

Sveučilište u Zagrebu
Geotehnički fakultet

Marko Šrajbek

KVANTIFICIRANJE UTJECAJA ZAGAĐIVAČA
NA KONCENTRACIJU NITRATA
U PODZEMNOJ VODI VARAŽDINSKE REGIJE

Zagreb, 2011.

Ovaj rad izrađen je u zavodu za hidrotehniku Geotehničkog fakulteta pod vodstvom doc.dr.sc. Ivana Kovača, dipl. ing. i predan je na natječaj za dodjelu rektorove nagrade u akademskoj godini 2010./2011.

SADRŽAJ

1. UVOD	1
1.1. VARAŽDINSKI VODONOSNIK – REGIONALNI IZVOR PITKE VODE	2
1.2. UTJECAJ HIDROELEKTRANA VARAŽDIN I ČAKOVEC NA TOK PODZEMNE VODE	3
2. HIPOTEZA	6
2.1. VREMENSKI NIZOVI GODIŠNJIH PROSJEKA KONCENTRACIJE NITRATA	6
2.2. ČIMBENICI KOJI UTJEČU NA KONCENTRACIJU NITRATA	8
2.2.1. <i>Mineralna gnojiva</i>	8
2.2.2. <i>Groblje</i>	9
2.2.3. <i>Kanalizacija</i>	9
2.2.4. <i>Peradarske farme</i>	10
2.3. HIPOTEZA	10
3. PLAN RADA	11
4. REZULTATI I RASPRAVA	12
4.1. CRPILIŠTE VARAŽDIN	13
4.1.1. <i>Vremenski nizovi godišnjih prosjeka koncentracije nitrata na bunarima</i>	15
4.1.2. <i>Izrada 2D modela distribucije koncentracije nitrata i lociranje izvora zagađenja</i>	16
4.1.3. <i>Izrada matematičkog modela utjecaja deponije otpada na koncentraciju nitrata</i>	19
4.1.4. <i>Kvantificiranje utjecaja deponije otpada na koncentraciju nitrata</i>	23
4.2. CRPILIŠTE BARTOLOVEC	25
4.3. CRPILIŠTE VINOKOVŠČAK	27
5. ZAKLJUČAK	30
6. ZAHVALE	31
7. LITERATURA	32
8. SAŽETAK	34
9. SUMMARY	35

1. UVOD

Voda je jedna od najrasprostranjenijih tvari na Zemlji i neophodna za sav živi svijet. Jedno od najvažnijih svojstava vode je otapanje mnogih tvari svih agregatnih stanja. Otapanje tvari je zamršen proces koji se može objasniti na molekularnoj razini, međudjelovanjem molekula vode sa molekulama ili ionima tvari koje se otapaju (Levačić, E., 1997.). Već u atmosferi, gdje dolazi do nastajanja kapljica vode (kiša, snijeg, led), voda otapa čestice plinova i mijenja, u većoj ili manjoj mjeri, svoja prirodna svojstva. Kada voda u obliku oborina dospije na površinu kopna otapa mnoge tvari koje se tamo nalaze. Bez obzira kroz kakvu podlogu protječe, dolazi u podzemlje i tamo ostaje. Takva voda naziva se podzemna voda i ona predstavlja glavni izvori vode za različite ljudske potrebe.

Varaždinska regija jedno je od najgušće naseljenih i gospodarski najrazvijenijih područja u Republici Hrvatskoj. Svakodnevno povećanje potrebe za kvalitetnom pitkom vodom uz istovremeno prisutni trend povećanja zagađivača dovodi do sve većeg opterećenja izvora pitke vode i do degradacije njezine kvalitete. Upravo iz tih razloga, već ionako veliki problem vodoopskrbe u doglednoj budućnosti bit će jedan od glavnih preduvjeta za daljnji razvoj regije i poboljšanje kvalitete življenja.

Grad se svakim danom širi, otvaraju se veliki trgovački i industrijski centri, visoko obrazovne ustanove, grade se stambene i poslovne zgrade, a samim time potražnja za pitkom vodom raste. Osim toga, u gradu su vrlo intenzivne dnevne migracije, velik dio radne populacije, učenika i studenata dolazi iz okolice grada ili šireg područja pa je i iz tog razloga potreba za pitkom vodom još veća.

U vodi varaždinskog područja dugi niz godina bio je prisutan problem prevelike koncentracije nitrata u pitkoj vodi koja je bila viša od zakonom propisane MDK (maksimalna dozvoljena koncentracija) preuzete iz *Pravilnika o zdravstvenoj ispravnosti vode za piće* (N.N. 47/08). Problem je riješen povećanjem količine vode u u zahvatu na onim crpilištima gdje je bila niža koncentracija nitrata. Na taj je način vrijednost koncentracije spuštена (Novotni-Horčička, N., 2005.).

Preporuka Europske Unije je limitacija koncentracije nitrata u vodi za piće na 25 mg NO_3^-/L . Kako je Republika Hrvatska pred ulaskom u Uniju, realno je očekivati da se MDK u pogledu zasićenosti nitratima spusti sa sadašnjih 50 na 25 mg NO_3^-/L .

Već danas je na pojedinim crpilištima varaždinske regije koncentracija nitrata veća od preporučene vrijednosti od strane Europske Unije. Uz to, uočen je i trend porasta

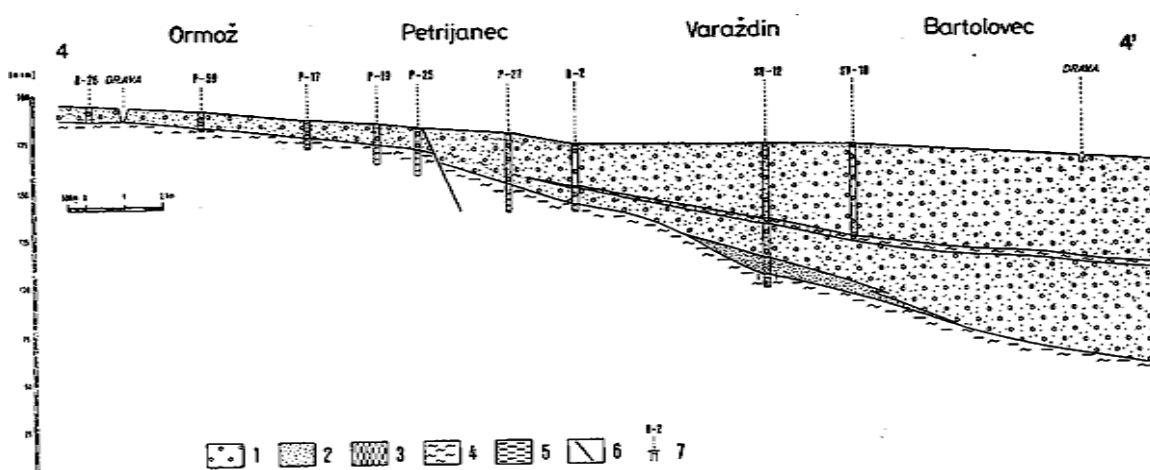
koncentracije nitrata na nekim lokacijama te je realno očekivati nove probleme u vodoopskrbi na promatranom području u dogledno vrijeme. Zbog toga je neophodno pronaći izvore zagađenja i kvantificirati njihov utjecaj, kako bi se mogle poduzeti mjere za očuvanje, odnosno unaprijeđenje postojeće kvalitete podzemne vode.

U ovom radu, na temelju dosadašnjih saznanja i rezultata analiza kemijskog sastava podzemne vode varaždinskog područja, locirani su izvori nitrata (Grdjan, D., Kovač, I., Kovačev-Marinić, B., 2006.). Definiran je matematički model pomoću kojeg je kvantificiran njihov utjecaj te su navedene mjere za poboljšanje kvalitete podzemne vode.

1.1. Varaždinski vodonosnik – regionalni izvor pitke vode

Varaždinski vodonosnik se nalazi u krajnjem zapadnom rubu Dravske doline. Izgrađen je uglavnom od šljunaka i pijeska (srednje i gornjo pliocenske starosti). Podina vodonosnika je izgrađena od pjeskovitih i glinovitih lapora te belvederskih šljunaka (gornjo tercijske starosti), a krovina od praha, gline i prašinstog pijeska (holocenske starosti) (Urumović, K., 1991.).

Vodonosnik je izdužen paralelno toku rijeke Drave i debljina mu se povećava od zapada prema istoku. Debljina mu je najmanja u području Križovljana i Ormoža i iznosi svega 5 m, dok kod Varaždina iznosi oko 75 m (slika 1.1./1). Kod Preloga dostiže maksimalnih 148 m, a nizvodno mu se debljina smanjuje.



Slika 1.1./1 Uzdužni litološki profil

(preuzeto iz: Urumović, K., Hlevnjak, B., Prelogović, E., Mayer, D., 1990.)

Legenda: 1. Šljunak, 2. Pijesak, 3. Prah, 4. Glina, 5. Lapor, 6. Rasjed, 7. Bušotina

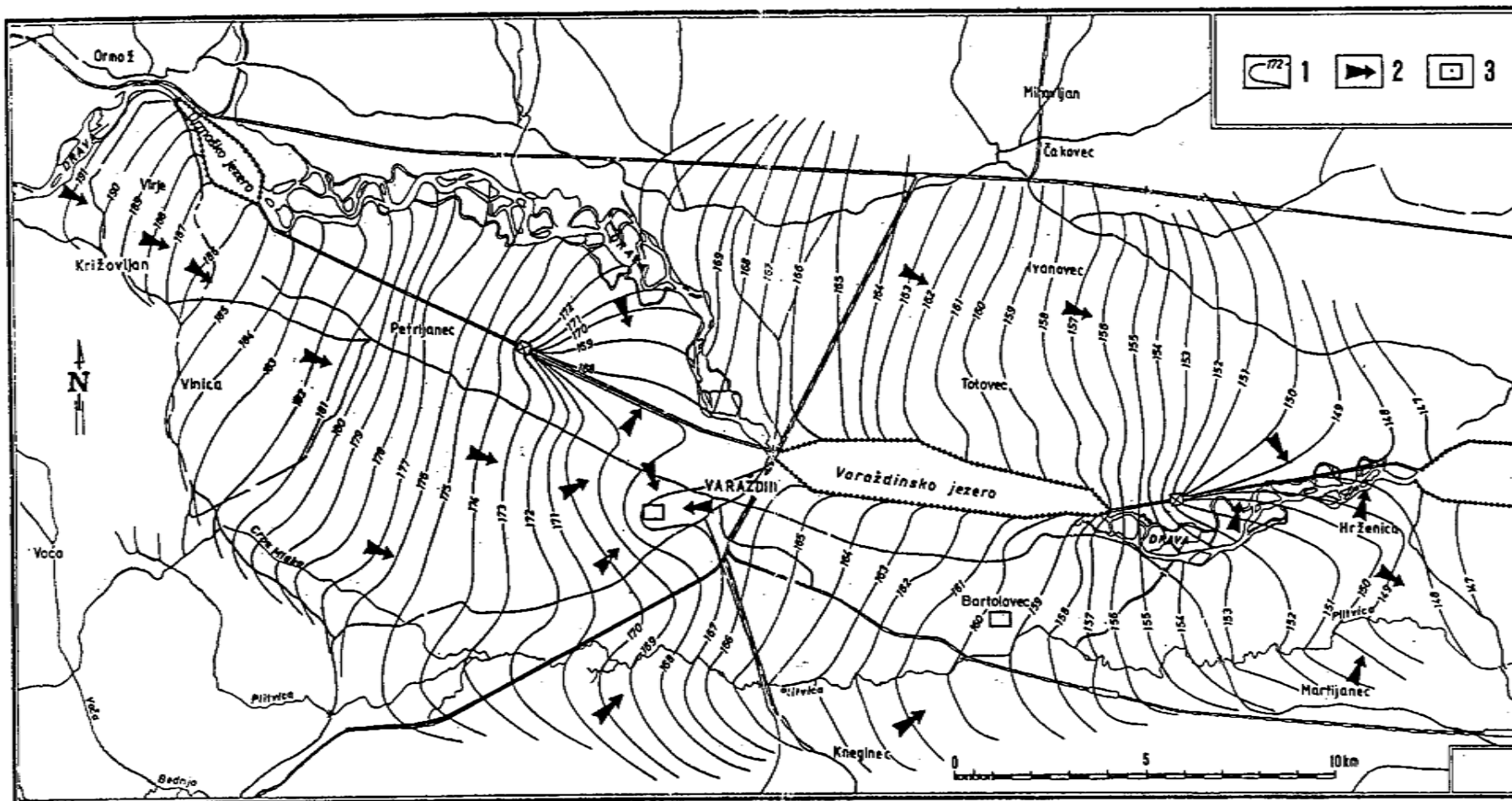
Jedna od karakteristika Varaždinskog vodonosnika je polupropusni sloj gline, praha i prašinstog pijeska, koji se pojavljuje kod mjesta Petrijanec, zapadno od grada Varždina i debljina mu je u prosjeku 5 m. Sloj se javlja na dubini od oko 40 m, blago je nagnut prema podini, pruža se paralelno toku rijeke Drave i dijeli vodonosnik na gornji i donji vodonosni sloj (Urumović, K., Hlevnjak, B., Prelogović, E., Mayer, D., 1990.). Navedeni sloj gline ima bitan utjecaj na kvalitetu podzemne vode. Naime, on u određenoj mjeri štiti vodu iz donjeg vodonosnog sloja od vanjskih zagađivača i ona je u pravilu bolje kakvoće u odnosu na vodu iz gornjeg vodonosnog sloja (Šrajbek, M., 2009.).

Rezultati prikazani u radu odnose se isključivo na gornji vodonosni sloj, jer na svim crpilištima postoji dovoljan broj uzorkovanja iz tog sloja te je moguća izrada kvalitetne analize i lociranje dominantnih zagađivača.

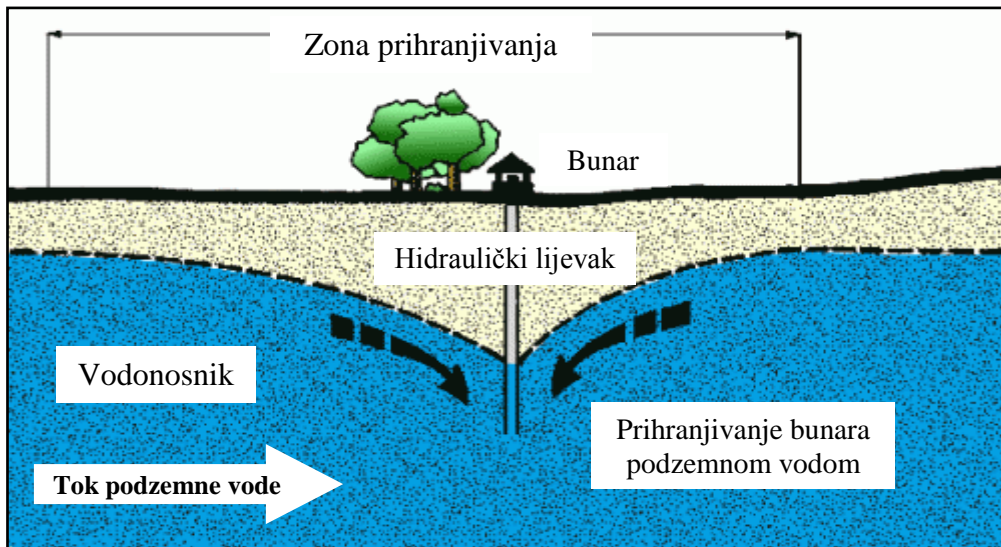
1.2. Utjecaj hidroelektrana Varaždin i Čakovec na tok podzemne vode

Izgradnja hidroelektrana Varaždin i Čakovec prouzrokovala je promjene u režimu tečenja podzemnih voda na promatranom području. Taj utjecaj prikazan je na karti rasporeda potencijala podzemnih voda na slici 1.2./1. Punjenjem akumulacijskih jezera navedenih hidroelektrana uzrok je promjenama razine podzemne vode u odnosu na prvobitno stanje. Na uzvodnom području razina se podigla, dok se na nizvodnom spustila (Grdjan, D., 1989.). Granica između tih područja je između brane i strojarnice HE Varaždin. Opisane promjene u režimu tečenja podzemnih voda prouzrokovale su djelomičnu degradaciju kvalitete podzemne vode kroz duži niz godina (Grdjan, D., Durman, P., Kovačev-Marinčić, B., 1991.).

Na slici je također razvidan utjecaj crpilišta Varaždin, koje je tada znatno odskakalo po kapacitetu od ostalih crpilišta promatranog područja. Naime, uslijed crpljenja vode oko crpilišta stvara se tzv. hidraulički lijevjak. To je nagib piezometarske razine podzemne vode, koji nastaje uslijed pada potencijala oko bunara, odnosno gubitka mehaničke energije fluida zbog otpora trenja. Razina podzemne vode je strmija kada je propusnost mala ili kada je protok veliki (slika 1.2./2). Kao što je razvidno sa slike, uslijed stvaranja hidrauličkog lijevka na crpilištu dolazi do prihranjivanja bunara podzemnom vodom i uzvodno i nizvodno s obzirom na njezin tok.



Slika 1.2./1 Karta rasporeda potencijala rasporeda podzemnih voda
 (preuzeto iz: Urumović, K., Hlevnjak, B., Prelogović, E., Mayer, D., 1990.).
 Legenda: 1. Razina podzemne vode, 2. Smjer toka podzemne vode, 3. Crpilište



Slika 1.2./2 Grafički prikaz hidrauličkog lijevka
(preuzeto iz: <http://groundwater.orst.edu>)

2. HIPOTEZA

Kvaliteta podzemne vode u pravilu je ujednačena na svim promatranim crpilištima osim u pogledu koncentracije nitrata, koja bitno varira od lokacije do lokacije (Kovač, I., 2000.). Na crpilištu *Varaždin* koncentracija je najveća i redovito prelazi MDK, zbog čega je to crpilište danas praktički izvan funkcije.

Voda crpljena na crpilištima *Bartolovec* i *Vinokovščak* zadovoljava sve parametre kvalitete. Samim time, i koncentracija nitrata je unutar dozvoljenih granica. Međutim, na crpilištu *Vinokovščak* posljednjih godina prisutan je uzlazni trend promatranog parametra.

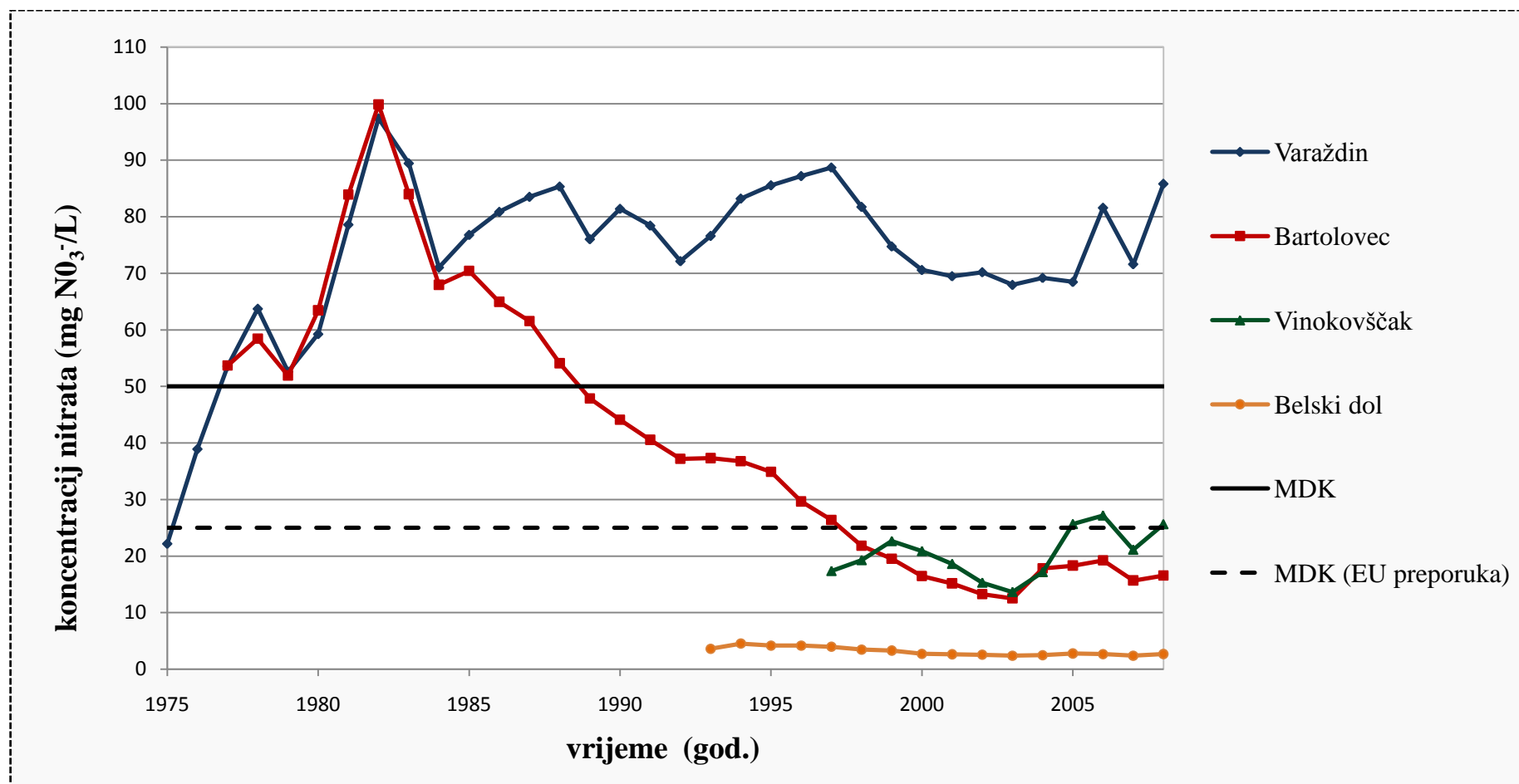
2.1. Vremenski nizovi godišnjih prosjeka koncentracije nitrata

Koncentracija nitrata bitno varira u vremenu i prostoru. Kao što je već ranije navedeno (poglavlje 1.2.), izgradnja hidroelektrana Čakovec i Varaždin je utjecala na kvalitetu podzemne vode. Utjecaj ovih hidroelektrana, najjače je izražen kod koncentracije nitrata.

Naime, nakon puštanja u pogon HE Varaždin 1975. godine uzvodno se podigla razina podzemne vode. Samim time, nataloženi nitrati u tlu su se počeli ispirati, što je pridonijelo povećanju koncentracije (slika 2.1./1). Zastupljenost nitrata u podzemnoj vodi konstantno se povećava sve do 1982. godine, kada je napunjeno akumulacijsko jezero HE Čakovec i krivulje godišnjih prosjeka na crpilištima *Varaždin* i *Bartolovec* tada dosežu maksimume.

Nakon toga, koncentracija nitrata na crpilištima se smanjuje pa se tako na crpilištu *Bartolovec* bilježi konstantan pad, što znači da prvobitan utjecaj HE Varaždin i HE Čakovec slabi, da bi u konačnici danas i potpuno nestao.

Međutim, kao što je razvidno sa slike 2.1./1 trend pada kod crpilišta *Varaždin* relativno je kratkog vijeka. Razlog tome je pojava novog izvora zagađenja podzemne vode koji ima dominantan utjecaj, prvenstveno na koncentraciju nitrata. Godišnji prosjeci koncentracija nitrata na crpilištu *Varaždin* od 1984. godine kreću se, uz godišnje oscilacije, u intervalu od 65 do 90 mg NO₃⁻/L, što je više od MDK (Kovač, I., 2004.).



Slika 2.1./1 Krivulje godišnjih prosjeka konc. nitrata po crpilištima

Koncentracija nitrata na crpilištu *Bartolovec* je zadovoljavajuća i najmanja je u odnosu na ostala dva promatrana crpilišta. Također, vrijednosti koncentracija nitrata na tom crpilištu su manje i u odnosu na preporuku Europske Unije.

Isto tako, koncentracija nitrata na crpilištu *Vinokovščak* je unutar dozvoljenih granica. Međutim, posljednjih godina prisutan je uzlazni trend te su vrijednosti iste pojedinih godina veće od preporuke Europske unije. Kako je na promatranom području visoka koncentracija nitrata u vodi za piće dugi niz godina predstavljala ozbiljan problem, potrebno je istražiti uzrok ove pojave te spriječiti daljnju degradaciju kvalitete vode u tom pogledu.

Voda uzorkovana na izvoru *Belski dol* sadrži najmanju koncentraciju nitrata, što je i razumljivo, jer na toj lokaciji nisu locirani nikakvi zagađivači.

2.2. Čimbenici koji utječu na koncentraciju nitrata

Na promatranom području postoji nekoliko važnih čimbenika koji utječu na koncentraciju nitrata u podzemnoj vodi, a to su:

- mineralna gnojiva,
- groblje,
- kanalizacija,
- peradarske farme.

2.2.1. Mineralna gnojiva

Grad Varaždin smješten je u ravničarskom kraju, vrlo pogodnim za poljodjelske radove, a u okolini grada smještena su brojna naselja. Iz tih razloga grad je svih strana okružen obradivim poljoprivrednim površinama. Lokacije crpilišta su ili izvan grada (*Bartolovec*, *Vinokovščak*) ili na rubnom dijelu grada (*Varaždin*), tako da ni ona nisu izuzetak što se tiče okruženosti obradivim poljoprivrednim površinama (slika 4./1).

Radi boljeg i većeg prinosa, usjevi se tretiraju mineralnim gnojivima. Kako je Varaždinski vodonosnik izgrađen uglavnom od šljunaka i pijeska, nitrati kojima se tretiraju usjevi, vrlo lako i brzo dospijevaju u podzemne vode. Naravno da, u određenoj mjeri ti nitrati završavaju u vodi koja se crpi na vodocrpilištima te pridonose ukupnoj koncentraciji.

Kao glavni razlog visoke koncentracije nitrata na crpilištu *Varaždin* isticana je upravo primjena mineralnih gnojiva (Gjetvaj, G., 1993.). Međutim, ako se usporede lokacije na kojima se nalaze crpilišta razvidno je da se u blizini svih lokacija nalaze poljoprivredne

površine, i to u približno jednakom obimu. Kada bi primjena mineralnih gnojiva bila uzrokom tako visoke koncentracije nitrata na crpilištu *Varaždin*, tada bi i na ostalim crpilištima koncentracija tog parametra bila daleko viša. Iz tog razloga, opravdano je pretpostaviti da navedeni problem nije dominantan čimbenik u pogledu zasićenosti podzemne vode nitratima na crpilištu *Varaždin*, što će dokazati naredne analize.

2.2.2. Groblje

Uz samo crpilište *Varaždin* smješteno je gradsko groblje. Svojom veličinom i blizinom, u određenoj mjeri, utječe na kvalitetu podzemne vode. U prijašnjim analizama isticana je velika uloga groblja na koncentraciju nitrata. Kada bi tome bilo tako, koncentracija nitrata bila bi daleko viša i na crpilištu *Bartolovec*, u čijoj je blizini smješteno lokalno groblje. Udaljenost crpilišta *Bartolovec* od groblja je otprilike jedan kilometar. Kako je koncentracija nitrata na tom crpilištu najmanja u odnosu na ostale promatrane lokacije (čak je i manja u odnosu na istu crpilišta *Vinokovščak*, gdje u blizini nema ovakvog zagađivača), razvidno je da groblje nema dominantan utjecaj. Uz to, varaždinsko gradsko groblje se na ovoj lokaciji nalazi preko sto godina, a koncentracija nitrata ranih 70-tih godina, od kada postoje analize kakvoće vode, bila je zadovoljavajuća i ispod MDK.

Osim toga, analize provedene u ovom radu pokazale su da je koncentracija nitrata na crpilištu *Varaždin* godimana najmanja na bunarima i piezometrima smještenima najbliže groblju. Stoga je razvidno da gradsko groblje nema dominantan utjecaj.

2.2.3. Kanalizacija

Osim utjecaja mineralnih gnojiva i groblja na zastupljenost nitrata u podzemnoj vodi, važno je spomenuti i utjecaj kanalizacije. Grad *Varaždin*, kao najveća urbana sredina u županiji ima uređenu sanitarnu mrežu. Međutim kako je ona izgrađena prije više desetaka godina upitno je njezino stanje. Naime, kanalizacijska mreža postavljena je otprilike kada i vodovodna mreža, a procjene govore da je poroznost gradske vodovodne mreže otprilike 40%. Razlog su stare i trošne cijevi. Na temelju toga opravdano je pretpostaviti da je poroznost kanalizacijske i vodovodne mreže slična. Stoga, utjecaj kanalizacije na zastupljenost nitrata u podzemnoj vodi crpilišta *Varaždin* je neosporan.

Stanje u pogledu kanalizacije u blizini crpilišta *Bartolovec* nije ništa bolje. Naime, stambeni i industrijski objekti u Bartolovcu i okolnim naseljima (Trnovec Bartolovečki, Zbelava, ...) većim dijelom nisu priključeni na kanalizacijsku mrežu, već koriste alternativne građevine za prikupljanje otpadnih voda, tj. sabirne jame. Iako ne postoje pouzdane procjene o trošnosti tih objekata, vrlo je vjerojatno da su mnogi od njih trošni. Samim time, u određenoj mjeri degradira se kvaliteta podzemne vode bartolovečkog područja. Naime, tek se u zadnjih četiri do pet godina počela izgrađivati kanalizacija. Nakon što se svi objekti priključe na nju, moguće je očekivati poboljšanje kvalitete podzemne vode na crpilištu Bartolovec.

U samoj blizini crpilišta *Vinokovščak* nema naselja, samim time nema ni sustava odvodnje otpadnih voda, kao ni alternativnih građevina za prikupljanje istih. Kada bi upravo ovaj faktor bio dominantan onečišćivač u pogledu zasićenosti nitratima, bilo bi realno očekivati da na je spomenutom crpilištu koncentracija nitrata najmanja, No, tome nije tako. Naredne analize će pokazati postojanje dominantnih lokalnih zagađivača i pokazat će se da kanalizacija kao ni sabirne jame nisu glavni izvor zagađenja nitratima.

2.2.4. Peradarske farme

U blizini svih crpilišta smještene su peradarske farme. Udaljenost farmi od crpilišta bitno varira od lokacije do lokacije i najmanja je kod crpilišta *Varaždin*, a najveća kod crpilišta *Bartolovec*, što je upravo obrnuto proporcionalno koncentraciji nitrata na tim crpilištima. Zbog toga je opravdano pretpostaviti da peradarske farme bitno utječu na kvalitetu podzemne vode vode.

2.3. Hipoteza

Neosporno je da svi navedeni čimbenici utječu na koncentraciju nitrata u podzemnoj vodi promatranog područja. Međutim, kako je koncentracija nitrata obrnuto proporcionalna udaljenosti peradarskih farma od crpilišta, opravdano je postaviti sljedeću hipotezu:

Peradarska farma ima dominantan utjecaj na koncentraciju nitrata u podzemnoj vodi na crpilištu ukoliko udaljenost nije dovoljna između peradarske farme i crpilišta.

Analize koje su provedene u ovom radu potvrditi će postavljenu hipotezu.

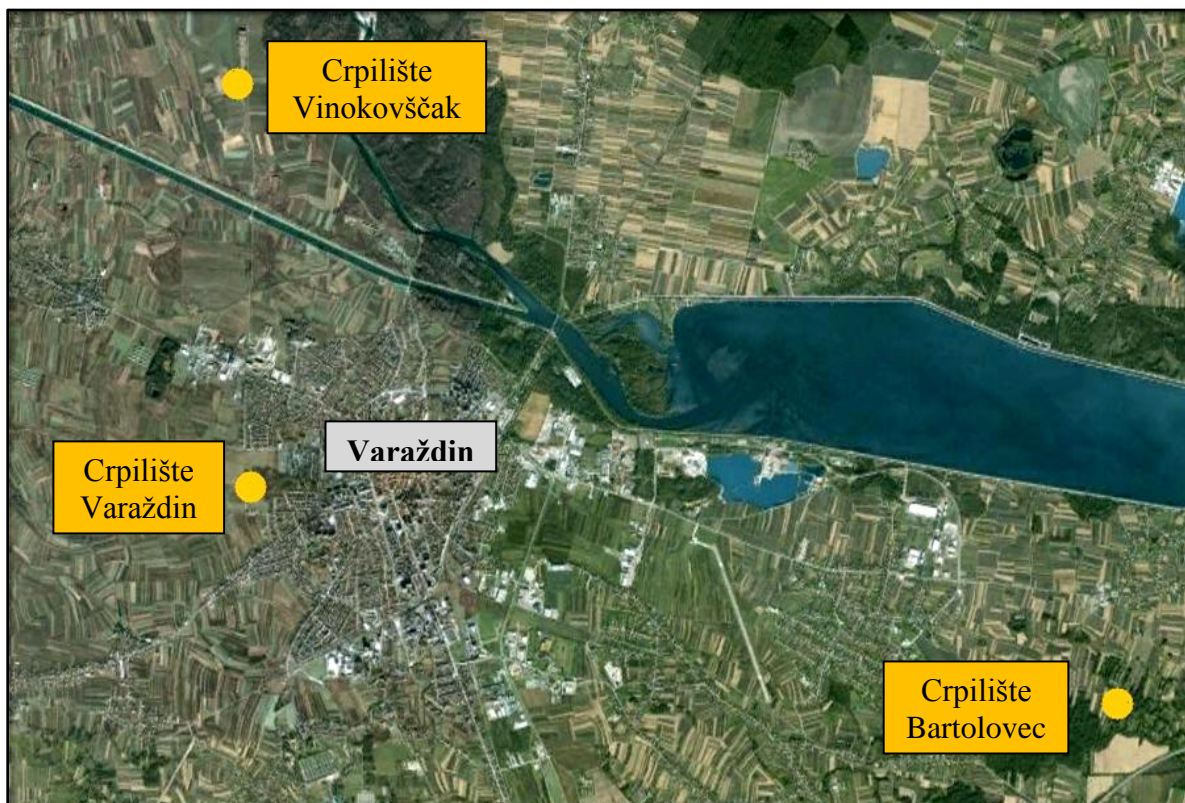
3. PLAN RADA

Obzirom na tematiku koja je opisana, rad se može podijeliti u nekoliko cjelina, a to su:

- a) definiranje teme i problematike,
- b) traženje literature,
- c) postavljanje hipoteze,
- d) analiza koncentracije nitrata po bunarima na crpilištima *Varaždin, Bartolovec i Vinokovščak*,
- e) izrada 2D modela distribucije koncentracije nitrata na crpilištu *Varaždin*,
- f) definiranje i lociranje dominantnih izvora zagađivača nitratima na promatranim lokacijama,
- g) izrada matematičkog modela utjecaja deponije otpada na koncentraciju nitrata na crpilištu *Varaždin*,
- h) kvantifikacija utjecaja deponije otpada na koncentraciju nitrata na crpilištu *Varaždin*,
- i) donošenje zaključaka s obzirom na hipotezu, rezultate i prijedlog mjera za smanjenje koncentracije nitrata.

4. REZULTATI I RASPRAVA

Podaci obrađeni u ovom radu dobiveni su analizom kemijskog sastava podzemne vode na crpilištima *Varaždin*, *Bartolovec* i *Vinokovščak* (slika 4./1). Analizu kemijskog sastava podzemne vode provodio je laboratorij unutar poduzeća *Varkom*.



Slika 4./1 Prostorni raspored crpilišta

U ovom poglavlju provedene su analize vremenskih nizova godišnjih prosjeka na bunarima na svakom crpilištu promatranog područja.

Izrađen je 2D model distribucije koncentracije nitrata na crpilištu *Varaždin* kako bi se dobio uvid u prostorno kretanje koncentracije nitrata unutar samog crpilišta. Na ostalim lokacijama nije moguća izrada 2D modela distribucije, iz razloga što na istima ne postoji dovoljan broj bunara, odnosno piezometara raspoređenih na crpilištu pa samim time model ne bi imao zadovoljavajuću točnost.

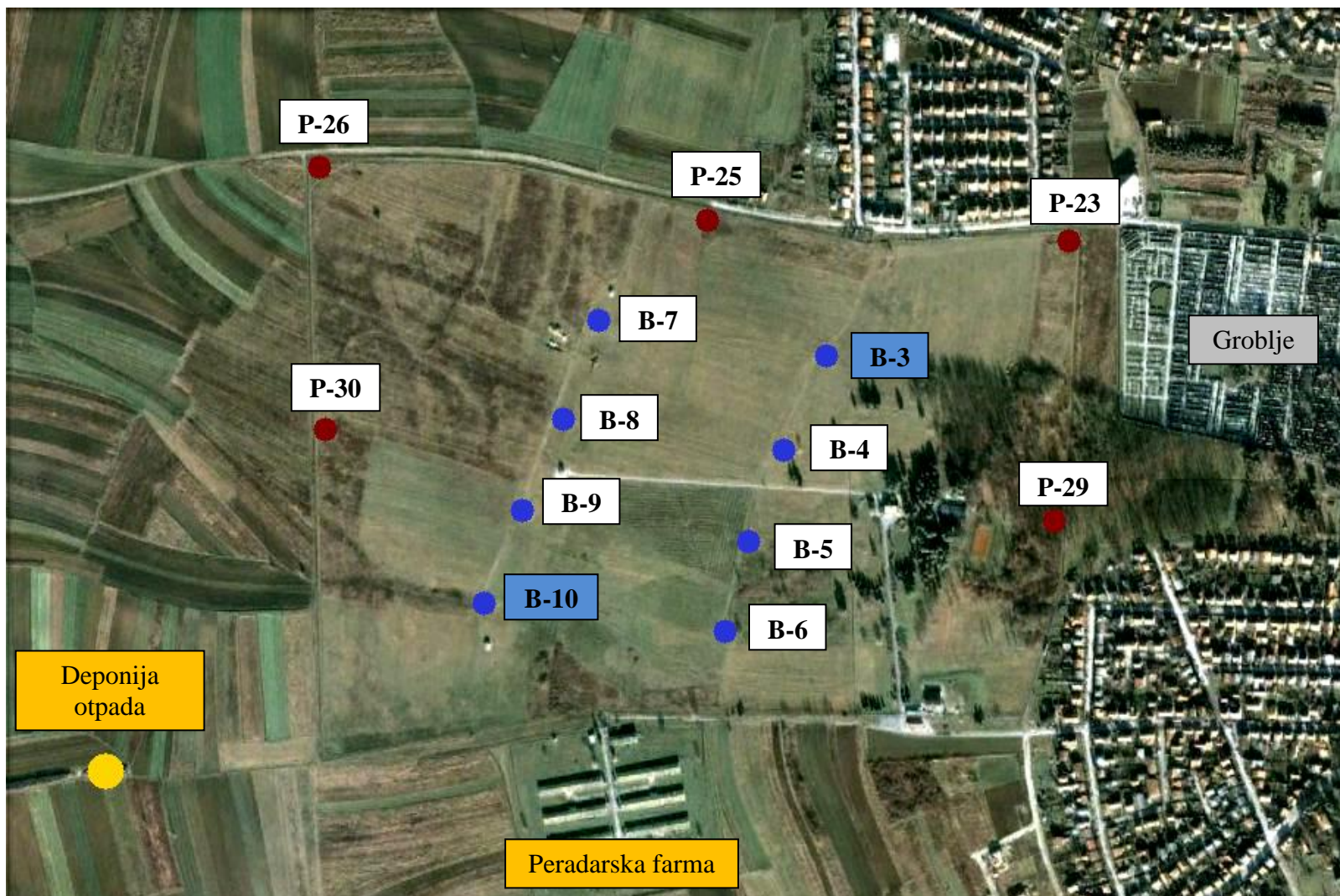
Da bi se kvantificirao utjecaj pojedinih zagađivača na crpilištu *Varaždin* pomoću Gauss-ove metode najmanjih kvadrata izrađen je matematički model kvantifikacije koji opisuje ovisnost koncentracije nitrata o udaljenosti od izvora zagađenja (Šošić, I., 2004.).

4.1. Crpilište Varaždin

Lokacija crpilišta *Varaždin* određena je 1958. godine prilikom početnih radova na izgradnji regionalnog vodovoda. Tom prilikom izvedena su tri kaptažna bunara čiji je ukupni kapacitet predviđen na 165 L/s. Početkom 1971. godine izvedena su još tri bunara pojedinačnog kapaciteta oko 100 L/s (B-3, B-4, B-5). Proširenjem vodoopskrbnog područja po čitavoj varaždinskoj županiji, došlo se do zaključka da je potrebno izraditi nove bunare, tako da je na crpilištu *Varaždin* u razdoblju od 1977.-1979. godine izbušeno još pet bunara (B-6, B-7, B-8, B-9, B-10) (slika 4.1./1).

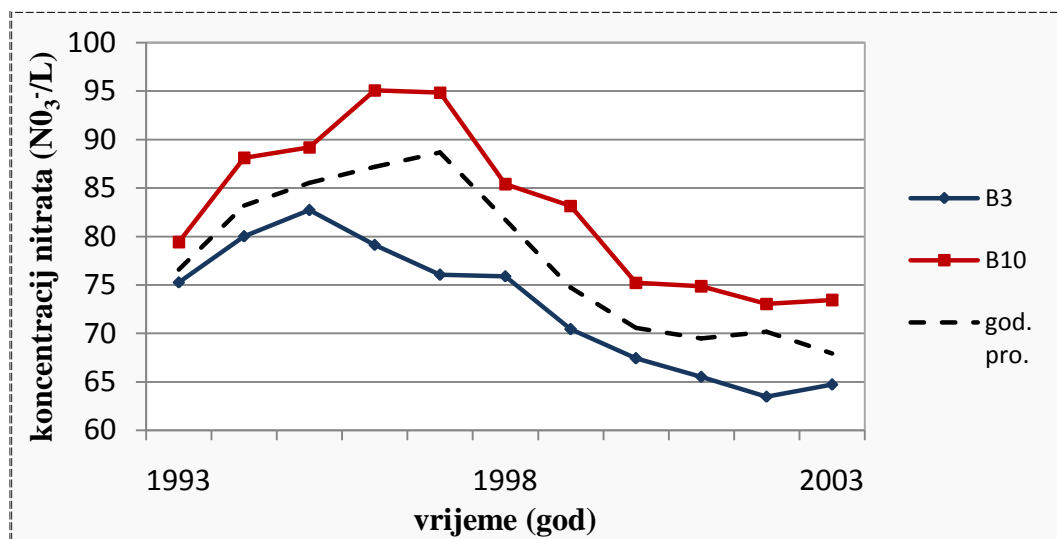
Crpilište *Varaždin* dugi niz godina imalo je glavnu ulogu u vodoopskrbnom sustavu na području grada *Varaždina* i okolice. Međutim, kvaliteta vode crpljena sa crpilišta dugi niz godina nije zadovoljavala kriterije propisane *Pravilnikom o zdravstvenoj ispravnosti vode za piće*. To se prvenstveno odnosi na koncentraciju nitrata koja je više od 30 godina veća od MDK. Kada se sagleda veličina i značaj te uložena sredstva u crpilište *Varaždin*, može se konstatirati da je ono neprocjenjivi gubitak velikih zaliha podzemne vode koja je nekad bila pitka u čitavoj regiji. Crpilište je projektirano za 900 L/s, što je zbog porasta koncentracije nitrata limitirano na 500 L/s, a to je količinski dovoljno za opskrbu svih korisnika regionalnog vodovoda *Varaždin* (Kovač, I., Horčička-Novotni, N., Šrajbek, M., 2010.)

Na slici 4.1./1 prikazan je prostorni raspored bunara na crpilištu. Također, sa slike je razvidna blizina peradarske farme, blizina groblja, stambenih objekata te blizina dominantnog izvora zagađenja nitratima, koje je utvrđeno u narednim analizama.

Slika 4.1./1 Satelitski snimak crpilišta *Varaždin*

4.1.1. Vremenski nizovi godišnjih prosjeka koncentracije nitrata na bunarima

Kako bi se dobio uvid u prostornu distribuciju koncentracije nitrata na crpilištu provedena je analiza vremenskih nizova aritmetičkih sredina na bunarima. Analiza je provedena u vremenskom intervalu od deset godina na način da su računane aritmetičke sredine bunara koji su prostorno najudaljeniji, odnosno najbliži pretpostavljenom izvoru zagađenja. Rezultati su prikazani grafički na slici 4.1.1./1.



Slika 4.1.1./1 Krivulje godišnjih prosjeka koncentracije nitrata na bunarima B-3 i B-10

Iz dijagrama godišnjih prosjeka koncentracije nitrata razvidno je da voda uzorkovana iz bunara B-3 dugi niz godina konstantno sadržava manju koncentraciju u odnosu na bunar B-10. Naime, bunar B-3 je najudaljeniji, dok je bunar B-10 najbliži peradarskoj farmi (slika 4.1./1). Krivulja godišnjih prosjeka koncentracije za čitavo crpilište u promatranom periodu konstantno je između godišnjih prosjeka bunara B-3 i B-10, što ukazuje na pravilno smanjenje koncentracije s obzirom na udaljenost od izvora zagađenja.

Tijekom cijelog promatranog razdoblja krivulje koje predstavljaju godišnje prosjeke koncentracije nitrata na bunarima su usklađene. Dakle, kako raste koncentracija na jednom bunaru, tako raste na drugom i obrnuto. Naravno, ovisno s udaljenosti od izvora zagađenja. Usklađenost krivulja ujedno znači da je svaki bunar pod utjecajem jednog dominantnog zagađivača tijekom cijelog promatranog razdoblja.

4.1.2. Izrada 2D modela distribucije koncentracije nitrata i lociranje izvora zagađenja

Da bi se ustanovilo, odnosno potvrdilo postojanje dominantnog izvora zagađenja i istog lociralo u prostoru potrebno je provesti 2D model distribucije koncentracije nitrata. Podaci korišteni u ovoj analizi prikazani su u tablici 4.1.2./1 (kolona konc. nitrata), a dobiveni su izračunom prosjeka koncentracije nitrata za period od 15 godina. Model je izrađen u softverskom alatu Surfer 8.

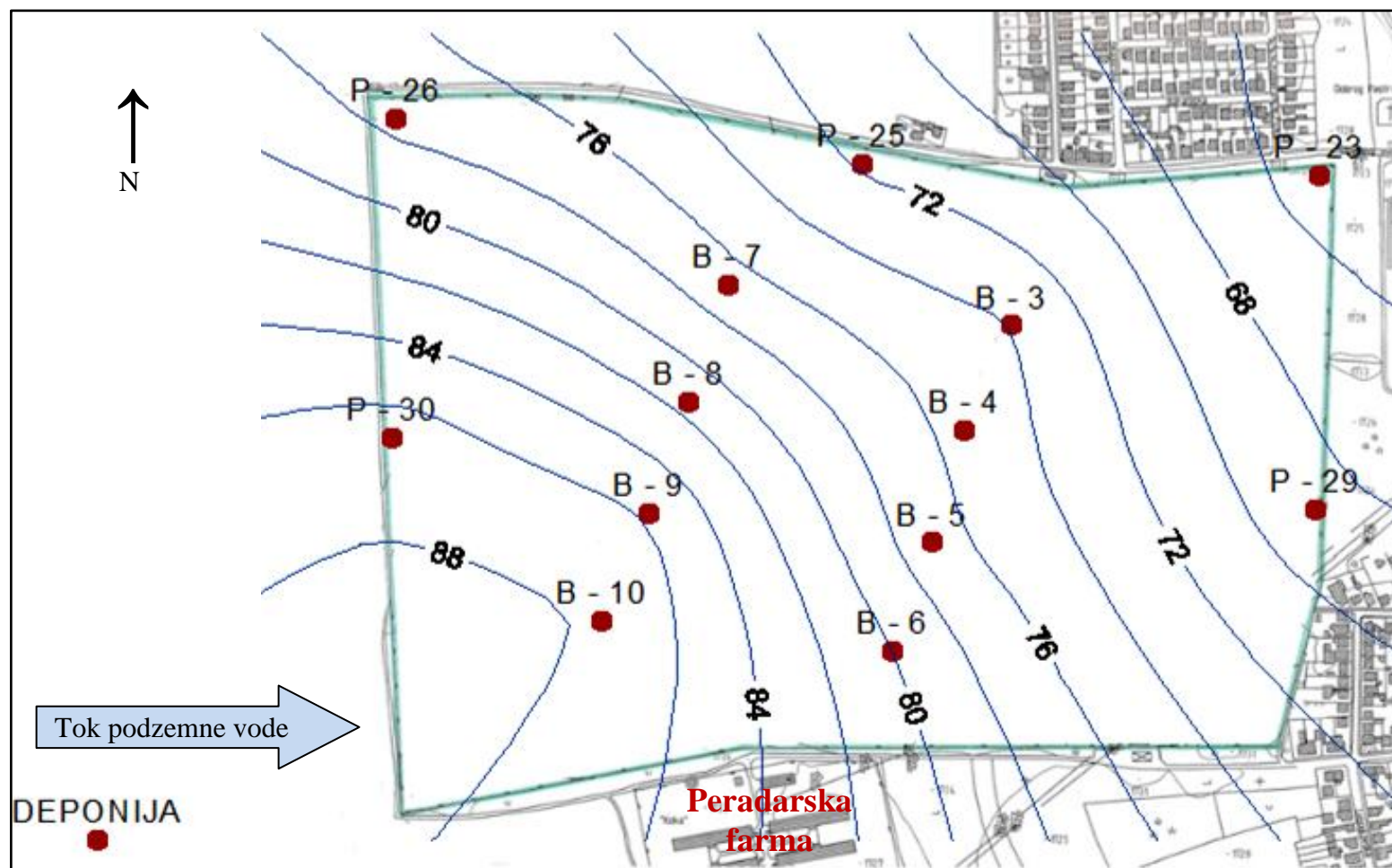
Kao što je razvidno sa slike 4.1.2./1 koncentracija nitrata u podzemnoj vodi smanjuje se u koncentričnim kružnicama u smjeru jugozapad-sjeveroistok. Ovo smanjenje koncentracije u prostoru navodi na zaključak o dominantnom izvoru nitrata jugozapadno od crpilišta.

Pretpostavka o dominantnom izvoru zagađenja podzemne vode nitratima ovim modelom pokazala se točnom. Međutim, pretpostavka da je upravo lokacija peradarske farme izvor zagađenja nitratima nije u potpunosti ispravna. Na karti 2D modela distribucije koncentracije nitrata vidljivo je da se peradarska farma nalazi južno od crpilišta, dok bi se izvor zagađenja trebao nalaziti jugozapadno, dakle zapadnije od farme.

Odlaskom na teren ustanovljen je dominantan zagađivač i njegova lokacija. Naime, jugozapadno od crpilišta, u smjeru rasta koncentracije nitrata, nalazi se deponija peradarskih fekalija (slika 4.1.2./2). Kako se deponija nalazi svega par stotina metara od crpilišta, a koncentracija nitrata pada u koncentričnim kružnicama oko deponije i to relativno brzo u prostoru, evidentno je da je ono glavni izvor zagađenja podzemne vode nitratima.

Važno je napomenuti da locirana deponija peradarskih fekalija nema uporabnu, ni građevinsku dozvolu, stoga se ista može definirati kao divlje odlagalište otpada. U blizini crpilišta postoji niz peradarskih farmi, a kako su na deponiji isključivo odložene peradarske fekalije, opravdano je pretpostaviti da otpad nastaje upravo na tim farmama. Međutim, ova informacije nije provjerena, odnosno potvrđena od strane vlasnika farmi.

U Republici Hrvatskoj provodi se zaštita podzemnih voda unutar priljevnih područja crpilišta. Zaštitne zone moraju biti toliko prostrane da omoguće da se koncentracija zagađivala tijekom njegovog putovanja od izvora zagađenja do vodozahvatnog objekta smanji procesom hidrodinamičke disperzije ispod maksimalne dozvoljene koncentracije za pitku vodu (Biondić, B., 2010.). Prema *Pravilniku o utvrđivanju zona sanitarne zaštite izvorišta* (N.N. 55/02) locirana deponija otpada u blizini crpilišta Varaždin nalazi se u tzv. drugoj zoni sanitarne zaštite, odnosno zoni strogog ograničenja. Kako je propisano u pravilniku, u ovoj zoni zabranjeno je formiranje bilo kakve deponije otpada.



Slika 4.1.2./1 2D prikaz distribucije konc. nitrata na crpilištu Varaždin



Slika 4.1.2./2. Fotografija divlje deponije otpada u blizini crpilišta *Varaždin*

Na terenu su obavljena geodetska mjerenja GPS uređajem deponije otpada te su iste uspoređene sa geodetskim koordinatama bunara i piezometara. Na taj način je dobivena prostorna udaljenost svakog bunara, odnosno piezometra od deponije otpada. Te su vrijednosti navedene u tablici 4.1.2./1.

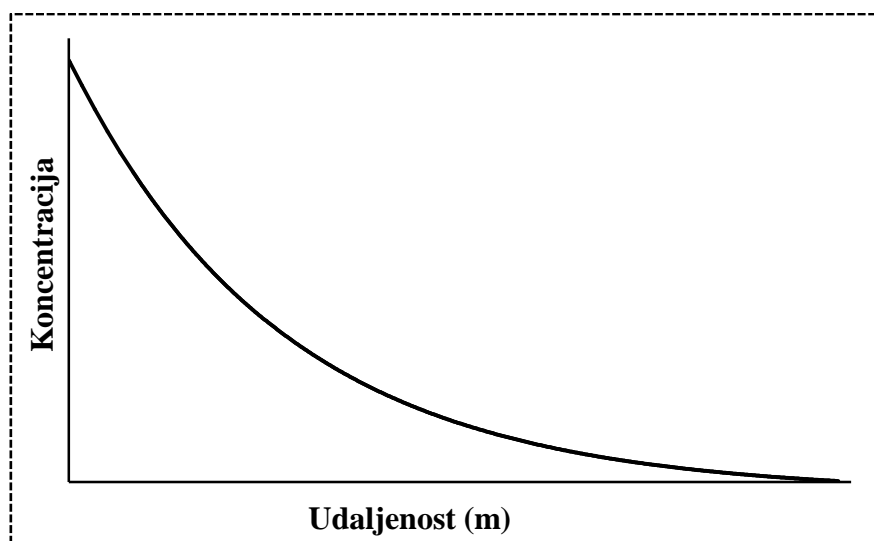
Tablica 4.1.2./1 Aritmetičke sredine koncentracije nitrata za promatrano razdoblje na bunarima i njihove udaljenosti od deponije

	Konc. nitrata (mg NO₃/L)	Udaljenost od deponije (m)
B - 3	74,14	1135,29
B - 4	75,35	1033,47
B - 5	76,70	953,62
B - 6	80,04	876,75
B - 7	76,71	916,41
B - 8	81,42	798,99
B - 9	85,92	692,84
B - 10	87,80	592,93
P - 23	65,03	1503,73
P - 25	71,67	1114,47
P - 26	77,40	866,64
P - 29	68,62	1354,22
P - 30	87,00	548,57

Sustavnim monitoringom od nekoliko mjeseci utvrđeno je da se sa deponije konstantno dio otpada odvozi, ali se konstantno na isto mjesto dovozi novi otpad. Kada tome ne bi bilo tako, koncentracija nitrata bi se s vremenom smanjivala, dok izvor ne bi potpuno izgubio utjecaj. No, činjenica da se deponija konstantno prihranjuje novim otpadom upravo pokazuje zašto je koncentracija nitrata već dugi niz godina toliko visoka.

4.1.3. Izrada matematičkog modela utjecaja deponije otpada na koncentraciju nitrata

Slika 4.1.3./1 prikazuje pronos zagađenja kroz fluid, ako je izvor zagađenja koncentrirani. U tom slučaju, zagađenje se širi u koncentričnim kružnicama oko izvora, s time da koncentracija u prostoru pada eksponencijalno. Samim time linija na grafu koji prikazuje ovisnost koncentracije o udaljenosti je eksponencijalno padajuća te se asimptotski približava apscisi (Nazaroff, W., Alvarez-Cohen, L., 2001.). Izvor zagađenja najviše djeluje u svojoj okolini, dok s udaljenošću opada te nakon određene udaljenosti u potpunosti gubi utjecaj.

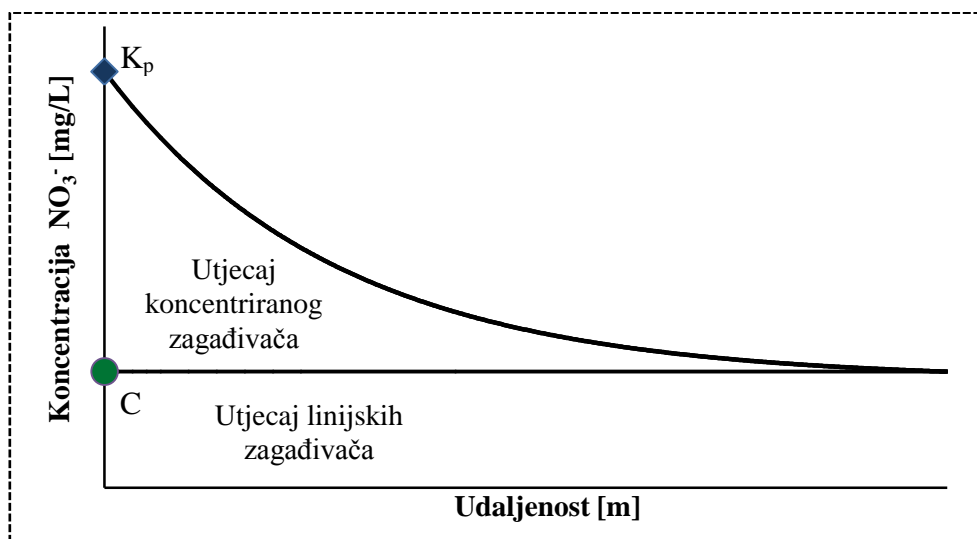


Slika 4.1.3./1 Dijagram ovisnosti koncentracije zagađivača o udaljenosti od koncentriranog izvora zagađenja (prema Nazaroff, W., Alvarez-Cohen, L., 2001.)

Kako je na crpilištu *Varaždin* utvrđen dominantan koncentrirani izvor zagađenja, opisani prijenos zagađivača kroz fluid bio je polazna osnova za izradu matematičkog modela.

No, na koncentraciju nitrata u podzemnoj vodi koja se eksploatira na crpilištu ne utječe samo dominantan izvor zagađenja. Ostali čimbenici koji utječu na istu navedeni su u poglavlju 2.2. te su uzeti u obzir kod izrade ovog modela. Osim toga, u podzemnoj vodi postoji udio nitrata čiji izvori nisu antropogeni. Na slici 4.1.3./2 prikazan je dijagram zasićenosti

podzemne vode nitratima s obzirom na dominantan izvor, ostale zagađivače i nitrate prirodnog porijekla.



Slika 4.1.3./2 Dijagram ovisnosti koncentracije nitrata na crpilištu Varaždin o udaljenosti od deponije

Koncentracija nitrata u prostoru opada eksponencijalno s udaljenošću od početne vrijednosti K_p koja predstavlja koncentraciju nitrata u podzemnoj vodi uz samu deponiju. Krivulja koja predstavlja ovisnost koncentracije nitrata asimptotski se približava nekoj određenoj vrijednosti C , koja predstavlja udio nitrata iz linijskih zagađivača (mineralna gnojiva, kanalizacija, groblje i nitrati prirodnog porijekla). Utjecaj tih zagađivača također opada s udaljenošću, ali daleko sporije te se na području čitavog crpilišta može smatrati konstantnim.

S obzirom da koncentrirani izvor eksponencijalno gubi utjecaj s udaljenošću pretpostavljeno je da je ovisnost koncentracije nitrata o udaljenosti od deponije određena izrazom:

$$K_i = \frac{K_p - C}{e^{\lambda d_i}} + C \quad (1)$$

gdje je: K_i – koncentracija nitrata na i -tom bunaru, odnosno piezometru,
 K_p – početna koncentracija nitrata, tj. koncentracija nitrata u podzemnoj vodi uz sam izvor zagađenja (deponija otpada)

C - koncentracija nitrata iz ostalih izvora,

λ - korekcijska konstanta,

d_i - udaljenost i -tog bunara, odnosno piezometra od izvora zagađenja,

e - baza prirodnog logaritma.

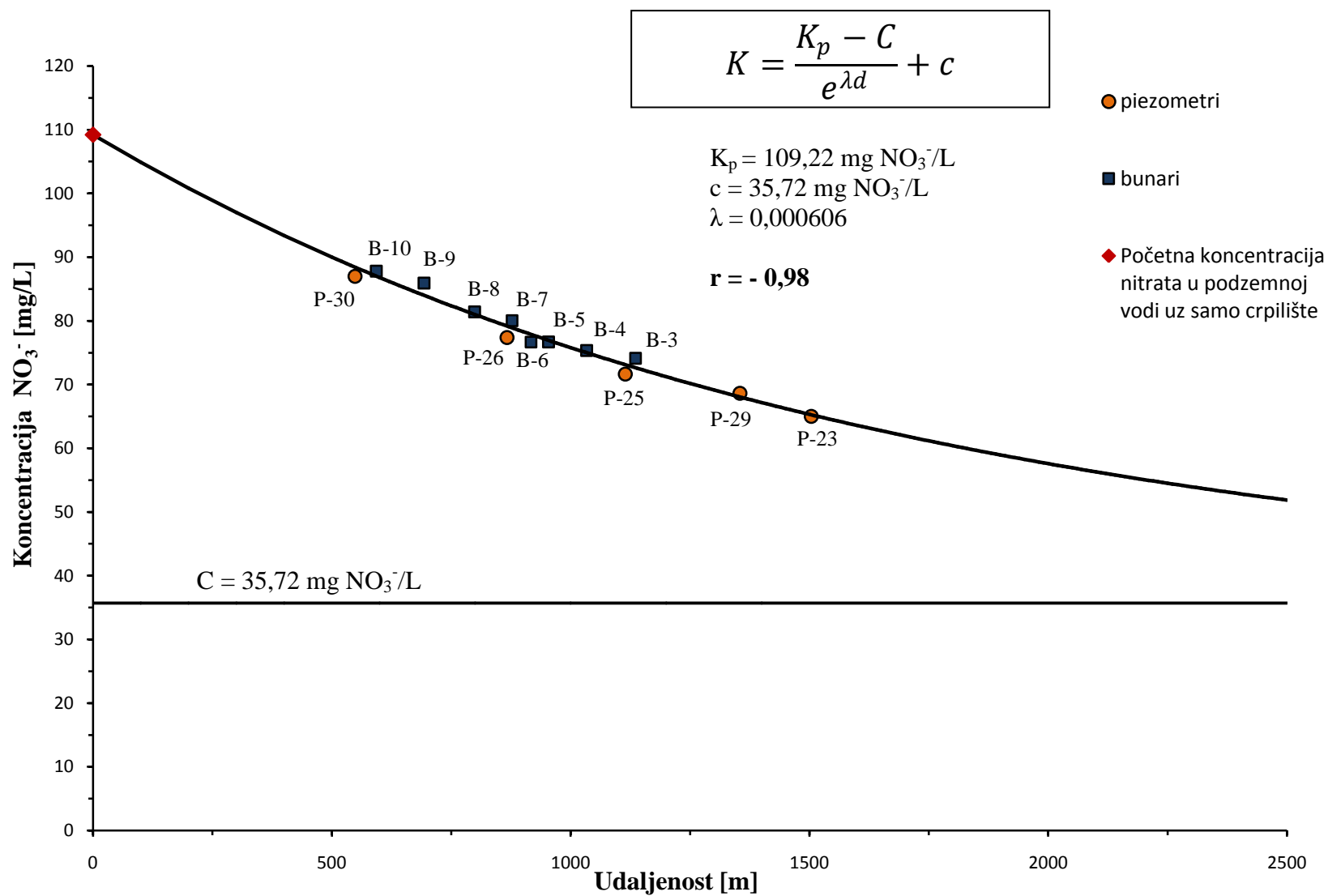
Da bi se provjerila navedena pretpostavka, vrijednosti udaljenosti između deponije do bunara i piezometara te pripadne koncentracije nitrata (tablica 4.1.2./1) unesene su u dijagrame disperzije (slika 4.1.3./3). Svaka točka u tom dijagramu predstavlja uređeni par vrijednosti udaljenost-koncentracija nitrata za svaki bunar i piezometar. Nakon toga, u zadane točke uklopljena je krivulja regresije. Parametri krivulje K_p , C i λ određeni su Gauss-ovom metodom najmanjih kvadrata. U tu svrhu korišten je software-ski alat LSM24, koji je u izrađen u Institutu za fiziku na Tehnološkom sveučilištu Rzesow u Poljskoj. Dobiveni su sljedeći rezultati:

$$\begin{aligned} K_p &= 109,22 \text{ mg NO}_3^-/\text{L} \\ c &= 35,72 \text{ mg NO}_3^-/\text{L} \\ \lambda &= 0,000606 \end{aligned} \quad (2)$$

Dakle, početna koncentracija nitrata K_p iznosi 109,22 mg NO_3^-/L , dok udio nitrata iz linearnih zagađivača C iznosi 35,72 mg NO_3^-/L . Korekcijski faktor λ s kojim su odstupanja najmanja iznosi $6,06 \cdot 10^{-4}$.

Uklopljena krivulja regresije dobro aproksimira zadane točke u dijagramu disperzije. Odstupanja krivulje od zadanih točaka su vrlo mala, što potvrđuje da matematički model dobro opisuje ovisnost koncentracije nitrata o udaljenosti od deponije. Vrijednost koeficijenta korelacije r je vrlo visoka i iznosi -0,98, što potvrđuje gotovo funkcionalnu povezanost između koncentracije nitrata i udaljenosti od deponije. Negativan predznak je logičan s obzirom da koncentracije nitrata opada s udaljenošću.

Kako bi se ustanovila točnost provedenog postupka, dobivene vrijednosti koncentracije nitrata uspoređene su sa vrijednostima iz tablice 4.1.2./1 za svaki bunar i piezometar (tablica 4.1.3/1). Kao što je razvidno iz tablice, odstupanja su mala, stoga se vrijednosti dobivene fitovanjem krivulje najmanjih kvadrata mogu smatrati dovoljno točnima.



Slika 4.1.4./3 Dijagram disperzije udaljenost-koncentracija nitrata

Tablica 4.1.3/1 Izmjerene i izračunate koncentracije nitrata

Bunar/piezometar	Izmjerena konc. (mg NO ₃ -/L)	Izračunata konc. (mg NO ₃ -/L)	Odstupanje (mg NO ₃ -/L)	Odstupanje (%)
B - 3	74,14	72,66	1,48	2,00
B - 4	75,35	75,01	0,34	0,45
B - 5	76,70	76,96	0,26	0,34
B - 6	80,04	78,93	1,11	1,39
B - 7	76,71	77,90	1,19	1,55
B - 8	81,42	81,01	0,41	0,50
B - 9	85,92	84,02	1,90	2,21
B - 10	87,80	87,03	0,77	0,87
P - 23	65,03	65,27	0,24	0,37
P - 25	71,67	73,13	1,46	2,04
P - 26	77,40	79,19	1,79	2,31
P - 29	68,62	68,07	0,55	0,80
P - 30	87,00	88,43	1,43	1,64

4.1.4. Kvantificiranje utjecaja deponije otpada na koncentraciju nitrata

Pomoću opisanog matematičkog modela moguće je dovoljno točno i pouzdano procijeniti utjecaje pojedinih zagađivača na koncentraciju nitrata u podzemnoj vodi. Da bi se procijenila prosječna koncentracija nitrata na crpilištu Varaždin iz podataka navedenih u tablici 4.1.2./1 izračunata je prosječna udaljenost (\bar{d}):

$$\bar{d} = \frac{\sum_{i=1}^N d_i}{N_i} = 952,92 \text{ m} \quad (3)$$

koja je sa vrijednostima za K_p , C i λ (2) uvrštena u izraz (1):

$$\bar{K} = \frac{K_p - C}{e^{\lambda \bar{d}}} + C = \frac{109,22 - 35,72}{e^{0,000606 \cdot 952,92}} + 35,72 = 76,98 \text{ mgNO}_3^-/\text{L} \quad (4)$$

Na temelju rezultata iz izraza (4), kvantificiran je utjecaj divlje deponije peradarskih fekalija (K_d) (5):

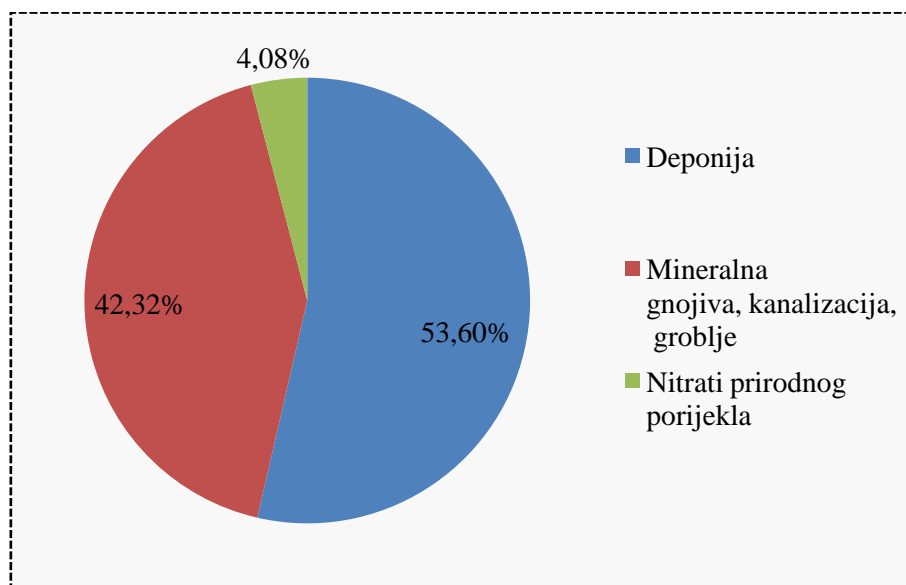
$$K_d = \bar{K} - C = 41,26 \text{ mg NO}_3^- / L \quad (5)$$

Rezultati kvantifikacije zagađivača na koncentraciju nitrata na crpilištu *Varaždin* prikazani su u tablici 4.1.4./1. Također, izrađen je i pripadni graf (slika 4.1.4./1.).

Udio nitrata prirodnog porijekla koji je dat u tablici dobiven je aritmetičkom sredinom godišnjih prosjeka koncentracije nitrata na izvorištu *Belski dol* u vremenskom razdoblju od 15 godina. Ovaj postupak je opravdan iz razloga što na toj lokaciji nisu utvrđeni antropogeni zagađivači podzemne vode.

Tablica 4.1.4./1 Kvantifikacija zagađivača

ČIMBENIK	Konc. nitrata (mg NO ₃ ⁻ /L)	%
Deponija	41,26	53,60
Mineralna gnojiva, kanalizacija, groblje	32,58	42,32
Nitrati prirodnog porijekla	3,14	4,08
UKUPNO	76,98	100



Slika 4.1.4./1 Grafički prikaz kvantifikacije zagađivača

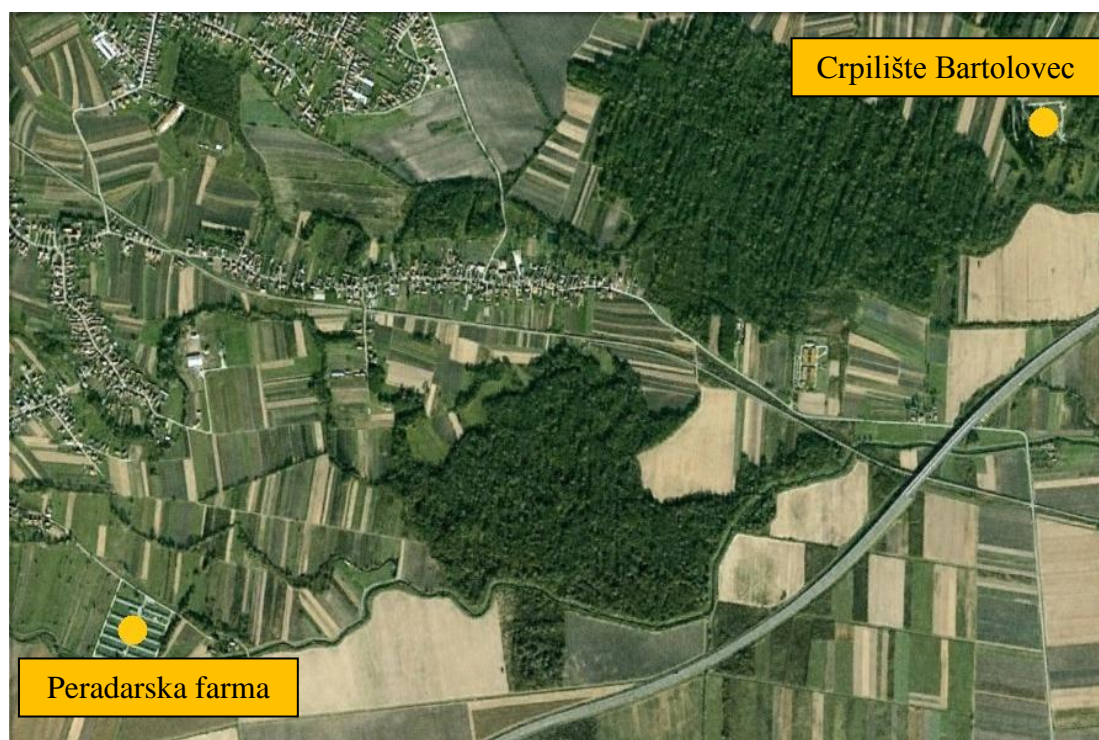
Iz grafa je razvidno da dosadašnje pretpostavke o dominantnom utjecaju poljoprivrednih površina na koncentraciju nitrata nisu točne. Naime, rezultati ove analize pokazuju da je dominantan izvor zagađenja nitratima divlja deponija peradarskih fekalija. Kao što je

razvidno ona ukupnoj koncentraciji nitrata pridonosi sa 41,26 mg NO₃⁻/L ili 53,60 %, dok mineralna gnojiva, kanalizacija, groblje te eventualno ostali faktori pridonose sa 32,58 mg NO₃⁻/L ili 42,32%. Udio koji predstavlja nitrata prirodnog porijekla je 3,14 mg NO₃⁻/L ili 4,08%.

Dobiveni rezultati potvrđuju hipotezu da su peradarske farme dominantan izvor zagađenja nitratima u podzemnoj vodi na crpilištu Varaždin.

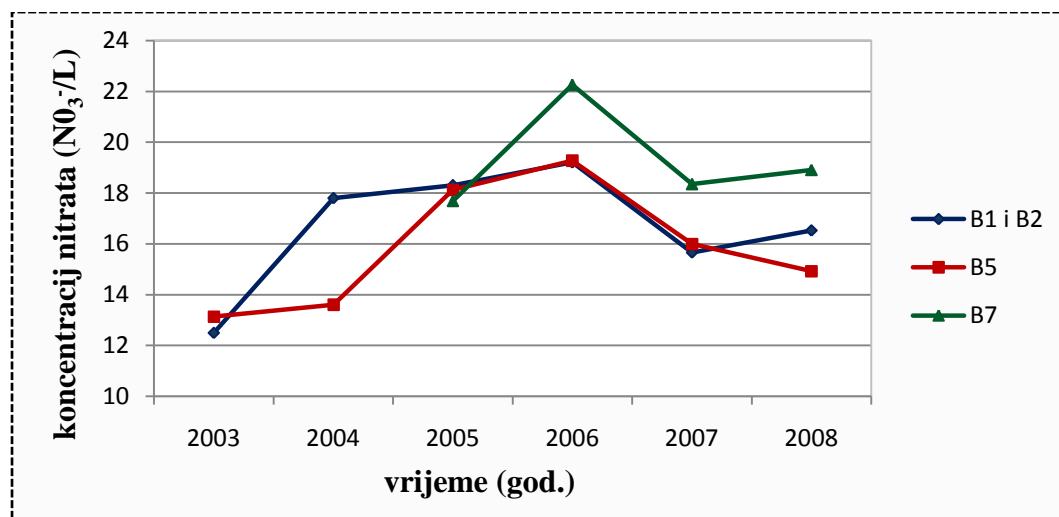
4.2. Crpilište Bartolovec

Crpilište *Bartolovec* nalazi se u blizini naselja Bartolovec, jugoistočno od grada Varaždina (slika 4./1). Crpilište je započelo s radom 1972. godine kada su u pogon puštena dva bunara. Postupnim smanjenjem količine vode u zahvatu na crpilištu *Varaždin*, crpilište *Bartolovec* postaje glavni izvor pitke vode u regiji. Današnji kapacitet crpilišta je 500 L/s. Koncentracija nitrata na ovoj lokaciji je zadovoljavajuća i iznosom najmanja u odnosu na sva promatrana crpilišta (Kovač, I., Mesec, J., Šrajbek, M, 2010.).



Slika 4.2./1 Satelitski snimak crpilišta *Bartolovec* i okolice

Provedena je analiza vremenskih nizova kako bi se dobio uvid u prostornu distribuciju koncentracije nitrata na crpilištu i uvid u eventualno postojanje lokalnog zagađivača nitratima. Kako je bunar B-5 pušten u pogon tek 2003. godine nije moguća usporedba prije te godine. Rezultati analize grafički su prikazani na slici 4.2./2.



Slika 4.2./2 Godišnji prosjeci koncentracija nitrata na crpilištu Bartolovec

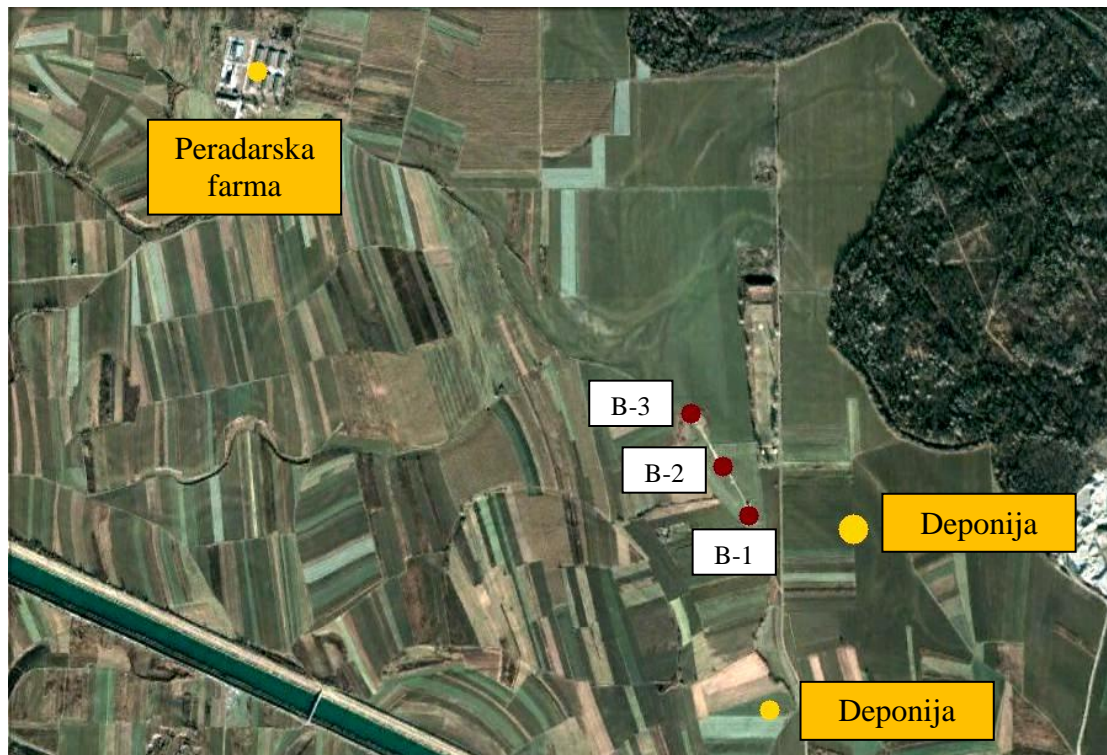
Obilaskom terena ustanovljeno je da u neposrednoj blizini crpilišta nema peradarskih farmi. Naime, najbliža farma je udaljena oko četiri kilometra (slika 4.2./1). Iz dijagrama godišnjih prosjeka koncentracije nitrata razvidno je da ne postoji pravilna distribucija koncentracije nitrata u prostoru, kao što je to slučaj na crpilištu *Varaždin*. Stoga je opravdano pretpostaviti da su peradarske farme, odnosno potencijalne deponije peradarskih fekalija na dovoljnoj udaljenosti i više nemaju primaran utjecaj na koncentraciju nitrata.

Krivulje godišnjih prosjeka se međusobno isprepliću tijekom vremena, što ukazuje da se dominantni izvori tijekom vremena mijenjaju. Obzirom da su na promatranj lokaciji poljoprivredne površine najbliže crpilištu, pretpostavka je da su mineralna gnojiva, kojima se tretiraju usjevi dominantni izvori onečišćenja nitratima. Međutim, da bi se potvrdila ova konstatacija neophodno je provesti detaljnija terenska istraživanja i mjerenja.

4.3. Crpilište Vinokovščak

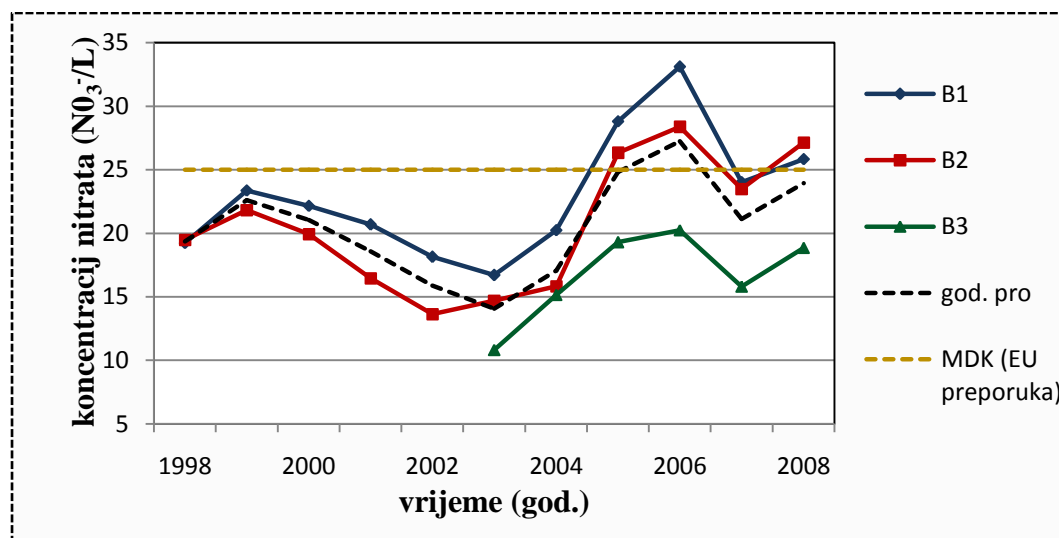
Kako voda eksploatirana na crpilištu *Varaždin* nije udovoljavala propisanim kriterijima kvalitete vode za piće, a da bi se gradu i okolnom području omogućila nesmetana vodoopskrba, javila se potreba za otvaranjem novog crpilišta. Crpilište *Vinokovščak*, smješteno sjeverozapadno od grada Varaždina, u prostoru između toka rijeke Drave i odvodnog kanala HE Varaždin (slika 4./1). Započinje s radom 1996. godine. Danas na crpilištu postoje tri bunara i ukupni kapacitet crpljenja je 150 L/s.

Koncentracija nitrata na crpilištu *Vinokovščak* je u granicama propisanih normi. Međutim, kao što je uočeno u poglavlju 2.1. trend promatranog parametra posljednjih godina je uzlazni. Sjeverozapadno od crpilišta, na udaljenosti manjoj od dva kilometra smještena je peradarska farma (slika 4.3./1). Na osnovi rezultata dobivenih na crpilištu *Varaždin*, opravdano je pretpostaviti da ova peradarska farma utječe na uzlazni trend koncentracije nitrata.



Slika 4.3./1 Satelitski snimak crpilišta *Vinokovščak* i okolice

Na osnovi pretpostavke o dominantnom izvoru zagađenja nitratima sa peradarske farme provedena je analiza vremenskih nizova aritmetičkih sredina. Rezultati analize daju uvid u prostornu distribuciju koncentracija nitrata te su grafički prikazani na slici 4.3./2.



Slika 4.3./2 Godišnji prosjeci koncentracije nitrata na crpilištu Vinokovščak

Iz dijagrama godišnjih prosjeka koncentracija nitrata po bunarima uočena je slična pojava kao i kod crpilišta *Varaždin*. Naime, krivulje koje predstavljaju godišnje prosjeke koncentracije bunara tijekom cijelog promatranog razdoblja su usklađene, tj. kako raste koncentracija nitrata na jednom, tako raste na drugom, odnosno trećem bunaru i obrnuto.

Isto tako, iz dijagrama je razvidno da je koncentracija nitrata tijekom cijelog promatranog razdoblja najveća na bunaru B-1, zatim na bunaru B-2, dok je najmanja na bunaru B-3. Stoga je opravdano pretpostaviti da u blizini crpilišta postoji dominantan lokalni zagađivač podzemne vode nitratima. Međutim, kako je koncentracija nitrata na bunarima proporcionalna sa udaljenošću od peradarske farme, jasno je da pretpostavka o lokaciji farme kao dominantnom izvor zagađenja nitratima nije točna. Naime, ona bi vrijedila kada bi koncentracija na bunarima padala sa udaljenošću od peradarske farme, što ovdje nije slučaj.

Obzirom da koncentracija na crpilištu pada u smjeru jugoistok-sjeverozapad, opravdano je pretpostaviti da je dominantan zagađivač jugoistočno u odnosu na promatrano crpilište. Kako bi se provjerila ova konstatacija običen je teren te su ustanovljeni mogući zagađivači podzemne vode. Naime, kao u slučaju kod crpilišta *Varaždin*, u neposrednoj blizini crpilišta *Vinokovščak* uočene su čak dvije deponije peradarskih fekalija (slike 4.3./3 i 4.3./4) čije su lokacije označene na slici 4.3./1. Isto tako, deponije nisu sanirane na adekvatan način, za njih ne postoji ni uporabna, ni građevinska dozvola te se obje mogu definirati kao divlje odlagalište otpada. Veća deponija nalazi se istočno od crpilišta na udaljenosti od otprilike 350 m od bunara B-1, dok se ona manja nalazi južno na udaljenosti od otprilike 600 m, također od bunara B-1.

Olakotna okolnost kod ovog slučaja je što su deponije smještene nizvodno od toka podzemne vode pa ne utječu u istoj mjeri kao ona na crpilištu *Varaždin*. Međutim, stvaranjem hidrauličkog lijevka koji nastaje uslijed crpljenja vode s bunara uzrokuje prihranjivanje bunara podzemnom vodom i nizvodno od crpilišta.

Kako je utvrđeni uzlazni trend promatranog parametra, opravdano je pretpostaviti da će u doglednoj budućnosti, ukoliko se deponija ne sanira i ukloni, koncentracije nitrata biti još i veće.

Izrada 2D modela na ovoj lokaciji u ovom trenutku nije moguća, jer na crpilištu ne postoji dovoljan broj bunara ili piezometara raspoređenih u prostoru s kojih bi se uzorkovala voda. Samim time, takav model ne bi dao zadovoljavajuće rezultate.



Slika 4.3./3. Fotografija veće deponije otpada u blizini crpilišta *Vinokovščak*



Slika 4.3./4. Fotografija manje deponije otpada u blizini crpilišta *Vinokovščak*

5. ZAKLJUČAK

Dominantni uzrok povišene koncentracije nitrata u podzemnoj vodi je neadekvatno odlaganje otpada iz peradarskih farmi, a ne primjena mineralnih gnojiva, kao što se to najčešće misli. Koncentracija nitrata na promatranim crpilištima obrnuto je proporcionalna udaljenosti od peradarske farme, odnosno deponije otpada. Navedeno potvrđuje hipotezu postavljenu u poglavlju 2.3. i ukazuje na opravdanost propisa kojim se zabranjuje deponiranje otpadnog materijala unutar vodozaštitnih zona (*Pravilnik o utvrđivanju zona sanitarne zaštite izvorišta*, N.N. 55/02).

2D model distribucije koncentracije nitrata je učinkovit u lociranju izvora zagađenja. Preduvjeti za učinkovitost tog modela su dovoljan broj bunara i piezometara iz kojih se uzorkuje podzemna voda te dovoljan broj rezultata mjerenja.

Matematički model dobro opisuje ovisnost koncentracije nitrata o udaljenosti od deponije o čemu svjedoči visoka vrijednost koeficijenta korelacije. Pomoću tog modela može se dovoljno točno kvantificirati utjecaj pojedinih zagađivača na koncentraciju nitrata u podzemnoj vodi.

U svrhu unaprijeđenja i spriječavanja daljnje degradacije kvalitete podzemne vode potrebno je poduzeti sljedeće:

- Ukloniti otpadni materijal peradarskih farmi iz vodozaštitnih zona
- Provesti remedijaciju tla na kojem je odložen otpadni materijal. Naime, nakon uklanjanja otpadnog materijala koncentracija nitrata će se određeno vrijeme zadržati na trenutnoj vrijednosti prije nego što počne postupno opadati. Da bi se taj proces uklanjanja koncentracije nitrata ubrzao, potrebno je tretirati tlo na području odlaganja otpadnog materijala.
- Povećati broj piezometara, što bi omogućilo bolje praćenje kvalitete podzemne vode i izradu 2D modela distribucije nitrata (i svih ostalih zagađivala) na svim crpilištima.

Ukoliko u Uvodu spomenute preporuke Europske Unije u pogledu kvalitete vode za piće stupe na snagu kao važeći, a s time i obvezujući propisi, navedene će mjere biti neophodne. Naime, koncentracija nitrata na crpilištu *Bartolovec* danas je otprilike 20 mg NO₃⁻/L, a na crpilištu *Vinokovšćak* 30 mg NO₃⁻/L i ispod su MDK. Međutim, preporuka Europske Unije je limitacija na 25 mg NO₃⁻/L u vodi za piće. Dakle, već je sada prekoračena ta vrijednost, što uz trend povećanja koncentracije nitrata na promatranim crpilištima ukazuje na ozbiljnost problema.

6. ZAHVALE

Zahvaljujem se svim djelatnicima Geotehničkog fakulteta koji su mi pomogli kod izrade ovog rada, a posebno mentoru doc.dr.sc. Ivanu Kovaču na ukazanom povjerenju, uloženom trudu i korisnim savjetima te strpljenju koje je pružio tijekom izrade ovog rada.

Zahvaljujem se djelatnicima poduzeća Varkom, posebno voditeljici laboratorija, gospođi Nikolini Horčička-Novotni, dipl. ing. na pomoći i suradnji te direktoru Varkoma gospodinu Tomislavu Kezelju, dipl. ing. na susretljivosti i razumijevanju.

Također, velika zahvala Damiru Oštrelu, dipl. ing. i Branku Novaku, dipl. ing. na posebnom doprinosu u izradi rada.

7. LITERATURA

1. Levačić, E. (1997.): Osnove geokemije vode, Geotehnički fakultet, Sveučilište u Zagrebu, Varaždin.
2. Novotni-Horčička, N. (2005.): Regionalni vodovod Varaždin – problem nitrata i njegovo rješavanje, IX. znanstveno stručni skup, Voda i javna vodoopskrba, Baška-otok Krk, Hrvatski javod za javno zdrastvo, Zagreb.
3. Grdjan, D. Kovač, I., Kovačev-Marinčić, B. (2006.): Utjecaj zagađivača na kvalitetu podzemne vode u Varaždinskoj županiji, Akademija tehničkih znanosti Hrvatske, Varaždin.
4. Urumović, K. (1991.): O kvartnom vodonosnom kompleksu na području Varaždina, Geološki vjesnik br. 24, Zagreb.
5. Urumović, K., Hlevnjak, B., Prelogović, E., Mayer, D. (1990.): Hidrogeološki uvjeti Varaždinskog vodonosnika, Geološki vjesnik br. 43, Zagreb.
6. Šrajbek, M. (2009.): Analiza podzemne vode na crpilištu Bartolovec – Završni rad, Geotehnički fakultet Varaždin, Sveučilište u Zagrebu, Varaždin.
7. Grdjan, D. (1989.): Utjecaj površinskih akumulacija na režim podzemnih voda (na primjeru akumulacija na rijeci Dravi) – Disertacija, Rudarsko-geološko-naftni fakultet, Sveučilište u Zagrebu, Zagreb.
8. Grdjan, D., Durman, P., Kovačev-Marinčić, B. (1991.): Odnos promjene režima i kvalitete podzemnih voda na crpilištima Varaždin i Bartolovec, Geološki vjesnik br. 44, Zagreb.
9. Kovač, I. (2000.): Analiza promjena zastupljenosti zagađivala u podzemnim vodama varaždinskog područja, Croatian Geotechnical Journal, Varaždin.
10. Kovač, I. (2004.): Statističko-variografska analiza kemijskog sastava podzemne vode varaždinske regije – Disertacija, Rudarsko-geološko-naftni fakultet, Sveučilište u Zagrebu, Zagreb.
11. Gjetvaj, G. (1993.): Identifikacija porijekla nitrata u podzemnim vodama Varaždinske regije, Hrvatske vode, Zagreb.
12. Šošić, I. (2004.): Primijenjena statistika, Školska knjiga, Sveučilište u Zagrebu, Zagreb.

13. Kovač, I., Nowotni-Horčička, N., Šrajbek, M. (2010.): Nitriti u regionalnom vodovodu Varaždin, XIV. znanstveno stručni skup, Voda i javna vodoopskrba, Baška-otok Krk, Hrvatski javod za javno zdrastvo, Zagreb.
14. Biondić, B. (2010.): Zaštita podzemnih voda, Geotehnički fakultet, Sveučilište u Zagrebu.
15. Nazaroff, W., Alvarez-Cohen, L. (2001.): Environmental Engineering Science
16. Kovač, I., Mesec, J., Šrajbek, M. (2010.): Korelacijska analiza kvalitete podzemne vode na crpilištu Bartolovec, XIV. znanstveno stručni skup, Voda i javna vodoopskrba, Baška-otok Krk Hrvatski javod za javno zdrastvo, Zagreb.
17. Groundwater Stewardship in Oregon, <http://groundwater.orst.edu>.

8. SAŽETAK

AUTOR: Marko Šrajbek

NASLOV RADA: Kvantificiranje utjecaja zagađivača na koncentraciju nitrata u podzemnoj vodi varaždinske regije

KLJUČNE RIJEČI: podzemna voda, vodoopskrba, koncentracija nitrata, kvantifikacija utjecaja zagađivača

Kvaliteta podzemne vode u varaždinskoj regiji sustavno se prati više od 30 godina. U ovom radu analiziran je parametar koncentracija nitrata iz razloga jer je visoka koncentracija tog parametra dugi niz godina predstavljala velik problem u vodoopskrbi promatrane regije.

Zastupljenost nitrata u podzemnoj vodi mijenja se u prostoru i vremenu. Na crpilištu Varaždin ista redovito prelazi maksimalnu dozvoljenu vrijednost propisanu *Pravilnikom o zdravstvenoj ispravnosti vode za piće* (NN 47/08), dok je na ostalim lokacijama u dozvoljenim granicama. Međutim, posljednjih godina uočen je uzlazni trend i na drugim lokacijama.

Analizom vremenskih nizova aritmetičkih sredina na bunarima i piezometrima obrađivani su podaci posebno za svaki bunar i piezometar. Na taj način utvrđeno je prostorno kretanje koncentracije nitrata na svakom crpilištu.

Izradom dvodimenzionalnog modela distribucije koncentracije nitrata definiran je dominantan izvor nitrata koji zagađuje podzemnu vodu te je isti lociran u prostoru. Također, izrađen je matematički model, na osnovi kojeg su kvantificirani utjecaji zagađivača na koncentraciju nitrata u podzemnoj vodi.

9. SUMMARY

AUTHOR: Marko Šrajbek

TITLE: Quantifying the influence of contaminants on the nitrate concentration in underground waters of Varaždin region

KEY WORDS: underground water, water supply, nitrate concentration, quantifying the influence of contaminants

The quality of underground water in Varaždin region has been systematically monitored for over 30 years. This work analyses the parameter of nitrate concentration because its high concentration has posed a considerable problem for the water supply of the observed region for many years.

The concentration of nitrates in underground water changes spatially and temporally. On water well Varaždin it regularly crosses the maximum prescribed values according to *Regulations on wholesomeness of drinking water* (NN 47/08), whereas on other locations it remains within limits. However, in the course of last several years a rising trend has been observed on other locations as well.

The data has been processed for each water well and piezometer by analysing temporal sequences of arithmetic means in water wells and piezometers. This way one has been able to determine the spatial movement of nitrate concentration on each well.

By making a two-dimensional model of spatial distribution of nitrate concentration, the dominant source of nitrate that contaminates underground water has been defined and located. Also, as a part of this project a mathematic model was made, based on which the effect nitrate contaminants in underground waters were determined.