

ZAKLJUČNO POROČILO
O REZULTATIH OPRAVLJENEGA RAZISKOVALNEGA DELA
NA PROJEKTU V OKVIRU CILJNEGA RAZISKOVALNEGA
PROGRAMA (CRP) »KONKURENČNOST SLOVENIJE 2006 – 2013«

I. Predstavitev osnovnih podatkov raziskovalnega projekta

1. Naziv težišča v okviru CRP:

Povezovanje ukrepov za doseganje trajnostnega razvoja

2. Šifra projekta:

V2-0379

3. Naslov projekta:

Sledenje tritija v okolici Nuklearne elektrarne Krško

3. Naslov projekta

3.1. Naslov projekta v slovenskem jeziku:

Sledenje tritija v okolici Nuklearne elektrarne Krško

3.2. Naslov projekta v angleškem jeziku:

Tritium tracking in the environment of Nuclear Power Plant Krško

4. Ključne besede projekta

4.1. Ključne besede projekta v slovenskem jeziku:

Tritij, H-3, hidrogeologija, dinamika vod, vodonosniki, podzemne vode, tekočinsko scintilacijska spektrometrija, LSC, spektrometrija beta, gama, ranljivost vod, datiranje vod, Krško polje

4.2. Ključne besede projekta v angleškem jeziku:

Tritium, H-3, hydrogeology, water dynamics, aquifer, groundwater, liquid scintillation spectrometry (LSC), spectrometry beta, gama, groundwater vulnerability, groundwater dating, Krško polje

5. Naziv nosilne raziskovalne organizacije:

Institut "Jožef Stefan" (skupina Odsek za fiziko nizkih in srednjih energij)

5.1. Seznam sodelujočih raziskovalnih organizacij (RO):

Geološki zavod Slovenije (Skupina Podzemne vode)
Javno podjetje Vodovod - Kanalizacija d.o.o. (Skupina za vodovodne in kanalizacijske sisteme)

6. Sofinancer/sofinancerji:

Javna agencija za raziskovalno dejavnost Republike Slovenije
Ministrstvo za okolje in prostor

7. Šifra ter ime in priimek vodje projekta:

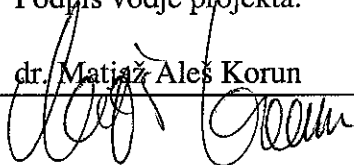
2586

Matjaž Aleš Korun

Datum: 15. 10. 2008

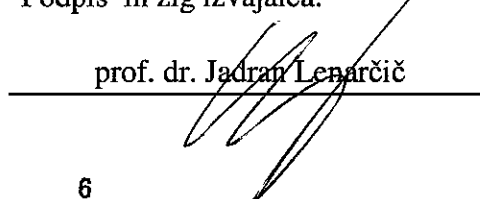
Podpis vodje projekta:

dr. Matjaž Aleš Korun



Podpis in žig izvajalca:

prof. dr. Jadran Lenarčič



Institut "Jožef Stefan"
Ljubljana, Slovenija

6

II. Vsebinska struktura zaključnega poročila o rezultatih raziskovalnega projekta v okviru CRP

1. Cilji projekta:

1.1. Ali so bili cilji projekta doseženi?

- a) v celoti
 b) delno
 c) ne

Če b) in c), je potrebna utemeljitev.

1.2. Ali so se cilji projekta med raziskavo spremenili?

- a) da
 b) ne

Če so se, je potrebna utemeljitev:

V prvotnem projektu so bile načrtovane meritve tritija v urinu, ki smo jih po dogovoru z dne 6. 11. 2006 s skrbnikom projekta dr. Stritarjem in njegovim sodelavcem dr. Križmanom na željo sofinancerja nadomestili z obsežnim dinamičnim vzorčevanjem Save v letu 2008, s katerim smo sledili izpustom tritija iz NEK.

2. Vsebinsko poročilo o realizaciji predloženega programa dela¹:

Program dela z raziskovalno hipotezo

Pri načrtovanju in realizaciji projekta smo sledili naslednjim ciljem:

1. ugotavljati morebiten vpliv jedrske elektrarne na podzemno vodo
2. ugotavljati možnost uporabe tritija in gama sevalcev za ugotavljanje izvora in dinamike podzemne vode
3. primerjati uporabo tritija in gama sevalcev z ostalimi uveljavljenimi geokemijskimi metodami (kemjska sestava vode, stabilni izotopi)
4. pridobiti podatke o koncentracijah tritija v Savi po izpustu iz NEK

Metodološko – teoretičen opis raziskovanja

Za uresničitev teh ciljev smo izbrali primerna vzorčna mesta za odvzem podzemne vode, hkrati pa smo vzorčili tudi površinske vode, ki predstavljajo napajalno komponento za podzemne vode. V vzorcih smo določili: tritij, sevalce gama, fizikalno-kemijske parametre (elektroprevodnost, kalcij, magnezij, natrij, kalij, klorid, sulfat, nitrat, hidrogenkarbonat) in stabilna izotopa (O-18, H-2). Rezultate smo analizirali in ovrednotili.

Rezultati projekta

1. Z analizami tritija smo ugotovili vpliv izpustov jedrske elektrarne na podzemno vodo v neposredni bližini reke Save. Gre za ozek vplivni pas ob reki.
2. Tritij se je izkazal za primerno sledilo opazovanja dinamike vode v vodonosniku.
3. Sevalci gama so uporabni kot podatek o litološki sestavi vodonosnika in kot pokazatelj onesnaženja v kmetijstvu.
4. K-40 se je izkazal za možen parameter sledenja vpliva prekomerne uporabe umetnih gnojil na kakovost podzemne vode

Podrobnejši opis dela, rezultatov in njihovo ovrednotenje so podani v Prilogi.

¹ Potrebno je napisati vsebinsko raziskovalno poročilo, kjer mora biti na kratko predstavljen program dela z raziskovalno hipotezo in metodološko-teoretičen opis raziskovanja pri njenem preverjanju ali zavračanju vključno s pridobljenimi rezultati projekta.

3. Izkoriščanje dobljenih rezultatov:

3.1. Kakšen je potencialni pomen² rezultatov vašega raziskovalnega projekta za:

- a) odkritje novih znanstvenih spoznanj;
- b) izpopolnitev oziroma razširitev metodološkega instrumentarija;
- c) razvoj svojega temeljnega raziskovanja;
- d) razvoj drugih temeljnih znanosti;
- e) razvoj novih tehnologij in drugih razvojnih raziskav.

3.2. Označite s katerimi družbeno-ekonomskimi cilji (po metodologiji OECD-ja) sovpadajo rezultati vašega raziskovalnega projekta:

- a) razvoj kmetijstva, gozdarstva in ribolova - Vključuje RR, ki je v osnovi namenjen razvoju in podpori teh dejavnosti;
- b) pospeševanje industrijskega razvoja - vključuje RR, ki v osnovi podpira razvoj industrije, vključno s proizvodnjo, gradbeništvom, prodajo na debelo in drobno, restavracijami in hoteli, bančništvom, zavarovalnicami in drugimi gospodarskimi dejavnostmi;
- c) proizvodnja in racionalna izraba energije - vključuje RR-dejavnosti, ki so v funkciji dobave, proizvodnje, hranjenja in distribucije vseh oblik energije. V to skupino je treba vključiti tudi RR vodnih virov in nuklearne energije;
- d) razvoj infrastrukture - Ta skupina vključuje dve podskupini:
 - transport in telekomunikacije - Vključen je RR, ki je usmerjen v izboljšavo in povečanje varnosti prometnih sistemov, vključno z varnostjo v prometu;
 - prostorsko planiranje mest in podeželja - Vključen je RR, ki se nanaša na skupno načrtovanje mest in podeželja, boljše pogoje bivanja in izboljšave v okolju;
- e) nadzor in skrb za okolje - Vključuje RR, ki je usmerjen v ohranjanje fizičnega okolja. Zajema onesnaževanje zraka, voda, zemlje in spodnjih slojev, onesnaženje zaradi hrupa, odlaganja trdnih odpadkov in sevanja. Razdeljen je v dve skupini:
- f) zdravstveno varstvo (z izjemo onesnaževanja) - Vključuje RR - programe, ki so usmerjeni v varstvo in izboljšanje človekovega zdravja;
- g) družbeni razvoj in storitve - Vključuje RR, ki se nanaša na družbene in kulturne probleme;
- h) splošni napredek znanja - Ta skupina zajema RR, ki prispeva k splošnemu napredku znanja in ga ne moremo pripisati določenim ciljem;
- i) obramba - Vključuje RR, ki se v osnovi izvaja v vojaške namene, ne glede na njegovo vsebino, ali na možnost posredne civilne uporabe. Vključuje tudi varstvo (obrambo) pred naravnimi nesrečami.

² Označite lahko več odgovorov.

3.3. Kateri so **neposredni rezultati** vašega raziskovalnega projekta glede na zgoraj označen potencialni pomen in razvojne cilje?

1. Pridobili smo okoli 1300 novih podatkov za površinske in podzemne vode Krškega polja, ki bodo pripomogli k novim znanstvenim spoznanjem o dinamiki vodonosnikov.
2. Za sledenje dinamike vod s tritijem smo pridobili novo opremo, postavili novo metodo in jo optimizirali.
3. Če naj bi uporabili sevalce gama kot sledilce, smo morali izpopolniti pripravo sušin in izpopolniti izparilnike.
4. S projektom smo pridobili veliko novih podatkov in dragocene izkušnje pri povezavi radiofizike in hidrologije.
5. Izpusti tritija iz NEK lahko vplivajo na bodočo strategijo jedrske energije pri nas. Podatki tega projekta bodo pripomogli k boljšemu poznavanju razmer.

3.4. Kakšni so lahko **dolgoročni rezultati** vašega raziskovalnega projekta glede na zgoraj označen potencialni pomen in razvojne cilje?

1. Razvite metode, metodologije in oprema bodo uporabni tudi za nadaljne raziskave.
2. Pridobljeni podatki bodo vnešeni v bazo in jih bomo še večkrat obdelovali v kombinaciji še z drugimi podatki in tako prišli do novih spoznanj.
3. Natačni in številni izmerjeni podatki za reko Savo ob sledenju tritija bodo omogočili natančno določitev mešalnega in razrečitvenega faktorja in izboljšanje modela, na katerem sloni tudi dovoljena meja za izpuste, kar lahko vpliva na strategijo glede jedrske energije v Sloveniji.
4. Izboljšave okolja in pogoje bivanja je mogoče izpeljati, če najprej poznamo dejavnike, ki na okolje vplivajo.
5. Projekt sam po sebi pomeni nadzor in skrb za okolje. Pridobljene podatke bomo iz kakšne druge perspektive še večkrat proučevali, tako mi kot drugi kolegi.

3.5. Kje obstaja verjetnost, da bodo vaša znanstvena spoznanja deležna zaznavnega odziva?

- a) v domačih znanstvenih krogih;
- b) v mednarodnih znanstvenih krogih;
- c) pri domačih uporabnikih;
- d) pri mednarodnih uporabnikih.

3.6. Kdo (poleg sofinancerjev) že izraža interes po vaših spoznanjih oziroma rezultatih?

Jedrska elektrarna Krško
Geološki zavod Slovenije
strokovna javnost
načrtovalci kmetijske dejavnosti na Krškem polju

3.7. Število diplomantov, magistrorov in doktorjev, ki so zaključili študij z vključenostjo v raziskovalni projekt?

4. Sodelovanje z tujimi partnerji:

4.1. Navedite število in obliko formalnega raziskovalnega sodelovanja s tujimi raziskovalnimi inštitucijami.

4.2. Kakšni so rezultati tovrstnega sodelovanja?

5. Bibliografski rezultati³ :

Za vodjo projekta in ostale raziskovalce v projektni skupini priložite bibliografske izpise za obdobje zadnjih treh let iz COBISS-a) oz. za medicinske vede iz Inštituta za biomedicinsko informatiko. Na bibliografskih izpisih označite tista dela, ki so nastala v okviru pričujočega projekta.

³ Bibliografijo raziskovalcev si lahko natisnete sami iz spletne strani:<http://www.izum.si/>

6. Druge reference⁴ vodje projekta in ostalih raziskovalcev, ki izhajajo iz raziskovalnega projekta:

Dr. Matjaž Korun, član raziskovalne skupine, je bil do leta 2008 podpredsednik Mednarodnega komiteja za metrologijo radionuklidov.

Jasmina Kožar Logar, Denis Glavič-Cindro: Establishment of low-level tritium laboratory, poslano v objavo v revijo Radiocarbon

Opis – abstract: Establishing a new laboratory is not an easy job. We started with a decision that we need a laboratory for liquid scintillation spectrometry where we would be able to introduce, improve and develop sampling and sample preparation methods, perform other analytical procedures necessary for determination of beta and alpha emitters in environmental samples and measure activity concentrations. The work in this laboratory should be organized in the way that the requirements of a quality system according to EN ISO/IEC 17025 standard are fulfilled. The first decision was that the determination of tritium is the method to start with. After installing the equipment the sequence of steps (sampling, maintenance of the samples, first distillation, electrolytic enrichment, second distillation, preparation of measurands and control samples, LSC counting, calculation and evaluation of final results) necessary to carry out the analytical procedure were carefully analysed. The main sources of uncertainties were identified and the plans for calibrations and validations were prepared, together with control charts. Several experiments were designed in order to check the reliability and to optimize the procedure. The analytical process was checked on several international intercomparisons and proficiency tests. The results and also many additional questions (and answers) that came out meanwhile are presented in the article.

Ustanovitev in vodenje Laboratorija za tekočinskoscintilacijsko spektrometrijo, akreditacija LP-022

Laboratorij je bil ustanovljen tik pred začetkom raziskovalnega projekta. V času trajanja projekta in za potrebe tega projekta sta bili uvedeni, validirani in optimizirani dve metodi za določevanje tritija v vzorcih vode. Laboratorij ima uveden sistem kakovosti in je aprila 2008 uspešno preстал obisk mednarodnega ocenjevalca s strani Slovenske akreditacije. V letu 2008 je laboratorij pridobil še en pomemben kos opreme, in sicer drugi tekočinskoscintilacijski števec Quantulus 1220.

Odsek za fiziko nizkih in srednjih energij (raziskovalna skupina 106 – 09) je z ustanovitvijo Laboratorija za tekočinskoscintilacijsko spektrometrijo in uvedbo ter akreditacijo dveh metod za določevanje tritija v vzorcih vode razširil svojo dejavnost in trgu ponudil storitev, ki je tako v Sloveniji prvič dostopna in uporabna za študij in karakterizacijo vod. To pa so pomembni vhodni podatki pri načrtovanju trajnostnega razvoja in varovanja okolja.

Organizacija delavnice in predavanja dr. Rozanskega in dr. Kuca za parterje na projektu, sofinancerje in strokovno javnost.

Dr. Rozanskega, priznanega profesorja s Krakovske Univerze smo gostili v februarju

⁴ Navedite tudi druge raziskovalne rezultate iz obdobja financiranja vašega projekta, ki niso zajeti v bibliografske izpise, zlasti pa tiste, ki se nanašajo na prenos znanja in tehnologije. Navedite tudi podatke o vseh javnih in drugih predstavitev projekta in njegovih rezultatov vključno s predstavitvami, ki so bile organizirane izključno za naročnika/naročnike projekta.

2007, dr. Kuca pa aprila 2007. Oba sta pri nas ostala dober teden. Izvedli smo delavnico o kalibraciji LSC števecov, optimizaciji elektrolize in izvedli več okroglih miz o datiranju vod, pasteh obravnavanih metod in se seznanili s konkretnimi primeri s celega sveta.

V pripravi je še nekaj publikacij:

- a. Karakterizacija parametrov, validacija in optimizacija metode za določitev tritija z elektrolitsko obogatitvijo
- b. Kombinirana metoda: kaj nam povedo korelacije med sevalci gama in tritijem
- c. Predstavitev rezultatov za površinske in podzemne vode Krškega polja
- d. Predstavitev rezultatov sledenja tritija v Savi in najbližjih vrtinah
- e. Prikaz korelacij med različnimi parametri in kaj pomenijo.

Večina publikacij bo poslana v objavo do konca leta oziroma v roku pol leta. Do zamude je prišlo zaradi tehničnih težav oziroma preureditve merilnice Laboratorija za LSC in nabave nove opreme, zaradi česar smo morali ustaviti prvi LSC števec. Meritve so v zadnjih mesecih nekoliko zastale in zato s publikacijami še nismo zaključili.

PREDSTAVITEV IN INTERPRETACIJA

MERSKIH REZULTATOV

1. CILJ PROJEKTA

Krško polje s svojimi debelimi nanosi aluvialnih naplavin predstavlja pomemben vir pitne vode za lokalno skupnost. Podzemno vodo na tem območju ogrožajo tako kmetijska dejavnost kot tudi industrija. Na Krškem polju je postavljena tudi naša edina jedrska elektrarna Krško. V času raziskav za postavitev jedrske elektrarne in za aktivacijo vodnega vira za oskrbo s pitno vodo je bilo na Krškem polju skonstruirano večje število raziskovalnih in opazovalnih vrtin, ki dobro prostorsko prekrivajo celotno Krško polje. Dobro razvita opazovalna mreža piezometrov omogoča izvedbo raziskav vpliva delovanja jedrske elektrarne Krško na okolje (podzemno vodo). Hkrati s tem je bil cilj našega projekta tudi razvoj in uporaba novih metod za določanje dinamike podzemne vode.

Pri načrtovanju in realizaciji projekta smo sledili naslednjim ciljem:

- ugotavljati morebiten vpliv jedrske elektrarne na podzemno vodo
- ugotavljati možnost uporabe tritija in gama sevalcev za ugotavljanje izvora in dinamike podzemne vode
- primerjati uporabo tritija in gama sevalcev z ostalimi uveljavljenimi geokemijskimi metodami (kemjska sestava vode, stabilni izotopi)

Za uresničitev teh ciljev smo izbrali primerna vzorčna mesta za odvzem podzemne vode, hkrati pa smo vzorčili tudi površinske vode, ki predstavljajo napajalno komponento za podzemne vode.

2. GEOGRAFSKI OPIS

Krško Brežiško polje je skoraj 40 km² veliko polje v Krški kotlini JV delu Sloveniji. Po naravnogeografski regionalizaciji je obravnavano območje umeščeno v Panonski svet. Sava je v osrednjem delu območja, zahodno od izliva Krke v Savo pri Brežicah, nasula rodovitno Krško polje. Vodotoki so v tektonske udorine odložili več 10 m debele nanose prod. V kamninski sestavi območja zasledimo dve večji skupini kamnin, ob Savi so prisotni bazični apnenčev in dolomitni prod, pesek, konglomerati, morena in grušč, v zahodnem delu polja pa kislji prod, pesek in glina.

Območje se nahaja znotraj zmerno celinskega podnebja z celinskim padavinskim režimom z največ padavinami poleti in letno količino padavin od 1000 do 800 mm. Povprečne temperature najhladnejšega meseca so od 0 do -3°, najtoplejšega pa od 15 do 20°.

V rabi tal prevladujejo kmetijska zemljišča, od tega je večina obdelovalnih zemljišč in travnikov. Pozidane površine so prisotne ob robu polja, manjše pozidane površine tudi v osrednjem delu ravnine. Krško Brežiško polje je kljub majhnim naseljem gosto poseljeno. V kmetijstvu je pomembna živinoreja. V industriji občin Krško in Brežice so najpomembnejše panoge pridobivanje električne energije, tj. jedrske energije v Krškem, predelava kovin in strojna industrija, predelava lesa, proizvodnja tekstilnih izdelkov, proizvodnja živilskih izdelkov. Na Krško Brežiškem polju so prisotni obrati za pridobivanje nekovinskih mineralov, predvsem peska in prod za gradbeništvo. Pomembni gospodarski dejavnosti sta tudi trgovina in obrt, v kateri prevladujejo predelovalne dejavnosti, gradbeništvo, promet in storitve.

3. HIDROGEOLOŠKI OPIS

Obravnavano območje pripada vodnemu telesu podzemne vode Krška kotlina (VTPodV 1003) in se nahaja na območju aluvialnega prodnega zasipa reke Save. Vzhodni del Krške kotline je v glavnem zasut s savskim prodom in peskom. V zahodnem delu kotline prevladujejo glinaste do peščene plasti, medtem ko je prod znatno manj. V stratigrafskem smislu je značilno prevladovanje aluvialnih nanosov kvartarne starosti (90%) in v manjši meri nanosov terciarne starosti (10%). Po litološki sestavi močno prevladujejo (86%) debelozrnati terestrični sedimenti (pesek, prod, grušč), v preostalem deležu pa mešani in drobnozrnati terestrični sedimenti.

Glavni vodonosnik tvori peščeno-prodni zasipi rek Save, Krke in njenih pritokov. Aluvialni vodonosnik se uporablja za oskrbo s pitno vodo prebivalstva. Reka Sava predstavlja pomembno hidrodinamsko mejo v aluvialnem vodonosniku. Večinoma drenira vodonosnik, le na odseku med Krškim in ostrem zavoju proti jugu nad Skopicami tudi napaja vodonosnik. Dolvodno deluje reka Sava kot drenažna meja. Struga Save večinoma ne sega do podlage, tako da je podzemna voda v vodonosnih sistemih z ene in druge strani Save v hidravlični povezavi. Reka Krka drenira vodonosnik na širšem območju Krške vasi vse do sotočja s Savo. Gorvodno nima izrazitejše hidravlične vloge.

Kvartarni sedimenti so dobro prepustni, koeficient prepustnosti (K) se giblje v razponu reda velikosti med 10^{-3} m/s in 10^{-5} m/s, značilna vrednost pa je okrog $3 \cdot 10^{-3}$ m/s. Vodonosnik je odprtega tipa. Globina do podzemne vode v glavnem prodnem vodonosniku znaša od 5 do 8 m. Značilna omočena debelina kvartarnih sedimentov je 7 m.

4. METODOLOGIJA

4.1. Vzorčenje

Vzorčenje podzemne vode na Krškem polju smo v času projekta izpeljali štirikrat v dveh letih (dec 06, april 07, avg 07, jan 08). Podzemno vodo smo vzorčili iz enajstih piezometričnih vrtinah (Tabela 1). Dve vzorčni mesti sta bili na črpališčih, kjer je odvzem vode za oskrbo. Vzorca smo dva vodotoka rek (Sava in Krka), ki mestoma predstavljata vir napajanja vodonosnika.

Odvzem vzorcev v vrtinah smo izvedli s črpalkami GROUNDFOSS 3 in 4 cole. Pred odvzemom vzorca se je izčrpal približno trikratni volumen vrtnice. Na črpališčih smo odvzeli vzorce iz označenih vodnjakov pred mešanjem vode na pipi. Površinsko vodo smo vzorčili na bregu obeh rek.

Na vsakem vzorčnem mestu so bili odvzeti štirje vzorci vode za osnovne kemijske analize, analizo stabilnih izotopov O-18 ter H-2, gama sevalcev in H-3. Vsi vzorci so bili odvzeti v plastični embalaži naslednjih prostornin:

| | |
|------------------|---------|
| Kemijske analize | 1000 ml |
| O-18 in H-2 | 100 ml |
| H-3 | 1000 ml |
| Gama sevalci | 50 l |

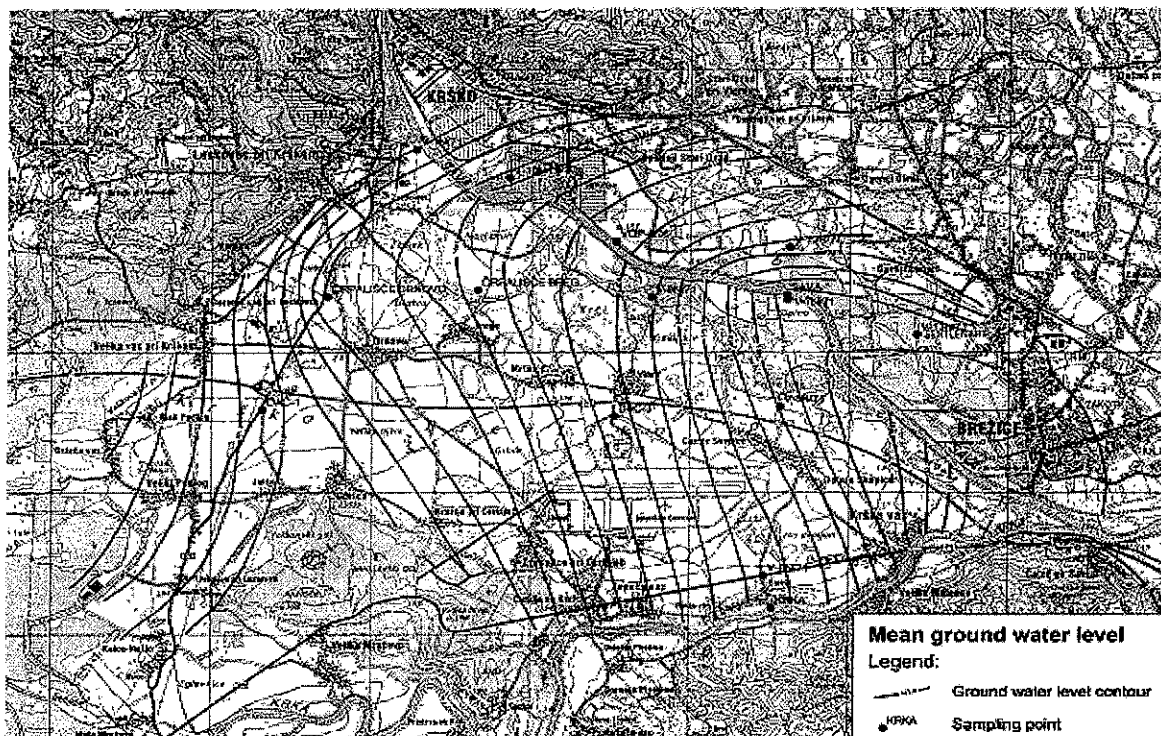
Tabela 1: Popis vzorčnih mest

| zap. št. | širše območje - kraj vzorčenja | | mesto vzorčenja | opis objekta | vrsta vzorca |
|----------|--------------------------------|------------------------------|-----------------|------------------|-----------------|
| 1 | Krško polje - levi breg Save | Vrbina - W od NEK | V-10N/71 | črpalna vrtina | podzemna voda |
| 2 | Krško polje - levi breg Save | Vrbina - W od G. Lenart-a | V-12N/71 | črpalna vrtina | podzemna voda |
| 3 | Krško polje - levi breg Save | Vrbina - W od Šentenart-a | V-13N/71 | črpalna vrtina | podzemna voda |
| 4 | Krško polje - levi breg Save | Vrbina - E od NEK | VOP-4(Vog-2p) | piezometer | podzemna voda |
| 5 | Krško polje - desni breg Save | Leskovec pri Krškem | V-1N/71 | črpalna vrtina | podzemna voda |
| 6 | Krško polje - desni breg Save | N od vasi Vihre - blizu Save | V-6N/71 | črpalna vrtina | podzemna voda |
| 7 | Krško polje - desni breg Save | Sipina - ob Savi | V-7N/71 | črpalna vrtina | podzemna voda |
| 8 | Krško polje - desni breg Save | N od vasi Skopice in AC | V-8N/71 | črpalna vrtina | podzemna voda |
| 9 | Krško polje - desni breg Save | N od Boršta - blizu Krke | V-9N/71 | črpalna vrtina | podzemna voda |
| 10 | Krško polje - desni breg Save | S od AC priključka Krško | DAC-1 | piezometer | podzemna voda |
| 11 | Krško polje - desni breg Save | S od vasi Vihre | DAC-3 | piezometer | podzemna voda |
| 12 | Krško polje - desni breg Save | N od vasi Brege | Č BREG | vodnjak - Kostak | podzemna voda |
| 13 | Krško polje - desni breg Save | N od vasi Drnovo | Č DRNOVO | vodnjak - Kostak | podzemna voda |
| 14 | Krško polje - desni breg Save | pri vrtini V-7N/71 | SAVA | vodotok - reka | površinska voda |
| 15 | Krško polje - desni breg Save | Boršt | KRKA | vodotok - reka | površinska voda |

4.2. Meritve in analitika

4.2.1. Nivoji podzemne vode

Ob vsakem vzorčenju so bili zmerjeni nivoji podzemne vode (Tabela 2). Slika gladin podzemne vode prikazuje srednji vodostaj (slika 1).



Slika 1: Srednji vodostaj podzemnih vod.

Tabela 2: Meritve nivojev podzemne vode.

| | vzorčno mesto | KOTA (m.n.m.) | KOORDINATE po Gauss-Krügerju | datum vzorčenja | 13.12.06 | 19.4.07 | 24.8.07 | 25.1.08 |
|-----------------|----------------------|---------------|------------------------------|-----------------|----------|---------|---------|---------|
| levi breg Save | V-10N/71 | 154.21 | x - 088476 y - 539722 | gpv (m) | 4.44 | 4.45 | 4.46 | 4.45 |
| | V-12N/71 | 149.67 | x - 087492 y - 543247 | gpv (m) | 5.16 | 4.4 | 5.42 | 4.51 |
| | V-13N/71 | 147.41 | x - 086252 y - 544845 | gpv (m) | 4.58 | 4.34 | 5.39 | 4.25 |
| | VOP-4/06 (VOG-2p/06) | 152.93 | x - 087577 y - 541073 | gpv (m) | 6.7 | 7.09 | 7.2 | 7 |
| desni breg Save | V-1N/71 | 157.94 | x - 088879 y - 538559 | gpv (m) | 7.58 | 7.88 | 7.91 | 7.93 |
| | V-6N/71 | 153.19 | x - 086787 y - 541520 | gpv (m) | 6.88 | 7.24 | 7.58 | 7.14 |
| | V-7N/71 | 150.28 | x - 086750 y - 543220 | gpv (m) | 6.59 | 7.08 | 7.16 | 6.98 |
| | V-8N/71 | 150.16 | x - 085230 y - 543131 | gpv (m) | 6.56 | 6.37 | 6.98 | 6.36 |
| | V-9N/71 | 151.68 | x - 082831 y - 542938 | gpv (m) | 6.61 | 6.33 | 6.69 | 6.4 |
| | DAC-1 | 156.8 | x - 085190 y - 536640 | gpv (m) | 7.81 | 9.35 | 8.22 | 7.42 |
| | DAC-3 | 155.35 | x - 085095 y - 541058 | gpv (m) | 9.4 | 9.06 | 9.76 | 9.21 |
| | Č BREG | - 153 | x - 086886 y - 539329 | gpv (m) | na pipi | na pipi | na pipi | na pipi |
| | Č DRNOVO | - 160 | x - 086797 y - 537438 | gpv (m) | na pipi | na pipi | na pipi | na pipi |
| površinski vodi | SAVA | - 150 | x - 086819 y - 543212 | pr. V-7N/71 | ▲ | ▲ | ▲ | ▲ |



4.2.2. Kemijske analize

Osnovne kemijske analize so bile opravljene v laboratoriju JP Vodovod - Kanalizacija d.o.o.

Uporabljene metode za preskušanje osnovnih fizikalno-kemijskih parametrov, razen določanja alkalitete, so akreditirane. Značilnosti in najpomembnejši parametri metod so prikazano v tabeli 3.

Tabela 3: Uporabljene metode fizikalno kemijskih parametrov

| Parameter | Metoda | Opis | Delovno območje | Merilna negotovost |
|-------------------|-------------------------|---|---------------------------|--|
| pH | SIST EN ISO 10523:1996 | Kombinirana steklena elektroda, Metrohm | 3-10 | 0,05 |
| Elektroprevodnost | SIST EN ISO 27888:1998 | Konduktometer, Metrohm | 100-800 μ S/cm | 5% |
| Natrij | SIST EN ISO 14911: 2000 | Ionski kromatograf MIC-3, Metrohm | 0,50 – 10,0 (200,0)* mg/l | 0,5-5 mg/l: 10% nad 5 mg/l: 5% |
| Kalij | SIST EN ISO 14911: 2000 | Ionski kromatograf MIC-3, Metrohm | 0,25 – 5,0 (50,0) mg/l | 0,25-2,5 mg/l: 10% nad 2,5 mg/l: 5% |
| Kalcij | SIST EN ISO 14911: 2000 | Ionski kromatograf MIC-3, Metrohm | 4,0 – 80,0 (400,0) mg/l | 4-40 mg/l: 10% nad 40 mg/l: 5% |
| Magnezij | SIST EN ISO 14911: 2000 | Ionski kromatograf MIC-3, Metrohm | 2,0 – 40,0 (200,0) mg/l | 2-20 mg/l: 10% nad 20 mg/l: 5% |
| Klorid | SIST EN ISO 10304: 1998 | Ionski kromatograf MIC-3, Metrohm | 0,75-15 mg/l (255) | 0,75-7,5 mg/l: 10% nad 7,5 mg/l: 5% |
| Sulfat | SIST EN ISO 10304: 1998 | Ionski kromatograf MIC-3, Metrohm | 0,5-30 mg/l (270) | 0,5-15 mg/l: 10% nad 15 mg/l: 5% |
| Nitrat | SIST EN ISO 10304: 1998 | Ionski kromatograf MIC-3, Metrohm | 0,5-10 mg/l (50) | 0,5-5 mg/l: 10% nad 5 mg/l: 5% |
| Hidrogenkarbonat | ASTM D 1067.mod | Titracija s HCl z metiloranžem kot indikatorjem | - | 2% |

* Številke v oklepajih označujejo zgornjo mejo delovnega območja z razredčevanjem.

4.2.3. Stabilni izotopi

Določitev vrednosti stabilnih izotopov O-18 in H-2 na vseh vzorcih so opravili v laboratoriju Joanneum Research Forschungsgesellschaft mbH, Institute of Water Resources Management, Hydrogeology and Geophysics. Vrednosti izotopske sestave $\delta^{18}\text{O}$ in $\delta^2\text{H}$ so podane glede na VSMOW standard (Vienna Standard Mean Ocean Water). Razmerje je predstavljeno z δ :

$$\delta_{\text{vzorec}} = \left(\frac{R_x}{R_{st}} - 1 \right) \cdot 1000\text{‰VSMOW} \quad (1)$$

R_x predstavlja razmerje izotopa ($\text{O}_{18}/\text{O}_{16}$) v vzorcu, R_{st} je razmerje v VSMOW standardu.

4.2.4. Tekočinskoscintilacijska spektrometrija za določitev tritija

Vrednosti H-3 in sevalcev gama v laboratoriju so bile določene v laboratoriju IJS.

Vsebnost tritija smo določevali po direktni metodi in po elektrolitski obogatitvi. Pri direktni metodi se vzorce destilira in če sta pH in prevodnost ustrezna, destilatu primešamo scintilatorski koktail in merjenec pomerimo v LSC števcu. Pri metodi z elektrolitsko obogatitvijo se vzorce destilira, preveri pH in prevodnost ter doda Na_2O_2 . Tako obdelan destilat se elektrolitsko obogati v sistemu s celicami s prostornino 500 mL, ponovno destilira in po dodatku scintilacijskega koktajla pomeri v tekočinskoscintilacijskem števcu. Za kalibracijo števca je bil uporabljen certificiran standard tritijeve vode Perkin Elmerja, za dodatno kontrolo rezultata meritve pa NIST-ov standard. Metoda je v postopku akreditacije. Parametri metode so prikazane v tabeli 4.

Tabela 4. Uporabljena metoda za določanje tritija – predlog Slovenski akreditaciji.

| Tip obsega: delno fleksibilni (možnost uvajanja manjših sprememb metode) / Type of scope: partly flexible (possibility of implementing minor modifications of the method) | | | | |
|--|---|--|--|--|
| Mesto izvajanja: v laboratoriju / Site: in the laboratory | | | | |
| Področja preskušanja glede na vrsto preskušanja: radiokemija, sevanje (alfa, beta, gama spektrometrija) / Testing fields with reference to the type of test: radiochemistry, radiation (alfa, beta, gamma spectrometry, radiation protection measurements) | | | | |
| Področja preskušanja glede na vrsto preskušanja: - / Testing fields with reference to the type of test item: - | | | | |
| Št. No. | Oznaka standarda ali nestandardne preskusne metode <i>Reference to standard or non-standard testing method</i> | Naslov standarda ali nestandardne preskusne metode in morebitne navezave na druge standarde ali metode <i>Title of standard or non-standard testing method and eventual relations to other standards or methods</i> | Območje preskušanja, Negotovost rezultata preskušanja (kjer je to pomembno) <i>Range of testing, Uncertainty of the result of testing (where relevant)</i> | Materiali; proizvodi <i>Materials; products</i> |
| 1. | LSC-DN-07, interna metoda <i>in-house method</i> | Tekočinskoscintilacijska spektrometrija za določitev tritija: - direktna metoda -po elektrolitski obogatitvi | <p>direktna metoda, vodni vzorci / <i>direct method, water samples</i> 1000 Bq/m³–5000 Bq/m³ negotovost / <i>uncertainty</i> ≥ 10 % ≥ 5000 Bq/m³ negotovost / <i>uncertainty</i> ≥ 3 %</p> <p>direktna metoda, vzorci urina / <i>direct method, urine samples</i> 7200 Bq/m³–50.000 Bq/m³ negotovost / <i>uncertainty</i> ≥ 10 % ≥ 50.000 Bq/m³ negotovost / <i>uncertainty</i> ≥ 3 %</p> <p>metoda z elektrolitsko obogatitvijo, vzorec vode / <i>method with electrolytical enrichment, water sample</i> 50 Bq/m³–1000 Bq/m³ negotovost / <i>uncertainty</i> ≥ 10 % ≥1000 Bq/m³ negotovost / <i>uncertainty</i> ≥ 3 %</p> | <p>direktna metoda: voda, urin <i>direct method:</i> water, urine</p> <p>metoda z elektrolitsko obogatitvijo: voda <i>method with electrolytical enrichment:</i> water</p> |

4.2.5. Visokoločljivostna spektrometrija gama

Vzorci vode (okrog 40 L) smo izpareli in izmerili koncentracije sevalcev gama v suhem ostanku, pridobljenem z izparevanjem na temperaturi pod 70 °C. Koncentracije so preračunane na količino izparevanega vzorca. V okviru projekta smo izmerili 60 vzorcev iz petnajstih lokacij.

Laboratorijske meritve aktivnosti sevalcev gama in rentgenskih žarkov z visokoločljivostno spektrometrijo gama so akreditirane. Rezultati meritev so sledljivi k aktivnostim primarnih standardov v francoskem laboratoriju LPRI. Osnovni parametri metode so prikazani v tabeli 5.

Tabela 5. Uporabljena akreditirana visokoločljivostna metoda za določanje sevalcev gama.

| Tip obsega: fiksni / delno fleksibilni (opis)* / <i>Type of scope: fixed / partly flexible (opis)*</i> | | | | |
|---|---|---|---|--|
| Mesto izvajanja: v laboratoriju / <i>Site: in the laboratory</i> | | | | |
| Področja preskušanja glede na vrsto preskušanja: radiokemija, sevanje (alfa, beta, gama spektrometrija) / <i>Testing fields with reference to the type of test: radiochemistry, radiation (alfa, beta, gamma spectrometry, radiation protection measurements)</i> | | | | |
| Področja preskušanja glede na vrsto preskušanca: področje (podpodročje,...); ... / <i>Testing fields with reference to the type of test item: field (subfield,...); ...</i> | | | | |
| St. No. | Oznaka standarda ali nestandardne preskusne metode <i>Reference to standard or non-standard testing method</i> | Naslov standarda ali nestandardne preskusne metode in morebitne navezave na druge standarde ali metode <i>Title of standard or non-standard testing method and eventual relations to other standards or methods</i> | Območje preskušanja: Negotovost rezultata preskušanja (kjer je to pomembno) <i>Range of testing, Uncertainty of the result of testing (where relevant)</i> | Materiali; proizvodi <i>Materials; products</i> |
| 2. | LMR-DN-10 Interna metoda <i>In-house method</i> | Meritve aktivnosti sevalcev gama in rentgenskih žarkov v homogenih cilindričnih vzorcih z visokoločljivostno spektrometrijo gama <i>Measurements of activities of gamma-ray and x-ray emitters in cylindrical homogenous samples with high-resolution gamma-ray spectrometry</i> | Območje emisij iz vzorca <i>Range of emissions from the sample:</i> ($0,5 \cdot 10^{-2}$ – $0,5 \cdot 10^5$) s ⁻¹ Območje energij <i>Energy range:</i> (5–3000) keV | trdni in tekoči materiali <i>solid and liquid materials</i> |

5. REZULTATI IN RAZPRAVA

Na vseh vzorčnih mestih smo opravili štiri vzorčenja. Za vse parametre smo izračunali povprečne vrednosti, ki so osnova za izris primerjalnih diagramov. V poročilu je naveden le diagram za tritij. V tabeli 6 so podane povprečne vrednosti za vse merjene parametre.

Tabela 6. Srednje vrednosti merjenih parametrov.

| | | Sava | Krka | Levi breg Save VOG-2p/06 | V-10N/71 | V-12N/71 | V-13N/71 | Desni breg Save V-1N/71 | V-6N/71 | V-7N/71 | V-8N/71 | V-9N/71 | DAC-1 | DAC-3 | Črp. Breg | Črp. Drnovo |
|----------|-------------------|--------|--------|-----------------------------|----------|----------|----------|----------------------------|---------|---------|---------|---------|--------|--------|-----------|-------------|
| Elekt. | uS/cm | 369.8 | 421.5 | 512.8 | 806.3 | 553.5 | 524.3 | 453.5 | 567.25 | 560.8 | 702 | 628 | 512.8 | 661.8 | 725.8 | 671.5 |
| Ca | mg/l | 55.0 | 68.0 | 83.3 | 140.0 | 93.8 | 82.5 | 69.0 | 90.5 | 92.3 | 108.0 | 98.0 | 71.5 | 100.3 | 115.8 | 107.0 |
| Mg | mg/l | 12.5 | 15.0 | 15.8 | 24.3 | 19.3 | 18.3 | 15.3 | 21.0 | 19.8 | 26.5 | 26.5 | 15.0 | 25.8 | 24.8 | 25.8 |
| Na | mg/l | 5.8 | 3.3 | 8.2 | 12.3 | 5.0 | 13.5 | 7.7 | 5.2 | 5.4 | 10.0 | 16.6 | 5.0 | 11.2 | 11.7 | 4.5 |
| K | mg/l | 1.3 | 0.9 | 2.0 | 5.1 | 1.9 | 1.2 | 1.8 | 1.1 | 1.2 | 6.6 | 6.6 | 0.5 | 3.3 | 2.7 | 2.2 |
| Klorid | mg/l | 7.1 | 5.4 | 11.6 | 27.3 | 8.5 | 4.6 | 9.8 | 11.8 | 10.2 | 22.0 | 31.2 | 4.2 | 22.0 | 25.9 | 13.7 |
| Sulfat | mg/l | 16.7 | 6.2 | 21.8 | 36.3 | 20.6 | 9.3 | 20.0 | 18.7 | 20.3 | 13.5 | 17.1 | 0.0 | 13.2 | 20.9 | 17.6 |
| N-Nitrat | mg/l | 1.4 | 1.1 | 1.8 | 4.9 | 2.2 | 0.0 | 1.3 | 4.5 | 3.8 | 7.3 | 4.1 | 0.0 | 5.7 | 6.9 | 8.6 |
| NO3 | mg/l | 6.3 | 4.7 | 8.0 | 21.5 | 9.6 | 0.0 | 5.7 | 19.9 | 16.8 | 32.3 | 18.3 | 0.0 | 25.4 | 30.4 | 38.0 |
| HCO3 | mg/l | 206.5 | 263.3 | 295.3 | 452.5 | 332.5 | 344.8 | 255.8 | 319.5 | 310.3 | 367.5 | 375.0 | 294.0 | 355.5 | 342.8 | 378.8 |
| pH | | 8.1 | 8.2 | 7.4 | 7.1 | 7.4 | 7.4 | 7.5 | 7.4 | 7.3 | 7.3 | 7.4 | 7.3 | 7.4 | 7.3 | 7.4 |
| 18O | | -8.99 | -9.40 | -9.06 | -9.07 | -9.15 | -9.82 | -9.10 | -9.08 | -9.05 | -9.06 | -9.15 | -9.46 | -9.16 | -9.15 | -9.02 |
| 2H | | -58.78 | -63.51 | -59.85 | -61.11 | -61.47 | -68.29 | -60.70 | -60.29 | -60.82 | -60.59 | -61.86 | -65.16 | -61.73 | -61.67 | -61.92 |
| 3H | Bq/m ³ | 1373 | 1509 | 2711 | 1304 | 1606 | 1345 | 1413 | 1495 | 1941 | 1411 | 1157 | 1593 | 1267 | 1562 | 1071 |
| Ca/Mg | | 2.67 | 2.75 | 3.21 | 3.50 | 2.95 | 2.74 | 2.74 | 2.61 | 2.83 | 2.47 | 2.24 | 2.89 | 2.36 | 2.84 | 2.52 |
| K-40 | Bq/m ³ | 50.14 | 28.87 | 63.74 | 147.38 | 49.88 | 41.61 | 58.26 | 37.90 | 75.45 | 194.30 | 198.95 | 14.68 | 63.67 | 90.04 | 70.17 |
| U-238 | Bq/m ³ | 2.89 | 4.37 | 4.66 | 6.98 | 5.52 | 0.85 | 4.21 | 4.57 | 4.35 | 5.86 | 4.61 | 3.00 | 4.61 | 5.58 | 4.92 |
| Ra-226 | Bq/m ³ | 5.72 | 3.60 | 3.77 | 1.88 | 4.32 | 3.52 | 2.67 | 1.22 | 1.64 | 1.85 | 8.18 | 1.41 | 0.85 | 1.56 | 0.53 |
| Pb-210 | Bq/m ³ | 8.50 | 4.77 | 1.78 | 2.85 | 0.63 | 5.50 | 1.39 | 3.38 | 0.91 | 1.99 | 2.77 | 1.52 | 1.78 | 0.61 | 1.49 |
| Ra-228 | Bq/m ³ | 1.87 | 3.07 | 1.80 | 2.26 | 2.01 | 2.31 | 1.72 | 1.60 | 1.78 | 2.56 | 5.44 | 1.68 | 1.46 | 1.91 | 1.43 |
| Th-228 | Bq/m ³ | 1.14 | 0.58 | 0.47 | 0.60 | 0.52 | 0.94 | 0.72 | 0.32 | 0.74 | 0.25 | 0.39 | 0.67 | 0.38 | 0.46 | 0.26 |
| K-40 | Bq/m ³ | 50.14 | 28.87 | 63.74 | 147.38 | 49.88 | 41.61 | 58.26 | 37.90 | 75.45 | 194.30 | 198.95 | 14.68 | 63.67 | 90.04 | 70.17 |
| Be-7 | Bq/m ³ | 2.26 | 13.62 | 4.52 | 10.71 | 2.06 | 5.82 | 5.27 | 7.09 | 3.30 | 7.26 | 1.17 | 2.65 | 9.19 | 2.99 | 22.91 |
| Cs-137 | Bq/m ³ | 0.10 | 0.11 | 0.10 | 0.06 | 0.81 | 0.11 | 0.06 | 0.08 | 0.03 | 0.10 | 0.09 | 0.19 | 0.08 | 0.07 | 0.08 |

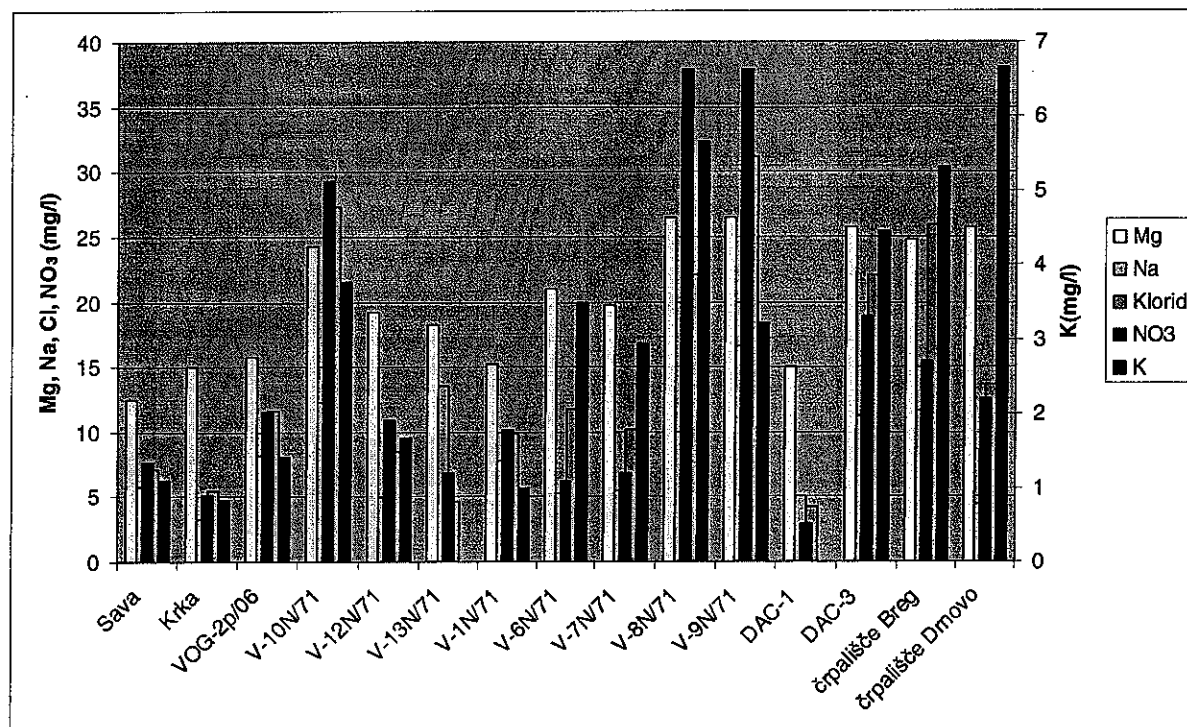
Na osnovi povprečnih vrednosti meritev vseh parametrov smo izračunali korelacijske koeficiente. Prikazani so v tabeli 7. Dobro med seboj korelirajo parametri, ki določajo karbonatne vode (Ca, Mg in HCO₃) in parametri, ki kažejo na možnost kmetijskega onesnaženja (Na, Mg, K, NO₃, Cl). Z vsemi razen z NO₃ dobro korelira K-40. Menimo, da K-40 kaže na uporabo umetnih gnojil.

Tabela 7: Korelacijski koeficienti za povprečne vrednosti meritev

| | Elekt. | Ca | Mg | Na | K | Klorid | Sulfat | N-Nitrat | NO3 | HCO3 | 18O | 2H | U-238 | Ra-226 | Pb-210 | Ra-228 | Th-228 | K-40 | Be-7 | Cs-137 | 3H | |
|----------|--------|-------|-------|-------|-------|--------|--------|----------|-------|-------|-------|-------|-------|--------|--------|--------|--------|-------|-------|--------|------|--|
| Elekt. | 1.00 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Ca | 0.98 | 1.00 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Mg | 0.90 | 0.84 | 1.00 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Na | 0.51 | 0.47 | 0.53 | 1.00 | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| K | 0.67 | 0.63 | 0.74 | 0.69 | 1.00 | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Klorid | 0.80 | 0.77 | 0.83 | 0.71 | 0.86 | 1.00 | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Sulfat | 0.49 | 0.62 | 0.32 | 0.25 | 0.36 | 0.51 | 1.00 | | | | | | | | | | | | | | | |
| N-Nitrat | 0.78 | 0.74 | 0.87 | 0.18 | 0.55 | 0.69 | 0.38 | 1.00 | | | | | | | | | | | | | | |
| NO3 | 0.78 | 0.74 | 0.87 | 0.18 | 0.55 | 0.69 | 0.38 | 1.00 | 1.00 | | | | | | | | | | | | | |
| HCO3 | 0.92 | 0.93 | 0.84 | 0.55 | 0.65 | 0.69 | 0.44 | 0.61 | 0.61 | 1.00 | | | | | | | | | | | | |
| 18O | 0.24 | 0.27 | 0.26 | -0.18 | 0.32 | 0.41 | 0.61 | 0.56 | 0.56 | 0.03 | 1.00 | | | | | | | | | | | |
| 2H | 0.06 | 0.10 | 0.08 | -0.20 | 0.24 | 0.31 | 0.58 | 0.38 | 0.38 | -0.15 | 0.96 | 1.00 | | | | | | | | | | |
| U-238 | 0.66 | 0.71 | 0.56 | 0.04 | 0.55 | 0.65 | 0.64 | 0.65 | 0.65 | 0.52 | 0.69 | 0.60 | 1.00 | | | | | | | | | |
| Ra-226 | -0.39 | -0.34 | -0.22 | 0.33 | 0.25 | 0.08 | 0.00 | -0.41 | -0.41 | -0.24 | -0.05 | 0.06 | -0.22 | 1.00 | | | | | | | | |
| Pb-210 | -0.51 | -0.48 | -0.44 | -0.01 | -0.17 | -0.31 | -0.19 | -0.40 | -0.40 | -0.41 | -0.24 | -0.08 | -0.54 | 0.44 | 1.00 | | | | | | | |
| Ra-228 | 0.06 | 0.06 | 0.26 | 0.54 | 0.59 | 0.45 | -0.05 | -0.05 | -0.05 | 0.21 | -0.12 | -0.12 | 0.05 | 0.76 | 0.16 | 1.00 | | | | | | |
| Th-228 | -0.61 | -0.56 | -0.72 | -0.08 | -0.47 | -0.53 | -0.11 | -0.71 | -0.71 | -0.55 | -0.34 | -0.20 | -0.64 | 0.32 | 0.63 | -0.12 | 1.00 | | | | | |
| K-40 | 0.63 | 0.61 | 0.70 | 0.66 | 0.97 | 0.83 | 0.41 | 0.54 | 0.54 | 0.60 | 0.36 | 0.28 | 0.53 | 0.28 | -0.17 | 0.62 | -0.40 | 1.00 | | | | |
| Be-7 | 0.26 | 0.28 | 0.29 | -0.27 | -0.01 | 0.00 | 0.03 | 0.47 | 0.47 | 0.32 | 0.07 | -0.08 | 0.22 | -0.48 | -0.02 | -0.22 | -0.39 | -0.06 | 1.00 | | | |
| Cs-137 | -0.12 | -0.05 | -0.13 | -0.26 | -0.13 | -0.25 | -0.01 | -0.22 | -0.22 | -0.02 | -0.06 | -0.04 | 0.12 | 0.21 | -0.22 | -0.04 | -0.03 | -0.20 | -0.24 | 1.00 | | |
| 3H | -0.26 | -0.20 | -0.42 | -0.23 | -0.31 | -0.28 | 0.10 | -0.32 | -0.32 | -0.31 | 0.11 | 0.22 | 0.01 | 0.00 | -0.23 | -0.24 | 0.05 | -0.24 | -0.35 | 0.07 | 1.00 | |

5.1. Fizikalno kemijski parametri

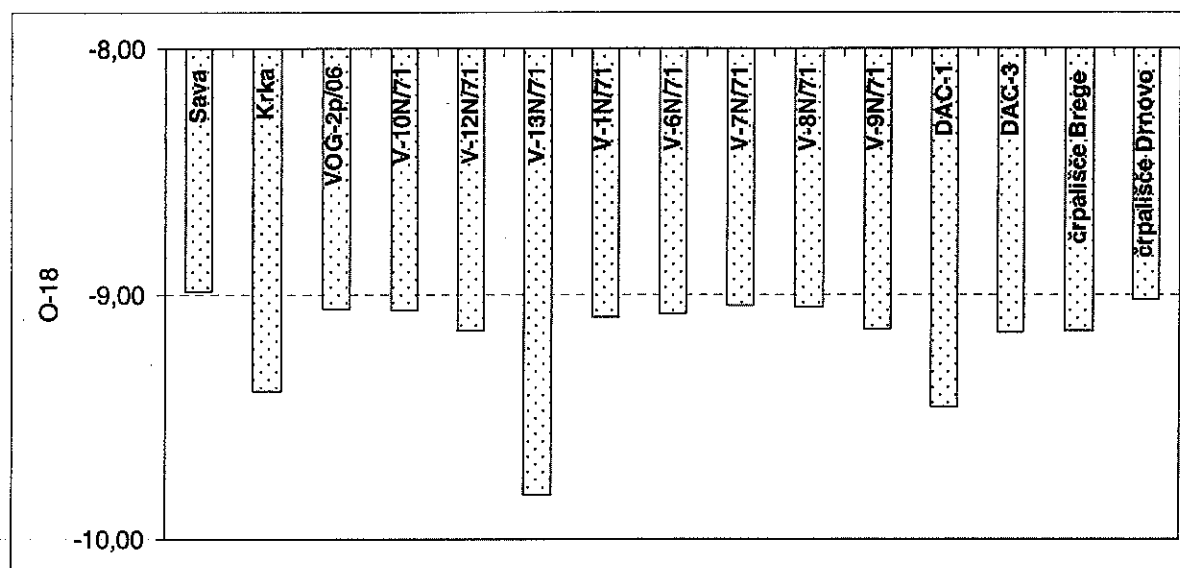
Iz rezultatov kemijskih analiz in diagramov je razvidno, da gre za Ca-Mg karbonatni tip vode. Po pričakovanjih je najmanj mineralizirana površinska voda (Sava, Krka). Visoko mineralizacijo in povečane vrednosti v vrtini V-10N/71 tako sulfata, nitrata, klorida, K, Na, Ca in Mg kaže na možen vir onesnaženja na tem mestu. Gre za območje sadovnjaka in vse kaže na prekomerno uporabo gnojil. Povečane vrednosti teh parametrov so še v vrtinah V-8N/71, V-9N/71 in v obeh črpališčih (Slika).

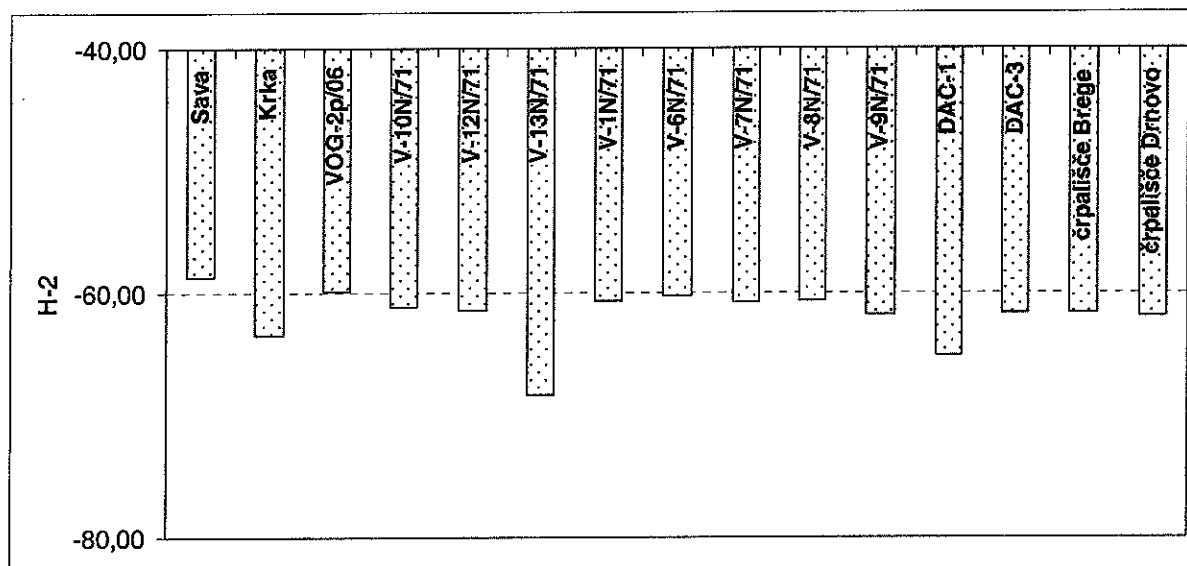


Slika 2: Diagram izbranih kemijskih parametrov

5.2. Stabilni izotopi

Izmerjene vrednosti izotopa $\delta^{18}\text{O}$ v podzemni vodi so prikazani na sliki 3 in se gibajo med -8,8 in -10,27 ‰VSMOW. Najvišje vrednosti so izmerjene v Savi (-8,43‰). V povprečju so vrednosti $\delta^{18}\text{O}$ v Krki nižje od vrednosti v Savi. Krški vodonosnik je enovit sistem podzemne vode, zato ne sledimo različnih tipov vod, na kar kažejo precej enovite vrednosti stabilnih izotopov. Z nekoliko nižjimi vrednostmi lahko določimo vpliv (napajanje) iz lokalnega zaledja (V-13N/71, DAC-1). Vrednosti $\delta^2\text{H}$ (slika 3) sledijo v običajnem razmerju vrednosti $\delta^{18}\text{O}$.



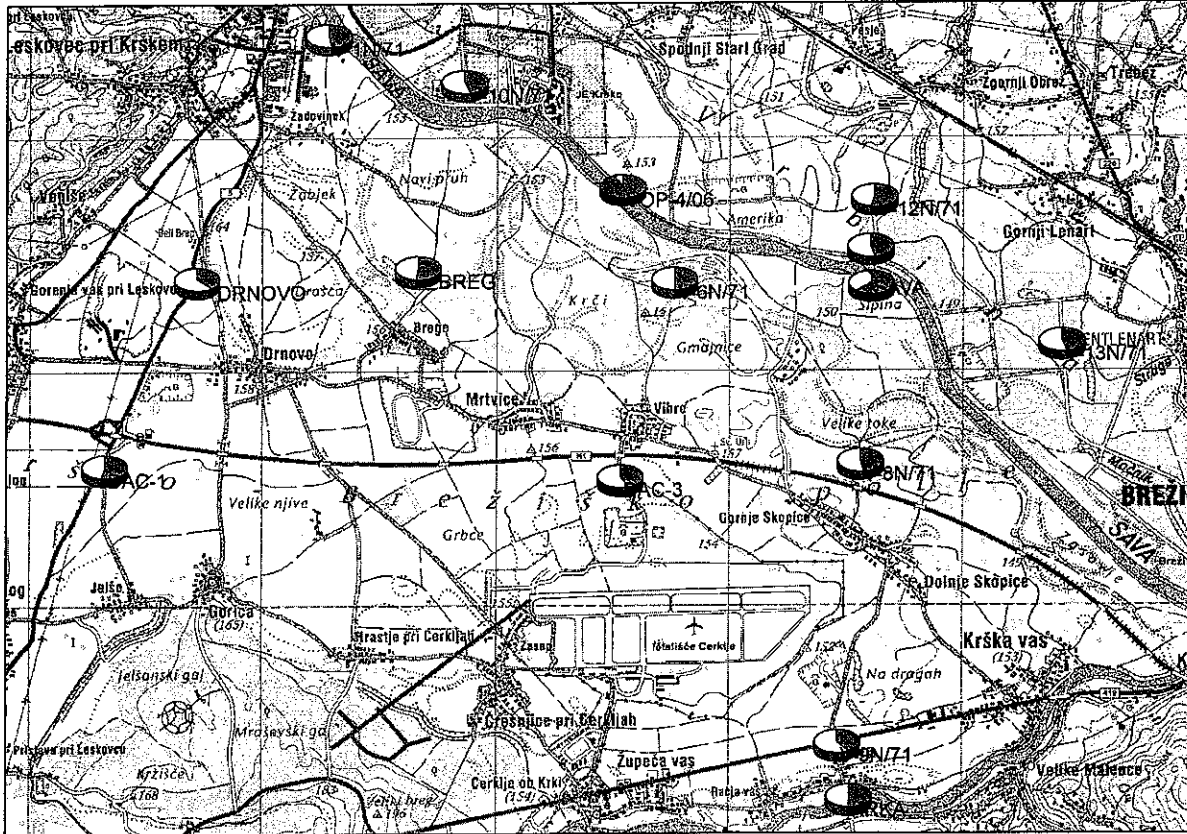


Slika 3: Diagrama povprečnih vrednosti meritev $\delta^{18}\text{O}$ in $\delta^2\text{H}$

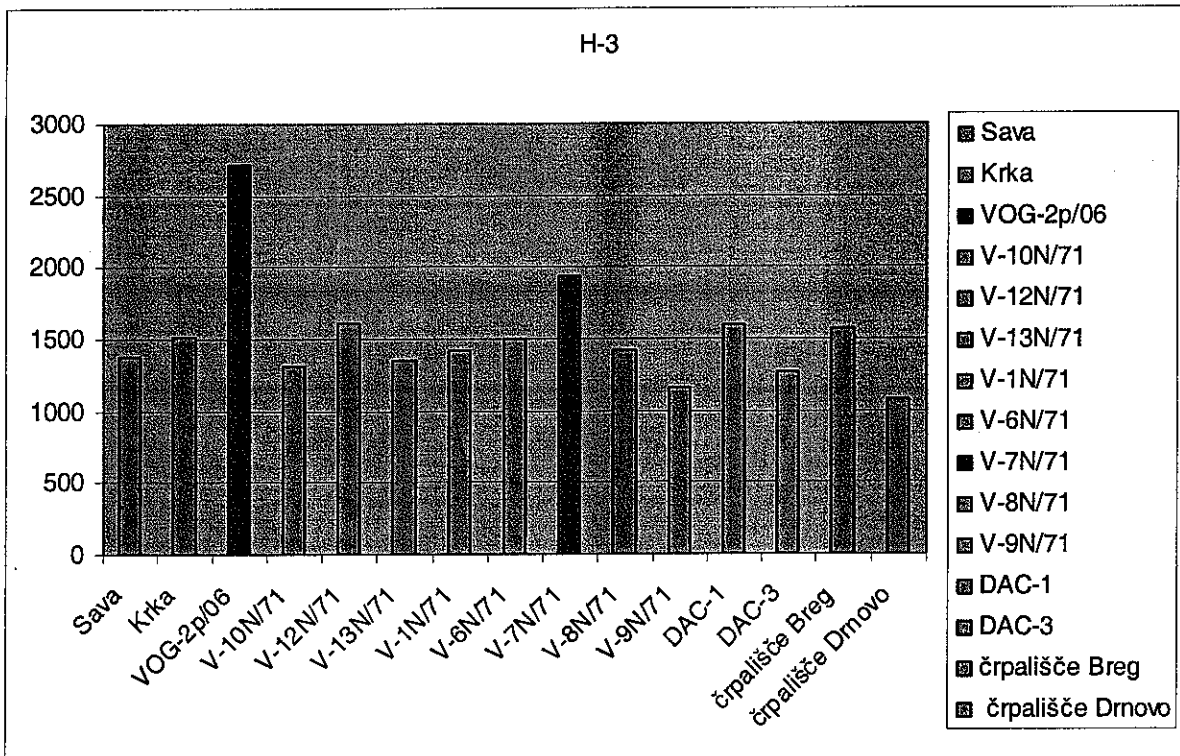
5.3. Tritij

Vrednosti tritija v površinski vodi (Sava in Krka) so primerljive glede na serijo vzorčenja in se gibajo med 1041 in 1944 Bq/m³. V površinski vodi so izmerjene tudi najnižje vrednosti tritija, najvišje so izmerjene v vrtini v neposrednem vplivu reke Save VOP-4 (VOG-2p) 3264 Bq/m³. Ocena povprečne vrednosti tritija v podzemni vodi na Krškem polju, če ne upoštevamo vrtin v neposrednem vplivu reke Save (VOP-4 in V-7N/71), na podlagi dosedanjih meritev je 1384 Bq/m³. Povprečna vrednost v vrtini VOP-4 je 2711 Bq/m³ in v V-7N/71 Bq/m³ 1941 Bq/m³. Na podlagi teh meritev lahko sklepamo na neposredno napajanje iz reke Save in na vpliv izpustov iz jedrske elektrarne na vrednosti T v podzemni vodi v neposredni bližini reke.

Povprečne vrednosti meritev tritija v podzemni vodi so predstavljene v diagramu na Slika in na karti (slika 4).



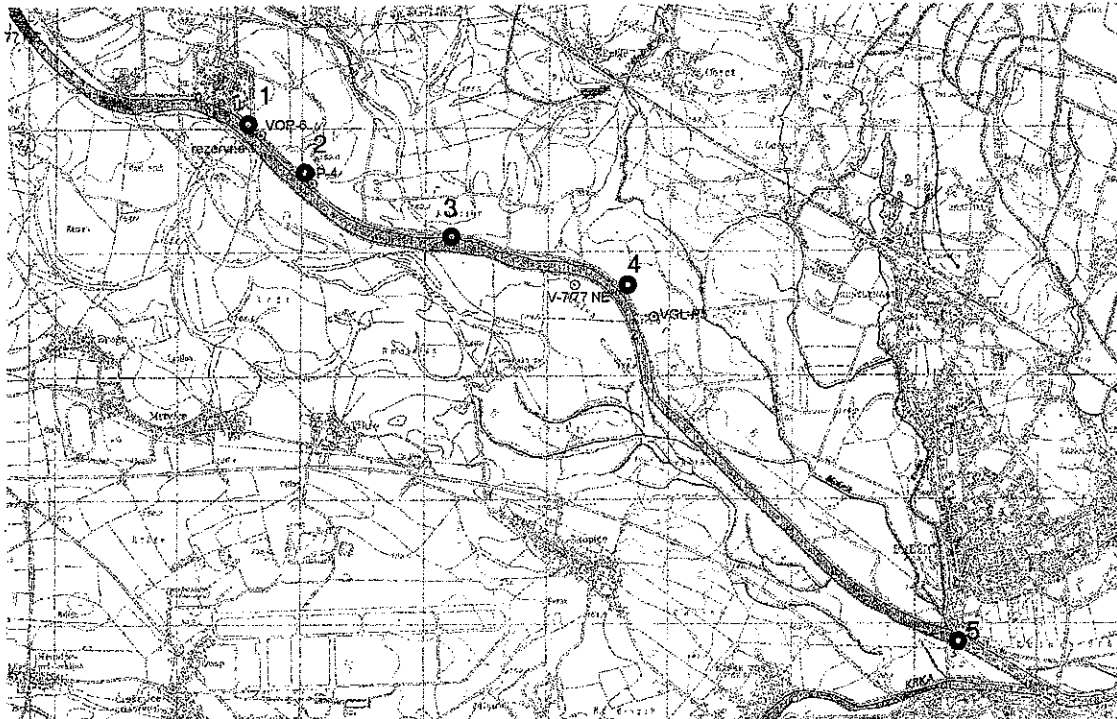
Slika 4: Povprečne vrednosti tritija v podzemni vodi.



Slika 5: Diagram povprečnih vrednosti meritev tritija

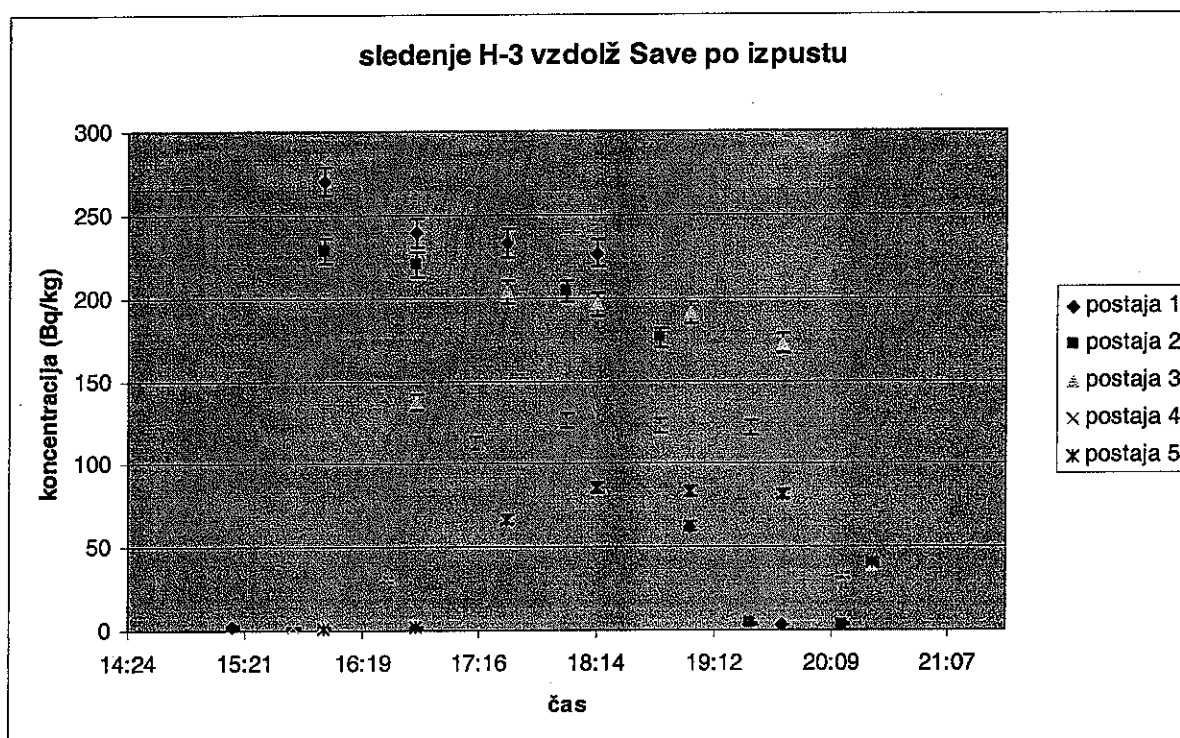
5.4. Sledenje tritija v Savi po izpustu iz NEK

Vzorčevanje tritija je potekalo 8. julija od 15:15 do 21:00. Vzorčevali smo vsakih 15 min na petih postajah, ki so prikazane na sliki 6. Vzorec smo zajeli približno 2 – 3 m od brega, na postaji 5 (Brežiški most) pa na sredini toka. Izpust iz NEK se je začel ob 15:30 in končal čez tri ure. Skupna izpuščena aktivnost tritija je bila $1.94E11$ Bq (podatek iz elektrarne).



Slika 6: Vzorčevalna mesta za sledenje tritija v Savi po izpustu iz NEK.

Na sliki 7 so prikazane koncentracije tritija vzdolž Save po izpustu. Najvišja vrednost 100 m pod jezom je bila $270.000 \text{ Bq} / \text{m}^3$. Maksimalna vrednost na najbolj oddaljeni merski točki je bila okrog $85.000 \text{ Bq} / \text{m}^3$, po skoraj 3 urah od začetka izpusta.



Slika 7: Koncentracija tritija po izpustu iz NEK dne 8. 7. 2008.

5.5. Gama sevalci

V vzorcih smo izmerili koncentracije naravnih sevalcev gama, členov uranove razpadne verige (U-228, Ra-226), torijeve razpadne verige (Ra-228, Th-228) in K-40, ki izvirajo iz raztapljanja kamnin v vodi, ter sevalcev, ki pridejo v vodo z deževnico (Be-7 in Pb-210).

Povprečne koncentracije K-40 v podtalnih vodah so med 15 in 200 Bq/m³. Povišane koncentracije so v vrtinah V-8N in V-9N in V-10N, nižja koncentracija pa v vrtini DAC-1. Največ izmerkov leži v intervalu od 40 Bq/m³ do 70 Bq/m³. Povprečni koncentraciji v Savi in Krki sta 50 Bq/m³ in 13 Bq/m³. Časovna korelacija med koncentracijo v Savi in v Krki ni bila opažena.

Povprečne koncentracije Be-7 v podtalnicah so med 3 Bq/m³ in 20 Bq/m³. Najvišja povprečna vrednost je bila izmerjena v Črpališču Drnovo. Variacije v koncentraciji verjetno odražajo lokalne vplive propustnosti tal za deževnico, s katero se izpira Be-7 iz ozračja. Velike relativne negotovosti (okrog 100%) izvirajo iz časovne variabilnosti koncentracije na posameznih lokacijah. Časovne korelacije med koncentracijami na posameznih lokacijah nismo opazili.

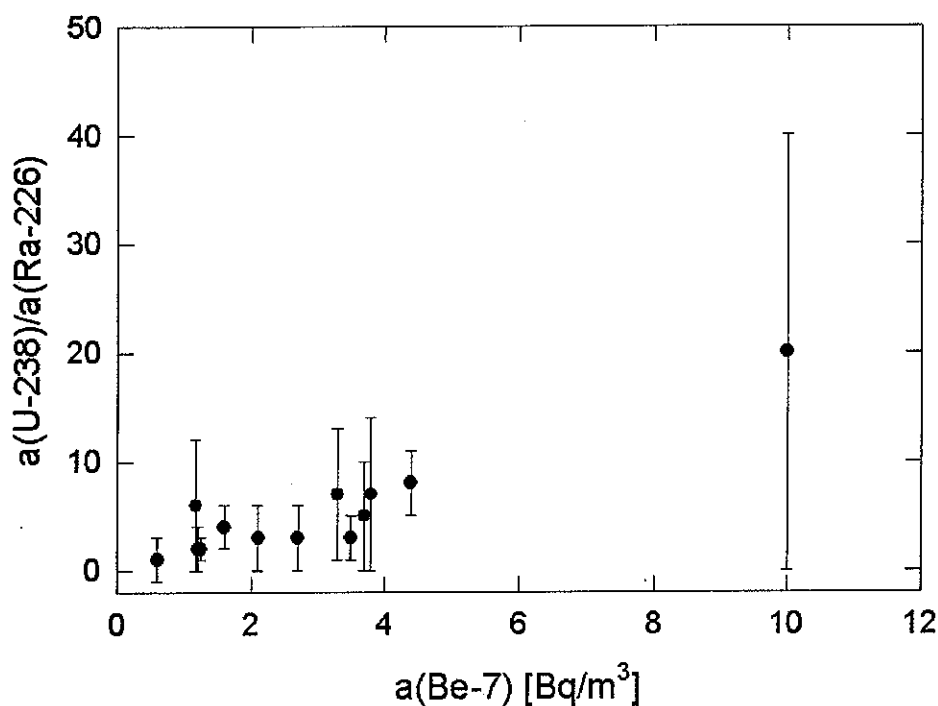
Podobno kot pri K-40, se koncentraciji Be-7 v Krki in Savi močno razlikujeta. Časovne korelacije med koncentracijami v Savi in Krki prav tako nismo opazili.

Povprečne koncentracije Pb-210, ki se podobno kot Be-7 izpira iz ozračja, ne kažejo prostorske korelacije s koncentracijami Be-7, zato lahko sklepamo na prevladujoč vpliv raztapljanja iz kamnin in razpadanja radona na koncentracijo Pb-210 v podtalnici. Povprečne koncentracije Pb-210 na Krškem polju dosegajo najvišje vrednosti na vzhodnem in južnem robu opazovanega območja, do 6 Bq/m³, drugod so med 0 in 3 Bq/m³. Koncentracija Pb-210 v Savi presega koncentracijo v Krki.

U-238 kaže enakomerno porazdelitev koncentracije na Krškem polju, med 3 in 7 Bq/m³. Koncentracije v Savi in Krki ne odstopajo od koncentracij v podtalnici.

Koncentracije Ra-226 dosegajo višje vrednosti na robu opazovanega območja. Najvišja koncentracija je v vrtini V-7N, na južnem robu Krškega polja. Na splošno je v vrtinah na levem bregu Save višja koncentracija Ra-226 kot v vrtinah na desnem bregu.

Zanimivo je, da obe črpališči kažeta relativni primanjkljaj Ra-226 glede na U-238. To je lahko povezano s stalnim odjemom vode. Povišana koncentracija Be-7 v Drnovem kaže, da je tukaj voda mlajša oziroma, da se napaja iz deževnice. Iz tega pa sledi, da naj bi bila pozitivna korelacija med razmerjem koncentracij U-238 in Ra-226 ter koncentracijo Be-7. Ustrezna korelacija je predstavljena na sliki 8.



Slika 8: Korelacija med uranom in berilijem.

Povprečne koncentracije Ra-228 so med 1.4 Bq/m³ v Drnovem in 5.4 Bq/m³ v vrtini V-9. Ta koncentracija odstopa od koncentracij na drugih lokacijah. Najnižja koncentracija Ra-228 je v Drnovem, kar podpira hipotezo o tem, da je voda iz Drnovega prav mlada. Povprečne koncentracije Th-228 so med 0.3 in 0.7 Bq/m³ in ne kažejo prostorskih variacij.

Najvišje koncentracije K-40 so bile izmerjene v vrtinah V-9 in V-8 in se ujemajo z lokacijami, kjer so bile izmerjene najvišje koncentracije Ra-228. Vzroka za povišane koncentracije K-40 v teh vrtinah ne poznamo. Domnevamo, da gre za vpliv kmetijstva.

5.6. Dinamika podzemne vode

Iz karte nivojev podzemne vode je razvidno, da Sava v zgornjem delu napaja vodonosnik, v spodnjem pa ga drenira. Vodonosnik se napaja iz lokalnih padavin, reke Save in manj iz Krke. Razporeditev vzorčnih mest je po celotnem Krškem polju, tako na levem in desnem bregu Save.

Iz vrednosti O-18 lahko zaključimo, da ima lokalna voda bolj negativne vrednosti (DAC-1, V-13N/71, Krka) od Save. Iz vrednosti O-18 lahko potrdimo, da se podzemna voda na levem bregu na območju vzorčnih mest V-13N/71 in V-12N/71 napaja iz zaledja in lokalnih padavin. Iz diagramov je razvidno, da je vpliv Save zaznan v piezometrih v njeni bližini (VOP-4, V-6N/71, V-7N/71, V-1N/71, V-10N/71). Posamezna vzorčna mesta (DAC-1, V-8 N/71, V-9 N/71, DAC-3, V-13 N/71, Črpališči Drnovo in Breg) niso v njenem direktnem vplivnem območju, ali pa je le ta manjši.

Vrednosti meritev tritija v podzemni vodi kažejo na to, da lahko vpliv Save zaradi izpustov v reko iz jedrske elektrarne lahko sledimo tudi podzemni vodi in sicer na vzorčnih mestih v neposredni bližini Save. Meritve so pokazale, da lahko tritij uporabljamo za sledilo pri preučevanju vplivov izpustov jedrske elektrarne na podzemno vodo. Pri časovno daljšem izpustu večjih količin vode, obremenjene z tritijem in pri pogostnejšem vzorčenju, bi z rezultati lahko natančneje določili interakcijo reka - vodonosnik. Rezultati nakazujejo, da lahko metodo sledenja s tritijem dodelamo tako v tehničnem kot analitskem smislu.

Gama sevalci v našem primeru ne dajo jasne slike o dinamiki podzemne vode.

5.7. Onesnaženje podzemne vode

Iz kemijskih analiz lahko sklepamo na vpliv kmetijske dejavnosti na podzemno vodo. S povečano mineralizacijo in povečanimi vrednostmi Na, Mg, nitrata, klorida in sulfata izstopa vzorčno mesto V-10N/71. Gre za kmetijska območja, zato sklepamo na vir onesnaženja z naslova kmetijstva.

Po pričakovanju dobra korelacija med K-40 in K. Precej dobra je korelacija še s Cl, Na in Mg. Sklepamo na onesnaženja z umetnimi gnojili. Iz diagrama izstopajo vrednosti vzorčnih mest V-8N/71, V-9N/71, V-10N/71.

Iz rezultatov analiz in korelacije med vsemi parametri lahko rečemo, da lahko K-40 uporabljamo za indikator kmetijskega onesnaženja. Z nadaljnimi raziskavami in primerjavami bi kazalo trditve raziskati in podkrepiti.

6. ZAKLJUČKI

Z opravljenimi raziskavami smo odgovorili na zastavljena vprašanja:

- Z analizami tritija smo ugotovili vpliv izpustov jedrske elektrarne na podzemno vodo v neposredni bližini reke Save. Gre za ozek vplivni pas ob reki.
- Tritij se je izkazal za primerno sledilo opazovanja dinamike vode v vodonosniku.
- Sevalci gama se niso izkazali kot učinkoviti sledilci za študij dinamike, uporabni pa so kot podatek o litološki sestavi vodonosnika in kot pokazatelji onesnaženja v

kmetijstvu. Kombinirano metodo s H-3, Pb-210 in Be-7 za študij dinamike podzemnih vod bi bilo potrebno preveriti v vodonosnih sistemih z izrazitejšim mešalnim modelom vod, z večjo razliko v lastnostih napajalnih komponent.

- K-40 se je izkazal za možen parameter sledenja vpliva prekomerne uporabe umetnih gnojil na kakovost podzemne vode
- S sledenjem tritija v Savi po izpustu iz NEK smo pridobili veliko dragocenih podatkov, s katerimi bo moč izboljšati model in določiti mešalne parametre.

V nadaljevanju raziskav bi kazalo izvesti bolj načrtovano sledenje vpliva izpustov jedrske elektrarne. V ta namen bi kazalo izpeljati časovno daljši izpust, s tem bi lahko dobili jasnejšo krivuljo meritev tritija v piezometru kot rezultat vpliva izpusta na vodonosnik. Rezultati bi omogočili izračun interakcij vodonosnik- reka. S tem bi tudi potrdili, da je tritij primerno »naravno« sledilo za študij vpliva delovanja jedrske elektrarne na podzemno vodo.

Raziskava je nakazala da je K-40 lahko primeren parameter za ugotavljanje onesnaženja iz naslova umetnih gnojil. To trditev je potrebno okrepiti z novimi raziskavami na s kmetijsko dejavnostjo različno obremenjenih vodonosnikih.

Povzetek projekta V2-0379

REPUBLIKA SLOVENIJA
NOSILEC JAVNEGA POOBLASTILA
JAVNA AGENCIJA ZA RAZISKOVALNO DEJAVNOST
REPUBLIKE SLOVENIJE, LJUBLJANA 3

| | |
|---------------------|------------|
| Prejeto: 22-10-2008 | S. z.: OKO |
| Krško zadeve: | Prii: |
| 63113-357/2006 | Vrednost: |

Sledenje tritija v okolici Nuklearne elektrarne Krško

Pri načrtovanju in realizaciji projekta smo sledili naslednjim ciljem:

1. ugotavljati morebiten vpliv jedrske elektrarne na podzemno vodo
2. ugotavljati možnost uporabe tritija in gama sevalcev za ugotavljanje izvora in dinamike podzemne vode
3. primerjati uporabo tritija in gama sevalcev z ostalimi uveljavljenimi geokemijskimi metodami (kemjska sestava vode, stabilni izotopi)
4. pridobiti podatke o koncentracijah tritija v Savi po izpustu iz NEK

Zastavljene cilje smo dosegli:

1. Z analizami tritija smo ugotovili vpliv izpustov jedrske elektrarne na podzemno vodo v neposredni bližini reke Save. Gre za ozek vplivni pas ob reki.
2. Tritij se je izkazal za primerno sledilo opazovanja dinamike vode v vodonosniku.
3. Sevalci gama so uporabni kot podatek o litološki sestavi vodonosnika in kot pokazatelji onesnaženja v kmetijstvu.
4. K-40 se je izkazal za možen parameter sledenja vpliva prekomerne uporabe umetnih gnojil na kakovost podzemne vode.
5. V okviru projekta smo pridobili okrog 1300 novih podatkov za površinske in podzemne vode na Krškem polju.

Tritium tracking in the environment of Nuclear Power Plant Krško

The following aims were planned in the frame of this project:

1. Assessment on influence of Nuclear Power Plant to groundwater.
2. Study of feasibility of using tritium and gamma emitters at the assessment of groundwater's origin and its dynamics.
3. Comparison of tritium and gamma emitters results with other conventional geochemical and physical methods (chemical composition of water, stabile isotopes).
4. Data acquisition of tritium concentrations in Sava river after recharge from Nuclear Power Plant.

The following scopes of the project were achieved:

1. We assessed the influence of nuclear power plant recharge to groundwater in the vicinity of Sava river. The narrow zone of observed influence is situated near the river.
2. Tritium is very suitable tracer for studies of water dynamics in aquifer.
3. Gamma emitters bring new information about litological structure of aquifers. They are also good indicators of agricultural pollution.
4. K-40 comes out as a possible tracer for overdosed use of artificial fertilizer and useful parameter in studies of groundwater quality.
5. We obtained around 1300 new data on surface waters and groundwaters on Krško polje in the frame of this project.