

Univerza
v Ljubljani
Fakulteta
*za gradbeništvo
in geodezijo*

*Janova 2
1000 Ljubljana, Slovenija
telefon (01) 47 68 500
faks (01) 42 50 681
fgg@fgg.uni-lj.si*



Univerzitetni program Vodarstvo in
komunalno inženirstvo

Kandidat:

Sašo Klemenčič

Uporaba programa PEARL za simulacijo emisije pesticidov v podtalnico Ljubljanskega polja

Diplomska naloga št.: 32

Mentor:
prof. dr. Mitja Brilly

Somentor:
prof. dr. Branivoj Matičič

Ljubljana, 30. 6. 2005

BIBLIOGRAFSKO – DOKUMENTACIJSKA STRAN IN IZVLEČEK

UDK: 004.42:504.4.05:556.3(497.14Ljubljansko polje)(043.2)
Avtor: Sašo Klemenčič
Mentor: prof. dr. Mitja Brilly
Naslov: Uporaba programa PEARL za simulacijo emisije pesticidov
v podtalnico Ljubljanskega polja.
Obseg in oprema: 82 str., 19 pregl., 76 sl., 1 en.
Ključne besede: podtalnica, atrazin, metolaklor, PEARL, Ljubljansko polje
Izvleček

Podtalnica Ljubljanskega polja je eno najpomembnejših vodnih teles v Sloveniji in predstavlja vir pitne vode za okoli 300.000 ljudi. Tla, ki prekrivajo vodonosnik, so večinoma plitva in dobro prepustna, zaradi tega podtalnico ogrožajo pesticidi, ki pronicajo iz kmetijskih površin na Ljubljanskem polju. Velike količine v preteklosti uporabljenega atrazina na Ljubljanskem polju so privedle do tega, da sta atrazin in njegov razgradni produkt desetil atrazin presegla mejne vrednosti in sta še vedno prisotna v podtalnici. Zaradi manjše porabe po letu 1995 in prepovedi uporabe atrazina leta 2003 se njuna vrednost počasi zmanjšuje. Da bi se v prihodnosti takšna stanja preprečilo, sem v diplomski nalogi skušal ugotoviti uporabnost modela PEARL za ocenjevanje mobilnosti pesticidov, preden se ti dajo v promet.

BIBLIOGRAPHIC-DOCUMENTALISTIC INFORMATION

UDC: 004.42:504.4.05:556.3(497.14Ljubljansko polje)(043.2)
Author: Sašo Klemenčič
Supervisor: prof. dr. Mitja Brilly
Title: Usage of program PEARL for simulation of pesticide emission into the Ljubljana polje groundwater
Notes: 82 p., 19 tab., 76 fig., 1 eq.
Key words: groundwater, atrazine, metolaclor, PEARL, Ljubljansko polje

Abstract

Groundwater of Ljubljansko polje is one of the most important water bodies in Slovenia and represents a source of drinking water for around 300.000 people. Soil covering the aquifer is mostly shallow and permeable. Because of that leaking of pesticides from Ljubljansko polje fields represents a threat for groundwater. In the past atrazine was used in big amounts at Ljubljansko polje, which is the reason that atrazine and its metabolite desethyl atrazine have exceeded limit value and are still present in groundwater. After year 1995 use of atrazine started to decrease in year 2003 the use of atrazine was prohibited. Because of that the quantity of atrazine and desethyl atrazine in groundwater is slowly reducing. In order to prevent such scenarios in the future, I tried to establish suitability of the model PEARL for Ljubljansko polje. With the model PEARL one can evaluate pesticides mobility, before they are registered and deployed to fields.

ZAHVALA

Za pomoč pri izdelavi diplomske naloge se zahvaljujem mentorju prof. dr. Mitju Brillyju in somentorju prof. dr. Branetu Matičiču.

Za podatke, ki sem jih uporabil v diplomski nalogi se zahvaljujem Kmetijskemu inštitutu Slovenije in Agenciji RS za okolje.

Zahvalil bi se tudi Maji, ki mi je stala ob strani in me podpirala, svoji pokojni stari mami, staršem, ki so mi pomagali v času študija ter sestri za lektoriranje.

Zahvaljujem se tudi vsem prijateljem in znancem za podporo in vzpodbudo.

KAZALO VSEBINE

1	UVOD	1
1.1	Namen diplomske naloge	3
1.2	Sestava diplomske naloge	3
2	PREGLED OBJAV	4
2.1	Ljubljansko polje	4
2.2	Geološka zgradba	6
2.3	Hidrogeološke značilnosti	7
2.4	Pedološke in hidropedološke značilnosti	10
2.5	Padavine in infiltracija	10
2.6	Vodarne na Ljubljanskem polju	12
2.6.1	Lega vodarn na Ljubljanskem polju in pokrovnost tal okoli njih	13
2.6.1.1	Vodarna Jarški Brod	14
2.6.1.2	Vodarna Kleče	15
2.6.1.3	Vodarna Hrastje	16
2.6.1.4	Vodarna Šentvid	17
2.7	Mešanje v podzemni vodi	18
2.8	Obremenjevanje podtalne vode na Ljubljanskem polju	19
2.9	Ostanki atrazina v podtalnici Ljubljanskega polja	21
2.9.1	Desni breg Save	21
2.9.2	Levi breg Save	25
3	MATERIALI IN METODE	27
3.1	Materiali	27
3.1.1	Tla znotraj vodovarstvenih pasov	27
3.1.2	Kmetijska pridelava znotraj varstvenih pasov	28
3.1.3	Obremenitve tal in podtalnice s fitofarmaceutskimi sredstvi	32

3.1.3.1	Zakonodaja	32
3.1.3.2	Uporaba fitofarmaceutskih sredstev	32
3.1.4	Atrazin in njegovi produkti	34
3.1.4.1	Zakonodaja	34
3.1.4.2	Fizikalno – kemijske lastnosti atrazina	35
3.1.4.3	Razpolovni čas atrazina po slojih	35
3.1.4.4	Absorpcija atrazina	36
3.1.5	Vrednosti uporabljene v modelu PEARL	36
3.1.5.1	Tla	36
3.1.5.1.1	Lahka tla	37
3.1.5.1.2	Lahka in srednje težka tla	38
3.1.5.1.3	Srednje težka tla	39
3.1.5.2	Atrazin	40
3.1.5.2.1	Uporabljene fizikalno – kemijske lastnosti	40
3.1.5.2.2	Absorpcija v odvisnosti od zemljine	40
3.1.5.2.3	Razpolovni čas v odvisnosti od globine	40
3.1.5.2.4	Nanašanje atrazina	41
3.1.5.3	Metolaklor	42
3.1.5.3.1	Uporabljene fizikalno – kemijske lastnosti za metolaklor	42
3.1.5.3.2	Absorpcija metolaklora	42
3.1.5.3.3	Razpolovni čas metolaklora v odvisnosti od globine	42
3.1.5.3.4	Nanašanje metolaklora	43
3.1.5.4	Obdelovanje tal	43
3.1.5.5	Meteorološki podatki	43
3.2	Metode	44
3.2.1	Programski paket FOCUS PEARL 2.2.2	44
4	REZULTATI	48
4.1	Ocenjeno nanašanje atrazina na Ljubljanskem polju	48
4.2	Koncentracije atrazina v tleh na različnih globinah	48

4.2.1	Lahka tla	49
4.2.2	Lahka in srednje težka tla	50
4.2.3	Srednje težka tla	52
4.3	Koncentracije atrazina v precedku na različnih globinah	54
4.3.1	Lahka tla	55
4.3.2	Lahka in srednje težka tla	57
4.3.3	Srednje težka tla	60
4.4	Letni nanos atrazina 1, 5 kg na hektar skozi celotno simulirano obdobje	63
4.5	Letni nanos atrazina 0, 75 kg na hektar skozi celotno simulirano obdobje	64
5	RAZPRAVA IN SKLEPI	67
5.1	Razprava	67
5.1.1	Izmerjene vrednosti atrazina v vodnjakih	67
5.1.2	Vodarne na Ljubljanskem polju	68
5.1.2.1	Vodarna Jarški Brod	68
5.1.2.2	Vodarna Kleče	68
5.1.2.3	Vodarna Hrastje	68
5.1.2.4	Vodarna Šentvid	69
5.1.3	Prispevne površine vodarn ob različnih pogojih	69
5.1.4	Primerjava izračunanih vrednosti z izmerjenimi	72
5.2	Sklepi	76
6	POVZETEK	78
7	VIRI	81

KAZALO PREGLEDNIC

- Preglednica 1: Deleži vode reke Save v posameznih vodnjakih.
- Preglednica 2: Nekateri podatki tal zbrani iz ustreznih talnih profilov za območje Ljubljana.
- Preglednica 3: Pregled in struktura rabe zemljišč.
- Preglednica 4: Površina in struktura prijavljenih gojenih rastlin na VVO MOL v letu 2000.
- Preglednica 5: Površina in struktura prijavljenih gojenih rastlin znotraj območij posameznih vodarn ter ocena istih površin s strani svetovalne službe.
- Preglednica 6: Ocena letne porabe posameznih aktivnih snovi (kg) na območju MOL v letih med 1990 in 2002 (ocena pridobljena na podlagi podatkov o prodaji FFS, podatkov o površinah gojenih rastlin in anket pridelovalcev).
- Preglednica 7: Mejne vrednosti za pesticide.
- Preglednica 8: Razpolovni časi po slojih.
- Preglednica 9: Absorpcija atrazina v različnih tipih zemljine.
- Preglednica 10: Parametri uporabljeni v modelu PEARL, za lahka tla.
- Preglednica 11: Uporabljeni Van Genuchten-ovi parametri modela PEARL za lahka tla.
- Preglednica 12: Parametri uporabljeni v modelu PEARL za lahka in srednje težka tla.
- Preglednica 13: Uporabljeni Van Genuchten-ovi parametri modela PEARL za lahka in srednje težka tla.
- Preglednica 14: Parametri uporabljeni v modelu PEARL za srednje težka tla.
- Preglednica 15: Uporabljeni Van Genuchten-ovi parametri modela PEARL za srednje težka tla.
- Preglednica 16: Absorpcija atrazina v odvisnosti od zemljine.
- Preglednica 17: Razpolovni čas atrazina v odvisnosti od zemljine in globine.
- Preglednica 18: Nanašanje atrazina na polje v simulaciji.
- Preglednica 19: Razpolovni čas v odvisnosti od zemljine in globine.

KAZALO SLIK

- Slika 1: Ljubljansko polje
- Slika 2: Antropogeni vplivi na Ljubljansko polje
- Slika 3: Industrija in obrtne dejavnosti na Ljubljanskem polju
- Slika 4: Hidrogeološki prerez Ljubljanskega polja.
- Slika 5: Tok podtalnice Ljubljanskega polja
- Slika 6: Tokovnice v obdobju najnižjih gladin podtalnice (februar 1989)
- Slika 7: Tokovnice v obdobju maksimalnih padavin (oktober 1992)
- Slika 8: Tokovnice v obdobju najvišjega vodostaja reke Save in najvišjega vodostaja podtalnice (november 2000)
- Slika 9: Povprečne padavine in infiltracija na Ljubljanskem polju.
- Slika 10: Vodnjaki na Ljubljanskem polju.
- Slika 11: Pokrovnost tal na Ljubljanskem polju leta 2000.
- Slika 12: Vodarna Jarški Brod in pokrovnost tal okoli nje.
- Slika 13: Vodarna Kleče in pokrovnost tal okoli nje.
- Slika 14: Vodarna Hrastje in pokrovnost tal okoli nje.
- Slika 15: Vodarna Šentvid in pokrovnost tal okoli nje.
- Slika 16: Deleži reke Save v opazovanih vodnjakih.
- Slika 17: Mreža merilnih mest državnega monitoringa podtalnice na Ljubljanskem polju.
- Slika 18: Vsebnosti atrazina na merilnem mestu Brod 11.
- Slika 19: Vsebnosti atrazina na merilnem mestu Šentvid 2a.
- Slika 20: Vsebnosti atrazina na merilnem mestu Kleče 8a.
- Slika 21: Vsebnosti atrazina na merilnem mestu Kleče 11.
- Slika 22: Vsebnosti atrazina na merilnem mestu Kleče 14.
- Slika 23: Vsebnosti atrazina na merilnem mestu Hrastje 1a.
- Slika 24: Vsebnosti atrazina na merilnem mestu Hrastje 4.
- Slika 25: Vsebnosti atrazina na merilnem mestu Hrastje 8.
- Slika 26: Vsebnosti atrazina na merilnem mestu Koteks.
- Slika 27: Vsebnosti atrazina na merilnem mestu Jarški Brod 1.

Slika 28: Vsebnosti atrazina na merilnem mestu Jarški Brod 3.

Slika 29: Varstveni pasovi na Ljubljanskem polju po odloku iz leta 1988.

Slika 30: Vodovarstvena območja na Ljubljanskem polju po uredbi iz leta 2004.

Slika 31: Pregled procesov vključenih v model PEARL

Slika 32: Diagram modela SWAP

Slika 33: Pregled podatkovne baze modela PEARL

Slika 34: Koncentracija atrazina v tleh na globini 4,4 cm in 9,4 cm izračunana za lahka tla.

Slika 35: Koncentracija atrazina v tleh na globini 20,3 cm, 31,5 cm, 41,5 cm 51,5 cm in 76,5 cm izračunana za lahka tla.

Slika 36: Koncentracija atrazina v tleh na globini 1,04 m, 2,04 m, 4,998 m, 7,522 m in 9,955 m izračunana za lahka tla.

Slika 37: Koncentracija atrazina v tleh na globini 4,2 cm in 9,2 cm izračunana za lahka in srednje težka tla.

Slika 38: Koncentracija atrazina v tleh na globini 19,2 cm in 30,0 cm izračunana za lahka in srednje težka tla.

Slika 39: Koncentracija atrazina v tleh na globini 38,5 cm, 48,5 cm in 73,5 cm izračunana za lahka in srednje težka tla.

Slika 40: Koncentracija atrazina v tleh na globini 1,0 m, 2,0 m, 5,0 m, 7,5 m in 10,0 m izračunana za lahka in srednje težka tla.

Slika 41: Koncentracija atrazina v tleh na globini 4,2 cm in 9,2 cm izračunana za srednje težka tla.

Slika 42: Koncentracija atrazina v tleh na globini 19,2 cm, 30,0 cm, 40,0 cm in 50,0 cm izračunana za srednje težka tla.

Slika 43: Koncentracija atrazina v tleh na globini 74,5 cm izračunana za srednje težka tla.

Slika 44: Koncentracija atrazina v tleh na globini 0,95 m, 1,95 m, 4,959 m, 7,532 m in 10,01 m izračunana za srednje težka tla.

Slika 45: Koncentracija atrazina v precedku na globini 4,2 cm in 9,2 cm izračunana za lahka tla.

Slika 46: Koncentracija atrazina v precedku na globini 20,3 cm, 31,5 cm, 41,5 cm in 51,5 cm 76,5 cm izračunana za lahka tla.

Slika 47: Koncentracija atrazina v precdku na globini 0,76 m, 1,04 m, 2,04 m in 4,998 m izračunana za lahka tla.

Slika 48: Koncentracija atrazina v precdku na globini 7,522 m in 9,955 m izračunana za lahka tla.

Slika 49: Koncentracija atrazina v precdku na globini 10,0 m izračunana za lahka tla.

Slika 50: Koncentracija atrazina v precdku na globini 4,2 cm in 9,2 cm izračunana za lahka in srednje težka tla.

Slika 51: Koncentracija atrazina v precdku na globini 19,2 cm, 30,0 cm, 38,5 cm in 48,5 cm izračunana za lahka in srednje težka tla.

Slika 52: Koncentracija atrazina v precdku na globini 0,735 m, 1,01 m, 2,01 m in 4,987 m izračunana za lahka in srednje težka tla.

Slika 53: Koncentracija atrazina v precdku na globini 7,521 m in 9,964 m izračunana za lahka in srednje težka tla.

Slika 54: Koncentracija atrazina v precdku na globini 10 m izračunana za lahka in srednje težka tla.

Slika 55: Koncentracija atrazina v precdku na globini 4,167 cm in 9,167 cm izračunana za srednje težka tla.

Slika 56: Koncentracija atrazina v precdku na globini 19,17 cm, 30,0 cm, 40,06 cm in 50,5 cm izračunana za srednje težka tla.

Slika 57: Koncentracija atrazina v precdku na globini 0,745 m, 0,95 m in 1,95 m izračunana za srednje težka tla.

Slika 58: Koncentracija atrazina v precdku na globini 4,959 m, 7,532 m in 10,01 m izračunana za srednje težka tla.

Slika 59: Koncentracija atrazina v precdku na globini 10 m izračunana za srednje težka tla.

Slika 60: Koncentracija atrazina v precdku na globini 10 m izračunana za lahka tla.

Slika 61: Koncentracija atrazina v precdku na globini 10 m izračunana za lahka in srednje težka tla.

Slika 62: Koncentracija atrazina v precdku na globini 10 m izračunana za srednje težka tla.

Slika 63: Koncentracija atrazina v precdku na globini 10 m izračunana za lahka tla.

Slika 64: Koncentracija atrazina v precedku na globini 10 m izračunana za lahka in srednje težka tla.

Slika 65: Koncentracija atrazina v precedku na globini 10 m izračunana za srednje težka tla.

Slika 66: Tok vode po vodonosniku Ljubljanskega polja.

Slika 67: Potek tokovnic pod različno pokrovnostjo tal - obdobje najnižjih gladin podtalnice (februar 1989).

Slika 68: Potek tokovnic pod različno pokrovnostjo tal - obdobje maksimalnih padavin (oktober 1992).

Slika 69: Potek tokovnic pod različno pokrovnostjo tal - obdobje najvišjega vodostaja Save in najvišjega vodostaja podtalnice (november 2000).

Slika 70: Izračunane in izmerjene vrednosti (izmerjene vrednosti se nanašajo na desno skalo) atrazina na merilnem mestu Brod 11.

Slika 71: Izračunane in izmerjene vrednosti (izmerjene vrednosti se nanašajo na desno skalo) atrazina na merilnem mestu Šentvid 2a.

Slika 72: Izračunane in izmerjene vrednosti (izmerjene vrednosti se nanašajo na desno skalo) atrazina na merilnem mestu Kleče 8a.

Slika 73: Izračunane in izmerjene vrednosti (izmerjene vrednosti se nanašajo na desno skalo) atrazina na merilnem mestu Kleče 11.

Slika 74: Izračunane in izmerjene vrednosti (izmerjene vrednosti se nanašajo na desno skalo) atrazina na merilnem mestu Hrastje 1a.

Slika 75: Izračunane in izmerjene vrednosti (izmerjene vrednosti se nanašajo na desno skalo) atrazina na merilnem mestu Hrastje 4.

Slika 76: Izračunane in izmerjene vrednosti (izmerjene vrednosti se nanašajo na desno skalo) atrazina na merilnem mestu Hrastje 8.

KAZALO PRILOG

Priloga A Parametri za zemljine iz pomoči modela PEARL

- A1 Van Genuchtenove parametri za zgornje horizonte zemljine
- A2 Van Genuchtenove parametri za spodnje horizonte zemljine
- A3 Nomenklatura zemljine podana v pomoči modela PEARL za zgornje horizonte
- A4 Nomenklatura zemljine podana v pomoči modela PEARL za spodnje horizonte

Priloga B Poročila modela PEARL

- B1 Poročilo za lahka tla ob realnem nanosu atrazina
- B2 Poročilo za lahka in srednje težka tla ob realnem nanosu atrazina
- B3 Poročilo za srednje težka tla ob realnem nanosu atrazina
- B4 Poročilo za lahka tla ob polovičnem nanosu atrazina
- B5 Poročilo za lahka in srednje težka tla ob polovičnem nanosu atrazina
- B6 Poročilo za srednje težka tla ob polovičnem nanosu atrazina
- B7 Poročilo za lahka tla ob dvojnem nanosu atrazina
- B8 Poročilo za lahka in srednje težka tla ob dvojnem nanosu atrazina
- B9 Poročilo za srednje težka tla ob dvojnem nanosu atrazina
- B10 Poročilo za lahka tla ob ocenjenem nanosu metolaklora

Priloga C Karte

- C1 Pedološka karta Slovenije
- C2 Pedološka karta Slovenije 1:25.000 (Generalizirane talne enote)
- C3 Povprečni pH gornjega horizonta tal
- C4 Povprečni teksturni razred tal
- C5 Povprečna organska snov gornjega horizonta tal
- C6 Povprečna globina tal
- C7 Povprečna distričnost / evtričnost tal

SEZNAM SIMBOLOV

f_{clay}	- frakcija gline (%)
f_{silt}	- frakcija melja (%)
K_{oc}	- koeficient absorpcije na organski ogljik (L/kg)
K_{om}	- koeficient absorpcije na organsko snov (L/kg)
K_{s}	- hidravlična prevodnost tal ob zasičenju (L/kg)
K_{sat}	- hidravlična prevodnost tal ob zasičenju (L/kg)
m_{om}	- vsebnost organske snovi (%)
n	- Van Genuchtenov parameter (-)
R	- splošna plinska konstanta (kJ/kmol)
T_{max}	- maksimalna dnevna temperatura ($^{\circ}\text{C}$)
T_{min}	- minimalna dnevna temperatura ($^{\circ}\text{C}$)
ΔH	- molska izparilna entalpija vode (kJ/kg)
α_{d}	- recipročna vrednost vhodnega zraka (suho) (m^{-1})
α_{w}	- recipročna vrednost vhodnega zraka (mokro) (m^{-1})
λ	- Van Genuchtenov parameter (-)
θ_{s}	- zasičena frakcija vode (m^3/m^3)
θ_{r}	- rezidualna frakcija vode (m^3/m^3)

SEZNAM OKRAJŠAV

DEA	- desetil atrazin
DIA	- desizopropil atrazin
EPA	- US Environmental Protection Agency
FOCUS	- FORum for the Co-ordination of pesticide fate models and their USE
I	- ilovnata tla
IP	- ilovnato peščena tla
MI	- meljasto ilovnata tla
MOL	- mestna občina Ljubljana
om	- organska snov
PEARL	- Pesticide Emission Assessment at Regional and Local scales
PI	- peščeno ilovnata tla
PG	- pečeno glinasta tla
SWAP	- Soil Water Atmosphere Plant
VVO	- vodovarstveno območje

SLOVAR MANJ ZNANIH BESED IN TUJK

absorpcija	Vpijanje, vsrkavanje. (SSKJ, 1994).
aluvij	Holocenska rečna naplavina. (Rejec Brancelj et al., 2005).
avtomorfna tla	Tla, ki nastanejo pod vplivom vode, ki se neovirano preceja skozi talni profil v podtalje. (Rejec Brancelj et al., 2005).
difuzija	Širjenje topljenca zaradi toplotnega gibanja molekul v raztopini. (Mikoš, 2002).
distrična tla	Tla z nizkim odstotkom nasičenosti z bazičnimi kationi ($V < 50\%$) in kislo reakcijo tal ($\text{pH}/\text{H}_2\text{O} < 5,5$). (Pedološki slovar).
entalpija	Termodinamična količina, ki je sestavljena iz notranje energije in produkta tlaka s prostornino telesa. (Mikoš, 2002).
evaporacija zemljine	Izhlapevanje vode s površine golih tal. (Mikoš, 2002).
evapotranspiracija	Količina vode, ki preide v ozračje iz tal z izhlapevanjem in transpiracijo rastlin. (Mikoš, 2002).
evtrična tla	Tla z visokim odstotkom nasičenosti z bazičnimi kationi ($V > 50\%$) in slabo kislo, nevtralnno ali slabo alkalno reakcijo ($\text{pH}/\text{H}_2\text{O} > 5,5$). (Pedološki slovar).
hidravlična prevodnost	Lastnost zasičene porozne snovi, ki določa odvisnost, imenovano Darcyjev zakon, med specifičnim pretokom in hidravličnim gradientom, ki pretok povzroča. (Mikoš, 2002).
hidromorfna tla	Tla, ki nastanejo pod vplivom talne, površinske ali poplavne vode in so vsaj občasno mokra. (Rejec Brancelj et al., 2005).
holocen	Mlajša sedanja epoha kvartarja od pleistocena dalje, ki traja zadnjih 10.000 let. (Rejec Brancelj et al., 2005).
horizont	Plast tal, ki je približno vzporedna s talnim površjem in je nastala v procesih geneze tal; od sosednjega horizonta se razlikuje po fizikalnih, kemičnih in bioloških lastnostih. (Pedološki slovar).
metabolit	Snov, ki nastane iz neke snovi pri metabolizmu.
monitoring	Organiziran sistem meritev, opazovanj stanja, pojavov, sprememb kakovosti okolja in njegovih sestavin, npr. zraka, vode, prsti, ki omogoča vrednotenje kakovosti okolja in določitev ukrepov za njegovo varstvo, zaščito. (Rejec Brancelj et al., 2005).
rezidualni herbicid	Herbicid, ki je težko razgradljiv in se zaradi tega dalj časa zadržuje v okolju.
transpiracija rastlin	Proces, pri katerem prehaja voda iz vegetacije v ozračje kot vodna para. (Mikoš, 2002).
vodonosnik	Vodonosni sloj. (Rejec Brancelj et al., 2005).

1. UVOD

Vodonosnik Ljubljanskega polja je eden največjih in tudi najpomembnejših v Sloveniji. Tla, ki ga prekrivajo so plitva in dobro prepustna, zato je tudi eden izmed najbolj ogroženih vodonosnikov v Sloveniji. Njegove dinamične zaloge so ocenjene na 3 do 4 m³/s (Rejec Brancelj et al., 2005). Njegove statične zaloge ob povprečnem vodostaju podtalnice pa po oceni znašajo kar 1,801 x 10¹² m³ (Brilly, 2005). Kljub tako velikim količinam vode so bile v nekaterih vodnjakih presežene mejne vrednosti za atrazin. V vodarni Hrastje pa so mejne vrednosti še vedno presežene. To je vodilo k temu, da se je uporaba atrazina začela po letu 1995 zmanjševati, leta 2003 pa je bila sprejeta prepoved uporabe atrazina. Ker pa je podtalnica Ljubljanskega polja zelo čista oz. sterilna - ne vsebuje organskih snovi, na katere bi se atrazin lahko vezal, in bakterij, ki bi ga razgrajevale, se atrazin in njegov razgradni produkt desetil atrazin zelo počasi razkrajata - zaradi tega sta oba kljub zmanjšani porabi in prepovedi še vedno prisotna v podtalnici.

Ko pesticidi z dolgo razpolovno dobo pridejo do podtalnice, ostanejo v njej in jih ni mogoče odstraniti. Lahko samo počakamo, da se odstranijo po naravni poti, kar pa traja dolgo časa, kar ogroža zdravje ljudi ter povečuje stroške oskrbe s pitno vodo. Ker je potrebno takšne situacije preprečiti, sem v diplomski nalogi preverjal uporabnost modela PEARL za ugotavljanje mobilnosti pesticidov pri pogojih, kakršni obstajajo na Ljubljanskem polju. Uporabnost je bilo treba preveriti, ker je bil model razvit na Nizozemskem in je prilagojen njihovim razmeram. Z uporabo takih modelov bi se lahko pred uporabo pesticidov simuliralo njihovo obnašanje v okolju in bi se tako preprečilo kontaminiranje podtalnice. Vendar tu še vedno ostaja problem razgradnih produktov. Razgradni produkti so zelo slabo raziskani in njihovo obnašanje je zaradi pomanjkanja podatkov težje simulirati.

V diplomski nalogi sem se omejil samo na atrazin in sem simuliral njegovo distribucijo po zemljini do podtalnice. Čeprav model PEARL podpira simulacijo metabolitov, distribucije desetil atrazina zaradi pomanjkanja podatkov nisem simuliral. Drugi razlog, zaradi katerega nisem simuliral distribucije desetil atrazina je ta, da se desetil atrazin ne nanaša na zemljino, ampak se tvori iz atrazina; program to izračuna, ne upošteva pa tvorjenje desetil atrazina iz atrazina potem, ko ta že doseže podtalnico. Ta pojav se vidi v vodarni Hrastje, kjer je

koncentracija atrazina od leta 1994 najprej počasi padala, medtem ko se je koncentracija desetil atrazina začela povečevati šele po letu 1999.

V simulaciji sem uporabil troje različnih tal: lahka tla, lahka in srednje težka tla in srednje težka tla. Lahka tla ležijo ob reki Savi in predstavljajo področje, kjer je ogroženost podtalnice zaradi uporabe fitofarmaceutskih sredstev največja. Večji del teh tal prekrivajo gozdovi, grmičevje in travniki. Največji del prispevne površine, iz katere se napajajo vodnjaki v vodarnah, je prekrit z lahkimi in srednje težkimi tlemi. Srednje težka tla so prisotna le na zelo majhnem delu prispevne površine.

Za oceno uporabnosti modela sem simuliral tudi distribucijo metolaklora. Metolaklor sem izbral, ker se je uporabljal približno v istih količinah kot atrazin, vendar pa mejnih vrednosti v vodnjakih ni nikoli presegel.

Slabost modela je ta, da računa samo do globine 10 m. Vseeno menim, da je model uporaben tudi za globlje podtalnice, saj se izračunana koncentracija atrazina v precedku na globini 7,5 m skoraj ne razlikuje od koncentracije atrazina na 10 m. Nastane samo časoven zamik, zaradi potovanja pesticida po zemljini navzdol. Model se lahko uporabi za prvo oceno obnašanja pesticidov v tleh, preden se jih da v promet in prične uporabljati.

Vendar samo računanje in simuliranje potencialne nevarnosti pesticidov in ukrepanje na podlagi rezultatov ni dovolj. Iz pesticidov nastanejo razgradni produkti, katerih strupenost in fizikalno-kemijske lastnosti niso vnaprej znane. Kot primer lahko navedem atrazin, ki je na tržišču že zelo dolgo, za njegov metabolit desetil atrazin pa v poročilu EPA, ki ocenjuje toksičnost atrazina, piše, da je na razpolago omejena količina toksikoloških podatkov, ki so opisani v poročilu. Opisana sta dva eksperimenta na podganah in psih, ki so jih z različnimi dozami hranili 13 tednov (EPA, 2002). Iz tako skromnih raziskav je težko predvideti, kako desetil atrazin ob večletnem uživanju vpliva na človeka, še posebej na dojenčke in otroke v razvoju. Poleg desetil atrazina ima atrazin še vsaj deset različnih razgradnih produktov. Razgradni produkti pa so lahko bolj strupeni in bolj mobilni kot osnovni produkt. Zaradi tega bi bilo potrebno zmanjšati količino uporabljenih pesticidov na minimalno možno raven, v bližini vodnih zajetij in na prispevnih površinah vodarn, pa prepovedati njihovo uporabo in

preusmeriti kmetovalce v ekološko pridelavo hrane. To bi lahko dosegli z izobraževanjem in s subvencioniranjem kmetov, ki bi se preusmerjali v okolju prijazno kmetijstvo. Stroški takšnega ravnanja bi bili veliko manjši, kot pa bodo, v primeru prekomernega onesnaženja podtalnice, znašali stroški novih virov pitne vode oziroma stroški zdravstva, če se ne bi ukrepalo in bi ljudje pili onesnaženo vodo.

1.1 Namen diplomske naloge

Namen diplomske naloge je ugotoviti uporabnost modela PEARL za simulacijo pronicanja pesticidov v različnih zemljinah na Ljubljanskem polju. Za oceno uporabnosti modela sem izračunal pronicanje dveh herbicidov (atrazina in metolaklora). Simulacijo emisije atrazina sem izračunal za tri različne tipe zemljine (lahka, lahka in srednje težka ter srednje težka tla), simulacijo emisije metolaklora pa sem izračunal samo za lahka tla.

Model bi bil uporaben za ocenjevanje sposobnosti pronicanja pesticidov v podtalnico, preden bi se jih dalo v promet.

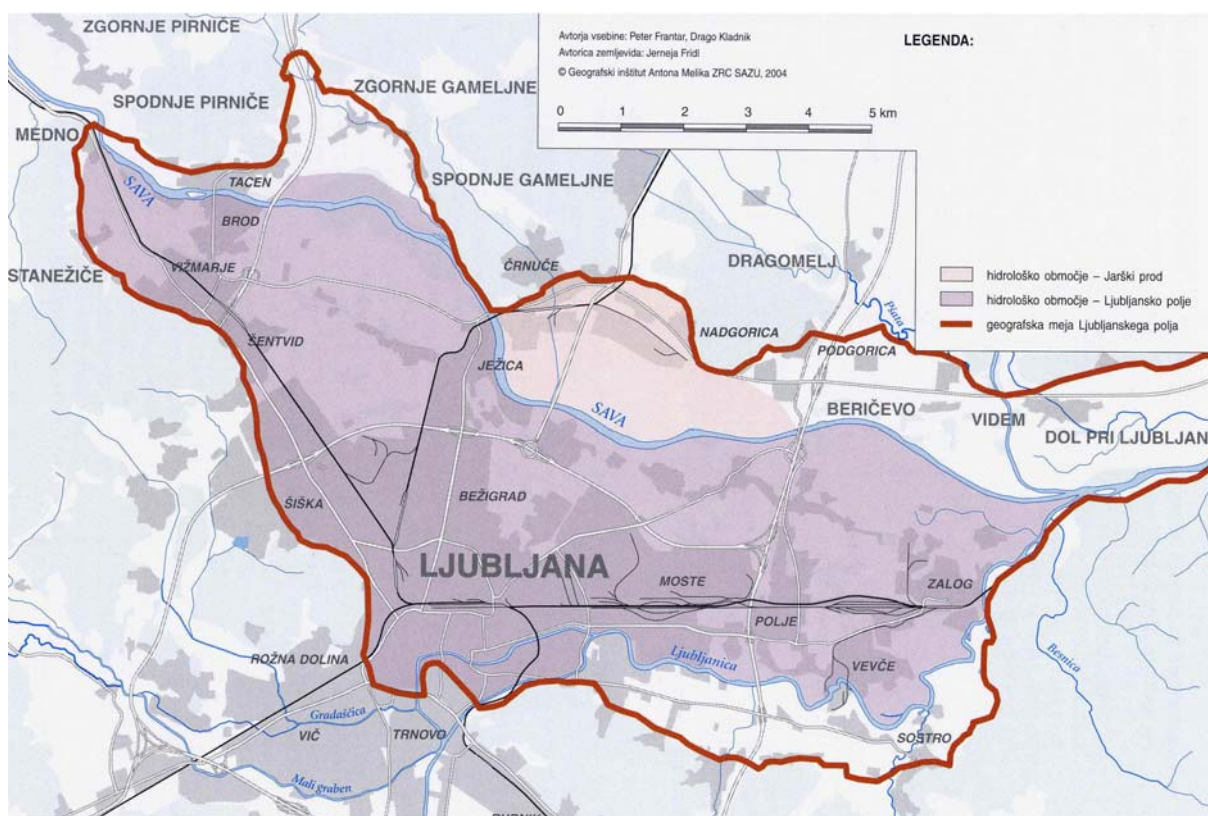
1.2 Sestava diplomske naloge

Naloga vsebuje pregled objav, materiale in metode dela, prikaz rezultatov ter razpravo in sklepe. Vse se nanaša na simulacijo emisije pesticidov v podtalnico Ljubljanskega polja.

2 PREGLED OBJAV

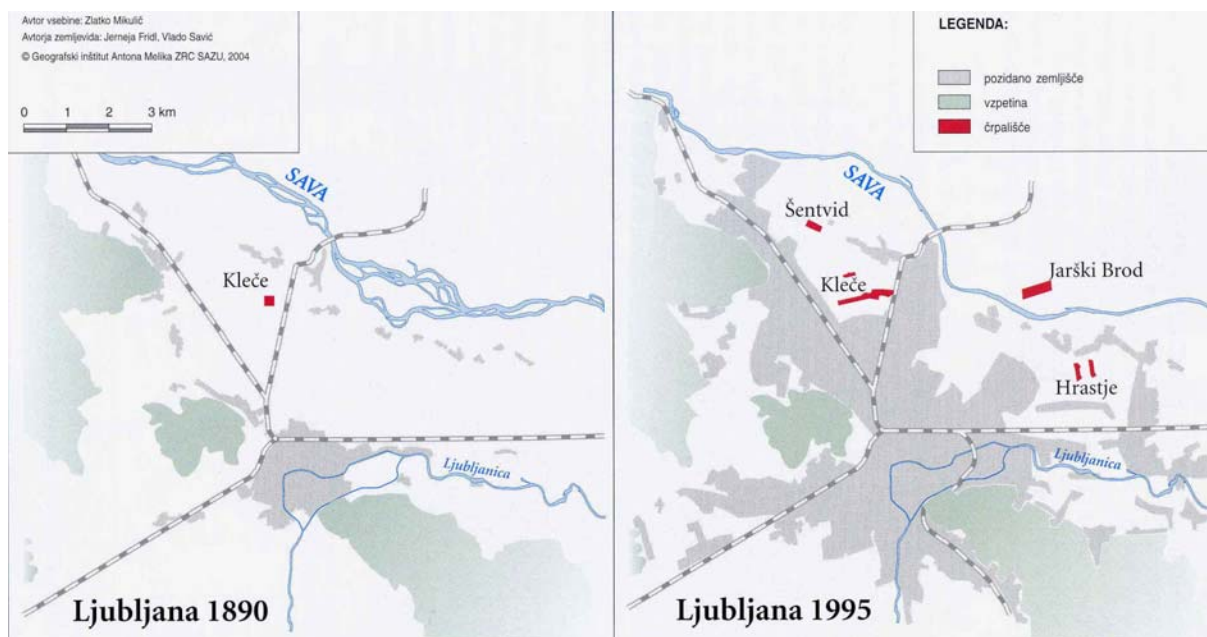
2.1 Ljubljansko polje

Ljubljansko polje je ravnina, ki se razprostira po vzhodnem robu Ljubljanske kotline (Slika 1) in je dolga 20 km ter široka 6 km. Območje je bogato s podzemnimi in površinskimi vodami. Z vodo s tega področja se oskrbuje mesto Ljubljana in okolica. Delež vode, ki se načrpa na Ljubljanskem polju, znaša 80-90 % (Nartnik, 2004). Ravnina Ljubljanskega polja je zelo ugodna tudi za poselitev, kmetijske in gospodarske dejavnosti. Iz slike 2 je razvidno, za koliko se je v dobrih 100 letih povečala površina pozidanih zemljišč. Na Ljubljanskem polju je tudi veliko industrije in obrti (Slika 3) ter 784,7 ha kmetijskih zemljišč, kar zelo obremenjuje podtalnico (Rejec Brancelj et al., 2005).



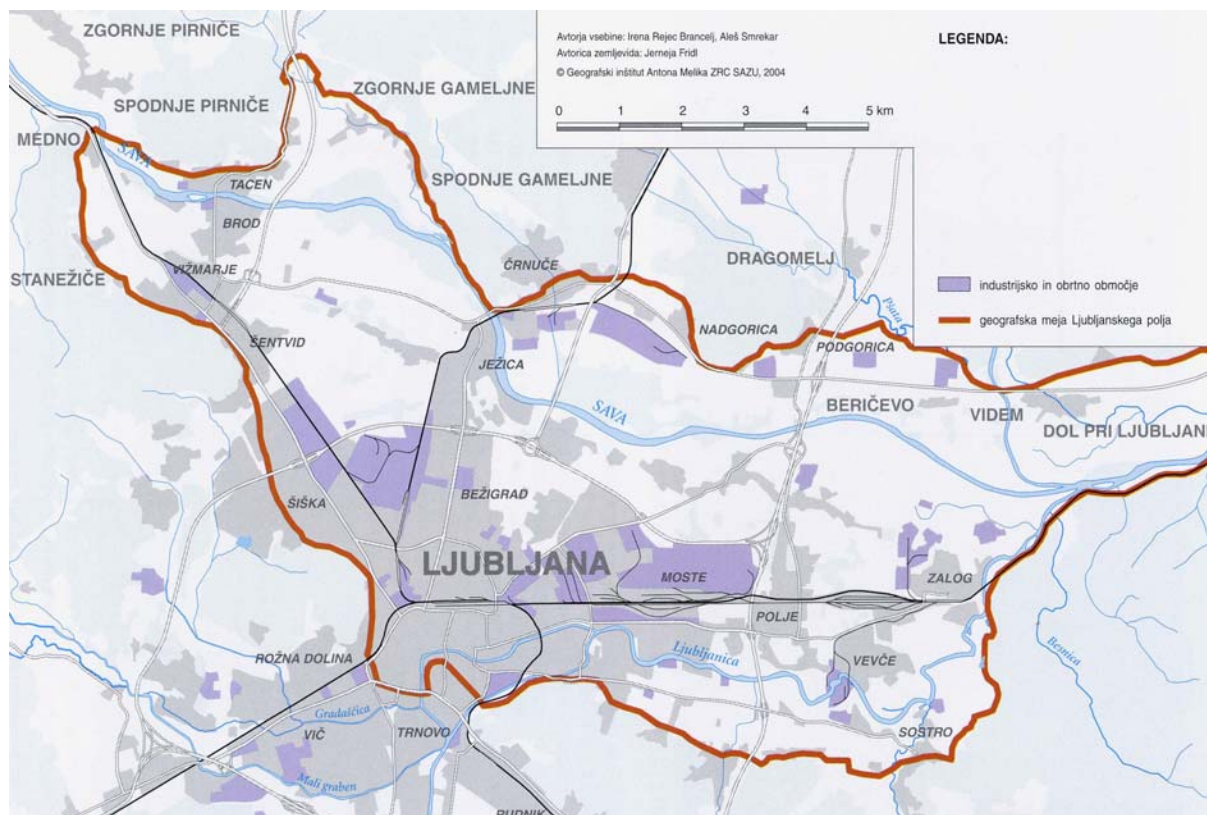
Slika 1: Ljubljansko polje

(Vir: Podtalnica Ljubljanskega polja, Rejec Brancelj et al., 2005, str. 15.)



Slika 2: Antropogeni vplivi na Ljubljansko polje

(Vir: Podtalnica Ljubljanskega polja, Rejec Brancelj et al., 2005, str.35.)

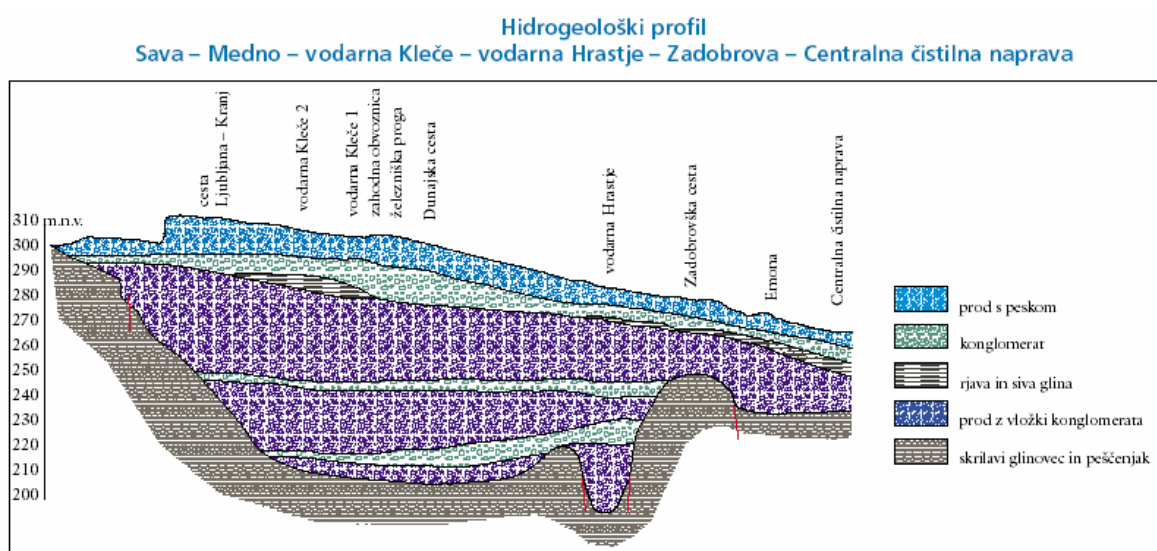


Slika 3: Industrija in obrtne dejavnosti na Ljubljanskem polju

(Vir: Podtalnica Ljubljanskega polja, Rejec Brancelj et al., 2005, str.182.)

2.2 Geološka zgradba

Ljubljansko polje je udorina podolgovate kotanjaste oblike, ki je nastala v pliokvartarnem obdobju zaradi tektonskega ugrezanja. Naplavine Ljubljanskega polja so odložene v tektonsko udorino, ki jo gradijo kamnine permokarbonske starosti, to so glinasti skrilavci s plastmi kremenovega peščenjaka. Največji del Ljubljanskega polja zapolnjujejo prodno peščene naplavine reke Save. Skupna debelina holocenskih in pleistocenskih prodnih in konglomeratnih plasti je zelo različna, ker je tudi predkvartarna podlaga različno pogreznjena. Na zahodnem obrobju Ljubljanskega polja pri Mednem in Brodu so plasti peščenega proda in konglomerata debele le od 2 do 10 m. V osrednjem delu Ljubljanskega polja, od Spodnjih Gameljn prek Kleč do Dravelj, je predkvartarna podlaga močnejše pogreznjena. Kvartarni sediment (pesek, prod in konglomerat) so tukaj debeli med 70 in 105 m. Druga poglobljena in široka kotanja je med Jarškim Brodom, Šentjakobom ter vodarno Hrastje in Žalami. Tu so prodne plasti debele od 70 do 80 m. Med Brinjem na levem bregu Save ter zgornjo Zadobrovo in Studencem poteka v smeri sever-jug visoko dvignjena predkvartarna podlaga neprepustnih permokarbonskih sedimentov, kjer so kvartarne naplavine debele le od 8 do 20 m. Na območju med Spodnjo Zadobrovo in Zalogom pa leži permokarbonska podlaga ponovno nekoliko globlje, tako da so tod prodno-konglomeratne plasti debele več kot 20 m oziroma do 40 m (Rejec Brancelj et al., 2005).



Slika 4: Hidrogeološki prerez Ljubljanskega polja.

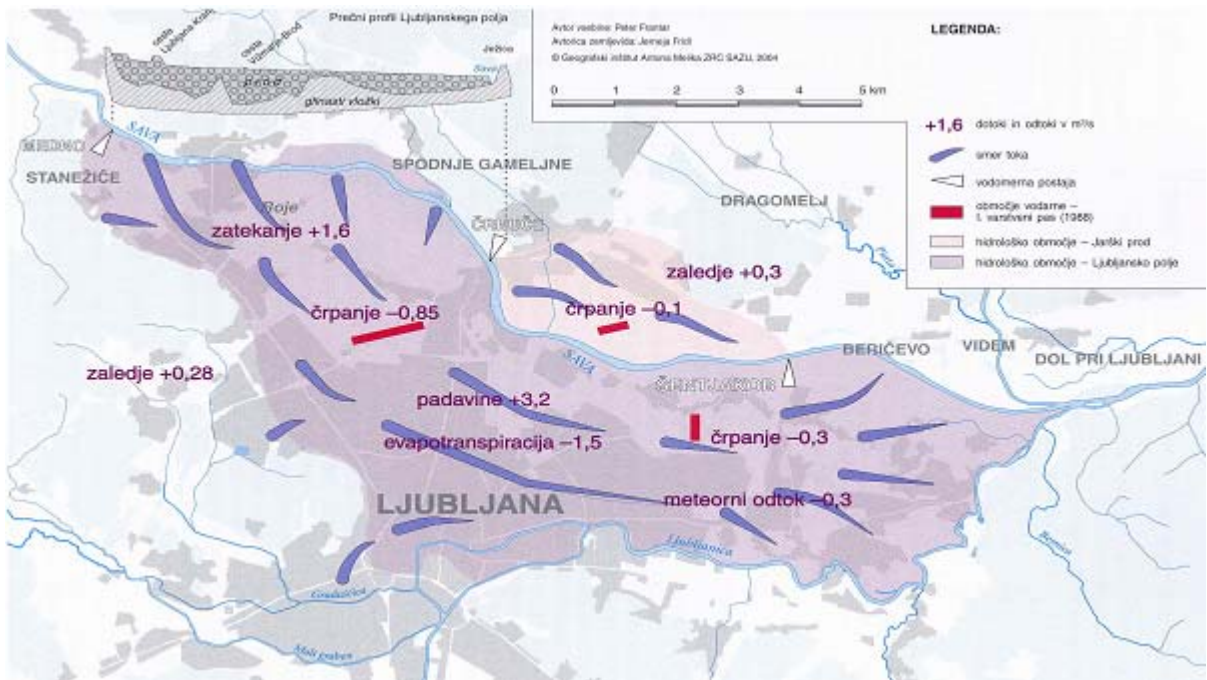
(Vir: Rejec Brancelj et al., 2005, str. 20.)

2.3 Hidrogeološke značilnosti

V vodonosnih prodno-peščenih in konglomeratnih plasteh Ljubljanskega polja se nahaja eden največjih rezervoarjev podzemne vode v Sloveniji. Vodonosnik Ljubljanskega polja je vodonosnik s prosto gladino. Zaradi lokalnih nanosov slabše prepustnih glinastih in zaglinjenih plasti je lahko na ožjih območjih polodprt, polzaprt ali zaprt vodonosnik. Globina do podzemne vode je odvisna od njene gladine in višine terena ter se spreminja od Vižmarij do Zaloga in do obrobja polja proti reki Savi. Podzemna voda na visoki terasi pri Vižmarjih je v globini več kot 30 m. Na območju med Šentvidom in kamniško progo je od 25 do 30 m globoko, med Bežigradom, glavno železniško postajo in Ježico pa je v globini med 20 in 25 m. V Mostah in Savskem naselju je podzemna voda 15 do 20 m globoko. Na širokem območju od Tomačevega prek vodarne Hrastje do Novega Polja in Toplarne v Mostah do Polja najdemo podzemno vodo 10 do 15 m globoko. Na nizki terasi, ki poteka v 0,5 do 2 km širokem pasu vzdolž desnega brega Save od Broda prek Roj, Tomačevega in Šmartnega, je podzemna voda bliže površini. Približno na odseku Brod-Roje je podzemna voda v globini 12 do 20 m, med Ježico in Zadobrovo med 5 in 10 m (Rejec Brancelj et al., 2005).

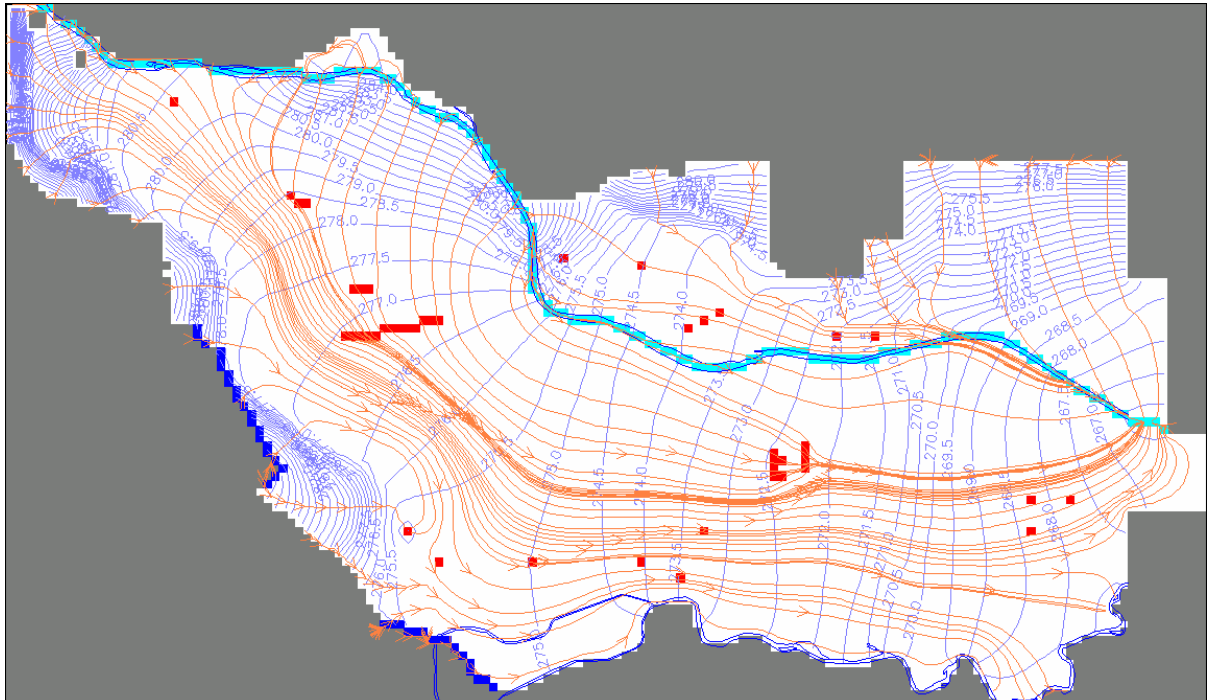
Nihanje podzemne vode je odvisno od padavin in vodostaja reke Save. Največje je na Brodu, kjer je nihanje do 6 m, proti vzhodu se zmanjšuje in je v Zadobrovi od 2 do 3 m. Strmec podzemne vode je največji v severozahodnem delu Ljubljanskega polja, med Brodom in Klečami ter znaša 1,5 ‰, proti vzhodu se manjša in znaša pri Hrastju 0,9 ‰. Podzemna voda teče večinoma v smeri, ki je vzporedna z reko Savo (Slika 5). Prepustnost vodonosnika je v splošnem večja v osrednjem delu polja, od $1,24 \times 10^{-2}$ do $5,34 \times 10^{-3}$ m/s, in manjša na obrobju, $5,5 \times 10^{-4}$ m/s. Narejeni so bili izračuni, ki so pokazali, da ob zelo visokih vodah Save hitrost podzemne vode v okolici Hrastja znaša do 312 m/dan, ob nizkem vodnem stanju pa 30 m/dan. Sava je zelo pomembna za podzemno vodo Ljubljanskega polja. Z obrežnim vodonosnikom napaja podtalnico Ljubljanskega polja in prispeva okoli petdeset odstotkov dinamičnih zalog (Rejec Brancelj et al., 2005).

Na slikah 6, 7 in 8 je prikazan potek tokovnic ob različnih razmerah v vodonosniku. Vidi se kako se ob različnih pogojih spreminja potek tokovnic. Sprememba poteka tokovnic pa pomeni tudi spremembo prispevnih površin.



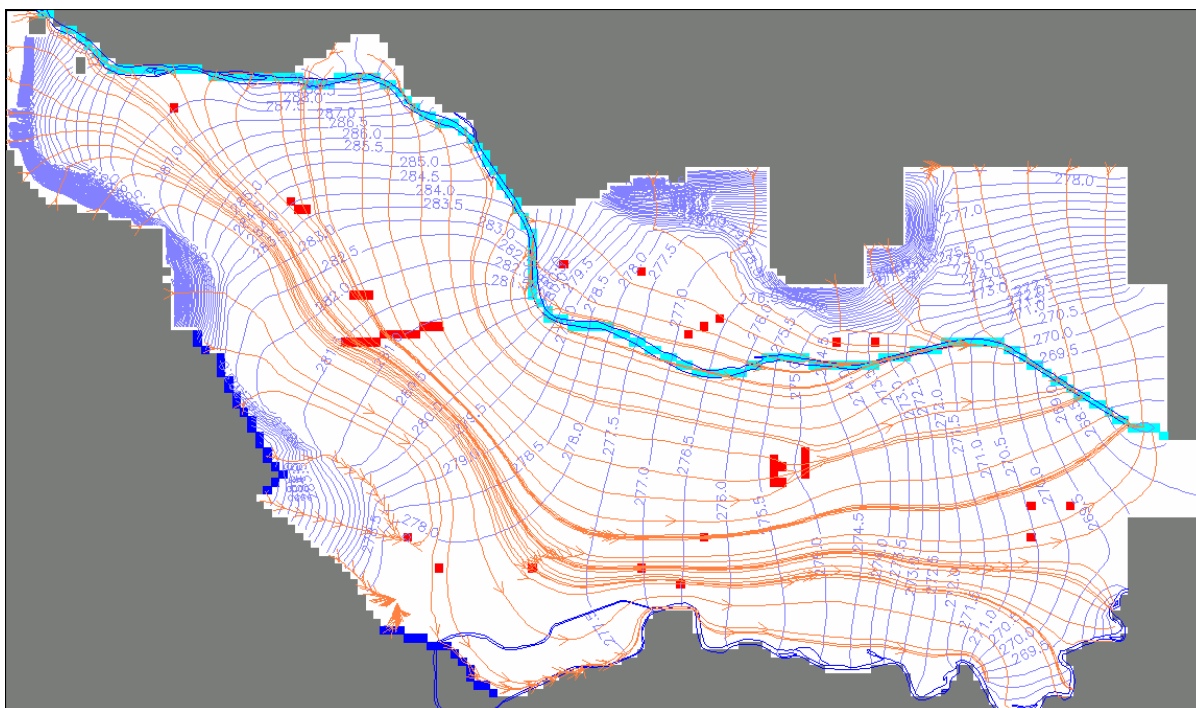
Slika 5: Tok podtalnice Ljubljanskega polja

(Vir: Podtalnica Ljubljanskega polja, Rejec Brancelj et al., 2005, str. 37.)

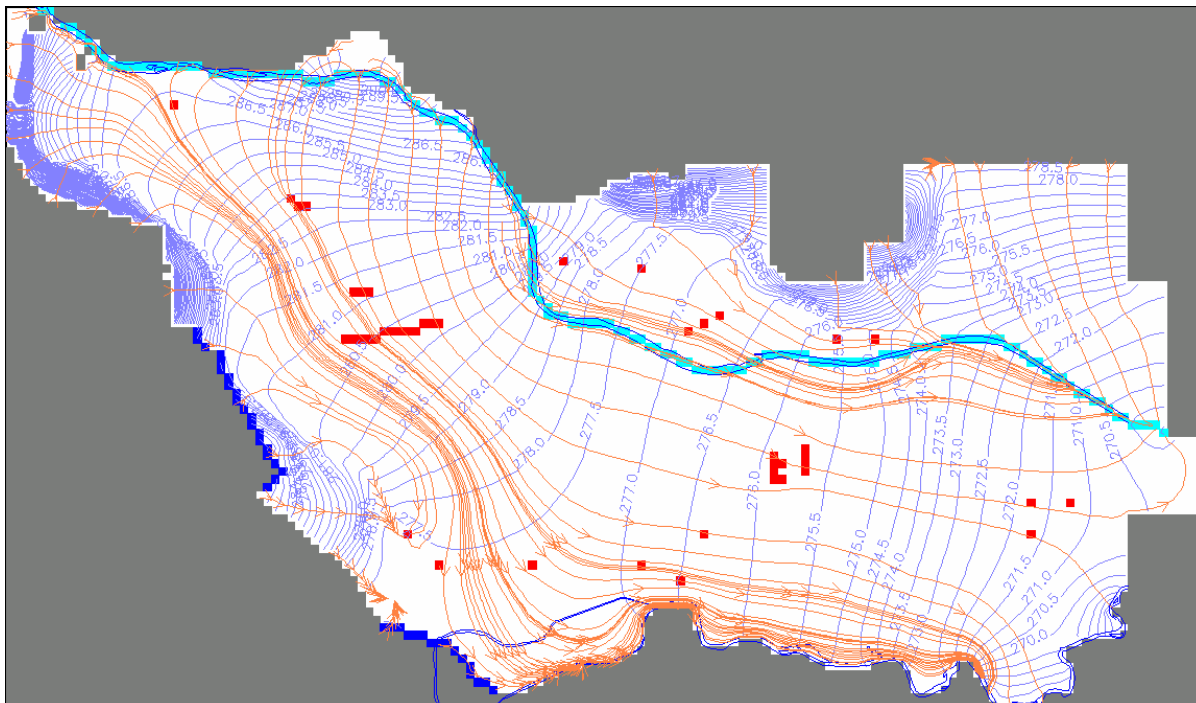


Slika 6: Tokovnice v obdobju najnižjih gladin podtalnice (februar 1989)

(Vir: Brilly, 2005)



Slika 7: Tokovnice v obdobju maksimalnih padavin (oktober 1992)
(Vir: Brilly, 2005)



Slika 8: Tokovnice v obdobju najvišjega vodostaja reke Save in najvišjega vodostaja
podtalnice (november 2000)
(Vir: Brilly, 2005)

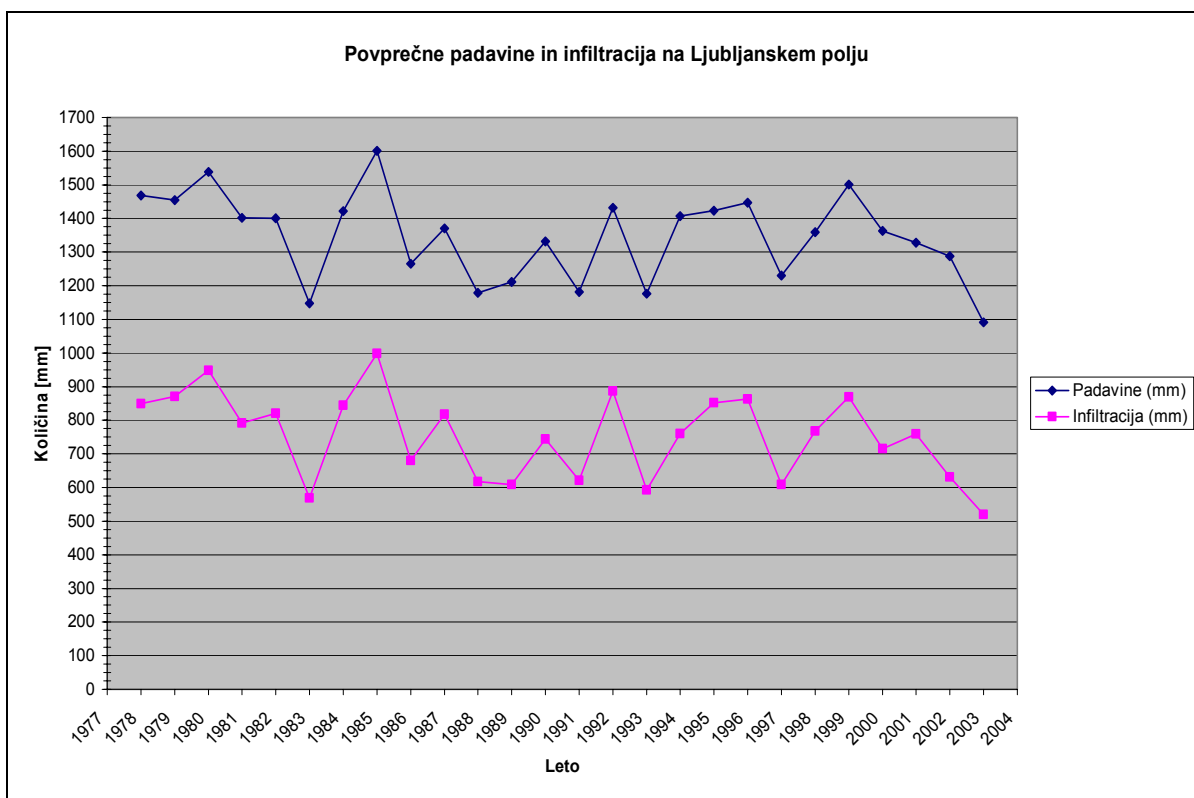
2.4 Pedološke in hidropedološke značilnosti

Tla Ljubljanskega polja so avtomorfna in hidromorfna. Avtomorfna tla nastajajo pod vplivom vode, ki se neovirano preceja skozi talni profil v podtalje. Hidromorfna tla pa nastanejo pod vplivom talne, površinske ali poplavne vode in so vsaj občasno mokra (Rejec Brancelj et al., 2005).

Avtomorfna tla Ljubljanskega polja so nastala na nesprijetem in karbonatnem fluvio-glacialnem produ. Na njem so se razvila različna tla (sprsteninasta in rjava rendzina, tipična evtrična rjava tla in sprana evtrična rjava tla). Hidromorfna tla na Ljubljanskem polju so samo obrečna tla na peščeno prodnatem aluviju. Skupne značilnosti prevladujočih tal Ljubljanskega polja so: relativno plitva tla, lahka in dobro prepustna za vodo. Zaradi teh lastnosti je podtalnica relativno slabo zaščitena v primerjavi s težjimi in z organsko bogatimi tlemi. Zahtevajo zelo skrbno in odgovorno kmetijsko pridelavo, da zmanjšamo tveganje onesnaženja. (Rejec Brancelj et al., 2005).

2.5 Padavine in infiltracija

Povprečne padavine v Ljubljani (Slika 9) znašajo 1430 mm na leto. Infiltracija padavin prispeva okoli 42 % pretoka podtalnice, 8 % pa prispevajo dotoki podzemne vode z obrobja, ponikalni potoki in puščajoča voda iz vodovodnega omrežja, ki se izgubi na poti do uporabnikov. Območje infiltracije je veliko 80 km² oziroma celotno Ljubljansko polje. Odnos med infiltracijo in padavinami se spreminja v odvisnosti od količin padavin in izhlapevanja. Zaradi urbanizacije se je povečal specifični površinski odtok, kar je privedlo do manjše infiltracije padavin oziroma do zmanjšanja naravnega bogatenja podtalnice (Nartnik, 2004).



Slika 9: Povprečne padavine in infiltracija na Ljubljanskem polju.

(Vir: Nartnik, 2004, str. 26.)

2.6 Vodarne na Ljubljanskem polju

Upravljalec vodovodnega sistema, Javno podjetje Vodovod-Kanalizacija, upravlja z več kot 1.100 km dolgim vodovodnim sistemom, ki se oskrbuje iz štirih vodarn Ljubljanskega polja in vodarne Iškega vršaja, ki obsegajo skupno 39 aktivnih vodnjakov. Na Ljubljanskem polju obratujejo vodarne Kleče, Hrastje, Šentvid in Jarški Brod (Slika 10). Podtalnica se črpa iz vodnjakov, ki segajo od 40 do 100 m globoko. V vodnjake, od katerih ima največji premer 800 mm, so vstavljene potopne črpalke, ki odvisno od izdatnosti vodnjaka in vodonosnika črpajo od 15 l/s pa vse do 100 l/s (Rejec Brancelj et al., 2005).

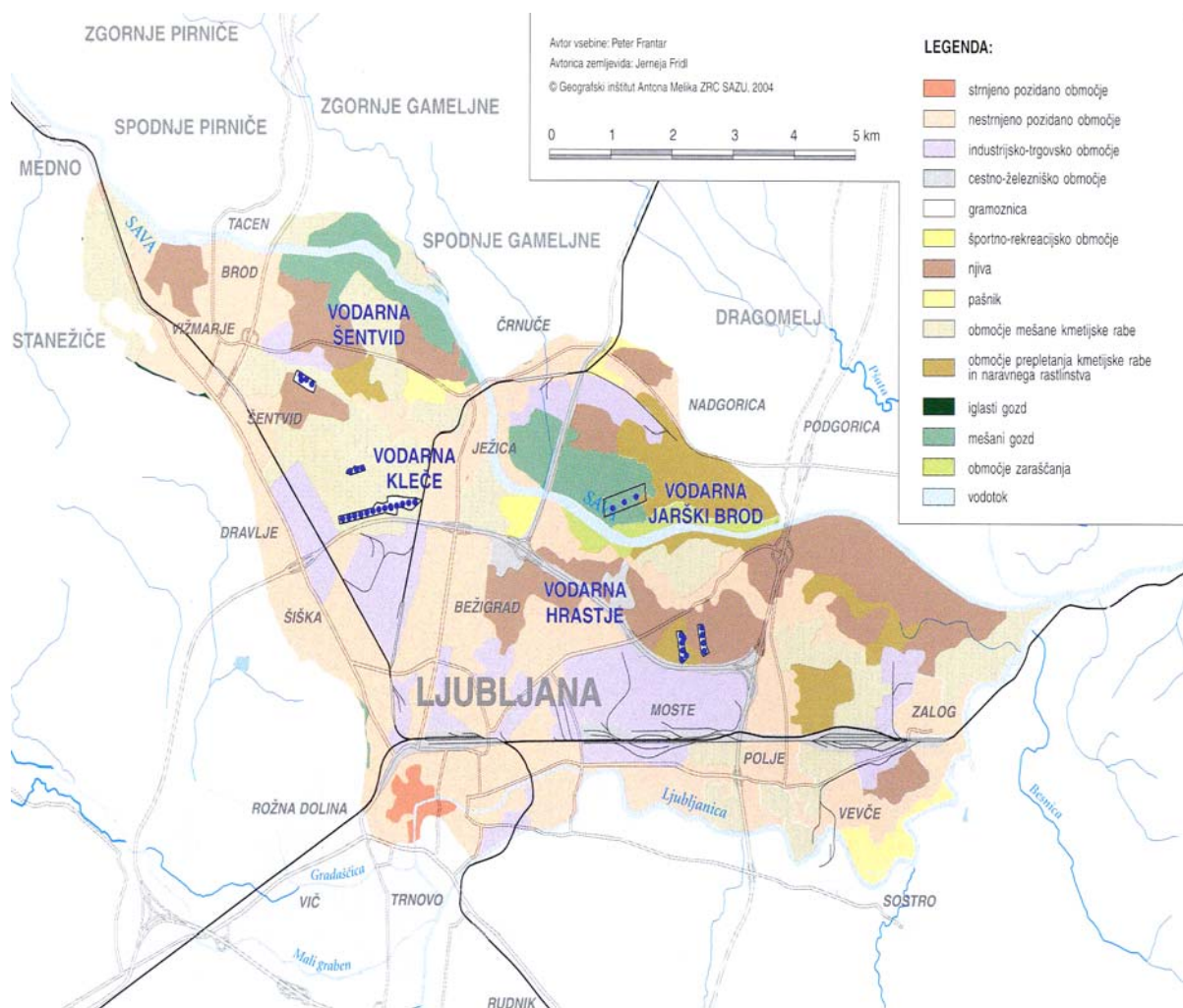


Slika 10: Vodnjaki na Ljubljanskem polju.

(Vir: Podtalnica Ljubljanskega polja, Rejec Brancelj et al., 2005, str. 109.)

2.6.1 Lega vodarn na Ljubljanskem polju in pokrovnost tal okoli njih

Vodarne Šentvid, Kleče in Hrastje ležijo na obdelovalnih površinah, izjema je samo vodarna Jarški Brod, ki leži sredi gozda (Slika 11).

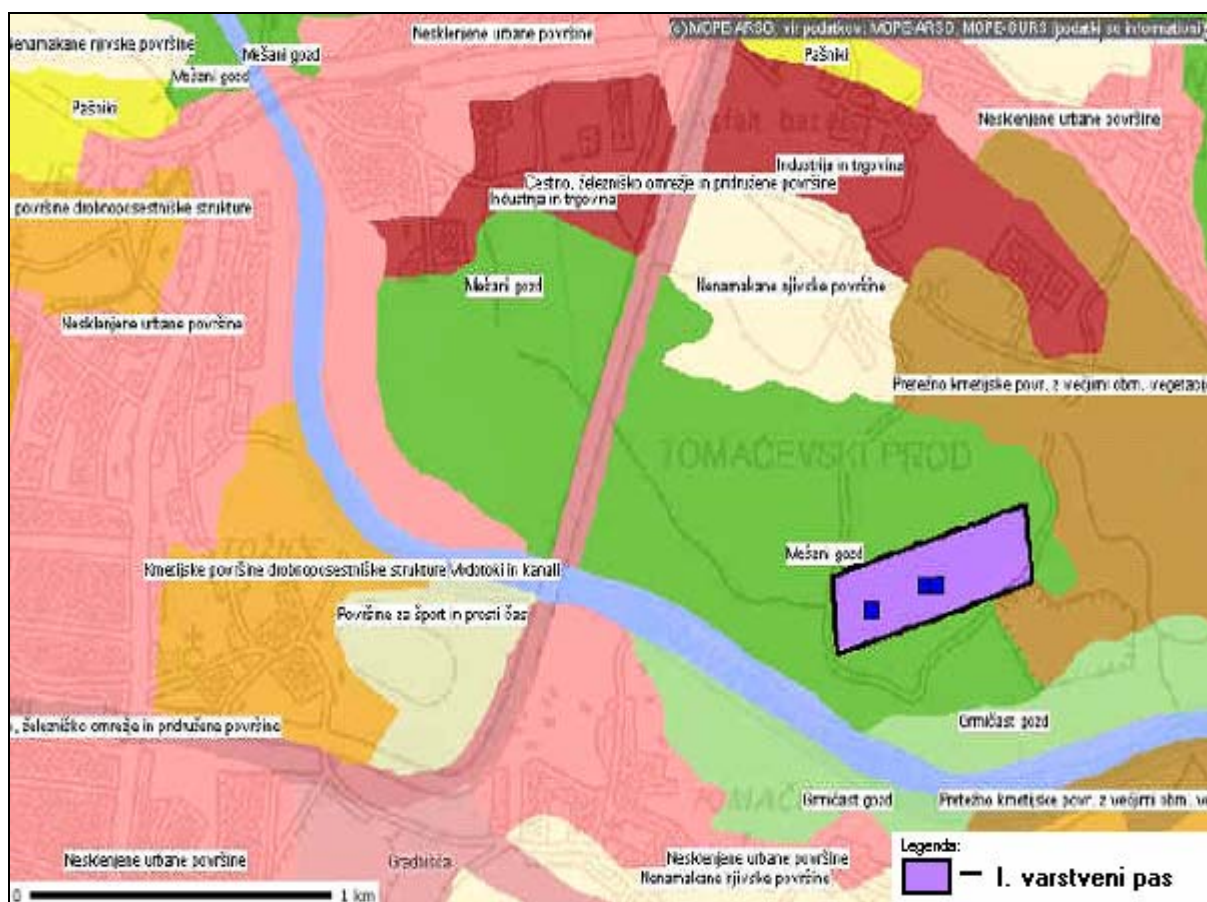


Slika 11: Pokrovnost tal na Ljubljanskem polju leta 2000.

(Vir: Podtalnica Ljubljanskega polja, Rejec Brancelj et al., 2005, str. 122.)

2.6.1.1 Vodarna Jarški Brod

Vodarna Jarški Brod (Slika 12) je edina izmed vodarn, ki leži na levem bregu reke Save južno od industrijske cone ob Brnčičevi ulici. Leži na z nizkim drevjem in grmičevjem poraslem območju vzhodno od mostu, kjer Štajerska cesta prečka reko Savo (Rejec Brancelj et al., 2005).

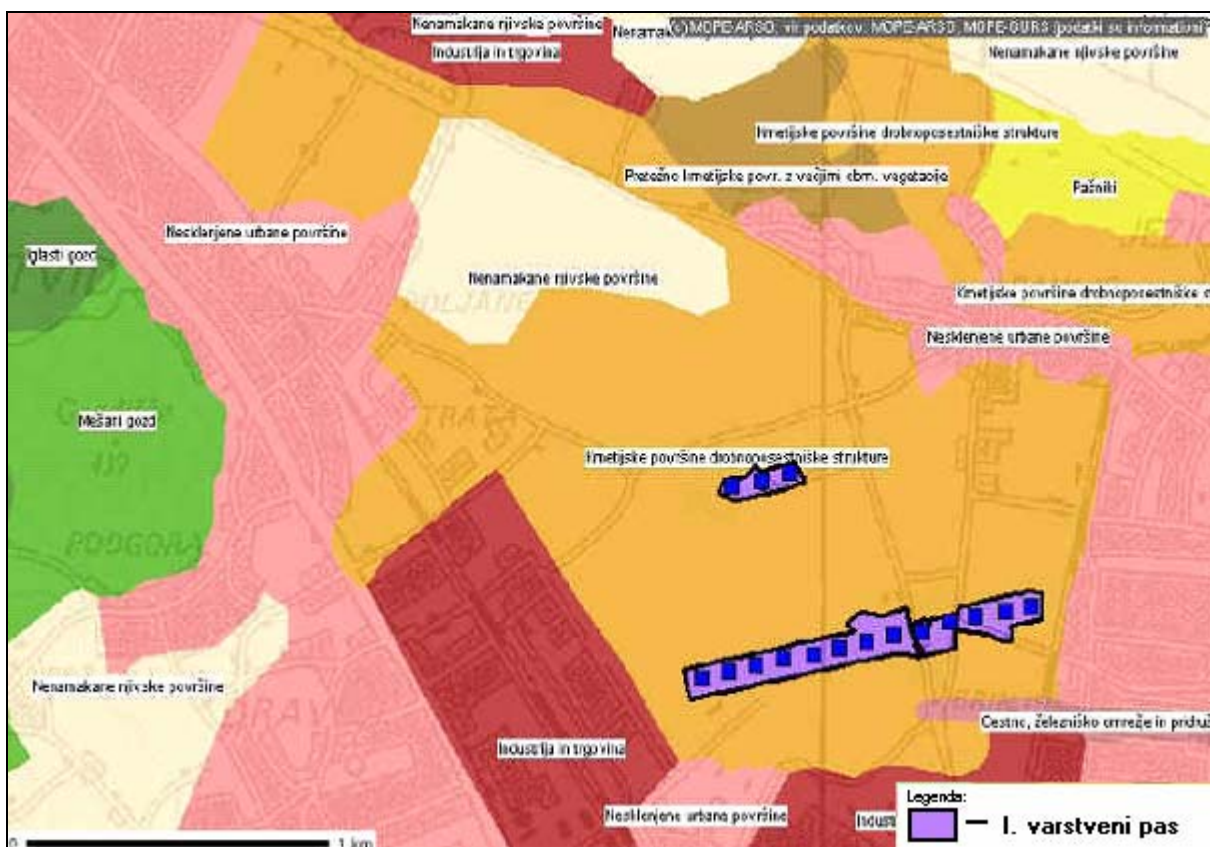


Slika 12: Vodarna Jarški Brod in pokrovnost tal okoli nje.

(Vir: Interaktivni naravovovarstveni atlas, <http://kremen.arso.gov.si/NVatlas/ewmap.asp>)

2.6.1.2 Vodarna Kleče

Vodarna Kleče (Slika 13), ki se razteza v dolžini več kot 1 km od Dravelj proti vzhodu, to je naseljenim površinam Bežigrada, je vse stoletje ostala osrčje vodovodnega sistema mesta. Dva dela ločuje prometna Saveljska cesta, ki izgublja lokalni prometni značaj. Na južni strani teče ob njej severna obvozna cesta, prispevna območja na severu pa so pretežno kmetijska, kljub temu se nekaj zazidanih območij krepko ugreza v kmetijski prostor (Rejec Brancelj et al., 2005).

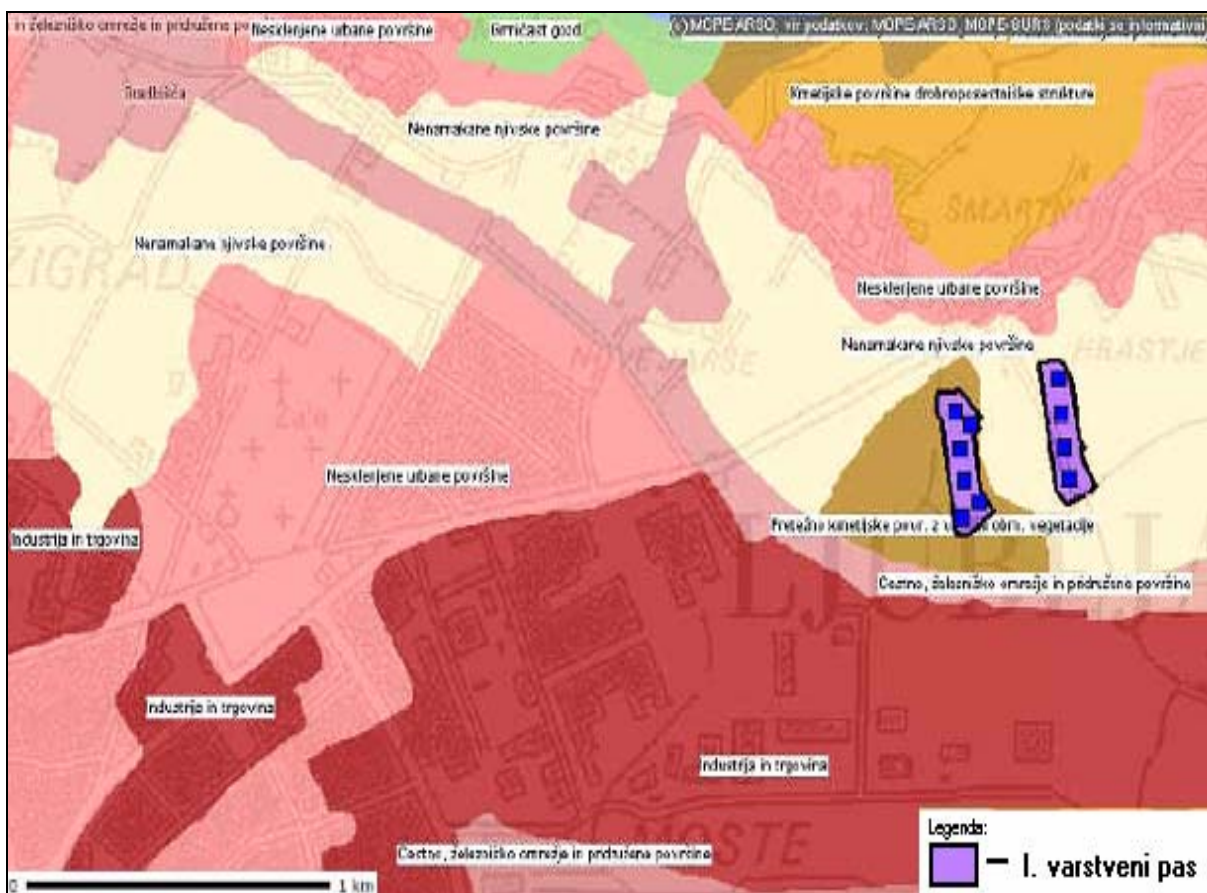


Slika 13: Vodarna Kleče in pokrovnost tal okoli nje.

(Vir: Interaktivni naravovarstveni atlas, <http://kremen.arso.gov.si/NVatlas/ewmap.asp>)

2.6.1.3 Vodarna Hrastje

Vodarna Hrastje (Slika 14) se deli v dva dela, med seboj oddaljena okrog 350 m, ki potekata v smeri sever-jug med Šmartinsko in severno obvozno cesto. Območji ležita severno od industrijsko trgovske cone BTC, na vzhodu pa se ji približa vzhodni del ljubljanskega avtocestnega obroča. Na zahodu vodarno obdajajo intenzivno obdelovane kmetijske površine, ki jih seka Šmartinska cesta (Rejec Brancelj et al., 2005).

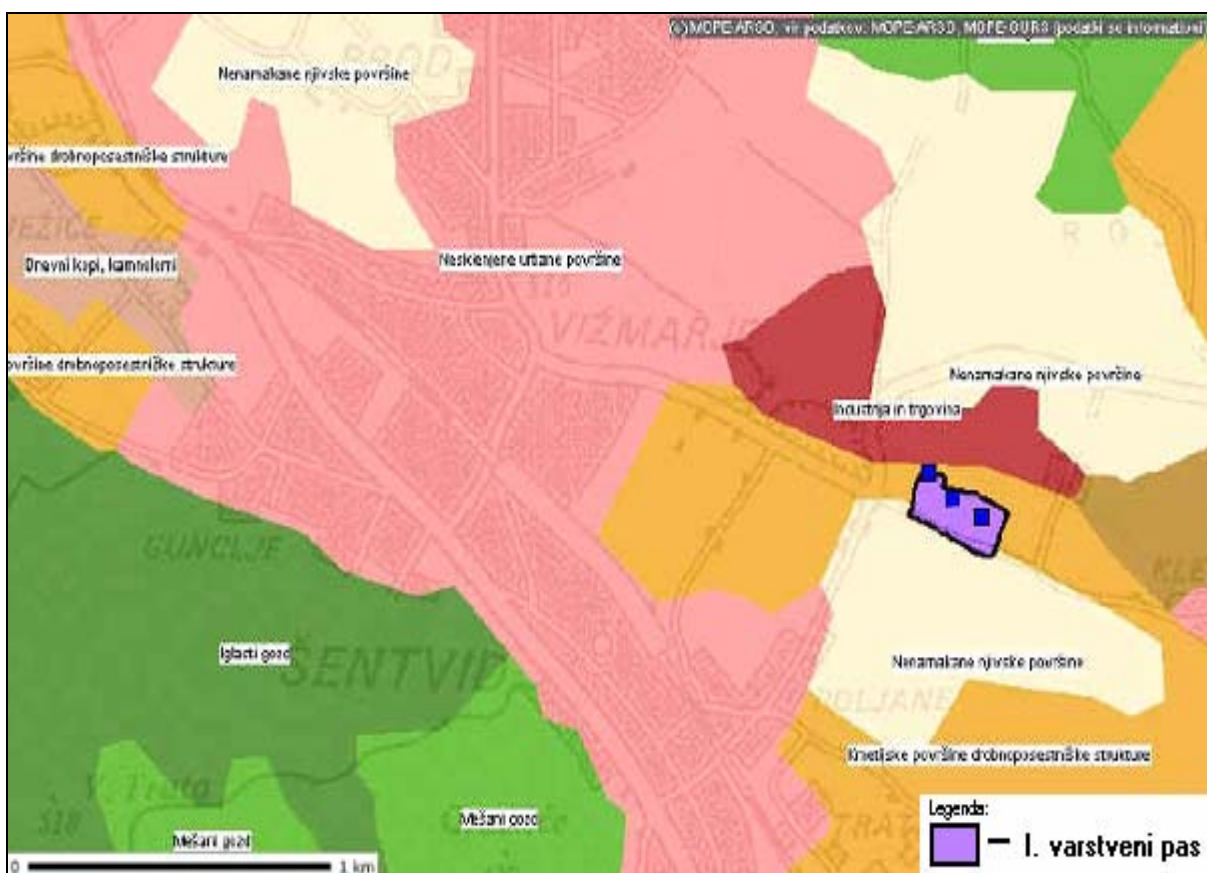


Slika 14: Vodarna Hrastje in pokrovnost tal okoli nje.

(Vir: Interaktivni naravovovarstveni atlas, <http://kremen.arso.gov.si/NVatlas/ewmap.asp>)

2.6.1.4 Vodarna Šentvid

Vodarna Šentvid (Slika 15) leži med kmetijskimi površinami, vendar se ji z vzhoda in jugozahoda poseljena območja močno približujejo. Mimo vodarne potekata z obeh strani prometni cesti, ki povezujeta Ježico in Savlje s Šentvidom oziroma gorenjsko avtocesto (Rejec Brancelj et al., 2005).



Slika 15: Vodarna Šentvid in pokrovnost tal okoli nje.

(Vir: Interaktivni naravovarstveni atlas, <http://kremen.arso.gov.si/NVatlas/ewmap.asp>)

2.7 Mešanje v podzemni vodi

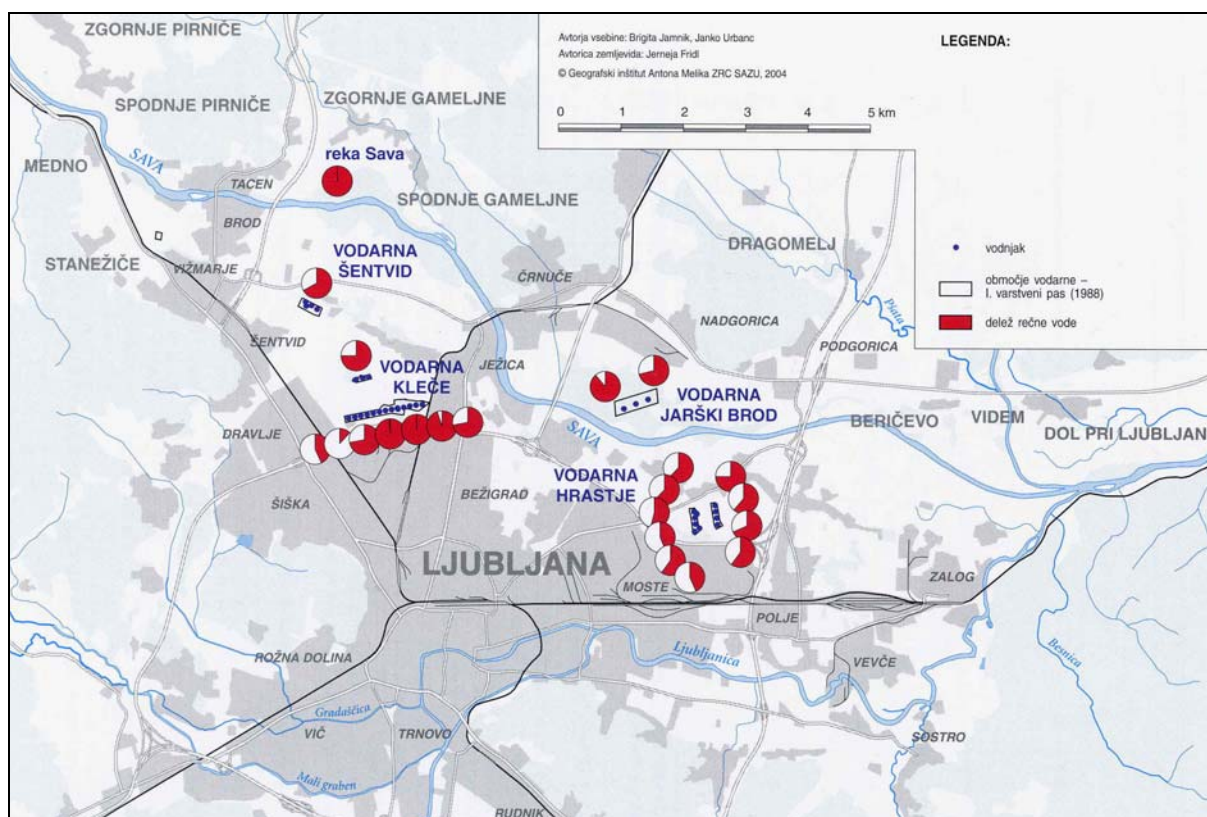
Na območju Ljubljanskega polja se podzemna voda napaja iz dveh virov: z zatekanjem reke Save v peščeno-prodni vodonosnik in z infiltracijo padavin, ki padejo na Ljubljansko polje. Podzemna voda je mešanica obeh virov. V preglednici 1 in na sliki 16 so prikazani deleži reke Save v posameznem vodnjaku.

Preglednica 1: Deleži vode reke Save v posameznih vodnjakih.

(Vir: Podtalnica Ljubljanskega polja, Rejec Brancelj et al., 2005, str. 59.)

vodnjak	delež vode reke Save
Kleče 4	93 %
Kleče 6	89 %
Kleče 8a	55 %
Kleče 11	19 %
Kleče 12	29 %
Kleče 14	67 %
Kleče 15	65 %

vodnjak	delež vode reke Save
Šentvid 2a	61 %
Hrastje 1a	48 %
Hrastje 5	67 %
Hrastje 8	63 %
Jarški Brod 1	100 %
Jarški Brod 3	81 %



Slika 16: Deleži reke Save v opazovanih vodnjakih.

(Vir: Podtalnica Ljubljanskega polja, Rejec Brancelj et al., 2005, str. 60.)

2.8 Obremenjevanje podtalne vode na Ljubljanskem polju

Vodonosnik Ljubljanskega polja leži pod Ljubljano, ki ima visoko gostoto poselitve, razvito industrijsko in obrtno dejavnost, veliko prometne infrastrukture (tako cestne kot železniške) in na obrobju mesta veliko kmetijskih dejavnosti. Podtalnico obremenjujejo razpršeni in točkovni viri onesnaženja. Pod razpršene vire onesnaženja štejemo kmetijstvo (pesticidi, nitrati), poselitev (nitrati, kalij, ortofosfati ...) in delno promet (mineralna olja, policiklični aromatski ogljikovodiki, metil-terc-butyl-eter ...), med točkovna onesnaženja pa štejemo industrijo in obrtne dejavnosti (halogenirane organske spojine, organofosforne spojine, težke kovine ...), deponije odpadkov (zelo širok spekter onesneževal) ter prometne nesreče (razlitja raznih nevarnih kemikalij, naftnih derivatov) (Rejec Brancelj et al., 2005).

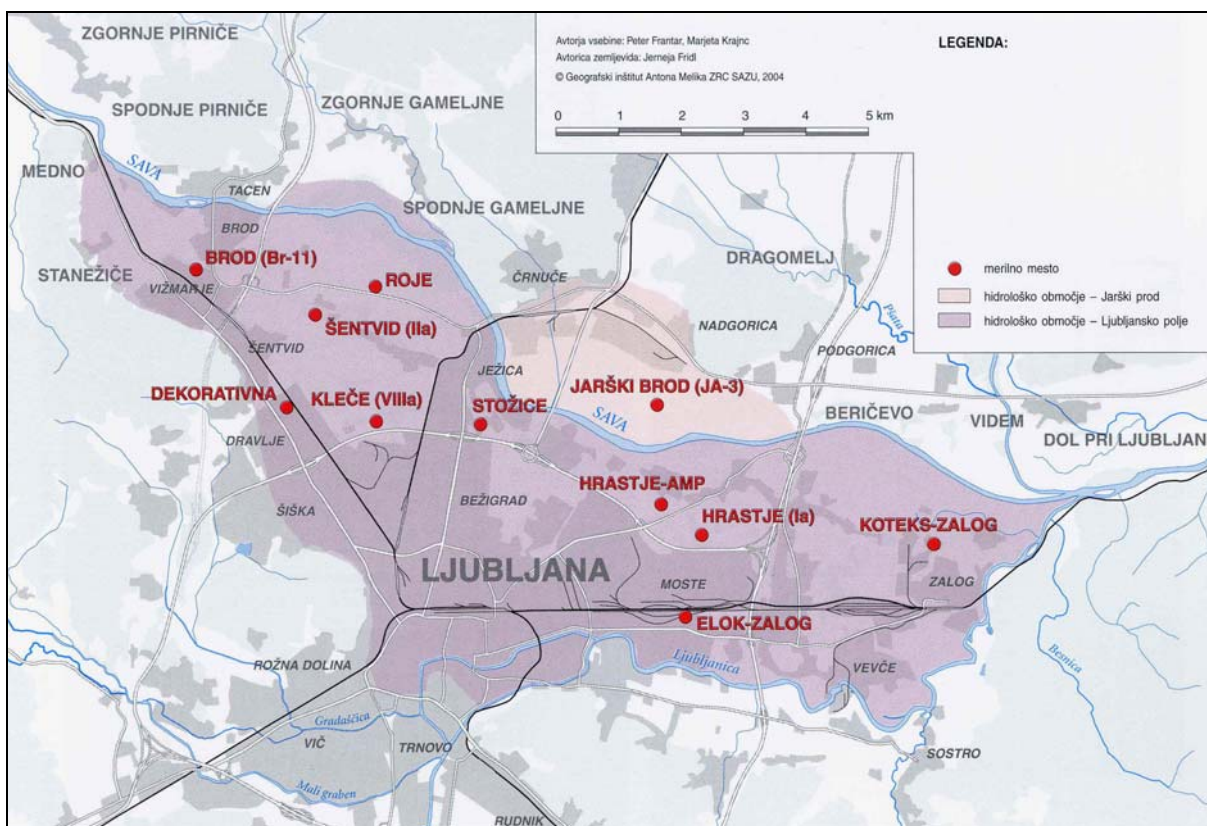
Za vodonosnik Ljubljanskega polja je značilno, da je kakovost podzemne vode močno odvisna od opazovalnega mesta - to je od oddaljenosti opazovalnega mesta od napajalnega območja reke Save in od oddaljenosti kraja vzorčenja od tistih virov onesnaževanja na Ljubljanskem polju, ki jih padavinska voda izpira skozi humusni pokrov in nezasičene plasti v zasičeno cono vodonosnika. Kjub odvisnosti dinamike podzemne vode, od dinamike reke Save, na kakovost podtalnice bolj vpliva dogajanje na površini vodonosnika (na samem Ljubljanskem polju), kot pa kakovost infiltrirane rečne vode. Iz opazovanj se sklepa, da so procesi dinamike onesnaževanja skozi humusne plasti in nenasičeno cono vodonosnika izredno hitri, kar pomeni veliko nevarnost za vodni vir, vendar pa to po drugi strani pomeni tudi relativno hitro odstranitev onesnaženja (Rejec Brancelj et al., 2005).

V vodonosnikih z medzrnsko poroznostjo (tak je tudi vodonosnik Ljubljanskega polja) je tok podtalnice razmeroma počasen in znaša od nekaj metrov do 100 m na dan ter se prilagaja prepustnosti vodonosnika. Vodonosne plasti niso homogene, vključujejo tudi plasti ali leče manj prepustnih materialov (Rejec Brancelj et al., 2005).

Značilnost podtalnice Ljubljanskega polja je sterilnost. To pa je po eni strani prednost (ni potrebno odstranjevati mikroorganizmov s filtracijo ali kloriranjem ter drugimi postopki), po drugi strani pa to pomeni, da v tej vodi ni mikroorganizmov, ki bi razgrajevali ostanke

onesnažil. Zaradi te lastnosti ima npr. atrazin v tej podtalnici veliko daljši razgradni čas, kot pa bi ga imel v primeru, če voda ne bi bila sterilna.

Zaradi onesnaževanja se je pojavila potreba po monitoringu podtalnice. Monitoring na Ljubljanskem polju izvajajo: Mestna občina Ljubljana (od 1997 naprej), država Slovenija (od 1990 naprej) in Javno podjetje Vodovod-Kanalizacija. Na sliki 17 je prikazana merilna mreža državnega monitoringa podzemne vode na Ljubljanskem polju.

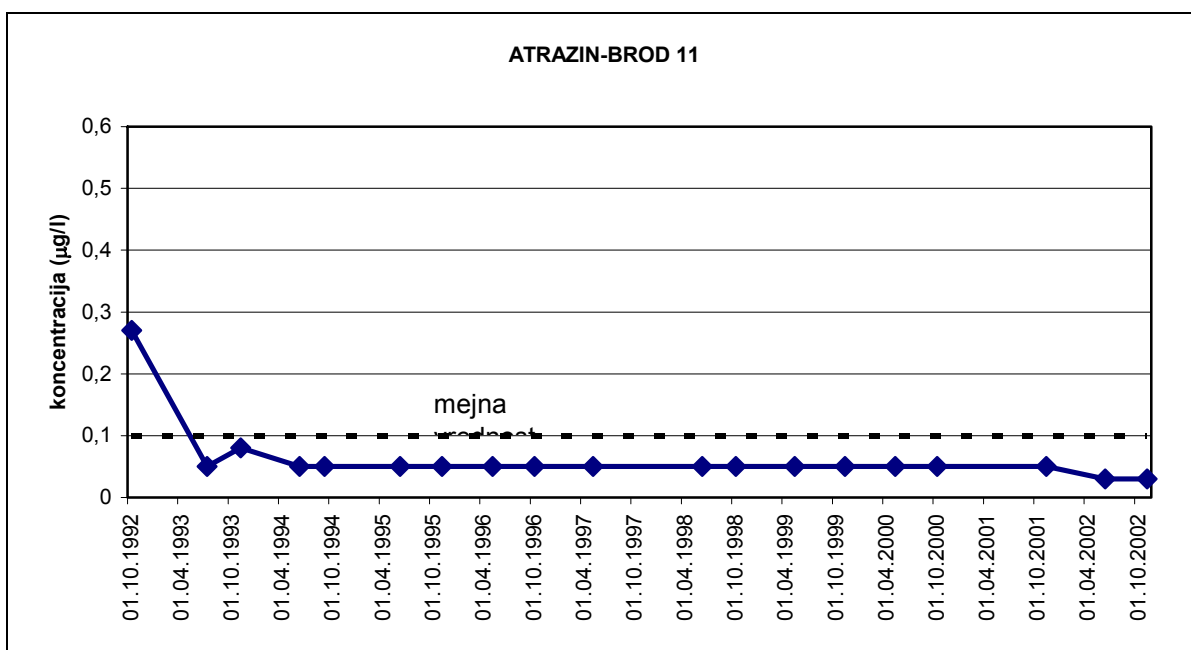


Slika 17: Mreža merilnih mest državnega monitoringa podtalnice na Ljubljanskem polju.

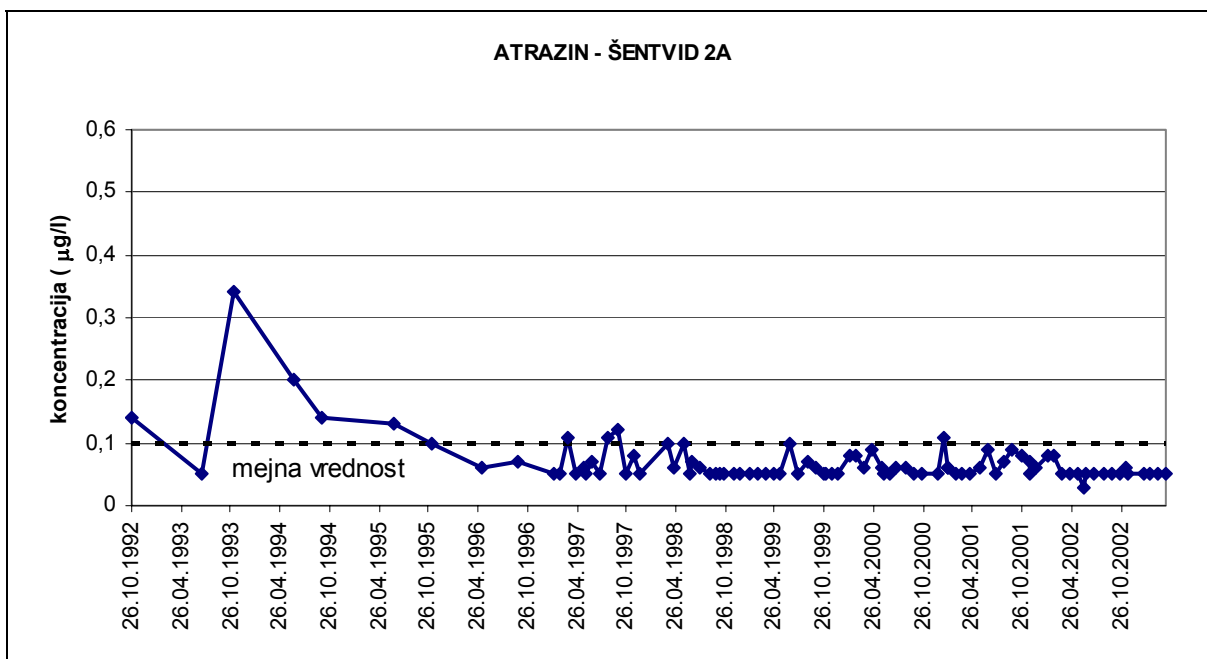
(Vir: Podtalnica Ljubljanskega polja, Rejec Brancelj et al., 2005, str. 89.)

2.9 Ostanki atrazina v podtalnici Ljubljanskega polja

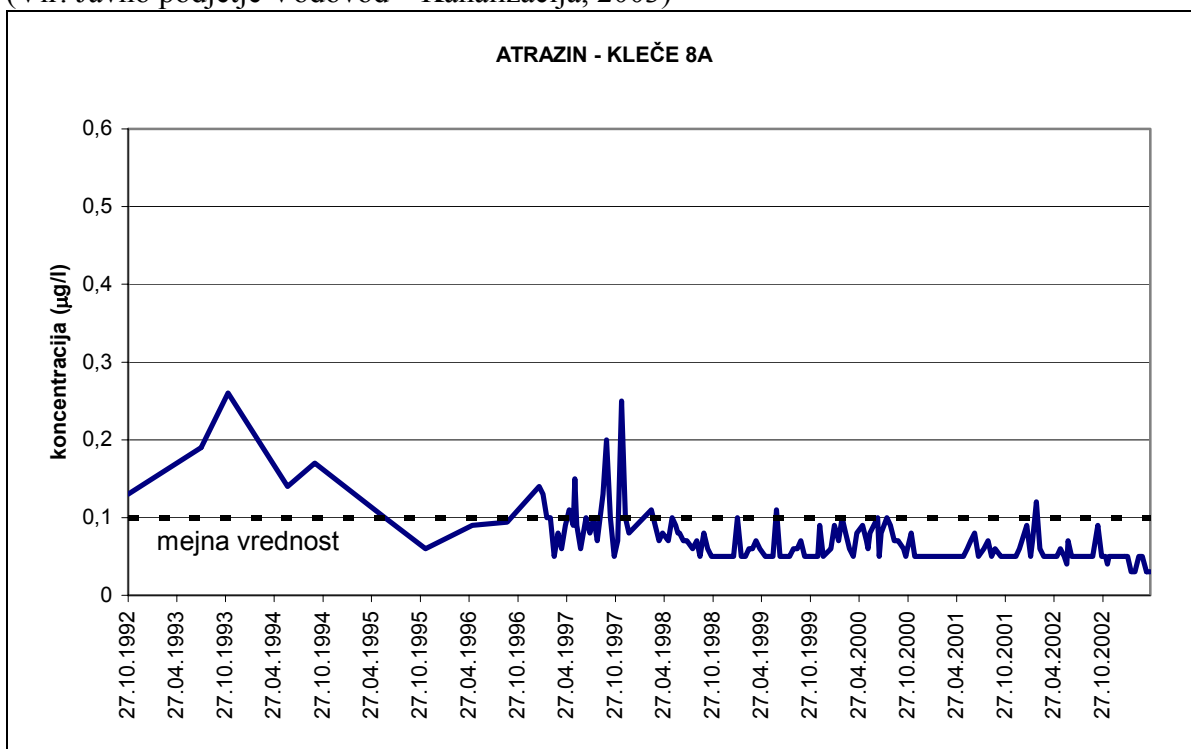
2.9.1 Desni breg Save



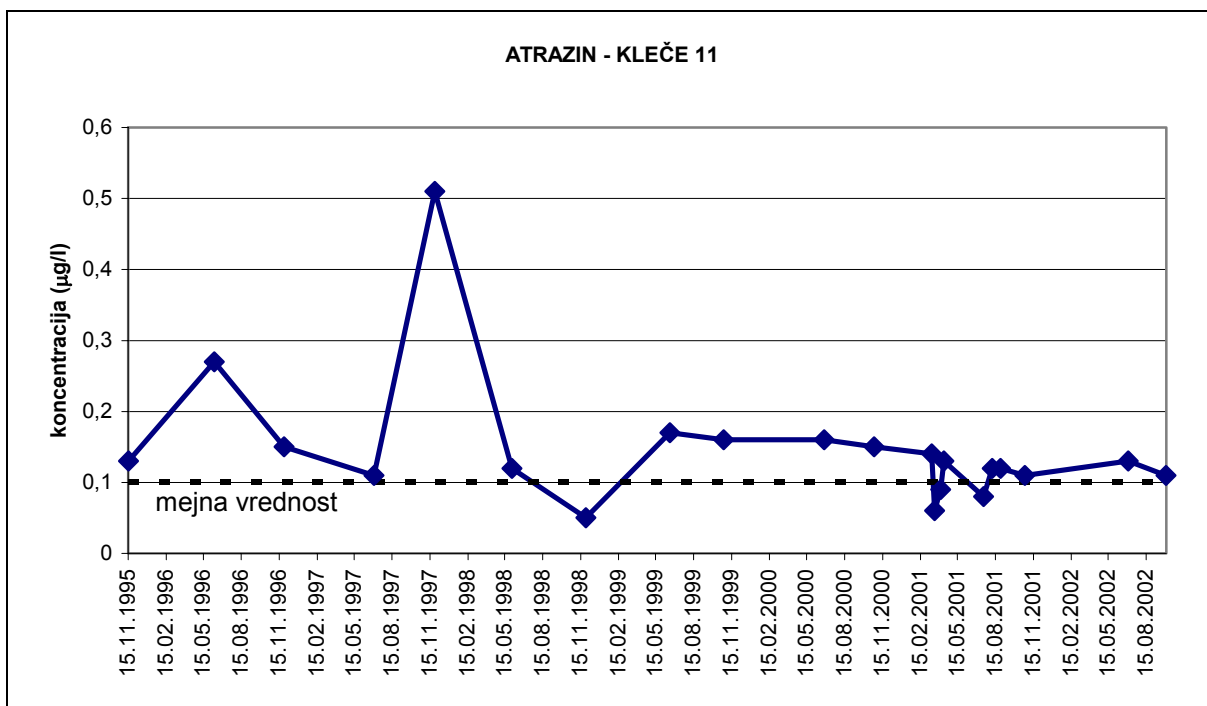
Slika 18: Vsebnosti atrazina na merilnem mestu Brod 11.
(Vir: Javno podjetje Vodovod – Kanalizacija, 2003)



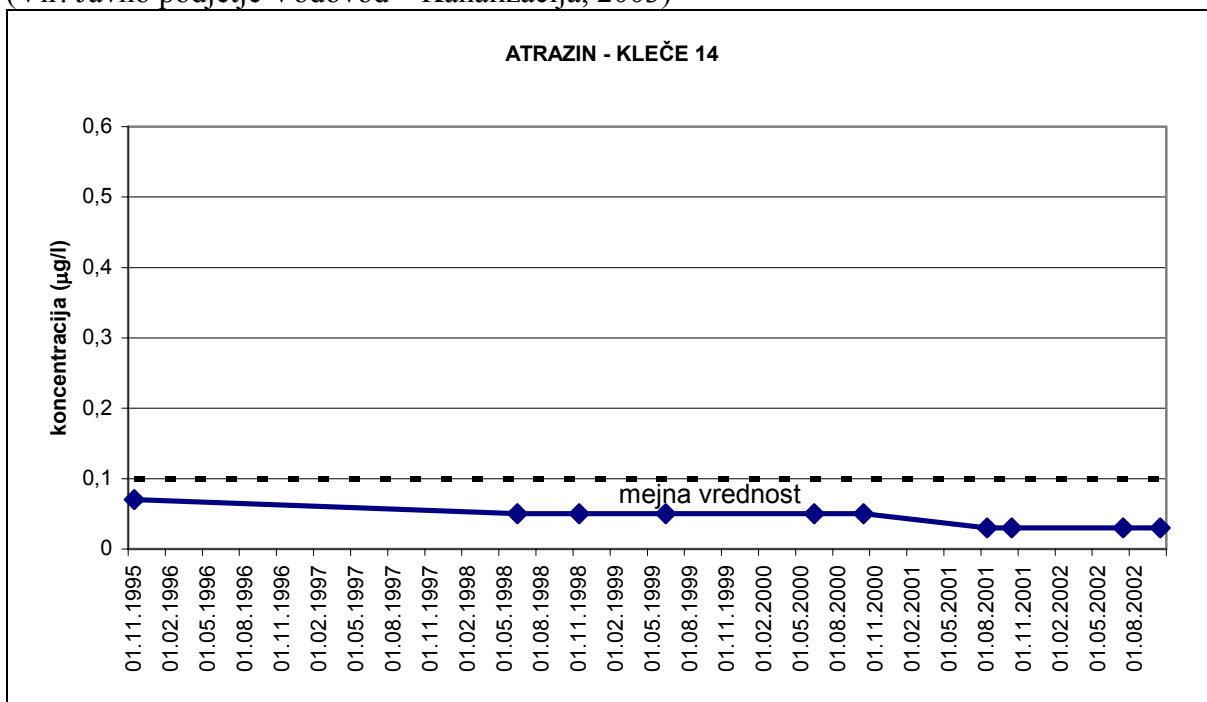
Slika 19: Vsebnosti atrazina na merilnem mestu Šentvid 2a.
(Vir: Javno podjetje Vodovod – Kanalizacija, 2003)



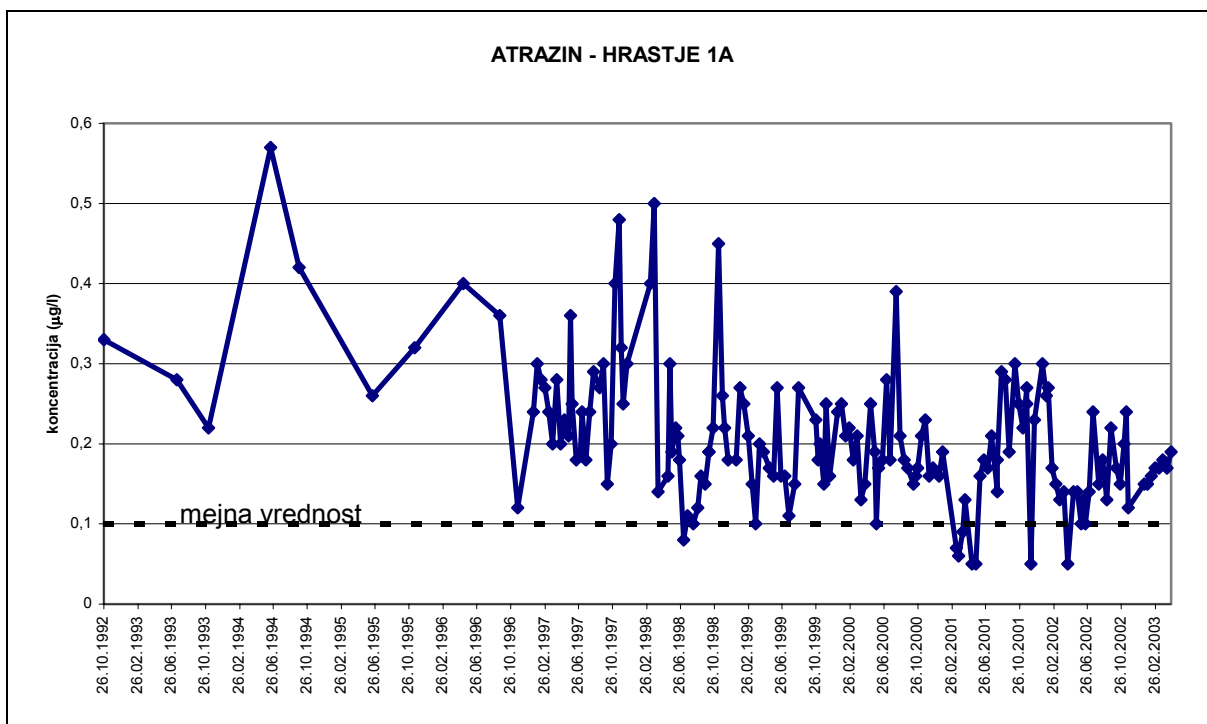
Slika 20: Vsebnosti atrazina na merilnem mestu Kleče 8a.
(Vir: Javno podjetje Vodovod – Kanalizacija, 2003)



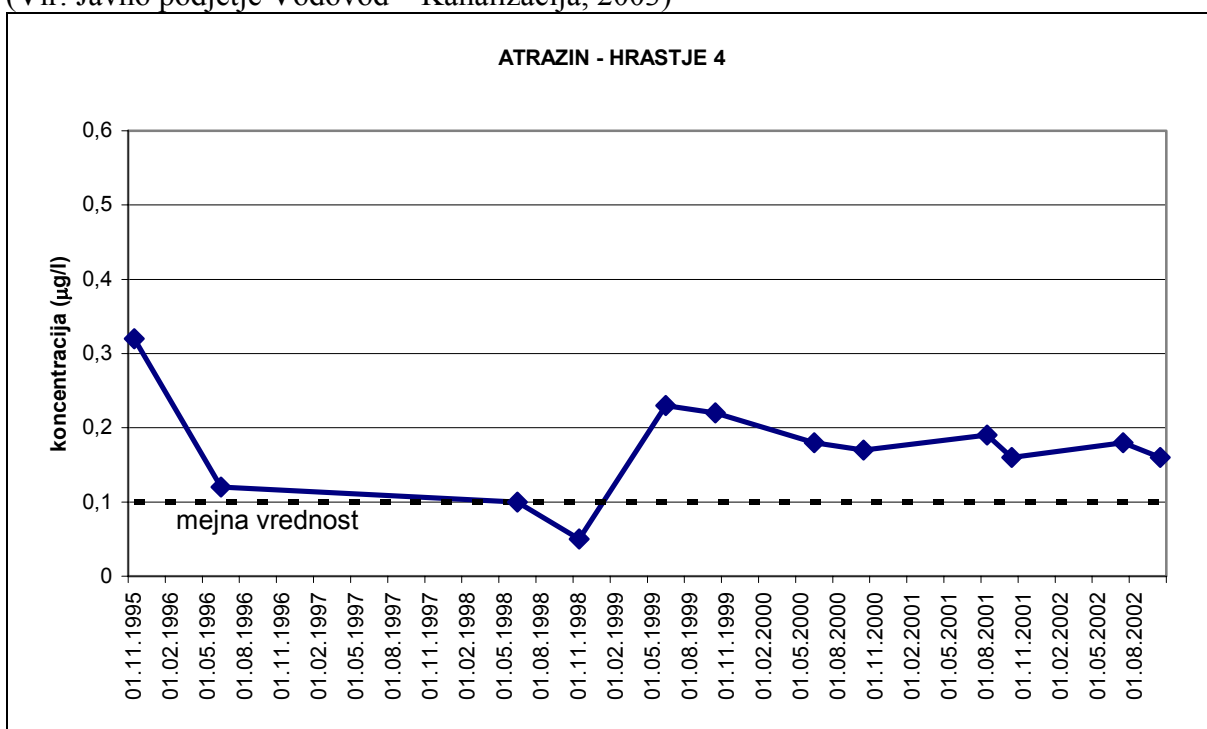
Slika 21: Vsebnosti atrazina na merilnem mestu Kleče 11.
(Vir: Javno podjetje Vodovod – Kanalizacija, 2003)



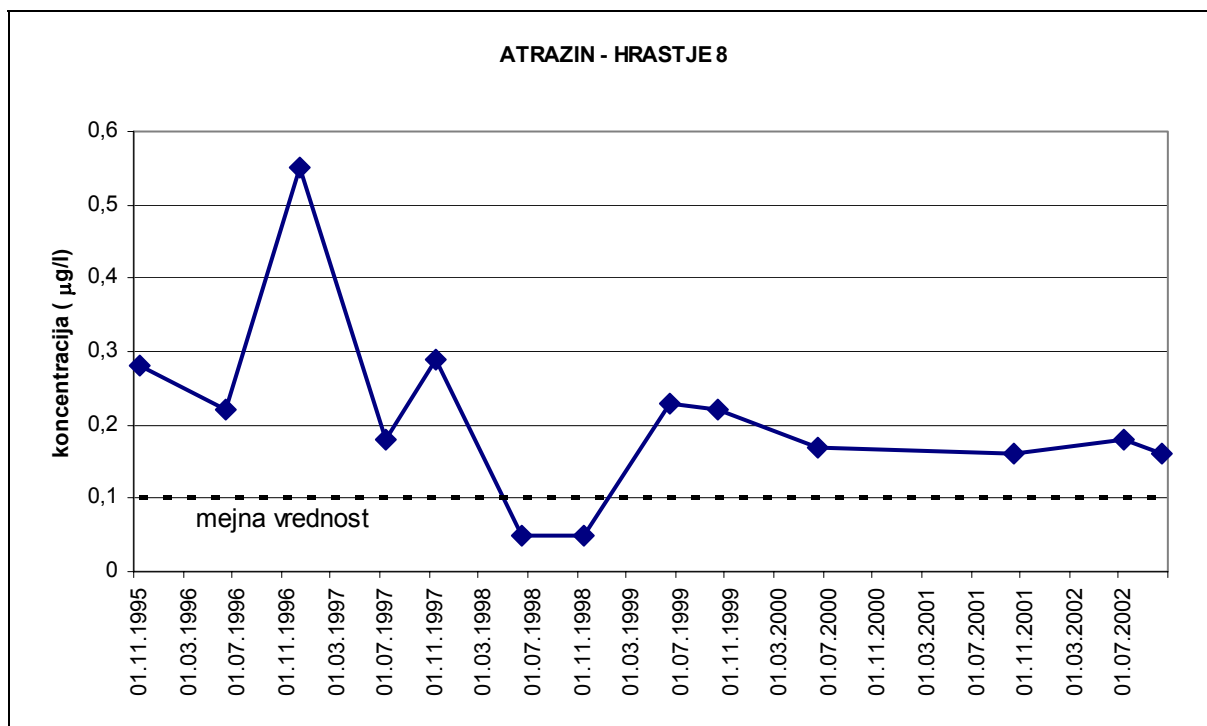
Slika 22: Vsebnosti atrazina na merilnem mestu Kleče 14.
(Vir: Javno podjetje Vodovod – Kanalizacija, 2003)



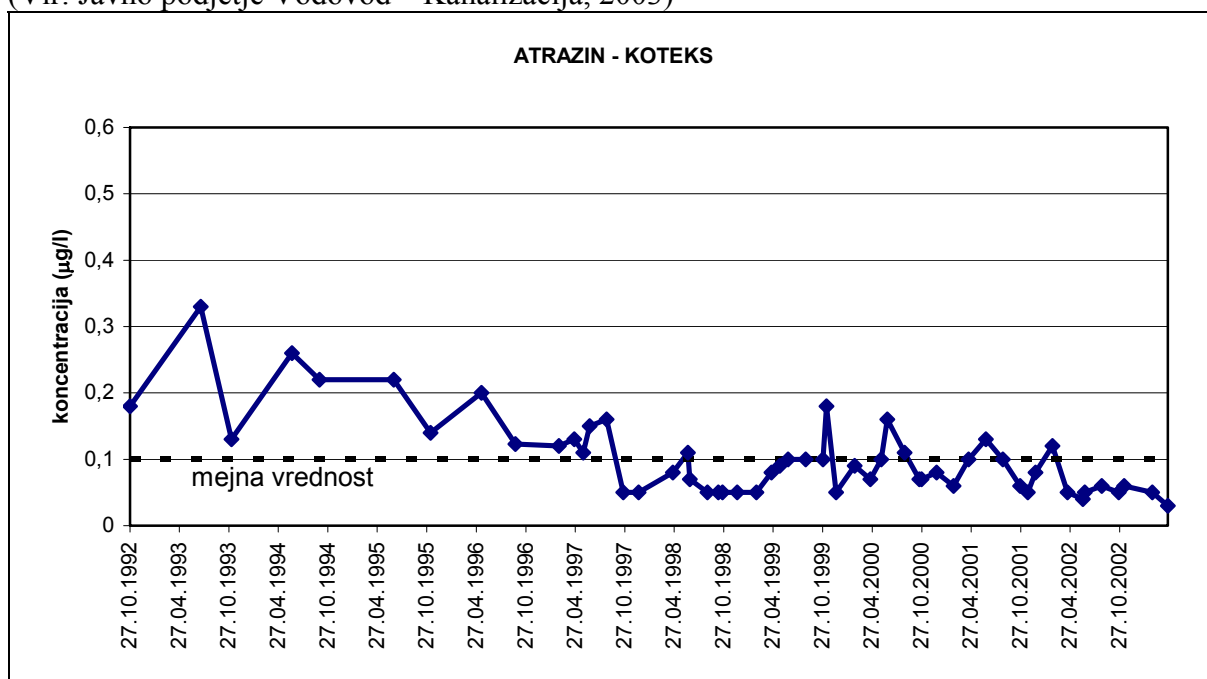
Slika 23: Vsebnosti atrazina na merilnem mestu Hrastje 1a.
(Vir: Javno podjetje Vodovod – Kanalizacija, 2003)



Slika 24: Vsebnosti atrazina na merilnem mestu Hrastje 4.
(Vir: Javno podjetje Vodovod – Kanalizacija, 2003)

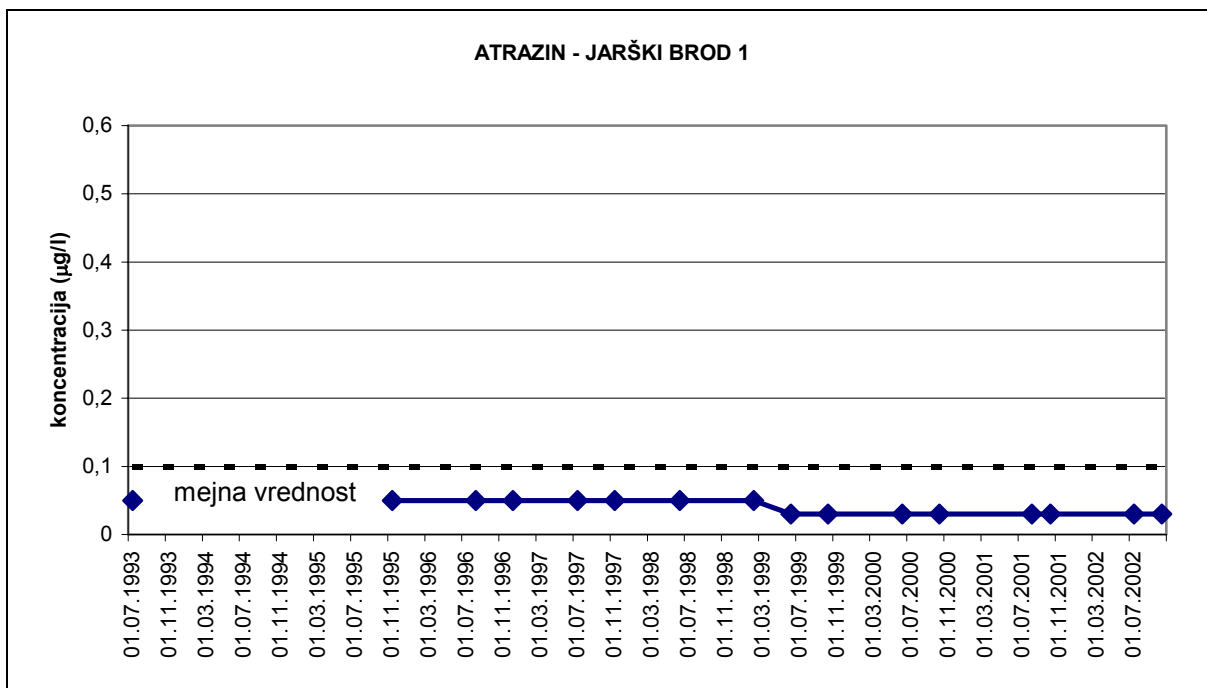


Slika 25: Vsebnosti atrazina na merilnem mestu Hrastje 8.
(Vir: Javno podjetje Vodovod – Kanalizacija, 2003)

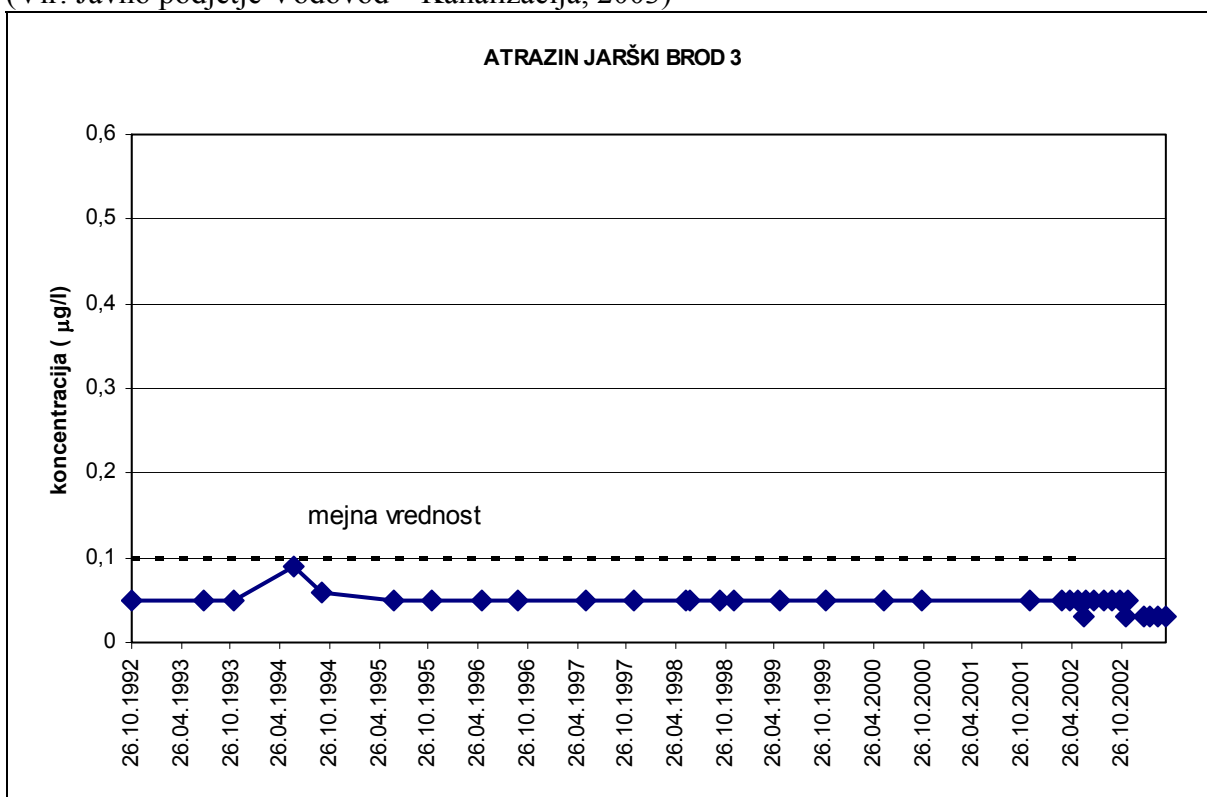


Slika 26: Vsebnosti atrazina na merilnem mestu Koteks.
(Vir: Javno podjetje Vodovod – Kanalizacija, 2003)

2.9.2 Levi breg Save



Slika 27: Vsebnosti atrazina na merilnem mestu Jarški Brod 1.
(Vir: Javno podjetje Vodovod – Kanalizacija, 2003)



Slika 28: Vsebnosti atrazina na merilnem mestu Jarški Brod 3.

(Vir: Javno podjetje Vodovod – Kanalizacija, 2003)

V grafih (Slike 18-28) so prikazane izmerjene vrednosti na merilnih mestih Ljubljanskega polja. Na Ljubljanskem polju se izvajajo trije sistemi monitoringa kakovosti podzemne vode, in sicer: državni monitoring od leta 1990, monitoring Mestne občine Ljubljana od leta 1997 in monitoring Javnega podjetja Vodovod-Kanalizacija (Rejec Brancelj et al., 2005).

3 MATERIALI IN METODE

3.1 Materiali

3.1.1 Tla znotraj vodovarstvenih pasov

Največji del zavzemajo tla nastala na nasutinah rek in rečnih vršajev, ki jih lahko opisujemo kot združbo tal na prodih in peskih. Združbo tal na prodih in peskih gradijo naslednje pedosistemske enote:

- nerazvita obrečna tla;
- rankerji na ledenodobnih prodnatih in peščenih nasutinah;
- rendzine na ledenodobnih prodnatih in peščenih nasutinah;
- evtrična (distrična) rjava tla na ledenodobnih prodnatih in peščenih nasutinah, plitva;
- evtrična (distrična) rjava tla na ledenodobnih prodnatih in peščenih nasutinah, srednje globoka;
- evtrična (distrična) rjava tla na ledenodobnih prodnatih in peščenih nasutinah, globoka.

Ranljivost tal na združbi prodov in peskov izvira iz njihovih specifičnih fizikalno–kemijskih lastnosti. Tla imajo veliko hidravlično prevodnost (od 60 do 300 cm/dan) in relativno majhno poljsko kapaciteto za zadrževanje vode (v povprečju 140–180 mm; za primerjavo težka tla globoka 1 m lahko zadržijo 560 mm vode). Kapaciteta za zadrževanje vode je močno odvisna od globine tal, ki pa prav na tej matični podlagi zelo niha (od 25 do 80 cm). Tla imajo v splošnem tudi majhno kationsko izmenjalno kapaciteto, ki je pomembna za adsorpcijo FFS (zadrževanje v tleh). Vsebnost organske snovi se giblje od 2 do 5 %. Za celotno združbo so značilni lahki teksturni razredi, kot so IP, PI, MI, I in zelo redko še PG. Značilna je tudi zelo spreminjajoča se vsebnost grobega skeleta (>2 mm), ki zelo niha tako v vol. %, kot tudi v razporeditvi v talnem profilu (Simončič, 2004).

Preglednica 2: Nekateri podatki tal zbrani iz ustreznih talnih profilov za območje Ljubljana. (Vir: Simončič, 2004, str. 21.).

Raba tal	Horizont	Globina v cm	Pesek %	Glina %	Org. snov %	Talni tipi
njiva n=4	Ap	0-18/20	12,0-34,2	18,6-41,6	5,2-12,2	Evtr. rjava tla na produ, plitva
	A2	18/20-28/36	14,1-32,6	19,7-31,4	3,0-7,0	
	Bv, B1	28/36-40/65	15,3-37,5	20,7-35,5	1,2-5,3	Distr. rjava tla na plei. ilov., globoka
	Bv2, B2	65-80/90	13,5-29,9	30,3-43,8		
travnik n=4	A1	0-6/20	15,7-47,5	3,8-26,4	4,5-5,4	Obrečna tla, plitva
	A12, A2	6/20-26/45	20,3-49,2	8,8-24,1	3,0-3,5	Psevdoglej, srednje globok
	B(g)	26-55	9,5	32,7	1,0	
	Bg1	55-85	10,3	43,9		

3.1.2 Kmetijska pridelava znotraj varstvenih pasov

Ožji vodovarstveni pasovi Ljubljanskega polja (slika 29 in 30), obsegajo zaledja štirih vodaren: Vižmarske trate z bruto površino 91,5 ha, Kleče in Šentvid z bruto površino 924,4

ha, Hrastje z bruto površino 569,7 ha in Jarški prod z bruto površino 398,5 ha (Simončič, D. 2004).

Leta 2000 je največji delež na vodovarstvenih pasovih zavzemala njivska raba tal s 63,5% vseh zemljišč, sledili so ji travniki in pašniki z 32,5 % (Preglednica 3) (Rejec Brancelj et al., 2005).

Največjo površino od vseh gojenih rastlin je zavzemala koruza in sicer kar 33,7 % vseh prijavljenih gojenih rastlin (Preglednica 4). Koruza je tudi edina poljščina, pri kateri se je uporabljal herbicid atrazin. Vodarni Kleče in Šentvid imata znotraj svojega območja največjo površino koruze, ocenjena je na 80,31 ha, sledi ji območje Vižmarskih trat, ki je tudi prispevno območje vodarne Kleče s 59,2 ha posejane koruze (Preglednica 5).

Preglednica 3: Pregled in struktura rabe zemljišč.

(Vir: Podtalnica Ljubljanskega polja, Rejec Brancelj et al., 2005, str. 164.)

Raba zemljišč	Površina (ha)	Delež (%)
njiva	498,3	63,5
travnik, pašnik	255,1	32,5
neznano	12,4	1,6
zemljišče v zaraščanju	8,9	1,1
druga neobdelovalna kmetijska zemljišča	6,3	0,8
ekstenzivni sadovnjak	1,7	0,2
špargljišče	1	0,1
plantaža gozdnega drevja	0,7	0,1
intenzivni sadovnjak	0,2	0
Skupaj	784,7	100

Preglednica 4: Površina in struktura prijavljenih gojenih rastlin na VVO MOL v letu 2000.

(Vir: Simončič, 2004, str.3.)

Vrsta gojene rastline	Površina (ha)	Delež (%)
-----------------------	---------------	-----------

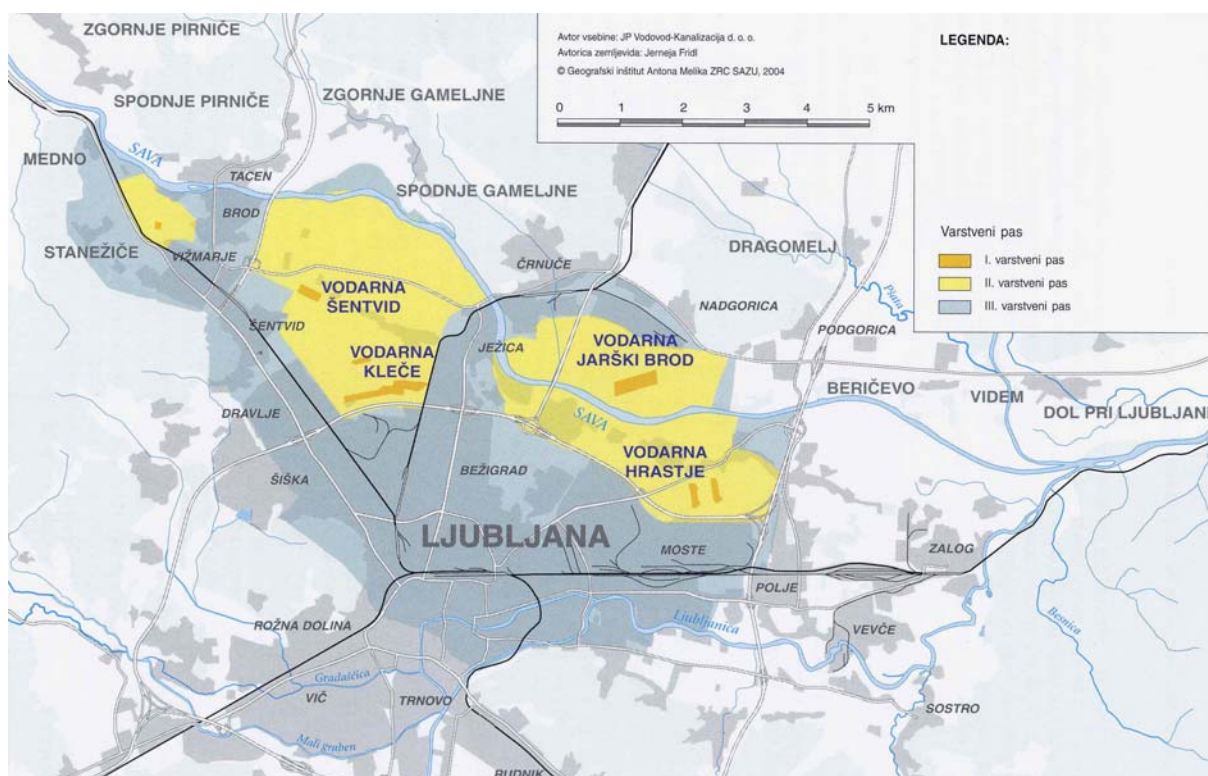
koruza	292,75	33,7
trave	198,92	22,9
pšenica	149,01	17,1
ječmen	71,88	8,3
travno-deteljne mešanice	44,58	5,1
drugo	31,47	3,6
vrtnine na prostem	25,89	3,0
neznano	12,48	1,4
ajda	10,17	1,2
detelje	9,46	1,1
sladkorna pesa	8,75	1,0
tritkala	4,46	0,5
oves	2,17	0,2
sončnica	1,64	0,2
proso	1,16	0,1
krmni ohrovt	0,99	0,1
šparglji	0,99	0,1
rž	0,8	0,1
travniški sadovnjak	0,58	0,1
krmna pesa	0,42	0,0
fižol za zrnje	0,36	0,0
vrtnine v zavarovanem prostoru	0,26	0,0
Skupaj	869,19	100,0

Preglednica 5: Površina in struktura prijavljenih gojenih rastlin znotraj območij posameznih vodarn ter ocena istih površin s strani svetovalne službe.

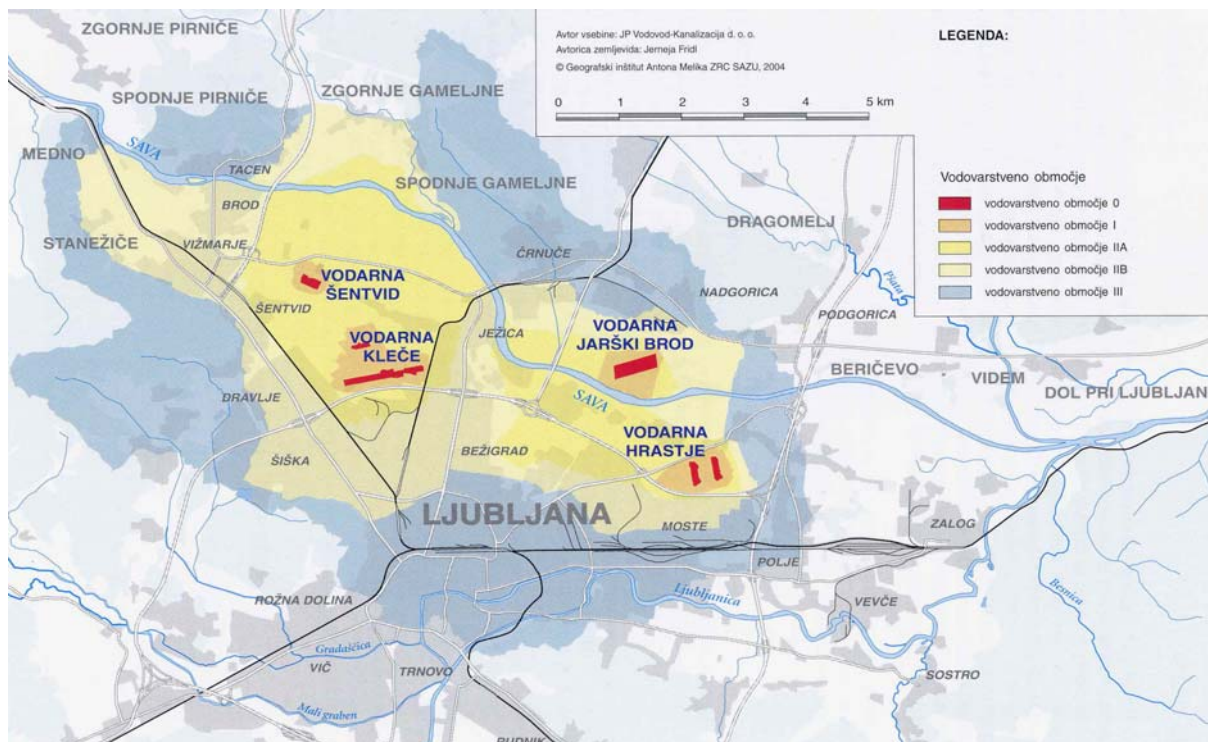
(Vir: Simončič, 2004, str. 4.)

Vrsta gojenih rastlin	Območje vodarne							
	Vižmarske trate		Kleče in Šentvid		Hrastje		Jarški prod	
	ocena	prijava	ocena	prijava	ocena	prijava	ocena	prijava
Površina prijavljenih gojenih rastlin (ha)		169,14		321,25		282,75		96,08
koruza	59,20	71,04	80,31	115,65	56,55	56,27	28,82	49,87
trave	42,29	31,63	80,31	63,29	98,96	96,42	33,63	7,49
pšenica	42,29	48,20	64,25	61,04	28,28	24,32	9,61	15,56
ječmen	8,46	9,47	0,00	34,37	0,00	15,83	0,00	12,20
travno-deteljne mešanice	0,00	0,00	35,34	22,49	0,00	19,79	9,61	2,21
drugo	2,54	0,00	19,28	2,25	9,90	28,56	2,88	0,67

vrtnine na prostem	8,46	0,00	32,13	4,18	56,55	14,70	9,61	6,92
neznano	0,00	0,17	0,00	0,00	0,00	12,16	0,00	0,10
ajda	0,00	0,00	0,00	1,61	0,00	8,48	0,00	0,00
detelje	0,00	0,00	9,64	4,82	28,28	3,96	1,92	0,67
sladkorna pesa	5,07	7,61	0,00	1,29	0,00	0,00	0,00	0,00
tritikala	0,00	0,00	0,00	2,89	0,00	1,13	0,00	0,29
oves	0,00	0,00	0,00	2,25	0,00	0,00	0,00	0,00
sončnica	0,00	0,00	0,00	1,61	0,00	0,00	0,00	0,00
proso	0,00	0,00	0,00	1,29	0,00	0,00	0,00	0,00
krmni ohrovt	0,85	1,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
šparglji	0,00	0,00	0,00	0,96	1,41	0,28	0,00	0,00
rž	0,00	0,00	0,00	0,64	0,00	0,00	0,00	0,00
travniški sadovnjak	0,00	0,00	0,00	0,64	0,00	0,00	0,00	0,00
krmna pesa	0,00	0,00	0,00	0,32	0,00	0,00	0,00	0,00
fižol za zrnje	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,28	0,00	0,00
vrtnine v zavarovanem prostoru	0,00	0,00	0,00	0,00	2,83	0,28	0,00	0,00
SKUPAJ	169,14	169,14	321,25	321,57	282,75	282,75	96,08	96,08



Slika 29: Varstveni pasovi na Ljubljanskem polju po odloku iz leta 1988.
(Vir: Podtalnica Ljubljanskega polja, Rejec Brancelj et al., 2005, str. 116.)



Slika 30: Vodovarstvena območja na Ljubljanskem polju po uredbi iz leta 2004.
(Vir: Podtalnica Ljubljanskega polja, Rejec Brancelj et al., 2005, str. 119.)

3.1.3 Obremenitve tal in podtalnice s fitofarmaceutskimi sredstvi

3.1.3.1 Zakonodaja

V Sloveniji se je leta 1997, ko je bil izdan Pravilnik o zdravstveni ustreznosti pitne vode, usklajen z EU direktivo za pitno vodo, najvišji dovoljen ostanek atrazina v vodi, zmanjšal iz 2 $\mu\text{g/l}$ na 0,1 $\mu\text{g/l}$. S tem so bile vrednosti atrazina v vodi kar naenkrat bistveno presežene.

Ukrep, ki je sledil, je bil prepoved uporabe enokomponentnih pripravkov na podlagi atrazina leta 1996 (prepoved je začela veljati junija 1997) in nato leta 2003 še odjava registracij drugih večkomponentnih pripravkov, ki vsebujejo atrazin (Zbornik predavanj in referatov, 2003).

3.1.3.2 Uporaba fitofarmaceutskih sredstev

Tveganje za podtalnico in pitno vodo zaradi uporabe fitofarmaceutskih sredstev na vodovarstvenih območjih predstavljata le poljedelska in vrtnarska pridelava. Druga pridelava (sadjarstvo), seveda ob upoštevanju zakonodaje in dobre kmetijske prakse ter zaradi izredno majhnih površin, ki so jim namenjene, ne more vplivati na slabšanje kakovosti podtalnice.

Največje tveganje za podtalnico predstavlja pridelovanje koroze zaradi uporabe rezidualnih herbicidov. Ocenjen delež površin, na katerih se prideluje koroza, je: v Hrastju 10 %, v Klečah in Savljah 25 % in na Jarškemrodu 30 % (Rejec Brancelj et al., 2005).

Analiza uporabe fitofarmaceutskih sredstev za zadnjih 10 let je pokazala, da je bilo uporabljenih daleč največ triazinskih pripravkov, med katerimi je bil v največji meri uporabljen atrazin (Preglednica 6) (Rejec Brancelj et al., 2005).

Preglednica 6: Ocena letne porabe posameznih aktivnih snovi (kg) na območju MOL v letih med 1990 in 2002 (ocena pridobljena na podlagi podatkov o prodaji FFS, podatkov o površinah gojenih rastlin in anket pridelovalcev).
(Vir: Simončič, 2004, str. 5.)

Aktivna snov	1990-95	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002
alaklor (koroza)	-	-	-	-	-	-	-	-
atrazin (koroza)	450	400	250	150	90	70	50	20
bentazon (koroza, krompir, vrtnine)	15	20	20	25	25	30	30	30
dikamba (koroza, žita)	10	20	20	20	20	20	20	20
diklobenil (neketijska zemljišča)	-	-	-					-
diuron (neketijska zemljišča)	-	-	-	-	-	-	-	-
flurokloridon (koroza, krompir, vrtnine)	10	15	20	20	20	20	25	15
fluroksipir (žita, koroza, travinje)	25	30	40	40	50	45	40	40
izoproturon (žita)	15	20	20	30	50	60	70	70
kloridazon (pesa)	15	20	25	25	25	25	30	30

klortoluron (žita)	200	180	180	170	160	150	150	130
linuron (vrtnine)	-	10	10	15	20	20	20	20
metamitron (pesa)	10	15	15	20	20	20	20	20
metazaklor (vrtnine)	10	10	15	15	15	15	20	20
metolaklor (koruza, pesa)	450	430	350	250	150	100	100	100
metribuzin (krompir)	40	40	35	35	30	30	30	30
nikosulfuron (koruza)	1	2	3	4	4	4	4	4
oksifluorfen (vrtnine)	5	6	8	10	10	15	15	15
pendimetalin (žita, koruza, krompir, vrtnine)	60	80	100	120	120	130	130	130
piridat (koruza, vrtnine)	25	20	20	15	15	-	-	15
prometrin (krompir, vrtnine)	75	70	65	60	50	40	30	25
rimsulfuron (koruza, krompir)	0,3	0,6	0,8	1	1	1	1	1
simazin (koruza, nekmetijska zemljišča)	50	50	50	40	40	50	50	50
terbutilazin (koruza)	-	-	-	50	75	100	120	130
tifensulfuron-metil (žita, travinje)	-	0,25	0,3	0,5	0,5	0,6	0,6	0,6
triasulfuron (žita)	12	11	11	11	10	10	10	8
2,4-D (koruza, travinje, žita)	230	200	200	180	180	180	180	180

3.1.4 Atrazin in njegovi produkti

Atrazin je najpogosteje najdeno sredstvo za varovanje rastlin v podtalnici, ki se je pri nas uporabljalo do leta 2002 pri pridelavi koruze, nato pa so ga leta 2003 prepovedali, ker zaradi svojih fizikalno - kemijskih lastnosti ogroža podtalnico. Za atrazin je značilno, da ga v osnovni obliki najdejo več tam, kjer so tla na površini peščena in z malo organskih snovi. Tam, kjer je organskih snovi v zgornjem sloju tal relativno veliko, najdejo v podtalnici več njegovih prvih dveh razgradnih produktov: desetil atrazina (DEA) in desizopropil atrazin (DIA). Ker so atrazin in njegovi razgradni produkti zelo obstojni in zelo dobro topni v vodi (posebno DEA), so skupaj s padavinami pronicali in kontaminirali podtalnico. Ko atrazin prispe do podtalnice, je njegov razpolovni čas tudi tisoč ali več dni. Zato bodo atrazin in njegovi razgradni produkti še kar nekaj časa ostali prisotni v podtalnici Ljubljanskega polja. V preglednicah 8 in 9 so prikazane fizikalno kemijske lastnosti atrazina, ki sem jih uporabil pri simulaciji.

3.1.4.1 Zakonodaja

Leta 1997 je bil izdan Pravilnik o zdravstveni ustreznosti pitne vode, usklajen z EU direktivo za pitno vodo. Pravilnik določa mejne vrednosti za 7 pesticidov in 2 razgradna produkta. Mejne vrednosti so navedene v preglednici 7.

Preglednica 7: Mejne vrednosti za pesticide.

(Vir: Zbornik predavanj in referatov, 2003, str. 45.)

Parameter	Enota	Mejna vrednost
Alaklor	µg/l	0,06
Metolaklor	µg/l	0,06
Atrazin	µg/l	0,1
Desetil atrazin	µg/l	0,1
Desizopropil-atrazin	µg/l	0,06
Simazin	µg/l	0,06
Propazin	µg/l	0,06
Prometrin	µg/l	0,06
Bromacil	µg/l	0,06
Pesticidi (skupno)	µg/l	0,5

3.1.4.2 Fizikalno - kemijske lastnosti atrazina

Vrelišče: 205° C.

Tališče: 176° C.

Parni tlak: $4,0 \cdot 10^{-7}$ hPa pri 20°C.

Topnost: (v g/100g pri 20°C);

npr. voda pri pH 7 $3,3 \cdot 10^{-3}$

kloroform: 5,2

dietileter: 1,2

etil acetat: 2,8

metanol: 1,8

n-oktanol: 1,0

(Priročnik o toksikoloških lastnostih pesticidov v republiki Sloveniji, 1998).

3.1.4.3 Razpolovni čas atrazina po slojih

Preglednica 8: Razpolovni časi po slojih.

(Vir: Applicability of a Simulation Model to Determine the Environmental Fate of Atrazine in the Canajoharie Creek Watershed, New York, 1999)

Sloj	Vrednost (dan^{-1})	Razpolovni čas (dnevi)
Površina	0,2071	2,5
Zgornji sloj	0,1305	4
Spodnji sloj	0,005	1000
Podtalnica	0,005	1000

3.1.4.4 Absorpcija atrazina

Preglednica 9: Absorpcija atrazina v različnih tipih zemljine.

(Vir: Ars pesticide properties database, 2001)

Tip zemljine	K_{oc}	%om	pH
PESEK (P)	90	0,8	5,6
PEŠČENA ILOVICA (PI)	57	3,0	6,1
MELJASTA ILOVICA (MI)	120	2,1	7,0
ILOVICA (I)	139	2,5	6,6
ILOVICA (I)	155	0,8	
GLINA (G)	87	4,8	
PESEK (P)	39	0,9	
PEŠČENA ILOVICA (PI)	70	1,9	2,1
POVPREČJE:	147		

3.1.5 Vrednosti uporabljene v modelu PEARL

3.1.5.1 Tla

Lastnosti tal sem določil s pomočjo pedoloških kart (Priloga C), poročila Kmetijskega inštituta Slovenije (Simončič, 2004), programa Soil Water Characteristics ter s pomočjo (Help) uporabniškega vmesnika FOCUS PEARL 2.2.2. Program Soil Water Characteristics sem uporabil zaradi tega, ker model PEARL zahteva dodatne parametre, ki še niso bili določeni za tla Ljubljanskega polja. To sta dva Van Genuchten-ova parametra in sicer zasičenje (θ_s) in hidravlična prevodnost tal ob zasičenju (K_{sat}), ter vrednost za suho prostorninsko gostoto zemljine. Ostalih pet Van Genuchten-ovih parametrov θ_r , α_d , α_w , n in λ pa sem povzel iz pomoči programa FOCUS PEARL 2.2.2. (Priloga A). Izbrane vrednosti in parametri so prikazani v preglednicah 10-15.

3.1.5.1.1 Lahka tla

Značilnosti: obrečna tla, karbonatna, plitva, na peščeno prodnatem aluviju.

Preglednica 10: Parametri uporabljeni v modelu PEARL za lahka tla.

	Globina [cm]	Teksturni razred	pH	Organska snov [%]	pesek [%]	glina [%]	suha pros. gostota z. [kg/m³]
1. horizont	15	PI - peščena ilovica	7,5	5	46	6	1260
2. horizont	14	MI - meljasta ilovica	7,5	3,25	33	15	1260
3. horizont	50	prod in pesek	7,5	1	90	6	1860
4. horizont	200	prod in pesek	7	0	95	2,5	2000
5. horizont	721	prod in pesek	7	0	95	2,5	2000

Preglednica 11: Uporabljeni Van Genuchten-ovi parametri modela PEARL za lahka tla.

	θ_s (m ³ /m ³)	θ_r (m ³ /m ³)	α_d (1/cm)	α_w (1/cm)	n (-)	K_{sat} (m/d)	λ (-)
1. horizont (TOP Soils – B4)	0,524	0,01	0,0163	0,0163	1,559	10	0,177
2. horizont (SUB Soils – O14)	0,523	0,00	0,0025	0,0025	1,686	3,0912	0,057
3. horizont (SUB Soils – O1)	0,379	0,01	0,0224	0,0224	2,167	8	0
4. horizont (SUB Soils – O1)	0,323	0,01	0,0224	0,0224	2,167	10	0
5. horizont (SUB Soils – O1)	0,323	0,01	0,0224	0,0224	2,167	10	0

3.1.5.1.2 Lahka in srednje težka tla

Značilnosti: evtrična rjava tla, na ledenodobnih prodnatih in peščenih nasutinah rek in rečnem vršaju, tipična plitva.

Preglednica 12: Parametri uporabljeni v modelu PEARL za lahka in srednje težka tla.

	Globina [cm]	Teksturni razred	pH	Organska snov [%]	pesek [%]	glina [%]	suha pros. gostota zemljine [kg/m³]
1. horizont	20	MI - meljasta ilovica	6	7	16	23	1100
2. horizont	16	MI - meljasta ilovica	6	5	18	25	1100
3. horizont	50	prod in pesek	7	1	90	6	1860
4. horizont	200	prod in pesek	7	0	95	2,5	2000
5. horizont	724	prod in pesek	7	0	95	2,5	2000

Preglednica 13: Uporabljeni Van Genuchten-ovi parametri modela PEARL za lahka in srednje težka tla.

	θ_s (m^3/m^3)	θ_r (m^3/m^3)	α_d (1/cm)	α_w (1/cm)	n (-)	K_{sat} (m/d)	λ (-)
1. horizont (TOP Soils – B09)	0,584	0,00	0,0065	0,0065	1,325	6,0648	-2,161
2. horizont (SUB Soils – O14)	0.586	0,00	0,0025	0,0025	1,686	4,8504	0,057
3. horizont (SUB Soils – O1)	0.379	0,01	0,0224	0,0224	2,167	8	0,000
4. horizont (SUB Soils – O1)	0.323	0,01	0,0224	0,0224	2,167	10	0,000
5. horizont (SUB Soils – O1)	0.323	0,01	0,0224	0,0224	2,167	10	0,000

3.1.5.1.3 Srednje težka tla

Značilnosti: evtrična rjava tla, na ledenodobnih prodnatih in peščenih nasutinah rek in rečnem vršaju, tipična plitva.

Preglednica 14: Parametri uporabljeni v modelu PEARL za srednje težka tla.

	Globina [cm]	Teksturni razred	pH	Organska snov [%]	pesek [%]	glina [%]	suha pros. gostota zemljine [kg/m^3]
1. horizont	20	MI - meljasta ilovica	6	7	16	23	1100
2. horizont	16	MI - meljasta ilovica	6	5	18	25	1100
3. horizont	29	MI - meljasta ilovica	6	3	22	22	1210
4. horizont	15	MG – meljasta glina	6	0	19	40	1310
5. horizont	200	prod in pesek	6.5	0	95	2,5	2000

6. horizont	720	prod in pesek	7	0	95	2,5	2000
--------------------	-----	---------------	---	---	----	-----	------

Preglednica 15: Uporabljeni Van Genuchten-ovi parametri modela PEARL za srednje težka tla.

	θ_s (m^3/m^3)	θ_r (m^3/m^3)	α_d (1/cm)	α_w (1/cm)	n (-)	K_{sat} (m/d)	λ (-)
1. horizont (TOP Soils – B09)	0,584	0,00	0,0065	0,0065	1,325	6,0648	-2,161
2. horizont (SUB Soils – O14)	0.586	0,00	0,0025	0,0025	1,686	4,8504	0,057
3. horizont (SUB Soils – O14)	0.542	0,00	0,0025	0,0025	1,686	1,6848	0,057
4. horizont (SUB Soils – O12)	0.508	0,00	0,0095	0,0095	1,159	0,0312	-4.171
5. horizont (SUB Soils – O1)	0.323	0,01	0,0224	0,0224	2,167	10	0
6. horizont (SUB Soils – O1)	0.323	0,01	0,0224	0,0224	2,167	10	0

3.1.5.2 Atrazin

3.1.5.2.1 Uporabljene fizikalno - kemijske lastnosti

molarna masa: 215,68 g/mol

zasičeni parni tlak: $3,85 \times 10^{-5}$ Pa, pri 20° C

topnost v vodi: 33 mg/l, pri 20° C

3.1.5.2.2 Absorpcija v odvisnosti od zemljine

V model PEARL se vnaša vrednost koeficienta K_{om} (koeficient absorpcije na organsko snov). V literaturi se najdejo samo vrednosti za koeficient K_{oc} (koeficient absorpcije na organski ogljik). Obstaja pa enačba za pretvorbo, ki je enaka $K_{oc} = 1.724 K_{om}$ (Lyman, Reehl, Rosenblatt, 1990).

Preglednica 16: Absorpcija atrazina v odvisnosti od zemljine.

(Vir: Ars pesticide properties database, 2001)

	K_{oc}	K_{om}
PEŠČENA ILOVICA (PI)	57	33
MELJASTA ILOVICA (MI)	120	70
GLINA (G)	87	50
PESEK (P)	90	52

3.1.5.2.3 Razpolovni čas v odvisnosti od globine

Razpolovni čas sem razporedil po horizontih, kakor je prikazano v preglednici 17. Podatke za razpolovne čase v različnih zemljinah in globinah sem pridobil iz različnih virov, za nekatere pa sem vzel približno oceno (PESTICIDE PROPERTIES DATABASE, 2001; Applicability of a Simulation Model to Determine the Environmental Fate of Atrazine in the Canajoharie Creek Watershed, New York, 1999).

Preglednica 17: Razpolovni čas atrazina v odvisnosti od zemljine in globine.

		1.	2.	3.	4.	5.	6.
		horizont	horizont	horizont	horizont	horizont	horizont
Lahka tla	razpolovni čas (d)	40	146	300	1000	1000	
Lahka in srednje težka tla	razpolovni čas (d)	40	146	300	1000	1000	
Srednje težka tla	razpolovni čas (d)	40	146	146	300	1000	1000

3.1.5.2.4 Nanašanje atrazina

Količino atrazina nanešenega na hektar Ljubljanskega polja (Preglednica 18) sem dobil tako, da sem delil površino, na kateri se je gojila koruza (Preglednica 4), s količino porabe aktivne snovi (atrazina) na območju MOL v posameznem letu (Preglednica 6). V literaturi sem

zasledil, da je z atrazinom priporočljivo škropiti pred dežjem (Mamilovič, 1994), zato sem za datume nanašanja uporabil dneve pred dežjem.

Preglednica 18: Nanašanje atrazina na polje v simulaciji.

Datum	Nanos [kg/ha]
13.05.1989	1,500
11.05.1990	1,500
14.05.1991	1,500
11.05.1992	1,500
07.05.1993	1,500
10.05.1994	1,500
10.05.1995	1,500
07.05.1996	1,330
06.05.1997	0,833
13.05.1998	0,500
08.05.1999	0,300
07.05.2000	0,233
15.05.2001	0,167
08.05.2002	0,067
2003	0,000
2004	0,000

3.1.5.3 Metolaklor

Metolaklor je enako kot atrazin herbicid, ki se uporablja za zatiranje plevla pri gojenju koruze. Podatke o fizikalno - kemijskih lastnostih metolaklora sem dobil na internetni strani (<http://www.gsi-net.com/useful%20tools/ChemPropDatabaseHome.asp>).

3.1.5.3.1 Uporabljene fizikalno - kemijske lastnosti za metolaklor

molarna masa: 283,46 g/mol

zasičeni parni tlak: $1,7332 \times 10^{-3}$ Pa, pri 20° C

topnost v vodi: 530 mg/l, pri 22° C

3.1.5.3.2 Absorpcija metolaklora

Zaradi pomanjkanja podatkov sem za vse globine tal vnesel enako vrednost za absorpcijo, ki znaša $K_{om} = 116$ l/kg.

3.1.5.3.3 Razpolovni čas metolaklora v odvisnosti od globine

Razpolovni čas sem razporedil po horizontih, kakor je prikazano v preglednici 19. Podatke o razpolovnih časih sem dobil na internetu (Rivard, 2003), za nekatere pa sem vzel približno oceno.

Preglednica 19: Razpolovni čas v odvisnosti od zemljine in globine.

		1.	2.	3.	4.	5.
		horizont	horizont	horizont	horizont	horizont
Lahka tla	razpolovni čas (d)	20	26	36	114	228

3.1.5.3.4 Nanašanje metolaklora

Simuliral sem nanašanje metolaklora od leta 1989 do 2004, in sicer v količini 1, 5 kg/ha enkrat letno.

3.1.5.4 Obdelovanje tal

Privzel sem, da se tla obdelujejo dvakrat letno, in sicer spomladi in jeseni - jesensko oranje do globine 25 cm (lahka tla) in 35 cm (ostala tla) in spomladansko rahljanje tal do globine 15 cm.

3.1.5.5 Meteorološki podatki

Meteorološki podatki potrebni za simulacijo so naslednji: dnevno globalno sevanje ($\text{kJm}^{-2}\text{d}^{-1}$), minimalna dnevna temperatura T_{\min} ($^{\circ}\text{C}$), maksimalna dnevna temperatura T_{\max} ($^{\circ}\text{C}$),

povprečni parni tlak (kPa), povprečna hitrost vetra (m/s) in padavine (mm/d). Vse podatke, razen podatkov za povprečni parni tlak, mi je posredovala Agencija RS za okolje. Povprečni parni tlak pa sem izračunal s pomočjo enačbe 1:

$$\ln(p_2 / p_1) = \frac{M \Delta H (T_2 - T_1)}{R T_2 T_1} \quad (1)$$

p_1 – parni tlak vode pri 10 °C (1,228 kPa)

p_2 – izračunani parni tlak (kPa)

M – molska masa vode (18 kg/kmol)

T_1 – temperatura (283 K)

$$T_2 = \frac{T_{\max} + T_{\min}}{2} \text{ (K)}$$

ΔH - molska izparilna entalpija vode (2500 kJ/kg)

R - splošna plinska konstanta (8,314 kJ/kmol)

3.2 Metode

S programskim paketom FOCUS PEARL 2.2.2 sem simuliral nanašanje atrazina na tri različne tipe tal (lahka tla, lahka in srednje težka tla, srednje težka tla) v časovnem obdobju od leta 1989 do 2004, ob predpostavki, da se je na istem polju vsako leto gojila koruza. Takega stanja v realni situaciji ni, ker se v praksi koruza nikoli ne goji toliko let zapored na isti njivi zaradi potrebe po kolobarjenju. Vendar je končni rezultat podoben, le da je onesnaževanje bolj razpršeno. Lahko bi se celo predvidevalo, da je vnos pesticida v podtalje zaradi razpršenosti še večji, ker bi se lahko v 15 letih zaporednega nanašanja atrazina na eno in isto mesto razvili mikroorganizmi z večjo sposobnostjo prebavljanja atrazina.

Za preizkus uporabnosti modela sem uporabil metolaklor in sicer zaradi tega, ker se je uporabljal približno v istih količinah kot atrazin, pa ga ni bilo zaslediti v podtalnici

Ljubljanskega polja. Pojavil se je v privatnih vodnjakih, kar pa je najverjetneje posledica točkovnega onesnaženja (Rejec Brancelj et al., 2005), kar je potrdil tudi izračun.

3.2.2 Programski paket FOCUS PEARL 2.2.2

Zaradi uporabe pesticidov v kmetijstvu se le ti izcejajo v podtalnico ali izlapevajo v ozračje. Za ocenjevanje nevarnosti emisij pesticidov iz rastlin in zemljine in njihovo obnašanje v okolju se vse bolj uporabljajo računski modeli, ki lahko zagotavljajo določeno mero napovedi. V ta namen so razvili tudi model PEARL (Pesticide Emission Assessment at Regional and Local scales) (Leistra et al., 2001).

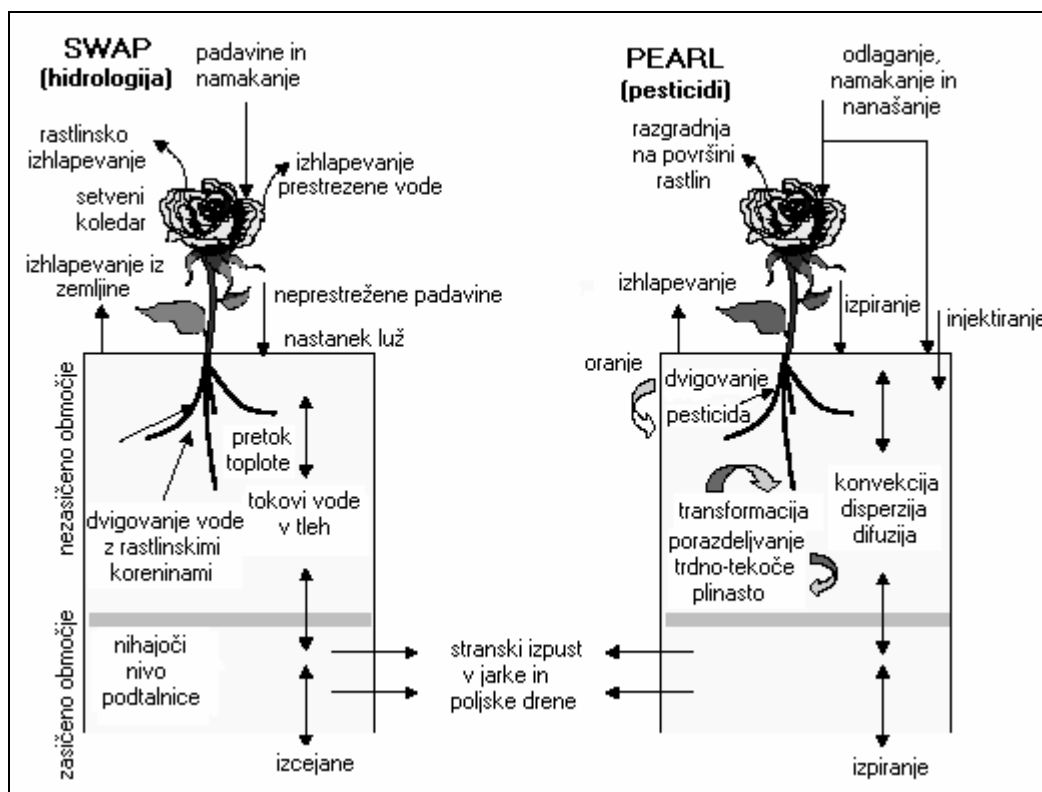
PEARL je enodimenzionalni numerični model, ki simulira obnašanje pesticidov v sistemu zemljina-rastlina in je bil razvit na Nizozemskem. Tok vode po zemljini je opisan z Richardovo enačbo, upoštevajoč vrsto možnih spodnjih robnih pogojev. Evaporacija zemljine in transpiracija rastlin sta izračunana z množenjem referenčne evapotranspiracije s faktorji rastlin in zemljine. Tok toplote po zemljini je opisan s Fourierjevim zakonom. Toplotne lastnosti so funkcija poroznosti in vodne vsebnosti in so zato funkcija časa in globine zemljine.

Model PEARL je osnovan na:

- konveksijsko/disperzijski enačbi, vključujoč difuzijo v plinasti fazi s temperaturno odvisnim Henryjevim koeficientom,
- modelu Freundlichove absorpcije,
- hitrosti transformacije, ki je odvisna od vsebnosti vode, temperature in globine zemljine,
- pasivnem rastlinskem dvigovanju vode.

Model računa tudi tvorbo in obnašanje produktov transformacije in opisuje tudi stranski izpust pesticidov v drenaže. Model ne simulira preferenčnega toka. Izhlapevanje iz površja zemljine je izračunano tako, da se privzame laminarno zračno plast na površini zemljine.

PEARL sam ne računa toka vode in temperatur zemljine, ampak uporabi izračune iz modela SWAP (Soil Water Atmosphere Plant). Programski paket za simulacijo je torej sestavljen iz dveh modelov: SWAP in PEARL (Slika 31)(Leistra et al., 2001).

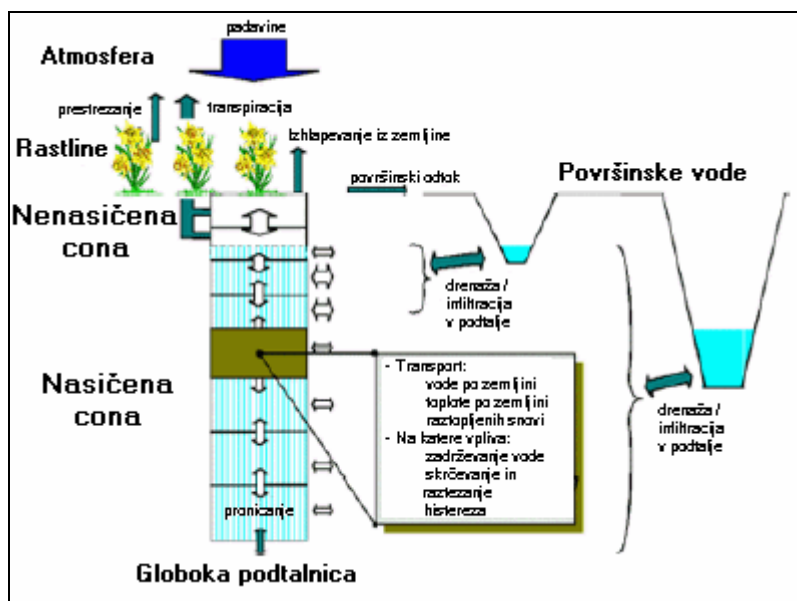


Slika 31: Pregled procesov vključenih v model PEARL

(Prevedeno iz: Tiktak et al., 2000, str. 23)

Z modelom SWAP (Slika 32) se simulira tok vode, nihanje gladine podtalnice in transport toplote po zemljini. Model PEARL opisuje transport in transformacijo pesticidov v zemljini. Za grafični prikaz skrbi računalniški program XYWin (Tiktak et al., 2000).

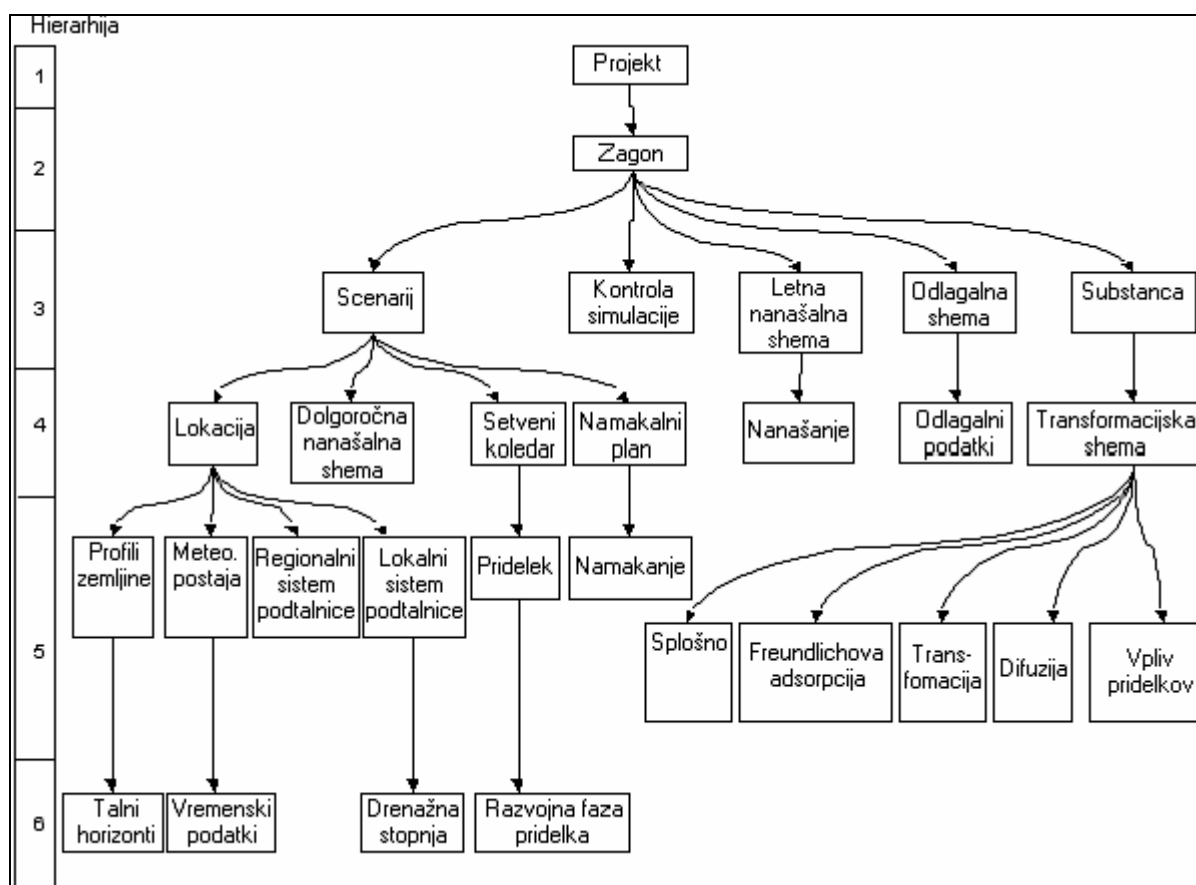
Simuliramo lahko koncentracijo pesticida v zemljini v odvisnosti od časa in globine, koncentracijo v tekoči fazi zemljine, koncentracijo v zgornjem sloju podtalnice, temperaturo zemljine, spremembo gladine podtalnice in druge spremenljivke. Rezultati simulacij so podani s številkami in grafi. Za prikazovanje diagramov oziroma krivulj, ki predstavljajo rezultate simulacije v odvisnosti od časa, skrbi računalniški program XYWin.



Slika 32: Diagram modela SWAP

(Prevedeno iz: Ruiz, 2003)

Programski paket FOCUS PEARL 2.2.2. (Slika 33) deluje v okolju MS WINDOWS. Model so razvili na Nizozemskem, kjer imajo plitvo podtalnico, zato lahko model računa samo do podtalnice, ki ni globlje od 10 metrov. Na Ljubljanskem polju je podtalnica bolj globoko, zato modela ni mogoče čisto prilagoditi. Velika omejitev programa je ta, da ne pozna šumnikov. V primeru vnosa šumnika se program podre in potrebno je še enkrat vnesti vse podatke.



Slika 33: Pregled podatkovne baze modela PEARL

(Prevedeno iz: Tiktak et al., 2000, str. 80)

4 REZULTATI

V tem poglavju so prikazani rezultati simulacije za tri tipe tal: lahka tla, lahka in srednje težka tla in srednje težka tla. Pri nanosu atrazina sem uporabil tri različne scenarije:

- ocenjeno nanašanje atrazina na Ljubljanskem polju;
- letni nanos atrazina je 1,5 kg na hektar skozi celotno simulirano obdobje;
- letni nanos atrazina je 0,75 kg na hektar skozi celotno simulirano obdobje.

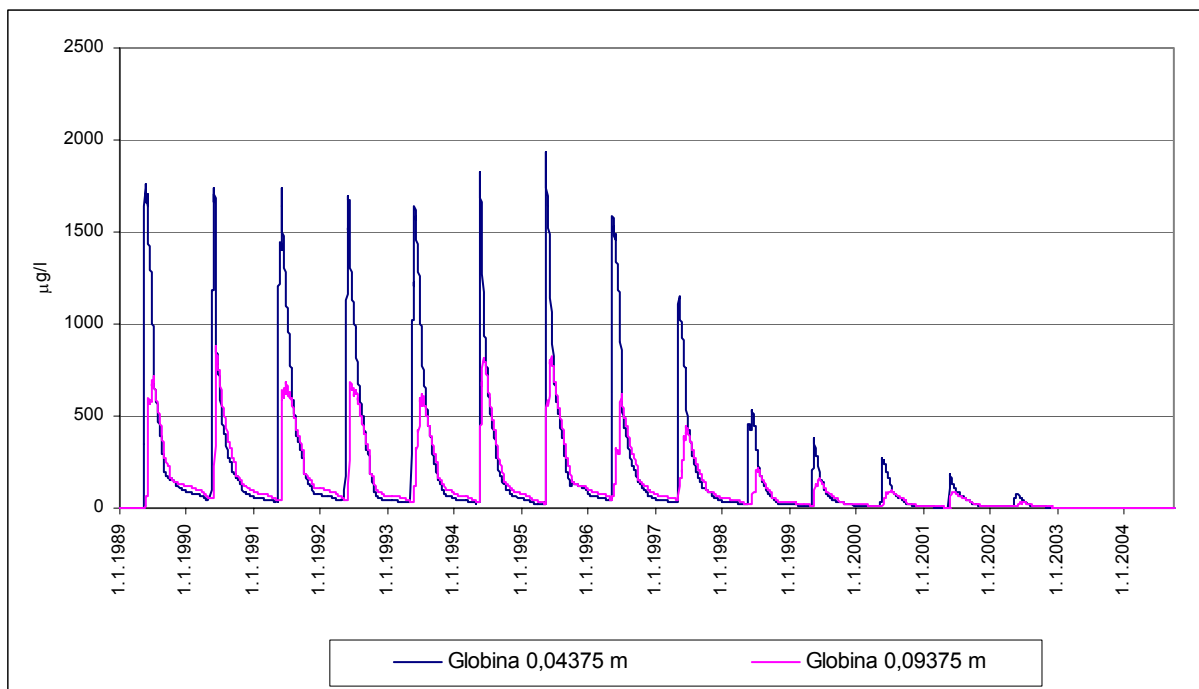
Za prvi scenarij so prikazane koncentracije atrazina v tleh na različnih globinah, ter koncentracije atrazina v precedku na različnih globinah, za druga dva scenarija pa so prikazani samo precedki na različnih globinah. Rezultati so prikazani tudi v poročilih modela PEARL (Priloga B).

4.1 Koncentracije atrazina v tleh na različnih globinah

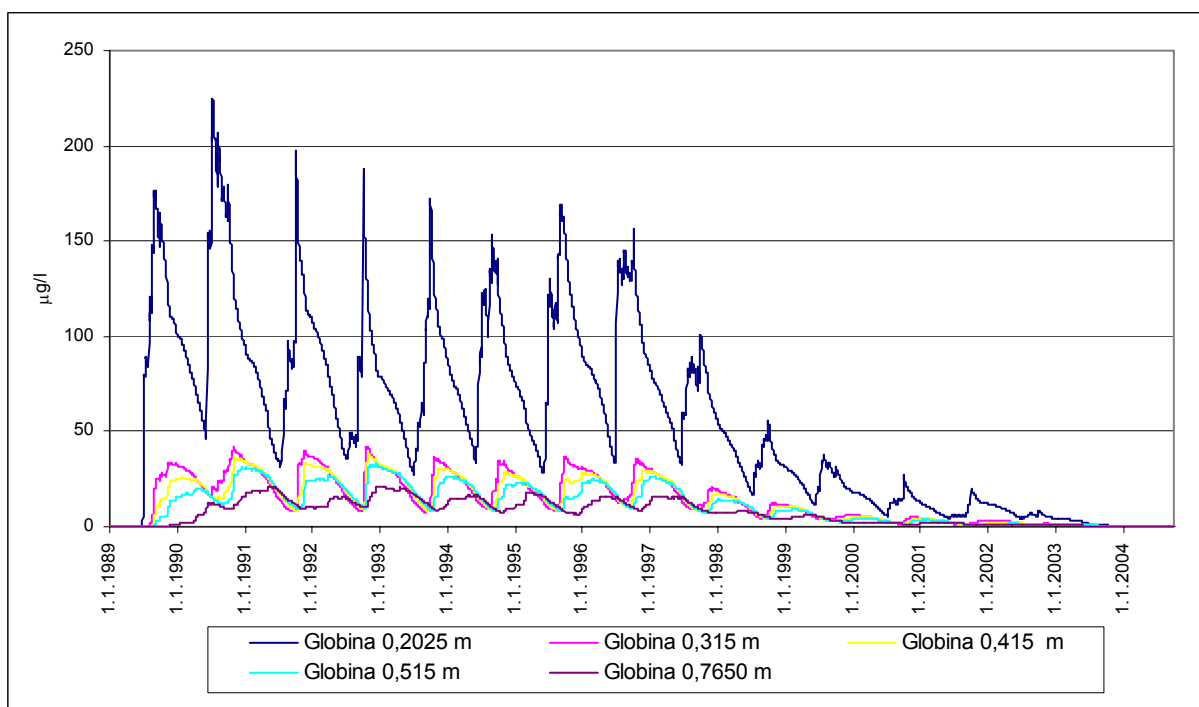
Iz grafov (Slike 34-44) je razvidno, kako z globino pada koncentracija atrazina v tleh. Največji padec koncentracije je v plasteh nekaj centimetrov pod površjem. Naslednji padec se zgodi, ko atrazin preide iz zemljine v prod in pesek. Zadnji padec pa se zgodi, ko atrazin pride do globine, v kateri ni več organskih snovi.

Iz vidika zaščite podtalnice je dobro, da tla zadržijo čim večjo koncentracijo pesticida. Iz tega je razvidno, da so tla na Ljubljanskem polju zelo slaba zaščita podtalnice, saj zadržijo večjo koncentracijo atrazina samo v zgornji plasti tal (lahka tla do 29 cm, lahka in srednje težka tla do 36 cm in srednje težka tla do 65 cm). Ko pa atrazin doseže globino 1 m, se veže na tla samo še v zelo majhnih količinah, ostalo pa pronica proti podtalnici. To je dobro razvidno iz grafa, na katerem so prikazane globine od 1 m navzdol.

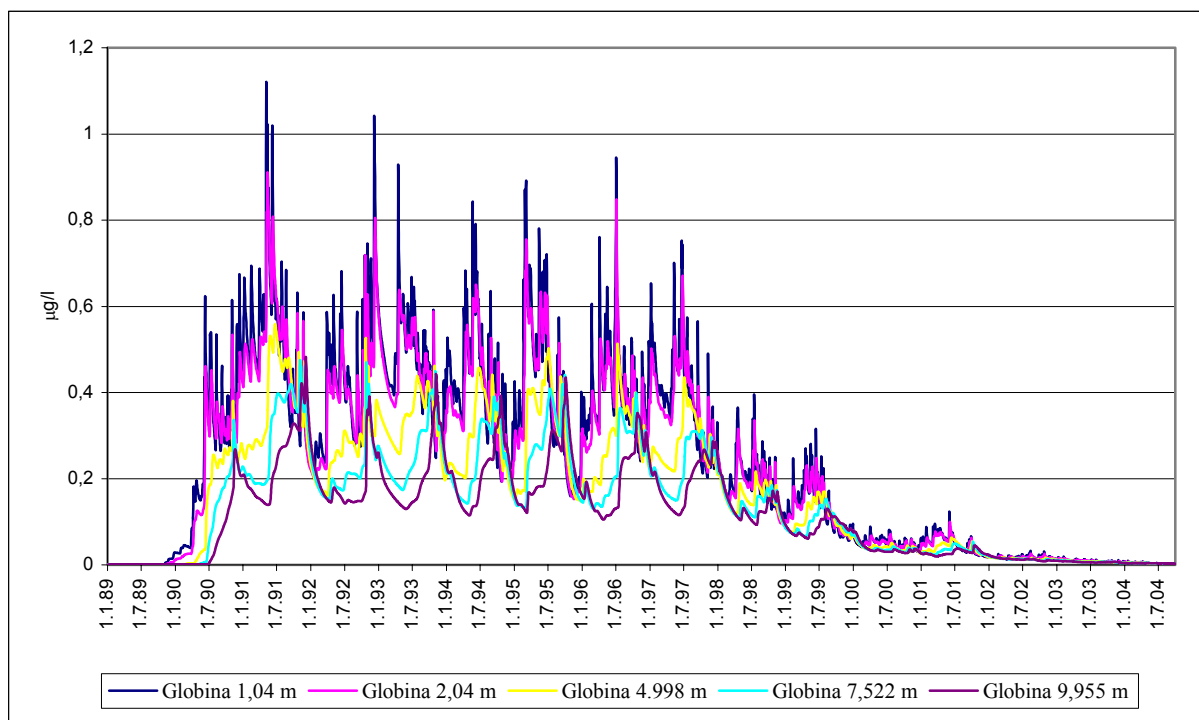
4.1.2 Lahka tla



Slika 34: Koncentracija atrazina v tleh na globini 4,4 cm in 9,4 cm izračunana za lahka tla.

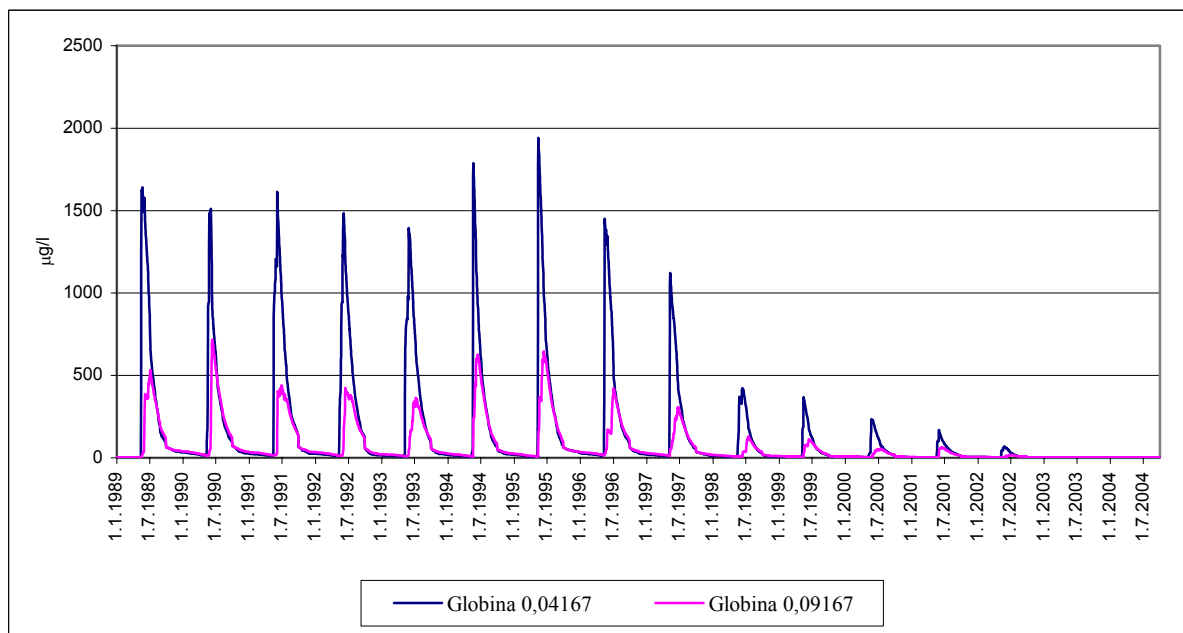


Slika 35: Koncentracija atrazina v tleh na globini 20,3 cm, 31,5 cm, 41,5 cm 51,5 cm in 76,5 cm izračunana za lahka tla.

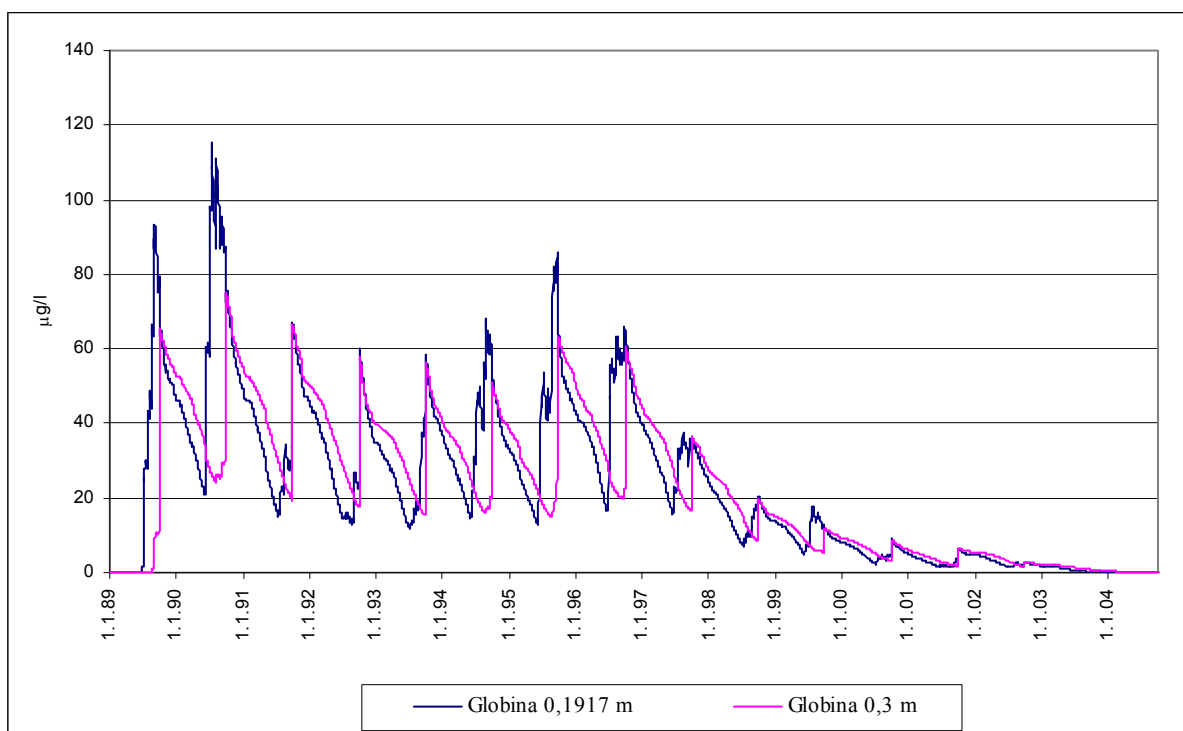


Slika 36: Koncentracija atrazina v tleh na globini 1,04 m, 2,04 m, 4,998 m, 7,522 m in 9,955 m izračunana za lahka tla.

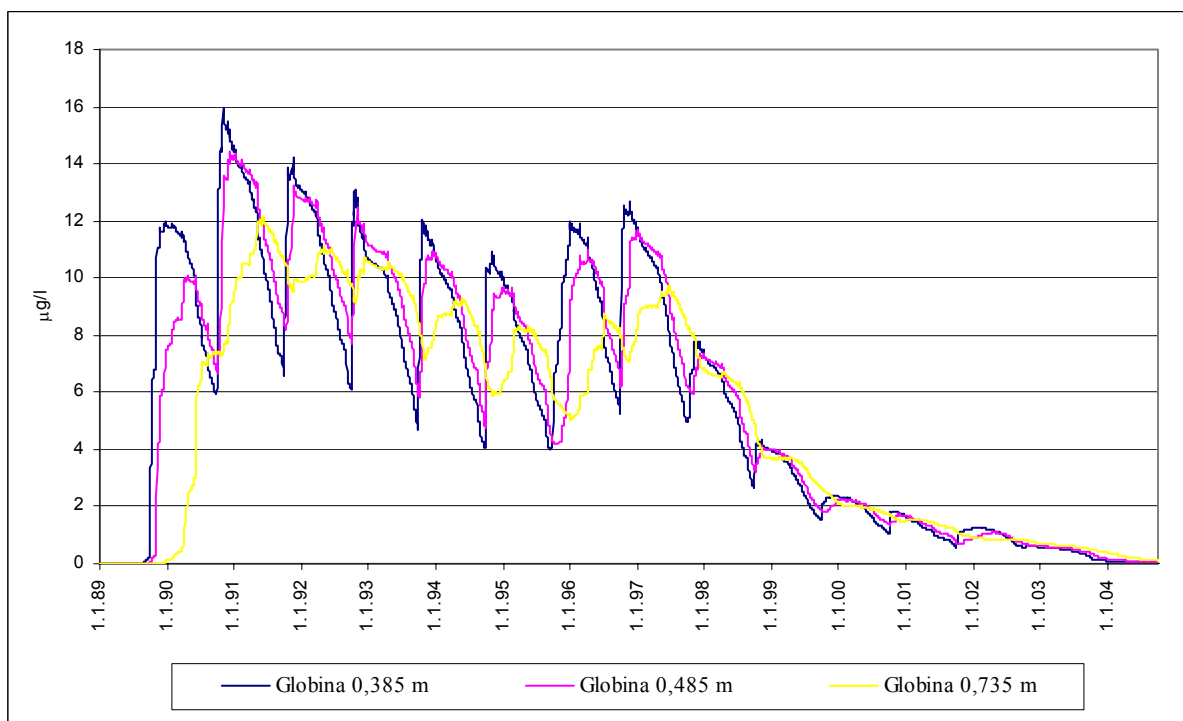
4.1.3 Lahka in srednje težka tla



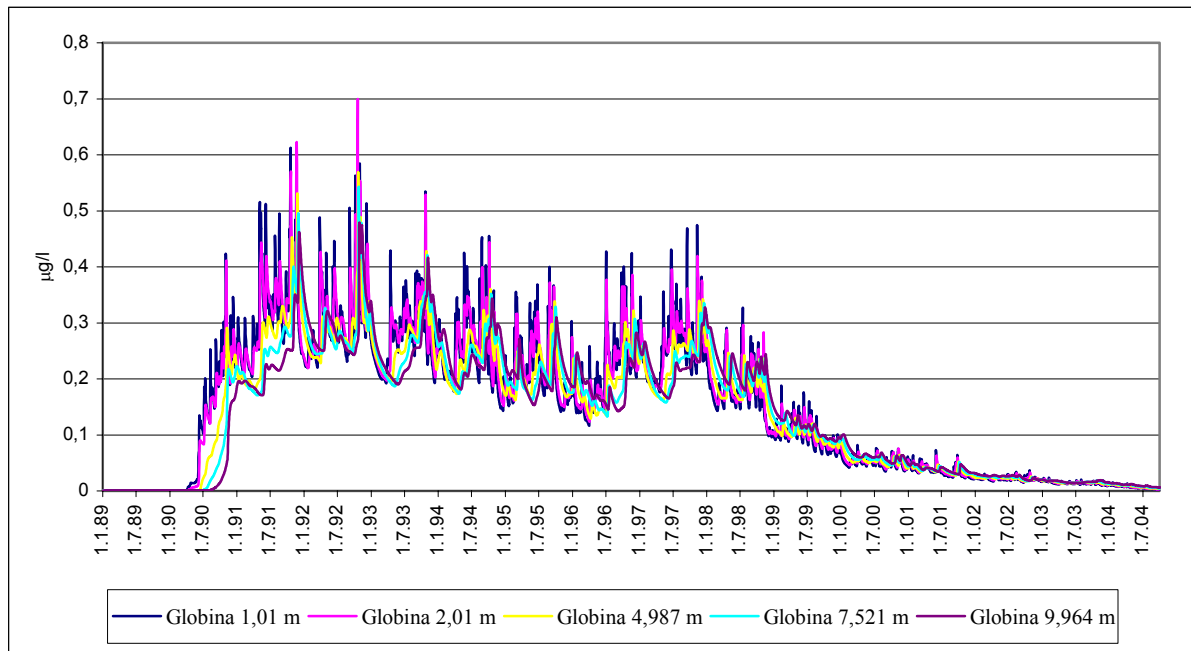
Slika 37: Koncentracija atrazina v tleh na globini 4,2 cm in 9,2 cm izračunana za lahka in srednje težka tla.



Slika 38: Koncentracija atrazina v tleh na globini 19,2 cm in 30,0 cm izračunana za lahka in srednje težka tla.

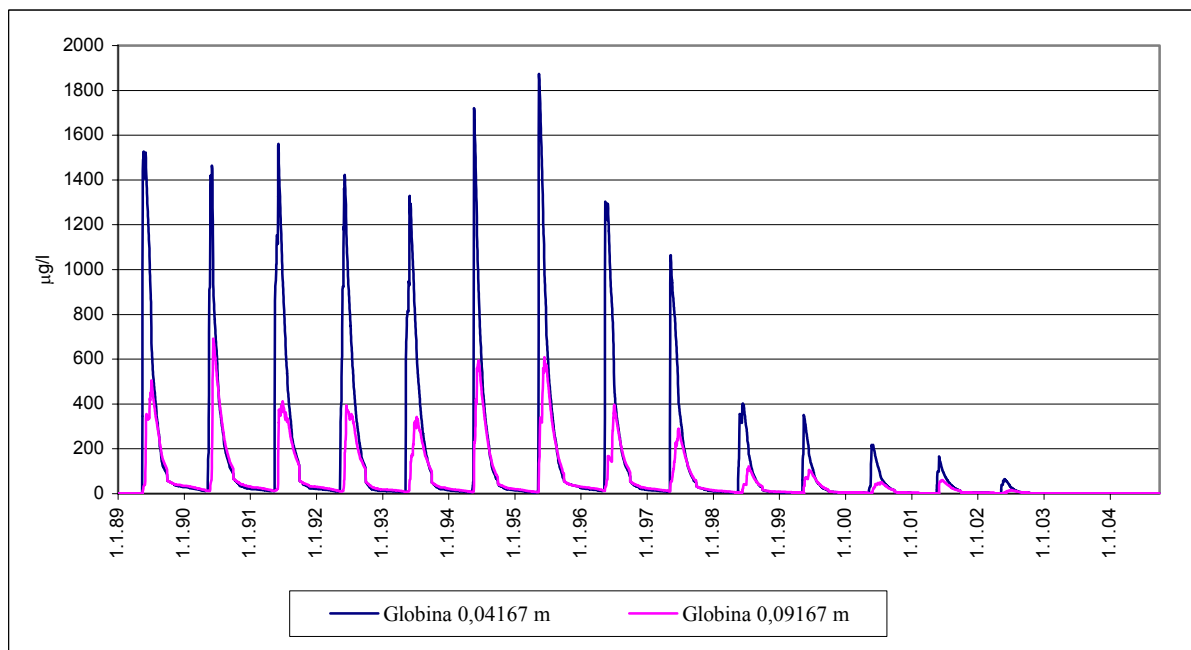


Slika 39: Koncentracija atrazina v tleh na globini 38,5 cm, 48,5 cm in 73,5 cm izračunana za lahka in srednje težka tla.

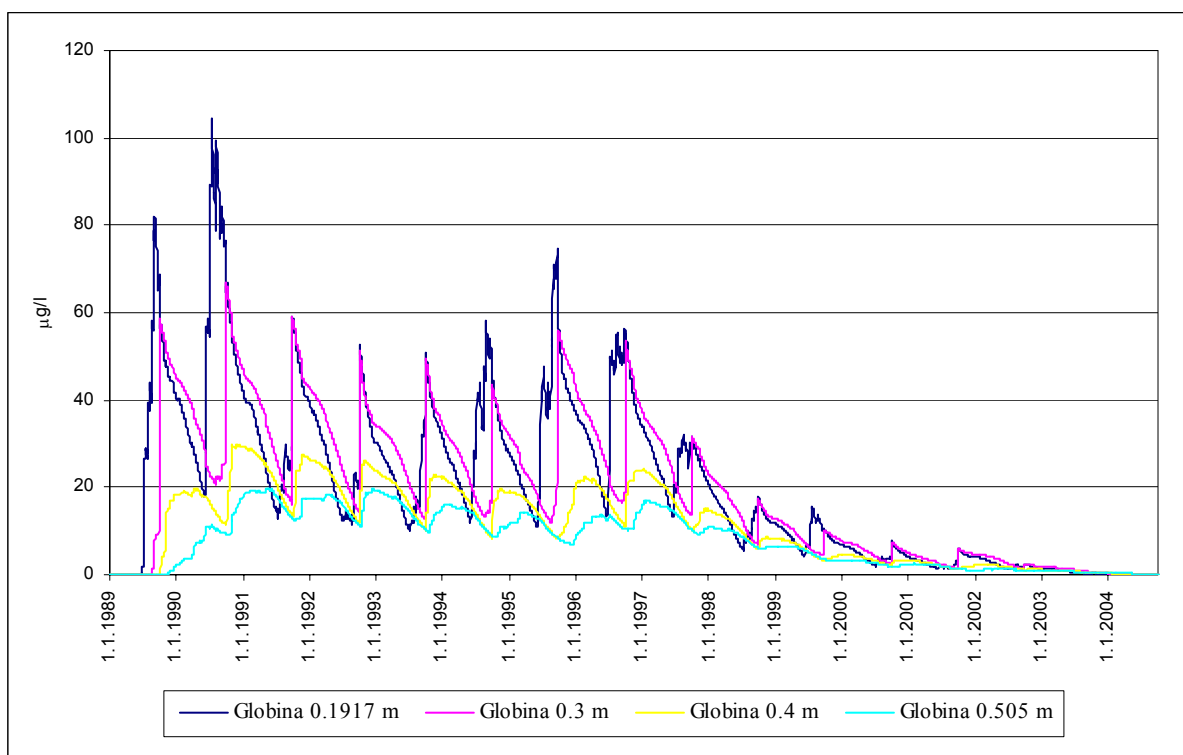


Slika 40: Koncentracija atrazina v tleh na globini 1,0 m, 2,0 m, 5,0 m, 7,5 m in 10,0 m izračunana za lahka in srednje težka tla.

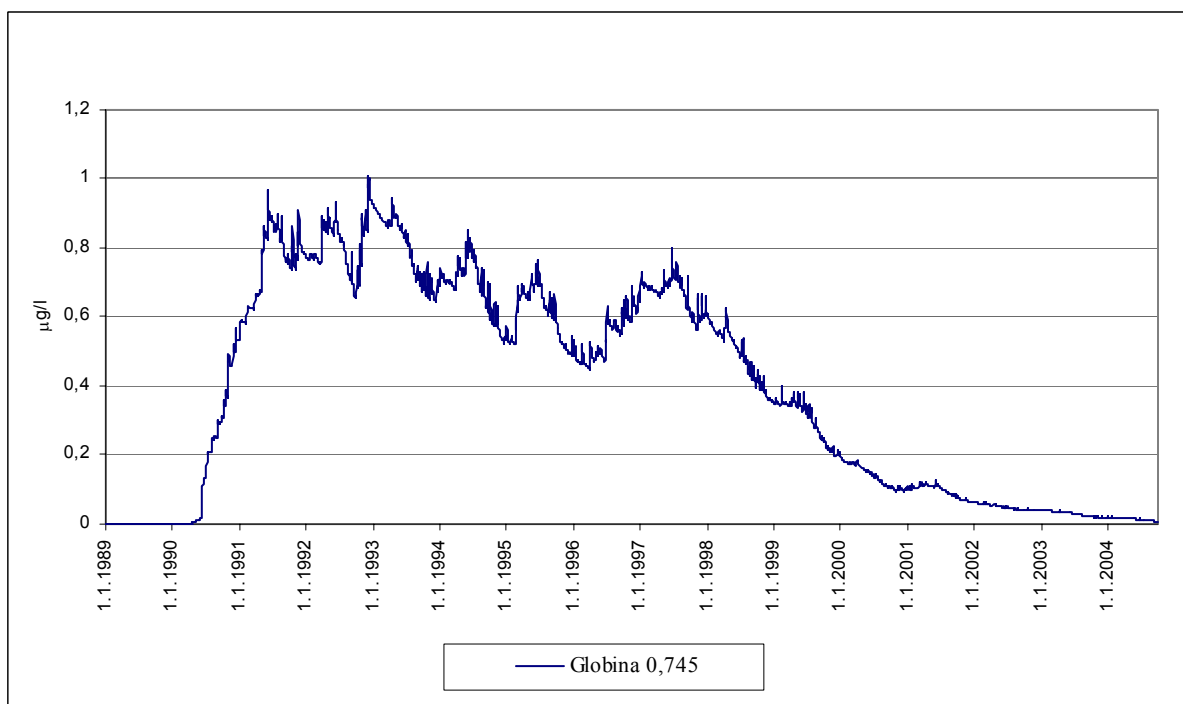
4.1.4 Srednje težka tla



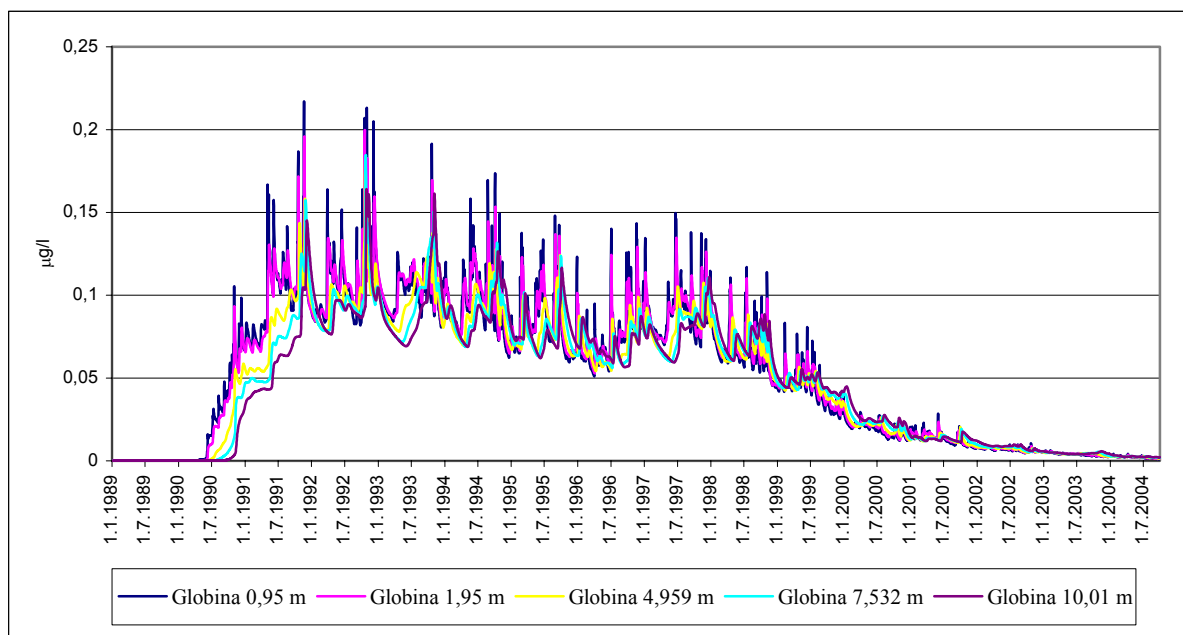
Slika 41: Koncentracija atrazina v tleh na globini 4,2 cm in 9,2 cm izračunana za srednje težka tla.



Slika 42: Koncentracija atrazina v tleh na globini 19,2 cm, 30,0 cm, 40,0 cm in 50,0 cm izračunana za srednje težka tla.



Slika 43: Koncentracija atrazina v tleh na globini 74,5 cm izračunana za srednje težka tla.

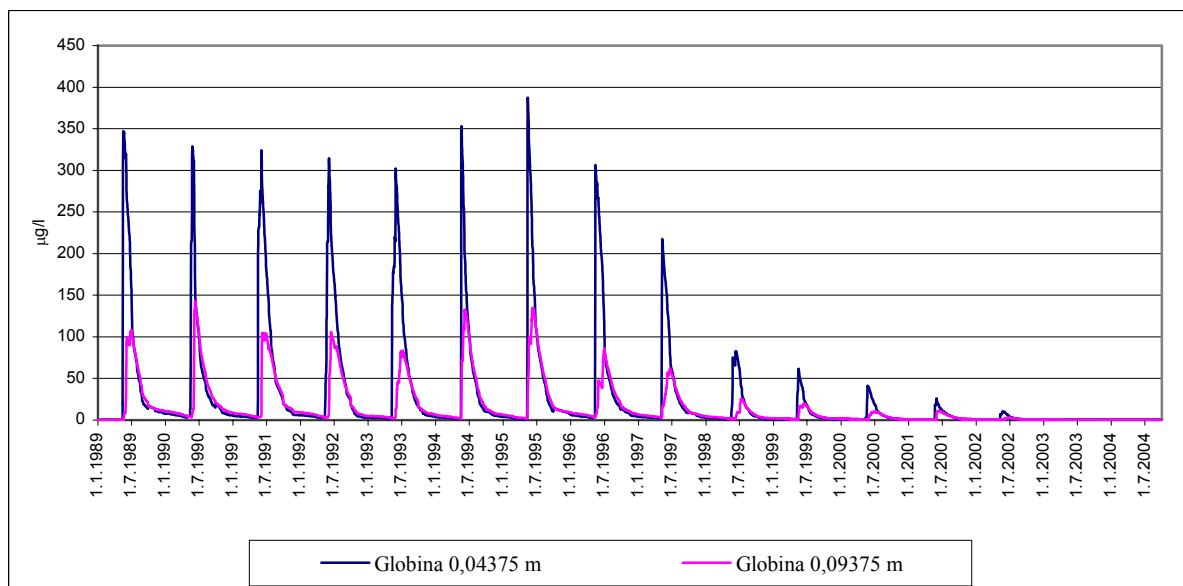


Slika 44: Koncentracija atrazina v tleh na globini 0,95 m, 1,95 m, 4,959 m, 7,532 m in 10,01 m izračunana za srednje težka tla.

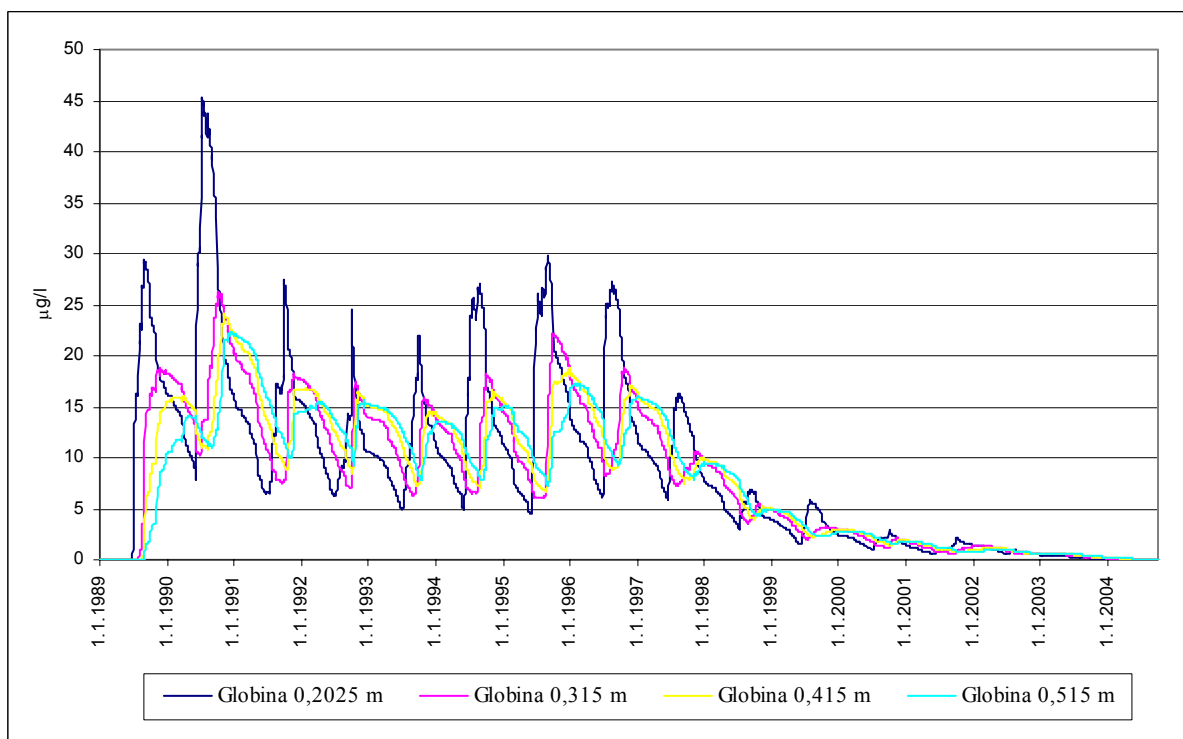
4.2 Koncentracije atrazina v precedku na različnih globinah

Iz grafov (Slike 49-59) je razvidno, kako z globino pada koncentracija atrazina v precedku. Največji padec koncentracije je v plasteh nekaj centimetrov pod površjem. Naslednji padec se zgodi, ko atrazin preide iz zemljine v prod in pesek. Zadnji padec pa se zgodi, ko atrazin pride do cone, v kateri ni več organskih snovi. Potem pa koncentracije v precedku z globino zelo počasi upadajo. To pomeni, da do podtalnice, ki je ponekod v globini 30 m pridejo koncentracije, ki niso veliko manjše od koncentracij, ki so bile izračunane za precedek na globini 10 m.

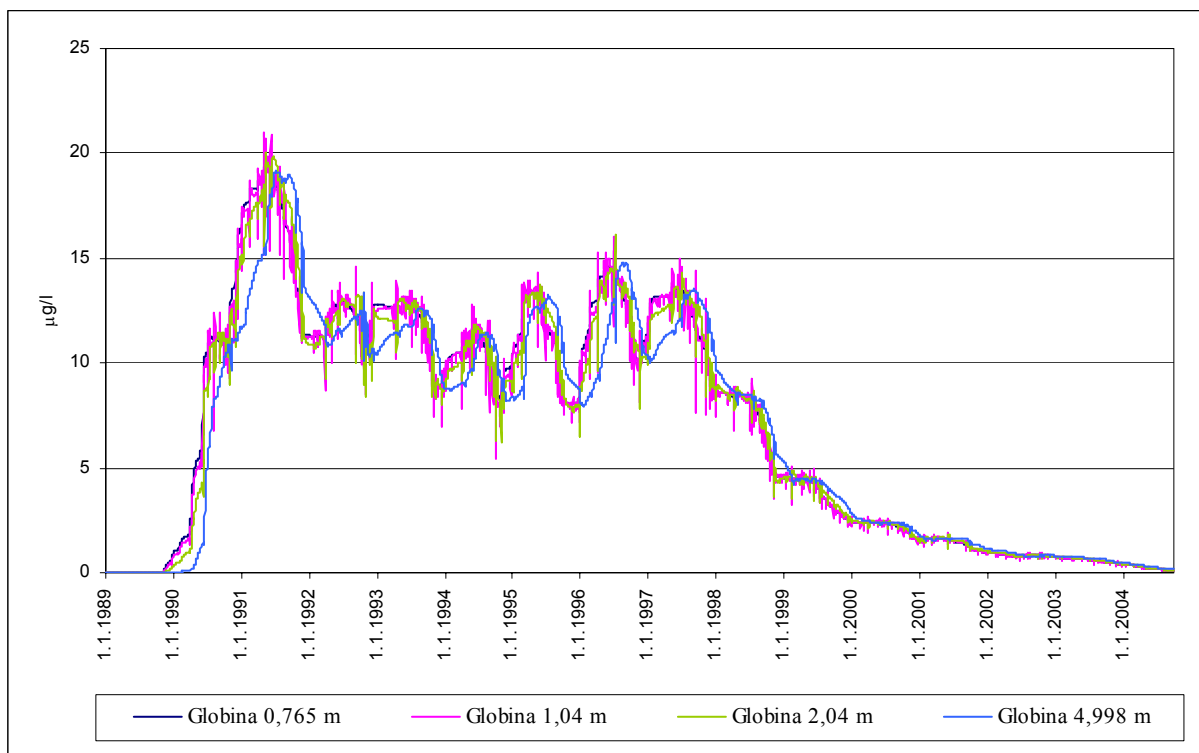
4.2.2 Lahka tla



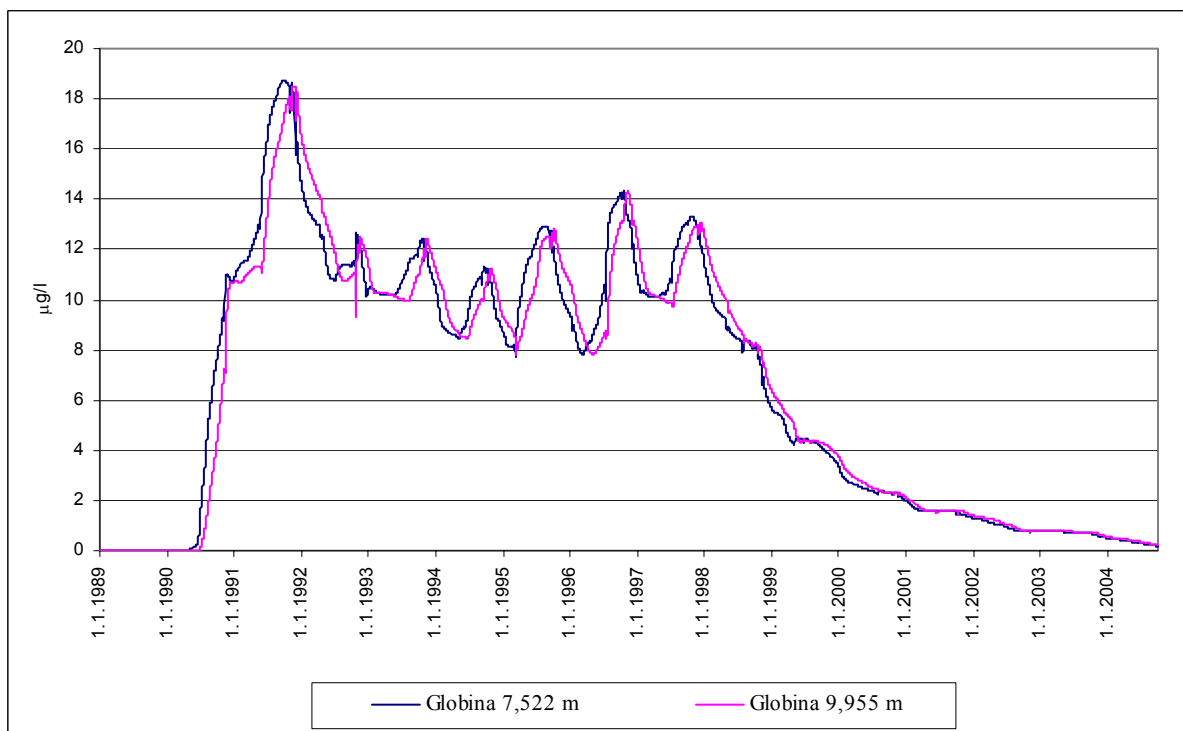
Slika 45: Koncentracija atrazina v precedku na globini 4,2 cm in 9,2 cm izračunana za lahka tla.



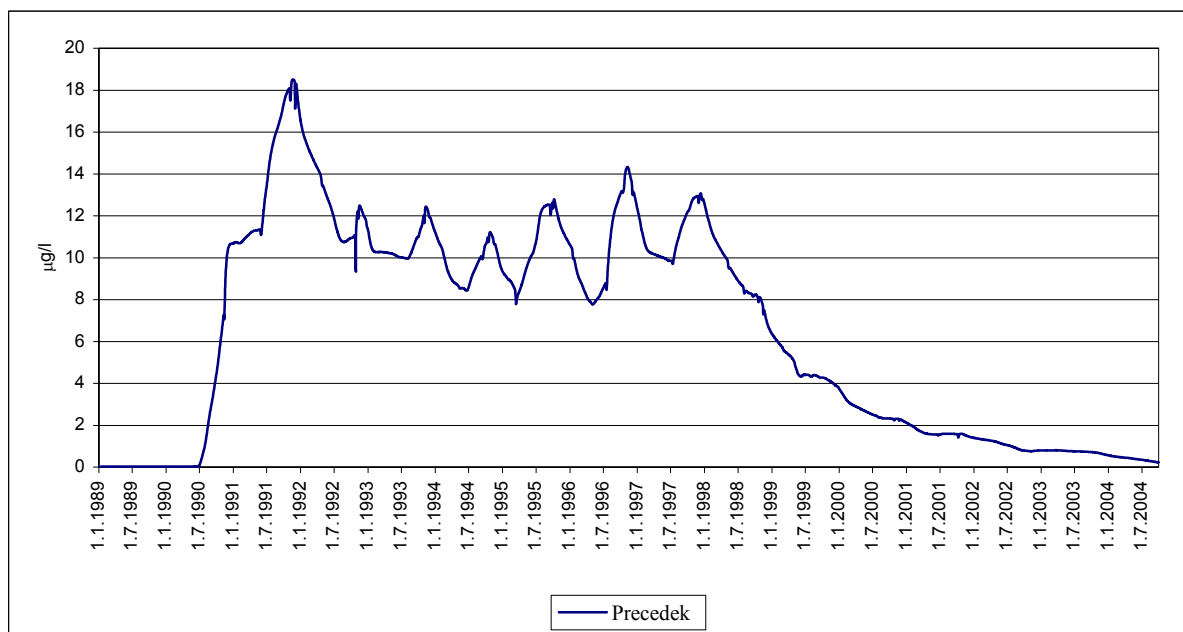
Slika 46: Koncentracija atrazina v precedku na globini 20,3 cm, 31,5 cm, 41,5 cm in 51,5 cm 76,5 cm izračunana za lahka tla.



Slika 47: Koncentracija atrazina v precdku na globini 0,76 m, 1,04 m, 2,04 m in 4,998 m izračunana za lahka tla.



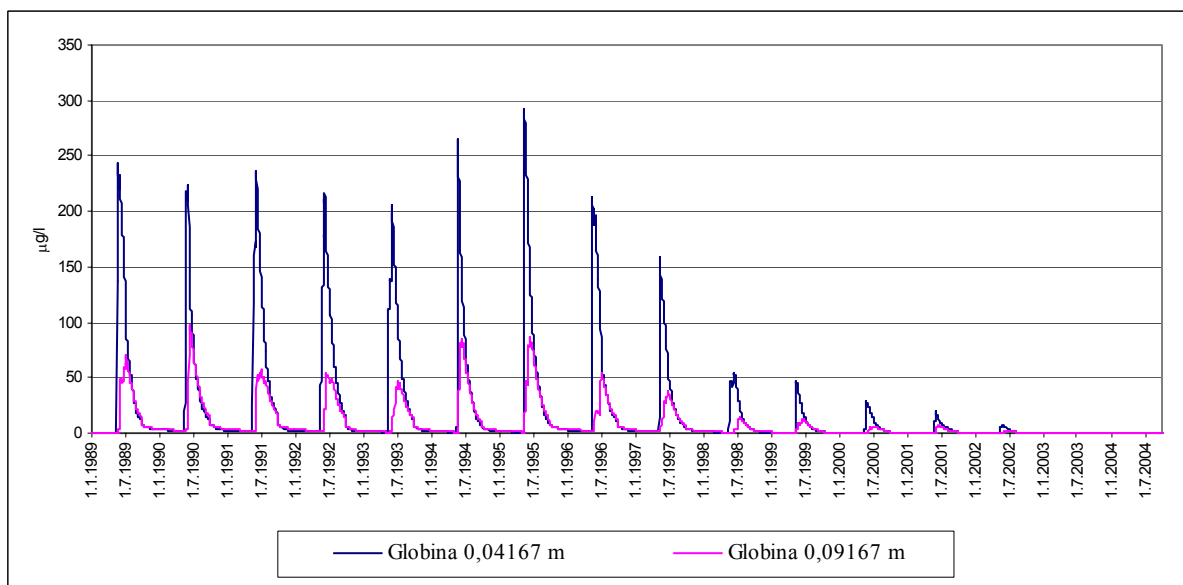
Slika 48: Koncentracija atrazina v precdku na globini 7,522 m in 9,955 m izračunana za lahka tla.



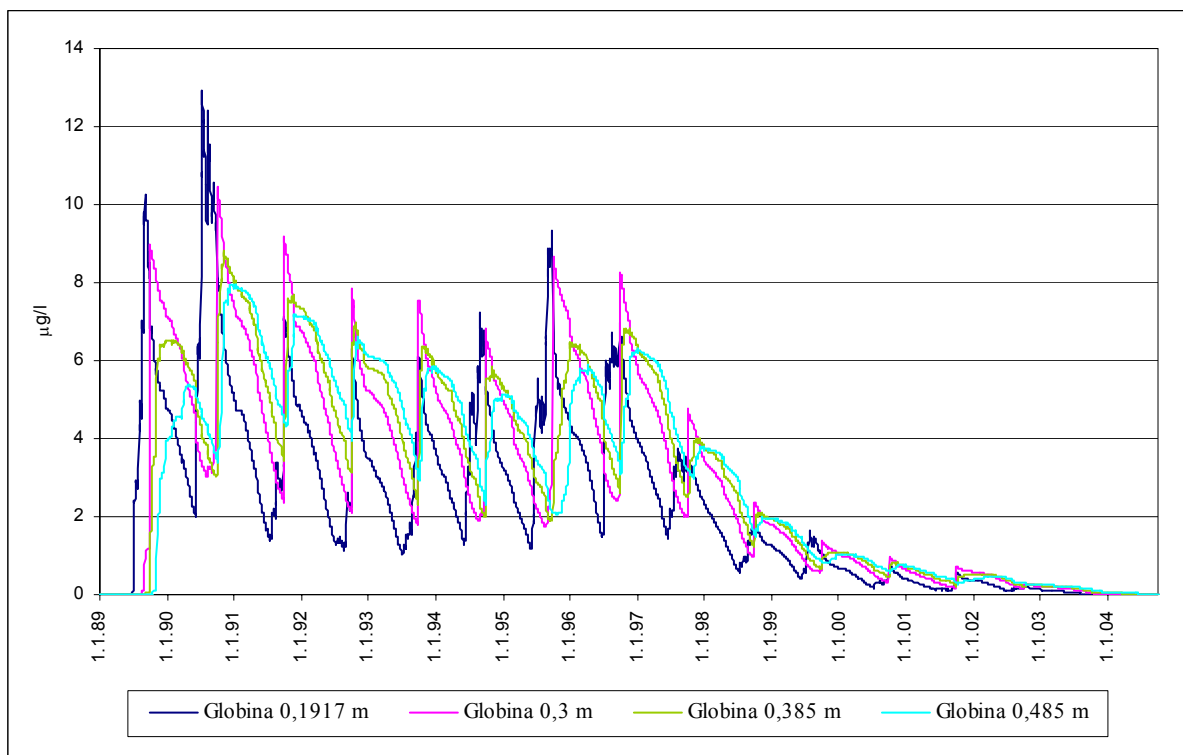
Slika 49: Koncentracija atrazina v precedku na globini 10,0 m izračunana za lahka tla.

Pri simulaciji v lahkih tleh je koncentracija v precedku na globini 10 m dosegla maksimum 18,51 µg/l dne 18.11.1991. Program je tudi izračunal, da naj bi od celotne odložene koncentracije atrazina v podtalnico prišlo 8,9 % atrazina.

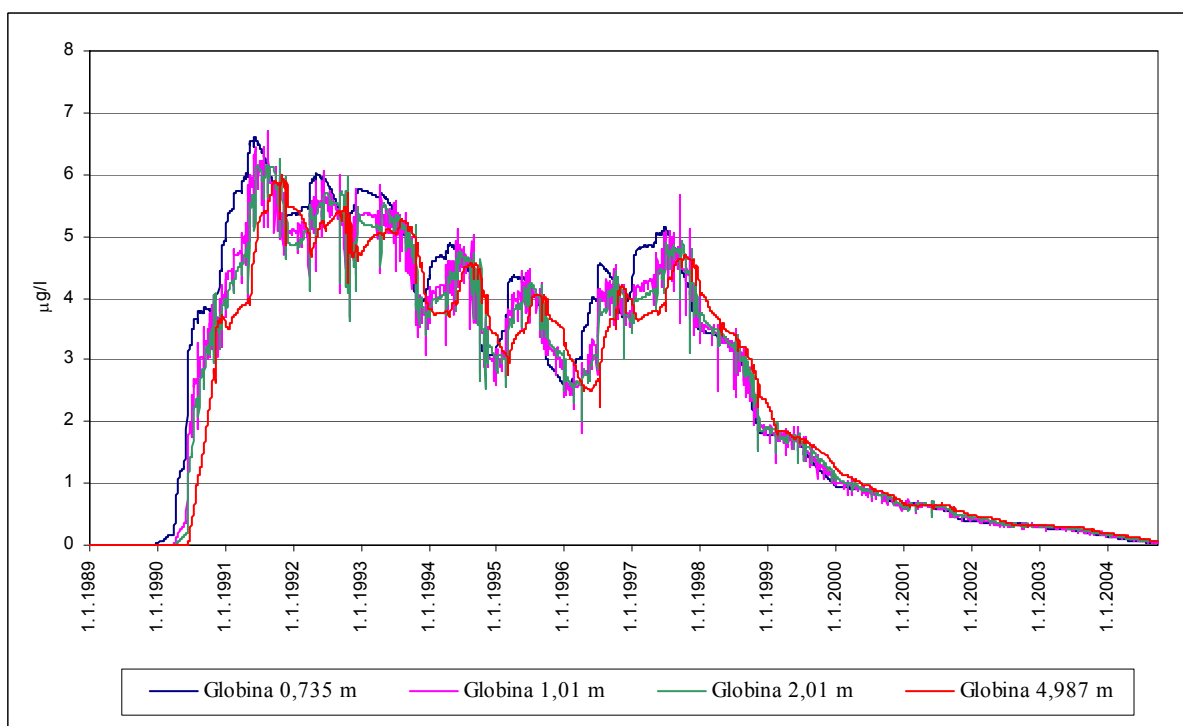
4.2.3 Lahka in srednje težka tla



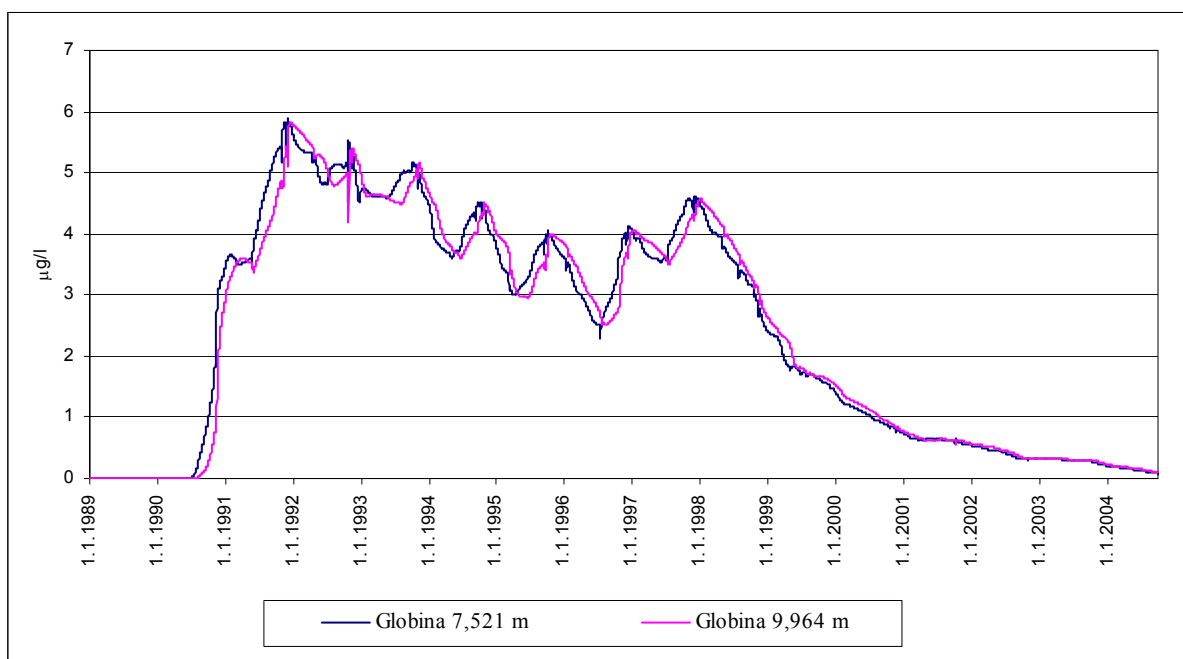
Slika 50: Koncentracija atrazina v precedku na globini 4,2 cm in 9,2 cm izračunana za lahka in srednje težka tla.



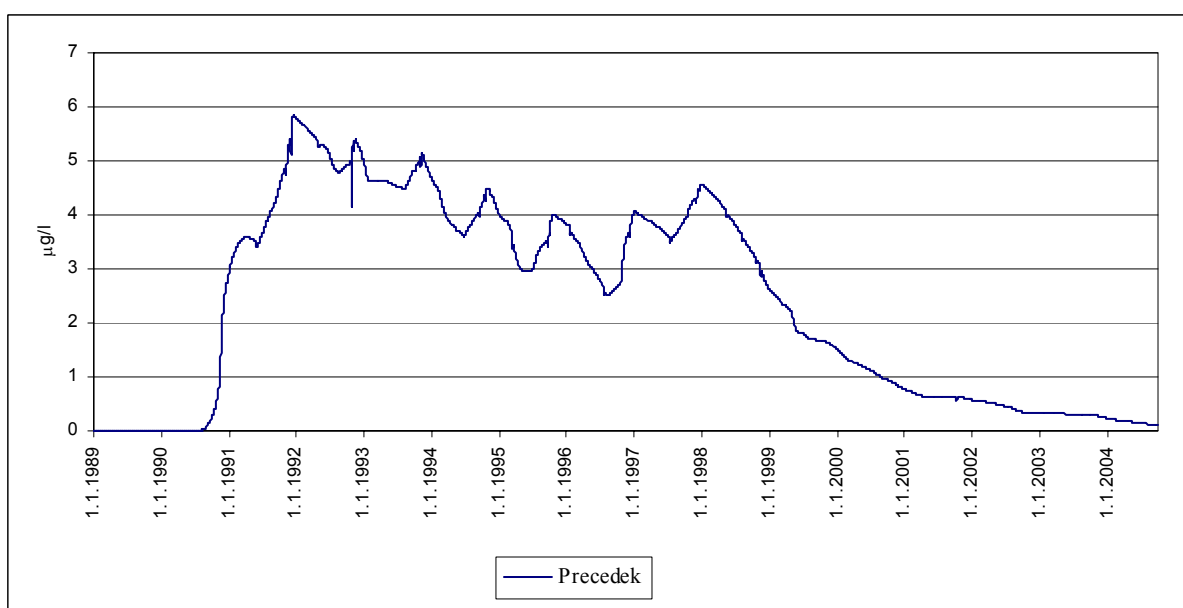
Slika 51: Koncentracija atrazina v precdku na globini 19,2 cm, 30,0 cm, 38,5 cm in 48,5 cm izračunana za lahka in srednje težka tla.



Slika 52: Koncentracija atrazina v precdku na globini 0,735 m, 1,01 m, 2,01 m in 4,987 m izračunana za lahka in srednje težka tla.



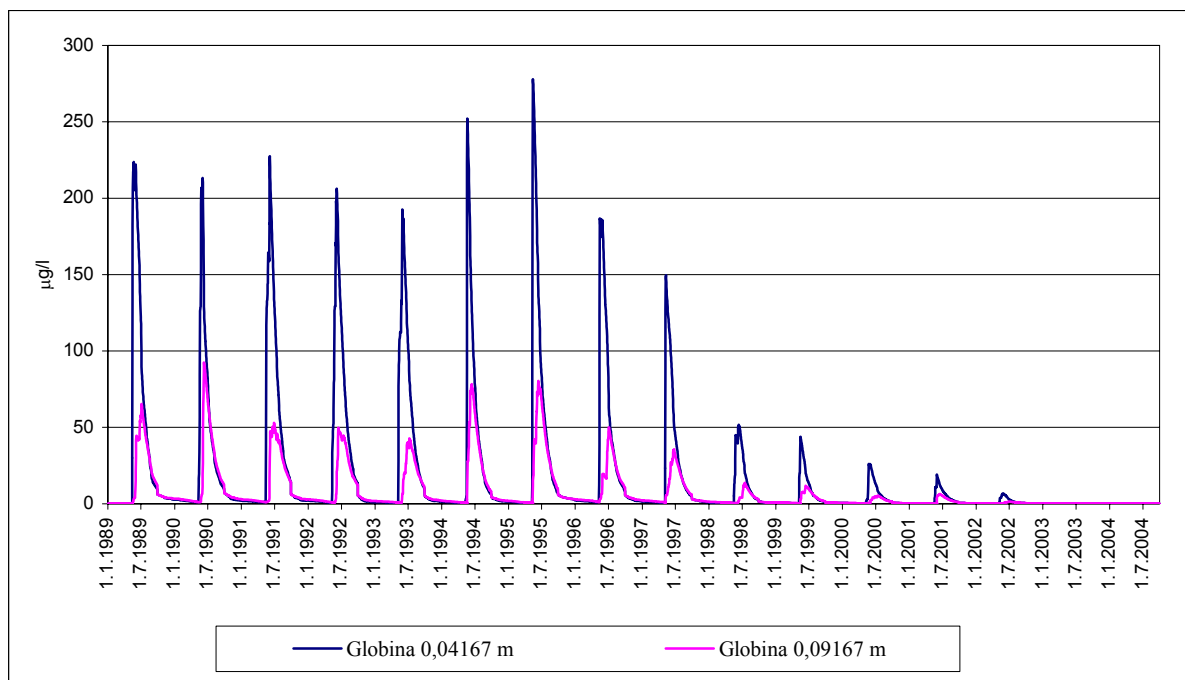
Slika 53: Koncentracija atrazina v precedku na globini 7,521 m in 9,964 m izračunana za lahka in srednje težka tla.



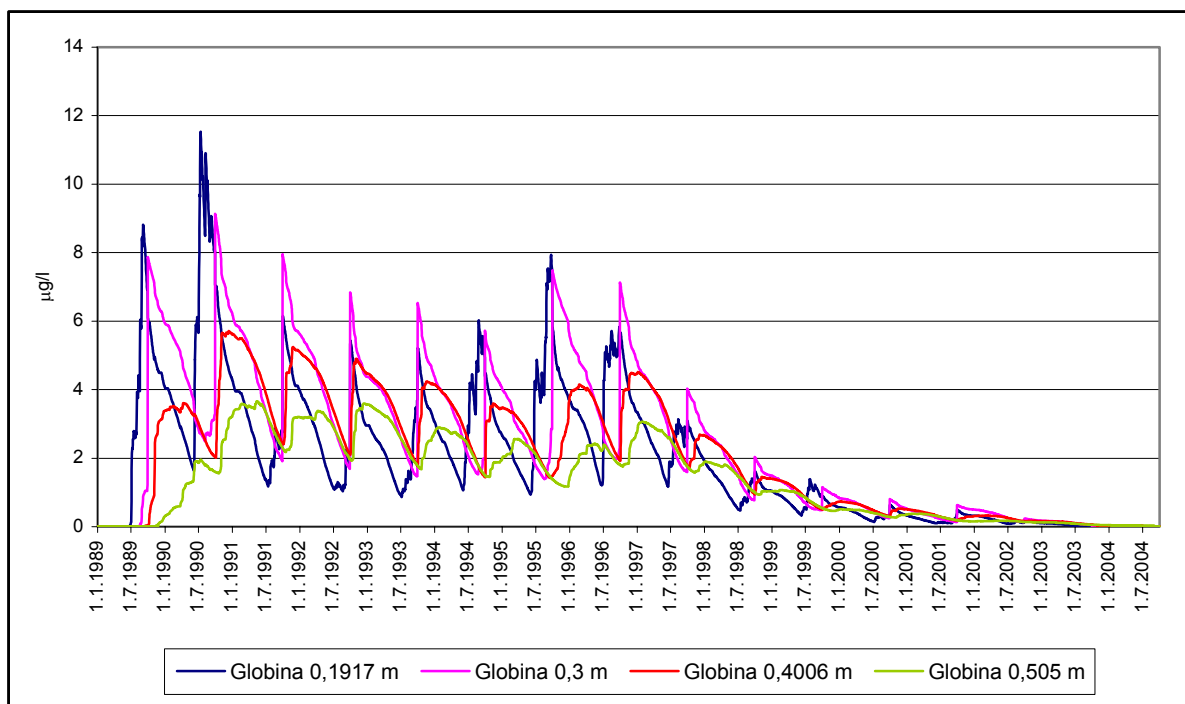
Slika 54: Koncentracija atrazina v precedku na globini 10 m izračunana za lahka in srednje težka tla.

Pri simulaciji v lahkih in srednje težkih tleh je koncentracija v precedku na globini 10 m dosegla maksimum 5,83 µg/l dne 16.12.1991. Program je tudi izračunal, da naj bi od celotne odložene koncentracije atrazina v podtalnico prišlo 3,2 % atrazina.

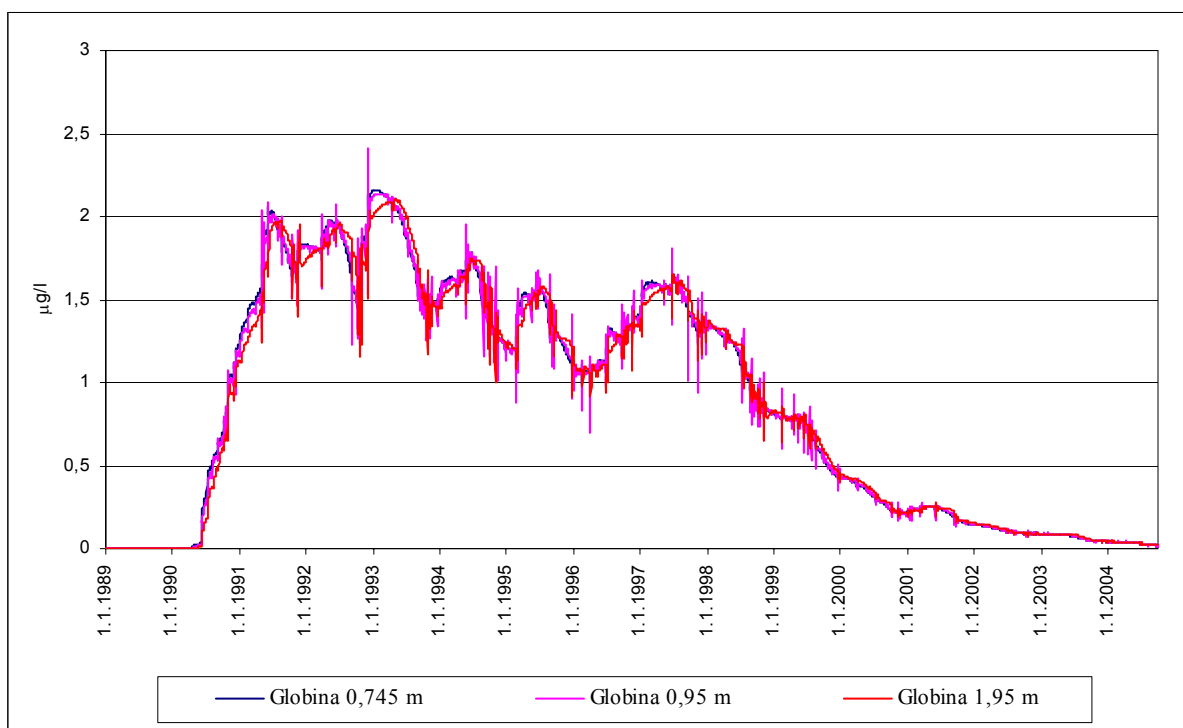
4.2.4 Srednje težka tla



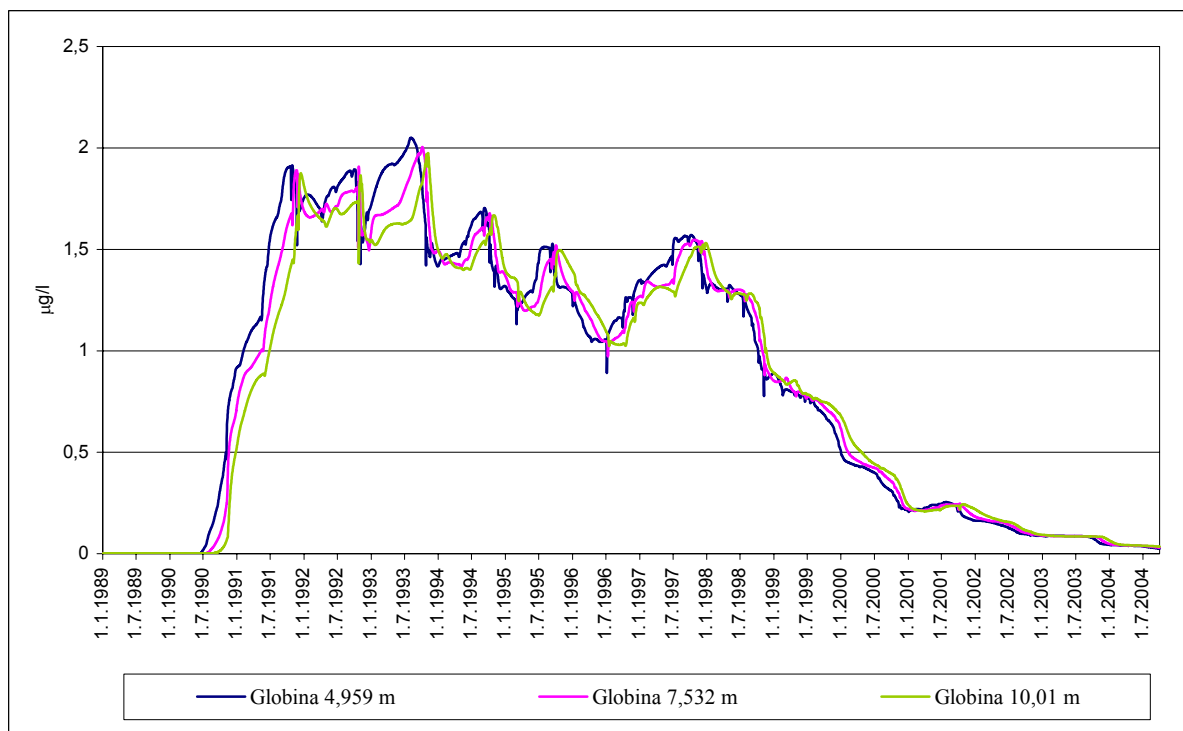
Slika 55: Koncentracija atrazina v precdku na globini 4,167 cm in 9,167 cm izračunana za srednje težka tla.



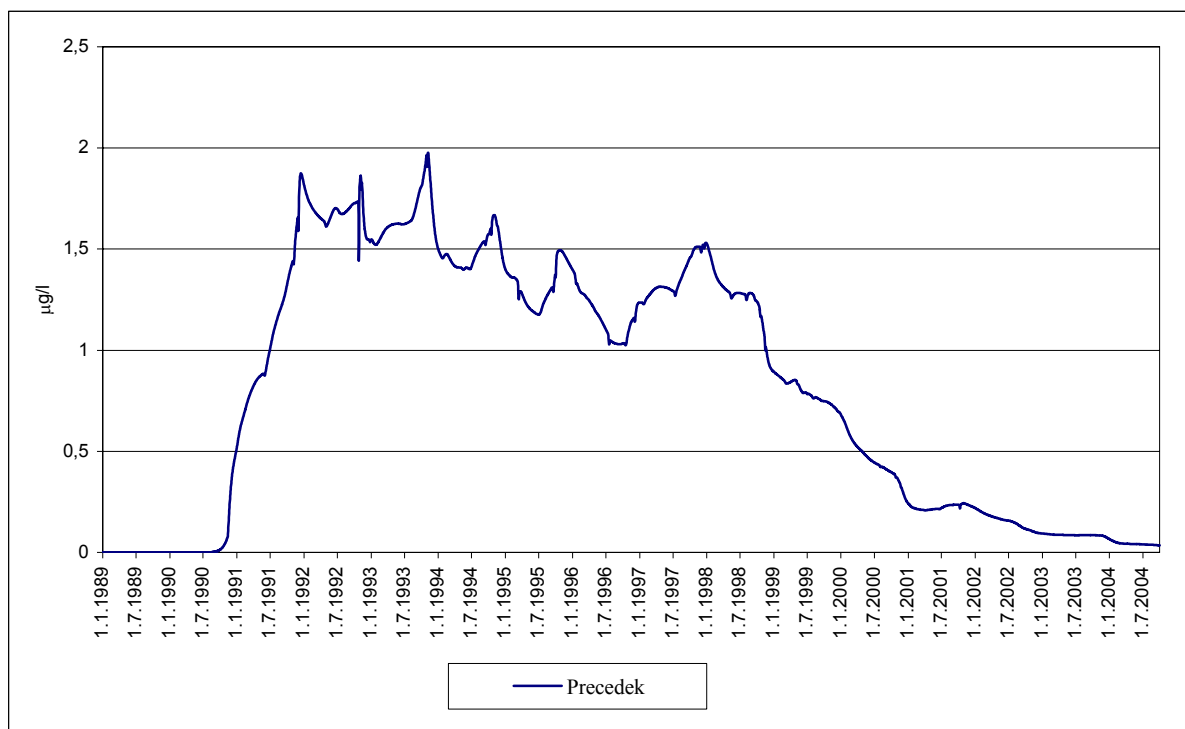
Slika 56: Koncentracija atrazina v precdku na globini 19,17 cm, 30,0 cm, 40,06 cm in 50,5 cm izračunana za srednje težka tla.



Slika 57: Koncentracija atrazina v precdku na globini 0,745 m, 0,95 m in 1,95 m izračunana za srednje težka tla.



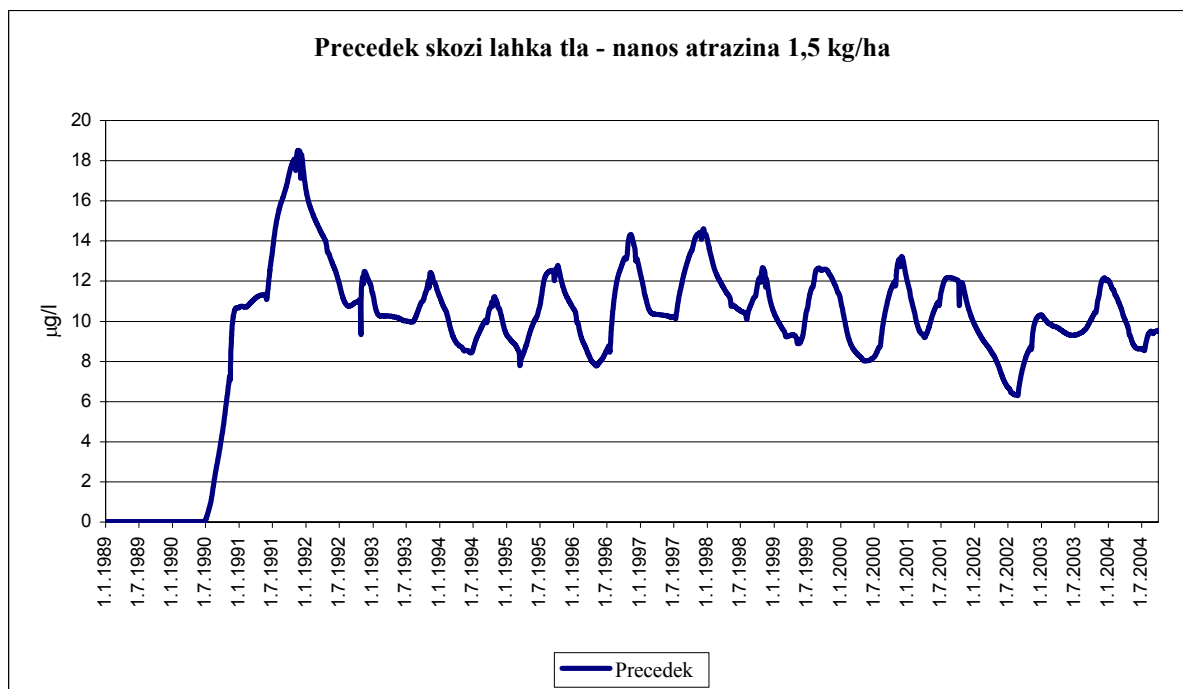
Slika 58: Koncentracija atrazina v precdku na globini 4,959 m, 7,532 m in 10,01 m izračunana za srednje težka tla.



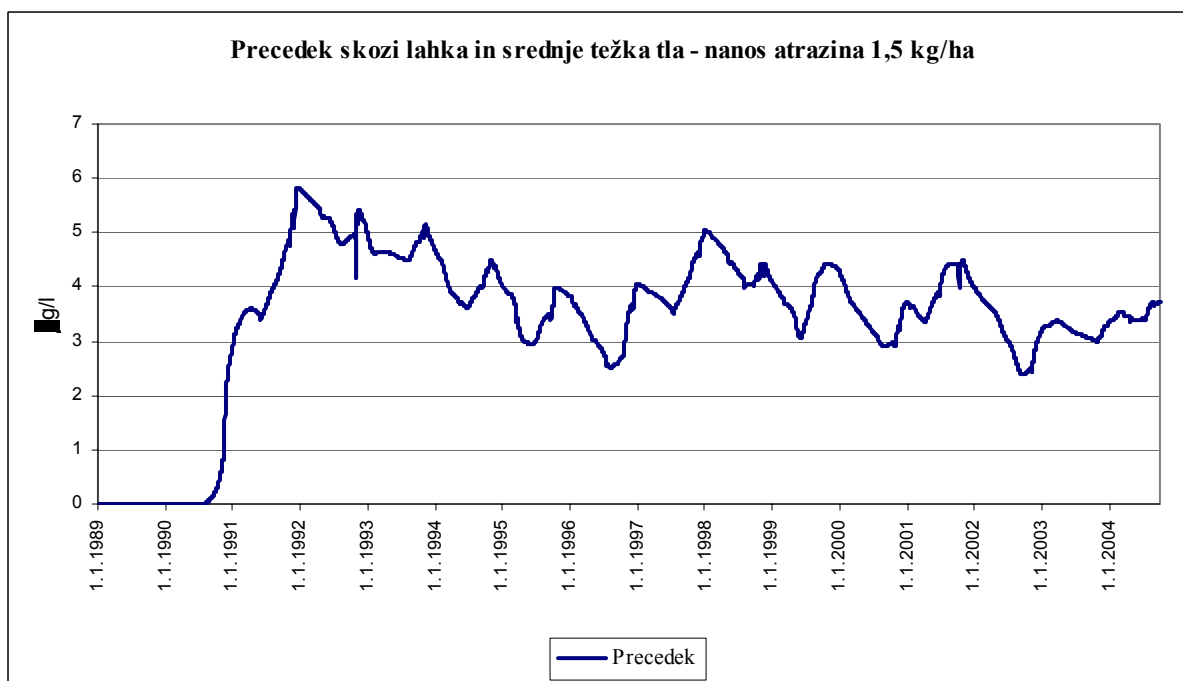
Slika 59: Koncentracija atrazina v precedku na globini 10 m izračunana za srednje težka tla.

Pri simulaciji v srednje težkih tleh je koncentracija v precedku na globini 10 m, dosegla maksimum 1,98 µg/l dne 6.11.1993. Program je tudi izračunal, da naj bi od celotne odložene koncentracije atrazina v podtalnico prišlo 1,1 % atrazina.

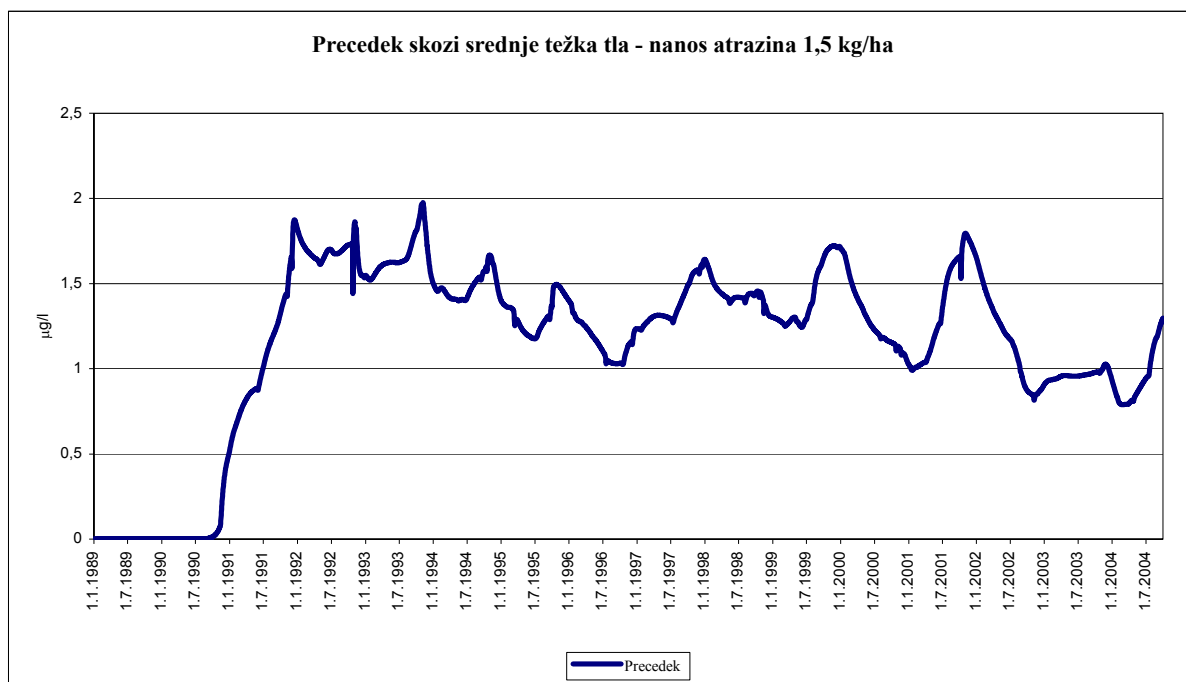
4.3 Letni nanos atrazina 1,5 kg na hektar skozi celotno simulirano obdobje



Slika 60: Koncentracija atrazina v precedku na globini 10 m izračunana za lahka tla.

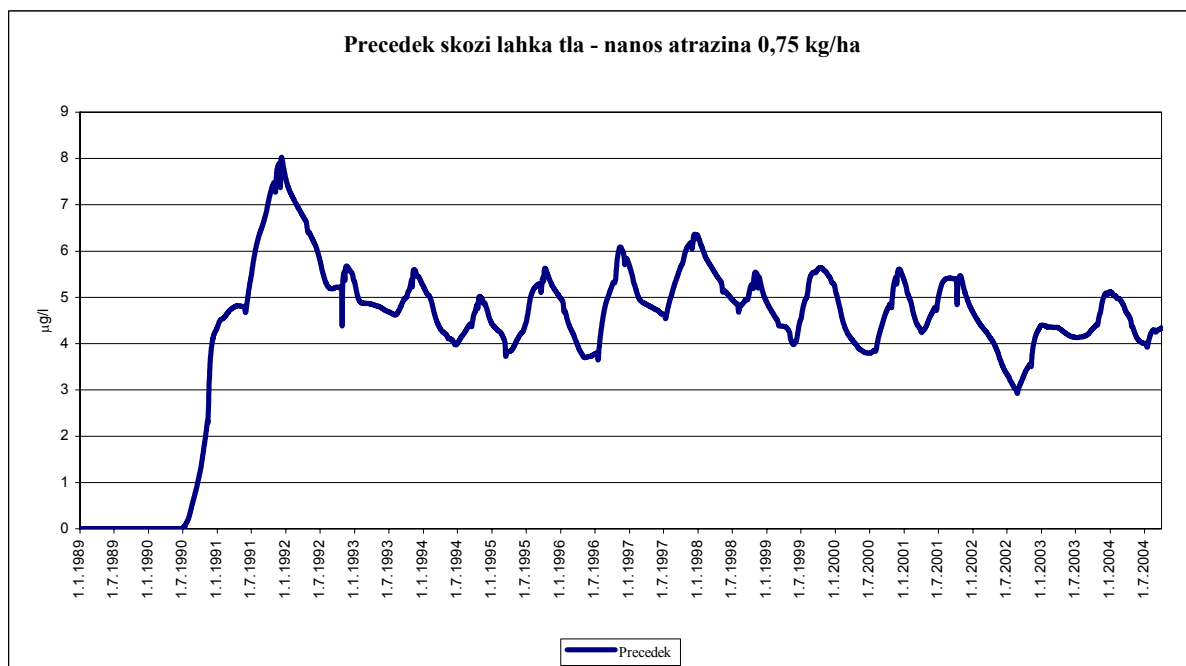


Slika 61: Koncentracija atrazina v precedku na globini 10 m izračunana za lahka in srednje težka tla.

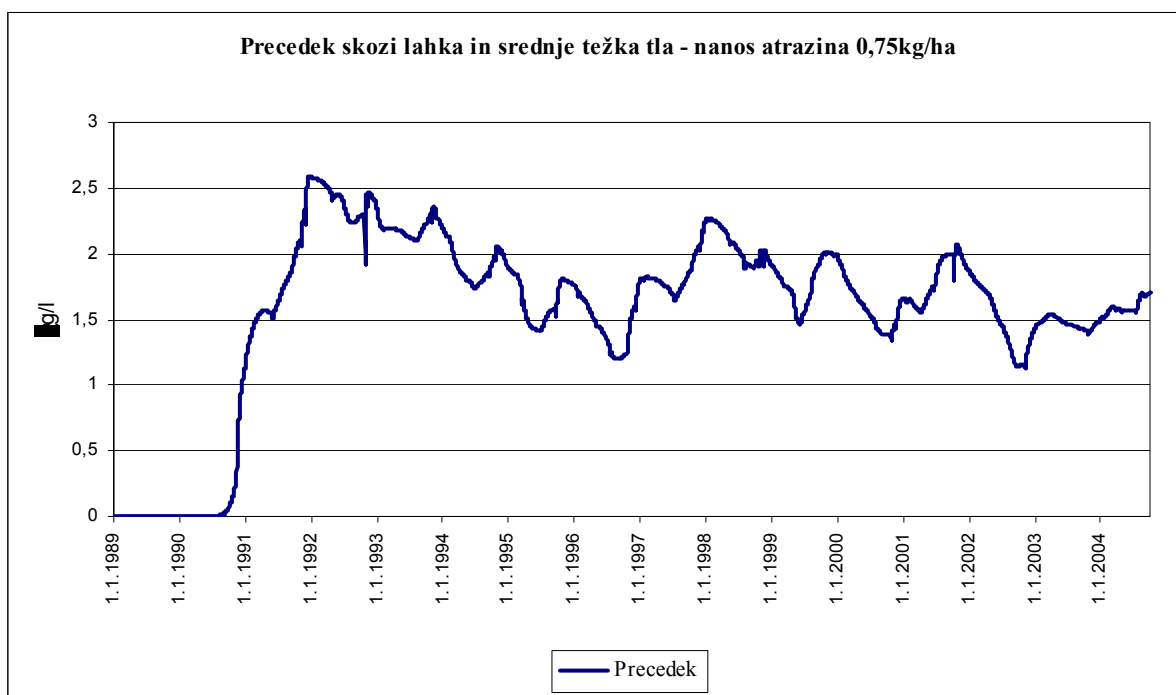


Slika 62: Koncentracija atrazina v precedku na globini 10 m izračunana za srednje težka tla.

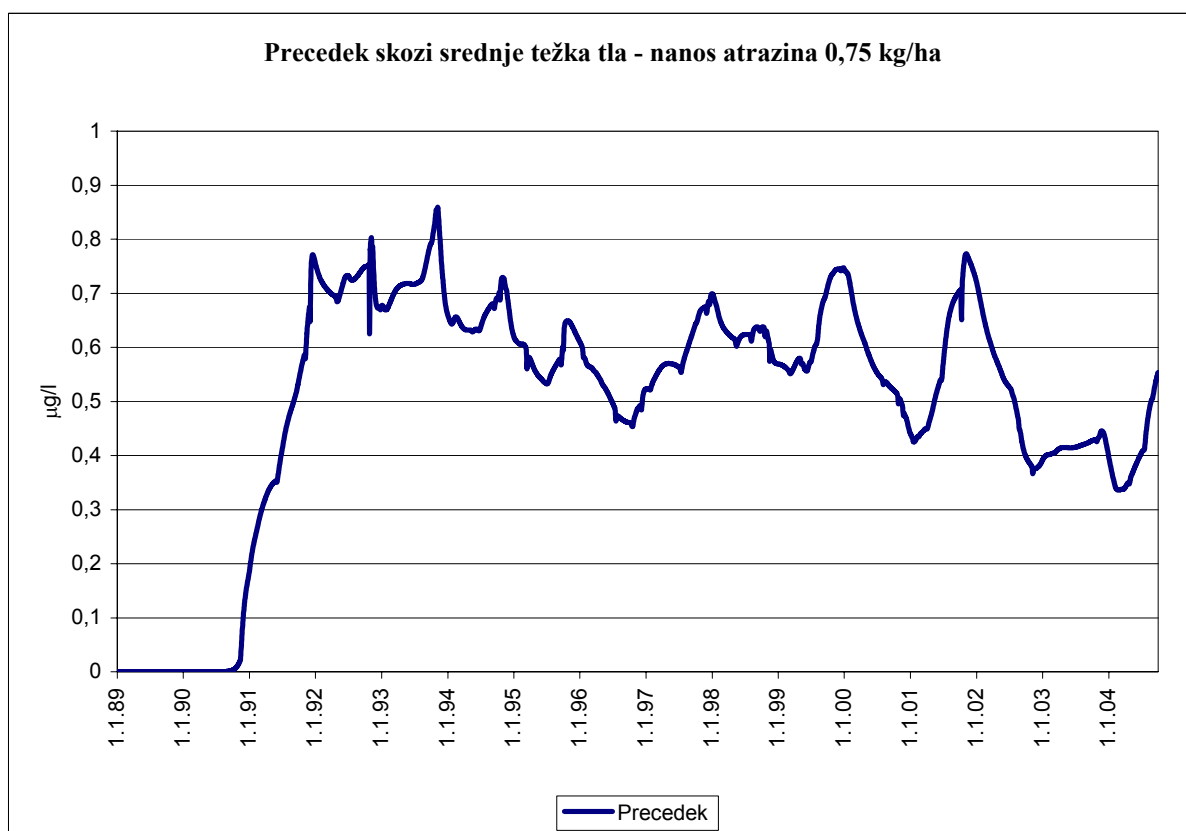
4.4 Letni nanos atrazina 0,75 kg na hektar skozi celotno simulirano obdobje



Slika 63: Koncentracija atrazina v precedku na globini 10 m izračunana za lahka tla.



Slika 64: Koncentracija atrazina v precedku na globini 10 m izračunana za lahka in srednje težka tla.



Slika 65: Koncentracija atrazina v precedku na globini 10 m izračunana za srednje težka tla.

Iz grafov (Slike 60-65) je razvidno da se dinamika nihanja koncentracije pesticida v precedku ne spreminja v odvisnosti od nanešenega pesticida. Ob spremembi nanosa atrazina se spreminjajo samo maksimalne in minimalne vrednosti v precedku. Pri zmanjšanju nanašanja atrazina za polovico, se zmanjša koncentracija atrazina v precedku za malo več kot polovico. Vendar so te vrednosti še vedno relativno visoke in bi tudi ob polovičnem nanašanju atrazina na polje, koncentracije atrazina v vodi presegale mejno vrednost, saj polovičen nanos pomeni, da bi se na Ljubljansko polje letno nanoslo 225 kg atrazina, kar pa je še vedno velika številka, saj 5 % te količine pomeni 11,25 kg. Ta količina pa bi ob popolnem premešanju atrazina v podtalnici onesnažila celotni letni dotok vode do koncentracije, ki je že zelo blizu mejne vrednosti. Iz računov, v katerih se je skozi vsa leta uporabil nanos 1,5 kg/ha, pa se vidi, da bi bile koncentracije atrazina v vseh vodarnah (razen v Jarškem Brodu) še vedno visoko nad mejno vrednostjo, če se ne bi po letu 1995 zmanjšala uporaba atrazina.

5 RAZPRAVA IN SKLEPI

5.1 Razprava

5.1.1 Izmerjene vrednosti atrazina v vodnjakih

Iz grafov (Sliki 27,28) je razvidno, da v vodnjakih na levem bregu Save vrednosti atrazina niso nikoli presegle dopustne meje. Čeprav so tla na tem območju najbolj ranljiva, so koncentracije atrazina ostale pod mejno vrednostjo, saj vodarna Jarški Brod stoji na območju, poraščenim z gozdom (Slika 11) in leži blizu reke Save, zaradi česar je v njenih vodnjakih velik delež vode, ki pride iz omenjene reke (Preglednica 1).

Na desni strani reke Save je stanje slabše. Najvišja vrednost atrazina 0,57 µg/l je bila izmerjena 16.06.1994 v vodarni Hrastje (vodnjak Hrastje 1a). Ta vodarna ima tudi skozi celotno obdobje meritev najvišje vrednosti atrazina. Mejne vrednosti so večino časa presežene, vendar se vidi trend upadanja atrazina v vodi zaradi zmanjšanja njegove uporabe. Ta vodarna ima tudi najbolj raztegnjeno prispevno površino, zato se koncentracije atrazina v njej niso bistveno zmanjšale po zmanjšanju uporabe atrazina in še vedno presegajo mejno vrednost. V vodarni Kleče je situacija nekoliko boljša. V vodnjaku Kleče 14, kjer je veliko vode iz reke Save (67 %), so koncentracije atrazina pod mejno vrednostjo. Vendar je razlog temu verjetno tudi to, da ni bilo opravljenih meritev med 6. 11. 1995 in 3. 6. 1998, kajti v tem času so bile v drugih vodnjakih dosežene zelo visoke koncentracije atrazina. Najbolj je bil prizadet zahodni del vodarne Kleče, ki se napaja iz območja Vižmarij. Predvidevam, da vodarno Kleče ščiti tudi plast neprepustne gline, ki leži pod vodarno na globini 20 m (Slika 4). V vodarni Šentvid so se koncentracije atrazina po letu 1995, ko se je pričela zmanjševati uporaba atrazina, močno zmanjšale in so le trikrat presegle mejno vrednost. Prispevne površine vodarne Šentvid spadajo med najbolj ogrožene (lahka tla). Na srečo pa vodarna leži blizu reke Save in ima majhno in neraztegnjeno prispevno površino, kar je preprečilo večjo kontaminacijo z atrazinom. Skozi takšna tla pesticidi hitro pridejo do podtalnice in se ob zmanjšanju ali prenehanju uporabe pesticida tudi hitreje odstranijo iz nje (Slika 19).

5.1.2 Vodarne na Ljubljanskem polju

5.1.2.1 Vodarna Jarški Brod

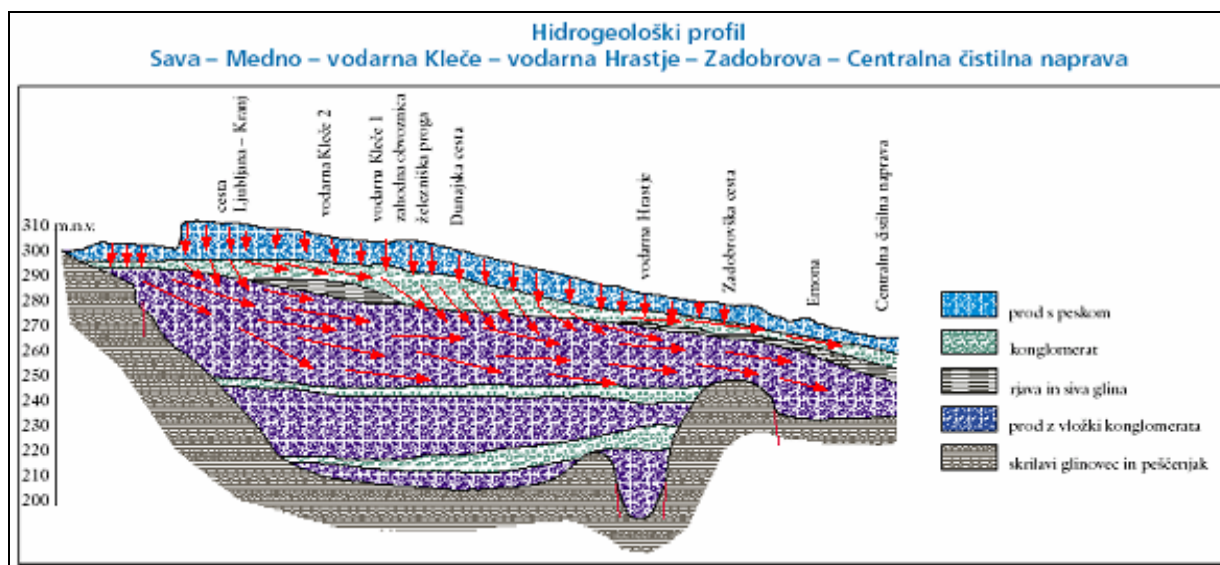
Vodarna leži na lahkih tleh, vendar atrazin v vodnjakih ni nikoli presegel mejne vrednosti. Razlog temu je najverjetneje to, da so prispevne površine vodarne večinoma prekrite z gozdom in grmičevjem in da je v vodnjakih zelo velik delež rečne vode. Iz slike 12 je razvidno, da so blizu vodarne nenamakane njivske površine, vendar pa te na kvaliteto vode v vodnjakih nimajo velikega vpliva, saj tokovnice tečejo mimo njih (Slike 67, 68 in 69).

5.1.2.2 Vodarna Kleče

Vodarna leži sredi kmetijskih površin, na lahkih in srednje težkih tleh. Velik delež njenih prispevnih površin je prekrit s kmetijskimi površinami in to je tudi razlog za visoke vsebnosti atrazina v nekaterih vodnjakih. Najbolj so bili onesnaženi vodnjaki, katerih tokovnice tečejo iz Vižmarja, to so vodnjaki na zahodnem delu vodarne. Predvidevam, da je vodarno pred še večjim onesnaženjem obvarovala neprepustna plast gline, ki leži pod vodarno Kleče na globini okoli 20 m. To sklepam na podlagi tega, da ima vodarna Kleče, med vsemi vodarnami znotraj svojega območja, največje površine gojene korenine (Preglednica 5).

5.1.2.3 Vodarna Hrastje

Vodarna Hrastje ima najbolj raztegnjeno prispevno površino (Slike 6,7,8), zato predvidevam, da so še vedno previsoke koncentracije atrazina in desetil atrazina v tej vodarni posledica počasnega izcejanja atrazina iz zemljine pod prispevno površino. Tudi pod vodarno Hrastje se nahaja plast neprepustne gline, ki pa je veliko tanjša kot pod vodarno Kleče. Na sliki 66 sem prikazal pot pesticidov po vodonosniku Ljubljanskega polja. Predvideval sem, da padavinska voda, ki pade na področje Kleč, ležeče nad nepropustno plastjo, ne pride do vodnjakov vodarne Kleče, ampak teče po neprepustni plasti; ko se ta konča, pronica globlje v vodonosnik proti vodnjakom vodarne Hrastje. Padavinska voda na svoji poti pobira pesticide, kar je po mojem mnenju razlog temu, da so koncentracije atrazina v vodarni Hrastje še vedno visoke.



Slika 66: Tok vode po vodonosniku Ljubljanskega polja.

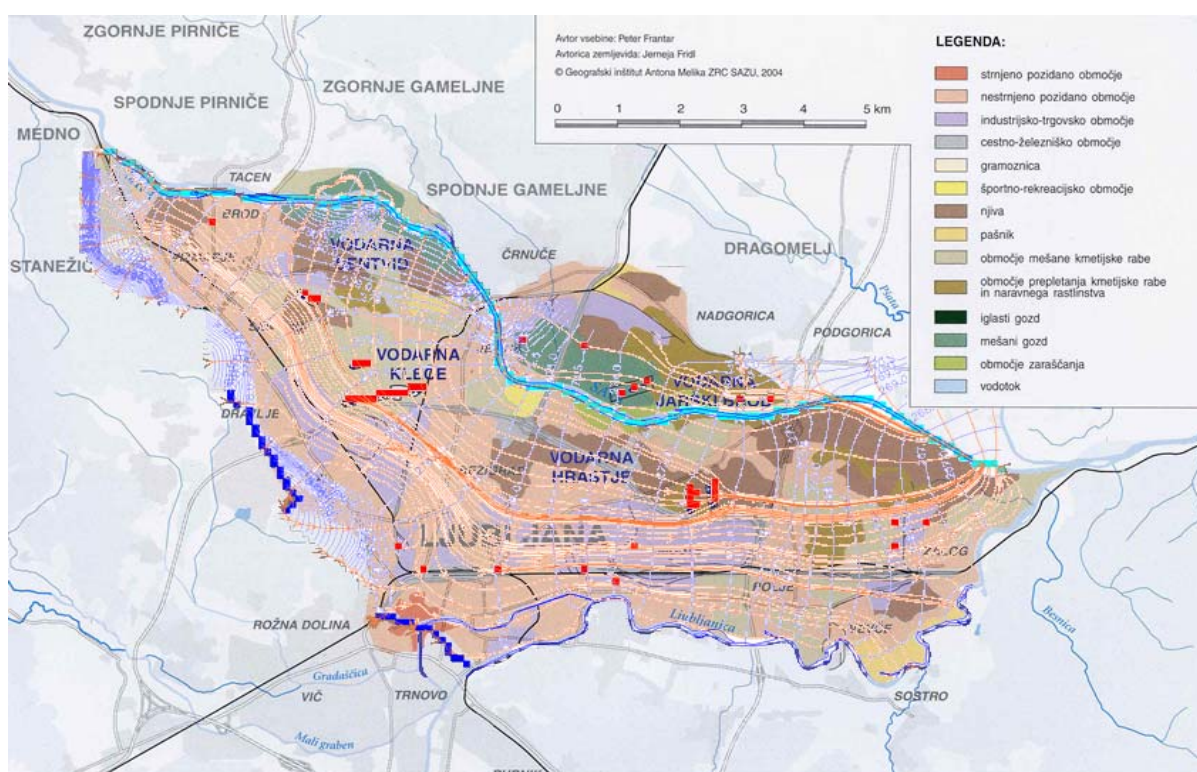
5.1.2.4 Vodarna Šentvid

Vodarna leži sredi njivskih površin. Severno od nje na lahkih tleh ležijo nenamakane njivske površine, ki so obenem tudi del prispevne površine vodarne. To so najbolj prepustna tla, zato je kljub relativno majhnem deležu obdelovanih površin na prispevni površini imela vodarna prekoračene mejne vrednosti do leta 1995. Po tem letu se je pričela zmanjševati uporaba atrazina in koncentracije so padle pod mejno vrednost. V naslednjih letih so bile mejne vrednosti prekoračene samo štirikrat (zelo malo), trikrat pa so bile dosežene (Slika 20).

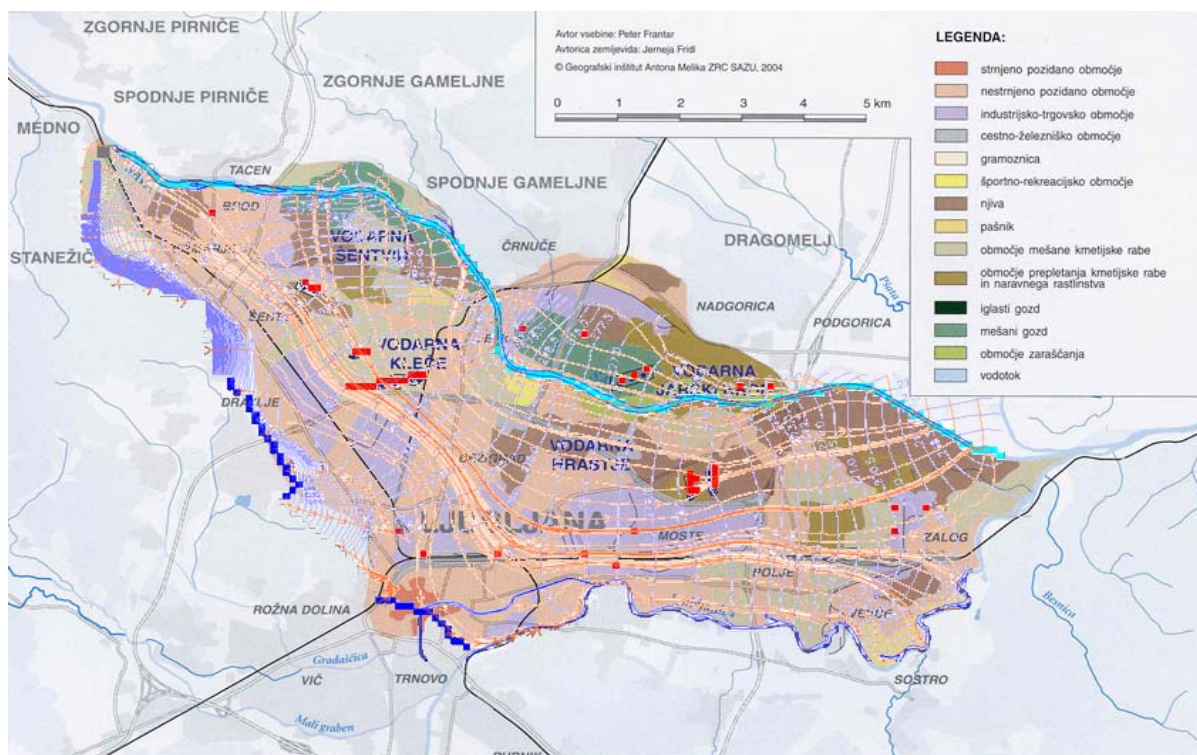
5.1.3 Prispevne površine vodarn ob različnih pogojih

Ob različnih vodostajih reke Save, spremembah gladine podtalnice in ob obilnih padavinah se spremeni potek tokovnic podtalnice Ljubljanskega polja. Najbolj neugodno stanje z vidika onesnaženja podtalnice nastopi ob obilnem deževju (Slika 61), in sicer zaradi dveh razlogov. Padavine v podtalnico spirajo ostanke pesticidov, tokovnice pa se premaknejo tako, da onesnaženje izpod obdelovanih površin Vižmarja pride v zahodni del vodarne Kleče. Iz slik 67, 68 in 69 je razvidno, da ima največjo prispevno površino obdelovane zemlje vodarna Hrastje, kar se dobro vidi tudi na izmerjenih vrednostih v vodnjakih vodarne Hrastje, saj je vrednost atrazina v vodarni Hrastje skoraj ves čas nad dovoljeno vrednostjo. Najmanjšo

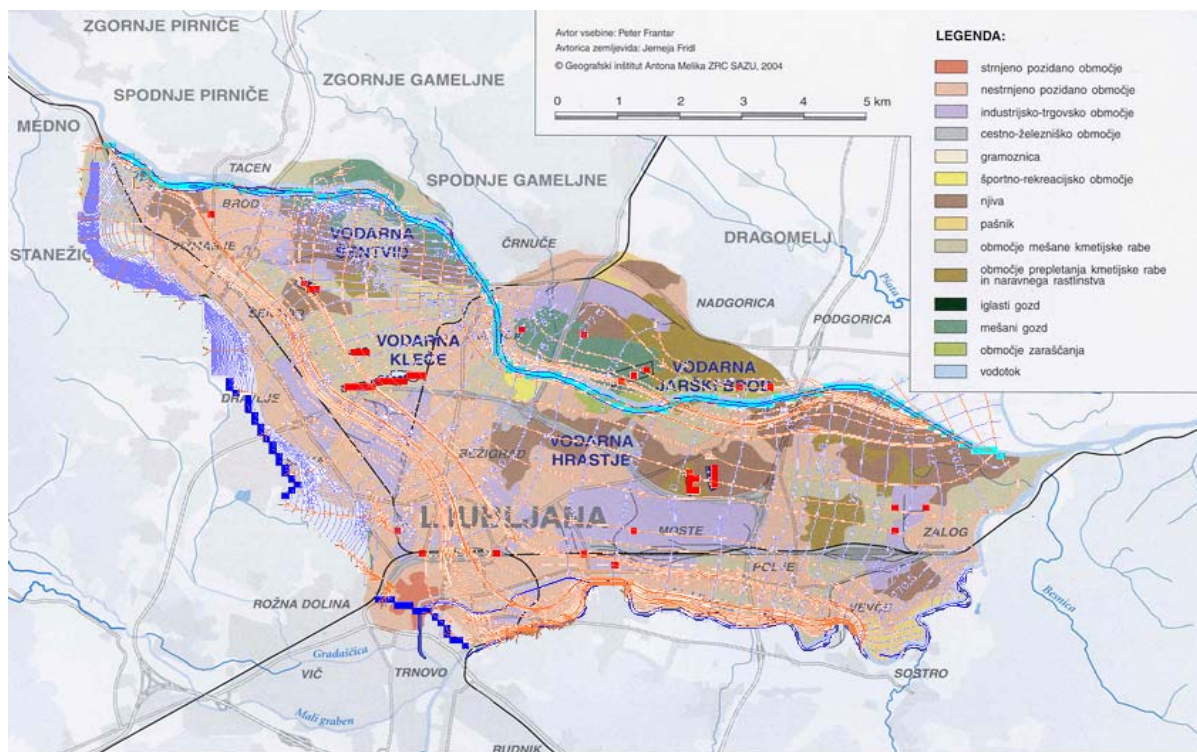
prispevno površino, s katere se izpira atrazin ima vodarna Jarški Brod; to potrjujejo izmerjene vrednosti, saj v tej vodarni vrednosti atrazina niso bile nikoli presežene. Veliko onesnažene prispevne površine ima tudi vodarna Kleče, kar se vidi iz izmerjenih vrednosti. Najbolj je ogrožen zahodni del vodarne Kleče, ki se ob obilnih padavinah napaja s prispevnih površin Vižmarij. Vodarna Šentvid leži na območju lahkih tal, torej na zelo ogroženem področju, vendar je stanje zaradi majhne površine onesnaženih prispevnih površin zadovoljivo, saj je imela vodarna večje prekoračenje dovoljenih vrednosti samo do leta 1995, dokler so se uporabljale večje količine atrazina. Ko pa se je zmanjšala uporaba atrazina, je tudi koncentracija v vodarni padla na mejno vrednost.



Slika 67: Potek tokovnic pod različno pokrovnostjo tal - obdobje najnižjih gladin podtalnice (februar 1989).



Slika 68: Potek tokovnic pod različno pokrovnostjo tal - obdobje maksimalnih padavin (oktober 1992).

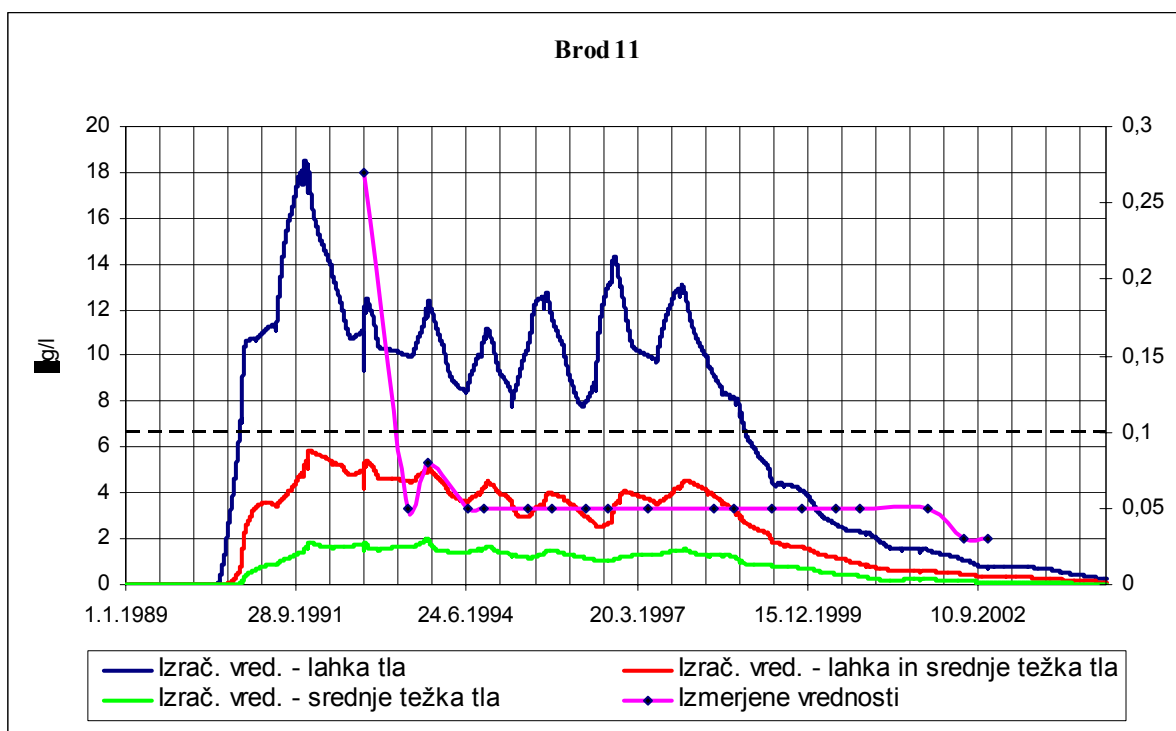


Slika 69: Potek tokovnic pod različno pokrovnostjo tal - obdobje najvišjega vodostaja Save in najvišjega vodostaja podtalnice (november 2000).

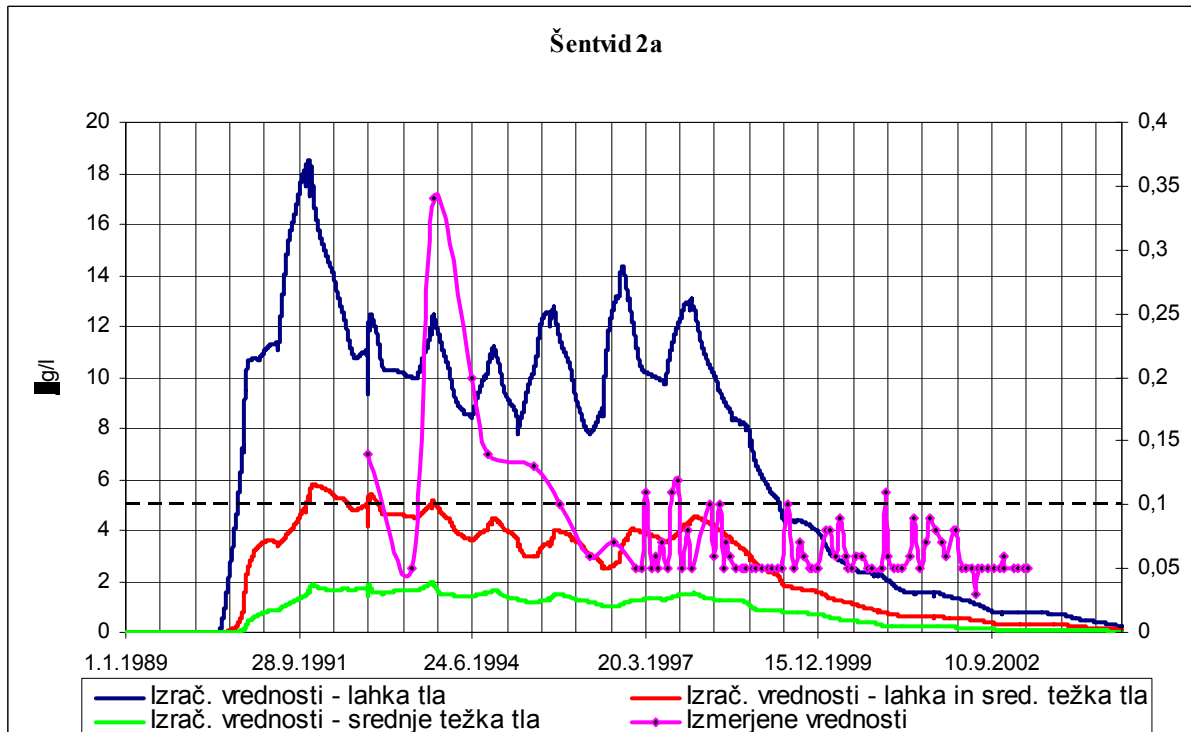
5.1.4 Primerjava izračunanih vrednosti z izmerjenimi

Izračunane vrednosti za različne tipe tal in izmerjene vrednosti na merilnih mestih sem prikazal v grafih (Slike 70-76). Iz njih se vidi, da obstaja neka korelacija. Problem je v tem, da so izmerjene vrednosti podane od 1992 naprej, na nekaterih mestih celo od leta 1995 naprej. Prva merjenja so bila izvedena s predolgimi medsebojnimi presledki, zaradi tega je težje primerjati podatke. Pri simulaciji pa je največja napaka na njenem začetku, zaradi privzetega začetnega pogoja, da je koncentracija atrazina v tleh in v podtalnici enaka nič. Podatki se razlikujejo tudi po tem, da začnejo računane vrednosti po zmanjšanju porabe atrazina močno padati, medtem ko merjene vrednosti le počasi padajo. Razlog temu je to, da se pri računanju upošteva samo plast na globini 10 m pod določeno površino, na merjene vrednosti pa vpliva širša prispevna površina, s katerega se atrazin izceja v podtalnico. Kot primer bi lahko podal vodarno Hrastje, ki ima najbolj raztegnjeno prispevno površino; to se vidi v izmerjenih vrednostih, saj so koncentracije atrazina v tej vodarni še vedno nad dovoljeno vrednostjo.

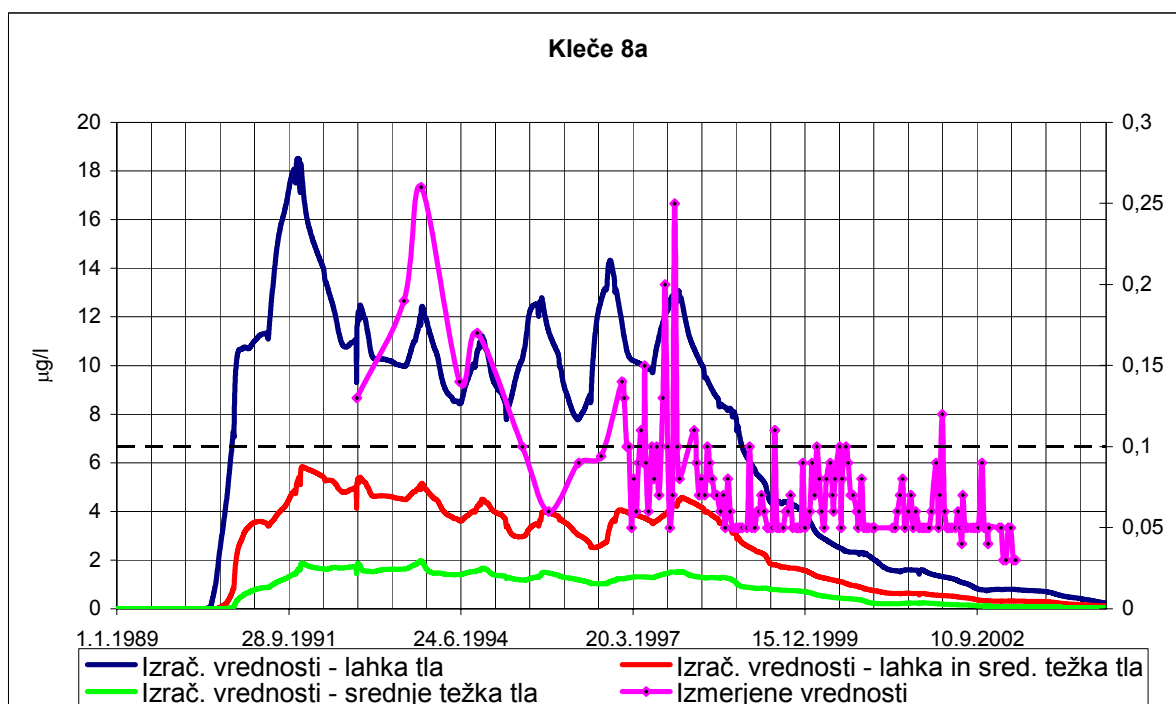
Izračunane vrednosti so nekaj desetkrat višje od izmerjenih. To je zaradi tega, ker so izmerjene vrednosti močno razredčene z neonesnaženo rečno in padavinsko vodo. Zaradi lažje predstave sem za izmerjene vrednosti postavil še eno skalo na desno stran z manjšim merilom.



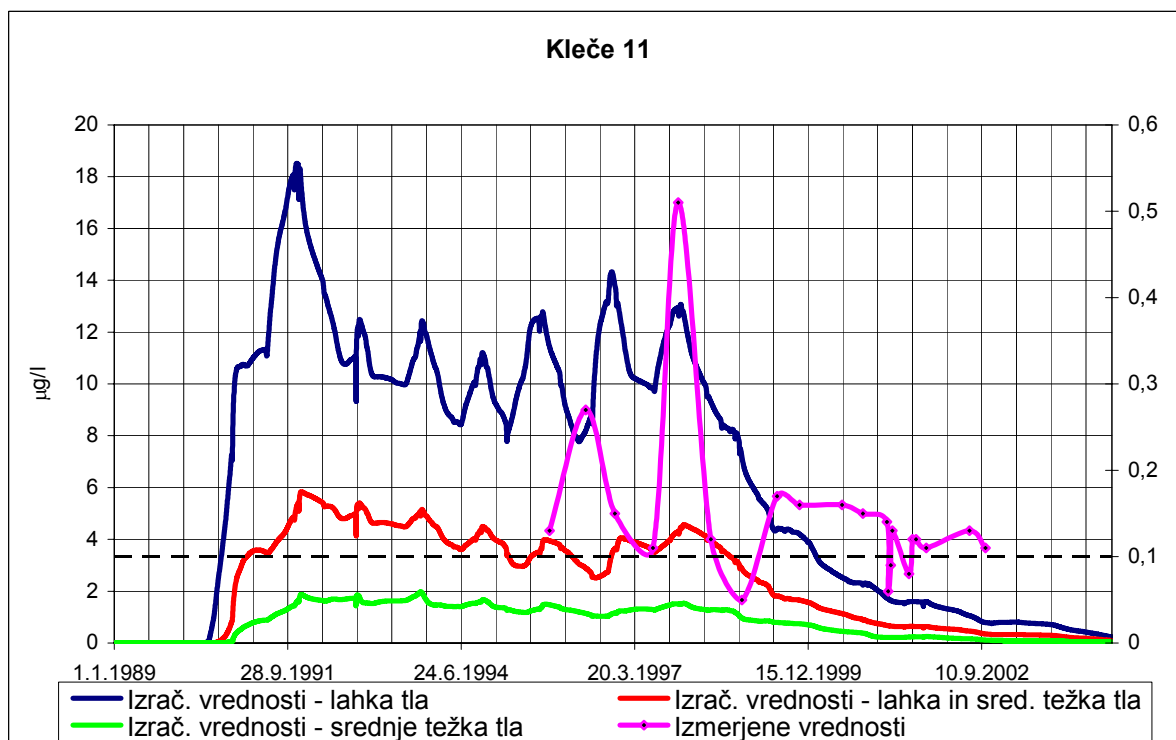
Slika 70: Izračunane in izmerjene vrednosti (izmerjene vrednosti se nanašajo na desno skalo) atrazina na merilnem mestu Brod 11.



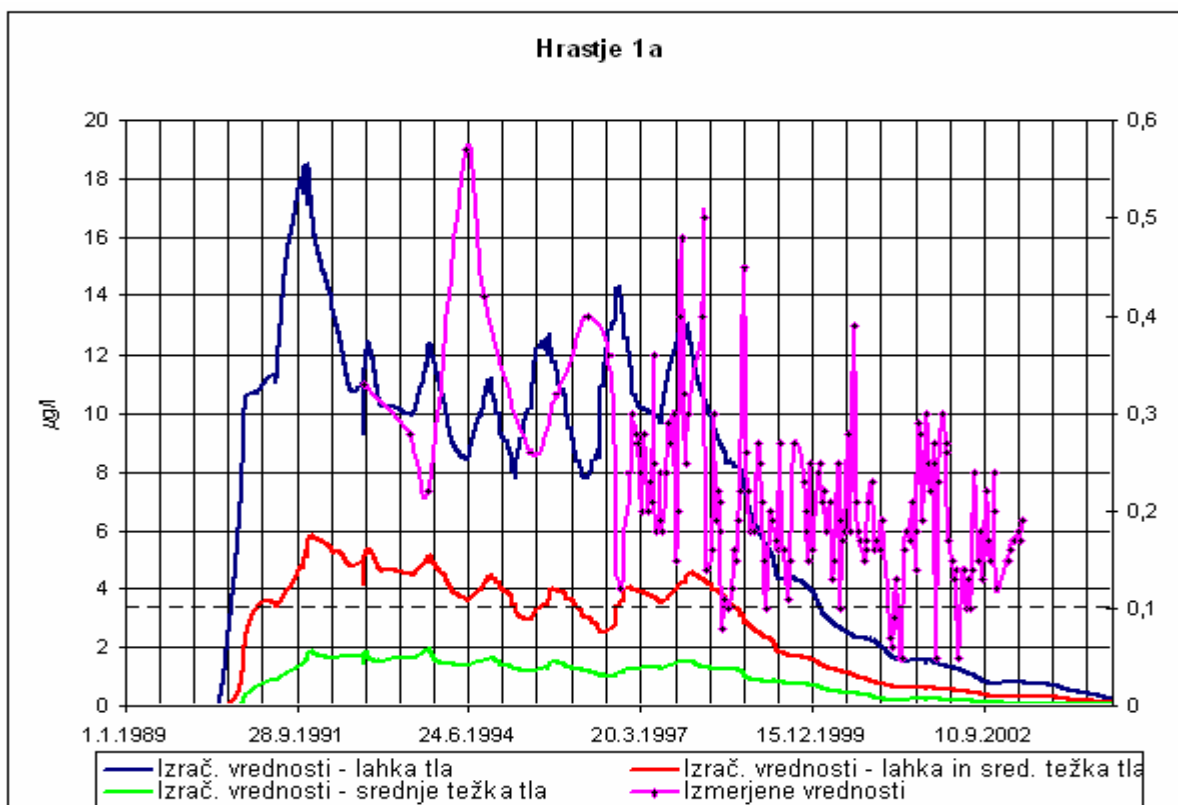
Slika 71: Izračunane in izmerjene vrednosti (izmerjene vrednosti se nanašajo na desno skalo) atrazina na merilnem mestu Šentvid 2a.



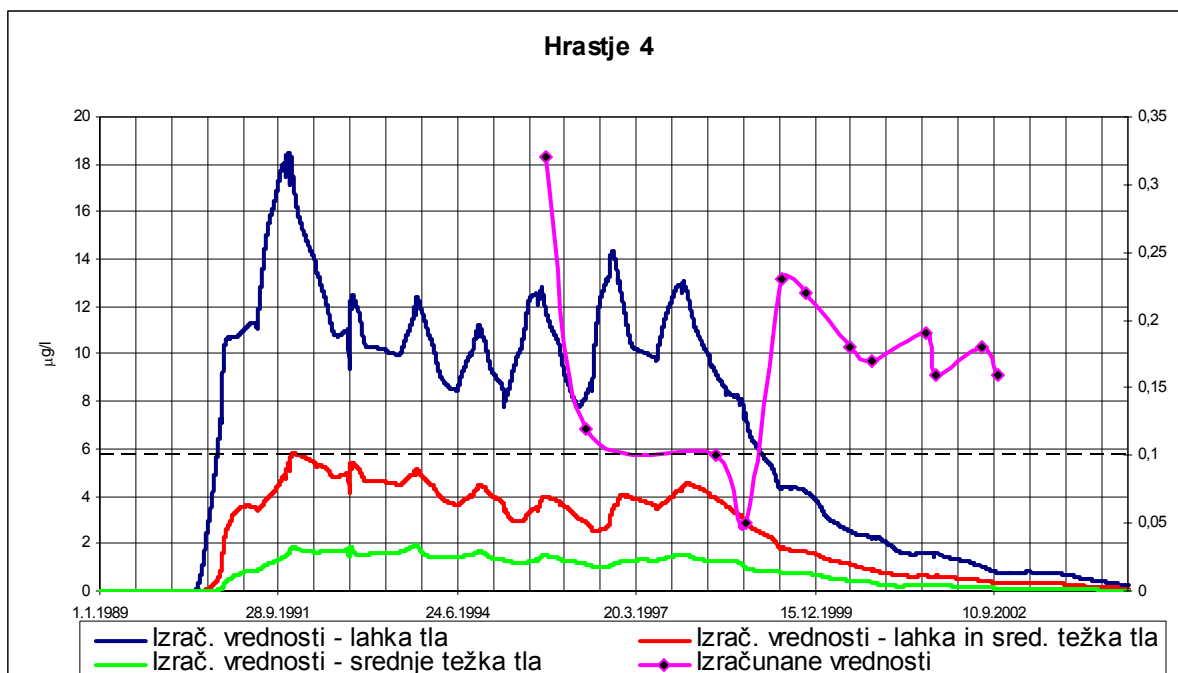
Slika 72: Izračunane in izmerjene vrednosti (izmerjene vrednosti se nanašajo na desno skalo) atrazina na merilnem mestu Kleče 8a.



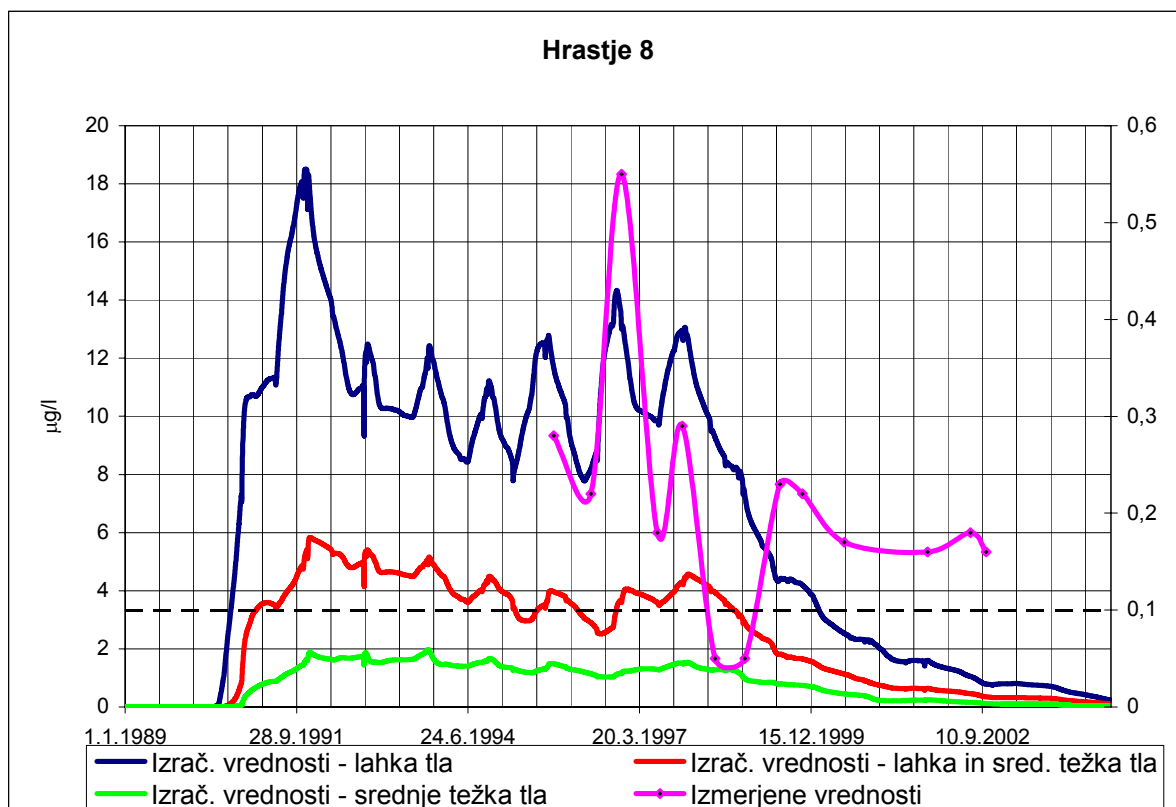
Slika 73: Izračunane in izmerjene vrednosti (izmerjene vrednosti se nanašajo na desno skalo) atrazina na merilnem mestu Kleče 11.



Slika 74: Izračunane in izmerjene vrednosti (izmerjene vrednosti se nanašajo na desno skalo) atrazina na merilnem mestu Hrastje 1a.



Slika 75: Izračunane in izmerjene vrednosti (izmerjene vrednosti se nanašajo na desno skalo) atrazina na merilnem mestu Hrastje 4.



Slika 76: Izračunane in izmerjene vrednosti (izmerjene vrednosti se nanašajo na desno skalo) atrazina na merilnem mestu Hrastje 8.

5.2 Sklepi

Podtalnica Ljubljanskega polja je ena najpomembnejših v Sloveniji in tudi ena najbolj ogroženih. Ogrožena je zaradi dobre prepustnosti in plitvosti tal, ki pokrivajo vodonosnik, zaradi vse večje urbanizacije prispevnih površin, intenzivnega kmetijstva, prometa, divjih odlagališč in izkopov. Eden glavnih onesnaževalcev je kmetijstvo, ki ogroža podtalnico s fitofarmaceutskimi sredstvi in z nitrati.

Na Ljubljansko polje je bilo po ocenah od leta 1991 do 1995 letno nanešeno 450 kg atrazina. Dinamične zaloge podtalnice se po ocenah gibljejo med 3 - 4 m³/s, to je 126.144.000 m³/leto. Da se z atrazinom do mejne vrednosti 0,1 mg/l onesnaži 126.144.000 m³ vode, je dovolj že 12,6 kg atrazina, kar je 2,8 % od 450 kg. Z modelom PEARL sem izračunal, da do podtalnice skozi lahka tla pride 8,9 % atrazina, skozi lahka in srednje težka tla 3,2 % in skozi srednje

težka tla 1,1 % atrazina. Procent v lahkih tleh je relativno velik, vendar so na srečo na takih tleh večinoma travniki, v zelo majhnem procentu pa tudi polja. V podtalju ni intenzivnega mešanja vode, zato so bile vrednosti atrazina v vodarnah višje, kot pa bi bile v primeru popolnega premešanja. Iz tega lahko sklepamo, da je model kar dobro izračunal procent izcejanja atrazina v podtalnico.

Tudi pri izračunanih vrednostih se je pokazala neka korelacija z merjenimi. Dodatno sem simuliral še dva scenarija z različno količino nanešenega atrazina. V prvem sem za nanos na polje uporabil koncentracijo 0,75 kg/ha, v drugem pa 1,5 kg/ha. Rezultati so pokazali, da je dinamika nihanja koncentracije atrazina skoraj identična, razlikujejo se samo maksimalne in minimalne koncentracije v precedku. Opazil sem tudi, da se pri 50 % zmanjšanju nanosa atrazina koncentracije v precedku zmanjšajo za več kot 50 %. Da bi se prepričal o uporabnosti modela, sem simuliral tudi distribucijo metolaklorja po zemljini. Metolaklor sem izbral, ker se je uporabljal v približno istih količinah kot atrazin, vendar pa ga v podtalnici niso zaznali.

Slabost modela je ta, da računa samo do globine 10 m. Vseeno menim, da je model uporaben tudi za globlje podtalnice, saj se izračunana koncentracija atrazina v precedku na globini 7,5 m skoraj ne razlikuje od koncentracije na 10 m (Slike 48, 53, 58). Nastane samo časoven zamik zaradi potovanja pesticida po zemljini navzdol. Model se lahko uporabi za prvo oceno obnašanja pesticidov v tleh, preden se jih registrira in prične uporabljati. Med izdelavo moje diplomske naloge so razvili že nov model GeoPEARL, ki omogoča tudi vnašanje podatkov o različnih zemljinah, različnih nanosih in upošteva geografsko porazdeljenost različnih pogojev v prostoru ter je primeren za drugo fazo ocenjevanja obnašanja pesticidov v naravi.

6 POVZETEK

Podtalnica Ljubljanskega polja je eden najpomembnejših vodnih teles v Sloveniji. Z vodo oskrbuje okoli 300.000 ljudi, zato je zelo pomembno, da ostane neoporečna tudi v prihodnosti. Za preprečevanje onesnaženja podtalnice s pesticidi se čedalje bolj uporabljajo numerični modeli za simulacijo mobilnosti pesticidov. Eden od teh je model PEARL, katerega sem uporabil za izračun mobilnosti atrazina in metolaklora v tleh Ljubljanskega polja.

PEARL je enodimenzionalen model, ki simulira obnašanje pesticidov v sistemu zemlja-rastlina. Razvit je bil na Nizozemskem in je prilagojen njihovim razmeram. Model simulira mobilnost pesticidov samo do globine 10 m. Na Ljubljanskem polju pa je podtalnica globlja (tudi do 30 m). Vendar so rezultati simulacije pokazali, da se koncentracije atrazina v večjih globinah (7,5-10 m) skoraj ne spreminjajo, zaradi tega menim, da je model uporaben tudi za simulacijo mobilnosti pesticidov na Ljubljanskem polju.

Za simulacijo mobilnosti atrazina in metolaklora sem uporabil realne meteorološke podatke, ki sem jih pridobil od Agencije RS za okolje, ter oceno nanašanja pesticidov, ki sem jo dobil iz podatkov Kmetijskega inštituta Slovenije. Fizikalno - kemijske lastnosti atrazina in metolaklora sem izbral iz različnih virov, za nekatere lastnosti pa sem zaradi pomanjkanja podatkov, moral vzeti oceno vrednosti ali pa privzete vrednosti v uporabniškem vmesniku FOCUS PEARL. Za poljščino sem izbral že podane (v programu) podatke za koruzo in privzel, da se je na isti površini 15 let gojila koruza, kar pa se v realnosti ne dogaja - zaradi kolobarjenja. Pri obdelovanju tal sem si izbral jesensko oranje in spomladansko rahljanje zemlje.

Rezultati, ki jih je dala simulacija, so pokazali neko korelacijo z izmerjenimi vrednostmi v vodnjakih. Problem je v tem, da so izmerjene vrednosti podane od leta 1992 naprej, na nekaterih mestih celo od leta 1995 naprej ter, da so bila prva merjenja izvedena s predolgimi medsebojnimi presledki, zaradi česar je težje primerjati podatke. Največje odstopanje pri simulaciji je na njenem začetku, zaradi privzetega začetnega pogoja, da je koncentracija atrazina v tleh in v podtalnici enaka nič. Podatki se razlikujejo tudi po tem, da začnejo

računane vrednosti po zmanjšanju porabe atrazina močno padati, medtem ko merjene vrednosti le počasi padajo. Razlog temu je to, da se pri računanju upošteva samo plast na globini 10 m pod določeno površino, na merjene vrednosti pa vplivajo širše prispevne površine, s katerih se atrazin izceja v podtalnico.

Analiziral sem tudi vzroke, zakaj so v nekaterih vodnjakih na Ljubljanskem polju koncentracije atrazina presegle mejne vrednosti, v drugih pa ne. Na to, kolikšne koncentracije atrazina so v vodnjakih, najbolj vplivajo prispevne površine. Vodarna Jarški Brod, ki ima zanemarljivo majhen delež svoje prispevne površine pokrit z obdelovalnimi površinami, ni imela nikoli problemov s prevelikimi koncentracijami atrazina. Predvidevam, da vodarno Kleče pred večjim onesnaženjem ščiti neprepustna plast gline, ki leži pod njo. Najbolj ogrožena in tudi onesnažena pa je voda v vodarni Hrastje, ki ima najbolj raztegnjeno prispevno površino.

Ugotovil sem, da bi bil model PEARL primeren za ocenjevanje mobilnosti pesticidov tudi za razmere, ko je podtalnica globlje od 10 m (kot npr. na Ljubljanskem polju). Vendar pa samo računanje in potencialne nevarnosti pesticidov in ukrepanje na podlagi rezultatov ni dovolj. To trdim zaradi tega, ker iz osnovnih pesticidov nastanejo razgradni produkti, katerih strupenost in fizikalno-kemijske lastnosti niso vnaprej znane. Kot primer lahko navedem atrazin, ki je na tržišču že zelo dolgo, za njegov metabolit desetil atrazin pa v poročilu EPA 2002, ki ocenjuje toksičnost atrazina, piše, da je na razpolago omejena količina toksikoloških podatkov, ki so opisani v poročilu. Opisana sta dva eksperimenta na podganah in psih, ki so jih z različnimi dozami hranili 13 tednov. Iz tako skromnih raziskav je težko predvideti, kako desetil atrazin ob večletnem uživanju vpliva na človeka, še posebej na dojenčke in otroke v razvoju. Poleg desetil atrazina ima atrazin še vsaj deset različnih razgradnih produktov. Razgradni produkti pa so lahko bolj strupeni in bolj mobilni kot osnovni produkt. Zaradi tega bi bilo potrebno zmanjšati količino uporabljenih pesticidov na minimalno možno raven, v bližini vodnih zajetij in na prispevnih površinah vodarn, pa prepovedati njihovo uporabo in preusmeriti kmetovalce v ekološko pridelavo hrane. To bi lahko dosegli z izobraževanjem in s subvencioniranjem kmetov, ki bi se preusmerjali v okolju prijazno kmetijstvo. Stroški takšnega ravnanja bi bili veliko manjši, kot pa bodo, v primeru prekomernega onesnaženja

podtalnice, znašali stroški novih virov pitne vode oziroma stroški zdravstva, če se ne bi ukrepalo in bi ljudje pili onesnaženo vodo.

7 VIRI

Brilly, M. 2005. Primerjava tokovnic Ljubljanskega polja. Neobjavljeno delo.

DeGloria S. D., Pacenka S., Porter M. J., Anderson G., Smith W. G., Weingart D. et. al. 1999. Applicability of a Simulation Model to Determine the Environmental Fate of Atrazine in the Canajoharie Creek Watershed, New York. Raziskovalno poročilo. New York. New York State Water Resources Institute Cornell University.
<http://wri.eas.cornell.edu/projects/pesticides/canajoharie/fr/canafinal0.pdf> (15.3.2005).

Interaktivni naravovarstveni atlas, <http://kremen.arso.gov.si/NVatlas/ewmap.asp>

Klemenčič, S. 2004. Modeliranje onesnaženja podtalnice s programom PEARL. Seminar. Ljubljana. Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo.

Kranjc, M., Dobnikar-Tehovnik, M., Andjelov, M., Kolenc, A., & Krsnik, P. 2003. Obremenjenost podzemne vode s fitofarmaceutskimi sredstvi, določena po novi evropski metodologiji. V Zbornik predavanj in referatov 6. slovenskega posvetovanja o varstvu rastlin Zreče, 4. – 6. marec 2003 (str. 42-48). Ljubljana. Univerza v Ljubljani, Biotehnična fakulteta.

Leistra M., van der Linden A.M.A., Boesten, J.J.T.I., Tiktak, A. & van der Berg F. 2001. PEARL model for pesticide behaviour and emissions in soil-plant systems; Descriptions of the processes in FOCUS PEARL v 1.1.1. Raziskovalno poročilo. Wageningen. RIVM, ALTERRA Green World Research.
<http://www.alterra-research.nl/pls/portal30/docs/folder/pearl/pearl/pdf/pearlthe.pdf>
(20.1.2004)

Lyman WJ, Reehl WF, Rosenblatt DH. 1990. Handbook of chemical property estimation methods. Washington DC. American Chemical Society.

Mamilovič, J. 1994. Škropilni koledar za vinograd, sadovnjak, njivo in vrt. Ljubljana. Kmečki glas.

Mikoš, M., Kranjc, A., Matičič, B., Müller, J., Rakovec, J., Roš, M., Brilly, M. 2002. Hidrološko izrazje.
ftp://ksh.fgg.uni-lj.si/acta/a32_1.pdf (10.4.2005).

Nartnik, M. 2004. Modeliranje podtalnice Ljubljanskega polja. Diplomsko delo. Ljubljana. Univerza v Ljubljani, Fakulteta za Gradbeništvo in geodezijo.

Priročnik o toksikoloških lastnostih pesticidov v Republiki Sloveniji, zbrala in uredila Vesna Ternifi. 1. izd., Ljubljana. Ministrstvo za zdravstvo. 1998.

Revised human health risk assessment for the Atrazine, Washington DC, U.S. Environmental Protection Agency, 2002.
http://www.epa.gov/oppsrrd1/reregistration/atrazine/hed_redchap_16apr02.PDF (20.1.2004).

Rivard, L. 2003. Environmental Fate of Metolachlor. Sacramento. Environmental Monitoring Branch Department of Pesticide Regulation.
<http://www.cdpr.ca.gov/docs/empm/pubs/fatememo/metolachlor.pdf> (20.5.2005).

Ruiz M. E. & Utset A. 2003. Models for Predicting Water Use and Crop Yields – A Cuban Experience. Trieste. College on Soil Physics.
http://www.ictp.trieste.it/~pub_off/lectures/lns018/28Ruiz.pdf (14.5.2005).

Simončič, A., Zupan, M., Knapič, M., Vrščaj, B., Suhadolc, M., Šporar, M., Rupreht, J., Bukovec, P., & Tič I. 2004. Izdelava meril za pripravo postopkov in programov uporabe fitofarmaceutskih sredstev na območjih z omejeno uporabo. Zaključno poročilo. Žalec. Inštitut za hmeljarstvo, gozdarstvo in prehrano RS, Univerza v Ljubljani, Biotehnična fakulteta, Kmetijski inštitut Slovenije.

Simončič, D. 2004. Ocena stanja na področju obremenitve tal ter podtalnice s fitofarmaceutskimi sredstvi na območju Mestne občine Ljubljana. Strokovna naloga. Žalec. Inštitut za hmeljarstvo in pivovarstvo Slovenije.

Soil Water Characteristics Hydraulic Properties Calculator [Računalniški program].
Washington DC. USDA Agricultural Research Service, Department of Biological Systems Engineering ;Washington State University.

Ahlin, M., Bokal, L., Gložančev, A., et al. 1998. Slovar slovenskega knjižnega jezika. Ljubljana. DZS.

Tiktak, A., van den Berg, F., Boesten, J.J.T.I., van Kraalingen, D., Leistra M. & van der Linden A.M.A. 2000. Manual of FOCUS PEARL version 1.1.1. Raziskovalno poročilo. Wageningen. RIVM, ALTEERRA Green World Research, Wageningen University and Research Center.
<http://www.alterra-research.nl/pls/portal30/docs/folder/pearl/pearl/pdf/pearlman.pdf>
(20.1.2004)

PRILOGA A: PARAMETRI ZA ZEMLJINE IZ POMOČI MODELA PEARL

- A1** **Van Genuchtenove parametri za zgornje horizonte zemljine**
- A2** **Van Genuchtenove parametri za spodnje horizonte zemljine**
- A3** **Nomenklatura zemljine podana v pomoči modela PEARL za
zgornje horizonte**
- A4** **Nomenklatura zemljine podana v pomoči modela PEARL za
spodnje horizonte**

A1 Van Genuchtenove parametri za zgornje horizonte zemljine

TOP	θ_r	θ_s	Ks	α	λ	n
Soils	($m^3 m^{-3}$)	($m^3 m^{-3}$)	($cm d^{-1}$)	(cm^{-1})	(-)	(-)
<i>Sand</i>						
B1	0,01	0,43	17,46	0,0249	-0,14	1,507
B2	0,02	0,43	9,65	0,0227	-0,983	1,548
B3	0,01	0,45	17,81	0,0152	-0,213	1,412
B4	0,01	0,42	54,8	0,0163	0,177	1,559
<i>Loam</i>						
B7	0	0,4	14,07	0,0194	-0,802	1,25
B8	0	0,43	2,25	0,0096	-2,733	1,284
B9	0	0,43	1,54	0,0065	-2,161	1,325
<i>Clay</i>						
B10	0,01	0,42	1,17	0,0118	-4,795	1,224
B11	0	0,6	5,26	0,0243	-5,395	1,111
B12	0	0,55	15,46	0,0532	-8,823	1,081
<i>Silt</i>						
B14	0,01	0,42	0,8	0,0051	0	1,305
<i>Peat</i>						
B16	0	0,73	13,44	0,0134	0,534	1,32
B17	0	0,72	4,46	0,018	-0,35	1,14
B18	0	0,77	6,67	0,0197	-1,845	1,154

A2 Van Genuchtenove parametri za spodnje horizonte zemljine

SUB	θ_r	θ_s	Ks	α	λ	n
Soils	($m^3 m^{-3}$)	($m^3 m^{-3}$)	($cm d^{-1}$)	(cm^{-1})	(-)	(-)
<i>Sand</i>						
O1	0,01	0,36	13,21	0,0224	0	2,167
O2	0,02	0,38	15,56	0,0214	0,039	2,075
O3	0,01	0,34	18,3	0,0211	-0,522	1,564
O4	0	0,36	53,1	0,0216	-0,52	1,54
O5	0,01	0,32	43,55	0,0597	0,343	2,059
O6	0	0,41	5,48	0,0291	-6,864	1,152
<i>Loam</i>						
O8	0	0,47	9,08	0,0136	-0,803	1,342
O9	0	0,46	2,23	0,0094	-1,382	1,4
O10	0	0,49	2,22	0,0107	-2,123	1,28
<i>Clay</i>						
O11	0	0,42	13,79	0,0191	-1,384	1,152
O12	0	0,56	1,14	0,0095	-4,171	1,159
O13	0	0,57	3,32	0,0171	-4,645	1,11
<i>Silt</i>						
O14	0	0,38	0,36	0,0025	0,057	1,686
O15	0,01	0,41	3,7	0,0071	0,912	1,298
<i>Peat</i>						
O16	0	0,89	1,07	0,0103	-1,411	1,376
O17	0	0,86	2,75	0,0127	-1,832	1,274

A3 Nomenklatura zemljine podana v pomoči modela PEARL za zgornje horizonte

TOP	Nomenclature	f_{silt}	f_{clay}	m_{om}
Soils		(%)	(%)	(%)
<i>Sand</i>				
B1	Loam-poor fine sand	0-10		0-15
B2	Slightly loamy fine sand	10-18		0-15
B3	Loamy fine sand	18-33		0-15
B4	Very loamy fine sand	35-50		0-15
<i>Loam</i>				
B7	Light sandy clay		8-12	0-15
B8	Sandy clay		12-18	0-15
B9	Heavy sandy clay		18-25	0-15
<i>Clay</i>				
B10	Light clay		25-35	0-15
B11	Clay		35-50	0-15
B12	Heavy clay		50-100	0-15
<i>Silt</i>				
B14	Silty loam		85-100	
<i>Peat</i>				
B16	Sandy peat		0-8	23-100
B17	Peaty clay		8-100	16-45
B18	Clayey peat		8-100	25-70

A4 Nomenklatura zemljine podana v pomoči modela PEARL za spodnje horizonte

SUB	Nomenclature	f_{silt}	f_{clay}	m_{om}
Soils		(%)	(%)	(%)
<i>Sand</i>				
O1	Loam-poor fine sand	0-10		0-3
O2	Slightly loamy fine sand	10-18		0-3
O3	Loamy fine sand	18-33		0-3
O4	Very loamy fine sand	35-50		0-3
O5	Coarse sand			0-3
O6	Glacial till	0-50		0-3
<i>Loam</i>				
O8	Light sandy clay		8-12	0-3
O9	Sandy clay		12-18	0-3
O10	Heavy sandy clay		18-25	0-3
<i>Clay</i>				
O11	Light clay		25-35	0-3
O12	Clay		35-50	0-3
O13	Heavy clay		50-100	0-3
<i>Silt</i>				
O14	Sandy loam	50-85		0-3
O15	Silty loam		85-100	
<i>Peat</i>				
O16	Sandy peat		0-8	35-100
O17	Clayey peat		8-100	35-100

PRILOGA B: POROČILA MODELA PEARL

- B1** Poročilo za lahka tla ob realnem nanosu atrazina
- B2** Poročilo za lahka in srednje težka tla ob realnem nanosu atrazina
- B3** Poročilo za srednje težka tla ob realnem nanosu atrazina
- B4** Poročilo za lahka tla ob polovičnem nanosu atrazina
- B5** Poročilo za lahka in srednje težka tla ob polovičnem nanosu atrazina
- B6** Poročilo za srednje težka tla ob polovičnem nanosu atrazina
- B7** Poročilo za lahka tla ob dvojnem nanosu atrazina
- B8** Poročilo za lahka in srednje težka tla ob dvojnem nanosu atrazina
- B9** Poročilo za srednje težka tla ob dvojnem nanosu atrazina
- B10** Poročilo za lahka tla ob ocenjenem nanosu metolaklora

B1 Poročilo za lahka tla ob realnem nanosu atrazina

```
* PEARL REPORT: Header
* Results from the PEARL model (c) RIVM/Alterra
* FOCUS PEARL version : 2.2.2
* PEARL model version : 1.5.8-F2
* SWAP model version : swap209d
* PEARL created on : 16-Jun-2003
*
* Working directory : C:\Program Files\FOCUSPEARL_2_2_2\Database\PearlDB
* Run ID : 4
* Input file generated on : 09-05-2005
* -----
*
* Report type : Dutch_Registration
* Location : KLECE
* Meteo station : LJUB-M
* Soil type : KLEC-L1_Soil
* Crop calendar : LJUB-KOR
* Substance : ATR1
* Application scheme : nanasanje
* Irrigation scheme : No
* Deposition scheme : No
*
* End of PEARL REPORT: Header

* PEARL REPORT: Dutch_Registration

* General information:
* Start date : 01-Jan-1989
* End date : 30-Sep-2004
* Target depth : 9.01 m

* Application schedule:
* Application to the soil surface at 13-May-1989; dosage = 1.5000 kg.ha-1
* Application to the soil surface at 11-May-1990; dosage = 1.5000 kg.ha-1
* Application to the soil surface at 14-May-1991; dosage = 1.5000 kg.ha-1
* Application to the soil surface at 11-May-1992; dosage = 1.5000 kg.ha-1
* Application to the soil surface at 07-May-1993; dosage = 1.5000 kg.ha-1
* Application to the soil surface at 10-May-1994; dosage = 1.5000 kg.ha-1
* Application to the soil surface at 10-May-1995; dosage = 1.5000 kg.ha-1
* Application to the soil surface at 07-May-1996; dosage = 1.3300 kg.ha-1
* Application to the soil surface at 06-May-1997; dosage = 0.8830 kg.ha-1
* Application to the soil surface at 13-May-1998; dosage = 0.5000 kg.ha-1
* Application to the soil surface at 08-May-1999; dosage = 0.3000 kg.ha-1
* Application to the soil surface at 07-May-2000; dosage = 0.2330 kg.ha-1
* Application to the soil surface at 15-May-2001; dosage = 0.1660 kg.ha-1
* Application to the soil surface at 08-May-2002; dosage = 0.0660 kg.ha-1
* Summary for Dutch registration procedure for compound ATR1
* Molar mass (g.mol-1) : 215.7
* Saturated vapour pressure (Pa) : 0.4E-04; measured at (C) 20.0
* Solubility in water (mg.L-1) : 0.3E+02; measured at (C) 20.0
* Half-life (d) : 60.0; measured at (C) 20.0
* Kom (coef. for sorption on organic matter) (L.kg-1) : 70.0
* Freundlich exponent (-) : 0.90

The maximum average substance concentration in the upper groundwater was 20.451 (ug/L)
The maximum concentration was reached on 09-May-1991
The fraction of the dosage leached into the upper groundwater was 8.9096 (%)
The fraction of the dosage volatilized was 0.0081 (%)
The mass content of substance in the plough layer at 365 days after application was 0.0013 (mg.kg-1)
This is equivalent with an areic mass of 0.003384 (kg.ha-1)
```

B2 Poročilo za lahka in srednje težka tla ob realnem nanosu atrazina

* PEARL REPORT: Header
* Results from the PEARL model (c) RIVM/Alterra
* FOCUS PEARL version : 2.2.2
* PEARL model version : 1.5.8-F2
* SWAP model version : swap209d
* PEARL created on : 16-Jun-2003
*
* Working directory : C:\Program Files\FOCUSPEARL_2_2_2\Database\PearlDB
* Run ID : 5
* Input file generated on : 09-05-2005
* -----
*
* Report_type : Dutch_Registration
* Location : KLECE1
* Meteo station : LJUB-M
* Soil type : KLEC-LS1_Soil
* Crop calendar : LJUB-KOR
* Substance : ATR1
* Application scheme : nanasanje
* Irrigation scheme : No
* Deposition scheme : No
*
* End of PEARL REPORT: Header

* PEARL REPORT: Dutch_Registration

* General information:
* Start date : 01-Jan-1989
* End date : 30-Sep-2004
* Target depth : 10.01 m

* Application schedule:
* Application to the soil surface at 13-May-1989; dosage = 1.5000 kg.ha-1
* Application to the soil surface at 11-May-1990; dosage = 1.5000 kg.ha-1
* Application to the soil surface at 14-May-1991; dosage = 1.5000 kg.ha-1
* Application to the soil surface at 11-May-1992; dosage = 1.5000 kg.ha-1
* Application to the soil surface at 07-May-1993; dosage = 1.5000 kg.ha-1
* Application to the soil surface at 10-May-1994; dosage = 1.5000 kg.ha-1
* Application to the soil surface at 10-May-1995; dosage = 1.5000 kg.ha-1
* Application to the soil surface at 07-May-1996; dosage = 1.3300 kg.ha-1
* Application to the soil surface at 06-May-1997; dosage = 0.8830 kg.ha-1
* Application to the soil surface at 13-May-1998; dosage = 0.5000 kg.ha-1
* Application to the soil surface at 08-May-1999; dosage = 0.3000 kg.ha-1
* Application to the soil surface at 07-May-2000; dosage = 0.2330 kg.ha-1
* Application to the soil surface at 15-May-2001; dosage = 0.1660 kg.ha-1
* Application to the soil surface at 08-May-2002; dosage = 0.0660 kg.ha-1
* Summary for Dutch registration procedure for compound ATR1
* Molar mass (g.mol-1) : 215.7
* Saturated vapour pressure (Pa) : 0.4E-04; measured at (C) 20.0
* Solubility in water (mg.L-1) : 0.3E+02; measured at (C) 20.0
* Half-life (d) : 60.0; measured at (C) 20.0
* Kom (coef. for sorption on organic matter) (L.kg-1) : 70.0
* Freundlich exponent (-) : 0.90

The maximum average substance concentration in the upper groundwater was 6.454 (ug/L)
The maximum concentration was reached on 22-Oct-1991
The fraction of the dosage leached into the upper groundwater was 3.2138 (%)
The fraction of the dosage volatilized was 0.0006 (%)
The mass content of substance in the plough layer at 365 days after application was 0.0007 (mg.kg-1)
This is equivalent with an areic mass of 0.001509 (kg.ha-1)

B3 Poročilo za srednje težka tla ob realnem nanosu atrazina

```
* PEARL REPORT: Header
* Results from the PEARL model (c) RIVM/Alterra
* FOCUS PEARL version : 2.2.2
* PEARL model version : 1.5.8-F2
* SWAP model version : swap209d
* PEARL created on : 16-Jun-2003
*
* Working directory : C:\Program Files\FOCUSPEARL_2_2_2\Database\PearlDB
* Run ID : 6
* Input file generated on : 09-05-2005
*-----
*
* Report_type : Dutch_Registration
* Location : KLECE2
* Meteo station : LJUB-M
* Soil type : KLEC-S1_Soil
* Crop calendar : LJUB-KOR
* Substance : ATR1
* Application scheme : nanasanje
* Irrigation scheme : No
* Deposition scheme : No
*
* End of PEARL REPORT: Header

* PEARL REPORT: Dutch_Registration

* General information:
* Start date : 01-Jan-1989
* End date : 30-Sep-2004
* Target depth : 10.06 m

* Application schedule:
* Application to the soil surface at 13-May-1989; dosage = 1.5000 kg.ha-1
* Application to the soil surface at 11-May-1990; dosage = 1.5000 kg.ha-1
* Application to the soil surface at 14-May-1991; dosage = 1.5000 kg.ha-1
* Application to the soil surface at 11-May-1992; dosage = 1.5000 kg.ha-1
* Application to the soil surface at 07-May-1993; dosage = 1.5000 kg.ha-1
* Application to the soil surface at 10-May-1994; dosage = 1.5000 kg.ha-1
* Application to the soil surface at 10-May-1995; dosage = 1.5000 kg.ha-1
* Application to the soil surface at 07-May-1996; dosage = 1.3300 kg.ha-1
* Application to the soil surface at 06-May-1997; dosage = 0.8830 kg.ha-1
* Application to the soil surface at 13-May-1998; dosage = 0.5000 kg.ha-1
* Application to the soil surface at 08-May-1999; dosage = 0.3000 kg.ha-1
* Application to the soil surface at 07-May-2000; dosage = 0.2330 kg.ha-1
* Application to the soil surface at 15-May-2001; dosage = 0.1660 kg.ha-1
* Application to the soil surface at 08-May-2002; dosage = 0.0660 kg.ha-1
* Summary for Dutch registration procedure for compound ATR1
* Molar mass (g.mol-1) : 215.7
* Saturated vapour pressure (Pa) : 0.4E-04; measured at (C) 20.0
* Solubility in water (mg.L-1) : 0.3E+02; measured at (C) 20.0
* Half-life (d) : 60.0; measured at (C) 20.0
* Kom (coef. for sorption on organic matter) (L.kg-1) : 70.0
* Freundlich exponent (-) : 0.90

The maximum average substance concentration in the upper groundwater was 2.112 (ug/L)
The maximum concentration was reached on 24-Mar-1993
The fraction of the dosage leached into the upper groundwater was 1.1077 (%)
The fraction of the dosage volatilized was 0.0003 (%)
The mass content of substance in the plough layer at 365 days after application was 0.0005 (mg.kg-1)
This is equivalent with an areic mass of 0.001219 (kg.ha-1)
```

B4 Poročilo za lahka tla ob polovičnem nanosu atrazina

```
* PEARL REPORT: Header
* Results from the PEARL model (c) RIVM/Alterra
* FOCUS PEARL version : 2.2.2
* PEARL model version : 1.5.8-F2
* SWAP model version : swap209d
* PEARL created on : 16-Jun-2003
*
* Working directory : C:\Program Files\FOCUSPEARL_2_2_2\Database\PearlDB
* Run ID : 11
* Input file generated on : 09-05-2005
*-----
*
* Report_type : Dutch_Registration
* Location : KLECE
* Meteo station : LJUB-M
* Soil type : KLEC-L1_Soil
* Crop calendar : LJUB-KOR
* Substance : ATR1
* Application scheme : nanasanje1
* Irrigation scheme : No
* Deposition scheme : No
*
* End of PEARL REPORT: Header

* PEARL REPORT: Dutch_Registration

* General information:
* Start date : 01-Jan-1989
* End date : 30-Sep-2004
* Target depth : 9.95 m
* Warning: Target depth was set greater than depth of soil profile

* Application schedule:
* Application to the soil surface at 13-May-1989; dosage = 0.7500 kg.ha-1
* Application to the soil surface at 11-May-1990; dosage = 0.7500 kg.ha-1
* Application to the soil surface at 14-May-1991; dosage = 0.7500 kg.ha-1
* Application to the soil surface at 11-May-1992; dosage = 0.7500 kg.ha-1
* Application to the soil surface at 07-May-1993; dosage = 0.7500 kg.ha-1
* Application to the soil surface at 10-May-1994; dosage = 0.7500 kg.ha-1
* Application to the soil surface at 10-May-1995; dosage = 0.7500 kg.ha-1
* Application to the soil surface at 07-May-1996; dosage = 0.7500 kg.ha-1
* Application to the soil surface at 06-May-1997; dosage = 0.7500 kg.ha-1
* Application to the soil surface at 13-May-1998; dosage = 0.7500 kg.ha-1
* Application to the soil surface at 08-May-1999; dosage = 0.7500 kg.ha-1
* Application to the soil surface at 07-May-2000; dosage = 0.7500 kg.ha-1
* Application to the soil surface at 15-May-2001; dosage = 0.7500 kg.ha-1
* Application to the soil surface at 08-May-2002; dosage = 0.7500 kg.ha-1
* Application to the soil surface at 15-May-2003; dosage = 0.7500 kg.ha-1
* Application to the soil surface at 15-Jun-2004; dosage = 0.7500 kg.ha-1
* Summary for Dutch registration procedure for compound ATR1
* Molar mass (g.mol-1) : 215.7
* Saturated vapour pressure (Pa) : 0.4E-04; measured at (C) 20.0
* Solubility in water (mg.L-1) : 0.3E+02; measured at (C) 20.0
* Half-life (d) : 60.0; measured at (C) 20.0
* Kom (coef. for sorption on organic matter) (L.kg-1) : 70.0
* Freundlich exponent (-) : 0.90

The maximum average substance concentration in the upper groundwater was 8.860 (ug/L)
The maximum concentration was reached on 12-Jun-1991
The fraction of the dosage leached into the upper groundwater was 7.0599 (%)
The fraction of the dosage volatilized was 0.0082 (%)
```

B5 Poročilo za lahka in srednje težka tla ob polovičnem nanosu atrazina

* PEARL REPORT: Header
* Results from the PEARL model (c) RIVM/Alterra
* FOCUS PEARL version : 2.2.2
* PEARL model version : 1.5.8-F2
* SWAP model version : swap209d
* PEARL created on : 16-Jun-2003
*
* Working directory : C:\Program Files\FOCUSPEARL_2_2_2\Database\PearlDB
* Run ID : 12
* Input file generated on : 09-05-2005
*-----
*

* Report_type : Dutch_Registration
* Location : KLECE1
* Meteo station : LJUB-M
* Soil type : KLEC-LS1_Soil
* Crop calendar : LJUB-KOR
* Substance : ATR1
* Application scheme : nanasanje1
* Irrigation scheme : No
* Deposition scheme : No
*

* End of PEARL REPORT: Header

* PEARL REPORT: Dutch_Registration

* General information:

* Start date : 01-Jan-1989
* End date : 30-Sep-2004
* Target depth : 10.01 m

* Application schedule:

* Application to the soil surface at 13-May-1989; dosage = 0.7500 kg.ha-1
* Application to the soil surface at 11-May-1990; dosage = 0.7500 kg.ha-1
* Application to the soil surface at 14-May-1991; dosage = 0.7500 kg.ha-1
* Application to the soil surface at 11-May-1992; dosage = 0.7500 kg.ha-1
* Application to the soil surface at 07-May-1993; dosage = 0.7500 kg.ha-1
* Application to the soil surface at 10-May-1994; dosage = 0.7500 kg.ha-1
* Application to the soil surface at 10-May-1995; dosage = 0.7500 kg.ha-1
* Application to the soil surface at 07-May-1996; dosage = 0.7500 kg.ha-1
* Application to the soil surface at 06-May-1997; dosage = 0.7500 kg.ha-1
* Application to the soil surface at 13-May-1998; dosage = 0.7500 kg.ha-1
* Application to the soil surface at 08-May-1999; dosage = 0.7500 kg.ha-1
* Application to the soil surface at 07-May-2000; dosage = 0.7500 kg.ha-1
* Application to the soil surface at 15-May-2001; dosage = 0.7500 kg.ha-1
* Application to the soil surface at 08-May-2002; dosage = 0.7500 kg.ha-1
* Application to the soil surface at 15-May-2003; dosage = 0.7500 kg.ha-1
* Application to the soil surface at 15-Jun-2004; dosage = 0.7500 kg.ha-1

* Summary for Dutch registration procedure for compound ATR1

* Molar mass (g.mol-1) : 215.7
* Saturated vapour pressure (Pa) : 0.4E-04; measured at (C) 20.0
* Solubility in water (mg.L-1) : 0.3E+02; measured at (C) 20.0
* Half-life (d) : 60.0; measured at (C) 20.0
* Kom (coef. for sorption on organic matter) (L.kg-1) : 70.0
* Freundlich exponent (-) : 0.90

The maximum average substance concentration in the upper groundwater was 2.948 (ug/L)

The maximum concentration was reached on 22-Oct-1991

The fraction of the dosage leached into the upper groundwater was 2.5484 (%)

The fraction of the dosage volatilized was 0.0006 (%)

B6 Poročilo za srednje težka tla ob polovičnem nanosu atrazina

* PEARL REPORT: Header
* Results from the PEARL model (c) RIVM/Alterra
* FOCUS PEARL version : 2.2.2
* PEARL model version : 1.5.8-F2
* SWAP model version : swap209d
* PEARL created on : 16-Jun-2003
*
* Working directory : C:\Program Files\FOCUSPEARL_2_2_2\Database\PearlDB
* Run ID : 13
* Input file generated on : 09-05-2005
*-----
*

* Report_type : Dutch_Registration
* Location : KLECE2
* Meteo station : LJUB-M
* Soil type : KLEC-S1_Soil
* Crop calendar : LJUB-KOR
* Substance : ATR1
* Application scheme : nanasanje1
* Irrigation scheme : No
* Deposition scheme : No
*

* End of PEARL REPORT: Header

* PEARL REPORT: Dutch_Registration

* General information:

* Start date : 01-Jan-1989
* End date : 30-Sep-2004
* Target depth : 10.06 m

* Application schedule:

* Application to the soil surface at 13-May-1989; dosage = 0.7500 kg.ha-1
* Application to the soil surface at 11-May-1990; dosage = 0.7500 kg.ha-1
* Application to the soil surface at 14-May-1991; dosage = 0.7500 kg.ha-1
* Application to the soil surface at 11-May-1992; dosage = 0.7500 kg.ha-1
* Application to the soil surface at 07-May-1993; dosage = 0.7500 kg.ha-1
* Application to the soil surface at 10-May-1994; dosage = 0.7500 kg.ha-1
* Application to the soil surface at 10-May-1995; dosage = 0.7500 kg.ha-1
* Application to the soil surface at 07-May-1996; dosage = 0.7500 kg.ha-1
* Application to the soil surface at 06-May-1997; dosage = 0.7500 kg.ha-1
* Application to the soil surface at 13-May-1998; dosage = 0.7500 kg.ha-1
* Application to the soil surface at 08-May-1999; dosage = 0.7500 kg.ha-1
* Application to the soil surface at 07-May-2000; dosage = 0.7500 kg.ha-1
* Application to the soil surface at 15-May-2001; dosage = 0.7500 kg.ha-1
* Application to the soil surface at 08-May-2002; dosage = 0.7500 kg.ha-1
* Application to the soil surface at 15-May-2003; dosage = 0.7500 kg.ha-1
* Application to the soil surface at 15-Jun-2004; dosage = 0.7500 kg.ha-1

* Summary for Dutch registration procedure for compound ATR1

* Molar mass (g.mol-1) : 215.7
* Saturated vapour pressure (Pa) : 0.4E-04; measured at (C) 20.0
* Solubility in water (mg.L-1) : 0.3E+02; measured at (C) 20.0
* Half-life (d) : 60.0; measured at (C) 20.0
* Kom (coef. for sorption on organic matter) (L.kg-1) : 70.0
* Freundlich exponent (-) : 0.90

The maximum average substance concentration in the upper groundwater was 0.922 (ug/L)

The maximum concentration was reached on 03-Jun-2001

The fraction of the dosage leached into the upper groundwater was 0.8168 (%)

The fraction of the dosage volatilized was 0.0003 (%)

B7 Poročilo za lahka tla ob dvojnem nanosu atrazina

```
* PEARL REPORT: Header
* Results from the PEARL model (c) RIVM/Alterra
* FOCUS PEARL version   : 2.2.2
* PEARL model version  : 1.5.8-F2
* SWAP model version   : swap209d
* PEARL created on     : 16-Jun-2003
*
* Working directory    : C:\Program Files\FOCUSPEARL_2_2_2\Database\PearlDB
* Run ID               : 14
* Input file generated on : 09-05-2005
* -----
*
* Report_type        : Dutch_Registration
* Location           : KLECE
* Meteo station      : LJUB-M
* Soil type          : KLEC-L1_Soil
* Crop calendar      : LJUB-KOR
* Substance          : ATR1
* Application scheme : nanasanje2
* Irrigation scheme  : No
* Deposition scheme  : No
*
* End of PEARL REPORT: Header

* PEARL REPORT: Dutch_Registration

* General information:
* Start date        : 01-Jan-1989
* End date          : 30-Sep-2004
* Target depth      : 9.95 m
* Warning: Target depth was set greater than depth of soil profile

* Application schedule:
* Application to the soil surface at 13-May-1989; dosage = 1.5000 kg.ha-1
* Application to the soil surface at 11-May-1990; dosage = 1.5000 kg.ha-1
* Application to the soil surface at 14-May-1991; dosage = 1.5000 kg.ha-1
* Application to the soil surface at 11-May-1992; dosage = 1.5000 kg.ha-1
* Application to the soil surface at 07-May-1993; dosage = 1.5000 kg.ha-1
* Application to the soil surface at 10-May-1994; dosage = 1.5000 kg.ha-1
* Application to the soil surface at 10-May-1995; dosage = 1.5000 kg.ha-1
* Application to the soil surface at 07-May-1996; dosage = 1.5000 kg.ha-1
* Application to the soil surface at 06-May-1997; dosage = 1.5000 kg.ha-1
* Application to the soil surface at 13-May-1998; dosage = 1.5000 kg.ha-1
* Application to the soil surface at 08-May-1999; dosage = 1.5000 kg.ha-1
* Application to the soil surface at 07-May-2000; dosage = 1.5000 kg.ha-1
* Application to the soil surface at 15-May-2001; dosage = 1.5000 kg.ha-1
* Application to the soil surface at 08-May-2002; dosage = 1.5000 kg.ha-1
* Application to the soil surface at 15-May-2003; dosage = 1.5000 kg.ha-1
* Application to the soil surface at 15-Jun-2004; dosage = 1.5000 kg.ha-1
* Summary for Dutch registration procedure for compound ATR1
* Molar mass (g.mol-1)           : 215.7
* Saturated vapour pressure (Pa) : 0.4E-04; measured at (C) 20.0
* Solubility in water (mg.L-1)   : 0.3E+02; measured at (C) 20.0
* Half-life (d)                  : 60.0; measured at (C) 20.0
* Kom (coef. for sorption on organic matter) (L.kg-1) : 70.0
* Freundlich exponent (-)        : 0.90

The maximum average substance concentration in the upper groundwater was 20.451 (ug/L)
The maximum concentration was reached on 09-May-1991
The fraction of the dosage leached into the upper groundwater was 7.9150 (%)
The fraction of the dosage volatilized was 0.0084 (%)
```


B8 Poročilo za lahka in srednje težka tla ob dvojnem nanosu atrazina

* PEARL REPORT: Header
* Results from the PEARL model (c) RIVM/Alterra
* FOCUS PEARL version : 2.2.2
* PEARL model version : 1.5.8-F2
* SWAP model version : swap209d
* PEARL created on : 16-Jun-2003
*
* Working directory : C:\Program Files\FOCUSPEARL_2_2_2\Database\PearlDB
* Run ID : 15
* Input file generated on : 09-05-2005
*-----
*

* Report_type : Dutch_Registration
* Location : KLECE1
* Meteo station : LJUB-M
* Soil type : KLEC-LS1_Soil
* Crop calendar : LJUB-KOR
* Substance : ATR1
* Application scheme : nanasanje2
* Irrigation scheme : No
* Deposition scheme : No
*

* End of PEARL REPORT: Header

* PEARL REPORT: Dutch_Registration

* General information:

* Start date : 01-Jan-1989
* End date : 30-Sep-2004
* Target depth : 10.01 m

* Application schedule:

* Application to the soil surface at 13-May-1989; dosage = 1.5000 kg.ha-1
* Application to the soil surface at 11-May-1990; dosage = 1.5000 kg.ha-1
* Application to the soil surface at 14-May-1991; dosage = 1.5000 kg.ha-1
* Application to the soil surface at 11-May-1992; dosage = 1.5000 kg.ha-1
* Application to the soil surface at 07-May-1993; dosage = 1.5000 kg.ha-1
* Application to the soil surface at 10-May-1994; dosage = 1.5000 kg.ha-1
* Application to the soil surface at 10-May-1995; dosage = 1.5000 kg.ha-1
* Application to the soil surface at 07-May-1996; dosage = 1.5000 kg.ha-1
* Application to the soil surface at 06-May-1997; dosage = 1.5000 kg.ha-1
* Application to the soil surface at 13-May-1998; dosage = 1.5000 kg.ha-1
* Application to the soil surface at 08-May-1999; dosage = 1.5000 kg.ha-1
* Application to the soil surface at 07-May-2000; dosage = 1.5000 kg.ha-1
* Application to the soil surface at 15-May-2001; dosage = 1.5000 kg.ha-1
* Application to the soil surface at 08-May-2002; dosage = 1.5000 kg.ha-1
* Application to the soil surface at 15-May-2003; dosage = 1.5000 kg.ha-1
* Application to the soil surface at 15-Jun-2004; dosage = 1.5000 kg.ha-1
* Summary for Dutch registration procedure for compound ATR1
* Molar mass (g.mol-1) : 215.7
* Saturated vapour pressure (Pa) : 0.4E-04; measured at (C) 20.0
* Solubility in water (mg.L-1) : 0.3E+02; measured at (C) 20.0
* Half-life (d) : 60.0; measured at (C) 20.0
* Kom (coef. for sorption on organic matter) (L.kg-1) : 70.0
* Freundlich exponent (-) : 0.90

The maximum average substance concentration in the upper groundwater was 6.454 (ug/L)

The maximum concentration was reached on 22-Oct-1991

The fraction of the dosage leached into the upper groundwater was 2.7741 (%)

The fraction of the dosage volatilized was 0.0006 (%)

B9 Poročilo za srednje težka tla ob dvojnem nanosu atrazina

```
* PEARL REPORT: Header
* Results from the PEARL model (c) RIVM/Alterra
* FOCUS PEARL version   : 2.2.2
* PEARL model version   : 1.5.8-F2
* SWAP model version    : swap209d
* PEARL created on     : 16-Jun-2003
*
* Working directory    : C:\Program Files\FOCUSPEARL_2_2_2\Database\PearlDB
* Run ID              : 16
* Input file generated on : 09-05-2005
* -----
*
* Report_type       : Dutch_Registration
* Location          : KLECE2
* Meteo station     : LJUB-M
* Soil type         : KLEC-S1_Soil
* Crop calendar     : LJUB-KOR
* Substance         : ATR1
* Application scheme : nanasanje2
* Irrigation scheme : No
* Deposition scheme : No
*
* End of PEARL REPORT: Header

* PEARL REPORT: Dutch_Registration

* General information:
* Start date       : 01-Jan-1989
* End date         : 30-Sep-2004
* Target depth     : 10.06 m

* Application schedule:
* Application to the soil surface at 13-May-1989; dosage = 1.5000 kg.ha-1
* Application to the soil surface at 11-May-1990; dosage = 1.5000 kg.ha-1
* Application to the soil surface at 14-May-1991; dosage = 1.5000 kg.ha-1
* Application to the soil surface at 11-May-1992; dosage = 1.5000 kg.ha-1
* Application to the soil surface at 07-May-1993; dosage = 1.5000 kg.ha-1
* Application to the soil surface at 10-May-1994; dosage = 1.5000 kg.ha-1
* Application to the soil surface at 10-May-1995; dosage = 1.5000 kg.ha-1
* Application to the soil surface at 07-May-1996; dosage = 1.5000 kg.ha-1
* Application to the soil surface at 06-May-1997; dosage = 1.5000 kg.ha-1
* Application to the soil surface at 13-May-1998; dosage = 1.5000 kg.ha-1
* Application to the soil surface at 08-May-1999; dosage = 1.5000 kg.ha-1
* Application to the soil surface at 07-May-2000; dosage = 1.5000 kg.ha-1
* Application to the soil surface at 15-May-2001; dosage = 1.5000 kg.ha-1
* Application to the soil surface at 08-May-2002; dosage = 1.5000 kg.ha-1
* Application to the soil surface at 15-May-2003; dosage = 1.5000 kg.ha-1
* Application to the soil surface at 15-Jun-2004; dosage = 1.5000 kg.ha-1
* Summary for Dutch registration procedure for compound ATR1
* Molar mass (g.mol-1)           : 215.7
* Saturated vapour pressure (Pa)  : 0.4E-04; measured at (C) 20.0
* Solubility in water (mg.L-1)   : 0.3E+02; measured at (C) 20.0
* Half-life (d)                  : 60.0; measured at (C) 20.0
* Kom (coef. for sorption on organic matter) (L.kg-1) : 70.0
* Freundlich exponent (-)        : 0.90

The maximum average substance concentration in the upper groundwater was 2.141 (ug/L)
The maximum concentration was reached on 03-Jun-2001
The fraction of the dosage leached into the upper groundwater was 0.9404 (%)
The fraction of the dosage volatilized was 0.0003 (%)
```

B10 Poročilo za lahka tla ob ocenjenem nanosu metolaklora

```
* PEARL REPORT: Header
* Results from the PEARL model (c) RIVM/Alterra
* FOCUS PEARL version   : 2.2.2
* PEARL model version   : 1.5.8-F2
* SWAP model version    : swap209d
* PEARL created on      : 16-Jun-2003
*
* Working directory     : C:\Program Files\FOCUSPEARL_2_2_2\Database\PearlDB
* Run ID                : 18
* Input file generated on : 16-05-2005
* -----
*
* Report_type          : Dutch_Registration
* Location             : KLECE-LT-MET
* Meteo station        : LJUB-M
* Soil type            : KLEC-LMET_Soil
* Crop calendar        : LJUB-KOR
* Substance            : METO
* Application scheme   : nanasanjeMET
* Irrigation scheme    : No
* Deposition scheme    : No
*
* End of PEARL REPORT: Header

* PEARL REPORT: Dutch_Registration

* General information:
* Start date          : 01-Jan-1989
* End date            : 30-Sep-2004
* Target depth        : 9.95 m
* Warning: Target depth was set greater than depth of soil profile

* Application schedule:
* Application to the soil surface at 13-May-1989; dosage = 1.5000 kg.ha-1
* Application to the soil surface at 11-May-1990; dosage = 1.5000 kg.ha-1
* Application to the soil surface at 14-May-1991; dosage = 1.5000 kg.ha-1
* Application to the soil surface at 11-May-1992; dosage = 1.5000 kg.ha-1
* Application to the soil surface at 07-May-1993; dosage = 1.5000 kg.ha-1
* Application to the soil surface at 10-May-1994; dosage = 1.5000 kg.ha-1
* Application to the soil surface at 10-May-1995; dosage = 1.5000 kg.ha-1
* Application to the soil surface at 07-May-1996; dosage = 1.5000 kg.ha-1
* Application to the soil surface at 06-May-1997; dosage = 1.5000 kg.ha-1
* Application to the soil surface at 13-May-1998; dosage = 1.5000 kg.ha-1
* Application to the soil surface at 08-May-1999; dosage = 1.5000 kg.ha-1
* Application to the soil surface at 07-May-2000; dosage = 1.5000 kg.ha-1
* Application to the soil surface at 15-May-2001; dosage = 1.5000 kg.ha-1
* Application to the soil surface at 08-May-2002; dosage = 1.5000 kg.ha-1
* Application to the soil surface at 09-May-2003; dosage = 1.5000 kg.ha-1
* Application to the soil surface at 10-May-2004; dosage = 1.5000 kg.ha-1
* Summary for Dutch registration procedure for compound METO
* Molar mass (g.mol-1)           : 283.5
* Saturated vapour pressure (Pa) : 0.2E-02; measured at (C) 20.0
* Solubility in water (mg.L-1)   : 0.5E+03; measured at (C) 20.0
* Half-life (d)                  : 114.0; measured at (C) 20.0
* Kom (coef. for sorption on organic matter) (L.kg-1) : 116.0
* Freundlich exponent (-)        : 0.90

The maximum average substance concentration in the upper groundwater was 0.271 (ug/L)
The maximum concentration was reached on 12-Jun-1991
The fraction of the dosage leached into the upper groundwater was 0.0652 (%)
The fraction of the dosage volatilized was 0.0122 (%)
```

PRILOGA C : KARTE

- C1** Pedološka karta Slovenije
- C2** Pedološka karta Slovenije 1:25.000 (Generalizirane talne enote)
- C3** Povprečni pH gornjega horizonta tal
- C4** Povprečni teksturni razred tal
- C5** Povprečna organska snov gornjega horizonta tal
- C6** Povprečna globina tal
- C7** Povprečna distričnost / evtričnost tal