

ÚROVEŇ EUTROFIZÁCIE POVRCHOVÝCH VÔD
V ČIASTKOVOM POVODÍ DUNAJA

Viera Kováčová

Eutrofizácia je zvýšený rast siníc, rias a vyšších rastlinných foriem ako dôsledok obohacovania vody živinami ľudskou činnosťou, najmä zlúčeninami dusíka a fosforu, čím môže dôjsť k nežiaducemu zhoršovaniu biologickej rovnováhy a kvality vody. Zásoby N a P vo vodných ekosystémoch sú dané širokou rozmanitosťou zdrojov, vrátane podzemných vôd, riečnych a atmosferických vstupov. Vstup nutričov do recipientu môže pochádzať z bodových zdrojov, ktoré sú lokalizované a ľahšie monitorované, a z nebodových zdrojov, ktoré sú difúzneho charakteru. Monitorovanie vodných útvarov povrchových vôd sa uskutočnilo podľa požiadaviek Rámcovej smernice o vode v období rokov 2010 – 2015. Podľa požiadaviek medzinárodnej legislatívy pre hodnotenie ekologického stavu sa sledovali biologické prvky kvality, podporné fyzikálno-chemické a hydromorfologické prvky. Cieľom príspevku bolo zhodnotiť stav eutrofizácie vôd v čiastkovom povodí Dunaja na základe fyzikálno-chemických a mikrobiologických ukazovateľov v sledovanom období a faktory, ktoré ju spôsobujú. Koncentrácie dusičnanového-N v 1 zo 16 monitorovaných miest (6,66 %) v roku 2015 prekročili limitnú hodnotu $5 \text{ mg.l}^{-1} \text{ N-NO}_3^-$. Koncentrácie dusitanového-N až v 15 zo 17 monitorovaných miest (88,23 %) v roku 2010 a v 4 zo 16 (25 %) v roku 2015 prekročili limitnú hodnotu $0,02 \text{ mg.l}^{-1} \text{ N-NO}_2^-$. Pre fosfor zo 17 monitorovaných miest v 1 (5,88 %) bola prekročená limitná hodnota $0,4 \text{ mg.l}^{-1} \text{ P}_{\text{celk}}$ v roku 2010, všetky vzorky v roku 2015 spĺňali kritériá a nie sú v riziku ohrozenia. Vo všeobecnosti tempo nárastu externých zdrojov N a P v čiastkovom povodí Dunaja v monitorovanom období kleslo.

KLÚČOVÉ SLOVÁ eutrofizácia, dusík, fosfor, nutrienty, bodové a plošné zdroje znečistenia

LEVEL OF SURFACE WATER EUTROPHICATION IN DANUBE RIVER BASIN. Eutrophication as excessive plant growth resulting from nutrient enrichment (mainly nitrogen and phosphorus compounds) by human activity is the primary problem relating most surface waters today. The external supplies of N and P to aquatic ecosystems are derived from a wide variety of sources, including groundwater, fluvial, and atmospheric inputs. The environmental consequences of excessive nutrient enrichment are the degradation of water resources by eutrophication and worsening of water quality. Monitoring of surface water bodies has been provided in terms of requirements of the Water Framework Directive in the period of 2010–2015. With regards of international legislative for the ecological status assessment, chemical status, biological quality elements, supporting physical-chemical and hydro-morphological quality elements have been investigated. The aim of this contribution was to evaluate eutrophication state of water in Danube River basin following the assessment physical-chemical and microbiological indicators in monitored period. Nitrate-N concentrations 1 of 16 monitoring sites (6.66 %) in 2015 was over the limit value $5 \text{ mg.l}^{-1} \text{ N-NO}_3^-$. Nitrite-N concentrations 15 of 17 monitoring sites (88.23%) in 2010 and 4 of 16 (25%) in 2015 was over the limit value $0.02 \text{ mg.l}^{-1} \text{ N-NO}_2^-$. For phosphorus, of 17 monitoring sites 1 (5.88%) was over the limit value $0.4 \text{ mg.l}^{-1} \text{ P}_{\text{tot}}$ in 2010, all of the samples meet the criteria in 2015 and are not at risk. In general, the rate of increase the external supplies of N and P has slowed down in Danube River basin during the monitoring period.

KEY WORDS: eutrophication, nitrogen, phosphorus, nutrients, point and non-point sources of pollution

Úvod

Eutrofizáciu definujeme ako zvýšený rast siníc, rias

a vyšších rastlinných foriem v dôsledku obohacovania vody živinami ľudskou činnosťou, najmä zlúčeninami dusíka a fosforu, čím môže dôjsť k nežiaducemu zhoršo-

vaniu biologickej rovnováhy a kvality vody. Emisie živín sa dostávajú do povrchových vôd rôznymi cestami: z bodových zdrojov (sídelné aglomerácie, priemysel, poľnohospodárstvo) a z difúzných zdrojov (erózia a povrchový odtok, z podzemnej vody, atmosférickej depozície). Difúzne zdroje sú z časti prirodzeného pôvodu a z časti antropogénneho pôvodu. Živiny v povrchových vodách podliehajú širokej škále transformačných procesov. Niektoré transformačné procesy vyúsťujú do strát alebo trvalých, či čiastočne odbúrateľných akumulácií. Zvyšné živiny sú transportované tokom do tokov nižšieho rádu, prípadne až do mora. Najvýznamnejším dopadom vysokej záťaže živinami je zvýšený rast rias a vyšších foriem rastlínstva. Tento stav spôsobuje neželateľné narušenie rovnováhy organizmov prítomných vo vode, zhoršenie kvality vody a stavu vodných útvarov (Jickells, 2005; Nedwell a kol., 2001; Newman a kol., 2005; Pärn a kol., 2012).

Historicky sú významné roky 1991, kedy bola prijatá európska Smernica o čistení mestských odpadových vôd (91/271/EHS) a Smernica o ochrane vôd pred znečistením spôsobeným dusičnanmi z poľnohospodárskych zdrojov (91/676 EHS) a rok 2000, kedy bola prijatá Smernica 2000/60/ES známa pod názvom Water Framework Directive (WFD).

V smerniciach Európskej únie a rôznych medzinárodných dohovoroch sa kladie dôraz na zachovanie ekologickej kvality vody. Jedným zo závažných problémov dodržania tejto podmienky je práve eutrofizácia vôd. Eutrofizácia je proces obohacovania vôd o živiny, najmä dusík a fosfor, čo vedie k výborným podmienkam pre premoženie planktónu a teda aj siníc (cyanobacteria). Poznáme dva typy eutrofizácie a to prirodzenú, kedy sa do vody dostávajú živiny z pôdy, z odumretých tiel organizmov, alebo umelú, kde za nadmerné obohatenie vôd živinami môže ľudský faktor. V oboch prípadoch dochádza k premoženiu rias a siníc, čo má negatívny vplyv nielen na vodnú flóru ale aj faunu. Vysoký obsah živín vedie k porušeniu prirodzeného prostredia vôd a k vytvoreniu vodného kvetu na hladine, čo je spreádzané práve premožením siníc (Dzuro-Králiková, 2016; Pavlidou a kol., 2015).

Mechanizmy, ktoré vedú k eutrofizácii sú komplexné a vzájomne previazané. Jej hlavnou príčinou je vysoký prísun živín do vodného telesa, čo vedie k porušeniu rovnováhy potravného reťazca a vysokej koncentrácii biomasy tvorenej fytoplanktónom v postihnutej vrstve vody. Tento stav môže viesť ku tvorbe vodného kvetu, ktorého priamym dôsledkom je nadmerná spotreba kyslíka v blízkosti dna vodného telesa. Ďalšie podporné faktory tohto procesu sa dajú rozdeliť do dvoch kategórií v závislosti od toho, či sú spojené s disperziou živín a rastom fytoplanktónu, alebo s kolobehom kyslíka vo vrstvách vody v blízkosti dna (obmedzenie obehu kyslíka, svetla, pohybu vody). V závislosti od stupňa eutrofizácie sa dajú pozorovať aj iné nepriaznivé účinky. Pri narušení ekosystému dochádza k ochudobňovaniu biodiverzity dôsledkom zvýšeného obsahu toxínov produkovaných sinicami (cyanotoxíny). Za najväznejšie nežiaduce účinky eutrofizácie

važujeme deficit kyslíka, zníženie biodiverzity a zhoršenie kvality vody (Devlin a kol., 2011; Harper a kol., 1992; Pärn a kol., 2018).

Zákon č. 364/2004 Z. Z. o vodách, v znení neskorších zmien a úprav (vodný zákon) ustanovil právne inštitúty na ochranu vodných pomerov, a to citlivé oblasti a zraniteľné oblasti, ktoré sú transponované zo Smernice Rady EÚ č. 91/271 EHS týkajúcej sa čistenia komunálnych odpadových vôd a Smernice Rady EÚ č. 91/676 EHS týkajúcej sa ochrany vôd pred znečistením spôsobeným dusičnanmi z poľnohospodárskych zdrojov.

Vodný zákon definuje citlivé oblasti ako vodné útvary povrchových vôd, ktoré sú alebo môžu byť eutrofizované v dôsledku vypúšťania mestských odpadových vôd alebo organicky znečistených priemyselných odpadových vôd. Do citlivých oblastí sa zaraďujú aj vodné útvary využívané alebo využiteľné ako vodárenské zdroje, a to bez ohľadu na koncentráciu živín v nich z hľadiska možnej eutrofizácie. Smernica 91/271/EHS stanovuje požiadavky na odvádzanie a čistenie komunálnych odpadových vôd všeobecne, a navyše aj požiadavku na ochranu recipientov pred zvýšeným zaťažením nutrientami (dusík a fosfor) v citlivých oblastiach. Všeobecné kritériá na identifikáciu citlivých oblastí pre vodné útvary sú uvedené v prílohe č. 3 vodného zákona. Pod citlivými oblasťami sa rozumejú vody, ktorých kvalita je zhoršená, alebo potencionálne ohrozená v ukazovateľoch N_{celk} a P_{celk} v dôsledku vypúšťania znečistených, alebo nedostatočne čistených komunálnych odpadových vôd. V citlivých oblastiach je preto potrebné zabezpečiť vyššiu úroveň čistenia mestských odpadových vôd, ako je sekundárne čistenie a čistiarne odpadových vôd musia mať dobudované biologické stupne aj na odstraňovanie nutrientov.

Na základe týchto kritérií boli vypracované štúdie s návrhom citlivých oblastí pre Slovenskú republiku. Vo vykonaných analýzách sa hodnotil aktuálny stav v eutrofizácii vodných útvarov, ako aj potencionálna eutrofizácia v dôsledku zvýšeného zaťaženia jednotlivých tokov nutrientami. Dôležitým kritériom bola využiteľnosť a ochrana povrchových vôd ako zdroja pre zásobovanie obyvateľstva kvalitnou pitnou vodou, a to z hľadiska kvalitatívneho, ako aj z hľadiska úpravy na vodu pitnú. Významným dôvodom bola aj snaha redukovat' zaťaženie nutrientami, ktoré sú transportované do oblastí dolných úsekov tokov mimo územia nášho štátu.

Vodný zákon definuje zraniteľné oblasti ako poľnohospodársky využívané územia, ktoré sa odvodňujú do povrchových vôd alebo podzemných vôd, pričom koncentrácia dusičnanov v podzemných vodách je vyššia ako 50 mg.l^{-1} , alebo by táto hodnota mohla byť prekročená, ak by sa neurobili potrebné opatrenia na zamedzenie tohto trendu. Cieľom smernice 91/676/EHS je určenie požiadaviek na zníženie znečistenia vôd spôsobené dusičnanmi z poľnohospodárskych zdrojov a prijatie opatrení. Od členských štátov sa vyžaduje, aby identifikovali vody, ktoré sú ovplyvnené, alebo môžu byť ovplyvnené dusičnanovým znečistením v súlade s kritériami na identifikáciu vôd v zraniteľných oblastiach, ktoré sú uvedené v prílohe č. 4 vodného zákona. Na základe kritérií sa

vykonalo hodnotenie jednotlivých vodných útvarov, ktoré sa využívajú pre odbery pitnej vody na celom území Slovenska. Týmto nariadením vlády sa ustanovujú zraniteľné oblasti, za ktoré sú považované poľnohospodársky využívané územia, v ktorých je koncentrácia dusičnanov vyššia ako 50 mg.l^{-1} , alebo môže byť v blízkej budúcnosti prekročená.

V záujme riešenia problematiky zvyšujúcich sa požiadaviek na využívanie zdrojov vody v požadovanom množstve a vo vyhovujúcej kvalite, s cieľom zabezpečenia jej trvalo udržateľného využívania aj pre budúce generácie Európsky parlament a Rada prijali smernicu 2000/60/ES, ktorá ustanovuje rámec pôsobnosti spoločenstva v oblasti vodnej politiky, skrátene nazývaná Rámcová smernica o vode (RSV). Prijatím Rámcovej smernice o vode, sa mení pohľad na ochranu zdrojov vôd. Orientuje sa na vytváranie podmienok pre trvalo udržateľné využívanie zdrojov vody, prostredníctvom ich integrovaného manažmentu v povodiach. Kladie sa dôraz na zachovanie hydroekologických potrieb krajiny. Tento meniaci sa vzťah človeka k vode vyžaduje zo strany štátnych orgánov a inštitúcií zavedenie nových prístupov v chápaní a zabezpečovaní jej ochrany, ktoré vychádzajú z požiadavky zabezpečenia potrebného množstva vody v zodpovedajúcej kvalite pre jej využitie, za podmienky zachovania prírodných funkcií vodných tokov, prírodného ekosystému a krajiny.

Hlavným nástrojom na dosiahnutie cieľov RSV sú plány manažmentu správnych území povodí. Proces plánovania sa realizuje v 6-ročných cykloch, ktoré pozostávajú z etapy prípravy, implementácie a revízie:

- analýza charakteristík správnych území povodí a zhodnotenie vplyvov a dopadov ľudskej činnosti,
- stanovenie environmentálnych cieľov,
- návrh a realizácia programov monitorovania,
- návrh a realizácia programov opatrení.

Základnými plánovacími dokumentmi na realizáciu monitorovania vôd na Slovensku sú Rámcové programy monitorovania vôd Slovenska na roky 2008 – 2010 a 2010 – 2015 a Programy monitorovania pre konkrétny rok.

Rámcový program monitorovania vôd na roky 2010 – 2015 obsahuje základné ciele monitorovania, metodické postupy, zásady postupu prípravy programov monitorovania (výber lokalít, zásady spôsobu odberu vzoriek, výber ukazovateľov a prvkov kvality, požadované limity kvantifikácie analytických metód), zásady uchovávanía, odovzdávania, zdieľania a správy údajov, technické a administratívne náležitosti (úlohy jednotlivých rezortných organizácií v procese prípravy a realizácie programov monitorovania, zodpovednosti za jednotlivé činnosti, harmonizácia prác) a odhad finančných nákladov (Makovinská a kol., 2015).

Požiadavky Rámcovej smernice o vode na monitorovanie povrchových a podzemných vôd boli transponované do legislatívy Slovenskej republiky prostredníctvom zákona č. 364/2004 Z. Z. o vodách a Vyhlášky Ministerstva pôdohospodárstva, životného prostredia a regionálneho rozvoja Slovenskej republiky č. 418/2010 Z. z. o vyko-

nani niektorých ustanovení vodného zákona. V zmysle uvedenej legislatívy sa monitorovanie povrchových vôd člení na základné, prevádzkové a prieskumné.

Dusík a fosfor patria medzi najdôležitejšie makrobiogénne prvky. Zúčastňujú sa na všetkých biochemických premenách v živých organizmoch i v prírodných vodách. Zlúčeniny dusíka a fosforu znečisťujúce vodu pochádzajú predovšetkým zo splaškových vôd a z odpadov zo živočíšnej výroby (napr. močovka, odpad zo silážovania). Dôležitým anorganickým zdrojom znečisťovania vôd zlúčeninami fosforu a dusíka je poľnohospodárska pôda hnojená priemyselnými hnojivami. Zvýšený prísun živín v podobe zlúčenín dusíka a fosforu do vôd môže spôsobiť premnoženie niektorých organizmov, najmä zelených rias a planktónu, na úkor iných. Riasy odumierajú, v dôsledku nadmerného množenia a rozkladných procesov sa z vody odčerpáva kyslík a vytvárajú sa toxické plyny (sulfán a amoniak), ktoré zabíjajú vodné živočíchy. Vody postihnuté týmto javom menia svoje sfarbenie do zelena až hnedá a nepríjemne zapáchajú. Tento proces sa nazýva eutrofizácia. Eutrofizácii možno predchádzať obmedzovaním hnojenia poľnohospodárskej pôdy, čistením odpadových vôd, vysádzaním planktónožravých rýb, prevzdušňovaním vody a pod. (Hessen, 1999; Smith a kol., 1999; Wang a kol., 2001).

Súčasný stav eutrofizácie povrchových vôd Slovenska naznačuje, že dochádza k postupnému zlepšeniu, ktoré môžeme pripísať aj vstupu Slovenska do EÚ. Dochádza k pravidelnému odberu vzoriek a ich následnému vyhodnoteniu v akreditovaných laboratóriách. Súčasťou je aj vyhodnocovanie ukazovateľov, ktoré majú za následok vznik eutrofizácie. Pravidelným monitoringom, vhodnou aplikáciou hnojív, znížením prísunu živín, správnou agrotechnikou a úplným čistením odpadových vôd možno predchádzať významnému environmentálnemu problému akým je eutrofizácia povrchových vôd (Sárköziová, 2010; Burger a Čelková, 2009; Dulovičová a kol., 2016; Schügerl a kol. 2018).

V tokoch vyššieho rádu došlo k charakteristickému zlepšeniu v 90. rokoch. Za posledné roky ale k výraznému zníženiu koncentrácií N, či P už nedochádza, v niektorých profiloch dochádza k stagnácii. Sezonálna je v dátach stále výrazná, teda pri nízkych letných prietokoch dosahujú koncentrácie vysoké hodnoty. Na pozadí doloženého trendu možno interpretovať výsledky bilančných štúdií v jednotlivých povodiach. Pre zjednodušenie možno zhrnúť, že eutrofizačne aktívny fosfor pochádza v súčasnosti z cca 70 % z bodových zdrojov (hlavne komunálnych), zatiaľ čo pri dusíku je to iba cca 20 %. Zostávajúce podiely živín potom pripadajú na zdroje plošné (prevažne poľnohospodárske), teda cca 30 % P a 80 % N. Za posledných 25 rokov došlo k poklesom všetkých vstupov dusíka a fosforu na poľnohospodársku pôdu (výrazné zníženie stavu hospodárskych zvierat, znížená spotreba minerálnych hnojív, rozsiahle zmeny vo využívaní pôdy), výsledkom je stagnácia obsahu prístupného fosforu. Jednoznačná priorita v opatreniach proti eutrofizácii spočíva v súčasnosti v odstraňovaní fosforu z komunálnych zdrojov (Fiala, 2016; Tlučáková a Cibulka, 2016).

Eutrofizáciu v riekach možno najlepšie riadiť redukcovaním vstupov, ako inými in situ nápravnými opatreniami. Bodové zdroje znečistenia sú ľahšie kontrolovateľné, zatiaľ čo difúzne znečistenie z poľnohospodárstva, priemyslu a urbanizácie sú ťažšie kontrolovateľné. Difúzne znečistenie môže byť spôsobené vylúhovaním nutričov z pôdy za dlhé časové obdobie. Významná redukcia nutričov má kapacitu zmeniť rastlinnú komunitu, jej populačnú štruktúru a zlepšiť kvalitu vody (Newman a kol., 2005).

V období rokov 2010 – 2015 sa uskutočňovalo monitorovanie vodných útvarov povrchových vôd v zmysle Rámcovej smernice o vode v definovaných vodných útvaroch podľa požiadaviek medzinárodnej a národnej legislatívy pre hodnotenie ekologického stavu a ekologického potenciálu sa sledovali biologické prvky kvality, podporné fyzikálno-chemické a hydromorfologické prvky kvality a relevantné špecifické znečisťujúce látky. Hodnotenie chemického stavu sa uskutočnilo v súlade s požiadavkami smernice o environmentálnych normách kvality. Cieľom bola vyvážená kontrola emisií živín z bodových i difúzných zdrojov znečistenia v čiastkovom povodí Dunaja tak, aby nebolo ohrozené alebo negatívne ovplyvnené eutrofizáciou, dosiahnutie environmentálnych cieľov pre vodné útvary a zároveň zabezpečenie súladu s platnou legislatívou.

Materiál a metódy

Vo vymedzení útvarov povrchových vôd v kategórii „rieky“ došlo od prijatia prvého Vodného plánu k zmenám. Potreba zmien vyplynula nielen v nadväznosti na vykonanú validáciu typológie, terénnych prieskumov v rámci monitorovania, ale aj z lepšieho poznania stavu a kvality útvarov povrchových vôd. Rieka Dunaj predstavuje typ vodného útvaru P1V a je rozdelená do dvoch podtypov: D1 (P1V) a D2(P1V). Týmto dvom podtypom sa po testovaní navrhli zmeny v multimetrickom indexe a spoľahlivosť a správnosť klasifikačnej schémy v uvedených dunajských podtypoch sa testovala v procese interkalibrácie na medzinárodnej úrovni. Kód podtypu D1(P1V) - veľké toky v nadmorskej výške do 200 m v Panónskej panve – podtyp Dunaj v úseku Devín-Klížská Nemá a D2(P1V) – veľké toky v nadmorskej výške do 200 m v Panónskej

panve – podtyp Dunaj v úseku Klížská Nemá – štátna hranica s HU.

Čiastkové povodie Dunaja zahŕňa 18 vodných útvarov, dĺžka vodných útvarov je 369,7 km. Monitorovanie prebiehalo v jednotlivých vodných útvaroch 2-krát mesačne pre všeobecné ukazovatele kvality (24 údajov ročne) a 1-krát mesačne pre hydrobiologické a mikrobiologické ukazovatele kvality vody (12 údajov ročne). Bola hodnotená minimálna, maximálna a priemerná hodnota pre každý parameter pre daný rok a určená štatistická hodnota P90/10, porovnávaná s limitnými hodnotami.

Na základe analýzy národnej legislatívy a požiadaviek uplatnených v Rámcovej smernici o vode (RSV) 2000/60/ES, ktorá ustanovuje rámec pôsobnosti spoločenstva v oblasti vodnej politiky, Smernice Rady 91/271/EHS o čistení komunálnych odpadových vôd a Smernice Rady 91/676/EHS o ochrane vôd pred znečistením dusičnanmi z poľnohospodárskych zdrojov bolo v SR navrhnuté hodnotenie trofického stavu vodných útvarov podľa nasledovných metodík/postupov (Hucko, 2013; Makovinská a kol., 2015; Májovská, 2015):

- Hodnotenie trofického stavu povrchových vôd na základe Prílohy č.1 Nariadenia vlády č.269/2010 Z. z. – sledovanými ukazovateľmi sú: koncentrácia celkového dusíka, celkového fosforu, amoniakálneho, dusičnanového a dusitanového dusíka, množstvo biomasy (chlorofyl-a) a abundancia fytoplanktónu (tab. 1).
- Hodnotenie trofického stavu tečúcich vôd podľa „francúzskej metodiky“. Táto metóda je presnejšia v porovnaní s predchádzajúcim postupom, avšak možno ju použiť len na tečúce vody. Na hodnotenie je potrebné použiť letný priemer koncentrácií pre dusičnany, fosforečnany a celkový fosfor a pre chlorofyl-a letné maximum keď letným obdobím sa rozumie obdobie apríl – september vrátane (tab. 2).
- Hodnotenie trofického stavu stojatých vôd podľa metodiky OECD (podľa ročných priemerov koncentrácií celkového fosforu, chlorofylu-a a Secchiho hĺbky)

Kvalitatívne ukazovatele sledované vo všetkých monitorovaných miestach boli zhodnotené podľa Nariadenia vlády SR č. 296/2010 Z. z., ktorým sa ustanovujú požiadavky na dosiahnutie dobrého stavu vôd. Hodnotenie

Tabuľka 1. Hodnotenie trofického stavu povrchových vôd podľa Prílohy č.1 Nariadenia vlády č.269/2010 Z.z. v ukazovateľoch, ktoré majú vzťah k eutrofizácii

Table 1. Evaluation of trophic state of surface water according to Supplement No.1 Directive of Government SR No. 269/2010

Ukazovateľ	Symbol	Jednotka	Hodnota
Amoniakálny dusík	N-NH ₄ ⁺	mg.l ⁻¹	1
Dusitanový dusík	N-NO ₂ ⁻	mg.l ⁻¹	0,02
Dusičnanový dusík	N-NO ₃ ⁻	mg.l ⁻¹	5
Celkový dusík	N _{celk}	mg.l ⁻¹	9
Fosfor celkový	P _{celk}	mg.l ⁻¹	0,4
Biomasa fytoplanktónu (chlorofyl-a)	CHL _a	µg.l ⁻¹	50

N-NH₄⁺ – ammonia nitrogen, N-NO₂⁻ – nitrite nitrogen, N-NO₃⁻ – nitrate nitrogen, N_{tot} – total nitrogen, P_{tot} – total phosphorus, CHL_a – chlorophyll-a

eutrofizácie vychádza z požiadaviek na kvalitu vôd podľa Prílohy č. 1 tohoto nariadenia v ukazovateľoch, ktoré majú vzťah k eutrofizácii v časti A – Všeobecné ukazovatele kvality vody a v časti E – Hydrobiologické a mikrobiologické ukazovatele.

Okrem Prílohy č.1 sa otázkou živín v útvaroch povrchových vôd zaoberá aj Príloha č. 12, resp. Príloha č. 13 pre výrazne zmenené vodné útvary. Limitné hodnoty pre relevantné fyzikálno-chemické prvky kvality môžu byť rôzne pre jednotlivé typy vodných útvarov, čo v konečnom dôsledku sťažuje porovnanie trofie medzi jednotlivými typmi. Pre hodnotenie citlivých oblastí a identifikáciu miest ohrozených eutrofizáciou sa využívajú výsledky monitorovania. Používajú sa ukazovatele a limitné hodnoty uvedené v Prílohe č. 1 Nariadenia vlády č.269/2010 Z. z. Hodnotenie sa vykonáva pre miesta, v ktorých boli monitorované ukazovatele viažuce sa k eutrofizácii vôd.

Sledujú a hodnotia sa koncentrácie dusíka (N_{celk}), fosforu (P_{celk}), amoniakálneho dusíka ($N\text{-NH}_4^+$), dusičnanového dusíka ($N\text{-NO}_3^-$), dusitanového dusíka ($N\text{-NO}_2^-$) podľa časti A Prílohy č.1 a podľa časti E Prílohy č. 1 biomasa fytoplanktónu ako chlorofyl-a (CHL_a) alebo abundancia fytoplanktónu (ABU_{fy}). Pre hodnotenie kvality povrchovej vody pre jednotlivé ukazovatele sa použijú vypočítané štatistické hodnoty, t. j. hodnota 90-teho percentilu (P_{90}), ktoré sa porovnávajú s limitnými hodnotami v Prílohe č. 1.

Kvalita povrchovej vody je v súlade s požiadavkami uvedenými v prílohe č. 1 NV č.269/2010 Z. z., ak hodnota vypočítaná z údajov nameraných počas roka je nižšia alebo rovná hodnote pre príslušný ukazovateľ kvality vody (§3 ods.1 Nariadenia vlády SR č.269/2010 Z. z.).

Výsledky a diskusia

V období rokov 2010 – 2015 sa uskutočňovalo monitorovanie povrchových vôd v zmysle Rámcovej smernice

o vode v definovaných vodných útvaroch podľa požiadaviek medzinárodnej a národnej legislatívy pre hodnotenie ekologického stavu a ekologického potenciálu.

Výsledky monitorovania boli využité pre hodnotenie citlivých oblastí a identifikáciu miest ohrozených eutrofizáciou. Použili sa ukazovatele a limitné hodnoty uvedené v Prílohe č. 1 Nariadenia vlády č. 269/2010 Z. z. Sledovali a hodnotili sa koncentrácie celkového dusíka (N_{celk}), celkového fosforu (P_{celk}), amoniakálneho dusíka ($N\text{-NH}_4^+$), dusičnanového dusíka ($N\text{-NO}_3^-$), dusitanového dusíka ($N\text{-NO}_2^-$) podľa časti A Prílohy č.1 a podľa časti E Prílohy č. 1 biomasa fytoplanktónu ako chlorofyl-a (CHL_a) alebo abundancia fytoplanktónu (ABU_{fy}). Tabuľka 3 poskytuje pohľad na časový rad koncentrácií amoniakálneho, dusitanového, dusičnanového, celkového dusíka, celkového fosforu a biomasy fytoplanktónu na príklade čiastkového povodia Dunaja (podtyp vodného útvaru D1[P1V], D2[P1V]) a trend vývoja eutrofizácie v danom čiastkovom povodí.

V parametroch $N\text{-NH}_4^+$ a $N\text{-NO}_3^-$ sa požiadavky prevažne darilo splňať (1x prekročenie $N\text{-NH}_4^+$ v roku 2014; $N\text{-NO}_3^-$ 1x prekročenie v roku 2010, 2x prekročenie v roku 2011, 1x v roku 2014, 1x v roku 2015 zo všetkých monitorovaných miest). Parameter dusitanový dusík $N\text{-NO}_2^-$ nespĺňal požadované hodnoty v prevažnom počte monitorovacích miest na začiatku monitorovaného obdobia, na konci monitorovaného obdobia v roku 2015 nespĺňali požadované hodnoty 4 zo 16 monitorovaných miest (tab. 3).

Z pohľadu indikátorov N_{celk} , P_{celk} , biomasa fytoplanktónu v posledných rokoch prišlo k výraznému zlepšeniu, preto môžeme konštatovať, že sa znížilo riziko čiastkového povodia Dunaja stať sa eutrofickým.

Na obr. 1 je vyhodnotenie splnenia požiadaviek na kvalitu povrchovej vody podľa Prílohy č.1 NV č. 269/2010 Z. z., časť A (všeobecné ukazovatele) z výsledkov monitorovania v roku 2015 na konci druhého monitorovacieho cyklu

Tabuľka 2. Hodnotenie eutrofizácie – Smernica Rady 91/676/EHS – Povrchové – tečúce vody (metodika Rivers, France)

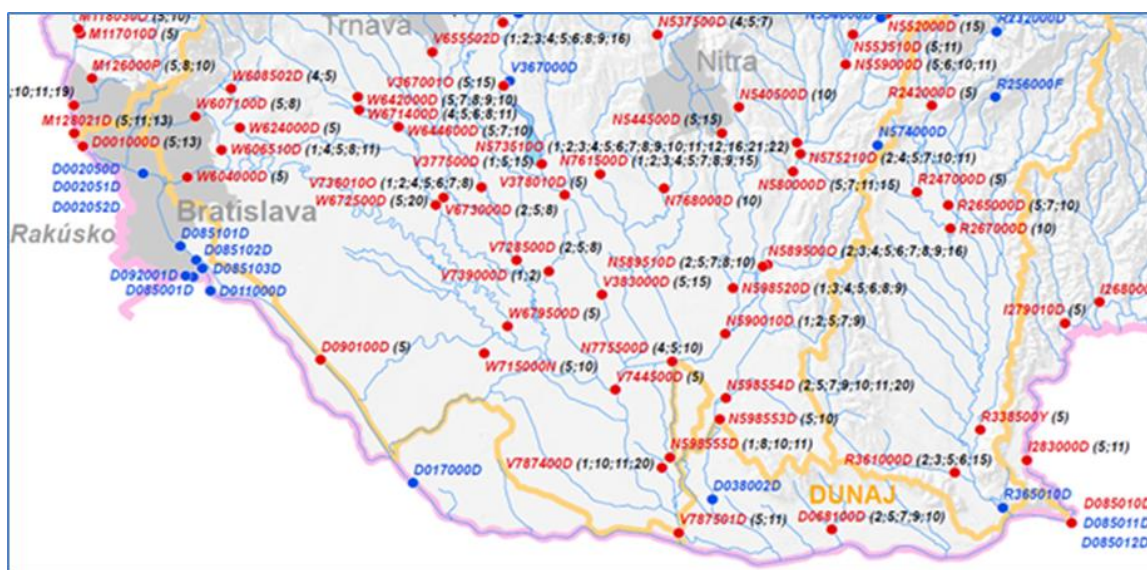
Table 2. Evaluation of eutrophication – Directive 91/676/CEE – Surface water - rivers

Ukazovateľ	Jednotka	Hranice tried trofie/stav				
		I Ultraoligotrofný	II Oligotrofný	III Mezotrofný	IV Eutrofný	V Hypereutrofný
Dusičnany (priemerná letná konc.)	mg.l ⁻¹	< 2	< 10	< 25	< 50	> 50
Fosforečnany (priemerná letná konc.)	mg.l ⁻¹	< 0,1	< 0,5	< 1	< 2	> 2
Celkový fosfor (priemerná letná konc.)	mg.l ⁻¹	< 0,05	< 0,2	< 0,5	< 1	> 1
Chlorofyl-a (maximálna letná koncentrácia)	µg.l ⁻¹	< 2,5	< 8	< 25	< 75	> 75

Tabuľka 3. Hodnotenie trofického stavu povrchových vôd čiastkového povodia Dunaja 1. plánovacie obdobie (2010 – 2015)**Table 3. Evaluation of trophic state (condition) of Danube River basin in 2010–2015**

Ukazovateľ	Symbol	Jednotka	Hodnota	2010		2011		2012		2013		2014		2015	
				n = 17		n = 25		n = 17		n = 17		n = 16		n = 16	
				S	N	S	N	S	N	S	N	S	N	S	N
Amoniakálny dusík	N-NH ₄ ⁺	mg.l ⁻¹	1	17	-	21	4	17	-	17	-	15	1	16	-
Dusitanový dusík	N-NO ₂ ⁻	mg.l ⁻¹	0,02	2	15	8	17	10	7	8	9	14	2	12	4
Dusičnanový dusík	N-NO ₃ ⁻	mg.l ⁻¹	5	16	1	23	2	17	-	17	-	15	1	15	1
Celkový dusík	N _{celk}	mg.l ⁻¹	9	16	1	23	2	17	-	17	-	16	-	15	1
Fosfor celkový	P _{celk}	mg.l ⁻¹	0,4	16	1	21	4	17	-	16	1	16	-	16	-
Biomasa fytopl. (chlorofyl-a)	CHL _a	µg.l ⁻¹	50	16	1	23	2	17	-	16	1	15	1	16	-

n – počet monitorovaných miest (number of monitoring sites); *S* – spĺňajúce požiadavky na kvalitu povrchovej vody podľa prílohy 1 Nariadenia vlády č. 269/2010 Z. z. (meet the requirements according to Supplement No.1 Directive of Government SR No. 269/2010, part A - general indicators and part E - hydrogeological and microbiological indicators); *N* - nespĺňajúce požiadavky na kvalitu povrchovej vody podľa prílohy 1 Nariadenia vlády č. 269/2010 Z. z. (does not meet criteria according to Supplement No.1 Directive of Government SR No. 269/2010). Zdroj: SHMÚ.

**Legenda:**

- hodnoty ukazovateľa **spĺňajú** požiadavky na kvalitu vody podľa Prílohy č. 1, NV č. 269/2010 Z.z.
- hodnoty ukazovateľa **nespĺňajú** požiadavky na kvalitu vody podľa Prílohy č. 1, NV č. 269/2010 Z.z. (Zdroj : SHMÚ)

Obr. 1. Vyhodnotenie splnenia požiadaviek na kvalitu povrchovej vody podľa Prílohy č. 1 NV č. 269/2010 Z. z., časť A (všeobecné ukazovatele) z výsledkov monitorovania v roku 2015.

Fig. 1. Evaluation of request fulfillment for surface water quality according to Supplement No.1 Directive of Government SR No. 269/2010, part A (general indicators) - results of monitoring 2015.

Záver

Mechanizmy, ktoré vedú k eutrofizácii sú komplexné a vzájomne previazané. Jej hlavnou príčinou je vysoký prísun živín do vodného telesa, čo vedie k porušeniu rovnováhy potravného reťazca a vysokej koncentrácii bio-

masy tvorenej fytoplanktónom v postihutej vrstve vody. Tento stav môže viesť ku tvorbe vodného kvetu, ktorého priamym dôsledkom je nadmerná spotreba kyslíka v blízkosti dna vodného telesa. Ďalšie podporné faktory tohto procesu sa dajú rozdeliť do dvoch kategórií v závislosti od toho, či sú spojené s disperziou živín a rastom fyto-

planktónu, alebo s kolobehom kyslíka vo vrstvách vody v blízkosti dna (obmedzenie obehu kyslíka, svetla, pohybu vody). V závislosti od stupňa eutrofizácie sa dajú pozorovať aj iné nepriaznivé účinky. Pri narušení ekosystému dochádza k ochudobňovaniu biodiverzity dôsledkom zvýšeného obsahu toxínov produkovaných sinicami (cyanotoxíny). Za najväčšie nežiaduce účinky eutrofizácie považujeme deficit kyslíka, zníženie biodiverzity a zhoršenie kvality vody.

Monitorovanie vodných útvarov povrchových vôd sa uskutočnilo podľa požiadaviek Rámцovej smernice o vode v období rokov 2010 – 2015. Podľa požiadaviek medzinárodnej a národnej legislatívy pre hodnotenie ekologického stavu a ekologického potenciálu je potrebné sledovať biologické prvky kvality, podporné fyzikálno-chemické a hydromorfologické prvky.

Cieľom príspevku bolo analyzovať problematiku eutrofizácie, faktory, ktoré ju spôsobujú, jej dôsledky a možnosti predchádzania jej vzniku. Parciálnym cieľom bolo zhodnotiť stav eutrofizácie vôd v čiastkovom povodí Dunaja na základe fyzikálno-chemických a mikrobiologických ukazovateľov v sledovanom období.

Koncentrácie dusičnanového-N v 1 zo 17 monitorovaných miest (5,88 %) v roku 2010 a v 1 zo 16 monitorovaných miest (6,66 %) v roku 2015 prekročili limitnú hodnotu $5 \text{ mg.l}^{-1} \text{ N-NO}_3^-$. Koncentrácie dusitanového-N až v 15 zo 17 monitorovaných miest (88,23 %) v roku 2010 a v 4 zo 16 monitorovaných miest (25 %) v roku 2015 prekročili limitnú hodnotu $0,02 \text{ mg.l}^{-1} \text{ N-NO}_2^-$. Pre fosfor zo 17 monitorovaných miest v 1 (5,88 %) bola prekročená limitná hodnota $0,4 \text{ mg.l}^{-1} \text{ P}_{\text{celk}}$ v roku 2010, všetky vzorky v roku 2015 spĺňali kritériá a nie sú v riziku ohrozenia. Vo všeobecnosti tempo nárastu externých zdrojov N a P v čiastkovom povodí Dunaja v monitorovanom období kleslo a zároveň sa znížilo riziko eutrofizácie.

Podakovanie

Príspevok bol podporovaný projektom VEGA 2/0025/19, projektom APVV-14-0735 a projektom VEGA 1/0805/16.

Literatúra

- Burger, F., Čelková, A. (2009): Salinizácia a kontaminácia podpovrchového environmentu. Monografia ÚH SAV, ISBN 978-80-89139-17-0, 327.
- Devlin, M., Bricker, S., Painting, S. (2011): Comparison of five methods for assessing impacts of nutrient enrichment using estuarine case studies. *Biogeochemis.* 106, 177–205.
- Dulovičová, R., Velísková, Y., Schügerl, R. (2016): Modification of Silts Hydraulic Conductivity along the Lowland Channel Gabčíkovo-Topoľníky (Slovakia). In 16th International Multidisciplinary Scientific GeoConference SGEM 2016 : conference proceedings. Book 3, vol. 1. Hydrology and Water Resources. – Sofia, 521–528. ISBN 978-619-7105-61-2.
- Dzuro, T., Králiková, R. (2016): Efektívna patentovaná metóda v procese eutrofizácie povrchových vôd. Nástroje environmentálnej politiky. Zborník zo VI. medzinárod. vedec. konf., Bratislava, 36 – 42.

- Fiala, D. (2016): Boj o fosfor, aneb pracují všichni vodohospodáři na plný výkon? *Vodní hospodářství*, 5, 2016.
- Harper D. (1992): *Eutrophication of Freshwaters : Principles, problems and restoration.* Chapman & Hall 1992, ISBN 978-94-011-3082-0, [https:// doi.org/ 10.1007/978-94-011-3082-0](https://doi.org/10.1007/978-94-011-3082-0)
- Hessen, D.O., (1999): Catchment properties and the transport of major elements. In: Nedwell, D.B., Raffaelli, D.G. (Eds.), *Estuaries. Adv. Ecol. Res.* vol. 29, 1–41.
- Hucko P., Štetina M., Luther S. (2013): Národný prístup hodnotenia povrchových vôd v SR. *Vodárenská biologie, Praha*, 1 – 21.
- Jickells, T. (2005): External inputs as a contributor to eutrophication problems. *J.Sea Res.* 54, 58–69.
- Kováčová V., Velísková Y. (2011): Stanovenie dusičnanov v povrchových vodách. 19. medzinárodný posterový deň ÚH SAV – Transport vody, chemikálií a energie v systéme pôda-rastlina-atmosféra, Bratislava, ISBN 978-80-89139-26-2.
- Makovinská, J. a kol. (2015): Metodika monitorovania a hodnotenia vodných útvarov povrchových vôd Slovenska. VÚVH, 179. ISBN 978-80-89740-02-4.
- Májovská A. (2015): Kvalita povrchovej vody v povodí Dunaja z pohľadu plnenia požiadaviek dusičnanej smernice 91/676/EEC. Zb. z konf. Deň Dunaja, SHMÚ, Bratislava, Nariadenie vlády Slovenskej republiky č. 269/2010 Z.z., ktorým sa ustanovujú požiadavky na dosiahnutie dobrého stavu vôd.
- Nedwell, D.B., Dong, L.F., Sage, A., Underwood, G.J.C. (2001): Variations of the nutrient loads to the mainland UK estuaries: correlations with catchment areas, urbanisation and coastal eutrophication. *Est. Coast. Shelf Sci.* 56, 951–970.
- Newman, J.R., Anderson, N.J., Bennion H., Bowes, M.J., Luckes, S., Winder, J., (2005): Eutrophication in rivers : an ecological perspective. *Centre for Ecology and Hydrology*, 37. DOI: 10.13140/2.1.3711.5208
- Pavlidou, A., Simboura N., Rousselaki E., Tsapakis M., Pagou, K., Drakopoulou, P., Assimakopoulou, G., Kontoyiannis H., Panayotidis P. (2015): Methods of eutrophication assessment in the context of the water framework directive: Examples from the Eastern Mediterranean coastal areas. *Continental Shelf Research*, 108, 156–168.
- Pärn, J., Pinay, G., Mander, Ü. (2012): Indicators of nutrients transport from agricultural catchments under temperature climate : A review. *Ecological Indicators*, 22, 2012, 4–15.
- Pärn, J., Henided, H., Kasaka, K., Kauere, K., Soharu, K., Tourneboed, J, Uema, E., Välik, K., Mander, U. (2018): Nitrogen and phosphorus discharge from small agricultural catchments predicted from land use and hydroclimate. *Land Use Policy*, 75, 260–268.
- Sárköziová, L. (2010): Ekologické účinky a prejavy eutrofizácie sladkých vôd. SPU Nitra, 70.
- Schügerl, R., Velísková, Y., Dulovičová, R. (2018): Identifikácia zmien prietokových pomerov a rýchlostného profilu pri prúde s voľnou hladinou. Hydrologický výskum v podmienkach prebiehajúcej klimatickej zmeny. Monografia ÚH SAV. Veda, Bratislava, 391.
- Smith, V.H., Tilman, G.D., Nekola, J.C. (1999): Eutrophication: impacts of excess nutrient inputs on freshwater, marine, and terrestrial ecosystems. *Environmental Pollution*, 100, 179 - 196.
- SMERNICA Rady 1991/676/EHS z 12. decembra 1991 o ochrane vôd pred znečistením dusičnanmi z poľnohospodárskych zdrojov

SMERNICA Rady EÚ 1991/271 EHS o čistení komunálnych odpadových vôd

SMERNICA 2000/60/ES EURÓPSKEHO PARLAMENTU A RADY z 23. októbra 2000, ktorou sa stanovuje rámec pôsobnosti pre opatrenia spoločenstva v oblasti vodného hospodárstva

Tlučáková, A., Cibulka, R. (2016): Sledovanie časového

vývoja priestorového rozšírenia dusičnanov v povrchových vodách Slovenska. *Vodní hospodárství*, 3, 2016.

Wang, J., Fu, B., Qiu, Y., Chen, L., (2001): Soil nutrients in relation to land use and landscape position in the semi-arid small catchment on the loess plateau in China. *Journal of Arid Environments*, 48, 537–550.

Zákon č. 364/2004 Z.z. o vodách.

LEVEL OF SURFACE WATER EUTROPHICATION IN DANUBE RIVER BASIN

The purpose of this report is to review the role of nitrogen (N) and phosphorus (P) in the eutrophication of rivers (surface water). The work was required by Water Framework Directive 2000/60/ES as part of investigating excessive nutrient enrichment. This report reviews nutrient inputs to rivers; the role of nutrients in the eutrophication of rivers; the response of biota to nutrient enrichment; monitoring of changes due to eutrophication and the management of riverine eutrophication.

Monitoring of surface water bodies has been provided in terms of requirements of the Water Framework Directive in the period of 2010–2015. With regards of international and national legislative for the ecological status assessment ecological potential, chemical status, biological quality elements, supporting physical-chemical and hydro-morphological quality elements as well as the specific substances have been investigated.

The aim of this contribution was to analyse eutrophication problem, factors affecting this process, its consequences and possibilities of prevention. The partial aim was to evaluate eutrophication state of water in Danube River basin following the assessment physical-chemical and microbiological indicators in monitored period. The present work sets out the ecological consequences of increased nutrient loading to freshwaters in the context of providing information on the effects of implementing international and national legislative for the ecological status assessment.

Eutrophication is the term applied to the observable effects of increased nutrients on an aquatic system. The nutrients of primary concern are nitrogen (N) compounds and phosphorus (P) compounds. Eutrophication is a process not a state, requiring factors external to a system to act in order to bring about change within the system. This is especially so in rivers where plant communities respond to flow, sediment type, and underlying geology more than any transient changes in dissolved nutrient status derived from external inputs. Flushing in flowing systems tends to reduce exposure times to enhanced nutrient loads, thereby reducing the scale of any change. Increases in both N and P cause changes in plant communities.

The majority of observable effects of eutrophication are due to enrichment of running waters by P, or a combination of N and P. Enrichment by N tends to be associated

with dissolved nutrients in the water column, whereas enrichment by P is associated with both sediment-bound and water column nutrients. It is therefore theoretically possible to reduce the effects of N-enrichment relatively easily over a relatively short timeframe if inputs are controlled, while the effects of P will be less easily resolved over short timescales. Assuming that the major observable effects are P-driven, and exacerbated by N-enrichment, then the observable effects of a reduction in N may not be detectable until P is also reduced.

Eutrophication of rivers is best managed by reducing inputs to the river system, rather than any in situ remedial action. Point source pollutants are easily managed, but diffuse pollution from agriculture, industry, urbanisation and others is less easily controlled. Diffuse pollution may be caused by leaching of nutrients from soil over a long period. Significant reductions in nutrients are those that have the capacity to alter plant community, population structure and to improve the water quality.

The effects of an eutrophication process on submerged macrophyte species will be more easily characterised in large, slow-flowing, sediment-retaining rivers, rather than in fast flowing smaller river systems. The speed of change due to eutrophication will be more rapid in large, slow-flowing rivers because plant communities are able to adapt within the timeframe of exposure to increased nutrients. Monitoring of eutrophication rates and effects needs to be adapted to the type of river system under investigation. Groundwater nutrient concentrations and their variability by region and over time are less well documented and this needs further work. There are clear ecological effects of raised nutrient concentrations in both lakes and rivers, including.

The external supplies of N and P to aquatic ecosystems are derived from a wide variety of sources, including groundwater, fluvial, and atmospheric inputs. The sum of these three sources can be termed the external load. The external supplies of nutrients to a water body can originate both as point sources, which are localized and more easily monitored and controlled, and as nonpoint sources, which are diffuse and much more difficult to monitor and regulate. The relative contributions of these two types of sources can differ substantially from watershed to watershed, depending upon local human population densities and land use.

N and P exports from point and nonpoint sources can have profound effects upon the quality of receiving waters. The most common effects of increased N and P supplies on aquatic ecosystems are perceived as increases in the abundance of algae and aquatic plants. However, the environmental consequences of excessive nutrient enrichment are more serious and far-reaching than nuisance increases in plant growth alone. The degradation of water resources by eutrophication can result in worsening of water quality.

Eutrophication in freshwaters is primarily driven by increases in N and P compounds. In terms of N, nitrate concentrations in rivers (and ground waters) have increased substantially during the last decades and have been linked to changing agricultural practices (increased levels of fertilisation and the move to growing crops with higher N demand). There has also been an increasing input from atmospheric N-deposition, but this is probably a relatively insignificant contribution apart from in upland catchments with little agricultural influence. For phosphorus the main period for the transport of diffuse, agricultural sources of P is during the winter and particularly the autumn rains and the P concentration from these sources will be at its highest during the low summer flows.

Changes in freshwater biological communities as a response to pollution have long been recognised. Mostly research has focused on impairment to water quality resulting from pollution of either a physical, chemical or organic nature. Gradually there has been recognition of the role of both point – and non-point (or diffuse) sources

of nutrient enrichment of surface waters. Studies of this eutrophication have historically concentrated on lentic and transitional waters of estuaries and coasts, but since the 1960's interest has also turned to the importance of nutrient enrichment from increasing levels of nitrogen and phosphorus in lotic systems or flowing waters.

The impact of nutrient enrichment on rivers is complicated by their dynamic nature, but symptoms such as excessive phytoplankton and filamentous algae development, weed growth and changes in macrophyte communities have clearly impacted water supply, fisheries and conservation value.

The present work focus on the assessment of surface water eutrophication state in Danube River basin. The values from monitoring in 2010–2015 were evaluated according to Supplement No.1 Directive of Government SR No. 269/2010, part A (general indicators) and part E (hydrogeological and microbiological indicators).

In terms of N, nitrate-N concentrations 1 of 17 monitoring sites (5,88%) in 2010 and 1 of 16 monitoring sites (6,66%) in 2015 was over the limit value $5 \text{ mg l}^{-1} \text{ N-NO}_3^-$. Nitrite-N concentrations 15 of 17 monitoring sites (88,23%) in 2010 and 4 of 16 monitoring sites (25%) in 2015 was over the limit value $0,02 \text{ mg.l}^{-1} \text{ N-NO}_2^-$. For phosphorus, of 17 monitoring sites 1 (5,88%) was over the limit value $0,4 \text{ mg.l}^{-1} \text{ P}_{\text{tot}}$ in 2010, all of the samples meet the criteria in 2015 and are not at risk, or probably not at risk. In general, the rate of increase the external supplies of N and P has slowed down in Danube River basin during the monitoring period.

Ing. Viera Kováčová
Ústav hydrológie SAV
Dúbravská cesta 9
841 04 Bratislava
Tel. + 421 2 32 293 510
E-mail: kovacova@uh.savba.sk