

**PEAMISTE EESTIS KASUTATAVATE REOVEE  
PUHASTUSTEHNOLOOGIATE TEGELIK JA  
ARVUTUSLIK ELEKTRI ERIKULU**

ACTUAL AND CALCULATED ELECTRICITY CONSUMPTION OF THE MAIN  
WASTEWATER TREATMENT TECHNOLOGIES USED IN ESTONIA

Magistritöö

Keskkonnatehnika spetsialiseerumisega materjalide taaskasutusele ja ettevõtte juhtimisele

Üliõpilane: Kaspar Kala

---

(allkiri)

Juhendaja: Kert Alasoo

---

(allkiri)

Tartu, 2017

Olen koostanud lõputöö iseseisvalt. Kõik töö koostamisel kasutatud teiste autorite tööd, olulised seisukohad, kirjandusallikatest ja mujalt pärinevad andmed on viidatud.

..... (töö autori allkiri ja kuupäev)

Üliõpilase kood: 122509EAKI

Töö vastab magistritööle esitatud nõuetele

..... (juhendaja allkiri ja kuupäev)

Kaitsmisele lubatud: ..... (kuupäev)

Kaitsmiskomisjoni esimees: ..... (allkiri)

## ABSTRACT

The present dissertation *Actual and Calculated Electricity Consumption of the Main Wastewater Treatment Technologies Used in Estonia* by Kaspar Kala under the supervision on Mr Kert Alasoo to pursue M.Sc degree. The Master's thesis consists of 70 pages of text, 6 figures, 16 tables, 25 references and 9 appendixes. The thesis has been written in Estonian and composed in Tartu, 2017.

Water is the most common resource in the world and it is used by everyone. Most of the water that people use eventually reaches the waste water treatment plant. It is important to process it properly in order to ensure the pureness of water bodies. Approximately 30 percent of the wastewater treatment is budgeted for energy use. The electric energy consumption of wastewater treatment plants in industrialised countries is about one percent of the total national demand. During the next few years the electricity requirements for wastewater treatment are expected to increase. This will lead companies to make their plants more effective and to develop more economical solutions.

The aim of this Master's thesis is to compare and analyse the consumption of electricity in different wastewater treatment plants in Estonia. After that calculate the electric energy consumption of different treatment technologies and compare them with data received from water companies.

There are 32 wastewater treatment plants analysed in the reaserch part and they have been devided into three groups according to the technology they use. The study shows that average electric energy consumption of all plants is 3,98 kWh/m<sup>3</sup>. Technology with the lowest electric energy consumption is sequencing batch reactor with 3,25 kWh/m<sup>3</sup>. Technology with the highest electricity consumption is Biofilter treatment, with 5,03 kWh/m<sup>3</sup>. The electric energy consumption of activated sludge treatment is 3,92 kWh/m<sup>3</sup>.

Calculated electricity consumptions of different wastewater treatment technologies are smaller than values received from water companies. The calculations shows that average calculated electric energy consumption of all plants is 1,30 kWh/m<sup>3</sup>. Technology with the lowest calculated electric energy consumption is sequencing batch reactor with 1,03 kWh/m<sup>3</sup>. Technology with the highest electricity consumption is activated sludge process, with 1,66 kWh/m<sup>3</sup>. The electric energy consumption of biofilter process is 1,23 kWh/m<sup>3</sup>.

Calculated electricity consumption is smaller than actual electricity consumption due to the fact that the electricity used in primary treatment process and electricity used for heating the building are not considered in calculations. Also the plants are dimensioned quite accurately, without reserves.

Finally, actual and calculated electric energy consumption of the main wastewater treatment technologies in Estonia are compared and analyzed.

**Keywords:** wastewater treatment, actual and calculated electricity consumption, SBR, Activated Sludge Process, Biofilter Process

# SISUKORD

ABSTRACT .....	2
SISUKORD .....	4
TÄHISED JA LÜHENDID .....	7
SISSEJUHATUS .....	8
1 REOVEEPUHASTUSE TEHNOLOOGIAD JA ELEKTRIKULU .....	10
1.1 Üldist.....	10
1.2 Mehaaniline puhastus .....	10
1.3 Bioloogiline puhastus .....	11
1.3.1 Lävivooluga aktiivmudapuhasti .....	11
1.3.2 Aktiivmuda annuspuhasti .....	12
1.3.3 Biokilepuhastid.....	14
1.4 Reoveepuhasti elektrikulu.....	16
1.4.1 Elektrikulu aereerimisel.....	17
1.4.2 Elektrikulu pumpamisel.....	17
2 TÖÖ EESMÄRK JA ÜLESANDED .....	19
3 MATERJAL JA METOODIKA.....	20
3.1 Uurimuslik osa.....	20
3.2 Arvutuslik osa .....	21
4 REOVEEPUHASTITE ELEKTRI ERIKULU UURIMINE .....	23
4.1 Sissejuhatus.....	23
4.2 Reoveepuhastite keskmine elektri erikulu .....	23
4.3 Puhastite grupeerimine .....	24
4.3.1 Puhastustehnoloogia järgi.....	24
4.3.2 Suuruse järgi.....	26
4.4 Puhastite elektri erikulu kvartalite lõikes.....	31

5	REOVEEPUHASTITE ARVUTUSLIK ELEKTRI ERIKULU .....	36
5.1	Sissejuhatus.....	36
5.2	Reoveepuhastite dimensioneerimine .....	36
5.2.1	Dimensioneerimise lähteandmed.....	36
5.2.2	Läbivooluga aktiivmudapuhasti dimensioneerimine.....	41
5.2.3	Aktiivmuda annuspuhasti dimensioneerimine.....	49
5.2.4	Arvutustulemused.....	55
5.3	Reoveepuhastite elektri erikulu .....	58
5.3.1	Sissejuhatus .....	58
5.3.2	Läbivooluga aktiivmudapuhastid .....	59
5.3.3	Aktiivmuda annuspuhastid .....	60
5.3.4	Biokilepuhastid.....	62
6	TULEMUSED JA ANALÜÜS .....	64
	KOKKUVÕTE .....	69
	KASUTATUD KIRJANDUS .....	71
	LISAD .....	73
	Lisa 1. Reoveepuhastite nimekiri .....	74
	Lisa 2. Kõikide puhastite elektri erikulu kvartalite kaupa.....	75
	Lisa 3. Läbivooluga aktiivmudapuhastite elektri erikulu kvartalite kaupa .....	77
	Lisa 4. Aktiivmuda annuspuhastite elektri erikulu kvartalite kaupa .....	79
	Lisa 5. Biokilepuhastite elektri erikulu kvartalite kaupa.....	80
	Lisa 6. Suuruse järgi grupeeritud puhastite elektri erikulu kvartalite kaupa.....	81
	Lisa 7. Läbivooluga aktiivmudapuhastite ja seal kasutatavate seadmete dimensioneerimiseks teostatud arvutused .....	83
	Lisa 8. Aktiivmuda annuspuhastite ja seal kasutatavate seadmete dimensioneerimiseks teostatud arvutused .....	96
	Lisa 9. Kõikide puhastite elektri erikulu ja keskmine elektri erikulu.....	112

## **GRAAFILINE OSA**

Joonis 1. Lävivooluga aktiivmudapuhasti (35 m<sup>3</sup>/d) tehnoloogiline skeem

Joonis 2. Lävivooluga aktiivmudapuhasti (70 m<sup>3</sup>/d) tehnoloogiline skeem

Joonis 3. Aktiivmuda annuspunasti (35 m<sup>3</sup>/d) tehnoloogiline skeem

Joonis 4. Aktiivmuda annuspunasti (70 m<sup>3</sup>/d) tehnoloogiline skeem

Joonis 5. Biokilepuhasti (35 m<sup>3</sup>/d) tehnoloogiline skeem

Joonis 6. Biokilepuhasti (70 m<sup>3</sup>/d) tehnoloogiline skeem

## TÄHISED JA LÜHENDID

Aeroobne keskkond – keskkond, milles on vaba hapnikku [11].

Aktiivmuda – helbeline mass, mis sisaldab vees hõljuvaid mikroorganisme ja tekib reovee puhastamisel [7].

Anaeroobne keskkond – keskkond, milles ei ole vaba hapnikku [11].

Anoksiline keskkond - keskkond, milles ei ole vaba hapnikku, aga leidub hapnikku nitraatides ja nitritites [7].

Biloolgiline hapnikutarve (BHT) – vees lahustunud hapniku mass (mg/l), mis kindlates tingimustes kulub vees sisalduva orgaanilise ja/või anorgaanilise aine bioloogiliseks oksüdeerimiseks [11].

Denitrifikatsioon – nitraatide ja nitritite redutseerimine gaasiliseks lämmastikuks [7].

EVV – AS Emajõe Veevärk.

Heitvesi – suublasse juhitud reoveepuhastis puhastatud vesi [11].

Heljum (HA) – ainemass vedeliku mahuühikus [7].

Inimekvivalent (ie) – ühe inimese tekitatud keskmise ööpäevase reostuskoormuse ühik [11].

Jääk- e liigmuda – aktiivmuda, mis eemaldatakse ja suunatakse edasiseks töötluks [6].

Keemiline hapnikutarve (KHT) – veeproovi töötlemisel dikromaadiga kulunud ekvivalentne hapnikumass mahuühiku kohta [7].

Nitrifikatsioon – ammooniumioonide oksüdeerimine bakterite toimel nitraatideks [7].

Reostuskoormus – reovee koguse ja reoaine korrutis [11].

Reovesi – vesi, mis on üle kahjustuspiiri rikutud ja vajab enne suublasse juhtimist puhastamist [11].

Suubla – veekogu, kuhu juhitakse heitvesi [11].

Tagastusmuda – aktiivmudasegu, mis juhitakse protsessi tagasi [6].

Viibeag – aeg, mille kestel reovesi viibib reoveepuhastis [11].

ÜVK – ühisveevärk ja -kanalisatsioon.



## SISSEJUHATUS

Vesi on üks kõige levinumaid maavarasid ning me kõik puutume sellega igapäevaselt kokku. Suurem osa inimeste poolt kasutatud veest jõuab lõpuks kanalisatsiooni ja sealt edasi reoveepuhastisse. Reovee koosseisus jõuab puhastitesse ka väga palju saasteaineid, mis võivad vees esineda lahustumata või lahustunud kujul. Koostiselt võivad need olla mineraalsed, orgaanilised või bakteriaalsed. [1, lk. 270]

Veekogud saastuvad nii looduslikul kui ka kunstlikul teel. Looduslik saastamine (vihmaveega, surnud organismidega jne.) on väike võrreldes kunstlikul teel saastamisega, mis võib veekogus hävitada igasuguse elu. Vältimaks veekogude saastumist on väga oluline, et reovesi saaks vajalikul määral puhastatud. [1, lk. 273]

Reoveepuhastuseks kasutatakse nii tehnilisi kui ka looduslähedasi meetodeid ja neid rakendatakse koos või eraldi. Tehnilised puhastusmeetodid jagunevad mehaaniliseks, keemiliseks ja bioloogiliseks puhastuseks. Looduslähedased puhastusmeetodid vajavad tehnilistest puhastitest vähem energiat, kuid on ka vähem efektiivsemad. Looduslähedastest meetoditest on kõige levinum biotiikide kasutamine. [2, lk. 87-88]

Vesi ja energia on omavahel tihedasti seotud. Kõik etapid veeringluses (joogivee töötlemine ja tarnimine, reovee kogumine ja töötlemine) vajavad elektrit [3]. Tavaliselt moodustab elekteritarbimine umbes ühe kolmandiku [4, lk. 1075] kogu reoveepuhasti hoolduskuludest. Reoveepuhastite elekteritarbimine on tööstusriikides umbes 1% kogu riigi elektrikasutusest, aga võib moodustab kuni kolmandiku avalikus sektoris kasutatavast elektrist [5]. Järgnevate 20-30 aastaga on oodata, et reovee puhastamiseks kasutatava elektri hulk suureneb 30-40% [4, lk. 1703], tänu suurenevale reoveekogumisalale, mis toob kaasa puhastitesse jõudva reovee koguse kasvu. Peale puhastusprotsessi käimashoidmise kulub suuremates reoveepuhastites elektrit veel tehnohoones vajalike tingimuste tagamiseks, nt hoone kütmine, ventileerimine, valgustamine. Reoveepuhastite elekteritarbimise vähendamiseks ja sellega seonduvalt reovee puhastuse hinna alandamiseks on hakatud välja töötama järjest tõhusamaid ja ökonoomsemaid tehnoloogilisi lahendusi [4, lk. 1073].

Antud magistritöös keskendutakse reovee bioloogilisele puhastusele ja eesmärgiks on võrrelda Eestis kolme enamlevinud reoveepuhasti tüübi elektri erikulu. Arvutuslikus osas leitakse kolme erineva reovee puhastustehnoloogia arvutuslik elektri erikulu kahe erineva

reostuskoormuse ja vooluhulga korral ja võrreldakse tulemusi vee-ettevõtete käest saadud andmetega.

Käesolevas töös analüüsitakse kolme vee-ettevõtte poolt hallatavat 32 reoveepuhasti (vt Lisa 1) elektri erikulu. Analüüsitavad reoveepuhastid asuvad Ida-Viru, Jõgeva, Lääne-Viru, Tartu ja Viljandi maakonnas. Kasutatava reoveepuhastuse tehnoloogia järgi jagunevad need reoveepuhastid tavalisteks ehk läbivooluga aktiivmudapuhastiteks, aktiivmuda annuspuhastiteks ning biokilepuhastiteks.

Töös kasutatavad andmed saadi AS Emajõe Veevärk, Kadrina Soojus AS ja Ramsi VK OÜ käest.

Puhastite arvutamisel ja dimensioneerimisel lähtutakse kahest Saksa juhendmaterjalist:

- Standard ATV-DVWK-A\_131E: „Dimensioning of Single-Stage Activated Sludge Plants“;
- Eeskiri DWA-M\_210: „Belebungsanlagen mit Aufstaubetrieb (SBR)“.

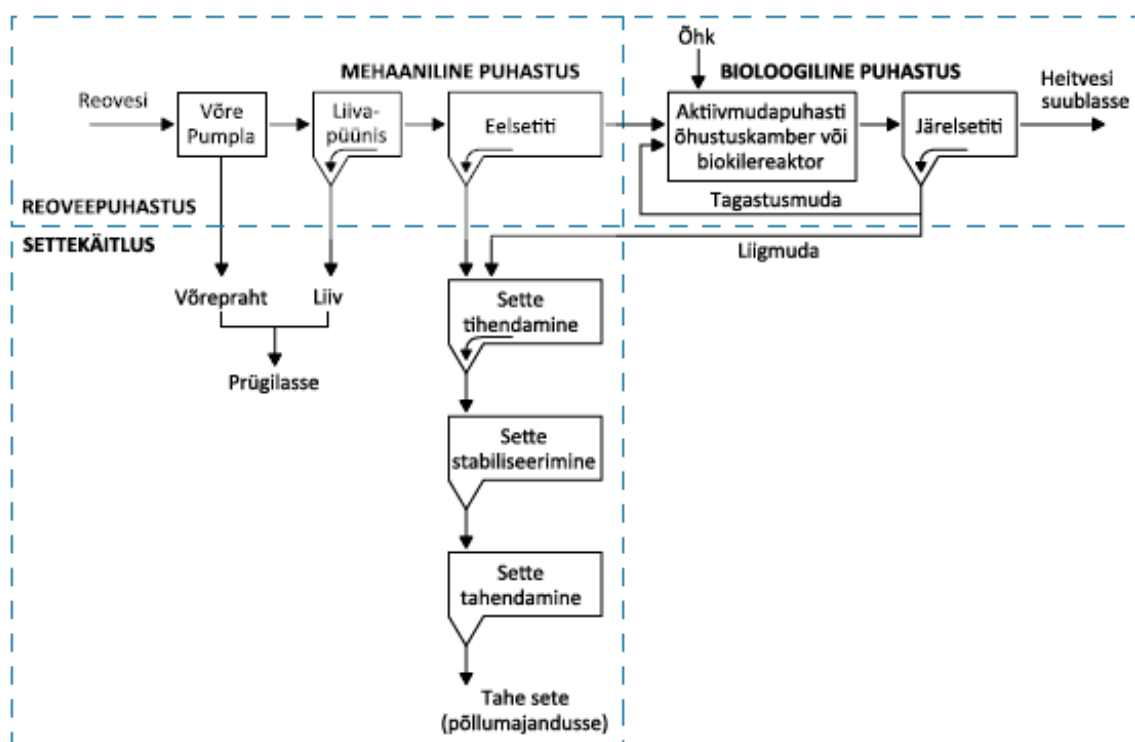
Magistritöö esimeses osas tuuakse ülevaade ja võrreldakse erinevaid puhastustehnoloogiaid ning antakse ülevaade reoveepuhastite elektrikulu kohta. Teises osas püstitatakse magistritöö eesmärgid. Kolmandas osas kirjeldatakse, kust on töös kasutatavad materjalid saadud ja milliseid meetodikaid kasutatakse. Neljandas osas leitakse vee-ettevõtetelt saadud andmete põhjal erinevate reoveepuhastite elektri erikulu ja võrreldakse tulemusi omavahel. Magistritöö viiendas osas dimensioneeritakse kahe erineva reostuskoormuse ja vooluhulga järgi reoveepuhastid ning leitakse nende arvutuslik elektri erikulu. Töö kuuendas osas tuuakse välja neljandas ja viiendas osas saadud tulemused ning võrreldakse ja analüüsitakse neid. Seitsmendas osas tehakse tööst kokkuvõte.

# 1 REOVEEPUHASTUSE TEHNOLOOGIAD JA ELEKTRIKULU

## 1.1 Üldist

Reovee töötlemiseks kasutatakse nii tehnilisi kui ka looduslähedasi meetodeid ja neid rakendatakse koos või eraldi. Looduslähedastest meetoditest on kõige levinum biotiikide kasutamine. Tehnilised puhastusmeetodid jagunevad mehaaniliseks, keemiliseks ja bioloogiliseks puhastuseks. [2, lk. 87-88]

Reoveepuhastus on astmeline (vt. joonis 1.1). Esimene puhastusaste koosneb eel- ja mehaanilisest puhastusest. Teise astme moodustab bioloogiline ja kolmanda keemiline puhastus. [6, lk. 12; 7, lk. 12].



Joonis 1.1. Reoveepuhasti põhimõtteskeem [6, lk. 12]

## 1.2 Mehaaniline puhastus

Mehaanilist puhastust kasutatakse reovees lahustumatute võõriste eemaldamiseks. Selleks kasutatakse erinevaid füüsilisi võtteid, nt kurnamine, sõelumine, setitamine. Ujuprahi eemaldamiseks kasutatakse erineva suurusega võresid ja sõelureid. Mineraalsed võõrised saadakse kätte liivapüünis ja orgaaniline heljum eelsetitis. Reostus, mis on veest kergem, nt toiduõlid, rasvad, bensiin, eemaldatakse reoveest pinnale ujutades. [6, lk. 13]

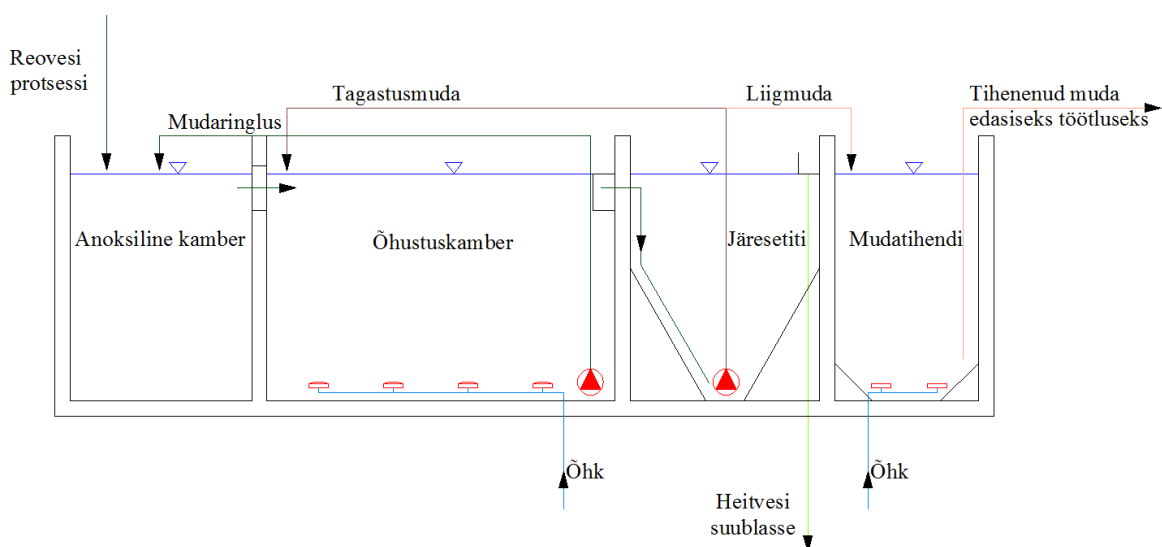
Mehaanilise puhastuse korrektne töö on väga oluline, sest see tagab puhastusprotsessi tõrgeteta toimimise. Eelpuhastusest läbi pääsenud võõrised võivad ummistada pumpasid või kahjustada nende töörikkaid. Bioloogilisse puhastusprotsessi sattunud mineraalsed osakesed võivad ummistada aeraatoreid. [7, lk. 13]

### 1.3 Bioloogiline puhastus

Bioloogilise puhastuse käigus eemaldatakse orgaaniline aine reoveest mikroorganismide abil, kes kasutavad seda oma elutegevuses. Orgaanilise aine lagundamiseks kasutatakse aeroobset, anoksilist või anaeroobset keskkonda. Tänapäeval suudavad reoveepuhastid kõrvaldada nii süsinikühendeid ( $BHT_7$ ) kui ka lämmastiku- ja fosforiühendeid, kuid erinevad bioloogilise puhastuse tehnoloogiad ei ole nende ühendite suhtes ühtmoodi tõhusad. Aktiivmudapuhastid, erinevalt biokilepuhastitest, suudavad reoveest eemaldada peale süsinikuühendite ka lämmastiku- ja fosforiühendeid. Tehnoloogia valik sõltub puhasti koormusest ja heitveele kehtestatud nõuetest. [6, lk. 17]

#### 1.3.1 Läbivooluga aktiivmudapuhasti

Läbivooluga aktiivmudapuhasti (joonis 1.2) on tänapäeval enim kasutatav bioloogiline puhasti. Puhasti koosneb anoksilise kambri, õhustuskambri, järelseti ja mudatihendi ning mudatihendist [6, lk. 18].



**Joonis 1.2.** Läbivooluga aktiivmudapuhasti põhimõtteskeem

Anoksilisse kambrit jõuab mehaaniliselt eelpuhastatud reovesi. Anoksiline kamber toimib ka ühtlustusmahutina ja see tagab, et puhastusprotsessi jõuab ühtlane reovee vooluhulk ning kindlustab seega protsessi stabiilse töö. [7, lk 14]

Õhustuskambris toimub reovee ja aktiivmudasegu aereerimine ja segamine. Väiksemates läbivooluga aktiivmudapuhastites kasutatakse kestusõhustust, ning reovesi viibib õhustuskambris kauem, umbes ööpäev. Sellisel juhul peaaegu kogu orgaaniline aine mineraliseerub ja tänu sellele tekib vähem jääkmuda. [6, lk 18-19]

Järelsetitis eraldub raskusjõu mõjul aktiivmudasegust aktiivmuda ning puhastatud ja selgenenud vesi. Heitvesi juhitakse järelsetiti pealmisest kihist suublasse või järeldpuhastuseks biotiiki. Aktiivmuda pumbatakse õhustuskambrisse tagasi (tagastusmuda) või eemaldatakse protsessist (jääk- e liigmuda). [6, lk. 18]

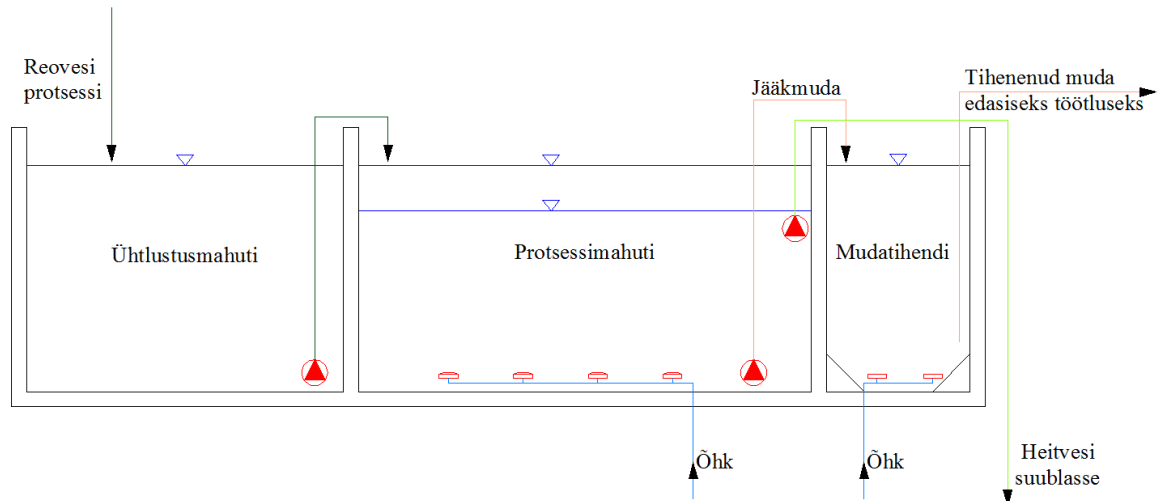
Mudatihendis toimub jääkmuda tihenemine. Mudatihendist viiakse tihenendud muda edasisse töötlusesse.

Läbivooluga aktiivmudapuhasti töötab ilma tõrgeteta, kui tagastatava muda kogus on õige ja eelpuhastusprotsess toimib korrektselt. Puhastisse sisenev reovesi peab olema kindla kangusega ja ei tohi sisaldada üleliia toksilisi ühendeid. Protsessi normaalset kulgu segab ka hüdraulilise koormuse suur kõikumine. Jälgima peab ka reovee pH väärtust ja temperatuuri. Valede käitumisvõtete korral võib tekkida probleeme muda settivusega ja see võib puhastist välja kanduda. Õhustuskambris hapnikupuuduse vältimiseks peab jälgima, et protsessi oleks suunatud piisavalt õhku. [7, lk.14-15]

Läbivooluga aktiivmudapuhasti eeliseks biokilepuhasti ees on see, et puhastusprotsess on paindlikum ja on võimalik ärastada fosforit ja lämmastikku. [7, lk. 15]

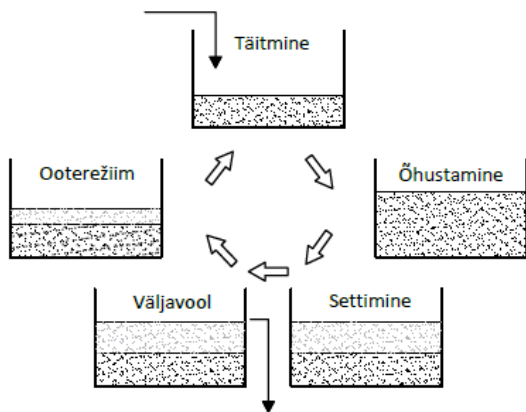
### **1.3.2 Aktiivmuda annuspuhasti**

Aktiivmuda annuspuhastis (ingl *sequencing batch reactor*, SBR) toimub reovee käitlemine annuste kaupa (joonis 1.3). See tähendab, et uus annus vett juhitakse protsessi pärast eelmise puhastamist ja välja laskmist. SBR koosneb peamiselt kahest mahutist. Asulast tulev reovesi juhitakse ühtlustusmahutisse, kust see pumbatakse edasi protsessimahutisse. Kogu puhastus toimub tsüklite kaupa ühes mahutis. Tsükleid võib päevas toimuda kaks kuni neli. Tänu sellele, et kogu protsess toimub ühes mahutis, pole eraldi järelsetitit vaja, aga on vaja rohkem investeerida õhustusseadmetesse. Protsessimahutis on võimalik reovee segamise ja aereerimisega keskkonda muuta. Anaeroobse keskkonna tekkimiseks ei õhustata reovett, kui see protsessimahutisse siseneb, tekitades nii vajalik keskkond denitrifikatsiooniks. Puhastites, kus ei ole vaja täiendavat lämmastikuärastust, peab olema keskkond alati aeroobne. [6, lk. 25-26]



**Joonis 1.3.** Aktiivmuda annuspuhasti põhimõtteskeem

Aktiivmuda annuspuhasti puhastusprotsess jaguneb viieks faasiks (joonis 1.4). Täitmisfaasis juhitakse reovesi annuspuhastuskambrisse, kuhu see toob aktiivmudas olevatele mikroorganismidele toitained, luues nii sobiliku keskkonna bioloogiliseks puhastuseks. [8]



**Joonis 1.4.** Aktiivmuda annuspuhasti puhastustsükel [6, lk. 25]

Õhustamisfaasis toimub intensiivne reovee aereerimine ja segamine. Kuna selles faasis uut reovett kambrisse juurde ei tule, siis langeb reovee orgaanilise aine sisaldus. [8]

Settimisfaasis lõpetatakse reovee segamine ja aereerimine ning aktiivmuda hakkab raskusjõu mõjul põhja vajuma ja tihenema [6, lk.26]. See faas on puhastusprotsessis kõige kriitilisem, sest kui aktiivmuda korralikult ei setti, võib osa sellest puhastist välja kanduda ja sellega rikkuda puhastatud heitvee kvaliteeti [8].

Väljavoolufaasis juhitakse puhastatud ning selginenud vesi puhastuskambri pindmistest kihtidest suublasse. Ära juhitud vee hulk on sama, mis puhastusprotsessi alguses sisenes. [6, lk. 26]

Ootefaasis toimub liigmuda välja pumpamine. Pumbatava liigmuda hulk sõltub puhasti suuruselt ja koormusest ning muda omadustest. Puhastuskambrisse tuleb jätta piisav kogus aktiivmuda, et tagada puhasti normaalne töö. [6, lk. 26]

Aktiivmuda annuspuhasti eeliseks on see, et saab töörežiimi muuta, tänu millele on see vastupidavam reostuskoormuse kõikumistele. Lisaks settib annuspuhastis aktiivmuda kindla puhastusfaasi jooksul ja paremini kui tavalises aktiivmudapuhastis, seega ei mõjuta vooluhulga kõikumine puhastatud vee kvaliteeti. [6, lk. 26]

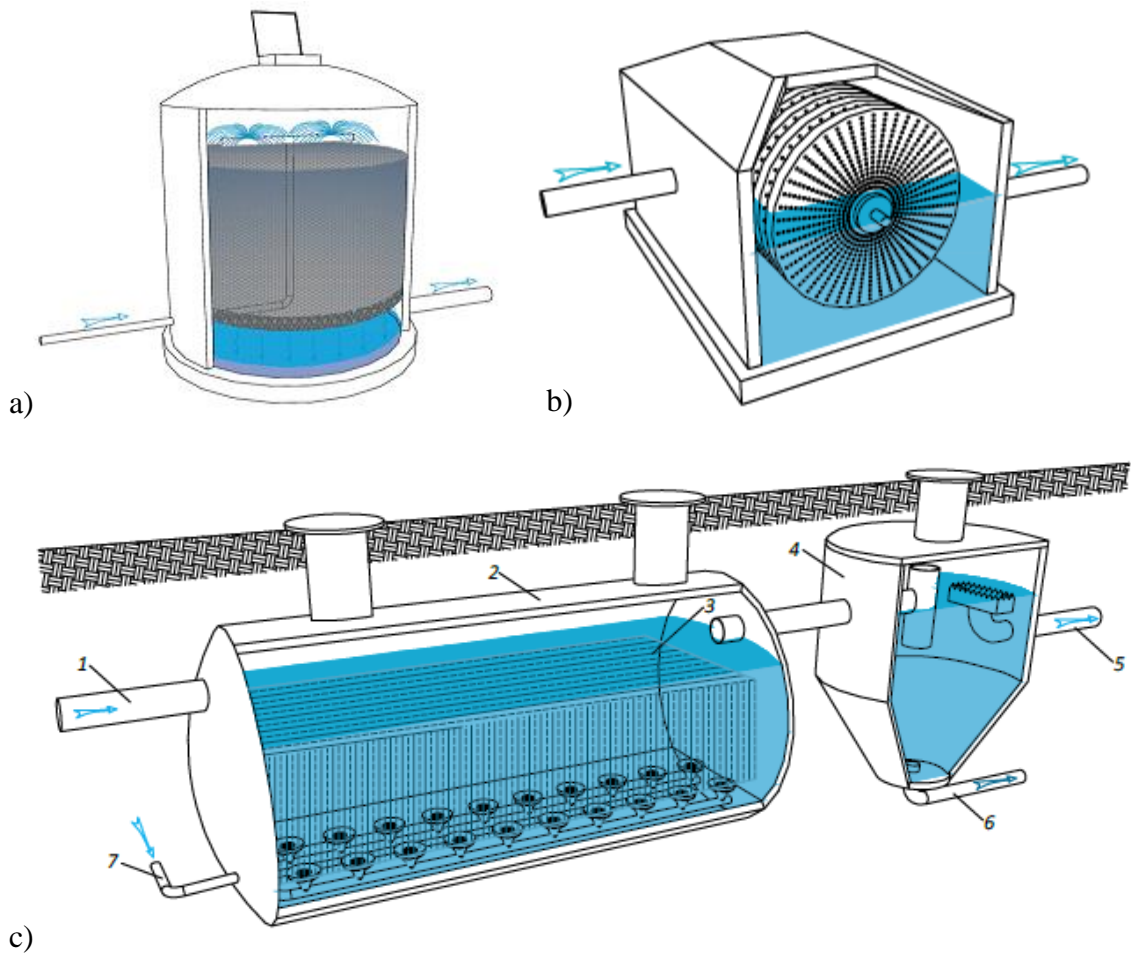
Aktiivmuda annuspuhastis kulub rohkem elektrit reovee pumpamiseks kui läbivooluga aktiivmudapuhastis. Lisaks sellele on protsessi juhtimiseks vaja keerukat automaatjuhtimissüsteemi. [6, lk.26]

### **1.3.3 Biokilepuhastid**

Biokilepuhasti (bioreaktor e biofilter) puhul kinnituvad orgaanilist ainet lagundavad mikroorganismid tahkest ainest biokilekandjale, mitte vees heljuvatesse aktiivmudahelvestesse nagu aktiivmudaseadmetes. Vastavalt sellele, kuidas paikneb biokilekandja ning kuidas mikroorganismid saavad kätte oma elutegevuseks vajaliku õhuhapniku ja toidu, jagunevad biokilepuhastid kolmeks: nõrg- ja sukelbiofiltrid ning vees oleva täidisega biofiltrid (joonis 1.5).

Puhastusprotsessilt on kõik biokilepuhastid ühesugused. Tugimaterjalile kasvab biokile, mille asustavad bakterid ja muud mikroorganismid, kes toituvad reovees olevast orgaanilisest ainest. Kui biokile kasvab liiga paksuks, siis irdub ja sadestub see protsessimahuti põhjas olevasse lehtrikujulisse sumpu või järelsetitisse. [6, lk. 28-29]

Nõrgbiofiltris nõrgub reovesi läbi biokile tugimaterjali e filtertäidise. Selle käigus haaravad biokilel olevad mikroorganismid reoveest toitaineid. Kui reovesi on biokilest läbi nõrgunud, siis pääseb sinna õhk ja nii saavad mikroorganismid hapnikku. Vajadusel on võimalik protsessi suunata puhurite abil lisaõhku. [6, lk. 29]



**Joonis 1.5.** Biokilepuhastid: a) norgbiofilter, b) sukelbiofilter, c) vees oleva täitega biofilter [6, lk. 29-30]

Sukelbiofiltris ehk biorootoris on puhasti peamiseks osaks osaliselt reovees olev pöörlev rootor, millele kinnitub biofilter. Biofilter on perioodiliselt reovee sees. Sellel ajal haaravad mikroorganismid reoveest toitaineid ja kui rootor pöörab biokile reoveest välja, saavad mikroorganismid õhuhapnikku. [6, lk. 30]

Vees oleva täidisega biofiltri korral vajab protsess lisaõhustust, kuna biokile on pidevalt reovee sees. Protsessi õhustamine aitab kaasa ka reovee ühtlasemale jaotumisele kogu puhasti lõikes. [6, lk. 30-31]

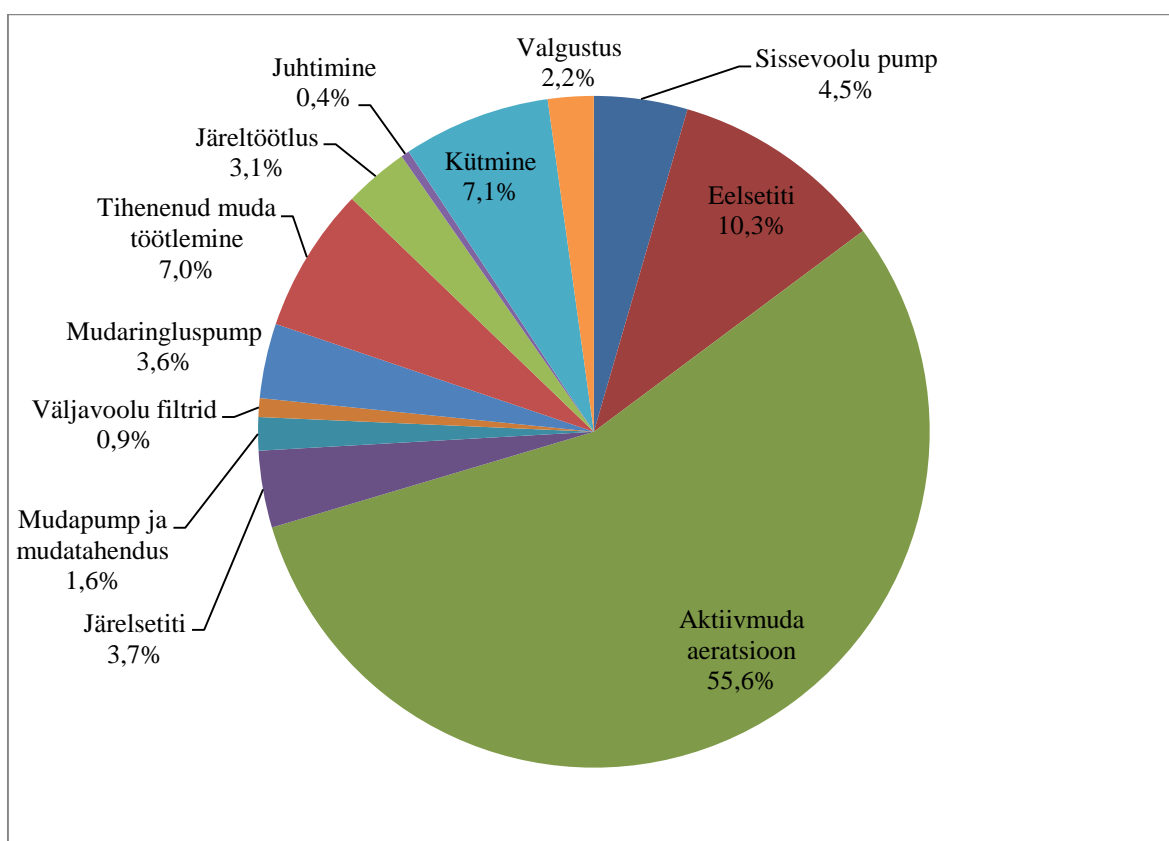
Biokilepuhastid on aktiivmudapuhastist töökindlamad ja taluvad paremini koormuse kõikumist ning puudub vajadus mudatagastuseks [6, lk. 28]. Alla 300 IE korral on rajamismaksumus väiksem kui aktiivmudapuhastitel ja operaatoritel ei ole protsessi juhtimisel palju tööd. Biokilepuhastites tekib liigmuda vähem ja sellega seoses on settekäitlus odavam. [7, lk. 17-19]



Biokilepuhastisse juhitud reovesi peab olema eelnevalt korralikult mehaaniliselt puhastatud [6 lk. 29]. Biokile juurdekasv ei ole kontrollitav ja tänu sellele võib tugimaterjal ummistuda või suurenenud raskuse alla puruneda. Samuti on puhasti aktiivmudapuhastiga võrreldes külmatundlikum. Forforit ja lämmastikku ei ole tõhus bioloogiliselt ärastada, vajadusel peab kasutama keemilist ärastust. [7, lk. 17-19]

#### 1.4 Reoveepuhasti elektrikulu

Reoveepuhastite elektritarbimine moodustab umbes kolmandiku kogu puhasti hoolduskuludest [4, lk. 1073]. Aktiivmudapuhastuse tüüpiline elektrikasutuse jagunemine on näidatud joonisel 1.6. Enamus elektrit kasutatakse bioloogilises puhastuses. Üle poole kogu reoveepuhastusjaama kasutatavast elektrist kulub reovee aereerimiseks. Umbes viiendik elektrist kulub reovee, tagastus- ja liigmuda ning puhastatud heitvee pumpamiseks. Natukene alla 10% kulub jääkmuda töötlemiseks. Kümnendik kogu elektritarbimisest kulub tehnohoones vajaliku keskkonna hoidmiseks (hoone kütmine, ventileerimine, valgustamine). Veel kulub väike hulk elektrit protsessi juhtimiseks.



**Joonis 1.6.** Aktiivmudapuhasti elektrikasutuse jaotumine [4, lk. 1704]

Biokilepuhastites kulub kõige rohkem elektrit reovee pumpamiseks [4, lk.1704]. Olenevalt puhasti tehnoloogiast võib kuluda elektrit ka reovee aereerimiseks.

### 1.4.1 Elektrikulu aereerimisel

Reovee aeratsiooni käigus kulub enamus elektrit puhurite tööks. Enamikel reoveepuhastusjaamadel töötab korraga üks puhur, mis on dimensioneeritud nii, et see tagaks vajaliku aereerimise kõige keerulisemates olukordades. Aeratsiooniks kuluva elektrihulga vähendamiseks ja protsessi efektiivsuse suurendamiseks on mitu erinevat võimalust. Üheks võimaluseks on kasutada mitut väiksemat puhurit, mida saaks vajadusele välja lülitada, kui maksimaalne aeratsioon ei ole nõutud. Puhastites, kus kasutatakse ühte puhurit on võimalik protsessi juhitava hapniku koguse muutmiseks kasutada hapnikuandurit ja sagedusmuundurit. Hapnikuandurid mõõdavad õhustuskambris hapnikusaldust ja edastavad info sagedusmuunduritele, mis reguleerivad puhuri mootori pöördeid nii, et see tagaks vajaliku õhuhulga, mitte ei töötaks kogu aeg täispöoretel. Sagedusmuundurite kasutamine võib tuua kuni 25% elektrikulu vähenemise reovee aereerimisel, pikendada puhurite eluiga ja langetada hoolduskulusid. [8]

Aeratsiooni efektiivsust mõjutab ka aeraatorite liik, nende kogu pinna ja difuursorite pinna suhe ja aeraatorist läbi juhitav õhuhulk ning aeraatori paiknemissügavus veepinnast. Peenmull õhustid on reovee aereerimiseks sobilikumad kui jämemull õhustid, sest kannavad sama õhukoguse juures reovette üle rohkem hapnikku tänu peenematele mullidele, millel on reoveega kokkupuutepind suurem. Mida sügavamal õhusti paikneb seda pikem on mulli ja reovee kokkupuute aeg. Mida suurem on mulli ja reovee kokkupuutepind ja mida pikem on kokkupuuteaeg, seda vähem õhku peavad puhurid õhustuskambrisse suunama. [8]

Puhurite valikul lähtutakse kahest parameetrist, millest üks on jõudlus  $Q$  (l/s) ja teine on vajalik rõhk  $p_t$  (mBar). Kogu rõhust moodustab kõige suurema osa veesamba poolt tekitatav rõhukadu. Üks meeter veesammast tekitab rõhukadu 98,06 mBar. Teise osa moodustab aeraatori poolt tekitatav rõhukadu, mis sõltub aeraatori liigist ja aeraatorit läbivast õhuhulgast. Viimase osa moodustab torustikus tekkiv rõhukadu. [8]

### 1.4.2 Elektrikulu pumpamisel

Reoveepuhastites kasutatakse pumpasid reo-, rejekt- ja puhastatud vee ning tagastus- ja liigmuda pumpamiseks ühest mahutist teise või madalamalt tasapinnalt kõrgemale [9, lk.9]. Keemilise puhastuse korral kasutatakse pumpasid ka kemikaali doseerimiseks. Läbivooluga aktiivmudapuhastis pumbatakse reovesi puhastusprotsessi algusesse. Õhustuskambrist toimub ringlusmuda pumpamine anoksilisse kambrisse. Järelsetitist

pumbatakse tagastumuda õhustuskambrisse ja liigmuda mudatihendisse. Aktiivmuda annuspuhastis toimub reovee pumpamine ühtlustusmahutist protsessimahutisse. Protsessimahutis pumbatakse mahuti pealmisest kihist heitvesi suublasse ja settinud liigmuda mudatihendisse. Biokilepuhastis pumbatakse eelsetitist reovesi bioreaktorisse. Järelsetitist pumbatakse jääkmuda jääksettemahutisse.

Pumbad on vaja dimensioneerida õigesse tööpunkti vastavalt vooluhulgale ja tõstekõrgusele. Pumbad peavad olema õige suurusega, et nad töötaksid võimalikult efektiivselt, nii on võimalik pikendada nende eluiga ja vähendada hoolduskulusid.

Pumpade töö juhtimiseks ja elektikulu vähendamiseks on mitu erinevat võimalust. Kõige levinum neist on ujuklülit, mis juhib pumba tööd vastavalt veenivoo tõusmisele ja langemisele. Veel on võimalik pumpasid juhtida anduritega, mis on paigaldatud minimaalsele ja maksimaalsele vedelikutasemele või nivooanduritega. Keerulisim variant on kasutada sagedusmuundureid, mis reguleerivad vastavalt vajadusele reoveepumpade pöörlemissagedust. Sagedusmuundurite kasutamine toob endaga kaasa mitmeid lisaprobleeme. Võrreldes ujuklülitiga vajavad sagedusmuundurid lisaelektrit. Kui sagedusmuunduri elektrivarustus on häiritud võib pump jääda kuivale ja katki minna, samuti võib tekkida avariiline veetase. Selle vältimiseks tuleb mahutid varustada avariülevooluga. [10]

## 2 TÖÖ EESMÄRK JA ÜLESANDED

Antud magistritöö eesmärgiks on leida kolme Eestis enamlevinud puhastustehnoloogia tegelik ja arvutuslik elektri erikulu ning saadud tulemusi võrrelda.

Töö koostamisel püstitatakse järgmised ülesanded:

- tegeliku elektri erikulu leidmiseks vee-ettevõtetelt andmete hankimine ja töötlemine;
- leitud tegelike elektri erikulu andmete esitamine, võrdlemine ja analüüsimine;
- arvutusliku elektrikulu leidmiseks lähteandmete määramine ning reoveepuhastite ning seal kasutatavate seadmete dimensioneerimine;
- dimensioneeritud seadmete kohta tootjatelt pakkumiste võtmine;
- dimensioneeritud reoveepuhastite arvutusliku elektri erikulu leidmine ja võrdlemine;
- tegeliku ja arvutusliku elektri erikulu omavaheline võrdlemine.

### 3 MATERJAL JA METOODIKA

#### 3.1 Uurimuslik osa

Magistritöö uurimuslikus osas kasutatakse infot 37 puhasti kohta, millest sobilikuks osutus 32. Ebasobivuse põhjusteks on näiteks reoveepuhasti ümberehitamine uuritud perioodil või puudulikud andmed. Valimisse kuuluvad puhastid Ida-Viru, Jõgeva, Lääne-Viru, Tartu ja Viljandi maakonnast. Neist 24 on läbivooluga aktiivmudapuhastid, 4 aktiivmuda annuspuhastit ja 4 biokilepuhastit. Valituks osutus selline valim, sest nende piirkondade reoveepuhasteid haldavate ettevõtete käest oli võimalik saada infot. Kasutatavad andmed reoveepuhastite kohta saadi järgmiste vee-ettevõtete käest:

- AS Emajõe Veevärk;
- Kadrina Soojus AS;
- Ramsi VK OÜ.

Reoveepuhastite kohta saadakse infot ka kohaliku omavalitsuse ÜVK arengukavast ja ettevõtete lisaküsitlustest.

Saadud andmed sisaldavad järgmist infot reoveepuhastite kohta:

- puhasti nimi ja tüüp;
- puhasti teeninduspiirkonnas müüdud vesi, m<sup>3</sup>;
- reoveepuhasti elektikulu kuus, kWh/kuus.

Reoveepuhastisse jõudva reovee hulga määramisel kasutatakse tarbijatele müüdud vee koguseid. Sellist meetodit kasutatakse, sest ühel vee-ettevõttel puudub võimalus puhastitesse jõudva reovee mõõtmiseks ja andmete paremaks võrdlemiseks kasutatakse kõikide puhastite reovee hulga määramiseks tarbijatele müüdud vee koguseid. Kasutatava meetodi puuduseks on see, et klientidele müüdud vee vooluhulk on mõnevõrra erinev reoveepuhastisse jõudvast tegelikust vooluhulgast. Olenevalt reoveetorustike seisust ja keskkonnatingimustest võib sinna sattuda pinnase- või vihmavett. Samuti on võimalik, näiteks kuival perioodil, et reovesi lekib torustikest välja pinnasesse.

Saadud tulemused esitatakse ainult suhtarvudena, sest üks vee-ettevõtte ei olnud nõus täpsete müügiandmete kajastamisega antud magistritöös.

EVV-st ja Ramsi VK-st saadud andmed klientidele müüdud vee kohta on kuupõhised ning Kadrina Soojus AS-lt saadud andmed on kvartalipõhised. Selleks, et andmed oleksid

omavahel paremini võrreldavad muudetakse ka EVV ja Ramsi VK andmed kvartalipõhisteks.

Reoveepuhastite elektrikulu kohta käivad andmed saadi kõikidelt vee-ettevõtetelt kuupõhiselt. Kõikide puhastite elektrikulu andmed muudetakse ka kvartalipõhisteks.

Erinevate võrdluste tegemiseks jagatakse reoveepuhastid suuruse ja kasutatava puhastustehnoloogia järgi gruppidesse. Suuruse järgi grupeerimisel vaadeldakse klientidele müüdud vee hulka ööpäevas. Puhastustehnoloogiate järgi jagunevad puhastid läbivooluga aktiivmudapuhastiteks, aktiivmuda annuspuhastiteks ning biokilepuhastiteks.

Reoveepuhastite tegelik elektri erikulu ühe kuupmeetri reoveepuhasti teeduspiirkonnas müüdud vee puhastamiseks kvartalis leitakse vastava perioodi müüdud vee koguse ja puhasti elektrikulu jagatisena.

Vee-ettevõtetelt saadud andmete töötlemiseks, tabelite ja jooniste koostamiseks kasutakse programmi Microsoft Excel.

### **3.2 Arvutuslik osa**

Magistritöö arvutuslikus osas dimensioneeritakse läbivooluga aktiivmudapuhasti ja aktiivmuda annuspuhasti kahe erineva reostuskoormuse ja vooluhulga korral. Esimesel juhul on tegemist väiksema puhastiga, mille reostuskoormus on 230 ie ja vooluhulk 35 m<sup>3</sup>/d. Teine puhasti on reostuskoormusega 400 ie ja vooluhulk 70 m<sup>3</sup>/d. Läbivooluga aktiivmudapuhastitega ja aktiivmuda annuspuhastitega seotud arvutuste tegemiseks kasutatakse Saksa standardit „ATV-DVWK-A\_131E: „Dimensioning of Single-Stage Activated Sludge Plants“ ja eeskirja DWA-M\_210: „Belebungsanlagen mit Aufstaubetrieb (SBR)“.

Leitakse ka puhastites olevate seadmete parameetrid. Vastavalt leitud parameetritele valitakse sobilikud seadmed ning leitakse nende võimsused ja töötamise aeg. Võimsuse ja töötamise aja järgi leitakse reoveepuhastite elektri kogukulu ja ühe kuupmeetri reovee puhastamiseks kuluv arvutuslik elektri erikulu.

Biokilepuhastite dimensioneerimiseks ei ole head juhendmaterjali, seega vajalikud andmed saadakse kompakseid biokilepuhasteid müüva firma koduleheküljelt ja lisaküsitluste teel. Käesolevas töös kasutatakse FixTec OÜ poolt pakutavate reoveepuhastite BioFix 35K ja BioFix 70K andmeid.

BioFix puhastites kasutatavate seadmete võimsused on saadud firma koduleheküljelt. Täpsed seadmete margid saadi firmalt lisaküsitluse teel. Seadmete töötamise aja järgi leitakse biokilepuhastite elektri kogukulu ja ühe kuupmeetri reovee puhastamiseks kuluv arvutuslik elektri erikulu.

Dimensioneeritud reoveepuhasite ja valitud biokilepuhasite tehnoloogiliste skeemide koostamiseks kasutatakse programmi *AutoCAD LT 2011*.

## 4 REOVEEPUHASTITE ELEKTRI ERIKULU UURIMINE

### 4.1 Sissejuhatus

Magistritöö uurimusliku osa valimi moodustavad 32 reoveepuhastit (vt Lisa 1), millest 24 on läbivooluga aktiivmudapuhastid, 4 aktiivmuda annuspuhastid ja 4 biokilepuhastid. Erinevate võrdluste ja analüüside tegemiseks leitakse kõigepealt kõikide reoveepuhastite aasta keskmine elektri erikulu ühe kuupmeetri tarbijatele müüdüd vee puhastamiseks. Elektri erikulu  $E_{EK}$  (kWh/m<sup>3</sup>) leitakse seosest:

$$E_{EK} = \frac{Q_{MV,a}}{E_a}, \quad (4.1)$$

kus  $Q_{MV,a}$  – tarbijatele müüdüd vee kogus aastas, m<sup>3</sup>/a,

$E_a$  – puhasti elektrikulu aastas, kWh/a.

Peatükk on jaotatud erinevateks alapeatükkideks. Esmalt tuuakse välja kõikide valimisse kuuluvate puhastite keskmine elektri erikulu. Järgnevalt grupeeritakse puhastid suuruse ja kasutatava puhastustehnoloogia järgi ja võrreldakse keskmisi väärtusi. Suuruse järgi jagatakse kõik valimis olevad puhastid viide gruppi. Seejärel grupeeritakse eraldi erinevad puhastustehnoloogiad. Täpsemate võrdluste tegemiseks ja hindamiseks, kas külmemal perioodil tehnohoones vajaliku keskkonna hoidmiseks kuluv lisaelekter mõjutab puhasti elektri erikulu, tuuakse välja puhastite andmed kvartalite kaupa.

### 4.2 Reoveepuhastite keskmine elektri erikulu

Valemi (4.1) järgi leitud reoveepuhastite elektri erikulu ühe kuupmeetri reovee puhastamiseks keskmiselt aastas on esitatud tabelis 4.1. Tabelis on näha, et kõigi puhastite keskmine elektri erikulu on 3,98 kWh/m<sup>3</sup>. 32-st reoveepuhastist 17-l on elektri erikulu madalam kui keskmine ja vastavalt 15-l kõrgem.

**Tabel 4.1.** Reoveepuhastite elektri erikulu valemi (4.1) järgi

Puhasti	Puhasti tüüp	Elektri erikulu, kWh/m <sup>3</sup>
Alatskivi reoveepuhasti	Aktiivmudapuhasti	2,70
Annikoru reoveepuhasti	Aktiivmudapuhasti	6,02
Avinurme reoveepuhasti	Aktiivmudapuhasti	4,28
Elva reoveepuhasti	Annuspuhasti	3,03
Heimtali reoveepuhasti	Biokilepuhasti	1,88



Puhasti	Puhasti tüüp	Elektri erikulu, kWh/m <sup>3</sup>
Hulja reoveepuhasti	Aktiivmudapuhasti	2,27
Ilmatsalu reoveepuhasti	Aktiivmudapuhasti	4,37
Kadrina reoveepuhasti	Aktiivmudapuhasti	3,39
Kallaste reoveepuhasti	Aktiivmudapuhasti	4,58
Kihlevere reoveepuhasti	Aktiivmudapuhasti	3,89
Kärstna reoveepuhasti	Biokilepuhasti	7,03
Laeva reoveepuhasti	Aktiivmudapuhasti	4,42
Luunja reoveepuhasti	Annuspuhasti	1,83
Mustla reoveepuhasti	Aktiivmudapuhasti	6,06
Nõgiaru reoveepuhasti	Aktiivmudapuhasti	5,27
Nõo reoveepuhasti	Aktiivmudapuhasti	2,00
Puurmani reoveepuhasti	Aktiivmudapuhasti	5,67
Päri reoveepuhasti	Aktiivmudapuhasti	3,87
Ramsi reoveepuhasti	Aktiivmudapuhasti	1,90
Ridaküla reoveepuhasti	Biokilepuhasti	6,48
Roiu reoveepuhasti	Aktiivmudapuhasti	6,85
Rõngu reoveepuhasti	Aktiivmudapuhasti	2,40
Rämsi reoveepuhasti	Aktiivmudapuhasti	3,18
Soe reoveepuhasti	Biokilepuhasti	4,72
Tabivere reoveepuhasti	Aktiivmudapuhasti	2,84
Tõravere reoveepuhasti	Aktiivmudapuhasti	2,52
Ulila reoveepuhasti	Annuspuhasti	3,69
Vara reoveepuhasti	Aktiivmudapuhasti	4,14
Viitna reoveepuhasti	Aktiivmudapuhasti	4,54
Vohnja reoveepuhasti	Aktiivmudapuhasti	3,36
Vorbuse reoveepuhasti	Annuspuhasti	4,46
Äksi reoveepuhasti	Aktiivmudapuhasti	3,68
<b>Keskmine</b>		<b>3,98</b>

### 4.3 Puhastite grupeerimine

#### 4.3.1 Puhastustehnoloogia järgi

Puhastustehnoloogia järgi jagunevad puhastid 24-ks läbivooluga aktiivmudapuhastiks, 4-ks aktiivmuda annuspuhastiks ja 4-ks biokilepuhastiks. Erinevate reovee puhastustehnoloogiate elektri erikulu on esitatud tabelis 4.2.

Tabelist selgub, et valimisse kuuluvate reoveepuhastite hulgast on kõige väiksema keskmise elektri erikuluga puhastustehnoloogia aktiivmuda annuspuhastus, mille keskmine on 3,25 kWh/m<sup>3</sup>. Aktiivmuda annuspuhastite keskmine elektri erikulu on 0,73 kWh/m<sup>3</sup> väiksem kui kõikide puhastite keskmine. Kõige suurema keskmise elektri erikuluga

puhastustehnoloogia on biokilepuhastus, mille keskmine on 5,03 kWh/m<sup>3</sup>. Võrreldes kõikide puhastite keskmise elektri erikuluga on biokilepuhastite keskmine 1,05 kWh/m<sup>3</sup> suurem. Läbivooluga aktiivmudapuhastite keskimine elektri erikulu on 3,92 kWh/m<sup>3</sup>, mis on 0,06 kWh/m<sup>3</sup> väiksem kui kõikide puhastite keskmine.

**Tabel 4.2.** Erinevate puhastustehnoloogiate keskmine elektri erikulu, tabel 4.1 järgi

Puhasti	Puhasti tüüp	Elektri erikulu, kWh/m <sup>3</sup>
<b>Läbivooluga aktiivmudapuhastid</b>		
Alatskivi reoveepuhasti	Aktiivmudapuhasti	2,70
Annikoru reoveepuhasti	Aktiivmudapuhasti	6,02
Avinurme reoveepuhasti	Aktiivmudapuhasti	4,28
Hulja reoveepuhasti	Aktiivmudapuhasti	2,27
Ilmatsalu reoveepuhasti	Aktiivmudapuhasti	4,37
Kadrina reoveepuhasti	Aktiivmudapuhasti	3,39
Kallaste reoveepuhasti	Aktiivmudapuhasti	4,58
Kihlevere reoveepuhasti	Aktiivmudapuhasti	3,89
Laeva reoveepuhasti	Aktiivmudapuhasti	4,42
Mustla reoveepuhasti	Aktiivmudapuhasti	6,06
Nõgiaru reoveepuhasti	Aktiivmudapuhasti	5,27
Nõo reoveepuhasti	Aktiivmudapuhasti	2,00
Puurmani reoveepuhasti	Aktiivmudapuhasti	5,67
Päri reoveepuhasti	Aktiivmudapuhasti	3,87
Ramsi reoveepuhasti	Aktiivmudapuhasti	1,90
Roiu reoveepuhasti	Aktiivmudapuhasti	6,85
Rõngu reoveepuhasti	Aktiivmudapuhasti	2,40
Rämsi reoveepuhasti	Aktiivmudapuhasti	3,18
Tabivere reoveepuhasti	Aktiivmudapuhasti	2,84
Tõravere reoveepuhasti	Aktiivmudapuhasti	2,52
Vara reoveepuhasti	Aktiivmudapuhasti	4,14
Viitna reoveepuhasti	Aktiivmudapuhasti	4,54
Vohnja reoveepuhasti	Aktiivmudapuhasti	3,36
Äksi reoveepuhasti	Aktiivmudapuhasti	3,68
<b>Keskmine</b>		<b>3,92</b>
<b>Aktiivmuda annuspuhastid</b>		
Elva reoveepuhasti	Annuspuhasti	3,03
Luunja reoveepuhasti	Annuspuhasti	1,83
Ulila reoveepuhasti	Annuspuhasti	3,69
Vorbuse reoveepuhasti	Annuspuhasti	4,46
<b>Keskmine</b>		<b>3,25</b>
<b>Biokilepuhastid</b>		
Heimtali reoveepuhasti	Biokilepuhasti	1,88

Puhasti	Puhasti tüüp	Elektri erikulu, kWh/m <sup>3</sup>
Kärstna reoveepuhasti	Biokilepuhasti	7,03
Ridaküla reoveepuhasti	Biokilepuhasti	6,48
Soe reoveepuhasti	Biokilepuhasti	4,72
<b>Keskmine</b>		<b>5,03</b>

Tavalised aktiivmudapuhastid moodustavad kolm neljandikku kogu valimist ja omavad keskmise arvutamisel kõige suuremat rolli, seega nende puhastite keskmine elektri erikulu võrreldes kõikide puhastite keskmisega muutub kõige vähem. Kõige suurem muutus keskmises elektri erikulus on biokilepuhastite puhul.

### 4.3.2 Suuruse järgi

#### Kõik puhastid.

Suuruse järgi on puhastid jaotatud viide gruppi ja andmed on välja toodud tabelis 4.3.

**Tabel 4.3.** Erineva suurusega reoveepuhastite elektri erikulu, tabeli 4.1 järgi

Puhasti	Puhasti tüüp	Elektri erikulu, kWh/m <sup>3</sup>
<b>Grupp 1 (0-10 m<sup>3</sup>/d)</b>		
Heimtali reoveepuhasti	Biokilepuhasti	1,88
Kihlevere reoveepuhasti	Aktiivmudapuhasti	3,89
Nõgiaru reoveepuhasti	Aktiivmudapuhasti	5,27
Ridaküla reoveepuhasti	Biokilepuhasti	6,48
Viitna reoveepuhasti	Aktiivmudapuhasti	4,54
Vohnja reoveepuhasti	Aktiivmudapuhasti	3,36
<b>Keskmine</b>		<b>4,24</b>
<b>Grupp 2 (10-20 m<sup>3</sup>/d)</b>		
Kärstna reoveepuhasti	Biokilepuhasti	7,03
Rämsi reoveepuhasti	Aktiivmudapuhasti	3,18
Soe reoveepuhasti	Biokilepuhasti	4,72
Tõravere reoveepuhasti	Aktiivmudapuhasti	2,52
Ulila reoveepuhasti	Annuspuhasti	3,69
Vorbuse reoveepuhasti	Annuspuhasti	4,46
<b>Keskmine</b>		<b>4,27</b>
<b>Grupp 3 (20-50 m<sup>3</sup>/d)</b>		
Alatskivi reoveepuhasti	Aktiivmudapuhasti	2,70
Annikoru reoveepuhasti	Aktiivmudapuhasti	6,02
Avinurme reoveepuhasti	Aktiivmudapuhasti	4,28
Hulja reoveepuhasti	Aktiivmudapuhasti	2,27
Ilmatsalu reoveepuhasti	Aktiivmudapuhasti	4,37
Kallaste reoveepuhasti	Aktiivmudapuhasti	4,58

Puhasti	Puhasti tüüp	Elektri erikulu, kWh/m <sup>3</sup>
Laeva reoveepuhasti	Aktiivmudapuhasti	4,42
Mustla reoveepuhasti	Aktiivmudapuhasti	6,06
Puurmani reoveepuhasti	Aktiivmudapuhasti	5,67
Päri reoveepuhasti	Aktiivmudapuhasti	3,87
Ramsi reoveepuhasti	Aktiivmudapuhasti	1,90
Roiu reoveepuhasti	Aktiivmudapuhasti	6,85
Vara reoveepuhasti	Aktiivmudapuhasti	4,14
Äksi reoveepuhasti	Aktiivmudapuhasti	3,68
<b>Keskmine</b>		<b>4,34</b>
<b>Grupp 4 (50-100 m<sup>3</sup>/d)</b>		
Luunja reoveepuhasti	Annuspuhasti	1,83
Rõngu reoveepuhasti	Aktiivmudapuhasti	2,40
Tabivere reoveepuhasti	Aktiivmudapuhasti	2,84
<b>Keskmine</b>		<b>2,36</b>
<b>Grupp 5 (100+ m<sup>3</sup>/d)</b>		
Elva reoveepuhasti	Annuspuhasti	3,03
Kadrina reoveepuhasti	Aktiivmudapuhasti	3,39
Nõo reoveepuhasti	Aktiivmudapuhasti	2,00
<b>Keskmine</b>		<b>2,80</b>

Esimese grupi moodustavad puhastid, mille puhastatav reovee kogus on alla 10 m<sup>3</sup>/d. Esimesse rühma kuulub kuus puhastit, nendest kaks on biokilepuhastid ja neli läbivooluga aktiivmudapuhastid. Grupi keskmine elektri erikulu ühe kuupmeetri reovee töötlemiseks on 4,24 kWh/m<sup>3</sup>, mis on 0,26 kWh/m<sup>3</sup> suurem kõikide puhastite keskmisest.

Teises grupis on puhastid, mille puhastatav reovee kogus jääb vahemikku 10-20 m<sup>3</sup>/d. Iga puhastustehnoloogia on grupis esindatud kahe puhastiga. Rühmas olevate puhastite keskmine elektri erikulu on 4,27 kWh/m<sup>3</sup>, mis on 0,29 kWh/m<sup>3</sup> suurem kui kõikide puhastite keskmine.

Kolmanda grupi moodustavad puhastid, mille puhastatav reovee kogus jääb vahemikku 20-50 m<sup>3</sup>/d. Rühma kuulub 14 puhastit, millest kõik on läbivooluga aktiivmudapuhastid. Keskmine elektri erikulu on 4,34 kWh/m<sup>3</sup>, mis on 0,36 kWh/m<sup>3</sup> suurem kui kõikide puhastite keskmine.

Neljandas grupis on puhastid, mille puhastatav reovee kogus jääb vahemikku 50-100 m<sup>3</sup>/d. Rühma kuulub üks aktiivmuda annuspuhasti ja kaks läbivooluga aktiivmudapuhastit. Puhastite keskmine elektri erikulu on 2,36 kWh/m<sup>3</sup>, mis on 1,62 kWh/m<sup>3</sup> väiksem kui kõikide puhastite keskmine.

Viiendas grupis on puhastid, mille puhastatav reovee kogus on üle 100 m<sup>3</sup>/d. Rühma kuulub üks aktiivmuda annuspuhasti ja kaks läbivooluga aktiivmudapuhastit. Puhastite keskmine elektri erikulu on 2,80 kWh/m<sup>3</sup>, mis on 1,18 kWh/m<sup>3</sup> võrra väiksem kõigi puhastite keskmisest.

Kõige väiksema keskmise elektri erikuluga puhastid on grupis neli ja kõige suuremaga grupis kolm. Kolmes esimeses grupis olevate puhastite keskmine elektri erikulu on samas suurusjärgus ja natukene suurem kõikide puhastite keskmisest. Elektri erikulu märgatav vähenemine toimub gruppides neli ja viis, kus see on kõikide puhastite keskmisest rohkem kui 1,0 kWh/m<sup>3</sup> väiksem.

### Läbivooluga aktiivmudapuhastid.

Läbivooluga aktiivmudapuhastid jagunevad samuti viide guppi (vt. tabel 4.4). Gruppidesse jaotumine toimub sarnaselt nagu erinevate puhastustehnoloogiate korral.

**Tabel 4.4.** Erineva suurusega läbivooluga aktiivmudapuhastite elektri erikulu, tabeli 4.3 järgi

Puhasti	Puhasti tüüp	Elektri erikulu, kWh/m <sup>3</sup>
<b>Grupp 1 (0-10 m<sup>3</sup>/d)</b>		
Kihlevere reoveepuhasti	Aktiivmudapuhasti	3,89
Nõgiaru reoveepuhasti	Aktiivmudapuhasti	5,27
Viitna reoveepuhasti	Aktiivmudapuhasti	4,54
Vohnja reoveepuhasti	Aktiivmudapuhasti	3,36
<b>Keskmine</b>		<b>4,26</b>
<b>Grupp 2 (10-20 m<sup>3</sup>/d)</b>		
Rämsi reoveepuhasti	Aktiivmudapuhasti	3,18
Tõravere reoveepuhasti	Aktiivmudapuhasti	2,52
<b>Keskmine</b>		<b>2,85</b>
<b>Grupp 3 (20-50 m<sup>3</sup>/d)</b>		
Alatskivi reoveepuhasti	Aktiivmudapuhasti	2,70
Annikoru reoveepuhasti	Aktiivmudapuhasti	6,02
Avinurme reoveepuhasti	Aktiivmudapuhasti	4,28
Hulja reoveepuhasti	Aktiivmudapuhasti	2,27
Ilmatsalu reoveepuhasti	Aktiivmudapuhasti	4,37
Kallaste reoveepuhasti	Aktiivmudapuhasti	4,58
Laeva reoveepuhasti	Aktiivmudapuhasti	4,42
Mustla reoveepuhasti	Aktiivmudapuhasti	6,06
Puurmani reoveepuhasti	Aktiivmudapuhasti	5,67
Päri reoveepuhasti	Aktiivmudapuhasti	3,87
Ramsi reoveepuhasti	Aktiivmudapuhasti	1,90

<b>Puhasti</b>	<b>Puhasti tüüp</b>	<b>Elektri erikulu, kWh/m<sup>3</sup></b>
Roiu reoveepuhasti	Aktiivmudapuhasti	6,85
Vara reoveepuhasti	Aktiivmudapuhasti	4,14
Äksi reoveepuhasti	Aktiivmudapuhasti	3,68
<b>Keskmine</b>		<b>4,34</b>
<b>Grupp 4 (50-100 m<sup>3</sup>/d)</b>		
Rõngu reoveepuhasti	Aktiivmudapuhasti	2,40
Tabivere reoveepuhasti	Aktiivmudapuhasti	2,84
<b>Keskmine</b>		<b>2,62</b>
<b>Grupp 5 (100+ m<sup>3</sup>/d)</b>		
Kadrina reoveepuhasti	Aktiivmudapuhasti	3,39
Nõo reoveepuhasti	Aktiivmudapuhasti	2,00
<b>Keskmine</b>		<b>2,70</b>

Esimeses grupis on puhastit, mille puhastatav reovee kogus jääb vahemikku 0-10 m<sup>3</sup>/d. Grupis on neli puhastit, mille keskmine elektri erikulu on 4,26 kWh/m<sup>3</sup>. Võrreldes kõikide puhastite keskmise elektri erikuluga on see 0,28 kWh/m<sup>3</sup> suurem ja võrreldes erinevate puhastustehnoloogiate keskmisega esimeses grupis 0,02 kWh/m<sup>3</sup> suurem.

Teise grupi moodustavad puhastid, mille puhastatav reovee kogus on vahemikus 10-20 m<sup>3</sup>/d. Gruppi kuulub kaks puhastit, mille keskmine elektri erikulu on 2,85 kWh/m<sup>3</sup>. Võrreldes kõikide puhastite keskmise elektri erikuluga on see 1,13 kWh/m<sup>3</sup> väiksem ja võrreldes erinevate puhastustehnoloogiate keskmisega teises grupis 1,42 kWh/m<sup>3</sup> väiksem.

Kolmanda grupi moodustavad samad puhastid, nagu erinevate tehnoloogiate võrdluse korral, seega elektri erikulu keskmine ei muutu.

Neljanda grupi moodustavad puhastid, mille puhastatav reovee kogus on vahemikus 50-100 m<sup>3</sup>/d. Gruppi kuulub kaks puhastit, mille keskmine elektri erikulu on 2,62 kWh/m<sup>3</sup>. Võrreldes kõikide puhastite keskmise elektri erikuluga on see 1,36 kWh/m<sup>3</sup> väiksem, aga võrreldes erinevate puhastustehnoloogiate keskmisega neljandas grupis 0,26 kWh/m<sup>3</sup> suurem.

Viiendas grupis on puhastid, mille puhastatav reovee kogus on üle 100 m<sup>3</sup>/d. Gruppi kuulub kaks puhastit, mille keskmine elektri erikulu on 2,70 kWh/m<sup>3</sup>. Võrreldes kõikide puhastite keskmise elektri erikuluga on see 1,28 kWh/m<sup>3</sup> väiksem ja võrreldes erinevate puhastustehnoloogiate keskmisega viiendas grupis 0,10 kWh/m<sup>3</sup> väiksem.

Läbivooluga aktiivmudapuhastid moodustavad kogu valimist 75%, seega nende keskmine elektri erikulu võrreldes kõikide puhastustehnoloogiate keskmisega samades gruppides

muutub suhteliselt vähe. Kõige suurem erinevus keskmises elektri erikulus on grupis kaks, kus see väheneb 1,42 kWh/m<sup>3</sup> võrra.

### **Aktiivmuda annuspuhastid.**

Aktiivmuda annuspuhasteid on neli ja need jagunevad kahte gruppi (vt. tabel 4.5).

**Tabel 4.5.** Erineva suurusega aktiivmuda annuspuhastite elektri erikulu, tabeli 4.3 järgi

<b>Puhasti</b>	<b>Puhasti tüüp</b>	<b>Elektri erikulu, kWh/m<sup>3</sup></b>
<b>Grupp 1 (10-20 m<sup>3</sup>/d)</b>		
Ulila reoveepuhasti	Annuspuhasti	3,69
Vorbuse reoveepuhasti	Annuspuhasti	4,46
<b>Keskmine</b>		<b>4,08</b>
<b>Grupp 2 (50+ m<sup>3</sup>/d)</b>		
Luunja reoveepuhasti	Annuspuhasti	1,83
Elva reoveepuhasti	Annuspuhasti	3,03
<b>Keskmine</b>		<b>2,40</b>

Esimeses grupis on puhastid, mille puhastatav reovee kogus jääb vahemikku 10-20 m<sup>3</sup>/d. Grupis on kaks puhastit, mille keskmine elektri erikulu on 4,08 kWh/m<sup>3</sup>. Võrreldes kõikide puhastite keskmisega on see 0,10 kWh/m<sup>3</sup> suurem, aga võrreldes erinevate puhastustehnoloogiate keskmisega sama suurusega grupis 0,19 kWh/m<sup>3</sup> väiksem. Võrreldes läbivooluga aktiivmudapuhastite keskmise elektri erikuluga sama suurusega grupis on aktiivmuda annuspuhastite keskmine 1,23 kWh/m<sup>3</sup> suurem.

Teise grupi moodustavad puhastid, mille puhastatav reovee kogus on üle 50 m<sup>3</sup>/d. Grupis on samuti kaks puhastit, mille keskmine elektri erikulu on 2,40 kWh/m<sup>3</sup>. Võrreldes kõikide puhastite keskmisega on see 1,58 kWh/m<sup>3</sup> väiksem. Grupi keskmine on 0,04 kWh/m<sup>3</sup> suurem kui kõikide puhastite keskmine elektri erikulu grupis 50-100 m<sup>3</sup>/d, aga 0,4 kWh/m<sup>3</sup> väiksem kui kõikide puhastite keskmine grupis 100+ m<sup>3</sup>/d. Võrreldes läbivooluga aktiivmudapuhastite keskmise elektri erikuluga grupis 50-100 m<sup>3</sup>/d on aktiivmuda annuspuhastite keskmine 0,22 kWh/m<sup>3</sup> väiksem ja võrreldes grupiga 100+ m<sup>3</sup>/d 0,30 kWh/m<sup>3</sup> väiksem.

### **Biokilepuhastid.**

Biokilepuhasteid on neli ja need jagunevad kahte gruppi (vt. tabel 4.6).

**Tabel 4.6.** Erineva suurusega biokilepuhastite elektri erikulu, tabeli 4.3 järgi

Puhasti	Puhasti tüüp	Elektri erikulu, kWh/m <sup>3</sup>
<b>Grupp 1 (0-10 m<sup>3</sup>/d)</b>		
Heimtali reoveepuhasti	Biokilepuhasti	1,88
Ridaküla reoveepuhasti	Biokilepuhasti	6,48
<b>Keskmine</b>		<b>4,18</b>
<b>Grupp 2 (10-20 m<sup>3</sup>/d)</b>		
Kärstna reoveepuhasti	Biokilepuhasti	7,03
Soe reoveepuhasti	Biokilepuhasti	4,72
<b>Keskmine</b>		<b>5,87</b>

Esimeses grupis on puhastid, mille puhastatav reovee kogus jääb vahemikku 0-10 m<sup>3</sup>/d. Grupis on kaks puhastit, mille keskmine elektri erikulu on 4,18 kWh/m<sup>3</sup>. Võrreldes kõikide puhastite keskmisega on see 0,20 kWh/m<sup>3</sup> suurem ja võrreldes kõikide puhastite keskmisega samas grupis 0,06 kWh/m<sup>3</sup> väiksem. Võrreldes läbivooluga aktiivmudapuhastite keskmisega samas grupis on see 0,08 kWh/m<sup>3</sup> väiksem.

Teise grupi moodustavad puhastid, mille puhastatav reovee kogus on vahemikus 10-20 m<sup>3</sup>/d. Gruppi kuulub kaks puhastit, mille keskmine elektri erikulu on 5,87 kWh/m<sup>3</sup>. Võrreldes kõikide puhastite keskmisega on see 1,89 kWh/m<sup>3</sup> suurem ja võrreldes kõikide puhastite keskmisega samas grupis 1,60 kWh/m<sup>3</sup> suurem. Võrreldes läbivooluga aktiivmudapuhastite keskmise elektri erikuluga samas grupis on see 3,02 kWh/m<sup>3</sup> suurem ja võrreldes aktiivmuda annuspuhastite keskmisega samas grupis 1,79 kWh/m<sup>3</sup> suurem.

#### **4.4 Puhastite elektri erikulu kvartalite lõikes**

Võrdlemaks, kas külmemal perioodil kuluv lisaelekter tehnohoones vajaliku keskkonna hoidmiseks mõjutab puhastite elektri erikulu, esitatakse tulemused kvartalite kaupa. Puhastite elektri erikulu kvartalite lõikes on leitud valemi (4.1) järgi, aga puhastatud reovee hulk ja elektrikulu on kvartalite, mitte kogu aasta kohta.

Peatükis esitatakse esmalt kõikide puhastite elektri erikulu kvartalite kaupa ja võrreldakse erinevaid kvartaleid omavahel. Edasiste analüüside tegemiseks grupeeritakse puhastid sarnaselt eelnevale.

##### **Kõik puhastid.**

Kõikide puhastite elektri erikulu keskmised väärtused kvartalite lõikes on erinevad (vt. lisa 2).



Tabelist on näha, I ja IV kvartalis on keskmised väärtused kõrgemad, kui II ja III kvartalis. See võib olla tingitud külmemal perioodil tehnohoones vajaliku keskkonna hoidmiseks kuluvast lisaelektrist. Kõikidel puhastitel see seos nii üheselt ei kajastu. 32-st valimisse kuuluvast puhastist pooltel on I ja IV kvartali elektri erikulu väärtused suuremad kui II ja III kvartalis.

I ja IV kvartalis on keskmised väärtused kõrgemad kui kõikide puhastite keskmine elektri erikulu. I kvartali keskmine elektri erikulu on  $4,71 \text{ kWh/m}^3$ , mis on kõikide puhastite keskmisest  $0,73 \text{ kWh/m}^3$  suurem. IV kvartali keskmine elektri erikulu on  $4,07 \text{ kWh/m}^3$ , mis on kõikide puhastite keskmisest  $0,09 \text{ kWh/m}^3$  suurem.

II ja III kvartalis on keskmised väärtused väiksemad kui kõikide puhastite keskmine elektri erikulu. II kvartali keskmine elektri erikulu on  $3,66 \text{ kWh/m}^3$ , mis on kõikide puhastite keskmisest  $0,32 \text{ kWh/m}^3$  väiksem. III kvartali keskmine elektri erikulu on  $3,59 \text{ kWh/m}^3$ , mis on kõikide puhastite keskmisest  $0,39 \text{ kWh/m}^3$  väiksem.

#### **Läbivooluga aktiivmudapuhastid.**

Läbivooluga aktiivmudapuhastite elektri erikulu keskmised väärtused I ja IV kvartalis on samuti suuremad kui II ja III kvartalis (vt. lisa 3).

I kvartali keskmine elektri erikulu on  $4,65 \text{ kWh/m}^3$ , mis on  $0,67 \text{ kWh/m}^3$  suurem kui kõikide puhastite keskmine, aga võrreldes kõikide puhastite esimese kvartali keskmisega  $0,06 \text{ kWh/m}^3$  väiksem.

II kvartali keskmine elektri erikulu on  $3,53 \text{ kWh/m}^3$ , mis on  $0,45 \text{ kWh/m}^3$  väiksem kui kõikide puhastite keskmine ja võrreldes kõikide puhastite teise kvartali keskmisega  $0,13 \text{ kWh/m}^3$  väiksem.

III kvartali keskmine elektri erikulu on  $3,53 \text{ kWh/m}^3$ , mis on  $0,45 \text{ kWh/m}^3$  väiksem kui kõikide puhastite keskmine ja võrreldes kõikide puhastite kolmanda kvartali keskmisega  $0,06 \text{ kWh/m}^3$  väiksem.

IV kvartali keskmine elektri erikulu on  $4,10 \text{ kWh/m}^3$ , mis on  $0,12 \text{ kWh/m}^3$  suurem kui kõikide puhastite keskmine ja võrreldes kõikide puhastite neljanda kvartali keskmisega  $0,03 \text{ kWh/m}^3$  suurem.

#### **Aktiivmuda annuspuhastid.**

Aktiivmuda annuspuhastite kvartalite keskmised elektri erikulu väärtused ei ühti seosega, et I ja IV kvartali keskmised väärtused on suuremad kui II ja III kvartali omad (vt. lisa 4).

Antud juhul on kõrgeim keskmine väärtus esimeses kvartalis, millele järgnevad teise, neljanda ja kolmanda kvartali väärtused.

I kvartali keskmine elektri erikulu on  $4,43 \text{ kWh/m}^3$ , mis on  $0,45 \text{ kWh/m}^3$  suurem kui kõikide puhastite keskmine. Võrreldes kõikide puhastite keskmise elektri erikuluga esimeses kvartalis on see  $0,28 \text{ kWh/m}^3$  väiksem ja võrreldes läbivooluga aktiivmudapuhastite keskmisega samas kvartalis  $0,22 \text{ kWh/m}^3$  väiksem.

II kvartali keskmine elektri erikulu on  $3,06 \text{ kWh/m}^3$ , mis on  $0,92 \text{ kWh/m}^3$  väiksem kui kõikide puhastite keskmine. Võrreldes kõikide puhastite keskmise elektri erikuluga teises kvartalis on see  $0,60 \text{ kWh/m}^3$  väiksem ja võrreldes läbivooluga aktiivmudapuhastite keskmisega samas kvartalis  $0,47 \text{ kWh/m}^3$  väiksem.

III kvartali keskmine elektri erikulu on  $2,67 \text{ kWh/m}^3$ , mis on  $1,31 \text{ kWh/m}^3$  väiksem kui kõikide puhastite keskmine. Võrreldes kõikide puhastite keskmise elektri erikuluga kolmandas kvartalis on see  $0,92 \text{ kWh/m}^3$  väiksem ja võrreldes läbivooluga aktiivmudapuhastite keskmisega samas kvartalis  $0,86 \text{ kWh/m}^3$  väiksem.

IV kvartali keskmine elektri erikulu on  $2,98 \text{ kWh/m}^3$ , mis on  $1,0 \text{ kWh/m}^3$  väiksem kui kõikide puhastite keskmine. Võrreldes kõikide puhastite keskmise elektri erikuluga neljandas kvartalis on see  $1,09 \text{ kWh/m}^3$  väiksem ja võrreldes läbivooluga aktiivmudapuhastite keskmisega samas kvartalis  $1,12 \text{ kWh/m}^3$  väiksem.

### **Biokilepuhastid.**

Biokilepuhastite puhul on I ja IV kvartali keskmised elektri erikulu väärtused suuremad kui II ja III kvartalis (vt. lisa 5).

I kvartali keskmine elektri erikulu on  $5,36 \text{ kWh/m}^3$ , mis on  $1,38 \text{ kWh/m}^3$  suurem kui kõikide puhastite keskmine. Võrreldes kõikide puhastite keskmise elektri erikuluga esimeses kvartalis on see  $0,65 \text{ kWh/m}^3$  suurem, võrreldes läbivooluga aktiivmudapuhastite keskmisega samas kvartalis  $0,71 \text{ kWh/m}^3$  suurem ja võrreldes aktiivmuda annuspuhastite keskmisega antud kvartalis  $0,93 \text{ kWh/m}^3$  suurem.

II kvartali keskmine elektri erikulu on  $4,99 \text{ kWh/m}^3$ , mis on  $1,01 \text{ kWh/m}^3$  suurem kui kõikide puhastite keskmine. Võrreldes kõikide puhastite keskmise elektri erikuluga teises kvartalis on see  $1,33 \text{ kWh/m}^3$  suurem, võrreldes läbivooluga aktiivmudapuhastite keskmisega samas kvartalis  $1,46 \text{ kWh/m}^3$  suurem ja võrreldes aktiivmuda annuspuhastite keskmisega antud kvartalis  $1,93 \text{ kWh/m}^3$  suurem.

III kvartali keskmine elektri erikulu on  $4,80 \text{ kWh/m}^3$ , mis on  $0,82 \text{ kWh/m}^3$  suurem kui kõikide puhastite keskmine. Võrreldes kõikide puhastite keskmise elektri erikuluga kolmandas kvartalis on see  $1,21 \text{ kWh/m}^3$  suurem, võrreldes läbivooluga aktiivmudapuhastite keskmisega samas kvartalis  $1,27 \text{ kWh/m}^3$  suurem ja võrreldes aktiivmuda annuspuhastite keskmisega antud kvartalis  $2,13 \text{ kWh/m}^3$  suurem.

IV kvartali keskmine elektri erikulu on  $5,01 \text{ kWh/m}^3$ , mis on  $1,03 \text{ kWh/m}^3$  suurem kui kõikide puhastite keskmine. Võrreldes kõikide puhastite keskmise elektri erikuluga neljandas kvartalis on see  $0,94 \text{ kWh/m}^3$  suurem, võrreldes läbivooluga aktiivmudapuhastite keskmisega samas kvartalis  $0,91 \text{ kWh/m}^3$  suurem ja võrreldes aktiivmuda annuspuhastite keskmisega antud kvartalis  $2,03 \text{ kWh/m}^3$  suurem.

Kõikide puhastite keskmine elektri erikulu on kõige madalam III kvartalis ja kõige kõrgem I kvartalis. Esimese ja kolmanada kvartali keskmiste väärtuste vahe on  $1,12 \text{ kWh/m}^3$ . Erinevate puhastustehnoloogiate võrdluses on kõige madalamad kvartalite keskmised elektri erikulu väärtused aktiivmuda annuspuhastitel ja kõige kõrgemad väärtused biokilepuhastitel.

### **Suuruse järgi.**

Reoveepuhastid grupeeritakse sarnaselt eelnevale suuruse järgi viide gruppi (vt. lisa 6).

Esimeses grupis olevate puhastite kvartali keskmine elektri erikulu on I ja IV kvartalis suurem kui II ja III kvartalis. Esimeses kvartalis on keskmine elektri erikulu  $5,04 \text{ kWh/m}^3$ , mis on  $0,33 \text{ kWh/m}^3$  suurem kui kõigi puhastite keskmine samas kvartalis. Teises kvartalis on keskmine elektri erikulu  $3,93 \text{ kWh/m}^3$ , mis on  $0,27 \text{ kWh/m}^3$  suurem kui kõikide puhastite keskmine samas kvartalis. Kolmandas kvartalis on keskmine elektri erikulu  $3,60 \text{ kWh/m}^3$ , mis on  $0,01 \text{ kWh/m}^3$  suurem kui kõikide puhastite keskmine samas kvartalis. Neljandas kvartalis on keskmine elektri erikulu  $4,52 \text{ kWh/m}^3$ , mis on  $0,45 \text{ kWh/m}^3$  suurem kui kõikide puhastite keskmine samas kvartalis.

Teises grupis olevate puhastite kvartali keskmine elektri erikulu on kõige suurem esimeses kvartalis, millele järgnevad teine, kolmas ja neljas kvartal. Esimeses kvartalis on keskmine elektri erikulu  $5,08 \text{ kWh/m}^3$ , mis on  $0,37 \text{ kWh/m}^3$  suurem kui kõigi puhastite keskmine samas kvartalis. Teises kvartalis on keskmine elektri erikulu  $4,41 \text{ kWh/m}^3$ , mis on  $0,75 \text{ kWh/m}^3$  suurem kui kõikide puhastite keskmine samas kvartalis. Kolmandas kvartalis on keskmine elektri erikulu  $3,86 \text{ kWh/m}^3$ , mis on  $0,27 \text{ kWh/m}^3$  suurem kui kõikide puhastite keskmine samas kvartalis. Neljandas kvartalis on keskmine elektri erikulu

3,80 kWh/m<sup>3</sup>, mis on 0,27 kWh/m<sup>3</sup> väiksem kui kõikide puhastite keskmine samas kvartalis.

Kolmandas grupis olevate puhastite kvartali keskmine elektri erikulu on I ja IV kvartalis suurem kui II ja III kvartalis. Esimeses kvartalis on keskmine elektri erikulu 5,05 kWh/m<sup>3</sup>, mis on 0,34 kWh/m<sup>3</sup> suurem kui kõigi puhastite keskmine samas kvartalis. Teises kvartalis on keskmine elektri erikulu 3,86 kWh/m<sup>3</sup>, mis on 0,20 kWh/m<sup>3</sup> suurem kui kõikide puhastite keskmine samas kvartalis. Kolmandas kvartalis on keskmine elektri erikulu 4,08 kWh/m<sup>3</sup>, mis on 0,49 kWh/m<sup>3</sup> suurem kui kõikide puhastite keskmine samas kvartalis. Neljandas kvartalis on keskmine elektri erikulu 4,54 kWh/m<sup>3</sup>, mis on 0,47 kWh/m<sup>3</sup> suurem kui kõikide puhastite keskmine samas kvartalis.

Neljandas grupis olevate puhastite kvartali keskmine elektri erikulu on I ja IV kvartalis suurem kui II ja III kvartalis. Esimeses kvartalis on keskmine elektri erikulu 2,81 kWh/m<sup>3</sup>, mis on 1,90 kWh/m<sup>3</sup> väiksem kui kõigi puhastite keskmine samas kvartalis. Teises kvartalis on keskmine elektri erikulu 2,05 kWh/m<sup>3</sup>, mis on 1,61 kWh/m<sup>3</sup> väiksem kui kõikide puhastite keskmine samas kvartalis. Kolmandas kvartalis on keskmine elektri erikulu 2,07 kWh/m<sup>3</sup>, mis on 1,52 kWh/m<sup>3</sup> väiksem kui kõikide puhastite keskmine samas kvartalis. Neljandas kvartalis on keskmine elektri erikulu 2,52 kWh/m<sup>3</sup>, mis on 1,55 kWh/m<sup>3</sup> väiksem kui kõikide puhastite keskmine samas kvartalis.

Viiendas grupis olevate puhastite kvartali keskmine elektri erikulu on I ja IV kvartalis suurem kui II ja III kvartalis. Esimeses kvartalis on keskmine elektri erikulu 3,67 kWh/m<sup>3</sup>, mis on 1,04 kWh/m<sup>3</sup> väiksem kui kõigi puhastite keskmine samas kvartalis. Teises kvartalis on keskmine elektri erikulu 2,26 kWh/m<sup>3</sup>, mis on 1,40 kWh/m<sup>3</sup> väiksem kui kõikide puhastite keskmine samas kvartalis. Kolmandas kvartalis on keskmine elektri erikulu 2,23 kWh/m<sup>3</sup>, mis on 1,36 kWh/m<sup>3</sup> väiksem kui kõikide puhastite keskmine samas kvartalis. Neljandas kvartalis on keskmine elektri erikulu 3,06 kWh/m<sup>3</sup>, mis on 1,01 kWh/m<sup>3</sup> väiksem kui kõikide puhastite keskmine samas kvartalis.

Kõikides gruppides peale teise peab paika seos, et I ja IV kvartali keskmine elektri erikulu on suurem kui II ja III kvartalis. Esimese, teise ja kolmanda grupi kvartali keskmised elektri erikulu väärtused on suuremad kui kõikide puhastite kvartali keskmised, erandiks on teise grupi IV kvartal. Neljandas ja viiendas grupis on kvartali keskmised elektri erikulu väärtused väiksemad kui kõikide puhastite kvartali keskmised.

## 5 REOVEEPUHASTITE ARVUTUSLIK ELEKTRI ERIKULU

### 5.1 Sissejuhatus

Antud peatükis on välja toodud puhastite dimensioneerimiseks kasutatud lähteandmed ja arvutuseks kasutatav meetoodika. Puhastite dimensioneerimisel on lähtutud kahest Saksa juhendmaterjalist. Läbivooluga aktiivmudapuhastitega ja aktiivmuda annuspuhastitega seotud arvutuste tegemiseks kasutatakse Saksa standardit „ATV-DVWK-A\_131E: „Dimensioning of Single-Stage Activated Sludge Plants“ ja eeskirja DWA-M\_210: „Belebungsanlagen mit Aufstaubetrieb (SBR)“.

Peatüki esimeses osas antakse ülevaade nii väiksemate ( $Q = 35 \text{ m}^3/\text{d}$ ) kui ka suuremate ( $Q = 70 \text{ m}^3/\text{d}$ ) puhastite lähteandmetest. Teises ja kolmandas osas tuuakse välja vastavalt läbivooluga aktiivmudapuhastite ja aktiivmuda annuspuhastite arvutamise meetoodika. Neljandas osas tuuakse välja arvutustulemused.

### 5.2 Reoveepuhastite dimensioneerimine

#### 5.2.1 Dimensioneerimise lähteandmed

##### Arvutusolukord I.

Puhasti ööpäevane vooluhulk  $Q_d = 35 \text{ m}^3/\text{d}$ .

Puhasti reostuskoormus väljendatuna inimekvivalentides ( $ie$ ) on 230.

Maksimaalne ööpäevane vooluhulk  $Q_{max,d}$  ( $\text{m}^3/\text{d}$ ) leitakse seosest: [11, lk. 24]

$$Q_{max,d} = k_{max,d} * Q_d, \quad (5.1)$$

kus  $k_{max,d}$  – maksimaalse vooluhulgaga ööpäeva ebäühtlustustegur,  $k_{max,d} = 1,1$  [11, lk. 24],

$Q_d$  – ööpäevane vooluhulk.

Maksimaalne ööpäevane vooluhulk leitakse valemiga (5.1)

$$Q_{max,d} = 1,1 * 35,0 = 38,5 \text{ m}^3/\text{d}$$

Tunni keskmine vooluhulk  $Q_{hk}$  ( $\text{m}^3/\text{h}$ ) leitakse seosest:

$$Q_{hk} = \frac{Q_d}{24}, \quad (5.2)$$

kus  $Q_d$  – ööpäevane reoveehulk, m<sup>3</sup>.

Tunni keskmine vooluhulk leitakse valemiga (5.2)

$$Q_{hk} = \frac{35}{24} = 1,46 \text{ m}^3/\text{h}$$

Maksimaalne tunni keskmine vooluhulk  $Q_{max,h}$  (m<sup>3</sup>/h) leitakse seosest: [11, lk. 24]

$$Q_{max,h} = \frac{Q_{max,d}}{24} * k_{max,h}, \quad (5.3)$$

kus  $Q_{max,d}$  – maksimaalne ööpäeva vooluhulk, m<sup>3</sup>/d,

$k_{max,h}$  – ebahütlustegur, mis leitakse heakorrasest ja elanike arvu arvestavate tegurite korrutisest. 230 inimese korral  $k_{max,h} = 4,2$  [11, lk.24].

Maksimaalne tunni vooluhulk leitakse valemiga (5.3)

$$Q_{max,h} = \frac{38,5}{24} * 4,2 = 6,7 \text{ m}^3/\text{h}$$

Reostuskoormus  $R_{BHT}$  (kgBHT<sub>7</sub>/d) leitakse seosest:

$$R_{BHT} = \frac{ie * määr}{1000}, \quad (5.4)$$

kus  $ie$  – reostuskoormus väljendatuna inimekvivalentides;

$määr$  – 1  $ie$  = 60 g BHT<sub>7</sub>/d [12, lk. 19].

Reostuskoormus leitakse valemiga (5.4)

$$R_{BHT} = \frac{230 * 60}{1000} = 13,8 \text{ kgBHT}_7/\text{d}$$

Reostuskoormus  $R_{KHT}$  (kgKHT/d) leitakse seosest:

$$R_{KHT} = \frac{ie * määr}{1000}, \quad (5.5)$$

kus  $ie$  – reostuskoormus väljendatuna inimekvivalentides;

$määr$  – 1  $ie$  = 120 g KHT/d [12, lk. 19].

Reostuskoormus leitakse valemiga (5.5)

$$R_{KHT} = \frac{230 * 120}{1000} = 27,6 \text{ kgKHT}_7/\text{d}$$

Reostuskoormus  $R_{HA}$  (kgHA/d) leitakse seosest:

$$R_{HA} = \frac{ie * \text{määr}}{1000}, \quad (5.6)$$

kus  $ie$  – reostuskoormus väljendatuna inimekvivalentides;

$$\text{määr} - 1 \text{ } ie = 70 \text{ g HA/d [12, lk. 19].}$$

Reostuskoormus leitakse valemiga (5.6)

$$R_{HA} = \frac{230 * 70}{1000} = 16,1 \text{ kgHA/d}$$

Reostuskoormus  $R_N$  (kgN/d) leitakse seosest:

$$R_N = \frac{ie * \text{määr}}{1000}, \quad (5.7)$$

kus  $ie$  – reostuskoormus väljendatuna inimekvivalentides;

$$\text{määr} - 1 \text{ } ie = 11 \text{ g N/d [12, lk. 19].}$$

Reostuskoormus leitakse valemiga (5.7)

$$R_N = \frac{230 * 11}{1000} = 2,5 \text{ kgN/d}$$

Reostuskoormus  $R_P$  (kgP/d) leitakse seosest:

$$R_P = \frac{ie * \text{määr}}{1000}, \quad (5.8)$$

kus  $ie$  – reostuskoormus väljendatuna inimekvivalentides;

$$\text{määr} - 1 \text{ } ie = 1,8 \text{ g P/d [12, lk. 19].}$$

Reostuskoormus leitakse valemiga (5.8)

$$R_P = \frac{230 * 1,8}{1000} = 0,4 \text{ kgP/d}$$

Arvutuslik puhastisse siseneva reovee kontsentratsioon  $BHT_7$  (mg/l) leitakse seosest:

$$BHT_7 = \frac{R_{BHT} * 1000}{Q_d}, \quad (5.9)$$

Arvutuslik puhastisse siseneva reovee kontsentratsioon leitakse valemiga (5.9)

$$BHT_7 = \frac{13,8 * 1000}{35} = 394,3 \text{ mg/l}$$

Arvutuslik puhastisse siseneva reovee kontsentratsioon  $HA$  (mg/l) järgi leitakse seosest:

$$HA = \frac{R_{HA} * 1000}{Q_d}, \quad (5.10)$$

Arvutuslik puhastisse siseneva reovee kontsentratsioon leitakse valemiga (5.10)

$$HA = \frac{16,1 * 1000}{35} = 460 \text{ mg/l}$$

Arvutuslik puhastisse siseneva reovee kontsentratsioon  $P$  (mg/l) järgi leitakse seosest:

$$P = \frac{R_P * 1000}{Q_d}, \quad (5.11)$$

Arvutuslik puhastisse siseneva reovee kontsentratsioon leitakse valemiga (5.11)

$$P = \frac{0,4 * 1000}{35} = 11,4 \text{ mg/l}$$

I arvutusolukorra lähteandmed ja tulemused on esitatud tabelis 5.1.

**Tabel 5.1.** I arvutusolukorra lähteandmed ja tulemused

Lähteandmed	Tulemused
Puhasti ööpäevane vooluhulk	$Q_d = 35 \text{ m}^3/\text{d}$
Maksimaalne ööpäevane vooluhulk	$Q_{max,d} = 38,5 \text{ m}^3/\text{d}$
Tunni keskmine vooluhulk	$Q_{hk} = 1,46 \text{ m}^3/\text{h}$
Maksimaalne tunni keskmine vooluhulk	$Q_{max,h} = 6,7 \text{ m}^3/\text{h}$
Puhasti reostuskoormus (ie)	$R_{ie} = 230 \text{ ie}$
Puhasti reostuskoormus (BHT <sub>7</sub> )	$R_{BHT7} = 13,8 \text{ kgBHT}_7/\text{d}$
Puhasti reostuskoormus (KHT)	$R_{KHT} = 27,6 \text{ kgKHT}/\text{d}$
Puhasti reostuskoormus (HA)	$R_{HA} = 16,1 \text{ kgHA}/\text{d}$
Puhasti reostuskoormus (N)	$R_N = 2,5 \text{ kgN}/\text{d}$
Puhasti reostuskoormus (P)	$R_P = 0,4 \text{ kgP}/\text{d}$
Reovee kontsentratsioon (BHT <sub>7</sub> )	$BHT_7 = 394,3 \text{ mg/l}$
Reovee kontsentratsioon (HA)	$HA = 460,0 \text{ mg/l}$
Reovee kontsentratsioon (P)	$P = 11,4 \text{ mg/l}$



## Arvutusolukord II.

Puhasti ööpäevane vooluhulk  $Q_d = 70 \text{ m}^3/\text{d}$ .

Puhasti reostuskoormus väljendatuna inimekvivalentides (*ie*) on 400.

Maksimaalne ööpäevane vooluhulk leitakse valemiga (5.1)

$$Q_{max,d} = 1,1 * 70,0 = 77,0 \text{ m}^3/\text{d}$$

Tunni keskmine vooluhulk leitakse valemiga (5.2)

$$Q_{hk} = \frac{70}{24} = 2,92 \text{ m}^3/\text{h}$$

Maksimaalne tunni vooluhulk leitakse valemiga (5.3)

Ebaühtlustegur 400 inimese korral –  $k_{max,h} = 3,3$  [11, lk.24].

$$Q_{max,h} = \frac{77}{24} * 3,3 = 10,6 \text{ m}^3/\text{h}$$

Reostuskoormus (BHT<sub>7</sub>) leitakse valemiga (5.4)

$$R_{BHT} = \frac{400 * 60}{1000} = 24,0 \text{ kgBHT}_7/\text{d}$$

Reostuskoormus (KHT) leitakse valemiga (5.5)

$$R_{KHT} = \frac{400 * 120}{1000} = 48,0 \text{ kgKHT}_7/\text{d}$$

Reostuskoormus (HA) leitakse valemiga (5.6)

$$R_{HA} = \frac{400 * 70}{1000} = 28,0 \text{ kgHA}/\text{d}$$

Reostuskoormus (N) leitakse valemiga (5.7)

$$R_N = \frac{400 * 11}{1000} = 4,4 \text{ kgN}/\text{d}$$

Reostuskoormus (P) leitakse valemiga (5.8)

$$R_P = \frac{400 * 1,8}{1000} = 0,72 \text{ kgP}/\text{d}$$

Arvutuslik puhastisse siseneva reovee kontsentratsioon (BHT<sub>7</sub>) leitakse valemiga (5.9)

$$BHT_7 = \frac{24,0 * 1000}{35} = 342,9 \text{ mg}/\text{l}$$

Arvutuslik puhastisse siseneva reovee kontsentratsioon (HA) leitakse valemiga (5.10)

$$HA = \frac{28,0 * 1000}{35} = 400,0 \text{ mg/l}$$

Arvutuslik puhastisse siseneva reovee kontsentratsioon (P) leitakse valemiga (5.11)

$$P = \frac{0,72 * 1000}{70} = 10,3 \text{ mg/l}$$

II arvutusolukorra lähteandmed ja tulemused on esitatakse tabelis 5.1.

**Tabel 5.2.** I arvutusolukorra lähteandmed ja tulemused

Lähteandmed	Tulemused
Puhasti ööpäevane vooluhulk	$Q_d = 70 \text{ m}^3/\text{d}$
Maksimaalne ööpäevane vooluhulk	$Q_{max,d} = 77,0 \text{ m}^3/\text{d}$
Tunni keskmine vooluhulk	$Q_{hk} = 2,92 \text{ m}^3/\text{h}$
Maksimaalne tunni keskmine vooluhulk	$Q_{max,h} = 10,6 \text{ m}^3/\text{h}$
Puhasti reostuskoormus (ie)	$R_{ie} = 400 \text{ ie}$
Puhasti reostuskoormus (BHT <sub>7</sub> )	$R_{BHT7} = 24,0 \text{ kgBHT}_7/\text{d}$
Puhasti reostuskoormus (KHT)	$R_{KHT} = 48,0 \text{ kgKHT}/\text{d}$
Puhasti reostuskoormus (HA)	$R_{HA} = 28,0 \text{ kgHA}/\text{d}$
Puhasti reostuskoormus (N)	$R_N = 4,4 \text{ kgN}/\text{d}$
Puhasti reostuskoormus (P)	$R_P = 0,72 \text{ kgP}/\text{d}$
Reovee kontsentratsioon (BHT <sub>7</sub> )	$BHT_7 = 342,9 \text{ mg/l}$
Reovee kontsentratsioon (HA)	$HA = 400,0 \text{ mg/l}$
Reovee kontsentratsioon (P)	$P = 10,3 \text{ mg/l}$

### 5.2.2 Läbivooluga aktiivmudapuhasti dimensioneerimine

Kasutades Saksa standartit „ATV-DVWK-A 131E“ on määratud järgmised aktiivmudaprotsessi lähteandmed:

- Dimensioneerimiseks kasutatav reoveetemperatuur –  $t = 10^\circ \text{ C}$ , [12, lk. 21];
- Anoksilise kambri osakaal kogu puhasti mahust ( $V_D/V_{AT}$ ) – 0,3, [12, lk. 21];
- Muda vanus – 14,3 d, [12, lk. 21];
- Mudaindeks (SVI) – 75-120 l/kg, [12, lk. 29];
- Aktiivmuda sisaldus mahuliselt (DSV) – 500 l/m<sup>3</sup>, [12, lk. 36];
- Muda tihenemise aeg järelsetitis ( $t_{Th}$ ) – 2 h, [12, lk. 37];
- Järelsetiti lubatud pinnakoormus ( $q_{sv}$ ) –  $\leq 575 \text{ l/m}^2 \cdot \text{h}$ , [12, lk. 38];

- Mudatagastuse suhtarv ( $RS$ ) –  $\leq 1,00$ , [12, lk. 38];
- Järelsetiti sügavuse ja laiuse suhe –  $\geq 0,5$ , [12, lk. 38].

### Järelsetiti parameetrid.

Järelsetiti põhjamuda kontsentratsioon  $SS_{BS}$  ( $\text{kg}/\text{m}^3$ ) leitakse seosest: [12, lk. 37]

$$SS_{BS} = \frac{1000}{SVI} * \sqrt[3]{t_{Th}}, \quad (5.12)$$

kus  $SVI$  – mudaindeks,  $\text{l}/\text{kg}$ ,

$t_{Th}$  – muda tihenemise aeg järelsetitis, h.

Tagastumuda kontsentratsioon  $SS_{RS}$  ( $\text{kg}/\text{m}^3$ ) leitakse seosest: [12, lk. 38]

$$SS_{RS} = m\ddot{a}är * SS_{BS}, \quad (5.13)$$

kus  $m\ddot{a}är$  –  $0,5...0,7$ , kui tagastumuda pumbatakse tagasi protsessi, [12, lk. 38],

$SS_{BS}$  – järelsetiti põhjamuda kontsentratsioon,  $\text{kg}/\text{m}^3$ .

Aktiivmuda kontsentratsioon biopuhastis  $SS_{AT}$  ( $\text{kg}/\text{m}^3$ ) leitakse seosest: [12, lk. 38]

$$SS_{AT} = \frac{RS * SS_{RS}}{1 + RS}, \quad (5.14)$$

kus  $RS$  – mudatagastuse suhtarv,

$SS_{RS}$  – tagastumuda kontsentratsioon,  $\text{kg}/\text{m}^3$ .

Järelsetiti ülevoolu tegur  $q_A$  ( $\text{m}/\text{h}$ ) leitakse seosest: [12, lk. 39]

$$q_A = \frac{q_{sv}}{DSV}, \quad (5.15)$$

kus  $q_{sv}$  – järelsetiti lubatud pinnakoormus,  $\text{l}/\text{m}^2 * \text{h}$ ,

$DSV$  – aktiivmuda sisaldus mahuliselt,  $\text{l}/\text{m}^3$ .

### Biopuhasti parameetrid.

Aktiivmuda juurdekasv  $SP_{d,C}$  ( $\text{kg}/\text{d}$ ) leitakse seosest: [12, lk. 28]

$$SP_{d,C} = B_{d,BHT} * (0,75 + 0,6 * \frac{X_{SS,IAT}}{C_{BHT,IAT}} - \quad (5.16)$$

$$- \frac{(1 - 0,2) * 0,17 * 0,75 * t_{SS} * F_t}{1 + 0,17 * t_{SS} * F_t}$$

kus  $B_{d, BHT7}$  – päevane BHT<sub>7</sub> hulk, kg/d,

$X_{SS, IAT}$  – heljuvaine kontsentratsioon, mg/l,

$C_{BHT, IAT}$  – BHT<sub>7</sub> kontsentratsioon, mg/l,

$t_{ss}$  – muda vanus, d,

$F_t$  – temperatuuri faktor, mis leitakse seosest: [12, lk. 28]

$$F_t = 1,072^{(T-15)}, \quad (5.17)$$

kus  $T$  – bioloogilise protsessi temperatuur, °C.

Temperatuuri faktor leitakse valemiga (5.16)

$$F_t = 1,072^{(10-15)} = 0,71$$

Keemiline muda juurdekasv  $SP_{d,P}$  (kg/d) leitsakse seosest: [12, lk. 28]

$$SP_{d,P} = \frac{Q_d * (3 * X_{P, BioP} + 6,8 * X_{P, Prec})}{1000} \quad (5.18)$$

kus  $Q_d$  – puhasti ööpäevane vooluhulk, m<sup>3</sup>/d,

$X_{P, BioP}$  – bioloogiliselt ärastatud fosfori kontsentratsioon, mg/l, mis leitakse seosest: [12, lk. 27]

$$X_{P, BioP} = \leq 0,005 * R_{(BHT)} \quad (5.19)$$

$X_{P, Prec}$  – ladestunud fosfori kontsentratsioon, mg/l, mis leitakse seosest: [12, lk. 27]

$$X_{P, Prec} = 80\% * (R_{(P)} - X_{P, BioP}) \quad (5.20)$$

Kogu muda juurdekasv  $SP_d$  (kg/d) leitakse seosest: [12, lk. 27]

$$SP_d = SP_{d,C} + SP_{d,P}, \quad (5.21)$$

kus  $SP_{d,C}$  – aktiivmuda juurdekasv, kg/d,

$SP_{d,P}$  – keemiline muda juurdekasv, kg/d.

Eemaldatava liigmuda maht  $V_{LM0,8\%}$  (m<sup>3</sup>/d) leitakse seosest:

$$V_{LM0,8\%} = \frac{SP_d}{r_{am} * KA\%} * 100, \quad (5.22)$$

kus  $SP_d$  – kogu muda juurdekasv, kg/d,

$r_{am}$  – aktiivmuda tihedus, 1020 kg/m<sup>3</sup> [13, lk.20],

$KA\%$  - aktiivmuda kuivainesisaldus.

Tihenenud liigmuda maht  $V_{LM4\%}$  (m<sup>3</sup>/d) leitakse valemiga (5.22)

Aktiivmuda hulk biopuhastis  $M_{SS,AT}$  (kg) leitakse seosest: [12, lk.30]

$$M_{SS,AT} = t_{ss} * SP_d, \quad (5.23)$$

kus  $t_{ss}$  – muda vanus, d,

$SP_d$  – kogu muda juurdekasv, kg/d.

Biopuhasti maht  $V_{AT}$  (m<sup>3</sup>) leitakse seosest: [12, lk. 30]

$$V_{AT} = \frac{M_{SS,AT}}{SS_{AT}} \quad (5.24)$$

kus  $M_{SS,AT}$  – aktiivmuda hulk biopuhastis, kg,

$SS_{AT}$  – aktiivmuda kontsentratsioon biopuhastis, kg/m<sup>3</sup>.

Anoksilise kambri osakaal kogu puhasti mahust on 30%, seega mahuti ruumala  $V_D$  (m<sup>3</sup>) leitakse seosest:

$$V_D = 0,3 * V_{AT}, \quad (5.25)$$

kus  $V_{AT}$  – biopuhasti maht, m<sup>3</sup>.

Õhustuskambri ruumala  $V_N$  (m<sup>3</sup>) leitakse seosest: [12, lk.12]

$$V_N = V_{AT} - V_D, \quad (5.26)$$

kus  $V_{AT}$  – biopuhasti maht, m<sup>3</sup>,

$V_D$  – anoksilise kambri maht, m<sup>3</sup>.

Anoksilise kambri külje pikkus (eeldusel, et vee tasapind mahuti põhjast on 3 m ja mahuti on ruudukujulise pinnaga) leitakse seosest:

$$a = \sqrt{(V_D/h)} \quad (5.27)$$

kus  $V_D$  – anoksilise kambri maht, m<sup>3</sup>,

$h$  – vee tasapind mahuti põhjast.

Anoksilise kambri tegelik maht leitakse seosest:

$$V_D = a * b * h \quad (5.28)$$

kus  $a, b$  – külje pikkused, m,

$h$  – vee tasapind mahuti põhjast, m.

Hüdrauliline viibeaeg  $t_H$  (h) leitakse seosest:

$$t_H = \frac{V_{AT}}{Q_{max,h}}, \quad (5.29)$$

kus  $V_{AT}$  – biopuhasti maht, m<sup>3</sup>,

$Q_{max,h}$  – maksimaalne tunni keskmine vooluhulk, m<sup>3</sup>/h

### Hapniku vajadus.

Hapniku vajadus süsiniku ärastuseks  $OV_{d,C}$  (kgO<sub>2</sub>/d) leitakse seosest: [14, lk. 40]

$$OV_{d,C} = OV_{C,BHT} * R_{d,BHT}, \quad (5.30)$$

kus  $OV_{C,BHT}$  – hapniku tarve süsinikuühendite (BHT<sub>7</sub>) eemaldamiseks; 15 päeva vanuse ja  $t = 10^\circ \text{C}$  aktiivmuda puhul  $OV_{C,BHT} = 1,13 \text{ kg O}_2/\text{kg BHT}_7$  [12, lk.32],

$R_{d,BHT}$  – päevane reostuskoormus BHT<sub>7</sub> järgi, kgBHT<sub>7</sub>/d.

Hapniku vajadus nitrifikatsiooniks  $OV_{d,N}$  (kgO<sub>2</sub>/d) leitakse seosest: [14, lk. 40]

$$OV_{d,N} = 4,3 * R_N, \quad (5.31)$$

kus  $R_N$  – ärastatav lämmastiku kogus, kgN/d.

Hapniku vajadus denitrifikatsiooniks  $OV_{d,D}$  (kgO<sub>2</sub>/d) leitakse seosest: [14, lk. 40]

$$OV_{d,D} = 2,9 * R_N, \quad (5.32)$$

kus  $R_N$  – ärastatav lämmastiku kogus, kgN/d.

Hapniku vajaduse ööpäevane tipp  $OV_h$  (kgO<sub>2</sub>/h) leitakse seosest: [14, lk. 32]

$$OV_h = \frac{f_C * (OV_{d,C} - OV_{d,D}) + f_N * OV_{d,N}}{24}, \quad (5.33)$$

kus  $OV_{d,C}$  – hapniku vajadus süsiniku ärastuseks, kgO<sub>2</sub>/d,

$OV_{d,D}$  – hapniku vajadus denitrifikatsiooniks, kgO<sub>2</sub>/d,

$OV_{d,N}$  – hapniku vajadus nitrifikatsiooniks, kgO<sub>2</sub>/d,

$f_C$  – faktor maksimaalse süsinikuühendite ärastamise korral, mis on 15 päeva vanuse aktiivmuda korral  $f_C = 1,15$  [12, lk.33],

$f_N$  – faktor maksimaalse lämmastikuärastamise korral, mis on 15 päeva vanuse aktiivmuda korral  $f_N = 2,0$  [12, lk.33].

### Läbivooluga aktiivmudapuhasti õhu vajadus.

Õhu vajadus  $Q_{\tilde{o}}$  (m<sup>3</sup>/h) leitakse seosest:

$$Q_{\tilde{o}} = \frac{OV_h}{0,23 * ea}, \quad (5.34)$$

kus  $OV_h$  – hapniku vajaduse päevane tipp, kgO<sub>2</sub>/h

$ea$  - aeraatori efektiivsus, soovituslik 20% [15],

0,23 – hapniku kaal ühes normaalkuupmeetrise õhus, kg/m<sup>3</sup> [15].

Aeraatorite arvu  $n$  (tk) leiame seosest:

$$n = \frac{Q_{\tilde{o}}}{4}, \quad (5.35)$$

kus  $Q_{\tilde{o}}$  – õhu vajadus, m<sup>3</sup>/h,

4 – ühe aeraatori poolt protsessi juhitud õhuhulk, m<sup>3</sup>/h.

### Puhurite dimensioneerimine.

Õhustuskambri puhuri lähteandmed:

- Puhurist väljuva õhu temperatuur –  $t = 100^\circ \text{C}$  [16]
- Õhu kinemaatiline viskoossus temperatuuril  $100^\circ \text{C}$  –  $\nu = 23,06 * 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$  [16]

- Õhu tihedus temperatuuril 100° C –  $\rho = 0,946 \text{ kg/m}^3$
- Õhutoru mark – AISI 316
- Toru karedus –  $\varepsilon = 0,15 \text{ mm}$  [16]

Toru ristlõikepindala  $A \text{ (m}^2\text{)}$  leitakse seosest: [16]

$$A = \frac{\pi * d^2}{4}, \quad (5.36)$$

kus  $d$  – toru läbimõõt, m.

Õhu liikumise kiirus  $v \text{ (m/s)}$  toru ristlõikes leitakse seosest: [16]

$$v = \frac{Q_{\tilde{o}}}{A}, \quad (5.37)$$

kus  $Q_{\tilde{o}}$  – vooluhulk, m<sup>3</sup>/h,

$A$  – toru ristlõikepindala, m<sup>2</sup>.

Reynoldsi arv ( $R_e$ ) leitakse seosest: [16]

$$R_e = \frac{v * d}{\nu}, \quad (5.38)$$

kus  $v$  – õhu liikumise kiirus, m/s,

$d$  – toru läbimõõt, m,

$\nu$  – õhu kinemaatiline viskoossus, m<sup>2</sup>/s.

Suhteline karedus  $SK$  leitakse seosest: [16]

$$SK = \frac{\varepsilon}{d}, \quad (5.39)$$

kus  $\varepsilon$  – toru karedus, mm,

$d$  – toru läbimõõt, mm.

Hõõrdetegur  $\lambda$  leitakse Moody diagrammilt Reynoldsi arvu ja suhtelise kareduse järgi [17].

Rõhukadu õhutorustikus  $\Delta P_f$  leitakse seosest: [16]



$$\Delta Pf = \lambda * \frac{l}{d} * \frac{\rho * v^2}{2}, \quad (5.40)$$

kus  $\lambda$  – hõõrdetegur,

$l$  – toru pikkus, m,

$d$  – toru diameeter, m,

$\rho$  – õhu tihedus, kg/m<sup>3</sup>,

$v$  – õhu liikumise kiirus, m/s.

Aeraatorid asuvad 2,8 m sügavusel, seega vee poolt tekitatav rõhukadu  $p_{vesi} = 2,8 \text{ mH}_2\text{O} = 274,6 \text{ mBar}$ .

Peenmull aeraatorite poolt tekitatav rõhukadu, kui üks aeraatori poolt protsessi juhitav õhuhulk on 4 m<sup>3</sup>/h,  $p_{aeraator} = 3 \text{ kPa} = 30 \text{ mBar}$  [18]

Jämemull aeraatorite poolt tekitatav rõhukadu, kui üks aeraatori poolt protsessi juhitav õhuhulk on 4 m<sup>3</sup>/h,  $p_{aeraator} = 6,7 \text{ mBar}$  [19]

Kogu rõhk  $p_t$  (mBar) leitakse seosest: [16]

$$p_t = p_{vesi} + p_{aeraator} + \Delta Pf, \quad (5.41)$$

kus  $p_{vesi}$  – vee poolt tekitatav rõhukadu, mBar,

$p_{aeraator}$  – aeraatorite poolt tekitatav rõhukadu, mBar,

$\Delta Pf$  – hõõrdekadu õhutorustikus, mBar.

Mudatihendi puhuri lähteandmed on samad, mis õhustuskambri puhuril. Puhuri andmete leidmine käib sarnaselt nagu õhustuskambri puhuri arvutus.

### **Pumpade dimensioneerimine.**

Mudaringluspumba lähteandmed:

- Vee kinemaatiline viskoossus temperatuuril 10°C –  $\nu = 1,308 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$  [20, lk. 13],
- Vee tihedus temperatuuril 10°C –  $\rho = 0,999 \text{ kg/m}^3$  [21],
- Toru mark – PE,
- Toru karedus –  $\varepsilon = 0,01 \text{ mm}$  [22],

Toru ristlõikepindala leitakse valemiga (5.36)

Vedeliku liikumise kiirus toru ristlõikes leitakse valemiga (5.37)

Reynoldsi arv leitakse valemiga (5.38)

Suhteline karedus leitakse valemiga (5.39)

Hõõrdetegur  $\lambda$  leitakse Moody diagrammilt Reynoldsi arvu ja suhtelise kareduse järgi [17].

Pumba tõstekõrgus  $H$  (m) leitakse seosest: [11, lk.51]

$$H = H_{geod} + H_J, \quad (5.42)$$

kus  $H_{geod}$  – geodeetiline tõstekõrgus, m,

$H_J$  – survekaod torus, m, mis leitakse seosest:

$$H_J = \lambda * \frac{l}{d} * \frac{v^2}{2g}, \quad (5.43)$$

kus  $\lambda$  – hõõrdetegur,

$l$  – toru pikkus, m,

$d$  – toru siseläbimõõt, m,

$v$  – vee liikumise kiirus toru ristlõikes, m/s,

$g$  – raskuskiirendus, m/s<sup>2</sup>.

Pumba tõstekõrguse arvutamisel jäetakse arvestamata torus tekkivad kohtsurvekaod, sest need on marginaalsed ja avaldavad lõpptulemusele vähest mõju.

Järelsetiti pumba lähteandmed on samad, mis mudaringluspumba puhul. Pumba andmete leidmine käib sarnaselt nagu mudaringluspumba arvutus.

### 5.2.3 Aktiivmuda annuspuhasti dimensioneerimine

Kasutades Saksa standartit „ATV-DVWK-A 131E“ ja eeskirja „DWA-M\_210“ on määratud järgmised lähteparameetrid:

- Dimensioneerimiseks kasutatav reoveetemperatuur – 10° C, [12, lk. 21];
- Muda vanus – 14,3 d, [12, lk. 21];
- Aktiivmuda minimaalne kontsentratsioon ( $TS_{min}$ ) – 5, [14, lk.38];

- Mudaindeks (*SVI*) – 75-120 l/kg, [12, lk. 29];
- Aktiivmuda sisaldus mahuliselt (*DSV*) – 500 l/m<sup>3</sup>, [12, lk. 36];
- Protsessimahutite arv (*n*) – 1;
- Tsükliite arv ööpäevas kokku – 2;
- Tsükli kestus (*t<sub>cycle</sub>*) – 12 h, [14, lk. 37];
- Täitmise aeg (*t<sub>filling</sub>*) – 1 h, [14, lk. 37];
- Settimise aeg (*t<sub>setting</sub>*) – 1 h, [14, lk. 37];
- Tühjendamise aeg (*t<sub>decant</sub>*) – 1 h, [14, lk. 37];

Puhastusprotsessi kestus  $T_R$  (h) leitakse seosest: [14, lk. 37]

$$T_R = t_{cycle} - t_{filling} - t_{setting} - t_{decant} \quad (5.44)$$

- Puhastusprotsessi kestus leitakse valemiga (5.44)

$$T_R = 12 - 1 - 1 - 1 = 9 \text{ h}$$

- Nitrifikatsiooni osakaal – 63%, [14, lk. 37];
- Denitrifikatsiooni osakaal – 37%, [14, lk. 37];

Nitrifikatsiooni aeg  $t_N$  (h) leitakse seosest: [14, lk. 37]

$$t_N = T_R * 0,63 \quad (5.45)$$

kus  $T_R$  – puhastusprotsessi kestus, h.

- Nitrifikatsiooni aeg leitakse valemiga (5.45)

$$t_N = 9 * 0,63 = 5,67 \text{ h}$$

Denitrifikatsiooni aeg ( $t_D$ ) leitakse seosest: [14, lk. 37]

$$t_D = T_R * 0,37 \quad (5.46)$$

kus  $T_R$  – puhastusprotsessi kestus, h.

- Denitrifikatsiooni aeg leitakse valemiga (5.46)

$$t_D = 9 * 0,37 = 3,33 \text{ h}$$

### Biopuhasti parameetrid.

Aktiivmuda juurdekasv leitakse valemiga (5.16)

Bioloogiliselt ärastatud fosfori kontsentratsioon leitakse valemiga (5.19)

Ladestunud fosfori kontsentratsioon leitakse valemiga (5.20)

Keemiline muda juurdekasv leitakse valemiga (5.18)

Kogu muda juurdekasv leitakse valemiga (5.21)

Eemaldatava liigmuda maht leitakse valemiga (5.22)

Tihenenud liigmuda maht leitakse valemiga (5.22)

Aktiivmuda hulk biopuhastis leitakse valemiga (5.23)

Aktiivmuda hulk protsessimahutis  $M_{TS,RR}$  (kg) leitakse seosest: [14, lk. 37]

$$M_{TS,RR} = M_{TS,BB} * \frac{t_{cycle}}{t_R}, \quad (5.47)$$

kus  $t_{cycle}$  – tsükli kestus, h,

$t_R$  – puhastusprotsessi kestus, h.

Protsessimahuti seisev maht  $V_{min}$  (m<sup>3</sup>) leitakse seosest: [14, lk. 38]

$$V_{min} = \frac{M_{TS,RR}}{TS_{min} * n}, \quad (5.48)$$

kus  $M_{TS,RR}$  – aktiivmuda hulk protsessimahutis, kg,

$TS_{min}$  – aktiivmuda minimaalne kontsentratsioon,

$n$  – protsessimahutite arv, tk.

Protsessimahuti muutuv maht  $\Delta V_{max}$  (m<sup>3</sup>) leitakse seosest: [14, lk. 38]

$$\Delta V_{max} = \frac{Q_{kh} * t_{cycle}}{n}, \quad (5.49)$$

kus  $Q_{kh}$  – tunni keskmine vooluhulk, m<sup>3</sup>/h,

$t_{cycle}$  – tsükli kestus, h,

$n$  – protsessimahutite arv, tk.

Protsessimahuti maht  $V_R$  ( $m^3$ ) leitakse seosest: [14, lk 38]

$$V_R = V_{min} + \Delta V_{max}, \quad (5.50)$$

kus  $V_{min}$  – protsessimahuti seisev maht,  $m^3$ ,

$\Delta V_{max}$  – protsessimahuti muutuv maht,  $m^3$ .

Protsessimahuti põhjapindala  $A$  ( $m^2$ ) (eeldusel, et vee tasapind mahuti põhjast on 3 m ja mahuti on ristkülikulise pinnaga) leitakse seosest:

$$A = \frac{V_R}{h} \quad (5.51)$$

kus  $V_R$  – protsessimahuti maht,  $m^3$ ,

$h$  – vee tasapind mahuti põhjast.

Valitakse ühe külje pikkus  $a$  (m), seega teise külje pikkus  $b$  (m) leitakse seosest:

$$b = \frac{A}{a} \quad (5.52)$$

kus  $A$  – protsessimahuti põhjapindala,  $m^2$ ,

Protsessimahuti tegelik maht leitakse seosest:

$$V_R = a * b * h \quad (5.53)$$

kus  $a, b$  – külje pikkused, m,

$h$  – vee tasapind mahuti põhjast, m.

Mahukoormus  $f_A$  leitakse seosest: [14, lk. 38]

$$f_A = \frac{\Delta V_{max}}{V_R} \quad (5.54)$$

kus  $\Delta V_{max}$  – protsessimahuti muutuv maht,  $m^3$ ,

$V_R$  – protsessimahuti maht,  $m^3$ .

Tuleks hoiduda projekteerimast puhasteid, mille  $f_A$  väärtus on suurem kui 0,5 [14, lk.22].

Ühtlustusmahuti minimaalne maht  $V_{\dot{U}M}$  ( $m^3$ ) leitakse seosest:

$$V_{\dot{U}M} = 1,0 * Q_d \quad (5.55)$$

kus  $Q_d$  – ööpäevane reoveehulk, m<sup>3</sup>.

Ühtlustusmahuti külje pikkused (eeldusel, et vee tasapind mahuti põhjast on 3 m ja mahuti on ruudukujulise pinnaga) leitakse valemiga (5.27)

Ühtlustusmahuti tegelik maht leitakse valemiga (5.28)

### **Hapniku vajadus.**

Hapniku vajadus süsiniku ärastuseks leitakse valemiga (2.30)

Hapniku vajadus nitrifikatsiooniks leitakse valemiga (5.31)

Hapniku vajadus denitrifikatsiooniks leitakse valemiga (5.32)

Hapniku vajaduse ööpäevane tipp  $OV_h$  (kgO<sub>2</sub>/h) leitakse seosest:

$$OV_h = \frac{1}{1 - V_D/V_{BB}} * \frac{1}{n * t_R} * (f_C * (OV_{d,C} - OV_{d,D}) + f_N * OV_N), \quad (5.56)$$

kus  $V_D/V_{BB}$  – nitrifikatsiooni ja denitrifikatsiooni suhe – 0,37 [14, lk 37],

$OV_{d,C}$  – hapniku vajadus süsiniku ärastuseks, kgO<sub>2</sub>/d,

$OV_{d,N}$  – hapniku vajadus nitrifikatsiooniks, kgO<sub>2</sub>/d,

$OV_{d,D}$  – hapniku vajadus denitrifikatsiooniks, kgO<sub>2</sub>/d,

$n$  – tsüklite arv ööpäevas, tk,

$t_R$  – puhastusprotsessi kestus, h,

$f_C$  – faktor maksimaalse süsinikuühendite ärastamise korral, mis on 14,3 päeva vanuse aktiivmuda korral  $f_C = 1,15$  [12, lk.33],

$f_N$  – faktor maksimaalse lämmastikuärastamise korral, mis on 14,3 päeva vanuse aktiivmuda korral  $f_N = 2,0$  [12, lk.33].

### **Aktiivmuda annuspuhasti õhu vajadus.**

Õhu vajadus leitakse valemiga (5.34)

Aeraatorite arv leitakse valemiga (5.35)

### **Puhurite dimensioneerimine.**

Protsessimahuti puhuri lähteandmed:

- Puhurist väljuva õhu temperatuur –  $t = 100^{\circ}\text{C}$  [16]
- Õhu kinemaatiline viskoossus temperatuuril  $100^{\circ}\text{C}$  –  $\nu = 23,06 \cdot 10^{-6}\text{ m}^2/\text{s}$  [16]
- Õhu tihedus temperatuuril  $100^{\circ}\text{C}$  –  $\rho = 0,946\text{ kg}/\text{m}^3$  [16]
- Õhutoru mark – AISI 316
- Toru karedus –  $\varepsilon = 0,15\text{ mm}$  [16]

Toru ristlõikepindala leitakse valemiga (5.36)

Õhu liikumise kiirus toru ristlõikes leitakse valemiga (5.37)

Reynoldsi arv leitakse valemiga (5.38)

Suhteline karedus leitakse valemiga (5.39)

Hõõrdetegur  $\lambda$  leitakse Moody diagrammilt Reynoldsi arvu ja suhtelise kareduse järgi [17].

Rõhukadu õhutorustikus leitakse valemiga (5.40)

Aeraatorid asuvad 2,8 m sügavusel, seega vee poolt tekitatav rõhukadu  $p_{vesi} = 2,8\text{ mH}_2\text{O} = 274,6\text{ mBar}$ .

Peenmull aeraatorite poolt tekitatav rõhukadu, kui üks aeraatori poolt protsessi juhitud õhuhulk on  $4\text{ m}^3/\text{h}$ ,  $p_{aeraator} = 3\text{ kPa} = 30\text{ mBar}$  [18]

Jämemull aeraatorite poolt tekitatav rõhukadu, kui üks aeraatori poolt protsessi juhitud õhuhulk on  $4\text{ m}^3/\text{h}$ ,  $p_{aeraator} = 6,7\text{ mBar}$  [19]

Kogu rõhk leitakse valemiga (5.41)

Mudatihendi puhuri lähteandmed on samad, mis protsessimahuti puhuri puhul. Puhuri andmete leidmine käib sarnaselt nagu protsessimahuti puhuri arvutus.

### **Pumpade dimensioneerimine.**

Ühtlustusmahuti tühjenduspumba lähteandmed:

- Vee kinemaatiline viskoossus temperatuuril  $10^{\circ}\text{C}$  –  $\nu = 1,308 \cdot 10^{-6}\text{ m}^2/\text{s}$  [20, lk. 13],
- Vee tihedus temperatuuril  $10^{\circ}\text{C}$  –  $\rho = 0,999\text{ kg}/\text{m}^3$  [21],
- Toru mark – PE,

- Toru karedus –  $\varepsilon = 0,01$  mm [22],

Toru ristlõikepindala leitakse valemiga (5.36)

Vedeliku liikumise kiirus toru ristlõikes leitakse valemiga (5.37)

Reynoldsi arv leitakse valemiga (5.38)

Suhteline karedus leitakse valemiga (5.39)

Hõõrdetegur  $\lambda$  leitakse Moody diagrammilt Reynoldsi arvu ja suhtelise kareduse järgi [17].

Survekaod torus leitakse valemiga (5.43)

Pumba tõstekõrgus leitakse valemiga (5.42)

Protsessimahuti settepumba lähteandmed on samad, mis ühtlustusmahuti tühjenduspumbal.

Pumba andmete leidmine käib sarnaselt nagu ühtlustusmahuti tühjenduspumba arvutus.

Protsessimahuti tühjenduspumba lähteandmed on samad, mis ühtlustusmahuti tühjenduspumbal. Pumba andmete leidmine käib sarnaselt nagu ühtlustusmahuti tühjenduspumba arvutus.

#### 5.2.4 Arvutustulemused

Läbivooluga aktiivmudapuhastite ja seal kasutatavate seadmete dimensioneerimiseks teostatud arvutused on esitatud lisa 7 .

Läbivooluga aktiivmudapuhasti,  $Q = 35$  m<sup>3</sup>/d;  $R = 230$  ie, põhilised parameetrid:

- Anoksilise kambri maht –  $V_D = 18,8$  m<sup>3</sup>,
- Õhustuskambri maht –  $V_N = 44,2$  m<sup>3</sup>,
- Mudatihendi maht –  $V_{MT} = 10$  m<sup>3</sup>,
- Õhustuskambri õhuvajadus –  $Q_{\tilde{o}} = 28,3$  m<sup>3</sup>/h,
- Mudatihendi õhuvajadus –  $Q_{\tilde{o}} = 20$  m<sup>3</sup>/h,
- Õhustuskambri puhuri parameetrid:
  - $Q = 28,3$  m<sup>3</sup>/h,
  - $p_t = 305,1$  mBar.
- Mudatihendi puhuri parameetrid:
  - $Q = 20,0$  m<sup>3</sup>/h,
  - $p_t = 281,4$  mBar.
- Mudaringluspumba parameetrid:



- $Q = 5,8 \text{ m}^3/\text{h}$ ,
- $H = 0,57 \text{ m}$ .
- Järelsetiti pumba parameetrid:
  - $Q = 1,5 \text{ m}^3/\text{h}$ ,
  - $H = 0,52 \text{ m}$ .

Läbivooluga aktiivmudapuhasti,  $Q = 70 \text{ m}^3/\text{d}$ ;  $R = 400 \text{ ie}$ , põhilised parameetrid:

- Anoksilise kambri maht –  $V_D = 34,7 \text{ m}^3$ ,
- Õhustuskambri maht –  $V_N = 77,2 \text{ m}^3$ ,
- Mudatihendi maht –  $V_{MT} = 20 \text{ m}^3$ ,
- Õhustuskambri õhuvajadus –  $Q_{\tilde{O}} = 49,1 \text{ m}^3/\text{h}$ ,
- Mudatihendi õhuvajadus –  $Q_{\tilde{O}} = 40 \text{ m}^3/\text{h}$ ,
- Õhustuskambri puhuri parameetrid:
  - $Q = 49,1 \text{ m}^3/\text{h}$ ,
  - $p_t = 306,1 \text{ mBar}$ .
- Mudatihendi puhuri parameetrid:
  - $Q = 40,0 \text{ m}^3/\text{h}$ ,
  - $p_t = 282,1 \text{ mBar}$ .
- Mudaringluspumba parameetrid:
  - $Q = 11,7 \text{ m}^3/\text{h}$ ,
  - $H = 0,56 \text{ m}$ .
- Järelsetiti pumba parameetrid:
  - $Q = 3,0 \text{ m}^3/\text{h}$ ,
  - $H = 0,56 \text{ m}$ .

Aktiivmuda annuspuhastite ja seal kasutatavate seadmete dimensioneerimiseks teostatud arvutused on esitatud lisas 8.

Aktiivmuda annuspuhasti,  $Q = 35 \text{ m}^3/\text{d}$ ;  $R = 230 \text{ ie}$ , põhilised parameetrid:

- Ühtlustusmahuti maht –  $V_{\tilde{U}M} = 34,7 \text{ m}^3$ ,
- Protsessimahuti seisev maht –  $V_{min} = 64,1 \text{ m}^3$ ,
- Protsessimahuti muutuv maht –  $\Delta V_{max} = 17,5 \text{ m}^3$ ,
- Protsessimahuti maht –  $V_R = 81,0 \text{ m}^3$ ,
- Mudatihendi maht –  $V_{MT} = 10 \text{ m}^3$ ,

- Protsessimahuti õhuvajadus –  $Q_{\delta} = 59,8 \text{ m}^3/\text{h}$ ,
- Mudatihendi õhuvajadus –  $Q_{\delta} = 20 \text{ m}^3/\text{h}$ ,
- Protsessimahuti puhuri parameetrid:
  - $Q = 59,8 \text{ m}^3/\text{h}$ ,
  - $p_t = 306,7 \text{ mBar}$ .
- Mudatihendi puhuri parameetrid:
  - $Q = 20,0 \text{ m}^3/\text{h}$ ,
  - $p_t = 281,4 \text{ mBar}$ .
- Ühtlustusmahuti tühjenduspumba parameetrid:
  - $Q = 17,5 \text{ m}^3/\text{h}$ ,
  - $H = 3,56 \text{ m}$ .
- Protsessimahuti settepumba parameetrid:
  - $Q = 2,1 \text{ m}^3/\text{h}$ ,
  - $H = 1,12 \text{ m}$ .
- Protsessimahuti tühjenduspumba parameetrid:
  - $Q = 17,5 \text{ m}^3/\text{h}$ ,
  - $H = 1,16 \text{ m}$ .

Aktiivmuda annuspuhasti,  $Q = 70 \text{ m}^3/\text{d}$ ;  $R = 400 \text{ ie}$ , põhilised parameetrid:

- Ühtlustusmahuti maht –  $V_{\dot{U}M} = 69,1 \text{ m}^3$ ,
- Protsessimahuti seisev maht –  $V_{min} = 116,5 \text{ m}^3$ ,
- Protsessimahuti muutuv maht –  $\Delta V_{max} = 35,0 \text{ m}^3$ ,
- Protsessimahuti maht –  $V_R = 151,2 \text{ m}^3$ ,
- Mudatihendi maht –  $V_{MT} = 20 \text{ m}^3$ ,
- Protsessimahuti õhuvajadus –  $Q_{\delta} = 90,2 \text{ m}^3/\text{h}$ ,
- Mudatihendi õhuvajadus –  $Q_{\delta} = 40 \text{ m}^3/\text{h}$ ,
- Protsessimahuti puhuri parameetrid:
  - $Q = 90,2 \text{ m}^3/\text{h}$ ,
  - $p_t = 308,9 \text{ mBar}$ .
- Mudatihendi puhuri parameetrid:
  - $Q = 40,0 \text{ m}^3/\text{h}$ ,
  - $p_t = 282,1 \text{ mBar}$ .
- Ühtlustusmahuti tühjenduspumba parameetrid:

- $Q = 35,0 \text{ m}^3/\text{h}$ ,
- $H = 3,59 \text{ m}$ .
- Protsessimahuti settepumba parameetrid:
  - $Q = 3,8 \text{ m}^3/\text{h}$ ,
  - $H = 1,29 \text{ m}$ .
- Protsessimahuti tühjenduspumba parameetrid:
  - $Q = 35,0 \text{ m}^3/\text{h}$ ,
  - $H = 1,29 \text{ m}$ .

Biokilepuhasti,  $Q = 35 \text{ m}^3/\text{d}$ ;  $R = 230$  ie, põhilised parameetrid: [23]

- Eelsetiti maht –  $V_{ES} = 13,5 \text{ m}^3$ ,
- Pumbakambri maht –  $V_{PK} = 1,5 \text{ m}^3$ ,
- Jääksettemahuti maht –  $V_{JS} = 10 \text{ m}^3$ ,
- Bioreaktori maht –  $V_{BR} = 13,8 \text{ m}^3$ .

Biokilepuhasti,  $Q = 70 \text{ m}^3/\text{d}$ ;  $R = 400$  ie, põhilised parameetrid: [23]

- Eelsetiti maht –  $V_{ES} = 18,0 \text{ m}^3$ ,
- Pumbakambri maht –  $V_{PK} = 2,0 \text{ m}^3$ ,
- Jääksettemahuti maht –  $V_{JS} = 10 \text{ m}^3$ ,
- Bioreaktori maht –  $V_{BR} = 25,1 \text{ m}^3$ .

## 5.3 Reoveepuhastite elektri erikulu

### 5.3.1 Sissejuhatus

Antud peatükis tuuakse välja erinevate reoveepuhastite seadmete poolt tarbitav elektri kogus ja leitakse puhastite elektri erikulu.

Reoveepuhastite elektri erikulu arvutamiseks leitakse esmalt seadmete võimsused ja töötamise aeg. Seadmete elektrikulu leitakse võimsuse ja töötamise aja korrutisena. Elektri erikulu leitakse reoveepuhasti elektrikulu ja puhastisse jõudva reoveekoguse jagatisena. Seadmete andmed on saadud tooteid pakkuvate firmade käestst [24; 25] ning valik on tehtud lähtudes seadmete eelnevalt leitud parameetritest. Ettevõtetele esitati seadmete kohta järgmised andmed:

- Miksrid:

- Mahutite mõõtmed,  $a, b$ ;
- Vee kõrgus mahutis,  $h$ .
- Puhurid:
  - Õhuhulk,  $Q$ ;
  - Kogu rõhk,  $p_t$ .
- Pumbad:
  - Vooluhulk,  $Q$ ;
  - Tõstekõrgus,  $H$ .

Reoveepuhastite elektrikulu leidmisel ei arvestata elektrikuluga, mis kulub kemikaalipumba ja võreseedme tööks. Antud seadmete elektrikulu jäetakse arvutustest välja, sest see moodustab väikese osa kogu puhasti elektrikulust ja on kõikide puhastite puhul sama ning erinevate puhastustehnoloogiate võrdlusel seega tulemust ei mõjuta.

### 5.3.2 Läbivooluga aktiivmudapuhastid

Läbivooluga aktiivmudapuhastites on elektrit tarbivaid seadmeid viis. Anoksilise kambri mikser töötab 24 tundi ööpäevas. Protsess töötab kestusõhustuse põhimõttel, seega õhustuskambri puhur töötab 24 tundi ööpäevas. Mudatihendis toimub samuti kestusõhustus, välja arvatud mudatihendi tühjendus ajal ja tund aega enne mudaemaldust. Mudatihendi puhur töötab seega 22 tundi ööpäevas. Mudaringluspump töötab 24 tundi ööpäevas. Järelsetiti pump töötab teatud aja iga tunni tagant, et eemaldada tunniga settinud mudasegu. Vajadusel tekitatakse siibriga kohtsurvetakistus, et pumba tööpunkt asuks pumba graafikul.

Pumba mootori võimsuse leidmiseks loetakse graafikult pumba võimsus ja jagatakse see mootori efektiivsusega.

Läbivooluga aktiivmudapuhasti,  $Q = 35 \text{ m}^3/\text{d}$ ;  $R = 230 \text{ ie}$ , seadmete elektrikulu on esitatud tabelis 5.3.

**Tabel 5.3.** Läbivooluga aktiivmudapuhasti,  $Q = 35 \text{ m}^3/\text{d}$ ;  $R = 230 \text{ ie}$ , seadmete elektrikulu

Nr	Pos nr	Nimetus	Tootja, mudel	Võimsus, $P$ (kW)	Töötamise kestus, $t$ (h)	Tarbitav elekter, $E$ (kWh/d)
1	MX.1	Anoksilise kambri mikser	KSB Amamix V 2227/14 UDG	0,88	24	21,12
2	PU.1	Protsessimahuti puhur	Mapner SEM 1	0,95	24	22,8

Nr	Pos nr	Nimetus	Tootja, mudel	Võimsus, P (kW)	Töötamise kestus, t (h)	Tarbitav elekter, E (kWh/d)
3	PU.1	Mudatihendi puhur	Mapner SEM 1	0,84	22	18,48
4	P.1	Mudaringlus-pump	KSB Amarex NF 65-220/ /004ULG-112	0,4	24	9,6
5	P.2	Järelsetiti pump	KSB Amarex NF 65-220/ /004ULG-112	0,5	1,8	0,9
<b>Kokku</b>						<b>72,9</b>
<b>Elektri erikulu (kWh/m<sup>3</sup>)</b>						<b>2,08</b>

Läbivooluga aktiivmudapuhasti,  $Q = 35 \text{ m}^3/\text{d}$ ;  $R = 230$  ie, arvutuslik elektri erikulu on  $2,13 \text{ kWh}/\text{m}^3$ .

Läbivooluga aktiivmudapuhasti,  $Q = 70 \text{ m}^3/\text{d}$ ;  $R = 400$  ie, seadmete elektrikulu on esitatud tabelis 5.4.

**Tabel 5.4.** Läbivooluga aktiivmudapuhasti,  $Q = 70 \text{ m}^3/\text{d}$ ;  $R = 400$  ie, seadmete elektrikulu

Nr	Pos nr	Nimetus	Tootja, mudel	Võimsus, P (kW)	Töötamise kestus, t (h)	Tarbitav elekter, E (kWh/d)
1	MX.1	Anoksilise kambri mikser	KSB Amamix V 2227/14 UDG	0,88	24	21,12
2	PU.1	Protsessimahuti puhur	Mapner SEM 1	1,19	24	28,56
3	PU.1	Mudatihendi puhur	Mapner SEM 1	1,07	22	23,54
4	P.1	Mudaringlus-pump	KSB Amarex NF 65-220/ /004ULG-112	0,47	24	11,28
5	P.2	Järelsetiti pump	KSB Amarex NF 65-220/ /004ULG-112	0,5	3,6	1,8
<b>Kokku</b>						<b>86,3</b>
<b>Elektri erikulu (kWh/m<sup>3</sup>)</b>						<b>1,23</b>

Läbivooluga aktiivmudapuhasti,  $Q = 70 \text{ m}^3/\text{d}$ ;  $R = 400$  ie, arvutuslik elektri erikulu on  $1,26 \text{ kWh}/\text{m}^3$ .

### 5.3.3 Aktiivmuda annuspuhastid

Aktiivmuda annuspuhastites on elektrit tarbivaid seadmeid seitse. Ühtlustusmahuti mikser töötab tund aega enne tsükli algust, seega kaks tundi ööpäevas. Protsessimahuti mikser töötab denitrifikatsiooni ajal, seega kaks korda päevas 3,33 tundi, kokku 6,66 tundi

ööpäevas. Protsessimahuti puhur töötab nitrifikatsiooni ajal, seega kaks korda päevas 5,67 tundi, kokku 11,34 tundi ööpäevas. Mudatihendis toimub samuti kestusõhustus, välja arvatud mudatihendi tühjendus ajal ja tund aega enne mudaemaldust. Mudatihendi puhur töötab seega 22 tundi ööpäevas. Ühtlustusmahuti tühjenduspump töötab kaks korda päevas pumbates protsessimahutisse ühe tsükli jagu reovett. Pumba töötamise aja leidmisel arvestatakse, et ühtlustusmahutis vee tasapind langeb ja sellega muutub pumba tööpunkt. Protsessimahuti settepump töötab kaks korda päevas peale protsessi lõppu. Protsessimahuti tühjenduspump töötab kaks korda päevas pumbates protsessimahutist heitvett ühe tsükli jagu välja. Pumba töötamise aja leidmisel arvestatakse, et protsessimahutis vee tasapind langeb ja sellega muutub pumba tööpunkt. Vajadusel tekitatakse siibriga kohtsurvetakistus, et pumba tööpunkt asuks pumba graafikul.

Pumba mootori võimsuse leidmiseks loetakse graafikult pumba võimsus ja jagatakse see mootori efektiivsusega.

Aktiivmuda annuspuhasti,  $Q = 35 \text{ m}^3/\text{d}$ ;  $R = 230 \text{ ie}$ , seadmete elektrikulu on esitatud tabelis 5.5.

**Tabel 5.5.** Aktiivmuda annuspuhasti,  $Q = 35 \text{ m}^3/\text{d}$ ;  $R = 230 \text{ ie}$ , seadmete elektrikulu

Nr	Pos nr	Nimetus	Tootja, mudel	Võimsus, $P$ (kW)	Töötamise kestus, $t$ (h)	Tarbitav elekter, $E$ (kWh/d)
1	MX.1	Ühtlustusmahuti mikser	KSB Amamix V 2227/14 UDG	0,88	2	1,76
2	MX.2	Protsessimahuti mikser	KSB Amamix C 2227/14 UDG	1,2	6,66	7,99
3	PU.1	Protsessimahuti puhur	Mapner SEM 1	1,31	11,34	14,86
4	PU.2	Mudatihendi puhur	Mapner SEM 1	0,84	22	18,48
5	P.1	Ühtlustusmahuti tühjenduspump	KSB Amarex NF 65-220/ /004ULG-135	$P_1 = 0,72$ $P_2 = 0,71$ $P_3 = 0,69$	$t_1 = 0,18$ $t_2 = 0,20$ $t_3 = 0,23$	$E_1 = 0,13$ $E_2 = 0,14$ $E_3 = 0,16$
6	P.2	Protsessimahuti settepump	Amarex NF 65-220/ /004ULG-112	0,53	0,08	0,04
7	P.3	Protsessimahuti tühjenduspump	Amarex NF 65-220/ /004ULG-112	0,53	0,57	0,30
<b>Kokku</b>						<b>43,86</b>
<b>Elektri erikulu (kWh/m<sup>3</sup>)</b>						<b>1,25</b>

Aktiivmuda annuspuhasti,  $Q = 35 \text{ m}^3/\text{d}$ ;  $R = 230$  ie, arvutuslik elektri erikulu on  $1,30 \text{ kWh}/\text{m}^3$ .

Aktiivmuda annuspuhasti,  $Q = 70 \text{ m}^3/\text{d}$ ;  $R = 400$  ie, seadmete elektrikulu on esitatud tabelis 5.6.

**Tabel 5.6.** Aktiivmuda annuspuhasti,  $Q = 70 \text{ m}^3/\text{d}$ ;  $R = 400$  ie, seadmete elektrikulu

Nr	Pos nr	Nimetus	Tootja, mudel	Võimsus, $P$ (kW)	Töötamise kestus, $t$ (h)	Tarbitav elekter, $E$ (kWh/d)
1	MX.1	Ühtlustusmahuti mikser	KSB Amamix C 2227/14 UDG	1,2	2	2,40
2	MX.2	Protsessimahuti mikser	KSB Amamix C 3225/06 UDG	1,49	6,66	9,92
3	PU.1	Protsessimahuti puhur	Mapner SEM 1	1,63	11,34	18,48
4	PU.2	Mudatihendi puhur	Mapner SEM 1	1,07	22	23,54
5	P.1	Ühtlustusmahuti tühjenduspump	KSB Amarex NF 65-220/ /004ULG-155	$P_1 = 1,09$ $P_2 = 1,11$ $P_3 = 1,13$	$t_1 = 0,24$ $t_2 = 0,26$ $t_3 = 0,27$	$E_1 = 0,26$ $E_2 = 0,29$ $E_3 = 0,31$
6	P.2	Protsessimahuti settepump	Amarex NF 65-220/ /004ULG-112	0,53	0,15	0,08
7	P.3	Protsessimahuti tühjenduspump	Amarex NF 65-220/ /004ULG-145	0,93	0,76	0,71
<b>Kokku</b>						<b>55,99</b>
<b>Elektri erikulu (<math>\text{kWh}/\text{m}^3</math>)</b>						<b>0,80</b>

Aktiivmuda annuspuhasti,  $Q = 70 \text{ m}^3/\text{d}$ ;  $R = 400$  ie, arvutuslik elektri erikulu on  $0,83 \text{ kWh}/\text{m}^3$ .

### 5.3.4 Biokilepuhastid

Biokilepuhastites on elektrit tarbivaid seadmeid kolm. Puhastussüsteem on kestusõhustusega, seega protsessi puhur töötab 24 tundi ööpäevas. Eelsetiti sukelpumba tööd juhib ujuküliti, seega töötamise aeg sõltub ööpäevasest reovee hulgast. Järelsetiti settepump töötab 30 sekundit tunnis, seega 0,2 h ööpäevas [23]. Seadmete võimsused on saadud tooteid pakkuva ettevõtte koduleheküljelt.

Biokilepuhasti,  $Q = 35 \text{ m}^3/\text{d}$ ;  $R = 230$  ie, seadmete elektrikulu on esitatud tabelis 5.7.

**Tabel 5.7.** Biokilepuhasti,  $Q = 35 \text{ m}^3/\text{d}$ ;  $R = 230$  ie, seadmete elektrikulu

Nr	Pos nr	Nimetus	Tootja, mudel	Võimsus, $P$ (kW)	Töötamise kestus, $t$ (h)	Tarbitav elekter, $E$ (kWh/d)
1	PU.1	Bioreaktori puhur	RT-33019	1,75	24,0	42
2	P.1	Eelsetiti sukelpump	Pedrollo Top-Vortex	0,37	3,76	1,39
3	P.2	Järelsetiti settepump	Pedrollo Top-Vortex	0,37	0,2	0,07
<b>Kokku</b>						<b>43,46</b>
<b>Elektri erikulu (kWh/m<sup>3</sup>)</b>						<b>1,24</b>

Biokilepuhasti,  $Q = 35 \text{ m}^3/\text{d}$ ;  $R = 230$  ie, arvutuslik elektri erikulu on  $1,24 \text{ kWh/m}^3$ .

Biokilepuhasti,  $Q = 70 \text{ m}^3/\text{d}$ ;  $R = 400$  ie, seadmete elektrikulu on esitatud tabelis 5.8.

**Tabel 5.8.** Biokilepuhasti,  $Q = 70 \text{ m}^3/\text{d}$ ;  $R = 400$  ie, seadmete elektrikulu

Nr	Pos nr	Nimetus	Tootja, mudel	Võimsus, $P$ (kW)	Töötamise kestus, $t$ (h)	Tarbitav elekter, $E$ (kWh/d)
1	PU.1	Bioreaktori puhur	RT-43037	3,4	24	81,6
2	P.1	Eelsetiti sukelpump	Pedrollo Top-Vortex	0,37	7,44	2,75
3	P.2	Järelsetiti settepump	Pedrollo Top-Vortex	0,42	0,2	0,08
<b>Kokku</b>						<b>84,43</b>
<b>Elektri erikulu (kWh/m<sup>3</sup>)</b>						<b>1,21</b>

Biokilepuhasti,  $Q = 70 \text{ m}^3/\text{d}$ ;  $R = 400$  ie, arvutuslik elektri erikulu on  $1,21 \text{ kWh/m}^3$ .



## 6 TULEMUSED JA ANALÜÜS

Magistritöö käigus uuriti kolme Eestis enimlevinud reovee puhastustehnoloogia elektri erikulu.

Uurimuslikust osast selgub, et valimisse kuuluvate reoveepuhastite keskmine elektri erikulu ühe kuupmeetri reoveepuhasti teeninduspiirkonnas müüdüd vee puhastamiseks on  $3,98 \text{ kWh/m}^3$ . 32-st reoveepuhastist 17-l on elektri erikulu madalam kui keskmine ja vastavalt 15-l kõrgem (vt. lisa 9). Puhastite grupeerimisel jaotati puhastid puhastustehnoloogia järgi gruppidesse. Esimese grupi moodustavad läbivooluga aktiivmudapuhastid, teises rühmas on aktiivmuda annuspuhastid ja kolmandas biokilepuhastid. Magistritöö uurimusliku osa valimi järgi ei saa põhjanevaid järeldusi teha, sest kõikidest puhastitest 75% on läbivooluga aktiivmudapuhastid. Antud valimi põhjal selgus, et kõige madalama keskmise elektri erikuluga puhastustehnoloogia on aktiivmuda annuspuhastus ja kõige kõrgema keskmisega biokilepuhastus. Aktiivmuda annuspuhastite keskmine on  $3,25 \text{ kWh/m}^3$ , läbivooluga aktiivmudapuhastite keskmine  $3,92 \text{ kWh/m}^3$  ja biokilepuhastite keskmine  $5,03 \text{ kWh/m}^3$ . Kõikide puhastite keskmise elektri erikuluga võrreldes on kõige suurem erinevus biokilepuhastite puhul.

Suuruse järgi jaotati puhastid viide gruppi. Kõige kõrgema keskmise elektri erikuluga on kolmas grupp, mille puhastatava reovee hulk on  $20\text{-}50 \text{ m}^3/\text{d}$  ja elektri erikulu  $4,34 \text{ kWh/m}^3$ . Võrreldes kõikide puhastite keskmisega on see  $0,36 \text{ kWh/m}^3$  kõrgem. Kõige madalama keskmise elektri erikuluga on neljas grupp, mille puhastatava reovee hulk on  $50\text{-}100 \text{ m}^3/\text{d}$  ja elektri erikulu  $2,36 \text{ kWh/m}^3$ . Võrreldes kõikide puhastite keskmisega on see  $1,32 \text{ kWh/m}^3$  madalam. Seega saab järeldada, et mida suuremaks läheb reoveepuhasti seda väiksemaks läheb elektri erikulu.

Erinevate suuruste ja puhastustehnoloogiate võrdluses on kõige kõrgema keskmise elektri erikuluga biokilepuhastite teine grupp, mille puhastatava reovee hulk jääb vahemikku  $10\text{-}20 \text{ m}^3/\text{d}$ , keskmisega  $5,87 \text{ kWh/m}^3$ . Võrreldes kõikide puhastite keskmisega on see  $1,89 \text{ kWh/m}^3$  kõrgem. Kõige madalama keskmise väärtusega on aktiivmuda annuspuhastite teine grupp, mille puhastatava reovee hulk on  $50+ \text{ m}^3/\text{d}$  ja elektri erikulu  $2,40 \text{ kWh/m}^3$ . Võrreldes kõikide puhastite keskmisega on see  $1,58 \text{ kWh/m}^3$  madalam.

Puhastite kvartali keskmise elektri erikulu andmed on välja toodud tabelis 6.1

**Tabel 6.1.** Puhastite keskmised elektri erikulud kvartalite kaupa

Parameeter	Elektri erikulu kWh/m <sup>3</sup>			
	I kvartal	II kvartal	III kvartal	IV kvartal
Kõikide puhastite keskmine	4,71	3,66	3,59	4,07
Läbivooluga aktiivmudapuhastite keskmine	4,65	3,53	3,53	4,10
Aktiivmuda annuspuhastite keskmine	4,43	3,06	2,67	2,98
Biokilepuhastite keskmine	5,36	4,99	4,80	5,01
Grupp 1 (0-10 m <sup>3</sup> /d) keskmine	5,04	3,93	3,60	4,52
Grupp 2 (10-20 m <sup>3</sup> /d) keskmine	5,08	4,41	3,86	3,80
Grupp 3 (20-50 m <sup>3</sup> /d) keskmine	5,05	3,86	4,08	4,54
Grupp 4 (50-100 m <sup>3</sup> /d) keskmine	2,81	2,05	2,07	2,52
Grupp 5 (100+ m <sup>3</sup> /d) keskmine	3,67	2,26	2,23	3,06

Puhastite kvartali keskmise elektri erikulu võrdluses saab välja tuua seose, et I ja IV kvartali keskmised väärtused on suuremad kui II ja III kvartali keskmised, mis viitab sellele, et külmemal perioodil kulub lisaelektrit tehnohoones vajaliku keskkonna tagamiseks. Seos peab paika poolte valimis olevate puhastite puhul.

Kõikide puhastite kvartali keskmist elektri erikulu vaadeldes selgub, et kõige kõrgema keskmise väärtusega on esimene kvartal, millele järgnevad neljas, teine ja kolmas kvartal. Seega saab järeldada, et külmemal perioodil kuluv lisaelekter tehnohoones vajaliku keskkonna hoidmiseks mõjutab reoveepuhasti elektri erikulu.

Esimese kvartali keskmine elektri erikulu on 4,71 kWh/m<sup>3</sup>, mis on 0,73 kWh/m<sup>3</sup> suurem kui kõikide puhastite keskmine. Kolmanda kvartali keskmine on 3,59 kWh/m<sup>3</sup>, mis on 0,39 kWh/m<sup>3</sup> väiksem kui kõikide puhastite keskmine. Esimese ja kolmanda kvartali keskmise elektri erikulu vahe on 1,12 kWh/m<sup>3</sup>. Erinevate puhastustehnoloogiate võrdluses on kõige madalamad kvartalite keskmised elektri erikulu väärtused aktiivmuda annuspuhastitel ja kõige kõrgemad keskmised biokilepuhastitel.

Kvartalite kaupa võrreldes on puhastid sarnaselt eelnevale jaotatud suuruse järgi viide gruppi. Kõikides gruppides peale teise on I ja IV kvartali keskmised elektri erikulu väärtused suuremad kui II ja III kvartalis. Esimeses, teises ja kolmandas grupis on kvartali keskmised elektri erikulu väärtused suuremad kui kõikide puhastite keskmised samades kvartalites, erandiks on teise grupi IV kvartal. Neljandas ja viiendas grupis on kvartali keskmised elektri erikulu väärtused väiksemad kui kõikide puhastite keskmised samades

kvartalites. Kõige kõrgemate kvartali keskmiste elektrikulu väärtustega on kolmas grupp ja kõige madalamate keskmistega neljas grupp.

Arvutuslikus osas leitud puhastite elektri erikulu väärtused ühe kuupmeetri reovee töötlemiseks on väiksemad kui uurimusliku osa valimisse kuuluvatel puhastitel (vt. tabel 6.2).

**Tabel 6.2.** Puhastite keskmised elektri erikulud kvartalite kaupa

<b>Puhasti</b>	<b>Arvutuslik elektri erikulu, kWh/m<sup>3</sup></b>
Läbivooluga aktiivmudapuhasti, $Q = 35 \text{ m}^3/\text{d}$ ; $R = 230 \text{ ie}$	2,08
Läbivooluga aktiivmudapuhasti, $Q = 70 \text{ m}^3/\text{d}$ ; $R = 400 \text{ ie}$	1,23
<b>Läbivooluga aktiivmudapuhastite keskmine</b>	<b>1,66</b>
Aktiivmuda annuspuhasti, $Q = 35 \text{ m}^3/\text{d}$ ; $R = 230 \text{ ie}$	1,25
Aktiivmuda annuspuhasti, $Q = 70 \text{ m}^3/\text{d}$ ; $R = 400 \text{ ie}$	0,80
<b>Aktiivmuda annuspuhastite keskmine</b>	<b>1,03</b>
Biokilepuhasti, $Q = 35 \text{ m}^3/\text{d}$ ; $R = 230 \text{ ie}$	1,24
Biokilepuhasti, $Q = 70 \text{ m}^3/\text{d}$ ; $R = 400 \text{ ie}$	1,21
<b>Biokilepuhastite keskmine</b>	<b>1,23</b>
<b>Kõikide puhastite keskmine</b>	<b>1,30</b>

Kõikide puhastite arvutuslik keskmine elektri erikulu on 1,30 kWh/m<sup>3</sup>, mis on uurimuslikus osas leitud 2,68 kWh/m<sup>3</sup> väiksem.

Läbivooluga aktiivmudapuhasti, reostuskoormusega 230 ie, arvutuslik elektri erikulu on 2,08 kWh/m<sup>3</sup>, mis on kõikide arvatud puhastite keskmisest 0,78 kWh/m<sup>3</sup> suurem. Võrreldes uurimuslikus osas leitud kõikide puhastite keskmisega on see 1,90 kWh/m<sup>3</sup> väiksem ja võrreldes läbivooluga aktiivmudapuhastite keskmisega 1,84 kWh/m<sup>3</sup> väiksem.

Läbivooluga aktiivmudapuhasti, reostuskoormusega 400 ie, arvutuslik elektri erikulu on 1,23 kWh/m<sup>3</sup>, mis on kõikide arvatud puhastite keskmisest 0,07 kWh/m<sup>3</sup> väiksem. Võrreldes uurimuslikus osas leitud kõikide puhastite keskmisega on see 2,75 kWh/m<sup>3</sup> väiksem ja võrreldes läbivooluga aktiivmudapuhastite keskmisega 2,69 kWh/m<sup>3</sup> väiksem.

Aktiivmuda annuspuhasti, reostuskoormusega 230 ie, arvutuslik elektri erikulu on 1,25 kWh/m<sup>3</sup>, mis on kõikide arvatud puhastite keskmisest 0,05 kWh/m<sup>3</sup> väiksem. Võrreldes uurimuslikus osas leitud kõikide puhastite keskmisega on see 2,73 kWh/m<sup>3</sup> väiksem ja võrreldes aktiivmuda annuspuhastite keskmisega 2,0 kWh/m<sup>3</sup> väiksem.

Aktiivmuda annuspuhasti, reostuskoormusega 400 ie, arvutuslik elektri erikulu on  $0,80 \text{ kWh/m}^3$ , mis on kõikide arvatud puhastite keskmisest  $0,50 \text{ kWh/m}^3$  väiksem. Võrreldes uurimuslikus osas leitud kõikide puhastite keskmisega on see  $3,18 \text{ kWh/m}^3$  väiksem ja võrreldes aktiivmudapuhastite keskmisega  $2,45 \text{ kWh/m}^3$  väiksem.

Biokilepuhasti, reostuskoormusega 230 ie, arvutuslik elektri erikulu on  $1,24 \text{ kWh/m}^3$ , mis on kõikide arvatud puhastite keskmisest  $0,06 \text{ kWh/m}^3$  väiksem. Võrreldes uurimuslikus osas leitud kõikide puhastite keskmisega on see  $2,74 \text{ kWh/m}^3$  väiksem ja võrreldes aktiivmuda annuspuhastite keskmisega  $3,79 \text{ kWh/m}^3$  väiksem.

Biokilepuhasti, reostuskoormusega 400 ie, arvutuslik elektri erikulu on  $1,21 \text{ kWh/m}^3$ , mis on kõikide arvatud puhastite keskmisest  $0,09 \text{ kWh/m}^3$  väiksem. Võrreldes uurimuslikus osas leitud kõikide puhastite keskmisega on see  $2,77 \text{ kWh/m}^3$  väiksem ja võrreldes aktiivmudapuhastite keskmisega  $3,82 \text{ kWh/m}^3$  väiksem.

Kõige väiksema arvutusliku elektri erikuluga on aktiivmuda annuspuhasti, reostuskoormusega 400 ie, mille keskmine on  $0,80 \text{ kWh/m}^3$ , mis on kõikide arvatud puhastite keskmisest  $0,50 \text{ kWh/m}^3$  väiksem. Kõige suurema arvutusliku elektri erikuluga on läbivooluga aktiivmudapuhasti, reostuskoormusega 230 ie, mille keskmine on  $2,08 \text{ kWh/m}^3$ , mis on kõikide arvatud puhastite keskmisest  $0,78 \text{ kWh/m}^3$  suurem.

Kõike väiksema arvutusliku keskmise elektri erikuluga puhastustehnoloogia on aktiivmuda annuspuhastus, keskmisega  $1,03 \text{ kWh/m}^3$ , mis on kõikide arvatud puhastite keskmisest  $0,27 \text{ kWh/m}^3$  väiksem. Kõige suurema arvutusliku keskmise elektri erikuluga puhastustehnoloogia on läbivooluga aktiivmudapuhastus, keskmisega  $1,66 \text{ kWh/m}^3$ , mis on kõikide arvatud puhastite keskmisest  $0,36 \text{ kWh/m}^3$  suurem. Biokilepuhastite arvutuslik keskmine elektri erikulu on  $1,23 \text{ kWh/m}^3$ , mis on kõikide arvatud puhastite keskmisest  $0,07 \text{ kWh/m}^3$  väiksem.

Saab järeldada, et mida suuremaks läheb reoveepuhasti seda väiksemaks läheb elektri erikulu.

Suured erinevused tegeliku ja arvutusliku elektri erikulu vahel on põhjustatud mitmest asjaolust. Üheks põhjuseks on see, et tegelikkuses projekteeritakse puhastid väikese varuga, et tagada puhastite korrektne töö ka suurema vooluhulga korral. Lisaks ei jõua puhastisse iga päev sama kogus reovett, mis tingib selle, et seadmed on mõnel juhul

üledimensioneeritud. Suur erinevus tegeliku ja arvutusliku elektri erikulu vahel tekib ka sellest, et arvutusliku elektri erikulu leidmisel pole arvestatud esimeses puhastusastmes ning tehnohoones kindlate tingimuste hoidmiseks kuluvat lisaelektrit.

## KOKKUVÕTE

Antud magistritöö eesmärgiks oli leida kolme Eestis enamlevinud puhastustehnoloogia tegelik ja arvutuslik elektri erikulu ning saadud tulemusi võrrelda.

Töös analüüsiti 32 reoveepuhastit, millest 24 olid läbivooluga aktiivmudapuhastid, neli aktiivmuda annuspuhastid ja neli biokilepuhastid. Uurimuslikus osas, vee-ettevõtelt saadud andmete põhjal leiti, et valimis olevate puhastite keskmine elektri erikulu on 3,98 kWh/m<sup>3</sup>. Samade andmete põhjal selgus, et kõige kõrgema keskmise elektri erikuluga on biokilepuhastid, mille keskmine on 5,03 kWh/ m<sup>3</sup> ja kõige madalama keskmisega on aktiivmuda annuspuhastid, mille keskmine on 3,25 kWh/m<sup>3</sup>. Kahe tehnoloogia keskmiste vahe ühe kuupmeetri reovee töötlemisel on 1,78 kWh/m<sup>3</sup>.

Erinevate suurustega grupe võrreldes selgus, et kõige kõrgema keskmise elektri erikuluga on biokilepuhastite rühm, mille puhastatud reovee hulk on 10-20 m<sup>3</sup>/d, keskmisega 5,87 kWh/m<sup>3</sup> ja kõige madalama keskmisega on aktiivmuda annuspuhastite rühm, mille puhastatud reovee hulk on üle 50 m<sup>3</sup>/d ja keskmine 2,40 kWh/m<sup>3</sup>.

Puhastite kvartali keskmise elektri erikulu võrdluses saab välja tuua seose, et I ja IV kvartali keskmised väärtused on suuremad kui II ja III kvartali keskmised. Kõikide puhastite kvartali keskmist elektri erikulu vaadeldes selgus, et kõige kõrgema väärtusega on esimene kvartal, mille keskmine on 4,71 kWh/m<sup>3</sup> ja kõige madalama väärtusega kolmas kvartal, mille keskmine on 3,59 kWh/m<sup>3</sup>.

Lisaks arvutati kolme puhastustehnoloogia elektri erikulu kahe erineva reostuskoormuse ja vooluhulga korral. Arvutustest selgus, et kõige väiksema arvutusliku elektri erikuluga on aktiivmuda annuspuhasti, reostuskoormusega 400 ie, mille keskmine on 0,80 kWh/m<sup>3</sup> ja kõige suurema arvutusliku elektri erikuluga on läbivooluga aktiivmudapuhasti, reostuskoormusega 230 ie, mille keskmine on 2,08 kWh/m<sup>3</sup>.

Kõikide puhastite arvutuslik keskmine elektri erikulu on 1,30 kWh/m<sup>3</sup>, mis on uurimuslikus osas leitust 2,68 kWh/m<sup>3</sup> väiksem. Kõike väiksema arvutusliku keskmise elektri erikuluga puhastustehnoloogia on aktiivmuda annuspuhastus, keskmisega 1,03 kWh/m<sup>3</sup> ja kõige suurema arvutusliku keskmise elektri erikuluga puhastustehnoloogia on läbivooluga aktiivmudapuhastus, keskmisega 1,66 kWh/m<sup>3</sup>.

Suured erinevused tegeliku ja arvutusliku elektri erikulu vahel on põhjustatud mitmest asjaolust. Arvutuslikku elektri erikulu leides on puhastid ja seal olevad seadmed dimensioneeritud küllaltki täpselt ilma varudetta. Lisaks pole arvutusliku elektri erikulu leidmisel arvestatud esmases puhastusastmes ning tehnohoones kindlate tingimuste hoidmiseks kuluvat lisaelektrit.

## KASUTATUD KIRJANDUS

- 1) Veevarustus ja kanalisatsioon. / Paal, L., Tibar, H., Kõiv, A., Aitsam, A., Velner, H. Tallinn: Valgus, 1968.
- 2) Omaveevärk ja kanalisatsioon. / Alasi, K., Heinsaar, Ü., Kriipsalu, M., Kuusik, A., Metsur, M. Tallinn: Ehitame, 2001.
- 3) Hernández-Sancho, F., Molinos-Senante, M., Sala-Garrido, R. Energy efficiency in Spanish wastewater treatment plants: A non-radial DEA approach. - *Science of the Total Environment*, 2011, 409, 14, 2693-2699.
- 4) Tchobanoglous, G., Burton, F., L., Stensel, H. D. Wastewater Engineering: Treatment and Reuse. 4th ed. New York: McGraw-Hill, 2004.
- 5) Truong, N-H., Krost, G. Intelligent energy exploitation from sewage. – *IET Renewable Power Generation*, 2016, 10, 3, 360 - 369.
- 6) Väikeste reoveepuhastite (jõudlus alla 2000 ie) hooldamise juhend. / Maastik, M., Danilišina, G., Gross, M., Kriipsalu, M., Tamm, P., Tenno, T. Tartu: 2011.
- 7) Juhend reoveepuhasti rajamiseks või ümberehitamise korraldamiseks./ Kõrgmaa, V., Tenno, T., Gross, M., Kriipsalu, M., Kivirüüt, A., Maastik, A., Tamm, P., Värk, V., Karabelnik, K., Teras, H. Tallinn: 2016.
- 8) Sequencing Batch Reactor Design And Operational Considerations. / New England interstate water pollution control commission. Lowell: 2005.
- 9) R, Smith. Electrical Power Consumption For Municipal Wastewater Treatment. Cincinnati: United States Environmental Protection Agency, 1973.
- 10) Wastewater Technology Fact Sheet: In-Plant Pump Stations. / United States Environmental Protection Agency. Washington: 2000.
- 11) Eesti Standardikeskus, „EVS 848:2013 Väliskanalisatsioonivõrk,“ 2013.
- 12) Dimensioning of Single-Stage Activated Sludge Plants. ATV-DVWK-A 131E: German ATV-DVWK Rules And Standards. Hennef: 2000.
- 13) Muda \_\_\_\_\_ tihedus, \_\_\_\_\_ [Võrgumaterjal].  
Saadaval: [http://www.sswm.info/sites/default/files/reference\\_attachments/ANDREOLI%20et%20al%202007%20Sludge%20Treatment%20and%20Disposal.pdf](http://www.sswm.info/sites/default/files/reference_attachments/ANDREOLI%20et%20al%202007%20Sludge%20Treatment%20and%20Disposal.pdf).  
[Kasutatud: 03.03.2017].



- 14) Belebungsanlagen mit Aufstaubetrieb (SBR). DWA-M 210: DWA Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft. Hennef: 2009.
- 15) „How to Calculate Aeration Tank Air Quantity?“, [Võrgumaterjal]. Saadaval: <http://www.water-chemistry.in/2010/08/how-to-calculate-aeration-tank-air-quantity/>. [Kasutataud 03.03.2017].
- 16) „Major loss in Pipes“, [Võrgumaterjal]. Saadaval: [http://www.engineeringtoolbox.com/major-loss-ducts-tubes-d\\_459.html](http://www.engineeringtoolbox.com/major-loss-ducts-tubes-d_459.html). [Kasutataud 03.05.2017].
- 17) Moody diagramm, [Võrgumaterjal]. Saadaval: [http://www.advelphisys.com/michael\\_maley/moody\\_chart/](http://www.advelphisys.com/michael_maley/moody_chart/). [Kasutatud: 03.03.2017].
- 18) Peenmull aeraatorid, [Võrgumaterjal]. Saadaval: [http://www.ekostandarts.lv/wp-content/uploads/2016/02/ABS\\_Noapon\\_disc\\_diffuser\\_PIK300.pdf](http://www.ekostandarts.lv/wp-content/uploads/2016/02/ABS_Noapon_disc_diffuser_PIK300.pdf). [Kasutatud: 03.03.2017].
- 19) Jämemull aeraatorid, [Võrgumaterjal]. Saadaval: <http://www.gongol.net/assets/store/ssi/coarsebubble.pdf>. [Kasutatud: 03.03.2017].
- 20) Hüdraulika ja pumbad./ Maastik, A., Haldre, H., Koppel, T., Paal, L. Tartu: Greif, 1995.
- 21) Vee tihedus, [Võrgumaterjal]. Saadaval: <http://www.wikiwand.com/et/Vesi>. [Kasutatud: 10.05.2017].
- 22) PE toru karedus, „Pipelife Eesti AS koduleht“, [Võrgumaterjal]. Saadaval: [http://www.pipelife.ee/ee/media/pdf/catalogs/Veesurvetorustikud\\_2408.pdf](http://www.pipelife.ee/ee/media/pdf/catalogs/Veesurvetorustikud_2408.pdf). [Kasutatud: 03.03.2017].
- 23) BioFix puhastite andmed, „FixTec OÜ koduleht“, [Võrgumaterjal]. Saadaval: <http://www.fixtec.ee/est/vajalik>. [Kasutatud 01.05.2017].
- 24) KSB seadmete andmelehed. Saadud: 15.05.2017.
- 25) Mapner puhurite andmeleht. Saadud: 22.05.2017.

## **LISAD**

## Lisa 1. Reoveepuhastite nimekiri

<b>Puhasti</b>	<b>Puhasti tüüp</b>	<b>Vee-ettevõte</b>	<b>Maakond</b>
Alatskivi reoveepuhasti	Aktiivmudapuhasti	Emajõe Veevärk	Tartu maakond
Annikoru reoveepuhasti	Aktiivmudapuhasti	Emajõe Veevärk	Tartu maakond
Avinurme reoveepuhasti	Aktiivmudapuhasti	Kadrina Soojus	Ida-Viru maakond
Elva reoveepuhasti	Annuspuhasti	Emajõe Veevärk	Tartu maakond
Heimtali reoveepuhasti	Biokilepuhasti	Ramsi VK	Viljandi maakond
Hulja reoveepuhasti	Aktiivmudapuhasti	Kadrina Soojus	Lääne-Viru maakond
Ilmatsalu reoveepuhasti	Aktiivmudapuhasti	Emajõe Veevärk	Tartu maakond
Kadrina reoveepuhasti	Aktiivmudapuhasti	Kadrina Soojus	Lääne-Viru maakond
Kallaste reoveepuhasti	Aktiivmudapuhasti	Emajõe Veevärk	Tartu maakond
Kihlevere reoveepuhasti	Aktiivmudapuhasti	Kadrina Soojus	Lääne-Viru maakond
Kärstna reoveepuhasti	Biokilepuhasti	Ramsi VK	Viljandi maakond
Laeva reoveepuhasti	Aktiivmudapuhasti	Emajõe Veevärk	Tartu maakond
Luunja reoveepuhasti	Annuspuhasti	Emajõe Veevärk	Tartu maakond
Mustla reoveepuhasti	Aktiivmudapuhasti	Ramsi VK	Viljandi maakond
Nõgiaru reoveepuhasti	Aktiivmudapuhasti	Emajõe Veevärk	Tartu maakond
Nõo reoveepuhasti	Aktiivmudapuhasti	Emajõe Veevärk	Tartu maakond
Puurmani reoveepuhasti	Aktiivmudapuhasti	Emajõe Veevärk	Jõgeva maakond
Päri reoveepuhasti	Aktiivmudapuhasti	Ramsi VK	Viljandi maakond
Ramsi reoveepuhasti	Aktiivmudapuhasti	Ramsi VK	Viljandi maakond
Ridaküla reoveepuhasti	Biokilepuhasti	Kadrina Soojus	Lääne-Viru maakond
Roiu reoveepuhasti	Aktiivmudapuhasti	Emajõe Veevärk	Tartu maakond
Rõngu reoveepuhasti	Aktiivmudapuhasti	Emajõe Veevärk	Tartu maakond
Rämsi reoveepuhasti	Aktiivmudapuhasti	Emajõe Veevärk	Tartu maakond
Soe reoveepuhasti	Biokilepuhasti	Ramsi VK	Viljandi maakond
Tabivere reoveepuhasti	Aktiivmudapuhasti	Emajõe Veevärk	Jõgeva maakond
Tõravere reoveepuhasti	Aktiivmudapuhasti	Emajõe Veevärk	Tartu maakond
Ulila reoveepuhasti	Annuspuhasti	Emajõe Veevärk	Tartu maakond
Vara reoveepuhasti	Aktiivmudapuhasti	Emajõe Veevärk	Tartu maakond
Viitna reoveepuhasti	Aktiivmudapuhasti	Kadrina Soojus	Lääne-Viru maakond
Vohnja reoveepuhasti	Aktiivmudapuhasti	Kadrina Soojus	Lääne-Viru maakond
Vorbuse reoveepuhasti	Annuspuhasti	Emajõe Veevärk	Tartu maakond
Äksi reoveepuhasti	Aktiivmudapuhasti	Emajõe Veevärk	Viljandi maakond

## Lisa 2. Kõikide puhastite elektri erikulu kvartalite kaupa

Puhasti	Puhasti tüüp	Elektri erikulu, kWh/m <sup>3</sup>			
		I kvartal	II kvartal	III kvartal	IV kvartal
Alatskivi reoveepuhasti	Aktiivmudapuhasti	3,53	2,45	2,16	2,92
Annikoru reoveepuhasti	Aktiivmudapuhasti	8,40	5,58	4,32	6,23
Avinurme reoveepuhasti	Aktiivmudapuhasti	5,88	3,02	4,07	4,19
Elva reoveepuhasti	Annuspuhasti	4,93	1,94	1,93	3,38
Heimtali reoveepuhasti	Biokilepuhasti	2,00	1,90	1,84	1,79
Hulja reoveepuhasti	Aktiivmudapuhasti	2,05	2,06	2,51	2,46
Ilmatsalu reoveepuhasti	Aktiivmudapuhasti	3,53	4,07	4,13	5,56
Kadrina reoveepuhasti	Aktiivmudapuhasti	4,05	2,90	2,68	3,85
Kallaste reoveepuhasti	Aktiivmudapuhasti	4,05	4,69	4,32	5,49
Kihlevere reoveepuhasti	Aktiivmudapuhasti	4,48	3,44	3,64	4,00
Kärstna reoveepuhasti	Biokilepuhasti	7,11	7,29	7,12	6,62
Laeva reoveepuhasti	Aktiivmudapuhasti	4,86	2,47	4,80	5,81
Luunja reoveepuhasti	Annuspuhasti	1,79	1,68	1,96	1,89
Mustla reoveepuhasti	Aktiivmudapuhasti	6,32	5,93	5,91	6,08
Nõgiaru reoveepuhasti	Aktiivmudapuhasti	6,72	5,13	3,57	5,84
Nõo reoveepuhasti	Aktiivmudapuhasti	2,03	1,94	2,08	1,96
Puurmani reoveepuhasti	Aktiivmudapuhasti	6,69	5,74	4,95	5,36
Päri reoveepuhasti	Aktiivmudapuhasti	3,68	3,52	3,85	4,48
Ramsi reoveepuhasti	Aktiivmudapuhasti	1,91	1,80	1,87	2,03
Ridaküla reoveepuhasti	Biokilepuhasti	7,03	5,98	6,01	7,01
Roiu reoveepuhasti	Aktiivmudapuhasti	7,61	5,83	8,26	5,77
Rõngu reoveepuhasti	Aktiivmudapuhasti	3,36	2,12	1,68	2,52

Puhasti	Puhasti tüüp	Elektri erikulu, kWh/m <sup>3</sup>			
		I kvartal	II kvartal	III kvartal	IV kvartal
Rämsi reoveepuhasti	Aktiivmudapuhasti	3,94	3,60	2,60	2,54
Soe reoveepuhasti	Biokilepuhasti	5,29	4,79	4,24	4,64
Tabivere reoveepuhasti	Aktiivmudapuhasti	3,27	2,36	2,56	3,16
Tõravere reoveepuhasti	Aktiivmudapuhasti	3,11	2,17	2,43	2,37
Ulila reoveepuhasti	Annuspuhasti	4,75	3,26	3,02	3,76
Vara reoveepuhasti	Aktiivmudapuhasti	5,30	4,26	3,72	3,38
Viitna reoveepuhasti	Aktiivmudapuhasti	5,93	4,17	3,69	4,84
Vohnja reoveepuhasti	Aktiivmudapuhasti	4,05	2,96	2,86	3,66
Vorbuse reoveepuhasti	Annuspuhasti	6,25	5,34	3,76	2,88
Äksi reoveepuhasti	Aktiivmudapuhasti	6,85	2,60	2,21	3,84
<b>KESKMINE</b>		<b>4,71</b>	<b>3,66</b>	<b>3,59</b>	<b>4,07</b>

### Lisa 3. Läbivooluga aktiivmudapuhastite elektri erikulu kvartalite kaupa

Puhasti	Puhasti tüüp	Elektri erikulu, kWh/m <sup>3</sup>			
		I kvartal	II kvartal	III kvartal	IV kvartal
Alatskivi reoveepuhasti	Aktiivmudapuhasti	3,53	2,45	2,16	2,92
Annikoru reoveepuhasti	Aktiivmudapuhasti	8,40	5,58	4,32	6,23
Avinurme reoveepuhasti	Aktiivmudapuhasti	5,88	3,02	4,07	4,19
Hulja reoveepuhasti	Aktiivmudapuhasti	2,05	2,06	2,51	2,46
Ilmatsalu reoveepuhasti	Aktiivmudapuhasti	3,53	4,07	4,13	5,56
Kadrina reoveepuhasti	Aktiivmudapuhasti	4,05	2,90	2,68	3,85
Kallaste reoveepuhasti	Aktiivmudapuhasti	4,05	4,69	4,32	5,49
Kihlevere reoveepuhasti	Aktiivmudapuhasti	4,48	3,44	3,64	4,00
Laeva reoveepuhasti	Aktiivmudapuhasti	4,86	2,47	4,80	5,81
Mustla reoveepuhasti	Aktiivmudapuhasti	6,32	5,93	5,91	6,08
Nõgiaru reoveepuhasti	Aktiivmudapuhasti	6,72	5,13	3,57	5,84
Nõo reoveepuhasti	Aktiivmudapuhasti	2,03	1,94	2,08	1,96
Puurmani reoveepuhasti	Aktiivmudapuhasti	6,69	5,74	4,95	5,36
Päri reoveepuhasti	Aktiivmudapuhasti	3,68	3,52	3,85	4,48
Ramsi reoveepuhasti	Aktiivmudapuhasti	1,91	1,80	1,87	2,03
Roiu reoveepuhasti	Aktiivmudapuhasti	7,61	5,83	8,26	5,77
Rõngu reoveepuhasti	Aktiivmudapuhasti	3,36	2,12	1,68	2,52
Rämsi reoveepuhasti	Aktiivmudapuhasti	3,94	3,60	2,60	2,54
Tabivere reoveepuhasti	Aktiivmudapuhasti	3,27	2,36	2,56	3,16
Tõravere reoveepuhasti	Aktiivmudapuhasti	3,11	2,17	2,43	2,37
Vara reoveepuhasti	Aktiivmudapuhasti	5,30	4,26	3,72	3,38
Viitna reoveepuhasti	Aktiivmudapuhasti	5,93	4,17	3,69	4,84

Puhasti	Puhasti tüüp	Elektri erikulu, kWh/m <sup>3</sup>			
		I kvartal	II kvartal	III kvartal	IV kvartal
Vohnja reoveepuhasti	Aktiivmudapuhasti	4,05	2,96	2,86	3,66
Äksi reoveepuhasti	Aktiivmudapuhasti	6,85	2,60	2,21	3,84
<b>KESKMINE</b>		<b>4,65</b>	<b>3,53</b>	<b>3,53</b>	<b>4,10</b>

**Lisa 4. Aktiivmuda annuspuhastite elektri erikulu kvartalite kaupa**

Puhasti	Puhasti tüüp	Elektri erikulu, kWh/m <sup>3</sup>			
		I kvartal	II kvartal	III kvartal	IV kvartal
Elva reoveepuhasti	Annuspuhasti	4,93	1,94	1,93	3,38
Luunja reoveepuhasti	Annuspuhasti	1,79	1,68	1,96	1,89
Ulila reoveepuhasti	Annuspuhasti	4,75	3,26	3,02	3,76
Vorbuse reoveepuhasti	Annuspuhasti	6,25	5,34	3,76	2,88
<b>KESKMINE</b>		<b>4,43</b>	<b>3,06</b>	<b>2,67</b>	<b>2,98</b>



### Lisa 5. Biokilepuhastite elektri erikulu kvartalite kaupa

Puhasti	Puhasti tüüp	Elektri erikulu, kWh/m <sup>3</sup>			
		I kvartal	II kvartal	III kvartal	IV kvartal
Heimtali reoveepuhasti	Biokilepuhasti	2,00	1,90	1,84	1,79
Kärstna reoveepuhasti	Biokilepuhasti	7,11	7,29	7,12	6,62
Ridaküla reoveepuhasti	Biokilepuhasti	7,03	5,98	6,01	7,01
Soe reoveepuhasti	Biokilepuhasti	5,29	4,79	4,24	4,64
<b>KOKKU</b>		<b>5,36</b>	<b>4,99</b>	<b>4,80</b>	<b>5,01</b>

### Lisa 6. Suuruse järgi grupeeritud puhastite elektri erikulu kvartalite kaupa

Puhasti	Puhasti tüüp	Elektri erikulu, kWh/m <sup>3</sup>			
		I kvartal	II kvartal	III kvartal	IV kvartal
<b>Grupp 1 (0-10 m<sup>3</sup>/d)</b>					
Heimtali reoveepuhasti	Biokilepuhasti	2,00	1,90	1,84	1,79
Kihlevere reoveepuhasti	Aktiivmudapuhasti	4,48	3,44	3,64	4,00
Nõgiaru reoveepuhasti	Aktiivmudapuhasti	6,72	5,13	3,57	5,84
Ridaküla reoveepuhasti	Biokilepuhasti	7,03	5,98	6,01	7,01
Viitna reoveepuhasti	Aktiivmudapuhasti	5,93	4,17	3,69	4,84
Vohnja reoveepuhasti	Aktiivmudapuhasti	4,05	2,96	2,86	3,66
<b>Keskmine</b>		<b>5,04</b>	<b>3,93</b>	<b>3,60</b>	<b>4,52</b>
<b>Grupp 2 (10-20 m<sup>3</sup>/d)</b>					
Kärstna reoveepuhasti	Biokilepuhasti	7,11	7,29	7,12	6,62
Rämsi reoveepuhasti	Aktiivmudapuhasti	3,94	3,60	2,60	2,54
Soe reoveepuhasti	Biokilepuhasti	5,29	4,79	4,24	4,64
Tõravere reoveepuhasti	Aktiivmudapuhasti	3,11	2,17	2,43	2,37
Ulila reoveepuhasti	Annuspuhasti	4,75	3,26	3,02	3,76
Vorbuse reoveepuhasti	Annuspuhasti	6,25	5,34	3,76	2,88
<b>Keskmine</b>		<b>5,08</b>	<b>4,41</b>	<b>3,86</b>	<b>3,80</b>
<b>Grupp 3 (20-50 m<sup>3</sup>/d)</b>					
Alatskivi reoveepuhasti	Aktiivmudapuhasti	3,53	2,45	2,16	2,92
Annikoru reoveepuhasti	Aktiivmudapuhasti	8,40	5,58	4,32	6,23
Avinurme reoveepuhasti	Aktiivmudapuhasti	5,88	3,02	4,07	4,19
Hulja reoveepuhasti	Aktiivmudapuhasti	2,05	2,06	2,51	2,46

Puhasti	Puhasti tüüp	Elektri erikulu, kWh/m <sup>3</sup>			
		I kvartal	II kvartal	III kvartal	IV kvartal
Ilmatsalu reoveepuhasti	Aktiivmudapuhasti	3,53	4,07	4,13	5,56
Kallaste reoveepuhasti	Aktiivmudapuhasti	4,05	4,69	4,32	5,49
Laeva reoveepuhasti	Aktiivmudapuhasti	4,86	2,47	4,80	5,81
Mustla reoveepuhasti	Aktiivmudapuhasti	6,32	5,93	5,91	6,08
Puurmani reoveepuhasti	Aktiivmudapuhasti	6,69	5,74	4,95	5,36
Päri reoveepuhasti	Aktiivmudapuhasti	3,68	3,52	3,85	4,48
Ramsi reoveepuhasti	Aktiivmudapuhasti	1,91	1,80	1,87	2,03
Roiu reoveepuhasti	Aktiivmudapuhasti	7,61	5,83	8,26	5,77
Vara reoveepuhasti	Aktiivmudapuhasti	5,30	4,26	3,72	3,38
Äksi reoveepuhasti	Aktiivmudapuhasti	6,85	2,6	2,21	3,84
<b>Keskmine</b>		<b>5,05</b>	<b>3,86</b>	<b>4,08</b>	<b>4,54</b>
<b>Grupp 4 (50-100 m<sup>3</sup>/d)</b>					
Luunja reoveepuhasti	Annuspuhasti	1,79	1,68	1,96	1,89
Rõngu reoveepuhasti	Aktiivmudapuhasti	3,36	2,12	1,68	2,52
Tabivere reoveepuhasti	Aktiivmudapuhasti	3,27	2,36	2,56	3,16
<b>Keskmine</b>		<b>2,81</b>	<b>2,05</b>	<b>2,07</b>	<b>2,52</b>
<b>Grupp 5 (100+ m<sup>3</sup>/d)</b>					
Elva reoveepuhasti	Annuspuhasti	4,93	1,94	1,93	3,38
Kadrina reoveepuhasti	Aktiivmudapuhasti	4,05	2,9	2,68	3,85
Nõo reoveepuhasti	Aktiivmudapuhasti	2,03	1,94	2,08	1,96
<b>Keskmine</b>		<b>3,67</b>	<b>2,26</b>	<b>2,23</b>	<b>3,06</b>

## Lisa 7. Lävivooluga aktiivmudapuhastite ja seal kasutatavate seadmete dimensioneerimiseks teostatud arvutused

Lävivooluga aktiivmudapuhasti,  $Q = 35 \text{ m}^3/\text{d}$ ;  $R = 230 \text{ ie}$

**Järelsetiti parameetrid.**

Järelsetiti põhjamuda kontsentratsioon leitakse valemiga (5.12)

$$SS_{BS} = \frac{1000}{100} * \sqrt[3]{2} = 12,6 \text{ kg/m}^3$$

Tagastusmuda kontsentratsioon leitakse valemiga (5.13)

$$SS_{RS} = 0,6 * 12,6 = 7,6 \text{ kg/m}^3$$

Aktiivmuda kontsentratsioon biopuhastis leitakse valemiga (5.14)

$$SS_{AT} = \frac{1 * 7,6}{1 + 1} = 3,8 \text{ kg/m}^3$$

Järelsetiti ülevoolu tegur leitakse valemiga (5.15)

$$q_A = \frac{575}{500} = 1,15 \text{ m/h}$$

**Biopuhasti parameetrid.**

Aktiivmuda juurdekasv leitakse valemiga (5.16)

$$SP_{d,C} = 13,8 * (0,75 + 0,6 * \frac{460}{394} - \frac{(1 - 0,2) * 0,17 * 0,75 * 14,3 * 0,71}{1 + 0,17 * 14,3 * 0,71}) = 14,8 \text{ kg/d}$$

Bioloogiliselt ärastatud fosfori kontsentratsioon leitakse valemiga (5.19)

$$X_{P,BioP} = 0,005 * 394,3 = 1,97 \text{ mg/l}$$

Ladestunud fosfori kontsentratsioon leitakse valemiga (5.20)

$$X_{P,Prec} = 80\% * (11,4 - 1,97) = 7,5 \text{ mg/l}$$

Keemiline muda juurdekasv leitakse valemiga (5.18)

$$SP_{d,P} = \frac{35 * (3 * 1,97 + 6,8 * 7,5)}{1000} = 2,0 \text{ kg/d}$$

Kogu muda juurdekasv leitakse valemiga (5.21)

$$SP_d = 14,8 + 2,0 = 16,8 \text{ kg/d}$$

Järelsetitis settinud aktiivmudasegu kuivaine sisaldus on 0,8% [13, lk. 14]. Eemaldatava liigmuda maht  $V_{LM0,8\%}$  ( $m^3/d$ ) leitakse valemiga (5.22)

$$V_{LM0,8\%} = \frac{16,8}{1020 * 0,8} * 100 = 2,14 m^3/d$$

Mudatihendis tihenenud liigmuda kuivaine sisaldus on 4% [13, lk. 14]. Tihenenud liigmuda maht  $V_{LM4\%}$  ( $m^3/d$ ) leitakse valemiga (5.22)

$$V_{LM4\%} = \frac{16,8}{1020 * 4} * 100 = 0,4 m^3/d$$

Aktiivmuda hulk biopuhastis leitakse valemiga (5.23)

$$M_{SS,AT} = 14,3 * 16,8 = 240,2 \text{ kg}$$

Biopuhasti maht leitakse valemiga (5.24)

$$V_{AT} = \frac{240,2}{3,8} = 63,2 m^3$$

Anoksilise kambri osakaal kogu puhasti mahust on 30%, seega mahuti ruumala  $V_D$  ( $m^3$ ) leitakse valemiga (5.25)

$$V_D = 0,3 * 63,2 = 19,0 m^3$$

Õhustuskambri ruumala leitakse valemiga (5.26)

$$V_N = 63,2 - 19,0 = 44,2 m^3$$

Anoksilise kambri külje mõõt (eeldusel, et vee tasapind mahuti põhjast on 3 m ja mahuti on ruudukujulise pinnaga) leitakse valemiga (5.27)

$$a = \sqrt{19/3} = 2,52 \approx 2,5 m$$

Anoksilise kambri mõõtmed on seega:

$$a = 2,5 m$$

$$b = 2,5 m$$

$$h = 3,0 m$$

Anoksilise kambri tegelik maht leitakse valemiga (5.28)

$$V_D = 2,5 * 2,5 * 3 = 18,8 m^3$$

Mudatihendi mahuks valitakse  $V_{MT} = 10\text{m}^3$ . Tihenenud liigmuda mahu järgi tuleb mahutit tühjendada iga 25 päeva tagant.

Hüdrauliline viibeaeg leitakse valemiga (5.29)

$$t_H = \frac{63,2}{6,7} = 9,4 \text{ h}$$

### **Hapniku vajadus.**

Hapniku vajadus süsiniku ärastuseks leitakse valemiga (5.30)

$$OV_{d,C} = 1,13 * 13,8 = 15,9 \text{ kgO}_2/\text{d}$$

Hapniku vajadus nitrifikatsiooniks leitakse valemiga (5.31)

$$OV_{d,N} = 4,3 * 2,5 = 10,8 \text{ kgO}_2/\text{d}$$

Hapniku vajadus denitrifikatsiooniks leitakse valemiga (5.32)

$$OV_{d,D} = 2,9 * 2,5 = 7,3 \text{ kgO}_2/\text{d}$$

Hapniku vajaduse ööpäevane tipp leitakse valemiga (5.33)

$$OV_h = \frac{1,15 * (15,9 - 7,3) + 2,0 * 10,8}{24} = 1,3 \text{ kgO}_2/\text{d}$$

### **Läbivooluga aktiivmudapuhasti õhu vajadus.**

Õhu vajadus leitakse valemiga (5.34)

$$Q_{\tilde{o}} = \frac{1,3}{0,23 * 0,2} = 28,3 \text{ m}^3/\text{h}$$

Aeraatorite arv leitakse valemiga (5.35)

$$n = \frac{28,3}{4} = 7,1 \approx 8 \text{ tk}$$

### **Puhurite dimensioneerimine.**

Õhustuskambri puhuri lähteandmed:

- Õhutoru pikkus –  $l = 10 \text{ m}$
- Õhutoru siseläbimõõt –  $d = 51 \text{ mm}$

$$\tilde{Q}_{\text{õhuhulk}} = 28,3 \text{ m}^3/\text{h} = 0,0079 \text{ m}^3/\text{s}$$

Toru ristlõikepindala leitakse valemiga (5.36)

$$A = \frac{\pi * 0,051^2}{4} = 0,002 \text{ m}^2$$

Õhu liikumise kiirus toru ristlõikes leitakse valemiga (5.37)

$$v = \frac{0,0079}{0,002} = 3,95 \text{ m/s}$$

Reynoldsi arv leitakse valemiga (5.38)

$$R_e = \frac{3,95 * 0,051}{23,06 * 10^{-6}} = 8735,9$$

Suhteline karedus leitakse valemiga (5.39)

$$SK = \frac{0,15}{51} = 0,003$$

Hõõrdetegur  $\lambda$  leitakse Moody diagrammilt Reynoldsi arvu ja suhtelise kareduse järgi [17].

$$\lambda = 0,036$$

Rõhukadu õhutorustikus leitakse valemiga (5.40)

$$\Delta P_f = 0,036 * \frac{10}{0,051} * \frac{0,946 * 3,95^2}{2} = 52,1 \text{ Pa} = 0,5 \text{ mBar}$$

Aeraatorid asuvad 2,8 m sügavusel, seega vee poolt tekitatav survekadu  $p_{vesi} = 2,8 \text{ mH}_2\text{O} = 274,6 \text{ mBar}$ .

Aeraatorite poolt tekitatav survekadu, kui üks aeraatori poolt protsessi juhitud õhuhulk on  $4 \text{ m}^3/\text{h}$ ,  $p_{aeraator} = 3 \text{ kPa} = 30 \text{ mBar}$  [18]

Kogu rõhk leitakse valemiga (5.41)

$$p_t = 274,6 + 30 + 0,5 = 305,1 \text{ mBar}$$

### **Mudatihendi puhuri dimensioneerimine.**

Mudatihendi puhuri lähteandmed on samad, mis õhustuskambri puhuril.

$$\text{Õhuhulk } Q_{\dot{o}} = 20,0 \text{ m}^3/\text{h} = 0,0056 \text{ m}^3/\text{s}$$

Toru ristlõikepindala leitakse valemiga (5.36)

$$A = \frac{\pi * 0,051^2}{4} = 0,002 \text{ m}^2$$

Õhu liikumise kiirus toru ristlõikes leitakse valemiga (5.37)

$$v = \frac{0,0056}{0,002} = 2,8 \text{ m/s}$$

Reynoldsi arv leitakse valemiga (5.38)

$$R_e = \frac{2,8 * 0,051}{23,06 * 10^{-6}} = 6192,5$$

Suhteline karedus leitakse valemiga (5.39)

$$SK = \frac{0,15}{51} = 0,003$$

Hõõrdetegur  $\lambda$  leitakse Moody diagrammilt Reynoldsi arvu ja suhtelise kareduse järgi [17].

$$\lambda = 0,039$$

Rõhukadu õhutorustikus leitakse valemiga (5.40)

$$\Delta Pf = 0,039 * \frac{10}{0,051} * \frac{0,946 * 2,8^2}{2} = 28,3 \text{ Pa} = 0,3 \text{ mBar}$$

Aeraatorid asuvad 2,8 m sügavusel, seega vee poolt tekitatav survekadu  $p_{vesi} = 2,8 \text{ mH}_2\text{O} = 274,6 \text{ mBar}$ .

Aeraatorite poolt tekitatav survekadu, kui üks aeraatori poolt protsessi juhitud õhuhulk on  $4 \text{ m}^3/\text{h}$ ,  $p_{aeraator} = 6,5 \text{ mBar}$  [19]

Kogu rõhk leitakse valemiga (5.41)

$$p_t = 274,6 + 6,5 + 0,3 = 281,4 \text{ mBar}$$

### **Pumpade dimensioneerimine.**

Mudaringluspumba lähteandmed:

- Toru pikkus –  $l = 10 \text{ m}$ ,
- Toru siseläbimõõt –  $d = 55,4 \text{ mm}$ ,
- Geodeetiline tõstekõrgus –  $H_{geod} = 0,5 \text{ m}$ .

Vooluhulgaks  $Q$  ( $\text{m}^3/\text{s}$ ) valitakse neljakordne tunni keskmine vooluhulk, seega  $Q = 5,8 \text{ m}^3/\text{h} = 0,0016 \text{ m}^3/\text{s}$ .

Toru ristlõikepindala leitakse valemiga (5.36)

$$A = \frac{\pi * 0,0554^2}{4} = 0,0024 \text{ m}^2$$



Vedeliku liikumise kiirus toru ristlõikes leitakse valemiga (5.37)

$$v = \frac{0,0016}{0,0024} = 0,67 \text{ m/s}$$

Reynoldsi arv leitakse valemiga (5.38)

$$R_e = \frac{0,67 * 0,0554}{1,308 * 10^{-6}} = 28377,7$$

Suhteline karedus leitakse valemiga (5.39)

$$SK = \frac{0,01}{55,4} = 0,0002$$

Hõõrdetegur  $\lambda$  leitakse Moody diagrammilt Reynoldsi arvu ja suhtelise kareduse järgi [17].

$$\lambda = 0,016$$

Survekaod torus leitakse valemiga (5.43)

$$H_f = 0,016 * \frac{10}{0,0554} * \frac{0,67^2}{2 * 9,81} = 0,07 \text{ m}$$

Pumba tõstekõrgus leitakse valemiga (5.42)

$$H = 0,5 + 0,07 = 0,57 \text{ m}$$

Järelsetiti pumba lähteandmed:

- Toru pikkus –  $l = 5 \text{ m}$ ,
- Toru siseläbimõõt –  $d = 40,8 \text{ mm}$ ,
- Geodeetiline tõstekõrgus –  $H_{geod} = 0,5 \text{ m}$ .

Vooluhulgaks  $Q$  ( $\text{m}^3/\text{s}$ ) valitakse ühekordne tunni keskmine vooluhulk, seega  $Q = 1,5 \text{ m}^3/\text{h} = 0,0004 \text{ m}^3/\text{s}$ .

Toru ristlõikepindala leitakse valemiga (5.36)

$$A = \frac{\pi * 0,0408^2}{4} = 0,0013 \text{ m}^2$$

Õhu liikumise kiirus toru ristlõikes leitakse valemiga (5.37)

$$v = \frac{0,0004}{0,0013} = 0,31 \text{ m/s}$$

Reynoldsi arv leitakse valemiga (5.38)

$$R_e = \frac{0,31 * 0,0408}{1,308 * 10^{-6}} = 9669,7$$

Suhteline karedus leitakse valemiga (5.39)

$$SK = \frac{0,01}{40,8} = 0,0002$$

Hõõrdetegur  $\lambda$  leitakse Moody diagrammilt Reynoldsi arvu ja suhtelise kareduse järgi [17].

$$\lambda = 0,031$$

Survekaod torus leitakse valemiga (5.43)

$$H_f = 0,031 * \frac{5}{0,0408} * \frac{0,31^2}{2 * 9,81} = 0,02 \text{ m}$$

Pumba tõstekõrgus leitakse valemiga (5.42)

$$H = 0,5 + 0,02 = 0,52 \text{ m}$$

**Läbivooluga aktiivmudapuhasti,  $Q = 70 \text{ m}^3/\text{d}$ ;  $R = 400 \text{ ie}$**

**Järelsetiti parameetrid.**

Järelsetiti põhjamuda kontsentratsioon leitakse valemiga (5.12)

$$SS_{BS} = \frac{1000}{100} * \sqrt[3]{2} = 12,6 \text{ kg/m}^3$$

Tagastumuda kontsentratsioon leitakse valemiga (5.13)

$$SS_{RS} = 0,6 * 12,6 = 7,6 \text{ kg/m}^3$$

Aktiivmuda kontsentratsioon biopuhastis leitakse valemiga (5.14)

$$SS_{AT} = \frac{1 * 7,6}{1 + 1} = 3,8 \text{ kg/m}^3$$

Järelsetiti ülevoolu tegur leitakse valemiga (5.15)

$$q_A = \frac{575}{500} = 1,15 \text{ m/h}$$

**Biopuhasti parameetrid.**

Aktiivmuda juurdekasv leitakse valemiga (5.16)

$$SP_{d,c} = 24,0 * (0,75 + 0,6 * \frac{400}{343} - \frac{(1 - 0,2) * 0,17 * 0,75 * 14,3 * 0,71}{1 + 0,17 * 14,3 * 0,71}) = 25,68 \text{ kg/d}$$

Bioloogiliselt ärastatud fosfori kontsentratsioon leitakse valemiga (5.19)

$$X_{P,BioP} = 0,005 * 342,9 = 1,7 \text{ mg/l}$$

Ladestunud fosfori kontsentratsioon leitakse valemiga (5.20)

$$X_{P,Prec} = 80\% * (10,3 - 1,7) = 6,9 \text{ mg/l}$$

Keemiline muda juurdekasv leitakse valemiga (5.18)

$$SP_{d,P} = \frac{70 * (3 * 1,7 + 6,8 * 6,9)}{1000} = 3,64 \text{ kg/d}$$

Kogu muda juurdekasv leitakse valemiga (5.21)

$$SP_d = 25,68 + 3,64 = 29,32 \text{ kg/d}$$

Järelsetitis settinud aktiivmudasegu kuivaine sisaldus on 0,8% [13, lk. 14]. Eemaldatava liigmuda maht  $V_{LM0,8\%}$  ( $\text{m}^3/\text{d}$ ) leitakse valemiga (5.22)

$$V_{LM0,8\%} = \frac{29,32}{1020 * 0,8} * 100 = 3,60 \text{ m}^3/\text{d}$$

Mudatihendis tihenend liigmuda kuivaine sisaldus on 4% [13, lk. 14]. Tihenend liigmuda maht  $V_{LM4\%}$  ( $\text{m}^3/\text{d}$ ) leitakse valemiga (5.22)

$$V_{LM4\%} = \frac{29,32}{1020 * 4} * 100 = 0,7 \text{ m}^3/\text{d}$$

Aktiivmuda hulk biopuhastis leitakse valemiga (5.23)

$$M_{SS,AT} = 14,3 * 29,32 = 419,3 \text{ kg}$$

Biopuhasti maht leitakse valemiga (5.24)

$$V_{AT} = \frac{419,3}{3,8} = 110,3 \text{ m}^3$$

Anoksilise kambri ruumala leitakse valemiga (5.25)

$$V_D = 0,3 * 110,3 = 33,1 \text{ m}^3$$

Õhustuskambri ruumala leitakse valemiga (5.26)

$$V_N = 110,3 - 33,1 = 77,2 \text{ m}^3$$

Anoksilise kambri külje mõõt (eeldusel, et vee tasapind mahuti põhjast on 3 m ja mahuti on ruudukujulise pinnaga) leitakse valemiga (5.27)

$$a = \sqrt{33,1/3} = 3,32 \approx 3,4 \text{ m}$$

Anoksilise kambri mõõtmed on seega:

$$a = 3,4 \text{ m}$$

$$b = 3,4 \text{ m}$$

$$h = 3,0 \text{ m}$$

Anoksilise kambri tegelik maht leitakse valemiga (5.28)

$$V_D = 3,4 * 3,4 * 3 = 34,7 \text{ m}^3$$

Mudatihendi mahuks valitakse  $V_{MT} = 20 \text{ m}^3$ . Tihenenud liigmuda mahu järgi tuleb mahutit tühjendada iga 28 päeva tagant.

Hüdrauliline viibeag leitakse valemiga (5.29)

$$t_H = \frac{110,3}{10,6} = 10,4 \text{ h}$$

### **Hapniku vajadus.**

Hapniku vajadus süsiniku ärastuseks leitakse valemiga (5.30)

$$OV_{d,C} = 1,13 * 24,0 = 27,12 \text{ kgO}_2/\text{d}$$

Hapniku vajadus nitrifikatsiooniks leitakse valemiga (5.31)

$$OV_{d,N} = 4,3 * 4,4 = 18,92 \text{ kgO}_2/\text{d}$$

Hapniku vajadus denitrifikatsiooniks leitakse valemiga (5.32)

$$OV_{d,D} = 2,9 * 4,4 = 12,76 \text{ kgO}_2/\text{d}$$

Hapniku vajaduse ööpäevane tipp leitakse valemiga (5.33)

$$OV_h = \frac{1,15 * (27,12 - 12,76) + 2,0 * 18,92}{24} = 2,26 \text{ kgO}_2/\text{d}$$

### **Läbivooluga aktiivmudapuhasti õhu vajadus.**

Õhu vajadus leitakse valemiga (5.34)

$$Q_{\bar{o}} = \frac{2,26}{0,23 * 0,2} = 49,1 \text{ m}^3/\text{h}$$

Aeraatorite arv leitakse valemiga (5.35)

$$n = \frac{49,1}{4} = 12,3 \approx 13 \text{ tk}$$

### **Puhurite dimensioneerimine.**

Õhustuskambri puhuri lähteandmed:

- Õhutoru pikkus –  $l = 10 \text{ m}$
- Õhutoru siseläbimõõt –  $d = 51 \text{ mm}$

$$\text{Õhuhulk } Q_{\tilde{o}} = 49,1 \text{ m}^3/\text{h} = 0,014 \text{ m}^3/\text{s}$$

Toru ristlõikepindala leitakse valemiga (5.36)

$$A = \frac{\pi * 0,051^2}{4} = 0,002 \text{ m}^2$$

Õhu liikumise kiirus toru ristlõikes leitakse valemiga (5.37)

$$v = \frac{0,0014}{0,002} = 7,0 \text{ m/s}$$

Reynoldsi arv leitakse valemiga (5.38)

$$R_e = \frac{7,0 * 0,051}{23,06 * 10^{-6}} = 15481,4$$

Suhteline karedus leitakse valemiga (5.39)

$$SK = \frac{0,15}{51} = 0,003$$

Hõõrdetegur  $\lambda$  leitakse Moody diagrammilt Reynoldsi arvu ja suhtelise kareduse järgi [17].

$$\lambda = 0,033$$

Rõhukadu õhutorustikus leitakse valemiga (5.40)

$$\Delta Pf = 0,033 * \frac{10}{0,051} * \frac{0,946 * 7,0^2}{2} = 150,0 \text{ Pa} = 1,5 \text{ mBar}$$

Aeraatorid asuvad 2,8 m sügavusel, seega vee poolt tekitatav survekadu  $p_{vesi} = 2,8 \text{ mH}_2\text{O} = 274,6 \text{ mBar}$ .

Aeraatorite poolt tekitatav survekadu, kui üks aeraatori poolt protsessi juhitud õhuhulk on  $4 \text{ m}^3/\text{h}$ ,  $p_{aeraator} = 3 \text{ kPa} = 30 \text{ mBar}$  [18]

Kogu rõhk leitakse valemiga (5.41)

$$p_t = 274,6 + 30 + 1,5 = 306,1 \text{ mBar}$$

Mudatihendi puhuri lähteandmed on samad, mis õhustuskambri puhuril.

$$\tilde{Q}_{\tilde{o}} = 40,0 \text{ m}^3/\text{h} = 0,011 \text{ m}^3/\text{s}$$

Toru ristlõikepindala leitakse valemiga (5.36)

$$A = \frac{\pi * 0,051^2}{4} = 0,002 \text{ m}^2$$

Õhu liikumise kiirus toru ristlõikes leitakse valemiga (5.37)

$$v = \frac{0,011}{0,002} = 5,5 \text{ m/s}$$

Reynoldsi arv leitakse valemiga (5.38)

$$R_e = \frac{5,5 * 0,051}{23,06 * 10^{-6}} = 12163,9$$

Suhteline karedus leitakse valemiga (5.39)

$$SK = \frac{0,15}{51} = 0,003$$

Hõõrdetegur  $\lambda$  leitakse Moody diagrammilt Reynoldsi arvu ja suhtelise kareduse järgi [17].

$$\lambda = 0,034$$

Rõhukadu õhutorustikus leitakse valemiga (5.40)

$$\Delta Pf = 0,034 * \frac{10}{0,051} * \frac{0,946 * 5,5^2}{2} = 95,4 \text{ Pa} = 1,0 \text{ mBar}$$

Aeraatorid asuvad 2,8 m sügavusel, seega vee poolt tekitatav survekadu  $p_{vesi} = 2,8 \text{ mH}_2\text{O} = 274,6 \text{ mBar}$ .

Aeraatorite poolt tekitatav survekadu, kui üks aeraatori poolt protsessi juhitud õhuhulk on  $4 \text{ m}^3/\text{h}$ ,  $p_{aeraator} = 6,5 \text{ mBar}$  [19]

Kogu rõhk leitakse valemiga (5.41)

$$p_t = 274,6 + 6,5 + 1,0 = 282,1 \text{ mBar}$$

### **Pumpade dimensioneerimine.**

Mudaringluspumba lähteandmed:

- Toru pikkus –  $l = 10$  m,
- Toru siseläbimõõt –  $d = 79,2$  mm,
- Geodeetiline tõstekõrgus –  $H_{geod} = 0,5$  m.

Vooluhulgaks  $Q$  ( $\text{m}^3/\text{s}$ ) valitakse neljakordne tunni keskmine vooluhulk, seega  $Q = 11,7 \text{ m}^3/\text{h} = 0,0033 \text{ m}^3/\text{s}$ .

Toru ristlõikepindala leitakse valemiga (5.36)

$$A = \frac{\pi * 0,0792^2}{4} = 0,005 \text{ m}^2$$

Vedeliku liikumise kiirus toru ristlõikes leitakse valemiga (5.37)

$$v = \frac{0,0033}{0,005} = 0,66 \text{ m/s}$$

Reynoldsi arv leitakse valemiga (5.38)

$$Re = \frac{0,66 * 0,0792}{1,308 * 10^{-6}} = 39963,3$$

Suhteline karedus leitakse valemiga (5.39)

$$SK = \frac{0,01}{79,2} = 0,0001$$

Hõõrdetegur  $\lambda$  leitakse Moody diagrammilt Reynoldsi arvu ja suhtelise kareduse järgi [17].

$$\lambda = 0,022$$

Survekaod torus leitakse valemiga (5.43)

$$H_f = 0,022 * \frac{10}{0,0792} * \frac{0,66^2}{2 * 9,81} = 0,06 \text{ m}$$

Pumba tõstekõrgus leitakse valemiga (5.42)

$$H = 0,5 + 0,06 = 0,56 \text{ m}$$

Järelsetiti pumba lähteandmed:

- Toru pikkus –  $l = 5$  m,
- Toru siseläbimõõt –  $d = 40,8$  mm,
- Geodeetiline tõstekõrgus –  $H_{geod} = 0,5$  m.

Vooluhulgaks  $Q$  ( $\text{m}^3/\text{s}$ ) valitakse ühekordne tunni keskmine vooluhulk, seega  $Q = 3,0 \text{ m}^3/\text{h} = 0,0008 \text{ m}^3/\text{s}$ .

Toru ristlõikepindala leitakse valemiga (5.36)

$$A = \frac{\pi * 0,0408^2}{4} = 0,0013 \text{ m}^2$$

Õhu liikumise kiirus toru ristlõikes leitakse valemiga (5.37)

$$v = \frac{0,0008}{0,0013} = 0,62 \text{ m/s}$$

Reynoldsi arv leitakse valemiga (5.38)

$$R_e = \frac{0,62 * 0,0408}{1,308 * 10^{-6}} = 19339,4$$

Suhteline karedus leitakse valemiga (5.39)

$$SK = \frac{0,01}{40,8} = 0,0002$$

Hõõrdetegur  $\lambda$  leitakse Moody diagrammilt Reynoldsi arvu ja suhtelise kareduse järgi [17].

$$\lambda = 0,027$$

Survekaod torus leitakse valemiga (5.43)

$$H_f = 0,027 * \frac{5}{0,0408} * \frac{0,62^2}{2 * 9,81} = 0,06 \text{ m}$$

Pumba tõstekõrgus leitakse valemiga (5.42)

$$H = 0,5 + 0,06 = 0,56 \text{ m}$$



## Lisa 8. Aktiivmuda annuspuhastite ja seal kasutatavate seadmete dimensioneerimiseks teostatud arvutused

Aktiivmuda annuspuhasti,  $Q = 35 \text{ m}^3/\text{d}$ ;  $R = 230 \text{ ie}$

Biopuhasti parameetrid.

Aktiivmuda juurdekasv leitakse valemiga (5.16)

$$SP_{d,C} = 13,8 * (0,75 + 0,6 * \frac{460}{394} - \frac{(1 - 0,2) * 0,17 * 0,75 * 14,3 * 0,71}{1 + 0,17 * 14,3 * 0,71}) = 14,8 \text{ kg/d}$$

Bioloogiliselt ärastatud fosfori kontsentratsioon leitakse valemiga (5.19)

$$X_{P,BioP} = 0,005 * 394,3 = 1,97 \text{ mg/l}$$

Ladestunud fosfori kontsentratsioon leitakse valemiga (5.20)

$$X_{P,PreC} = 80\% * (11,4 - 1,97) = 7,5 \text{ mg/l}$$

Keemiline muda juurdekasv leitakse valemiga (5.18)

$$SP_{d,P} = \frac{35 * (3 * 1,97 + 6,8 * 7,5)}{1000} = 2,0 \text{ kg/d}$$

Kogu muda juurdekasv leitakse valemiga (5.21)

$$SP_d = 14,8 + 2,0 = 16,8 \text{ kg/d}$$

Protsessimahutis settinud aktiivmudasegu kuivaine sisaldus on 0,8% [13, lk. 14].

Eemaldatava liigmuda maht leitakse valemiga (5.22)

$$V_{LM0,8\%} = \frac{16,8}{1020 * 0,8} * 100 = 2,14 \text{ m}^3/\text{d}$$

Mudatihendis tihenenud liigmuda kuivaine sisaldus on 4% [13, lk. 14]. Tihenenud

liigmuda maht leitakse valemiga (5.22)

$$V_{LM4\%} = \frac{16,8}{1020 * 4} * 100 = 0,4 \text{ m}^3/\text{d}$$

Aktiivmuda hulk biopuhastis leitakse valemiga (5.23)

$$M_{TS,BB} = 14,3 * 16,8 = 240,2 \text{ kg}$$

Aktiivmuda hulk protsessimahutis leitakse valemiga (5.47)

$$M_{TS,RR} = 240,2 * \frac{12}{9} = 320,3 \text{ kg}$$

Protsessimahuti seisev maht leitakse valemiga (5.48)

$$V_{min} = \frac{320,3}{5 * 1} = 64,1 \text{ m}^3$$

Protsessimahuti muutuv maht leitakse valemiga (5.49)

$$\Delta V_{max} = \frac{1,46 * 12}{1} = 17,5 \text{ m}^3$$

Protsessimahuti maht leitakse valemiga (5.50)

$$V_R = 64,1 + 17,5 = 81,6 \text{ m}^3$$

Protsessimahuti põhjapindala (eeldusel, et vee tasapind mahuti põhjast on 3 m ja mahuti on ristkülikulise pinnaga) leitakse valemiga (5.51)

$$A = \frac{81,6}{3} = 27,2 \text{ m}^2$$

Külje pikkus leitakse valemiga (5.52)

$$b = \frac{27,2}{4,5} = 6,0 \text{ m}$$

Protsessimahuti mõõtmed on seega:

$$a = 4,5 \text{ m}$$

$$b = 6,0 \text{ m}$$

$$h = 3,0 \text{ m}$$

Protsessimahuti tegelik maht leitakse valemiga (5.53)

$$V_R = 4,5 * 6,0 * 3,0 = 81,0 \text{ m}^3$$

Puhasti seinad on vee tasapinnast 0,5 m kõrgemad.

Mahukoormus leitakse valemiga (5.54)

$$f_A = \frac{17,5}{81,6} = 0,21$$

Tuleks hoiduda projekteerimast puhasteid, mille  $f_A$  väärtus on suurem kui 0,5 [14, lk.22], antud juhul on väärtus sobilik.

Ühtlustusmahuti minimaalne maht leitakse valemiga (5.55)

$$V_{\text{ÜM}} = 1,0 * Q_d = 35,0 \text{ m}^3$$

Ühtlustusmahuti külje pikkused (eeldusel, et vee tasapind mahuti põhjast on 3 m ja mahuti on ruudukujulise pinnaga) leitakse valemiga (5.27)

$$a = \sqrt{35,0/3} = 3,42 \approx 3,4 \text{ m}$$

Ühtlustusmahuti mõõtmed on seega:

$$a = 3,4 \text{ m}$$

$$b = 3,4 \text{ m}$$

$$h = 3,4 \text{ m}$$

Ühtlustusmahuti tegelik maht leitakse valemiga (5.28)

$$V_{\text{ÜM}} = 3,4 * 3,4 * 3 = 34,7 \text{ m}^3$$

Mahuti seinad on vee tasapinnast 0,5 m kõrgemad.

Mudatihendi mahuks valitakse  $V_{MT} = 10 \text{ m}^3$ . Tihenenud liigmuda mahu järgi tuleb mahutit tühjendada iga 25 päeva tagant.

### **Hapniku vajadus.**

Hapniku vajadus süsiniku ärastuseks leitakse valemiga (5.30)

$$OV_{d,C} = 1,13 * 13,8 = 15,6 \text{ kgO}_2/\text{d}$$

Hapniku vajadus nitrifikatsiooniks leitakse valemiga (5.31)

$$OV_{d,N} = 4,3 * 2,5 = 10,8 \text{ kgO}_2/\text{d}$$

Hapniku vajadus denitrifikatsiooniks leitakse valemiga (5.32)

$$OV_{d,D} = 2,9 * 2,5 = 7,25 \text{ kgO}_2/\text{d}$$

Hapniku vajaduse ööpäevane tipp leitakse valemiga (5.56)

$$OV_h = \frac{1}{1 - 0,37} * \frac{1}{2 * 9} * (1,15 * (15,6 - 7,25) + 2,0 * 10,8) = 2,75 \text{ kgO}_2/\text{h}$$

### **Aktiivmuda annuspuhasti õhu vajadus**

Õhu vajadus leitakse valemiga (5.34)

$$Q_{\tilde{o}} = \frac{2,75}{0,23 * 0,2} = 59,8 \text{ m}^3/\text{h}$$

Aeraatorite arv leitakse valemiga (5.35)

$$n = \frac{59,8}{4} = 14,9 \approx 15 \text{ tk}$$

### **Puhurite dimensioneerimine.**

Protsessimahuti puhuri lähteandmed:

- Õhutoru pikkus –  $l = 10 \text{ m}$
- Õhutoru siseläbimõõt –  $d = 51 \text{ mm}$

$$\tilde{O}huhulk \quad Q_{\tilde{o}} = 59,8 \text{ m}^3/\text{h} = 0,017 \text{ m}^3/\text{s}$$

Toru ristlõikepindala leitakse valemiga (5.36)

$$A = \frac{\pi * 0,051^2}{4} = 0,002 \text{ m}^2$$

Õhu liikumise kiirus toru ristlõikes leitakse valemiga (5.37)

$$v = \frac{0,017}{0,002} = 8,5 \text{ m/s}$$

Reynoldsi arv leitakse valemiga (5.38)

$$R_e = \frac{8,5 * 0,051}{23,06 * 10^{-6}} = 18798,8$$

Suhteline karedus leitakse valemiga (5.39)

$$SK = \frac{0,15}{51} = 0,003$$

Hõõrdetegur  $\lambda$  leitakse Moody diagrammilt Reynoldsi arvu ja suhtelise kareduse järgi [17].

$$\lambda = 0,032$$

Rõhukadu õhutorustikus leitakse valemiga (5.40)

$$\Delta P_f = 0,032 * \frac{10}{0,051} * \frac{0,946 * 8,0^2}{2} = 189,9 \text{ Pa} = 1,9 \text{ mBar}$$

Aeraatorid asuvad 2,8 m sügavusel, seega vee poolt tekitatav survekadu  $p_{vesi} = 2,8 \text{ mH}_2\text{O} = 274,6 \text{ mBar}$ .

Aeraatorite poolt tekitatav survekadu, kui üks aeraatori poolt protsessi juhitud õhuhulk on  $4 \text{ m}^3/\text{h}$ ,  $p_{\text{aeraator}} = 3 \text{ kPa} = 30 \text{ mBar}$  [18]

Kogu rõhk leitakse valemiga (5.41)

$$p_t = 274,6 + 30 + 1,9 = 306,5 \text{ mBar}$$

Mudatihendi puhuri lähteandmed on samad, mis protsessimahuti puhuril.

- Õhutoru pikkus –  $l = 10 \text{ m}$
- Õhutoru siseläbimõõt –  $d = 51 \text{ mm}$

$$\text{Õhuhulk } Q_{\tilde{o}} = 20,0 \text{ m}^3/\text{h} = 0,0056 \text{ m}^3/\text{s}$$

Toru ristlõikepindala leitakse valemiga (5.36)

$$A = \frac{\pi * 0,051^2}{4} = 0,002 \text{ m}^2$$

Õhu liikumise kiirus toru ristlõikes leitakse valemiga (5.37)

$$v = \frac{0,0056}{0,002} = 2,8 \text{ m/s}$$

Reynoldsi arv leitakse valemiga (5.38)

$$R_e = \frac{2,8 * 0,051}{23,06 * 10^{-6}} = 6192,5$$

Suhteline karedus leitakse valemiga (5.39)

$$SK = \frac{0,15}{51} = 0,003$$

Hõõrdetegur  $\lambda$  leitakse Moody diagrammilt Reynoldsi arvu ja suhtelise kareduse järgi [17].

$$\lambda = 0,039$$

Rõhukadu õhutorustikus leitakse valemiga (5.40)

$$\Delta P_f = 0,039 * \frac{10}{0,051} * \frac{0,946 * 2,8^2}{2} = 28,3 \text{ Pa} = 0,3 \text{ mBar}$$

Aeraatorid asuvad 2,8 m sügavusel, seega vee poolt tekitatav survekadu  $p_{\text{vesi}} = 2,8 \text{ mH}_2\text{O} = 274,6 \text{ mBar}$ .

Aeraatorite poolt tekitatav survekadu, kui üks aeraatori poolt protsessi juhitud õhuhulk on  $4 \text{ m}^3/\text{h}$ ,  $p_{\text{aeraator}} = 6,5 \text{ mBar}$  [19]

Kogu rõhk leitakse valemiga (5.41)

$$p_t = 274,6 + 6,5 + 0,3 = 281,4 \text{ mBar}$$

### **Pumpade dimensioneerimine.**

Ühtlustusmahuti tühjenduspumba lähteandmed:

- Toru pikkus –  $l = 5 \text{ m}$ ,
- Toru siseläbimõõt –  $d = 79,2 \text{ mm}$ ,
- Geodeetiline tõstekõrgus –  $H_{geod} = 3,5 \text{ m}$ .

Vooluhulk  $Q = 17,5 \text{ m}^3/\text{h} = 0,0049 \text{ m}^3/\text{s}$ .

Toru ristlõikepindala leitakse valemiga (5.36)

$$A = \frac{\pi * 0,0792^2}{4} = 0,005 \text{ m}^2$$

Vedeliku liikumise kiirus toru ristlõikes leitakse valemiga (5.37)

$$v = \frac{0,0049}{0,005} = 0,98 \text{ m/s}$$

Reynoldsi arv leitakse valemiga (5.38)

$$Re = \frac{0,98 * 0,0792}{1,308 * 10^{-6}} = 59339,4$$

Suhteline karedus leitakse valemiga (5.39)

$$SK = \frac{0,01}{79,2} = 0,0001$$

Hõõrdetegur  $\lambda$  leitakse Moody diagrammilt Reynoldsi arvu ja suhtelise kareduse järgi [17].

$$\lambda = 0,021$$

Survekaod torus leitakse valemiga (5.43)

$$H_j = 0,021 * \frac{5}{0,0792} * \frac{0,98^2}{2 * 9,81} = 0,06 \text{ m}$$

Pumba tõstekõrgus leitakse valemiga (5.42)

$$H = 3,5 + 0,06 = 3,56 \text{ m}$$

Protsessimahuti settepumba lähteandmed:

- Toru pikkus –  $l = 5$  m,
- Toru siseläbimõõt –  $d = 40,8$  mm,
- Geodeetiline tõstekõrgus –  $H_{geod} = 1,1$  m.

Vooluhulgaks  $Q = 2,1 \text{ m}^3/\text{h} = 0,0006 \text{ m}^3/\text{s}$ .

Toru ristlõikepindala leitakse valemiga (5.36)

$$A = \frac{\pi * 0,0408^2}{4} = 0,0013 \text{ m}^2$$

Õhu liikumise kiirus toru ristlõikes leitakse valemiga (5.37)

$$v = \frac{0,0006}{0,0013} = 0,46 \text{ m/s}$$

Reynoldsi arv leitakse valemiga (5.38)

$$Re = \frac{0,46 * 0,0408}{1,308 * 10^{-6}} = 14348,6$$

Suhteline karedus leitakse valemiga (5.39)

$$SK = \frac{0,01}{40,8} = 0,0002$$

Hõõrdetegur  $\lambda$  leitakse Moody diagrammilt Reynoldsi arvu ja suhtelise kareduse järgi [17].

$$\lambda = 0,028$$

Survekaod torus leitakse valemiga (5.43)

$$H_f = 0,028 * \frac{5}{0,0408} * \frac{0,46^2}{2 * 9,81} = 0,02 \text{ m}$$

Pumba tõstekõrgus leitakse valemiga (5.42)

$$H = 1,1 + 0,02 = 1,12 \text{ m}$$

Protsessimahuti tühjenduspumba lähteandmed:

- Toru pikkus –  $l = 5$  m,
- Toru siseläbimõõt –  $d = 79,2$  mm,
- Geodeetiline tõstekõrgus –  $H_{geod} = 1,1$  m.

Vooluhulk  $Q = 17,5 \text{ m}^3/\text{h} = 0,0049 \text{ m}^3/\text{s}$ .

Toru ristlõikepindala leitakse valemiga (5.36)

$$A = \frac{\pi * 0,0792^2}{4} = 0,005 \text{ m}^2$$

Vedeliku liikumise kiirus toru ristlõikes leitakse valemiga (5.37)

$$v = \frac{0,0049}{0,005} = 0,98 \text{ m/s}$$

Reynoldsi arv leitakse valemiga (5.38)

$$R_e = \frac{0,98 * 0,0792}{1,308 * 10^{-6}} = 59339,4$$

Suhteline karedus leitakse valemiga (5.39)

$$SK = \frac{0,01}{79,2} = 0,0001$$

Hõõrdetegur  $\lambda$  leitakse Moody diagrammilt Reynoldsi arvu ja suhtelise kareduse järgi [17].

$$\lambda = 0,021$$

Rõhukaod torus leitakse valemiga (5.43)

$$H_f = 0,021 * \frac{5}{0,0792} * \frac{0,98^2}{2 * 9,81} = 0,06 \text{ m}$$

Pumba tõstekõrgus leitakse valemiga (5.42)

$$H = 1,1 + 0,06 = 1,16 \text{ m}$$

**Aktiivmuda annuspuhasti,  $Q = 70 \text{ m}^3/\text{d}$ ;  $R = 400 \text{ ie}$**

**Biopuhasti parameetrid.**

Aktiivmuda juurdekasv leitakse valemiga (5.16)

$$SP_{d,C} = 24,0 * (0,75 + 0,6 * \frac{400}{343} - \frac{(1 - 0,2) * 0,17 * 0,75 * 14,3 * 0,71}{1 + 0,17 * 14,3 * 0,71}) = 25,68 \text{ kg/d}$$

Bioloogiliselt ärastatud fosfori kontsentratsioon leitakse valemiga (5.19)

$$X_{P,BioP} = 0,005 * 342,9 = 1,71 \text{ mg/l}$$

Ladestunud fosfori kontsentratsioon leitakse valemiga (5.20)

$$X_{P,Prec} = 80\% * (10,3 - 1,71) = 6,9 \text{ mg/l}$$

Keemiline muda juurdekasv leitakse valemiga (5.18)



$$SP_{d,P} = \frac{70 * (3 * 1,71 + 6,8 * 6,9)}{1000} = 3,64 \text{ kg/d}$$

Kogu muda juurdekasv leitakse valemiga (5.21)

$$SP_d = 25,68 + 3,64 = 29,32 \text{ kg/d}$$

Protsessimahutis settinud aktiivmudasegu kuivaine sisaldus on 0,8% [13, lk. 14].

Eemaldatava liigmuda maht  $V_{LM0,8\%}$  (m<sup>3</sup>/d) leitakse valemiga (5.22)

$$V_{LM0,8\%} = \frac{29,32}{1020 * 0,8} * 100 = 3,60 \text{ m}^3/\text{d}$$

Mudatihendis tihenenud liigmuda kuivaine sisaldus on 4% [13, lk. 14]. Tihenenud liigmuda maht  $V_{LM4\%}$  (m<sup>3</sup>/d) leitakse valemiga (5.22)

$$V_{LM4\%} = \frac{29,32}{1020 * 4} * 100 = 0,7 \text{ m}^3/\text{d}$$

Aktiivmuda hulk biopuhastis leitakse valemiga (5.23)

$$M_{TS,BB} = 14,3 * 20,56 = 437,0 \text{ kg}$$

Aktiivmuda hulk protsessimahutis leitakse valemiga (5.47)

$$M_{TS,RR} = 437,0 * \frac{12}{9} = 582,7 \text{ kg}$$

Protsessimahuti seisev maht leitakse valemiga (5.48)

$$V_{min} = \frac{582,7}{5 * 1} = 116,5 \text{ m}^3$$

Protsessimahuti muutuv maht leitakse valemiga (5.49)

$$\Delta V_{max} = \frac{2,92 * 12}{1} = 35,0 \text{ m}^3$$

Protsessimahuti maht leitakse valemiga (5.50)

$$V_R = 116,5 + 35,0 = 151,5 \text{ m}^3$$

Protsessimahuti põhjapindala (eeldusel, et vee tasapind mahuti põhjast on 3 m ja mahuti on ristkülikulise pinnaga) leitakse valemiga (5.51)

$$A = \frac{151,5}{3} = 50,5 \text{ m}^2$$

Valime ühe külje pikkuseks 6 m, siis teise külje pikkus leitakse valemiga (5.52)

$$b = \frac{50,5}{6} = 8,4 \text{ m}$$

Protsessimahuti mõõtmed on seega:

$$a = 6,0 \text{ m}$$

$$b = 8,4 \text{ m}$$

$$h = 3,0 \text{ m}$$

Protsessimahuti tegelik maht leitakse valemiga (5.53)

$$V_R = 6,0 * 8,4 * 3,0 = 151,2 \text{ m}^3$$

Puhasti seinad on vee tasapinnast 0,5 m kõrgemad.

Mahukoormus leitakse valemiga (5.54)

$$f_A = \frac{35,0}{151,2} = 0,23$$

Tuleks hoiduda projekteerimast puhasteid, mille  $f_A$  väärtus on suurem kui 0,5 [14, lk.22], antud juhul on väärtus sobilik.

Ühtlustusmahuti minimaalne maht leitakse valemiga (5.55)

$$V_{\text{ÜM}} = 1,0 * 70 = 70,0 \text{ m}^3$$

Ühtlustusmahuti külje pikkused (eeldusel, et vee tasapind mahuti põhjast on 3 m ja mahuti on ruudukujulise pinnaga) leitakse valemiga (5.27)

$$a = \sqrt{70,0/3} = 4,83 \approx 4,8 \text{ m}$$

Ühtlustusmahuti mõõtmed on seega:

$$a = 4,8 \text{ m}$$

$$b = 4,8 \text{ m}$$

$$h = 3,0 \text{ m}$$

Ühtlustusmahuti tegelik maht leitakse valemiga (5.28)

$$V_{\text{ÜM}} = 5,0 * 5,0 * 4,0 = 69,1 \text{ m}^3$$

Mahuti seinad on vee tasapinnast 0,5 m kõrgemad.

Mudatihendi mahuks valitakse  $V_{MT} = 20 \text{ m}^3$ . Tihenenud liigmuda mahu järgi tuleb mahutit tühjendada iga 28 päeva tagant.

### Hapniku vajadus.

Hapniku vajadus süsiniku ärastuseks leitakse valemiga (5.30)

$$OV_{d,C} = 1,13 * 24,0 = 27,12 \text{ kgO}_2/\text{d}$$

Hapniku vajadus nitrifikatsiooniks leitakse valemiga (5.31)

$$OV_{d,N} = 4,3 * 4,4 = 18,92 \text{ kgO}_2/\text{d}$$

Hapniku vajadus denitrifikatsiooniks leitakse valemiga (5.32)

$$OV_{d,D} = 2,9 * 4,4 = 12,76 \text{ kgO}_2/\text{d}$$

Hapniku vajaduse ööpäevane tipp leitakse valemiga (5.56)

$$OV_h = \frac{1}{1 - 0,37} * \frac{1}{2 * 9} * (1,15 * (27,12 - 12,76) + 2,0 * 18,92) = 4,51 \text{ kgO}_2/\text{h}$$

### Aktiivmuda annuspuhasti õhu vajadus.

Õhu vajadus leitakse valemiga (5.34)

$$Q_{\tilde{o}} = \frac{4,51}{0,23 * 0,2} = 90,2 \text{ m}^3/\text{h}$$

Aeraatorite arv leitakse valemiga (5.35)

$$n = \frac{90,2}{4} = 22,6 \approx 23 \text{ tk}$$

### Puhurite dimensioneerimine.

Protsessimahuti puhuri lähteandmed:

- Õhutoru pikkus –  $l = 10 \text{ m}$
- Õhutoru siseläbimõõt –  $d = 51 \text{ mm}$

Õhuhulk  $Q_{\tilde{o}} = 90,2 \text{ m}^3/\text{h} = 0,025 \text{ m}^3/\text{s}$

Toru ristlõikepindala leitakse valemiga (5.36)

$$A = \frac{\pi * 0,051^2}{4} = 0,002 \text{ m}^2$$

Õhu liikumise kiirus toru ristlõikes leitakse valemiga (5.37)

$$v = \frac{0,025}{0,002} = 12,5 \text{ m/s}$$

Reynoldsi arv leitakse valemiga (5.38)

$$R_e = \frac{12,5 * 0,051}{23,06 * 10^{-6}} = 27645,3$$

Suhteline karedus leitakse valemiga (5.39)

$$SK = \frac{0,15}{51} = 0,003$$

Hõõrdetegur  $\lambda$  leitakse Moody diagrammilt Reynoldsi arvu ja suhtelise kareduse järgi [17].

$$\lambda = 0,03$$

Rõhukadu õhutorustikus leitakse valemiga (5.40)

$$\Delta Pf = 0,03 * \frac{10}{0,051} * \frac{0,946 * 12,5^2}{2} = 434,7 \text{ Pa} = 4,3 \text{ mBar}$$

Aeraatorid asuvad 3,8 m sügavusel, seega vee poolt tekitatav survekadu  $p_{vesi} = 2,8 \text{ mH}_2\text{O} = 274,6 \text{ mBar}$ .

Aeraatorite poolt tekitatav survekadu, kui üks aeraatori poolt protsessi juhitud õhuhulk on  $4 \text{ m}^3/\text{h}$ ,  $p_{aeraator} = 3 \text{ kPa} = 30 \text{ mBar}$  [18]

Kogu rõhk leitakse valemiga (5.41)

$$p_t = 274,6 + 30 + 4,3 = 308,9 \text{ mBar}$$

Mudatihendi puhuri lähteandmed on samad, mis protsessimahuti puhuri puhul.

$$\tilde{Q}_o = 40,0 \text{ m}^3/\text{h} = 0,011 \text{ m}^3/\text{s}$$

Toru ristlõikepindala leitakse valemiga (5.36)

$$A = \frac{\pi * 0,051^2}{4} = 0,002 \text{ m}^2$$

Õhu liikumise kiirus toru ristlõikes leitakse valemiga (5.37)

$$v = \frac{0,011}{0,002} = 5,5 \text{ m/s}$$

Reynoldsi arv leitakse valemiga (5.38)

$$R_e = \frac{5,5 * 0,051}{23,06 * 10^{-6}} = 12163,9$$

Suhteline karedus leitakse valemiga (5.39)

$$SK = \frac{0,15}{51} = 0,003$$

Hõõrdetegur  $\lambda$  leitakse Moody diagrammilt Reynoldsi arvu ja suhtelise kareduse järgi [17].

$$\lambda = 0,034$$

Rõhukadu õhutorustikus leitakse valemiga (5.40)

$$\Delta P_f = 0,034 * \frac{10}{0,051} * \frac{0,946 * 5,5^2}{2} = 95,4 \text{ Pa} = 1,0 \text{ mBar}$$

Aeraatorid asuvad 2,8 m sügavusel, seega vee poolt tekitatav survekadu  $p_{vesi} = 2,8 \text{ mH}_2\text{O} = 274,6 \text{ mBar}$ .

Aeraatorite poolt tekitatav survekadu, kui üks aeraatori poolt protsessi juhitud õhuhulk on  $4 \text{ m}^3/\text{h}$ ,  $p_{aeraator} = 6,5 \text{ mBar}$  [19]

Kogu rõhk leitakse valemiga (5.41)

$$p_t = 274,6 + 6,5 + 1,0 = 282,1 \text{ mBar}$$

### **Pumpade dimensioneerimine.**

Ühtlustusmahuti tühjenduspumba lähteandmed:

- Toru pikkus –  $l = 5 \text{ m}$ ,
- Toru siseläbimõõt –  $d = 96,8 \text{ mm}$ ,
- Geodeetiline tõstekõrgus –  $H_{geod} = 3,5 \text{ m}$ .

Vooluhulk  $Q = 35,0 \text{ m}^3/\text{h} = 0,0097 \text{ m}^3/\text{s}$ .

Toru ristlõikepindala leitakse valemiga (5.36)

$$A = \frac{\pi * 0,0968^2}{4} = 0,007 \text{ m}^2$$

Vedeliku liikumise kiirus toru ristlõikes leitakse valemiga (5.37)

$$v = \frac{0,0097}{0,007} = 1,39 \text{ m/s}$$

Reynoldsi arv leitakse valemiga (5.38)

$$R_e = \frac{1,39 * 0,0968}{1,308 * 10^{-6}} = 102868,5$$

Suhteline karedus leitakse valemiga (5.39)

$$SK = \frac{0,01}{96,8} = 0,0001$$

Hõõrdetegur  $\lambda$  leitakse Moody diagrammilt Reynoldsi arvu ja suhtelise kareduse järgi [17].

$$\lambda = 0,018$$

Survekaod torus leitakse valemiga (5.43)

$$H_j = 0,018 * \frac{5}{0,0968} * \frac{1,39^2}{2 * 9,81} = 0,09 \text{ m}$$

Pumba tõstekõrgus leitakse valemiga (5.42)

$$H = 3,5 + 0,09 = 3,59 \text{ m}$$

Protsessimahuti settepumba lähteandmed:

- Toru pikkus –  $l = 5 \text{ m}$ ,
- Toru siseläbimõõt –  $d = 40,8 \text{ mm}$ ,
- Geodeetiline tõstekõrgus –  $H_{geod} = 1,2 \text{ m}$ .

Vooluhulgaks  $Q$  ( $\text{m}^3/\text{s}$ ) valitakse ühekordne tunni keskmine vooluhulk, seega  $Q = 3,8 \text{ m}^3/\text{h} = 0,001 \text{ m}^3/\text{s}$ .

Toru ristlõikepindala leitakse valemiga (5.36)

$$A = \frac{\pi * 0,0408^2}{4} = 0,0013 \text{ m}^2$$

Õhu liikumise kiirus toru ristlõikes leitakse valemiga (5.37)

$$v = \frac{0,001}{0,0013} = 0,77 \text{ m/s}$$

Reynoldsi arv leitakse valemiga (5.38)

$$R_e = \frac{0,77 * 0,0408}{1,308 * 10^{-6}} = 24018,3$$

Suhteline karedus leitakse valemiga (5.39)

$$SK = \frac{0,01}{40,8} = 0,0002$$

Hõõrdetegur  $\lambda$  leitakse Moody diagrammilt Reynoldsi arvu ja suhtelise kareduse järgi [17].

$$\lambda = 0,025$$

Survekaod torus leitakse valemiga (5.43)

$$H_f = 0,025 * \frac{5}{0,0408} * \frac{0,77^2}{2 * 9,81} = 0,09 \text{ m}$$

Pumba tõstekõrgus leitakse valemiga (5.42)

$$H = 1,2 + 0,09 = 1,29 \text{ m}$$

Protsessimahuti tühjenduspumbla lähteandmed:

- Toru pikkus –  $l = 5 \text{ m}$ ,
- Toru siseläbimõõt –  $d = 96,8 \text{ mm}$ ,
- Geodeetiline tõstekõrgus –  $H_{geod} = 1,2 \text{ m}$ .

$$\text{Vooluhulk } Q = 35,0 \text{ m}^3/\text{h} = 0,0097 \text{ m}^3/\text{s}.$$

Toru ristlõikepindala leitakse valemiga (5.36)

$$A = \frac{\pi * 0,0968^2}{4} = 0,007 \text{ m}^2$$

Vedeliku liikumise kiirus toru ristlõikes leitakse valemiga (5.37)

$$v = \frac{0,0097}{0,007} = 1,39 \text{ m/s}$$

Reynoldsi arv leitakse valemiga (5.38)

$$R_e = \frac{1,39 * 0,0968}{1,308 * 10^{-6}} = 102868,5$$

Suhteline karedus leitakse valemiga (5.39)

$$SK = \frac{0,01}{96,8} = 0,0001$$

Hõõrdetegur  $\lambda$  leitakse Moody diagrammilt Reynoldsi arvu ja suhtelise kareduse järgi [17].

$$\lambda = 0,018$$

Survrkaod torus leitakse valemiga (5.43)

$$H_j = 0,018 * \frac{5}{0,0968} * \frac{1,39^2}{2 * 9,81} = 0,09 \text{ m}$$

Pumba tõstekõrgus leitakse valemiga (5.42)

$$H = 1,2 + 0,09 = 1,29 \text{ m}$$



## Lisa 9. Kõikide puhastite elektri erikulu ja keskmine elektri erikulu

