

**Tallinna Tehnikaülikool
Keskkonnatehnika instituut**

KESKKONNAKAITSE ÜLESANDED

Koostanud A. Reihan, M. Pärnapuu, A. Iital ja J. Roosimägi

Kuues, parandatud trükk

Tallinn 2009

SISSEJUHATUS

Loengukursus “Keskkonnakaitse ja säästev areng” annab põhiteadmised aktuaalsetest keskkonnakaitse probleemidest ja säästva arengu põhimõtetest Eestis ning mujal maailmas. Mitme olulise seose mõistmiseks tuleb loengukursusele lisaks ka iseseisvalt probleemidesse süüvida. Selleks on koostatud praktilised ülesanded, mida lahendades saavad tulevased insenerid lisateavet reostuskoormuse allikatest, reoainete levikust keskkonnas ning tagajärgedest, mida keskkonna reostamine kaasa toob. Insenerid loovad ja rakendavad uusi tehnoloogiaid, mis aitavad suurendada inimkonna rikkust, aga ka vähendada tootmisjääkide koguseid ja koos sellega kahjulike ainete mõju elukeskkonnale. Seetõttu on inseneri vastutus nii inimeste elukvaliteedi kui ka eluslooduse säilimise tagamisel suur.

Lähtudes õppeprogrammist võib ülesanded jagada kolme suuremasse rühma:

1. Ainete ringkäik tööstuses, emissioonid atmosfääri ja reoainete bilansid.
2. Reoaine levik keskkonnas.
3. Reostuskoormuse määramine.
4. Jätkusuutlik areng.

Kogumik sisaldab 14 näidisülesannet, faktilisi andmeid keskkonda suunatavate reoainete koguste kohta, probleemi püstituse ja enamasti ka lahenduse käigu.

Õppevahend on mõeldud eeskätt Tallinna Tehnikaülikooli üliõpilastele loengukursuses “Keskkonnakaitse ja säästev areng” omandatud teadmiste kinnistamiseks, aga ka rakenduslike kõrgkoolide üliõpilastele ja kõigile loodusohuuvilistele.

ÜLESANNE 1

Populatsiooni kasv ja keskkonnamahutavus

Populatsioon ehk asurkond on samas paigas ühel ajal koos elavad ühe liigi isendid. Populatsiooni kasvu ehk iibe kirjeldamiseks on välja töötatud mitmesuguseid matemaatilisi mudeleid. Nende kasutamine sõltub sellest, kas on tegemist nn lahkpõlvkondadega populatsiooniga, kelle ainuke paljunemisperiood on lühike ja põlvkonnad selgelt lahus (näiteks üheaastased taimed, mis talvituvad seemnetena, ning loomad, kes talvituvad munade või vastsetena) või kattuvate põlvkondadega populatsiooniga. Lahkpõlvkondadega populatsioonis ei leidu samal ajal eri põlvkondadesse kuuluvaid isendeid. Selleks ajaks, kui uus põlvkond välja areneb, on eelmine juba surnud. Sellise populatsiooni isendite arvu leidmiseks mingi järgmise põlvkonna ajal saab lihtsustatult kasutada valemit

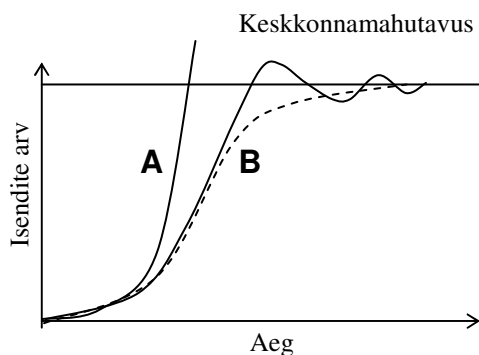
$$N_{t+1} = R_0 N_t$$

kus N_t – populatsiooni isendite arv põlvkonna t ajal,

N_{t+1} – populatsiooni isendite arv põlvkonna $t+1$ (ehk järgmise põlvkonna) ajal,

R_0 – uuenemistegur ehk paljunemisealises kasvavate emaste (tütarde) arv ühe emaslooma ja põlvkonna kohta.

Kui $R_0 > 1$, kasvab populatsiooni isendite arv geomeetrilises progressioonis lõputult. Kui $R_0 < 1$, kahaneb populatsioon väljasuremiseni. Kui $R_0 = 1$, püsib populatsioon muutumatuna. Seega on sellise populatsiooni kasvukõver J-kujuline eksponentkasvukõver (A joonisel 1), kui populatsiooni kasvu ei piira keskkonnamahutavus (ressursside piisavus, keskkonna saastatus, eluruum). Looduslikes populatsioonides ei püsi aga uuenemistegur konstantsena, sest tavaliselt kasvab populatsioon seda aeglasemalt, mida suurem on ta tihedus. R_0 väärtus väheneb populatsiooni tiheduse suurenemisel. Sel juhul on tegemist S-kujulise kasvukõveraga (B), sest populatsiooni suurenemiseks vajalikud ressursid kahanevad. Kahe kõvera vahelist ala nimetatakse keskkonna vastupanuks.



Joonis 1. Populatsiooni kasvu iseloomustavad kõverad. Pidevjoon B iseloomustab populatsiooni, mis ületab keskkonnamahutavuse ning isendite arvukus väheneb järsult, lisandub siis taas jne., kuni jääb püsima keskkonnamahutavuse tasemele.

(Ökoloogialeksikon, 1992, lk 198)

Kattuvate põlvkondade puhul võib paljunemisaeg olla pikk ja ulatuda läbi aasta. Lisaks kuulub enamikku taime- ja loomapopulatsioonidesse eri põlvkondade isendeid. Sellise populatsiooni kasvu kiirust võib väljendada valemiga

$$\frac{dN}{dt} = rN$$

kus N – isendite arv,
 t – aeg,
 r – kasvutegur.

Kasvuteguri leiame valemist

$$r = ((b-d) + (i-e))/N_0$$

kus b – sündimus,
 d – suremus,
 i – sisseränne,
 e – väljaränne.

Populatsiooni kasvu üldvalem avaldub järgmiselt:

$$N_t = N_0 e^{rt}$$

kus N_0 – isendite arv ajahetkel $t=0$ (alguses),
 N_t – isendite arv ajahetkel t ,
 e – 2,72...(naturaallogaritmi alus),
 r – kasvutegur.

Selle valemi abil on võimalik arvutada ka inimpopulatsiooni suurust erinevatel ajahetkedel, kui eeldada, et kasvutegur püsib sama suurena ega toimu katastroofilisi muutusi rahvaarvus. Vastupidiselt enamikule teistele populatsioonidele iseloomustab inimpopulatsiooni pigem positiivne korrelatsioon populatsiooni kasvu ja tiheduse vahel (s.t rahvaarvu kasv kiireneb rahvastiku tiheduse suurenemisel). Mõne Maa piirkonna ülerahvastatus on tekitanud seetõttu olukorra, kus ühegi ebasoodsa tingimuse esinemine (maavärinad, üleujutused, taifuunid jne) nõuab tuhandeid ja miljoneidki inimelusid.

Ülesanne

Eesti rahvaarv oli 2008. aasta 1. jaanuaril 1 340 600 inimest. Sellest moodustasid naised 725 400 ja mehed 614 200 inimest. 2007. aastal sündis 31. detsembri seisuga 15741 last ja suri 17548 inimest. Oletame, et Eestisse tuli samal aastal elama 1 500 ja lahkus 2 000 inimest. Milline oleks Eesti elanike arv 2017., 2078. ja 2100. aastal, kui kasvutegur (sündimuse-suremuse ja sisse- ning väljarände suhe populatsiooni suurusesse) püsiks samal tasemel? Selgitage ja analüüsige rahvaarvu muutusi ja selle põhjuseid Eestis?

ÜLESANNE 2

Jäätmed ja ökoloogiline jalajälg

Suur jäätmete kogus on probleemiks nii Eestis kui paljudes teistes riikides. Nii satub saastumise ohtu pinnas, pinna- ja põhjavesi ning põlemisgaaside tõttu ka atmosfäär. Maavarade kasutamisel on tekkivad jäätmekogused sageli väga suured isegi kui me ei arvesta kõrvale tõstetud kattekivimite mahtu. Vasemaagist tarbitakse keskmiselt vaid 1%, alumiiniumimaagist umbes 30%, rauamaagist 40% ja kullamaagist vaid 0,0003%. Tooraine kasutamine mõjutab otseselt rahvastiku "jalajälje" suurust, ehk seda tegelikku mõju, mida me keskkonnale avaldame ühe või teise lõpptoote valmistamisel.

Eesti on Euroopa riikidest elaniku kohta suurim tööstus- ja energiatootmisjäätmete tootja. 2006. aastal tekkinud 20,0 miljonist tonnist jäätmetest moodustasid 16,0 miljonit tonni energiatootmisest pärit jäätmed. Eesti jäätmeliikide ja ohtlike jäätmete nimistule vastavad ohtlikud jäätmed moodusid kogu jäätmemahust umbes 38%, kusjuures põlevkivikeemia ja –energeetikatööstuse jäätmed moodustavad sellest omakorda 97%. Kogu tekkinud jäätmemassist ladestati ja maeti keskkonda 70% ja vaid 30% leidis taaskasutust. Ohtlikest jäätmetest taaskasutati vaid 7%. Tekkivate olmejäätmete kogused Eestis on samuti suured ulatudes enam kui 408 kiloni inimese kohta aastas. Olmejäätmete mass on viimastel aastatel kasvanud. Suur jäätmekogus näitab ressursside raiskamist.

Lähteandmed

Eeldame, et Maa rahvaarv on 6,7 miljardit ning nende tekitatavad jäätmemahud ühe elaniku kohta on võrreldavad Eesti omadega. Eeldame ka, et ladestatavate ja maetavate jäätmete ning olmejäätmete osakaal on Eestiga sarnane ning 1 m³ tootmisjäätmeid kaalub 1 tonn ja olmejäätmeid 0,4 tonni. Eesti elanike arv on 1 340 600. Maakera maismaa pindala on 149 miljonit km².

Ülesanne

Millise pindala Maa elanike poolt aastas toodetud ja ladestatud jäätmed enda alla võtaksid, kui jäätmeoidla kõrgus on 50 meetrit? Mitu aastat kuluks kogu Euroopa (pindala 10,5 milj. km²) katmiseks sama paksu jäätmekihiga?

ÜLESANNE 3

Saasteainete emissioon atmosfääri

Fossiilsete kütuste põletamisega emiteeritakse keskkonda mitmesuguseid põlemisjääke. Vääveldioksiid (SO_2) ja lämmastikoksiidid (NO_x) on keskkonna happetumist põhjustavate protsesside kiirendajad. Tekkiva vääveldioksiidi kogus sõltub eelkõige kütuse väävlisisaldusest. Kuna atmosfääris leidub lämmastikku piisavalt (78 mahuprotsenti), ei sõltu lämmastikoksiidide emissioon niivõrd kütuse lämmastikusisaldusest kui selle põlemistemperatuurist ja hapniku juurdepääsust põlemisel. Mida kõrgem on põlemistemperatuur, seda enam NO_x tekib. Fossiilsete kütuste põletamisel lisandub atmosfääri kasvuhoonegaase, millest olulisemaks on süsihappegaas (CO_2). Nii vabaneb miljonite aastate eest salvestatud süsinik inimese toel globaalsesse süsinikuringesse, olles üheks oluliseks Maa kliima kujundajaks.

Eestis kaevandatakse umbes 15 mln tonni põlevkivi aastas, millest 70-80% põletatakse soojuselektrijaamades. 2008. aastal oli Eestis primaarenergiaga varustus umbes 210 PJ, millest põlevkivi moodustas ligi 60%. Ülejäänud energiatoodang tuli maagaasist ja muudest energiaallikatest.

Keskkonna seisundi parandamiseks ja ka väärtusliku ressursi säästmiseks on Eestis vaja vähendada põlevkivi põletamist soojuselektrijaamades ja senisest enam kasutada loodussõbralikumaid energiaallikaid (puitu, tuuleenergiat jm).

Fossiilset kütust põletavad soojuselektrijaamad paiskavad atmosfääri vääveldioksiidi (SO_2), lämmastikoksiide (NO_x) ja süsihappegaasi (CO_2) (tabel 1). Emiteeritavate ühendite kogus sõltub soojuselektrijaama võimsusest ja kasutatavast tehnoloogiast. Atmosfääri paisatavate saasteainete kogust tonnides toodetud kasuliku energia kohta džaulides nimetatakse emissiooniteguriks.

Ülesanne

Määrata soojuselektrijaama potentsiaalne vääveldioksiidi (SO_2), lämmastikoksiidide (NO_x) ja süsihappegaasi (CO_2) emissioon erinevate kütuste kasutamisel, kui jaama võimsus on 950 MW. Täita tabel.

Lähteandmed

1.

Tabel 1. Emissioonitegur t/PJ, kus PJ on 10^{15} J

Kütuse liik	SO_2	NO_x	CO_2
Põlevkivi	1880	100	113 000
Antratsiit	900	320	99700
Masuut	1620	200	73000
Pruunsüsi	1900	270	109600

2. Kuna soojuselektrijaama võimsus on antud megavattides, emissioonitegurid aga petadžauli kohta, tuleb mõõtühikud viia vastavusse järgmise valemi abil:

$$W = J/s$$

kus **W** – vatt, **s** – sekund, **J** – džaul.

Emissioon tuhat t/a			
Kütuse liik	SO₂	NO_x	CO₂
Põlevkivi			
Antratsiit			
Masuut			
Pruunsüsi			

ÜLESANNE 4

Saasteainete koormus autotranspordist

Autotranspordist tulev saastekoormus kasvab Eestis aasta-aastalt. Autosid on oluliselt lisandunud. Paljud neist on vanad ja ohustavad enam keskkonda. Suur autode arv tähendab ka suurt hulka saasteallikaid ja vajadust kahjulike ühendite neutraliseerimiseks iga üksiku auto heitgaasidest.

Elusorganismidele kahjulikumateks ühenditeks auto heitgaasides on vingugaas (CO), lämmastikoksiidid (NO_x), süsivesinikud ja tahked osakesed (eelkõige pliiosakesed ja tahm). Transpordi osakaal vingugaasi emiteerijana ulatub 80% kogu õhusaastest ning 70% inimtekkeliste lämmastikoksiidide üldkogusest. Vingugaasi kontsentratsioon on kõrgem, kui mootor töötab auto paigal seistes ja kui auto aeglaselt sõidab. Lämmastikoksiidid on põlemissaadused, mis tekivad molekulaarsest õhulämmastikust. Suurtes kogustes emiteeritakse NO_x auto kiirendamisel ja mootori kõrgete pöörete puhul, mis tavaliselt tähendab ka kiiremat sõitu. Süsivesinikud tekivad kütuse ebatäielikul põlemisel ja lenduvad bensiinimootoriga autodel kergemini. Tahkeid osakesi tekib ühe liitri bensiini põletamisel umbes 1 gramm, diiselmootorites mitu korda enam. Emiteeritavad pliikogused on tunduvalt vähenenud, kuna mootori detonatsiooni vähendamiseks lisatakse nüüd bensiinile teisi komponente. Nüüdisajal on katalüsaatorite abil ka emiteeritavate CO, NO_x ja süsivesinike koguseid tuntavalt vähendatud. Transpordisaaste ohustab otseselt inimese tervist ja jõuab tiheda liiklusega maanteed lähiumbruse põldudele.

Transpordivahendite saastepotentsiaali iseloomustab nn emissioonitegur, mis väljendab tekkiva saasteaine kogust 1 km läbisõidul.

Lähteandmed

Linnarežiimil sõites tarbis autopark 50% ning linnadevahelistel teedel 50% kütusest. Bensiini kulu linnas oli 10 kg ning maanteel 7 kg iga 100 km kohta. Katalüsaatoriga varustatud autod tarbisid ära 70% kütusest.

Emissioonitegur

Emiteeriv ühend	Emissioonitegur g/km			
	Katalüsaatorita autod		Katalüsaatoriga autod	
	Linnas	Maanteel	Linnas	Maanteel
NO _x	1,3	2,2	0,5	0,7
CO	9	7	3	2

Ülesanne

Leida autotranspordi poolt atmosfääri emiteeritud saasteainete kogused aastas, kui kulutati 119 000 tonni kütust. Täita tabel.

Emiteeritav ühend	Emissioon tuhat t/a		
	Linnas	Maanteel	Kokku
NO _x			
CO			

ÜLESANNE 5

Saasteainete levik atmosfääris sõltuvalt korstna kõrgusest

Saasteainete emissiooni vähendamiseks ettevõttes on oluline kasutada parimat tehnoloogiat, tarbida loodusressursse säästlikult ja korraldada tootmine keskkonnasõbralikult. Tööstus- ja energiaettevõtetes tekkivad gaasilised saasteained paisatakse atmosfääri enamasti korstna kaudu. Saasteainete levik saasteallika ümbruses sõltub sel juhul otseselt korstna kõrgusest, aga ka ilmastikutingimustest ja väljapaisatavate gaaside omadustest (temperatuur, hõljuvosakeste mass, gaaside väljalaskekiirus jne). Mida kõrgem on korsten, seda suuremale alale levivad üldjuhul saasteained ning seda tõenäolisem on saasteainete kontsentratsiooni vähenemine saasteallika vahetus läheduses. Küll võivad kannatada kaugemad piirkonnad, kuhu saaste välja jõuab.

Ülesande eesmärk on leida optimaalne korstna kõrgus, et täita keskkonnakaitse nõudeid saasteallika lähistel.

Ülesanne

Leida **minimaalne** korstna kõrgus, mille puhul saasteaine suurim kontsentratsioon ei ületa lubatud piirkontsentratsiooni *LPK*.

Saasteaine suurim kontsentratsioon (C_m g/m³) arvutatakse valemist

$$C_m = \frac{Q \cdot C_t \cdot A \cdot K_f \cdot m \cdot n}{H^2 \cdot \sqrt[3]{Q} \cdot dT}$$

- kus Q – korstnast väljuva gaasisegu maht m³/s,
 C_t – saasteaine kontsentratsioon korstna suudmes g/m³,
 A – tegur, mis Balti riikides on 160,
 K_f – hõljuvosakeste sadestumise kiirust iseloomustav tegur, mis on antud juhul $K_f = 1$,
 H – korstna kõrgus m,
 dT – väljapaisatava gaaside segu ja ümbritseva õhu temperatuuride vahe $dT = 300$ °C.

C_m väärtus peaks olema võimalikult lähedal etteantud lubatud piirkontsentratsioonile, aga ei tohiks seda ületada ehk

$$C_m \leq LPK$$

Kui saasteaine kontsentratsioon korstna vahetus läheduses on tunduvalt madalam lubatud kontsentratsioonist, on valitud korstna kõrgus liiga suur.

Valemis olevad tegurid m ja n iseloomustavad gaaside levikut atmosfääris, mis sõltub eelkõige ilmastikust, aga ka korstna parameetritest ja väljapaisatavate gaaside omadustest.

$$m = -0.131 \cdot \ln(f) + 0.908$$

$$\text{kus } f = 100 \cdot \frac{W_g^2 \cdot D}{H^2 \cdot dT}$$

kus D – korstna diameeter m

$$D = 1.13 \cdot \sqrt{Q/W_g}$$

$$W_g - \text{gaaside väljalaskekiirus} = 2 \cdot V_m$$

$$\text{kus } V_m = 0,65 \cdot \sqrt[3]{Q \cdot dT / H} = \text{ohtlik tuule kiirus}$$

$$n = 3, \text{ kui } V_m \leq 0,3$$

$$n = 3 - \sqrt{(V_m - 0,3)(4,36 - V_m)}, \text{ kui } 0,3 < V_m \leq 2$$

$$n = 1, \text{ kui } V_m > 2$$

Lähteandmed

$$\begin{aligned} Q &= 5 \quad \text{m}^3/\text{s} \\ C_t &= 130 \quad \text{g/m}^3 \\ LPK &= 6 \quad \text{g/m}^3 \end{aligned}$$

Korstna kõrgus jääb vahemikku 40,5 – 57 meetrit.

Lahenduskäik

Korstna optimaalse kõrguse leidmiseks tuleks välja joonistada erinevatele korstna kõrgustele vastavate tegelike kontsentratsioonide kõver, kui muud tingimused püsivad stabiilsed. Lubatud piirkontsentratsioonile vastav korstna kõrgus H_1 ongi otsitav väärtus.

ÜLESANNE 6

Kaadmiumi ja elavhõbeda bilansi koostamine põlevkivi kasutamisel Eesti elektrijaamades

Põlevkivi on Eesti olulisim energeetiline toore, mille kasutamisega seonduvad aga tõsised keskkonnakaitse probleemid. Põlevkivi kütteväärtus jääb alla teistele levinud fossiilsetele kütustele. Ka on põlevkivi väävlisisaldus suhteliselt kõrge, mistõttu vääveldioksiidi heitmete poolt atmosfääri ühe elaniku kohta on Eesti juhtival kohal maailmas. Põlevkivi põletamisel ja töötlemisel vabaneb keskkonda raskmetalle, millest elusorganismidele on ohtlikumad kaadmium ja elavhõbe. Kaadmiumi levitatakse keskkonda ka näiteks apatiidi baasil toodetud fosforväetiste laotamisega põllule. Taimede kaudu, mis omastavad mullast suhteliselt hõlpsalt kaadmiumi, jõuab metall inimese ja taimtoiduliste loomade organismi. Elavhõbedat satub keskkonda jäätmete põletamisel ja põllumajanduses taimekaitsevahendite uhtumisel vette. Varasematel aastatel puhiti seemneid laialdaselt selliste elavhõbedat sisaldavate preparaatidega nagu granosaan, merkuurbenseen ja merkuurheksaan. Nüüd on keskkonnale eriti ohtlikud taimekaitsevahendid arenenud riikides keelatud.

Üks tonn põlevkivi sisaldab keskmiselt 1,33 g kaadmiumi ja 0,17 g elavhõbedat. Tuhapüüduritega õnnestub osa põlevkivi põlemisgaaside tuhast ja koos sellega raskmetallidest kinni püüda ning veega eemale suunata. Nii on elektrijaamade lähetele tekkinud ulatuslikud tuhaväljad. Kasutamist leiab vaid paar protsenti tekkivast põlevkivituhast, eelkõige kinnipüütav lendtuhk. Põlevkivienergeetikas ja -keemias tekkivad jäätmekogused moodustavad enamuse Eesti aastasest jäätmemahust.

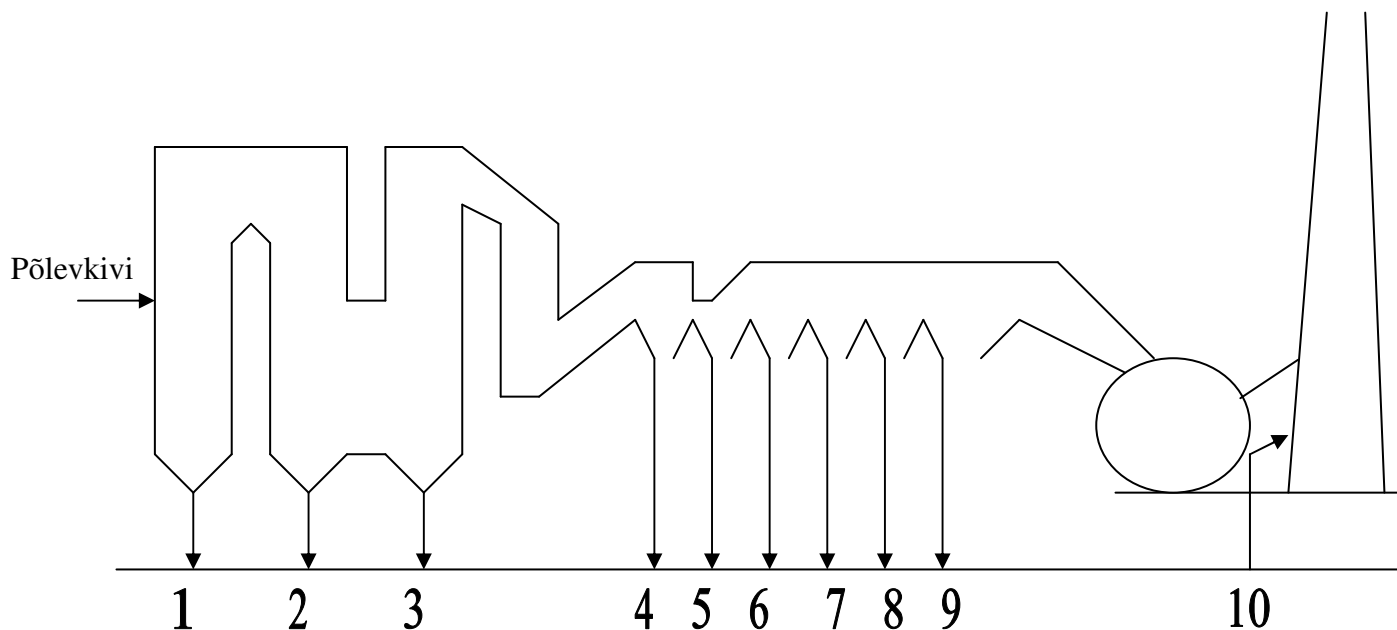
Ülesande lahendamisel lähtuda ainebilansi koostamisest.

Ülesanne

Määrata põlevkivikütteel töötava elektrijaama kaadmiumi (Cd) ja elavhõbeda (Hg) aastabilansid ja täita **tabel A** ning **skeem B**, kui elektrijaamas põletati aastas 1 185 000 tonni põlevkivi.

Lähteandmed

1. Joonisel 1 on põlevkivikolde ja selle suitsugaaside trakti põhimõtteskeem koos tuha proovivõtu kohtadega (10 punkti).
2. Põlevkivi tuhasus on 45%.
3. 1 tonn põlevkivi sisaldab 1,33 g Cd ja 0,17 g Hg.
4. Elektrijaamades põlevkivi põletamisel tekkivate tuhavoogude massibilanss (%-des) ning Cd ja Hg kontsentratsioonide keskendatud väärtused tuhavoogudes (g/t) on esitatud tabelis A.



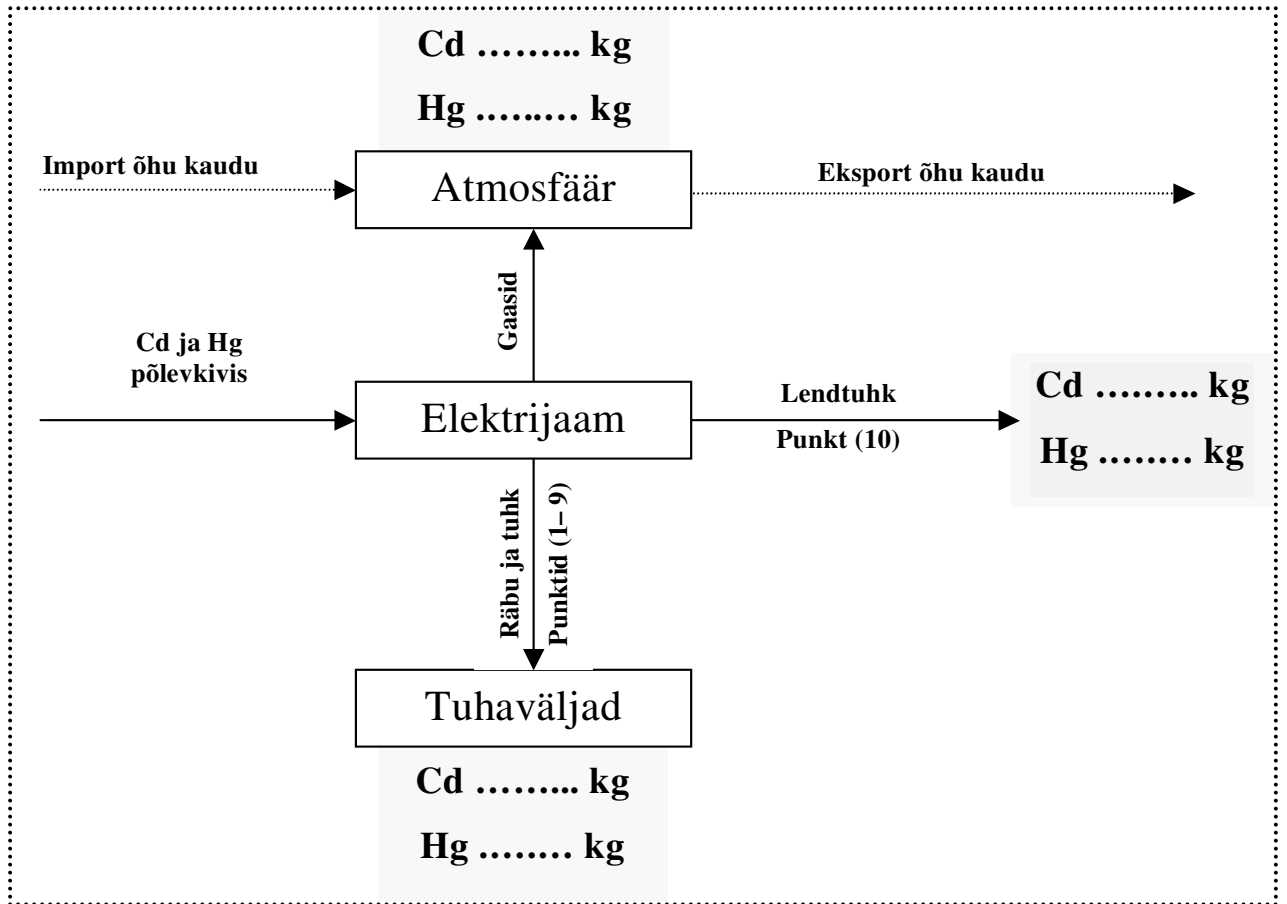
Joonis 1. Põlevkivikolde TP-101 ja selle suitsugaaside trakti skeem koos tuha proovivõtu kohtadega (Eesti Elektri jaam):
 1 – koldetuhk, 2 – I gaasikäik (auru ülekuumendi), 3 – II gaasikäik (ökonomaiser),
 4 – tsüklon, 5 – elektrifiltri eelkamber, 6–9 – elektrifilter, 10 – korstna lendtuhk

Tabel A. Emitteeritavate raskmetallide kogused tuhavoogudes

Koht	Tuhakogus %	Cd ja Hg kontsentratsioonid tuhas		Aastane tuhakogus t	Cd ja Hg sisaldus tuhas	
		Cd g/t	Hg g/t		Cd kg	Hg kg
Tuhavoog nr 1	39,3	3,40	0,153			
Tuhavoog nr 2	3,1	3,44	0,158			
Tuhavoog nr 3	4,7	0,90	0,479			
Tuhavoog nr 4	32,2	2,00	0,512			
Tuhavoog nr 5	4,4	0,77	0,347			
Tuhavoog nr 6	11,0	0,81	0,334			
Tuhavoog nr 7	3,1	1,48	0,429			
Tuhavoog nr 8	0,6	2,31	0,523			
Tuhavoog nr 9	0,1	4,79	0,403			
Tuhavoog nr 10	1,5	4,00	0,421			
Kogu tuhk	100					

Põlevkivi			
------------------	--	--	--

Skeem B. Põlevkiviküttel töötava elektriijaama Hg ja Cd bilanss



ÜLESANNE 7

Energiatarbimine Eestis

Energeetilise toorme kasutamisel Eestis on viimastel aastatel toimunud märgatavad muutused. Energia tootmine ja tarbimine on aastatega langenud. Samuti vähenes põlevkivi kaevandamine, mis on aga taas tõusuteel. Kaevandamismahust sõltub maa ja pinnase rikkumise ulatus ning väljapumbatava vee kogus, mis ulatub ühe tonni põlevkivi tootmisel kuni 80 tonnini. Põlevkivist elektrienergia tootmise kasutegur on madal – vaid veidi üle 30%. Uutel autodel on kütusekulu väiksem, samas on sõidukite arv järsult kasvanud. Turvas ja turbasaadused on endiselt olulised energiaallikad, kusjuures küttureturbas moodustab umbes 50% kogu toodetavast turbast. Energiakulu inimese esmavajaduste rahuldamiseks ja vajalike toodete valmistamiseks iseloomustab tootmise efektiivsust. Suurem energiatarbimine ei tähenda alati kõrgemat elukvaliteeti.

Ülesanne

1. Arvutada, kui suur oli keskmine energiatarbimine Eestis kütuse tingtonnides ühe elaniku kohta olulisemate energiaressursside kasutamisel.
2. Võrrelda saadud tulemust maailma keskmisega (2 tingtonni) ja USA energiatarbimisega (10 tingtonni elaniku kohta).
3. Arvutada Eesti sisemajanduse kogutoodang (SKT) USA dollarites kasutatud energia kohta kütuse tingtonnides ja võrrelda teiste riikide vastava näitajaga, kui SKT 2007. aastal oli 11 600 USA dollarit ühe elaniku kohta ja Eesti elanike arv 2008. aasta 1. jaanuaril oli 1 340 600 inimest.

Lähteandmed

Aastane kütuste kasutamine tonnides

Põlevkivi	12 000 000
Turvas	300 000
Bensiin	300 000
Diislikütus	600 000

Kütuse keskmine kütteväärtus (MJ/t)

Põlevkivi	8 100
Turvas	9 600
Bensiin	44 000
Diislikütus	40 000

Ühe tingkütuse tonni kütteväärtus on 29,308 MJ/kg.

Kütuse tarbimine tingtonnides ühe elaniku kohta

Põlevkivi	
Turvas	
Bensiin	
Diislikütus	
Kokku	

Sisemajanduse kogutoodang (SKT) USA dollarites kasutatud energia kohta kütuse tingtonnides

Riik	US\$/kg tingkütuse kohta	Riik	US\$/kg tingkütuse kohta
Ungari	4,9	Poola	4,0
Läti	4,6	Venemaa	1,6
Leedu	3,9	USA	4,2
Taani	7,9	Island	2,4
Soome	3,8	Eesti	

ÜLESANNE 8

Õhu saasteainete emissiooni indikaatorid

Eesti energeetika põhineb põlevkivil. Balti ja Eesti soojuselektrijaam toodavad praktiliselt kogu Eesti elektrienergia. Elektrijaamad on sealjuures olulised õhusaaste allikad. Võrreldes 1990. aastaga on tootmine energiasäästlikum. Seetõttu on energiatarve vähenenud. Ka on moderniseeritud elektrijaamade puhastusseadmeid. Sellega on kaasnud saasteainete emissiooni langus (võrrelda 1990., 1998., 2001., 2003. ja 2007.aasta emissioone tabelis 1). Kuid vaatamata atmosfääri paisatava süsihappegaasi (CO₂) ja vääveldioksiidi (SO₂) koguste tuntavale vähenemisele on emissiooni tase sisemajanduse kogutoodangu (SKT) kohta ikka kõrgemaid Euroopas.

Ülesanne

1. Leida saasteainete emissiooni indikaatorid, s.o emissioon ühe elaniku ja sisemajanduse kogutoodangu (SKT) kohta 2008. aastal, kui Eesti elanike arv 2008. aasta 1. jaanuaril oli 1 340 600 inimest ja 2007. aasta SKT 11 600 USA dollarit ühe elaniku kohta.
2. Võrrelge saasteainete emissiooni näitajaid rahvusliku koguproduktiga erinevates Euroopa riikides ja Eestis (tabel 2).

Lähteandmed

Tabel 1. Saasteainete emissioon atmosfääri Eestis (tonni/aastas)

Saasteaine	1990	1998	2001	2003	2007
CO ₂	37,8×10 ⁶	19,2×10 ⁶	16,3×10 ⁶	25,0×10 ⁶	16,3×10 ⁶
SO ₂	252,6×10 ³	110×10 ³	89×10 ³	98×10 ³	86,6×10 ³
NO _x	67,0×10 ³	46×10 ³	35×10 ³	38×10 ³	16,6×10 ³

Tabel 2. Õhusaaste emissiooni indikaatorid Euroopa riikides ja Eestis

Riik	CO ₂		NO _x		SO ₂	
	Tonni/ elaniku kohta	Tonni/ 10 ³ USD kohta	Kg/ elaniku kohta	Kg/ 10 ³ USD kohta	Kg/ elaniku kohta	Kg/ 10 ³ USD kohta
Soome	10,9	0,75	53,2	3,6	27,5	1,9
Poola	8,8	2,05	29,1	6,5	70,9	15,9
Austria	7,3	0,41	22,8	1,3	8,9	0,5
Prantsusmaa	6,4	0,35	26,5	1,4	21,3	1,2
Saksamaa	11,0	0,65	36,0	2,1	48,4	2,9
Lääne-Euroopa keskmine	7,6	0,52	31,1	2,2	36,3	2,6
EESTI						

ÜLESANNE 9

Vee kvaliteedi hindamine

Jõkke juhitud reovesi seguneb jõeveega. Segunenud vee parameetreid mingil kaugusel reovee sisselaskest saab välja arvutada, kui on teada nii jõe kui ka reovee vooluhulk ning kvaliteedinäitajad.

Lähteandmed

Jõkke juhitakse reovett, mis seguneb jõeveega. Kui on teada jõe- ja reovee parameetrid ning vooluhulk, on võimalik leida punktis A segunenud vee parameetrid. Eesti jõed on veekvaliteedi järgi sõltuvalt tüübist jagatud viide klassi. Hea kvaliteediga jõevesi on vähemalt II klassist ja seda iseloomustavad kvaliteedinäitajad on üldiselt järgmised:

$$\text{BHT}_7 \leq 5,0 \text{ mg O}_2/\text{l}$$

$$\text{N}_{\text{üld}} \leq 3,0 \text{ mg N/l}$$

$$\text{P}_{\text{üld}} \leq 0,08 \text{ mg P/l}$$

Ülesanne

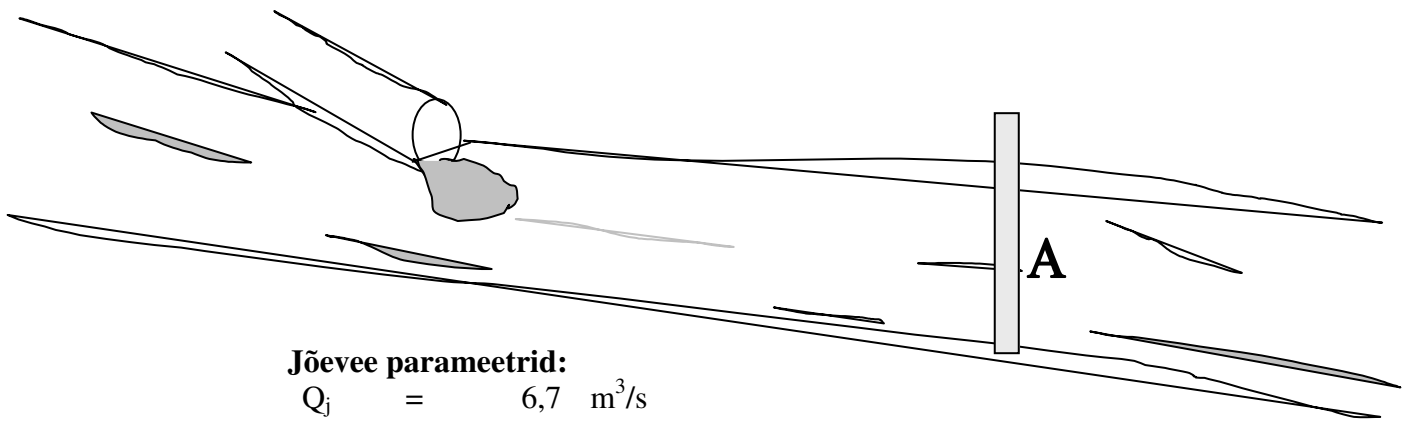
Arvutada segunenud vee parameetrid punktis A ja võrrelda neid hea kvaliteediklassi jõevee näitajatega.

Reovee parameetrid:

$$\begin{aligned} q &= 0,5 \text{ m}^3/\text{s} \\ \text{BHT}_7 &= 24,5 \text{ mg O}_2/\text{l} \\ \text{N}_{\text{üld}} &= 22,0 \text{ mg N/l} \\ \text{P}_{\text{üld}} &= 2,6 \text{ mg P/l} \end{aligned}$$

Segunenud vee parameetrid:

$$\begin{aligned} Q_{(\text{segu})} &= \dots\dots\dots \text{ m}^3/\text{s} \\ \text{BHT}_{7(\text{segu})} &= \dots\dots\dots \text{ mg O}_2/\text{l} \\ \text{N}_{\text{üld}(\text{segu})} &= \dots\dots\dots \text{ mg N/l} \\ \text{P}_{\text{üld}(\text{segu})} &= \dots\dots\dots \text{ mg P/l} \end{aligned}$$



Jõevee parameetrid:

$$\begin{aligned} Q_j &= 6,7 \text{ m}^3/\text{s} \\ \text{BHT}_7 &= 1,9 \text{ mg O}_2/\text{l} \\ \text{N}_{\text{üld}} &= 2,0 \text{ mg N/l} \\ \text{P}_{\text{üld}} &= 0,05 \text{ mg P/l} \end{aligned}$$

Lahendus

Segunenud vee vooluhulga ja kontsentratsioonide leidmiseks tuleb kasutada järgmisi valemeid:

$$Q_{\text{segu}} = q + Q_j$$

$$C_{\text{segu}} = ((C_j \times Q_j) + (C_r \times q)) / (Q_j + q)$$

- kus Q_{segu} – segunenud jõevee vooluhulk m^3/s ,
 Q_j – jõevee vooluhulk m^3/s ,
 q – reovee vooluhulk m^3/s ,
 C_{segu} (**BHT**₇, **N**_{üld}, **P**_{üld}) – kontsentratsioon reovee sisselaskest allavoolu mg/l ,
 C_j – kontsentratsioon jões mg/l ,
 C_r – kontsentratsioon reovees mg/l ,
BHT₇ – biokeemiline hapnikutarve $\text{mg O}_2/\text{l}$,
N_{üld} – üldlämmastiku kontsentratsioon mg N/l ,
P_{üld} – üldfosfori kontsentratsioon mg P/l .

ÜLESANNE 10

Jõe reostuskoormuse arvutamine

Veekaitse meetmete kavandamiseks on vaja teada põhilisi reostusallikaid ja nende reostuskoormust. Eesti territooriumilt kandub jõgedega Läänemerre umbes 36100 tonni orgaanilist ainet, 25200 tonni lämmastikku ning ligi 900 tonni fosforit aastas. Jõe- või reoveega merre kantavate reoainete koormuse arvutamiseks on vaja teada reoainete sisaldusi vees ja ka vee vooluhulka. Nii vee keemiliste analüüside tegemine kui ka vooluhulga mõõtmine nõuavad aega ja raha. Seetõttu tuleb tõepärase reostuskoormuse arvutamiseks sageli kasutada küllalt lünklikku andmebaasi. Ideaaljuhul mõõdetakse vooluhulka ja kogutakse veeproove automaatselt kas proportsionaalselt vooluhulgaga või kindlaks määratud aegadel. Sellist süsteemi on rakendatud eelkõige tööstusettevõtete reoainete koormusseire puhul, aga ka väiksemate jõgede ja ojade koormuse monitooringus, mis eeldab jõesängi fikseerimist ehk mõõtulevoolu ehitamist. Jõe poolt merre kantava reoaine koormus on aasta jooksul määratud reoaine kontsentratsioonide keskväärtuste korrutis selle ajavahemiku vee äravooluga. Perioodide summa annab kokku aasta reoaine koormuse.

Ülesanne

Arvutada lähteandmetele tuginedes jõe fosfori, lämmastiku ja orgaanilise aine aastakoormus.

Lähteandmed

1. Pikaajaliste vaatluste andmetel voolab aastasest vooluhulgast jaanuaris merre keskmiselt 6.1%, veebruaris 5.6%, märtsis 6.7%, aprillis 8,6%, mais 10.8%, juunis 10.2%, juulis 10,0%, augustis 9.4%, septembris 8.8%, oktoobris 9.0%, novembris 8.2% ja detsembris 6,6%.
2. 15. veebruaril oli jõe voolhulk $8 \text{ m}^3/\text{s}$.
3. Veeproove koguti 15. veebruaril, 15. aprillil, 15. mail, 15. juulil, 15. septembril ja 15. detsembril, seega 6 korda aastas.
4. Vee üldfosfori kontsentratsioon proovivõtu päevadel oli 0,08, 0,06, 0,08, 0,06, 0,08 ja 0,10 mg/l.
5. Üldfosfori keskmine kontsentratsioon Eesti jõgedes moodustab üldlämmastiku ja BHT_7 keskmisest kontsentratsioonist vastavalt 4.1% ja 5.5%..
6. Aastane reoaine koormus määratakse valemiga

$$L = \sum_{i=1}^6 C_j \cdot W_j$$

- kus L – reoaine koormus,
 C_j – kahe järgneva proovi keskmine kontsentratsioon,
 W_j – äravool kahe proovivõtu vahelisel ajal.

Lahendus

1. Kuna veeproove võeti vaid kuus korda aastas (punktid 3 ja 4), tuleb nende juhuandmete alusel kirjeldada vee kvaliteeti kogu aasta kohta. Selleks on vaja leida kuue perioodi fosforisisalduse keskväärtused. Aasta lõpu ja aasta alguse võtame üheks perioodiks, et kontsentratsioonidega oleks kaetud kogu aasta.
2. Äravool tuleb arvutada kõikide kalendrikuude kohta, lähtudes punktis 1 ja 2 antud algandmetest. Probleem on selles, et reoainete kontsentratsioonid ja äravoolud katavad erinevaid perioode. Selleks et leida äravool veeproovide kogumise vahelistel perioodidel, tuleb vastava perioodi päevased äravoolud omavahel liita. Aasta algus ja lõpp lugeda üheks perioodiks.
3. Kuue perioodi summa (punkt 6) annab fosfori koormuse aasta kohta. Vastus teisendada tonnideks.
4. Lämmastiku ja orgaanilise aine koormus arvutatakse punktis 5 toodud suhte alusel.

ÜLESANNE 11

Bioloogilise hapnikutarbe (BHT) leidmine, arvestades orgaanilise aine lagunemist ehk veekogu isepuhastumist

Reoveega jõkke või järve sattunud orgaaniline aine hakkab lagunema veekogus toimuvate biokeemiliste protsesside tagajärjel. Lagunemiseks kulutatakse hapnikku, mida saadakse veekogust. Vee biokeemiline hapnikutarve näitab, kui palju hapnikku on vaja vees oleva orgaanilise aine lagundamiseks. Teades reoaine kontsentratsiooni reovees ja reovee hulka ning orgaanilise aine lagunemise kiirust, võib arvutada reoaine sisalduse mis tahes jõe punktis allpool reovee sissevoolu. Orgaanilise aine lagunemist kirjeldatakse eksponentsiaalse võrrandiga

$$L_t = L_0 \times e^{-k_1 \times t}$$

kus L_t – vee biokeemiline hapnikutarve ajahetkel t ,
 L_0 – esialgne ($t=0$) vee biokeemiline hapnikutarve,
 t – aeg,
 k_1 – reoaine isepuhastuse kiiruse tegur liitrit ööpäevas,
 e – naturaalloogaritmi alus ($e = 2,71828\dots$).

Lähteandmed

Jõkke juhitakse bioloogiliselt puhastatud olmereoveed (joonis 1). Reovee vooluhulk (q) on $0,3 \text{ m}^3/\text{s}$ ja reovee biokeemiline hapnikutarve ($C_r = \text{BHT}$) on $50 \text{ mg O}_2/\text{l}$. Jõe vooluhulk on $3,55 \text{ m}^3/\text{s}$ (Q_j) ja BHT ehk looduslik foon (C_j) on $3,0 \text{ mg O}_2/\text{l}$. Orgaanilise aine lagunemise kiirust iseloomustav isepuhastuse tegur $k_1 = 0,20$. Orgaanilise aine suurim lubatud sisaldus (BHT_7) jõevees on $5,0 \text{ mg O}_2/\text{l}$ (hea kvaliteediklass).

Ülesanne

1. Eeldades täielikku segunemist, leida jõe vooluhulk vahetult allpool reovee sisselasest ja vee biokeemiline hapnikutarve selles lävendis.
2. Leida vee biokeemiline hapnikutarve (BHT), s.o L_t väärtus 15 km allpool reovee jõkke juhtimist, kui jõe voolukiirus (v) on $0,3 \text{ m/s}$. Kas jõevee kvaliteet vastab nõutavale tasemele (hea kvaliteediklass)?

Lahendus

1. Leida reoaine sisaldus jõevees allpool reovee sissevoolu

$$L_0 (Cs) = \frac{q \times C_r + Q_j \times C_j}{Q_j + q}$$

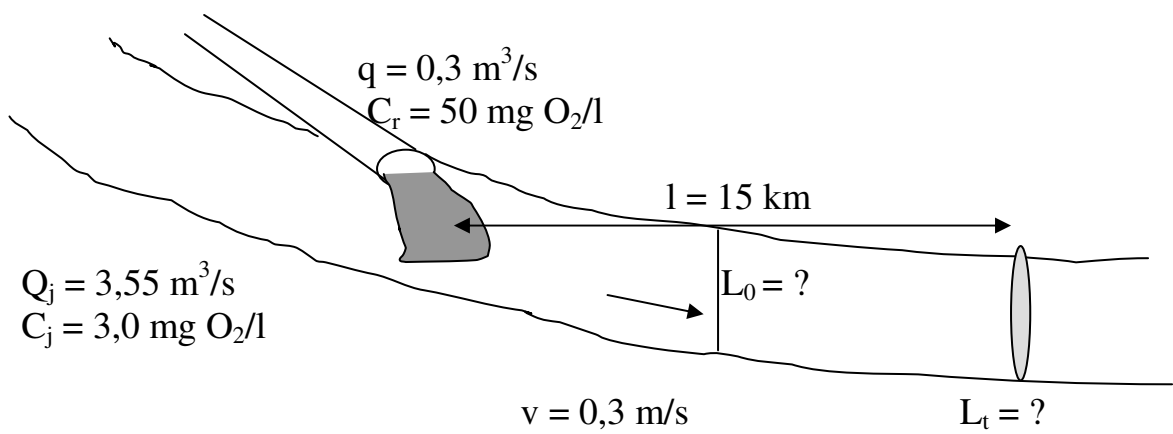
kus C_s – segu kontsentratsioon.

2. Arvutada läbivooluaeg (t)

$$t = \frac{l}{v}$$

3. Leida reoaine sisaldus ajahetkel t

$$L_t = L_0 \times e^{-k_1 \times t}$$



Joonis 1. Reovee ja jõevee parameetrid

ÜLESANNE 12

Järve toitainete koormuse leidmine

Reostusallikad liigitatakse punktallikateks ja hajusateks allikateks. Hajusatest allikatest pärinev reostus moodustab nn hajukoormuse, mis võib olla nii looduslik kui ka inimtegevusest põhjustatud. Looduskoormus tuleb veekogudesse looduslikelt kõlvikutelt (looduslik heinamaa, soo, mets) ja see on geokeemilise aineriingi lahutamatu osa. Küll on aga veekogudele probleemiks inimtegevusest pärit koormus. Antropogeenne hajukoormus on põhiliselt tingitud toitainete ja taimekaitsevahendite leostumisest põldudelt ja loomakasvatustest vette ning ka saastunud sademetest.

Järve reostuskoormus kujuneb erinevatest allikatest pärit koormuste summast. Arvesse tuleb võtta maismaalt jõgedega vette kantavad reained, mis pärinevad looduslikelt kõlvikutelt ja haritavalt maalt, aga ka otse järve juhitud reoveed. Arvestada tuleb ka atmosfäärist sadenevate saasteainete koormusega ja kanaliseerimata hajaasustusest tuleva koormusega.

Ülesanne

Leia järve toitainete (fosfori ja lämmastiku) reostuskoormus ja koosta tabelis 1 fosfori ning lämmastiku koormusbilanss.

Lähteandmed

1. Järve veepeegli pindala on 5 km².
2. Järve valgla (toiteala) on 60 km², millest 75% moodustab haritav maa ja ülejäänud on looduslikus seisundis kõlvikud (mets, heinamaa, märgala jne). Haritav maa jaguneb väga intensiivselt kasutatava (20% haritavast maast) ja kompleksmaaviljelusega alaks (80% haritavast maast). Looduslikud kõlvikud jagunevad erineva ühikkoormusega kuivade mineraalmaa metsade (80%) ja madalsoode vahel (20%).

3. Toitainete äraanne haritavalt maalt:

3.1 Väga intensiivne põllumajandustootmine:

fosfor 0,44 kg/ha aastas,
lämmastik 27 kg/ha aastas.

3.2 Kompleksmaaviljelusega ala:

fosfor 0,24 kg/ha aastas,
lämmastik 20 kg/ha aastas.

Äraanne loodusmaastikult: 4.1 Kuiva mineraalmaa domineerimisega mets:

Fosfor 1,5 kg/ha aastas
Lämmastik 0,06 kg ha/aastas

4.2 Madal soo, siirdesoo:

fosfor 0,11 kg/ha aastas,
lämmastik 5,2 kg/ha aastas.

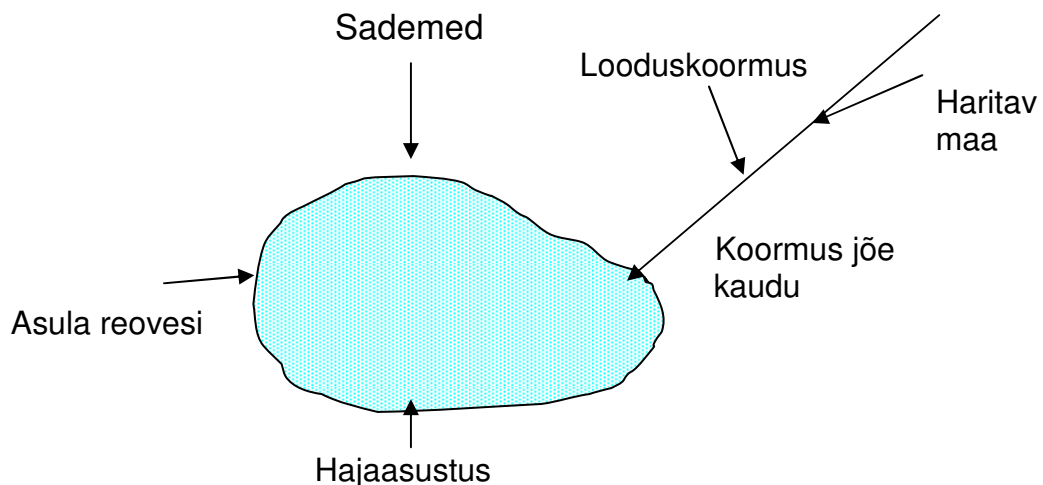
Eeldada, et kogu toitainete koormus jõuab jõe kaudu järve.

5. Aastas langeb järvepeeglile 700 mm sademeid, mille keskmine fosforisisaldus on 0,05 mg/l ning keskmine lämmastikuisaldus 1,0 mg/l.

6. Järve juhitakse väikeasula puhastatud reovesi:

reovee hulk 0,2 m³/s,
fosforisisaldus 3,0 mg P/l,
lämmastikuisaldus 12,0 mg N/l.

7. Järve kaldal on 50 elanikuga küla, kus kanalisatsioonisüsteem puudub. Hajaasula elanik annab keskmiselt 1,4 g fosforit ja 12 g lämmastikku ööpäevas, mida tuleb arvestada toitainete bilansi koostamisel. Potentsiaalne reostuskoormus hajaasulast on tegelikust koormusest tunduvalt suurem, kuna suur osa toitainetest jääb mulda ja tarbitakse ära taimede poolt. Seetõttu kasutame tegeliku koormuse arvutamisel korrigeerimis tegurit 0,5.



Tabel 1. Järve toitainete koormusbilanss

Koormusallikas	Koormus kg P/a	Osakaal %	Koormus kg N/a	Osakaal %
Haritav maa				
Looduslikud kõlvikud				
Asula reoveed				
Küla (hajaasustus)				
Sademed				
Kokku				

ÜLESANNE 13

Järve fosforikoormuse arvutamine

Eesti veekogudes on fosfor põhiline primaarproduktiooni limiteeriv element. Fosforisisaldusest sõltub veekogu troofsusaste. Fosfor jõuab järve jõgede veega, olme- ja tööstusreoveega, saastunud sademetega ja põllumajandusest hajureostusena. Osa järve kantavast fosforist settib veekogu põhja, osa aga lahkub järvest äravoolava veega. Kui järv on homogeenne ja hästi läbi segunenud, on fosforibilans järgmine:

$$P_{\text{juurdevool (lisandumine)}} = P_{\text{äravool}}$$

ja

$$L = Q \times P + V_s \times A \times P$$

kus L – fosfori lisandumine järve g/s,
 P – fosforisisaldus jõevees g/m³,
 Q – jõe äravool (vooluhulk) m³/s,
 V_s – fosfori settimine m/s,
 A – järve veepeegli pindala m².

Seega

$$P = \frac{L}{Q + V_s \times A}$$

Lähteandmed

Järve, mille veepeegli pindala on 50 km², suubub jõgi, mille vooluhulk on 5 m³/s ja fosforisisaldus 0,010 mg P/l. Järve juhitakse ka puhastatud olmereovett, mille vooluhulk q on 0,20 m³/s ja fosfori kontsentratsioon 5,5 mg P/l. Fosfori settimise kiirus on 10 meetrit aastas.

Ülesanne

Leida järvevee keskmine fosforisisaldus. Mil määral tuleb olmereovees vähendada fosforikoormust, et fosfori kontsentratsioon järvevees ei ületaks lubatud taset 0,010 mg P/l?

Fosfori ärastamiseks reoveest kasutatakse keemilist järelpuhastust, mille puhastusefekt on 95–98%. Kas on reaalne tagada jõevees nõutav fosforitase, kasutades keemilist järelpuhastust?

Lahendus

1. Jõe koormus

$$L_j = Q \times C = 5 \text{ m}^3/\text{s} \times 0,010 \text{ mg P/l} = 0,05 \text{ g/s}$$

2. Reovee koormus

$$L_r = 0,20 \text{ m}^3/\text{s} \times 5,5 \text{ g/m}^3 = 1,1 \text{ g/s}$$

3. Kogu koormus

$$L = L_j + L_r = 0,05 + 1,1 = 1,15 \text{ g/s}$$

4. Veehulk

$$Q = Q_j + q = 5,0 \text{ m}^3/\text{s} + 0,20 \text{ m}^3/\text{s} = 5,2 \text{ m}^3/\text{s}$$

5. settimine

$$V_s = 10 \text{ m aastas} : (365 \times 24 \times 3600) = 3,17 \times 10^{-7} \text{ m/s}$$

6. Fosfori keskmine sisaldus

$$P = L : (Q + V_s \times A) = 1,15 \text{ g/s} : (5,2 \text{ m}^3/\text{s} + 3,17 \times 10^{-7} \text{ m/s} \times 50 \times 10^6 \text{ m}^2) \\ = 0,0546 \text{ g/m}^3$$

7. P lubatud norm on 0,010 mg P/l,
0,0546 ületab lubatud normi 0,010 mg P/l.

Seega ei tohi koormus ületada

$$L = P(Q + V_s \times A) = 0,010 \text{ g/m}^3 (5,2 \text{ m}^3/\text{s} + 3,17 \times 10^{-7} \text{ m/s} \times 50 \times 10^6 \text{ m}^2) = 0,21 \text{ g/s}$$

Et jõe koormus on 0,05 g/s, siis ei tohi reovee koormus olla suurem kui $L_r = 0,21 - 0,05 = 0,16 \text{ g/s}$. Senine reovee koormus oli 1,1 g/s, seda on vaja vähendada 0,16 g/s-ni. Seega tuleb reoveest eemaldada 94% fosforit. Seda tagab keemiline järelpuhustus.

ÜLESANNE 14

Taimekaitsevahendite levik keskkonnas

Taimekaitsevahendeid ehk pestitsiide kasutatakse põllumajanduses umbrohu, taimehaiguste ja kahjurite tõrjel. Praegu on pestitsiidide tarbimine Eestis suhteliselt tagasihoidlik (umbes 150 tonni aastas) nii nende kõrge hinna kui ka varasemast suurema efektiivsuse tõttu. Taimekaitsevahenditega tuleb aga olla äärmiselt ettevaatlik ja tähelepanelik. Putuka-, seenhaiguste ja umbrohutõrje vahendite liig- või väärkasutamisel kumuleeruvad mürgid ökosüsteemi toiduahela tipplülidesse, ohustades teiste organismide kõrval ka inimest. Seetõttu tuleks kasutada keskkonnale ohutumaid taimekaitsevahendeid. Viimaste aastakümnete problemaatilise taimekaitsevahend DDT on tema erakordselt kahjuliku toime tõttu elusorganismidele paljudes riikides, sh ka Eestis, keelatud. Taimekaitsevahendite kasutamine on reguleeritud rahvusvaheliste lepetega ja ka riigisisest vastavate nimekirjadega.

Ülesanne ja lähteandmed

Konteinerist, milles oli 10 kg pestitsiide, lekkis mürki jõkke konstantse kiirusega 1 g/s. Jõe voolukiirus on 0,3 m/s ja vooluhulk 200 l/s. Pestitsiidi letaalne (surmav) kontsentratsioon on 0,5 µg/l.

Kui kaugemale allavoolu (km) on reostus jõudnud, kui konteiner on täielikult tühjenenud?

Mitu korda ületab pestitsiidide kontsentratsioon jões letaalset (surmavat) taset?

Lahendus

1. Arvutada pestitsiidide kontsentratsioon jões. Selleks tuleb mürgi jõkke lekkimise kiirus jagada jõe vooluhulgaga.
2. Võrrelda saadud tulemust pestitsiidi letaalse kontsentratsiooniga 0,5 µg/l.
3. Arvutada, kui palju kulub aega konteineri täieliku tühjenemiseni. Selleks tuleb konteineri maht jagada mürgi jõkke lekkimise kiirusega.
4. Arvutada jõelõigu pikkus, kuhu lekkinud pestitsiidid levivad konteineri täieliku tühjenemiseni. Selleks korrutame jõe voolukiiruse konteineri tühjenemiseks kulunud ajaga.

