



## **1 UVOD**

Od začetka marca leta 1998 do konca februarja 1999 smo v okviru pogodbe št. ZVO 10/98 izvajali monitoring kakovosti podtalnice in površinskih vodotokov na območju Mestne občine Ljubljana (MOL). Monitoring kakovosti podtalnice smo za naročnika Mestno Občino Ljubljana začeli izvajati že v letu 1997 [1], v letu 1998 pa smo zaradi slabše raziskanosti kakovosti manjših vodotokov na območju MOL začeli izvajati tudi monitoring kakovosti površinskih vodotokov.

Podtalnico Ljubljanskega polja smo vzorčevali na desetih različnih mestih 6 do 24 krat letno. Zajemna mesta so bila enaka kot v letu 1997. Pogostost vzorčevanja je bila večja na črpališčih Ljubljanskega vodovoda, predvsem na tistih zajemnih mestih, na katerih smo v okviru državnega monitoringa podtalnice ugotovili povišane vsebnosti kazalcev onesnaženja. Opazovana mesta so bila razporejena po vsem polju s podtalnico in so vključena tudi v državni monitoring.

Monitoring kakovosti površinskih vodotokov na območju Mestne občine Ljubljana je enako kot podtalnica dopolnitev državnega monitoringa. V program je bila vključena Ljubljanica in njeni pritoki. V prvo leto preiskav smo vključili osem zajemnih mest in širok spekter parametrov z namenom, da bi dobili podatke o kritičnih vrstah onesnaženja. V program smo vključili tudi analizo težkih kovin in organskih spojin v sedimentu. Velik poudarek je bil na bakterioloških analizah. Glavna kriterija za izbiro zajemnih mest sta bila:

- vpliv večjih onesnaževalcev, ki jih v okviru državnega monitoringa ne spremljamo;
- manjši vodotoki, ki niso vključeni v državni monitoring, se pa ljudje (predvsem otroci) v njih kopajo.

Poročilo o monitoringu kakovosti podtalnice in površinskih vodotokov na območju mestne občine Ljubljana v letu 1998/99 (v nadaljevanju Poročilo) vključuje vse rezultate analiz vzorcev podtalnice in površinskih vodotokov, odvzetih od začetka marca 1998 do konca februarja 1999. Zaradi bližine zajemnega mesta smo rezultatom površinskih vodotokov dodali tudi povprečno letno vrednost preiskovanih parametrov na zajemnem mestu Ljubljanica Livada, ki ga spremljamo v okviru državnega monitoringa. Vsi rezultati za navedeno obdobje so navedeni v tabelah, večina rezultatov je grafično ponazorjena v slikah.

## **2 PROGRAM PREISKAV**

### ***2.1 PROGRAM MONITORINGA KAKOVOSTI PODTALNICE LJUBLJANSKEGA POLJA***

Od začetka marca 1998 do konca februarja 1999 smo v okviru monitoringa kakovosti podtalnice in površinskih vodotokov na območju MOL podtalnico vzorčevali na petih črpališčih Ljubljanskega vodovoda, treh industrijskih vodnjakih in dveh vrtinah. V tabeli 1 so navedena zajemna mesta s koordinatami, številom vzorcev (obdobje začetek marca 1998 – konec februarja 1999) in načinom vzorčevanja. Karta z vrisanimi zajemnimi mesti za podtalnico na Ljubljanskem polju je v prilogi 1. Vsi datumi vzorčevanj so v prilogah 3 do 7 (tabele z rezultati).



**Obseg analiz podtalnice:**

**Osnovne fizikalno kemijske analize:** temperatura vode, pH vrednost, električna prevodnost, raztopljeni kisik, nasičenost s kisikom, kemijska potreba po kisiku - KPK (permanganatna metoda), amonij, nitrit, nitrat

**Skupinski parametri onesnaženja:** anionaktivni detergenti, mineralna olja, fenolne snovi in AOX

**Opomba:** Fenolne snovi smo analizirali samo za obdobje začetek septembra 1998 – konec februarja 1999.

**Kovine:** Cr, Ni, Pb, Zn, Hg

**Triazinski pesticidi:** atrazin, desetilatrazin, desizopropilatrazin, simazin, propazin, prometrin, cianazin, terbutilazin, terbutrin in bromacil

**Organoklorni pesticidi:** aldrin, DDT(p,p), DDE(p,p), DDD(o,p), TDE(p,p), dieldrin, endrin, hepraklor, heptaklorepoksid,  $\alpha$ -HCH,  $\beta$ -HCH,  $\gamma$ -HCH (lindan),  $\delta$ -HCH, heksaklorobenzen

**Lahkohlapni halogenirani ogljikovodiki:** triklorometan, tribromometan, bromdiklorometan, dibromoklorometan, trikloronitrometan, tetraklorometan, diklorometan, 1,1-dikloroetan, 1,2-dikloroetan, 1,1-dikloroeten, 1,2-dikloroeten, 1,1,2,2-tetrakloroeten, 1,1,2-trikloroeten, 1,1,1-trikloroetan, 1,1,2-trikloroetan, 1,1,2,2-tetrakloroetan, triklorofluorometan, difluorodiklorometan

**Bakteriološke analize:**

Skupne koliformne bakterije MPN /100 ml

Koliformne bakterije fekalnega izvora MPN / 100 ml

Aerobne mezofilne bakterije (22°C) CFU/1 ml

Aerobne mezofilne bakterije (37°C) CFU/1 ml

Streptokoki fekalnega izvora MPN / 100 ml

Sulfidreducirajoči klostridiji št. /20 ml

Tabela 1: Zajemna mesta za spremljanje kakovosti podtalnice s šiframi ter koordinatami, številom vzorcev in načinom vzorčevanja v letu 1998/99

	Zajemno mesto	Šifra zaj.mesta	Opis	Geodetske koordinate		Štev. vzor.	Način vzorčenja
				X	Y		
1	Kleče (VIII a) 0543	P54380	črpališče	5104775	5461280	24	iz pipe za odvzem vzor.
2	Hrastje (I a) 0344	P54720	črpališče	5102960	5466525	24	iz pipe za odvzem vzor.
3	Šentvid (II a) 0581	P54280	črpališče	5106480	5460300	12	iz pipe za odvzem vzor.
4	Jarški prod (III)JA 3	P50420	črpališče	5105040	5465805	12	iz pipe za odvzem vzor.
5	Iški vršaj (Ia) IŠ-2	P58060	črpališče	5090870	5461320	6	iz pipe za odvzem vzor.
6	Roje LV-0377	P54220	vertina	5106930	541270	6	potopna črpalka
7	Stožice LV-0277	P54460	vertina	5104730	5462960	6	potopna črpalka
8	Koteks- Zalog 0371	P54900	ind.vodnjak	5102810	5470260	6	iz pipe za odvzem vzor.
9	Elok-Zalog 0251	P54860	ind.vodnjak	5101650	5466260	6	iz pipe za odvzem vzor.
10	Dekoratívna 0641	P54340	ind.vodnjak	5105000	5459840	5	potopna črpalka

**2.2 PROGRAM MONITORINGA KAKOVOSTI POVRŠINSKIH VODOTOKOV**

Program monitoringa kakovosti površinskih vodotokov je bil v celoti realiziran v poletnih mesecih, ko se na manjših vodotokih kopa več ljudi. Zajemna mesta, vrsta, obseg in pogostost analiz je prikazana v tabeli 2, karta z vrisanimi zajemnimi mesti za površinske vodotoke pa v prilogi 2.



Vzorci za fizikalno kemijsko analizo so bili zajeti na sedmih zajemnih mestih enkrat v avgustu v času nizkih vodostajev, za bakteriološko analizo pa na šestih zajemnih mestih štirikrat v juliju in avgustu, to je v času kopalne sezone.

**Obseg analiz površinskih vodotokov:**

**Osnovne fizikalno kemijske analize:** temperatura, pH vrednost, električna prevodnost, raztopljeni kisik, suspendirane snovi, biokemijska potreba po kisiku - BPK<sub>5</sub>, kemijska potreba po kisiku - KPK (permanganatna in bikromatna metoda), amonij, nitrit, nitrat, ortofosfat, celokupni fosfat, totalni organski ogljik - TOC, totalni dušik - TN, mineralna olja, fenolne snovi, detergenti, klorid, sulfat, bikarbonat, kalcij, magnezij, natrij, kalij.

**Kovine:** Cr, Cu, Ni, Pb, Zn, Cd, Hg v vodi, suspendiranih delcih in sedimentu.

**Bakteriološke analize:**

Skupne koliformne bakterije MPN v 1 l

Koliformne bakterije fekalnega izvora MPN v 100 ml

**Posnetek spektra GC/MSD v vodi in sedimentu**

Tabela 2: Zajemna mesta za spremljanje kakovosti površinskih vodotokov, geodetske koordinate zajemnih mest ter vrsta, obseg in pogostost analiz v letu 1998

	VODOTOK	ZAJEMNO MESTO	Geodetske koordinate		POGOSTOST VZORČEVANJA				
			X	Y	F,K (v)	KO (v,ss,s)	Bor (v)	GC/MS (v,s)	B
1	Ljubljana	nad izlivom Bežan. grabna	5459380	5095450	1	1	1	1	4
2*	Ljubljana	Livada	5462340	5099160	4	/	/	/	4
3	Ljubljana	pod izl. M. grabna v višini Špice	5462510	5099440	1	1	1	1	4
4	Bežanov graben	pred izlivom v Ljubljano	5459380	5097280	1	1	1	1	/
5	Curnovec	pred izlivom v Ljubljano	5459850	5097970	1	1	1	1	/
6	Mali graben	pred izlivom v Ljubljano	5461490	5098770	1	1	1	1	4
7	Gradaščica	nad Ljubljano	5456670	5101020	1	1	/	1	4
8	Gradaščica	pred izlivom v Ljubljano	5461820	5100050	1	1	/	1	4
9	Ižica	pred izlivom v Ljubljano	5462480	5097510	/	/	/	/	4

Legenda:

F,K - fizikalno kemijske analize

KO - analize težkih kovin Cr, Cu, Ni, Pb, Zn, Cd, Hg v vodi, suspendiranih delcih in sedimentu

GC/MS - posnetek spektra na plinskem kromatografu z masnim detektorjem

B - bakteriološka analiza

v - voda

s - sediment

ss - suspendirane snovi

Opomba:

\* Program državnega monitoringa kakovosti površinskih vodotokov



### 3 METODE DELA

#### 3.1 VZORČEVANJE

##### 3.1.1 VZORČEVANJE PODTALNICE

Vzorčevanja so potekala drugi in četrti teden v mesecu. Datumi vzorčevanj so navedeni v tabelah z rezultati (priloge 3-7).

Odstopanja od planiranih datumov vzorčevanj podtalnice v obdobju od začetka marca 1998 do konca februarja so navedena v delnih poročilih [2-5]. Marca in aprila 1999 smo izvedli vzorčevanja v Rojah in v Jarškemrodu, katerih nismo mogli izvesti v rednih planiranih terminih. Poročilo vključuje tudi vse rezultate analiz za vzorce, katere smo vzorčili kasneje (Roje marec 1999, Jarški prod april 1999). V Dekorativni zaradi tehničnih razlogov februarja 1999 nismo uspeli odvzeti vzorca podtalnice, zato je bilo na tem odvzemnem mestu od načrtovanih šest vzorcev v obdobju od začetka marca 1998 do konca februarja 1999 analiziranih samo pet vzorcev. Vsi vzorci podtalnice so bili odvzeti v skladu s predpisi ISO 5667-1,2,3,5,11. Ob vzorčevanju je bila temperatura in elektprevodnost stabilizirana skladno s predpisom ISO 5667-11. Vzorčevanja podtalnice so potekala na naslednje načine:

**Vzorčevanje podtalnice iz pipe za odvzem vzorcev** (Kleče, Hrastje, Šentvid, Jarški prod, Iški vršaj, Koteks, Elok):

Podtalnico smo vzorčevali iz posebnih pip za vzorčevanje, kjer voda še ni kemijsko obdelana. Vzorčevali smo po 30 minutnem pretoku podtalnice iz pipe, da se je voda v ceveh nadomestila s svežo podtalnico. To smo kontrolirali tudi z meritvami temperature, pH in električne prevodnosti.

**Prečrpavanje in vzorčevanje podtalnice iz vrtin s potopno črpalko** (Roje, Stožice):

Pred vzorčevanjem smo podtalnico iz vrtin eno uro prečrpavali s potopno črpalko "Grundfos", tip MP-1. V tem času se je v vrtini zamenjal 3- do 6-kratni volumen vode. Potek izmenjave s svežo podtalnico smo kontrolirali z meritvami temperature, pH in električne prevodnosti.

**Prečrpavanje in vzorčevanje podtalnice iz vodnjaka** (Dekorativna):

Vodnjak Dekorativna vsebuje približno 10 m<sup>3</sup> vode (odvisno od nivoja podtalnice). Maja in junija 1998 je podtalnico iz vodnjaka Dekorativna prečrpaval Inštitut za geologijo, geotehniko in geofiziko Ljubljana s potopno črpalko "Grundfos", tip SP14 A13 s pretokom približno 4 l/sek, od avgusta 1998 naprej pa MOP Hidrometeorološki zavod RS s potopno črpalko "Grundfos", tip JS 4-08 s pretokom približno 1 l/sek. Med črpanjem smo osnovne parametre (T, pH, električna prevodnost) neprekinjeno merili s sondo "Hydrolab" in preko spreminjanja temperature in električne prevodnosti ugotavljali dotok sveže podtalnice v vodnjak. Podtalnico smo vzorčevali 2 m pod gladino vode. Ob vzorčevanju sta bili temperatura in električna prevodnost stabilizirani skladno s predpisom ISO 5667-11. Vzorčevanje v predvidenem roku februarja 1999 ni bilo izvedeno.

Na terenu smo določili temperaturo vode, pH, električno prevodnost in vsebnost kisika. Ostali parametri so bili analizirani v laboratorijih Inštituta za varovanje zdravja (IVZ-RS) in Hidrometeorološkega zavoda (MOP-HMZ).

Na terenu smo stabilizirali vzorce za KPK (KMnO<sub>4</sub>) s H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> (1:3) in za nitrit s kloroformom. Vse vzorce smo takoj po vzorčenju dostavili v laboratorij, kjer smo jih do analize hranili v temnem prostoru pri 4°C.

Datumi vzorčevanj so zbrani v štirih delnih poročilih [2-5] in v tabelah z rezultati (priloge 3 do 7).



### **3.1.2 VZORČEVANJE POVRŠINSKIH VODOTOKOV**

Zajem vzorcev vode in sedimentov smo opravili v skladu z določili mednarodnih standardov ISO 5667 - 6 in ISO 5667 - 12. Konzerviranje, stabilizacijo, transport in hranjenje odvzetih vzorcev vode in sedimenta za kemijske in bakteriološke preiskave smo izvedli po predpisih ISO 5667 - 3.

Vzorci smo zajeli na polovici gladine. Ob zajemu vzorca smo izmerili temperaturo zraka in vode, pH vrednost, električno prevodnost, prosti ogljikov dioksid in raztopljeni kisik. Ostali parametri so bili analizirani v laboratorijih Inštituta za varovanje zdravja (IVZ-RS), Zavoda za zdravstveno varstvo Maribor (ZZV MB -IVO) in Hidrometeorološkega zavoda (MOP-HMZ). Vzorce za analizo nitrita, kemijske potrebe po kisiku in barve smo konzervirali, za analizo ostalih parametrov pa ohladili.

## **3.2 FIZIKALNO KEMIJSKA ANALIZA**

### **3.2.1 PRIPRAVA LABORATORIJSKEGA VZORCA**

#### **3.2.1.1 Podtalnica**

Osnovne fizikalno kemijske parametre in mineralna olja smo določili v nefiltriranem, premešanem vzorcu.

Za določanje mikroelementov smo vodo filtrirali skozi membranski filter 0.45 µm.

Za analizo vzorcev na vsebnost organskih spojin smo uporabili nefiltrirani vzorec, ki smo ga ekstrahirali z organskimi topili.

#### **3.2.1.2 Površinski vodotoki**

##### **Voda in suspendirani delci**

V nefiltriranem, premešanem vzorcu smo določili suspendirane snovi, kemijsko in biokemijsko potrebo po kisiku, fenolne snovi in detergente. Iz nefiltriranega, usedenega vzorca smo določili amonijev in nitritni ion, stvarno barvo in mineralna olja. Ostale analize smo naredili iz vzorca, filtriranega skozi filter Schleicher & Schüll 589/1. Vzorce smo analizirali v čim krajšem možnem času.

Za določitev topnih oblik kovin smo vzorce na terenu filtrirali skozi membranski filter 0.45 µm ter filtrat nakisali s HNO<sub>3</sub> (konc.) na pH pod 2. Za določitev koncentracije kovin v suspendiranih delcih smo filter s suspendiranimi snovmi razkrojili s HNO<sub>3</sub> v mikrovalovni peči CEM-MDS 2000 pri optimiziranih pogojih.

Za analizo vzorcev na vsebnost organskih spojin z metodo GC/MS smo uporabili nefiltrirani vzorec vode. Vzorec vode smo homogenizirali in nato ekstrahirali z diklormetanom.

##### **Sediment**

Za kemijsko analizo smo uporabili granulacijsko frakcijo sedimenta z velikostjo delcev pod 63 µm. V ta namen smo vzorce sedimenta v prvi fazi sejali mokro do velikosti delcev pod 200 µm in nato pod 63 µm. Spirali smo z vodo iz istega vodotoka. Za sejanje smo uporabili standardizirana sita iz visokokvalitetnega nerjavnega jekla. Vse izmerjene koncentracije so izražene na zračno suh vzorec z velikostjo delcev pod 63 µm.

Laboratorijski vzorec za analizo kovin smo pripravili z mokrim razklopom s kislinsko mešanico HNO<sub>3</sub>/HCl za analizo na Hg pa s kislinskim razklopom s kislinsko mešanico HNO<sub>3</sub>/H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> in z



dodatkom  $KMnO_4$ . Vse razklope smo naredili v mikrovalovni pečici pri optimalnih pogojih. Po razklopu smo raztopine filtrirali skozi filter moder trak.

Za posnetek GC/MS smo znano količino presejanega sedimenta ekstrahirali v ultrazvočni kopeli z diklorometanom. Analizo z GC/MS smo naredili s koncentriranim ekstraktom.

### 3.2.2 OPIS ANALIZNIH METOD

Merilni principi in referenčne metode za parametre so zbrani skupaj za podtalnice in za površinske vodotoke v tabeli 3.

Tabela 3: Merilni principi in referenčne metode za posamezne parametre

Parameter	Enota	Merilni princip	Referenčna metoda
Temperatura	°C	Elektrometrija	
pH		Elektrometrija	ISO 10523
Električna prevodnost	mS/cm (25°)	Elektrometrija	ISO 7888
Raztopljeni kisik	mg O <sub>2</sub> /l	Titrimetrija Elektrometrija - sonda	SIST EN 25813 SIST EN 25814
Stvarna barva	mg Pt/l	Spektrofotometrija	ISO 7887
Suspendirane snovi	mg/l	Gravimetrija	ISO 6107
KPK (K <sub>2</sub> Cr <sub>2</sub> O <sub>7</sub> )	mg O <sub>2</sub> /l	Titrimetrija	SIST ISO 6060
KPK (KMnO <sub>4</sub> )	mg O <sub>2</sub> /l	Titrimetrija	SIST ISO 6060 -mod.
BPK <sub>5</sub>	mg O <sub>2</sub> /l	Titrimetrija	EN 1899-2:1995E
Amonij	mg NH <sub>4</sub> /l	Spektrofotometrija	ISO 7150/1
Nitrit	mg NO <sub>2</sub> /l	Spektrofotometrija	SIST EN 26777 - mod.
Nitrat	mg NO <sub>3</sub> /l	Spektrofotometrija	SM 4500 NO <sub>3</sub> - B
Orto fosfat	mg/l	Spektrofotometrija	SIST EN 1189(mod.)
Celotni fosfat	mg/l	Spektrofotometrija	SIST EN 1189(mod.)
Klorid	mg/l	Titrimetrija	SM 4500 C. lit. [6]
Sulfat	mg/l	Titrimetrija	literatura [7]
Silicijev dioksid	mg/l	Spektrofotometrija	SM 4500 D. lit. [6]
Alkaliteta	mg/l	Titrimetrija	ISO 9963-1
Kalcij	mg/l	Titrimetrija	ISO 6058
Magnezij	mg/l	Titrimetrija	SM 3500 E. lit.[6]
Natrij in kalij	mg/l	Emisijska spektrom.	ISO 9964-3
Aluminij	mg/l	Spektrofotometrija	DIN 38406-E9
Železo	mg/l	Spektrofotometrija	SM 3500 D. lit.[6]
Anionaktivni detergenti	mg MBAS/l	Spektrofotometrija	SIST EN 903 - mod.
Mineralna olja	mg/l	SSFS	UNESCO 13/84 [8]
Fenolne snovi (indeks)	mg C <sub>6</sub> H <sub>5</sub> OH/l	Spektrofotometrija	SIST ISO 6439
Fenolne snovi	mg/l	Spektrofotometrija	DIN 38409-H16
TOC	mg C/l	IR	SIST ISO 8245
TOC - sediment	%	IR	DIN 38409 - 3
TN	mg N/l	Kemoluminiscenca	interna po ENV 12260:1996
AOX	µg Cl/l	Kulometrija	SIST ISO 9562
Baker	µg/l	Elektrotermična AAS	DIN 38406-T7
Cink	µg/l	Plamenska AAS	ISO 8288
Kadmij	µg/l	Elektrotermična AAS	ISO 5961
Krom (celokupni)	µg/l	Elektrotermična AAS	SIST ISO 9174
Krom (šest-valentni)	µg/l	spektrofotometrija	SIST ISO 11083
Nikelj	µg/l	Elektrotermična AAS	DIN 38406-T21
Svinec	µg/l	Elektrotermična AAS	SIST ISO 8288
Živo srebro	µg/l	AAS-metoda hladnih par	ISO 5666/1
Baker - sediment	mg/kg	ICP-MS	DIN 38406 - 29





Parameter	Enota	Merilni princip	Referenčna metoda
Cink - sediment	mg/kg	ICP-MS	DIN 38406 - 29
Kadmij - sediment	mg/kg	ICP-MS	DIN 38406 - 29
Krom - sediment	mg/kg	ICP-MS	DIN 38406 - 29
Nikelj - sediment	mg/kg	ICP-MS	DIN 38406 - 29
Svinec - sediment	mg/kg	ICP-MS	DIN 38406 - 29
Živo srebro - sediment	mg/kg	ICP-MS	DIN 38406 - 29
Pesticidi (triazini)	µg/l	GC - MS	interna metoda
Pesticidi (organoklorni)	µg/l	GC - ECD	SIST EN ISO 6468
LKCH	µg/l	GC - ECD	SIST EN ISO 10301
Skup.kolifor. bakterije	MPN/100ml	MPN	ISO 9308-2
Kolif.bak.fek.izvora (E. coli)	MPN/100ml	MPN	ISO 9308-2
Aer.mez. bakterije (22°C)	CFU/1ml	štetje kolonij	ISO 6222
Aer.mez. bakterije (37°C)	CFU/1ml	štetje kolonij	ISO 6222
Streptokoki fek. izvora	MPN/100ml	MPN	ISO 7899
Sulfitreducir. klostridiji	MF/20ml	MF	SIST EN ISO 26461-2

AAS:	atomska absorpcijska spektrofotometrija	
IR	IR detekcija	
ICP – MS	induktivno sklopljena plazma, masno selektivni detektor	
GC – MS	plinska kromatografija, masno selektivni detektor	
GC – ECD	plinska kromatografija, ECD detektor	
MBAS:	"methylene-blue active substances" (substance, ki reagirajo z metilenmodrim indikatorjem)	
KPK:	kemijska potreba po kisiku	
SSFS:	sinhrona fluorescenčna spektrofotometrija (Synchronous Scan Fluorescence Spectrometry)	
AOX:	adsorbirani organski halogeni	
LKCH:	lahkohlapni halogenirani ogljikovodiki	
Skup.kolifor.:	skupne koliformne	
Kolif.bak.fek.izv.:	bakterije fekalnega izvora	koliformne
Aer.mez.bakterije:	Aerobne mezofilne bakterije	
Štetje kolonij:	štetje kolonij z nasajanjem na hranljivi agar	
Sulfitred.:	sulfitreducirajoči	
MPN	Most probable number	
MF	mikrofiltracija	

## Posnetek spektra GC/MS (površinski vodotoki)

### Voda

Za identifikacijo organskih spojin v vodah smo posneli kromatograme združenih nevtralnokisljih (pH<2) ekstraktov vzorcev na instrumentu GC/MS (HP 6890 Series) s 30 m kolono HP-5MS. Spojine smo identificirali na osnovi knjižnice masnih spektrov NIST MS Chemstation Library HP 41033A, ki vsebuje 75000 masnih spektrov. Nekaj spojin na podlagi te knjižnice ni bilo mogoče identificirati, spektri le-teh so priloženi. Vrhovi v kromatogramu, ki niso označeni, se ujemajo z vrhovi v kromatogramu slepega vzorca (namesto vzorca smo ekstrahirali MiliQ deionizirano vodo).

### Sediment

Po ekstrakciji sedimenta in koncentriranju ekstrakta je postopek za posnetke GC/MS sedimentov enak kot za vode. Posnetki GC/MS v sedimentu so prikazani primerjalno z zmesjo organskih polutantov, ki se pogosto pojavljajo v sedimentu (zgoraj je prikazana analiza vzorca, spodaj pa analiza primerjalne zmesi).



## 4 NORMATIVI

### 4.1. PODTALNICA

Kakovost podtalnice vrednotimo po normativih za pitno vodo, ki so v veljavi v Sloveniji od začetka avgusta 1997 [9] ter po smernicah Evropske skupnosti [10]. V tabeli 4 so iz slovenskih in evropskih normativov povzete mejne vrednosti (MDK), iz evropskih smernic pa tudi priporočene vrednosti (PK) za parametre, ki jih določamo pri monitoringu podtalnice Ljubljanskega polja v letu 1998/99. Pri vrednotenju rezultatov smo upoštevali tisti normativ, ki za določen parameter vsebuje strožji kriterij. Ta normativ je v tabeli označen s poudarjenim tiskom.

Tabela 4: Slovenski in evropski normativi za pitno vodo

Parameter	Enota	Slov. normativ <sup>9)</sup>	Smernice ES <sup>10)</sup>	
		MDK	MDK	PK
Temperatura vode	°C	25	25	12
pH		<b>6.5-8.5</b>	6.5-9.5	<b>6.5-8.5</b>
Elektr. prevodnost (20°C)	µS/cm	2500	2500	<b>400</b>
Nasičenost s O <sub>2</sub>	%	<b>50</b>	/	/
KPK (KMnO <sub>4</sub> )	mg O <sub>2</sub> /l	2.5	5	<b>2</b>
Amonij	mg NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> /l	0.1	0.5	<b>0.05</b>
Nitrit	mg NO <sub>2</sub> <sup>-</sup> /l	<b>0.1</b>	<b>0.1</b>	/
Nitrat	mg NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> /l	<b>50</b>	<b>50</b>	<b>25</b>
Mineralna olja	mg/l	<b>0.01</b>	<b>0.01</b>	/
Fenolne snovi	µg C <sub>6</sub> H <sub>5</sub> OH/l	<b>0.5</b>	<b>0.5</b>	/
Detergenti	mg TBS/l	<b>0.2</b>	<b>0.2</b>	/
AOX	µg Cl/l	/	/	/
Cink	µg/l	3000	/	<b>100</b>
Krom	µg/l	<b>50</b>	<b>50</b>	/
Nikelj	µg/l	<b>20</b>	50	/
Svinec	µg/l	<b>10</b>	50	/
Živo srebro	µg/l	<b>1</b>	<b>1</b>	/
Posamezni pesticid	µg/l	<b>0.1*</b>	<b>0.1</b>	/
Atrazin	µg/l	<b>0.1*</b>	<b>0.1</b>	/
Vsota pesticidov	µg/l	<b>0.5*</b>	<b>0.5</b>	/
Triklorometan	µg/l	/	/	<b>1</b>
Tetrakloroetilen	µg/l	10	/	<b>1</b>
Trikloroetilen	µg/l	30	/	<b>1</b>
Trikloroetan	µg/l	/	/	<b>1</b>
Trihalometani	µg/l	20	/	/
Benzen	µg/l	<b>1</b>	/	/
Toluen	µg/l	/	/	/
Ksilen	µg/l	/	/	/
Skupne kolifor. bakt.	MPN/100ml	<b>0</b>	<b>0</b>	/
Kolif. bakt. fekal. izv.	MPN/100ml	<b>0</b>	<b>0</b>	/
Aerob. pri 22°C	MPN/1ml	<b>100</b>	/	<b>100</b>
Aerob. pri 37°C	MPN/1ml	100	/	<b>10</b>
Fekalni streptokoki	MPN/100ml	<b>0</b>	<b>0</b>	/
Sulfired. klostridiji	MPN/20ml	<b>0</b>	<b>0</b>	/

\* veljavnost od 1.1.2003 (Ur.l. RS 54/98, 3. čl.)

MDK: maksimalna dopustna koncentracija

PK: priporočena koncentracija (GL - guide level)

KPK: kemijska potreba po kisiku

TBS: tetrapropilen benzen sulfonat

Kolif. bakt. fekal. izv.: koliformne bakterije fekalnega izvora

Aerob.: aerobne mezofilne bakterije

Sulfired. klostridiji: sulfitreducirajoči klostridiji





## 4.2. POVRŠINSKI VODOTOKI

### 4.2.1 VODA

Kakovost površinskih vodotokov vrednotimo glede na še veljavne uredbe SFRJ [11,12], ki na podlagi rezultatov osnovnih fizikalno-kemijskih, mikrobioloških in saprobioloških analiz površinske vodotoke razvršča v štiri kakovostne razrede. Zaradi zastarelosti in pomankljivosti omenjenih predpisov smo pri ocenjevanju glede vsebnosti težkih kovin upoštevali tudi dopolnitve s tujimi predpisi [10,13,14]. Upoštewane mejne vrednosti parametrov za posamezne kakovostne razrede so navedene v tabeli 5, pri čemer so tuji predpisi [10,13,14] označeni osenčeno.

Tabela 5: Mejne vrednosti fizikalno-kemijskih in mikrobioloških parametrov ter saprobnega indeksa za štiri kakovostne razrede površinskih vodotokov

Parameter	Enota	Kakovostni razredi			
		1	2	3	4
pH		6.8-8.5	6.8-8.5	6.0-9.0	6.0-9.0
O <sub>2</sub> nasičenost	%	90-105	75-90 105 - 115	50-75 115 - 125	30-50 125 - 130
Suspendirane snovi po sušenju	mg/l	10	30	80	100
KPK <sub>Cr</sub>	mg O <sub>2</sub> /l	3.0	10.0	30.0	>30.0
BPK <sub>5</sub>	mg O <sub>2</sub> /l	2.0	4.0	7.0	>10.0
Nitrit	mg NO <sub>2</sub> /l	0.01	0.02	0.20	>0.20
Nitrat	mg NO <sub>3</sub> /l	5.0	9.0	>9.0	
Amonij	mg NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> /l	0.05	0.14	1.00	>1.00
Orto-fosfat	PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup> /l	0.09	0.46	>0.46	
Mineralna olja	mg/l	0	<0.01	>0.01	
Fenolne snovi	mg/l	0	0.002	0.010	>0.010
Detergenti	mg TBS/l	0	0.1	0.2	
Baker	μg/l	< 30	100	140	> 140
Krom	μg/l	< 45	150	800	> 800
Nikelj	μg/l	< 15	50	140	> 140
Zink	μg/l	< 50	200	1400	> 1400
Svinec	μg/l	< 15	50	140	> 140
Kadmij	μg/l	< 1,5	5	15	> 15
Živo srebro	μg/l	< 0,5	1	1,4	> 1,4
Skupne koliform. bakterije	MPN/l	2000	100000	200000	>200000
Saprobní indeks		1.0-1.5	1.51-2.5	2.51-3.5	3.51-4.0

Primernost vode za kopanje smo vrednotili po Pravilniku o higienskih zahtevah za kopalne vode [15]. Maksimalne dopustne vrednosti parametrov za kopalne vode so navedene v tabeli 6.

Tabela 6: Maksimalne dopustne vrednosti parametrov za kopalne vode

Parameter	Enota	MDK
Skupne koliformne bakterije	100 ml	2000
Koliformne bakterije fekalnega izvora	100 ml	500
pH		6,8 – 8,5
O <sub>2</sub> nasičenost	%	75 – 90 in 105 - 115
Vsebnost amonija	mg NH <sub>4</sub> /l	0,26



#### 4.2.2 SEDIMENT

Za oceno vsebnosti kovin v sedimentu smo uporabili vrednosti, ki smo jih dobili na osnovi podatkov o geološki sestavi tal v Sloveniji (predstavljajo naravno ozadje) [16] in drugih strokovnih virov [17, 18], dopoljenih z rezultati preiskav nekaterih površinskih vodotokov Slovenije na izviri ali na onesnaženih odsekih [19]. V tabeli 7 so z debelim tiskom poudarjene vrednosti, ki pomenijo razmejitev med naravnimi vrednostmi in onesnaženjem.

Tabela 7: Normativi in smernice za uvrstitev vodotokov v kakovostne razrede po vsebnosti kovin v rečnem sedimentu [16-19]

Parameter	Enota	Kakovostni razredi			
		1	2	3	4
Baker	mg/kg	< 40	<b>100</b>	340	> 340
Krom	mg/kg	< 50	<b>150</b>	540	> 540
Nikelj	mg/kg	< 50	<b>100</b>	360	> 360
Zink	mg/kg	< 200	<b>1300</b>	4600	> 4600
Svinec	mg/kg	< 50	<b>120</b>	1000	> 1000
Kadmij	mg/kg	< 1	<b>12</b>	40	> 40
Živo srebro	mg/kg	< 0.05	<b>0.2</b>	1	> 1



## 5 REZULTATI ANALIZ

Vzorke podtalnice sta analizirala laboratorija MOP-HMZ in IVZ-RS, vzorce površinskih vodotokov pa so analizirali laboratoriji MOP-HMZ, IVZ-RS in IVO-MB.

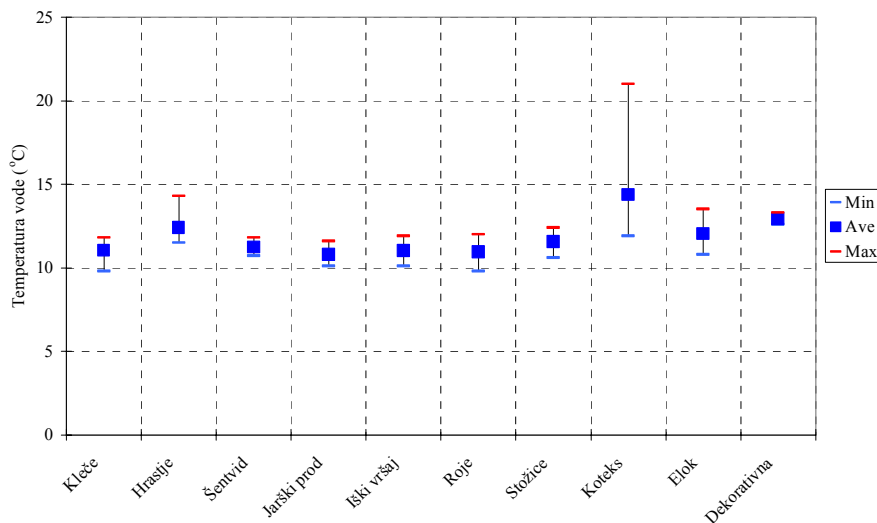
### 5.1 PODTALNICA

Vsi rezultati analiz vzorcev podtalnice za obdobje od začetka marca 1998 do konca februarja 1999 so zbrani v prilogah 3-7.

#### 5.1.1 ANALIZA REZULTATOV ZA POSAMEZNE PARAMETRE

##### Temperatura

Temperatura podtalnice je bila z redkimi izjemami med 10 in 14 °C. V industrijskem vodnjaku Koteks smo junija 1998 zaradi delnega mešanja s predgreto vodo določili višjo temperaturo v odvzetem vzorcu (21,0 °C), vendar se je temperatura na tem odvzemnem mestu po odpravi okvare že pri naslednjem vzorčenju znižala na 13,8 °C. Na sliki 1 je prikazana povprečna letna temperatura ter minimalna in maksimalna izmerjena vrednost na posameznih zajemnih mestih. Najvišje povprečne temperature smo določili v črpališču v Hrastju ter v industrijskih vodnjakih Koteks, Elok in Dekorativna, kjer je z izjemo Dekorativne tudi razlika med najvišjo in najnižjo izmerjeno temperaturo največja. Najnižje povprečne temperature podtalnice smo določili v Jarškemrodu, Iškem vršaju in Rojeh. Najbolj stabilna je bila temperatura vode v Šentvidu in Dekorativni (slika 1). Povprečje vseh rezultatov meritev temperature je bilo 11,7 °C.



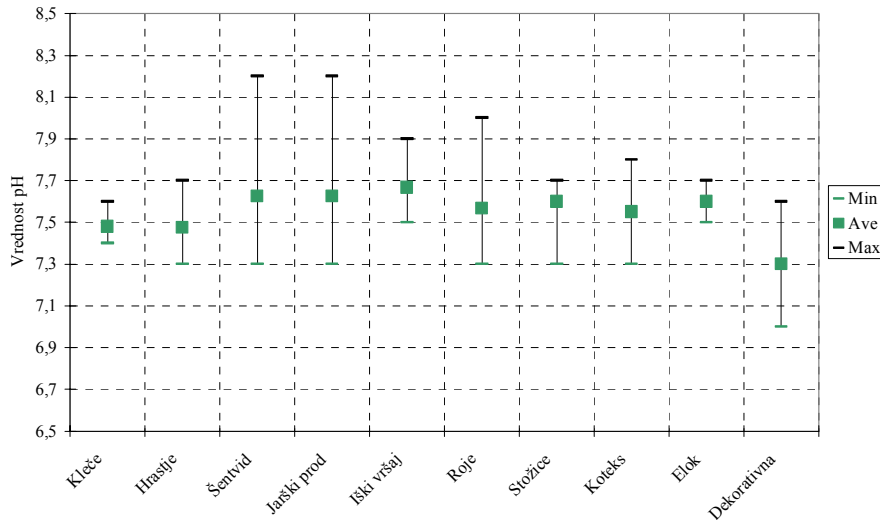
Slika 1: Povprečne, minimalne in maksimalne temperature podtalnice na vseh zajemnih mestih v obdobju od začetka marca 1998 do konca februarja 1999

##### Vrednost pH

Vse meritve vrednosti pH v obdobju od začetka marca 1998 do konca februarja 1999 so bile v dopustnem območju za pitno vodo (6,5 do 8,5) in sicer v razponu med 7,0 (Dekorativna) in 8,2 (Šentvid, Jarški prod). Povprečje na vseh zajemnih mestih je bilo 7,5, medtem ko so bila



letna povprečja na posameznih zajemnih mestih med 7,3 in 7,7. Največjo razliko med maksimalno in minimalno izmerjeno vrednostjo pH smo ugotovili v Šentvidu in v Jarškemrodu, najnižjo razliko pa v Klečah in v Eloku (slika 2).



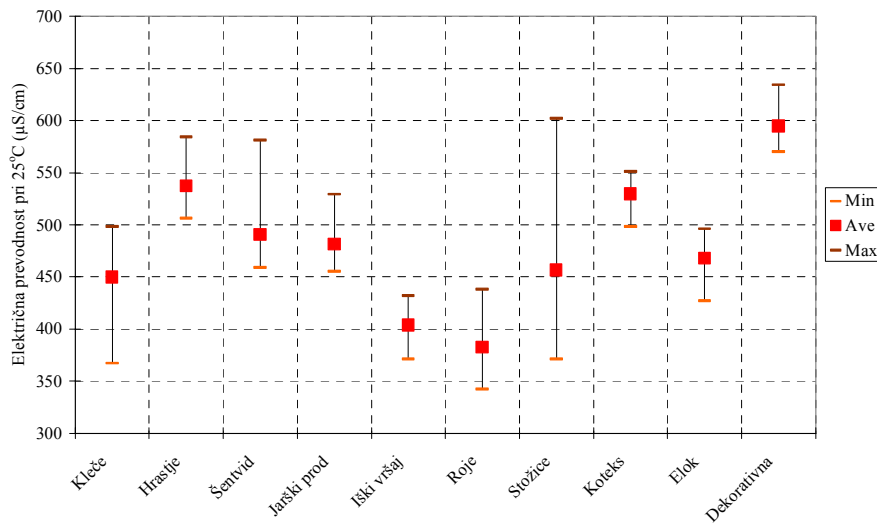
Slika 2: Povprečne, minimalne in maksimalne vrednosti pH v podtalnici na vseh zajemnih mestih v obdobju od začetka marca 1998 do konca februarja 1999

### Električna prevodnost pri 25 °C

Rezultati meritev električne prevodnosti so odraz geološke osnove vodonosnika, osnovnih potez režima toka podzemne vode in vpliva onesnaženja.

V Klečah, Rojah in Stožicah je bila povprečna električna prevodnost nižja kot na drugih zajemnih mestih. Nizka povprečna električna prevodnost je bila določena tudi v Iškem vršaju, ki se delno napaja z dotoki iz kraškega zaledja.

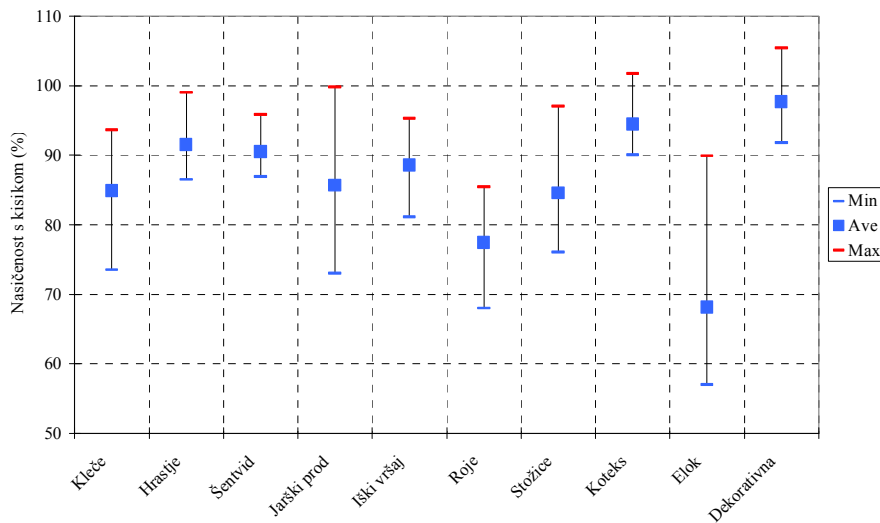
Večina rezultatov meritev električne prevodnosti je bila višja od priporočene vrednosti EU 400  $\mu\text{S}/\text{cm}$ . Najmanjše razlike med maksimalnimi in minimalnimi vrednostimi smo določili v Iškem vršaju in v Koteksu. V Stožicah smo v zimskih mesecih ugotovili precejšnje povišanje električne prevodnosti (do 200  $\mu\text{S}/\text{cm}$  višja od običajno izmerjenih vrednosti). Od onesnaženj smo določili le povišano vsebnost nitratov, ostalih anionov, ki bi lahko povzročili povišanje električne prevodnosti (sulfati, fosfati, kloridi,...), pa v okviru monitoringa za MOL ne določamo (slika 3).



Slika 3: Povprečne, minimalne in maksimalne vrednosti električne prevodnosti v podtalnici na vseh zajemnih mestih v obdobju od začetka marca 1998 do konca februarja 1999

### Nasičenost podtalnice s kisikom

V vseh vzorcih podtalnice smo izmerili zadostno nasičenost s kisikom. Najnižje vrednosti smo določili v Eloku, kjer se je nasičenost s kisikom v obdobju 1998/99 tudi najbolj spreminjala (slika 4).



Slika 4: Povprečne, minimalne in maksimalne vrednosti nasičenosti podtalnice s kisikom na vseh zajemnih mestih v obdobju od začetka marca 1998 do konca februarja 1999

### Kemijska potreba po kisiku ( $KPK_{KMnO_4}$ )

Vrednost  $KPK$ , določena po permanganatni metodi, je bila na vseh zajemnih mestih v vseh analiziranih vzorcih dosti nižja od dopustnih 2 mg  $O_2/l$ .



### Amonij

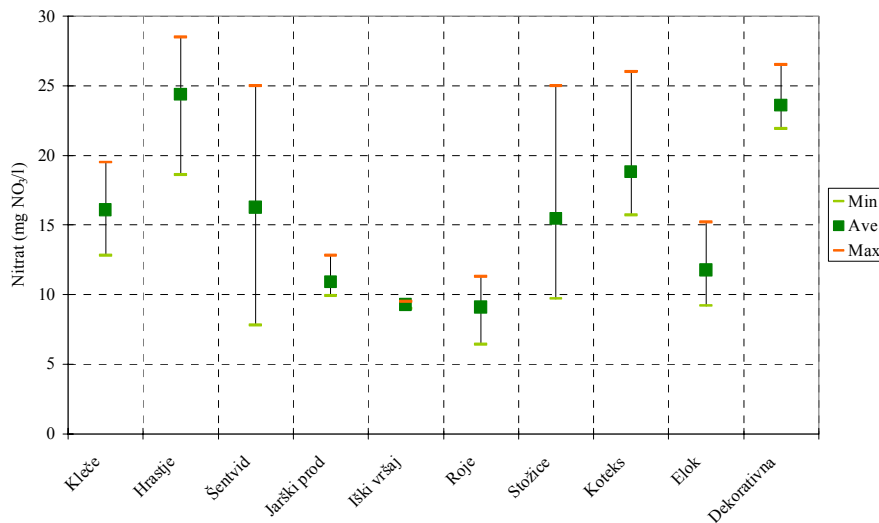
Vsebnost amonija je bila v vseh analiziranih vzorcih pod mejo določljivosti analitske metode, ki je nižja od priporočene koncentracije EU.

### Nitrit

V nobenem analiziranem vzorcu nismo določili nitrita nad mejo določljivosti analitske metode, torej je bila vsebnost nitrita v vseh preiskanih vzorcih najmanj 20 krat nižja od dopustne koncentracije.

### Nitrat

Vsebnosti nitrata v nobenem analiziranem vzorcu niso presegle maksimalnih dopustnih vrednosti (50 mg NO<sub>3</sub>/l), na nekaterih zajemnih mestih pa so bile višje od priporočene vrednosti EU (25 mg NO<sub>3</sub>/l). Vsebnost nitrata je bila v opazovanem obdobju v Iškem vršaju stalno pod 10 mg NO<sub>3</sub>/l, prav tako večina vzorcev podtalnice iz Roj. Nizke vsebnosti, med 10 in 20 mg NO<sub>3</sub>/l smo določili v Klečah, Jarškemrodu in Eloku. Od aprila do oktobra 1998 so bile vsebnosti nitrata nizke tudi v Stožicah (povprečje za omenjeno obdobje 10,8 mg NO<sub>3</sub>/l), vendar so se decembra in februarja dvignile do 25 mg NO<sub>3</sub>/l. V Hrastju, Koteksu in Dekorativni smo določili najvišje vsebnosti nitrata. V Hrastju je večina analiziranih vzorcev preseгла priporočenih 25 mg NO<sub>3</sub>/l (slika 5).



Slika 5: Povprečne, minimalne in maksimalne vsebnosti nitrata v podtalnici na vseh zajemnih mestih v obdobju od začetka marca 1998 do konca februarja 1999

### Anionaktivni detergenti

Vsebnost anionaktivnih detergentov je bila v obdobju od začetka marca 1998 do konca februarja 1999 v vseh analiziranih vzorcih pod mejo določljivosti analitske metode, torej najmanj štiri krat nižja od dopustne meje.

### Mineralna olja

Mineralna olja smo analizirali v Klečah in v Hrastju (1 x mesečno), v Šentvidu in v Jarškemrodu (kvartalno) in v Dekorativni v vseh vzorcih, torej vsaka dva meseca. Rezultati analiz mineralnih olj so bili v vseh vzorcih z izjemo enega (Jarški prod 22.9.1998) pod mejo



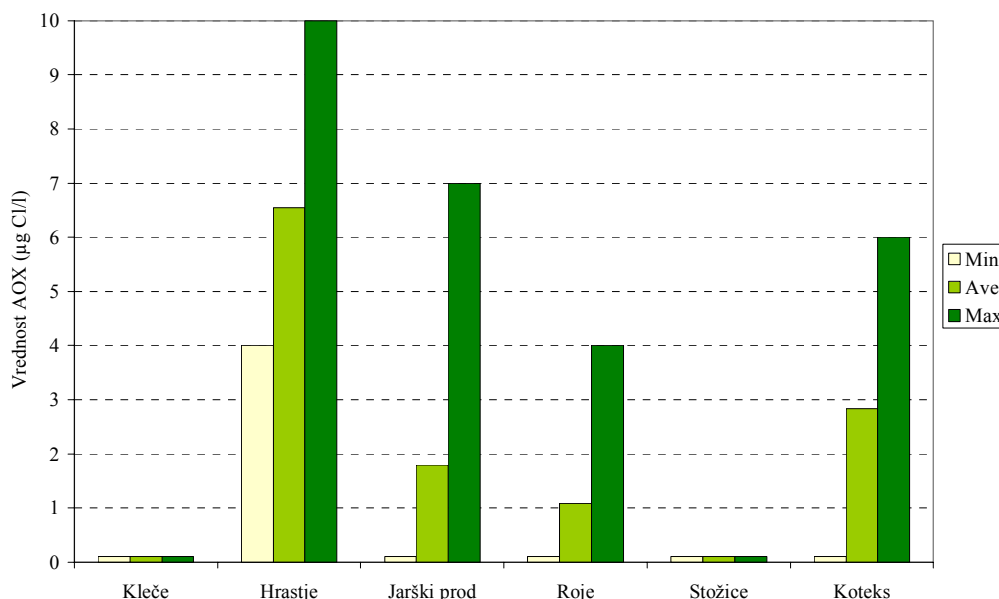
določljivosti analitske metode, v Jarškemrodu smo septembra določili še dopustno vsebnost mineralnih olj (0,007 mg/l).

### Fenolne snovi

V Klečah in v Hrastju smo fenolne snovi analizirali v celotnem pogodbenem obdobju (začetek marca 1998 – konec februarja 1999), medtem ko smo jih na ostalih zajemnih mestih določevali od začetka septembra 1998 do konca februarja 1999. Vsebnost fenolnih snovi, izražena kot fenolni indeks, je bila v vseh preiskanih vzorcih nižja od meje določljivosti analitske metode (< 0,5  $\mu\text{g C}_6\text{H}_5\text{OH/l}$ ), ki je identična maksimalni dopustni vrednosti v pitni vodi.

### Adsorbirane halogenirane organske spojine (AOX)

AOX smo analizirali v vseh vzorcih, odvzetih v Klečah, Hrastju, Jarškemrodu, Rojah, Stožicah in Koteksu. Na sliki 6 so prikazane povprečne, minimalne in maksimalne vrednosti na omenjenih zajemnih mestih za obdobje od začetka marca 1998 do konca februarja 1999. Vrednosti so bile stalno povišane v Hrastju, nekoliko nižje so bile v Koteksu, medtem ko so bile v Jarškemrodu povišane občasno (trije od dvanajstih preiskanih vzorcev). V Klečah in v Stožicah so bile vrednosti AOX v vseh vzorcih pod mejo določljivosti analitske metode (slika 6).



Slika 6: Povprečne, minimalne in maksimalne vrednosti AOX v podtalnici na zajemnih mestih Kleče, Hrastje, Jarški prod, Roje, Stožice in Koteks v obdobju od začetka marca 1998 do konca februarja 1999

### Težke kovine

V razpredelnici (tabela 8) je seznam težkih kovin in zajemnih mest, kjer smo posamezne kovine analizirali.

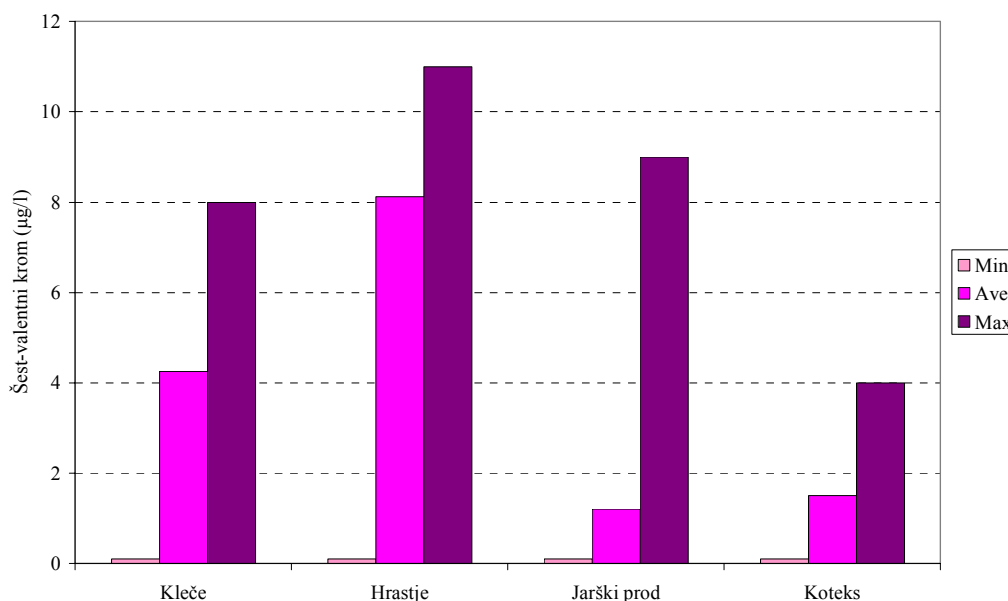




Tabela 8: Seznam zajemnih mest podtalnice, kjer smo v obdobju od začetka marca 1998 do konca februarja 1999 določali težke kovine

	Cink	Krom	Nikelj	Svinec	Živo srebro
Kleče	/	Cr <sup>6+</sup> , Cr <sub>tot</sub>	/	/	/
Hrastje	/	Cr <sup>6+</sup> , Cr <sub>tot</sub>	Ni	Pb	/
Jarški prod	/	Cr <sup>6+</sup> , Cr <sub>tot</sub>	Ni	/	/
Iški vršaj	Zn	/	/	/	/
Koteks	/	Cr <sup>6+</sup> , Cr <sub>tot</sub>	/	/	/
Dekorativna	/	/	/	/	Hg

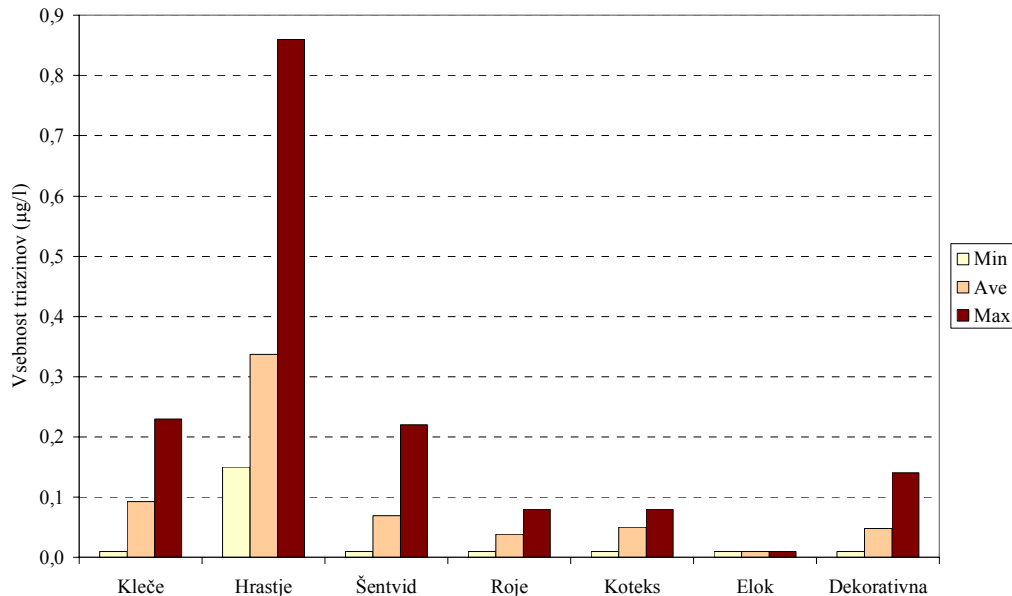
Vsebnost kovin bo podrobneje obravnavana pri posameznih zajemnih mestih. Na sliki 7 je povprečna, minimalna in maksimalna vsebnost šest-valentnega kroma za vsa mesta, kjer smo to zvrst kroma določali v obdobju od začetka marca 1998 do konca februarja 1999. Najvišje vsebnosti šest-valentnega kroma smo v letu 1998/99 določili v Hrastju, medtem ko smo v preteklih letih določevali najvišje vsebnosti šest-valentnega kroma v Klečah. Občasno smo to zvrst kroma določili v Koteksu, medtem ko smo v Jarškemrodu določili šest-valentni krom samo maja 1998.



Slika 7: Povprečne, minimalne in maksimalne vsebnosti šest-valentnega kroma v podtalnici na zajemnih mestih Kleče, Hrastje, Jarški prod in Koteks v obdobju od začetka marca 1998 do konca februarja 1999

### Pesticidi

Od pesticidov smo v obdobju od začetka marca 1998 do konca februarja 1999 določali dve skupini pesticidov in sicer triazine in organoklorne pesticide. Organoklorne pesticide (lindan in druge HCH izomere, drini, DDT in njegovi derivati, heptaklor in heptaklorepoksid) smo v Klečah in Hrastju v obravnavanem obdobju analizirali dvakrat, v Šentvidu enkrat. Koncentracije naštetih pesticidov so bile v vseh vzorcih pod mejo določljivosti analitske metode. Triazine smo določali v vseh vzorcih iz Kleč, Hrastja, Šentvida, Roj, Koteksa, Eloka in Dekorativne. Na sliki 8 so povprečne letne koncentracije vsote triazinov za navedeno obdobje.



Slika 8: Povprečne, minimalne in maksimalne vsebnosti vsote triazinov v podtalnici na zajemnih mestih Kleče, Hrastje, Šentvid, Roje, Koteks, Elok in Dekorativna v obdobju od začetka marca 1998 do konca februarja 1999

S pesticidi je najbolj onesnažena podtalnica v črpališču v Hrastju, kjer smo poleg preseženih vsebnosti atrazina in njegovih metabolitov v prvi polovici obravnavanega obdobja določili tudi močno povišane vsebnosti herbicida bromacila. Bromacil smo v nižjih koncentracijah določili tudi v Klečah in Šentvidu. Vsebnosti atrazina v Hrastju so z izjemo enega vzorca stalno presegle dopustne vrednosti. S triazini sta obremenjeni tudi črpališči Kleče in Šentvid ter industrijski vodnjak Dekorativna.

#### Lahkohlapni klorirani ogljikovodiki (LKCH)

LKCH smo določali v Klečah, Hrastju, Koteksu, Eloku in Dekorativni. Na osnovi rezultatov analiz LKCH ugotavljamo, da so bile v podtalnici na nekaterih zajemnih mestih opazne posledice človekove dejavnosti, vendar koncentracije v nobenem vzorcu niso presegle priporočenih vrednosti EU. V Hrastju je bila stalno povišana vsebnost tetrakloroetilena, ki je skoraj dosegla priporočeno vrednost EU. Tetrakloroetilen v nižjih koncentracijah smo določili v po enem od šestih vzorcev v Koteksu in Dekorativni.

#### Mikrobiološki parametri

Od mikrobioloških parametrov smo določali skupne koliformne bakterije, koliformne bakterije fekalnega izvora, aerobne mezofilne bakterije (pri 22 in 37 °C), streptokoke fekalnega izvora in sulfitreducirajoče klostridije. Preiskani vzorci, odvzeti v času od začetka marca 1998 do konca februarja 1999, niso vsebovali koliformnih bakterij fekalnega izvora. V treh od 24 preiskanih vzorcev iz Hrastja smo določili 1 koliformno bakterijo v 100 ml, v Dekorativni pa smo v vzorcu odvzetem 26.8. 1998 določili celo več kot 16 skupnih koliformnih bakterij v 100 ml. Najpogosteje je bilo povišano število aerobnih mezofilnih bakterij, predvsem pri 22°C. V dveh vzorcih (Šentvid 27.8. in Dekorativna 26.8.) je bil presežen dopustni MPN za te bakterije. V Dekorativni je vzorec odvzet 26.8. vseboval tudi preveč aerobnih mezofilnih bakterij pri 37°C. V nobenem od preiskanih vzorcev nismo določili streptokokov fekalnega izvora ali sulfitreducirajočih klostridijev.



### 5.1.2 ANALIZA REZULTATOV ZA POSAMEZNA ZAJEMNA MESTA V OBDOBJU OD ZAČETKA MARCA 1998 DO KONCA FEBRUARJA 1999

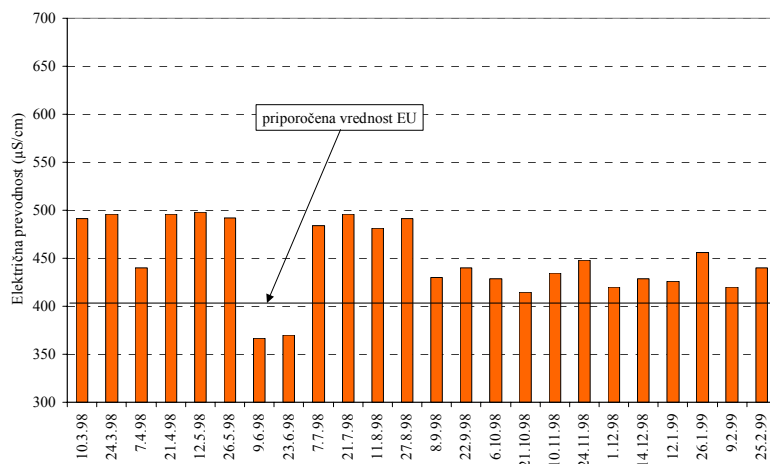
#### KLEČE

V Klečah je najpomembnejše črpališče ljubljanskega vodovoda. Na tem mestu smo v obdobju od začetka marca 1998 do konca februarja 1999 vzorčevali podtalnico iz vodnjaka VIIIa dvakrat mesečno (skupaj 24 odvzemov vzorcev ter analiz) in v njej določali naslednje parametre:

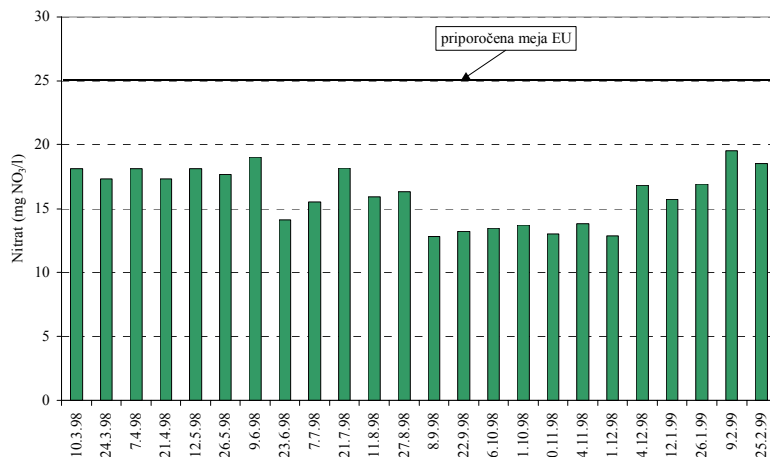
- Osnovne fizikalno-kemijske parametre: temperaturo vode, pH vrednost, električno prevodnost, raztopljeni kisik ter nasičenost podtalnice s kisikom, amonij, nitrit in nitrat
- Skupinske parametre onesnaženj: anionaktivne detergente, mineralna olja (enkrat mesečno), fenolne snovi in AOX
- Kovine: krom (šest-valentni in celokupni)
- Organoklorne pesticide (dvakrat letno)
- Triazinske pesticide
- Lahkohlapne klorirane ogljikovodike (LKCH)
- Mikrobiološke parametre

Rezultati vseh analiz podtalnice v Klečah za obdobje od začetka marca 1998 do konca februarja 1999 so zbrani v prilogi 3.

Temperatura podtalnice v Klečah se je od začetka marca 1998 do konca februarja 1999 spreminjala v ozkem temperaturnem območju od 9,8 do 11,8 °C in bila med nižjimi na Ljubljanskem polju (slika 1). Razpon vrednosti pH je bil v obravnavanem obdobju med 7,4 in 7,6 (slika 2). Električna prevodnost podtalnice na tem zajemnem mestu je bila glede na ostala zajemna mesta sorazmerno nizka (slika 3). Vrednost se je spustila najnižje junija 1998 (slika 9). Vrednosti električne prevodnosti presegajo priporočeno vrednost EU zaradi hidrogeoloških danosti zbiralnika, ne pa zaradi onesnaženja podtalnice. Nasičenost podtalnice s kisikom je bila dobra, kemijska potreba po kisiku pa nizka (od 0,2 do 0,4 mg O<sub>2</sub>/l) (slika 4). Podtalnica ni vsebovala amonija in nitrita, vsebnosti nitrata so bile v opazovanem obdobju pod 20 mg NO<sub>3</sub>/l (sliki 5 in 10). Vsa onesnaženja, katera določamo preko skupinskih parametrov (anionaktivni detergentski, mineralna olja, fenolne snovi in AOX) so bila v Klečah ves čas od začetka marca 1998 do konca februarja 1999 pod mejo določljivosti analitske metode.

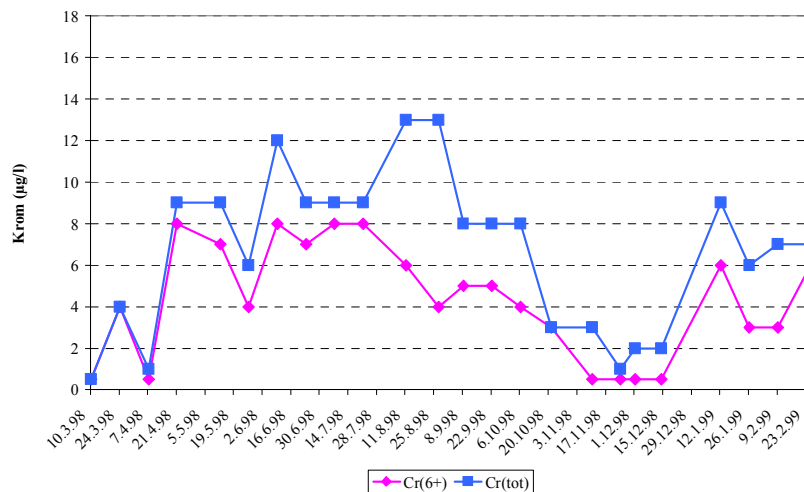


Slika 9: Električna prevodnost, merjena pri 25 °C, v črpališču v Klečah v obdobju od začetka marca 1998 do konca februarja 1999



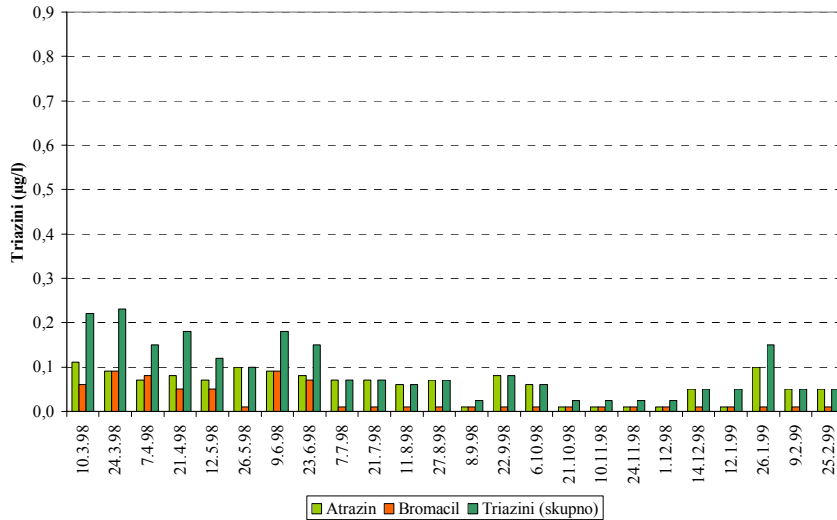
Slika 10: Vsebnost nitrata v črpališču v Klečah v obdobju od začetka marca 1998 do konca februarja 1999

V podtalnici v Klečah smo od težkih kovin v obravnavanem obdobju določali krom. Vsebnosti so se v letu 1998/99 glede na pretekla leta nekoliko znižale, najbolj novembra in decembra 1998 (slika 11).



Slika 11: Vsebnost šest-valentnega in celokupnega kroma v črpališču v Klečah v obdobju od začetka marca 1998 do konca februarja 1999

Organoklorne pesticide (lindan in druge HCH izomere, drini, DDT in njegovi derivati, heptaklor in heptaklorepoksidi) smo v opazovanem obdobju analizirali dvakrat. Vsi rezultati so nižji od meje določljivosti. Od analiziranih triazinov smo v Klečah določili atrazin in njegov metabolit desetilatrazin ter herbicid bromacil v še dopustnih koncentracijah (slika 12).



Slika 12: Vsebnost atrazina, bromacila in vsote triazinov v črpališču v Klečah v obdobju od začetka marca 1998 do konca februarja 1999

Vsebnosti vseh analiziranih lahkih ogljikovodikov v Klečah so bile pod mejo določljivosti analitske metode.

V Klečah je bila bakteriološka slika vseh vzorcev dobra. Vsi vzorci so ustrezali mikrobiološkim zahtevam za pitno vodo. V nobenem vzorcu z izjemo vzorca zajetega 27.8.98 (aerobne mezofilne bakterije pri 22°C: 61/100 ml) nismo določili mikroorganizmov.

## HRASTJE

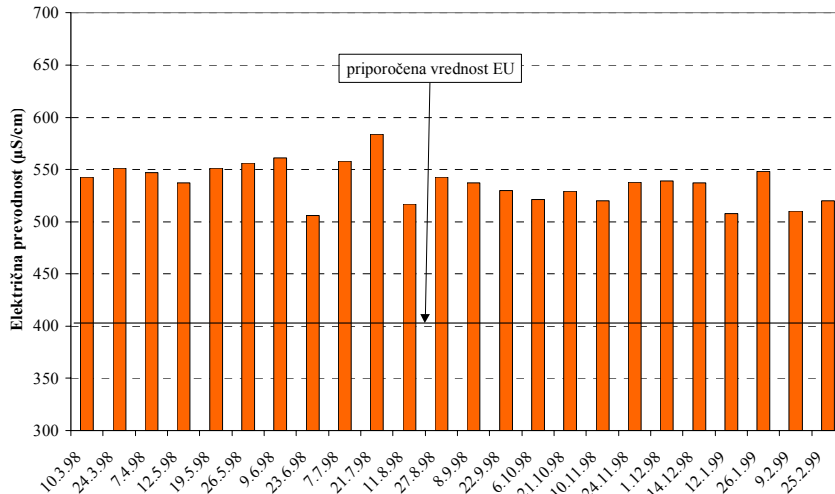
V Hrastju je črpališče ljubljanskega vodovoda. Na tem mestu smo v obdobju od začetka marca 1998 do konca februarja 1999 vzorčevali podtalnico iz vodnjaka Ia dvakrat mesečno (skupaj 24 odvzemov vzorcev ter analiz) in v njej določali naslednje parametre:

- Osnovne fizikalno-kemijske parametre: temperaturo vode, pH vrednost, električno prevodnost, raztopljeni kisik ter nasičenost podtalnice s kisikom, amonij, nitrit in nitrat
- Skupinske parametre onesnaženj: anionaktivne detergente, mineralna olja (enkrat mesečno), fenolne snovi in AOX
- Kovine: krom (šest-valentni in celokupni), nikelj, svinec (enkrat mesečno)
- Organoklorne pesticide (dvakrat letno)
- Triazinske pesticide
- Lahkohlapne klorirane ogljikovodike (LKCH)
- Mikrobiološke parametre

Vsi rezultati analiz podtalnice v Hrastju za obdobje od začetka marca 1998 do konca februarja 1999 so zbrani v prilogi 4.

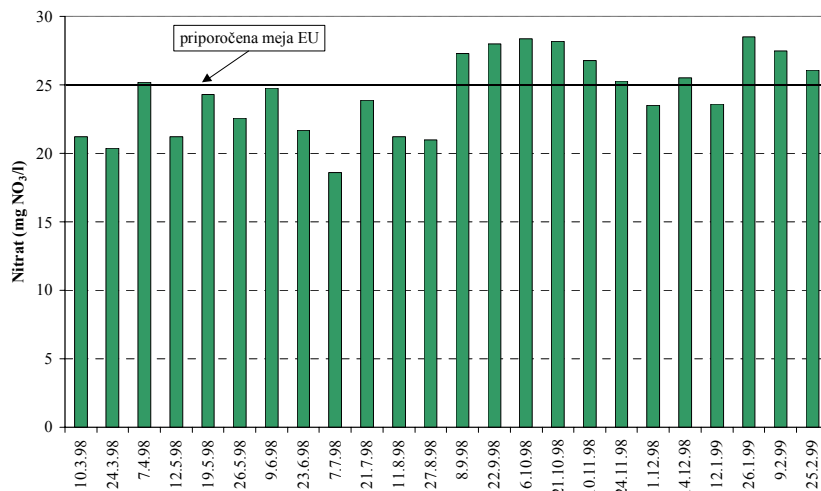
V Hrastju ves čas spremljanja kakovosti podtalnice ugotavljamo najhujše onesnaženje podtalnice na Ljubljanskem polju in to za vse pomembne parametre.

Temperatura vode je bila v opazovanem obdobju višja kot na ostalih črpališčih, vendar v mejah, ki jih dopušča normativ (slika 1). Tudi pH vrednosti so bile v dopustnih mejah (med 7,3 in 7,7) (slika 2). Povprečna letna električna prevodnost je bila med najvišjimi na Ljubljanskem polju (sliki 3 in 13).



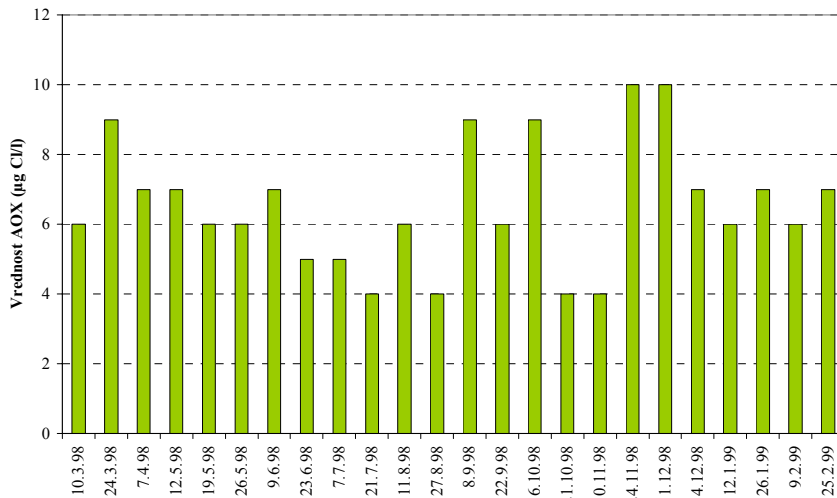
Slika 13: Električna prevodnost, merjena pri 25 °C, v črpališču v Hrastju v obdobju od začetka marca 1998 do konca februarja 1999

Podtalnica je bila ves čas spremljanja dobro nasičena s kisikom (slika 4) in imela nizko vrednost kemijske potrebe po kisiku (KPK). Vsebnosti amonija in nitrita so bile v opazovanem obdobju pod mejo določljivosti analitske metode. Vsebnosti nitrata v Hrastju so bile vse obdobje najvišje na Ljubljanskem polju (slika 5). V polovici analiziranih vzorcev, še zlasti od septembra 1998 naprej, je vsebnost nitrata presegala priporočene vrednosti EU (slika 14).



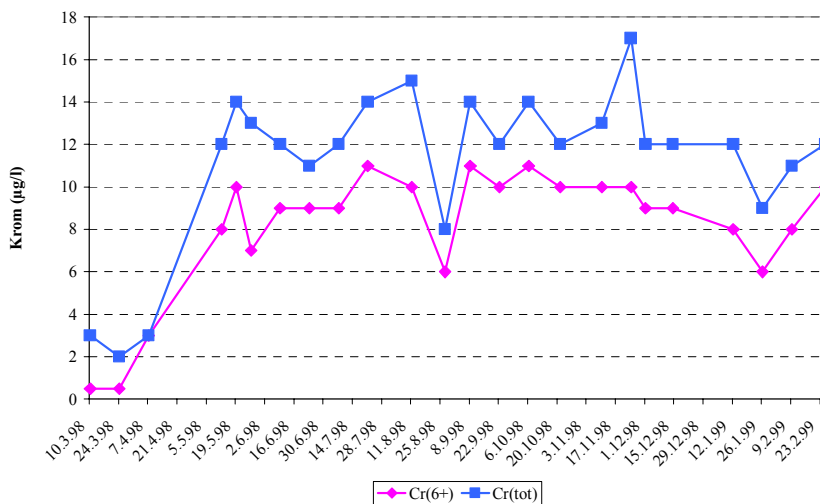
Slika 14: Vsebnost nitrata v črpališču v Hrastju v obdobju od začetka marca 1998 do konca februarja 1999

Med analiziranimi skupinskimi parametri onesnaženja (anionaktivni detergenti, mineralna olja, fenolne snovi, AOX) ugotavljamo stalno povišanje adsorbiranih halogeniranih organskih spojin (AOX) (slika 15). V Hrastju vsa leta spremljamo najvišje AOX vrednosti v podtalnici Ljubljanskega polja, kar v podtalnici na tem zajemnem mestu nakazuje prisotnost strupenih halogeniranih organskih spojin, ki so posledica človekove dejavnosti.



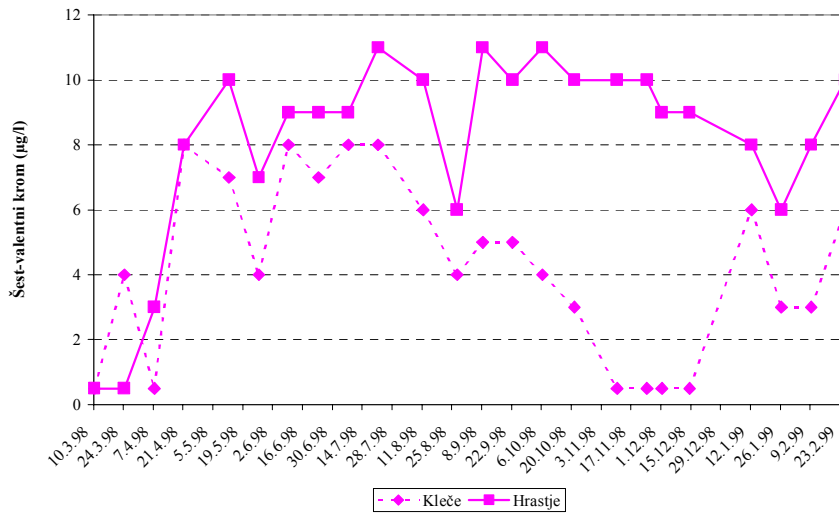
Slika 15: Vrednost AOX v črpališču v Hrastju v obdobju od začetka marca 1998 do konca februarja 1999

Na tem mestu določamo tudi najvišje koncentracije šest-valentnega in celokupnega kroma (slika 16). Vsebnosti so se glede na pretekla leta povišale. Iz primerjalne slike vsebnosti šest-valentnega kroma na dveh zajemnih mestih (Kleče in Hrastje) ugotavljamo, da so se koncentracije te zvrsti kroma v Klečah v letu 1998/99 znižale, medtem ko so se v Hrastju povišale (slika 17).



Slika 16: Vsebnost šest-valentnega in celokupnega kroma v črpališču v Hrastju v obdobju od začetka marca 1998 do konca februarja 1999

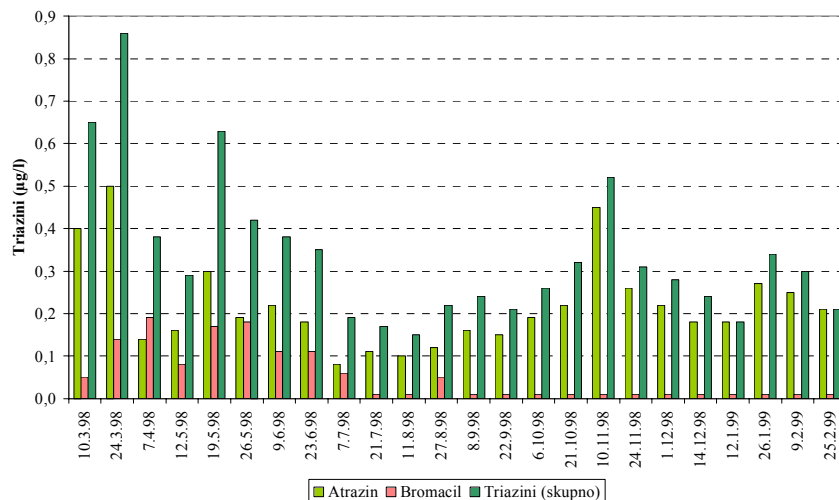




Slika 17: Vsebnost šest-valentnega kroma v črpališčih v Klečah in v Hrastju v obdobju od začetka marca 1998 do konca februarja 1999

V Hrastju občasno ugotavljamo tudi precej visoke vsebnosti niklja in svinca, ki se približujejo veljavnim normativom (priloga 4).

Najhuje je podtalnica v Hrastju onesnažena s pesticidi, predvsem z atrazinom, kateremu se je v letu 1998/99 pridružil še bromacil. Atrazin je v skoraj vseh preiskanih vzorcih presegel maksimalne dopustne koncentracije (0,1 µg/l) (slika 18).



Slika 18: Vsebnost atrazina, bromacila in vsote triazinov v črpališču v Hrastju v obdobju od začetka marca 1998 do konca februarja 1999

Od analiziranih lahkih ogljikovodikov smo v Hrastju v opazovanem obdobju tako kot v preteklih letih stalno določali tetrakloroetilen v koncentracijah, ki so se približale priporočenim mejam EU, niso pa jih presegle (priloga 4).

Tudi mikrobiološka slika vzorcev, odvzetih v črpališču v Hrastju ni bila najboljša. Trije od 24 preiskanih vzorcev so vsebovali preveč skupnih koliformnih bakterij. V vzorcih smo določevali še dopustno količino aerobnih mezofilnih bakterij (22°C).



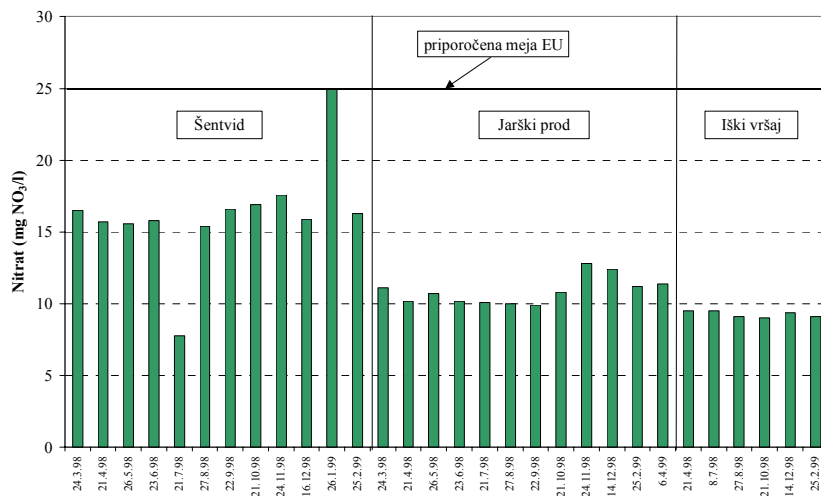
## ŠENTVID

V Šentvidu je črpališče ljubljanskega vodovoda. Na tem mestu smo v obdobju od začetka marca 1998 do konca februarja 1999 vzorčevali podtalnico iz vodnjaka IIa enkrat mesečno (skupaj 12 odvzemov vzorcev ter analiz) in v njej določali naslednje parametre:

- Osnovne fizikalno-kemijske parametre: temperaturo vode, pH vrednost, električno prevodnost, raztopljeni kisik ter nasičenost podtalnice s kisikom, amonij, nitrit in nitrat
- Skupinske parametre onesnaženj: anionaktivne detergente, mineralna olja (4 krat letno) in fenolne snovi
- Organoklorne pesticide (enkrat letno)
- Triazinske pesticide
- Mikrobiološke parametre

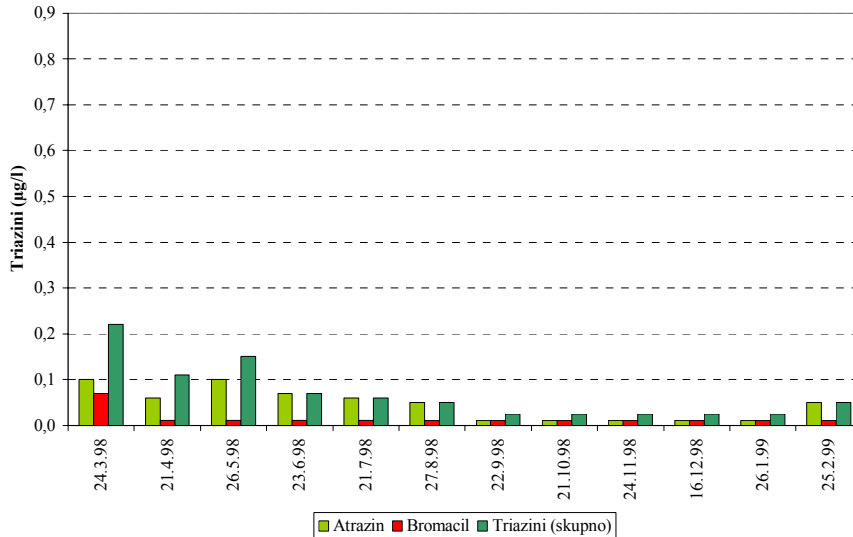
Vsi rezultati analiz podtalnice v Šentvidu za obdobje od začetka marca 1998 do konca februarja 1999 so zbrani v prilogi 5.

Temperatura podtalnice v Šentvidu se je gibala v ozkem območju med 10,7 in 11,8 °C (slika 1). Bolj se je spreminjala vrednost pH (med 7,3 in 8,2) (slika 2). Električna prevodnost je bila v povprečju približno 500  $\mu\text{S}/\text{cm}$  (slika 3). Podtalnica je bila v Šentvidu stalno dobro nasičena s kisikom (slika 4), kemijska potreba po kisiku ni dosti presegala meje določljivosti analitske metode (priloga 5). Vsebnost amonija in nitrita je bila stalno pod mejo določljivosti analitske metode, vsebnost nitrata pa se je spreminjala v sorazmerno širokem razponu od 7,8 do 25,0 mg  $\text{NO}_3/\text{l}$  (sliki 5 in 19).



Slika 19: Vsebnost nitrata v črpališčih v Šentvidu, Jarškemrodu in Iškem vršaju v obdobju od začetka marca 1998 do konca februarja 1999

Vsebnost anionaktivnih detergentov, mineralnih olj in fenolnih snovi je bila v vseh preiskanih vzorcih pod mejo določljivosti analitske metode. Fenolne snovi smo analizirali od začetka septembra 1998 do konca februarja 1999. Vsebnost vseh analiziranih organoklornih pesticidov je bila v podtalnici decembra v Šentvidu pod mejo določljivosti analitske metode. Triazinske pesticide smo v podtalnici v Šentvidu določali mesečno. Določili smo atrazin in njegov metabolit desetilatrazin ter bromacil (sliki 8 in 20).



Slika 20: Vsebnost atrazina, bromacila in vsote triazinov v črpališču v Šentvidu v obdobju od začetka marca 1998 do konca februarja 1999

Od mikrobioloških parametrov smo v vzorcu avgusta določili previsoko število aerobnih mezofilnih bakterij (37°C), ostali vzorci so bili mikrobiološko neoporečni.

## JARŠKI PROD

V Jarškem produ, ki je na levem bregu Save, je črpališče ljubljanskega vodovoda. Na tem mestu smo v obdobju od začetka marca 1998 do konca februarja 1999 vzorčevali podtalnico iz vodnjaka JA3 enkrat mesečno (skupaj 12 odvzemov vzorcev ter analiz) in v njej določali naslednje parametre:

- Osnovne fizikalno-kemijske parametre: temperaturo vode, pH vrednost, električno prevodnost, raztopljeni kisik ter nasičenost podtalnice s kisikom, amonij, nitrit in nitrat
- Skupinske parametre onesnaženj: anionaktivne detergente, mineralna olja (4 krat letno), fenolne snovi in AOX
- Kovine: krom (šest-valentni in celokupni), nikelj
- Mikrobiološke parametre

Vsi rezultati analiz podtalnice v Jarškem produ za obdobje od začetka marca 1998 do konca februarja 1999 so zbrani v prilogi 5. Januarja 1999 črpališče Jarški prod ni obratovalo, zato smo nadomestni vzorec odvzeli 6.4.1999.

Temperatura podtalnice v Jarškem produ je bila med 10,1 in 11,6 °C, v povprečju 10,8 °C (slika 1). Vrednost pH je bila v opazovanem obdobju med 7,3 in 8,2 (slika 2), električna prevodnost pa med 455 in 529 µS/cm (slika 3). Podtalnica je bila dovolj dobro nasičena s kisikom (slika 4), kemijska potreba po kisiku ni dosti presegala mej določljivosti. Vsebnost amonija in nitrita je bila vse obravnavano obdobje pod mejo določljivosti analitskih metod, vsebnost nitrata pa nizka (sliki 5 in 19). Od skupinskih parametrov onesnaženj smo v podtalnici septembra določili mineralna olja v še dopustni koncentraciji (0,007 mg/l) in AOX (priloga 5, slika 6). Od kovin smo v podtalnici v Jarškem produ marca in maja določili sorazmerno visoke vsebnosti kroma, tudi šest-valentnega (priloga 5, slika 7), marca in aprila tudi niklja. Vse koncentracije kroma in niklja so bile v dopustnih mejah.

Mikrobiološko so bili vsi preiskani vzorci podtalnice neoporečni.



### **IŠKI VRŠAJ (BREST)**

V Iškem vršaju, črpališču ljubljanskega vodovoda, črpamo podtalnico Ljubljanskega barja, ki zbira predvsem vodo iz kraškega zaledja. Na tem mestu smo v obdobju od začetka marca 1998 do konca februarja 1999 vzorčevali podtalnico iz vodnjaka IŠ-2 enkrat na dva meseca (skupaj 6 odvzemov vzorcev ter analiz) in v njej določali naslednje parametre:

- Osnovne fizikalno-kemijske parametre: temperaturo vode, pH vrednost, električno prevodnost, raztopljeni kisik ter nasičenost podtalnice s kisikom, amonij, nitrit in nitrat
- Skupinske parametre onesnaženj: anionaktivne detergente, fenolne snovi
- Kovine: cink
- Mikrobiološke parametre

Rezultati vseh analiz podtalnice v Iškem vršaju za obdobje od začetka marca 1998 do konca februarja 1999 so zbrani v prilogi 6. Zaradi okvare črpališča nismo mogli odvzeti vzorca 23.6. Nadomestni vzorec je bil zajet 8.7.1998.

Temperatura podtalnice v Iškem vršaju je bila med 10,1 in 11,9 °C (slika 1), vrednost pH med 7,5 in 7,9 (slika 2). Električna prevodnost podtalnice v Iškem vršaju je bila med 371 in 432  $\mu\text{S}/\text{cm}$  in tako med najnižjimi od vseh zajemnih mestih (slika 3). Izmerili smo stalno dobro nasičenost podtalnice s kisikom (slika 4) in nizko kemijsko potrebo po kisiku. Vsebnost amonija in nitrita je bila v vseh preiskanih vzorcih podtalnice Iškega vršaja pod mejo določljivosti, vsebnost nitrata se je v obravnavanem obdobju spreminjala v zelo ozkem intervalu med 9,1 in 9,5 mg  $\text{NO}_3/\text{l}$  in bila najnižja med vsemi zajemnimi mesti (sliki 5 in 19). Vsebnost anionaktivnih detergentov in fenolnih snovi je bila nižja od meje določljivosti analitskih metod za ta dva parametra.

Decembra 1998 smo v podtalnici določili povišano vsebnost cinka, ki je skoraj dvakrat preseгла priporočene vrednosti EU (priloga 6).

Mikrobiološko so bili vsi vzorci podtalnice neoporečni, vsebovali so dopustno število aerobnih mezofilnih bakterij (22 °C).

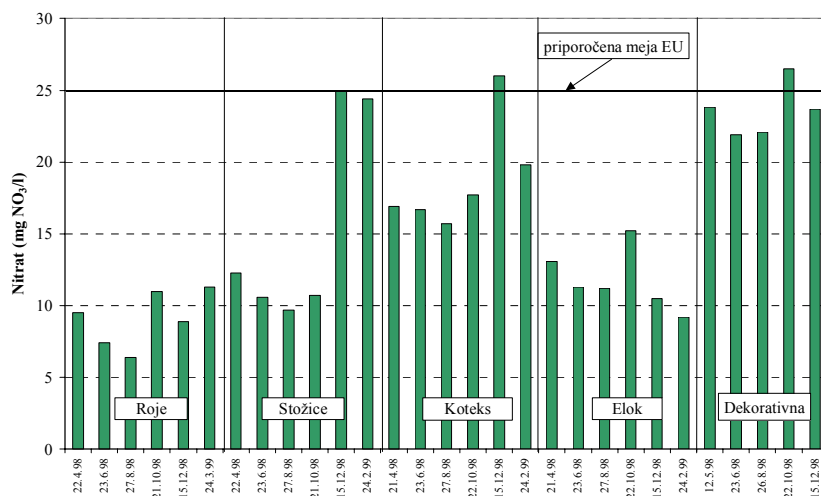
### **ROJE**

V vrtini v Rojah smo v obdobju od začetka marca 1998 do konca februarja 1999 vzorčevali podtalnico enkrat na dva meseca (skupaj 6 odvzemov vzorcev ter analiz) in v njej določali naslednje parametre:

- Osnovne fizikalno-kemijske parametre: temperaturo vode, pH vrednost, električno prevodnost, raztopljeni kisik ter nasičenost podtalnice s kisikom, amonij, nitrit in nitrat
- Skupinske parametre onesnaženj: anionaktivne detergente, fenolne snovi in AOX
- Triazinske pesticide
- Mikrobiološke parametre

Rezultati vseh analiz podtalnice v Rojah za obdobje od začetka marca 1998 do konca februarja 1999 so zbrani v prilogi 6. Februarja 1999 zaradi snega dostop do vrtine s potrebno mehanizacijo za črpanje ni bil mogoč, zato je bil nadomestni vzorec zajet 24.3.1999.

Temperatura podtalnice v Rojah je bila med 9,8 in 12,0 °C (slika 1), pH vrednost med 7,3 in 8,0 (slika 2). Električna prevodnost je bila nizka, med 342 in 438  $\mu\text{S}/\text{cm}$  (slika 3). Nasičenost podtalnice s kisikom je v Rojah nihala med 68 in 84,5 % in bila med najnižjimi na Ljubljanskem polju (slika 4). Kemijska potreba po kisiku je bila primerljiva z ostalimi mesti, torej nizka. Vsebnosti amonija in nitrita so bile ves opazovani čas pod mejo določljivosti analitskih metod, zelo nizka je bila tudi koncentracija nitrata, med 6,4 in 11,3 mg  $\text{NO}_3/\text{l}$  (sliki 5 in 21).



Slika 21: Vsebnost nitrata v vrtinah Roje in Stožice ter v industrijskih vodnjakih Koteks, Elok in Dekorativna v obdobju od začetka marca 1998 do konca februarja 1999

Vsebnosti anionaktivnih detergentov in fenolnih snovi so bile v opazovanem obdobju pod mejo določljivosti, vrednost AOX pa je bila malo nad mejo določljivosti aprila 1998, v ostalih vzorcih pa nižja (priloga 6, slika 6). Aprila in junija 1998 smo v podtalnici v Rojah določili še dopustne vsebnosti atrazina (priloga 6, slika 8).

Mikrobiološko so vsi preiskani vzorci ustrezali zahtevam za pitno vodo.

### STOŽICE

V vrtini v Stožicah smo v obdobju od začetka marca 1998 do konca februarja 1999 vzorčevali podtalnico enkrat na dva meseca (skupaj 6 odvzemov vzorcev ter analiz) in v njej določali naslednje parametre:

- Osnovne fizikalno-kemijske parametre: temperaturo vode, pH vrednost, električno prevodnost, raztopljeni kisik ter nasičenost podtalnice s kisikom, amonij, nitrit in nitrat
- Skupinske parametre onesnaženj: anionaktivne detergente, fenolne snovi in AOX
- Mikrobiološke parametre

Rezultati vseh analiz podtalnice v Stožicah za obdobje od začetka marca 1998 do konca februarja 1999 so zbrani v prilogi 6.

Temperatura podtalnice se je spreminjala od 10,6 do 12,4 °C (slika 1), pH vrednost pa od 7,3 do 7,7 (slika 2). Električna prevodnost je bila do decembra 1998 za 100 do 200  $\mu$ S/cm nižja kot decembra 1998 in februarja 1999, ko smo določili tudi povišanje vsebnosti nitrata (priloga 6, slike 3,5 in 21). Skupinski parametri onesnaženja (anionaktivni detergenti, fenolne snovi in AOX) so bili vsi pod mejo določljivosti analitskih metod (priloga 6).

Mikrobiološko so vzorci podtalnice ustrezali zahtevam za pitno vodo. V njih smo sicer določali aerobne mezofilne bakterije pri 22 °C, vendar v še dopustnem številu (priloga 6).

### KOTEKS

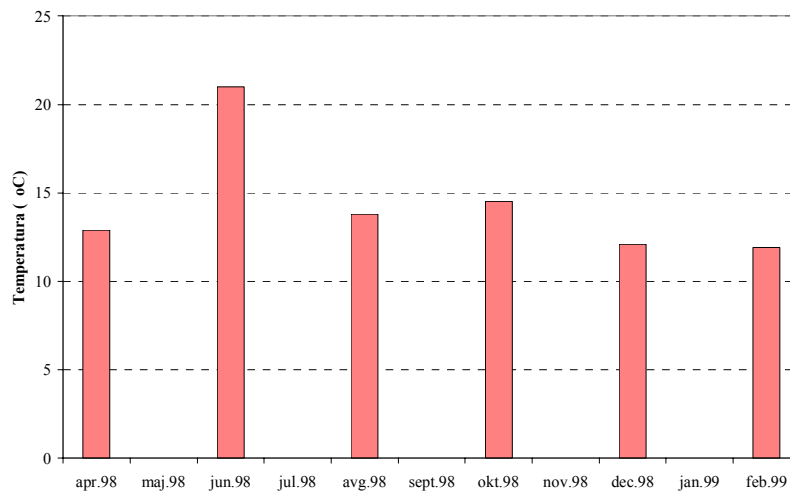
V industrijskem vodnjaku Koteks smo v obdobju od začetka marca 1998 do konca februarja 1999 vzorčevali podtalnico enkrat na dva meseca (skupaj 6 odvzemov vzorcev ter analiz) in v njej določali naslednje parametre:



- Osnovne fizikalno-kemijske parametre: temperaturo vode, pH vrednost, električno prevodnost, raztopljeni kisik ter nasičenost podtalnice s kisikom, amonij, nitrit in nitrat
- Skupinske parametre onesnaženj: anionaktivne detergente, fenolne snovi in AOX
- Kovine: krom (šest-valentni in celokupni)
- Triazinske pesticide
- Lahkohlapne klorirane ogljikovodike (LKCH)
- Mikrobiološke parametre

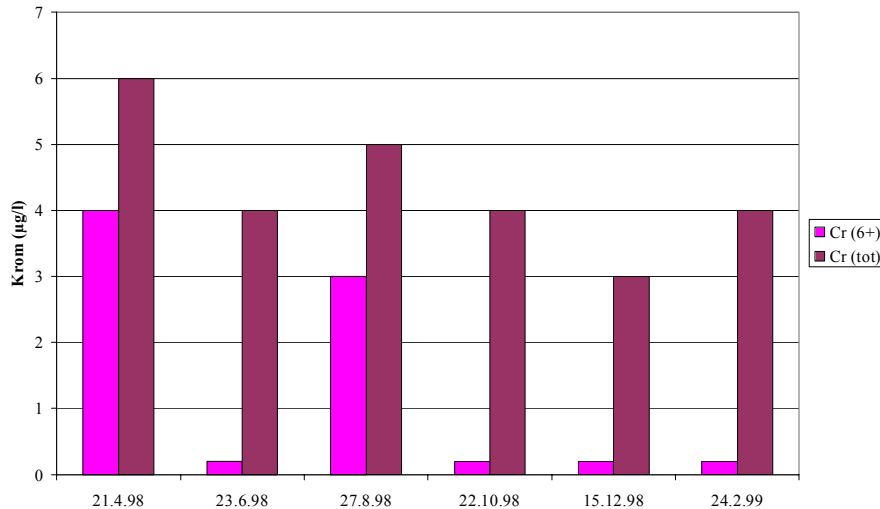
Rezultati vseh analiz podtalnice v Koteksu za obdobje od začetka marca 1998 do konca februarja 1999 so zbrani v prilogi 7.

Temperatura zajetih vzorcev v Koteksu je bila od junija do oktobra 1998 nekoliko višja, najvišja je bila junija (21,0 °C). Vzrok je bil po navedbah tehnologov Koteksa delno uhajanje predgrete vode v sistem za vzorčevanje. Okvara je bila po junijskem zajemu odpravljena (sliki 1 in 22).



Slika 22: Temperatura podtalnice v industrijskem vodnjaku Koteks v obdobju od začetka marca 1998 do konca februarja 1999

Vrednost pH odvzetih vzorcev je bila med 7,3 in 7,8 (slika 2). Na tem odvzemnem mestu smo merili sorazmerno visoke električne prevodnosti podtalnice, med 498 in 551  $\mu\text{S}/\text{cm}$  (slika 3). Podtalnica je bila dobro nasičena s kisikom (slika 4) in imela nizko kemijsko potrebo po kisiku. Vsebnosti amonija in nitrita so bile tudi na tem mestu vse opazovano obdobje pod mejo določljivosti analitske metode, vsebnost nitratov pa z izjemo vzorca zajetega decembra 1998 pod 20 mg  $\text{NO}_3/\text{l}$  (sliki 5, 21). Od skupinskih parametrov onesnaženja smo občasno nad mejo določljivosti analizirali AOX (slika 6). Na tem mestu smo določali tudi nižje vsebnosti kroma (sliki 7 in 23).



Slika 23: Vsebnost šest-valentnega in celokupnega kroma v industrijskem vodnjaku Koteks v obdobju od začetka marca 1998 do konca februarja 1999

Od triazinskih pesticidov smo v podtalnici v Koteksu nad mejo določljivosti analizirali atrazin, ki ni presegel dopustnih meja za pitno vodo (slika 8). Med lahkohlapnimi ogljikovodiki smo nad mejo določljivosti analizirali februarja 1999 tetrakloroetilen v dopustni koncentraciji (0,05 µg/l).

Mikrobiološko so vsi vzorci ustrezali normativom za pitno vodo, čeprav so bile stalno prisotne aerobne mezofilne bakterije (pri 22 °C).

## ELOK

V industrijskem vodnjaku Elok smo v obdobju od začetka marca 1998 do konca februarja 1999 vzorčevali podtalnico enkrat na dva meseca (skupaj 6 odvzemov vzorcev ter analiz) in v njej določali naslednje parametre:

- Osnovne fizikalno-kemijske parametre: temperaturo vode, pH vrednost, električno prevodnost, raztopljeni kisik ter nasičenost podtalnice s kisikom, amonij, nitrit in nitrat
- Skupinske parametre onesnaženj: anionaktivne detergente, fenolne snovi
- Triazinske pesticide
- Lahkohlapne klorirane ogljikovodike (LKCH)
- Mikrobiološke parametre

Rezultati vseh analiz podtalnice v Eloku za obdobje od začetka marca 1998 do konca februarja 1999 so zbrani v prilogi 7.

Temperatura podtalnice se je v opazovanem obdobju spreminjala med 10,8 in 13,5 °C (slika 1), vrednost pH pa med 7,5 in 7,7 (slika 2). Električno prevodnost smo izmerili med 427 in 488 µS/cm, letno povprečje je bilo 468 µS/cm (slika 3). Na tem mestu je bila podtalnica med vsemi zajemnimi mesti najslabše nasičena s kisikom (med 57 in 90 %), nasičenost se je tudi zelo spreminjala (slika 4). To se ni odražalo na kemijski potrebi po kisiku, ki je bila nizka. Vsebnost amonija in nitrita je bila v vseh vzorcih nižja od meje določljivosti analitskih metod, nizke so bile tudi vsebnosti nitrata (sliki 5 in 21). V podtalnici nismo določili detergentov, fenolnih snovi in triazinskih pesticidov (priloga 7, slika 8). Od lahkohlapnih kloriranih ogljikovodikov smo v vzorcu februarja 1999 določili nizko vsebnost tetrakloroetilena, ki kaže na posledice človekove dejavnosti, vendar je bila koncentracija komaj zaznavna (0,02 µg/l).





Mikrobiološko so bili vsi preiskani vzorci podtalnice iz Eloka neoporečni. V njih nismo določili nobene od preiskovanih vrst mikroorganizmov (priloga 7).

## **DEKORATIVNA**

V industrijskem vodnjaku Dekorativna smo v obdobju od začetka marca 1998 do konca februarja 1999 vzorčevali podtalnico enkrat na dva meseca. Februarskega vzorca zaradi tehničnih težav nismo mogli odvzeti, zato smo analizirali od načrtovanih 6 le 5 vzorcev in v njih določali naslednje parametre:

- Osnovne fizikalno-kemijske parametre: temperaturo vode, pH vrednost, električno prevodnost, raztopljeni kisik ter nasičenost podtalnice s kisikom, amonij, nitrit in nitrat
- Skupinske parametre onesnaženj: anionaktivne detergente, mineralna olja in fenolne snovi
- Kovine: živo srebro
- Triazinske pesticide
- Lahkohlapne klorirane ogljikovodike (LKCH)
- Mikrobiološke parametre

Rezultati vseh analiz podtalnice v Dekorativni za obdobje od začetka marca do konca decembra 1998 so zbrani v prilogi 7.

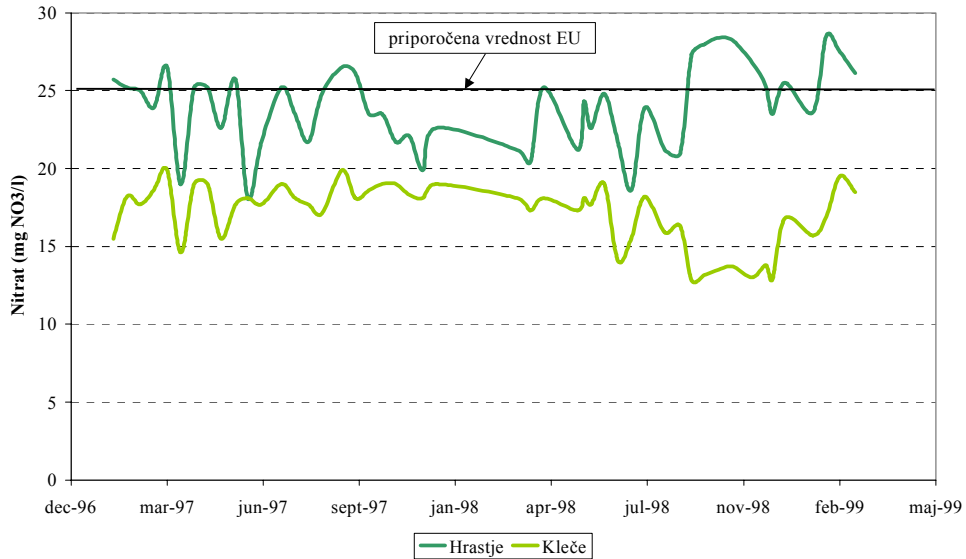
Na tem odvzemnem mestu smo izmerili sorazmerno visoke temperature podtalnice (med 12,6 in 13,3 °C) (slika 1), pH vrednost je bila med 7,0 in 7,6 (slika 2). Električna prevodnost je stalno nekoliko višja (med 570 in 634  $\mu\text{S}/\text{cm}$ ) (slika 3). Podtalnica je bila dobro nasičena s kisikom, vrednosti KPK pa so bile nekoliko višje kot na ostalih odvzemnih mestih, vendar še v dopustnih mejah. Vsebnosti amonija in nitrita so bile tudi v Dekorativni vse opazovano obdobje pod mejo določljivosti, nitrati pa so bili stalno visoki, ob priporočeni meji EU (sliki 5 in 21). Od skupinskih parametrov onesnaženja smo v podtalnici v Dekorativni analizirali anionaktivne detergente, mineralna olja in fenolne snovi. Rezultati naštetih parametrov so bili v vseh vzorcih pod mejo določljivosti analitskih metod. Od kovin smo določali živo srebro, ki v nobenem vzorcu ni preseglo dopustnega 1  $\mu\text{g}/\text{l}$ . V vzorcu odvzetem maja 1998 smo določili še dopustni koncentraciji atrazina in desetilatrazina, v ostalih vzorcih so bile vsebnosti vseh analiziranih triazinov pod mejo določljivosti (priloga 7), slika 8). Od lahkohlapnih kloriranih ogljikovodikov smo v Dekorativni oktobra 1998 določili nižjo vsebnost tetrakloroetilena (0,05  $\mu\text{g}/\text{l}$ ).

Vzorec, odvzet avgusta 1998 je bil mikrobiološko oporečen, saj so bili v njem močno povišani naslednji parametri: skupne koliformne bakterije (< 16/100 ml), aerobne mezofilne bakterije pri 22 °C (640/ml) in pri 37 °C (128/ml). Mikrobiološki parametri v ostalih vzorcih so ustrezali normativom za pitno vodo (priloga 7).



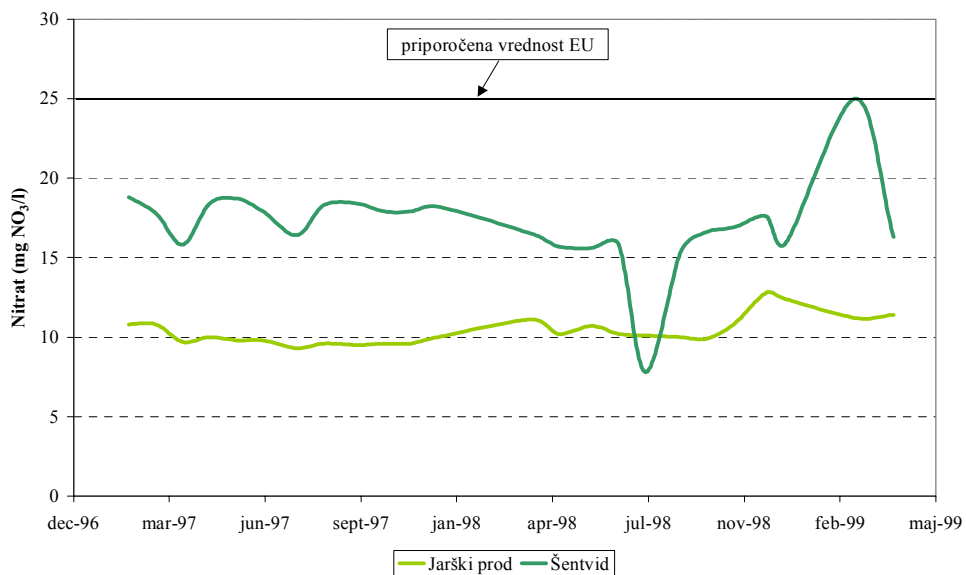
### 5.1.3 POMEMBNEJŠI PARAMETRI V OBDOBJU JANUAR 1997 – FEBRUAR 1999

Na sliki 24 je prikazano spreminjanje koncentracije nitrata v Klečah in v Hrastju, na sliki 25 pa spreminjanje nitrata v Šentvidu in Jarškemrodu v dveletnem obdobju.



Slika 24: Vsebnost nitrata v črpališčih Kleče in Hrastje v obdobju od januarja 1997 do konca februarja 1999

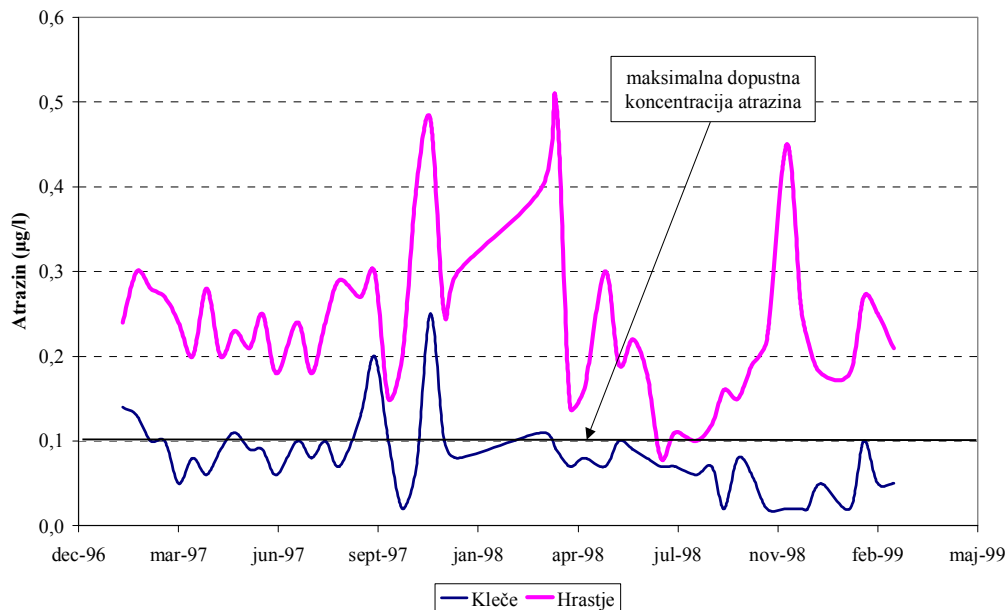
V omenjenem obdobju se je vsebnost nitrata na obeh črpališčih spreminjala in sicer v Klečah od 13 do 20 mg NO<sub>3</sub>/l, v Hrastju pa od 18 do 28 mg NO<sub>3</sub>/l. V Hrastju se od jeseni 1998 koncentracije povečujejo.



Slika 25: Vsebnost nitrata v črpališčih Šentvid in Jarški prod v obdobju od januarja 1997 do konca februarja 1999

V Šentvidu ugotavljamo nihanja vsebnosti nitrata ter večje povišanje nitrata v obdobju od julija 1998 do konca februarja 1999, ko se je koncentracija dvignila do priporočene vrednosti. V Jarškemrodu so bile vsebnosti nitrata v dveletnem obdobju nizke in stabilne, vendar je od leta 1998 nakazan trend počasnega naraščanja koncentracije nitrata.

Spreminjanje vsebnosti atrazina za dveletno obdobje v črpališčih Kleče in Hrastje je prikazana na sliki 26.

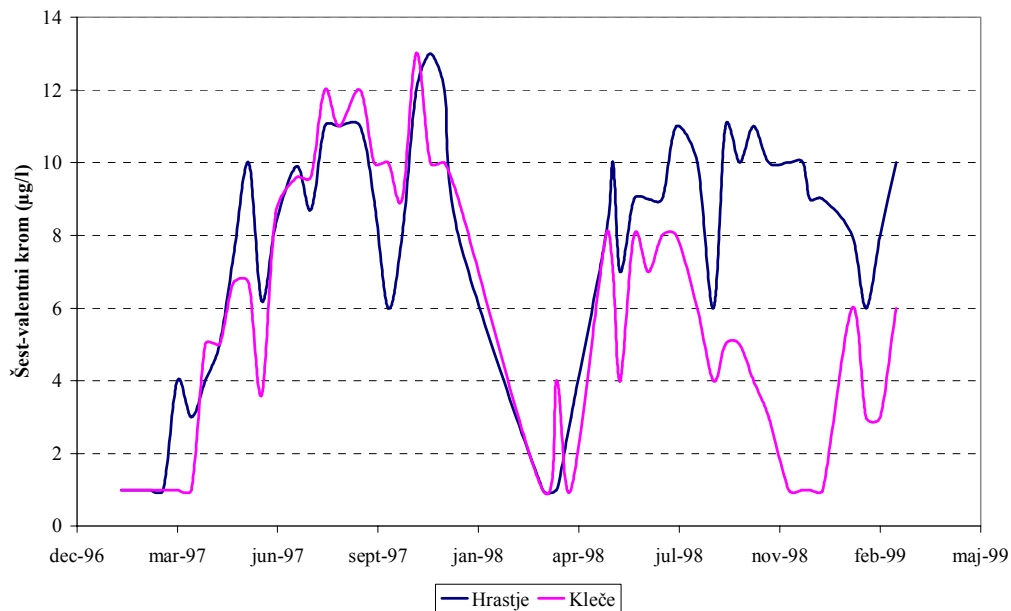


Slika 26: Vsebnost atrazina v črpališčih Kleče in Hrastje v obdobju od januarja 1997 do konca februarja 1999

V dveletnem obdobju spremljanja monitoringa kakovosti podtalnice za MOL je v Hrastju vsebnost atrazina stalno (z eno izjemo) močno presegala maksimalne dopustne koncentracije v pitni vodi, v Klečah pa občasno (slika 26).

Na sliki 27 so prikazane koncentracije šest-valentnega kroma v Klečah in Hrastju za dveletno obdobje.

Vsebnost šest-valentnega kroma in tudi celokupnega kroma se je v dveletnem obdobju v Klečah in v Hrastju spreminjala. Najnižja je bila obe leti v pomladnih mesecih, v poletnih in zimskih mesecih pa se je ponovno zvišala (slika 27).



Slika 27: Vsebnost šest-valentnega kroma v črpališčih Kleče in Hrastje v obdobju od januarja 1997 do konca februarja 1999



## **5.2 POVRŠINSKI VODOTOKI**

### **5.2.1 FIZIKALNO-KEMIJSKE ANALIZE**

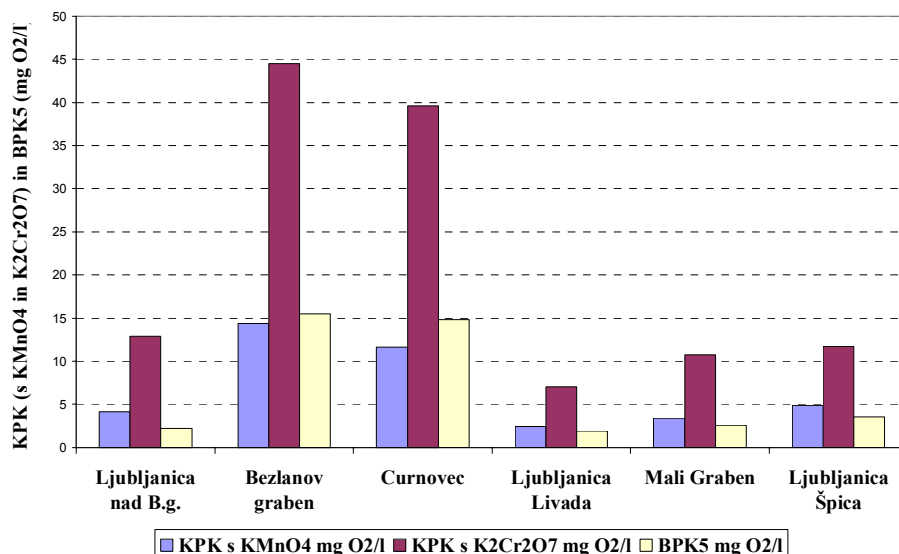
Rezultati osnovnih fizikalno-kemijskih analiz so zbrani v prilogi 8 v tabeli 9, rezultati vsebnosti kovin v vodi in suspendiranih delcih v tabeli 10, rezultati TOC in kovin v sedimentu v tabeli 11, rezultati bakterioloških analiz pa v tabeli 12. V prilogi 8 so zbrani tudi spektri GC/MS v vodi in sedimentu. Poleg rezultatov, dobljenih v okviru te naloge, so podane tudi povprečne vrednosti spremljanih parametrov v letu 1998 na zajemnem mestu Ljubljana Livada, katerega kakovost spremljamo v okviru državnega monitoringa kakovosti površinskih vodotokov.

#### **LJUBLJANICA**

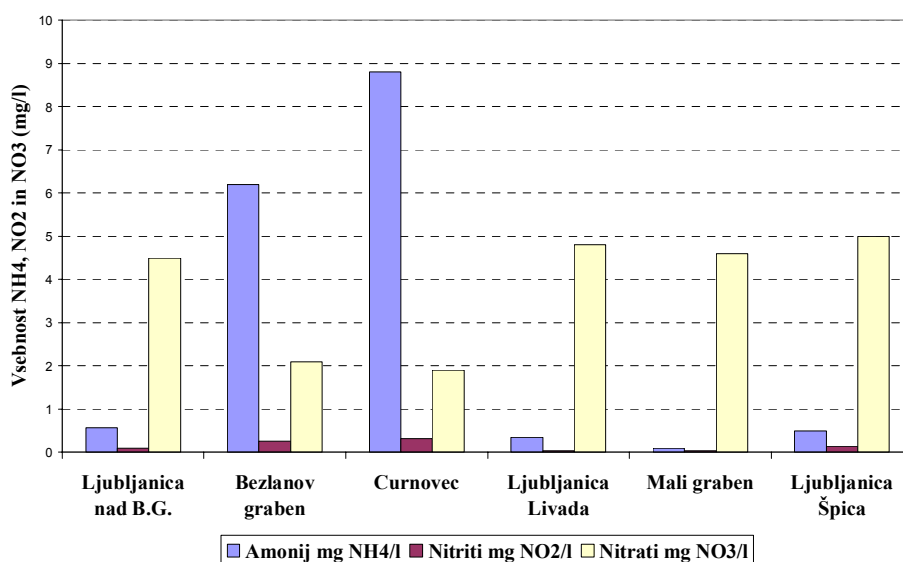
Kakovost Ljubljane smo preverjali na zajemnem mestu nad izlivom Bezlanovega grabna (zajemno mesto št. 1) in pod izlivom Malega Grabna v višini Špice (zajemno mesto št. 3). Za primerjavo so podane tudi povprečne letne vrednosti preiskovanih parametrov na zajemnem mestu Ljubljana Livada (zajemno mesto št. 2), kjer spremljamo kakovost v okviru državnega monitoringa. Ljubljana pod izlivom Malega Grabna v višini Špice je nekoliko bolj onesnažena kot nad izlivom Bezlanovega grabna. Določili smo višjo električno prevodnost in višjo vsebnost suspendiranih snovi. Kemijska potreba po kisiku je na obeh zajemnih mestih približno enaka, na zajemnem mestu pod izlivom Malega Grabna v višini Špice pa je višja biokemijska potreba po kisiku, kar pomeni, da je na tem zajemnem mestu prisotnih več biološko razgradljivih snovi (slika 28). Na zajemnem mestu pod izlivom Malega Grabna v višini Špice smo določili tudi višjo vsebnost nitrita (slika 29), orto-fosfata, kalija in fenolnih snovi. Vpliv pritokov Curnovca in Bezlanovega grabna na Ljubljanico verjetno zaradi njunih majhnih pretokov glede na Ljubljanico ni močno izražen, čeprav sta oba pritoka izredno močno onesnažena.

V vodi in suspendiranih snoveh Ljubljane so vsebnosti težkih kovin nizke. V spektru GC/MS smo v vodi na zajemnem mestu nad Bezlanovim grabnom identificirali substituirane alifatske ogljikovodike in različne sterole, na zajemnem mestu Ljubljana Špica pa poleg naštetih še sledove pesticida atrazina.

V sedimentu Ljubljane na zajemnem mestu nad Bezlanovim grabnom smo določili izredno visoko vsebnost kroma (470 mg/kg) in povišano vsebnost živega srebra, na zajemnem mestu Špica pa smo glede na zajemno mesto Ljubljana-nad izlivom Bezlanovega grabna določili več živega srebra (0,82 mg/kg), vsebnost kroma je bila povišana, vendar nižja kot pred izlivom Bezlanovega grabna. Vsebnost težkih kovin kroma, niklja in živega srebra v sedimentu Ljubljane in pritokih je prikazana na sliki 30. GC/MS posnetek sedimenta kaže prisotnost ftalatov, palmitinske kisline in žvepla, na zajemnem mestu pod izlivom Malega grabna pa poleg naštetih še oktahidro fenantren karboksilne kisline.



Slika 28: Kemijska in biokemijska potreba po kisiku v Ljubljani in pritokih



Slika 29: Vsebnost dušikovih spojin v Ljubljani in pritokih

### CURNOVEC IN BEZLANOV GRABEN

Osnovne fizikalno kemijske analize Curnovca in Bezlanovega grabna kažejo, da sta oba potoka izredno močno onesnažena, kar je posledica vpliva izcednih voda iz deponije Barje. Po merilih za ocenjevanje kakovosti površinskih vodotokov [9-14] oba vodotoka uvrščamo v najslabši, to je 4. kakovostni razred. Pravzaprav imata oba vodotoka po kemijski analizi prej karakteristike kanala z odpadno vodo kot naravnega vodotoka.

Na obeh zajemnih mestih smo izmerili visoko električno prevodnost, značilno za odpadne vode in zelo nizko vsebnost kisika. Visoka je bila tudi vsebnost nutrientov, predvsem amonijevih spojin in nitritov (slika 29), v Curnovcu pa tudi fosfatov. Tudi po vrednostih kemijske in biokemijske potrebe po kisiku obe zajemni mesti uvrščamo v najslabši, 4. kakovostni razred,

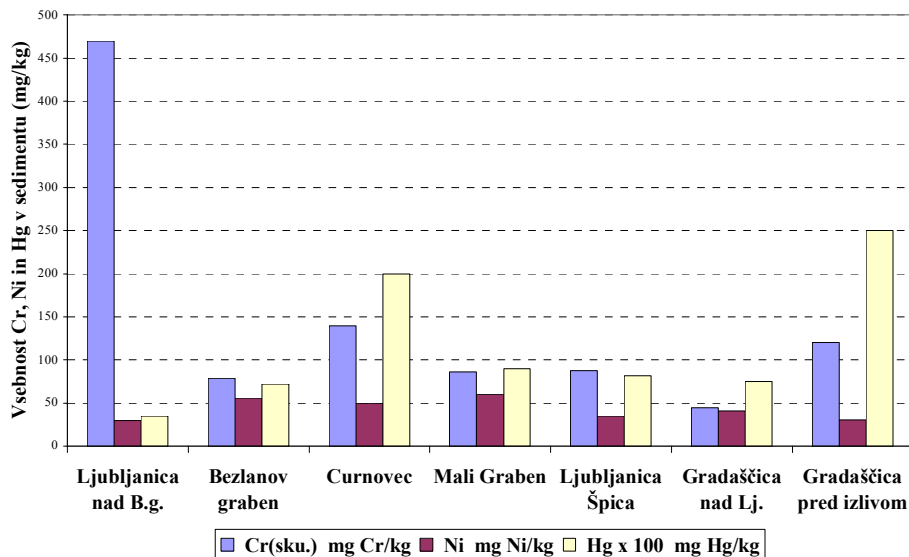


saj je onesnaženje z organsko maso izredno veliko. Razmerje KPK / BPK<sub>5</sub> je visoko, kar pomeni, da je prisotnih veliko biokemijsko težje razgradljivih snovi, oziroma toksičnih spojin, ki zavirajo biokemijsko razgradnjo. Zelo visoke so tudi vsebnosti celokupnega organskega ogljika in celokupnega dušika. V Bezlanovem grabnu smo določili zelo visoko vsebnost sulfatov, kloridov, silicijevega dioksida, natrija in kalija. Tudi v Curnovcu so vsebnosti vseh naštetih parametrov visoke. Vsebnost bora je bila najvišja na zajemnem mestu v Bezlanovem grabnu, sledi mu Curnovec.

Vsebnost težkih kovin v vodi in suspendiranih delcih je bila nizka. V večini vzorcev so vsebnosti težkih kovin pod mejo detekcije, le vsebnosti bakra, kroma in v Bezlanovem grabnu tudi svineca so nad mejo detekcije, vendar še vedno precej pod mejno vrednostjo za 1. kakovostni razred [10,13,14].

Na posnetku GC/MS smo v vodi Curnovca in Bezlanovega grabna ugotovili prisotnost derivatov benzojske kisline in različno substituiranih holesterolov, v Curnovcu pa tudi prisotnost pesticida atrazina.

Močno onesnažen je tudi sediment. Obremenjen je z organsko maso, kar kaže visok % TOC v sedimentu. Poleg tega smo v sedimentih Curnovca in Bezlanovega grabna določili tudi povišane vsebnosti težkih kovin (slika 30). V sedimentu Curnovca smo določili zmerno povišane vsebnosti bakra, svineca, cinka in kadmija ter močno povišane vsebnosti kroma (140 mg/kg) in živega srebra (2,00 mg/kg). Sediment Bezlanovega grabna je vseboval zmerno povišane vsebnosti kroma, bakra, niklja in svineca ter povišano vsebnost živega srebra (slika 30). GC/MS posnetek sedimenta na obeh zajemnih mestih kaže prisotnost žvepla, maščobnih kislin in ftalatov.



Slika 30: Vsebnost kroma, niklja in živega srebra v sedimentu Ljubljanice in pritokih

### MALI GRABEN

Mali graben ima dobre kisikove razmere. Po vrednosti KPK in BPK<sub>5</sub> bi ga uvrstili v II.-III. kakovostni razred. Zmerno obremenjen je tudi z amonijevimi spojinami in z nitriti, nekoliko je povišana tudi vsebnost orto-fosfata. Vsebnost vseh težkih kovin v vodi in suspendiranih snoveh je pod mejo detekcije. V vodi smo v posnetku GC/MS identificirali pesticid atrazin in različne alifatske in aromatske ogljikovodike.





V sedimentu smo analizirali povišane vsebnosti živega srebra, kroma, niklja in svınca (slika 30). Posnetek GC/MS za sediment pa kaže prisotnost ftalatov, žvepla in palmitinske kisline.

### **GRADAŠČICA**

Gradaščica nad Ljubljano je dokaj čist potok z ugodnimi kisikovimi razmerami in nizko obremenjenostjo z organsko maso. Na poti skozi Ljubljano se njena kakovost poslabša. Vsebnost kisika na zajemnem mestu pred izlivom v Ljubljanico je še vedno dobra, poveča pa se onesnaženost s komunalnimi odpadki, kar se kaže v povišanih vrednostih KPK, BPK<sub>5</sub> in v povišanih vsebnostih nutrientov. Voda in suspendirane snovi Gradaščice so neobremenjene s težkimi kovinami. Posnetek GC/MS v vodi kaže, da je v zgornjem toku Gradaščica dokaj neobremenjena z organskimi spojinami antropološkega izvora, na zajemnem mestu pred izlivom v Ljubljanico pa smo na posnetku GC/MS identificirali sledove atrazina in različne kondenzirane policiklične aromatske spojine.

V sedimentih Gradaščice smo na obeh zajemnih mestih določili dokaj visok odstotek totalnega organskega ogljika. Na zajemnem mestu Gradaščica nad Ljubljano (zajemno mesto št. 7) smo v sedimentu ugotovili povišano vsebnost živega srebra, na zajemnem mestu pred izlivom v Ljubljanico (zajemno mesto št. 8) pa močno povišano vsebnost živega srebra (2,50 mg/kg), bakra, svınca ter povišano vsebnost kadmija, kroma in cinka (slika 30). V sedimentu Gradaščice nad Ljubljano smo v posnetku GC/MS ugotovili prisotnost žvepla, palmitinske kisline in ftalatov, na zajemnem mestu pred izlivom v Ljubljanico pa poleg teh še policiklične aromatske ogljikovodike piren, benzo(a)antracen, krizen in benzo(b)fluoranten.

### **5.2.2 BAKTERIOLOŠKE ANALIZE**

Vzorci za bakteriološke analize smo zajeli štirikrat v juliju in avgustu, v času kopalne sezone. Izbrali smo tista zajemna mesta, kjer se ljudje kopajo.

V vzorcih smo analizirali dva parametra, predpisana s pravilnikom o higienskih zahtevah za kopalne vode [15]:

1. skupne koliformne bakterije, MPN v 100 ml
2. koliformne bakterije fekalnega izvora MPN v 100 ml

Rezultati analiz so zbrani v tabeli 12 in so bili ocenjeni po zgoraj omenjenem pravilniku. Po tem pravilniku je samo eden izmed 24 vzorcev (Ljubljanica nad izlivom Bezlanovega grabna, zajet dne 24. 8. 1998) ustrezal zahtevam, vsi ostali vzorci pa so bili po bakteriološki analizi neprimerni za kopanje.

V okviru državnega monitoringa smo ta dva parametra spremljali tudi na zajemnem mestu Ljubljanica Livada. Vzorce za mikrobiološko analizo smo zajeli štirikrat v letu 1998, nobeden od vzorcev pa ni ustragal zahtevam za kopalne vode.



## **6 ZAKLJUČKI**

### **6.1 PODTALNICE**

Na osnovi rezultatov meritev in analiz, katere smo izvedli v okviru monitoringa kakovosti podtalnice v obdobju od začetka marca 1998 do konca februarja 1999, ugotavljamo:

Na območju MOL je najslabše kakovosti podtalnica v črpališču pitne vode v Hrastju. Na tem mestu so bili v obravnavanem obdobju v podtalnici preseženi naslednji parametri, ki kažejo na onesnaženje zaradi človekovih dejavnosti:

- Največji problem v Hrastju je onesnaženje podtalnice s pesticidi, posebno s triazini. V obdobju od začetka marca 1998 do konca februarja 1999 smo določili do petkrat presežene maksimalne dopustne koncentracije atrazina. Ob atrazinu smo določili še dopustne koncentracije njegovega metabolita desetilatrazina.
- V letu 1998 se je v podtalnici Ljubljanskega polja pojavil tudi herbicid bromacil, katerega smo do takrat določali le v Homcu v dolini Kamniške Bistrice, sicer pa nikjer v Sloveniji. Najvišje koncentracije bromacila smo določili v Hrastju, kjer je do dvakrat presegel dopustno mejno koncentracijo.
- Na tem mestu smo ugotovili tudi najvišje vrednosti AOX ter tetrakloroetilena v podtalnici na območju MOL.
- V podtalnici v Hrastju smo določili najvišje koncentracije kroma, pa tudi sorazmerno visoke vsebnosti svinca, ki so dosegale do 40% dopustne koncentracije.
- Vsebnost nitratov se je v obdobju od začetka marca 1998 do konca februarja 1999 pogosto dvignila nad priporočeno mejno koncentracijo EU.

Na osrednjem črpališču ljubljanskega vodovoda v Klečah ugotavljamo onesnaženje podtalnice s šest-valentnim kromom, katero se zelo počasi znižuje, ter z atrazinom, ki je v opazovanem obdobju večkrat dosegel mejne dopustne koncentracije, ni pa jih presegel. Glede na predhodnje leto, ko smo določali do 2,5-krat prekoračene vsebnosti atrazina na tem mestu, je to delno izboljšanje (slika 26).

Tudi v črpališču v Šentvidu se je vsebnost atrazina v podtalnici v opazovanem obdobju nekoliko znižala. Mejne vrednosti smo določili dvakrat, sicer so bile koncentracije nižje od dopustnih vrednosti.

Na ostalih zajemnih mestih je bila podtalnica boljše kakovosti. Najmanj onesnaženja ugotavljamo v črpališčih Jarški prod in Iški vršaj (Brest). V Iškem vršaju smo v vzorcu odvzetem decembra 1998 dvakrat preseženo priporočeno vsebnost cinka za pitno vodo, vsebnost v ostalih vzorcih je bila nizka.

V vrtinah Roje in Stožice ter industrijskih vodnjakih Koteks, Elok in Dekorativna smo podtalnico po skrčenem programu analizirali na dva meseca. Na osnovi rezultatov na teh mestih ne ugotavljamo večjih onesnaženj podtalnice.

Vsi preiskani vzorci z izjemo vzorca, vzetega avgusta 1998 v Dekorativni, so bili mikrobiološko neoporečni in po normativih primerni za pitno vodo.

### **6.2 POVRŠINSKI VODOTOKI**

V okviru monitoringa kakovosti površinskih vodotokov na območju Mestne občine Ljubljana smo spremljali kakovost tistih vodotokov, katerih kakovosti ne spremljamo v okviru državnega



monitoringa. V program je bilo vključenih osem zajemnih mest, glavna kriterija za izbiro zajemnih mest pa sta bila vpliv večjih onesnaževalcev in primernost vodotokov za kopanje. Ugotovili smo, da sta potoka Curnovec in Bezlanov graben izredno močno onesnažena, kar je verjetno posledica dotoka izcednih vod iz deponije Barje. Ugotavljamo tudi, da je situacija v zadnjih štirih letih približno konstantna in da ni opaziti izboljšanja situacije. V Curnovcu smo v letu 1998 izmerili celo višje vrednosti parametrov onesnaženja kot v preteklih letih. Slaba kakovost omenjenih vodotokov vpliva tudi na slabšo kakovost Ljubljanice po dotoku le-teh. Mali graben ni tako močno onesnažen, opozoriti pa je treba, da smo v sedimentu analizirali težke kovine, GC/MS posnetek pa kaže prisotnost pesticida atrazina. Gradaščici se kakovost poslabša na poti skozi Ljubljano. Na zajemnem mestu pred izlivom v Ljubljano smo v vodi identificirali sledove atrazina in različne kondenzirane policiklične aromatske spojine, v sedimentu pa živo srebro, baker, svinec, kadmij, krom in cink. Rezultati bakterioloških so bili ocenjeni na podlagi Pravilnika o higienskih zahtevah za kopalne vode [15]. Po tem pravilniku je samo eden izmed 24 vzorcev (Ljubljana nad izlivom Bezlanovega grabna, zajet dne 24. 8. 1998) ustrezal zahtevam za kopanje, vsi ostali vzorci pa so bili bakteriološko neprimerni za kopanje.



## 7 LITERATURA

- [1] Poročilo o monitoringu kakovosti podtalnice na območju mestne občine Ljubljana v letu 1997, MOP-HMZ junij 1998
- [2] Monitoring podtalnice na območju Mestne občine Ljubljana v letu 1998 (prvo vmesno poročilo), MOP-HMZ september 1998
- [3] Poročilo o monitoringu kakovosti podtalnice in površinskih vodotokov na območju Mestne občine Ljubljana v letu 1998 (drugo vmesno poročilo), MOP-HMZ oktober 1998
- [4] Poročilo o monitoringu kakovosti podtalnice in površinskih voda na območju Mestne občine Ljubljana v letu 1998 (tretje vmesno poročilo), MOP-HMZ januar 1999
- [5] Poročilo o monitoringu kakovosti podtalnice in površinskih voda na območju Mestne občine Ljubljana v letu 1998 (četrtο vmesno poročilo), MOP-HMZ april 1999
- [6] Standards Methods for the Examination of Water and Wastewater, 18<sup>th</sup> Edition, APHA - AWWA - WEF (1992)
- [7] Fritz J.S., Yamamura S.S., *Anal.Chem.* **27** (9), 1461 (1995)
- [8] Manual for Monitoring Oil and Dissolved/Dispersed Petroleum Hydrocarbon in Marine Waters and on Beaches, UNESCO 13/1984
- [9] Pravilnik o zdravstveni ustreznosti pitne vode *Uradni list RS, št. 46/97* ter dopolnili *Uradni list RS, št. 52/97* in *Uradni list RS, št. 54/98*
- [10] Council Directive 80/778/EEC of 15 July 1980 relating to the quality of water intended for human consumption
- [11] Uredba o klasifikaciji voda medrepubliških vodnih tokov, meddržavnih voda in voda obalnega morja Jugoslavije, *Uradni list SFRJ, št. 6/78*
- [12] Odlok o maksimalno dopustnih koncentracijah radionuklidov in nevarnih snovi v medrepubliških vodnih tokovih, meddržavnih vodah in vodah obalnega morja Jugoslavije, *Uradni list SFRJ, št. 8/78*
- [13] 75/440/EEC, Concil Directive of 16. June 1975, concerning the quality required for the abstarction of drinking water in the Member States
- [14] Allgemeine Güteanforderungen für Fliessgewässer (AGA)-Tscheidungshilfe für die Wasserrechtbehörden in Wasser-rechtlichen Erlaubnisverfahren, Ministerium für Umwelt, Raumordnung und Landwirtschaft vom 14. Mai 1991 (MBI.NW S. 863)
- [15] Pravilnik o higienskih zahtevah za kopalne vode, *Uradni list SRS, št. 9/88*
- [16] Geološka karta Slovenije, Geološki zavod Ljubljana
- [17] Sigel H., Metal Ions in Biological Systems, Vol. 18, Circullations of Metals in the Environmental, Marcel Dekker, Inc, New York
- [18] Turekian K.K., Distribution of the elements in some major units of the earth's crust, *Geological Society of America Bulletin* **72** (1961) 175 - 19
- [19] Raziskave kakovosti voda površinskih vodotokov v Sloveniji 1986, 1987, 1988, 1989, 1990, 1991, 1992, 1993, 1994, 1995, 1996 in 1997, HMZ RS, Ljubljana