

# 1 Kuidas kirjeldada reovett

Reoveepuhastisse juhitud reovesi on väga mitmekesine nii keemilise koostise kui ka puhastamist vajava koguse poolest. Lihtsustatult võib siiski öelda, et see koosneb 99,9 massiprotsendi ulatuses veest ning 0,1% orgaanilisest aineist, anorgaanilistest ühenditest ja mikroorganismidest. Tahked osakesed võivad reovees esineda settivate osakestena, kolloididena või lahustunud olekus. Reovesi sisaldab ka heljuvaid aineid (nt paber, kalts, plast) ning gaase (nt vesiniksulfiid, ammoniaak, metaan). Reovee täielikku kemikaalisaldust on väga keeruline määrata (maailmas on teada üle 350 000 keemilise ühendi), sest see sõltub reovee päritolust ning sellest, mis parasjagu reoveepuhastisse jõuab.

## 1.1 Reovett iseloomustavad suurused ning nende määramine

### 1.1.1 Reovee mittelahustuv osa

Reovesi sisaldab erisuuruseid osakesi – suurvõõristest kolloidsete osakesteni välja. Reoveepuhasti eelpuhastusastmes kõrvaldatakse võrede abil enamik suurvõõristest ning vette jääva nii orgaanilise kui ka mittelaguneva tahke anorgaanilise aine hulka iseloomustav heljum, mida kirjeldavad:

- **kuivainesisaldus**  $C_{KA}$  (ingl *total solids*, TS), mille määramiseks reoveeproov kuivatatakse 105 °C juures täielikult, vesi kõrvaldatakse ning kuivatusjääk hõlmab nii lahustunud, heljuvat kui ka pinnal ujuvat ainet;
- **heljumisisaldus**  $X_{KA}$  (ingl *total suspended solids*, TSS), mille määramiseks reoveeproov filtreeritakse läbi teatud avasuurusega filtri, filtri peale jäänud heljumimass kuivatatakse 105 °C juures ja kaalutakse. Saadakse heljumi kuivaine mass vedeliku mahuühiku kohta (mg/l). Eestis kasutatakse heljumi identifitseerimiseks filterpaberit, mille ava suurus on 0,45 µm;
- **heljumi anorgaanilise aine sisaldus**  $X_{anorg}$  (ingl *anorganic suspended solids*), on heljumifraktsioon, mis ei võta osa puhastusprotsessist ning seotakse aktiivmuda massi. **Anorgaaniline heljum ei mõjuta ka KHT-testi tulemust.** Heljumisisaldus määratakse vee filtrimisega läbi tiheda filterpaberi, mille ava suurus on kokkuleppeliselt 0,45 µm. Pärast vedeliku kõrvaldamist reoveeproovist kuumutakse heljumit 550°C juures kuni kogu orgaaniline aine on lendunud. Seejärel põletusjääk, mis iseloomustab anorgaanilist heljumit ( $X_{anorg}$ ), kaalutakse. Tulemus avaldatakse mg/l. Kui mõõtmistulemused puuduvad, võib reovee

eeldatavaks anorgaanilise heljumi osakaaluks lugeda 30% ning eelpuhastatud reovee omaks 20% [1];

- **heljumi orgaanilise aine sisaldus  $X_{KAL}$**  (ingl *volatile suspended solids, VSS*) on reoveeproovi heljumi selle osa sisaldus, mis kõrgel temperatuuril ( $500 \pm 50$  °C) lendub. Samas ei pruugi osa orgaanilist ainet põleda ja vastupidi, osa mineraalsest ainest võib lenduda. Sellele vaatamata kasutatakse seda näitajat heljumi orgaanilise osa iseloomustamiseks.

### 1.1.2 Orgaaniline aine

Orgaanilise aine iseloomustamiseks ei ole otstarbekas määrata eraldi kõiki orgaanilisi ühendeid, vaid leida kogu seda ainet iseloomustav tunnus. Orgaaniliste ainete ühine tunnus on see, et neid on võimalik oksüdeerida ja nad sisaldavad süsinikku. Oksüdeeritavust hinnatakse kahe standardnäitajaga – keemilise hapnikutarbe ( $KHT_{Cr}$ ) ja biokeemilise hapnikutarbega ( $BHT_t$ ). Süsinikusisaldust hinnatakse orgaanilise süsiniku üldsisalduse (TOC) testiga.

#### Keemiline hapnikutarve

Keemilise hapnikutarve testiga arvutatakse orgaanilise aine sisaldus tugeva oksüdandi kulu järgi. Eestis kasutatavatest standardiseeritud testi kohaselt on tugevaks oksüdandiks segu dikromaadi ja väävelhappe lahusest, millele on lisatud katalüsaatoriks hõbesulfaati. Testi käigus tõstetakse oksüdatsioonikiiruse suurendamiseks temperatuuri ning peale kahte tundi on kogu orgaanilise aine oksüdatsioon sisuliselt lõppenud. KHT väärtus leitakse moodustunud kroomi ( $Cr^{3+}$ ) sisalduse järgi, mida mõõdetakse kas tiitrimise või spektrofotomeetriga. Väärtust väljendatakse kulunud dikromaadi ekvivalentse hapnikumassi ma huühikuna  $mgO_2/l$  ning see näitab, mitu milligrammi hapnikku kulub kogu orgaanilise aine oksüdeerimiseks [2, 3].

KHT väärtust on võimalik arvutada ka teoreetiliselt, kasutades selleks orgaanilise ühendi stöhhiomeetrilist valemit. Orgaanilise aine sisalduse väljendusvorm on kirjanduses  $C_nH_aO_bN_c$ , kus allindeksid väljendavad vastavate molekulite arvu. Stöhhiomeetriliselt on orgaanilise aine oksüdeerimine kirjeldatav valemiga:



Reoveepuhastis olev biomass on kokkuleppeliselt väljendatav valemiga  $C_5H_7O_2N$  ning oksüdeerimisreaktsioon on seega:



(2.2)

Reaktsioonis väljendub, et ühe mooli orgaanilise aine oksüdeerimiseks kulub 5 mooli hapnikku.  $C_5H_7O_2N$  molaarmass on 113 g/mol ning hapniku molekuli  $O_2$  on 32 g/mol ehk hapnikukogus ühe grammi orgaanilise aine kohta on  $5 \times 32/113 = 1,42 \text{ gO}_2/\text{g}$ . Seda väärtust loetakse reoveepuhastis oleva bakterimassi tüüpiliseks keemiliseks hapnikutarbeks.

KHT-testide tulemused erinevad teoreetilistest väärtustest ainult mõne protsendi võrra. Selle põhjal või b järeldada, et KHT-testi ajal oksüdeeritakse orgaaniline aine täielikult ning katse täpsus on väga hea [4].

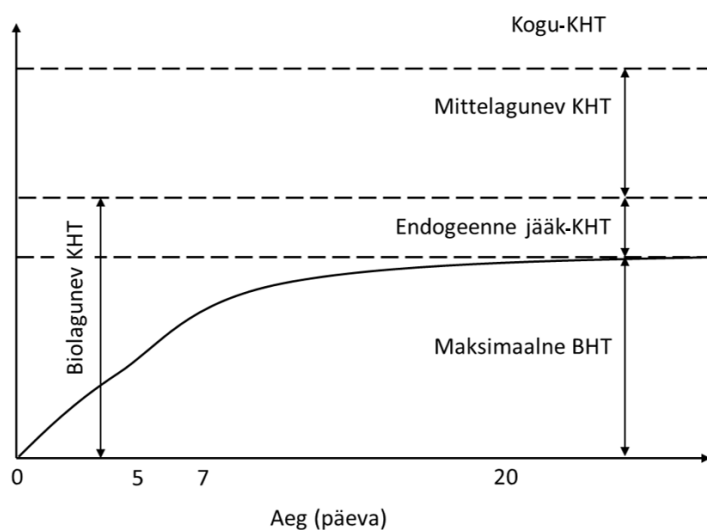
### **Biokeemiline hapnikutarve**

Oksüdeeritavuse põhjal iseloomustatakse orgaanilise aine kogust biokeemilise hapnikutarbe (BHT) kaudu. BHT on vee mahuühikus lahustunud hapniku mass, mis kulub ettenähtud tingimustes (seitsme päeva jooksul  $20^\circ\text{C}$  juures nitrifikatsiooni inhibeerimisega või inhibeerimiseta) vees sisalduva orgaanilise ja/või anorgaanilise aine bioloogiliseks oksüdeerimiseks [2, 4]. Sõnapaar „bioloogiliseks oksüdeerimiseks“ viitab sellele, et BHT-testi tegemisel on vajalik mikroorganismide juuresolek. Kui proovis mikroorganismid (nt tööstusreovees) puuduvad, tuleb need koos vajalike makro- ja mikrotoiteainetega ning puhverlahusega proovi lisada nõnda, et säiliks sobiv pH-väärtus.

Biokeemilise hapnikutarbe testiga iseloomustatakse seda osa orgaanilisest ainest, mis on biolagundatav, mittelagundatava orgaaniline aine osa sellega määrata ei saa. BHT-testi tulemus on biolagundatava orgaanilisest aine tegelikust sisaldusest alati väiksem. Osa biolagundavast ainest jääb inertseks endogeenseks jäägiks (s.o. orgaaniline aine, mis jääb alles siis, kui mikroorganismide toitainetarv on väliskeskkonnas ammendunud ning tarbitakse rakkude suremisel vabanenud orgaanilist ainet), mille tekitamiseks bakterid hapnikku ei vaja, küll aga biolagundavat orgaanilist ainet. Kui tahetakse kirjeldada kogu biolagundatava orgaanilise aine sisaldust, tuleb vastav hapnikuosa juurde arvestada. Joonisel 2.1 on kujutatud BHT-testi tulemuse sõltuvus ajast ning tegeliku biolagundatava KHT ja kogu-KHT osakaal.

Erinevalt KHT-testist, milles orgaaniline aine oksüdeeritakse täielikult juba kahe tunniga, võib see bioloogilistes protsessides aega võtta mitmeid nädalaid. Kuigi osa orgaanilisest ainest on bakteritele kohe kasutatav, sisaldab reovesi ka heljuvainet, kolloide ja makromolekule, mille ühendeid on vaja eelnevalt lagundada väiksemateks molekulideks, mida mikroorganismid on võimelised kasutama. Mõned ühendid lagundatakse mikroorganismide poolt väga aeglaselt ning hapnik kulub pikema

ajaperioodi jooksul. Maksimaalseks biokeemiliseks hapnikutarbeks, kui enamik mikroorganismidele kättesaadavast orgaanilisest aineist lagundatakse, loetakse tavaliselt 20-päevase testiga määratud. Ka siis võib mingi osa orgaanikast (nt mõned spetsiifilised polüsahhariidid, mis lagunevad ainult anaeroobses keskkonnas) lagundamata jääda. Kuna test kestab pikka aega, tehakse ta praktilisel kaalutusel lühema aja jooksul. Testi kestvus päevades näidatakse lühendis allindeksiga. Kui nitrifikatsioon on testi tegemisel inhibeeritud, on allindeks  $c$ , mis tähendab, et test iseloomustab ainult süsiniku tarbimisega seotud hapnikukulu.



Joonis 1.1. BHT-testi tulemuse sõltuvus ajast ning kogu-KHT ja biolaguneva KHT meelevaldsed osakaalud [4] järgi

Eestis on kasutusel seitsmepäevane biokeemilise hapnikutarbe test  $BHT_7$ , mille kestel ei oksüdeerita kogu mikroorganismide poolt lagundatav orgaaniline aine. Selle hindamiseks on kasutusel empiiriline valem:

$$C_{BHT,20} = \frac{1}{1 - e^{-K_{BHT} \cdot t}} \cdot C_{BHT,t}, \quad (2.3)$$

kus  $K_{BHT}$  on orgaanilise aine lagundatavuskonstant ( $d^{-1}$ ) ning  $t$  – aeg.

$K_{BHT}$  väärtus võib olla olmereoveepuhastis vahemikus  $0,15 - 0,8 d^{-1}$  [5], ta valiselt arvestatakse aga selle väärtuseks  $0,23 d^{-1}$ . Usaldusväärsemate tulemuste saavutamiseks on soovitatav teha maksimaalse BHT test  $K_{BHT}$ -konstandi leidmiseks, kuna maksimaalse BHT tuletamine konstandi  $K_{BHT}$  kaudu muudab orgaanilise aine iseloomustamise lühendatud BHT-testiga ebausaldusväärseks. Valdavalt iseloomustab  $BHT_t$ -test just seda osa orgaanilisest aineist, mis kõige enam mõjutab hapnikutarvet reoveepuhastis.

## Orgaanilise süsiniku üldsisaldus (TOC)

Orgaanilise süsiniku üldsisalduse testiga (väljendatakse süsinikuna) määratakse kõigi orgaaniliste ühendite (biolagunevate ja mittelagunevate) sisaldus. TOC (ingl *total organic carbon*) määratakse kõrgel temperatuuril põletamisega, mille tulemusel orgaaniline aine täielikult oksüdeeritakse. Põletamise käigus moodetakse vabanenud CO<sub>2</sub>, mis iseloomustab algselt proovis olnud orgaanilise aine sisaldust. TOC-i mõõtmisseadmed on tihtipeale keerukad, kuid võimaldavad saada mõõtetulemuse mõne minutiga ning sobivad seega pidevmõõtmiseks reoveepuhastitel.

Sarnaselt KHT-näitajaga on võimalik arvutada ka analüüsitava proovi TOC-väärtused, kui on teada orgaanilise aine teoreetiline koostis C<sub>n</sub>H<sub>a</sub>O<sub>b</sub>. Orgaanilise aine üldsisaldus:

$$TOC_t = \frac{12x}{12x+y+16z} \quad (2.)$$

4)

kus x, y ja z on mõõdetavas orgaanilises aines olevate süsiniku-, vesiniku- ja hapnikumolekulide arv.

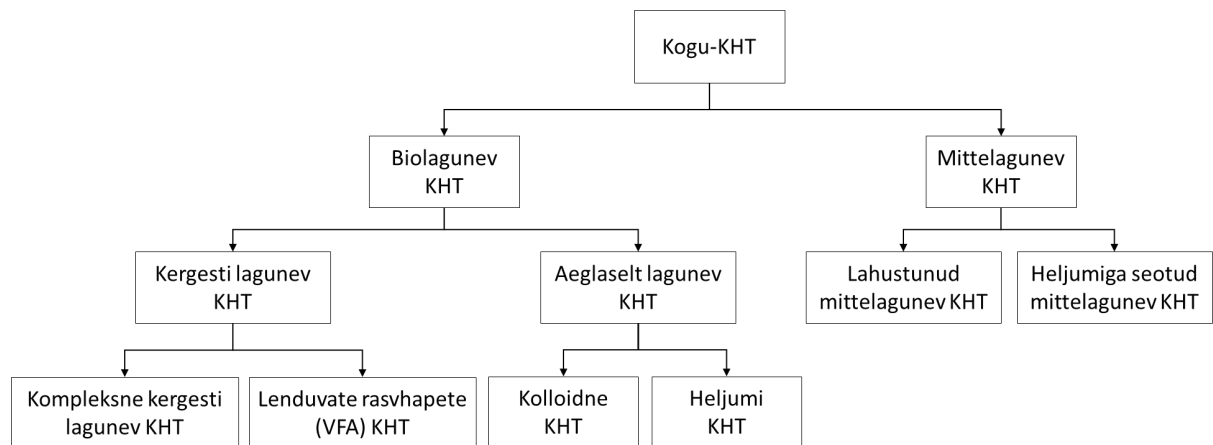
Kuna nii KHT- kui ka TOC-väärtusi on võimalik reovee ainete teoreetilist koostist teades arvutada, on võimalik mõõdetud TOC-väärtused konverteerida KHT-väärtusteks ja vastupidi. Sellist meetodikat on rakendatud mitmes puhasti sissevooluvee pidevseireks kasutatavas TOC-i mõõteseadmes. Et reovees oleva orgaanilise aine keemiline koostis suuresti varieerub, võib KHT ja TOC konverteerimisel tekkida suur viga. Soovitav on valida üks neist ning kasutada arvutuste tegemisel ainult seda.

Orgaanilise aine sisaldust hinnatakse peamiselt KHT-väärtuse kaudu, mis iseloomustab kõige paremini orgaanilises aines olevat keemilist energiat [4]. TOC-i eelistatakse peamiselt siis, kui ei soovita kasutada keskkonnaohtlikke kemikaale. Järgnevates jaotistes on reovee orgaanilise aine sisaldust väljendatud KHT-testi põhjal.

### 1.1.3 Orgaanilise aine koostisosad

Reovees oleva orgaanilise aine kvantitatiivsest iseloomustamisest ainuüksi ei piisa. Vaja on teada ka, kuidas mingi osa orgaanilisest ainest reoveepuhastusprotsessis käitub. Selleks on oluline reovett fraktsioneerida, s.o jagada komponentideks. Olulisemad fraktsioonid on näidatud joonisel 2.2. Kogu KHT jaguneb biolagunevaks ning mittelagunevaks osaks. Fraktsiooninimetuste lühendites näidatakse esimeses suures tähistuses, kas tegemist on ainesisalduse (C), lahustunud osa (S) või osakestesse seotuga (X).

Reovees oleva aine fraktsioonidel on väga suur mõju reoveepuhastuse toimimisele, eriti lämmastikku ja fosforit ärstavates puhastites. Näiteks annab kergesti lagundava KHT kindlakstegemine informatsiooni sellest, kas fosfori tõhustatud bioloogiline ärstamine on soovitud mahus võimalik või aitab see hinnata aktiivmudapuhastis tekkiva liigmuda kogust ning õhustamisvajadust. Esinduslik fraktsioneerimine annab olulist teavet reoveepuhastuses toimivate protsesside kohta ning võimaldab teha otsuseid nende juhtimiseks.



Joonis 1.2. KHT olulisemad fraktsioonid

Reovee fraktsioonid võivad olmereoveepuhastite sissevoolus olulisel määral varieeruda. Fraktsioonide osakaalu mõjutavad järgmised tegurid ja nende kombinatsioonid:

- sotsiaalmajanduslikud tegurid;
- milleks ja kuidas tarbevett kasutatakse;
- vooluhulga kõikumine ning infiltratsioon;
- köögihuntide kasutamine;
- piirkonna tööstusreovee omadused ning osakaal puhasti vooluhulgas;
- reovee viibeag väliskanalisatsiooni torustikus;
- pesuainete fosforisisaldus.

Alljärgnevalt käsitletakse üksikasjalikult reovee KHT fraktsioone, mille määramine või kindlaks tegemine annab reovee kohta kõige olulisemat informatsiooni. Juhul, kui reoveepuhastust arvutuslikult modelleeritakse, on soovitatav reovett detailselt fraktsioneerida [6].

### Lahustunud mittelagunev KHT

Reovees olev lahustunud mittelagundatav KHT ( $S_{KHT,inert}$ ) on see **osa lahustunud orgaanikast, mida bioloogiliselt ei ole võimalik lagundada**. Selle sisaldus mõjutab reoveepuhasti hapnikutarvet ning biomassi teket. Mida suurem on  $S_{KHT,inert}$  osakaal kogu-KHT väärtuses, seda vähem on vaja reovett

õhustada ning seda vähem tekib liigmuda. Mittelagunev KHT mõjutab ka väljavooluvee kvaliteeti, sest bioloogiline puhastus seda ei vähenda. Mittelaguneva KHT määramiseks on vaja heljum väljavooluveest välja filtreerida (ava suurus 0,45 µm) ning filtreeritud proovist määrata KHT. Mudavanus reoveepuhastis käideldavas vees peab olema seejuures vähemalt kolm päeva, mille kestel on enamik lahustunud biolagunevast KHT-st kõrvaldatud.

Olmereovee lahustunud mittelaguneva KHT sisaldus on 5–10% reoveepuhastisse sisenevast KHT-st [1].

### Heljumisse seotud mittelagunev KHT

Reovee heljumisse seotud mittelagunevat KHT-d mikroorganismid lagundada ei suuda. Heljumi KHT-testiga mõõdetud orgaaniline aine sisaldab nii lagunevat kui ka mittelagunevat osa. Mittelagunevat osa ( $X_{KHT, inert}$ ) ei tohi segi ajada anorgaanilise osaga ( $X_{anorg}$ ), mis KHT väärtust ei mõjuta (nt liivaterakesed, klaas või mõni muu inertne materjal). KHT fraksioneerimisel on oluline määrata mittelaguneva heljuvaine sisaldus, sest see mõjutab väga suurel määral biomassi teket ja hapnikutarvet. Mida suurem on heljumi mittelaguneva KHT sisaldus, seda rohkem tekib liigmuda ning seda väiksem on hapnikutarve, sest biolagundatav osa jääb väiksemaks.

Otsene mõõtmismeetod  $X_{KHT, inert}$  osakaalu leidmiseks puudub, kuid seda on võimalik määrata arvutuslikult, täpne meetodika leidub juhendis [6].

Heljumisse seotud mittelagunev KHT määratakse valemiga:

$$X_{KHT, inert} = f_A \cdot X_{KHT} = f_A \cdot (C_{KHT} - S_{KHT}),$$

(2.5)

kus  $X_{KHT, inert}$  on heljuvosa mittelagunev KHT (mg/l);  $f_A$  – heljumiga seotud KHT mittelaguneva osa osakaal;  $X_{KHT}$  – heljumiga seotud KHT väärtus (mg/l);  $C_{KHT}$  – kogu-KHT (mg/l) ning  $S_{KHT}$  – lahustunud KHT (mg/l).

Saksa DWA standardi [1] kohaselt on heljumiga seotud KHT mittelaguneva osa osakaal ( $f_A$ ) olmereovees 0,20 – 0,35 heljuvaine KHT-st (arvutustes tavaliselt 0,3).

### Biolagunev KHT

KHT biolaguneva orgaanilise osa hindamiseks kasutatakse juba eespool mainitud BHT<sub>t</sub>-testi. Kuna tavapäraselt tehakse lühiajaline test (BHT<sub>7</sub>), siis on vaja BHT seitsmepäevane väärtus ümber arvutada

maksimaalseks väärtuseks BHT<sub>20</sub>. Selleks kasutatakse valemit 2.6, kuid ka sel moel saadud väärtus ei väljenda kogu biolagunevat orgaanilist ainet ning juurde tuleb arvestada bakterite lagunemisel tekkiv inertne endogeene jääk. Biolagunev KHT:

$$C_{KHT,bio} = \frac{1}{1-f_{BHT}} \cdot C_{BHT,20},$$

(2.6)

kus  $C_{KHT,bio}$  on biolagunev KHT;  $f_{BHT}$  – parandustegur ning  $C_{BHT,20}$  – biokeemiline hapnikutarve mgO<sub>2</sub>/l.

Konstant  $f_{BHT} = 0,15$  on parandustegur biolaguneva KHT ( $C_{KHT,bio}$ ) tuletamiseks BHT<sub>20</sub> testist, mis arvestab heterotroofsete mikroorganismide juurdekasvutegurit (0,45 mgKHT/mgKAL), mikroorganismide lagunemisel tekkiva endogeense jäägi fraktsiooni (0,2 mgKAL/mgKAL) ning biomassi tüüpilist KHT-sisaldust (1,5 mgKHT/mgKAL) [7].

Kui on teada mittelaguneva KHT fraktsioonid, siis on biolaguneva KHT sisaldus:

$$C_{KHT,bio} = C_{KHT} - S_{KHT,inert} - X_{KHT,inert},$$

(2.7)

kus  $C_{KHT}$  on kogu-KHT;  $S_{KHT,inert}$  – lahustunud mittelagunev KHT ning  $X_{KHT,inert}$  – heljumisse seotud mittelagunev KHT.

KHT biolagunev fraktsioon omab suurt tähtsust reoveepuhasti hapnikutarbe täpsel määramisel.

### **Kergesti lagunev KHT**

Kergesti lagunev KHT arvestab seda osa **orgaanilisest aineist, mida mikroorganismidel on kõige lihtsam omastada**. See fraktsioon on oluline lämmastiku- ja fosforiärastuse toimimise hindamiseks [6]. Lämmastikuärastuse anoksilises tsoonis on see fraktsioon peamine süsinikuallikas denitrifikatsiooni toimimisel. Bioloogilise fosforiärastuse hindamiseks tuleb kergesti lagunev KHT omakorda jagada kaheks fraktsiooniks – kergesti lagundatavaks kompleksseks KHT-ks ja lühikese ahelaga lenduvaid rasvhappeid sisaldavaks kergesti lagunevaks KHT-ks (VFA).

Olmereovee puhul võib kergesti lagunevaks orgaanikaks lugeda lahustunud lagundatava KHT. Lahustunud KHT mõõtmisel on vaja eelnevalt kõrvaldada kolloidne osa (vt lisa 4).

Kui lahustunud KHT väärtus on määratud, leitakse kergesti lagunev orgaaniline KHT toimivas reoveepuhastis järgmiselt:



$$C_{KHT,ke} = S_{KHT,SV} - S_{KHT,inert,VV} ,$$

(2.8)

kus  $C_{KHT,ke}$  on kergesti lagunev orgaaniline KHT;  $S_{KHT,SV}$  – sissevooluvee lahustunud KHT väärtus ning  $S_{KHT,inert,VV}$  – väljavooluvee lahustunud mittelaguneva KHT väärtus (toimiva puhasti väljavooluvee lahustunud KHT sisaldus).

Saksa DWA standardite kohaselt loetakse kergesti lagundava KHT osakaaluks 0,15–0,25 biolagunevast KHT-st [1]. Biolagunev KHT arvutatakse DWA soovitusel kohaselt valemiga 2.7.

### Aeglaselt lagunev KHT

Aeglaselt lagunev orgaaniline aine  $C_{KHT,AL}$  hõlmab **orgaanilisi aineid, mida on vaja enne absorbeerimist või mikroorganismide poolt tarbimist lõhustada**. Sellised ained esinevad reovees kas heljumina või kolloidsel kujul. Reovees võib leiduda ka suuri kompleksseid orgaanilisi molekule, mida võib lahustunuks lugeda. Lihtsustamiseks loetakse olmereovee kirjeldamisel aeglaselt lagunevaks KHT-ks seda osa lagunevast orgaanikast, mis esineb heljumi ja kolloidsel kujul. Tööstusliku reovee iseloomustamisel sellist lihtsu stust ei ole võimalik teha, sest niisugune reovesi võib lahustunud kujul sisaldada ka aeglaselt lagunevat KHT-d [6].

Aeglaselt laguneva KHT kolloidne osa absorbeerub puhastusprotsessis kiiresti biomassi koosseisu ning kõrvaldatakse reoveest sarnaselt heljumiga. Kolloidse osa eristamine on oluline puhastites, kus reovesi eelsetitatakse, kuna see protsessiosa kõrvaldab ainult heljumiga seotud lagundava orgaanilise aine. Kolloidne osa ei ole settiv, transporditakse järgnevasse puhastusastmesse ning võidakse kõrvaldada flotatsiooni- või muu seadmega, millesse lisatakse flokulanti.

Aeglaselt lagundatav KHT kõrvaldatakse puhastusprotsessist mikroorganismide vahendusel ning kuna olmereoveepuhastisse satub biomassi just see osa, siis sõltub selle kõrvaldamiseks kuluv aeg mudavanusest. Kõrvaldamise kestust võib hinnata eespool kirjeldatud BHT<sub>20</sub>-testiga. Enamik (90%) aeglaselt lagunevast KHT-st kõrvaldatakse 20-päevase mudavanuse korral.

Aeglaselt lagunev orgaaniline KHT leitakse juba eelnevalt määratletud KHT-fraktsioonide kaudu:

$$C_{KHT,AL} = C_{KHT} - S_{KHT,inert} - X_{KHT,inert} - C_{KHT,ke} ,$$

(2.9)

kus  $C_{KHT,AL}$  on aeglaselt lagunev KHT;  $C_{KHT}$  – reovee KHT;  $S_{KHT,inert}$  – lahustunud mittelagunev KHT;  $X_{KHT,inert}$  – heljuvosa mittelagunev KHT ning  $C_{KHT,ke}$  – kergesti lagunev KHT.

### Arvutusnäide:

Olmereoveepuhasti sissevooluvees määrati: keemiline hapnikutarve  $C_{KHT} = 800 \text{ mg/l}$ , lahustunud keemiline hapnikutarve  $S_{KHT} = 100 \text{ mg/l}$  ning biokeemiline hapnikutarve  $C_{BHT7} = 400 \text{ mg/l}$ .

Fraksioneerida orgaaniline aine.

- Lahustunud mittelagunev KHT ( $S_{KHT,inert}$ ).

Olmereovees on lahustunud mittelaguneva KHT sisaldus 5–10% kogu reoveepuhastisse sisenevast KHT-st, arvutuses valime selle väärtuseks 5%:

$$S_{KHT,inert} = C_{KHT} \cdot 0,05 = 800 \frac{\text{mg}}{\text{l}} \cdot 0,05 = 40 \frac{\text{mg}}{\text{l}}.$$

- Heljuvosa mittelagunev KHT ( $X_{KHT,inert}$ ).

Heljuvosa mittelaguneva KHT osakaal  $f_A$  on vahemikus 0,2–0,35 ning arvutatakse valemiga 2.5.

Võtame arvutuste aluseks osakaalu  $f_A = 0,25$ :

$$X_{KHT,inert} = f_A \cdot X_{KHT} = f_A \cdot (C_{KHT} - S_{KHT}) = 0,25 \cdot \left(800 \frac{\text{mg}}{\text{l}} - 100 \frac{\text{mg}}{\text{l}}\right) = 175 \text{ mg/l}.$$

- Biolagunev KHT ( $C_{KHT,bio}$ ).

Biolaguneva KHT sisalduse leidmiseks kasutame valemeid 2.6 ja 2.7. Orgaanilise aine lagundatavuse koefitsiendiks  $k_{BHT}$  valime olmereoveepuhastile tavapärase väärtuse  $0,23 \text{ d}^{-1}$ .

$$BHT_{20} = \frac{1}{1 - e^{-k_{BHT} \cdot t}} BHT_t = \frac{1}{1 - e^{-0,23 \cdot 7}} \cdot 400 \frac{\text{mg}}{\text{l}} = 500 \text{ mg/l}.$$

- Biolagunev KHT on seega:

$$C_{KHT,bio} = \frac{1}{1 - f_{BHT}} BHT_{20} = \frac{1}{1 - 0,15} 500 \frac{\text{mg}}{\text{l}} = 588 \frac{\text{mg}}{\text{l}}.$$

Kontroll:

$$C_{KHT} - S_{KHT,inert} - X_{KHT,inert} = 588$$

$$800 - 40 - 175 = 585 \frac{\text{mg}}{\text{l}} \approx 588 \text{ mg/l}.$$

- Kergesti lagunev KHT ( $C_{KHT,ke}$ ).

Kergesti laguneva KHT arvutamisel eeldame, et selle moodustab kogu lahustunud lagundatava KHT osa, seega:

$$C_{KHT,ke} = S_{KHT} - S_{KHT,inert} = \frac{100mg}{l} - 40 \frac{mg}{l} = 60 \frac{mg}{l}.$$

- Aeglaselt lagunev KHT ( $C_{KHT,AL}$ ).

Aeglaselt laguneva KHT leiame valemiga 2.9:

$$C_{KHT,AL} = C_{KHT} - S_{KHT,inert} - X_{KHT,inert} - C_{KHT,ke} = 800 \frac{mg}{l} - 40 \frac{mg}{l} - 175 \frac{mg}{l} - 60 \frac{mg}{l} = 525 \frac{mg}{l}.$$

#### 1.1.4 Toitained

##### Lämmastikuühendid

Lämmastikuühenditest eristatakse anorgaanilisi vorme (ammooniumlämmastik  $NH_4-N$ , nitritlämmastik  $NO_2-N$  ja nitraatlämmastik  $NO_3-N$ ) ning orgaanilist lämmastikku. Orgaanilised ja anorgaanilised vormid kokku annavad üldlämmastiku:

$$N_{\text{üld}} = (NH_4^+ - N) + (NO_3^- - N) + (NO_2^- - N) + N_{org}. \quad (2.10)$$

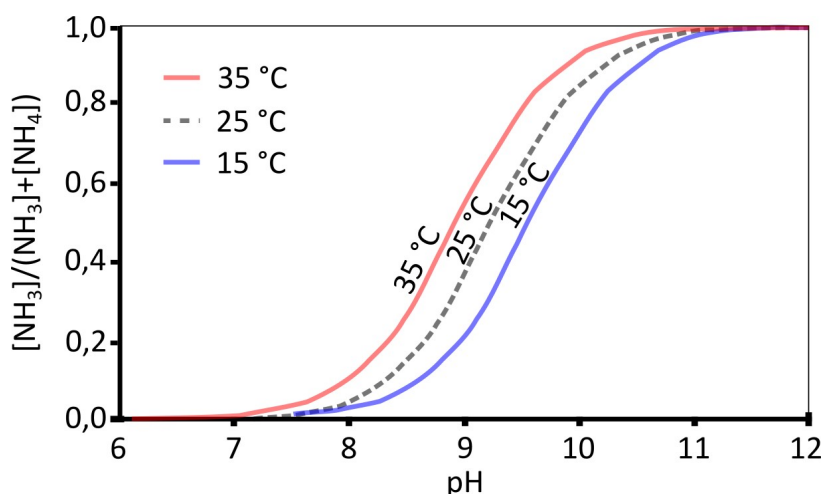
Orgaanilise lämmastiku sisaldus leitakse anorgaaniliste lämmastikuühendite lahutamise teel üldlämmastikust. Tähelepanu peab pöörama anorgaaniliste lämmastikuühendite sisaldusele (kas mg/l või mgN/l) – kui anorgaanilised vormid on avaldatud ioonidena (mg/l), siis arvutatakse nad ümber väljendatuks lämmastikuna (mgN/l):

$$N_{\text{anorg}} = (0,778 \cdot NH_4^+) + (0,304 \cdot NO_2^-) + (0,226 \cdot NO_3^-). \quad (2.11)$$

Olmereovees on tavapäraselt 60–75% kogulämmastikust ammooniumlämmastik. Sissevooluvee nitraatide ja nitritite sisaldus on üldjuhul olematu, välja arvata mõned tööstusreoveed. Arvestades seda, et ammooniumiioonid ja ammoniaak on võimelised kergesti teineteiseks üle minema ning nende omavaheline suhe lahuses sõltub vee pH-st ja temperatuurist, on võimalik  $NH_3$ -sisaldus arvutada pH väärtuse põhjal. Ammoniaagi osatähtsus vees leiduvate  $NH_4^+$  ja  $NH_3$  summaarses hulgas pH eri väärtuste ja temperatuuride korral on kujutatud joonisel 2.3. Ammoniaagi suur sisaldus on toksiline elusorganismidele. Olmereovee, mille pH on peamiselt neutraalne, ammoniaagisisaldus on väike.

Suure lämmastikusisaldusega reovees (tööstused, kääriti settevesi, prügilad), mille pH on tavapäraselt kõrge, peab arvestama võimalikku ammoniaagist tulenevat inhibitsiooni.

Üldlämmastikku on võimalik määrata ka meetodiga Total Kjeldahl Nitrogen (TKN), mille puhul leitakse ammoniaagi ( $\text{NH}_3\text{-N}$ ), ammooniumi ( $\text{NH}_4\text{-N}$ ) ja orgaanilise lämmastiku summa, jättes arvestamata nitraadid ning nitritid. Lämmastikuvormide alusel on võimalik hinnata bioloogilise puhastusprotsessi toimivust. Kui puhastusseadmest väljuvas vees on lämmastikuühendite seas ülekaalus nitraadid, on mikroorganismid ära kasutanud kogu reovees leidunud süsinikku sisaldava orgaanilise aine ning asunud nitrifitseerima lämmastikuühendeid (bioloogiline puhastus on täielik). Kui väljuvas heitvees on ülekaalus  $\text{NH}_4^+$ -soolad, ei ole mikroorganismid jõudnud süsinikku sisaldavat orgaanilist ainet ära kasutada ning puhastus on osaline või puudub hoopis.



Joonis 1.3. Ammoniaagi osakaal ammooniumlämmastikus sõltuvalt temperatuurist ja pH väärtusest [13]

### Fosforiühendid

Fosforiühendid esinevad vees anorgaaniliste ja orgaaniliste vormidena. Analüütilises praktikas määratakse eraldi fosfaadid ( $\text{PO}_4^{3-}$ ) ja summaarne fosforisisaldus ( $P_{\text{üld}}$ ), millesse kuuluvad anorgaanilised fosfaadid, polüfosfaadid ja orgaanilised fosforiühendid.

Seega on fosfaatide ja üldfosfori sisalduse alusel võimalik leida orgaanilise fosfori sisaldus ainult siis, kui ollakse kindel, et vees ei leidu pesemisvahenditest pärinevaid polüfosfaate või kui need on juba fosfaatideks hüdrolüüsunud. Kui anaorgaanilised vormid on esitatud ioonidena (mg/l), siis arvutatakse need ümber väljendatuks fosforina (mgP/l):

$$P_{\text{anorg}} = (0,392 \cdot \text{PO}_4^{3-}).$$

(2.12)

Vees leiduvatest fosforiühenditest on mürgised fosfororgaanilised pestitsiidid ja mõningad tööstuses kasutatavad ained, kuid neile ühenditele on seatud piirkontsentratsioonid. Seevastu enamlevinud fosforiühendid ei ole mürgised ning on mikroorganismidele vajalikud.

### Väävliühendid

Väävel (S) on vajalik valkude sünteesiks ning see vabaneb omakorda nende lagunemisel. Sulfaadid ( $\text{SO}_4^{2-}$ ) redutseeritakse mikroorganismide poolt anaeroobsetes tingimustes sulfiidideks ( $\text{S}^{2-}$ ), mis omakorda seovad endaga vesinikiooni ning moodustavad vesiniksulfiidi ( $\text{H}_2\text{S}$ ), mis on mädamuna lõhnaga värvusetu mürgine gaas. Analoogiliselt ammoniaagiga sõltub see, kas  $\text{H}_2\text{S}$  püsib vees või eraldub gaasina, vee pH-st. Tavaliselt koguneb vesiniksulfiid iseoolutorustiku ülaossa ning oksüdeeritakse bioloogiliselt väävelhappeks, mis on korrodeeriv.

#### 1.1.5 pH ja puhverdusvõime

Vesinikueksponendi (pH) abil väljendatakse vee happelisust või aluselisust. Matemaatiliselt on pH negatiivne logaritm vesilahuse vesinikioonide sisaldusest (mol/l):  $\text{pH} = -\log[\text{H}^+]$ . Neutraalse keskkonna pH = 7, happelise keskkonna pH alla 7 (ülekaalus on  $\text{H}^+$ -ioonid) ning aluselise keskkonna pH suurem kui 7 (ülekaalus on  $\text{OH}^-$ -ioonid).

Bioloogiliseks puhastamiseks peaks reovee pH jääma vahemikku 6,5–8,5. Reoveepuhastisse juhitava olmereovee pH on ligikaudu 7 ning pH-st tingitud probleeme tavaliselt ei teki. Tänu reovee koostises olevatele ühenditele (nt karboksüülhapped, süsihappegaas, kaltsiumkarbonaat) avaldab vee pH teatavat vastupanu kiiretele muutustele. Seda nähtust nimetatakse **puhverdusvõimeks** – vee võimele vastu panna reaktsiooni järsule muutumisele happe või aluse lisamise korral. Siiski mõjutab puhastusprotsess reovee vesinikioonisaldust. Orgaanilise aine lagundamisel vabanev  $\text{CO}_2$  suurendab näiteks vees olevate vesinikioonide sisaldust ning pH väärtus väheneb. Väga intensiivne õhustamine viib aga  $\text{CO}_2$  veest välja ning pH suureneb. Sellist pH suurenemist võib täheldada ka fotosünteesi korral, mille käigus taimed omastavad veest süsihappegaasi.

Lämmastikku ärastavates reoveepuhastites pH protsessi kestel väheneb ning võib juhtuda, et see langeb väga madalale ja hakkab mikroorganismide kasvu inhibeerima. Selle võimaluse hindamiseks on vaja määrata reovee puhverdusvõime. Aluseliskus ehk **leelisuus** on vee võime neutraliseerida happeid tänu oma vesinikkarbonaadi-, karbonaadi- või hüdroksiidionisisaldusele. Reovees reguleerib pH-d peamiselt karbonaatne puhversüsteem, seetõttu väljendatakse leelisuus tavaliselt vesinikkarbonaadi molaarse sisaldusena mmol/l, mis tuleb ionideks teisendamiseks korrutada molaarmassiga (61 g/mol või mg/mmol  $\text{HCO}_3^-$  jaoks):

$$\text{leelisus } HCO_3^- \left( \frac{mg}{l} \right) = \text{leelisus } HCO_3^- \left( \frac{mmol}{l} \right) \cdot 61 \left( \frac{mg}{mmol} \right).$$

(2.13)

Leelisust esitatakse ka kaltsiumkarbonaadi sisaldusena:

$$\text{leelisus } HCO_3^- \left( \frac{mg}{l} \right) = \text{leelisus } CaCO_3 \left( \frac{mg}{l} \right) \cdot 1,22.$$

(2.14)

Leelisust mõõdetakse happe kogusega, mis kulub pH viimiseks 4,2-ni. Sellest väiksema pH väärtuse juures muutuvad kõik karbonaadid ja bikarbonaadid karbonaathappeks ja pH muutub happe lisamisel lineaarselt.

### 1.1.6 Ohtlikud ained

Ohtlikuks loetakse need ained, mis võivad ohustada inimese tervist või keskkonda. Reoveepuhastuse kontekstis muutub oluliseks veel nende omadus pärssida puhasti toimimist (vt ka jaotist 6.4.1).

Ainete ohtlikkuse mõistmiseks tuleb alati läbi mõelda, millele, kellele või millal on aine ohtlik ning millistel tingimustel. Oht sõltub aine omadustest. Euroopas on kokku lepitud reeglid, mille alusel kõik kemikaalid, mida soovitakse kasutada, tuleb registreerida ja nende võimalikud kahjulikud mõjud eelnevalt hinnata [8]. Oluline teabeallikas kemikaalide kohta on ohutuskaart (ingl safety data sheet, SDS), milles kirjeldatakse ohtlikuks klassifitseeritud aine omadusi ja mõju ning antakse juhiseid selle ohutuks käitlemiseks. Ohutuskaart teavitab ka potentsiaalsest ohust inimese tervisele ja keskkonnale ning sellest, mida peab tegema aine käitlejate tervise, ohutuse ja keskkonna kaitsmiseks. Oht võib sõltuda kokkupuuteviisist või toime laadist. Ohte kirjeldatakse ohulausete [9] ja piktogrammidega [10]. Täpset kontrollitud ja usaldusväärset infot kemikaalide kohta saab Euroopa Kemikaaliagentuuri (European Chemicals Agency, ECHA) kodulehelt [11]. Reoveepuhasti puhul seisneb oht peamiselt bioloogiliste protsesside häirimises. Kui puhastisse jõudva reovee ohtlike ainete sisaldus on enam-vähem stabiilne, suudavad selles toimuvad bioloogilised protsessid nendega teataval määral kohaneda. Peale bioloogiliste protsesside on ohus kogu kanalisatsioonisüsteem, kui sellesse (ja sealtkaudu reoveepuhastisse) juhatakse suurel hulgal korrodeerivaid, söövitavaid või ummistusi põhjustavaid aineid. Ohtlike ainete põhjustatud probleemid puhasti toimimisele ei ole alati seotud suurte vooluhulkadega, mida tavaliselt seostatakse löökoormusega. Pigem vastupidi – suure vooluhulga korral ebasoodsad ained pigem lahjenevad ning nende mõju puhasti toimimisele väheneb. Ometi võib väikesegi koguse kontsentreeritud aine ühekordne juhtimine puhastisse avaldada selle toimimisele olulist mõju. Riskide vähendamiseks peab iga reoveepuhasti käitaja tundma oma kliente

ning nende juures kulgevaid protsesse. Tööstusettevõtetest pärit võimalike negatiivsete mõjude vähendamiseks on soovitatav lähtuda neisse puutuvatest juhenditest ja seadustest [12–14].

Olenevalt omadustest kõrvaldatakse ohtlikke aineid reoveepuhastist erinevalt. Ohtlikud ained võivad olla nii biolagunevad (poolestusaeg alla 10 ööpäeva) kui ka inertsed (poolestusaeg üle 150 ööpäeva ning reoveepuhastis ei lagune). Omaduste poolest saab ohtlikke aineid liigitada lenduvateks (eralduvad gaasidena), hüdrofoobseteks (vees ei lahustu) või hüdrofiilseteks (lahustuvad vees). Hüdrofoobsed ained seotakse reoveepuhastusprotsessis biomassi külge ning neid on võimalik veest kätte saada. Hüdrofiilseid ained on aga keeruline kõrvaldada ning sageli läbivad nad puhastusprotsessi, ilma et nende sisaldus oluliselt väheneks. Kuna ohtlikud ained valdavalt bioloogilistes protsessides ei lagune ning kanduvad kas settesse, õhku või heitveega suublasse, on keskkonnanõuetest eesmärkidest lähtuvalt äärmiselt oluline, et nende ühiskanaliseerimise juhtimist välditaks juba kasutuskohas.

Keskkonnamõju poolest peetakse ohtlikuks üldjuhul aineid, mis kahjustavad organisme ning seetõttu on oluline teada aine mõju avaldavast sisaldusest reovees ja seda, kui kiiresti mõju toimib. Kahjulik mõju võib olla erinev – kas silmapilkselt tappev või avaldub alles aastate pärast (vähkkasvajad, närvisüsteemikahjustused). Nende keskkonnaohtlike ainete, mis on bioloogiliselt ei lagune, on püsivad ja akumulerevad, mõju tänu lahjendamisele looduses ei vähene, sest nad kuhjuvad toiduahelas.

Lühidalt ohtlike ainete rühmadest [15–17]:

- **raskmetallid** – avaldavad kahjulikku mõju veeloomade, muu loomastiku ja inimeste tervisele (nt allergilised reaktsioonid, nahalööbed, hingamisteede ärritus, seedetraktihäired, neerupuudulikkus, neurotoksilisus);
- **polütsüklilised aromaatsed süsivesinikud (PAH)** – akumulerevad keskkonnas ning mõjutavad elusorganisme oma akuutse toksilisuse, mutageensuse ja kantserogeensusega;
- **lenduvad orgaanilised ühendid** – ained, mis muutuvad vedelikust kergesti auruks ning võivad pikemaajalisel kokkupuutel põhjustada maksa-, neeru- ja kesknärvisüsteemi kahjustusi;
- **tinaorgaanilised ühendid** – püsivad, bioakumulerevad ja toksilised ained. Mõjutavad oma mürgisusega maksa, närvirakke ning immuunsüsteemi eest vastutavaid rakke; põhjustavad kalade soo muutumist;
- **ftalaadid** – toitu, keskkonda ja inimorganismi akumulerevad (sh bioakumulerevad) ühendid, mis lagunevad kiiresti, on kantserogeensed ning mittepüsivad. Võivad põhjustada närvisüsteemihäireid ja sündivuse vähenemist (suguhormoonide taseme muutumine), kahjustada hormoonsüsteemi, neere ja maksa ning ägendada nahapõletikke;

- **polübroomitud ühendid (PBDE)** – looduses püsivad bioakumuleeruvad ühendid, mis toodetes aitavad aeglustada süttimist. Kogunevad inimese verre, rinnapiima, rasvkoesse, põhjustades maksa- ja närvikahjustusi ning kahjustavad hormoonsüsteemi;
- **kloroalkaanid** – väga püsivad, bioloogiliselt mittelagunevad ja veeorganismidele mürgised ühendid. Lühiahelaga klooritud parafiinid (SCCP) on keskkonnale ohtlikumad kui klooritud parafiinid (MCCP);
- **perfluoritud ühendid (PCF)** – keskkonnas püsivad, toksilised ja akumuleeruvad (sh bioakumuleeruvad) ained. Mõjutavad arengut ning hormoonsüsteemi, organismis kogunevad maksa;
- **dioksiinid ja furaanid** – inimorganismis ja mereelustikus bioakumuleeruvad ühendid, kantserogeensed, halvasti lahustuvad, äärmiselt püsivad. Dioksiinid imenduvad rasvkoesse ning ladestuvad toiduahelas;
- **heksabromotsüklododekaan (HBCDD-d)** – lipofiilne püsiv orgaaniline saasteaine, mereelustikus ja keskkonnas bioakumuleeruv;
- **polüklooritud bifenüülid (PCB)** – kantserogeensed ja mutageensed ained, mis võivad akumuleeruda rasvkoes. PCB-d võivad põhjustada siseorgani-, aju- ja nahahaigusi ning mõjutada immuunsüsteemi, närvisüsteemi ja reproduktiivsust;
- **pestitsiidid ja insektitsiidid** – väga mürgised ained, mis avaldavad ägedat toksilist mõju inimestele ja kariloomadele. Võivad kahjustada maksa ning mõjutada hingamisteid ja närvisüsteemi.

#### 1.1.7 Naftasaadused

Hüdrokeemias hõlmab mõiste „naftasaadused“ kõiki fossiilsetest kütustest toodetud aineid, mille seas on nii mittepolaarseid kui ka polaarseid ühendeid. Polaarsete ainete molekulid on tervikuna neutraalsed, kuid nende elektronid jaotuvad ebaühtlaselt (üks molekuliosa on nõrgalt positiivne, teine nõrgalt negatiivne). Selliseid aineid leidub rohkesti ka looduses, kuid keemilise analüüsiga on väga raske teha vahet looduslike naftasaadustest pärit ja polaarsete ühendite vahel. Seetõttu hõlmab mõiste "naftasaadused" ainult fossiilsetest kütustest pärinevaid mittepolaarseid ühendeid, s.o umbes 70–90% kõigist naftasaadustes esinevatest ühenditest – alifaatsetest, alitsükliilistest ja aromaatsetest süsivesinikest.

Üldjuhul mõistetakse vee naftasaadusesisalduse all mittepolaarsete orgaaniliste ühendite ehk süsivesinike summaarset sisaldust. Naftasaadused satuvad vette peamiselt vanaõli maha valamisel, remonditöökodadest ja masinapesulatest. Sajuperioodidel jõuab kanalisatsiooni sillutatud tänavatele



ja teedele tilkunud õli. Kuna naftasaadused on keskkonnaohtlikud reostajad, on nende juhtimine veekogudesse normitud.

Vees leiduva naftasaaduse määramiseks kasutatakse kolme meetodit:

- kaalumine – kõige kindlam meetod, kuid ei sobi väikeste sisalduste määramiseks;
- infrapunakiirgus – kiirguse abil mõõdetakse CH<sub>2</sub>-radikaalide hulka, kuid selle meetodi puudus on see, et see arvestab naftasaaduste hulka ka looduses orgaanilise aine lagunemisel tekkivad analoogilised alifaatsed süsivesinikud;
- ultraviolettkiirgus, mille abil mõõdetakse üksnes aromaatsete ühendite sisaldust. Sobib siis, kui aromaatsed ühendid on alifaatsetest mürgisemad.

Kõigi nende meetodite korral algab analüüsimine naftasaaduste lahutamiseiga veest ning polaarsete ühendite kõrvaldamisega.

Naftasaaduste identifitseerimiseks võrreldakse nende proove kümnekonna tähtsama alifaatse süsivesiniku sisalduse alusel. Otsuse identsuse kohta teeb laborant. Pikaajalisel vees seismisel naftasaadused aurustuvad, sorbeeruvad, oksüdeeruvad biokeemiliselt ja keemiliselt, mille tagajärjel koostises toimuvad nihked võivad naftasaaduste päritolu kindlakstegemise keeruliseks muuta.

#### 1.1.8 Fenoolid

Fenoolid on orgaanilised ained, milles OH-rühm on seotud aromaatses tuuma külge. Nad moodustavad väga ühendirohke aineklassi. Looduses tekivad fenoolid orgaanilise aine lagunemisel. Analüütilises keemias jagatakse fenoolid kahte rühma: veeauruga lenduvateks (kresoolid, ksüleenoolid, tünool, fenool) ja mittelenduvateks (resortsiin, pürokatehiin, hüdrokiinon, pürogallool jt).

Reoveepuhastuses analüüsitakse peamiselt neid fenoolide, mille kohta on seadusandluses kehtestatud summaarne piirsaldus. Piirsalduse määramisega on probleeme, sest määramismeetodite tundlikkus eri fenoolide suhtes ei ole ühesugune ning tulemused ei ole omavahel võrreldavad.

#### 1.1.9 Rasvad ja õlid

Nii taimsed kui ka loomsed rasvad ja õlid (ingl *fat, oil, grease, FOG*) kulutavad reoveepuhastusprotsessis palju hapnikku ning mõjutavad negatiivselt selle hapnikuvarustust, võivad ummistada biokilekandjaid ning aktiivmudapuhastis soodustada soovimatute niitjate organismide (nt *Microthrix parvicella*) kasvu. Niitjate organismide kasv soodustab aktiivmudapuhastis viskoosse pruuni vahu

teket ning halvendab muda settimisomadusi ja mudaindeksit (muda on hõre ja ei setti). Vee rasvasisaldus võib pärssida anaeroobseid protsesse, sest rasvad lagunevad kaua ja raskesti. Tööstusettevõttel (nt tapamaja, piimatööstus), milles tekib rasvarikast reovett, peab olema kohtpuhasti. Oluline on suure rasvasisaldusega jääk- ja kõrvalsaadused (nt vadak, rääsunud piimatooted) kokku koguda ning käidelda selleks sobivas ettevõttes [14].

#### 1.1.10 Ravimijäägid

Viimastel aastatel on keskkonnas, peamiselt vees, järjest enam tuvastatud ravimite toimeainete jääke. Kuigi nende sisaldus on nii väike, et jääb tunduvalt allapoole tavaliste saasteainete omast, võivad ravimijäägid siiski põhjustada probleeme. Peale haiguste leviku peegeldab reovesi ka elanikkonna ravimitarbimist. Reoveepuhastid on ravimijääkide poolest olulised punktreostusallikad, sest neis puhastatakse nii valgalal asuvate kodumajapidamiste kui ka haiglate ja tööstusettevõtete reovett, mille eelpuhastamise tõhusus on varieeruv. Nüüdisaegsele tehnikatasemele vastavad puhastid suudavad kõrvaldada ainult selliseid ravimijääke, mis on kergesti biolagundatavad ja/või absorbeeruvad, ülejäänud läbivad puhastusprotsessi, nõnda, et nende hulk väheneb üksnes vähesel määral. Seetõttu on paljude ravimijääkide kõrvaldamine võimalik ainult reovee süvapuhasustehnoloogiate abil [18] (vt ka jaotist 16).

#### 1.1.11 Mikroplast

Mikroplastiks nimetatakse kõiki vees mittelahustunud plastitükke, mille mõõtmed on väiksemad kui viis mm. Need osakesed (rõivakiud, kosmeetikatooted, hügieenitarbed, ravimid, pinnatöötlusmaterjalid) satuvad keskkonda igapäevaste tarbekaupade kaudu. Mikroplasti võib reovette jõuda plastitööstusest, pakendajatelt, jäätmekäitlejatelt ja prügilatest. Mikroplastid absorbeerivad keemilisi ühendeid, mis võivad olla ohtlikud keskkonnale ja organismidele.

Reovee mikroplastisisaldusele piirväärtusi ei seata. Korralikult töötav asulareoveepuhasti on võimeline kõrvaldama enam kui 99% mikroplastiosakestest, mille suurus on  $\geq 300 \mu\text{m}$  [14].

#### 1.1.12 Patogeenid

Reoveega jõuavad ühiskanalisisatsiooni ning puhastisse peaaegu kõik haigused, mis kanalisatsiooni võrguga ühendatud elanikkonna seas liiguvad. Haigustekitajaks võivad olla tõvestavad bakterid (nt *Legionella spp.*, *Escherichia coli*), viirused (nt herpes, koroonaviirus) ja parasiidid (nt solkmed,

perekonna *Candida* seened). Seetõttu peavad reoveepuhasti käitajad ja teised kanalisatsiooniehitistega kokku puutuvad inimesed pöörama suurt tähelepanu isiklikule hügieenile.

Kuigi osa patogeensetest organismidest osaleb suure tõenäosusega ka bioloogilises reoveepuhastusprotsessis (nt *E. coli* tarbib glükoosi), seatakse sageli eesmärgiks nende kõrvaldamine puhastusprotsesside käigus. Eestis ei ole heitvee patogeenisalduse suhtes eraldi nõudeid seatud, sest tänu meie kliimatilistele tingimustele paljud patogeenid hukuvad suublas. Pinnavett kasutatakse meil joogivee tootmiseks vaid kahes linnas ning mõlemal juhul on tehnoloogia valikul seatud kaasnevaks eesmärgiks patogeensete organismide kõrvaldamine. Heitvee juhtimise korral pinnasesse sõltub patogeensete organismide jõudmine põhjavette pinnase omadustest ning seda arvestatakse joogiveepuurkaevude rajamisel. Taaskasutusveesüsteemide rajamisel võib olla vaja vett täiendavalt puhastada, kui puhastatud reovesi juhitakse jaotusvõrgu kaudu otse tarbijale. Kui reoveesetet kasutatakse põllumajanduses või haljastuses, peab sette muutma hügieeniliselt ohutuks (vt ka jaotist 17), sest nakkushaiguste levimise ohtu peetakse põllumajandusliku kasutuse puhul suureks.

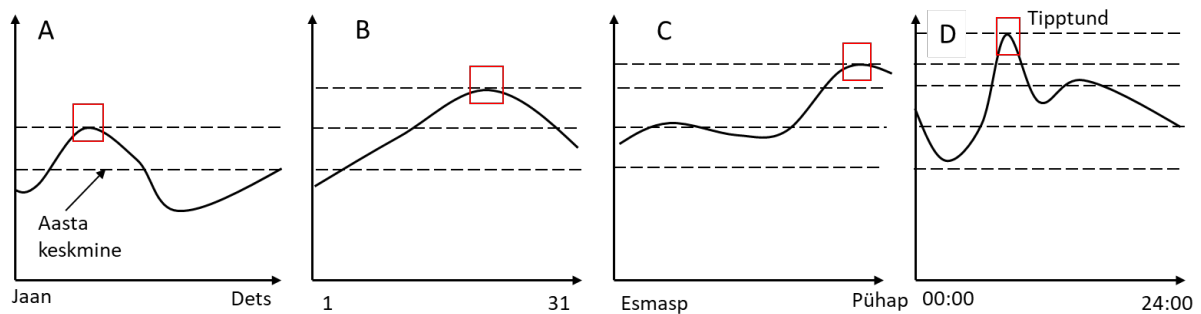
## 1.2 Vooluhulk

Reovee vooluhulka on vaja teada hüdrauliliste arvutuste tegemiseks ja reoveepuhasti eri osade dimensioneerimiseks. Eesmärk on tagada kogu reovee liikumine ühest etapist teise ning välistada üleujutusi või möödavoole. Oluline on, et valitav seade suudaks vastu võtta maksimaalse koguse reovett, jälgides seejuures seadme optimaalset tööpunkti. Tuleb hinnata, kas seade on pikema aja jooksul tõhus nii eesmärgi täitmise kui ka energiakasutuse poolest. Näiteks reoveepumba valikul võib pumba tegelik tööpunkt sattuda tõhususkõvera alumisse punkti ning pump kulutab oluliselt rohkem elektrienergiat, kui sama reoveekogust pumpaks tõhusam pump. Lühikese ajaga võib energiakulu seejuures ületada tõhusama pumba või ühtlustusmahuti maksumuse. Paremate otsuste tegemiseks, s.o seadmete valikul ning puhastiosade dimensioneerimisel on vaja iseloomustada reovee vooluhulkasid kõikides ekstreemolukordades.

Reovee vooluhulk muutub ajas. Kõikumine võib olla hooajaline (suvi, talv, puhkuseperiood vm) või lühiajaline, nt sademevetest või lume sulamisest tulenev infiltratsioon. Ka ööpäevane vooluhulk kõigub, saavutades maksimumi keskpäeval ning miinimumväärtuse varastel hommikutundidel. Olmereovee vooluhulga tüüpilist kõikumist illustreerib joonis 2.4.

Peale inimeste käitumisharjumuste ja tööstusettevõtete töökorralduse mängib reoveepuhastisse jõudva vooluhulga dünaamika kujunemisel olulist rolli ka sademevesi, s.o sademetena langenud ning

ehitiste, sealhulgas kraavide kaudu kogutav ja ärajuhitav vesi. Reoveekogumisalade kanalisatsioonitorustik võib olla ühisvoolne või lahkvoolne. Ühisvoolse kanalisatsiooni puhul juhitakse reovesi ja sademevesi kokku ühte torusse, lahkvoolse puhul on reovee ja sademevee jaoks eraldi torustikud. Reoveepuhastitesse juhitava reovee kogus sõltub lahkvoolse ühiskanalisatsiooniga piirkondades peamiselt liitunud elanike ja ettevõtete arvust ning infiltratsiooni suurusel, ühisvoolses kanalisatsioonis voolava vee hulka mõjutavad sademed.



Joonis 1.4. Reovee vooluhulga varieerumine A aasta lõikes, B maksimaalse vooluhulgaga kuul, C maksimaalse vooluhulgaga nädalal, D maksimaalse vooluhulgaga päeval

Üldjuhul tuleks sademevee suublasse juhtimisel kasutada looduslähedasi lahendusi nagu rohealaid, viibetiike, vihmaedu ja imbkraave, mis võimaldavad sademeveest vabaneda maastiku kujundamise kaudu, vältides sademevee reostumist. Suuremates asulates rajati algul ühisvoolne kanalisatsioon ning hiljem reoveepuhasti ning neis võib reovee vooluhulk suurte vihmavalingute ajal olla mitu korda suurem kui „kuival ajal“. Kuna mitmed puhastusprotsessi osad on hüdraulikaga seotud ning selleks, et vältida ebaotstarbetuid investeeringuid puhasti rajamisel ja käitamisel, on ühisvoolukanalisatsiooniga piirkondades lubatud juhtida sademevett vihmavalingu ajal ülevoolude kaudu suublasse koos reoveega vahekorras vähemalt neli ühele. Reovee ja sademevee vooluhulkade suhtarv määratakse ehitusprojekti. Et reovee ja sademevee suhtarvu leidmise täpne kord puudub, võib kasutada jaotises 1.3.2 kirjeldatud lähenemist.

Ka lahkvoolse ühiskanalisatsiooniga piirkondades võib vihmavalingu- või lumesulaperioodidel ette tulla suuremaid vooluhulgatippe, mida võivad põhjustada kas infiltratsiooni suurenemise kanalisatsioonitorustikku või kinnistu sademevee ebaseadusliku juhtimise ühiskanalisatsiooni.

Reoveepuhastite hüdraulilistes arvutustes lähtutakse tavaliselt tunnikeskimestest vooluhulkadest. Pumpade ja isevoolsete kanalisatsioonitorude insenertehniliste arvutuste tegemiseks on vaja teada ka hetkelisi vooluhulkasid, mille määramist käsitletakse järgmistes jaotistes.

## 1.3 Reovee iseloomustamiseks määratavad näitajad ning nende määramissagedus

Reoveekogumisaladel ja reoveepuhastites kogutakse alati reovett iseloomustavaid andmeid. Piisava asjakohaste andmete olemasolul ning nende õigel töötlemisel on võimalik saada väärtuslikku teavet reovee iseloomu kohta, mis on aluseks reoveepuhasti laienduse projekteerimiseks, puhasti optimeerimiseks või igapäevases käitlustegevuses.

Eestis kasutatavates juhendites ei ole öeldud, milliseid ja kui palju andmeid on reovee kohta vaja. Järgnevates jaotistes antakse sellekohast teavet, tuginedes Saksamaal kehtivale standardile [19].

### 1.3.1 Vajalikud andmed reovee kohta ning nende usaldusväärsuse kontrollimine

Tavaliselt kogutakse reoveepuhastitel järgmisi andmeid: reovee vooluhulgad, ilmastikutingimused (vihmavalingpäevad või kuiva ilma perioodid), reovee temperatuur ja keemiline koostis. Reoveeanalüüside maht ja sagedus sõltuvad uuringu eesmärkidest. Näiteks peavad üle 50-inimekvivalendise koormusega puhastid kord aastas puhastusastme kindlakstegemiseks võtma proovid reoveepuhastisse sisenevast reoveest ning väljuvast heitveest.

Kogutud andmete analüüsimisel tuleb alati veenduda nende õigsuses. Näiteks ega ole suurte vooluhulkade korral rakendunud ülevoolud, mida vooluhulgamõõtur ei registreerinud. Soovitav on kindlaks teha piirkonna väliskanaliseerimise skeem ja toimivus.

Iga andmeanalüüsi alustamisel on vaja eelnevalt määratleda uuritavad näitajad. Seejärel tuleb selgeks teha:

- kas olemasolevad andmed on esinduslikud või mitte: kas vooluhulga mõõtmisandmed on täpsed, kas andmestik on piisav ning kas proovivõtul on kogutud piisavas mahus usaldusväärseid andmeid soovitud näitajate kohta;
- kas vooluhulga mõõtmine tagab järjepideva andmestiku uuritavate perioodide kohta (sisaldavad ka nädalavahetuse- ja tipukoormusi), et oleks võimalik koostada aegrida;
- kas reoveeproovid on analüüsitud akrediteeritud laborites või puhasti enda laboris. Viimasel juhul on soovitatav teha kontrollanalüüs;
- kas on olemas reoveeproovide ööpäevakeskmistatud või vooluhulgaproportsionaalsed analüüsid;
- kas proovivõtukoht on soovitud informatsiooni kogumiseks esinduslik (vt ka lisa 3).

Kui mõni neist punktidest ei ole täidetud, on vaja otsustada, kas vajalikud andmed saadakse lisauuringutega või tuletatakse empiirilisel. Empiirilisi väärtusi tuleks kasutada mõõdetute usaldusväärsuse kontrollimiseks. Väikesel reoveekogumisalal, kus puudub tööstuse mõju ning pikemaajaliste uuringute tegemine ei ole majanduslikult otstarbekas või mõttekas, kasutatakse empiirilisi väärtusi, mida kontrollitakse analüüsidest lühiajalise (nt seitsme ööpäeva) reostuskoormuse andmestikku. Reovee vooluhulgad tuleks siiski kindlaks teha mõõdetud andmete põhjal.

Põhilised näitajad, mida on vaja reovee iseloomustamiseks, on tabelis 2.1.

Tabel 1.1. Reovee iseloomustamiseks vajalikud andmed [19, 20]

Näitaja	Sümbol	Ühik
Kuivailma aastakeskmise vooluhulk	$Q_{KI,aK}$	$m^3/d$
Reovee aastakeskmise vooluhulk	$Q_{aK}$	$m^3/d$
Infiltratsioonivee aastakeskmise vooluhulk	$Q_{inf,aK}$	$m^3/d$
Maksimumvooluhulk	$Q_{h,max}$	$m^3/h$
Kuivailma maksimaalne vooluhulk	$Q_{KI,h,max}$	$m^3/h$
Kuivailma minimaalne vooluhulk	$Q_{KI,h,min}$	$m^3/h$
Biokeemiline hapnikutarve	$C_{BHT}$	$mgO_2/l$
Keemiline hapnikutarve	$C_{KHT}$	$mgO_2/l$
Lahustunud keemiline hapnikutarve	$S_{KHT}$	$mgO_2/l$
Heljuvaine	$X_{KA}$	$mg/l$
Anorgaaniline heljum	$X_{anorg}$	$mg/l$
Üldlämmastik	$C_N$	$mg/l$
Ammoniumlämmastik	$S_{NH_4}$	$mg/l$
Üldfosfor	$C_{TP}$	$mg/l$
Üldleelisus	$S_{alk}$	$mmol/l$

### 1.3.2 Vooluhulga kirjeldamine

Vooluhulga iseloomustamiseks on eelkõige oluline kasutada mõõdetud andmeid. Andmete õigsuse kontrollimiseks on vaja neid võrrelda teoreetiliste väärtustega. Vaja on analüüsida ka piirkonna veetarbimist ning teha kindlaks, kas puhastisse jõudvad vooluhulgad võivad tulevikus suureneda või väheneda. Veetarbimise analüüsimisel tuleb arvestada ka demograafilisi muutuseid, tööstuspiirkondade ning uute asustusalade lisandumist või ära jäämist. See on oluline kuiva aja, s.o võrreest kõige vähem sõltuva reoveekoguse määramisel ning omakorda aluseks reovee ainesisalduse arvutamisel, mis võib olla määrav näitaja puhastustehnoloogia valikul. Allpool käsitletakse joogiveetarbimisele või reovee mõõtmisandmetele tuginevaid arvutusmeetodeid. Kui mõõtmisandmeid pole (nt plaanitakse liita uusarenduspiirkonda), on võimalik vooluhulgad määrata teoreetiliselt.

## Vooluhulga kirjeldamine empiirilisel ning veetarbe kaudu

Ühisveevärgi ja -kanalisatsiooniga piirkondades on andmed tarbitud joogi- ja tootmisvee kohta tavaliselt olemas. Neid andmeid on võimalik vaatlusalusele reoveekogumisalale üle kanda. Juurde tuleb arvestada ettevõtete omaveevärgidest ühiskanalisatsiooni juhitava vee kogus. Maha tuleb aga arvestada see vesi, mis jääb tootesse (nt õlletööstuses) või mida põllumajandusettevõtted kasutavad kastmiseks. Tekkiva reovee aastakeskmise kogus:

$$Q_{aK} = Q_{O,aK} + Q_{teh,aK} \text{ (m}^3\text{/d)}, \quad (2.15)$$

kus  $Q_{O,aK}$  on olmemajapidamiste aastakeskmise joogiveehulk, mis juhitakse kanalisatsiooni ( $\text{m}^3\text{/d}$ ) ning  $Q_{teh,aK}$  – tööstuste aasta keskmine kanaliseeritav vesi ( $\text{m}^3\text{/d}$ ), mis ei pruugi võrrelda vee-ettevõttelt saadud veehulgaga, kui osa sellest läheb tootesse.

Tähelepanu peab juhtima sellele, et valem 2.15 iseloomustab tekkiva reovee kogust, puhastisse juhitud kogus on võõrvee (infiltratsiooni) võrra suurem (vt ka jaotist 0).

Piirkondades, kus ühisveevärg ei kattu ühiskanalisatsiooniga, on reoveehulga leidmine keeruline: vaja on liita kõik tarbitud vee kogused ning maha lahutada need, mida vaadeldava piirkonna ühiskanalisatsiooni ei juhita.

Reovee vooluhulcade määramiseks on vaja analüüsida:

- vee tarbimistrendi vaadeldavas piirkonnas. Selleks on vaja andmeid vähemalt viimase viie aasta olmevee tarbimise ( $\text{m}^3\text{/d}$ ) ning ka tööstuses tarbitud vee kohta. Need andmed võimaldavad hinnata veetarbimise võimalikku suurenemist või vähenemist;
- vee tarbimise hooajalisust: analüüsitakse ühisveevärgi päevaseid ( $\text{m}^3\text{/d}$ ) ning võimaluse korral ka tööstuste omaveevärgi tarbeveekoguseid. See võimaldab hinnata vee tarbimise hooajalisi muutusi;
- määrata vee eritarve  $q_N$  ( $\text{l}/\text{ie}\cdot\text{d}$ ). Selleks on vaja teada ühisveevärgi teeninduspiirkonna inimeste arvu ja nende aastakeskmise veetarvet ( $\text{m}^3\text{/d}$ ). Kui pole näha vee tarbimise olulist muutumist, tuleb analüüsida viimast kolme aastat, andmete puudumisel viimast aastat. Tarbimise kogukogustest tuleb maha arvata tööstustes kasutatav vesi. Kui väärtus jääb väljapoole vahemikku 100 – 150  $\text{l}/\text{ie}\cdot\text{d}$ , tuleb analüüsida selle põhjuseid.

Vee tarbimise analüüsimise peamine eesmärk on kindlaks teha selle muutuseid ning kontrollida olemasolevate andmete usaldusväärsust. Selle analüüsiga saab hinnata ka reoveepuhastisse jõudva

infiltratsioonivee koguseid. Kui mõõtmisandmeid pole, võimaldab vee tarbimise analüüs määrata reoveepuhastisse juhitava vee koguseid.

Reovee aasta keskmist vooluhulka on võimalik leida ka inimese eriveetarbe ja piirkonna tööstuste ja ärihoonete veetarbe kaudu:

$$Q_{aK} = \frac{N \cdot q_N}{1000} + Q_{teh,aK} \quad (\text{m}^3/\text{d}), \quad (2.16)$$

kus  $N$  on inimeste arv piirkonnas;  $q_N$  – keskmine ööpäevane veetarbe inimese kohta (l/ie-d) ning  $Q_{teh,aK}$  – tööstuste ja ärihoonete aastakeskmise kanaliseeritav vesi ( $\text{m}^3/\text{d}$ ).

Vooluhulga arvutamisel võetakse olmereovee eriäravool võrdseks eriveetarbimisega, kasutada võib ka standardi EVS 835 [21] veetarbimise kohta. Nii Saksa kui Eesti standardites loetakse eriveetarbimiseks 100 – 150 l/ie-d, tavaliselt 120 l/ie-d. Ühisveevärgi arengukavades on tegeliku eriveetarbimise väärtused tihti väiksemad kui standardite kohased.

Ettevõtete reoveearvestus sõltub ettevõtte tüübist. Standardist EVS 835 [21] saab leida nii soovituslikke andmeid vee olmetarbimise kohta (tabel 2.2) kui ka mitmesuguste asutuste veetarbimise sõltuvalt voodikohast (haiglad, hotellid jms), töötajate või külastajate arvust vms. Ettevõtetelt pärineva reovee puhul tuleb arvestada ka veetarbimisrežiimi. Elanikud tarbivad vett 365 päeva aastas, asutused/ettevõtted aga olenevalt töökorraldusest 100–365 (tüüpiliselt 225–275) päeva. Asutuste ja ettevõtete veekasutus on erinev nii ööpäevas kui ka nädalapäevade lõikes. Koolid on avatud vaid tööpäevadel ja töö ajal, neil on ka pikad vaheajad, mil veekasutus on minimaalne. Kui asutuste või ettevõtete veekasutus  $Q_{teh,aK}$  ei ole teada, võib selle väärtuseks võtta 10–30% elanike veetarbimisest.

Asulareoveele tuleb juurde arvestada tööstusettevõtete omaveevärgidest ühiskanalisatsiooni jõude vesi.

Tabel 1.2. Ööpäevane veetarbimine inimese kohta standardi EVS 835 järgi

Kasutusotstarve	Tarbimine, l
WC loputusvesi	32
Hügieeni tarvis	60
Pesupesemine	30
Nõudepesu	15
Toiduvalmistamine	4
Puhastus	1
Muud	1
Kokku	143



Reovee aasta keskmine kuiva ilma vooluhulk:

$$Q_{KI,aK} = Q_{aK} + Q_{inf,aK} \text{ (m}^3\text{/d)}, \quad (2.17)$$

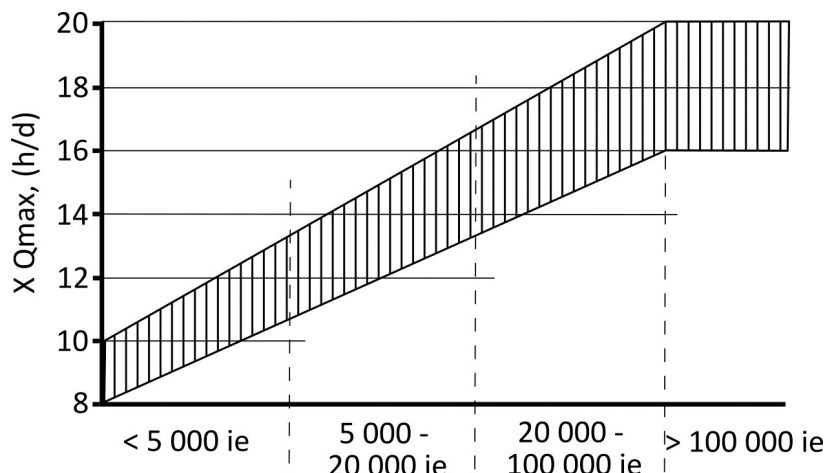
kus  $Q_{aK}$  on reovee aasta keskmine kogus ( $\text{m}^3\text{/d}$ ) ning  $Q_{inf,aK}$  – infiltratsioonivee aasta keskmine kogus ( $\text{m}^3\text{/d}$ ). Infiltratsioonivee kogused leitakse kasutades jaotises 0 kirjeldatud meetodeid.

Maksimaalne kuiva aja kanaliseeritav tunnivooluhulk leitakse jagamisteguri abil jooniselt 2.5. Joonise ülemine ala iseloomustab maksimaalset tunnist vooluhulka ning alumine kahe tunni keskmist vooluhulka. Jagamisteguri väärtus iseloomustab kanalisatsiooni kasutamise aega, mis on väikeasulates perioodilisem kui suurlinnades. Maksimaalne kuiva aja vooluhulk, mis võetakse võrdseks kahe tunni keskmise kuiva ilma vooluhulgaga:

$$Q_{KI,max} = \frac{Q_{aK}}{x_{Qmax}} + \frac{Q_{inf,aK}}{24}, \quad (\text{m}^3\text{/d})$$

(2.18)

kus  $Q_{RV,aK}$  on aasta keskmine kuiva ilma reovee hulk ( $\text{m}^3\text{/d}$ );  $x_{Qmax}$  – jagamistegur, mis iseloomustab kanalisatsiooni kasutamise aega ning  $Q_{inf,aK}$  – aasta keskmine infiltratsioonivee hulk ( $\text{m}^3\text{/h}$ ).



Joonis 1.5. Jagamisteguri väärtus sõltuvalt reoveekogumisala suurusest [21]

Reoveepumplate ja väliskanalisatsioonitorustike projekteerimisel tuleb maksimaalsed ja minimaalsed vooluhulgad määrata EVS 835 [21] meetodikaid kasutades (vt jaotist 3).

### Infiltratsioon

Infiltratsioon on põhja- või muu võõrvee tungimine kanalisatsioonivõrku [21]. Infiltratsioonivee kogused sõltuvad sademetest ja lume sulamisest ning on hooajaliselt muutuvad. Kui torustikud on rajatud allapoole põhjavee taset, võib infiltratsioonivett tekkida 365 päeva aastas. Kuival ajal, kui põhjavee tase on allpool torustiku rajamissügavust, võib reovesi torustikust ka välja lekkida. Vanades

kanalisatsioonivõrkudes võib infiltratsioonivee ööpäevakogus olla reovee omast tunduvalt suurem. Kuna reoveepuhasti toimimist võib negatiivselt mõjutada suur infiltratsioonivee osakaal, on väga oluline õigesti hinnata selle kogust. Infiltratsioonivee hulga määramiseks on kaks võimalust:

- öömiinimumi mõõtmine, mis sobib piirkondadesse (nt väikeasulad), kus öine veetarve on peaaegu olematu. Mõõdetakse puhastisse jõudva reovee vooluhulgad näiteks nädalavahetuste varahommikul (laupäeval või pühapäeval). Mõõta tuleb regulaarselt vähemalt kaks korda kuus. Infiltratsioonivee hooajalise varieerumise hindamiseks on vaja selle kogust mõõta kolme aasta kestel vähemalt kuus korda kuus;
- mõõta reovee ja kanalisatsioonivee ööpäevahulkade vahet. Selleks leitakse kanalisatsioonivee kuiva aja kuumaksimaalsed kogused jaotises 0 kirjeldatud meetodi kohaselt. Saadud väärtusest lahutatakse reovee tarbitud vee koguse põhjal saadud vooluhulgad (jaotis 0).

Kui mõõtmisandmed ei ole, võetakse infiltratsioonivee suurimaks vooluhulgaks 3 l/s torustiku kilomeetri kohta või 1 l/s valgala hektari kohta ( $l/s \cdot ha$ ). Alates 2003. aastast kehtib nõue, et uute kollektorite infiltratsioonivee vooluhulk ei tohi olla suurem kui 0,33 l/s·km [21].

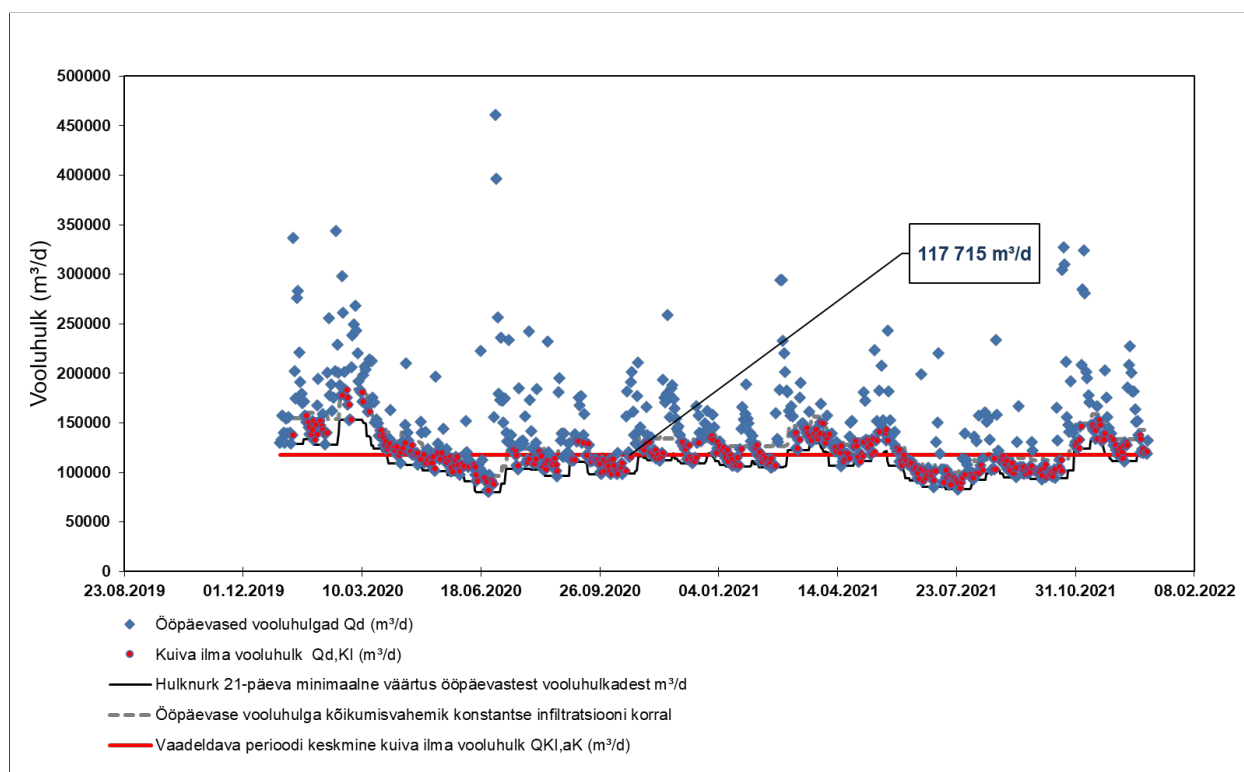
### **Vooluhulga otsene mõõtmine**

Reovee vooluhulga mõõtmine on puhastil tavapärase praktika. Puhastid, mille reostuskoormus on suurem kui 2000 inimekvivalenti, on see kohustuslik. Andmete usaldusväärsuse tagamiseks tuleb kontrollida, kas reoveearvestil on kehtiv taatlusmärgis ning kas vooluhulgamõõtur on nõuete kohaselt paigaldatud.

Andmeanalüüs tuleks teha vähemalt ühe aasta kohta, kui on teada, et infiltratsioonivee kogused on väikesed, kuid kui piirkonna kanalisatsioon on võõrveest suuresti mõjutatud, on parem määramisvahemik kolm kuni viis aastat. Seadmete (võrede, pumplate, kanalite jms) dimensioneerimiseks on vaja lühikese intervalliga salvestatud andmeid (nt 5 minuti keskmistatud väärtused). Reoveepuhasti tehnoloogiliste osade (nt eelsetitid, järelsetitid) analüüsimiseks on vaja ühe ja kahe tunni keskmisi vooluhulgaväärtusi.

Andmeanalüüsiga leitakse aasta keskmine kuiva ilma vooluhulk ( $Q_{kl,aK} m^3/d$ ), maksimumvooluhulk ( $Q_{h,max} m^3/h$ ), ühe ja kahe tunni keskmine maksimaalne vooluhulk ( $Q_{h,max}, Q_{2h,max}, m^3/h$ ) ning kuiva ilma maksimaalne ja minimaalne ühe või kahe tunni keskmine vooluhulk ( $Q_{kl,h,max}, Q_{kl,h,min}, m^3/h$ ). Maksimumvooluhulk (nt viie minuti keskmistatud väärtus) ning ühe ja kahe tunni keskmine vooluhulk leitakse olemasolevast andmestikust. Kuiva aja keskmiste, maksimaalsete ja minimaalsete vooluhulkade leidmisel on eelnevalt vaja kindlaks teha kuiva aja perioodid.

Kuiva ilma vooluhulk on oluline näitaja, mille kaudu arvutatakse reoveepuhastitesse jõudva reovee maksimaalsed ainesisaldused. Selle määramiseks võib kasutada praktikas häid tulemusi andnud Fuchs'i matemaatilist meetodit [22]. Selleks koostatakse vooluhulga ööpäevaandmetest hulknurk, mis saadakse 21 päeva miinumvooluhulkade – vaadeldavast päevast 10 päeva varasemate ja 10 päeva hilisemate minimaalsete ööpäevaste vooluhulkade alusel. Kõik ööpäevavooluhulga väärtused, mis on hulknurgast 20% suuremad, loetakse kuiva aja vooluhulkadeks. Vastav 20%-ne väärtus on tavapärase ööpäevase vooluhulga eeldatav kõikumine konstantse infiltratsiooni korral. Näitlik graafik on esitatud joonisel 2.6. Aasta keskmine kuiva ilma vooluhulk ( $Q_{KI,aK}$  m<sup>3</sup>/d) leitakse tuletatud kuiva ilma väärtuste põhjal matemaatiliselt.



Joonis 1.6. Kuiva aja vooluhulga leidmine matemaatilisel meetodil

Maksimaalne, s.o ka vihmavalingu- või lumesulavee infiltratsiooni arvestav vooluhulk on soovitatav võtta 85–90% tõenäosusega, et välistada ebanormaalselt suuri väärtusi, mis võivad olla tingitud mõõteveast.

### 1.3.3 Reostuskoormuse määramine

Eelnevate jaotiste kohaselt leitud vooluhulkade alusel määratakse reostuskoormused ja maksimaalsed ainesisaldused. Reostuskoormus:

$$R_x = \frac{Q \cdot C_x}{1000 \frac{g}{kg}} \quad (\text{kg/d}),$$

(2.19)

kus Q on mõõtmisperioodi vooluhulk (m<sup>3</sup>/d) ning C<sub>x</sub> – ainesisaldus (mg/l = g/m<sup>3</sup>).

Määratavate näitajate valik sõltub lähteülesandest. Reoveepuhasti reostuskoormus määratakse Eesti seadusandluse kohaselt biokeemilise hapnikutarve järgi (BHT<sub>7</sub>) ning koormuse arvutamiseks piisab sageli BHT<sub>7</sub> määramisest ja vaadeldava mõõtmisperioodi vooluhulga mõõtmisest. Lämmastiku- ning fosforiärastusega reoveepuhastite korral on vaja määrata biopuhastisse siseneva reovee tabelis 2.1 osutatud näitajate väärtused.

Reoveepuhastis võetakse proove põhiliselt kolmest kohast: sissevoolust, eelsetiti väljavoolust või biopuhastusastme sissevoolust ning suublasse juhitud heitveest. Esinduslik on 24 tunni jooksul võetud vooluhulgaproportsionaalne proov. **Punktproov ööpäevase reostuskoormuse määramiseks ei kõlba.**

Reovee reostuskoormuse määramiseks ning puhasti projekteerimiseks, toimimise optimeerimiseks ja/või käitamiseks on vaja teada nädalakeskmisi koormusi. Eesti seadusandluses loetakse puhasti koormuseks aasta maksimaalne **nädalakeskmise** reostuskoormus. Saksa standardid sätestavad selleks **2–4 nädala keskmise** koormuse: kahenädalase reoveepuhasti ja neljanädalase mudatöötluuse jaoks seetõttu, et sellised on aktiivmuda viibeajad vastavates protsessiosades. Vältimaks segadust erinevate keskmistamise ajavahemikega, käsitletakse edaspidi Eestis kasutuses olevat ning harjumuspärast ühenädalast perioodi.

Kõige esinduslikuma reostuskoormuse andmestiku saamiseks tuleb sissevoolu seirata pidevalt nõnda, et nädalas kogutakse vähemalt nelja ööpäeva reostuskoormuse andmed. Proovivõtul on soovitatav koguda nädala jooksul vähemalt 5 või 6 keskmistatud proovi, et välistada võimalikke valeproove.

Selline intensiivne proovivõtt katab kõik aasta nädalad ning nende andmete seast saab leida nädala maksimaalsed, minimaalsed ning keskmised reostuskoormused. Projekteerimise jaoks ja ka käitluse huvides on vaja kindlaks teha nädalakeskmised reostuskoormused madalaima ja kõrgeima temperatuuri ajal ning puhasti dimensioneerimise aluseks võetud temperatuuril.

Minimaalne ja maksimaalne temperatuur leitakse kahe nädala libiseva keskmise väärtusena kahe viimase aasta andmestikust ning eelistatult reoveepuhasti väljavooluveest või alternatiivina puhastisse sisenevast reoveest.

Kui reostuskoormus hooajaliselt kõigub, on vaja kindlaks teha vastavate perioodide nädalakeskmiste proovide maksimaalne väärtus. Hooajaline on kõikumine siis, kui näiteks ühes kuus leitud maksimaalne või minimaalne koormus erineb aasta keskmisest reostuskoormusest rohkem kui 20%.

Kui andmed (vähemalt nelja päeva reostuskoormus nädalas) puuduvad ning intensiivne proovide võtmine ei ole otstarbekas, võib võtta aluseks ka tehtud analüüside põhised 85% tõenäosusega koormused. Selleks tuleb statistilise analüüsiga leida väärtus, millest kõik teised jäävad 85% tõenäosusega väiksemaks. Analüüsitava perioodi peab seejuures olema vähemalt kolm aastat pikk ning analüüsitava reostuskoormuste päevade arv, mis jaguneb ühtlaselt vastavale perioodile, vähemalt 40. Proovid peavad jagunema teadaoleva maksimaalse koormusega perioodile ning minimaalse või maksimaalse temperatuuriga perioodidele. Hooajalise kõikumise korral tuleb analüüsida just neid perioode. Näiteks lämmastikuärastuse seisukohalt on vaja analüüsida reostuskoormuse väärtusi minimaalse temperatuuri ajal (talvel) ning õhustussüsteemi maksimaalse võimsuse seisukohalt reostuskoormuse väärtusi reovee maksimaalse temperatuuri ajal (suvel). See tähendaks kolme aasta jooksul 40 proovi võtmist talve- ning 40 proovi võtmist suveperioodil. Projekteerimise aluseks valitud koormustest ning ka puhasti klassifitseerimise aluseks võetud koormuse (aasta maksimaalne nädala keskmine koormus) arvutamisel on Eesti seadusandluses määratud, et tuleb arvestada seitsme järjestikuse päeva analüüsidega, järelikult ei piisa nelja reostuskoormuspäeva analüüsist või 85% tõenäosusega koormustest. Puhastite klassifitseerimisel reostuskoormuse järgi ei arvestata puhasti territooriumil tekkivaid koormusi (nt mudatööstusest tulevat koormust, kui see on märkimisväärne). Selleks valitakse kas sobiv proovivõtukoht või need koormused mõõdetakse. Kui seda tehakse, on oluline märkida koormuste tekkimise ajavahemik. Aasta maksimaalse reostuskoormusega nädala valimine analüüsimiseks on tihtipeale keeruline ning vaieldav. Soovitatav on teha analüüse sagedasti ning jagada uuringupäevad aasta erinevatele perioodidele.

Pärast reostuskoormuse kindlaks tegemist leitakse maksimaalsed reoainesisaldused, mis iseloomustavad reovett ajal, mil vooluhulgad on väikesed ja reoainesisaldused seetõttu suured. Kui reostuskoormused on leitud nädalakeskmistena, leitakse reovee maksimaalsed ainesisaldused vastava perioodi (4–10 nädala) kuiva aja vooluhulga järgi. Kui reostuskoormused leiti 85% tõenäosusega väärtustest, siis maksimaalsete ainesisaldused leitakse puhasti dimensioneerimise aluseks võetud temperatuuri aegse kuu keskmine kuiva ilma vooluhulk.

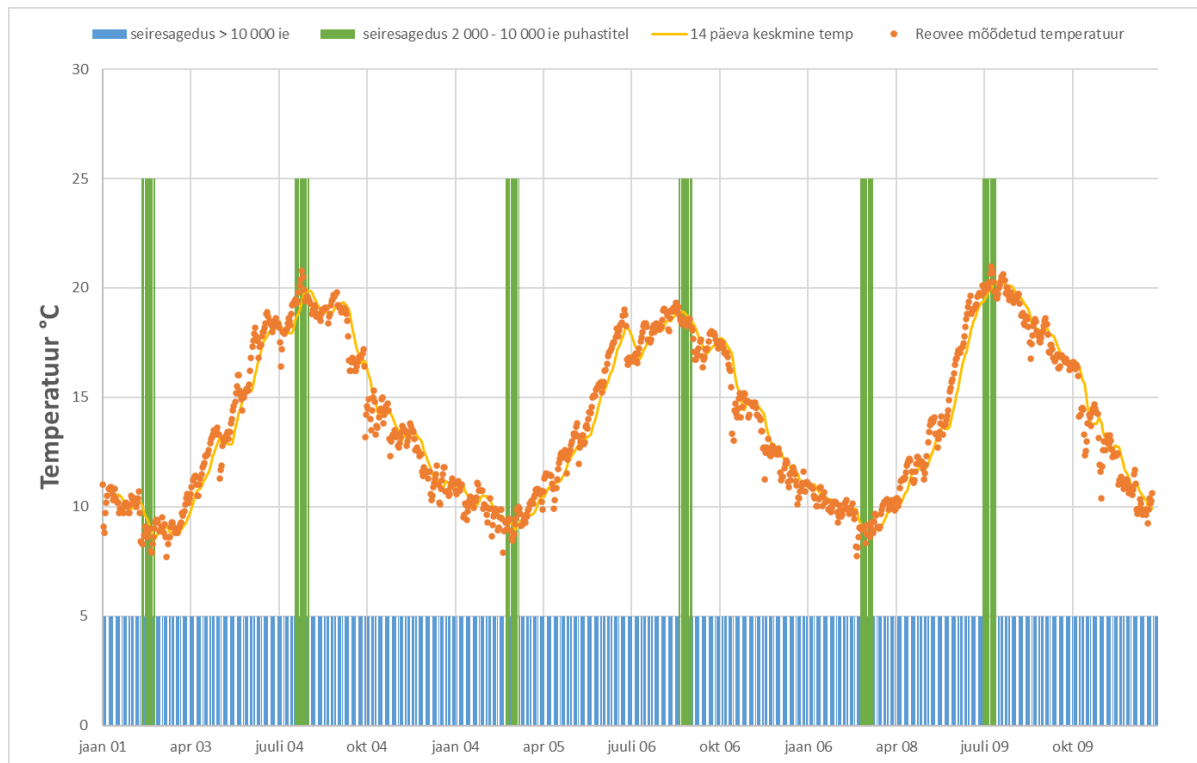
Sage analüüsimine võib olla puhasti haldajale kulukas. Eesti seadusandluses nõutakse, et üle 2000 ie koormusega puhastis tuleb kord aastas seitsme päeva kestel analüüsida reostuskoormust ainult BHT<sub>7</sub> alusel. Neist andmeist ei piisa aga reovee reostuskoormuse määramiseks kõigi näitajate osas. Allolevas tabelis 2.3 on toodud proovide analüüsimise soovituslik arv aastas sõltuvalt määratavast näitajast.

Analüüside arvu ja nende maksumuse vähendamiseks on mõistlik võtta määratavaks põhinäitajaks KHT ning teised näitajad avaldada selle kaudu. Ülejäänud päevade väärtused arvutatakse selle näitaja ja KHT varem määratud suhte järgi. Analüüside sagedus sõltub puhasti reostuskoormusest. Kulude vähendamiseks on soovitatav 2000–10000 ie koormusega puhastid dimensioneerida 85% koormuse alusel ning üle 10 000 ie koormusega puhastid nädalakeskmiste (4 analüüsipäeva nädalas) analüüside alusel. Alla 2000 ie koormusega puhasti reostuskoormus on soovitatav määrata empiirilisel.

Joonisel 2.7 on esitatud eri suurusega puhastite soovituslikud seiresagedused. Puhastitel koormusega 2 000 kuni 10 000 ie on soovitatav teha reostuskoormuse kahe nädala pikkuseid uuringuid neil perioodidel, kui reovee temperatuur on maksimaalne ja minimaalne. Üle 10 000 ie puhastil on soovitatav analüüsida sissevooluvett vähemalt neli korda nädalas kogu aasta vältel.

Tabel 1.3. Soovituslikud analüüsid ning nende tegemise sagedus

Näitaja	Sümbol	Ühik	Määramissagedus (korda aastas)	
			2 000–10 000 ie	>10 000 ie
Biokeemiline hapnikutarve	$C_{BHT}$	mgO <sub>2</sub> /l	14	48
Keemiline hapnikutarve	$C_{KHT}$	mgO <sub>2</sub> /l	28	192
Lahustunud keemiline hapnikutarve	$S_{KHT}$	mgO <sub>2</sub> /l	14	48
Heljuvaine	$X_{KA}$	mg/l	14	48
Anorgaaniline heljum	$X_{anorg}$	mg/l	14	48
Üldlämmastik	$C_N$	mg/l	14	48
Ammoniumlämmastik	$S_{NH_4}$	mg/l	14	48
Üldfosfor	$C_{TP}$	mg/l	14	48
Üldleelisus	$S_{alk}$	mmol/l	14	48



Joonis.1.7. Eri suurusega puhastite reostuskoormuse soovitatavad uuringuperioodid

Olukorras, kus puuduvad esinduslikud mõõtmisandmed ning reovee iseloomustamiseks ei saa kasutada ka 85% tõenäosusega koormuse väärtuseid ning pikemaajaline koormuse uuring ei ole olustarbekas, on võimalik leida puhasti reostuskoormus järgnevalt:

- tuginetakse sarnase reostuskoormusega ala koormusandmestikule;
- reostuskoormus tuletatakse ühiskanalisatsiooniga liitunud elanike ja inimekvivalentide arvu kaudu.

Kõige tavapärasem on inimekvivalentilist koormust arvutada kasutades tabelis 2.4 toodud väärtuseid. Neile ei lubata küll tugineda tööstustest ja/või ärihoonetest pärinevate koormuste kindlakstegemiseks, küll aga on nende abil võimalik võrrelda eri päritolu reoveekoormusi. Tööstuse koormused tuleb hinnata eraldi. Oluline on teada, et Eestis loetakse üheks inimekvivalentiks seitsmepäevase BHT testi 60 g suurust tulemust [23].

Empiirilistelt tuletatud koormustest leitakse olulised reovee ainesisaldused aasta keskmise kuiva aja vooluhulga  $Q_{kl,ak}$  puhuks, mis leitakse nii, nagu kirjeldatud jaotises 2.2. Need ainesisaldused on tavapäraselt suuremad kui reaalse mõõtmise korral, sest tabelis 2.4 on 85% tõenäosusega koormused.

Tabel 1.4. Inimekvivalendi tinglikud koormused g/ie-d (85% tõenäosusega väärtused).

Näitaja	Reovesi	Pärast eelsetit, sõltuvalt hüdraulilisest viibeajast $Q_{KI,h,max}$ puhul	
		0,5–1,0 h	1,5–2,0 h
Biokeemiline hapnikutarve (BHT <sub>5</sub> )	60	45	40
Keemiline hapnikutarve	120	90	80
Heljuvaine	70	35	25
Kogulämmastik	11	10	10
Üldfosfor	1,8	1,6	1,6

## 1.4 Reovee omadused sõltuvalt päritolust

Reovee inimekvivalentide kaudu tuletatud ainesisaldused võivad tegelikest väga suurel määral erineda ning kui reoveekogumisala on olemas, on soovitatav teha lühiajaline kontrollmõõtmine. Inimekvivalendi tabelis 2.5 esitatud koormused tuginevad Saksamaa andmetele, riigiti ja ka asula-põhiliselt võivad nad väga erinevad olla. Ainesisaldused sõltuvad kohalikest iseärasustest, näiteks reovee temperatuurist ning sellest tulenevast reoainete kiiremast või aeglasemast lagunemisest juba kanalisatsioonis, erinevusest toidujääkide kõrvaldamises (nt köögihundi kasutamisest) ja infiltratsioonist [24].

Tööstustest pärineva reovee puhul on oluline määrata selle KHT-fraktsioonid, sest reoveepuhastite dimensioneerimise käik on mõeldud olmereovee jaoks. Tabelis 2.5, milles on esitatud näiteid eri tööstusrajatiste reoveest, on näha, et eri tehaste reovee näitajad on väga erinevad. Kuna ka sama tööstusharu eri tootmisüksustes võivad tegevused oluliselt erineda, ei ole soovitatav tabelis 2.6 toodud KHT fraktsioone võtta aluseks sama tööstusharu reovee iseloomustamiseks, vaid need tuleb kindlaks teha iga reoveevoolu jaoks eraldi.

Tabel 1.5. Tööstusreovee KHT-fraktsioonide ainesisaldus, %

Näitaja	Sümbol	Kalajahu-tehas	Õlitööstus koos olmereoveega	Piima-tööstus	Juustu-tööstus	Olme-reovesi
Kogu-KHT	$C_{KHT}$	100	100	100	100	100
Biolagunev KHT	$C_{KHT,bio}$	98,0	58,2	93,6	97,2	71,4
Kergesti lagunev KHT	$C_{KHT,kl}$	71,4	40,7	46,5	48,2	15,4
Aeglaselt lagunev KHT	$C_{KHT,al}$	26,6	17,5	47,1	49,0	56,0
Mittelagunev KHT	$C_{KHT,inert}$	2,0	41,8	6,4	2,8	28,6
Lahustunud mittelagunev KHT	$S_{KHT,inert}$	0,7	9,0	2,8	1,4	4,4
Heljumisse seotud mittelagunev KHT	$X_{KHT,inert}$	1,0	25,8	1,0	0,0	14,0
Lahustunud KHT	$S_{KHT}$	72,4	56,6	51,9	51,0	30,0
Anorgaaniline heljum	$X_{anorg}$	3,3	3,2	1,6	5	30



