

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:

**Simon Kersnič**

# **Modelna simulacija naravnih in antropogenih vplivov na kakovost reke Krke v zgornjem toku**

**Diplomska naloga št.: 70**

**Mentor:**

izr. prof. dr. Jože Panjan

**Somentor:**

asist. dr. Mario Krzyk

Ljubljana, 26. 10. 2006

## 1 UVOD

Pomen vode kot naravnega bogastva ter za življenje esencialne surovine vse bolj pridobiva na pomenu, kljub temu pa tega v našem odnosu prepogosto ni moč opaziti. Kakovost površinskih ter tudi podzemnih vod se je v preteklem stoletju in pol naglo poslabševala. Predvsem površinski vodotoki so služili in še vedno služijo kot recipienti neočiščenih odpadnih voda, količine le teh pa se zaradi vsesplošnega dviga življenjskega standarda vseskozi povečujejo. Odpadne vode nastajajo zaradi uporabe v tehnoloških procesih, kjer voda služi predvsem kot sredstvo za odstranjevanje nerabnih stranskih produktov ter odvečne toplote. Nadalje nastajajo zaradi transporta nezaželenih snovi iz gospodinjstev, zdravstvenih dejavnosti, šolstva in ostalih družbenih panog ter nenazadnje v kmetijstvu in živinoreje.

Do onesnaževanja vodotokov pa ne prihaja izključno zaradi človeka, pač pa poznamo tudi naravno onesnaževanje. Tu gre za onesnaževanje vodotokov kot posledice procesov odmiranja, preprevanja, razpadanja in gnitja organizmov ter erozije in splakovanja podlage. Seveda imajo naštetih procesi vpliv na onesnaženost vodotokov, vendar praviloma nikoli ne presežejo samočistilne sposobnosti vodotoka. Z izpuščanjem premalo očiščenih odpadnih voda v vodotoke, pa se namreč lahko povzroči nepopravljivo škodo na kakovost vode ter s tem na ekosisteme kot celoto. Reke imajo relativno veliko samočistilno sposobnost, kar pomeni, da se na določeni razdalji od mesta onesnaženja po določenem času očistijo. Vendar pa je onesnaženje, ki ga je predvsem v preteklosti povzročal človek, za mnoge vodotoke preveliko. Danes v naravi praktično ni več čistih voda, z izjemo redkih povirij in manjših potokov.

Z namenom, da bi se to stanje umirilo in izboljšalo, je država v zadnjih desetih letih močno poostrila zakonodajo na tem področju. Z določenimi uredbami in taksami je tako po znanem načelu polluter pays principle – onesnaževalec plača, povzročitelje odpadnih vod prisilila, da le te pred izpustom v odvodnik primerno obdelajo. Rezultati tako stroge države na področju zaščite voda so se v določeni meri že pokazali. V zadnjih letih je bilo moč opaziti izboljšanje kakovosti nekaterih rek, delno na račun zmanjšanja industrije in s tem posledično zmanjšanja količine proizvedenih odpadnih vod, delno pa z izgradnjo čistilnih naprav.

Diplomska naloga je nadgradnja seminarja Naravni in antropogeni vplivi na kakovost recipientov. V seminarju sem z danimi podatki na podlagi izračunov, grobo ocenil vnose

dušika in fosforja na izbranem območju zgornjega toka Krke, ki je segalo od vodomerne postaje Podbukovje do vodomerne postaje Srebrniče. V diplomski nalogi bom območje gorvodno razširil in upošteval tudi izvir Krke ter hkrati vplive zaledja. S programom QUAL2K bom izvedel modelno simulacijo naravnih in antropogenih vplivov na kakovost Krke na tem območju. V simulaciji bom upošteval različne parametre, ki vplivajo na kakovost vode, kot so različne oblike dušika in fosforja, BPK, pH, temperatura vode, raztopljen kisik, itd. Rezultate simulacije bom primerjal z izmerjenimi podatki republiške agencije za okolje (Arso). Primerjava bo služila za oceno funkcionalnosti programa QUAL2K pri ocenjevanju onesnaženja vodnega okolja.

## **2 ONESNAŽEVANJE ODVODNIKOV**

### **2.1 Najpogostejši viri onesnaževanja voda**

Vir onesnaževanja je objekt ali naprava, kjer nastaja in se odvaja odpadna voda v kanalizacijo ali neposredno v vode in ima enega ali več iztokov za odvajanje odpadnih vod. [UL RS, št. 35/96]

Do onesnaževanja vodotokov najpogosteje prihaja zaradi funkcije, ki jo imajo, saj pogosto predstavljajo recipient za odpadne vode.

Najpogostejši viri onesnaženja voda so:

- neposredno onesnaževanje z industrijskimi in komunalnimi odpadnimi vodami,
- odlagališča odpadkov, še posebej neurejena in nenadzorovana,
- kmetijstvo in živinoreja,
- spiranje cestnih površin,
- železniške proge (sredstva za zaščito lesa in preprečevanje rasti plevela),
- padavine, ki vsebujejo raztopljene dimne pline in prašne delce različne sestave,
- nezgodni dogodki,
- posredni vir onesnaženja podtalnice je na odsekih infiltracije v podtalnico tudi površinska voda,
- posredni vir onesnaževanja kraških izvirov je njihovo kraško zaledje. [Zupan M., 1994]

### **2.2 Večji onesnaževalci voda po panogah**

#### **2.2.1 Industrija**

Za prikaz količin in dispozicije iz industrije in drugih vej gospodarstva so pri nas na voljo samo podatki Statističnega urada Slovenije. Iz teh zasledimo podatek o zmanjšanju skupnih letnih količin odpadnih voda v letih od 1980 do 1994, kar je delno, predvsem v osemdesetih letih posledica ukrepov v industriji, v devetdesetih letih pa predvsem splošnega znižanja proizvodnje in ukinitve nekaterih obratov. Najočitnejše je zmanjševanje odpadnih voda v papirni industriji, kjer se je do leta 1994 količina zmanjšala za 65 % glede na leto 1980. Opazno je tudi izredno zmanjšanje količin odpadnih voda v rudarstvu (od 34,6 mio v letu 1980 do 2,5 mio v letu 1995).

Pomembnejša onesnažila vodotokov s strani industrije [ARSO 1]:

- dušikovi oksidi

Večino emisij dušikovih oksidov je iz založništva in tiskarstva, proizvodnje pohištva in drugih predelovalnih dejavnosti in proizvodnje drugih nekovinskih mineralnih izdelkov.

- amoniak

Večino onesnaženja z amoniakom povzroči proizvodnja drugih nekovinskih mineralnih izdelkov. Povzročitelj preostalega onesnaženja je proizvodnja usnja, obutve in usnjenih izdelkov, razen oblačil in proizvodnja kemikalij, kemičnih izdelkov in umetnih vlaken.

- nitritni in nitratni dušik

Daleč največji onesnaževalec vod z  $\text{No}_x$  (vsota nitratnega ( $\text{NO}_3$ ) in nitritnega dušika ( $\text{NO}_2$ )) je proizvodnja kovin in kovinskih izdelkov. Znatno delež prispeva tudi proizvodnja hrane, pijač, krmil in tobačnih izdelkov.

- amonijev dušik

Z amonijevim dušikom ( $\text{NH}_4^+$ ) najbolj obremenjujeta vode proizvodnja usnja, obutve in usnjenih izdelkov, razen oblačil, in proizvodnja kemikalij, kemičnih izdelkov, umetnih vlaken. Znatno delež obremenitev prispevajo tudi odplake iz proizvodnje hrane, pijač, krmil in tobačnih izdelkov ter proizvodnje koksa, naftnih derivatov in jedrskega goriva. Opazen delež pa ima tudi proizvodnja vlaknin, papirja in kartona ter njihovih izdelkov; založništvo in tiskarstvo.

- težke kovine

Največji delež težkih kovin (Zn, Ni, Cu, Cr, Hg, Cd, Pb) v vode prispeva proizvodnja kovin in kovinskih izdelkov, sledijo proizvodnja kemikalij, kemičnih izdelkov, umetnih vlaken in proizvodnja usnja, obutve in usnjenih izdelkov, razen oblačil.

- neraztopljene snovi

Največji onesnaževalec vod z neraztopljenimi snovmi je proizvodnja vlaknin, papirja in

kartona ter njihovih izdelkov; založništvo in tiskarstvo, sledijo pridobivanje energetskih surovin, proizvodnja hrane, pijač, krmil in tobačnih izdelkov, proizvodnja kovin in kovinskih izdelkov, proizvodnja kemikalij, kemičnih izdelkov in umetnih vlaken in proizvodnja usnja, obutve in usnjenih izdelkov, razen oblačil.

\* kemijska potreba po kisiku

Kemijska potreba po kisiku (KPK) je merilo za organsko onesnaženje v površinskih in odpadnih vodah. S kemijsko potrebo po kisiku se določi vse organske snovi, tako da se jih pri določenih pogojih oksidira, iz porabe oksidanta pa se sklepa na količino organskih snovi. Določevanje KPK služi kot dopolnilo ugotavljanju biokemijske potrebe po kisiku (BPK), saj s KPK ne moremo ločiti med biološko razgradljivimi in biološko inertnimi snovmi. BPK pa je množina kisika, ki je potrebna za oksidacijo razgradljivih organskih snovi s pomočjo mikroorganizmov.

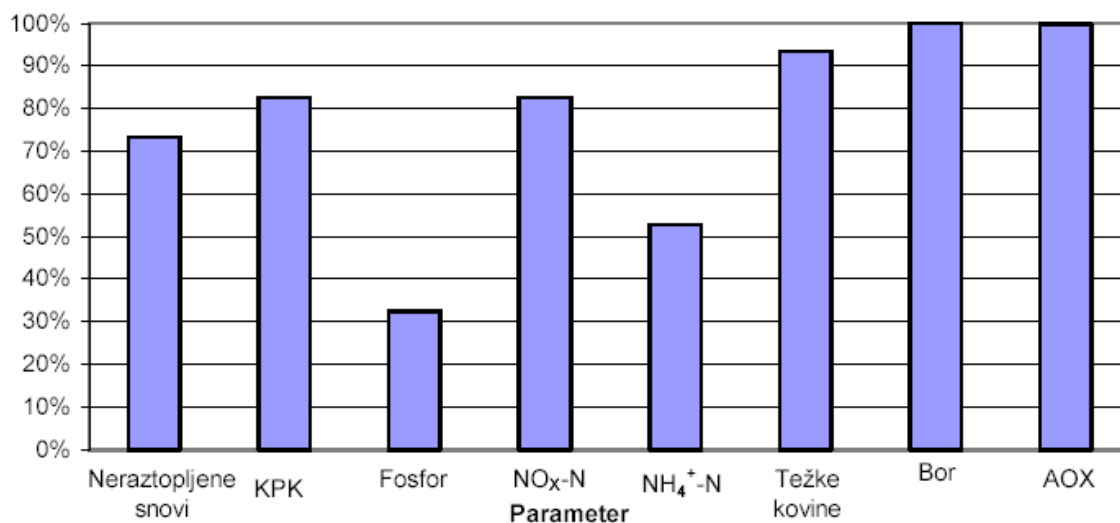
Po KPK je daleč največji onesnaževalec proizvodnja vlaknin, papirja in kartona ter njihovih izdelkov; založništvo in tiskarstvo, sledita proizvodnja hrane, pijač, krmil in tobačnih izdelkov in proizvodnja usnja, obutve in usnjenih izdelkov, razen oblačil. Posamezni deleži drugih vrst dejavnosti so manjši od 5 %.

- fosfor

S fosforjem najbolj obremenjuje vode proizvodnja hrane, pijač, krmil in tobačnih izdelkov. Znatni delež onesnaženja prispevajo tudi proizvodnja vlaknin, papirja in kartona ter njihovih izdelkov; založništvo in tiskarstvo, proizvodnja kemikalij, kemičnih izdelkov, umetnih vlaken, proizvodnja tekstilij, usnjenih oblačil, tekstilnih in krznenih izdelkov in proizvodnja usnja, obutve in usnjenih izdelkov, razen oblačil.

Kot je razvidno iz slike 2.2.1, je industrija v celoti odgovorna za vnose adsorbiranih halogeniranih organskih spojin (AOX), borovih spojin ter težkih kovin v vodotoke. Poleg tega imajo industrijski obrati veliko vlogo tudi pri vnosih nitritnega in nitratnega dušika ter amonijevega dušika ( $\text{NH}_4^+$ ).

V prilogi A je natančno predstavljeno onesnaževanje voda v industriji po dejavnostih in parametrih.



Slika 2.2.1: Deleži onesnaževanja voda iz velikih industrijskih obratov po posameznih parametrih [ARSO 1]

### 2.2.2 Kmetijstvo

Kmetijska zemljišča pokrivajo skoraj 40 % površja Slovenije. Površina vseh kmetijskih zemljišč v uporabi se zmanjšuje in leta 2000 je bila skupna površina 485.879 ha. Kljub zmanjševanju deleža kmetijskih zemljišč v Sloveniji donosi rastejo, kar kaže na povečevanje intenzivnosti kmetijske pridelave. To pa se lahko doseže predvsem z intenzivnejšo uporabo gnojil in zaščitnih sredstev.

Vpliva kmetijstva na pokrajino tudi pri nas ne moremo več zanemariti, saj vpliva na kakovost naravnih virov, biološko raznolikost in je nenazadnje vzrok sprememb v pokrajini. To se odraža tudi na površinskih recipientih odpadnih vod iz kmetijstva. Pri kmetijskem obremenjevanju razlikujemo onesnaževanje iz točkovnih virov (farme, ribogojnice) in iz razpršenih virov – kmetij.

Najpomembnejša usmeritev slovenskega kmetijstva je živinoreja in njen delež je v končni kmetijski pridelavi leta 2000 znašal 72 %. Glavna veja slovenske živinoreje je govedoreja, ki obsega več kot tretjino kmetijske pridelave, 12 % perutninarstvo in 11 % prašičereja. Žal pa največ onesnažene vode nastaja ravno pri živinoreji, in sicer se največje koncentrirane količine odpadne vode pojavljajo pri vzreji bekonov.

Drugi strukturni deleži kmetijske pridelave so za leto 2000 naslednji: 14,1 % poljedelstvo,

7,1 % sadjarstvo in 6,9 % vinogradništvo. Slovenija se tako uvršča med evropske države z najmanjšim deležem kmetijskih in obdelovalnih zemljišč. V sestavi kmetijskih zemljišč v uporabi prevladujejo travniki in pašniki, ki obsegajo 59 % vseh zemljišč, 35 % je njiv in vrtov, 3,4 % je vinogradov, 2 % kmečkih sadovnjakov in 1 % intenzivnih sadovnjakov (SURs, 2001). Najintenzivnejša kmetijska pridelava poteka na njivah, v vinogradih in sadovnjakih, zato so to agrarno najbolj obremenjena območja.

Na teh območjih pa se tako tudi največ uporablja gnojila ter zaščitna sredstva (npr. pesticidi), kar predstavlja veliko nevarnost za onesnaževanje vodotokov. [ARSO 2]

Pomembnejša onesnažila vodotokov s strani kmetijstva [ARSO 2]:

#### - gnojila

Gnojenje je vnašanje rastlinskih hranil, predvsem dušika, fosforja in kalija, z živinskimi ali rudninskimi hranili, blatom čistilnih naprav ali kompostom v tla. V skladu z načeli dobre kmetijske prakse je treba gnojiti tako, da so hranila čim bolj izkoriščena za rast in razvoj rastlin. Takšno gnojenje hkrati zmanjšuje izgubo hranil in s tem povezano izpiranje v vode. Posebej za dušična gnojila velja, da je v naših vremenskih razmerah, ko imamo na splošno veliko padavin, nevarnost izpiranja dušika tudi med rastno dobo zelo velika [Rejec-Brancelj I. 2001]. Z gnojenjem ni dovoljeno vnašati nobenih hranil neposredno v vodna telesa, nujen pa je tudi odmik negnojenelega pasu ob vodni površini. Zakon o vodah tako prepoveduje gnojenje ali uporabo sredstev za varstvo rastlin na priobalnih zemljiščih v tlorisni širini 15 metrov od meje brega voda 1. reda (sem spada tudi Krka) ter 5 metrov od bregov voda 2. reda.

Organska gnojila so gnojila, katerih nastanek je povezan z živo naravo (hlevski gnoj, gnojevka, gnojnica). Sem spadajo tudi rastlinska gnojila, predvsem tako imenovani kompost. Organska gnojila so ponavadi zelo harmonična, bogata z različnimi potrebnimi kemijskimi elementi. Zaradi teh lastnosti je njihova uporaba zelo priporočljiva.

Mineralna gnojila so snovi, ki se dodajajo prstem za izboljšanje rodovitnosti tal, namenjenih za rast kulturnih rastlin. Sestavlja jih eden od treh temeljnih kemijskih elementov (dušik, fosfor, kalij) ali pa različne oblike njihovih mešanic. Večina mineralnih gnojil je danes umetnih, naravna mineralna gnojila pa predstavljajo kalijeve soli, nitrati, ki jih pridobivajo iz sode, fosfati v apnu ter gvano iz ptičjih iztrebkov. V sodobnem, intenzivnem kmetijstvu je s

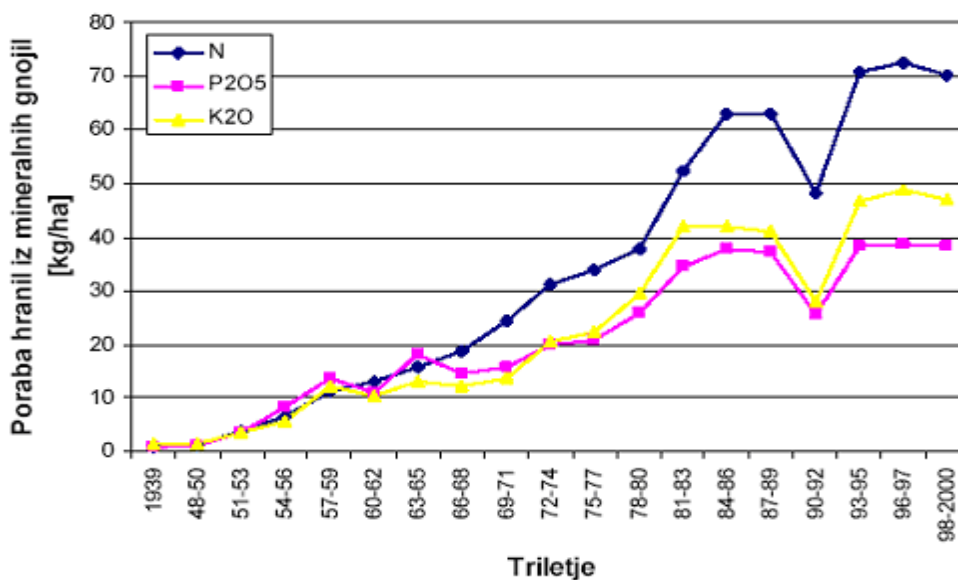


preveliko porabo mineralnih gnojil povezana vrsta problemov kot so siromašenje naravnega rasti in živalstva, večja občutljivost za bolezni in degeneracije, onesnaževanje tekočih voda in podtalnice, povečana eutrofikacija ter rušenje naravnega ravnovesja nasploh. [Rejec-Brancelj I. 2001]

Poraba mineralnih gnojil se je v zadnjih petih letih ustalila in je znašala leta 2000 174.620 ton. Zaradi zmanjšanja kmetijskih zemljišč v uporabi se je zmanjšala tudi poraba na hektar obdelovalnih zemljišč in je tako znašala 397 kg/ha.

Poraba rastlinskih hranil (N, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> in K<sub>2</sub>O) na hektar obdelovalnih zemljišč je leta 2000 znašala 148 kg/ha in je Slovenijo uvrščala med manjše porabnike v Evropi. Na hektar kmetijskih zemljišč v uporabi je bilo porabljenih 68 kg N, 36 kg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> in 43 kg K<sub>2</sub>O. V strukturi torej prevladujejo dušična hranila, ki obsegajo 45 % vseh vnosov. Poraba dušika je od leta 1990 s 27.169 ton narasla na 34.847 ton, vendar se je v zadnjih letih ustalila.

Letni vnos dušika z živalskimi gnojili je omejen na 210 kg/ha, s 1. 1. 2003 pa je začela veljati nova mejna vrednost, in sicer 170 kg/ha, kot to določajo tudi direktive EU. [ARSO 2]

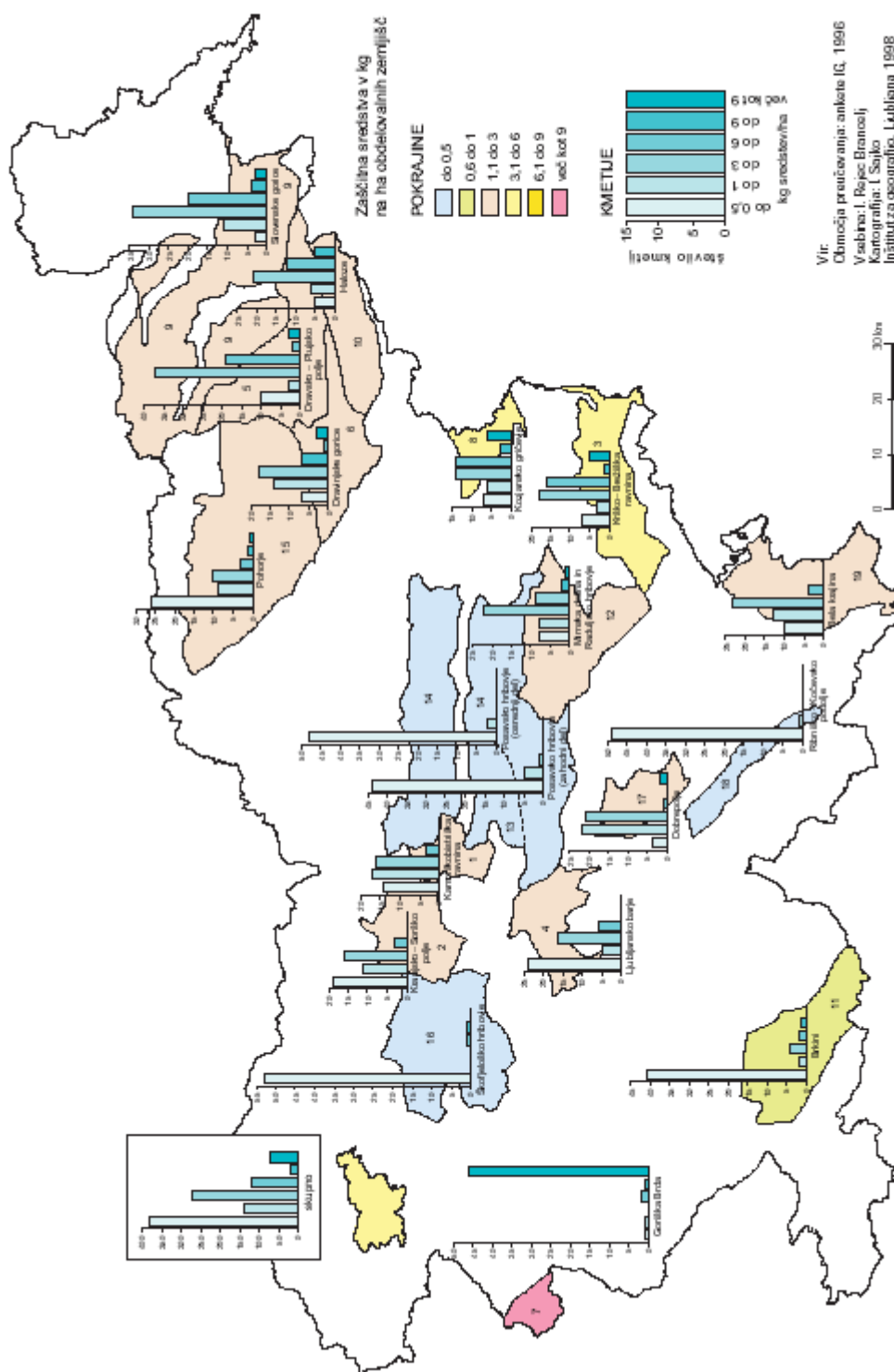


Slika 2.2.2.1: Poraba hranil iz mineralnih gnojil v Sloveniji od leta 1939 do 2000 [ARSO 3]

- sredstva za varstvo rastlin

Pesticidi se uporabljajo za zatiranje škodljivih organizmov, plevela in bolezni na gojenih rastlinah. Naravna sredstva za varstvo rastlin so tista, ki jih ustvarjajo rastline in so strupena za živali. Sintetična ali kemična sredstva za varstvo rastlin pa se delijo na fungicide, herbicide in insekticide. [Rejec-Brancelj I. 2001]

Poraba sredstev za varstvo rastlin se v zadnjih letih še vedno večja, s 1495 ton leta 1995 na 1602 ton v letu 2000. Skupna poraba teh sredstev v uporabi je znašala 3,1 kg/ha kmetijskih zemljišč. Več kot polovico količine uporabljenih sredstev obsegajo fungicidi in baktericidi (55 %), 27 % je herbicidov, 12 % insekticidov in 6 % drugih sredstev. Leta 2001 je bilo v Sloveniji 215 aktivnih snovi v registriranih fitofarmaceutskih sredstvih. Poleg uporabljenih količin je pomemben tudi način nanosa teh sredstev. [ARSO 2]



Slika 2.2.2.2: Porabljena količina sredstev za varstvo rastlin v kg na hektar obdelovalnih zemljišč na kmetijah [ARSO 2]

### \* **Gozd**

Gozdne površine se ponekod vodijo v sklopu kmetijskih površin, ponekod pa predstavljajo ločeno kategorijo.

Odtok iz gozdnih površin vsebuje približno devet krat manjše koncentracije nitratov in fosfatov, če ga primerjamo z odtoki iz kmetijskih površin. Kvaliteta vode, ki odteka z gozdnih površin je navadno zelo dobra, vendar pa lahko različne metode gospodarjenja s temi površinami negativno vplivajo na odtok. Izgradnja gozdnih cest ter prekomerna sečnja vplivajo na količino trdnih delcev v odtoku s teh površin. Prav tako pa intenzivno pogozdovanje z dodajanjem nutrientov slabo vpliva na kvaliteto odtoka iz teh površin in končno tudi na kvaliteto odvodnika.[Binkley D., 1998]

### **2.2.3 Promet**

Onesnaženje s cestnih površin je zelo težko ocenjevati in nadzirati, saj gre za netočkovni vir onesnaženja. Razdelimo ga na stalno onesnaženje, kot posledico prometa, ki se vsakodnevno odvija po cesti ter na katastrofalno onesnaženje, do katerega pride ob prometnih in ostalih nesrečah in ima za posledico razlitje nevarnih snovi ipd. Količina in tip onesnaževal je odvisna od različnih dejavnikov, kot je tip cestne površine, gostota prometa, karakteristike cestne površine, vzdrževanje cestišča ter raba obcestnega prostora.

Padavinska voda, ki jo je potrebno pred izpustom v recipient očistiti navadno prihaja iz cest, ki so blizu ali v samem centru mest. Pri tem se pojavlja problem, ker na tem področju navadno ni prostora za objekte, kjer bi se ta voda očistila [Aldheimer G., 2003].

Velik vpliv ima tudi odtok vode iz prometnih površin v zimskih mesecih. V snežnih razmerah je namreč najpomembneje zagotoviti čim varnejše razmere na cestah. To pa se doseže z uporabo mešanic soli in različnih kemikalij, kar pospeši topljenje ledu in snega oziroma izboljša samo oprijemljivost pnevmatik vozil s cestiščem. Seveda ima to velik vpliv na kvaliteto odtoka in s tem na kvaliteto odvodnika [Bartošova H., 2003]. Rezultati analiz namreč kažejo na povečane koncentracije suspendiranih snovi, svinca, bakra in kadmija v obdobju taljenja snega v primerjavi s padavinskim odtokom ko ni snega. Najvišje koncentracije teh snovi pa so bile izmerjene ravno v obdobju, ko je dež padal na snežno podlago. Izmerjeno je bilo tudi, da je koncentracija celotnih suspendiranih snovi v odtoku 3-krat večja v obdobju topljenja snega.[Westerlund C., 2003]

Največji vpliv na onesnaženje imajo prav gotovo ceste višjega ranga, predvsem avtoceste, ki zavzemajo večji prostor in imajo večjo gostoto prometa. Iz tega razloga se v današnjih časih onesnažene padavinske vode z avtocest, kontrolirano izpušča preko zadrževalnih bazenov.

### **2.3 Vrste odpadnih voda**

Uredba o emisiji snovi in toplote pri odvajanju odpadnih voda iz virov onesnaževanja v 2. členu določa pojem odpadne vode »*Odpadna voda je voda, ki se po uporabi ali kot posledica padavin onesnažena odvaja v vode neposredno ali po kanalizaciji*«. Odpadna voda je lahko komunalna odpadna voda, tehnološka odpadna voda ali padavinska odpadna voda.

#### **2.3.1 Komunalne odpadne vode**

Komunalne odpadne vode so tiste, ki nastajajo v bivalnem okolju zaradi uporabe vode v gospodinjstvu in za sanitarne namene. Sem spadajo tudi vode, ki nastajajo v objektih v javni rabi ter v proizvodnih in storitvenih dejavnostih, če so po nastanku in sestavi podobne vodi po uporabi v gospodinjstvih.[UL RS, št. 35/96]

Komunalna odpadna voda je tudi tehnološka odpadna voda, katere povprečni dnevni pretok ne presega 15 m<sup>3</sup>/dan in letna količina ne presega 4000 m<sup>3</sup>, hkrati pa obremenjevanje vode na presega 50 PE (polucijski ekvivalent) in letna količina nobene od nevarnih snovi ne presega količine za nevarne snovi, kot je to določeno v prilogi Uredbe o emisiji snovi in toplote pri odvajanju odpadnih voda iz virov onesnaževanja.[UL RS, št. 35/96]

Največji delež pri komunalnih odpadnih vodah ima torej tako imenovana hišna odpadna voda, ki prihaja iz različnih izvorov:

- odtok iz kuhinj,
- pranje perila, sanitarije,
- čiščenje prostorov, predmetov vseh vrst,
- vsakdanja raba,
- zunanje zgradbe in pripadajoče površine,
- gostinstvo, šole, vojašnice, obrtni prostori.[Panjan J.(# 1), 1999]

Hišna odpadna voda ima povprečno temperaturo med 10 – 20 °C, nižjo pozimi in višjo poleti. Pri izpustih v odvodnik moramo zelo paziti na temperaturo odpadne vode. Ta naj bi znašala

okrog 30 °C, višje temperature pa niso dovoljene, ker zvečajo porabo kisika. Sveža odpadna voda iz hiš ima rahel zadušljiv, zatohel, trohneč vonj, če pa pride še do razkrajanja pa imamo vonj po gnilih jajcih. Hišna odpadna voda ima svetlo sivo barvo, medtem ko je črna siva do črna značilna za razpadajočo vodo.[Panjan J.(# 1), 1999]

### **2.3.2 Tehnološke odpadne vode**

Tehnološke odpadne vode so vode, ki nastajajo pri uporabi v industriji, obrti ali obrti podobni, gospodarski ali kmetijski dejavnosti. Po nastanku ta voda ni podobna komunalni odpadni vodi. Med tehnološke odpadne vode se šteje tudi zmes tehnološke odpadne vode s padavinsko ali komunalno vodo ali obema, če se pomešane odvajajo po skupnem iztoku neposredno v vode ali kanalizacijo.[UL RS, št. 35/96]

Tehnološke odpadne vode so tudi hladilne in izcedne vode, ki se zbirajo in odtekaajo iz objektov in naprav za predelavo, skladiščenje ali odlaganje odpadkov.

Danes obstaja veliko število različnih tehnoloških odpadnih vod, ki se delijo v niz podtipov v odvisnosti od tehnologije proizvodnje.

Tehnološke odpadne vode ponavadi vsebujejo naslednje snovi:

- snovi, ki se oksidirajo kot kemijska potreba po kisiku,
- fosfor,
- dušik,
- organske halogene spojine kot adsorbirani organsko vezani halogeni,
- živo srebro in njegove spojine, izražene kot Hg,
- kadmij in njegove spojine, izražene kot Cd,
- krom šestvalentni in njegove spojine, izražene kot Cr (VI),
- nikelj in njegove spojine, izražene kot Ni,
- svinec in njegove spojine, izražen kot Pb,
- baker in njegove spojine, izražen kot Cu,
- strupene snovi za vodne bolhe.[UL RS, št. 35/96]

Sestava in količina industrijskih odpadnih vod je odvisna od tehnoloških postopkov in jo delimo na biološko razgradljivo in biološko nerazgradljivo. Poleg odpadnih vod, ki nastajajo v tehnoloških postopkih, se med industrijske odpadne vode uvršča tudi odpadna voda iz

sanitarij, ki pripadajo industrijskemu kompleksu. Količina le te je praviloma zanemarljiva glede na celotno odpadno vodo iz tehnoloških postopkov.

Primesi v industrijski odpadni vodi so lahko strupene, zato se emisija snovi in toplote določa na iztoku iz vira onesnaževanja pred njenim mešanjem s komunalnimi, padavinskimi ali drugimi vodami. Vse nevarne in strupene snovi mora industrija sama očistiti do stopnje, ki ni nevarna kanalizacijskemu sistemu in biološkim komunalnim čistilnim napravam. [Panjan J.(# 1), 1999]

### **2.3.3 Padavinske odpadne vode**

Padavinske odpadne vode so vode, ki kot posledica padavin odtekajo iz utrjenih, tlakovanih ali z drugim materialom prekritih površin neposredno ali po kanalizaciji v vode ali v tla. Vsebujejo predvsem mehanske nečistoče. [UL RS, št. 35/96]

## **2.4 Odvodnjavanje onesnaženih voda**

Odvodnja onesnaženih voda iz naselij zajema odvod odpadne vode iz gospodinjstev in industrije, zelo pomembna pa je tudi odvodnja padavinskih vod. V naseljih se danes v glavnem stremi k čim bolj celovitem reševanju problemov odvajanja onesnaženih voda. Gre za tako imenovano urbano odvodnjo, ki zajema ustrezen kanalizacijski sistem z zaključkom na komunalni čistilni napravi. Šele potem sledi odvod primerno prečiščene odpadne vode v odvodnik. [Panjan J.(# 2), 1999]

Sistemi za odvodnjavanje onesnaženih voda se delijo na:

1. mešani kanalizacijski sistem – kanalizacijski sistem je skupen za odpadno in padavinsko vodo, gradijo se razbremenilniki, zadrževalni bazeni in komunalne čistilne naprave,
2. ločeni kanalizacijski sistem – ločeno (vsaka v svojem sistemu) se odvodnjavata odpadna voda in padavinska voda in gradijo se čistilne naprave za odpadno vodo in ločeno tudi za padavinsko. [Panjan J.(# 2), 1999]

V skladu s sanitarno zdravstveno zaščito mora imeti odpadna voda predpisane lastnosti preden se jo lahko priključi na kanalizacijski sistem. Predpisi so določeni s pravilniki upravljalca javne kanalizacije. Načeloma omejitve zajemajo naslednje parametre in lastnosti:

- temperatura vode ne sme presegati 25 °C,
- kislost in alkalnost, t.j. pH vrednost, mora biti v nevtralnem področju med 6 in 8,5,
- ne sme vsebovati peska in drugih abrazivnih snovi,
- ne sme vsebovati strupenih in nevarnih snovi, ki bi ogrožale kanale in procese presnove v kanalu in na čistilni napravi,
- ne sme vsebovati gorljivih ali eksplozivnih snovi,
- ne sme vsebovati usedljivih in plavajočih snovi, ki bi mašile kanalsko mrežo,
- ne sme vsebovati tenzidov (zgornja meja je 2 mg/l TBS),
- ne sme vsebovati lepljivih, barvastih ali radioaktivnih snovi,
- upoštevati moramo omejitve glede na izvor odpadne vode (bolnišnice, nevarne obrti, po vrstah industrije itd. v skladu z uredbami).[Panjan J.(# 2), 1999]

#### **2.4.1 Odvodnja padavinskih vod**

Padavinskim vodam je potrebno posvetiti posebno pozornost pri odvodnjevanju onesnaženih vod iz naselij. Padavinskim vodam je namreč treba prilagoditi zasnovo kanalizacijskega sistema. V preteklosti se je pogosto dogajalo, da je ostal odvod padavinskih vod nerešen oziroma se je ta voda priključila na sistem za odvajanje odpadnih voda. To je povzročilo preobremenitev sistema in prihajalo je do poplavljanja nižje ležečih etaž ter tudi do hidravlične preobremenitve in porušanja delovanja čistilnih naprav.

Pri načrtovanju odvodnje padavinske vode je potrebno upoštevati veliko parametrov, kot so količina padavin, intenziteta naliva, trajanje odtoka, itd. Eden od bistvenih parametrov pa je koeficient odtoka, ki nam podaja razmerje med količino dežja, ki odteče v kanal in količino, ki je padla na prispevno področje. Zato je zelo pomembno tudi poznavanje lastnosti prispevnih površin, še zlasti deleža neprepustnih površin. Vedeti moramo, da je lahko celotni odtekli volumen padavinske vode na urbaniziranih področjih, kjer je teh površin več, nekajkrat večji v primerjavi z odteklo vodo iz kmetijskih področij, kjer voda lahko bolj ponika v tla.[Panjan J.(# 2), 1999]

Po določenem trajanju naliva se prične površinski odtok. V kolikor gre za odtok iz prispevnih površin, ki niso onesnažene, je to vodo potrebno kar najhitreje odvesti do najbližjega



odvodnika. Drugače pa je s padavinsko vodo, ki odteče iz onesnaženih prispevnih površin. Ta voda je v prvih minutah odtoka močno onesnažena, še zlasti če so se padavine pojavile po daljšem sušnem obdobju. Zato moramo to vodo nujno odvesti na čistilno napravo, preden jo izpustimo v odvodnik. V nasprotnem primeru lahko onesnažena padavinska voda močno poslabša kakovost odvodnika.[Panjan J.(# 2), 1999]

Odvodnjavanje in čiščenje odpadnih in padavinskih voda, ki so onesnažene je potrebno načrtovati v interesu celovitega varovanja – zaščite voda znotraj porečij ali morja.

## **2.5 Izpust odpadnih voda v recipient**

Dejstvo je, da izpusti odpadnih voda v vsakem primeru povzročijo poslabšanje stanja odvodnika oziroma recipienta. Zato mora vsekakor biti glavno vodilo pri izpustih odpadne vode v recipient, da ta voda ne ogroža dolvodno ležečih potrošnikov.[Panjan J., 2002]

Zakonodaja RS to področje podrobneje ureja z:

- Uredbo o emisiji snovi in toplote pri odvajanju odpadnih voda iz virov onesnaževanja [UL RS št. 35/96] in
- Pravilnikom o prvih meritvah in obratovalnem monitoringu odpadnih vod ter o pogojih za njegovo izvajanje.[UL RS št. 35/96]

Uredba za vire onesnaževanja določa mejne vrednosti emisij snovi in toplote pri izpustih odpadnih voda v recipiente. Vsebuje tudi prepovedi, prekrške in kazni, katere doletijo kršitelje, ki ne spoštujejo zakonodaje.

Pravilnik pa določa vrste parametrov odpadnih vod, ki so predmet emisijskega monitoringa, metodologijo vzorčenja in merjenja teh parametrov in nenazadnje vsebino poročila o emisijskem monitoringu.

Preden se lahko začne izpuščanje odpadne vode v odvodnik, je potrebno izvesti ustrezne študije vplivov na okolje, ki so nepogrešljive za varstvo hidrosfere kot celote. Preveriti je potrebno vpliv dotočnih količin na dvig vodostaja in biokemijske obremenitve.

Priključevanje in razbremenjevanje odvodnih kanalov v različne odvodnike – recipiente lahko namreč povzroči njihovo preobremenjenost tako glede hidravlične zmogljivosti kot glede na minimalni pretok – biološki minimum. Poleg tega imajo izpusti vpliv tudi na biokemijske

pogoje in lahko povzročijo pomanjkanje kisika, prekoračene suspendirane snovi idr., kar je posebno občutljivo v poletnih mesecih po daljšem sušnem obdobju in pri močnih nalivih. Zelo pomembna je tudi ocenitev samočistilne sposobnosti površinskega odvodnika, ki jo ljudje izkoriščamo za vključevanje odpadne vode v naravni krogotok. Vsak vodotok ima namreč neko svojo samočistilno sposobnost. Onesnaženje v vodi se v naravnem okolju, po določeni pretečeni razdalji in v določenem času očisti. Seveda to onesnaženje ne sme preseči samočistilne sposobnosti, ki jo vodotok ima. Pojav samočistilne sposobnosti oziroma avtopurifikacije vodotokov je podrobneje predstavljen v naslednjem poglavju.[ARSO 5]

### 3 SAMOČISTILNI PROCESI V ODVODNIKU

Pod pojmom samočistilna sposobnost odvodnika razumemo predvsem kompleksen sistem fizikalnih, kemijskih in bioloških procesov, ki vodijo do razkroja organskih snovi v vodi in vračanja produktov razgradnje v kroženje. Samočiščenje je torej mehanizem, ki v naravnem vodnem okolju povezuje vse dejavnike in okoliščine pri ravnotežnem optimumu in v katerem potekajo energetske in snovne spremembe.

S tem ko pride do onesnaženja v vodotoku, se prične proces samočiščenja. Do onesnaženja pa lahko pride po naravni poti (odmiranje, preprevanje, razpadanje, gnitje v naravi, erozija), bolj nevarno pa je umetno oziroma antropogeno onesnaženje, ki ga s svojimi dejavnostmi povzroča človek. Mehanizem samočiščenja v naravi se ne spreminja, glede na vrsto onesnaženja. Tako ločimo biološko samočiščenje in nebiološko samočiščenje. [Panjan J.(# 3), 1999]

#### 3.1 Biološko samočiščenje

Biološko samočiščenje je za kroženje snovi in tudi energije v vodnem okolju, najpomembnejši proces. V tem procesu sodelujejo vse populacije ekosistema, ki jih po njihovih dejavnostih razdelimo na:

- proizvajalce (producente),
- potrošnike (konzumente) in
- razgrajevalce (destruente).

Razgradljive snovi se razgrajujejo vse do anorganskih spojin, ki jih organizmi vgrajujejo v celice, tkivo, telo in izločke (v novo biomaso). Ločimo popolno biološko samočiščenje in nepopolno biološko samočiščenje. Praviloma v vodnem okolju potekata obe obliki. Popolno biološko samočiščenje se odvija le v aerobnem okolju ter ob sodelovanju sončnega sevanja, kisika in hranil. Pripelje do popolne razgradnje oziroma do anorganskih snovi – mineralizacije. Na splošno velja, da je aerobni razkroj hitrejši in da poteka brez slabega vonja v nasprotju z anaerobnim, kjer se pojavljajo vmesni produkti, kot so vodikov sulfid, amoniak, metan in nizko molekularne maščobne kisline.

Odsotnost ene skupine organizmov v biološki ruši, praviloma so to proizvajalci, onemogoči popolno biološko samočiščenje. Zato pride le do nepopolnega biološkega samočiščenja. Proizvajalce izloča odsotnost sončnega sevanja in/ali raztopljenega kisika na primer v notranjosti usedlin pa tudi v podzemnih vodah. V anaerobnem okolju pride le do razgradnje nizkomolekularnih spojin.

Biološko samočiščenje je zelo zapleteno in igra nenadomestljivo vlogo v vodnem okolju. Populacije v vodnem okolju se nenehno porajajo in odmirajo, biološko samočiščenje pa odmiranje in rojevanje povezuje. Posledica je čistost in dobra kakovost vode v naravnem vodnem okolju, ki zagotavlja ugodne življenjske razmere. [Panjan J. (# 3), 1999]

Osnovni nosilci biološkega čiščenja so:

#### - Bakterije

Bakterije so zelo majhni, relativno enostavni enocelični organizmi, ki veljajo za enega od glavnih nosilcev biološkega čiščenja. Glede na obliko so zelo raznolike, od kroglastih, paličastih, spiralnih, do bakterij posebnih oblik. Razmnožujejo se z delitvijo na dve enaki hčerinski celici, nimajo pravega jedra in so po večini brez klorofila. Glede na potrebo po kisiku ločimo tri glavne skupine bakterij. Aerobne bakterije so dejavne le v okolju, kjer je prisoten kisik in ga nekatere odtegujejo spojinam, ki so bogate s kisikom (nitrati). Organsko snov razkrajajo in tako nastajajo nove celične substance ter produkti mineralizacije. V pogojih, kjer je kisika manj, delujejo fakultativno aerobne bakterije, in sicer tako, da prilagodijo svoj način delovanja glede na razmere. Ta skupina bakterij organske snovi ne oksidira več v celoti, ampak le delno. Za obligatne anaerobne bakterije pa je raztopljeni kisik toksičen, organsko snov razgradijo le še do relativno energetsko bogatih kislin in alkoholov.

#### - Praživali

Praživali so živalski enocelični eukariontski organizmi, ki imajo že pravo jedro (eno ali več). Glede na njihovo zgradbo poznamo razmeroma enostavne oblike (amebe) pa tudi zelo diferencirane (paramecij). Po velikosti so še vedno mikroskopsko majhni, vendar so bistveno večji od bakterij. Razmnožujejo se z razpolavljanjem, čas delitve pa je odvisen od količine in načina pridobivanja hrane. Prehranjujejo pa se z organsko substanco, razen parazitskih oblik in zelenih bičkarjev.

- Nižje rastline

Nižje rastline imajo celice, ki vsebujejo barvne strukture imenovane kromatofore. Ker vsebujejo klorofil, imajo možnost zajemanja svetlobne energije, ki jo pretvorijo v kemično vezano energijo. Značilno za nižje rastlinske vrste je, da so vezane na zelo določene življenjske pogoje kot so intenziteta svetlobe, navzočnost ali pomanjkanje določenih hranilnih snovi, itd.. Zlasti pomemben je ogljikov dioksid, ki ga lahko privzemajo v različnih oblikah in voda.

- Večcelične živalske in rastlinske oblike

Višje živalske in rastlinske vrste lahko v procesu samočiščenja delujejo neposredno, ali kot del prehranske verige. Pomembno vlogo imajo tudi kot indikatorji določene ekološke situacije. Med živalskimi oblikami so pomembni predvsem črvi in insekti, zlasti ličinke insektov, ki živijo v vodi, medtem ko so višje razvite rastlinske vrste pomembne kot indikatorji stanja, ali pa kot porabniki določenih komponent hranil.

### **3.2 Nebiološko samočiščenje**

K nebiološkemu samočiščenju prištevamo predvsem naslednje fizikalne procese:

- razredčenje,
- mešanje,
- usedanje in plavljenje,
- precejanje,
- izmenjava plinov z navzemanjem iz zraka.

Kemijski procesi, ki jih prištevamo k nebiološkemu samočiščenju pa so:

- oksidacija-redukcija ter
- obarjanje (precipitacija)

in so odvisni od stopnje nasičenosti (saturacije) s kisikom in pH vrednosti.[Panjan J.(# 3), 1999]

### - Razredčenje

Pri razredčenju gre za razmerje med pretokoma rečne in odpadne vode. Stopnja razredčenja odpadne vode z vodo v vodotoku je tako najbolj preprost način za ugotovitev potrebnega postopka čiščenja odpadne vode, preden le to spustimo v odvodnik.

Iz tabele 1 je po Imhoffu razvidno, kateri so potrebni načini čiščenja, glede na posamezne stopnje razredčenja. Kot kriterij so privzete koncentracije na iztoku iz usedalnika 150 mg/l suspendiranih snovi, 60 mg/l jih ostaja po izkosmičenju, po biološkem čiščenju pa 30 mg/l. Pri biološkem čiščenju naj bo iztok 20 mg/l BPK<sub>5</sub> (II. stopnja čiščenja), pri tem se ne upošteva zatečenega stanja v vodotoku zaradi gorvodne onesnaženosti. Ti kriteriji so se še poostri, tako da danes prehajajo že na III. stopnjo čiščenja oziroma nitrifikacijo in denitrifikacijo. Dejstvo pa je, da nam stopnja razredčenja ne pove ničesar o obremenitvi vodotoka.

Tabela 1: Vrsta čiščenja glede na razredčenje [Panjan J.(# 3), 1999]

razredčenje	vrsta čiščenja
nad 1:500	grablje in peskolovi
1:500 do 1:300	usedalniki
1:300 do 1:150	usedalniki z izkosmičenjem
pod 1:150	polno biološko čiščenje

### - Mešanje

Mešanje je odvisno:

- od hitrosti vtoka odpadne vode,
- hitrosti toka odvodnika,
- razlike med gostoto odpadne vode in vode odvodnika.

Pri tem velja, da je premešanje čiste in onesnažene vode hitrejše, čim bolj turbolenten je tok oziroma čim hitrejši je tok. Velja pa tudi obratno, in sicer, da se mešanje odvija počasneje pri laminarnem oziroma počasnem toku.

$$Q_r \cdot C_r + Q_p \cdot C_p = Q_m \cdot C_m \quad \dots 3.2.1$$

$$C_m = \frac{(Q_r \cdot C_r + Q_p \cdot C_p)}{Q_m} \quad \dots 3.2.2$$

$Q_r$  – dotok rečne vode v [ $m^3/s$ ], [l/s]

$C_r$  – koncentracija odpadnih snovi v rečni vodi v [mg/l]

$Q_p$  – dotok odpadne vode v [l/s]

$C_p$  – koncentracija odpadnih snovi v dotoku odpadne vode v [mg/l]

$Q_m$  – vsota pretoka rečne in odpadne vode v [ $m^3/s$ ], [l/s]

$C_m$  – koncentracija odpadnih snovi v odvodniku po premešanju v [mg/l]

Največkrat nas zanima koncentracija odpadnih snovi v odvodniku po premešanju ( $C_m$ ). Iz podanih enačb je razvidno, da je koncentracija tem manjša, čim večja je razlika med količino čiste rečne vode in odpadne vode, ki priteka vanjo. Poudariti pa je treba, da se celokupna masa snovi po premešanju ne spremeni, temveč se samočistilni procesi v odvodniku le pospešujejo. [Panjan J. (# 3), 1999]

#### - Usedanje in plavljenje

Pri usedanju (sedimentaciji) in plavljenju (flotaciji), se odstranjujejo nerazgradljive usedljive in delno koloidne snovi. Te snovi pridejo v vodotok z izpiranjem kopnega, praha v ozračju ter z biološko razgradnjo v vodotoku samem in jih opazimo kot motnost oziroma kalnost vodotoka. To pojav je predvsem očiten v času povišanih vodostajev. Ko se vodostaj zniža, se posledično zmanjša hitrost toka, kar povzroči, da se delci ustreznih velikosti in gostote popolnoma usedejo. Naravna kalnost ne prizadene življenjskih združb.

#### - Filtracija in precejanje

Filtracija oziroma precejanje imata kot fizikalni proces nebiološkega samočiščenja, večji pri podzemnih vodah, kot pri površinskih vodotokih. Proces je predvsem pomemben pri čiščenju podtalnice. Poleg tega pa sta filtracija in precejanje pomembni za tisti del odvodnika, kjer imamo prodnato dno. Voda namreč pronica skozi prodno dno, pri tem pa se delci zadržijo v porah, v odvisnosti od njihove velikosti. Tu pa se odvijajo tudi adsorpcijski in adhezijski procesi.

#### - Izmenjava plinov in navzemanje kisika

Voda iz zraka navzema kisik in druge pline, v odvisnosti temperature, nadmorske višine in že raztopljenih snovi v vodi. Navzemanje se ustavi, ko je stopnja nasičenosti (saturacije) vode s

plini sto procentov, sama intenziteta navzemanja pa je odvisna od deficita (primanjkljaja kisika). Plini se v vodi prenašajo predvsem z difuzijo.

#### - Kemijski procesi

Za procese samočiščenja so najpomembnejši kemijski procesi hidroliza, oksidacija in redukcija. Ti procesi so predvsem odvisni od stopnje nasičenja s kisikom in pH vrednosti. Pomembna je oksidacija železa in mangana, pri čemer se trovalentno železo hidrolizira v železov hidroksid, ki se useda na dno odvodnika. Zelo pomembni so tudi kemijski procesi pri navzemanju fosforja pri procesu fotosinteze, kjer se fosfor v obliki fosfata v primeru, če voda vsebuje trivalentno železo, izloča kot železov III fosfat na dno jezer ali odvodnika. [Panjan J.(# 3), 1999]

K spoznavanju samočistilnega mehanizma v vodotokih je največ prispevalo umetno biološko čiščenje odpadnih voda. V naravi so časi, potrebni za razgradnjo razgradljivih snovi do mineralizacije, zelo različni. Odvisni so od temperature, kemijske sestave in drugih dejavnikov. V grobem delimo razgradljive snovi v lahke in težje razgradljive. Lahko razgradljive snovi se razgradijo približno v dveh dneh. Težko razgradljive snovi se lahko razgrajujejo tudi mesece in več in celo leta (usedline v anaerobnem okolju).

V vodnem okolju so praviloma lahke in težje razgradljive snovi pomešane in se razgrajujejo v aerobnih in anaerobnih razmerah. Zato je razgradnja glede na umetno biološko čiščenje, kjer se ti procesi odvijajo v ugodnejših razmerah, vedno dolgotrajnejša prav zaradi te povezave s težje razgradljivimi snovmi in anaerobnega okolja v usedlinah. Ti procesi so najpočasnejši v stoječih vodah.

Organska snov je pretežno sestavljena iz ogljika, vodika in kisika, pomembni pa so tudi dušik, fosfor in žveplo, ki pa se nahajajo v manjših količinah. Organske spojine delimo na ogljikove in dušikove. V odpadni vodi prevladujejo kot najpomembnejše organske snovi:

- beljakovine – 40-60 %,
- ogljikovi hidrati – 25-50 % in
- maščobe – okrog 10 %.

Biološko razgradljive snovi v vodi uporabijo mikroorganizmi kot hrano, pri tem pa se porablja kisik. S tem se povečuje količina ogljikovega dioksida, kar lahko povzroči padec pH vrednosti ter lahko pride do povečane količine ionov železa in mangana. Razgradljive snovi



so pretežni del organske, zato se mikroorganizmi od razpoložljivih razgradljivih snovi najprej lotijo ogljikovih in šele nato dušikovih. S poskusi je bilo pokazano, da je potrebno za razgradnjo pretežne količine ogljikovih spojin okoli 10 dni, šele zatem prevlada razgradnja dušikovih spojin.

Razgradnja razgradljivih ogljikovih in dušikovih snovi do nastanka nerazgradljivih spojin ogljika in dušika teče od visokomolekularnih snovi proti nizkomolekularnim.

Remineralizacija oziroma končna biološka oksidacija pa je različna. Razlikovanje med obema procesoma v naravnih vodnih okoljih ni mogoče, saj sta zaradi stalnega dotekanja razgradljivih snovi obe dogajanji pomešani.[Panjan J.(# 3), 1999]

#### **4 MONITORING ODPADNIH VODA ONESNAŽEVALCEV**

Monitoring odpadnih vod oziroma emisijski monitoring je postopek, ki ga v skladu s Pravilnikom o prvih meritvah in obratovalnem monitoringu odpadnih vod ter o pogojih za njegovo izvajanje [UL RS, št. 35/96] izvaja pooblaščen oseba. Metodologijo vzorčenja in merjenja parametrov in količin odpadnih vod, vsebino poročila o emisijskem monitoringu ter način in obliko sporočanja podatkov ministrstvu, ki je pristojno za varstvo okolja opravlja pooblaščen oseba v skladu s prej navedenim pravilnikom.

Izvedba emisijskega monitoringa obsega:

- merjenje količin odpadne vode med vzorčenjem,
- vzorčenje odpadne vode,
- merjenje parametrov odpadne vode (merjenje temperature in pH vrednosti odpadne vode med vzorčenjem in analizo vzorca odpadne vode),
- vrednotenje emisije snovi, emisijskega deleža oddane toplote ter izračun letne količine odpadne vode in letne količine nevarnih snovi,
- izračun emisijskega faktorja ali učinka čiščenja odpadne vode, če je s predpisi o emisiji snovi za posamezni vir onesnaženja ali komunalno oziroma skupno čistilno napravo za te veličine določena mejna vrednost,
- izdelavo poročila o opravljenih meritvah.[UL RS, št. 35/96(#1)]

V okviru emisijskega monitoringa mora obravnavano podjetje zagotavljati izvedbo:

- trajnih meritev količine odpadne vode, če so za vir onesnaženja določene s predpisi o emisiji snovi in toplote pri odvajanju odpadnih voda iz virov onesnaženja,
- občasnih meritev osnovnih in dodatnih parametrov odpadne vode med vzorčenjem.[UL RS, št. 35/96(#1)]

Občasne meritve se izvajajo med obratovanjem ali uporabo vira onesnaženja ali komunalne ali skupne čistilne naprave v enakomernih časovnih presledkih v koledarskem letu ali v obdobju obratovanja ali uporabe, če ne obratuje ali se ne uporablja skozi celo koledarsko leto.

Tabela 2: Letna pogostost občasnih meritev in čas vzorčenja reprezentativnega vzorca odpadne vode za vir onesnaženja [Panjan J.(# 1), 1999]

letna količina tehnološke odpadne vode [1000 m <sup>3</sup> /leto]	letna pogostost meritev (št. meritev na leto)	čas vzorčenja reprezentativnega vzorca [ure]
do 4	1	6
4-10	2	6
10-50	2	6
50-200	4	24
200-500	8	24
nad 500	12	24

Tabela 3: Letna pogostost občasnih meritev in čas vzorčenja reprezentativnega vzorca odpadne vode za komunalne ali skupne čistilne naprave [Panjan J.(# 1), 1999]

zmogljivost komunalne ali skupne čistilne naprave [PE]	letna pogostost meritev (št. meritev na leto)	čas vzorčenja reprezentativnega vzorca [ure]
do 50	1	2
51-200	2	2
201-2000	2	6
2001-10000	4	24
10001-50000	8	24
nad 50000	12	24

Če ima vir onesnaženja, ki odvaja tehnološke odpadne vode, več iztokov v kanalizacijo ali neposredno v vode, se pri določitvi letne pogostosti občasnih meritev in časa vzorčenja upošteva vsota letnih količin tehnološke odpadne vode iz vseh iztokov.

Trajne meritve količine odpadnih vod mora povzročitelj zagotoviti, če je letna količina tehnološke odpadne vode iz vira onesnaževanja na posameznem iztoku večja od 10000 m<sup>3</sup>/leto. Če ima vir onesnaževanja več iztokov in v nobenem letna količina tehnoloških odpadnih vod ne presega 10000 m<sup>3</sup>/leto, letna količina tehnoloških odpadnih vod vseh iztokov skupaj pa presega 10000 m<sup>3</sup>/leto, mora povzročitelj zagotoviti trajne meritve količine odpadnih vod na iztoku, ki ima največjo letno količino tehnoloških odpadnih vod. Izvajalec

javne službe mora zagotoviti trajne meritve količine odpadnih vod na iztoku komunalne ali skupne čistilne naprave, če je zmogljivost čiščenja več kot 10000 PE.[Ur.l. RS, št. 35/96(#2)]

Emisija snovi in toplote se določa na iztoku odpadne vode iz vira onesnaževanja ali čistilne naprave v kanalizacijo ali neposredno v vode brez predhodnega razredčevanja odpadne vode.

#### **4.1 Vzorčenje odpadne vode**

Vzorec odpadne vode je del toka odpadne vode, ki se odvzame:

- na določenem merilnem mestu,
- v določenem časovnem obdobju,
- na določen način

in je namenjen za analizo odpadne vode.

Glede na način vzorčenja ločimo:

- **trenutni vzorec** je enkratni odvzem vzorca,
- **kvalificiran trenutni vzorec** je zmes enakih količin najmanj petih trenutnih vzorcev, odvzetih na istem merilnem mestu v obdobju, ki ni daljše od dveh ur in v časovnih presledkih, ki niso krajši od dveh minut,
- **repzentativni vzorec** je zmes več trenutnih vzorcev, vzeti na časovno ali pretočno sorazmeren način na istem merilnem mestu v času, ki ni krajši od dveh in ne daljši od štiriindvajsetih ur. Vzorčenje poteka ročno ali z avtomatskimi vzorčevalniki.

**Časovno sorazmeren način vzorčenja** je jemanje vzorcev odpadne vode v enakih časovnih presledkih po količini enakih trenutnih vzorcev.

**Pretočno sorazmeren način vzorčenja** je jemanje po količini enakih trenutnih vzorcev odpadne vode, ko preteče določena količina vode, ali pa odvzemanje trenutnih vzorcev različnih količin v enakih časovnih presledkih, tako da je količina posameznega trenutnega vzorca sorazmerna pretoku odpadne vode.[UL RS, št. 35/96(#1)]

## 5 MONITORING KAKOVOSTI POVRŠINSKIH VODA

Vlada je zakonodajo na tem področju spremenila v letu 2002 v skladu z zahtevami Vodne direktive (Directive 2000/60/EC of the European parliament and of the council).

Program monitoringa kakovosti površinskih vodotokov, za katere je obvezno ugotavljanje kemijskega stanja sedaj urejata:

- Uredba o kemijskem stanju površinskih voda (UL RS št. 11/2002) in
- Pravilnik o monitoringu kemijskega stanja površinskih voda (UL RS št. 42/02).

Skupna ocena kakovosti površinskih voda se na osnovi hidromorfološkega, kemijskega in ekološkega stanja klasificira v pet kakovostnih razredov.

Kriteriji za hidromorfološko in ekološko stanje površinskih voda pri nas, pa tudi drugod po Evropi še niso predpisani, zato so vodotoki klasificirani po obeh metodah in sicer:

- po starem načinu razvrščanja v štiri kakovostne razrede in
- izračunano je dobro oziroma slabo kemijsko stanje glede na vsebnost nevarnih snovi.

Izvedba meritev monitoringa po pravilniku obsega:

- ugotavljanje sprememb na merilnem mestu glede na stanje, dokumentirano v evidenci o merilnih mestih posameznega vodnega telesa površinske vode,
- določanje pretoka vode tekočih voda na merilnem mestu,
- merjenje na merilnem mestu temperature zraka, temperature vode, električne prevodnosti, pH, nasičenosti s kisikom, prosojnosti in drugih parametrov, ki se jih meri na merilnem mestu,
- vzorčenje površinskih voda,
- pripravo vzorcev, prevoz vzorcev in shranjevanje vzorcev,
- prevzem vzorcev v laboratoriju,
- pripravo vzorcev v laboratoriju, merjenje in analizo vzorcev površinskih voda,
- izračun in vrednotenje spremembe vrednosti prednostnih in indikativnih parametrov,
- vrednotenje rezultatov meritev za ugotavljanje kemijskega stanja celotnega vodnega telesa površinske vode in

izdelavo poročila o opravljenih meritvah in analizah.[UL RS št. 42/02]

## 5.1 Merilna mesta

V skladu z Uredbo o kemijskem stanju površinskih voda (UL RS št. 11/2002) se merilna mesta delijo na:

- **osnovna merilna mesta** (To so merilna mesta za ugotavljanje kemijskega stanja posameznega povodja. Med osnovna merilna mesta prištevamo tudi merilna mesta na meddržavnih vodnih telesih površinskih voda, za katere se ugotavlja kemijsko stanje na podlagi mednarodnih sporazumov.)
- **referenčna merilna mesta** ( To so merilna mesta na manj onesnaženih vodnih telesih površinskih voda, ki se uporabljajo za referenčne točke pri določanju meril za ugotavljanje kemijskega stanja površinskih voda.)
- **dodatna merilna mesta** (To so merilna mesta, ki so značilna za vodna telesa površinskih voda, obremenjena zaradi odvajanja odpadnih voda enega ali več virov onesnaževanja ali zaradi znatnega vpliva razpršenih virov onesnaževanja.)

Vrste meritev, ki se opravljajo na merilnih mestih so:

- **pregledne meritve** (To so meritve, ki se izvajajo na vseh merilnih mestih mreže merilnih mest površinskih voda in so namenjene izdelavi programa rednih meritev. V okviru preglednih meritev se izvajajo meritve v polnem obsegu parametrov iz priloge 1 uredbe. Pregledne meritve se izvajajo v obdobju enega leta in se ponovijo vsakih šest let.),
- **redne meritve** (To so meritve, ki so namenjene ugotavljanju kemijskega stanja površinskih voda in ocenjevanju učinkov ukrepov zmanjševanja obremenjevanja površinskih voda z odvajanjem odpadnih voda. Redne meritve se izvajajo vsako leto, razen v času izvajanja preglednih meritev.),
- **dodatne meritve** (To so pregledne ali redne meritve, ki se izvajajo na dodatnih merilnih mestih.)[UL RS št. 11/02]

Na merilnih mestih se merijo naslednji parametri:

- splošni fizikalno – kemijski parametri, ki so določeni v Prilogi 1 uredbe in se jih meri enkrat na tri mesece,

- parametri iz prednostnega seznama, ki se jih meri enkrat mesečno v okviru preglednih meritev in enkrat na tri mesece v okviru rednih meritev,
- indikativni parametri, ki se jih prav tako meri enkrat na tri mesece [UL RS št. 42/02]

Tabela 4: Mreža in vrsta merilnih mest za določevanje kemijskega stanja površinskih vodotokov, vrsta, obseg in pogostost analiz v letu 2004 – Krka [ARSO 4]

vodotok	zajemno mesto	tip merilnega mesta	FKB	S	Cd v	Cd s	PSP v	PSP s	Ostale KO v	Ostale KO s	Bor	Pest.	PCB v	PCB s	MO	Det	FS	AOX	EOX	GCMS v
KRKA	Podbukovje	dodatno, R1	4	2	4	1	2	1	4	1		1	1	1	4	4	4	1	1	2
KRKA	Srebrniče	/	2														2			
KRKA	Gornja Gomila	/	2														2			
KRKA	Krška vas	O.E	4	2	4	1	4	1	4	1		4	1	1	4	4	2	1	1	2

Legenda:

- dodatno - dodatno merilno mesto
- R1 - referenčno merilno mesto, uvedeno zaradi primerjave oz. ev. zamenjave ter zaradi potebe po referenčnih mestih za vse tipe vodnih teles
- O - osnovno merilno mesto za določanje kemijskega stanja
- E - merilno mesto je vključeno v Eurowaternet (poročanje Evropski okoljski agenciji EEA)
- / - merilno mesto, na katerem se je spremljala kakovost površinskih vodotokov v preteklih letih
- FKB - splošni fizikalno-kemijski in bakteriološki parametri
- S - saprobiološka analiza
- Cd, Hg - kadmij in živo srebro (težki kovini iz prednostnega seznama parametrov kemijskega stanja)
- PSP - prednostni seznam parametrov kemijskega stanja (razen Cd in Hg)
- Ostale KO - težke kovine: Cu, Cr, Ni, Pb in Zn
- Pest - pesticidi in njihovi metaboliti: organoklorni, tziazinski, organofosforni, derivati fenoksi očetne kisline, derivati sečne kisline
- PCB - poliklorirani bifenili
- MO - mineralna olja
- Det - anionaktivni detergenti

- FS - fenolne snovi
- AOX - organsko vezani halogeni, sposobni adsorpcije
- EO - organsko vezani halogeni, ki se ekstrahirajo iz sedimenta
- GC/MS - posnetek spektra s plinsko kromatografijo in masnim detektorjem
- v - voda
- s - sediment

## 5.2 Vzorčenje površinskih vodotokov

Vzorce vode za fizikalne in kemijske analize je potrebno zajemati v skladu z določili mednarodnih standardov [ARSO 5]:

- ISO 5667-6 (vzorčevanje rek)
- ISO 5667-3 (konzerviranje in rokovanje z vzorci - priprava embalaže, transport in skladiščenje vzorcev)

Vzorčuje se v različnih letnih časih in po možnosti pri nizkih ali srednjih pretokih. Vzorce se odvzame na globini 0,5 m čim bliže matici vodotoka. Pri vodah plitvejših od 1 m se vzorce odvzame na polovici globine. Ob odvzemu vzorca se izmeri temperaturo zraka in vode, prosojnost, pH vrednost, električno prevodnost, prosti ogljikov dioksid in raztopljeni kisik. Odvzem vzorcev sedimenta mora prav tako potekati v skladu z določili mednarodnih standardov [ARSO 5]:

- ISO 5667 - 12 (odvzem vzorcev sedimenta)
- ISO 5667-3 (konzerviranje in rokovanje z vzorci - priprava embalaže, transport in skladiščenje vzorcev)

Največji obseg odvzetih vzorcev in opravljenih analiz je na tistih mestih, kjer vodotoki vplivajo na podtalnico, na izvirih zajetih za preskrbo večjega števila prebivalcev s pitno vodo in na vplivnem zaledju teh izvirov. Poleg tega pa se obširnejši program monitoringa izvaja tudi na postajah, ki so vključene v mednarodni monitoring v porečju Donave.

Po standardnih postopkih za analizo vode se za odvzete vzorce določi fizikalno-kemične kazalce onesnaženja in naredi bakteriološko in saprobiološko analizo.[ARSO 5]



### 5.3 Analize

Priloga 1 Uredbe o kemijskem stanju površinskih voda prikazana v tabeli 5, vsebuje splošne fizikalno – kemijske parametre, parametre prednostnega seznama ter indikativne parametre, za katere je potrebno opraviti analize, da bi se ugotovila kakovost površinskih vodotokov. Ugotavljanje kemijskega stanja je le eden od elementov, s katerimi se po novi zakonodaji ocenjuje kakovost površinskih vodotokov. Kot je bilo že omenjeno, ostali elementi (ekološko in hidromorfološko stanje) še niso zakonsko dorečeni. Pooblaščenca za izvajanje monitoringa kakovosti površinskih voda zato razvrščajo vodotoke tako po stari metodi, kot tudi po kriteriju dobrega ali slabega kemijskega stanja vodotoka, glede na vsebnost nevarnih snovi. Zato bom v nadaljevanju okvirno predstavil metode obeh načinov razvrščanja.

Tabela 5: Priloga 1 Uredbe o kemijskem stanju površinskih voda [UL RS št. 11/02]

Parameter za površinske vode	Izražen kot	Enota	Mejna vrednost	Mejna vrednost v sedimentu
<b>SPLOŠNI FIZIKALNO – KEMIJSKI PARAMETRI</b>				
Prosojnost (jezera, morje)		Cm		
Temperatura		°C		
PH				
Električna prevodnost (20 °C)		µS/cm		
Kisik	O <sub>2</sub>	mg/l		
Nasičenost s kisikom	O <sub>2</sub>	%		
Kemijska potreba po kisiku s (permanganatni indeks)	O <sub>2</sub>	mg/l		
Kemijska potreba po kisiku s K <sub>2</sub> Cr <sub>2</sub> O <sub>7</sub> <sup>R</sup>	O <sub>2</sub>	mg/l		
Biokemijska potreba po kisiku po 5 dneh	O <sub>2</sub>	mg/l		
Celotni organski ogljik (TOC)	C	mg/l		
Ortofosfat	PO <sub>4</sub>	mg/l		
Fosfor – celotni	PO <sub>4</sub>	mg/l		
Amonij	NH <sub>4</sub>	mg/l		
Nitrit	NO <sub>2</sub>	mg/l		
Nitrat	NO <sub>3</sub>	mg/l	25	
Dušik – celotni	N	mg/l		
Suspendirane snovi po sušenju <sup>R</sup>		mg/l		
Trdote (celotna, karbonatna) <sup>R</sup>		°NT		
Kalcij <sup>R</sup>		mg/l		
Magnezij <sup>R</sup>		mg/l		
Natrij <sup>R</sup>		mg/l		

Kalij <sup>R</sup>		mg/l		
Sulfat <sup>R</sup>	SO <sub>4</sub>	mg/l	150	
Klorid <sup>R</sup>	Cl	mg/l		
Silicijev dioksid <sup>R, J</sup>	SiO <sub>2</sub>	mg/l		
Slanost <sup>M</sup>	Cl	mg/l		
<b>PREDNOSTNI SEZNAM PARAMETROV KEMIJSKEGA STANJA:</b>				
Kadmij	Cd	µg/l	1; 0,5 <sup>4</sup>	1
1, 2-dikloroetan		µg/l	10	
Heksaklorobenzen		µg/l	0,03	1
Heksaklorobutadien		µg/l	0,1	1
Heksaklorocikloheksan		µg/l	0,05	1
Pentaklorofenol		µg/l	1	1
Živo srebro	Hg	µg/l	1	1
Tetrakloroeten		µg/l	10	
Triklorobenzen		µg/l	0,4 <sup>2</sup>	1
Trikloroeten		µg/l	10	
Triklorometan		µg/l	12	
<b>INDIKATIVNI SEZNAM PARAMETROV</b>				
Baker	Cu	µg/l	5	
Bor	B	µg/l	100	
Cink	Zn	µg/l	100	
Krom	Cr	µg/l	10	
Nikelj	Ni	µg/l	10	
Svinec	Pb	µg/l	10	
Diklorometan		µg/l	10	
Alaklor		µg/l	0,1	
Metolaklor		µg/l	0,1	
Atrazin		µg/l	0,1	
Simazin		µg/l	0,1	
Vsota pesticidov <sup>5</sup>		µg/l	0,5	
Antracen		µg/l	0,05	
Naftalen		µg/l	1	
Policiklični aromatski ogljikovodiki <sup>3</sup>		µg/l	0,1	
Fluoranten		µg/l	0,025	
Benzen		µg/l	3,0	
PCB <sup>6</sup>		µg/l	0,01	
Organsko vezani halogeni, sposobni adsorpcije (AOX)	Cl	µg/l	20	
Organsko vezani halogeni, ki se ekstrahirajo iz sedimenta (EOX)	Cl	mg/kg	-	1
Fenolne snovi (fenolni indeks)		µg/l	10	
Mineralna olja		mg/l	0,05	
Anionaktivni detergenti	MBAS	mg/l	0,10	

## 5.4 Določitev kakovostnega stanja površinskih vodotokov

### 5.4.1 Ocena kemijskega stanja površinskih vodotokov

Glede na Uredbo o kemijskem stanju površinskih voda se kemijsko stanje ugotavlja:

- za vsako reko ali njen del na mestu, kjer hidrografsko zaledje dosega 2500 km<sup>2</sup>,
- za vsako vodno telo površinske vode, ki je znatno onesnaženo z enim ali več parametri iz prednostnega ali indikativnega seznama parametrov (ki so podani v prilogi 1 uredbe – tabela 5),
- za vsako vodno telo površinske vode, v katerega se odvajajo odpadne vode, ki povzročajo onesnaženost s parametri iz prednostnega seznama (priloga 1 uredbe) in
- za vodna telesa površinske vode, ki jih prečka državna meja. [UL RS št. 11/02]

Kemijsko stanje vodnega telesa površinske vode se določa na podlagi izračuna letne povprečne vrednosti parametrov, za katere je v uredbi določena mejna vrednost.


Vodno telo površinske vode ima dobro kemijsko stanje, če:

- na osnovnem merilnem mestu nobena letna povprečna vrednost parametrov ni večja od mejne vrednosti, ki je za ta parameter določena v prilogi 1 uredbe,
- časovna vrsta letnih povprečnih vrednosti nobenega od parametrov iz prednostnega seznama nevarnih snovi v prilogi 1 uredbe, za katere se ugotavlja vsebnost v sedimentih, nima trenda naraščanja v obdobju zadnjih petih let. [UL RS št. 11/02]

Določitev kemijskega stanja površinskih vodotokov je bila prvič opravljena leta 2002, od leta 2003, pa je obvezna. Za reko Krko je bilo v letu 2002 ugotovljeno dobro kemijsko stanje.

Tabela 6: Ocenitev kemijskega stanja površinskih voda za leto 2002 – Krka [ARSO 5]

vodotok	merilno mesto	kemijsko stanje	Časovna vrsta letnih povprečnih vrednosti za PS v sedimentu v zadnjih 5 letih (za Cd, Hg)	KEMIJSKO STANJE končna ocena
KRKA	Podbukovje	dobro	/	dobro
KRKA	Srebrniče	dobro	/	dobro
KRKA	Gornja Gomila	dobro	/	dobro
KRKA	Krška vas	dobro	trend zmanjševanja	dobro
IZVIR KRKE POLTARICA	Gradiček	dobro	*	dobro

/	ni podatkov
	osnovno merilno mesto
*	trenda ni mogoče določiti

## 5.4.2 Razvrstitev površinskih vodotokov po starem načinu

Stara zakonodaja je predvidevala takoimenovani kombiniran način ocenjevanja, saj je skupna ocena kakovosti izdelana na podlagi fizikalno – kemijskih in bioloških analiz.

### 5.4.2.1 Fizikalno – kemijske analize

Fizikalno – kemijske analize po stari zakonodaji zajemajo poleg meritev osnovnih parametrov kot so temperatura, pH, vsebnost kisika, itd. še:

- analize kovin v vodi, suspendiranih snoveh in sedimentu

Izvaja se analiza sedmih težkih kovin (Hg, Zn, Cr, Pb, Cd, Ni, Cu) v vodi, suspendiranih delcih in sedimentu.

- analize organskih spojin

Analize organskih spojin v vodi so sestavljene iz preiskav naslednjih snovi:

- poliklorirani bifenili
- fenolne spojine
- policiklični aromatski ogljikovodiki (PAO)
- pesticidi
- AOX, EOX
- Določanje organskih spojin iz posnetka (GC/MS – plinska kromatografija/masna spektografija) [ARSO 5]

Pri razvrščanju vodotokov v razrede se ne upošteva vedno najslabših ocen po posameznem parametru, ampak se upošteva predvsem najpomembnejše parametre, in sicer vsebnost kisika, kemijska in biokemijska potreba po kisiku, vsebnost fenolnih snovi, dušikovih spojin, detergentov in mineralnih olj. Glede na to, se površinske vodotoke razvrsti v štiri razrede po uporabnosti [Zupan M., 1994]:

#### 1. razred – čista voda

Vode, ki so v naravnem stanju ob morebitni dezinfekciji primerne za pitje in uporabo v živilski industriji ter za gojitev plemenitih vrst rib (salmonide).

2. razred – zmerno onesnažena voda

Vode, ki so v naravnem stanju primerne za kopanje in v rekreativne namene, za gojitev drugih vrst rib (ciprinide), po običajni poprejšnji obdelavi (koagulacija, filtracija in dezinfekcija) pa tudi za pitje in v živilski industriji.

3. razred – onesnažena voda

Vode, ki jih je mogoče uporabljati za namakanje, po običajnih metodah poprejšnje obdelave pa tudi v industriji, razen v živilski.

4. razred – nedopustno onesnažena voda

Vode, ki jih je mogoče uporabljati za druge namene le po ustrezni obdelavi.

#### 5.4.2.2 Biološke analize

Biološke analize sestavljata bakteriološka in saprobiološka analiza.

##### a) Bakteriološka analiza

Rezultati bakteriološke analize odražajo trenutno stanje in dajo informacijo o sanitarnih pogojih v vodi. Na bakteriološko sliko v vodotokih vpliva več dejavnikov, med katerimi so najpomembnejše obremenitve in onesnaženja s komunalnimi odplakami, iztoki iz čistilnih naprav ter odplake z večjimi količinami biološko razgradljivih snovi. Posledica teh dejavnikov je, da se bakteriološka slika nenehno spreminja. Za natančnejši prikaz bi tako bilo potrebno večkratno vzorčenje. Organsko onesnaženje z odplakami spremeni, zavira ali pospešuje razvoj posameznih skupin bakterij prisotnih v vodi. Stopnjo onesnaženosti v vodotokih so z metodo štetja vseh živih bakterij razdelili v tri tipe [ARSO 5]:

- polisaprobne vode (število vseh bakterijskih celic v 1ml vode je večje od  $1 * 10^6$ )
- mezosaprobne vode (število vseh bakterijskih celic v 1ml vode je med  $1 * 10^4$  do  $1 * 10^5$ )
- oligosaprobne vode (število vseh bakterijskih celic v 1ml vode manjše od  $1 * 10^3$ )

Na bakteriološke razmere v vodotokih vplivajo tudi hidrometeorološki pogoji. Po kratkih in močnih nalivih, ki sledijo daljšim sušnim obdobjem lahko vzorec vode vsebuje večje število bakterij kot običajno, ker dež spere še dodatno število zemeljskih bakterij. Po dalj časa trajajočem deževju se število bakterij v vzorcu zaradi razredčenja zmanjša.

Za oceno kakovosti površinskih voda se pogosto uporablja tudi metodo najbolj verjetnega števila skupnih koliformnih bakterij (MPN/l).

Tabela 7: Kakovostni razredi po najbolj verjetnem številu skupnih koliformnih bakterij (MPN/l) [ARSO 5]

kakovostni razred	opis kakovosti vodnega telesa	število bakterij (Ex = 10 <sup>x</sup> )
1	neobremenjen - zelo malo obremenjen	< 2.0E03
2	zmerno obremenjen	< 1.0E05
3	močno onesnažen	< 2.0E05
4	prekomerno onesnažen	> 2.0E05

### b) Saprobiološka analiza

Za ocenjevanje kakovosti površinskih voda z biološkega vidika sta v veljavi dve metodi:

- fiziološka
- ekološka

Osnova fiziološke metode je ugotavljanje kakovosti vode s testnimi organizmi v laboratoriju. Rezultati so zaradi tega dejstva bolj natančni kot pri ekološki metodi, vendar pa se poskusi ne izvajajo v naravnem okolju, v laboratoriju pa ne moremo nikoli do potankosti simulirati dejanskih razmer v naravi. [Panjan J.(# 1), 1999]

Najbolj znan postopek je določevanje biokemijske potrebe po kisiku, s katero se meri dejavnost razgrajevalcev. Uporablja se tudi postopek izbranih testnih organizmov, kjer je merilo za onesnaženje povečano število organizmov v določenem času.[ARSO 5]

Osnova ekološke metode so analize življenjskih združb na preiskovanem merilnem mestu. S temi analizami najboljše ugotovimo spremembe v sestavi življenjske združbe v odvodniku nad izvorom odpadne vode in pod njim [Panjan J.(# 1), 1999]. Vedeti je potrebno, da so razmere v vodi posledica medsebojnega delovanja tako biotskih (kompeticija, predatorstvo, parazitizem, simbioza), kot tudi abiotskih (temperatura vode in zraka, pH, svetloba, raztopljen kisik, kemijska sestava vode) dejavnikov.[ARSO 5]

Ekološka metoda pozna več postopkov, od katerih je najbolj znan saprobni sistem, kjer se ugotavlja reagiranje življenjske združbe na zmanjšanje vsebnosti raztopljenega kisika in

vsebnost razkrojnih produktov zaradi razkrajjanja za gnitje sposobnih odpadnih vod. Temeljna predpostavka saprobnega sistema je, da bioindikatorji in njihova kvantitativna razmerja v življenjski združbi, nazorno kažejo pogoje na preiskovanem merilnem mestu. Izračuna se vrednost saprobnega indeksa življenjske združbe, njegova vrednost pa nam pokaže saprobno stopnjo. Vrednost saprobnega indeksa (SI) s slabšanjem življenjskih pogojev narašča od 1 proti 4. Čim manjša je koncentracija raztopljenega kisika in čim večja je koncentracija razkrojnih produktov, tem večja je stopnja onesnaženosti. Saprobní sistem je najbolj uporaben pri onesnaženju z odpadnimi vodami, sposobnimi za gnitje.[ARSO 5]

Tabela 8: Kakovostni razredi po vrednosti saprobnega indeksa [ARSO 5]

trofična stopnja	vrednost SI	kakovostni razred	opis kakovosti vodnega telesa
oligosaprobná	1.0 - 1.5	1	neobremenjen do zelo malo obremenjen
oligo do beta	1.51 - 1.8	1 – 2	malo obremenjen
betamezosaprobná	1.81 - 2.3	2	zmerno obremenjen
beta do alfa	2.31 - 2.7	2 – 3	kritično obremenjen
alfamezosaprobná	2.71 - 3.2	3	močno onesnažen
alfa do poli	3.21 - 3.5	3 - 4	zelo močno onesnažen
polisaprobná	3.51 - 4.0	4	prekomerno onesnažen

Za oceno kakovostnega stanja vodotoka je pomembno, da sta kemijska in biološka analiza opravljeni istočasno. Kemijska analiza in rezultati fizioloških metod kažejo trenutno stanje vode, rezultati ekološke metode pa posledice dalj časa trajajočih vplivov abiotskih in biotskih dejavnikov na življenjske združbe.

Po opravljenih fizikalno – kemijskih in bioloških analizah, se površinskim vodotokom izda skupna ocena, kot to prikazuje spodnja tabela:

Tabela 9: Ocena kakovosti površinskih vodotokov v letu 2002 – Krka [ARSO 5]

vodotok	merilno mesto	datum	OCENA KAKOVOSTI											SKUPNA OCENA	
			FIZIKALNE IN KEMIJSKE ANALIZE								BIOLOŠKE ANALIZE				
			osnovne	kovine*	organske spojine**					sapro-biološke	bakteriološke				
					PCB	FEN	PEST.	PAO	GC/MS		AOX	EOX	MPN/l		bakterije fekalnega izvora***
	v/s	v/s					v/s								
KRKA	Krška vas	13.3.2002	2	1/-						1-2/-			2	+ -	
		11.6.2002	2	1/1		1	2	1		2/1	1	1	2	++	

	28.8.2002	2	1/-								2	++	<b>2</b>
	4.9.2002										2	++	
	17.12.2002	2 - (3)									2	++	
Podbukovje	13.3.2002	2	1/-								2	+-	<b>2</b>
	11.6.2002	2							1 - 2		2	++	
	28.8.2002	2									2	++	
	17.12.2002	2	1/-								2	++	
Srebrniče	13.3.2002	2									2	++	<b>2</b>
	11.6.2002	2							2		2	+-	
	28.8.2002	2									2	++	
	17.12.2002	2	1/-								2	++	
Gornja Gomila	13.3.2002	2									1	++	<b>2</b>
	11.6.2002	2							2		2	+-	
	28.8.2002	2									2	++	
	17.12.2002	2	1/-								4	++	



## 6 DUŠIK IN FOSFOR

### 6.1 Dušik

Dušik je ena od najpomembnejših prvin biosfere, ki je bistvena za normalno rast in razvoj rastlin in drugih organizmov. V naravnem okolju se nahaja v različnih kemijskih oblikah. Tako lahko določeni organizmi (proizvajalci) uporabljajo amonij kot vir dušika, drugi uporabljajo molekularni dušik, večina organizmov pa dušik asimilira v obliki nitratov. V rastlini dušika ne more nadomestiti nobena druga prvina in je bistvena sestavina rastlinskih beljakovin. Tla vsebujejo od 900 do 10000 kg N/ha. Dušik je v talni plasti do globine okoli 25 cm vezan v živi in neživi organski snovi in je tako le v 2 % dostopen rastlinam. Živali, ki se hranijo z rastlinami, uporabijo dušik za izgradnjo lastnih beljakovin. Končni produkt metabolizma dušika pri živalih je sečnina, ki jo mikroorganizmi pretvorijo v amoniak, nitrite in nitrate.[Kolar J., 1988]

V aerobnem okolju poteka biološka oksidacija amonija tj. nitrifikacija. Nitrifikacija je sestavljena iz dveh delov, in sicer oksidacije amonija v nitrit ( $\text{NH}_4^+ \rightarrow \text{NO}_2^-$ ) in oksidacije nitrita v nitrat ( $\text{NO}_2^- \rightarrow \text{NO}_3^-$ ). Bakterije, ki izvajajo proces nitrifikacije so nitritne in nitratne avtotrofne bakterije in so dejavne le v prisotnosti raztopljenega kisika.

V primeru, če se vsebnost kisika zniža znatno pod 50 %, lahko pride do anaerobnega okolja, kjer poteka denitrifikacija. V takem okolju fakultativno heterotrofne anaerobne bakterije, reducirajo nitrate in nitrite do dušikovih oksidov in molekularnega dušika.[Panjan J.(#3), 1999]

Dušik se v vodnem okolju določa v štirih oblikah, in sicer kot:

- organski dušik
- amoniak
- nitrit
- nitrat

Dušikove spojine kažejo na organsko onesnaženje vode in na čas, kdaj je nastopilo. Zato lahko glede na obliko, v kateri se dušik nahaja, ugotavljamo stanje vodotoka. Kadar je v vodnem okolju dušik v obliki amoniaka, gre za sveže onesnaženje. Amoniak in tudi organski

dušik porabljata kisik za razgradnjo in sta zato zelo nezaželena. Poleg tega je amoniak strupen za nekatere ribe in druge vodne organizme ter koroziven.

V primeru, da je v vodi ugotovljena prisotnost nitritov, pomeni, da je voda onesnažena krajši čas, medtem ko nitrati nakazujejo, da je vodno okolje onesnaženo že daljši čas.

Tudi nitrati so v vodi strupeni za nekatere manjše živali v pitni vodi pa za otroke.

Pri podzemnih vodah, ki so dobro zaščitene pred površinskim onesnaženjem, so nitrati in nitrati lahko posledica kemijsko – geoloških aktivnosti.[Panjan J.(#3), 1999]

## **6.2 Fosfor**

Skoraj ves fosfor, kar ga najdemo v biosferi, je v obliki fosfatov, t.j. soli ali estrov fosforjeve kisline ( $H_3PO_4$ ). Prav tako kot dušik sodi tudi fosfor med hranilne snovi, ki so nujno potrebne za razvoj rastlinskih in drugih organizmov. Potrebo po fosforju morajo rastline zadovoljiti iz rudnin v tleh, ki nastajajo s kemičnimi procesi razgradnje npr. apatita. Razgradnjo fosforjevih razgradljivih snovi izvajajo številne populacije bakterij in plesni, pri čemer sproščajo ortofosfatne ione in tako fosfor vedno znova vračajo v kroženje. Poleg organske oblike je fosfor v tleh organsko vezan v rastlinskih ostankih, humusnih snoveh in talnih mikroorganizmih.[Kolar J., 1988]

V površinskih in odpadnih vodah se fosfor nahaja v obliki fosfatov. Najpogostejše oblike so:

- ortofosfati
- kondenzirani fosfati (polifosfati)
- vezani fosfati

Fosfor povečuje primarno produkcijo vode (rast mikroorganizmov), zato je določevanje fosforja pomembno za ocenjevanje potencialne biološke produkcije vode. Prav zaradi tega so meje, ki določajo koliko fosforja je lahko prisotnega v površinskih vodah, vedno strožje.

Fosfati sicer niso nevarni za zdravje ljudi.[Panjan J.(#3), 1999]

### **6.3 Načini prehajanja dušikovih in fosforjevih spojin v vodno okolje**

Dušik prehaja v vodno okolje iz različnih virov. Tu je zlasti pomembno onesnaženje vodotokov s odpadnimi vodami ter onesnaženje, ki ga povzroča kmetijstvo, saj ocene kažejo, da le to prispeva kar dve tretjini vnosov skupnega dušika v površinske vode. Pri tem sta problematična tako poljedelstvo, kot tudi živinoreja.

Med najpomembnejše onesnaževalce predvsem z dušikom v manjši meri pa tudi s fosforjem sodijo naselja, ki nimajo urejene kanalizacije in čistilne naprave za čiščenje odpadne vode. To so pogosto manjša naselja, kjer je kanalizacija urejena le pretežno za odvod meteorne vode, ne pa tudi odpadnih vod. Te vode se navadno odvajajo v greznice. Ta rešitev v principu sicer ni slaba, saj se odpadne vode v greznicah očistijo do določene stopnje. Vendar, ker ni zgrajenega ustreznega kanalizacijskega sistema se odtoki iz greznic kljub prepovedi, pogosto odvajajo v površinske vode, kar pa prinese ogromne količine dušika v te odvodnike. Na drugi strani pa tudi veliko naselij, z urejenim sistemom odvodnje odpadnih vod, ki se konča s komunalno čistilno napravo, še vedno doprinese precejšnje količine nutrientov v odvodnike. Razlog za to je v dejstvu, da čistilne naprave pogosto nimajo tretje stopnje čiščenja, kar pomeni, da iztok iz teh naprav še vedno vsebuje večje količine dušika in fosforja.

Poljedelske površine uvrščamo med razpršene vire kmetijskega obremenjevanja. Količina difuznega onesnaženja vodotokov z dušikom zelo varira v odvisnosti od načina rabe zemlje, metod kmetovanja, kot tudi od prevladujočih klimatskih razmer in geomorfologije območja [Andersen H.E.,2003]. Problem difuznih virov onesnaženja je v tem, da obsegajo zapleten transport in jih je zelo težko kontrolirati na točkah izvora. Pri tem transportu je to onesnaženje podvrženo meteorološkimi pojavom, zato na tej poti pogosto pride tudi do transformacije v druge oblike spojin.

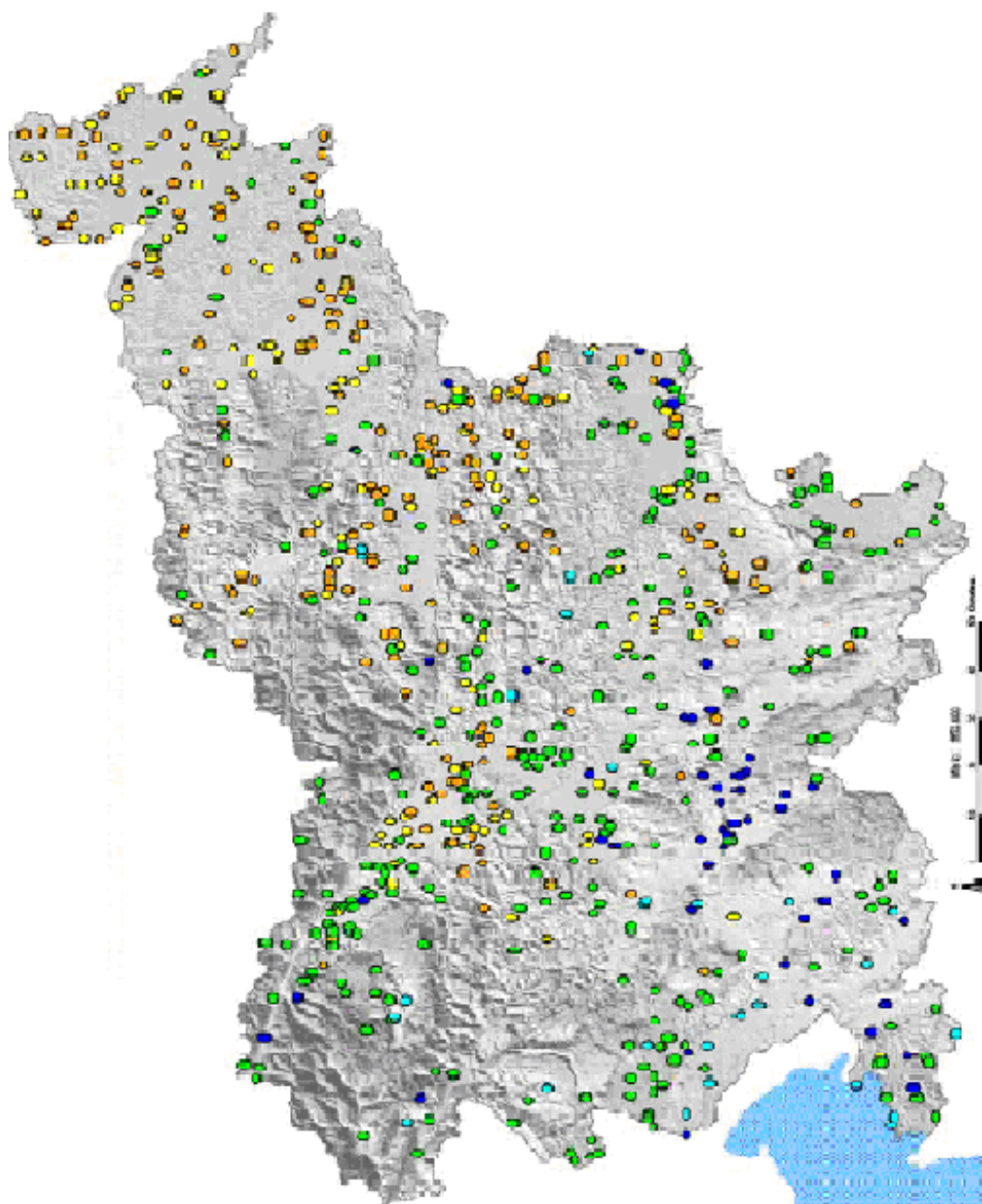
Gnojenje z dušikom pospešuje vegetativno rast rastlin in nastanek beljakovin ter aminokislin. Tudi dušik kmetovalci vnašajo v pokrajino z živinskimi in mineralnimi gnojili. Razmerje je predvsem odvisno od pokrajinskega tipa in je povečini na strani živinskih gnojil, kar pomeni, da se največ dušika vnese z gnojem ter v manjši meri z gnojevko, manjši del pa z mineralnimi gnojili (le na ravninskih področjih je to razmerje približno 1:1, sicer pa je ponekod to razmerje tudi 8:2 v korist živinskih gnojil).[Rejec-Brancelj I., 2001]

Za okolje je predvsem pomembno izpiranje lahko topnega nitrata v podtalnico, ki je blizu površja. To se dogaja zlasti pri lahkih tleh zaradi njihove velike prepustnosti. Izpiranje nitrata v podtalnico je bolj izraženo pri gnojenju z živinskimi gnojili npr. polivanje gnojevke v dobi, ko rastline rastejo, kot pa usmerjeno gnojenje z rudninskimi gnojili, ker mineralizacija poteka tudi tedaj, ko rastline ne rastejo. Samo izpiranje je v veliki meri odvisno od količine padavin in sestave prsti. V tleh z malo humusa in malo glin se dušik slabo veže na delce, iz katerih je sestavljena prst in se zelo hitro izpira. Tudi močno glinasta prst, predvsem, če je na nagnjenem terenu, izgublja velik del dušika. Voda v tako prst težko pronica, večinoma odteka po površini in povzroča erozijo. Z erodiranimi delci prsti pa se odnaša tudi dušik, ki je nanje vezan. Optimalno pridelovanje kultur, kjer so tla z njimi pokrita vse leto, je zelo uspešen ukrep proti izpiranju dušika v podtalnico.[Kolar J., 1988]

V Sloveniji je živinoreja najpomembnejša usmeritev v kmetijstvu. Zato je živinorejskim farmam potrebno posvetiti posebno pozornost. Glavna veja slovenske živinoreje je govedoreja, ki je zlasti v kmetijskih podjetjih bolj specializirana in se po intenzivnosti lahko primerja z evropsko. Značilno za govedorejo je, da se je bolj razvila na ravninskih poljedelskih in manj na izrazito živinorejskih območjih. Tudi prašičereja je bolj razširjena na ravninskih področjih, medtem ko se je perutninarstvo uveljavilo tudi v gričevnatih in hribovitih pokrajinah.[Rejec-Brancelj I., 2001]

Pri slovenskih živinorejskih kmetijah je zlasti zaskrbljujoča majhna priključenost na kanalizacijo. To zlasti velja za kmetije na gričevjih, kjer je več kot četrtina tako brez kanalizacije, kot tudi brez greznice. Slednje so zelo pogoste na ravninah in v kraških pokrajinah. Problematično je število prekatov teh greznic, saj prevladujejo eno- in dvoprekatne greznice, kar je zlasti v kraškem svetu lahko zelo neugodno.

Največji okoljski problem govedorejskih in prašičerejskih farm pa je prav gotovo velika količina gnojevke. Predvsem prašičja gnojevka z velikih prašičjih farm se le delno (30 %) uporabi za gnojenje, preostanek, okoli 900 ton N in 500 ton P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> letno, pa se odvaja v vode [Rejec-Brancelj I., 2001].



Slika 6.1: Intenzivnost gnojenja z dušikom na 674 reprezentativnih kmetijah v Sloveniji  
[ARSO 3]

Legenda:

●	Negnojeno oz. skromno gnojeno	●	Povečano gnojeno
●	Skromno do srednje gnojeno	●	Nestrokovno gnojeno
●	Ciljno oz. strokovno pravilno gnojenje		

Tudi fosfor prihaja v vodno okolje na več načinov. Prvi način je po naravni poti z izpiranjem preperin. Tako izpiranje fosforja v talno vodo le malo prinese k celotnemu onesnaženju s fosforjevimi spojinami. Razlog za to je razmeroma slaba gibljivost fosforja (pod njivami in travniki se v povprečju izpere 0,1 kg/ha, pod gozdovi 0,06 kg/ha). Takega izpiranja ni mogoče preprečiti.

Večje količine fosforja v obliki kondenziranih fosfatov v vode doprinese uporaba čistilnih sredstev (detergentov – perboratov) v industriji in gospodinjstvih. V teh sredstvih je fosfor ena od glavnih sestavin.

Največje količine fosforja pa vodotoki prejmejo zaradi gnojenja poljedelskih površin.

V rudninskih gnojilih se fosfor dodaja v tla kot Thomasova moka, ki je stranski produkt pri pridobivanju železa, kot superfosfat (fosfat na katerega je delovala žveplova kislina) ali kot surovi fosfat (mleti apatit). Skoraj polovico fosfornih gnojil dajemo s kombiniranimi gnojili. Problem pri tem je, da se fosfati v tleh spremenijo. Zaradi vezave, ki poteka v tleh, se morajo odmerki fosfatov povečevati bolj, kot bi bilo potrebno glede na količino, ki jo odvzamejo tlom rastline. Povečana intenzivnost privede do tega, da se fosfati kopičijo v tleh. Te zaloge fosfatov prehajajo nato z erozijo talnih delcev v odvodnike. Erozijska zadeva tako mineralna, kot tudi organska gnojila. Zlasti slednja npr. gnojevka, se v precejšnjem obsegu izpira v površinske vode iz intenzivno gnojenih zemljišč. Da bi zmanjšali tovrstno prehajanje fosforja v vodotoke, so predvsem potrebni ukrepi v kmetijstvu, ki bi zmanjšali erozijo: skrajšane dobe, ko so zemljišča v goli prahi, trajna obraščanost, ustrezna tehnika setve pa tudi uravnavanje toka vodovij.[Kolar J., 1988]

### **6.3.1 Erozijska**

Erozijska kmetijskih površin bistveno prispeva k vnosu nutrientov v vodotoke zato je v nadaljevanju ta proces podrobneje predstavljen.

Tla so življenjski temelj ter so predpogoj za kmetijsko pridelavo in s tem prehrano ljudi. Erozijska tal je vrsta mehanske degradacije tal, ki ima za posledico spiranje in odnašanje površinskih delcev tal. Čeprav onesnaževanje vodotokov zaradi erozije in splakovanja podlage načeloma uvrščamo med naravno onesnaževanje, pa erozijska ni odvisna samo od naravnih dejavnikov, ampak je mnogokrat antropogeno pogojena (krčenje gozdov, odstranjevanje vrhnje plasti tal, kmetijska obdelava). Predvsem v kmetijstvu je erozijska tal

stalno prisoten pojav, ki pripelje do izgube rodovitnih tal in ima škodljive posledice tudi na okolico erodiranih površin, še posebej na kvaliteto vodotokov.

Brez vpliva človeka poteka normalna ali geološka erozija. Gre za naraven proces erozije tal v okolju, ki obsega poleg nižanja tal tudi procese nastanka tal. Za razliko od naravne ali geološke erozije tal pa razne človekove dejavnosti sprožijo pospešeno ali napredujočo erozijo tal, ki povzroča hitrejšo spremembo v stanju tal. To so predvsem dejavnosti, ki zajemajo pridobivanje in pripravo tal za pridelavo hrane, pridobivanje prostora za izgradnjo stanovanjskih in proizvodnih prostorov ter infrastrukture.

V naravni pokrajini z gosto naravno pokrovnostjo v obliki gozda ali travnikov, so tla proti eroziji dobro zaščiteni. Večji problem predstavljajo obdelovalne površine, kjer je naravna vegetacija odstranjena in je taka površina vsaj del leta gola. V teh primerih preide naravno odnašanje plodnih tal v napredujoče odnašanje. [Mikoš M., Zupanc V., 2000]

### **6.3.1.1 Mehanizem erozije tal zaradi delovanja vode**

Kljub temu, da vetrna erozija ni zanemarljiva (primorski del - burja), pa je na področju Slovenije v ospredju prav gotovo erozija tal zaradi delovanja vode. Dežne kapljice, ki padejo na nezaščiten tla, imajo veliko kinetično energijo, kar povzroča sproščanje talnih delcev. Ti se nato spirajo in premeščajo zaradi erozijske sile tekoče površinske vode, ki se tvori iz padavinske vode. Tako nastanejo posamezni curki in potočki, ki zlahka erodirajo tla.

Površinsko erozijo tal tako torej sprožita dva različna mehanizma:

- V primeru kratkotrajnih padavin z visoko intenziteto (npr. nad 10 mm/h) pride do zablantenja površine tal in s tem do prekinitve vertikalnih por, kar ima za posledico zmanjšano pronicanje padavinske vode v tla, navkljub siceršnji potencialno veliki infiltracijski zmogljivosti tal. Površinski talni delci se zaradi intenzivnosti udarcev dežnih kapljic sprostijo in pomešajo s padavinsko vodo v kalno mešanico, ki skoraj vsa odteče po površini.
- V primeru obilnih padavin v zimskem času imajo tla zmanjšano infiltracijsko zmogljivost, tako da precejšen del padavinske vode odteče po površini in le manjši del ponikne.

Erozijska moč odtekajoče vode je večja ob večji nagnjenosti terena in narašča s pretočno globino odtekajoče vode. Večja kot je tako ustvarjena strižna napetost na erodirajočo površino, več površinske plasti tal bo odplavila odtekajoča voda.[Mikoš M., Zupanc V., 2000]

#### **6.3.1.1.1 Oblike vodne erozije na kmetijskih tleh**

Kmetijska zemljišča niso samo najbolj izpostavljena za erozijo, pač pa je tudi erozijska masa s teh zemljišč zaradi znanih razlogov (gnojila, pesticidi) za recipiente zelo neugodna. Na tem področju je bilo zato narejenih veliko raziskav. Načeloma lahko razlikujemo na kmetijskih tleh naslednje vrste vodne erozije:

1. Pljuskovna erozija – nastane zaradi močnega dežnega curka ali udarca posameznih dežnih kapelj.
2. Žlebična erozija – nastane zaradi erozijske moči posameznih površinskih curkov odtekajoče padavinske vode ali manjših potočkov.
3. Medžlebična erozija – nastane med žlebiči na površini in se začne zaradi pljuskanja vodnih kapelj ali plitvega površinskega odtoka.
4. Brazdna erozija – nastane z nadaljnjim stekanjem manjših potočkov, ki povzročajo žlebično erozijo.
5. Jarkovna erozija – nastane s stopnjevanjem koncentriranja vodnih tokov. Najpogosteje se ne razvije naenkrat, temveč postopoma iz nenadzorovane žlebične ali brazdne erozije.

Kadar imamo opraviti s strmejšimi kmetijskimi površinami (npr. vinogradi), lahko ob intenzivnih padavinah na teh površinah pride tudi do pojavov plazne erozije. Na položnejših kmetijskih obdelovalnih površinah pa se najpogosteje pojavljata žlebična in medžlebična erozija.[Mikoš M., Zupanc V., 2000]

#### **6.3.1.2 Protierozijski ukrepi na kmetijskih površinah**

Protierozijski ukrepi se delijo na ukrepe pri kmetijski rabi tal ter tehnične ukrepe. Med prve prištevamo kolobarjenje in pravilno izbiro poljščin, zmanjšano obdelavo tal (konzervirajoča obdelava tal in neposredna setev). Poleg tega se z dodajanjem humusa izboljša struktura tal in s tem so tla sposobna infiltrirati več vode, kar posledično pomeni manjši površinski odtok. Pomembna je tudi pravilna kombinacija mehanizacije (čim manjša obtežitev tal). Poleg



našteti, obstajajo pri kmetijski rabi še nekateri drugi ukrepi za zmanjšanje erozije (mulčenje, obdelava zemljišč v smeri plastnic, itd.).

K tehničnim ukrepom uvrščamo predvsem ukrepe s katerimi vplivamo na uravnavanje površinskega odtoka. To dosežemo na več načinov, npr. z zatravljenimi odtočnimi kanali, filtrskimi kanali, itd. Najbolj pogosto uporabljan tehnični ukrep je terasiranje s čimer zmanjšamo nagib terena in s tem se zmanjša vpliv žlebične in medžlebične erozije.

Terasiranje pride predvsem v poštev pri nagnjenih kmetijskih površinah (vinogradništvo, sadjarstvo).

Dejstvo je, da erozija ni le vrsta mehanske degradacije tal, ki pušča negativne posledice samo na površini erodiranih tal, temveč s širjenjem odplavljenih talnih delcev zemljine škodljivo vpliva tudi na okolico erodiranih površin. Tako je za ohranitev ekološko uravnoveženega okolja pomembno preučevanje erozijskih procesov in njihovo preprečevanje. Na spranih talnih delcih so vezana hranila in kemična sredstva za varstvo rastlin. Preko površinskega vodnega toka se del erodiranih sedimentov in nanje vezanih hranil in pesticidov prenese do bližje ležečih naplavnih območij, tekočih ali stoječih voda in tam odloži. Vnos sedimentov (mehansko onesnaženje) in še posebno na njih vezanih onesnaževal pomeni za vode veliko obremenitev. Poveča se kalnost voda, zaradi vnosa fosforjevih in dušikovih spojin pride do zmanjšanja kakovosti voda in evtrofije.[Mikoš M., Zupanc V., 2000]

## **7 NARAVNI IN ANTROPOGENI VPLIVI NA KAKOVOST KRKE V ZGORNJEM TOKU**

### **7.1 Reka Krka**

Reka Krka je tipična kraška reka, ki ima zelo razvejano hidrološko mrežo. Je najdaljša in po vodnem obilju največja slovenska reka v povodju Save, ki se nadaljuje v del povodja Donave. Značilnost reke Krke je v tem, da je to edina slovenska kraška reka, ki v strugi ustvarja lehnjak. Krka ima snežno – dežni režim, za katerega so značilne nizke vode poleti in visoke vode v jeseni. Izvir reke Krke se nahaja v široki dolini v izviru pred Krško jamo na nadmorski višini 268 metrov. Njena dolžina je 94 kilometrov, izliva pa se pri Brežicah v Savo. Teče prav po meji med dvema talno različnima področjema, alpskim in kraško-dinarskim ter ima zato dve ali tri povsem različne podobe, dolinsko in ravninsko ter deloma mešano. Na celotni dolžini ima Krka številne pritoke predvsem v obliki manjših potokov, poleg tega pa dobiva vodo tudi podtalno predvsem iz kočevske smeri (priloga B).

V zgornjem toku tako Krko okrepijo kraški pritoki Poltarica, Lipovka, Podbukovski in Gabrovški studenec ter edini nekraški pritok Višnjica. Reka je tu dolinska, mestoma skoraj kanjonska. Tu se tudi nahajajo številni višji in nižji lehnjakovi pragovi, ki posledično oblikujejo slapove, brzice in včasih jezove. Kljub temu, pa je tok dokaj umirjen z nizkim povprečnim strmcem.[Krka-internet 2]

Srednji in spodnji tok Krke je še bolj umirjen in počasen, pragovi pa tu ustvarjajo podvodne tvorbe, ki zavirajo pretok vode. Zaradi tega reka občasno poplavi bregove. To se občasno zgodi tudi v novomeški kotlini, kjer ima reka le minimalen padec. V enem od najbolj izrazitih okljukov reke je leži Novo mesto.[Krka-internet 1]

Krka je s prepletom naravne in kulturne dediščine svojevrsten simbol Dolenjske. Edinstvenost in posebnost te reke so botrovale, da so jo že leta 1969 zavarovali in jo razglasili za naravno in zgodovinsko znamenitost ter dediščino. Prav zato je reka ostala skoraj brez večjih regulacijskih posegov in tako se je v veliki meri tudi ohranila prvotna krajina. Krko odlikuje pester ekosistem, je zelo količinsko in vrstno bogata z ribami (38 ribjih vrst), vrstna pestrost pa se odraža tudi pri vodnih in obvodnih pticah. Poleg tega pa predstavljajo številni kraški izviri življenjski prostor za nekatere endemične vrste.[Gobec S., 2000]

Nadgradnja lehnjakovih pragov so otoki, ki so prekriti z bohotnim rastlinjem. Le to zaustavlja plavje in ustvarja nove brežine. Ob srednji letni vodi lahko med vasjo Otočec in gradom Struga naštejemo kar okoli 30 otočkov. Večina je manjših, največji med njimi pa je grajski otok.



Slika 7.1: Reka Krka, lehnjakovi pragovi [Gobec S., 2000]

## 7.2 Porečje Krke

Porečje Krke skupno zajema okoli 2315 km<sup>2</sup> površine in se razteza na območju 23 občin s približno 120.000 prebivalci. Po velikosti porečja je tako Krka največji pritok Save, saj nanjo odpade kar 21,4 % porečja Save. Gre za ozemlje visokega krasa, ki ga sestavljajo tla iz razpokanih, zakraselih in močno prepustnih karbonatnih kamnin apnenca in dolomita.

Posledično to pomeni redke površinsko tekoče vode, večje količine podtalnih vod ter številne izvire. Vse to rezultira v zelo nizki povprečni gostoti vodnega omrežja Krke (0,73 km/km<sup>2</sup>), z izjemo pritokov iz Krškega hribovja, ki pa ga sestavljajo manj prepustne kamnine (Radulja – 1,80 km/km<sup>2</sup> in Lokavec – 1,83 km/km<sup>2</sup>).

Na tem območju prevladujejo specifični odtoki med 26 – 40 l/s/km<sup>2</sup>, kar je značilno tudi za večji del krasa - Pokolpja in zgornjega toka Ljubljanice.

Za kraške vodotoke so značilne najnižje visoke vode, in sicer zaradi kraške retencije in omejene kapacitete izvirov (maksimum je bil zabeležen na vodomerni postaji v Podbukovju 165 l/s/km<sup>2</sup>, na Prečni pa samo 92 l/s/km<sup>2</sup>). [ARSO 6]

Porečje Krke je grafično prikazano na sliki 7.3.

### 7.3 Vodomerne postaje na Krki

Na reki Krki je pet vodomernih mest, kjer opravljajo meritve parametrov onesnaženja [ARSO]:

- Gradiček (izvir-Polterica)
- Podbukovje
- Srebrniče
- Gornja Gomila
- Krška vas

Pri diplomski nalogi sem obravnaval odsek od izvira prek vodomerne postaje Podbukovje ter do vodomerne postaje Srebrniče.

Tabela 10: Opis merilnih mest, obravnavanih v seminarju

Šifra postaje	Vodotok	Merilno mesto	Geodetske koordinate		Opis
			X	Y	
7030	KRKA	Podbukovje	5081430	5483684	v vasi Podbukovje, desni breg pri vodomeru; bregova sta travnata in poraščena z drevjem; dno je grobo prodnato, vmes so večji kamni in skale, ob bregu je peščeno
7060	KRKA	Srebrniče	5071621	5509257	400 m pod cestnim mostom Volavče - Loke, nasproti starega mlina, nad jezom, levi breg; bregova sta poraščena z grmovjem in drevjem; v neposredni bližini so obdelovane poljedelske površine; dno je prodnato

Na merilnem mestu Podbukovje opravlja Hidrometeorološki zavod republike Slovenije tudi redne meritve pretokov, medtem ko na merilnem mestu Srebrniče pretokov ne merijo.

Merilno mesto Dvor se nahaja nad merilnim mestom Srebrniče, kot je prikazano v spodnji tabeli v Dvoru merijo pretoke, ne merijo pa kvalitativnih parametrov.

Tabela 11: Pretoki Krke na obravnavanem območju v letu 2000

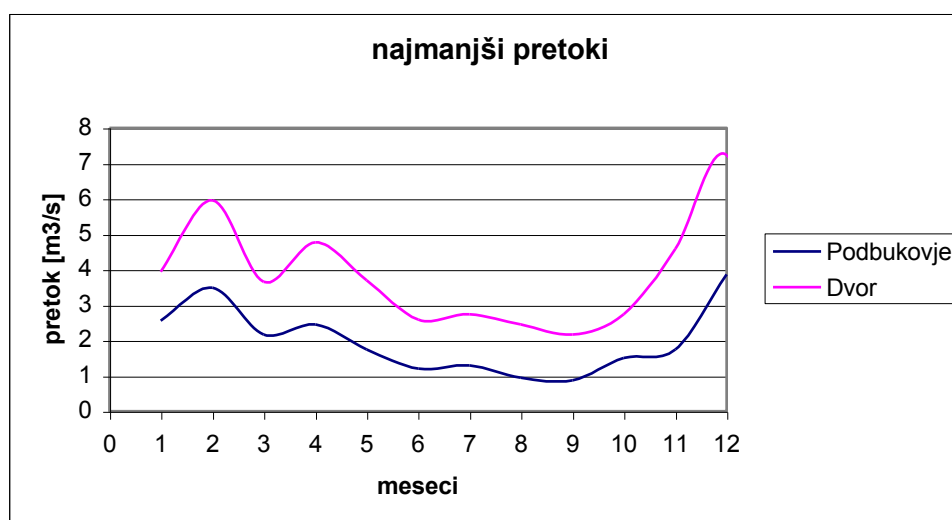
vodomerna postaja	pretok m <sup>3</sup> /s	JAN	FEB	MAR	APR	MAJ	JUN	JUL	AVG	SEP	OKT	NOV	DEC	LETNI
		Podbukovje	Qnk	2.55	3.49	2.17	2.45	1.75	1.2	1.3	0.95	0.87	1.51	1.75
	Qs	4.4	5.31	4.94	5.15	2.94	1.89	2.41	1.67	1.51	9.39	27.3	11.5	6.52
	Qvk	9.67	9.95	28.8	21	5.86	4.07	6.1	4.92	2.95	27.7	66.5	52.9	66.5
Dvor	Qnk	3.94	5.96	3.65	4.77	3.7	2.59	2.74	2.45	2.16	2.74	4.58	7.24	2.16
	Qs	7.97	11.1	10.6	11.4	4.93	3.27	4.44	3.11	2.54	24.1	72.3	28.4	15.3
	Qvk	24.9	19	95.1	48.9	8.16	5.15	10.1	5.74	3.37	135	175	156	175

Qnk - najmanjše mesečne in letne (konične) vrednosti

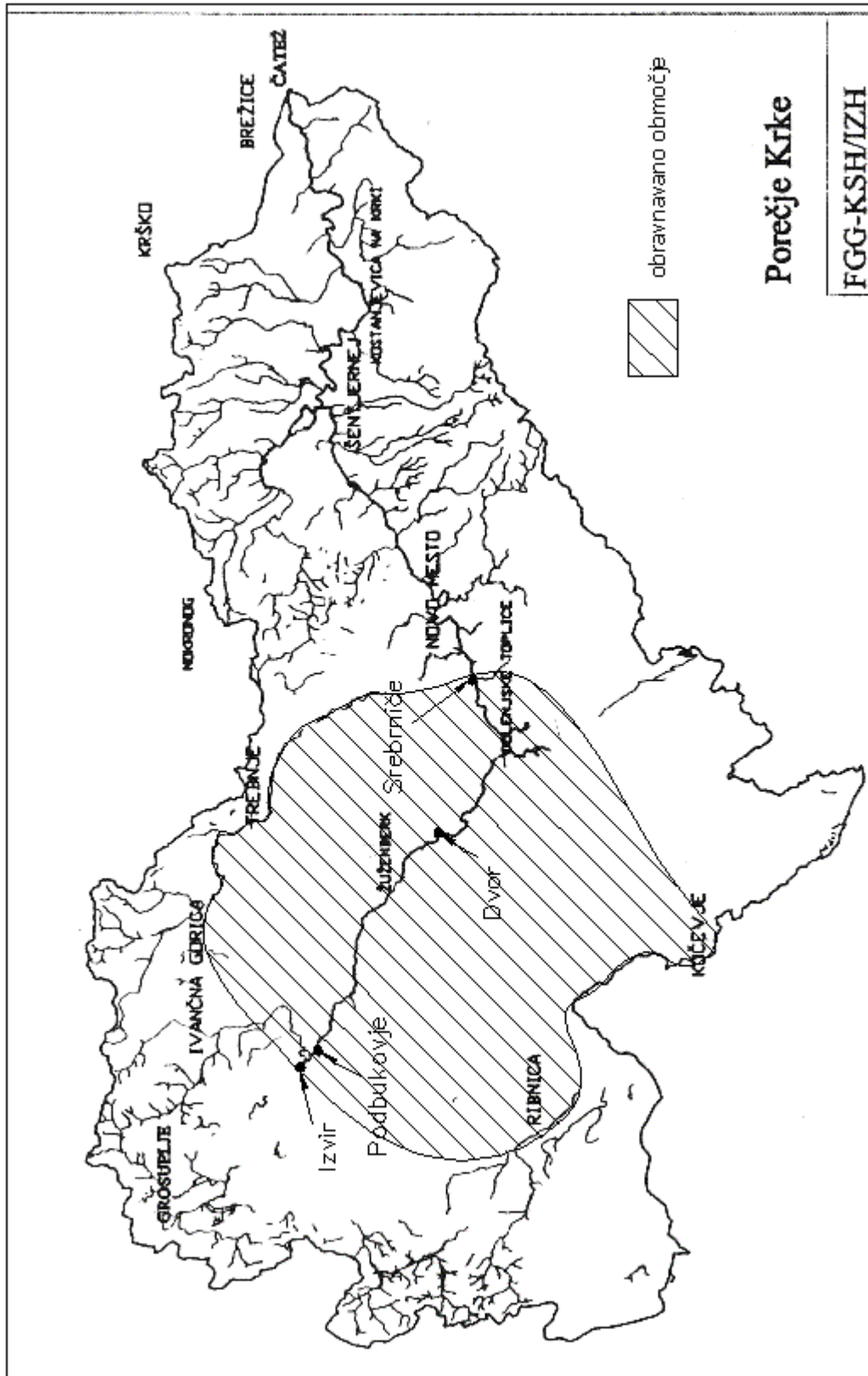
Qs - srednje mesečne in letne vrednosti

Qvk - največje mesečne in letne (konične) vrednosti

Iz podatkov lahko ugotovimo, da se najmanjši pretoki pojavljajo v poletnih in zgodnjih jesenskih mesecih. Tako je v letu 2000 je najnižji pretok reke Krke v Podbukovju zabeležen septembra – 0,87 m<sup>3</sup>/s, v istem mesecu pa je zabeležen najnižji pretok tudi postajo nižje v Dvoru – 2,16 m<sup>3</sup>/s.



Slika 7.2: Najmanjši mesečni in letni pretoki v Podbukovju in Dvoru v letu 2000



Slika 7.3: Porečje Krke z obravnavanim območjem in merilnimi postajami

#### 7.4 Pomembnejše tabele za primer Krke

Nekatere tabele in podatki v zvezi z reko Krko so že prikazani v prejšnjih poglavjih, in služijo predvsem za podkrepitev in bolj jasno sliko opisanih postopkov (npr. monitoring površinskih vodotokov, hidrološke meritve, itd.):

- Mreža in vrsta merilnih mest za določevanje kemijskega stanja površinskih vodotokov, vrsta, obseg in pogostost analiz v letu 2004 – Krka
- Ocenitev kemijskega stanja površinskih voda za leto 2002 – Krka
- Ocena kakovosti površinskih vodotokov v letu 2002 – Krka
- Opis merilnih mest za obravnavano območje (Podbukovje, Srebrniče)
- Pretoki Krke na obravnavanem območju v letu 2000

V nadaljevanju so prikazane še nekatere tabele, ki so relevantne za kvalitativno stanje reke Krke.

Tabela 12: Merilna mesta z izmerjenimi najvišjimi koncentracijami organskih spojin v vodi v letu 2000 – Krka

MERILNO MESTO		datum	PCB* µg/l	fenolne snovi mg/l	vsota pesticidov µg/l	vsota atrazinov** µg/l	vsota PAO*** µg/l	AOX**** µg Cl/l
KRKA	Krška vas	11.6.2002			0,13	0,1		
IZVIR KRKE POLTARICA	Gradiček	11.6.2002				0,06		

Tabela 13: Primerjava kakovosti površinskih vodotokov v Sloveniji v letih 1996-2002 – Krka

VODOTOK	MERILNO MESTO	SKUPNA OCENA						
		1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002
KRKA								
IZVIR POLTARICA	Gradiček	2	2	2	2	2	(1) - 2	1 - 2
IZVIR POD JAMO	Gradiček	-	2 - (3)	-	-	-	-	-
	Podbukovje	2	2	2	2	2	2	2
	Srebrniče	2 - (3)	2	2	2	2	2	2
	Gornja Gomila	2 - (3)	2	2 - (3)	2 - (3)	2	2	2
	Krška vas	2 - (3)	2 - 3	2 - 3	2 - (3)	2	2	2

Tabela 14: Podatki o srednjih obdobjnih pretokih in o pretokih v času vzorčenja v letu 2002 –  
 Krka

merilna mesta za kakovost			hidrološka postaja		podatki				
šifra	merilno mesto		šifra	najbližja hidrološka postaja	datum	ura	H	QsR	Q [m <sup>3</sup> /s]
7030	KRKA	Podbukovje	7030	KRKA Podbukovje	13.3.2002	10:10	40	7,9	3,29
7030	KRKA	Podbukovje	7030	KRKA Podbukovje	11.6.2002	9:45	32	7,9	2,01
7030	KRKA	Podbukovje	7030	KRKA Podbukovje	28.8.2002	9:35	49	7,9	5,15
7030	KRKA	Podbukovje	7030	KRKA Podbukovje	17.12.2002	13:50	54	7,9	6,36
7070	KRKA	Srebrniče	7040	KRKA Dvor	13.3.2002	11:40	244	16,9	5,34
7070	KRKA	Srebrniče	7040	KRKA Dvor	11.6.2002	11:35	245	16,9	5,54
7070	KRKA	Srebrniče	7040	KRKA Dvor	28.8.2002	11:00	251	16,9	6,79
7070	KRKA	Srebrniče	7040	KRKA Dvor	17.12.2002	12:45	274	16,9	12,6
7110	KRKA	Gornja Gomila	7110	KRKA Gornja Gomila	13.3.2002	12:55	67	42,9	15,6
7110	KRKA	Gornja Gomila	7110	KRKA Gornja Gomila	11.6.2002	13:45	88	42,9	25,7
7110	KRKA	Gornja Gomila	7110	KRKA Gornja Gomila	28.8.2002	12:15	73	42,9	18,4
7110	KRKA	Gornja Gomila	7110	KRKA Gornja Gomila	17.12.2002	11:00	107	42,9	35,1
7190	KRKA	Krška vas	7160	KRKA Podbočje	13.3.2002	13:10	82	51,9	25,9
7190	KRKA	Krška vas	7160	KRKA Podbočje	11.6.2002	15:00	85	51,9	26,9
7190	KRKA	Krška vas	7160	KRKA Podbočje	28.8.2002	13:00	81	51,9	19,9
7190	KRKA	Krška vas	7160	KRKA Podbočje	4.9.2002	14:30	85	51,9	24,7
7190	KRKA	Krška vas	7160	KRKA Podbočje	17.12.2002	10:10	101	51,9	45,2
7230	KRKA	Izvir Krke Poltarica Gradiček			11.6.2002	9:00	17		
7230	KRKA	Izvir Krke Poltarica Gradiček		ni podatkov	28.8.2002	9:00	20		
7230	KRKA	Izvir Krke Poltarica Gradiček			17.12.2002	14:25	25		

H – vodostaj

QsR – srednji obdobjni pretok 1971 – 2000

Q – pretok v času zajema vzorcev



## 8 MODELNA SIMULACIJA

Za konkretni primer onesnaževanja recipienta sva z mentorjem izbrala odsek zgornjega toka Krke od izvira do vodomerne postaje Srebrniče. Gre za nekoliko podaljšan odsek Krke, ki sovpada z odsekom, ki sem ga obravnaval v seminarju Naravni in antropogeni vplivi na kakovost recipientov. V omenjenem seminarju sem poskušal grobo oceniti vnos dušika in fosforja z izbranega območja v reko Krko ter rezultate izračunov primerjati z meritvami Agencije republike Slovenije za okolje (ARSO).

V diplomski nalogi pa sem poskušal rezultate izračunov nadgraditi z izvedbo celostne modelne simulacije kvalitete vode Krke s programom QUAL2K. Pri simulaciji so poleg dušika in fosforja ter njihovih spojin vključeni tudi številni drugi elementi, ki vplivajo na kvaliteto vode (temperatura, raztopljeni kisik, BPK, pH). Za vhodne podatke sem uporabil izmerjene kvalitativne podatke, ki jih opravlja ARSO, in sicer na vodomernih postajah Podbukovje in Srebrniče. Poleg tega sem uporabil tudi določene podatke iz diplomske naloge, ki je obravnavala zaledje reke Krke (Keršmanec, M.: Onesnaževanje reke Krke v Povirju). Kot podporo programu QUAL2K v smislu hidravlike, sem zgornji tok Krke obravnaval tudi s programom HEC – RAS. QUAL2K sicer zajema tudi določeno hidravliko, saj je potrebno podati lastnosti rečnega korita ter druge hidromorfološke in prostorske podatke. Vendar pa je HEC – RAS za preučevanje rečnega toka primernejši in le-tega obravnava veliko bolj kompleksno in natančno.

### 8.1 Obravnavano območje

Obravnavano območje (slika 7.3) se nahaja v zgornjem toku reke Krke in po večini poteka v občini Žužemberk. To je občina, ki leži v osrčju Dolenjske in obsega dolino reke Krke in zakraseli planotasti svet na obeh straneh doline. Zajema velik osrednji del Suhe krajine, ki je ena izmed najbolj kraških pokrajin v Sloveniji, zato je površje zelo razgibano in polno planot, uval, vrtač in podzemnih jam. Edini površinski vodotok je reka Krka.

Občino Žužemberk sestavlja dvanajst katastrskih občin (Dvor, Brezova Reber, Ajdovec, Stavča vas, Žužemberk, Veliko Lipje, Šmihel pri Žužemberku, Gornji križ, Hinje, Sela pri Hinjah, Reber in Žvirče). Celotna površina obsega 164,3 km<sup>2</sup>. Občina zajema 51 naselij in je

razmeroma redko poseljena (4579 prebivalcev). Največji naselji, občinsko središče Žužemberk in naselje Dvor, ležita v dolini reke Krke, ki je glavna os prebivalstva in dejavnosti v občini. Severozahodni del občine je v bližini Ivančne Gorice, ki se močno navezuje na Ljubljano. Z druge strani pa je močna gravitacija proti Novemu Mestu in na jugu občine proti Kočevju.

Poleg gospodarske nerazvitosti, se občina ubada tudi s težavami na področju preskrbe z vodo. Tako je na levem bregu Krke skoraj 900 prebivalcev še brez primerne oskrbe s pitno vodo, kar je dobrih 20 % vseh občanov. Preostali občani se s pitno vodo oskrbujejo iz potoka Globočec (pri Zagradcu). V preteklosti je že prišlo do izlitja nafte v Globočec, tako da so zaradi omejenosti na ta vodni vir, ostali brez pitne vode vsi občani. Dodaten problem pa predstavljajo okvare na vodovodnem omrežju, saj je velik del cevi iz azbestno-cementnih in polietilenskih cevi.[občina Žužemberk]

Komunalna opremljenost je slaba, saj na območju občine ni urejene kanalizacije, ni čistilne naprave, zato odpadne vode v greznicah ogrožajo naravno okolje, kar je na kraškem svetu še toliko bolj občutljivo. Na področju občine je sicer zgrajena čistilna naprava za 200 populacijskih enot, nanjo pa je priključena industrija keramičnih kondenzatorjev.[ARSO]

### **8.1.1 Fizično geografske značilnosti**

Glavne pokrajinske značilnosti območja so odprtost prostora, razpršena poselitev, odmaknjenost od večjih središč, pomanjkanje površinskih vodotokov, plitva prst in obilica kamenja na površju.

Kamninska podlaga je v glavnem iz skladov apnenca in dolomita triasne, jurske in kredne starosti. Blizu Hinj je eocenski otok fliša, ki se jasno loči od kraške okolice, na stiku le-tega z apnencem pa se je razvil kontaktni kras. Prsti na apnencih so neenake debeline, precej plitve, z izjemo prsti na dnu vrtač in kraških polj, kjer so globoke tudi več metrov. Prevladujejo rjave pokarbonatne prsti, ki so sicer debelejšje, vendar precej ilovnate, izprane, težke in slabše rodovitne. Omenjeni naravni pogoji so že v preteklosti narekovali težave v oskrbi z vodo. Območje spada v posebno enoto podnebja osrednje Slovenije, kjer pade od 1300 – 1500 mm padavin na leto s primarnim viškom poleti.

Gozd prekriva precejšnje površine, njegova gospodarska vrednost pa je razmeroma majhna. V nižjih legah prevladujeta gaber in cer z gradnom, nekako nad 450 metrov n.m. pa bukev.

Gozdovi se širijo na opuščene obdelovalne površine, kjer se pojavljajo predvsem leska, gaber, hrast in breza, tak gozd pa je neprimeren za gospodarsko izrabo.

Značilnost območja je tudi velika pokrajinska občutljivost, ki zaradi kraškega značaja pokrajine omejuje razvoj intenzivnega kmetijstva, saj ne dovoljuje pretirane rabe umetnih gnojil ter pesticidov, ovira pa tudi kakršnokoli drugo intenzivno rabo tal, npr. masovni turizem ali razvoj večje industrije.[Volčini K., Adamič T., Kuzmič B., Šetina T.]

## **8.2 Predstavitev uporabljenih računalniških orodij**

### **8.2.1 HEC – RAS**

HEC – RAS je program, ki je bil razvit s strani U.S. Army Corps of Engineers.

Gre za orodje, ki omogoča izvedbo izračunov enodimenzionalnega stalnega in nestalnega toka v rekah. Program HEC – RAS je nadaljevanje programa HEC 2.

#### **8.2.1.1 Možnosti programa**

HEC – RAS omogoča izvedbo enodimenzionalnih hidravličnih izračunov za celoten spekter tako naravnih kot umetnih rečnih kanalov.

#### Uporabniški vmesnik

Posameznik uporablja HEC – RAS s pomočjo grafičnega uporabniškega vmesnika (GUI ... graphical user interface). Ta vmesnik omogoča naslednje funkcije:

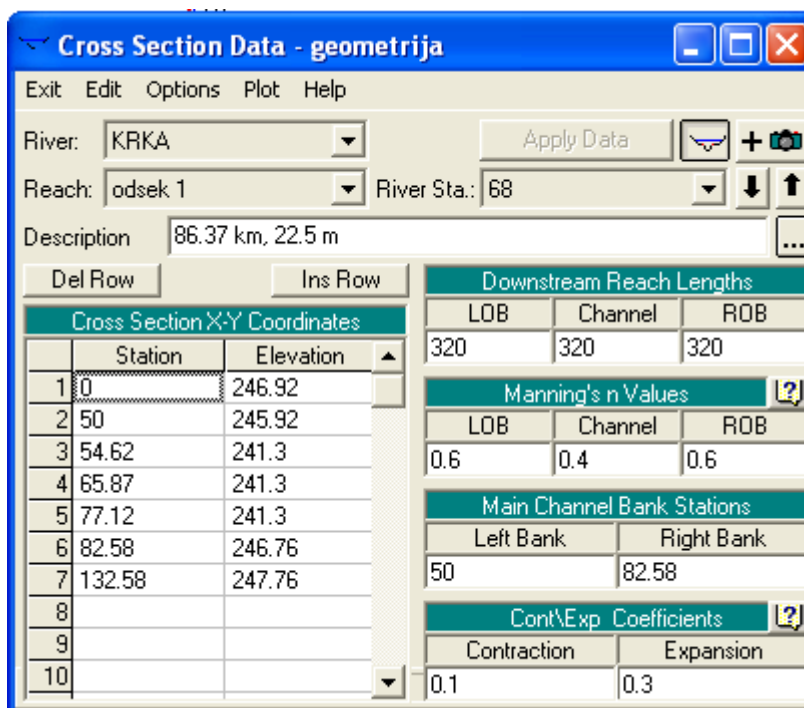
- uporabo datotek
- vnos in upravljanje podatkov
- hidravlične analize
- tabelarični in grafični prikaz vhodnih in izhodnih podatkov
- 'on-line' pomoč

#### Vnos geometrijskih podatkov

V program je potrebno vnesti geometrijske podatke. Te obsegajo grafični prikaz vodotoka (razdelitev območja na odseke, vnos mostov, jezov itd.). Tu podamo zgolj shemo obravnavanega rečnega sistema. Natančno pa sistem definiramo z vnosom profilov. Vsak

posamezen profil mora vsebovati ime reke, ime odseka in številko rečnega profila. Sledi vnos koordinat rečnega profila, kjer natančno določimo stacionaže in višinske kote profila. Poleg tega moramo podati oddaljenost profila od dolvodnega profila, Manningove vrednosti 'n' (za levo in desno poplavno ravnico in za glavni kanal) ter glavni stacionarni točki levega in desnega brega.

- Celotno dolžino toka od izvira Krke do vodomerne postaje Srebrniče (38,06 km) sem razdelil z 89 profili. V osnovi to pomeni profil vsakih 500 m, čemur sem dodal profile na območjih, kjer so bile prisotne spremembe v toku (npr. razširitev toka, konec odseka itd.). Zaradi poenostavitve je celoten izbran sistem sestavljen iz enega odseka, dejansko pa je s spremembami količine pretoka na posameznih profilih sistem razdeljen na 3 odseke. Na sliki 8.2.1.1a je prikazano okno programa kamor vnašamo podatke o posameznem profilu (konkretno gre za 68 profil). V opisu profila – Description (ni obvezen) je navedena kilometraža, kjer se ta profil nahaja ter širina dna tega profila. Sledijo podatki o stacionažah – Station ter višinskih kotah – Elevation profila. Te podatke sem odčital iz Vodnogospodarskega vzdolžnega profila reke Krke (priloga C). Na drugi strani okna je najprej podana oddaljenost profila od dolvodnega profila (profil 68 je oddaljen 320 m od profila 67). Sledijo podatki o Manningovi vrednosti 'n', ki določa hrapavost pretočnega kanala. Te vrednosti so skozi vse profile enake in znašajo 0,4 za osnovni kanal ter 0,6 za poplavne ravnice. Poleg tega je potrebno natančno definirati stacionarne točke levega in desnega brega, ki določajo glavni kanal. Leva brežina je na 50 m desna pa na 82,58 m, medtem ko je širina celotnega profila (glavni kanal + poplavne ravnice) 132,58 m. V zadnji vrstici sledijo še podatki o koeficientih kontrakcije in ekspanzije. Te vrednosti so priporočene v programu in jih nisem spreminjal.



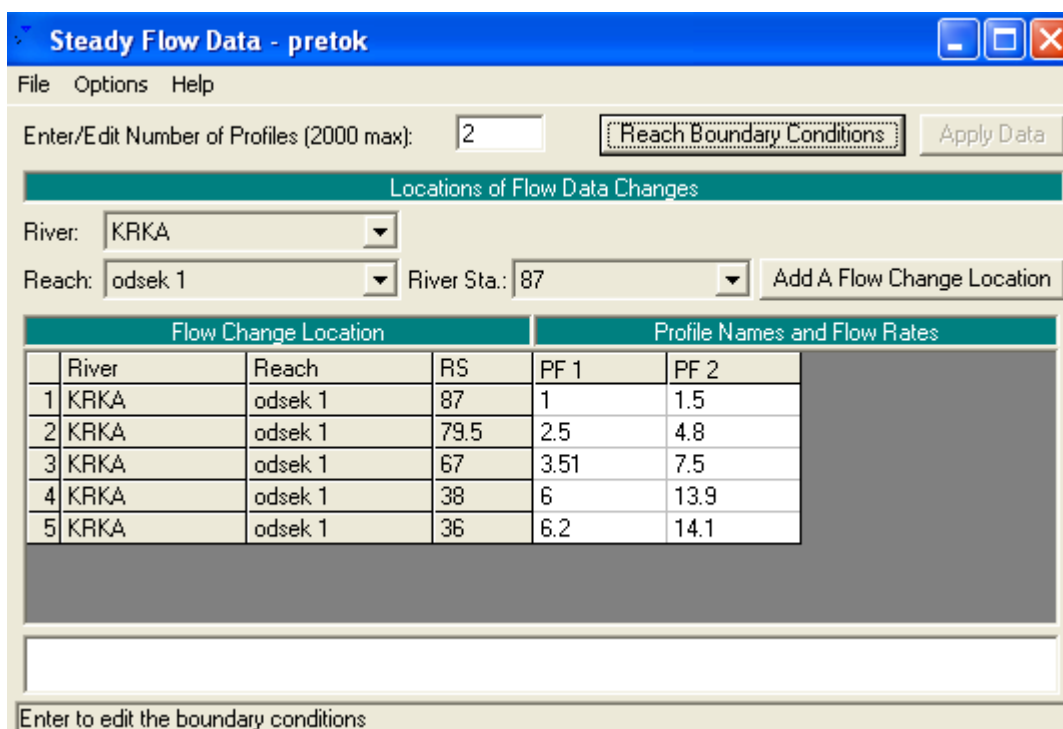
Slika 8.2.1.1a: Programsko okno za vnos podatkov o profilih

### Vnos podatkov o pretoku

Uporabnik ima na voljo možnost izbire vnosa bodisi stalnega bodisi nestalnega toka (steady/unsteady flow data). Pri vnosu stalnega toka je potrebno določiti število profilov s katerimi definiramo izbrani rečni sistem. Sledi vnos pretokov, kjer mora biti za vsak odsek določen vsaj en pretok. Pri vnosu pretokov imamo možnost spreminjati pretok dolvodno znotraj posameznega profila. Poleg tega moramo definirati začetne oziroma mejne pogoje (boundary conditions), ki so potrebni za izvedbo izračunov. Program nam ponuja več možnosti, s katerimi lahko te pogoje določimo. Prva možnost je, da podamo globino vode na začetku in na koncu obravnavanega sistema. Poleg tega imamo še možnost podati kritično globino, normalno globino vode ali pa pogoje določimo s pomočjo krivulje (rating curve).

- Za svoj primer sem izbral stalni tok. Določil sem dva različna profila pretoka (slika 8.2.1.1b), in sicer minimalni pretok  $Q_{np}$  (PF1 – profile flow) in srednji pretok  $Q_{sR}$  (PF2 – profile flow). Uporabil sem podatke meritev pretoka, ki jih na izbranem območju opravlja ARSO. Merilni mesti se nahajata v Podbukovju ter Dvoru. Preostale potrebne pretočne podatke sem določil z linearno interpolacijo. Določil sem 5 mest, kjer se pretok spremeni, med katerimi sta dve glavni mesti. To sta profil 79.5 –

Podbukovje in profil 36 – Dvor. Na koncu sem definiral še robne pogoje na način, pri čemer sem podal povprečni padec izbranega območja, ki znaša 0,00366 %.



Slika 8.2.1.1b: Programsko okno za vnos pretočnih podatkov

### Izvedba hidravličnih izračunov

Ko uporabnik vnese geometrijske podatke ter podatke o pretoku rečnega sistema, sledi izvedba hidravličnega izračuna. Izbrati je potrebno pretočni režim (flow regime), pri čemer imamo možnost izbire med subkritičnim, superkritičnim in mešanim režimom.

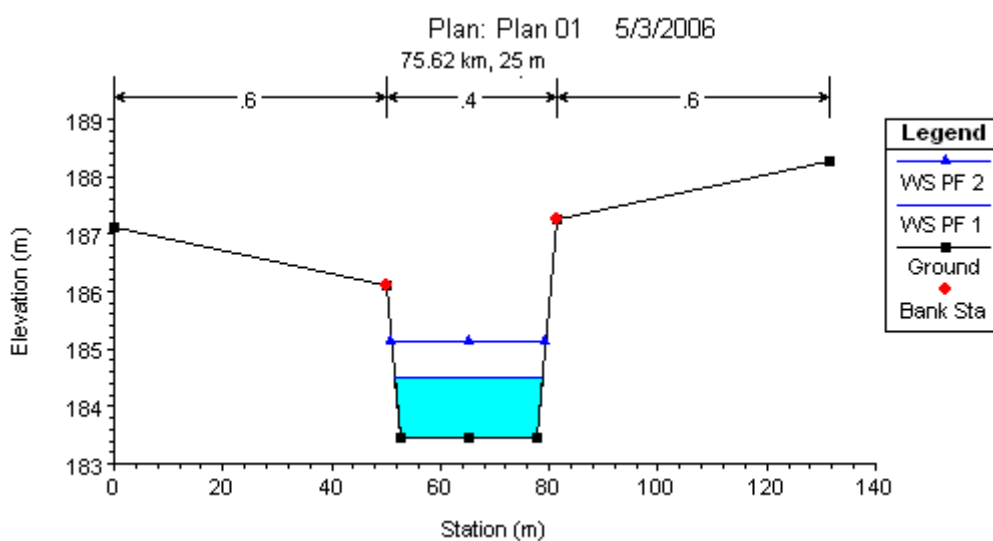
- Izbral sem mešani režim.

### Pregled rezultatov

Po tem ko program zaključi s hidravličnim izračunom rečnega sistema, si uporabnik lahko ogleda rezultate. Na voljo je grafični izris profilov, 3D izris rečnega sistema, izris hitrosti toka ter še nekateri drugi grafični izrisi. Poleg tega program poda tudi izhodne podatke v tabelarni obliki tako za posamezne lokacije (detailed output tables), kot tudi za celoten sistem (profile summary tables). Program izda tudi tabelo o napakah in opozorilih ter opombah.

- Z obzirom na to, da je izračun v programu HEC – RAS služil predvsem kot podpora programu QUAL2K, so me zanimali predvsem rezultati, ki sem jih potreboval pri izvedbi modelne simulacije. Sem sodijo predvsem podatki o hitrosti in globini toka ter času potovanja.

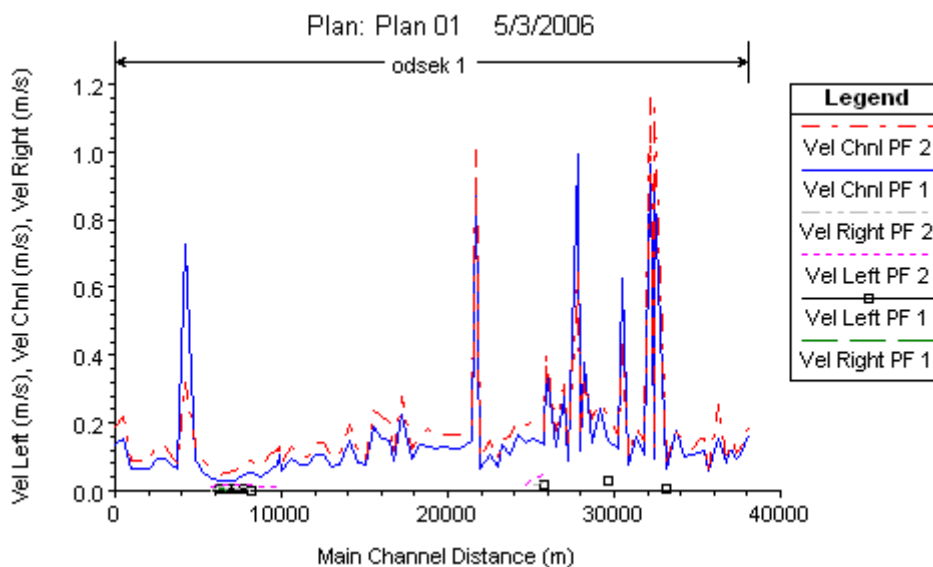
Na sliki 8.2.1.1c je prikazan izris prečnega profila 43, ki se nahaja na 75,62 kilometru. Širina dna kanala znaša 25 m. V glavnem kanalu sta prikazana oba pretočna profila, pri čemer višja modra črta predstavlja srednji pretok, nižji zapolnjen prostor pa minimalni pretok. V tem delu je razlika v višini gladin med minimalnim in srednjim pretokom približno 80 cm.



Slika 8.2.1.1c: Grafični prikaz profila

Na sliki 8.2.1.1d je prikazan izris hitrosti za minimalni (modra črta) in srednji (rdeča črta) pretok. Za oba pretoka velja, da je hitrost toka zelo neenakomerna. Iz grafa je moč razbrati, da prvi višek hitrosti nastopi po približno 4 km, pri čemer je zanimivo, da je hitrost minimalnega pretoka na tem mestu višja od hitrosti srednjega pretoka. Povprečna hitrost minimalnega pretoka skozi celoten izbran odsek znaša 0,163 m/s. Najvišja hitrost se pojavi 5,9 km po izviri, na prečnem profilu 72 (kilometražna – 88 km), kjer hitrost pretoka doseže 0,96 m/s. najnižja hitrost pa na posameznih profilih znaša le 0,03 m/s. V povprečju znaša globina skozi odsek pri minimalnem pretoku 1,1 m in se opazno dolvodno povečuje. Tako je največja globina na prečnem profilu 19, ki leži 29,32 km po izviri, najmanjša globina pa je na profilu 61 in znaša 13 cm.

Pri srednjem pretoku je povprečna hitrost pretoka nekoliko višja – 0,191 m/s, najvišja hitrost se pojavi na profilu 72 – 1,17 m/s, najnižja pa na profilu 14 – 0,05 m/s. Povprečna globina znaša 1,54 m, maksimalna globina je 2,7 m (profil 23), minimalna pa 12 cm (profil 74).



Slika 8.2.1.1d: Grafični prikaz hitrosti toka

Tabela 15: Povzetek izračunov v programu HEC – RAS (minimalni pretok PF1) - izbrani podatki

River Sta	Profile	Q Total (m3/s)	Min Ch El (m)	W.S. Elev (m)	Vel Chnl (m/s)	Hydr Depth (m)	Flow Area (m2)	Top Width (m)
87	PF 1	1	267.81	268.83	0.16	1.06	6.13	7.04
86	PF 1	1	266.31	267.17	0.11	0.88	9.33	11.72
85	PF 1	1	265.6	266.4	0.09	0.91	10.58	14.09
84	PF 1	1	265.39	265.85	0.12	0.55	8.29	18.42
83	PF 1	1	263.55	264.05	0.11	0.65	9.05	18.51
82	PF 1	1	262.93	263.62	0.08	0.87	12.49	18.87
81	PF 1	1	261.19	261.51	0.15	0.29	6.59	20.65
80	PF 1	1	259.46	260.11	0.06	0.93	16.58	26.29
79.5	PF 1	2.5	258.74	259.56	0.12	1.15	21.25	26.65
79	PF 1	2.5	258.01	258.79	0.11	1.05	21.91	29.05
78	PF 1	2.5	256.56	257.23	0.1	1.05	23.96	36.34

...  
...  
...



41	PF 1	3.51	180.84	181.97	0.13	1.08	26.73	24.76
40	PF 1	3.51	179.54	180.45	0.14	0.88	25.88	29.32
39	PF 1	3.51	178.24	179.53	0.09	1.24	37.22	30.09
38	PF 1	6	176.94	177.97	0.22	0.99	26.8	27.06
37	PF 1	6	175.64	176.99	0.09	1.32	69.35	52.7
36	PF 1	6.2	174.93	176.65	0.15	1.61	41.79	25.95
35	PF 1	6.2	173.93	175.62	0.15	1.58	40.8	25.87
34	PF 1	6.2	172.93	173.92	0.19	0.96	33.08	34.48
33	PF 1	6.2	171.93	173.1	0.07	1.15	83.47	72.35
32	PF 1	6.2	170.93	172.81	0.08	1.79	73.86	41.25
31	PF 1	6.2	170.59	172.34	0.15	1.63	42.43	26
30	PF 1	6.2	170.25	171.88	0.08	1.58	80	50.76

...

...

...

11	PF 1	6.2	168.18	168.97	0.08	0.79	77.82	99.08
10	PF 1	6.2	167.64	168.58	0.09	0.93	69.21	74.38
9	PF 1	6.2	165.74	165.9	0.72	0.16	8.55	52.82
8	PF 1	6.2	163.7	165	0.06	1.28	99.59	77.61
7	PF 1	6.2	163.38	164.9	0.07	1.48	89.65	60.54
6	PF 1	6.2	163.08	164.59	0.09	1.46	66.32	45.51
5	PF 1	6.2	162.78	164.1	0.1	1.28	64.38	50.14
4	PF 1	6.2	162.48	163.74	0.06	1.23	95.7	77.51
3	PF 1	6.2	162.18	163.49	0.06	1.28	96.49	75.11
2	PF 1	6.2	161.88	163.26	0.06	1.35	98.42	72.76
1	PF 1	6.2	161.58	162.78	0.15	1.16	40.37	34.9
0	PF 1	6.2	160.21	161.1	0.14	0.87	45.25	51.78

### 8.2.2 QUAL2K

QUAL2K oz. (Q2K) je model za določanje kvalitete vode v rekah in predstavlja posodobljeno verzijo programa QUAL2E oz. (Q2E). Q2K je podoben Q2E v naslednjih ozirih:

- Eno-dimenzionalen. Kanal je dobro premešan v vertikalni in horizontalni smeri.
- Stacionarna hidravlika. Simuliran je konstantni stacionarni tok.
- Sprememba temperature je simulirana kot meteorološka funkcija na dnevni časovni skali.
- Dnevna kinetika kvalitete vode. Vse spremenljivke vodne kvalitete so simulirane na dnevni časovni skali.
- Vnos toplote in mase. Točkovni in netočkovni vnosi in odvzemi so simulirani.

Q2K vsebuje naslednje nove elemente:

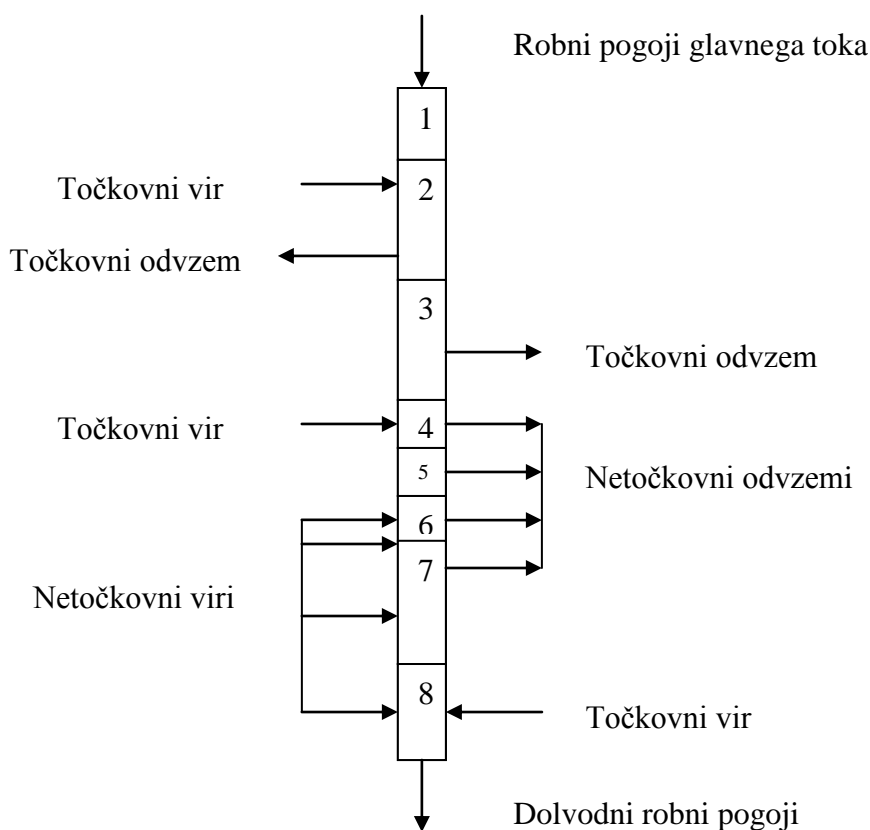
- Programsko okolje in vmesnike. Q2K deluje v okolju Microsoft Windows. Uporablja makre izdelane v Visual Basic-u. Excel je uporabljen kot grafični uporabniški vmesnik.
- Segmentacija modela. V Q2E so morali biti izbrani odseki razdeljeni v elemente enake dolžine. Q2K dovoljuje elemente različnih dolžin. Poleg tega se v za posamezne odseke lahko določi več vnosov in odvzemov.
- Q2K uporablja dve vrsti karbonatnega BPK, ki predstavlja organski ogljik. Prva je počasi oksidirajoča oblika, druga pa hitro oksidirajoča oblika. Poleg tega se simulira mrtva razpršena organska snov (detrit). Ta snov je sestavljena iz partikularnega ogljika, dušika in fosforja.
- Anoksičnost. Q2K reagira na anoksičnost tako da reducira oksidacijske reakcija na nič pri nizki stopnji kisika. Poleg tega se modelira tudi denitrifikacija kot reakcija prve stopnje, ki je poudarjena v situacijah, kjer je malo kisika.
- Povezava sediment-voda. Simulira se porast raztopljenega kisika in nutrientov (Q2E je to predpisal in simuliral).
- Alge. Model izključno simulira pritrjene talne alge.
- Pomanjkanje svetlobe. Pomanjkanje svetlobe se upošteva pri funkcijah alg, detrita in neorganskih trdnih snovi.

- pH. Simulira se tako alkalnost, kot tudi neorganski ogljik. pH v reki se nato določi na podlagi teh simulacij.
- Patogenost. Simuliran je splošen patogeni organizem. Selitev patogenih organizmov je določena kot funkcija temperature, svetlobe in namestitve.

### 8.2.2.1 Možnosti programa

#### Segmentacija in hidravlika

Program simulira glavni tok reke (prikazan na sliki 8.2.2.1a). Pritoki se ne modelirajo posebej, ampak so lahko podani kot točkovni viri.



Slika 8.2.2.1a: Segmentacija

Konstantno tokovno ravnotežje je določeno za vsak odsek.

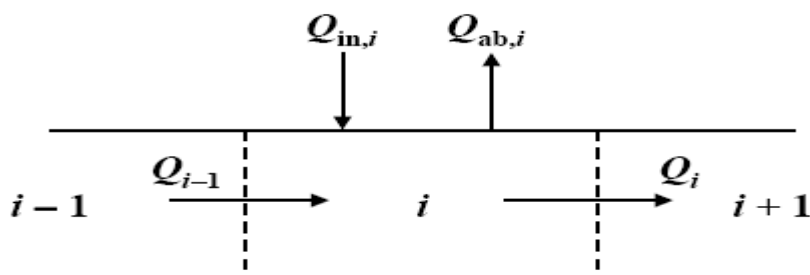
$$Q_i = Q_{i-1} + Q_{in,i} - Q_{ab,i} \quad \dots 8.2.2.1a$$

$Q_i$  – odtok iz odseka  $i$  v odsek  $i+1$

$Q_{i-1}$  – pritok iz gorvodnega odseka  $i-1$

$Q_{in,i}$  – celotni pritok iz točkovnih in netočkovnih virov

$Q_{ab,i}$  – odtok iz odsekov zaradi točkovnih ali netočkovnih odvzemov



Slika 8.2.2.1b: Tokovno ravnotežje

Celoten pritok iz virov je izračunan:

$$Q_{in,i} = \sum_{j=1}^{psi} Q_{ps,i,j} + \sum_{j=1}^{npsi} Q_{nps,i,j} \quad \dots 8.2.2.1b$$

$Q_{ps,i,j}$  –  $j$ -ti točkovni vir odseka  $i$

$psi$  – celotno število točkovnih virov odseka  $i$

$npsi$  – celotno število netočkovnih virov odseka  $i$

Celoten odtok iz odvzemov je izračunan:

$$Q_{ab,i} = \sum_{j=1}^{pai} Q_{pa,i,j} + \sum_{j=1}^{npai} Q_{npa,i,j} \quad \dots 8.2.2.1c$$

$Q_{pa,i,j}$  –  $j$ -ti točkovni odvzem v odseku  $i$

$pai$  – celotno število točkovnih odvzemov v odseku  $i$

$npai$  – celotno število netočkovnih odvzemov v odseku  $i$

Netočkovni viri in vzemi se modelirajo kot linijski viri. Netočkovni vir ali odvzem je definiran z začetkom in koncem v kilometraži. Količina vira ali odvzema iz posameznih odsekov se določi procentualno glede na velikost odseka.

### Vnos podatkov

Program Q2K sestavlja 18 delovnih listov (worksheets) namenjenih tako za vnos podatkov o izbranem sistemu, kot tudi za vnos kvalitativnih podatkov, ki se nanašajo na sistem.

#### 1.) Delovni list – Qual2K

Uporablja se za vnos osnovnih (generalnih) informacij, ki zadevajo posamezno aplikacijo modela.

- Poleg direktorija kamor se datoteke shranjujejo, je potrebno vnesti datum simulacije. Izbral sem 12/5/2000. Za računski korak sem izbral 0,25 ure, medtem ko sem za čas trajanja izračuna določil 3 dni. Čas sončnega vzhoda in zahoda ter čas zenita so podani za datum 12/5/2006.

Tabela 16: Delovni list – QUAL2K

<b>System ID:</b>		
<b>River name</b>	KRKA	
<b>Saved file name</b>	Krka01	
<b>Directory where file saved</b>	D:\ŠTUDIJ\DIPLOMA\Qual2k\Moj primer - KRKA	
<b>Month</b>	5	
<b>Day</b>	12	
<b>Year</b>	2000	
<b>Time zone</b>	Eastern	
<b>Daylight savings time</b>	Yes	
<b>Calculation:</b>		
<b>Calculation step</b>	0.25	hours
<b>Final time</b>	3	day
<b>Program determined calc step</b>	0.187500	hours
<b>Time of last calculation</b>	0.10	minutes
<b>Time of sunrise</b>	1:32 AM	
<b>Time of solar noon</b>	8:56 AM	
<b>Time of sunset</b>	4:22 PM	
<b>Photoperiod</b>	14.83	hours

## 2.) Delovni list – Izvir (Headwater)

Uporablja se za vnos podatkov o pretoku in kvalitativnih parametrih vode na izviru. Podajamo urne podatke za obdobje 24 ur. Ti podatki so pomembni, saj predstavljajo robne pogoje sistema.

- Za pretok na izviru sem izbral srednji pretok v Podbukovju (2,5 m<sup>3</sup>/s). V rumenih poljih so podatki, katere sem uporabil v simulaciji, medtem ko ostalih parametrov nisem uporabil v simulaciji. Tabela se nadaljuje in obsega urne podatke za obdobje 24 ur.

Tabela 17: Delovni list – IZVIR

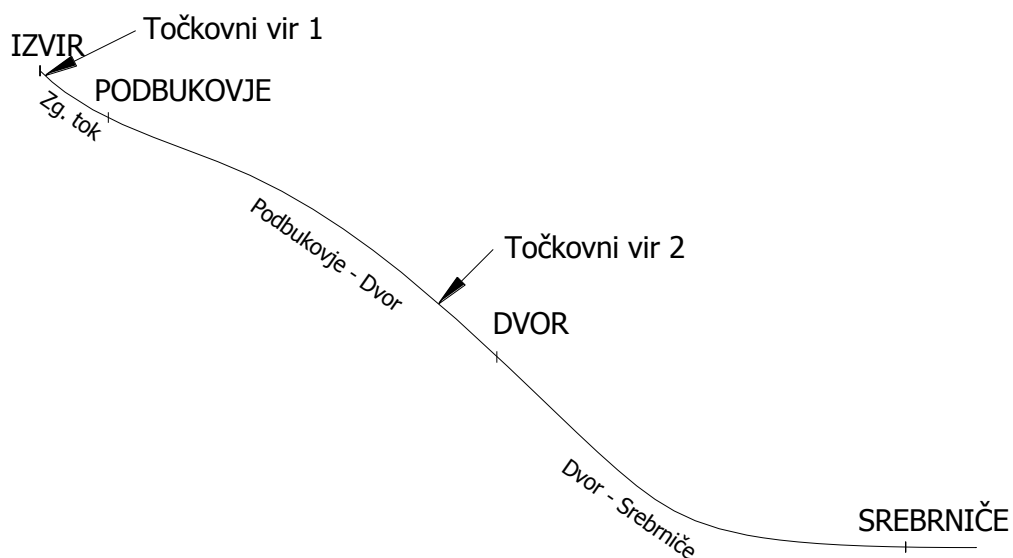
<b>Headwater Flow</b>	<b>2.500</b>	<b>m3/s</b>		
<b>Prescribed downstream boundary?</b>	<b>No</b>			
<b>Headwater Water Quality</b>	<b>Units</b>	<b>12:00 AM</b>	<b>1:00 AM</b>	<b>2:00 AM</b>
<b>Temperature</b>	<b>C</b>	<b>10.60</b>	<b>10.60</b>	<b>10.60</b>
<b>Conductivity</b>	<b>umhos</b>	<b>0.00</b>	<b>0.00</b>	<b>0.00</b>
<b>Inorganic Solids</b>	<b>mgD/L</b>	<b>0.00</b>	<b>0.00</b>	<b>0.00</b>
<b>Dissolved Oxygen</b>	<b>mg/L</b>	<b>10.80</b>	<b>10.80</b>	<b>10.70</b>
<b>CBODslow</b>	<b>mgO2/L</b>	<b>1.43</b>	<b>1.43</b>	<b>1.43</b>
<b>CBODfast</b>	<b>mgO2/L</b>	<b>1.43</b>	<b>1.43</b>	<b>1.43</b>
<b>Dissolved Organic Nitrogen</b>	<b>ugN/L</b>	<b>0.00</b>	<b>0.00</b>	<b>0.00</b>
<b>NH4-Nitrogen</b>	<b>ugN/L</b>	<b>97.50</b>	<b>97.50</b>	<b>97.50</b>
<b>NO3-Nitrogen</b>	<b>ugN/L</b>	<b>5787.50</b>	<b>5787.50</b>	<b>5787.50</b>
<b>Dissolved Organic Phosphorus</b>	<b>ugP/L</b>	<b>16.50</b>	<b>16.50</b>	<b>16.50</b>
<b>Inorganic Phosphorus (SRP)</b>	<b>ugP/L</b>	<b>81.25</b>	<b>81.25</b>	<b>81.25</b>
<b>Phytoplankton</b>	<b>ugA/L</b>	<b>0.00</b>	<b>0.00</b>	<b>0.00</b>
<b>Detritus (POM)</b>	<b>mgD/L</b>	<b>0.00</b>	<b>0.00</b>	<b>0.00</b>
<b>Pathogen</b>	<b>cfu/100 mL</b>	<b>0.00</b>	<b>0.00</b>	<b>0.00</b>
<b>Alkalinity</b>	<b>mgCaCO3/L</b>	<b>0.00</b>	<b>0.00</b>	<b>0.00</b>
<b>pH</b>	<b>s.u.</b>	<b>7.70</b>	<b>7.70</b>	<b>7.70</b>

## 3.) Delovni list – Odsek (Reach)

Uporablja se za vnos podatkov o segmentaciji in hidravliki sistema, ki smo ga izbrali. Tu sistem razdelimo v odseke, ga prostorsko definiramo (določimo dolžine odsekov - kilometražo, geografske koordinate, višinske kote). Poleg tega moramo vnesti podatke o rečnem kanalu, ki ga obravnavamo.

- Kot je razvidno v tabeli 18 sem razdelil sistem na 3 odseke. Poleg tega sem določil kilometražo odsekov, koncem dolvodnih odsekov pa sem določil geografske

koordinate. Za hidravlični model sem izbral Manningovo formulo, pri čemer sem si pomagal s podatki pridobljenimi v programu HEC – RAS.



Slika 8.2.2.1c: Shema obravnavanega območja

Tabela 18: Segmentacija obravnavanega območja

REACH LABEL	DOWNSTREAM END OF REACH LABEL	NUMBER
	Izvir	0
Zgornji tok	Podbukovje	1
Podbukovje - Dvor	Dvor	2
Podbukovje - Srebrniče	Srebrniče	3

#### 4.) Delovni list – Temperatura zraka (Air temperature)

Uporablja se za vnos podatkov o urnih temperaturah zraka [°C] za celoten sistem odsekov.

5.) Delovni list – Temperatura rosišča (Dew-point temperature)

Uporablja se za vnos podatkov o urnih temperaturah rosišča [°C] (temperatura pri kateri postane zrak nasičen in nastaja rosa) za celoten sistem odsekov.

- Temperatura rosišča je temperatura, pri kateri zrak postane nasičen in se začne proces kondenzacije.

6.) Delovni list – Hitrost vetra (Wind speed)

Uporablja se za vnos podatkov o urni hitrosti vetra [m/s] za celoten sistem odsekov.

- Hitrost vetra je bila prav tako odčitana dne 12/5/2006, in sicer je znašala med 5 – 10 vozlov (1 vozlov = 0,5144 m/s). V simulacije sem izbral za hitrost vetra 7 vozlov oziroma 3,6 m/s.

7.) Delovni list – Oblačnost (Cloud cover)

Uporablja se za vnos podatkov o urni oblačnosti (% pokritosti neba z oblaki) za celoten sistem odsekov.

8.) Delovni list – Osenčenost (Shade)

Uporablja se za vnos podatkov o urni osenčenosti za celoten sistem odsekov. Osenčenost je definirana kot delec sončne radiacije, ki je blokiran zaradi sence, ki nastopi kot posledica topografije ali vegetacije.

9.) Delovni list – Razmerja (Rates)

Uporablja se za vnos parametrov modela in njihovih razmerij.

- V tem delovnem listu so podana razmerja med reaktanti in produkti. Podana razmerja se zajemajo neorganske suspendirane delce, kisik, biokemijsko potrebo po kisiku, organski dušik, amonij, nitrate, organski fosfor, fitoplankton, talne alge, detrit in pH. V programu so že določene priporočene vrednosti teh razmerij.



#### 10.) Delovni list – Svetloba in toplota (Light and heat)

Uporablja se za vnos svetlobnih in toplotnih parametrov sistema.

- Tudi za ta delovni list so v programu že določene priporočene vrednosti. Gre za parametre kot so zmanjševanje svetlobe z globino vode, poleg tega so določeni modeli, ki jih program uporablja pri izvedbi simulacije (npr. sončni kratkovalovni radiacijski model – Solar shortwave radiation model).

#### 11.) Delovni list – Točkovni viri (Point sources)

Uporablja se za vnos podatkov o točkovnih virih sistema. Vnesti je potrebno kilometražo ter količinske in kvalitativne lastnosti točkovnega vira.

- Določil sem dva točkovna vira, ki imata vpliv na kvaliteto Krke. Prvi točkovni vir je potok Višnjica, ki priteka v Krko manj kot kilometer po izviru. V Višnjico se namreč stekajo odpadne vode iz Ivančne Gorice. Največji vpliv imata Livar d.d. (kovinska industrija) in pa Farma Stična d.d.. Drugi (glavni) točkovni vir je Žužemberk, kamor se stekajo tako komunalne odpadne vode (problem – neurejen kanalizacijski sistem), kot tudi prečiščene industrijske odpadne vode – Kekon keramični kondenzatorji d.o.o. in Keko varicon d.o.o.. Poleg kilometraže in količine točkovnega vira (Point inflow), je bilo potrebno vnesti tudi kvalitativne lastnosti virov, in sicer sem za posamezen točkovni vir vnesel urne podatke o temperaturi vode, raztopljenem kisiku, BPK, organskem dušiku, amoniaku, nitratih in nitritih, organskem fosforju, neorganskem fosforju ter pH.

#### 12.) Delovni list – Difuzni viri (Diffuse sources)

Uporablja se za vnos podatkov o difuznih (netočkovnih) virih sistema. Vnesti je potrebno kilometražo gorvodnega in dolvodnega območja, kjer difuzni viri pritekajo ali odteka iz sistema. Poleg tega moramo podati še količinske in kvalitativne lastnosti difuznega vira.

- Za difuzne oziroma razpršene (netočkovne) vire sem določil celotno izbrano območje, torej od kilometra 0,0 do 38,06. Poleg tega je bilo prav tako potrebno vnesti količino ter kvalitativne lastnosti teh virov. Za simulacijo sem vnesel enake parametre, kot so naštetih že pri točkovnih virih.

### 13.) Delovni list – Hidravlika (Hydraulics data)

Uporablja se za vnos podatkov o hidravliki sistema.

- Kot je razvidno v tabeli 19, je v prvem stolpcu podana kilometraža. Za referenčne točke sem izbral vodomerno postajo Podbukovje, vodomerno postajo Dvor in končno točko modela, ki jo predstavlja vodomerna postaja Srebrniče. Sledi stolpec s podatki o pretoku ter podatki o globini vode. Podatke o hitrosti toka ter času potovanja sem dobil iz programa HEC – RAS.

Tabela 19: Delovni list – Hidravlika

<b>Distance</b>	<b>Q-data</b>	<b>H-data</b>	<b>U-data</b>	<b>Travel time</b>
<b>x(km)</b>	<b>m<sup>3</sup>/s</b>	<b>m</b>	<b>m/s</b>	<b>data (d)</b>
<b>2.600</b>	<b>2.500</b>	<b>0.282</b>	<b>0.120</b>	<b>0.251</b>
<b>21.550</b>	<b>6.200</b>	<b>0.927</b>	<b>0.150</b>	<b>1.663</b>
<b>38.060</b>	<b>8.290</b>	<b>2.520</b>	<b>0.180</b>	<b>2.447</b>

### 14.) Delovni list – Temperatura (Temperature data)

Uporablja se za vnos temperaturnih podatkov sistema.

Tabela 20: Delovni list – Temperatura

<b>Distance</b>	<b>Mean</b>	<b>Minimum</b>	<b>Maximum</b>
<b>x(km)</b>	<b>Temp-data</b>	<b>Temp-data</b>	<b>Temp-data</b>
<b>2.60</b>	<b>10.98</b>	<b>10.60</b>	<b>11.60</b>
<b>38.06</b>	<b>12.31</b>	<b>11.00</b>	<b>13.70</b>

### 15.) Delovni list – Kvaliteta vode (Water quality data)

Uporablja se za vnos srednjih dnevnih vrednosti parametrov kvalitete vode sistema.

- Vnesel sem srednje dnevne podatke o raztopljenem kisiku, amoniaku, nitratih, organskem fosforju, neorganskem fosforju, celotnemu fosforju, pH, celotnemu dušiku, celotnemu ogljiku ter nasičenosti s kisikom.

### 16.) Delovni list – Kvaliteta vode - minimum (WQ data Min)

Uporablja se za vnos minimalnih dnevnih vrednosti parametrov kvalitete vode sistema.

17.) Delovni list – Kvaliteta vode - maksimum (WQ data Max)

Uporablja se za vnos maksimalnih dnevni vrednosti parametrov kvalitete vode sistema.

18.) Delovni list – 24-urni podatki (Diel data)

Uporablja se za vnos 24-urnih podatkov o sistemu. Te podatke program uporabi za izris grafov v izhodnih datotekah 24-urnega modela.

Podatke vnesene v delovne liste Hidravlika, Temperatura, Kvaliteta vode, Kvaliteta vode – minimum, Kvaliteta vode – maksimum in 24-urni podatki, program prikaže na grafih.

Izvedba izračunov

Ko uporabnik izpolni navedene delovne liste, lahko zažene program z ukazom Run.

Pregled rezultatov

a) Rezultati podani v tabelah:

Q2K generira rezultate izračunov v obliki tabel in jih poda v seriji delovnih listov.

19.) Delovni list – Povzetek virov (Source summary)

Prikaže povzetek vseh obremenitev za vsak odsek modela.

20.) Delovni list – Povzetek hidravlike (Hydraulics summary)

Prikaže povzetek hidravličnih parametrov za vsak odsek modela.

21.) Delovni list – Izhodna datoteka temperatur (Temperature output)

Prikaže povzetke izhodnih datotek temperatur za vsak odsek modela.

22.) Delovni list – Izhodna datoteka vodne kvalitete (WQ output)

Prikaže povzetke izhodnih datotek vodne kvalitete (srednjih vrednosti) za vsak odsek modela.

23.) Delovni list – Izhodna datoteka vodne kvalitete - minimum (WQ min)

Prikaže povzetke izhodnih datotek vodne kvalitete (minimalnih vrednosti) za vsak odsek modela.

24.) Delovni list – Izhodna datoteka vodne kvalitete - maksimum (WQ max)

Prikaže povzetke izhodnih datotek vodne kvalitete (maksimalnih vrednosti) za vsak odsek modela.

25.) Delovni list – Spreminjanje sedimenta (Sediment flux)

Prikaže povzetke spreminjanja količine kisika in nutrientov med vodo in sedimenti za vsak odsek modela.

26.) Delovni list – Izhodna datoteka 24-urnih podatkov (Diel output)

Prikaže povzetke izhodnih datotek 24-urnih podatkov o temperaturi in vodni kvaliteti. Poleg temperature vode je prikazana tudi temperatura površine sedimentov. Prikazani pa so tudi 24-urni podatki o celotnih suspendiranih snoveh, fosforju, dušiku in raztopljenemu kisiku.

b) Grafično podani rezultati:

Q2K prikaže serijo grafov, kjer so izrisani izhodni podatki modela glede na dolžino vzdolž reke. Grafi so označeni z imenom reke in datumom simulacije. Izrisane so naslednje spremenljivke:

- Hidravlika (Hydraulics plots): čas potovanja, pretok, hitrost toka, globina, reaeracija
- Temperatura in generalne spremenljivke (Temperature and state-variable plots): temperatura, konduktivnost, neorganski suspendirani delci, raztopljen kisik, ...
- Dodatne generalne spremenljivke (Additional state-variable plots): talne alge, amoniak, celotni dušik, celotni fosfor, celotni suspendirani delci, ...
- Sediment – voda (Sediment-water plots): porast  $\text{CH}_4$  v sedimentu, porast  $\text{NH}_4$  v sedimentu, porast neorganskega fosforja v sedimentu, ...

Q2K prikaže tudi serijo grafov (Diel charts), kjer so izrisani izhodni podatki modela glede na čas dneva (v urah), in sicer za temperaturo ter generalne spremenljivke modela.

V večini primerov Q2K prikaže poleg rezultatov simulacije tudi vhodne podatke. Uporabnik tako lahko primerja v kolikšni meri se vhodni podatki razlikujejo od dobljenih rezultatov.

### 8.3 Predstavitev rezultatov modelne simulacije

a) Rezultati podani v tabelah

#### Izhodna datoteka temperatur

Tabela 21: Izhodna datoteka temperatur

<b>Reach</b>	<b>Distance</b>	<b>Temp(C)</b>	<b>Temp(C)</b>	<b>Temp(C)</b>
<b>Label</b>	<b>x(km)</b>	<b>Average</b>	<b>Minimum</b>	<b>Maximum</b>
	0.00	10.95	10.60	11.69
Zgornji tok	1.30	11.65	10.62	12.60
Podbukovje - Dvor	12.07	15.32	13.41	17.08
Dvor - Srebrniče	29.80	16.95	14.46	19.23
	38.06	16.95	14.46	19.23

Iz tabele je razvidno, da se temperatura vode zvišuje dolvodno, od izvira, kjer je najnižja temperatura, ki znaša 10,6 °C proti končni točki v Srebrničah, kjer je temperatura vode 19,23 °C. Povprečne temperature se gibljejo med 10,95 °C na izviru in 16,95 °C v Srebrničah.

#### Izhodna datoteka vodne kvalitete – izbrani podatki

Tabela 22: Izhodna datoteka vodne kvalitete 1

<b>Reach Label</b>	<b>x(km)</b>	<b>DO(mgO2/L)</b>	<b>No(ugN/L)</b>	<b>NH4(ugN/L)</b>	<b>NH3</b>	<b>NO3(ugN/L)</b>	<b>TN</b>
	0.00	10.93	0.00	97.50	0.97	5787.50	5885.00
Zgornji tok	1.30	10.59	4.99	68.01	0.02	5763.90	5845.85
Podbukovje - Dvor	12.07	9.89	71.28	52.80	3.28	5312.46	5456.12
Dvor - Srebrniče	29.80	9.59	105.40	52.59	3.28	5056.82	5233.27
	38.06	9.59	105.40	52.59	3.28	5056.82	5233.27

Tabela 23: Izhodna datoteka vodne kvalitete 2

<b>Reach Label</b>	<b>x(km)</b>	<b>Po (ugP/L)</b>	<b>Inorg P (ugP/L)</b>	<b>TP</b>	<b>pH</b>	<b>TOC</b>	<b>CBODu</b>	<b>DO sat</b>
	0.00	16.50	81.25	97.75	7.70	2.85	2.85	10.87
Zgornji tok	1.30	13.95	79.70	94.90	7.64	2.34	2.43	10.54
Podbukovje - Dvor	12.07	8.41	47.84	58.97	7.94	1.32	1.51	9.77
Dvor - Srebrniče	29.80	6.73	29.79	39.08	7.95	1.07	1.24	9.50
	38.06	6.73	29.79	39.08	7.95	1.07	1.24	9.50

Raztopljenega kisika (DO) je največ na izviru, nato pa se skozi vse odseke zmanjšuje.

Zanimivo je spremljati gibanje dveh glavnih nutrientov, dušika in fosforja. Medtem ko je organskega dušika in amonija največ na končni točki sistema, pa je ravno obratno z

amoniakom in nitrati. Količinsko so daleč najbolj prisotni nitrati, (5,79 mg/l NO<sub>3</sub>), in sicer na izviru, kar se odraža tudi pri skupnem (totalnem) dušiku.

Fosfor, tako organski kot neorganski se prav tako v največji meri pojavlja na izviru in se kasneje skozi odseke zmanjšuje.

Skozi celoten tok je pH vode blizu 8, kar pomeni, da je voda rahlo bazična.

#### Izhodna datoteka vodne kvalitete - minimum – izbrani podatki

V izhodni datoteki so zbrani najnižje vrednosti (ekstremi) posameznih elementov simulacije.

Tabela 24: Izhodna datoteka vodne kvalitete – minimum 1

<i>Reach Label</i>	<i>x(km)</i>	<i>DO(mgO2/L)</i>	<i>No(ugN/L)</i>	<i>NH4(ugN/L)</i>	<i>NH3</i>	<i>NO3(ugN/L)</i>	<i>TN</i>
	0.00	10.51	0.00	97.50	0.95	5787.50	5885.00
Zgornji tok	1.30	10.14	4.09	35.90	0.01	5723.83	5845.85
Podbukovje - Dvor	12.07	9.07	56.49	11.48	0.09	5208.51	5456.12
Dvor - Srebrniče	29.80	8.74	80.75	10.92	0.13	4952.80	5233.27
	38.06	8.74	80.75	10.92	0.13	4952.80	5233.27

Tabela 25: Izhodna datoteka vodne kvalitete – minimum 2

<i>Reach Label</i>	<i>x(km)</i>	<i>Po (ugP/L)</i>	<i>Inorg P (ugP/L)</i>	<i>TP</i>	<i>pH</i>	<i>TOC</i>	<i>CBODu</i>
	0.00	16.50	81.25	97.75	7.70	2.85	2.85
Zgornji tok	1.30	13.90	70.21	85.47	6.82	2.32	2.39
Podbukovje - Dvor	12.07	8.12	30.93	42.41	6.58	1.24	1.39
Dvor - Srebrniče	29.80	6.38	14.93	24.51	6.70	0.99	1.12
	38.06	6.38	14.93	24.51	6.70	0.99	1.12

#### Izhodna datoteka vodne kvalitete - maksimum – izbrani podatki

V izhodni datoteki so zbrani najvišje vrednosti (ekstremi) posameznih elementov simulacije.

Tabela 26: Izhodna datoteka vodne kvalitete – maksimum 1

<i>Reach Label</i>	<i>x(km)</i>	<i>DO(mgO2/L)</i>	<i>No(ugN/L)</i>	<i>NH4(ugN/L)</i>	<i>NH3</i>	<i>NO3(ugN/L)</i>	<i>TN</i>
	0.00	11.25	0.00	97.50	1.03	5787.50	5885.00
Zgornji tok	1.30	11.04	6.00	106.68	0.03	5801.48	5919.10
Podbukovje - Dvor	12.07	10.88	89.84	110.29	10.74	5432.67	5596.40
Dvor - Srebrniče	29.80	10.75	134.80	103.93	10.67	5208.17	5399.21
	38.06	10.75	134.80	103.93	10.67	5208.17	5399.21

Tabela 27: Izhodna datoteka vodne kvalitete – maksimum 2

<b>Reach Label</b>	<b>x(km)</b>	<b>Po (ugP/L)</b>	<b>Inorg P (ugP/L)</b>	<b>TP</b>	<b>pH</b>	<b>TOC</b>	<b>CBODu</b>
	<b>0.00</b>	<b>16.50</b>	<b>81.25</b>	<b>97.75</b>	<b>7.70</b>	<b>2.85</b>	<b>2.85</b>
<b>Zgornji tok</b>	<b>1.30</b>	<b>14.04</b>	<b>89.95</b>	<b>105.26</b>	<b>7.58</b>	<b>2.37</b>	<b>2.47</b>
<b>Podbukovje - Dvor</b>	<b>12.07</b>	<b>9.00</b>	<b>66.39</b>	<b>78.24</b>	<b>9.62</b>	<b>1.44</b>	<b>1.66</b>
<b>Dvor - Srebrniče</b>	<b>29.80</b>	<b>7.23</b>	<b>47.81</b>	<b>56.87</b>	<b>9.59</b>	<b>1.18</b>	<b>1.39</b>
	<b>38.06</b>	<b>7.23</b>	<b>47.81</b>	<b>56.87</b>	<b>9.59</b>	<b>1.18</b>	<b>1.39</b>

Izhodne datoteke ekstremov, ki jih Q2K generira, so koristne predvsem za pregled razponov, ki se pojavljajo znotraj posameznih elementov simulacije. Zelo velik razpon je prisoten pri pH Krke, kjer rezultati pokažejo, da je maksimalni pH vode v odseku Podbukovje – Dvor 9,62. V kolikor ta podatek primerjamo z merjenimi podatki, ugotovimo, da gre za pretirano vrednost. pH se namreč na merilnem mestu Srebrniče giblje v povprečju okoli 8,1, medtem ko je maksimalni izmerjeni pH med leti 1992 in 2003 znašal 8,4 (18/03/1998).

#### Izhodna datoteka 24-urnih podatkov – izbrani podatki

V tabeli 28 so prikazani izbrani elementi vodne kvalitete ter njihovo spreminjanje v obdobju 24 ur, in sicer za tretji odsek Dvor - Srebrniče (zaradi obsežnosti izhodne datoteke, je prikazana v skrajšani obliki – 0-2 h, 12-14 h in 22-24h; vrednosti nutrientov – dušikovih in fosforjevih spojin so podani v µg/l).

Iz izhodne datoteke lahko razberemo, da je največ raztopljenega kisika v vodi okrog 6 ure zjutraj - 10,75 mg/l, najmanj pa ob 17.44, ko se količina raztopljenega kisika spusti na 8,75 mg/l. Celotnega dušika (TN) je največ ob 2.25 - 5,4 mg/l, najmanj pa okrog 15 ure - 5,2 mg/l. Celotnega fosforja (TP) pa je največ ob 24 uri - 0,056 mg/l, najmanj pa okrog 14 ure - 0,025 mg/l. Temperatura vode je po pričakovanju najnižja v zgodnjih jutranjih urah, ko se spusti pod 14,5 °C, najtoplejša je sredi dneva, ko temperatura preseže 19 °C.

Tabela 28: Izhodna datoteka 24-urnih podatkov

<i>t (hr)</i>	<i>DO(mg/L)</i>	<i>No</i>	<i>NH4</i>	<i>NH3</i>	<i>NO3</i>	<i>TN</i>	<i>Po</i>	<i>Inorg P</i>	<i>TP</i>	<i>pH</i>	<i>Tempw(C)</i>
0.00	9.30	80.75	94.25	0.14	5179.86	5371.42	6.66	42.39	51.35	6.71	15.60
0.19	9.31	81.10	94.53	0.14	5182.05	5374.13	6.65	42.90	51.84	6.71	15.53
0.38	9.33	81.45	94.78	0.14	5184.24	5376.81	6.65	43.41	52.33	6.71	15.47
0.56	9.34	81.80	95.01	0.14	5186.44	5379.47	6.64	43.91	52.81	6.71	15.41
0.75	9.36	82.13	95.22	0.14	5188.64	5382.10	6.64	44.41	53.29	6.71	15.34
0.94	9.37	82.47	95.40	0.13	5190.85	5384.72	6.63	44.91	53.76	6.71	15.27
1.13	9.39	82.79	95.57	0.13	5193.07	5387.31	6.63	45.40	54.23	6.71	15.21
1.31	9.41	83.11	95.71	0.13	5195.28	5389.87	6.62	45.88	54.70	6.70	15.14
1.50	9.42	83.43	95.84	0.13	5197.51	5392.42	6.62	46.37	55.16	6.70	15.07
1.69	9.44	83.74	95.94	0.13	5199.73	5394.95	6.61	46.85	55.61	6.71	15.00
1.88	9.45	84.04	96.02	0.13	5201.95	5397.44	6.60	47.32	56.07	6.70	14.93
2.06	9.48	84.34	95.46	0.13	5204.01	5399.12	6.60	47.68	56.40	6.71	14.87

....

....

12.00	9.66	102.16	22.06	10.62	4995.34	5139.19	6.49	16.11	25.33	9.41	18.71
12.19	9.62	102.68	22.62	10.67	4992.11	5137.21	6.50	15.93	25.18	9.39	18.80
12.38	9.59	103.22	23.19	10.58	4988.97	5135.32	6.51	15.75	25.04	9.36	18.88
12.56	9.55	103.76	23.75	10.61	4985.91	5133.54	6.53	15.60	24.92	9.34	18.95
12.75	9.52	104.31	24.33	10.49	4982.95	5131.85	6.54	15.46	24.81	9.31	19.02
12.94	9.49	104.87	24.91	10.22	4980.08	5130.27	6.56	15.33	24.72	9.27	19.07
13.13	9.46	105.44	25.49	10.06	4977.31	5128.79	6.57	15.22	24.65	9.25	19.12
13.31	9.43	106.01	26.09	9.62	4974.63	5127.41	6.59	15.13	24.59	9.20	19.16
13.50	9.40	106.59	26.69	9.31	4972.04	5126.14	6.60	15.05	24.54	9.16	19.19
13.69	9.38	107.17	27.31	8.85	4969.56	5124.99	6.62	14.99	24.52	9.11	19.21
13.88	9.35	107.76	27.94	8.12	4967.18	5123.96	6.64	14.95	24.51	9.04	19.22
14.06	9.33	108.36	28.60	7.42	4964.92	5123.07	6.66	14.93	24.53	8.97	19.23

....

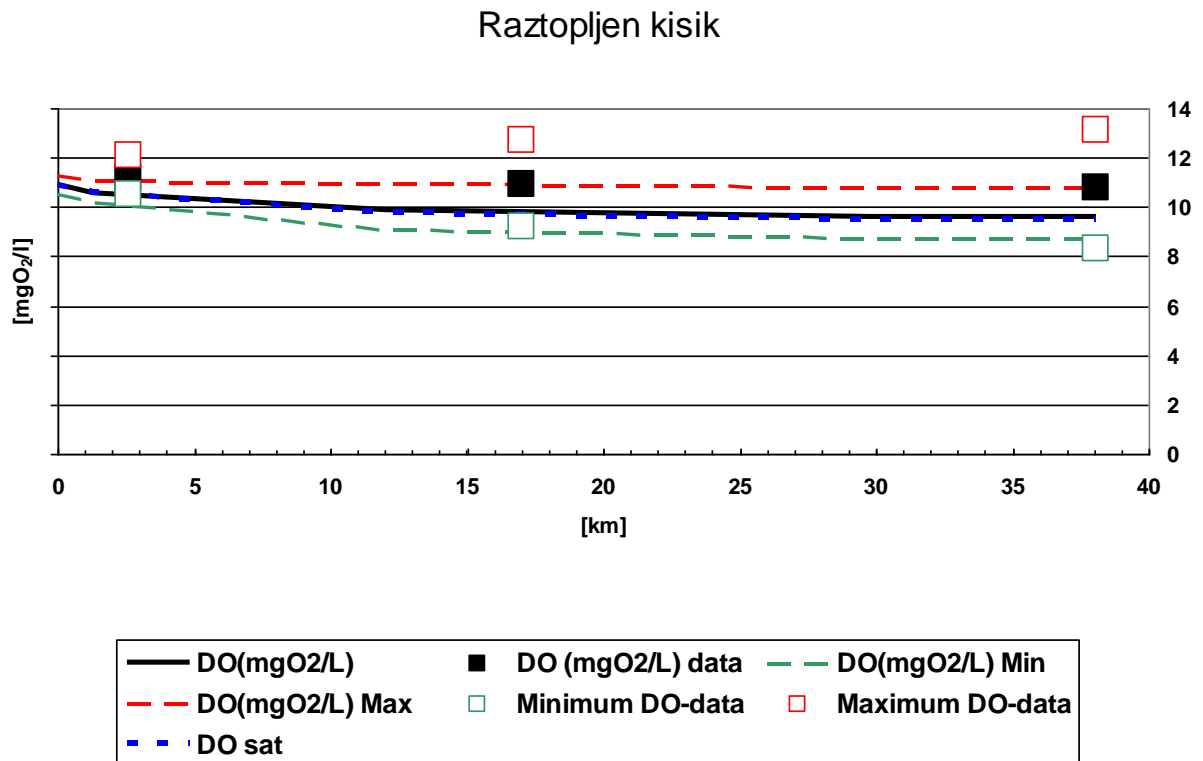
....

21.94	8.98	130.83	98.84	0.18	5017.97	5267.26	7.23	40.50	50.45	6.76	16.85
22.13	8.99	131.23	99.50	0.18	5020.61	5270.81	7.23	41.13	51.07	6.75	16.79
22.31	9.01	131.62	100.10	0.18	5023.26	5274.33	7.23	41.75	51.67	6.75	16.72
22.50	9.02	132.00	100.67	0.18	5025.93	5277.82	7.23	42.37	52.27	6.76	16.65
22.69	9.04	132.38	101.20	0.18	5028.61	5281.27	7.23	42.98	52.87	6.75	16.59
22.88	9.05	132.74	101.69	0.18	5031.30	5284.69	7.23	43.59	53.46	6.75	16.52
23.06	9.07	133.10	102.15	0.18	5034.01	5288.08	7.23	44.19	54.04	6.75	16.45
23.25	9.08	133.46	102.57	0.18	5036.72	5291.43	7.23	44.79	54.62	6.76	16.39
23.44	9.10	133.80	102.96	0.18	5039.45	5294.76	7.23	45.38	55.19	6.75	16.32
23.63	9.12	134.14	103.31	0.18	5042.18	5298.06	7.23	45.97	55.76	6.75	16.26
23.81	9.13	134.47	103.64	0.18	5044.93	5301.32	7.23	46.55	56.32	6.75	16.19
24.00	9.15	134.80	103.93	0.18	5047.68	5304.56	7.22	47.13	56.87	6.75	16.12



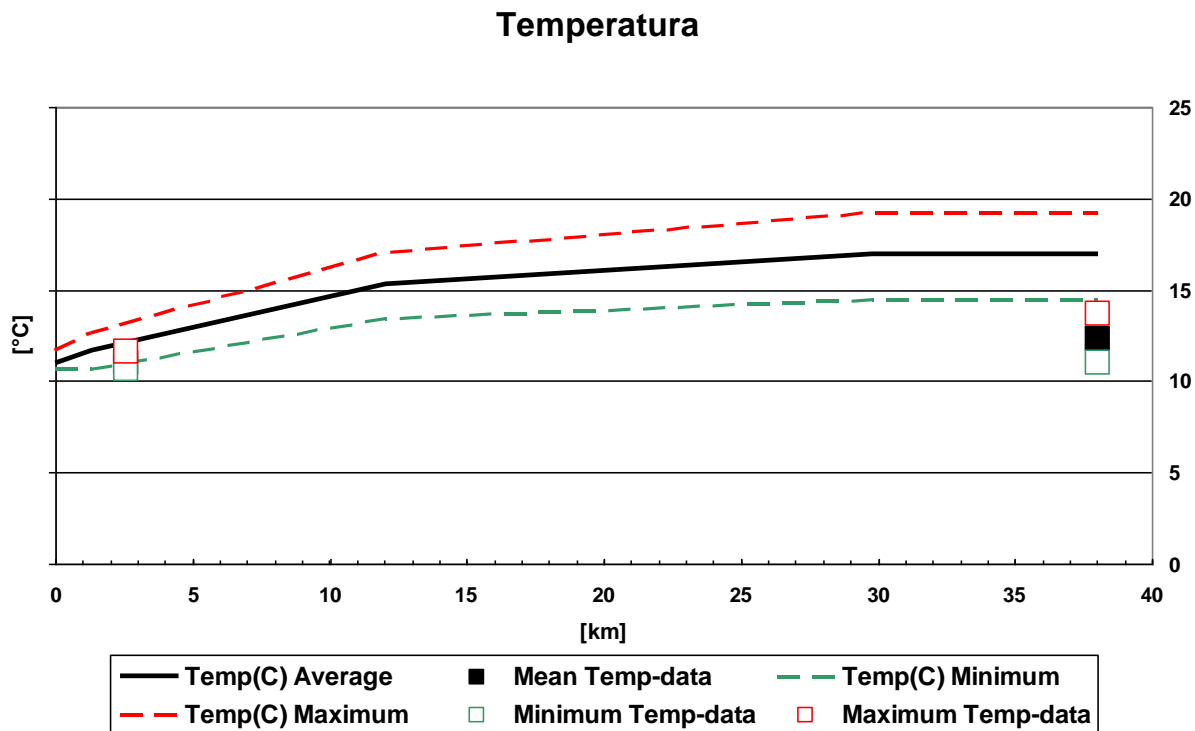
b) Grafično podani rezultati

Raztopljen kisik (DO – dissolved oxygen)



Graf raztopljenega kisika nam prikazuje, da se količina kisika minimalno zmanjšuje po toku navzdol. Na 10 km je ta količina približno 10 mg/l, v končni točki pa okoli 9,6 mg/l. Na grafu so izrisane tudi minimalne in maksimalne vrednosti ter nasičenost raztopljenega kisika v vodi. Opaziti je rahlo odstopanje simulacijskih vrednosti od vhodnih podatkov, saj so vrednosti slednjih nekoliko večje (11 mg/l).

## Temperatura vode



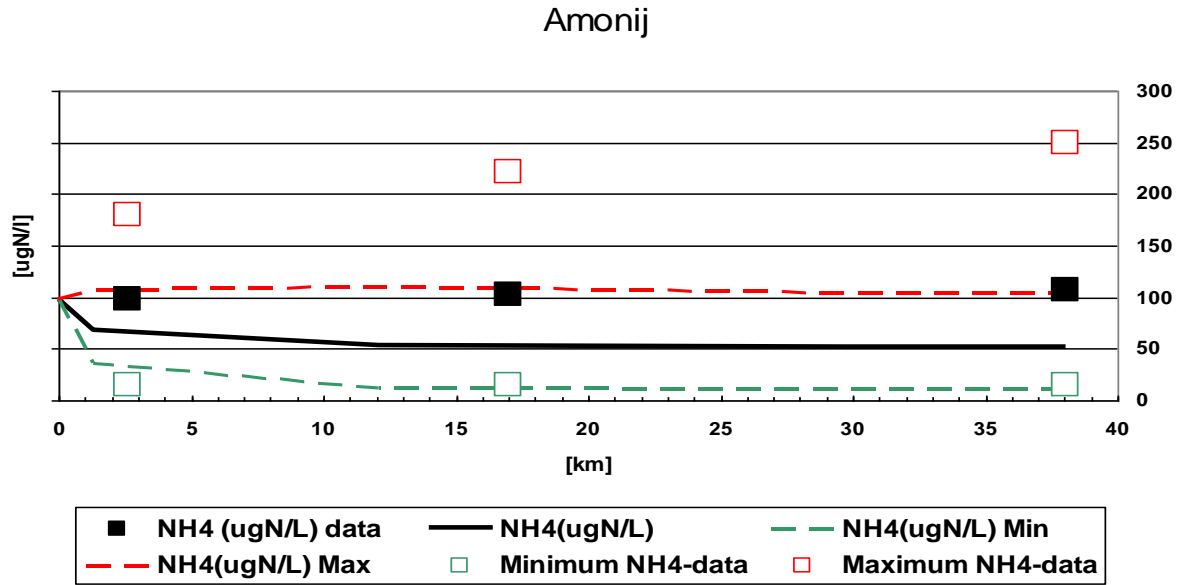
Slika 8.3b: Temperatura

Temperatura vode je pričakovano nižja na izviri in se dolvodno zvišuje. Podatki o gibanju temperature vode skozi izbrani odsek so natančneje prikazani v tabeli 21.

V nadaljevanju sta prikazana grafa Amonij in Amoniak. Količina amonija se dolvodno zmanjšuje in se po 17. km ustali na 50 ug/l. Vrednosti vhodnih podatkov so nekoliko višje od rezultatov in se bolj ujemajo z maksimalnimi vrednostmi amonij.

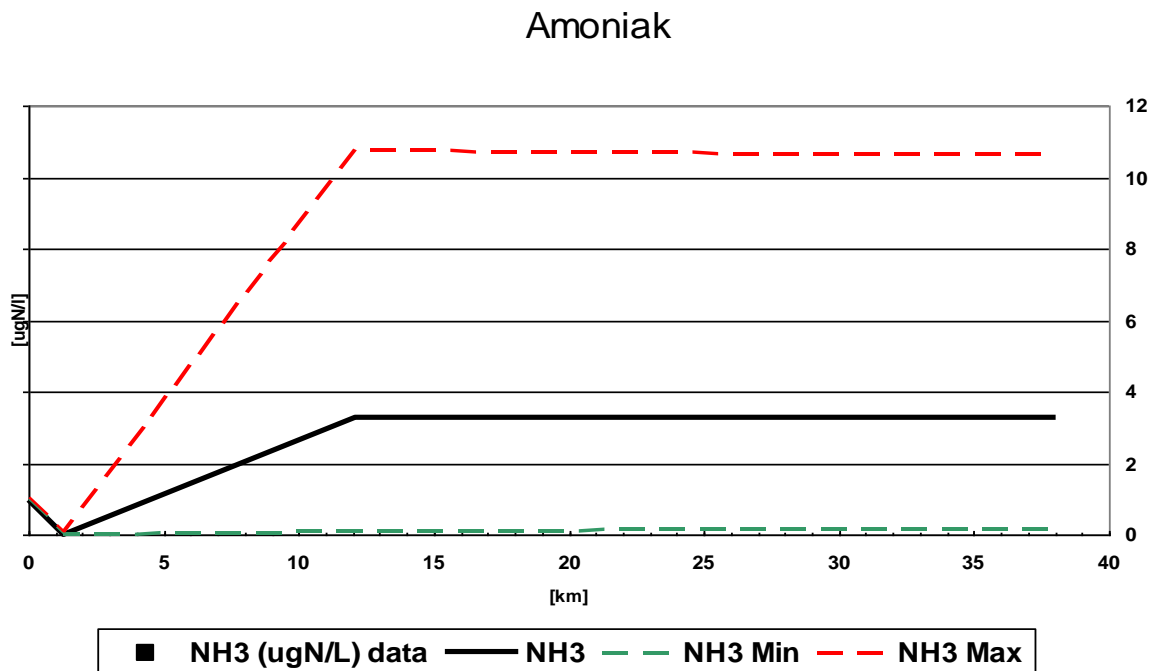
Na grafu Amoniak je moč opaziti, da količina amoniaka pade na 0 po prvem kilometru nato pa linearno narašča in se po 12. km ustali na približno 3,5 ug/l. Pojavljajo se tudi precejšnje razlike med minimalnimi in maksimalnimi vrednostmi. Količine amoniaka so v primerjavi z ostalimi dušikovimi spojinami v vodi daleč najmanjše.

Amonij (NH<sub>4</sub>)



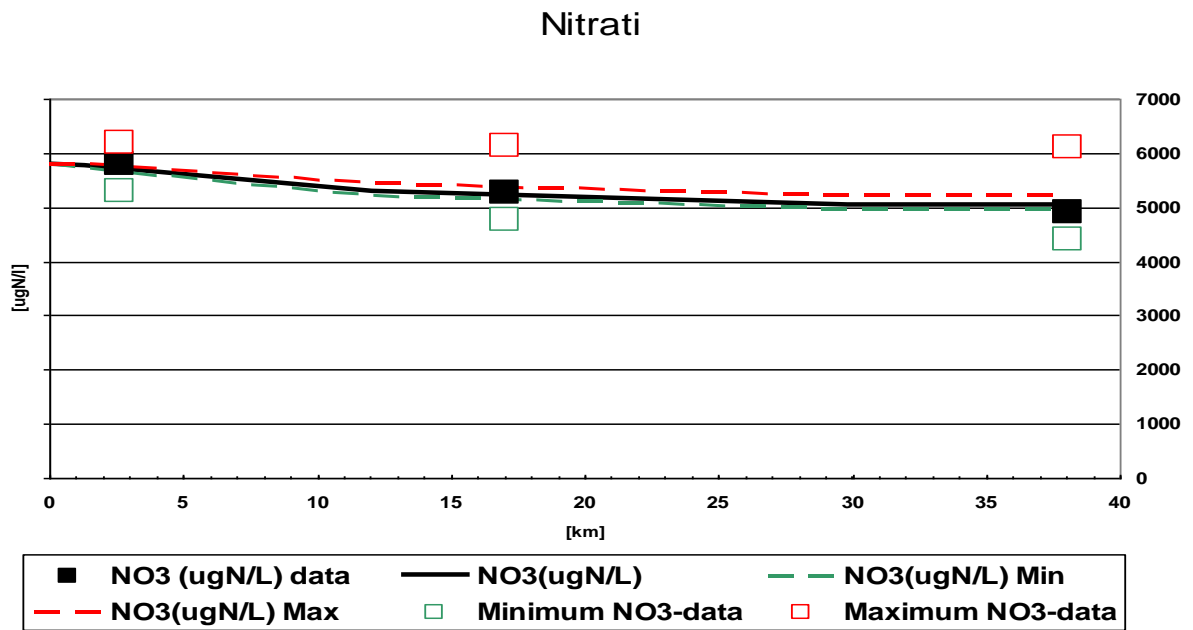
Slika 8.3c: Amonij

Amoniak (NH<sub>3</sub>)

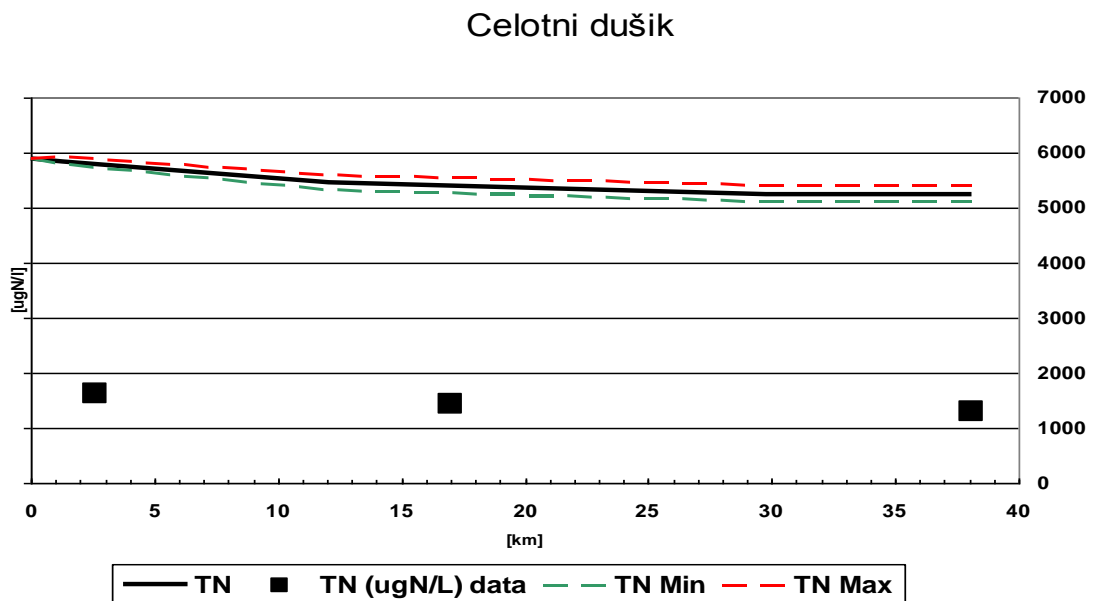


Slika 8.3d: Amoniak

Nitrati (NO<sub>3</sub>)



Celotni dušik (TN)



Slika 8.3e prikazuje količino nitratov skozi izbrani odsek zgornjega toka reke Krke. Ta je v začetku večja (5800 ug/l), nato pa se skozi tok postopno zmanjšuje in v Srebrničah znaša 5000 ug/l oziroma 5,0 mg/l. Dobljeni rezultati se natančno ujemajo s podanimi vhodnimi podatki in tudi rezultati minimalnih ter maksimalnih vrednosti kažejo le majhna odstopanja. Izmed vseh dušikovih spojin v vodi, je količina nitratov daleč največja in tako prispevajo največ v zbir skupnega oziroma celotnega (totalnega) dušika.

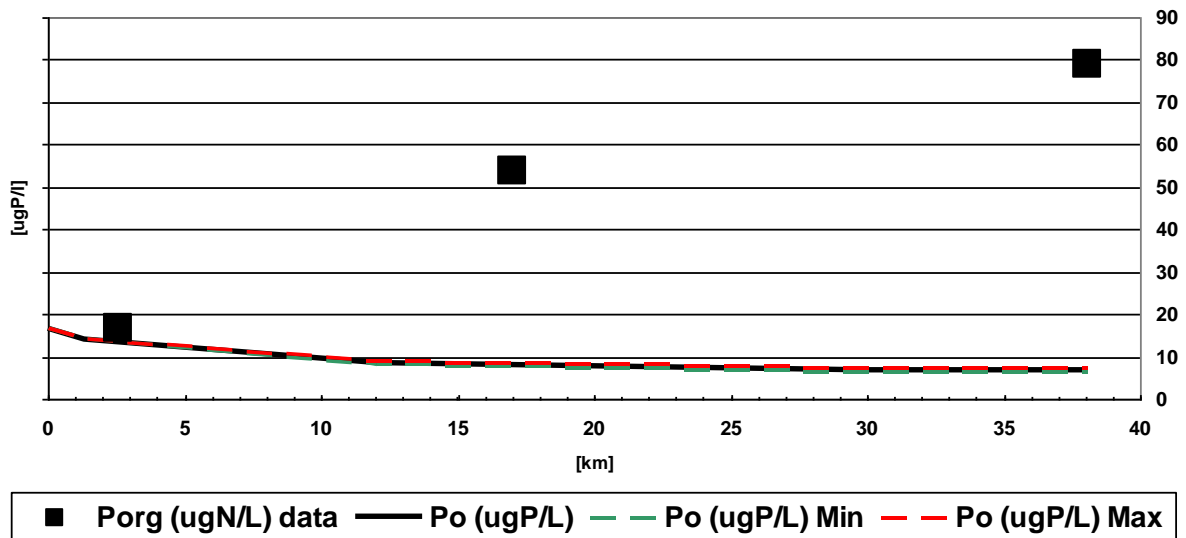
Slika 8.3f pa nam prikazuje zgoraj omenjeni celotni dušik. Tu je potrebno opozoriti na veliko odstopanje med vhodnimi podatki (Arso) in dobljenimi rezultati simulacije. Program Q2K obravnavane količine dušikovih spojin preprosto sešteje in to poda kot količino celotnega dušika v sistemu, medtem ko ima Agencija RS za okolje drugačne metode določanja celotnega dušika, kar je vidno tudi v podatkih (npr. izmerjeni podatki iz dneva 13. 3. 2002 na postaji Srebrniče – nitriti: 6,24 mg/l, skupni dušik: 1,7 mg/l).

Spodaj sta prikazana grafa organskega in neorganskega fosforja. Pri organskem fosforju se pojavlja velika razlika med rezultati simulacije in izmerjenimi podatki Arso. Slednji namreč kažejo, da se količina organskega fosforja povečuje po toku navzdol, medtem ko je simulacija pokazala ravno nasprotno sliko. Ena od možnih razlag za to je v celovitosti simulacije. Raztopljeni organski fosfor se povečuje zaradi raztapljanja detrita (organskega materiala, ki je prisoten v vodnem okolju zaradi razpadanja odmrlih rastlin in živali). V programu je možno simulirati detrit, vendar zaradi pomanjkanja vhodnih podatkov, tega v simulaciji nisem obravnaval. Na drugi strani pa se količina organskega fosforja zmanjšuje zaradi procesa hidrolize.

Količina neorganskega fosforja, ki je prisoten v vodi, rahlo presega količino organskega. Na grafu se vidi, da se rezultati simulacije pri neorganskem fosforju ujemajo z vhodnimi podatki. Količina neorganskega fosforja po toku navzdol pade za približno polovico – iz začetnih 80 ug/l na končnih 35 ug/l.

Organski fosfor

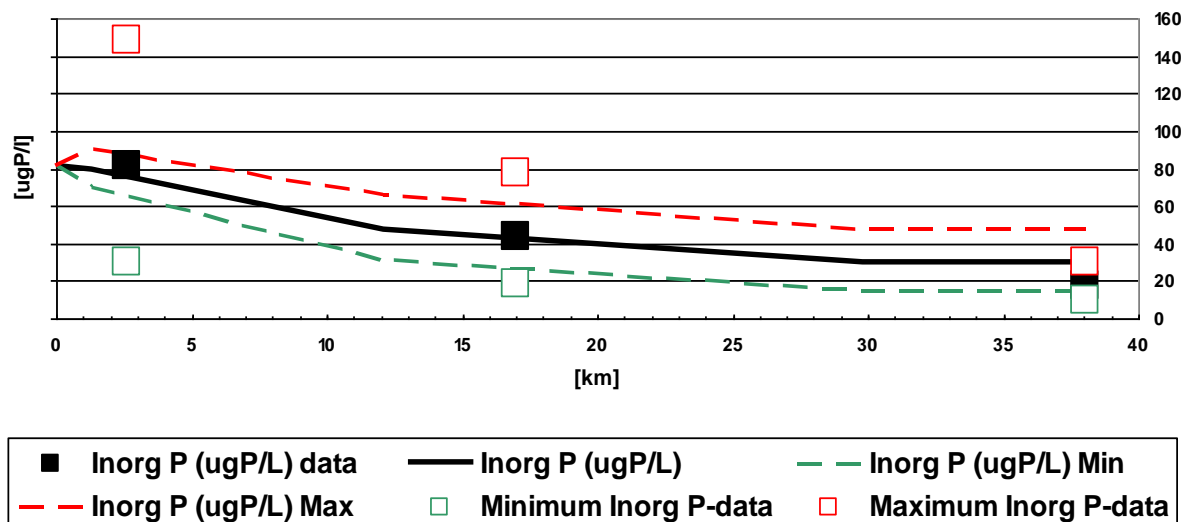
Organski fosfor



Slika 8.3g: Organski fosfor

Neorganski fosfor

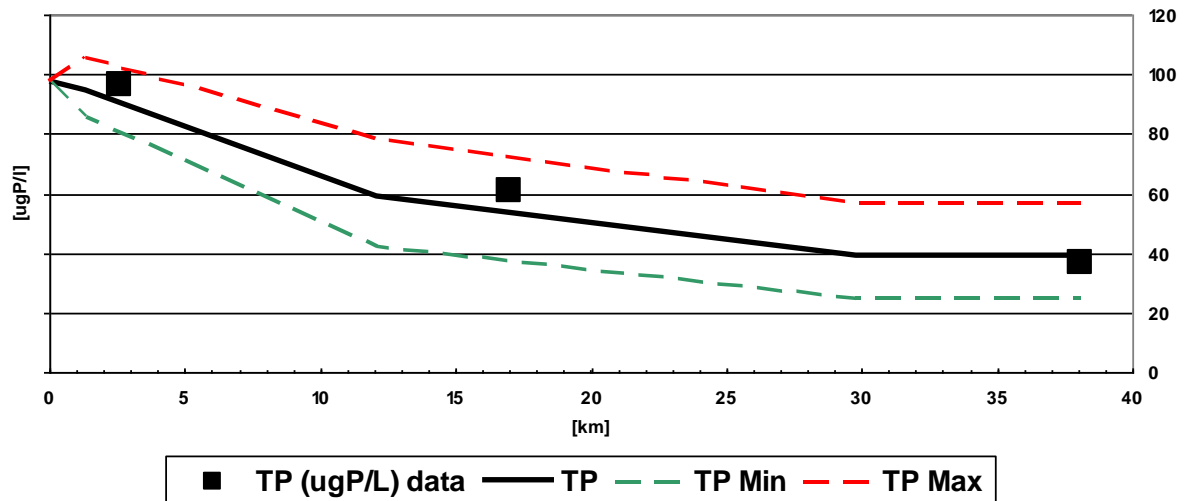
Neorganski fosfor



Slika 8.3h: Neorganski fosfor

Celotni fosfor

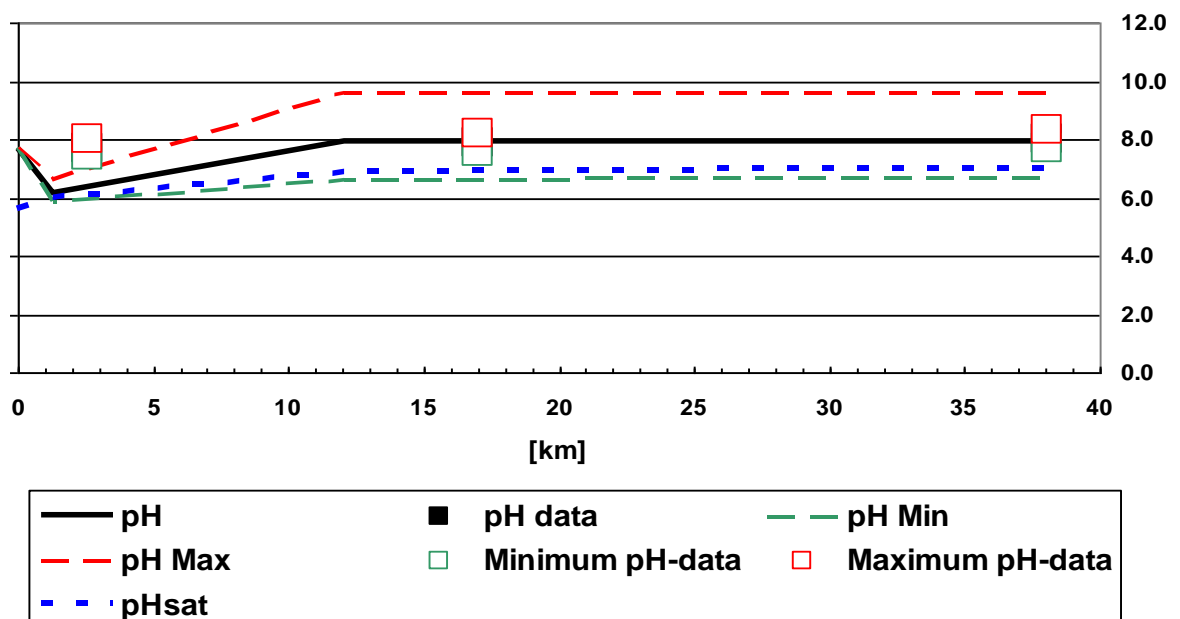
Celotni fosfor



Slika 8.3i: Celotni fosfor

pH

pH



Slika 8.3j: pH

Na sliki 8.3i je prikazan celotni fosfor, ki je prisoten skozi izbran sistem. Pričakovano je simulacija pokazala, da je največja količina fosforja na začetku sistema (kot pri vseh oblikah fosforja), nato pa se ta dolvodno zmanjšuje. Razlika med količino fosforja v začetni točki in količino v končni točki znaša skoraj 60 ug/l. Vhodni podatki se dobro ujemajo z rezultati simulacije.

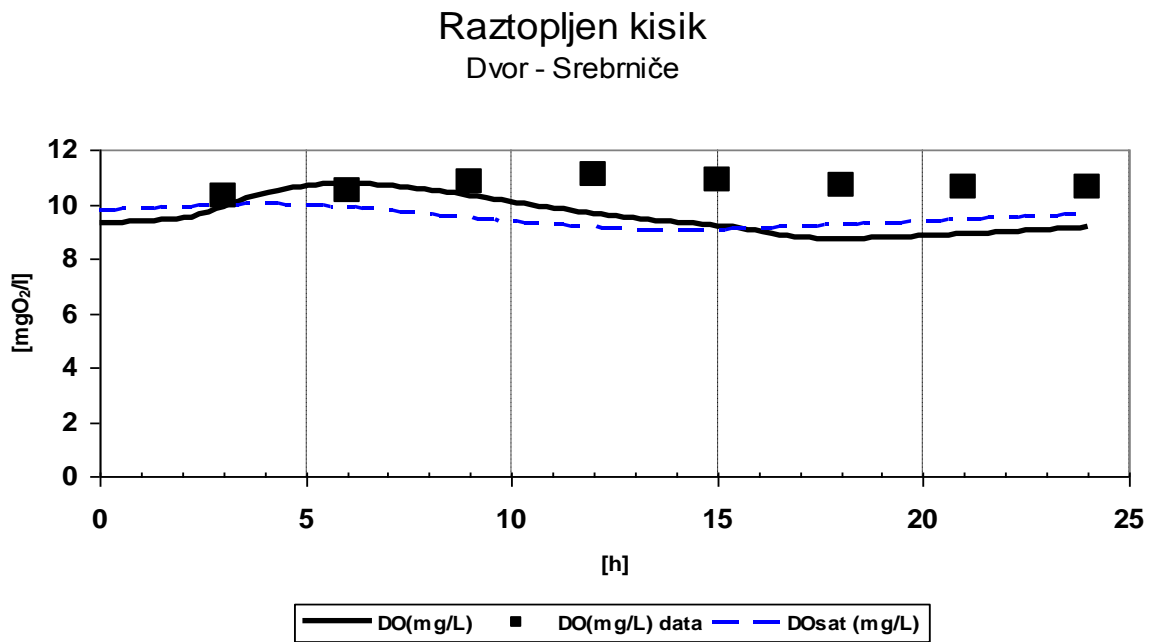
Zadnji graf v sklopu, ki prikazuje vrednosti simulacijskih elementov na izbranem območju, je prikazan na sliki 8.3j, in sicer gre za gibanje pH skozi izbrano območje. Kot je vidno na grafu se pH v zgornjem toku Krke giblje med vrednostima 6 in 8. Simulacija, ki prikazuje maksimalne vrednosti je pokazala, da pH naraste tudi okoli 9,5, kar pa so prav gotovo pretirane vrednosti.

Sledi sklop grafov, ki prikazuje gibanje obravnavanih simulacijskih elementov znotraj 24 ur. Na sliki 8.3k so tako prikazane urne vrednosti raztopljenega kisika. Maksimalne količina raztopljenega kisika v vodi se pojavi okoli 6. ure zjutraj, ta količina celo preseže vrednost saturacije. Čez dan se nato količina raztopljenega kisika postopno zmanjšuje in doseže najnižjo stopnjo nekje okoli 19. ure, nato pa se začne količina raztopljenega kisika v vodi zopet povečevati. Vhodni podatki so dokaj podobni rezultatom simulacije.

Na sliki 8.3l je prikazana dnevna temperatura vode ter tudi sedimentov. Pričakovano je temperatura vode najvišja zgodaj popoldne (14 h), medtem ko je voda najhladnejša okoli 4. ure zjutraj. Vrednosti simulacije precej presegajo vrednosti vhodnih podatkov. Temperatura sedimentov ni bila predmet simulacije, vendar je ta element vgrajen v program, ki to temperaturo določi na podlagi drugih parametrov, med drugim tudi temperature vode.

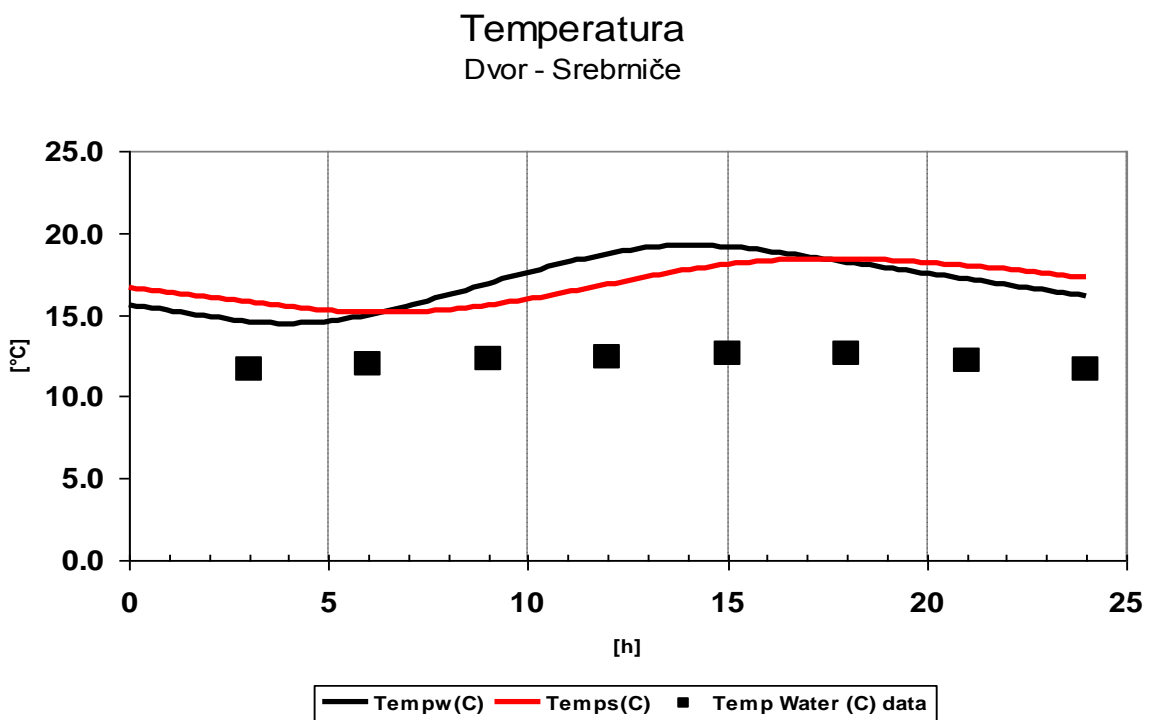


Raztopljen kisik – dnevno nihanje



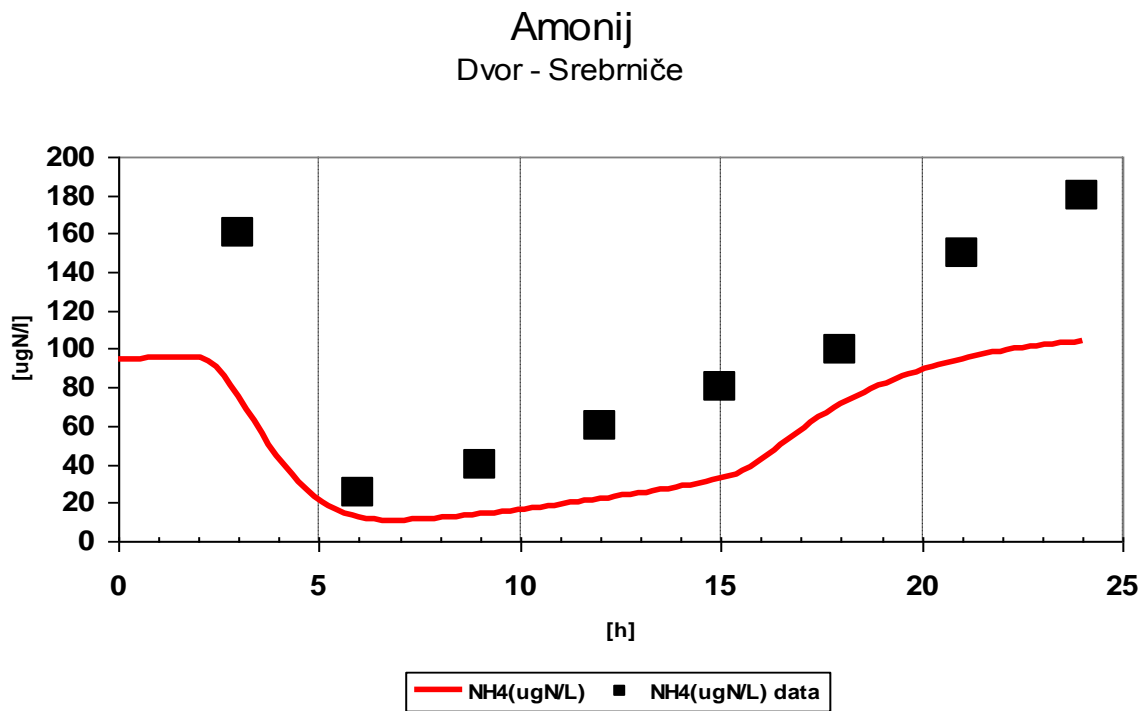
Slika 8.3k: Raztopljen kisik – dnevno nihanje

Temperatura vode in sedimentov – dnevno nihanje



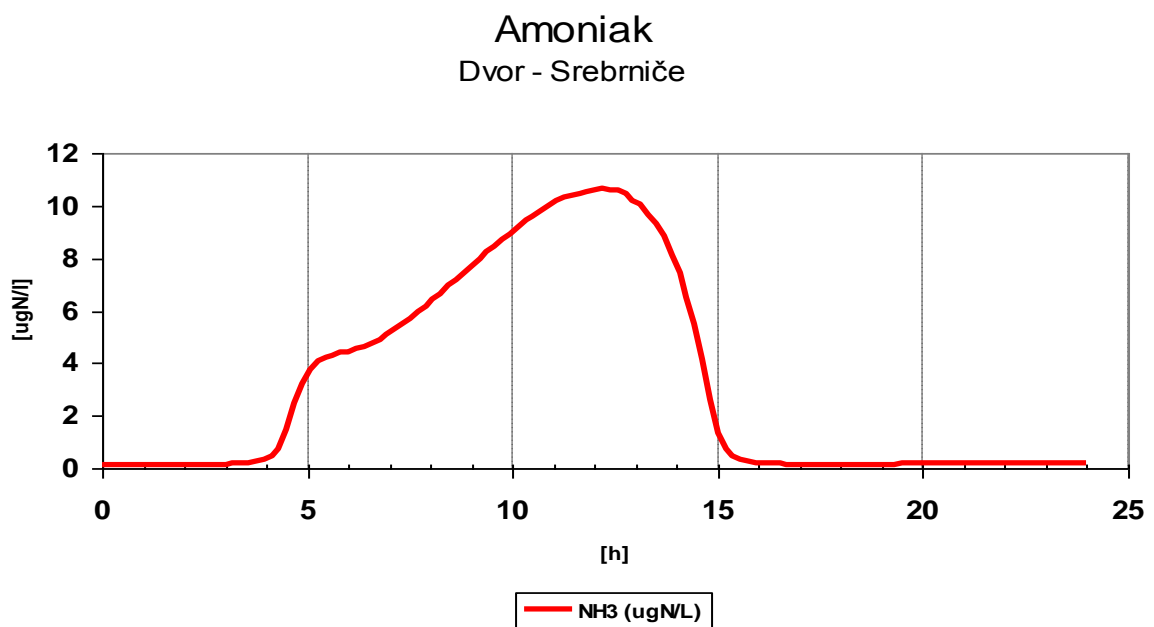
Slika 8.3l: Temperatura – dnevno nihanje

Amonij (NH<sub>4</sub>) – dnevno nihanje



Slika 8.3m: Amonij – dnevno nihanje

Amoniak (NH<sub>3</sub>) – dnevno nihanje



Slika 8.3n: Amoniak – dnevno nihanje

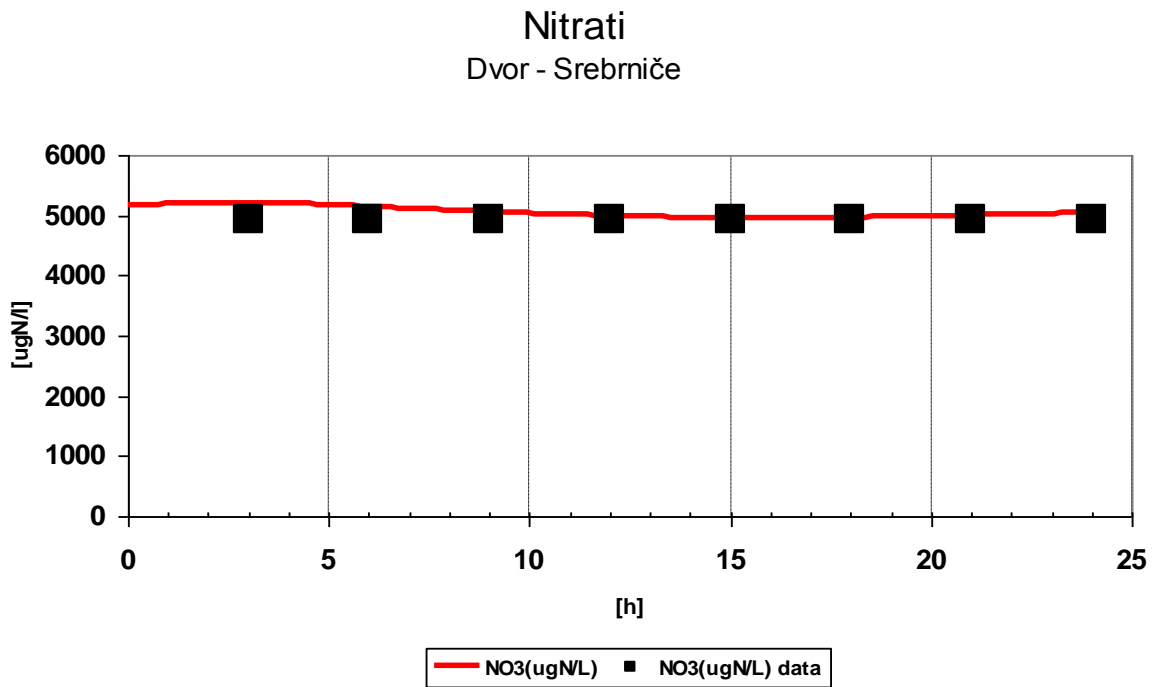
Na zgornjih slikah sta prikazana grafa dnevne gibanja amonija in amoniaka. Največje količine amonija so prisotne nekaj ur po 24., nato pa količina naglo upade in doseže minimum okoli 6. ure zjutraj. Izmerjeni podatki amonija so sicer nekoliko višji, vendar je samo količinsko gibanje skozi dan podobno rezultatom simulacije.

Dnevno gibanje amoniaka, ki je prikazano na sliki 8.3n, pa kaže ravno nasprotno sliko od gibanja amonija. Največ amoniaka se pojavi sredi dneva okoli 12. ure, medtem ko po 16. uri glede na simulacijo amoniak ni prisoten v vodi. Količina amoniaka je nasploh zelo nizka in je pri skupni količini dušika v vodi nepomembna.

Količina nitratov (slika 8.3o) se skozi dan le malenkostno spreminja. Rezultati simulacije se natančno ujemajo z vhodnimi podatki.

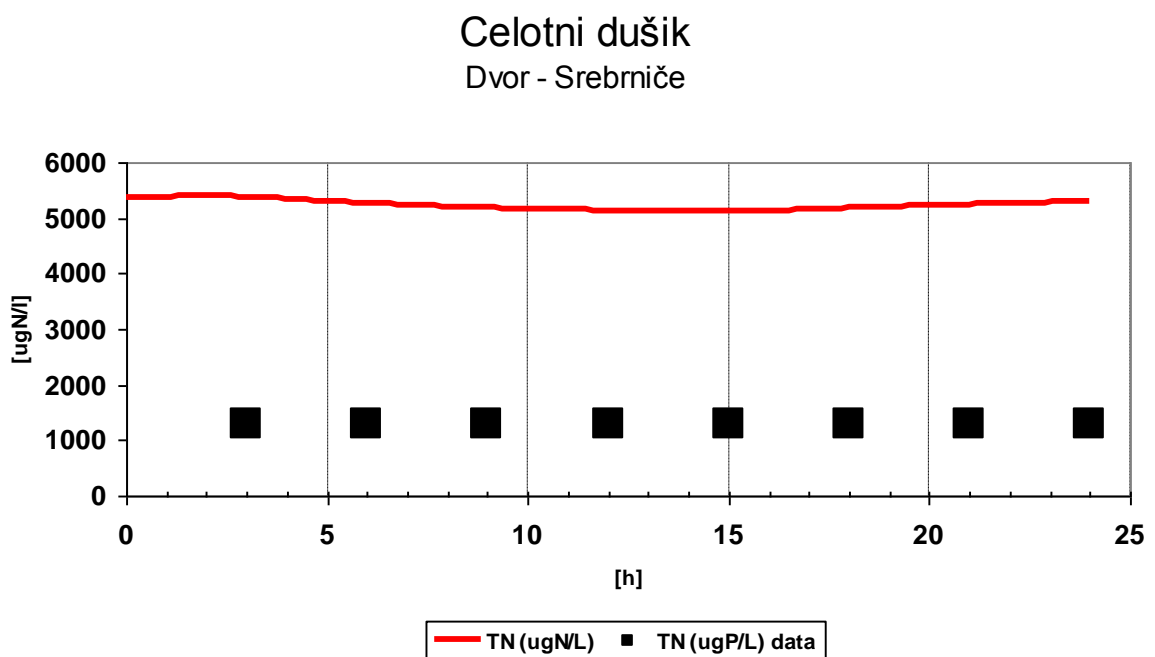
Rezultati simulacije dnevne nihanja količin celotnega dušika v vodi, se iz enakih razlogov kot v predhodnem primeru ne ujemajo s podatki Arso. Količina se giblje blizu 5,5 mg/l in je skozi dan konstantna.

Nitrati (NO<sub>3</sub>) – dnevno nihanje



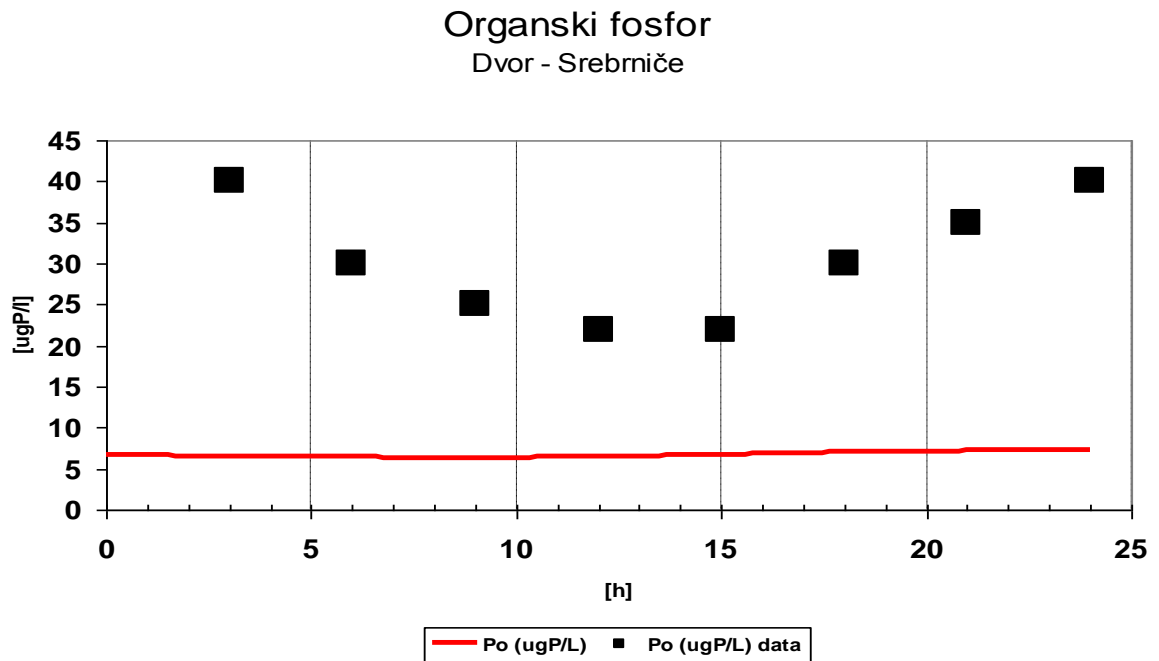
Slika 8.3o: Nitrati – dnevno nihanje

Celotni dušik (TN) – dnevno nihanje



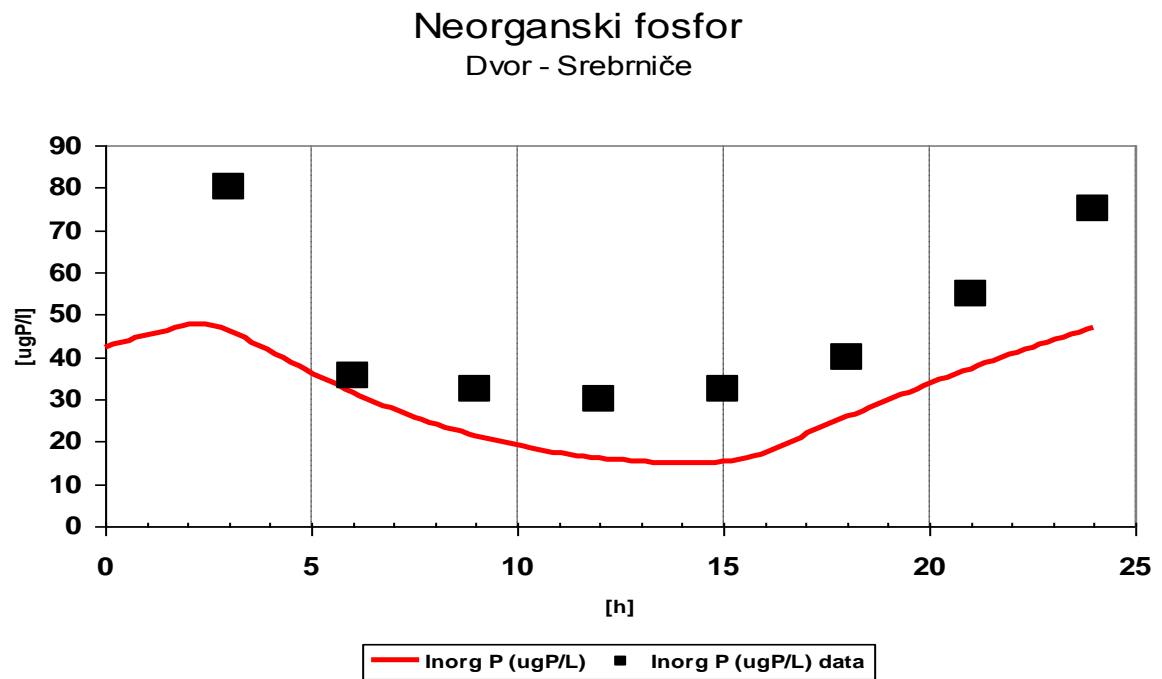
Slika 8.3p: Celotni dušik – dnevno nihanje

Organski fosfor – dnevno nihanje



Slika 8.3r: Organski fosfor – dnevno nihanje

Neorganski fosfor – dnevno nihanje



Slika 8.3s: Neorganski fosfor – dnevno nihanje

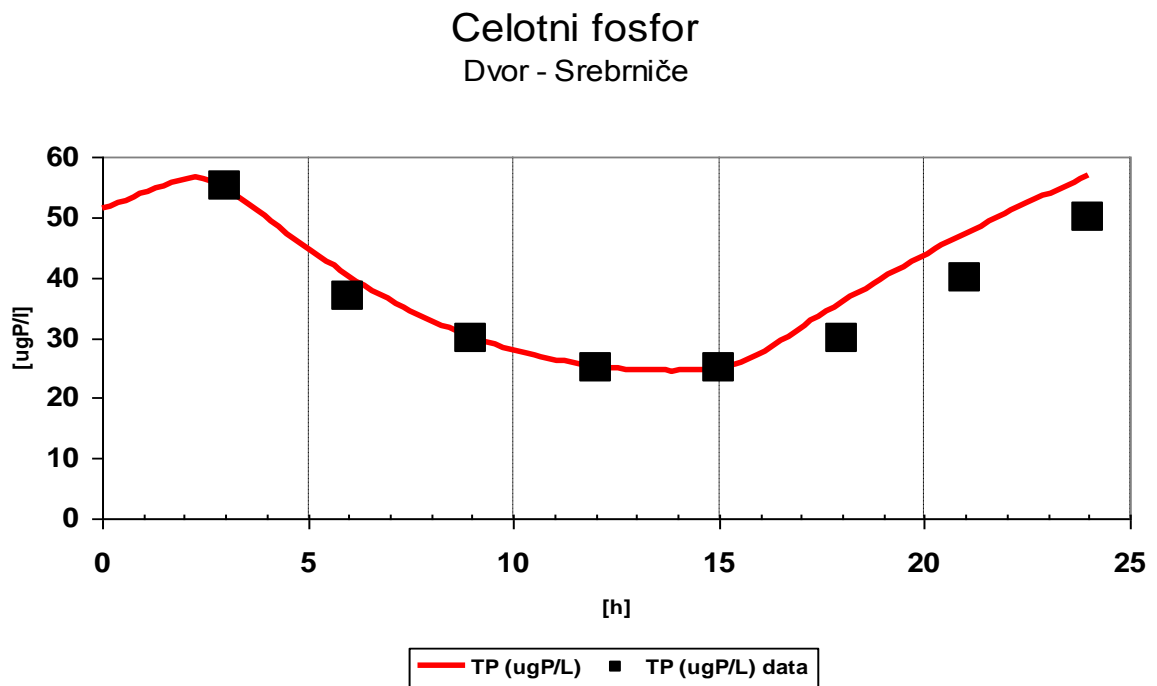
Na sliki 8.3r je prikazano dnevno gibanje organskega fosforja, pri čemer rezultati simulacije kažejo na kar veliko odstopanje od vhodnih podatkov. Simulacija očitno kaže, da je količina organskega fosforja v Krki čez dan konstantna, poleg tega pa tudi precej nižja od izmerjenih vrednosti Arso.

Na drugi strani pa se rezultati simulacije neorganskega fosforja v vodi dokaj ujemajo z izmerjenimi podatki, še zlasti v dnevnem gibanju. Količinsko so izmerjeni podatki vseskozi večji od simulacijskih rezultatov. Neorganskega fosforja je tako največ ponoči (48 ug/l), najmanj pa sredi dneva (18 ug/l).

Na sliki 8.3t je prikazano še gibanje celotnega fosforja skozi dan. Tudi tu se rezultati simulacije ujemajo z vhodnimi podatki ter kažejo da je fosforja v vodi največ v jutranjih urah, najmanj pa v zgodnjih popoldanskih urah. Količine vseh oblik fosforja v Krki so znatno manjše od količin dušikovih spojin in so po količini primerljive z amoniakom.

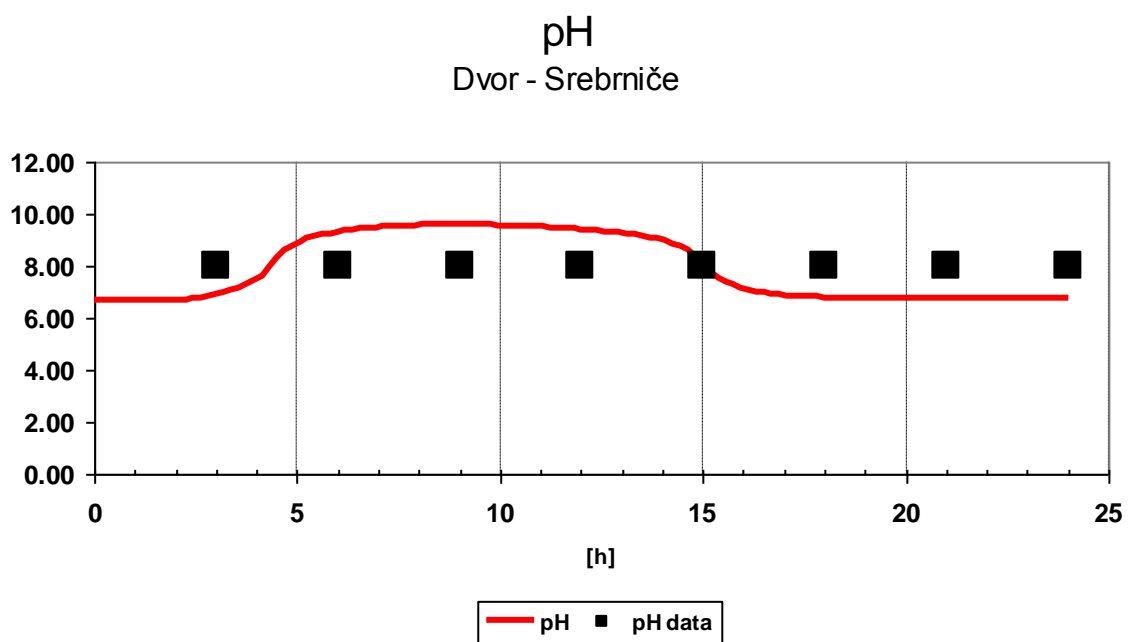
Zadnji v sklopu grafov, ki prikazujejo dnevno gibanje simulacijskih elementov, je vrednost pH skozi dan. Simulacija je pokazala, da je pH najnižji v obdobju med 15. in 5., medtem ko je vrednost pH najvišja v vmesnem obdobju, torej med 5. in 15. uro.

Celotni fosfor (TP) – dnevno nihanje



Slika 8.3t: Celotni fosfor – dnevno nihanje

pH – dnevno nihanje



Slika 8.3u: pH – dnevno nihanje

## 9 ZAKLJUČKI

V diplomski nalogi sem želel prikazati problematiko obremenjevanja vodotokov, ki je posledica različnih dejavnikov. V veliki meri sem se omejil na antropogeno obremenjevanje vodotokov, ki je v primerjavi z naravnim prevladujoče. V splošnem so največji onesnaževalci vodotokov industrija, kmetijstvo in naselja. Poleg tega je v zadnjem času na področju Slovenije v ospredju gradnja avtocest ter drugih večjih prometnih objektov, ki imajo prav tako velik vpliv na kakovost vodotokov.

Zaradi vse večjega pritiska na vodotoke, postaja nujno sonaravno upravljanje z vodami. Varstvo voda je prvi element celostnega upravljanja z vodami [Pličanič S., 2000]. Država je z uvedbo strožje zakonodaje na tem področju do določene mere omejila onesnaževanje vodotokov, tako da je ponekod že prišlo do izboljšanja stanja. Poleg tega, da so se zmanjšale količine odpadnih voda, je industrija primorana očistiti svoje odpadne vode do take mere, da le te niso škodljive za odvodnik. Problem ostajajo odpadne vode iz kmetijstva, ki še vedno v veliki meri nekontrolirano onesnažujejo recipiente. Temu področju bo morala država v prihodnje posvetiti več pozornosti. Tako si je v nacionalnem programu varstva okolja država že zadala zmanjšati tako obremenjevanje voda iz točkovnih virov (industrija, živinorejske farme, komunalne odpadne vode), kot tudi iz razpršenih virov (intenzivno kmetijstvo, razpršena poselitev, promet). [Plut D., 2000]

V diplomski nalogi sem poskušal tudi konkretno prikazati obremenjevanje zgornjega toka reke Krke. S pomočjo programa QUAL2K sem simuliral naravne in antropogene vplive onesnaženja na kakovost Krke. Rezultate simulacije sem nato primerjal z izmerjenimi vrednostmi Agencije republike Slovenije za okolje. Simulacija je tako imela dve glavni usmeritvi, in sicer prikaz onesnaženja zgornjega toka reke Krke ter oceno funkcionalnosti programskega orodja QUAL2K.

Kot je bilo že omenjeno, je diplomska naloga nadaljevanje oziroma nadgradnja seminarja Naravni in antropogeni vplivi na kakovost recipientov. V seminarju sem grobo ocenil vnose dveh glavnih nutrientov – dušika in fosforja. Rezultati so pokazali, da imajo kmetijske površine na izbranem odseku zgornjega toka Krke, največji delež pri vnosu omenjenih nutrientov (80 % - vnos dušika in 65 % - vnos fosforja). Ostale deleže dušika in fosforja



prispevajo naselja. Rezultati so bili do neke mere pričakovani, saj je to območje dokaj redko poseljeno, prav tako pa ni industrijsko razvito.

V diplomski nalogi sem s pomočjo programskega orodja QUAL2K poglobil grobe izračune iz seminarja. Še vedno sem se osredotočil na vnose dušika in fosforja, hkrati pa sem upošteval različne oblike, v katerih se pojavljata. Rezultati so pokazali, da imajo nitrati daleč največji delež pri celotnem dušiku. Veliko manj dušika se pojavlja v obliki amonija, daleč najmanj pa je amoniaka. Pri fosforju je največji delež neorganskega fosforja, manjši delež pa je organskega fosforja. Poleg tega sem v programu simuliral tudi gibanje raztopljenega kisika, temperaturo vode ter pH. Prikazano je tudi dnevno gibanje vseh simuliranih elementov, ki pokaže gibanje parametrov skozi obdobje 24 ur.

Primerjava rezultatov simulacije z izmerjenimi vrednostmi Arso je pokazala, da je QUAL2K primerno orodje za simulacijo parametrov onesnaženja vodnega okolja. Rezultati simulacije so v večini sledili rezultatom meritev, izjema je le dnevno gibanje organskega fosforja.

Glavni problem pri izvedbi simulacije so bili prav gotovo vhodni podatki. Program QUAL2K namreč zahteva vnos urnih vrednosti, medtem ko sem v glavnem imel na voljo letne podatke skozi obdobje od leta 1992 do 2003. Zato je bilo potrebno letne podatke privedi v urne podatke, pri čemer pa se prav gotovo zmanjša natančnost podatkov. Program je bil razvit v Ameriki in nekateri elementi niso prirejeni za uporabo pri nas, kar pa bistveno ne vpliva na izvedbo simulacije. Negativna stran programa je tudi, da zahteva ogromno količino podatkov za izvedbo simulacije.

Po drugi strani pa je delo s QUAL2K v nasprotju s predhodnimi različicami programa, zelo poenostavljeno. Kot uporabniški grafični vmesnik je uporabljen Excel. V veliko pomoč pri izvedbi vseh delov simulacije (segmentacija izbranega območja, vnos podatkov, pregled rezultatov,..), je vzorčni primer, ki je podan v programu. Program poda jasne in pregledne rezultate v tabelarični in grafični obliki.

Orodja kot je QUAL2K so lahko zelo koristna pri ugotavljanju kvalitativnega dogajanja v rekah. Žal pa majhno število vodomernih postaj, še zlasti na manj pomembnih rekah pomeni, premajhno količino kakovostnih vhodnih podatkov. To pa močno omejuje možnosti podrobnejše simulacije in uporabe dobljenih rezultatov v praksi.

## **KAZALO TABEL**

- Tabela 1: Vrsta čiščenja glede na razredčenje
- Tabela 2: Letna pogostost občasnih meritev in čas vzorčenja reprezentativnega vzorca odpadne vode za vir onesnaženja
- Tabela 3: Letna pogostost občasnih meritev in čas vzorčenja reprezentativnega vzorca odpadne vode za komunalne ali skupne čistilne naprave
- Tabela 4: Mreža in vrsta merilnih mest za določevanje kemijskega stanja površinskih vodotokov, vrsta, obseg in pogostost analiz v letu 2004 – Krka
- Tabela 5: Priloga 1 Uredbe o kemijskem stanju površinskih voda
- Tabela 6: Ocenitev kemijskega stanja površinskih voda za leto 2002 – Krka
- Tabela 7: Kakovostni razredi po najbolj verjetnem številu skupnih koliformnih bakterij (MPN/l)
- Tabela 8: Kakovostni razredi po vrednosti saprobnega indeksa
- Tabela 9: Ocena kakovosti površinskih vodotokov v letu 2002 – Krka
- Tabela 10: Opis merilnih mest, obravnavanih v seminarju
- Tabela 11: Pretoki Krke na obravnavanem območju v letu 2000
- Tabela 12: Merilna mesta z izmerjenimi najvišjimi koncentracijami organskih spojin v vodi v letu 2000 – Krka
- Tabela 13: Primerjava kakovosti površinskih vodotokov v Sloveniji v letih 1996-2002 – Krka
- Tabela 14: Podatki o srednjih obdobjnih pretokih in o pretokih v času vzorčenja v letu 2002 – Krka
- Tabela 15: Povzetek izračunov v programu HEC – RAS (minimalni pretok PF1) - izbrani podatki
- Tabela 16: Delovni list – QUAL2K
- Tabela 17: Delovni list – IZVIR
- Tabela 18: Segmentacija obravnavanega območja
- Tabela 19: Delovni list – Hidravlika
- Tabela 20: Delovni list – Temperatura
- Tabela 21: Izhodna datoteka temperatur
- Tabela 22: Izhodna datoteka vodne kvalitete 1

Tabela 23: Izhodna datoteka vodne kvalitete 2

Tabela 24: Izhodna datoteka vodne kvalitete – minimum 1

Tabela 25: Izhodna datoteka vodne kvalitete – minimum 2

Tabela 26: Izhodna datoteka vodne kvalitete – maksimum 1

Tabela 27: Izhodna datoteka vodne kvalitete – maksimum 2

Tabela 28: Izhodna datoteka 24-urnih podatkov

## KAZALO SLIK

- Slika 2.2.1: Deleži onesnaževanja voda iz velikih industrijskih obratov po posameznih parametrih
- Slika 2.2.2.1: Poraba hranil iz mineralnih gnojil v Sloveniji od leta 1939 do 2000
- Slika 2.2.2.2: Porabljena količina sredstev za varstvo rastlin v kg na hektar obdelovalnih zemljišč na kmetijah
- Slika 6.1: Intenzivnost gnojenja z dušikom na 674 reprezentativnih kmetijah v Sloveniji
- Slika 7.1: Reka Krka, lehnjakovi pragovi
- Slika 7.2: Najmanjši mesečni in letni pretoki v Podbukovju in Dvoru v letu 2000
- Slika 7.3: Porečje Krke z obravnavanim območjem in merilnimi postajami
- Slika 8.2.1.1a: Programsko okno za vnos podatkov o profilih
- Slika 8.2.1.1b: Programsko okno za vnos pretočnih podatkov
- Slika 8.2.1.1c: Grafični prikaz profila
- Slika 8.2.1.1d: Grafični prikaz hitrosti toka
- Slika 8.2.2.1a: Segmentacija
- Slika 8.2.2.1b: Tokovno ravnotežje
- Slika 8.2.2.1c: Shema obravnavanega območja
- Slika 8.3a: Raztopljen kisik
- Slika 8.3b: Temperatura
- Slika 8.3c: Amonij
- Slika 8.3d: Amoniak
- Slika 8.3e: Nitrati
- Slika 8.3f: Celotni dušik
- Slika 8.3g: Organski fosfor
- Slika 8.3h: Neorganski fosfor
- Slika 8.3i: Celotni fosfor
- Slika 8.3j: pH
- Slika 8.3k: Raztopljen kisik – dnevno nihanje
- Slika 8.3l: Temperatura – dnevno nihanje
- Slika 8.3m: Amonij – dnevno nihanje
- Slika 8.3n: Amoniak – dnevno nihanje

- Slika 8.3o:      Nitrati – dnevno nihanje
- Slika 8.3p:      Celotni dušik – dnevno nihanje
- Slika 8.3r:      Organski fosfor – dnevno nihanje
- Slika 8.3s:      Neorganski fosfor – dnevno nihanje
- Slika 8.3t:      Celotni fosfor – dnevno nihanje
- Slika 8.3u:      pH – dnevno nihanje

## VIRI

1. Panjan J.: Količinske in kakovostne lastnosti voda; študijsko gradivo, Ljubljana 1999

\* oznaka v tekstu: [Panjan J.(# 1), 1999]

2. Panjan J.: Odvodnjavanje onesnaženih voda; študijsko gradivo, Ljubljana 1999

\* oznaka v tekstu: [Panjan J.(# 2), 1999]

3. Panjan J.: Osnove zaščite voda; študijsko gradivo, Ljubljana 1999

\* oznaka v tekstu: [Panjan J.(# 3), 1999]

4. Panjan J.: Osnove zdravstveno hidrotehnične infrastrukture; učbenik, Ljubljana 2002

5. Publikacije Agencije republike Slovenije za okolje (ARSO):

[http://www.arso.gov.si/podrocja/vode/porocila\\_in\\_publikacije/](http://www.arso.gov.si/podrocja/vode/porocila_in_publikacije/)

1. ARSO (letna poročila o emisiji snovi v zrak za leto 2000, letna poročila o emisiji snovi v vode za leto 2000, odpadki – poročila za leto 2000)

2. ARSO – Kmetijstvo, gozdarstvo, lov in ribolov

3. ARSO – Tla

4. ARSO – Program monitoringa kakovosti površinskih vodotokov v letu 2004

5. ARSO – Monitoring kakovosti površinskih vodotokov v Sloveniji v letu 2002

6. ARSO – Površinski vodotoki in vodna bilanca Slovenije 1998

6. Pravilnik o prvih meritvah in obratovalnem monitoringu odpadnih vod ter o pogojih za njegovo izvajanje; Uradni list RS, št. 35/96

\* oznaka v tekstu: [Ur.l. RS, št. 35/96(#1)]

7. Uredba o emisiji snovi in toplote pri odvajanju odpadnih voda iz virov onesnaževanja (Ur.l. RS, št. 35/96)

\* oznaka v tekstu: [Ur.l. RS, št. 35/96(#2)]

8. Pravilnik o monitoringu kemijskega stanja površinskih voda; Uradni list RS, št. 42/02

9. Uredba o kemijskem stanju površinskih voda; Uradni list RS, št. 11/02

10. Kolar J.: Odvod odpadne vode iz naselij in zaščita voda; Državna založba Slovenije  
1983
11. Zupan M.: Kopenske vode so ožilje pokrajine; Okolje v Sloveniji (zbornik); Tehniška založba Slovenije, Ljubljana 1994 : 604-606
12. Mikoš M., Zupanc V.; Sodobno kmetijstvo 33, 2000 - članki:
  - Erozija tal na kmetijskih zemljiščih
  - Protierozijski ukrepi na kmetijskih površinah
13. Rejec-Brancelj I.: Kmetijsko obremenjevanje okolja v Sloveniji; Inštitut za geografijo, Ljubljana 2001
14. Water science and technology; IWA publishing 2003 – članki:
  - Westerlund C.; Seasonal variation in road runoff quality in Lulea Sweden  
(str. 93 - 101)
  - Aldheimer G.; Facilities for treatment of stormwater runoff from highways  
(str. 113-121)
  - Bartošova H.; Model of spring runoff quantity and quality for urban watersheds  
(str. 249-256)
  - Andersen H.E.; Agricultural practices and diffuse nitrogen pollution in Denmark:  
empirical leaching and catchment models (str. 257 – 264)
15. Science direct – članki:  
<http://www.sciencedirect.com/science/journals>
  - Binkley D.; Water quality impacts of forest fertilization with nitrogen and phosphorus;  
1998
16. Kolar J.: Kako deluje? Človekovo okolje; Ljubljana, Tehniška založba Slovenije 1988
17. Krka - internet
  1. <http://www.novomesto.si/si/turizem/znamenitosti/narava/krka/>

2. <http://www.krska-vas.net/krka-extra-stran.htm>

18. Gobec S., Kranjc U.: Tehnična pomoč pri pripravi načrta upravljanja porečja reke Krke; Maribor, Institut za ekološki inženiring 2000

19. Naprej k naravi II: Zbornik referatov strokovnega posveta ekološkega foruma LDS in dokumenti foruma 2000:

1. Pličanič S.: Nova zakonska ureditev upravljanja voda
2. Plut D.: Nekatere degradacijske značilnosti in predlogi sonaravne rabe vodnih virov

20. Nacionalni atlas Slovenije; Ljubljana, Založba Rokus 2001

21. Volčini K., Adamič T., Kuzmič B., Šetina T.: Razvojni problemi in možnosti občine Žužemberk

22. Chapra S., Pelletier G.: QUAL2K: A Modeling Framework for Simulating River and Stream Water Quality; Navodila in priročnik; 2003