



GEOLOŠKI ZAVOD SLOVENIJE

Dimičeva ulica 14, 1001 Ljubljana

**Priprava strokovnih podlag in strokovna podpora
pri izvajanju vodne direktive
za področje podzemnih voda (Direktiva 2000/60/EC)**

**Prepovedi, pogoji in omejitve rabe vode iz termalnih
vodonosnikov (DUPPS8.6)**

Datum: 1.4.2013
Arh. št.: K-II-30d/c-31/1394-7
Nosilec: mag. Andrej Lapanje, univ. dipl. inž. geol.
Vodja oddelka: dr. Nina Mali, univ. dipl. inž. geol.
Direktor: doc. dr. Marko Komac, univ. dipl. inž. geol.

Podnalog	Prepovedi, pogoji in omejitve rabe vode iz termalnih vodonosnikov (DUPPS8.6)
Naročnik	Ministrstvo za kmetijstvo in okolje Dunajska cesta 22 1000 Ljubljana
Naloga	Priprava strokovnih podlag in strokovna podpora pri izvajanju vodne direktive za področje podzemnih voda (Direktiva 2000/60/EC)
Pogodba	2330-12-830059 (MKO) 1160-109/2012 (GeoZS)

Obdelali:	mag. Andrej Lapanje, univ. dipl. inž. geol. Petra Meglič, univ. dipl. inž. geol. mag. Joerg Prestor, univ. dipl. inž. geol. Nina Rman, , univ. dipl. inž. geol. Tadej Fuks, univ. dipl. inž. geol.
-----------	--

Ključne besede:

Vodna direktiva, podzemna voda, Mursko-Zalski bazen, Krško-Brežiški bazen, termalni vodonosniki, trend

Kazalo:

1	UVOD	2
2	DOLOČITEV TRENDV V POVEZAVI Z NAPAJANJEM OZ. ODVZEMANJEM TERMALNE VODE IZ GLOBOKIH TERMALNIH VODONOSNIKOV V KRŠKO-BREŽIŠKEM IN MURSKO-ZALSKEM BAZENU	3
	2.1 OCENA TRENDOV KAKOVOSTNEGA IN KOLIČINSKEGA STANJA VTPodV MURSKA TERMALNA VODA (INTERNO).....	3
3	PRIPRAVA PREDLOGA SPECIFIČNIH PREPOVEDI IN/ALI OMEJITEV RABE VODE IZ TERMALNIH VODONOSNIKOV NA PODLAGI ANALIZE REZULTATOV OBSTOJEČIH ŠTUDIJ IN NOVIH PODATKOV V MURSKO-ZALSKEM IN KRŠKO-BREŽIŠKEM BAZENU.....	9
4	PREDLOG USKLAJENEGA IZVAJANJA ENOTNEGA MONITORINGA IN GEOTERMALNEGA MODELA PO VZORU DOBRE PRAKSE SKUPNEGA GEOTERMALNEGA TELESA MED AVSTRIJO IN NEMČIJO.....	13
5	SKLEP	27
6	LITERATURA.....	27

Projektna naloga

Uredba o načrtu upravljanja voda za vodni območji Donave in Jadranskega morja (Ur.l. RS, št. 61/2011) v 3., 4. in 5. odstavku 8. Člena uveljavlja prepoved in omejitev rabe termalne in termomineralne vode v Mursko-Zalskem in Krško-Brežiškem bazenu.

Uredba določa, da se vodne pravice za rabo vode za izkoriščanje termalne in termomineralne vode v Mursko-Zalskem in Krško-Brežiškem bazenu lahko podelijo na podlagi ugotovitve, da trend gladine podzemne vode v vodonosnikih določenih vodnih teles ni več padajoč. Vodna telesa so: Krška kotlina (VTPodV_1003), Posavsko hribovje do osrednje Sotle (VTPodV_1008), Dolenjski kras (VTPodV_1011), Dravska kotlina (VTPodV_3012), Haloze in Dravinjske gorice (VTPodV_3014), Zahodne Slovenske gorice (VTPodV_3015), Murska kotlina (VTPodV_4016), Vzhodne Slovenske gorice (VTPodV_4017), Goričko (VTPodV_4018). Vodne pravice na podlagi 199. člena Zakona o vodah se lahko podelijo, pri čemer je obseg vodne pravice odvisen od ugotovitve iz tretjega odstavka 8. člena Uredbe o načrtu upravljanja voda za vodni območji Donave in Jadranskega morja.

Iz tega izhaja nujnost, da se čim prej določi trend globokih vodonosnikov zgoraj naštetih VTPodV. Naloga je povezana z izvajanje dopolnilnega ukrepa Opredelitev in priprava kart globokih vodonosnikov in priprava predloga zaščitnih ukrepov (DDU 25).

Poleg tega je potrebno za obvladovanje tveganja nedoseganja dobrega količinskega stanja globokih vodonosnikov pripraviti strokovna izhodišča, ki se jih upošteva pri obravnavi vlog za vodna dovoljenja.

Rezultati oz. produkti naloge:

Za globoke vodonosnike naslednjih VTPodV: Krška kotlina (VTPodV_1003), Posavsko hribovje do osrednje Sotle (VTPodV_1008), Dolenjski kras (VTPodV_1011), Dravska kotlina (VTPodV_3012), Haloze in Dravinjske gorice (VTPodV_3014), Zahodne Slovenske gorice (VTPodV_3015), Murska kotlina (VTPodV_4016), Vzhodne Slovenske gorice (VTPodV_4017), Goričko (VTPodV_4018) se v letu 2012 zberejo in ovrednotijo podatki (njihova kakovost oz. zanesljivost ter statistična značilnost časovnih vrst oz. trendov v povezavi z napajanjem oz. odvzemanjem). Naročniku se predajo v elektronski obliki tudi viri podatkov o monitoringu, ki so bili pridobljeni iz javnih sredstev ali opis virov za podatke monitoringov za globoke vodonosnike (Dobrovnik, Renkovci, Moravci, Murska Sobota, Benedikt ...) na območju Dravske in Murske kotline, in ki jih je zaradi tveganja pri doseganju dobrega količinskega stanja GeoZS v NUV-u posebej izpostavil. GeoZS v predaji strokovnih podlag označi dele, ki so predmet doktorske disertacije, z oznako interno, da jih MKO do objave doktorske disertacije ne objavi. Ta omejitev ne velja, v kolikor iz podatkov izhaja, da mora MKO na podlagi le-teh sprejeti določene ukrepe.

Priprava predloga specifičnih prepovedi in/ali omejitev rabe vode iz termalnih vodonosnikov na podlagi analize rezultatov obstoječih študij in novih podatkov v Mursko-Zalskem in Krško-Brežiškem bazenu

Predlog usklajenega izvajanja enotnega monitoringa in geotermalnega modela po vzoru dobre prakse skupnega geotermalnega telesa med Avstrijo in Nemčijo.

1 Uvod

S projektno nalogo je zahtevano, da se razdela prepovedi, pogoje in omejitve rabe vode iz naslednjih VTPodV: Krška kotlina (VTPodV_1003), Posavsko hribovje do osrednje Sotle (VTPodV_1008), Dolenjski kras (VTPodV_1011), Dravska kotlina (VTPodV_3012), Haloze in Dravinjske gorice (VTPodV_3014), Zahodne Slovenske gorice (VTPodV_3015), Murska kotlina (VTPodV_4016), Vzhodne Slovenske gorice (VTPodV_4017), Goričko (VTPodV_4018). V poročilu Opredelitev in priprava kart globokih vodonosnikov in priprava predloga zaščitnih ukrepov (DDU 25) smo opredelili štiri nova VTPodV: Krško-Brežiška termalna voda, Ptuj-globoki, Murska termalna voda in Radgonsko-vaška termomineralna voda, ki predstavljajo dele prej omenjenih VTPodV iz projektne naloge. Natančnejša delitev je bila izvedena v vertikalni smeri, pri čemer novo določena VTPodV obsegajo tako napajalna območja, kjer je temperatura vode nižja od 20 °C, kot tudi globlje dele s temperaturo nad 20 °C.

Pri izvedbi naloge smo se soočili z veliko negotovostjo, ki jo povzročajo vrzeli v podatkih. Vodne pravice za izkoriščanje termalne vode omenjenih vodnih teles, z izjemo uporabniku Terme Ptuj, še niso podeljene. Ker niso urejene vodne pravice, tudi obratovalni monitoring ni vzpostavljen. Prav tako na globokih vodonosnikih ni vzpostavljen niti državni monitoring. Zato je nemogoče ovrednotiti podatke časovnih vrst oz. trendov v povezavi z napajanjem oz. odvzemanjem iz na novo predlaganih VTPodV Krško-Brežiška termalna voda, Ptuj-globoki in Radgonsko-vaška termomineralna voda. Le za VTPodV Murska termalna voda so na voljo podatki raziskovalnega monitoringa. Podatki, zbrani v okviru doktorske naloge Nine Rman (2013), so prikazani v poglavju 2 in so označeni z oznako INTERNO.

Pred pripravo predloga specifičnih prepovedi in/ali omejitev rabe vode iz termalnih vodonosnikov na podlagi analize rezultatov obstoječih študij in novih podatkov v Mursko-Zalskem in Krško-Brežiškem bazenu je potrebno odpraviti negotovost, ki jo predstavljajo vrzeli v podatkih. Za vodna telesa podzemne vode Ptuj-globoka, Krško-Brežiška termalna voda in Radgonsko-Vaška termomineralna voda ni na voljo dovolj podatkov, na osnovi katerih bi lahko danes ukrepali. Najprej je potrebno urediti stanje vodnih pravic in vzpostaviti monitoring pri vseh uporabnikih. Šele na osnovi analize rezultatov vseh monitoringov v istem vodnem telesu podzemne vode je mogoče ukrepati.

Konceptualni modeli VTPodV so namenjeni predvsem strokovni oceni stanja, ki je podlaga za vpeljavo novih VTPodV v naslednjem Načrtu upravljanja z vodami. V tem času, do vpeljave novih VTPodV, je potrebo stanje bolje definirati. Najprej je na osnovi monitoringov potrebno določiti trende kakovostnega in količinskega stanja, podobno kot je to predstavljeno v poglavju 2, tudi za VTPodV Krško-Brežiška termalna voda, Ptuj-globoki in Radgonsko-vaška termomineralna voda. Vpeljava posebnih prepovedi, pogojev in omejitev rabe iz termalnih vodonosnikov naj poteka po postoku razdelanem v poglavju 3. Primer dobre prakse usklajenega izvajanja enotnega monitoringa in geotermalnega modela skupnega geotermalnega telesa med Avstrijo in Nemčijo je prikazan v poglavju 4.

2 Določitev trenda v povezavi z napajanjem oz. odvzemanjem termalne vode iz globokih termalnih vodonosnikov v Krško-Brežiškem in Mursko-Zalskem bazenu

2.1 Ocena trendov kakovostnega in količinskega stanja VTPodV Murska termalna voda (INTERNO)

Kakovostno stanje:

Ciklično spreminjanje kemične sestave termalne vode zaradi njenega velikega odvzema iz vrtin, ki posegajo v vodno telo Murske termalne vode in hkrati tudi v globlje ležeče peščenjake Lendavske formacije, ki skladiščijo termomineralno vodo z veliko raztopljenih plinov, je bilo na primeru Murske Sobote dokazano že pred več kot 10 leti (Kralj, 2001; Kralj and Kralj, 2000). V Radencih in Petanjcih je bil na podlagi sprememb izotopov kisika in sulfata dokazan vpliv vdiranja starejših meteornih vod na območje intenzivnega črpanja mineralnih voda (Pezdič, 2003).

Zbrane arhivske analize kažejo, da koncentracija konservativnega kloridnega iona v Moravskih Toplicah upada, kar se odraža v spremenjenem hidrogeokemijskem tipu vode (Preglednica 1). Nasprotno hidrogenkarbonatni ion vse bolj prevladuje in v primeru Mt-7 se njegova koncentracija celo povečuje (Slika 1b). Statistično značilni trend (t-test, 95 % stopnja zaupanja) je opazen le pri zniževanju klorida in hidrogenkarbonata v Mt-6, medtem ko natrij nima opaznega trenda. Iz vrtine Mt-6 je bilo izčrpanih že preko 17 milijonov m³ termalne vode, zato so vdori kemijsko drugačne vode pričakovani. Termalna voda v Lendavi (Le-2g) kaže statistično značilni trend upadanja natrija in hidrogenkarbonata. Primerjava meritev stabilnih izotopov kisika in devterija kaže izrazit dotok Pleistocenske meteorne vode, ki ima bistveno manj izrazit hidrotermalni izotopski efekt kot prvotno pridobljena termalna voda (Slika 2). Ker večina vrtin pridobiva del vode iz Lendavske formacije, je pojav pripisan znižanemu dotoku iz slednje. Te vodonosne plasti so lateralno omejene, zato je njihovo napajanje zelo omejeno. Posledično je dolgotrajno izkoriščanje povzročilo takšno znižanje tlaka v vodonosniku, da v vrtinah, ki zajemajo tako Mursko kot Lendavsko formacijo, zdaj prevladuje dotok termalne vode iz Murske formacije.

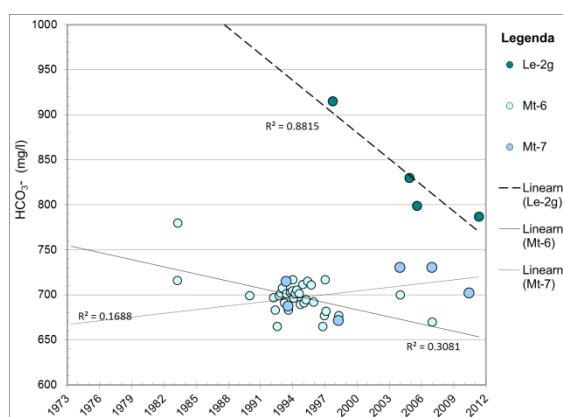
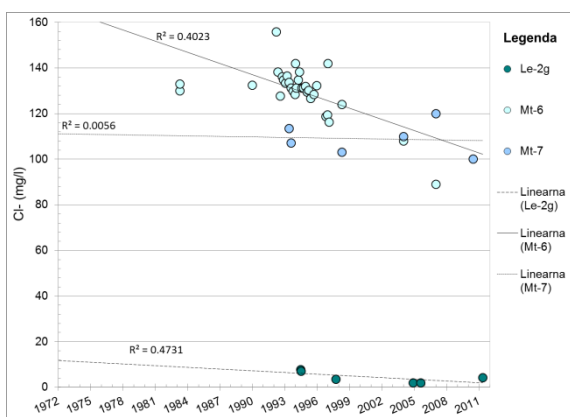
Preglednica 1: Kemične analize za interpretacijo vdora kemijsko drugačne vode v Mursko formacijo

Vrtina	Leto	Tip	Lab.	Vir	Temp (°C)	pH	TDS' (mg/l)	EC (uS/cm)	K ⁺ (mg/l)	Na ⁺ (mg/l)	Ca ²⁺ (mg/l)	Mg ²⁺ (mg/l)	NH ₄ ⁺ (mg/l)	Cl ⁻ (mg/l)	SO ₄ ²⁻ (mg/l)	HCO ₃ ⁻ (mg/l)	SiO ₂ (mg/l)
Le-2g	1997	Na-HCO ₃		2	58.3	7.18	1193	1121	6.8	313.0	5.0	8.0	4.1	4	2	850	
Le-2g	2004	Na-HCO ₃	4	4		7.70	1190	1030	5.3	310.0	4.6	1.1	4.0	2	-10	830	39.0
Le-2g	2005	Na-HCO ₃	4	4		7.90	1180	1060	5.3	290.0	5.2	1.2	4.0	2	-10	799	40.0
Le-2g	2011	Na-HCO ₃	2	7	60.3	7.41	1130	1103	5.7	277.0	4.9	1.1	1.3	4	11	787	31.0
Mt-6	1983	Na-HCO ₃ -Cl	5	2	60.3	7.80	1231	1700	6.6	321.3	3.4	1.3	3.2	130	1	716	
Mt-6	1990	Na-HCO ₃ -Cl		5	60.0	8.93	1184		9.0	330.0	6.3	2.1	1.6	132	2	699	
Mt-6	1992	Na-HCO ₃ -Cl	3	2	59.0	7.84	1165	1400	8.0	322.0	5.7	1.9	2.7	138	-5	683	
Mt-6	1993	Na-HCO ₃ -Cl	3	2	58.0	7.53	1198		5.0	340.0	5.7	1.7	2.7	133	-5	708	
Mt-6	1994	Na-HCO ₃ -Cl	3	2	59.0	7.93	1176		5.0	335.0	5.7	1.0	1.9	131	-5	689	
Mt-6	1995	Na-HCO ₃ -Cl	3	2	59.0	8.07	1259		7.0	350.0	5.6	0.9	2.7	128	-5	711	
Mt-6	1996	Na-HCO ₃ -Cl	3	2	59.1	7.98	1118		10.0	310.0	5.7	0.6	2.4	119	-5	665	
Mt-6	1997	Na-HCO ₃ -Cl		5	58.1	8.04	1137		10.0	310.0	4.7	1.5	2.6	116	10	682	
Mt-6	1998	Na-HCO ₃ -Cl	1	1	59.0	7.80	1171	1190	5.6	350.0	5.7	1.7	4.0	124	2	677	
Mt-6	2004	Na-HCO ₃ -Cl		1	57.9	7.50		1310	5.0	240.0	6.0	-1.0	2.4	108	45	700	37.0
Mt-6	2007	Na-HCO ₃		5	54.7	7.70		1163	5.6	310.0	7.6	13.0	2.9	89	-1	670	
Mt-7	1993	Na-HCO ₃ -Cl	3	3	53.0	7.90	1162	1200	7.0	310.0	7.1	3.4	2.2	107	2	687	24.3
Mt-7	1998	Na-HCO ₃ -Cl	1	1	56.0	7.80	1119	1130	5.5	320.0	5.7	2.6	8.9	103	2	671	
Mt-7	2004	Na-HCO ₃ -Cl		1	55.7	7.30		1360	3.3	260.0	6.0	-1.0	2.2	110	45	730	35.0
Mt-7	2010	Na-HCO ₃	2	6	55.7	7.25	1160	1364	5.5	314.0	5.8	1.1	1.5	100	1	702	20.8

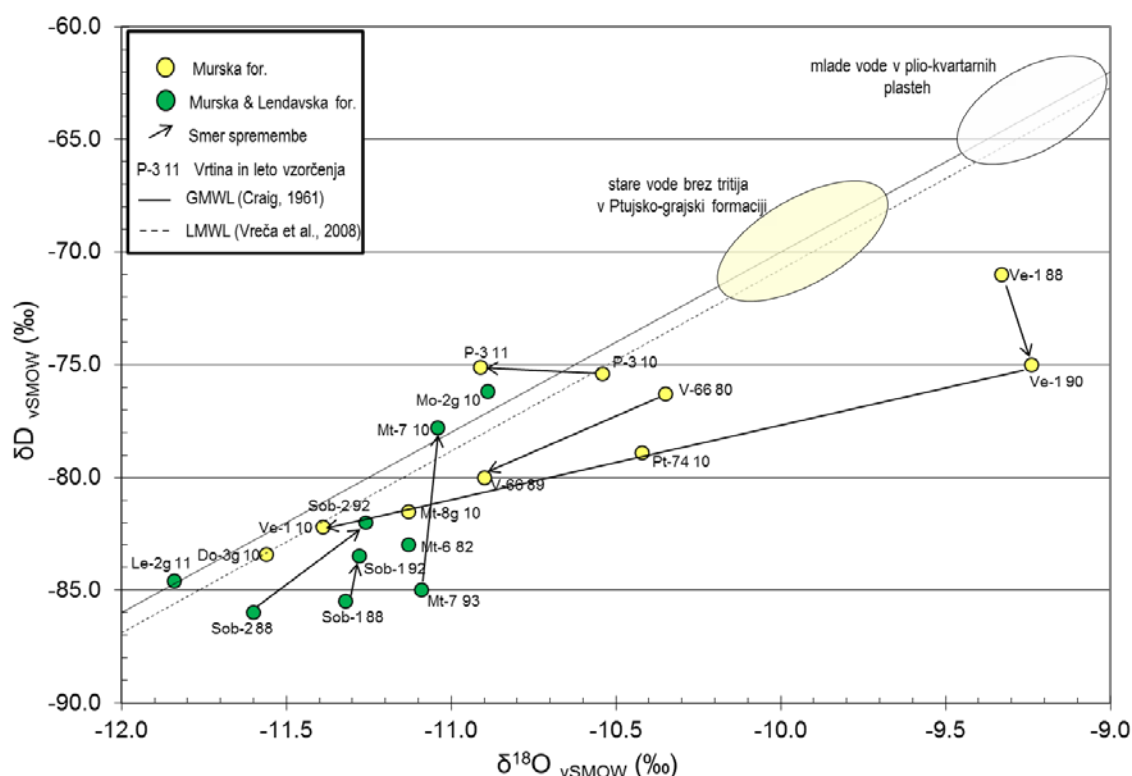
manjkajoči TDS je izračunan s programom AquaChem

- minus označuje detekcijsko mejo izbranega parametra

Lab.	Laboratorij	Vir	Vir
1	Center za razvoj in znanstveno raziskovanje mineralnih vod, Maribor, Slovenija	1	Gerič, N. 2006
		2	Kralj, P. 2001
2	MFGI, Budimpešta, Madžarska	3	Lapanje, A. 2006
3	Razvojni laboratorij Radenske, Radenci, Slovenija	4	Hidrogeološka poročila Nafta Geoterm
4	Vizkutato Vizkemia Kft., Madžarska	5	Š. Smodiš
5	Zavod za fizikalnu medicinu i rehabilitaciju medicinskog fakulteta, Zagreb, Hrvaška	6	T-JAM (http://akvamarin.geo-zs.si/t-jam_boreholes/)
		7	Transenergy (http://transenergy-eu.geologie.ac.at/)



Slika 1a, b: Časovne spremembe koncentracij kloridnega in hidrogenkarbonatnega iona



Slika 2: Časovne spremembe izotopske sestave termalne vode iz Murske in Lendavske formacije

Vodonosnik v Murski formaciji je dobro zaščiten pred površinskim onesnaževanjem. Predstavljeni trendi kažejo, da zaradi dolgotrajnega odvzema termalne vode **obstaja velika možnost vdora voda z drugačno kemijsko in izotopsko sestavo** znotraj vodonosnika (izcejanje iz okoliških plasti) in v vrtinah, ki hkrati zajemajo več vodonosnikov. Zaradi izrazito nihajočega sezonskega odvzema termalne vode lahko primerjava kemijskih in izotopskih analiz, odvzetih v različnih režimih črpanja, pripelje do nepravilnih zaključkov in prav tako je problematična primerjava analiz, ki so jih opravili različni laboratoriji v različnih časovnih obdobjih. Ocenjujemo, da je **kakovostno stanje vodonosnika v Murski formaciji še vedno dobro, a ogroženo**. Za potrditev trendov je nujno izvesti pogostejše in podrobnejše vzorčenje izbranih vrtin, v sklopu katerega se bo poleg osnovnih kemijskih parametrov analiziralo tudi sledne prvine in stabilne izotope.

Količinsko stanje:

S črpalnimi preizkusi je bil dokazan medsebojni vpliv večine termalnih vrtin, ki posegajo v vodno telo Murske termalne vode, zaradi česar je ta regionalnega značaja. Analiza arhivskih hidravličnih podatkov kaže, da se je izdatnost vrtin zmanjšala, nižanje gladine podzemne vode pa se kaže tudi kot povečana potreba po instalaciji črpalke na prej samoizlivnih vrtinah ali pa po poglobitvi že nameščene črpalke. Vse vrtine, ki posegajo v

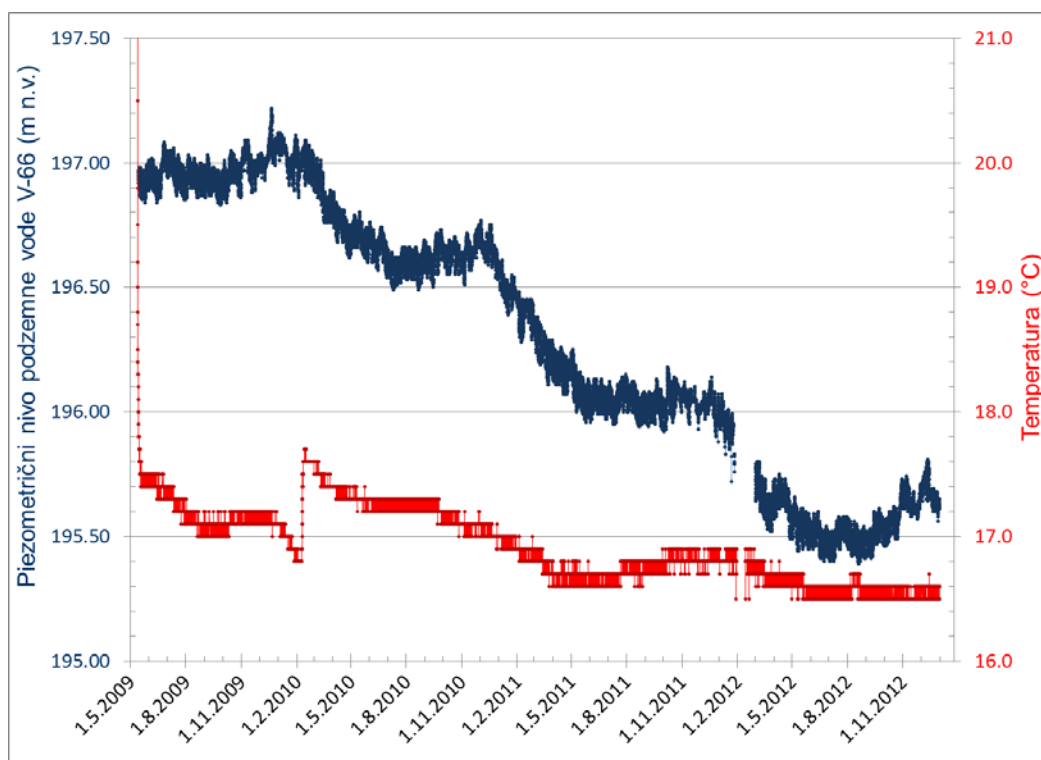
omenjeno vodno telo, danes pridobivajo vodo s pomočjo potopnih črpalk. Rezultati regionalnega raziskovanega monitoringa kažejo dnevna, sezonska in letna nihanja statične gladine podzemne vode v opazovalnih vrtinah v Petanjcih, Dobrovniku in Filovcih. Povprečni letni upad regionalne statične gladine v letih 2009-2012 je -0,53 m (Slika 3), v bližini vplivnega radija črpalnih vrtin, kor npr. Do-1 pri črpalni Do-3g (Slika 5) in F-5 pri Re-1g (Slika 4) pa še nekoliko višji. Dinamična gladina termalne vode ne upada povsod z enako hitrostjo, kar je povezano z režimom črpanja in količino odvzete vode ter tehničnimi in hidravličnimi lastnostmi vrtin. Ne pomeni pa nujno, da večji odzem pomeni večje znižanje. Znižanje dinamične gladine termalne vode v Sob-2 in Mt-8g znaša približno -4,4 m letno (Slika 6), v nekoliko oddaljenem Mt-6 le 0,2 m (Slika 7), v sosednji poševni vrtini Mt-7 pa -1,1 m letno (Preglednica 2). V primeru Mt-6 upoštevanje vseh urnih meritev podaja rahlo naraščajoč trend gladine, ki pa ni realen, kajti najvišja gladina iz prejšnjega leta v naslednjem letu v celotnem opazovanem obdobju ni bila dosežena. Izračun mesečnih mesečne regresijske premice že podaja njen negativni naklon, vendar je stopnja zaupanja zelo nizka, le 0,86.

Preglednica 2: Trend linearne regresijske premice gladine podzemne vode izračunan iz urnih podatkov, pridobljenih v obdobju 1.5.2009 do 1.11.2012. V primeri Sob-2 se bili upoštevani le podatki brez plinskih erupcij do februarja 2011, v Fi-5 pa na meritve do decembra 2011, ko je bila aktivirana vrtina v bližnjih Renkovcih.

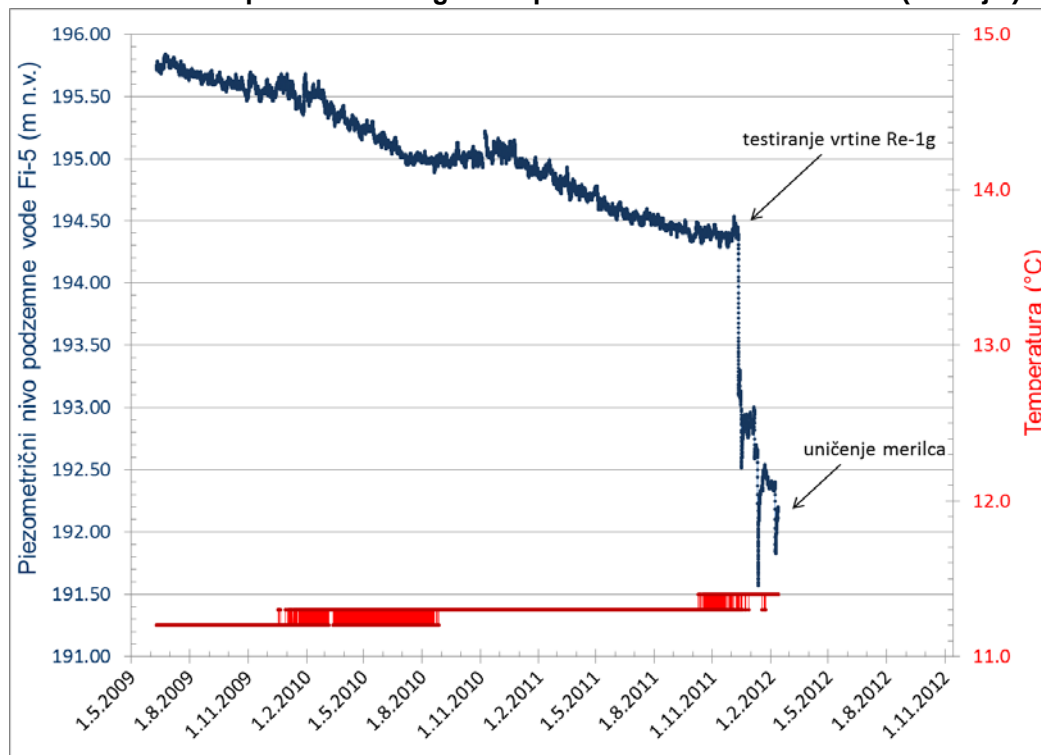
Vrtina	Št. meritev	Povprečje (m n.v.)	Maks. (m n.v.)	Std. dev. (m n.v.)	R ²	r	Regresijska premica (p<0.001)
Do-1*	29232	168,46	170,57	0,90	0,31	-0,56	169,34 – 5,72E-05*x
Fi-5*	29233	195,06	195,84	0,43	0,97	-0,98	195,87 – 6,74E-05*x
V-66*	29234	196,35	197,22	0,52	0,94	-0,97	197,24 – 5,79E-05*x
Mt-6'	22725	175,45	190,21	6,53	0,01	0,07	174,50 + 5,86E-05*x
Mt-6'	73	Premica iz mesečnih povprečnih vrednosti ni stat. značilna				-0,03	175,93 - 1,48E-02*x
Mt-7'	24655	173,68	189,00	11,14	0,01	-0,10	175,69 – 1,29E-04*x
Mt-8g'	26002	190,58	211,52	9,74	0,20	-0,44	198,89 – 4,99E-04*x
Sob-2'	8623	189,33	194,80	2,74	0,84	-0,92	193,36 – 4,87E-04*x

* vrtine ne pridobivajo termalne vode in odražajo statično gladino podzemne vode
' iz vrtin se črpa termalna voda in odražajo dinamično gladino podzemne vode

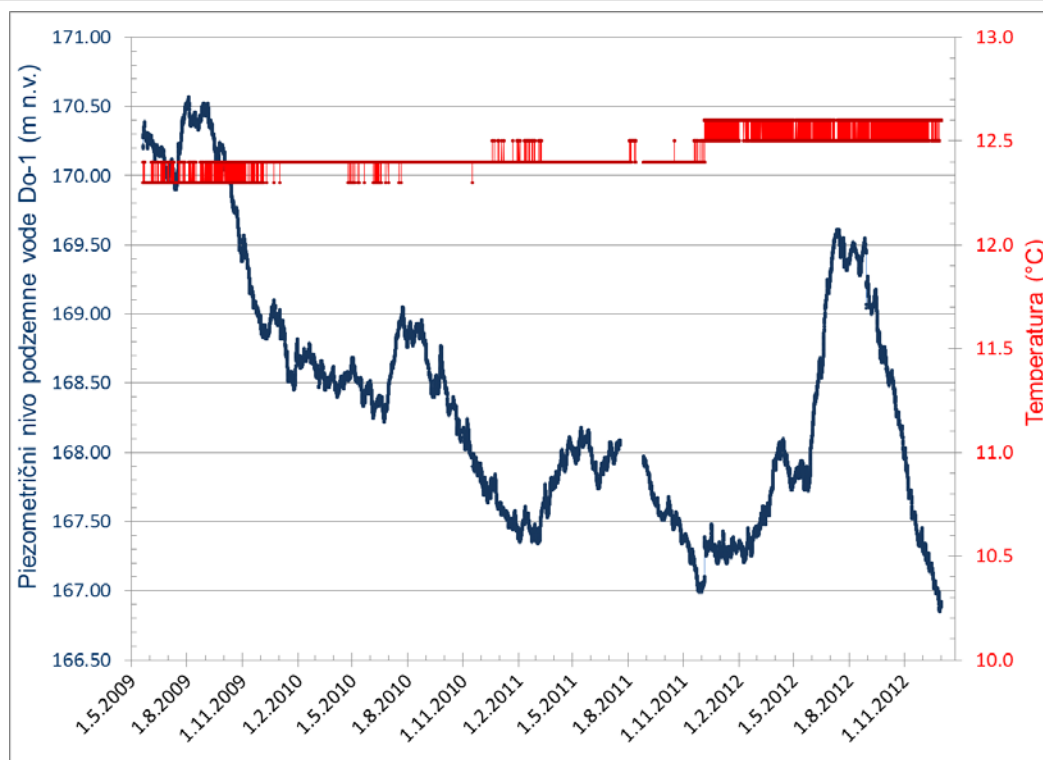
Absolutno znižanje regionalne piezometrične gladine podzemne vode v obdobju pred pričetkom izkoriščanja geotermalnega vodonosnika sredi prejšnjega stoletja pa do danes je ocenjeno na -15 m, na območjih z zelo velikim in več-desetletnim odvzemom pa okoli 30 m. Zaradi zelo redkih hidravličnih testiranj stanj termalnih vrtin ne moremo zanesljivo reči, v kolikšni meri je znižanje gladine posledica slabšanja njenega tehničnega stanja (npr. zasipavanja odprtih intervalov, mašenja filtrov ipd.), v kolikšni pa hidravličnih sprememb v vodonosniku. A na podlagi primerjave podatkov iz več opazovalnih in črpalnih vrtin menimo, da je trend zniževanja gladine regionalen in predvsem posledica **slabšanja količinskega stanja vodonosnika**.



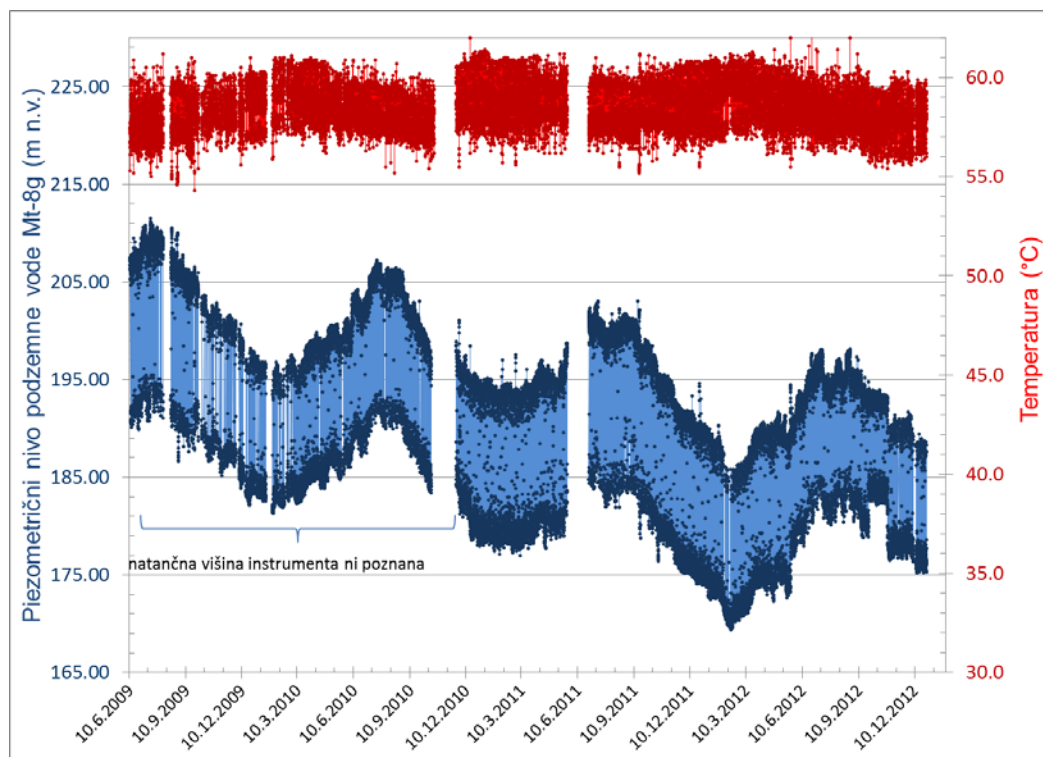
Slika 3: Statična piezometrična gladina podzemne vode v vrtini V-66 (Petanjci)



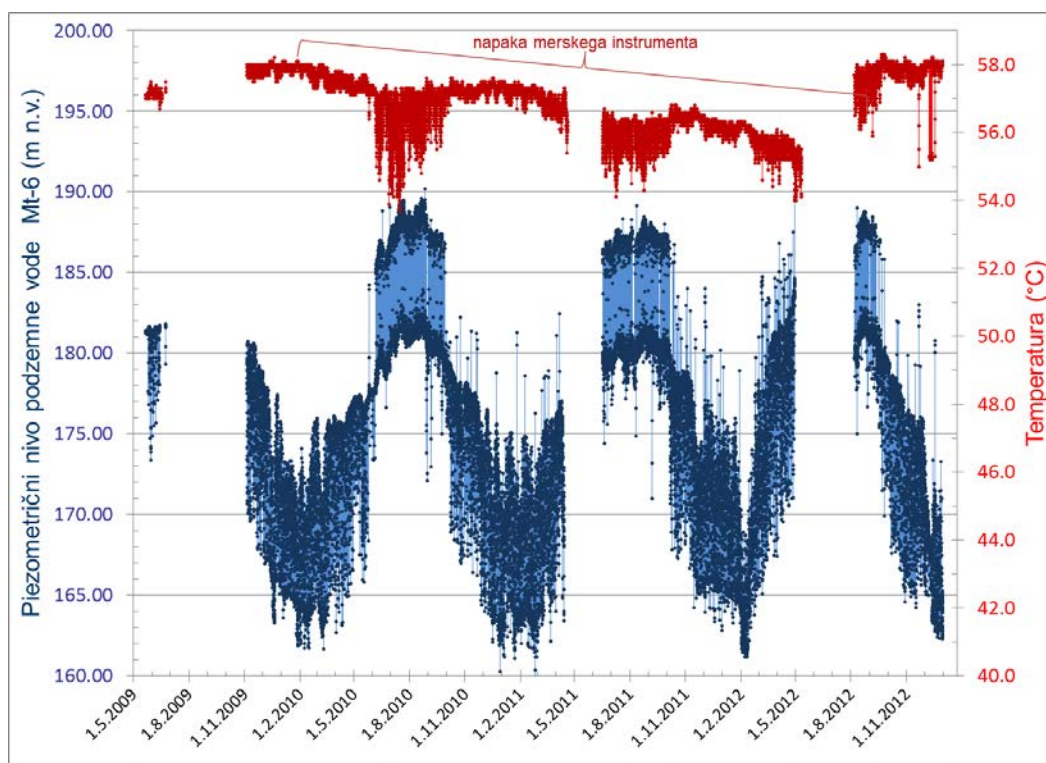
Slika 4: Statična piezometrična gladina podzemne vode v Fi-5 (Filovci)



Slika 5: Statična piezometrična gladina podzemne vode v Do-1 (Dobrovnik)



Slika 6: Dinamična piezometrična gladina podzemne vode v Mt-8g (Moravske Toplice)



Slika 7: Dinamična piezometrična gladina podzemne vode v Mt-6 (Moravske Toplice)

Iz projektne naloge sledi tudi zahteva "Naročniku se predajo v elektronski obliki tudi viri podatkov o monitoringu, ki so bili pridobljeni iz javnih sredstev ali opis virov za podatke monitoringov za globoke vodonosnike (Dobrovnik, Renkovci, Moravci, Murska Sobota, Benedikt ...) na območju Dravske in Murske kotline, in ki jih je zaradi tveganja pri doseganju dobrega količinskega stanja GeoZS v NUV-u posebej izpostavil.". Primopredaja teh podatkov bo koordinirala Nina Rman z odgovornim predstavnikom Agencije RS za Okolje.

3 Priprava predloga specifičnih prepovedi in/ali omejitev rabe vode iz termalnih vodonosnikov na podlagi analize rezultatov obstoječih študij in novih podatkov v Mursko-Zalskem in Krško-Brežiškem bazenu

Kot je omenjeno že v uvodu, je možno specifične prepovedi in/ali omejitev rabe termalnih vodonosnikov vpeljati le na podlagi analize podatkov monitoringa. Ker ne državni monitoring ne operativni monitoring pri uporabnikih nista vpeljana, je prvi ukrep, ki ga je potrebno sprejeti v Mursko-Zalskem in Krško-Brežiškem bazenu **vzpostavitev monitoringa pri vseh uporabnikih** in državnega monitoringa v okviru možnosti. Obstoječi uporabniki termalne vode morajo vzpostaviti monitoring v prilagoditvenem obdobju, ki je opredeljen v koncesijski pogodbi, novi uporabniki pa morajo izpolnjevati vse navedene zahteve pred začetkom dejanske proizvodnje. Pred pričetkom geotermalne rabe je potrebno določiti začetno stanje temperature, tlaka in kemijske

sestave termalne vode v vodonosniku. Na podlagi Zakona o vodah uporabniki podzemne vode ne smejo poslabšati obstoječe kvantitativne in kvalitativne pogoje za vsako posamezno telo podzemne vode. Zaradi velikega pritiska na rabo termalne vode so spremembe v geotermalnih vodonosnikih verjetne, zato je treba vodno pravico izdati na tak način, da je omogočeno hitro prepoznavanje teh sprememb in prilagajanje vodnih pravic! Predlagamo, da se vodne pravice na termalnih vodonosnikih upravljajo v skladu s postopkom, ki smo ga razvili na Geološkem zavodu Slovenije (Prestor et al., 2012). Vsaka raba geotermalne energije iz predlaganih VTPodV za katero bo dodeljena kakršna koli vodna pravica mora izpolnjevati določene kriterije na podlagi ključnih kazalnikov (slika 8). Vendar pa je potrebno več kot samo upoštevanje številčnih kazalcev. V postopek upravljanja vodnih pravic je zajeta primerjalna analiza rabe s številčnimi kazalniki (t.i. benchmarking), skupna analiza rezultatov monitoringov vseh uporabnikov na istem VTPodV in simulacija ter napovedovanje razmer v termalnih vodonosnikih z regionalnim numeričnim modelom na podlagi pridobljenih podatkov monitoringa.

Parameter primerjalne analize	Zelo slabo	Slabo	Srednje	Dobro	Zelo dobro
1. Stanje monitoringa					
2. Uporaba najboljše razpoložljive tehnologije					
3. Energetska učinkovitost					
4. Faktor uporabe polne zmogljivosti					
5. Balneološka učinkovitost					
6. Stopnja vračanja vode (reinjekcije)					
7. Napajanje termalnih vodonosnikov					
8. Preizkoriščanje					
9. Kakovost izpustov odpadne termalne vode					
10. Obveščenost javnosti					

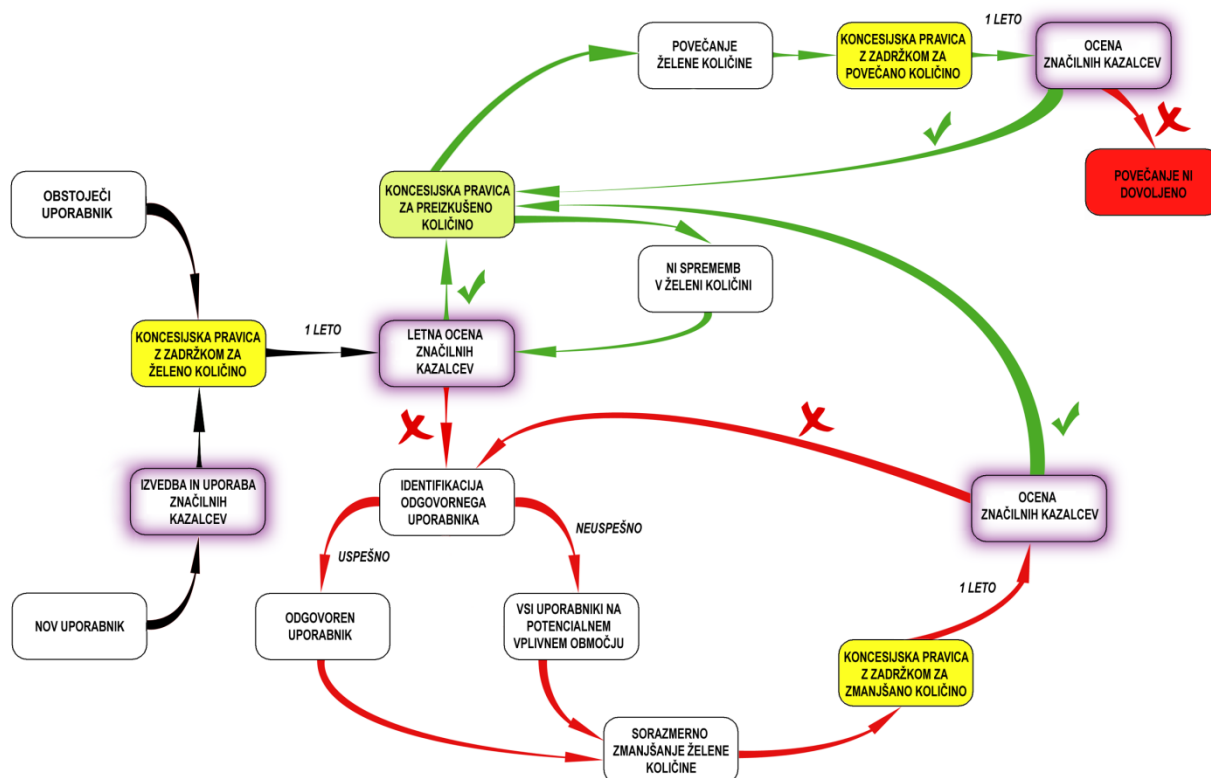
Slika 8: Kazalci primerjalne analize z oceno stanja

Če se nova geotermalna raba načrtuje v neposredni bližini že obstoječih uporabnikov je potrebno upeljati ukrepe, ki jih obstoječi imetniki vodnih pravic lahko uporabljajo za zahtevo kompenzacijskih plačil v primeru dokazanega vpliva. Že pred pričetkom globinskih raziskav je potrebno izdelati študije medsebojnega vpliva vrtin na obstoječa zajetja. Ta instrument se lahko uporabi že med vrtanjem in testiranjem za zavarovanje dokazov v zvezi s kakovostjo in kvantitativni pogoji ciljnega termalnega vodonosnika. Prvi pogoj za vpeljavo tega instrumenta je, da ima obstoječ imetnik vodnih pravic vpeljan operativni monitoring.

Predlagamo, da se v VTPodV Murska termalna voda in Krško-Brežiška termalna voda, kjer prihaja do intenzivnega izkoriščanja termalne vode, o vodnih pravicah dogovarja na

letni osnovi na podlagi sporočenih podatkov monitoringa, izračunanih kazalcev primerjalne analize in simulacij razmer na osnovi numeričnega modeliranja.

Pristopiti je potrebno k vzpostavitvi reinjekcije na območjih, ki kažejo izrazito slabšanje količinskega stanja.



Slika 9: Postopek podeljevanja vodnih pravic in njegovega nadzora

Celotna količina termalne vode v zahtevku za podelitev vodne pravice se lahko odvzema v poskusnem obdobju enega leta (slika 9). Po preteku enoletnega obdobja je potrebno na osnovi obratovalnega monitoringa dokazovati, da odvzem ne povzroča negativnega vpliva na termalni vodonosnik. Če se z rezultati opazovanj to dokaže, se za obstoječo stopnjo odvzema podeli vodno pravico, pri čemer mora biti letna ocena ključnih kazalnikov dobra. Če se katera koli od zahtev ne doseže ali je identificiran negativen vpliv na geotermalni vodonosnik, je treba ugotoviti odgovornega uporabnika in preveriti njegovo izvajanje ključnih kazalnikov. V kolikor zadosti vsem pogojem nadaljnji ukrepi niso potrebni. V nasprotnem primeru je potrebno njegove vodne pravice zmanjšati ali prekiniti in izdati novo 1-letno začasno koncesijo. V kolikor se odgovornega uporabnika ne določi, je treba vse uporabnike na potencialnem vplivnem območju obravnavati po enaki metodologiji in jim, če je potrebno, sorazmerno zmanjšati vodne pravice. Za vsako povečanje količine načrpane vode ali spremembo drugih zahtev, se izda 1-letno začasno koncesijo, da se pridobi informacije o njihovem vplivu na geotermalni vodonosnik.

Zavedamo se, da časovno obdobje 1 leta, kot je opredeljeno v začasnih vodnih koncesijah, hidrogeološko gledano prekratko obdobje za sprejemanje utemeljenih sodb. Zato je vpeljan mehanizem stalne letne ocene ključnih kazalnikov, ki spodbuja nenehen nadzor nad izpolnjevanjem zahtev. Kot tako predstavlja dodatno varovalo, saj omogoča stalen nadzor stanja, zgodnje odkrivanje sprememb in s tem daljši reakcijski čas za vpeljavo ustreznih ukrepov za njihovo ublažitev.

Postopek dodelitve vodne pravice za izrabo termalne vode je potrebno izvesti neodvisno od geoloških, zgodovinskih, pravnih ali čezmejnih prednosti.

Sistem spremljanja ključnih kazalnikov se uporablja kot orodje za objektivno razdelitev vodnih pravic, lahko pa služi tudi kot pogoj za doseganje minimalnih zahtev učinkovitosti.

Predlog ukrepov:

1. Potrebno je doseči dogovor med imetniki vodne pravice za rabo termalne vode istega VTPodV o načinu skupnega monitoringa, še zlasti pa o testnih prekinitvah črpanja, kot to kaže primer dobre prakse med Bavarsko in Zg. Avstrijo v 3. poglavju.
2. Uporabniki morajo pripraviti poročilo o rabi termalne vode, v katerem odgovorijo na zastavljena vprašanja v zvezi s kazalci primerjalne analize.
3. Uporabnike se pozove, da napovejo načrte v zvezi z nadaljnjim razvojem svojega geotermalnega vira, predvsem glede povečanja učinkovitosti in dolgoročne varnosti obratovanja.
4. Na podlagi prispelih poročil se pripravi primerjalna analiza - ocena stanja.
5. Na podlagi tega lahko MKO pripravi podlage za posebnosti pri pripravi koncesijskih pogodb s posameznimi uporabniki.
6. Po enoletnem usklajenem obratovalnem monitoringu se pripravi celovita analiza stanja geotermalnih virov za celotno VTPodV, ki obsega tudi numerično modeliranje razmer v VTPodV.
7. Izkoriščanje podzemne vode v vsakem primeru povzroči trend znižanja gladine podzemne vode. Šele na podlagi rezultatov celovitega monitoringa in analize ter numeričnega modeliranja pa je možno določiti kritične točke gladine podzemne vode in čas, ko je potrebno sprejeti morebitne nadaljnje ukrepe (časovni načrt glede uvajanja reinjekcije, v skrajnem primeru morebitne omejitve rabe in podobno)

Predlog specifičnih prepovedi in/ali omejitev rabe vode:

1. Omejitev trajanja koncesije za rabo termalne vode v balneologiji brez reinjeciranja na največ 20 let in za energetske rabo z reinjeciranjem na največ 30 let, kot je to urejeno v Avstriji (OEWA RB 215, 2010). Šest mesecev pred iztekom veljavnosti licence lahko imetnik koncesije zaprosi za podaljšanje z enostavnim administrativnim postopkom. V primeru, da je koncesija že potekla, poenostavljen postopek za podaljšanje ni več mogoč in celoten postopek podelitve koncesije je potrebno ponoviti.
2. V skladu s časovnim načrtom po določitvi kritične gladine podzemne vode se uvede pogoj obvezne reinjekcije toplotno izrabljene termalne vode. Na osnovi

primerjalne analize številskih kazalnikov, rezultatov monitoringa ter numeričnega modeliranja je potrebno ugotoviti kateri imetniki vodne pravice povzročajo prevelik vpliv v VTPodVT in jim ustrezno zmanjšati vodne pravice. Če tega ni mogoče, se vodne pravice zmanjšajo vsem imetnikom vodne pravice sorazmerno.

4 Predlog usklajenega izvajanja enotnega monitoringa in geotermalnega modela po vzoru dobre prakse skupnega geotermalnega telesa med Avstrijo in Nemčijo.

Uvod

V tem poglavju predstavljamo filozofijo nastanka in izvajanje enotnega monitoringa in geotermalnega modela skupnega geotermalnega telesa med Avstrijo in Nemčijo. Na tem mestu še ne podajamo usklajenega izvajanja enotnega monitoringa v Sloveniji, čeprav sta kandidata VTPodV Murska podzemna voda in Krško-Brežiška podzemna voda. Potreben je namreč dogovor med uporabniki. Kolikor se uporabniki ne morejo dogovoriti, pa bo prišla trojka: MKO, ARSO in GeoZS.

Zato smo se odločili, da predstavimo izvoren primer dobre prakse z orisom problema, rešitvami in rezultati. Torej, zaradi znatnih zalog termalne vode v jurskih karbonatih (t.i. malmski vodonosnik), ki se nahajajo na območju med Regensburgom (D) in Linzem (A), se je pričela intenzivna raba na obeh straneh meje. Zaradi dejstva, da ima raba termalnih voda, predvsem za zdraviliške namene, velik gospodarski pomen za to prekomejno regijo, je bila implementacija skupnega upravljanja s termalnimi vodami neizogibna. 1.decembra 1987 je bil v Regensburgu podpisan mednarodni sporazum med Nemčijo, Avstrijo in Evropsko skupnostjo, ki regulira sodelovanje med nemškimi in avstrijskimi organi za upravljanje z vodami v prispevnem območju reke Donave. Ta sporazum se nanaša tudi na upravljanje s termalnim vodonosnikom v obmejnem območju Bavarske in Zgornje Avstrije. Komisija za vode, ki je bila vzpostavljena v okviru Regensburskega sporazuma, je pričela z numeričnem modeliranjem z namenom izboljšanja upravljanja z vodami v tej regiji.

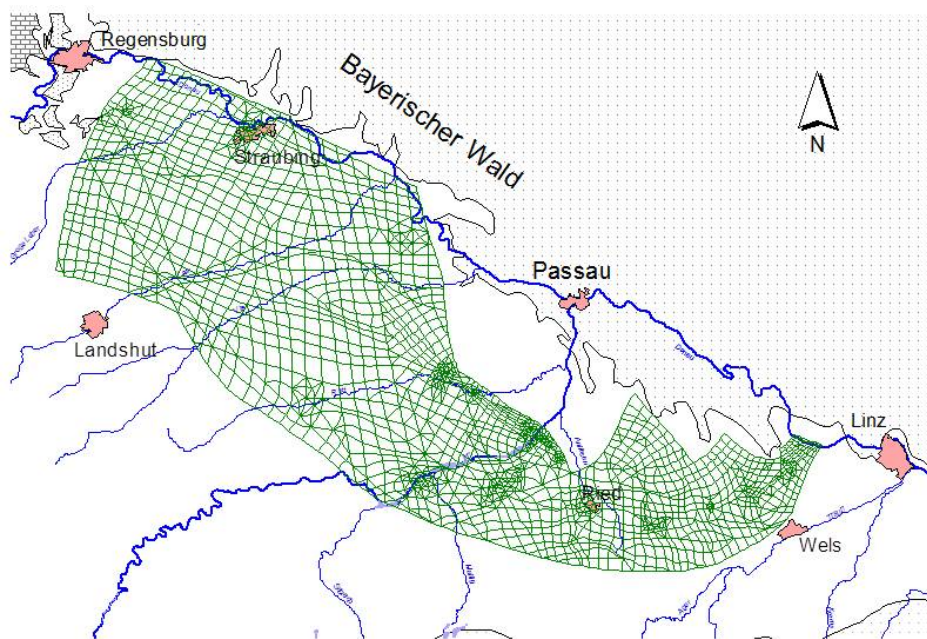
Razvoj 2D in 3D modelov rezervoarjev

V letih od 1984 do 1989 je bil oblikovan raziskovalno-razvojni program imenovan "Hydrogeothermische Energiebilanz und Grundwasserhaushalt des Malmkarstes im süddeutschen Molassebecken", ki ga je financiralo Nemško zvezno ministrstvo za ekonomijo in tehnologijo (EXPERTENGRUPPE „THERMALWASSER“, 2002). Raziskave, izvedene v okviru tega programa, so pokazale skupen odvzem vode v velikosti 1,5 m³/s iz t.i. Malmskega vodonosnega sistema v južni Nemčiji. Na podlagi podatkov o

odvzemih v kombinaciji z že registriranimi padci tlakov v obstoječih termalnih vrtinah, je permanentna komisija za vode (v skladu z bilateralnim sporazumom med Avstrijo in Nemčijo "Regensburger Vertrag") predlagala nadaljnje raziskave. Aprila 1992 je bila vzpostavljena bilateralna ad hoc ekspertna skupina "Tiefenwasser", katere poslanstvo je bilo razviti hidrološki model za Molasni bazen. Hidrološki model je razvil geotehnični urad Prof. Dr. Schuler/Dr. Ingo Gödecke v Augsburgu (pod tehničnim in organizacijskim nadzorom "ad hoc ekspertne skupine"). Model na naj bi služil kot osnova za nadaljnjo presojo vodnih zalog. Ta prvi hidrogeološki model je bil izdelan na osnovi zbranih in analiziranih že obstoječih podatkih (geološki, tektonski, hidrogeološki, hidrokemijski, izotopski, geotermalni in hidrološki) in je bil uporabljen za omejitev termalnega vodonosnika spodnjebavarskega-zgornjeavstrijskega molasnega bazena.

Rezultati tega tokovnega modela so predstavljali osnovo za numeričen 2D hidrološko termalen model, izdelan med 1995-1998 (DETAILMODELL) (EXPERTENGRUPPE „THERMALWASSER“, 2002, p.9/30), ki je končno omogočil oceno dotoka in iztoka iz malmskega vodonosnika.

Rezultat tega projekta je sprememba sheme rabe rezervoarjev za energetske namene, in sicer s predpisano **obvezno** uporabo geotermalnih dubletov (odvzem in reinjekcija termalne vode). Leta 1996 je znašal skupen neto odvzem termalnih voda v Avstriji okoli 70 l/s, kar je predstavljalo približno 25 % vseh razpoložljivih hidrotermalnih zalog (Goldbrunner et al., 2007, p.6/78). Meritve v centralnem delu rezervoarja (v bližini Bad Fuessinga) so takrat pokazale padec nivoja (tlaka) za približno 30 m in kazale padajoč trend. Takoj po namestitvi prvega takega geotermalnega dubleta v Avstriji je bilo opazno izboljšanje količinskega (tlačnega) stanja v centralnem delu vodonosnika. Izmerjene vrednosti neto odvzema v letu 2012 so bile okoli 40 l/s, kar pomeni za 30 l/s manjše v primerjavi z letom 1996 (Goldbrunner et al., 2007, p. 9/78).



Slika 10. Numerični 2D model toka podzemne vode (DETAILMODELL 1998) (Bundesministeriums für Land- und Forstwirtschaft des Landes Oberösterreich und des Bayer. Landesamtes für Wasserwirtschaft, 1999)

Zaradi naraščajoče potrebe po rabi termalnih voda iz malmskega vodonosnika je prišlo do potrebe, da se razvije osnovna načela in postopke za zaščito zalog termalnih voda in ohranitev, kolikor je to mogoče, naravnih hidroloških in geotermalnih pogojev v smislu skupnega trajnostnega upravljanja z vodami.

Kompleksnost problema, ki je bil poudarjen na mednarodni delavnici v Münchnu, je privedla do potrebe za nadaljnje analize, osnovane na numeričnem, 3-dimenzionalnem, termalnem in hidravličnem modelu, ki obravnava geotermalni dublet. Tako je leta 2005 Bavarski urad za varstvo okolja v sodelovanju z Avstrijskim zveznim ministrstvom za kmetijstvo in gozdarstvo, okolje in vode ter odgovornimi organi v Zgornji Avstriji začel projekt: *“Grundsatzuntersuchungen zu thermischen Auswirkungen von Thermalwassernutzungen im zentralen, grenznahen Bereich des niederbayrisch-oberösterreichischen Molassebeckens”* (akronim: **TAT** - Thermische Auswirkungen von Thermalwassernutzungen - Thermal consequences of thermal water utilizations).

V okviru tega projekta je bila vzpostavljena znanstveno-raziskovalna skupina (“ARGE TAT”), ki so jo sestavljala podjetja Geoteam GmbH (AUT), “Hydroconsult GmbH” (GER) in Geowatt AG (SUI) z zunanjim svetovalnim odborom imenovanim “Thermalwasser” za tehnični in strokovni nadzor (dosežen v okviru študije Interreg IIIA, sofinanciran iz strani Evropske unije).

Zaključno poročilo o rezultatih in 3D modelu je bilo izdelano in oddano v letu 2007 (Goldbrunner et al., 2007). Glavni cilj projekta je bil izboljšati razumevanje osnovnih

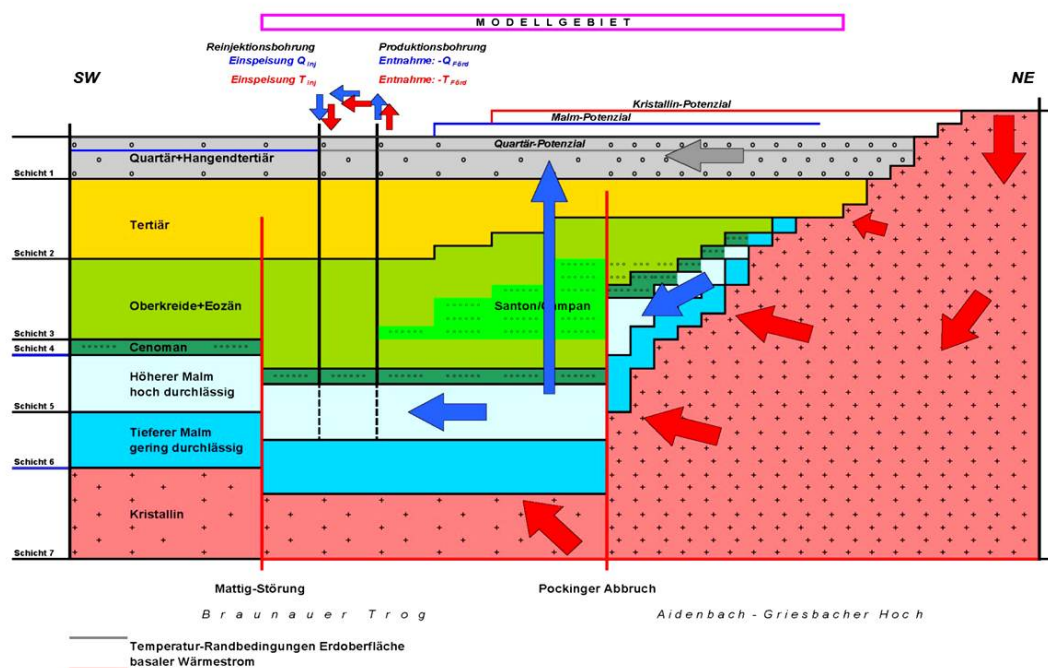
termalno-hidravličnih odnosov in zagotoviti oporne točke za nadaljnji razvoj strategij upravljanja, vključno z oceno količine razpoložljive toplote in stopnjo regeneracije za različne količine odvzete toplote iz rezervoarja. Predhodni hidrogeološki model (DETAILMODELL 1998) je bil posodobljen z najnovejšimi znanstvenimi spoznanji na tem območju. Tako je bilo omogočeno kartiranje površinskih struktur, prostorske razporeditve in razčlenitev naslednjih treh značilnih stratigrafskih plasti:

- Zgornja meja metamorfne podlage
- Zgornja meja malmskih formacij
- Zgornja meja eocenskih formacij

(EXPERTENGRUPPE „THERMALWASSER“, 2008, p.10/30)

Pripravljene strukturne karte in dodatni geološki in hidrokemijski podatki so dali informacije o debelini najpomembnejših hidrostratigrafskih enot nad metamorfno podlago, ki predstavljajo plasti 3D modela in so navedene spodaj:

- Metamorfna podlaga: Ob predpostavki, da ni toka vode v globinah večjih od 5.000 m pod morsko gladino. Ta nivo služi kot spodnja meja modela.
- Spodnjejurske plasti: Plast je razdeljena glede na značilnosti kamnin in njihove hidravlične lastnosti na dva osnovna faciesa:
 1. Spodnji malm (manj zakrasel, bogat z laporjem, plastnati apnenci, debeline vsaj 50 m, nizka prepustnost)
 2. Zgornji malm (zakraselo zaporedje apnencev v grebenskem ali masivnem faciesu, debeline okoli 200 m, visoko prepustni) → **glavni termalni vodonosnik**
- Kredne (cenomanijske) plasti: Njihova debelina je ocenjena na 20-30 m, dobro prepustne in hidravlično povezane z Zgornjim malmskim vodonosnikom).
- Zgornjekredne/Eocenske plasti: Meja med krednimi in terciarnimi plastmi ni vidna v seizmičnih profilih. Meljnato-glinasti sediment v eocenskih plasteh imajo nizko prepustnost. Vendar pa so zaradi majhne debeline (50 m) vključeni v hidrološki model z več sto metrov debelimi zgornjekrednimi plastmi. Santonijskem/Kampanijski peski niso obravnavani kot ločena hidrostratigrafska enota, vendar so v hidrološkem modelu obravnavani kot značilna plast z boljšo prepustnostjo.
- Terciarne plasti: Do 30 m pod površjem, nizkoprepustne
- Kvartarne plasti: Zgornja meja modela



Slika 11. Konceptualen 2D model toka podzemne vode (DETAILMODELL 1998), ki prikazuje dotok z rdečimi puščicami in odvzem z modrimi (Bundesministeriums für Land- und Forstwirtschaft des Landes Oberösterreich und des Bayer. Landesamtes für Wasserwirtschaft, 1999)

Za zmanjšanje potrebnega časa procesiranja je bilo termalno-hidravlično modeliranje razdeljeno v delovne sklope, katerih namen je bil vzpostaviti **3D regionalni model** kot tudi **3D lokalni model**.

3D regionalen model je osnovan na DETAILMODELL 1998 in je vertikalno razdeljen na zgoraj omenjene enote (z nadaljnjo razčlenitvijo na spodnji in zgornji malm). S pomočjo tega modela je bil določen vpliv različnih hidravličnih in termalnih lastnosti kamnin. Model je bil kalibriran na 3 različne načine (EXPERTENGRUPPE „THERMALWASSER“, 2008, p.18/30):

1. Stacionarna hidravlična kalibracija: hidravlični potencial z različnimi hidravličnimi prepustnostmi
2. Nestacionarna hidravlična kalibracija: hidravlični potencial kot funkcija časovno odvisnih robnih pogojev (predstavljen kot odvzem in reinjekcija)
3. Stacionarna termalna kalibracija: stacionarno temperaturno polje z različnimi toplotnimi prevodnostmi kamnin in različnimi hidravličnimi prepustnostmi vodonosnika

Kljub temu, da je regionalni model ponudil dober približek izračunom v DETAILMODELL 1998, je stacionarni model kratkega časovnega obdobja jasno pokazal, da hidravlične lastnosti vodonosnika zaradi intenzivne rabe termalnih voda niso več stacionarne. Zaradi tega je bila potrebna časovno odvisna simulacija, ki bi izboljšala izračune

hidravličnih prepustnosti. Vpliv temperature na hidravlično prepustnost je bil ocenjen v dodatni študiji občutljivosti.

Termalna kalibracija temelji na izmerjenih temperaturnih podatkih iz zgornjemalmskega vodonosnika, ocenjeni temperaturi na površju (okoli 10 °C) in različnih vrednostih toplotne prevodnosti na spodnji meji modela. Vpliv advekcijskih termalnih procesov na temperaturni režim je bil ocenjen z dodatno študijo občutljivosti, pri kateri so bile uporabljene različne vrednosti hidravlične prepustnosti.

3D lokalni model obsega reprezentativni presek znotraj regionalnega modela, s pomočjo katerega so bili simulirani različni scenariji rabe (geotermalne kot tudi zdraviliške) malmskega vodonosnika. Z namenom pridobitve dodatnih informacij v zvezi z vplivom lociranja vrtin in razdalje med vrtinami (dubleti kot tudi drugi tipi rabe) na tlačne in temperaturne lastnosti vodonosnika je bilo raziskanih 39 virtualnih študij primerov.

V okviru lokalnega modela so bili pregledani sledeči dejavniki:

- Pretok (količina odvzema in reinjekcije na časovno enoto)
- Temperatura reinjektiranega fluida
- Metoda obratovanja (letno ali sezonsko)
- Razdalja med proizvodno in reinjekcijsko vrtino
- Lega prelomov glede na proizvodno in reinjekcijsko vrtino
- Reinjekcija gorvodno od proizvodne vrtine

Implementacija dodatne študije občutljivosti je prinesla dodatne informacije o vplivih sprememb t.i. z rezervoarjem povezanih sistemskih dejavnikov (toplotna prevodnost, poroznost in hidravlična prepustnost osnove in prelomov) na tlačno in temperaturno stanje.

Preračunani vplivi različnih metod obratovanja na tlačno in temperaturno stanje v vrtinah ter razmejitve depresijskih lijakov so bili kartirani za vsako študijo primera in so vključeni v zaključno poročilo (EXPERTENGRUPPE „THERMALWASSER“, 2008, p.21/30).

Rezultati in zaključki projekta TAT: (EXPERTENGRUPPE „THERMALWASSER“, 2008, p.26/30)

- Potencialna ocena učinka odvzema in temperature reinjekcije na tlačno in temperaturno stanje na različnih lokacijah znotraj projektnega območja.
- Manjši vpliv temperature reinjekcije na širjenje temperaturne fronte (ohladitev rezervoarja) kot je bilo pričakovano.
- Proizvodnost termalnih vrtin v smislu dubletnih sistemov je bolj občutljiva od količine razpoložljive termalne vode kot od temperature odvzete vode iz ekonomskega stališča.

- V skladu z izračuni je možno razpoložljivo količino toplote na mestu izkoriščati v geotermalne namene za dolgo časovno obdobje.
- Odvzeta energija med življenjsko dobo dubletnega sistema presega naravno obnovljivo količino energije (brez upoštevanja potrebnega časa za celotno obnovo z kondukcijskim in advekcijskim toplotnim prenosom).
- Dubleti lahko obratujejo desetletja brez večjih vplivov na lokalno tlačno in temperaturno stanje. Tlačne spremembe so v splošnem bolj prostorsko razširjene kot temperaturne.
- Velikosti številnih z rezervoarjem povezanih sistemskih faktorjev, ki vplivajo na hidravlično in toplotno stanje, je bilo mogoče le oceniti.

Obstoječi model ne more zagotavljati zanesljivih informacij o:

Oceni življenjske dobe posameznih dubletov z upoštevanjem medsebojnih vplivov sosednjih lokacij rabe termalne vode.

Pridobljeni rezultati in ugotovitve v zvezi z vplivom različnih obratovalnih sistemov na temperaturne in tlačne pogoje ni mogoče prenesti na celoten Molasni bazen ali na druge rezervoarske sisteme v Avstriji.

Zaradi licenčnih razlogov je trenutno razpoložljiv 3D geotermalni model dovoljeno uporabljati le Uradu bavarske deželne vlade za vodno gospodarstvo v Münchnu, Zveznem ministrstvu za kmetijstvo, gozdarstvo, okolje in vodno gospodarstvo na Dunaju, vladi Zgornje Avstrije v Linzu in Inštitutu za hidravliko, hidrologijo in vodno gospodarstvo na Tehniški Univerzi Dunaj.

Še vedno obstaja potreba za izboljšanje modela, ker nekatere uporabe niso implementirane ustrezno in tako prikazujejo drugačne hidravlične povezave v realnosti kot v izračunih (osebna nota M. Samek, Lebensministerium, Januar 2012). Nadaljnja implementacija hidroloških in kvalitativnih podatkov v model, pridobljenih med inštalacijo novih sistemov za izkoriščanje rezervoarja, bo pripomogla k posodobitvi le-tega.

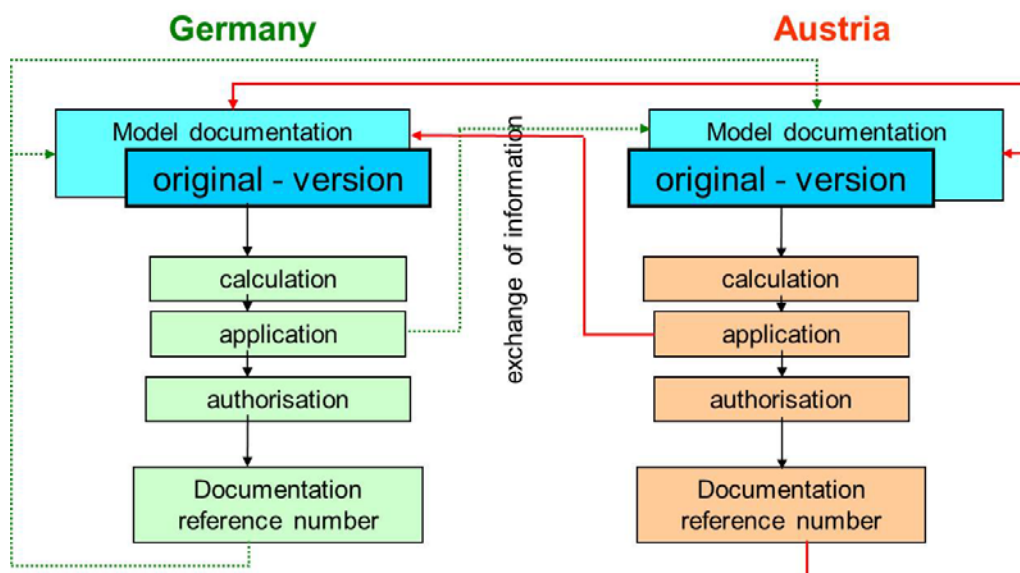
Zaradi velikosti raziskovanega območja in zelo spreminjajoče gostote podatkov, model ne more zagotoviti zadovoljive napovedi učinkov izkoriščanja za celoten rezervoar. Porast rabe termalnih voda je povzročil termalno-hidravlične probleme. Z namenom razširjanja znanja v zvezi z ravnanjem in implementacijo geotermalnih sistemov ter za nadaljnji razvoj modela vodonosnika je bila v Münchnu v letu 2012 izvedena delavnica za trajnostno rabo rezervoarja, poimenovana: *“Grundsatzfragen zur nachhaltigen Nutzung der Geothermie im Malmkarst des niederbayrisch-oberösterreichischen Molassebeckens unter wasserwirtschaftlichen Gesichtspunkten”*.

V omenjeni delavnici so bila obravnavana naslednja ključna znanstvena vprašanja:

- Raziskave učinkov ohlajanja vode zaradi reinjekcije na stanje vodonosnika (tlak, hidravlična prepustnost in koeficient uskladiščenja, kvaliteta vode in vsebnost plinov)
- Presoja vplivov ohlajanja vode v rezervoarju zaradi reinjekcije ohlajenih voda na regionalni ravni (prostorsko in časovno kartiranje temperaturnih front).
- Študije občutljivosti različne temperature reinjektiranih voda na temperaturni režim v rezervoarju
- Študije občutljivosti vpliva različnih geotermalnih shem uporabe (npr. samo produkcijska vrtina, geotermalni dublet) na različnih lokacijah znotraj projektnega območja

Koncept upravljanja z vodami

Na območju spodnjebavarskega-zgornjeavstrijskega molasnega bazena se termalno vodo odvzema v zdraviliške in energetske namene. Cilj je regulirati rabo termalne vode iz rezervoarja v skladu z enotnimi kriteriji in uporabo. Najpomembnejši cilj politike upravljanja z vodami je celovita zaščita zalog tako kvantitativno kot kvalitativno kot tudi ohranjanje naravnega tlačnega stanja. Strategije upravljanja izdelane v obdobju razvoja 3D termalnega in hidravličnega modela temeljijo na vzajemni izmenjavi relevantnih podatkov. Zaradi različnih predpisov in upravnih struktur vpletenih držav je bilo potrebno izdelati enotne smernice, ki regulirajo izvajanje monitoringa in poročanje organom. Za zagotovitev nadaljnje trajnostne rabe je ključnega pomena aplikacija, vzdrževanje in nadaljnji razvoj modela podzemne vode (Samek, 2011).



Slika 12. Diagram poteka uporabe modela (Samek, 2011)

Trajnostna raba malmskega vodonosnika (Goldbrunner et al., 2007, p.6/78):

- mora temeljiti na sposobnostih naravnega obnavljanja podzemne vode (količina dotoka)
- ne sme privedi do večjega znižanja tlakov in temperature
- mora ohranяти kemijsko sestavo uporabljenih termalnih voda s preprečevanjem dotoka visoko mineraliziranih vode zaradi znižanja tlaka v rezervoarju.

Trenuten koncept monitoringa

Zdravilišča in geotermalni obrati, ki izkoriščajo malmski rezervoar, morajo izpolnjevati evidenčne programe, ki so jih sestavili pristojni organi obeh vpletenih držav.

Evidenčni programi združujejo pridobivanje, shranjevanje in analiziranje relevantnih obratovalnih podatkov za vsako rabo. Vrsto in obseg zahtevanega programa regulirajo pristojni organi za izdajo vodnih pravic. Na Bavarskem je za to pristojen rudarski organ, medtem ko v Avstriji vodne pravice izdaja služba deželne uprave Zgornje Avstrije.

Uradni postopki za pridobitev vodne pravice se razlikujejo zaradi različnih zakonodaj v vpletenih državah, vendar pa postopki v okviru permanentne Komisije za vode (v skladu z Regensburskim sporazumom) potekajo koordinirano.

Evidenčni program nalaga, da uporabniki **predstavljajo merjene podatke v obliki letnih poročil** pristojnim organom. V tem trenutku še ni standardiziranih obrazcev za tovrstno poročanje. Kljub temu morajo vključevati grafične obdelave podatkov in preglednice. Od leta 2005 naprej, pristojni organi vsakih 5 let objavljajo poročila, ki temeljijo na letnih poročanjih vseh uporabnikov na tem območju. V prihodnje je predvidena javna evidenca realizacije obveznega programa monitoringa za uporabnike.

Pri poročanju so zahtevani podatki o vodonosniku in vrtini (kot so tlaki, temperature in prepustnost) kot tudi podatki obratovanja (npr. obseg obrata za segrevanje, obratovalne ure). Ti podatki monitoringa služijo za preverbo dodeljenih količin odvzema (dovoljeni odvzemi) in predstavljajo dokumentacijo o postopkih obratovanja.

Postopek za izdajo dovoljenj za nove uporabnike

Če nov uporabnik zaprosi za vodno pravico v zvezi z proizvodnjo in/ali reinjekcijo termalnih voda v spodnjebavarskem-zgornjeavstrijskem molasnem bazenu, sporazum določa, da je druga stranka (Bavarska v primeru avstrijske vloge) obveščena nemudoma. Novi numerični izračuni, ki temeljijo na numeričnem 3D modelu in katerih cilj je nadgradnja obstoječega tokovnega modela termalne vode, morajo biti izvedeni v sporazumi z obema vpletenima državama in osnovana na enakih začetnih podatkih in enotnih postopkih.

Z uporabo numeričnega modeliranja je potrebno dokazati, da odvzemi in reinjekcija obstoječih uporabnikov, ki izhajajo iz dovoljenj, nimajo negativnega vpliva na temperaturni in tlačni režim v malmskem rezervoarju. Ti izračuni zahtevajo uporabo 3D

termalnega in toplotnega modela z stacionarnimi robnimi pogoji (Goldbrunner et al., 2007, p.17/78).

Zato morajo simulacije zagotoviti naslednje karte potencialov podzemnih voda (Goldbrunner et al., 2007, p.21f/78):

- dodeljene letne odvzeme in količine reinjekcije,
- dodeljene in predložene letne odvzeme in količine reinjekcije,
- bilančne karte odvzetih in reinjektiranih količin vode (dodeljene kot tudi predložene),
- dejanske količine odvzete in reinjektirane vode,
- dejanske in dodeljene podatke o odvzemih in reinjekciji za prejšnje leto,
- bilančne karte dejanskih in dodeljenih podatkov o odvzemih in reinjekciji za prejšnje leto.

V skladu z Goldbrunner et al. (2007, p. 46-66) je potrebno poročati o naslednjih splošnih zahtevah za geotermalno rabo:

- Izdelavi raziskovalnih vrtin,
- Izvedbi hidravličnih testov,
- Obratovanju objektov za rabo termalne vode v namene pridobivanja toplote,
- Obratovanju objektov za rabo termalne vode v zdraviliške namene,
- Likvidaciji opuščenih vrtin.

Omenjene zahteve, ki so navedene v katalogih, morajo biti zagotovljene v obeh državah na enoten način. Vsebujejo spisek dokumentov, ki so potrebni za vlogo pristojnem organu za izdajo dovoljenj, in katerih namen je zagotoviti trajnostno rabo termalnih voda z uporabo najsodobnejše tehnologije. Raziskovalna dokumentacija mora vsebovati med drugim (Goldbrunner et al., 2007, p. 31-44):

- Tehnična poročila: lokacija, geologija, hidrogeologija, uporabljena metoda vrtanja, vrste izvedenih geofizikalnih poizkusov, vrste hidravličnih poizkusov in monitoring med izvajanjem teh poizkusov, količina odvzema in reinjekcije, temperatura, tehnični opis inštalacij in obratovalni podatki
- Načrti: planirane raziskovalne vrtine, hidravličnih poizkusi in obratovalni sistem za rabo termalne vode (karta lokacije, geološki prerezi, zaključene vrtin),
- Numerični izračuni z modeli: za zagotovitev zahtevanih kart potencialov podzemne vode.

Potrebno je poudariti, da morajo dovoljenja za raziskave temeljiti na zgoraj opisanih numeričnih simulacijah rabe termalne vode za operativno dobo 50 let (EXPERTENGRUPPE „THERMALWASSER“, 2008, p.20/30). Po pridobitvi vodne pravice projekt preide v naslednjo fazo – izdelavo proizvodnih vrtin.

Vsako novo vrtanje zahteva specifično pridobivanje podatkov kot tudi intenziven program testiranja, katerih namen je tudi posodobitev podatkov za numerični model.

Naslednja preglednica podaja pregled vseh zahtevanih nalog med in po vrtanju:

Preglednica 1. Zahtevane meritve v raziskovalni (prospekcijski) fazi (Goldbrunner et al., 2007, p. 251/276)

<i>Naloga</i>	<i>Opis</i>
geološka interpretacija vrtalnega profila	V kombinaciji z vzorčenjem drobcev vrtanja in karotažo
parametri vrtanja	Dokumentiranje • napredka • vrste in količine izplake • izgub izplake • kemičnih in fizikalnih parametrov
Geofizikalne meritve	• meritve upornosti (2 penetracijske globine) • lastni potencial • premer (4-točkovni-caliper) • meritev naravne radioaktivnosti • meritve odklona vrtanja (odklon in usmerjenost) • temperatura karotaža in maksimalna temperatura • kompenziran nevtron • sonic • cement-bond log (v cevljenih vrtinah)
tlačne in temperaturne meritve	na določeni globini (zgornja meja malmskega rezervoarja)
pozicioniranje	
hidravlični poizkusi	• Črpalni poizkus izdatnosti vodnjaka • Kratkotrajen črpalni poizkus • Dolgotrajen črpalni poizkus • Dubletni sistem: črpalno-reinjekcijski poizkus
Hidrokemijske analize, izotopske analize	• Prva hidrokemijska analiza • Izotopska analiza • Vrednosti pH in elektroprevodnosti

Začetni hidravlični poizkusi odražajo pogoje pred produkcijo in je zato nujno, da se v tej fazi pridobi natančne podatke o pretoku, znižanju nivoja, tlaku in temperaturi. S tem se natančneje opredeli količino razpoložljive vode (brez upoštevanja planirane reinjekcije).

Rezultati teh preizkusov odločajo o naslednjih korakih projekta. Če se pokaže, da ima vodnjak zadostno izdatnost, se lahko prične z izdelavo reinjekcijske vrtine. Prav tako se na podlagi teh ugotovitev izdelata načrt za dokončanje vrtine in tehnične načrte za izdelavo trajnega sistema monitoringa.

Poizkusi na vrtini morajo biti izvedeni na način, ki omogoča hidravlično oceno, ki zahteva konstanten pretok, točne začetne količine, popis tlakov, vključno z globokim vrtnjem in poročili o preizkusih. Med trajanjem faze odvzema je potrebno spremljati temperaturne in hidrokemijske parametre, elektroprevodnost in pH vrednosti.

Hidravlična analiza mora vsebovati:

- surove podatke v zvezi s črpalno fazo in fazo porasta tlaka v obliki preglednic
- oceno prepustnosti in koeficienta uskladiščenja na podlagi pridobljenih podatkov.

Program monitoringa za uporabnike

Naslednje preglednice prikazujejo zvezne in periodične hidrološke meritve kot tudi zvezne in periodične kvalitativne meritve zahtevane v evidenčnem programu.

Preglednica 2. Zahtevane zvezne meritve med obratovanjem (Goldbrunner et al., 2007, p. 244-245/276)

Parameter	Interval	Natančnost
Pretok Q [l/s]	15 min	0.1 l/s
- o obratovalni tlak [bar] ali - o nivo vode med obratovanjem [m]	15 min	0.1 bar ali 0,1-1 m
Temperatura iztoka T [°C]	15 min	0,1 °C
Elektroprevodnost Lf [μS/cm]	15 min	1 μS/cm
Vodni števec (kumulativen odvzem vode)	Enkrat dnevno	1 m ³ , tedenski ročni kontrolni pregled

Preglednica 3. Zahtevane periodične meritve med obratovanjem (Goldbrunner et al., 2007, p. 245/276)

Parameter	Interval
- o Tlak zaprtja vrtine ali - o Statični nivo vode	Tlak zaprtja vrtine in temperaturni trend: vsak četrtek ob 16:00 se proizvodnja ustavi. Sledijo meritve tlakov in temperature v 15 minutnem intervalu s porastom 5 sekund med posamičnimi meritvami
Hidrokemijske analize	- o Osnovne meritve: vsakih 5 let - o Ponavljajoče meritve: letno

Program monitoringa, ki ga izvajajo pristojni organi

Kljub obveznemu monitoringu za uporabnike, obstajajo tudi nekatere opazovalne vrtine v vladni lasti (**državni monitoring**), ki služijo za opazovanje tlakov v malmskem vodonosniku (Goldbrunner et al., 2007, p. 250/276). Za ta namen so bile obstoječe

vrtnice prilagojene in opremljene za izvajanje monitoringa. Na Bavarskem so slednje del nacionalne mreže monitoringa za spremljanje nivoja podzemne vode. V skladu z Goldbrunner et al. (2007) so na Bavarskem za izvajanje monitoring opremljene naslednje vrtnice:

- Haimhausen II (od leta 1990, globina: 1,453m)
- Altdorf Tiefbrunnen (od leta 2002; globina: 796m)
- Bohrung Köfering (od leta 2005)

V Avstriji je samo ena opazovalna vrtnica, in sicer

- Reichersberg 2

Predlogi za razširitev mreže monitoring v Avstriji vsebujejo naslednje vrtnice (Goldbrunner et al., 2007):

- Raab Thermal 1
- Marginally used domestic wells located in the discharge area (Eferding basin)

Povzetek in zaključki

V sklopu več kot 10-letnega sodelovanja ekspertne skupine "Thermalwasser" je bilo pokazano, da je redna vzajemna izmenjava informacij in izkušenj ključnega pomena za uspešno upravljanje prekomernega telesa termalne vode. Le skupno upravljanje z vodami obeh vpletenih držav, ki temelji na bilateralnih dogovorih, lahko vodi do trajnostne rabe rezervoarja.

Da bi lahko zagotovili trajnostno rabo malmskega vodonosnika, morajo uporabniki izvajati monitoring in letno poročati merjene podatke pristojnim organom. Poročilo, ki ga vsakih 5 let pripravi pristojen organ, služi za ugotavljanje morebitnih trendov v rezervoarju in ocenjevanje realizacije zahtevanih evidenčnih programov.

Poleg obveznega monitoringa, ki ga izvajajo uporabniki, se monitoring izvaja na nekaj dodatnih opazovalnih vrtinah (z možnostjo razširitve monitoring mreže), ki ga izvajajo pristojni organi, in katerega namen je pridobiti neodvisne podatke o tlačnih in temperaturnih pogojih v rezervoarju.

Že med samim razvojem numeričnega 2D modela podzemne vode se je izkazala potreba po aplikaciji dubletnih sistemov, s pomočjo katerih bi ohranili (kolikor je mogoče) naravne temperaturne in tlačne pogoje v rezervoarju. Z implementacijo teh skupnih ukrepov je možno izboljšati hidrotermalno stanje vodonosnika, ki je bilo poslabšano zaradi prekomernega izkoriščanja.

Za izboljšanje 3D hidrotermalnega modela je potrebno konstantno nadgrajevanje z najnovejšimi podatki iz obeh držav. Model služi tudi kot ukrep za implementacijo novih

geotermalnih sistemov na tak način, da pri obratovalni dobi 50 let ne pride do negativnih učinkov na že obstoječe sisteme.

Zaradi nekaterih nasprotovanj zahtevanim ukrepom programa, ki so navedeni spodaj je strateški dokument o evidenčnih programih v tem trenutku v fazi revizije:

- Obvezne tedenske meritve zapornega tlaka, ki jih mora uporabnik opravljati vsak torek ob 16:15, zahtevajo od uporabnika velik napor zaradi ustavitve celotnega črpalnega cikla.
- **Naslednja kritika je usmerjena na kratek časoven interval meritev, ki vodi do ogromne količine podatkov in hkrati ovira njihovo vrednotenje. Iz hidrološkega stališča so bolj pomembni dolgoročni kot kratkoročni trendi. Zaradi tega uporabniki zahtevajo prilagoditev intervala meritev, ki bo primeren za spremljanje dolgoročnih trendov.**
- Zahtevane hidrokemijske analize je potrebno izvajati v skladu s standardnimi merili za preiskave, ne glede na različen kemizem vode in vsebnost plinov, ki zahtevajo prilagoditev lokalnim razmeram.

Pregled o prihodnjih izboljšavah koncepta upravljanja z vodami

Načrtovano izboljšanja ukrepov bo najverjetneje obsegalo integracijo predlogov, ki so bili izdelani v okviru projekta TAT in povezane ekspertne skupine "Thermalwasser" (osebna nota: M. Samek, Lebensministerium, Januar 2012) in temeljijo na izkušnjah, pridobljeni z oceno 5-letnih poročil. Predvsem bo potrebno za doseg primerljivosti podatkov uvesti nekatere enotne postopke v prihodnosti.

V nadaljevanju sledi pregled glavnih priporočil za prihodnje izboljšanje koncepta upravljanja s termalno vodo (Goldbrunner et al., 2007):

- Pri sporočanju podatkov v okviru letnih poročil bi bilo potrebno vključiti tudi opis metod pridobivanja podatkov (uporabljene merilne naprave, lokacije itd.)
- Z izvajanjem dodatnih hidroloških poizkusov tekom rabe termalne vode (t.i. operativni poizkusi) bi razširili poznavanje vplivov na vodonosnik. Predpogoji so določitev časovnega okvira, določitev stalnega pretoka in soglasje okoliških uporabnikov, saj se lahko s tem vpliva na njihovo proizvodnjo.
- Letna poročila bi morala vključevati besedilni del s procesiranjem zahtev s strani regulatornih organov, skupaj z opisom morebitnih sprememb in trenutnega režima črpanja, predstavitev podatkov in analizami.
- Uporabniki termalne vode za zdraviliške namene bi morali podati dodatne informacije o obiskih.
- Najpomembnejše obratovalne podatke bi bilo potrebno povzeti v tabeli.
- Izmerjeni hidrokemijski parametri bi morali biti predstavljeni grafično (letni hidrograf) in celovito.

5 Sklep

Meritve in študije kažejo, da je stanje v termalnih vodonosnikih Mursko-Zalskega in Krško-Brežiškega bazena negotovo, predvsem ker ni vzpostavljen monitoring. Že po enoletnem obdobju izvajanja in analizi monitoringa s sočasno, enotno metodologijo in ustreznim orodjem bo mogoče bolje opredeliti dejansko stanje in določiti kritično gladino podzemne vode.

Predlagamo, da se vzpostavi iskreno dolgoročno projektno sodelovanje med MKO kot podeljevalcem vodnih pravic, Agencijo RS za Okolje in Geološkim zavodom Slovenije kot javno-raziskovalno organizacijo kot skupno telo, ki bo posrednik med koncendentom in koncesionarji za reševanje hidrogeoloških in upravljavskih zadev po principi skupnega bavarsko-zg. avstrijskega modela. To telo bo pripravilo skupni predlog izvajanja enotnega monitoringa in geotermalnega modela, ki bo usklajen z uporabniki. Prav tako bo to strokovno telo spremljalo izvajanje vodnih pravic in pomagalo koncendentu in koncesionarjem s predlogi strokovnih rešitev za najbolj smotrno rabo termalnih vodonosnikov.

6 Literatura

BUNDESMINISTERIUMS FÜR LAND- UND FORSTWIRTSCHAFT DES LANDES OBERÖSTERREICH UND DES BAYER. LANDESAMTES FÜR WASSERWIRTSCHAFT, 1999, Thermalwasservorkommen im niederbayerisch-oberösterreichischen Molassebecken – Hydrogeologisches Modell und Thermalwasser-Strömungsmodell - Kurzbericht; Wien, November 1999

EXPERTENGRUPPE „TIEFENWASSER“ IM AUFTRAG DER STÄNDIGEN GEWÄSSERKOMMISSION NACH DEM „REGENSBURGER VERTRAG“, 2002, Grundsatzpapiere zur Thermalwassernutzung im niederbayerisch-oberösterreichischen Molassebecken, März 2002

EXPERTENGRUPPE „THERMALWASSER“ IM AUFTRAG DER STÄNDIGEN KOMMISSION NACH DEM „REGENSBURGER VERTRAG“, 2008, Thermalwasservorkommen im niederbayerisch-oberösterreichischen Molassebecken – Grundsatzuntersuchung zu thermischen Auswirkungen von Thermalwassernutzungen; Kurzbericht; Dezember 2008

GOLDBRUNNER, J. (ED.), 2007, TAT – Thermische Auswirkungen von Thermalwassernutzungen im oberösterreichisch-niederbayerischen Innviertel; Endbericht; ARGE „Thermische Auswirkungen von Thermalwassernutzungen“ (Bearbeitung: Univ.-Prof.Dr. J. Goldbrunner, Mag. M. Gold, Mag. H.P. Heiss, Mag. A.

Shirbaz [Geoteam], Dr. B. Huber [Hydroconsult], Univ.-Prof.Dr. T. Kohl, Dr. C. Baujard [Geowatt AG]; 25.6.2007

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

KRALJ, P., AND KRALJ, P., 2000, Overexploitation of geothermal wells in Murska Sobota, northeastern Slovenia, Proceedings (electronic), World Geothermal Congress: Kyushu-Tohoku, IGA, p. 837-842.

OEWAV-Regelwerk 215 "Nutzung und Schutz von Thermalwasservorkommen" [Guidelines for Utilization and Protection of thermal water in Austria].

PEZDIČ, J., 2003, Origin and migration of gases in the Pannonian sedimentary basin, Proceedings (printed), ICGG7, p. 47-49.

PRESTOR, J., NADOR, A., LAPANJE, A., 2012: Methodology for joint groundwater management. – project TRANENERGY. Geološki zavod Slovenije, Štátny geologický ústav Dionýza Štúra, Magyar Földtani és Geofizikai Intézet, Geologische Bundesanstalt, Ljubljana, Bratislava, Budimpešta, Dunaj.

RMAN, N., 2013, Analysis of the extraction of thermal water from low enthalpy geothermal systems in sedimentary basins: a case study of the Mura-Zala sedimentary basin: Ljubljana, University of Ljubljana.

SAMEK M. (ED.), 2011, Austrian – German Cooperation in managing a transboundary groundwater body, Power-Point Presentation at the 5th Hydrogeological Slovenian colloquium IAH, Ljubljana 2011.