

Valentina KRÖSANOVA\*, Anton LAUR\*, Koidu TENNO\*

## PEIPSI-PIHKVA JÄRVE BIOGEENSE KOORMUSE KUJUNEMISE MODELLEERIMINE JA KOORMUSE VÄHENDAMISE ABINÕUDE EFEKTIIVSUS

Artikkel on kirjutatud Eesti TA Majanduse Instituudis tehtud töö põhjal, mis kuulub Peipsi-Pihkva järve seisundi uurimise kompleksprogrammi. Nimetatud programmi eesmärk oli järve kiire eutrofeerumise ja selle põhjuste igakülgne uurimine, et leida võimalusi kahjulike muutuste pidurdamiseks, mõistliku looduskasutuse ning looduskaitse strateegia väljatöötamiseks. Tööd programmi raames algasid juba 1984. aastal ning üks uurimisetapp lõppes 1990. aastal. Osalesid paljud Eesti teadusasutused.

Siinse kirjutise aluseks oleva uurimuse eesmärk oli järve valgla biogeense reostuse kujunemise modelleerimine (reostumist õhu kaudu ei vaadeldud, sest see on tühine, võrreldes valgla vooluvetest tulenevaga), järve reostusest tingitud biogeense koormuse leidmine, koormuse vähendamise stsenaariumide väljatöötamine ja nende efektiivsuse hindamine eutrofeerumisprotsessi pidurdamise seisukohalt. Vaadeldi Peipsi-Pihkva järve valgla Eesti-poolset osa. Esialgse analüüsi põhjal selgitati välja, et biogeensetest elementidest kuulub määrav roll fosforile [1]. Seepärast oli kogu analüüsi aluseks fosforireostus. Valminud uurimuses võib eristada kolme suhteliselt autonoomset alajaotust: modelleerimine koos vastava dialoogiprogrammi väljatöötamisega, infopanga loomine ja mudelanalüüs ning reostuskoormuse vähendamise abinõude efektiivsuse arvutus. Lisaks nimetatule olid töös veel täiesti iseseisvad osad: statistiline analüüs üld- ja mineraalse fosfori kontsentratsiooni mõõtmisandmete kohta jõgedes (A. Maamägi) ja kartograafilise informatsiooni töötlemine geoinfosüsteemi teooria alusel (P. Krusberg).

### 1. Metoodilised alused

Valgla mudeli koostamisel kasutati Matsalu lahe valgla uurimisel omandatud kogemusi biogeensete voogude kujunemise ja liikumise imitatsioonmodelleerimisel [2, 3]. Mudeli abil on hõlbus analüüsida erinevate punkt- ja hajureostusallikate osakaalu valgla üldises fosforikoormuses, samuti hinnata alamvalglate mõju territoriaalses lõikes ning lõpptulemusena välja selgitada koormuse vähendamise võimalusi.

Modelleerimisülesande eduka lahendamise eeldus on vastava infobaasi loomine. Kuivõrd fosforikoormuse kujunemist kirjeldava mudeli tarvis on olulised jõgede hüdroloogilised ja hüdrokeemilised mõõtmisandmed, jagati kogu valgla territoorium alamvalglateks vastavalt hüdro-meteoroloogiateenistuse mõõtmisvõrgule. Alamvalglate numbrid langevad kokku vastavate valglate piiril olevate mõõtmisvõrgu punktide numbritega (joon. 1). Loodud infobaasi ülesehitus vastab alamvalglate struktuurile ja sisaldab järgmisi alajaotusi:

1) alamvalglate üldandmed: pindala, veebilansi elemendid jm. üldisemat laadi andmed;

\* Eesti Teaduste Akadeemia Majanduse Instituut. EE0105 Tallinn, Estonia pst. 7. Estonia.

2) info tööstuslike ja kommunaalmajanduslike punktreostusallikate kohta;

3) info loomakasvatustehaste kohta;

4) väetatava maa pindala valglate lõikes, samuti mullastiku andmed ja kasutatud mineraal- ning orgaaniliste väetiste kogused;

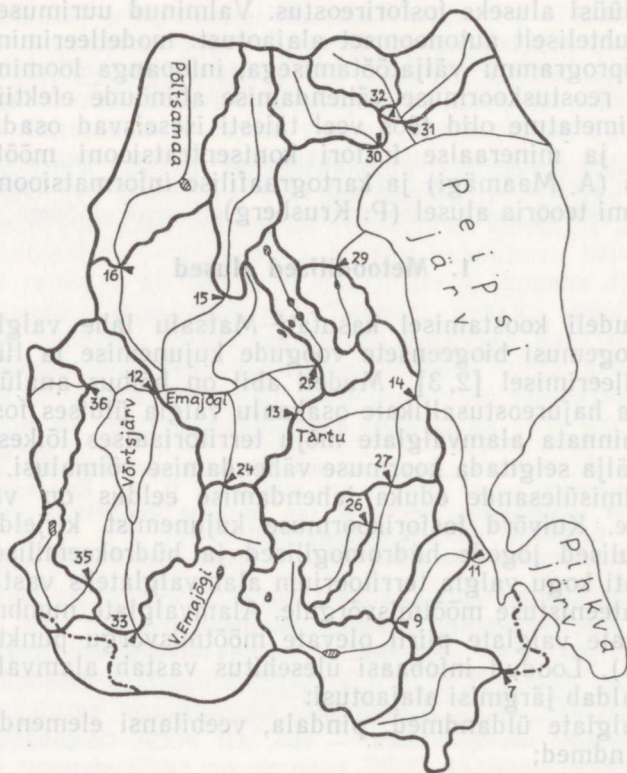
5) jõgede hüdrokeemilised vaatlusandmed.

Kogu kirjeldatud info on arvutis organiseeritud vastavate failide kogumina kasutajale mugaval kujul. Selleks on põhiliselt kasutatud süsteemi LOTUS — 1-2-3.

Valgla mudeli realiseerib dialoogiprogramm, mis on koostatud C-keeles IBM XT/AT-tüüpi personaalarvutitele. Programmi töö algab kirjeldava osaga, kus arvuti ekraanil esitatakse skemaatiliste kaartide ja vastava teksti abil ülevaade objektist. Programmi põhiosa kujutab endast hierarhilist dialoogiprotseduuride süsteemi, mille oluliseks osaks on blokk MONITOR, kus töödeldakse ja esitatakse graafiliselt valgla jõgede ja järvede monitooringu tulemused.

Lisaks kirjeldatud blokile kuuluvad põhiprotseduuride hulka veel blokid TÖÖSTUS, FARMID, PÖLLUD, ÜLDKOORMUS ja STENAA-RIUMID. Neist esimeses kolmes toimub erinevatest reostusallikatest tulevane fosforikoormuse arvutamine.

Blokki TÖÖSTUS kuuluvad vaadeldava valgla territooriumil asuvad tööstuslikud ja kommunaalmajanduslikud reostusallikad: linnade ja asulate veevarustuse ja kanalisatsiooni ettevõtted ning iseseisvate kanalisatsioonisüsteemidega tööstus- ja ehitusettevõtted, koolid, haiglad jne. Suurimad seda liiki reostusallikad valgla on Tartu, Valga, Viljandi, Võru, Jõgeva ja Põltsamaa linn ning Põlva alev. Ettevõtetest on heitvee koguse järgi suurim «Estonia» kaevandus.



Joon. 1. Peipsi-Pihkva järve valgla Eesti osa jaotus alamvalglateks.

Nendest reostusallikatest tuleneva reostusmahu leidmiseks on kasutatud veemajanduse statistilisi aruandeid (1983.—1989. a.), samuti Eesti Looduskasutuse Teadusliku Infokeskuse uurimistööde andmeid [4, 5]. Fosfori osas on need andmed puudulikud, ühed neist on saadud mõõtmiste, teised arvutuste teel, mõne reostusallika puhul puuduvad andmed fosfori kohta üldse. Seepärast on andmete täiendamiseks tehtud kõigi reostusallikate põhjalik analüüs, arvestades tootmisobjektide majandustegevuse omapära, asulate elanike arvu, puhastusseadmete olemasolu ja töö kvaliteeti. Analüüsi tulemuste põhjal on aruannete andmeid täiendatud ja täpsustatud.

Kogu vaadeldava vesikonna punktreostusallikatest suurim on Tartu linn. Kommunaalmajandusliku reostuse kõrval on Tartule iseloomulik tööstuslik fosforireostus, sest linnas on palju suuri toiduainetetööstuste ettevõtteid (lihakombinaat, kalatööstus, piimakombinaat). Üldfosfori (P<sub>üld</sub>) kogus nende ettevõtete reovees on väga erinev (lihakombinaadil 33 mg/l, kalatööstusel 13 mg/l, kommunaalvetes 5 mg/l). Kokku annab Tartu erisuguste hinnangute järgi 80—116 tonni üldfosforit aastas. Keskmise P<sub>üld</sub> sisaldus linna heitvetes on 6,6 mg/l (1989. a. andmetel).

Seni puuduvad linnal kõigi reovete puhastusseadmed. Lokaalsed eel-puhastusseadmed on vaid mõnel eriti suurel reostusallikal (lihakombinaat). See ei tähenda aga, et toimuks fosforiärastust. Praegu on Tartu kanalisatsiooni- ja puhastusseadmete kompleksi ehitamisel. Puhastusseadmete I järk on arvestatud 75 000 m<sup>3</sup> reoveele ööpäevas ja peab vähemalt 1992. aastaks, II järk on arvestatud 150 000 m<sup>3</sup> reoveele ööpäevas. Seadmed on ette nähtud reovete täielikuks bioloogilis-keemiliseks puhastuseks fosforiärastusega.

Vesikonna piires on veepuhastusseadmed Võru, Valga, Põltsamaa, Otepää ja Jõgeva linnal, Põlva alevil ning mõnedel teistel asulatel. Nendest uuemad ja paremad on Võrus ja Põlvas, kuid ka need on juba üle koormatud. Kõikjal puudub fosforiärastus. Seepärast on ärajuhitava heitvee fosforisisaldus nimetatud reostusallikatel 6—11 mg/l piires.

Bloki FARMID lülitamise dialoogisüsteemi põhiprotseduuride hulka tingis asjaolu, et Peipsi-Pihkva järve valgla Eesti osas on välja arendatud intensiivne loomakasvatuse, mis kujutab endast ühte olulisemat biogeense reostuse allikat [6].

Loomakasvatuse intensiivarendamine ostujõusööda baasil võeti Eesti põllumajanduse edendamise aluseks juba 1960. aastate algul. Paraku domineerisid sealjuures tootmishuvid ning looduskeskkonna võimalusi toime tulla kiiresti suurenema hakkava biogeense reostusega ei arvestatud. Mõistlikult jäi lahendamata sõnnikukasutuse korraldamine, hilines väikepuhastite kasutuselevõtt. Siiani pole viimaste puhul majandites korraldiku ekspluatatsiooniteenistust, mistõttu paljud puhastid praktiliselt ei tööta.

Vastavalt mainitud põllumajanduspoliitikale kasvas loomade arv valgla Eesti poolel kiires tempos, moodustades perioodil 1986—1988 aastakeskmiselt 280 000 veist ja 350 000 siga. Viimastel aastatel on see arv stabiliseerunud ja isegi vähenenud, kuid siin pole tegu ökoloogilistest kaalutlustest lähtuvate otsuste rakendamisega, vaid lihtsalt praeguse majandusliku olukorraga, mille üks ilminguid on ka ostujõusööda koguse tunduv vähenemine.

Blokis FARMID tehtud mudelarvutustes on kasutatud A. Maastiku meetodikat [7], samuti töös [8] esitatud arvutuskeeme. Loomakasvatuse farmidest tuleneva fosforikoormuse määramisel on kasutatud nendes meetodikates esitatud seoseid, millede põhiparameetriteks on loomade arv farmides ja eksperthinnangud farmide tehnilise seisundi kohta.

Arvutuskeemid bloki PÖLLUD tarbeks olid põhiliselt välja töötatud juba Matsalu lahe valglat käsitlevas töös [2]. Lisaks arvestati kogemusi,

mis olid saadud kirjandusest tuntud mudeli CREAMS loomisel ja kasutamisel [9]. Põhiparameetrid fosforikoormuse määramiseks kõnealuses blokis olid:

- haritava maa pindala alamvalglates;
- koormusfunktsioonid fosfori väljauhtumise kohta haritavalt maalt;
- fosfaatide ja üldfosfori kontsentratsioon ning aastakeskmise vooluhulk valgla jõgedes.

Blokis ÜLDKORMUS toimub kogu valgla ulatuses formeeruva summaarse fosforikoormuse arvutamine. Siinjuures arvestatakse alginformatsiooni määramatust, mis esineb kõigis blokkides. Imitatsioonisüsteemi kasutaja võib eelistada blokke informatsiooni täpsuse alusel. Osa algpärametreid esitatakse intervallidena ja nende häälestamine toimub iteratiivselt.

Blokis STSENAARIUMID määratakse fosforikoormus ja selle struktuur koormuse vähendamise abinõude eri rakendusvariantide korral.

## 2. Modelleerimistulemused

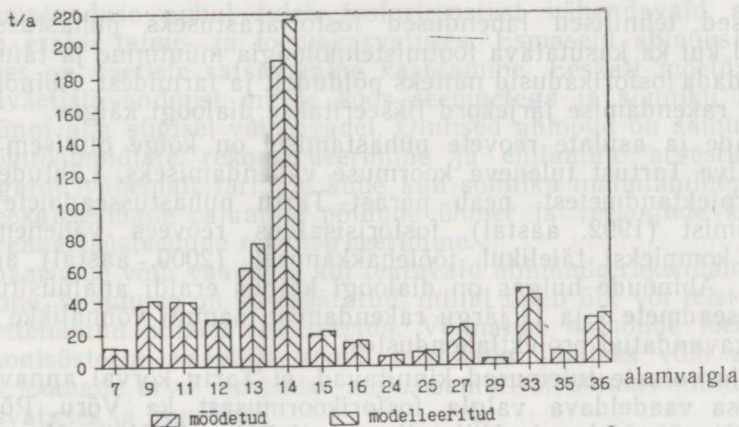
Mudelkäsitluse arvutil realiseerimise olulisemad tulemused on järgmised.

Kõigepealt määrati järve kriitiline fosforikoormus Vollenweideri järgi [10]. See moodustab 0,17—0,21 grammi fosforit järve pinna m<sup>2</sup> kohta aastas ehk absoluutkoguses 606—749 tonni fosforit aastas. Kriitilise koormuse võrdlemiseks järve reaalse fosforikoormusega on viimane välja arvatud mineraalse fosfori keskmiste kontsentratsioonide järgi Velikaja jõe ja Suure Emajõe suudmes. Mootmisandmete alusel moodustab mineraalse fosfori koormus 390—430 tonni fosfaatset fosforit (P—PO<sub>4</sub>) aastas. Arvestades, et P<sub>üld</sub> kontsentratsioon on 57—111% kõrgem, tuleb järve reaalse koormuse hinnanguks 612—907 tonni P<sub>üld</sub> aastas. Valgla Eesti osa hõlmab teatavasti 34,1% kogu valglast, seega Eestile langeb kriitilises fosforikoormuses 207—255 tonni aastas. Monitooringu andmetel moodustab aga ainuüksi Suurest Emajõe tulenev koormus 187—220 tonni P<sub>üld</sub> aastas. Sellele lisandub koormus Võhandu, Piusa, Kääpa, Avijõe ja Rannapungerja jõe valglast, samuti rannikualt. Seega üleab reaalse koormus valgla Eesti osast olulisel määral kriitilise piiri. See kinnitab olukorra tõsidust Peipsi-Pihkva järve biogeense reostuse osas.

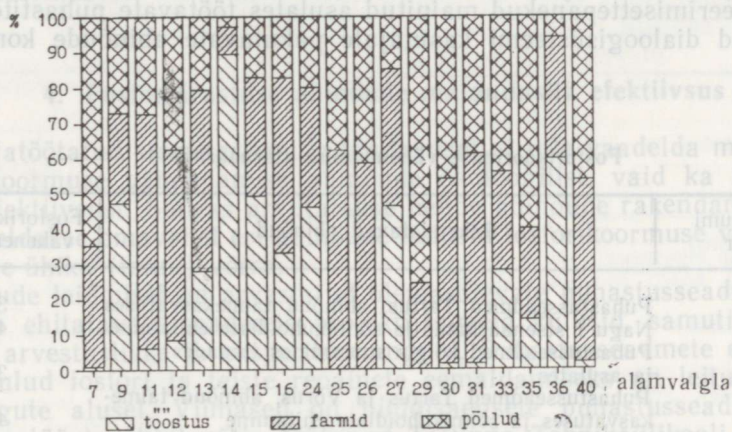
Lähemalt on vaadeldud Suure Emajõe valglast lähtuva koormuse mudelanalüüsi. Mudelarvutuste põhjal moodustab see 219—243 tonni aastas. Umbes 47% sellest kogusest tuleneb territooriumilt allpool Tartut (joon. 1), kusjuures kuni 42% annab vahetult Tartu linna tööstuslik ja kommunaalne reostus. Ülejäänud koormus formeerub alamvalgla 13 selles osas, mis hõlmab Suure Emajõe valglat ülalpool Tartut, samuti Ahja, Pedja, Paala, Amme ja Elva jõe valglat (nende valglate osatähtsus üldkoormuses on arvutustulemuste põhjal vastavalt 12; 9; 7,5; 7; 3 ja 2,5%). 12% Suure Emajõe üldkoormusest tuleneb Võrtsjärve valglast. Märgi-tagu siinjuures, et Võrtsjärv toimib Peipsi suhtes omapärase puhvrina, lastes läbi ainult 22—28% tema valglast moodustuvast fosforikoormusest.

Ülejäänud osa Eesti territooriumil moodustuvast P<sub>üld</sub> koormusest kandub järve Võhandu (40,2—40,5 tonni aastas), Piusa (11,3—11,8 tonni aastas) ja Kääpa (3,7—4,0 tonni aastas) jõe, aga samuti Avijõe, Rannapungerja jõe ja rannikuala väiksemate ojade kaudu (kokku 34,2 tonni aastas).

Mudelhindanguid on võrreldud vaatlusandmete põhjal saadud hinnangutega nendes alamvalglates, kus see osutus võimalikuks. Joonisel 2 on esitatud vastavad võrdlustulemused.



Joon. 2. Mõõtmistulemuste ja mudelarvutuste põhjal saadud fosforikoormuse võrdlus alamvalglate lõikes (tonni aastas).



Joon. 3. Fosforikoormuse struktuur alamvalglates (protsentides).

Mudelarvutuste lõpptulemusena saadi fosforikoormuse intervalliks kogu vaadeldaval territooriumil 306—331 tonni aastas. See on 1,2—1,6 korda suurem kriitilisest koormusest.

Mudelarvutused võimaldavad määrata ka fosforikoormuse struktuuri alamvalglate lõikes. Nagu näha joonisel 3, varieerub koormuse struktuur alamvalglates oluliselt. Mõnedes on tööstuse (koos kommunaalmajandusega), farmide ja põllumajandusliku hajureostuse koormus jaotunud ligikaudu võrdseteks osadeks (alamvalglad 33 ja 15), teistes domineerib tööstuslik (alamvalgla 14 alumine osa alates Tartust) või põllumajanduslik koormus (alamvalglad 25, 26, rannikuala). Kui vaadata Süre Emajõe valglat tervikuna, siis seal moodustab tööstuslik koormus 57%, farmidest tuleneb 28% ja põldudest 15% fosforireostusest.

### 3. Stsenariumide analüüs

Pärast hinnangute saamist fosforikoormuse kujunemisele nii territooriaalses kui ka tegevussfääride lõikes võib dialoogi käigus määrata koormuse muutumise tendentsi eutrofeerumisprotsessi pidurdavate abinõude rakendamisel, s.t. läbi arvutada erinevad stsenaariumid fosforikoormuse vähendamiseks. Rakendatavate abinõude hulka kuuluvad siinjuures nii

konkreetsed tehnilised lahendused fosforiärastuseks puhastusseadmete rajamisel kui ka kasutatava tootmistehnoloogia muutmine ja täiustamine, et vähendada fosforikadusid näiteks põldudelt ja farmidest. Abinõude valik ja nende rakendamise järjekord fikseeritakse dialoogi käigus.

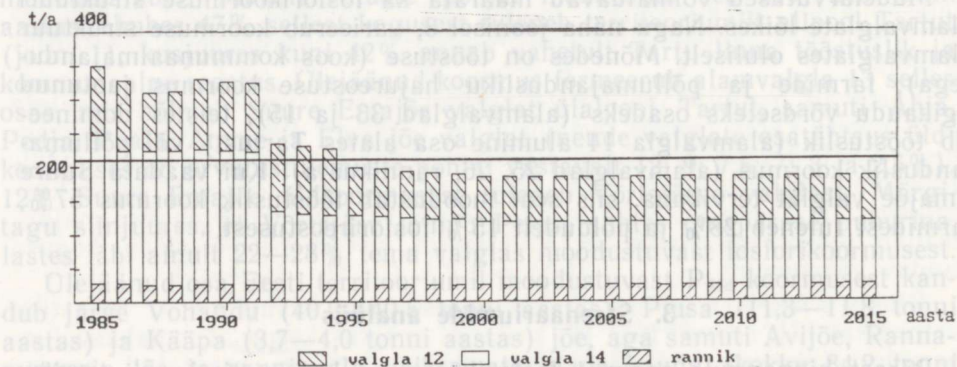
Linnade ja asulate reovete puhastamisel on kõige olulisem hinnata perspektiive Tartust tuleneva koormuse vähendamiseks. Lähtudes vastavatest projektandmetest, peab pärast Tartu puhastusseadmete I järgu käikuandmist (1992. aastal) fosforisisaldus reoveses vähenema kuni 1 mg/l, kompleksi täielikul tööle hakkamisel (2000. aastal) aga kuni 0,7 mg/l. Abinõude hulgas on dialoogi käigus eraldi analüüsitud Tartu puhastusseadmete I ja II järgu rakendamist, samuti võimalikke kõrvalekaldeid kavandatud projekt lahendustest.

Mudelarvutuste tulemused kinnitavad, et Tartu kõrval annavad üsna olulise osa vaadeldava valgla fosforikoormusest ka Võru, Põltsamaa, Jõgeva, Otepää, Valga ja Viljandi, samuti Põlva ja Väike-Maarja. Uute puhastusseadmete ehitamiseks ja olemasolevate efektiivsuse tõstmiseks on Eesti Riikliku Kommunaalameti ja «Maaparandusprojekti» poolt koostatud vee- ja kanalisatsioonimajanduse arengu kompleksprogramm. Rekonstrueerimissetpanekud mainitud asulates töötavate puhastite tarvis on arvatud dialoogisüsteemi kasutajale pakutavate abinõude kompleksi.

Tabel 1

Fosforikoormuse vähendamise stsenaariumid

Stsenaariumi number	Rakendatavad abinõud	Fosforikoormuse vähenemine %
I	Puhastusseadmed Tartus, abinõud taimekasvatuses	33
II	Nagu I stsenaariumis ja sõnnikuhoidlate ehitamine	42
III	Puhastusseadmed kõigis suuremates linnades ja asulates	33
IV	Puhastusseadmed Tartus ja Võrus, abinõud taimekasvatuses ja sõnnikuhoidlate ehitamine	47
V	Nagu IV stsenaariumis ja veekaitseribade rajamine Emajõe luhal	48
VI	Kõik loetletud abinõud tööstuses ja põllumajanduses	49



Joon. 4. Peipsi-Pihkva järve valgla Eesti osast tuleneva fosforikoormuse dünaamika VI stsenaariumi järgi.

Põllumajanduse puhul tuleb fosforireostust vähendavaid abinõusid vaadelda eraldi taime- ja loomakasvatustes. Esmaseid abinõusid taimekasvatustes on väetiste ratsionaalne kasutamine. Eeskätt mõeldakse siin mineraalväetiste andmist mulda koos seemnetega ja sõnniku laotamist ainult künni alla sügisel või kevadel. Olulised abinõud on samuti:

- sõnnikuhoidlate rekonstrueerimine ja ehitamine arvestusega, et oleks tagatud vähemalt farmide kuue kuu sõnniku mahutamise;
- veekaitseribade rajamine põldude ümber ja veekogude kallastele;
- drenaazüsteemide rekonstrueerimine.

Stsenaariume võib vaadelda kui teatavaid abinõude rakendamise kombinatsioone, kusjuures on ka määratud, millal tuleb üht või teist stsenaariumis ettenähtud abinõu realiseerida. Võimalike abinõude loetelu võib imitatsioonisüsteemi kasutaja soovil laiendada (näiteks võib arvestada farmides loomade arvu muutmise mõju, samuti struktuurimuutuste mõju taimekasvatustes ja muud).

Olulisemad mudelarvutuste käigus koostatud ja analüüsitud stsenaariumid on kirjeldatud tabelis 1. Viimase, VI stsenaariumi puhul moodustab järelejääv koormus umbes 81% Vollenweideri järgi määratud kriitilisest koormusest. Nimetatud stsenaarium on kujutatud ka joonisel 4.

#### 4. Fosforiärestuse abinõude majanduslik efektiivsus

Väljatöötatud stsenaariumide hindamisel ei tule vaadelda mitte ainult fosforikoormuse vähendamise abinõude ökoloogilist, vaid ka majanduslikku efektiivsust. Selleks arvatatakse nende abinõude rakendamise kulud ja võrreldakse omavahel eri abinõude kulusid fosforikoormuse vähendamiseks ühe ühiku (tonni) võrra.

Kulude leidmisel on arvestatud olemasolevate puhastusseadmete tege-likke ja ehitatavate seadmete projektijärgseid kulusid, samuti mitmesu-guseid arvestuslikke ja eksperthinnanguid. Puhastusseadmete eksploatat-sioonikulud fosfori ja teiste reoainete eemaldamiseks on leitud eksperthinnangute alusel. Viimased on nüüdisaegsete puhastusseadmete and-mete analüüsi põhjal välja töötanud Tallinna Tehnikaülikooli veekaitse-labori spetsialistid. Nende andmetel on 1 tonni reoaine eemaldamise kulu-tused järgmised: hõljum 400 rbl., naftatooted 6000 rbl., feenoolid 15 000 rbl., üldfosfor 3600 rbl., üldlämmastik 4500 rbl., sulfaadid 20 rbl.; 1 tonni bio-loogilise hapnikutarbe (BHT<sub>20</sub>) vähendamiseks 600 rbl. Kuigi reoaine eemaldamise kulud sõltuvad reoaine kontsentratsiooni muutumise vahe-mikust üldjuhul mittelineaarselt, on eeldatud, et piisavalt väikeses vahe-mikus võib neid vaadelda lineaarsetena.

Vastavalt eksperthinnangule on kulud fosfori kontsentratsiooni vähen-damiseks 1 mg/l võrra 1 m<sup>3</sup> reovees 0,36 kopikat. Sellest lähtudes on Tartu puhastusseadmetele antavas reovees fosfori kontsentratsiooni vähendamiseks projektijärgselt kontsentratsioonilt 14 mg/l-lt kuni 1 mg/l-ni arvatud 5 kop./m<sup>3</sup>.

Teatavasti on fosfori eemaldamine veest seotud teiste reoainete eemal-damisega, sest fosforiärestus toimub tavaliselt mehaanilis-bioloogilise tsükli lõpul. Seepärast ei saa fosforiärestuseks vajalikke kulusid vaadelda eraldi kogu reovee puhastamise kuludest. Ülaltoodud eksperthinnangu-dest lähtudes oleksid eri reoainete puhastuskulud Tartu puhastusseadmete projekti tingimustele vastavalt järgmised: BHT<sub>20</sub> vähendamiseks (395 kuni 6 mg/l) 23 kop./m<sup>3</sup> ja hõljumi vähendamiseks (490 kuni 4,5 mg/l) 19 kop./m<sup>3</sup>. Koos fosforiärestusega võrduksid Tartu reovee puhastuskulud seega 47 kop./m<sup>3</sup>.

Analoogsete arvutuste põhjal on leitud, et fosfori vähendamiseks kuni kontsentratsiooni 1 mg/l vesikonna kõige suuremate kommunaalmajan-

duslike ja tööstuslike reostusallikate heitvees kuluks kokku 560 000 rubla aastas, kogu puhastustsükli tarbeks aga 8,2 miljonit rubla aastas. Nende reostusallikate esmavalajike puhastussüsteemide ehitamiseks on vee- ja kanalisatsioonimajanduse arengu komplekssihtprogrammi järgi ette nähtud teha kapitaalmahutusi 55 miljoni rubla eest (1995. aastani), teises järjekorras (2005. aastaks) aga 135 miljoni rubla eest (puhastusseadmete laiendamine ja rekonstrueerimine, kanalisatsioonivõrkude väljaehitamine ja muu). Uute sõnnikuhoidlate ehitamiseks ja vanade rekonstrueerimiseks on kapitaalmahutused hinnatud 25,5 miljonile rublale ja teise astme kaitsemeetmete rakendamiseks maaviljeluses 66 miljonile rublale. Tuleb rõhutada, et kõik rahalised hinnangud muutuvad kiiresti ja praeguses üldises hinnatõusu olukorras ei vasta nende absoluutväärtused enam tegelikusele. Võib aga julgesti väita, et kasutatud hinnangute omavahe-line suhe jääb ka muutunud absoluutväärtuste puhul ligikaudu endiseks, seega kompleksprogrammi raames saadud tulemusi hinnatõus oluliselt ei mõjuta.

Tabel 2

Linnade puhastusseadmete ja põllumajanduslike kaitseabinõude efektiivsus Peipsi-Pihkva järve fosforikoormuse vähendamisel

Abinõud	Fosforikoormuse vähenemine t/a	Fosforikoormuse vähendamise majanduslik hinnang milj. rbl./t.		
		kõiki arvestades	kulusid kanalisatsioonivõrkudeta	tulevaste kulude järgi
<b>Puhastusseadmed:</b>				
Tartu I järk	88,30	0,60	0,18	0,15
Tartu II järk	92,30	1,15	0,75	0,19
Võru	15,90	0,75	0,30	0,05
Põltsamaa	0,50	19,00	5,80	3,00
Jõgeva	0,70	17,00	6,00	4,28
Otepää	0,18	56,10	22,78	16,67
Põlva	1,30	8,50	3,92	2,31
Valga	0,32	125,30	23,75	18,75
Viljandi	0,35	48,30	15,43	5,71
Väike-Maarja	0,35	16,00	5,71	4,29
I astme abinõud maaviljeluses	7,60	0	0	0
II astme abinõud maaviljeluses	19,10	3,46	3,46	3,46
Kuu kuu mahuga sõnnikuhoidlate ehitamine	30,90	0,83	0,83	0,83

Tulemused on kokkuvõetult järgmised (tab. 2). Peipsi-Pihkva järve fosforikoormuse vähendamise mudelanalüüsi alusel saadud ökoloogilised hinnangud vaadeldavate abinõude kohta (tab. 2, veerg 2) näitavad, et kõige suurem ökoloogiline efekt (fosforikoormuse vähenemine järves) on Tartu puhastusseadmetel, kõige väiksem aga Valga ja Viljandi puhastusseadmetel. Viimane asjaolu on tingitud nende linnade kaugusest Peipsist ja Võrtsjärve osast loodusliku eelpuhastajana (puhvrina). Majandusliku efektiivsuse seisukohalt (tab. 2, veerg 3—5) võib parimaiks abinõudeks pidada esimese astme abinõusid maaviljeluses (kulutused puuduvad), puhastusseadmete valmishitamist Tartus ning nende rekonstrueerimist Võrus. Järgmise abinõuna tuleb hinnata sõnnikuhoidlate ehitamist ja rekonstrueerimist. Teise astme abinõud maaviljeluses ja väiksemate linnade (Põltsamaa, Jõgeva) puhastusseadmetel on märksa madalam efektiivsus, veel madalam aga Valga, Viljandi ja Otepää puhastusseadmete väljaehitamisel. Sellest lähtudes osutub nii ökoloogilise kui ka majandusliku efektiivsuse seisukohalt parimaks stsenaarium VI, mis näeb



ette esimese astme abinõude rakendamise maaviljeluses, kogu kanalisatsiooni- ja puhastusseadmete kompleksi väljaehitamise Tartus, keemilise puhastussükli rajamise ja olemasoleva süsteemi laiendamise teistes suuremates linnades ning kuue kuu mahuga sõnnikuhoiulate ehitamise kogu vesikonna territooriumil (joon. 4). Peipsi-Pihkva järve eutrofeerumisprotsessi pidurdamise optimaalne strateegia peab seega sisaldama nii linnade puhastusseadmete ehitamist kui ka abinõusid põllumajandusreostuse vähendamiseks. Siinse töö üks tulemusi ongi nende abinõude rakendamise järjekorra väljaselgitamine.

Märgitagu, et väljatöötatud imitatsioonimudel ja dialoogiprogramm on universaalsed, s. t. sobivad ka teiste analoogsete objektide uurimiseks. Mudelanalüüsi oleks vaja rakendada eeskätt Peipsi-Pihkva järve valgla Venemaa-poolses osas, et lähemalt selgitada, kas Eesti poole fosforikoormuse vähendamine on järve eutrofeerumisprotsessi pidurdamise seisukohalt piisav. Tõenäoline on, et kui Velikaja jõe valgla radikaalseid abinõusid reostuse piiramiseks ei rakendata, jäävad ka Eesti-poolsed jõupingutused Peipsi järve kaitseks ebapiisavaks.

Autorid tänavad artikli retsensente Kalju Habichtit ja Robert Päsokit väärtuslike märkuste eest, samuti avaldavad tänu lahke abi eest prof. Ülo Ennuste ja prof. Ilja Kaganovitšile ning artikli aluseks oleva uurimuse kaasautoritele Aasa Maamäele ja Peep Krusbergile.

#### KIRJANDUS

1. Крысанова В., Лаур А., Мейнер А. Модельный подход к изучению формирования фосфорной нагрузки на водосборе Псковско-Чудского озера. — Изв. АН ЭССР. Биол., 1989, 38, 2, 149—156.
2. Имитационное моделирование системы «водосбор — река — морской залив». Таллинн, 1989.
3. Krysanova, V., Meiner, A., Roosaare, J., Vasilyev, A. Simulation modelling of the coastal waters pollution from agricultural watershed. — Ecol. Modelling, 1989, 49, 7—29.
4. Järvet, A., Laanemets, A. Peipsi vesikonna heitvete reostuskoormus. — Rmt.: Peipsi järve seisund. Tartu, 1990, 24—27.
5. Järvet, A., Laanemets, A., Müllerson, V. Peipsi vesikonna heitvete reostuskoormus. Tartu, 1989. (Looduskasutuse Teadusliku Infokeskuse aruanne.)
6. Сумм Х. Проблемы Псковско-Чудского озера. — Изв. АН ЭССР. Биол., 1987, 36, 2, 105—110.
7. Maastik, A. Veekaitse põllumajanduses. Tallinn, 1984.
8. Ryding, S. O., Rast, W. (eds.). The control of eutrophication of lakes and reservoirs. — Man and the Biosphere Series (UNESCO & The Parthenon Publishing Group), 1990, 1.
9. Knisel, W. G. (ed.). CREAMS: A field scale model for chemicals, runoff and erosion from agricultural management systems. — U. S. Department of Agriculture. Conservation Res. No. 26. Washington, D. C., 1980.
10. Vollenweider, R. A. Scientific fundamentals of the eutrophication of lakes and flowing waters with particular reference to nitrogen and phosphorus as factors in eutrophication. — Tech. Rep. Organiz. Econ. Cooper. Devel., 1968, No. 27.

Esitanud Ü. Ennuste

Toimetusse saabunud

31. V 1991

2) Eesti maastikud on formeerunud valdavalt inimtegevuse ja ei kaitsealade ülesannete hulka kuulub ka olemasoleva maastikulise struktuuri säilitamine, tuleb toomise jätkumist seal pida paratamatuks isegi looduskaitse seisukohast.

7. Eesti Teaduste Akadeemia Maanduse Instituut. EE0105. Tallinn, Estonia pst. 7. Estonia.

Sua hulka pole arvatud Eesti saarte biosfääri kaitseala ja Põhivõre veekaitseala, mida ei saa territooriumi suuruse (Eesti tingimustes) ja kaitseproblemi laadusest lähtuvalt väheste kaitsealade arvapraksis lähenemisega.

## MODELLING OF NUTRIENT LOAD FORMATION ON THE PEIPSI-PIHKVA WATERSHED AND THE EFFICIENCY OF ABATEMENT STRATEGIES

Experience of simulation modelling of nutrient load formation on big watersheds for environmental planning purposes is presented. The modelling approach is based on the experience of simulation modelling of the drainage basin of Lake Peipsi-Pihkva in Estonia. The main task of watershed modelling in eutrophication control efforts is to evaluate the spatial and temporal dynamics of the nutrient load from a watershed to a waterbody. It can be done by estimating the nutrient contribution from different sources of pollution and from different subwatersheds. Nonpoint sources of pollution are very important in this case. Geographical-informational approach was used for the verification of data on arable land areas for the Peipsi-Pihkva subwatersheds and for the presentation of spatial data. The determination of the load and its spatial and temporal structure serves as a basis for the development of a cost-effective strategy of eutrophication control.

Валентина КРЫСАНОВА, Антон ЛАУР, Койду ТЕННО

## МОДЕЛИРОВАНИЕ ФОРМИРОВАНИЯ БИОГЕННОЙ НАГРУЗКИ НА ПСКОВСКО-ЧУДСКОЕ ОЗЕРО И ЭФФЕКТИВНОСТЬ МЕР ПО ЕЕ УМЕНЬШЕНИЮ

Основная цель модельного подхода — определение биогенной нагрузки на больших водосборах, чтобы взять под контроль процесс эвтрофикации водоемов. Возможности предлагаемого подхода демонстрируются на примере эстонской части водосбора Псковско-Чудского озера. Основная задача состоит в том, чтобы оценить пространственно-временную динамику биогенной нагрузки на озеро. Эта задача решается с помощью количественной идентификации вклада биогенов со стороны подводосборов и от разных источников, при этом особенно важно учесть рассредоточенные источники загрязнения. Для обработки территориально-распределенной информации и представления результатов используется геоинформационный подход. Такая информация служит основой для выработки наиболее эффективной стратегии контроля процесса эвтрофикации.