v kombinaciji s polnimi proizvodnimi cevmi.
- V primeru izvedbe zasipa je treba en filter postaviti približno 30 m pod peto predhodnih tehničnih zaščitnih cevi z namenom kontrole postavitve zasipa.
- Prekrivanje tehničnih in proizvodnih zaščitnih cevi v primeru postavljanja linerja mora biti med 35 in 50 m.
- V primeru, da so slotirane/filrne cevi iz nerjavečega materiala, je potrebna vgradnja dielektričnega prehoda, ki ločuje nerjaveč material od jeklenega.
- Nerjaveče cevi naj bodo vsaj 30 m pod peto tehničnih zaščitnih cevi in nikakor ne smejo biti vgrajene v cono prekrivanja z zaščitnimi tehničnimi cevmi.
- Centralizerje je na proizvodne polne zaščitne cevi treba postaviti na vsako cev na sredino, medtem ko je priporočljivo, da imajo tudi slotirane/filrne zaščitne proizvodne cevi na sebi centralizerje.
- Na vrhu linerja je priporočljivo postaviti tesnilno prepreko, ki bo onemogočala dotok tekočin iz medprostora med zaščitnimi tehničnimi cevmi in zunanjim premerom proizvodnih cevi v coni prekrivanja.

4.7.5 Določitev dimenzije in tipa materiala za filtrne cevi

Dimenzijo in materiale za določitev filtrnih cevi določajo kemične lastnosti proizvodnih tekočin, morebitna prisotnost plinov, granulometrijska analiza proizvodnega nahajališča in željena količina črpanja. To se oceni v geološko-hidrogeoloških strokovnih osnovah. Vse navedene lastnosti je treba smiselno upoštevati v odvisnosti od proizvodnega nahajališča, torej če gre za peščenjake, karbonate ali slabo prepustna nahajališča. Preprostejši način dimenzioniranja in določitve tipa materiala in filtrnih cevi je v karbonatih ali slabo prepustnih nahajališčih, saj pri proizvodnji načeloma migracije delcev iz proizvodne formacije niso prisotne. Pri dimenzioniranju in določitvi filtrnih cevi v peščenjakih pa je treba razmisliti še o tem, kako preprečiti migracijo zrn peska v proizvodne zaščitne cevi in na površino s termalno vodo.

Pri karbonatnih in slabo prepustnih nahajališčih je treba upoštevati izbiro ustrezne kvalitete zaščitnih proizvodnih cevi v odvisnosti od:

- Kemijske sestave proizvodne tekočine.
- Prisotnosti plinov.
- Želenega pretoka.

Pri slabo sprijetih peščenih nahajališčih, kot so značilna za regionalni vodonosnik v SV Sloveniji, je treba upoštevati izbiro ustrezne kvalitete zaščitnih proizvodnih cevi v odvisnosti od:

- Granulometrije peščenega nahajališča.
- Želenega pretoka.
- Kemijske in izotopske sestave proizvodne tekočine.
- Prisotnosti plinov.

4.8. Vgradnja optičnih vlaken

Z razvojem tehnologij in novih možnosti se čedalje bolj uporabljajo optična vlakna tudi v vrtinah. Namen uporabe je predvsem obratovalni monitoring. Z optičnimi vlakni je mogoče konstantno spremljati temperaturo in raztezanje materiala (zaščitne cevi in cementni kamen) v vrtni ter mikroseizmične dogodke in s tem kvalitetno spremljati kaj se dogaja v podzemlju in, na primer, na potopni črpalki. Tovrstne meritve so med izvedbo vrtnice pomembne za spremljanje kvalitete cementnega kamna in njegove obstojnosti ter dolgoročno pri določitvi potencialnih sprememb toplotnega polja okrog vrtnice in s tem nadzora nad proizvodnimi intervali ter morebitnim toplotnim prebojem iz injekcijske vrtnice..

5 Potek del

Izvedba geotermalnega projekta je sestavljena iz več segmentov, ki si sledijo in morajo biti obdelani v kompletu z namenom celostne obravnave predvidenega posega v prostor. Pri načrtovanju je treba upoštevati analizo trenutnega stanja rabe geotermalne energije v istem vodonosniku, razpoložljivost podatkov, prostorsko ureditev območja, zakonsko podlago za izvedbo in način financiranja. Glede na okvirni nabor elementov izvedbe je v nadaljevanju podana podrobnejša strukturo izvedbe geotermalnega projekta ne glede na ciljno globino nahajališča.

5.1 Idejna zasnova projekta

Prvi korak pri načrtovanju geotermalnih sistemov je idejna zasnova, v kateri so definirani osnovni robni pogoji:

- Pričakovana temperatura nahajališča,
- Pričakovana količina črpanja (tudi, če je več vrtin),
- Pričakovana količina injektiranja (tudi, če je več vrtin),
- Prostorska umestitev geotermalnega sistema rabe v prostor,
- Analiza potencialnih omejitev za umestitev geotermalnega sistema v prostor (glej poročila DT 1.2.3. Prednostna območja za geotermalne objekte - občina Beltinci, Turnišče in Dobrovnik na spletni strani https://www.geo-zs.si/?option=com_content&view=article&id=1119).

V pomoč je bilo okviru projekta DARLINGe pripravljeno odločitveno drevo (<https://www.darlinge.eu/#/decisiontreelntro>) in orodje za nadzor tveganj pri razvoju sistemov direktne rabe termalne vode (<https://www.darlinge.eu/#/riskmitigationIntro>). Poleg navedenega je smiselno upoštevati trajnostne kriterije za rabo geotermalnih virov z orodjem primerjalne analize (<https://www.darlinge.eu/#/benchmarkingIntro>). Ta pokriva štiri področja in 12 kazalnikov:

- Upravljanje: postopek licenciranja, zahteve za spremljanje, nastavitve spremljanja, nastavitve pasivnega spremljanja.
- Tehnologija in energija: operativna vprašanja, kaskadna uporaba, toplotna učinkovitost, učinkovitost uporabe.
- Okolje: ponovno vlivanje, prekomerno izkoriščanje, ocena stanja vodne bilance.
- Družba: ozaveščanje javnosti.

Pri izdelavi idejne zasnove je smiselno vključiti strokovnjake s področja geologije, hidrogeologije, rudarstva, prostorskega načrtovanja, ekologije, energetike in strojništva, morda tudi komunikacije z javnostmi, z namenom analize stanja in čim boljše opredelitve potencialnih izzivov in omejitev pri izvedbi geotermalnega sistema.

5.2 Izdelava tehnične dokumentacije

Po izdelavi idejne zasnove se prične s pripravo tehnične dokumentacije za pridobitev dovoljenj za izvedbo projekta. Pri tehnični dokumentaciji se je omejiti izključno na geološko, okoljsko in rudarsko dokumentacijo, ki obsega izgradnjo podzemnega dela geotermalnega sistema, brez površinskih instalacij za potrebe rabe, ki jih kasneje izdelata energetik. Tehnična dokumentacija za izvedbo globinskega dela geotermalnega sistema rabe obsega naslednje dokumente:

- Geološke strokovne osnove ali program hidrogeoloških raziskav.
- Geološko študijo geotermalnega potenciala z modelom hidravličnega in temperaturnega vpliva.
- Revidiran rudarski projekt za izvedbo del pri izkoriščanju geotermičnih energetskih virov.
- Poročilo o vplivih nameravanega posega v okolje (ali vsaj predhodni postopek).
- Rudarski projekt izvedenih del, po izvedbi vrtnice in
- Hidrogeološko poročilo o izgradnji vrtnice.

Naveden nabor dokumentacije zajema segmenta pridobitve dovoljenj za izvedbo in poročanja o izvedeni aktivnosti po zaključku vrtanja.

Po vrtanju vrtnice sledi testiranje, za katerega je treba pripraviti nov nabor dokumentacije, na osnovi katere se testiranje vrtnice izvede v takem obsegu, da je mogoče na podlagi pridobljenih podatkov opredeliti geotermalni vir z



osnovnimi lastnostmi, ki omogočajo začetek postopka za pridobitev koncesije za rabo. Tehnična dokumentacija za izvedbo testiranja geotermalnega sistema obsega naslednje dokumente:

- Rudarski projekt za opremljanje vrtine v času izvedbe testiranja.
- Program hidrogeoloških raziskav v času testiranja geotermalnega nahajališča.
- Rudarski projekt izvedenih del v času testiranja.
- Hidrogeološko poročilo o ugotovljenih lastnostih geotermalnega nahajališča (vsebina poročila po ZV-1 je predpisana in se dobi na MNVP).

Naveden nabor dokumentacije zajem segmenta pridobitve dovoljenj za izvedbo testiranja in priprave dokumentacije za pridobitev koncesije za izkoriščanje geotermalnega sistema po ZV-1.

5.3 Pridobitev dovoljenj

Pridobitev dovoljenj je odvisna od zakonske podlage za izvedbo raziskovalnih aktivnosti z namenom pridobitve koncesije za rabo. Kot navedeno v prvem poglavju, imamo danes v Sloveniji 3 zakonske podlage (ZRud-1, ZV-1 in ZUNPEOVE) za pričetek raziskovalnih aktivnosti, ki so med sabo prepletene in v primeru raziskovanja globokega geotermalnega potenciala povezane. V praksi je največ raziskovalnih aktivnosti izvedenih po Zakonu o vodah, ki predvidena naslednji postopek pridobitve dovoljenja za raziskovanje podzemnih voda:

- Priprava vloge za raziskovanje podzemnih voda se na predpisanem obrazcu vloži pri Direkciji RS za vode (<https://www.gov.si/zbirke/storitve/dovoljenje-za-raziskavo-podzemnih-voda/>) in zajema naslednje priloge:
 - strokovne osnove ali program hidroloških raziskav za izdelavo vrtine;
 - za vrtine/vodnjake (ne velja za opazovalne vrtine, namenjene monitoringu podzemnih voda), globine 50 m in več, projekt vrtine, ki je izdelan za zahtevne objekte v skladu z Gradbenim zakonom;
 - za vrtine/vodnjake, globlje od 300 m, revidiran rudarski projekt vrtine, ki je izdelan v skladu z Zakonom o rudarstvu;
 - kopijo načrta parcele z vrisom predvidenih objektov (vrtin);
 - izjavo lastnika nepremičnine (oz. vodovoda v primeru rabe vode iz vodovoda), na kateri je predviden odvzemni objekt (ni treba, če je vodno ali priobalno zemljišče v lasti RS);
 - mnenje pristojnega izvajalca gospodarske javne službe, ki opravlja dejavnost vodooskrbe (v primeru, ko omenjena javna služba ni tudi prosilec za pridobitev dovoljenja), če gre za raziskavo na območju vodonosnika pitne vode;
 - pisno pooblastilo (če prosilca zastopa pooblaščenec).

Po pridobitvi dovoljenja za raziskavo podzemnih voda se lahko pristopi k pridobitvi vodnega soglasja (<https://www.gov.si/zbirke/storitve/pridobitev-informacije-vodnega-soglasja-ali-mnenja-za-posege-ki-lahko-vplivajo-na-vodni-rezim-in-stanje-voda/>), ki se vloži na pristojni sektor območja vodotoka, na katerem je predviden poseg v prostor. Vloga vsebuje podatke o:

- investitorju,
- vrsti gradnje in namenski rabi,
- projektni dokumentaciji,
- zemljiščih, na katerih je predviden poseg.

Pridobitvi vodnega soglasja sledi začetek predhodnega postopka z namenom Predhodne presoje vpliva na okolje (PPVO), na podlagi katere se izda odločba o tem, ali je potrebno izvesti Presajo vplivov na okolje (PVO). Postopek se torej začne z izpolnitvijo predpisanega obrazca za izvedbo predhodnega postopka (PP), na osnovi katerega se pridobi odločba, na osnovi katere:

- PVO ni potreben,
- PVO je potreben.

Vloga za pričetek PP zajema naslednje podatke: (<https://www.gov.si/teme/presoja-vplivov-na-okolje/>)

- Osnovni podatki (že pridobljena dovoljenja in projektna dokumentacija).
- Opis posega (opis namena posega, značilnosti v času gradnje in obratovanja, površina potrebna za izvedbo,...).
- Vplivi (emisije v zrak, vode, plini; odlaganje/izpusti snovi v tla; odpadki; hrup; radioaktivno, elektromagnetno, svetlobno sevanje; segrevanje ozračja/vode; smrad; vidna izpostavljenost; vibracije; spremembe rabe tal; spremembe vegetacije; eksplozije; fizične spremembe/preoblikovanje površja; raba vode; drugo).
- Območje in lega (geografski položaj, opis stanja okolja, pregledna karta, seznam zemljišč, na katerih je predviden poseg,...)

Pomembna je še umestitev posega v prostor v skladu z Uredbo o posegih v okolje (<https://pisrs.si/pregledPredpisa?id=URED6527>), za katere je treba izvesti presojo vplivov na okolje, pri čemer obravnavani poseg v okolje predvidoma zapade pod oznako D.III.7, to je pod Geotermalno vrtnje in druge naprave za izkoriščanje geotermičnega energetskega vira, razen plitvih geotermalnih sistemov.

5.4 Izbor izvajalca vrtalnih del

Po izdelavi projektne dokumentacije in pridobitvi dovoljenj za izvedbo geotermalnega sistema sledi proces izbora najprimernejšega izvajalca del. Kot navedeno, se opredeljujemo izključno do vzpostavitve podzemnega dela geotermalnega sistema oziroma izdelave vrtin, zato se pri izvajalcih omejujemo na:

- Vrtalna podjetja,
- Servisne družbe, ki podpirajo vrtnje pri karotajnih meritvah, cementaciji, vgradnji zaščitnih cevi, pripravi izplake,...
- Geološko spremljavo vrtanja,
- Tehnološko spremljavo vrtanja
- Dobavo opreme in materiala za izvedbo vrtine,
- Pooblaščenega prevzemnika za odpadke iz vodnega vrtanja.

Navedeni izvajalci so ključni pri izvedbi podzemnega dela geotermalnega sistema. V Sloveniji lahko zagotovimo geološke in tehnološke spremljave ter nabavo opreme in materiala za izvedbo vrtine. Za izvedbo globokih vrtin, globljih od 1.000 m, v Sloveniji ni več ustrezno usposobljenega vrtalnega podjetja in servisnih družb.

Za izbor vrtalnega podjetja in servisnih družb je treba izvesti mednarodni razpis, kar lahko predstavlja določene izzive v smislu jezikovne bariere, certificiranja opreme za delo v Republiki Sloveniji (RS), prilagoditev spremne tehnične in varnostne dokumentacije za delo v RS in drugih zadev, ki jih tuja podjetja morajo izpolniti, da bi lahko izvajala delo s svojo opremo in ljudmi na območju RS. Certificiranje zajema več faz od registracije tujega izvajalca pri rudarski inšpekciji, kontroli dokumentacije o strojih in napravah s strani pooblaščenega pregledovalca do kontrole dokumentacije s področja varnosti in zdravja pri delu s strani pooblaščenega pregledovalca. Smiselno je treba upoštevati določila v Zakonu o rudarstvu (Uradni list RS, št. 14/14 - uradno prečiščeno besedilo, 61/17 - GZ, 54/22 in 78/23 - ZUNPEOVE), Pravilniku o zahtevah za zagotavljanje varnosti in zdravja pri delu in tehničnih ukrepih za dela pri raziskovanju in izkoriščanju mineralnih surovin z globinskim vrtnjem (Uradni list RS, št. 68/03, 65/06 in 61/10 - ZRud-1), Pravilnika o zahtevah za zagotavljanje varnosti in zdravja pri delu in tehničnih ukrepih za dela pri raziskovanju in izkoriščanju mineralnih surovin z globinskim vrtnjem (Uradni list RS, št. 68/03, 65/06 in 61/10 - ZRud-1), Zakona o varnosti in zdravja pri delu (Ur. list RS, št. 43/2011) in drugih.

5.5 Vrtnje vrtine

Izboru izvajalca sledi vrtnje vrtine skladno z Revidiranim rudarskim projektom za izvedbo. Dela potekajo na multidisciplinarni ravni in jih je treba ves čas usklajevati in prilagajati glede na pridobljene terenske informacije v procesu vrtanja vrtine. Zelo pomembno je dobro sodelovanje med vrtalci in geologi, ki morajo usklajevati svoje delo z namenom pridobitve čim boljše slike o litološki sestavi vrtine (t.i. masterlog). Primarna naloga obeh sodelujočih je zmanjšanje škode na vrtano formacijo (penetracija izplake v formacijo mora biti minimalna) na najmanjšo možno

mero in zaustavitev sekcije vrtanja ob dosegu dna vodonosnega paketa (slabo prepustnih kamnin, da ne pride do izgube cementa v coni dna vrtine) (vir: John Finger).

Postopek vrtanja vrtine poteka po fazah in zajema naslednje operacije, ki predstavljajo zaključeno celoto ene faze:

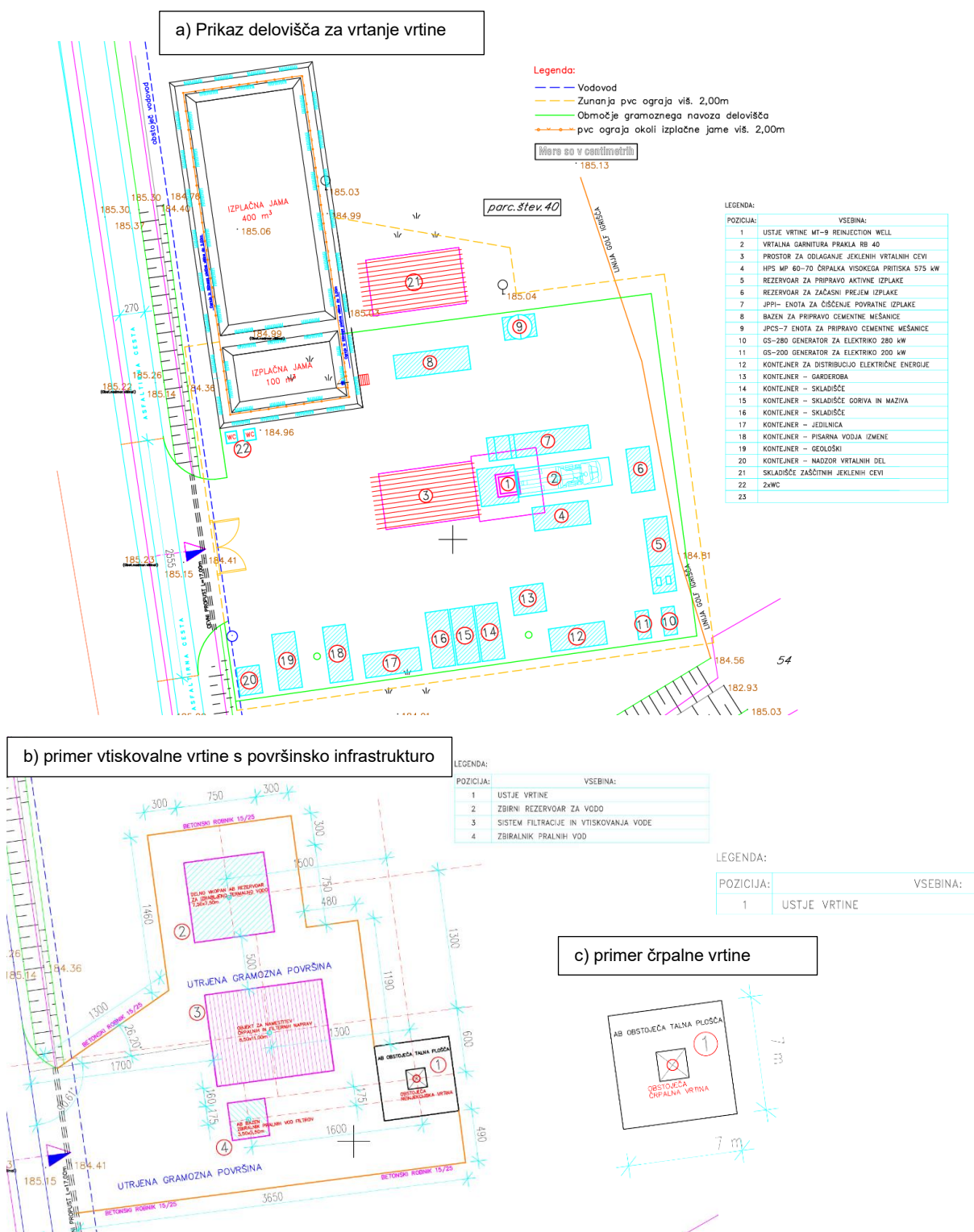
- Vrtanje novega kanala vrtine nazivnega premera 445 mm (17,5"), 311 mm (12,25") ali 216 mm (8,5").
- Bentonitna izplaka (tehnični del vrtine).
- Polimerna izplaka (proizvodni del vrtine).
- Jedrovanje (v kolikor je predvideno).
- Čiščenje kanala in kalibriranje.
- Izvedba karotažnih meritev in določitev potencialnih ciljnih intervalov.
- Vgradnja zaščitnih cevi premera 339 mm (13 3/8"), 244 mm (9 5/8"), 177 mm (7"), 168 mm (6 5/8").
- Cementacija zaščitnih cevi (tehnični del vrtine).
- Izvedba peščenega zasipa (proizvodni del vrtine).
- Izpiranje vrtine in zamenjava izplake.
- Inicialna aktivacija.

Pri izvedbi določenega tipa vrtine (vertikalna, usmerjena ali horizontalna) zahtevnost in kvaliteta izvedbe nihajo v odvisnosti od izvajalca in geoloških danosti. Za različni tip vrtine je treba izbrati primerno tehnološko rešitev končnega opremljanja proizvodnega dela vrtine. Poleg tipa vrtine ločimo tudi njeno namembnost. Glede na namembnost poznamo proizvodne in ponikovalne (reinjekcijske) vrtine (glej poročilo projekta INFO-GEOTHERMAL Dosežek: D.T 3.1.2 Smernice za zmanjšanje geološkega in tehnološkega tveganja reinjekcijskih vrtn v razpokanih in medzrnskih vodonosnikih).

Pred pričetkom del je vrtanje potrebno najaviti rudarski inšpekciji in priporočljivo je tudi obvestiti lokalno prebivalstvo, da se bo na določeni lokaciji izvajal poseg vrtanja vrtine, ki bo predvidoma trajal določen čas z občasnimi prekinitvami. Komunikacija z lokalno skupnostjo mora biti ustrezno pripravljena in posredovana na razumen in enostaven način.



Slika 6: Priprava delovišča za vrtanje geotermalne vrtine v SV Sloveniji (foto S. Mozetič).



Slika 7: (a) Prikaz delovišča za vrtanje vrtine, (b) primer vtiskovalne vrtine s površinsko infrastrukturo in (c) črpalne vrtine.

5.5.1 Vertikalna vrtina

Vertikalna vrtina je načeloma najbolj enostavna za izvedbo, tako pri proizvodni kot pri ponikovalni/reinjekcijski različici. Pri izvedbi je treba biti pozoren na razmerje med odprtim kanalom in premerom cevitve (minimalno 50 mm med odprtim kanalom in zunanjo steno proizvodnih cevi) ter na tip filtra (slotirane cevi ali perforirane cevi z žičnimi filtri), ki je izbran za posamezno vrtino. Pri vrtanju tehničnih intervalov je priporočljivo, da se po izvedeni cementaciji izvede tudi karotaža CBL (meritev kvalitete cementnega stika med kanalom vrtine in zaščitnimi cevmi). Pri proizvodnem delu pa je pomembno, da se pripravi zadostni prostor za izvedbo peščenega zasipa, v kolikor je ta potreben (če imamo karbonatna nahajališča – zasip načeloma ni potreben; če imamo peščena nahajališča – zasip je potreben). V primeru peščenih nahajališč je ključno, da se po vgradnji proizvodnih perforiranih zaščitnih cevi z žičnimi filtri vgradi peščen zasip, ki mora biti takšne sestave in tipa, da vzpostavi tamponsko cono med žičnimi filtri in peščenim nahajališčem, skladno s predhodnimi granulometrijskimi analizami (vir: Sterrett, 2007).

5.5.2 Usmerjena ali horizontalna vrtina

Vrtanje usmerjene vrtine je zahtevnejše, tako v primeru proizvodne kot v primeru ponikovalne/reinjekcijske različice. Pri izvedbi je treba biti pozoren na nagle spremembe odklona ali azimuta vrtanega kanala, konstantno in učinkovito izpiranje navrtanega materiala z namenom preprečevanja zasutja, na merjenje odklona in azimuta v dovolj gostih intervalih z namenom kontrole podzemne situacije, na razmerja med odprtim kanalom in premerom cevitve (minimalno 50 mm med odprtim kanalom in zunanjo steno proizvodnih cevi) ter na tip filtra (slotirane cevi ali perforirane cevi z žičnimi filtri), ki je izbran za posamezno vrtino. Pri vrtanju tehničnih intervalov je priporočljivo, da se po izvedeni cementaciji izvede tudi karotažne meritve CBL (meritev kvalitete cementnega stika med kanalom vrtine in zaščitnimi cevmi). Pri proizvodnem delu je pomembno, da se pripravi zadostni prostor za izvedbo peščenega zasipa, v kolikor je ta potreben (če imamo karbonatna nahajališča – zasip načeloma ni potreben; če imamo peščena nahajališča – zasip je potreben) (vir: Sterrett, 2007).

Glavna razlika med usmerjenimi in horizontalnimi vrtinami je ta, da je odklon pri usmerjenih vrtinah navadno do 45°, medtem ko je pri horizontalnih nad 45°. Tip filtrov pri usmerjenih je lahko iz žičnih filtrov z zasipom ali pred pripravljenim filtrom z zasipom, medtem ko pri horizontalni vrtini mora biti nujno uporabljen pred pripravljen filter z zasipom (munipack – filter).

Dinamika izvedbe je razdeljena v 5 faz, ki predstavljajo smiselne sklope razvoja projekta (Slika 8).

[illegible]

Slika 8: Okvirni časovni okvir izvedbe projekta.

6 Testiranje vrtin

Testiranja vrtin in nahajališč se izvajajo preko celotne življenjske dobe proizvodnje, od raziskovalnih preko proizvodnih testiranj, proizvodnje in vtiskovanja. Testiranja so namenjena kontroli delovanja vrtin in odzivu nahajališč glede na dolgoročnost proizvodnje in določanje življenjske dobe nahajališč. Služijo določanju zunanjih mej nahajališč in pomagajo pri izbiri najprimernejše metode proizvodnje. Med testiranjem se najpogosteje merijo naslednje lastnosti nahajališč (vir: Axelsson & Steingrímsson):

- Slojni tlak nahajališča (MPa).
- Prepustnost (k).
- Transmisivnost (T).
- Izdatnost (l/s).

Podatki o reakciji nahajališča na tlačne spremembe, povečanje ali zmanjšanje tlaka, med testiranjem pomagajo pri razumevanju delovanja in določanju lastnosti nahajališča. Pridobljeni podatki se pogosto uporabljajo tudi za modeliranje in predstavljajo ključne informacije pri določanju lastnosti modela nahajališča. Zbrane informacije pomagajo pri razumevanju interakcij med nahajališčem, tekočinami v nahajališču in vrtino.

6.1 Osnovni načini testiranja vrtin

Za izvedbo testiranja je ključna zagotovitev in namestitve ustreznih merilnih instrumentov in naprav, s katerimi je mogoče pridobiti podatke, na podlagi katerih se določijo lastnosti geotermalnega vodonosnika. Osnovne metode testiranja zajemajo naslednje merjenja:

- Statične meritve v vrtini
- Merjenje padca tlaka (Proizvodnost).
- Merjenje porasta tlaka (Proizvodnost).
- Injektivnost.
- Interference.

Za kvalitetno izvedbo meritve lastnosti geotermalnih vodonosnikov je zaželeno poznavanje začetnega stanja, določitev referenčnih globine meritev, ustreznost merilnih instrumentov in zadostni čas trajanja testiranja in merjenja. Vsako testiranje se izvede po programu, ki zajema analizo inicialnega črpalnega poskusa in izkušnje iz okoliških vrtin. Glede na razpoložljive podatke se opredeli način, količina in čas trajanja testiranja.

Začetno stanje

V kolikor je mogoče je pred izvedbo testiranja treba izvesti statične meritve tlaka in temperature po celotni globini vrtine z vnaprej določenimi intervali zajema podatkov. Navadno se meritve izvajajo tako da se izmeri statično stanje na ustju vrtine in na vsaj dveh do treh odsekih iznad prvih filtrnih cevi. V filtrnem odseku pa se meritve izvajajo na sredini odseka, v kolikor je ta krajši od 10 m, ali na začetku in koncu filtrnega odseka če je ta daljši od 10 m. V kolikor se uporabljajo optična vlakna (npr. DTS, DAS), so meritve lahko zelo natančne in zvezne.

Merjenje padca tlaka

Po aktivaciji vrtine sledi merjenje padca tlaka, pri določenih pogojih črpanja, ki so določeni na osnovi inicialnega črpalnega poskusa ali proizvodnih lastnostih testirane vrtine. Navadno se izvaja testiranje padca tlaka pri vsaj 3, raje 4 pogojih črpanja ali injektiranja. Globina merilnih instrumentov se navadno postavi na sredino vseh zajetih vodonosnikov ali na sredino najboljšega proizvodnega sloja. V kolikor to ni mogoče, se meritve izvaja bliže ustja, a vedno na istem mestu. Pri zadnjem pogoju črpanja je smiselno narediti še dinamične meritve na enakih globinah, kot so bile izvedene statične meritve, z namenom določitve intervalov vtoka termalne vode v vrtino. Trajanje posameznega pogoja je odvisno od količin črpanja, temperature termalne vode na iztoku, možnosti hlajenja proizvedene vode in dovoljenja za izvedo testiranja in izpustov. Pomembno je da intervali trajajo enako dolgo in da se doseže stabilizacija tlaka, ki predstavlja pomembno informacijo o izdatnosti črpanih vodonosnikov. V kolikor se uporabljajo optična vlakna (npr. DTS, DAS), so meritve lahko zelo natančne in zvezne.



Merjenje porasta tlaka

Po merjenju padca tlaka in dinamičnih meritvah se vrtna zapre. Pred zapiranjem se vgradijo merilni instrumenti na enako globino, kot so bili vgrajeni pri merjenju padca tlaka. Merjenje porasta tlaka bi naj trajalo vsaj toliko časa, kot je trajalo črpanje. Pri tem je pomembno razpolagati s statičnimi meritvami pred začetkom črpanja, ker v primeru, da se stabilizacija zgodi prej, se merjenje porasta lahko skrajša, v nasprotnem primeru pa je treba počakati vsaj 48 – 36 ur, kar predstavlja minimalni čas stabilizacije v geotermalnih vodonosnikih.

Injektivnost

V času testiranja injektivnosti se spremljajo odzivi vodonosnika na dodaten umetni pritisk. V kolikor se vzpostavi pretok, se spremlja količina in nihanje tlaka pri vtiskovanju v vrtini in na njenem ustju. Podobno kot pri črpanju, se tudi pri vtiskovanju testira različne kapacitete oziroma vsaj tri pogoje. V kolikor vtiskovanje poteka normalno, se vsak pogoj izvaja vsaj 12 ur, pri čemer se spremlja količina, tlak in temperatura vtiskovanja. Po koncu vtiskovanja se vrtna zapre z namenom spremljanja potencialnega padca tlaka do stabilizacije glede na stanje pred vtiskovanjem.

Interference

Za določitev interference sta potrebni vsaj dve vrtini. Na eni vrtini se izvajajo meritve oziroma aktivnosti proizvodnje oziroma vtiskovanja vode, medtem ko se na drugi spremlja reakcija nahajališča glede na aktivnost proizvodnje oziroma vtiskovanja. To se izvaja vse dokler ne zaznamo hidravlične in/ali temperaturne spremembe na opazovalni vrtini. Čas, potreben da se pokaže reakcija na opazovalni vrtini, nas informira o velikosti nahajališča in hitrosti prenosa vpliva tlačne in morda tudi snovne motnje (proizvodnja/vtiskovanje) znotraj nahajališča.

Navedene metode testiranja in zbiranja podatkov o lastnostih vodonosnika predstavljajo ključno orodje za razumevanje delovanja podzemnega toka termalne vode. Z njihovim poznavanjem je mogoče spremljati in upravljati proizvodnjo ali vtiskovanje termalne vode na strokoven in učinkovit način. Glede na izkušnje pa je, v kolikor se pri testiranjih pokaže za smiselno, upoštevati in analizirati tudi:

- Morebitno prisotnost plinov (CO_2 , CH_4 , H_2S ,...)
- Poškodbe nahajališča (neustrezno čiščenje, neustrezna izplaka, neustrezna cementacija,...)
- Komunikacijo med črpalnimi in vtiskovalnimi vrtinami.

6.2 Oprema za izvedbo testiranja

Pri izvedbi testiranja v grobem ločimo tri gradnike:

- Črpalna vrtina
- Površinska in globinska oprema
- Injekcijska vrtina.

Črpalna vrtina

Črpalna vrtina predstavlja objekt, preko katerega je mogoče izkoriščati termalno vodo iz vodonosnikov. Sestavljajo jo naslednje komponente:

- Zaščitne cevi različnih premerov (20", 13 3/8", 9 5/8",...)
- Filtrnih cevi (slotirani, žični, munipack,... velikosti 7", 6 5/8",...)
- Filtrnega zasipa (zasip ustrezne granulacije)
- Ustje vrtine prilagojeno za črpanje termalne vode

Površinska in globinska oprema

Površinska in globinska opremo predstavljajo različne komponente, ki omogočajo črpanje, izkoriščanje, filtriranje in vtiskovanje termalne vode v zaprtem sistemu, kot sledi:

- Potopna črpalčka za črpanje termalne vode.
- Proizvodne cevi, na katerih je potopna črpalčka vgrajena v vrtino in energetski kabel potopne črpalčke.
- Merilna oprema za spremljanje gladine vode v vrtini in za zaščito črpalčke pred suhim tekom ali povišano temperaturo.
- Površinski zalogovnik vroče vode, toplotni izmenjevalec, instalacije
- Površinski zalogovnik hladne vode, sistem filtracije
- Črpalčke za vtiskovanje termalne vode
- Vtiskovalne cevi in merilna oprema za spremljanje pretoka, nivoja in temperature.

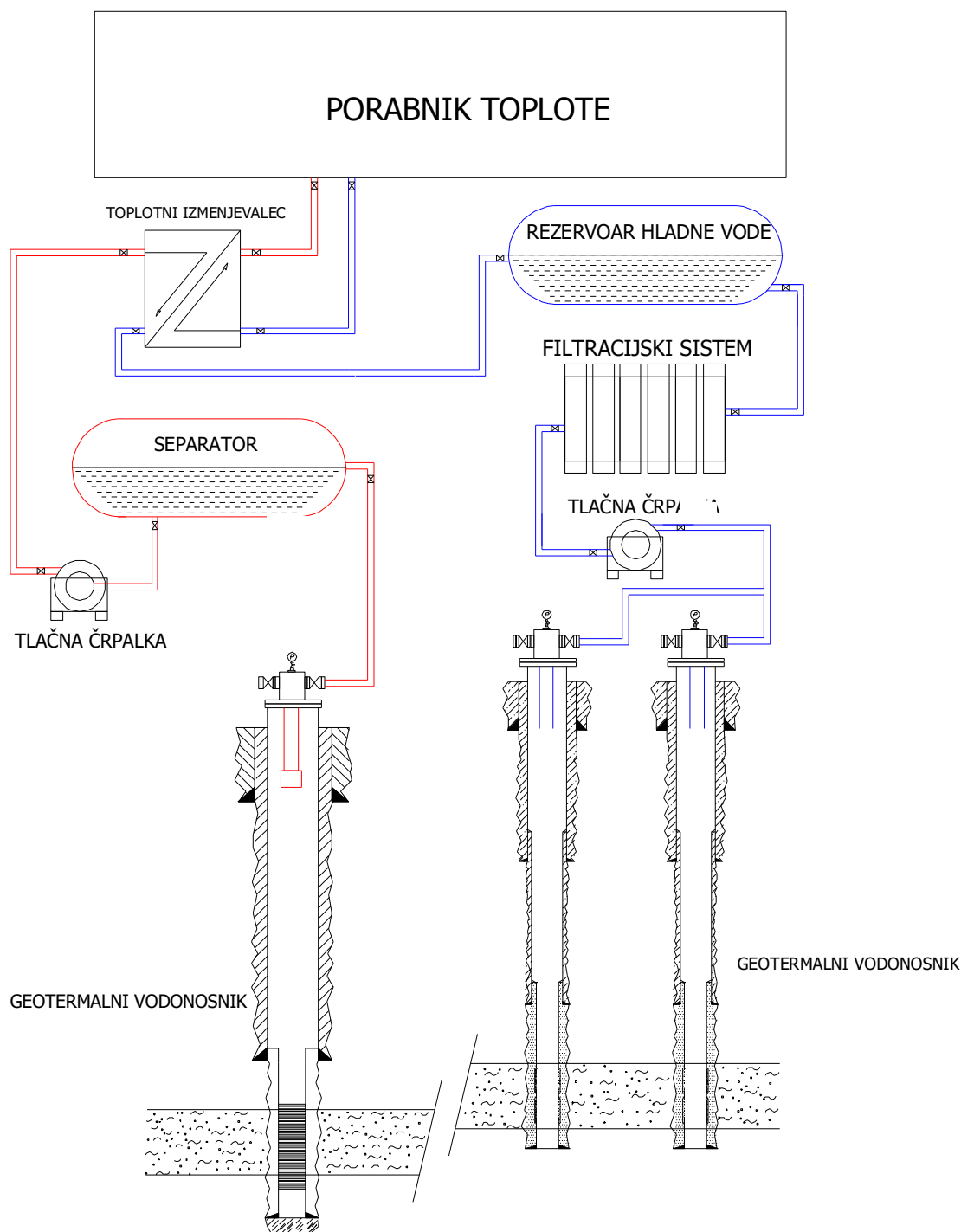
Reinjekcijska vrtina

Reinjekcijska vrtina predstavlja objekt, preko katerega je mogoče vračati toplotno izrabljeno termalno vodo nazaj v vodonosnik. Sestavljajo jo naslednje komponente:

- Zaščitne cevi različnih premerov (20", 13 3/8", 9 5/8",...)
- Filtrne cevi (slotirani, žični, munipack,... velikosti 7", 6 5/8",...)
- Filtrni zasip (zasip ustrezne granulacije)
- Ustje vrtine, prilagojeno za vtiskovanje termalne vode



Slika 9: Ustje črpalke (levo) in reinjekcijske (desno) geotermalne vrtine.



Slika 10: Shematski prikaz testiranja.

Vse navedene komponente vedno niso potrebne, ker se sistemi testirajo v različnih stopnjah razvoja nameščene podzemne in površinske opreme. V skladu z navedenim je potrebna vsakokratna analiza in izbira navedenih komponent v skladu z dejanskimi možnostmi na terenu. Zasnova ustja vrtine pa naj bo takšna, da omogoča uvajanje različnih merilcev v vrtino brez večjih dodatnih tehničnih posegov (pripravljene so uvodnice, ipd.)

7 Interpretacija podatkov

Pridobljene podatke testiranja vrtine se interpretira, nakar se na njihovi osnovi izdelava model nahajališča. Pomembni napotki pri izdelavi interpretacije so naslednji:

- Interpretacija testiranja vrtin je več kot le analiza trenutnega tlačnega stanja nahajališča.
- Vedno mora biti prisotna kritičnost do podatkov s podano oceno negotovosti.
- V kolikor je to mogoče, se podatke raje izmeri kot izračuna.
- Daljše je obdobje merjenja, več informacij, pomembnih za razumevanje potenciala nahajališča za črpanje ali vtiskovanje je mogoče pridobiti.
- V kolikor je zabeležena kakršnakoli nenadna sprememba, ta običajno ni povezana z nahajališčem ampak z okvarami opreme.
- Treba je izvesti analizo in meritve gradienta tlaka in temperature pred in po vsakem testiranju.
- Meritve je smiselno izvajati vedno na istih globinah in mestih, da je zagotovljena dolgoročna relativna primerljivost podatkov.
- Pomembni so pregled in kritičnost do terenskih poročil in kontrola ujemanja meritev, npr. tlakov, izmerjenih na ustju vrtine in globini nahajališča.
- Znale morajo biti tehnične lastnosti in specifikacije veljavnosti meritev uporabljene merilne opreme.
- Smiselno je zagotoviti preverjanje kakovosti meritev s kontrolo veljavnosti merilnih instrumentov in izvajanjem ročnih meritev.

Interpretacija je zahteven in poglobljen proces analize vseh pridobljenih informacij v času testiranja, ki obsega tudi primerjavo z arhivskimi podatki in po potrebi napoved trendov. Za kvalitetno interpretacijo je potreben kvaliteten zajem podatkov, na osnovi katerih je mogoče narediti analizo, ki odraža dejansko stanje in daje priporočila za njegov razvoj ter prihodnjo rabo.

8 Zaključek

Izvedba geotermalnega projekta s črpalno ter vtiskovalno vrtino in površinskim sistemom izkoriščanja toplote ter pripravo vode pred vtiskovanjem je zahteven in rabi pravočasno načrtovanje. Potrebno je upoštevati več zakonov, ki urejajo različna področja, ki jih je treba upoštevati pri izvedbi projekta. Začetna analiza potenciala je ključna, saj projekt bazira na določenih predpostavkah potencialnih možnosti izkoriščanja in vtiskovanja načrpane vode. Zato je geološka in hidrogeološka analiza pomembna preliminarne informacije za nadaljnji razvoj projekta.

Zakonsko področje urejajo trije zakoni, ki se med sabo prepletajo in dopolnjujejo. Bolje bi bilo, če bi področje bilo urejeno z enim zakonom, ki bi v kompletu pokrival področje geotermije brez mešanja s podzemnimi vodami in rudarjenjem mineralnih surovin.

Postopki izvedbe in pridobivanja dovoljenj so načeloma jasni in potekajo po uradniški dinamiki. Nekatera dovoljenja je lahko pridobiti spet druga zahtevajo več časa in obrazložitev za potrebe razumevanja celovitosti in smiselnosti predvidenega posega v prostor. Boljše je pripravljena dokumentacija vloge, hitreje in lažje se običajno presoja o njeni vsebini. Je pa glavno vodilo dovoljenje dajalcev, da zaščitijo interes širše javnosti in okolja, zato morajo biti projekti razviti na trajnosten način, s čim manjšim vplivom na okolje.

Izvedbeno obstaja več načinov, kako izdelati kvalitetno vrtino, a so določene minimalne zahteve brez katerih to ni mogoče. Nekaj ključnih je povezanih s poznavanjem ciljnih vodonosnikov, njihove poroznosti in zrnavosti. V kolikor teh informacij ni, je zelo težko izbrati prave filtre in zasip za kvalitetno izvedbo vrtine. Navedeno je pomembno za zadrževanje peskanja in preprečevanje migracije materiala iz črpanih vodonosnikov, še posebno v SV Sloveniji. Pomembne so tudi meritve v času izvajanja vrtine (karotaza) in v času testiranja (hidrodinamične meritve), brez katerih ni mogoče kvalitetno izvesti cevitve vrtine in razumeti hidrodinamike zajetega vodonosnika.

V dokumentu smo poskušali prikazati stanje na področju razvoja in izvedbe geotermalnih projektov v Sloveniji. Vidne so določene možnosti za izboljšanje posameznih segmentov, s čimer bi lahko pripomogli k večji dostopnosti izvedbe tovrstnih projektov s strani zainteresiranih investitorjev.



9 Literatura

- 1) C. Teodoru, C. Cheuffa; A Comprehensive review of past and present drilling methods with application to deep geothermal environment, anuary 31 - February 2, 2011.
- 2) DT 1.2.3. Prednostna območja za geotermalne objekte - občina Beltinci, Turnišče in Dobrovnik na spletni strani INFO-GEOTHERMAL.
- 3) Geothermal Engineering Limited, vir: [Geothermal Engineering Ltd – Geothermal Energy](#).
- 4) Gudni Axelsson and Benedikt Steingrímsson, LOGGING, TESTING AND MONITORING GEOTHERMAL WELLS, University of Iceland Reykjavík ICELAND.
- 5) H.P. Well Screen B.V., SandFree Screen product sheet for sand control screen application, vir: [SandfreeScreen 2.19 DEF.pdf \(hpwellscreen.com\)](#).
- 6) INTEGRATED GEOTHERMAL WELL TESTING, TEST OBJECTIVES AND FACILITIES, R. W. Nicholson et al, USA.
- 7) John Finger and Doug Blankenship, Handbook of Best Practices for Geothermal Drilling. December 2010, SAND2010-6048 ;USA.
- 8) P Dumas (EGEC), M Antics (GPC IP), P Ungemach (GPC IP); GeoELEC, Report on Geothermal Drilling, deliverable n° 3.3., March 2013.
- 9) Poročilo projekta INFO-GEOTHERMAL Dosežek: D.T 3.1.2 Smernice za zmanjšanje geološkega in tehnološkega tveganja reinjekcijskih vrtin v razpokanih in medzrnskih vodonosnikih.
- 10) Rick von Flatern, Well Testing Fundamentals, Copyright © 2016 Schlumberger, [The Defining Series: Well Testing Fundamentals | SLB](#).
- 11) Robert J. Sterrett, Groundwater and wells, 3 edition, New Brighton, MN 2007.
- 12) Tianshou Ma., Ping Chen., Jian Zhao; Overview on vertical and directional drilling technologies for the exploration and exploitation of deep petroleum resources, Published online: 30 August 2016, International Publishing Switzerland 2016.
- 13) Zakon o rudarstvu (Uradni list RS, št. 14/14 – uradno prečiščeno besedilo in 61/17 – GZ).
- 14) Zakon o uvajanju naprav za proizvodnjo električne energije iz obnovljivih virov energije (Uradni list RS, št. 78/23).
- 15) Zakon o varstvu okolja (Uradni list RS, št. 39/06 – uradno prečiščeno besedilo, 49/06 – ZMetD, 66/06 – odl. US, 33/07 – ZPNačrt, 57/08 – ZFO-1A, 70/08, 108/09, 108/09 – ZPNačrt-A, 48/12, 57/12, 92/13, 56/15, 102/15, 30/16, 61/17 – GZ in 21/18 – ZNOrg).
- 16) Zakon o vodah (Uradni list RS, št. 67/02, 2/04 – ZZdl-A, 41/04 – ZVO-1, 57/08, 57/12, 100/13, 40/14 in 56/15).

