

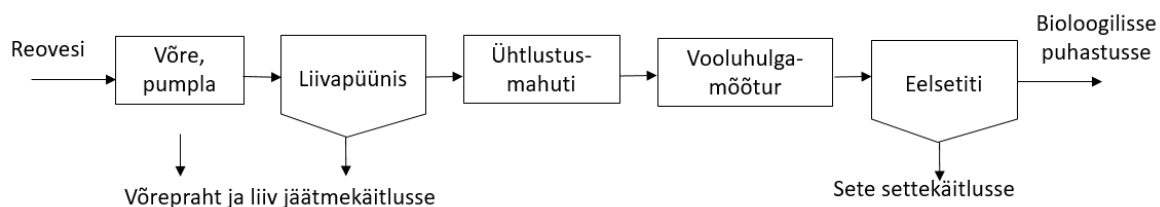
1 Eelpuhastus

Mart Taklai, Mait Kriipsalu, Vallo Kõrgmaa, Enn Tõnisberg, Erki Lember ja Vahur Värk

1.1 Eelpuhastuse olulisus

Mehaanilise puhastuse, s.o eelpuhastuse ja esimese puhastusastme ülesanne on lahustumatute võõraste (ujuprahi, liiva, heljumi) kõrvaldamine reoveest füüsikaliste võtetega (kurnamine, sõelumine, setitamine, flotatsioon). Ujupraht jääb pidama võrel (mõnikord ka sõeluris), mineraalsed lisandid liivapüünises, orgaaniline heljum setib välja setitites ja väga peene heljumi püüdmiseks võidakse kasutada filtreid. Veest kergemad lisandid (toiduõli ja rasv, õli ja bensiin) eraldatakse ülesujutamise teel; soovitatav on seda teha enne ühiskanalisatsiooni juhtimist reostuse tekkekohas (kohtpuhastis – toitlustusasutuste ja liha ja piima töötlevate ettevõtete rasva- ja toiduõlipüünistes ning autoremonditöökodade, garaažide, autopesulate jms õli- ja bensiinipüünistes).

Oma- ja väikepuhastites peetakse sageli nii liiv ja muda kui ka orgaaniline heljum kinni septikus. Suuremate väikepuhastite võreseedmed ja liivapüünised paiknevad tavaliselt hoones, väiksematel võivad olla eraldi võrekaevud ja septikud.



Joonis 1.1. Eelpuhastuse tüüpiline vooludiagramm

Eelpuhastusastme tõhusus on väga oluline, sest sellest oleneb järgmiste puhastusastmete normaalne toimimine. Kui võõrised pääsevad korrast ära võreseedmest või sõelurist läbi, siis nad ummistavad pumpasid või kulutavad nende tööraita. Liivapüünisest välja kanduv liiv võib õhustuskambris ummistada õhusteid, abrasiivne liiv kulutada torusid ja pumpasid ning täis settinud mahutites väheneda reovee viibeaeg. **Mehaaniline puhastus aitab tagada bioloogilise puhastusprotsessi ning seadmete tõrgeteta toimimise ning vältida ummistusi.**

1.2 Võred ja sõelurid

1.2.1 Üldised põhimõtted

Reovee mehaaniline puhastamine algab juhtimisega läbi võre või sõeluri, kuhu jäävad pidama reoveega kaasa tulevad suuremad võõrised (kaltsud, hügieenisidemed, kile jm), mis võivad ummistada seadmeid ja torustikke.

Võre on seade jämehelejumi ja prahi kõrvaldamiseks reoveest käsitsi või mehaaniliselt puhastatavate varbade, liikuvate lintide või mulgustatud metall-lehest või traatvõrgust tehtud pöörlevate ketaste või trumlite abil. Suurematel puhastitel võib võrede tõhususe suurendamiseks (eriti orgaaniliste jäätmete kinnipidamiseks) paigaldada järjestikku kaks võret, millest teise varvavahe on esimese omast väiksem. Võrede dimensioneerimisel tuleb arvestada, et läbi võre juhitava vee kiirus peab olema suurem kui 0,3 m/s, ent ei tohi maksimaalse vooluhulga puhul ületada 1,2 m/s [1].

Toimimisprintsipi poolest jagunevad võred käsi- ja mehaanilisteks võredeks ning pilude või avade suuruse järgi:

- peenvõredeks pilude või avade suurusega < 10 mm;
- keskvõredeks pilude või avadega 10 – 40 mm ning
- jämevõredeks pilude või avadega > 40 mm kuni 75 (100) mm.

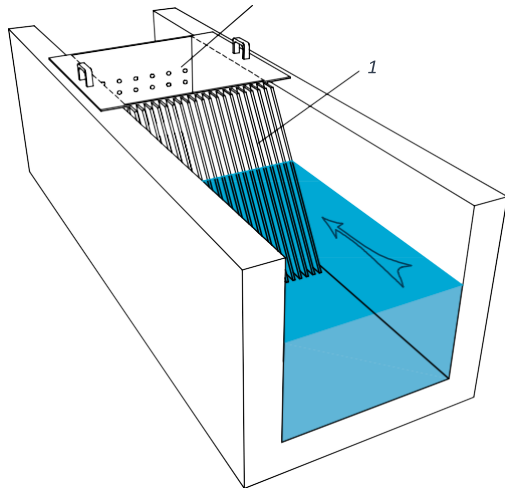
Võrede ava- või pilusuurused on järgmised:

- | | | |
|--|------|------------------|
| • varbvõre | pilu | 3 – 20 (100) mm; |
| • perforeeritud leht (haripuhastusega) | ava | 2 – 12 mm; |
| • kruvivõre (perforeeritud korv) | ava | 3 – 8 mm; |
| • treppvõre (astmelised latid) | pilu | 2 – 6 mm; |
| • trummelvõre (perforeeritud korv) | ava | 2 – 6 mm; |
| • trummelvõre (punutud terasvõrk) | ava | 0,1 – 2 mm. |

1.2.2 Jämevõred

Jämevõred (pilu suurus enamasti ≥ 40 mm) on ette nähtud jämeda prahi kõrvaldamiseks. Väikepuhastitel on nad sageli reha abil käsitsi puhastatavad varbvõred varvavahega 15–30 mm (joonis 5.2), mis paiknevad tavaliselt reoveepumpla ees olevas võrekaevus. Suuremate rajatiste, näiteks pumplate ees olevate jämevõrede varvavahe on suurem (50–100 mm). Käsitsi puhastatav varbvõre

valmistatakse latt-terasest (sõltuvalt kõrgusest 5–15 × 25–75 mm), varvavahe peaks olema 15–30 mm ja võre kaldenurk 60°. Võrelatte siduvad ühenduselemendid olgu alumises tasandis, et nad ei takistaks puhastusrehaga töötamist. Kogunenud praht tõmmatakse nõrgumiseks ja tahenemiseks võrekorvi. Perforeeritud lehtterasest nõrgumiskorv peab ülespoole laienema, et seda oleks kerge välja tõsta ja tühjendada. Korvil peavad olema tõstmist võimaldavad sangad.



Joonis 1.2. Kätsi puhastatav varbvõre: 1 – võre, 2 – võrekorv [2]

1.2.3 Peenvõred

Peenvõre ülesanne on kinni pidada võimalikult palju reovees olevaid võõrseid, et nad järgmistes puhastusetappides tüli ei teeks. Peenvõre läbivooluava või -pilu suurus on 0,5–6 mm [3]. Tavaliselt paigaldatakse peenvõre teise astmena jämevõre järel. Uuematel puhastitel kasutatakse mehaanilisi peenvõresid (levinumad on kruvi- ja trummelsõelurid). Soovitavad on sellised automaatsed võred, mis peale võreprahi kõrvaldamise selle ka pesevad ja tahendavad.

1.2.4 Mehaanilised võred

Mehaanilistelt võredelt kõrvaldatakse praht automaatselt perioodiliselt või pidevreežiimis. Konstruktsiooni poolest on neid mitmesuguseid: statsionaarseid (varbvõred, kaarvõred, treppvõred) või pöörleva mehhanismiga (liikuva ekraaniga võred, kruvi- ja trummelvõred).

1.2.5 Varb- ja piluvõred

Varbvõre valmistatakse latt-terasest (sõltuvalt kõrgusest 5–8 × 50–75 mm), varvavahe sõltub kasutuseesmärgist (jäme- või peenvõre). Läbilaskevõime suurendamiseks ja puhastamise hõlbustamiseks paigaldatakse varbvõre 45–60° kaldu vee liikumissuuna suhtes.

Mehaanilised peenvarbvõred tehakse roostevabast terasest. Varbu (vahekaugus 2–5 mm) puhastatakse mehaanilise rehaga, mille tööorgan võib paikneda nii võre ees kui ka taga. Võrepraht, millest suurem osa veest välja nõrgub, lükatakse prahikorvi.

Varbvõrede eelised on:

- tugev konstruktsioon ja hea töökindlus;
- kõrvaldavad hästi jämedat prahti (sh kive, pudeleid jmt);
- suhteliselt lihtsad (mehaanilise kaabi abil) puhastada.

On ka puuduseid:

- peavad halvasti kinni kiulist materjali;
- tõhusus on suhteliselt väike (6-mm piludega võre SCR ≈ 35%).

Võrede tõhusust väljendatakse võre püüdesuhte (ingl *screen capture ratio*, SCR) kaudu:

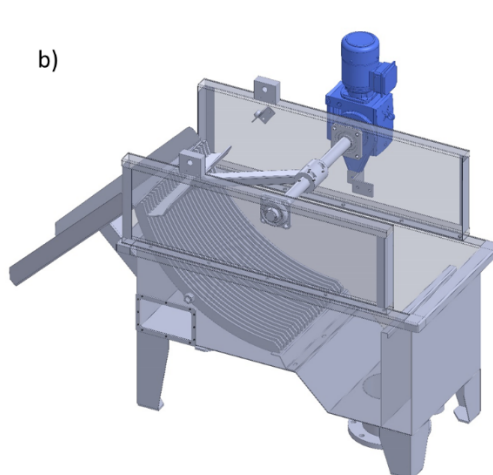
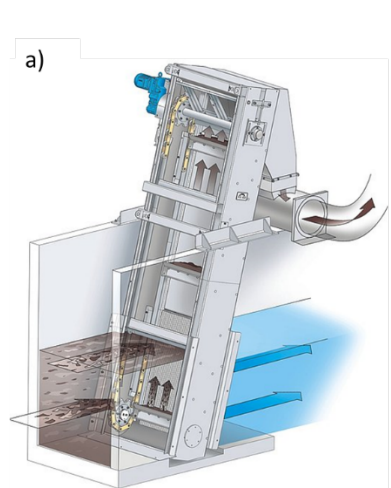
$$SCR = \frac{X}{(Y+Z)} 100 \%,$$

(5.1)

kus X on võreprahi kogus sõelumata reovees; Y – võrel kinni peetud prahi kogus ja Z – võreprahi kogus sõelutavas reovees.

Piluvõred on varbvõredest tõhusamad (SCR kuni 71 %), ent neil on ka puudusi:

- plastosad on nõrgad – painduvad ja murduvad;
- plastosade vahetamine on kallis ja aeganõudev;
- osade puhastamise ajal pääseb palju ujuvmaterjali allavoolu.



Joonis 1.3. Mehaanilised võred: a – sirgete varbadega võre (Huber), b – kaarjate varbadega võre [13]

1.2.6 Kaarvõre

Kaarvõrel peetakse peenpraht kinni vee voolamisel mööda terasvõrgust või perforeeritud lehtedest valmistatud paraboolselt kaarjat ekraani. Vörkekraani avade suurus on 0,5x0,5 kuni 10x10mm. Reovesi juhitakse võrele enamasti survetoru pidi. Praht vajub veevoolu ja raskusjõu toimel ekraani allservas olevasse kogumisrenni, kus paiknev mehaaniline transportöör viib prahi konteinerisse. Vesi valgub läbi võrgu kogumisvanni ja sealt äravoolutorusse. Kaarvõred valmistatakse roostevabast terasest ja plastist. Nende tõhusus SCR ulatub 70–75 %-ni) ning on võrreldav piluvõre omaga. Kaarvõrel on ka puudusi:

- survekadu võres on suur;
- vajab puhastamiseks survevett, mille kulu võib üsna suur olla .



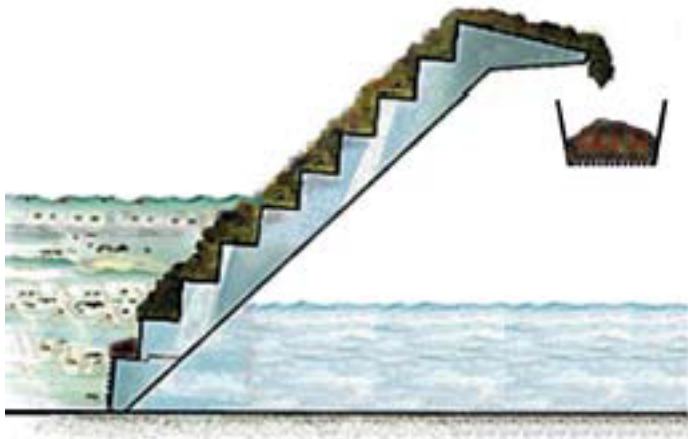
Joonis 1.4. Mehaaniline kaarvõre Vigala Piimatööstuse reoveepuhastil (foto: V.Kõrgmaa)

1.2.7 Treppvõre

Treppvõre (joonis 5.5), mille varvavahe on 3–5 mm, on tõhus ja ummistumiskindel. Võre varvad on astmekujulised ning moodustavad trepi. Iga teine varb on fikseeritud ning nende vahel olevad varvad liiguvad nii, et tõstavad kinni peetud prahi aste-astmelt kõrgemale, kuni see juhtplaati mööda prahikonteinerisse langeb.

Treppvõrele on iseloomulik:

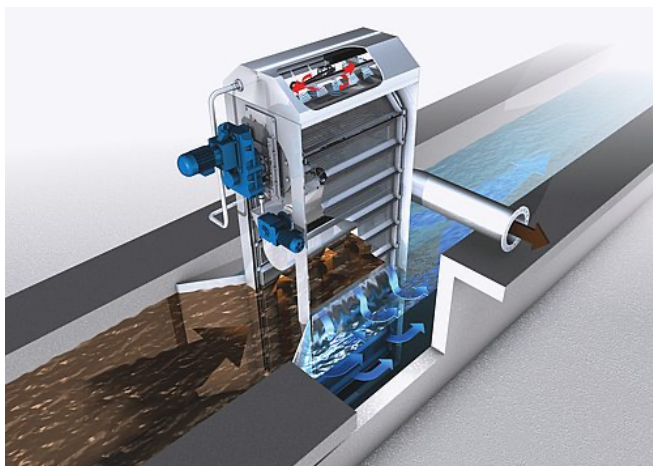
- suhteliselt väike omahind;
- väike keskkonnamajajälg;
- prahikõrvaldusvõime diapason on suur: 35 % (6-mm pilu) kuni ≈ 50–56% (3-mm pilu);
- vajab suhteliselt madalat kanalit;
- kõvade materjalide kõrvaldamisel on probleeme liiva ja kividega (veerevad tagasi).



Joonis 1.5. Treppvõre [2]

1.2.8 Liikuva ekraaniga võre

Liikuva ekraaniga võred on peenvõredena kasutuses enamasti toorveehaaretes, aga ka reoveepuhastites. Peenpraht peetakse neis kinni vee voolamisel läbi püstsuunas liikuva terasvõrgust või perforeeritud lehtedest valmistatud ekraani (filterelemendi). Ekraanivõrgu ava suurus on 0,5x0,5 kuni 10x10 mm. Ekraan on pidevas liikumises, ülemises asendis kõrvaldatakse praht ja toimub ekraani survepesu, praht liigub konteinerisse ja pesuvesi võre-eelsesesse kanalisse. Võreosad valmistatakse roostevabast terasest ja plastist. Liikuva ekraani või filterelementidega 6 mm suuruste avadega võre tõhusus SCR ulatub 85 %-ni. Tehnilisi lahendusi on mitmesuguseid (joonis 5.6).



Joonis 1.6. Liikuva ekraaniga võre paigaldatuna kanalisse [14]

1.2.9 Sõelurid

Sõeluri tööorgan võib olla statsionaarne või pöörlev. Statsionaarse tööorgan on nõgus sõel, mis võib olla tehtud perforeeritud roostevabast terasplekist, punutud traatvõrgust või kaarjatest varbadest kujundatud korv. Sõela, mille avade või pilude suurus on 2–6 mm, puhastamiseks on mitu võimalust:

- **kruvisõelurit** puhastavad kruvikonveieri serva külge kinnitatud harjad. Aeglaselt pöörlev kruvi lükkab prahi sõeluri ülemisse otsa, kust ta prahikonteinerisse kukub;
- **trummelsõeluril** juhitakse reovesi trumli sisse. Vesi voolab läbi sõela ning praht jääb trumli pidama. Trumli sees on keskkohast veidi kõrgemal prahikogumisrenn, millesse praht trumli pöörlemisel kukub. Trummelsõelurit puhastatakse tugevate veejugadega, mis paiskuvad trumli kohal oleva toru küljes olevatest düüsidest.

Sõelurite puhastustõhusus on:

- 6 mm suuruste varvavadega trummelsõeluril SCR \approx 32 % ning
- 6 mm suuruste ümaravadega kruvivõrel SCR \approx 52 %.

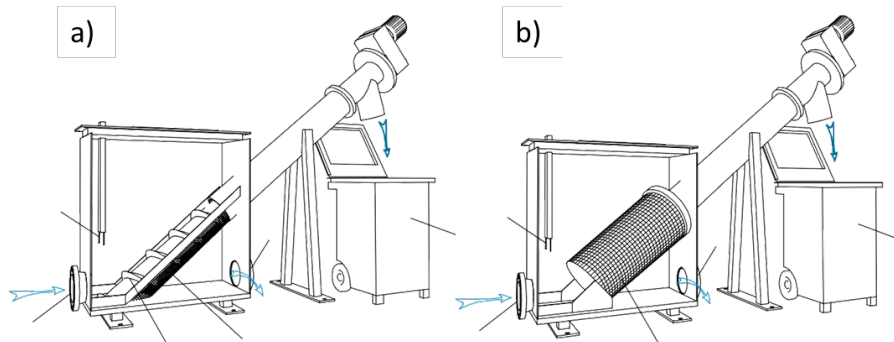
Statsionaarne sõelur on:

- hea lahendus väikepuhastitele;
- ökonoomseim lahendus;
- roostevabaterasest, tugev ja kestev;
- kruvisõeluril on olemas ka vertikaalne lahendus.

Pöörleva sõeluri tööorgan on perforeeritud roostevabast terasplekist, punutud traatvõrgust või kaarjatest varbadest kujundatud korv. Sõelaavade või -pilude suurus on 2–6 mm. Sõeluril pöörlevad nii korv kui ka selles olev kruvi (joonis 5.7). Suurem praht kukub pöörleva sõela ülemisest asendist lähtuva kruvi kolusse. Sealsamas toimub võre pidev harjamine ja pesemine surveveega, mis võimaldab ummistumist kartmata kasutada vajadusel väga väikese avaga sõela.

Seadme puhastustõhusus oleneb sõelaavast:

- 6-mm ava SCR \approx 66 %;
- 2-mm ava SCR \approx 86 %;
- 1-mm ava SCR \approx 92 %.



Joonis 1.7. Sõelurid: a on kruvisõelur (1 on sissevool, 2 kontaktvardad, 3 kruvikonveier, 4 prahikonteiner, 5 väljavool, 6 sõel) ning b trummelsõelur (1 on sissevool, 2 kontaktvardad, 3 trummel, 4 prahi-konteiner, 5 väljavool) [2]

1.2.10 Võrede ja sõelurite valimise ja dimensioneerimise alused

Võre valimise esimene kriteerium on kasutamiseesmärk (nt pumpla kaitse, reovee puhastustõhususe tagamine), millele vastavalt määratakse kõrvaldatavate osiste suurus ja seadme vajalik tõhusus.

Seadme tüübi valimisel omavad olulist rolli seadme käitamistingimused (nt tekkiva prahi kogus, selle kogumise ja kõrvaldamise automatiseerimise vajadus ja võimalused, survepesuvee vajadus). Oluline on ka arvestada paigalduskoha ehituslikke võimalusi, nt kas reovesi juhitakse võrele vabavoolse kanali või survetoru kaudu.

Võre paigaldatakse üldjuhul kanalisse, kusjuures on soovitatav kasutada kaht paralleelselt toimivat seadet (kui see osutub liiga kalliks, võib väikepuhastitel piirduda ühega). Kanali lang peab tagama kanalis sobiva voolukiiruse ja vajaliku vooluhulga läbilaskmise. Vooluhulga arvutamist kanalisatsioonis on käsitletud jaotises 3.5.4.

$$\text{Voolukiirus } v = \frac{1}{n} r^{2/3} i_{\text{kanal}}^{1/2} \text{ (m/s),} \quad (5.2)$$

kus n on Manningi karedustegur, mille tavaline väärtus sileda betoonist kanali jaoks on 0,013 [4]; r – voolusängi hüdrauliline raadius (m) ning i_{kanal} – kanali lang (m/m).

$$\text{Vooluhulk } Q = v \cdot A_{\text{kanal}} = v \cdot L_{\text{kanal}} \cdot H_{\text{kanal}} \text{ (m}^3\text{/s),} \quad (5.3)$$

kus A_{kanal} on kanali ristlõikepindala (m²), L_{kanal} – kanali laius (m) ja H_{kanal} – kanali sügavus (m).

Võrekanali soovitatavad mõõtmed:

- pikkus $P_{\text{kanal}} = 2\text{--}3$ m ning

- laius $L_{\text{kanal}} / \text{sügavus } H_{\text{kanal}} = 1,5-2,0$.

Võrekanali dimensioneerimisel tuleb arvestada, et voolu kiirus selles oleks vooluhulgatipu ajal 0,6–1,0 (1,5) m/s. Peenema võre puhul peaks kiirus kanalis väiksem olema, sest läbivoolukiirus võrest ja voolutakistus on suuremad. Suurema varvahaega võre võib dimensioneerida suuremale kiirusele. Setete kogunemise vältimiseks ei tohi voolukiirus miinimumvooluhulga ajal olla väiksem kui 0,3 m/s ning vähemalt korra päevas peaks see olema 0,6–0,8 m/s.

Varbvõre dimensioneerimine.

Võre läbivooluavade kogupindala:

$$A_{võreava} = \frac{A_{\text{kanal}}}{\sin \alpha} \text{ (m}^2\text{)},$$

(5.4)

kus α on võre kaldenurk horisontaali suhtes.

Võre läbivooluavade netopindala:

$$A_{\text{net}} = A_{võreava} \frac{L_{võrepilu}}{L_{võrepilu} + H_{võrevarb}},$$

(5.5)

kus $L_{võrepilu}$ on võrevarbade vahelise pilu laius (m) ja $H_{võrevarb}$ – võrevarva paksus (m).

Võrevarbade arv määratakse seosest:

$$n = \frac{L_{\text{kanal}} + L_{võrepilu}}{H_{võrevarb} + L_{võrepilu}}.$$

(5.6)

Kanalisse paigaldatava võre dimensioneerimisel määratakse survekadu võres, s.o võre-eelse ja -taguse veetaseme vahe. Survekadu varbvõres:

$$h_l = \frac{1}{0,7 \times 2 \times g} (v_{võrepilu}^2 - v^2) \text{ (m)},$$

(5.7)

kus g on raskuskiirendus (9,81 m/s²), $v_{võrepilu}$ – voolukiirus võrepilus (m/s) ja v – voolukiirus võrekanalis (m/s).

Varbvõredes on survekadu sõltuvalt pilu suurusest 0,15–0,5 (0,8) m. Peenvõres on see mõnevõrra suurem. Survekadu sõltub ka võre prahisusest ning prahi omadustest ja struktuurist.

Survekadu peenvõres:

$$h_l = \left(\frac{1}{2 \times g \times C_d} \right) \left(\frac{Q}{A} \right)^2 \text{ (m)},$$

(5.8)

kus Q on vooluhulk (m^3/s), C_d – läbivoolutegur (puhta võrepinna puhul 0,6) ja A – võre läbivooluavade kogupindala (m^2).

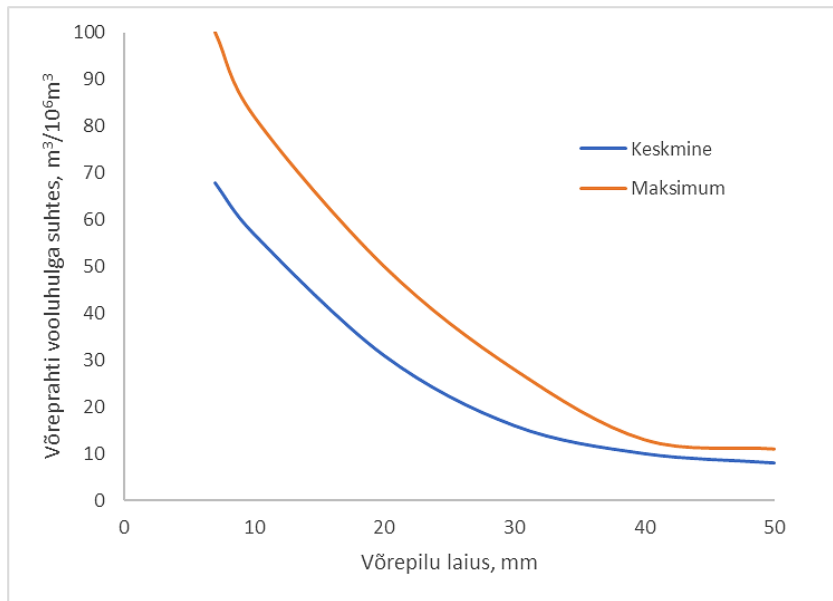
Varbvõre prahiga katmata osa ristlõikepind:

$$A'_{net} = (1 - C) \times A_{net} \text{ (m}^2\text{)},$$

(5.9)

kus C on võre prahisus (väärtus vahemikus 0–1).

Võre prahisus sõltub olulisel määral võre puhastamisest – kas seda tehakse käsitsi või mehaaniliselt. Mehaanilisel puhastamisel sõltub prahisus (maksimaalselt 0,4–0,5) puhastussagedusest ja -tõhususest. Käsitsi puhastamisel võiks arvutustes võtta maksimaalseks prahisuseks 0,5–0,7 (sõltub hooldamissagedusest ja võrepilude laiuselt). Olmereevee puhul võib prahi kogus varieeruda vahemikus 0,01–0,03 $\text{m}^3/1000\text{ie/d}$, märgkaalu järgi 10–25 $\text{kg}/100\text{ie/d}$. Reovees on võrega kõrvaldatavat prahti 0,0035–0,0375 m^3 1000 m^3 reovee kohta, tüüpiliselt 0,015 m^3 1000 m^3 reovee kohta [3]. Ühisvoolukanalisatsioonis võib pärast paduvihma olla prahti kuni 0,225 $\text{m}^3/1000 \text{ m}^3$. Asulareoveest võrega kõrvaldatava prahi kogus on kirjandusandmeil [5, 6] selline, nagu kujutatud joonisel 5.8.



Joonis 1.8. Mehaaniliselt puhastataval varbvõrel kinni peetava prahi kogus sõltuvalt võrepilu laiusest [3]

Kõikides reoveepuhastites on soovitatav rajada võrekompleksile käsivõrega varustatud avariimöödavool. Suurematel puhastitel moodustab võrekompleksi olulise osa prahi eemaldamise (kaabid, rehad, kruvid, veejuga jmt), pesemise ja transportimise seadmed (lint- ja kruvitranspordid, konteinerid). Puhastusseadmete tehnoloogia ja rajatiste dimensioneerimisel on oluline arvestada tekkiva prahi koguseid ja omadusi.

Üldiselt on võrede maksumuse osakaal reoveepuhasti üldmaksumuses suhteliselt väike (4–5%), kuid võre osatähtsus puhastusprotsessis võib ulatuda 25%-ni. Peenvõred soodustavad oluliselt neile järgnevat protsessi, väldivad seadmete ummistusi, alandavad bioloogilise protsessi koormust, vähendavad liigmuda käitlemiskulusid ja parendavad kogu puhastuskompleksi käitamistingimusi.

1.2.11 Võrede tüüpilised probleemid

Võrede puhul, eriti väikepuhastitel, on oluline prahi kõrvaldamise sagedus, mis sõltub otseselt operaatori tööst. Kui võreprahti ei eemaldata piisavalt sageli, hakkab veetase võreelises kanalis tõusma ja võib põhjustada reovee ülevoolu. Kanalisatsioonitorustik täitub siis reoveega suures ulatuses, voolukiirus alaneb ja setted kogunevad. Kui voolutakistus võre puhastamisel kaob, voolab reoveepuhastisse hulk vett, mille reostuskoormus on setete vabanemise tõttu suur ning see põhjustab puhastis nii hüdraulilise kui ka koormuslöögi. Seetõttu tuleb väikepuhastite käsivõresid sagedasti puhastada ning rajada hõredama võrega (varvavahe 50–100 mm) varustatud möödavool. Suuremate, automaatselt toimivate võrede puhul tuleb paigaldada vähemalt kaks paralleelset võreseadet ja möödavool.

Külmumise vältimiseks tuleb võred paigaldada siseruumidesse, ent kuna nad on haisuallikad, peab võrehoone olema piisavalt ventileeritud. Ventilatsiooni on vaja ka ohutuse tagamiseks – kui reovesi hakkab kanalisatsioonis käärima, koguneb biogaas võrehoonesse ning muudab selle plahvatusohtlikuks. Otstarbekas on teha ventilatsiooni väljatõmme otse võreseedmest, mitte ruumi kaudu.

1.2.12 Võrede hooldamine

Nii automaat- kui ka käsivõred vajavad pidevat hoolt, et nad korralikult toimiksid. Suuremad võred on enamasti varustatud kontrollseadmete ja anduritega, mis annavad automaatikasüsteemi (SCADA) vajalikku teavet seadmete olukorra kohta. Operaator peab iga puhasti küllastamise ajal kontrollima võrede tööd (ega ole ülemäärast müra või vibratsiooni, kas koormus jaguneb seadmetele ühtlaselt). Seadmeid tuleb hooldada regulaarselt ja vastavalt tootjajuhistele. Mehaaniliste rikete puhuks peavad varuosad olema kättesaadavad.

Operaatorid peavad hoolt kandma, et võreprahimahutid üle ei täituks ning praht ei satuks põrandale või raskesti puhastatavatesse kohtadesse, sest võrepraht võib tugevasti haiseda. Võrede juures töötades peab hoolitsema isikliku hügieeni eest, kohustuslik on kanda kummikindaid, prille ja maski, et vältida piisknakkuse sattumist organismi. Hea praktika on tühjendada võreprahimahuhi kord päevas või ülepäeva. Võrepraht antakse jäätmekäitlejale. Mõnikord võib osutuda vajalikuks prahi mehaanilis-bioloogiline käitlemine selle kuivatamiseks ning orgaanilise aine sisalduse vähendamiseks. Kui seda tehakse reoveepuhasti territooriumil, tuleb võreprahti käidelda reoveesettest eraldi. Võre läheduses peaks olema seadmete pesu võimaldav voolikseade veesurvega ≥ 3 baari.

1.3 Liivapüünis

1.3.1 Liivapüünise vajalikkus ja tüübid

Reovees esineb mitmesugust veest raskemat inertset materjali, mis põhjustab torustike ja seadmete abrasiivset kulumist ning võib koguneda setetena torustikesse, kanalitesse ja mahutitesse. Reovees esinevatest kiiresti settivatest materjalidest võib nimetada liiva, peenkruusa või -killustikku, klaasipuru, tuhka.

Liivapüüniseid kasutatakse:

- kohtpuhastitena mitmesuguste rajatiste (parklad, autopesulad, autoremonditöökojad jmt) reovee puhastamiseks enne kanalisatsiooni juhtimist;
- reoveepuhastite eelpuhastusastmena, et vähendada liiva settimist reoveepuhasti reaktoritesse ning liiva abrasiivset toimet reovee- ja settekäitlusseadmetele.

Liivapüüniseid, milles kõrvaldatakse enamik veest raskematest kiiresti settivatest osakestest, on mitmesuguseid:

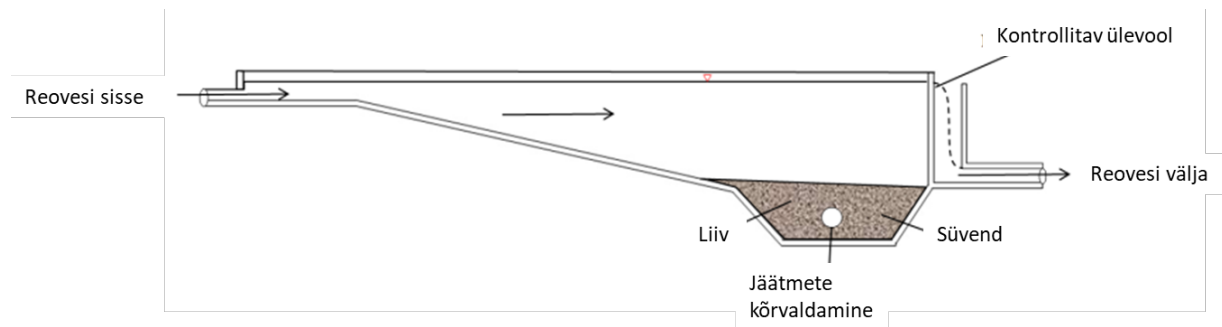
- rennliivapüünis;
- konstantse läbivoolukiirusega liivapüünis;
- õhustatav liivapüünis;
- tsüklonliivapüünis;
- kompaktseadmed:
 - liivapüünis koos võrega;
 - liivapüünis koos liivapesuriga;
 - liivapüünis koos õli- või rasvapüünisega.

Liivapüünis peab kinni veest raskema materjali. Kanalisatsiooni sattuva liiva kogused sõltuvad kanalisatsioonisüsteemi lahendusest, tehnilisest seisundist ja üldisest heakorrasemest. Ühisvooluses kanalisatsioonis võib reovee liivakoormus olla üsna suur: kuni $0,1 \text{ m}^3 / 1000 \text{ m}^3$ reovee kohta, lahkvooluses kanalisatsioonis on see suurusjärgus $0,03 \text{ m}^3 / 1000 \text{ m}^3$.

1.3.2 Rennliivapüünis

Betonist või metallist rennliivapüünises vähendatakse voolukiirust pika kanali abil. Tavaliselt koosneb püünis kahest rööpsest rennist, milles veevool aeglustub sedavõrd, et mineraalsed võõrised põhja vajuvad (joonis 5.9). Kui üht renni puhastatakse, peab teine töötama. Väikepuhastitel puhastatakse renne käsitsi või kopaga.

Rennliivapüünise miinus on selle töö halb juhitavus. Kuna reovee vooluhulk on muutlik, siis väiksema koormuse korral setib koos liivaga välja ka reovee orgaanika, mis hakkab haisema. Suure hüdraulilise koormuse puhul võib osa liivast jääda aga välja settimata.



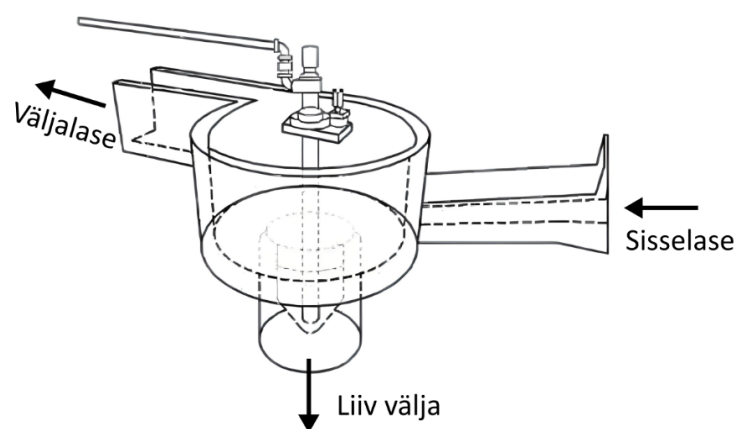
Joonis 1.9. Rennliivapüünis [15]

1.3.3 Konstantse läbivoolukiirusega liivapüünis

Konstantse läbivoolukiirusega liivapüünis on kohandatud kasutamiseks muutliku hüdraulilise koormuse tingimustes. Liivapüünise ristlõige on kujundatud nõnda, et reovee voolukiirus sügavuse muutumisel ei muutu. Veetaset reguleeritakse kanali lõpus oleva proportsionaalülevoolu (selle täpsem kirjeldus on jaotises 5.3.11) abil.

1.3.4 Vortex-liivapüünis

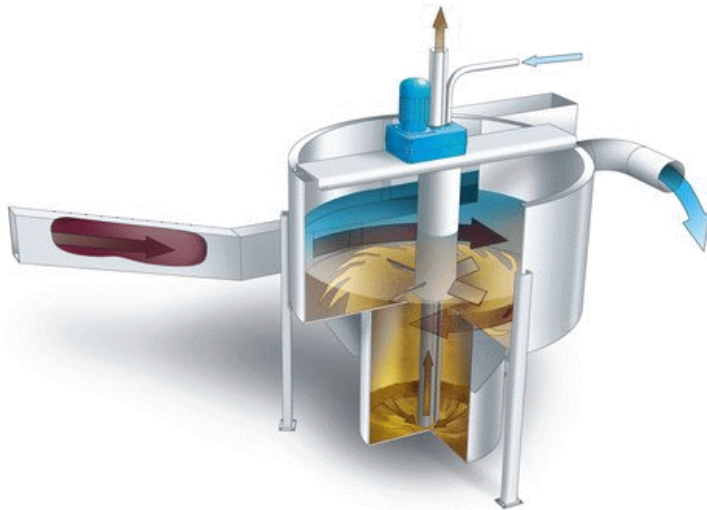
Vortex-liivapüünisesse juhatakse reovesi tangentsiaalselt, kutsudes niimoodi esile liivaterasid tsentri poole suunava keerisvoolu, millest nad langevad all asuvasse liivakambrisse (joonis 5.10). Liivakambris on segisti, mis hoiab liiva suspensioonis, et seda oleks võimalik ära pumbata. Vortex-liivapüünisid võivad olla nii metallist (väiksemad) kui ka betoonist. Seade on eelistatav olukorras, kus reovee vooluhulgad on väga muutlikud. Seadme lahutusvõime on suhteliselt hea – kuni 73 % üle 0,11 mm läbimõelduga osakestest. Ökonoomse ja vähe energiat kulutava seadme survekadu on väga väike – tavaliselt alla 0,01 m.



Joonis 1.10. Vortex-liivapüünise põhimõtteskeem [16]

1.3.5 Lehterliivapüünis

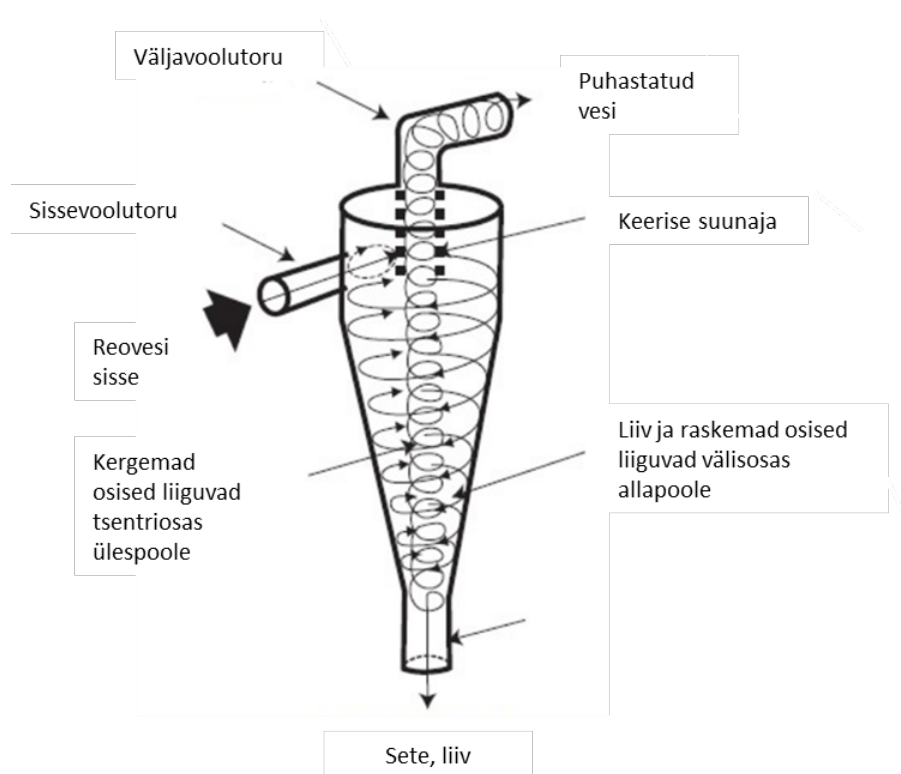
Lehterliivapüünis sarnaneb tööprintsibi poolest Vortex-liivapüünisele, erinevad on vaid kuju ja konstruktiivne lahendus (joonis 5.11). Püünis võib olla metallist või betoonist.



Joonis 1.11. Ringrenniga lehterliivapüünise põhimõtteskeem [17]

1.3.6 Hüdrotsüklon

Ka hüdrotsüklon sarnaneb tööprintsibilt Vortex-liivapüünisele, kasutatakse seda tavaliselt tööstusreovee puhul. Hüdrotsüklon erineb Vortex-liivapüünisest selle poolest, et kui esimeses settivad liiv jm raskemad osised seadme keskel, siis hüdrotsüklonis liiguvad raskemad osised seadme külgi mööda alla. Seade valmistatakse tavaliselt metallist.

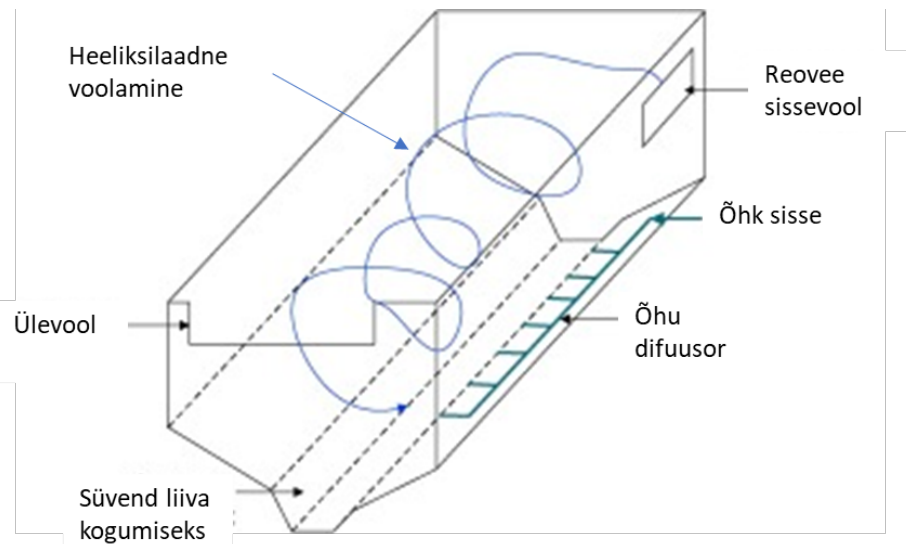


Joonis 1.12. Hüdrotsükloni põhimõtteskeem [18].

1.3.7 Õhustatav liivapüünis

Tänapäeval kasutatakse suurematel reoveepuhastitel **õhustatavad liivapüüniseid** (joonis 5.13), milles reovesi pannakse õhustamisega kruvitaoliselt liikuma. Liiva settimine püünise põhja vooluhulgast ei sõltu ning oleneb vaid vee õhustamisega tekitatud ringliikumise kiirusest vertikaaltasapinnas. Liiva kõrvaldamiseks õhustatavatest liivapüünistest on olemas täiuslik hüdromehaaniline süsteem – liivarenni põhjas on pihustitega varustatud toru, millesse juhitakse perioodiliselt surve all pesuvesi. Veejuga uhab settinud liiva püünise lõpus asuvasse sumpat, kust see kõrvaldatakse hüdroelevaatori, õhktõstuki või pumba abil. Liivapüünistest läheb liiv tavaliselt jäätmekäitlusse. Liiva transportimiseks kasutatud vesi juhitakse tagasi reoveekanalisse liivapüünise ette.

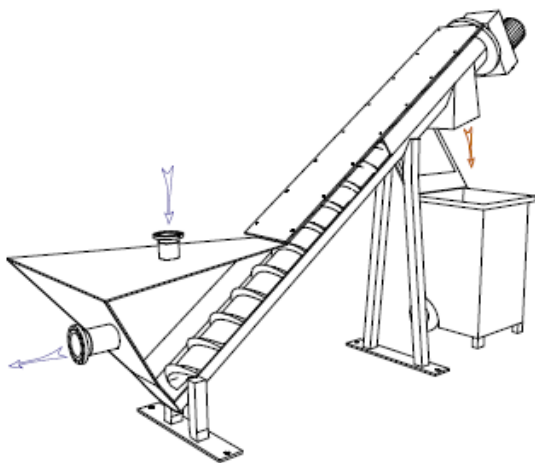
Suuremates puhastites kõrvaldatud liiv pestakse, et vähendada selles sisalduva orgaanika lagunemisel tekkivat haisu. Kui varem tahendati liiv drenitavatel tahendusväljakutel, siis tänapäeval on kasutuses pesurid koos tahendussõlmega ning liiv väljutatakse otse konteinerisse. Kuna Eesti olmereoveses on reeglina süsinikust puudu, siis liivapesu on kasulik ka selle poolest, et pesuvesi juhitakse reoveepuhastisse. Õhustatavas liivapüünises kulub õhku 4,6–7,7 l/s mahuti pikkusmeetri kohta.



Joonis 1.13. Õhustatava liivapüünise põhimõtteskeem [7]

1.3.8 Kruvikonveieriga liivapüümis

Väikepuhastitel kasutatakse sageli roostevabast terasest kesta ning kruvikonveieriga varustatud liivapüünist (joonis 5.14), millel on pealtvaates ringi-, kolmnurga-, ruudu- või ristkülikukujuline lehterjas kolu. Mõnes seadmetüübis kasutakse suruõhku, et soodustada orgaanilise aine ja kergemate võõraste eraldumist settivast liivast.

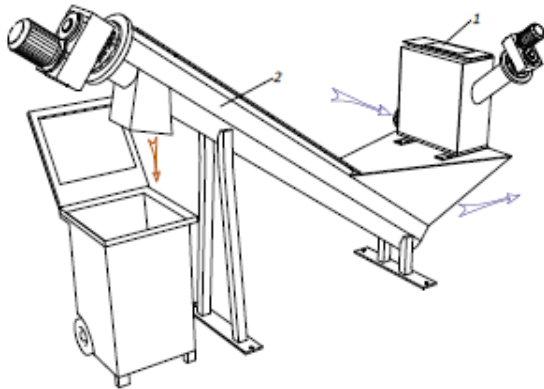


Joonis 1.14. Väikepuhasti liivapüümis [2]

1.3.9 Kombiseadmed

Väikepuhastitel, milles reovee vooluhulk ei ole väga suur, on võimalik kasutada kombiseadet, milles võre on liivapüünisega kokku ehitatud (joonis 5.15): ülemine osa on võreseade ning alumine liivapüümis. Firmad pakuvad eri kuju, suuruse ja ehituse, ent üldiselt sarnase tööpõhimõttega

seadmeid. Tuleb arvestada, et kombiseade vajab küll vähe põrandapinda, ent on suhteliselt kõrge ning reovesi tuleb enamasti sellesse juhtida pumpamise teel.



Joonis 1.15. Kombiseade: 1 on trummelvõre ja 2 liivapüünis [2]

1.3.10 Liivapüüniste tüüpilised probleemid ja hooldus

Liivapüünised on reoveepuhastusseadmed, millele kõige vähem tähelepanu pööratakse, sest näiteks rennliivapüünise hooldusvajadus on minimaalne. Õhustatavatel liivapüünistel on töötavaid mehhanisme küll rohkem, kuid hooldustöid samuti suhteliselt vähe. Oluline on siiski seadmete regulaarne üle vaatamine, et nad normaalselt toimiksid.

Liiva kõrvaldamiseks liivapüünisest kasutatakse pumpasid, sh krupipumpasid ja õhktõstukeid, suuremad püünised on varustatud põhjakaapidega. Kui liivapüünist korralikult ei hooldata, hakkab koos liivaga kinni peetud muu reoaine käärima ning gaase eraldama. Pikka aega hooldamata liivapüünis täitub liivaga ning muutub kasutuks, kogunenud liiv „tsementeerub“ ja seda ei saa tavaliste võtetega koristada. Seetõttu tuleb pidevalt jälgida kogunenud liiva kõrvaldamist, õhustuse olemasolu ja vee ringliikumist. Kui liivapüünise juurde kuulub rasva/õlipüünis, tuleb tühjendada ka selles kinni peetud ainete mahutit. Nagu võreprahigi puhul, võib jäätmekäitleja nõuda kogutu mehaanilis-bioloogilist käitlemist orgaanilise aine sisalduse vähendamiseks. Kui seda tehakse reoveepuhasti territooriumil, tuleb liivapüünise jäätmeid käidelda reoveesetest eraldi.

1.3.11 Liivapüünise dimensioneerimine

Liivapüünise tüübi valimisel on oluline arvesse võtta reovee vooluhulga dünaamikat. Väikeste puhastite puhul, millesse jõudva vooluhulga muutlikkus on tavaliselt suur, on otstarbekas kasutada

rennliivapüüniseid. Samas tuleb arvesse võtta, et nendest on liiva kõrvaldamist keerukam ja suhteliselt kallim mehhaniseerida.

Keskmistele ja suurematele väikepuhastitele sobivad hästi konstantse läbivoolukiirusega ning Vortex- ja lehterliivapüünised. Tänapäeval on väikestel ja keskmise suurusega puhastitel hakatud kasutama tehases toodetavaid kompaktiliivapüüniseid, millest suuremad on õhustatavad. Suuremate puhastite ja vooluhulga suure muutlikkuse puhul võib soovitada Vortex-, lehter- ja õhustatavaid liivapüüniseid.

Liivaosakeste settimiskiirust v_t iseloomustab Stokes'i seadus:

$$v_S = \frac{2(\rho_s - \rho_v)gr^2}{9\eta} \quad (\text{m/s}),$$

(5.10)

kus η on vedeliku viskoossus ($\text{kg/m}\cdot\text{s}$); r – osakese raadius (m); g – raskuskiirendus (m/s^2); ρ_s – osakeste tihedus (kg/m^3) ning ρ_v – vedeliku tihedus (kg/m^3).

Liivapüünise mõõtmel olenevad settimisajast t_{set} (vt ka jaotist 15.2):

$$t_{\text{set}} = \frac{H}{v_{\text{osake}}} = \frac{P}{v} \quad (\text{h}),$$

(5.11)

$$\text{kus } v = \frac{Q}{L \cdot P},$$

(5.12)

$$q_A = v \cdot \frac{H}{P} = \frac{Q}{L \cdot H} \cdot \frac{H}{P} = \frac{Q}{L \cdot P},$$

(5.13)

kus $L \cdot P$ on mahuti pindala (m^2) ja q_A – hüdrauliline pinnakoormus ($\text{m}^3/(\text{m}^2 \cdot \text{h})$).

Valemid 5.10 – 5.13 näitavad, et mahuti töönaõtjad ei sõltu otseselt selle sügavusest. Mahuti pindala oleneb reovee vooluhulgast ja osakeste settimiskiirusest (vt ka jaotist 15).

Liivapüünise kavandamisel tuleb arvesse võtta voolamise turbulentsust mahuti sisse- ja väljavoolul, mistõttu on vaja mahuti teha veidi pikem. Liivapüünise dimensioneerimise põhinäitajad on tabelites 5.2 ja 5.3.

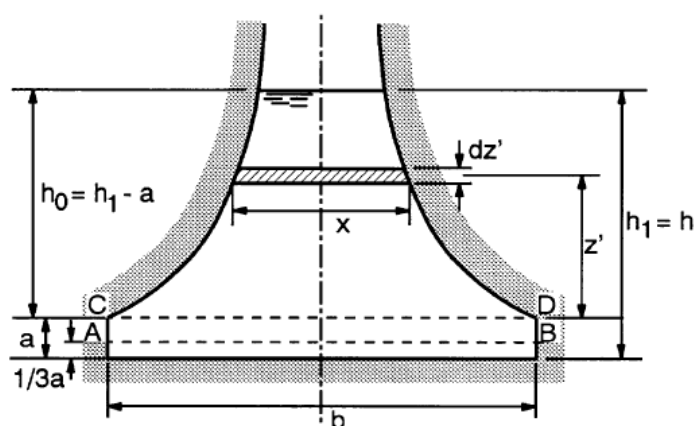
Tabel 1.1. Mitteõhustatava liivapüünise dimensioneerimise põhinäitajad

Näitaja	Tähistus	Väärtus	Ühik	Kommentaar
Vee sügavus	H	0,6–1,5	m	Sõltub vooluhulgast ja mahuti pindalast
Pikkus	P	3 – 15	m	Sõltub mahuti sügavusest ja osakeste settimiskiirusest
Laius	L	$B = 1-2 H$	m	
Sisse- ja väljavooluosa lisapikkus		25–50 %		Sõltub teoreetilisest pikkusest
Viibeaeg tippkoormuse ajal	HRT	15–90	s	Sõltub mahuti pikkusest ja voolukiirusest
Horisontaalvoolukiirus	v	0,15–0,4	m/s	Projektkoormuse korral soovitatav 0,2 m/s
Osakeste ($d \geq 0,2\text{mm}$) settimiskiirus	v_{osake}	0,02	m/s	
Pinnakoormus	q_A	≤ 1200	$\text{m}^3/\text{m}^2/\text{d}$	
Settekogus		0,10–0,25	$\text{m}^3/10^3\text{m}^3/\text{d}$	

Tabel 1.2. Õhustatava liivapüünise dimensioneerimise põhinäitajad

Näitaja	Tähistus	Väärtus	Ühik
Vee sügavus	H	2 – 5	m
Pikkus	P	8 – 20	m
Laius	L	2,5–7	m
Laiuse ja sügavuse suhe	L/H	1:1 – 5:1	-
Pikkuse ja laiuse suhe	P/L	3:1 – 5:1	-
Viibeaeg tippkoormuse ajal	HRT	3	min
Õhutarve		0,2–0,5	$\text{m}^3/\text{min}/\text{m}$

Konstantse läbivoolukiirusega liivapüünistel reguleeritakse veetaset ja voolukiirust väljavoolul paikneva proportsionaalülevoolu abil. Ülevoolu mõõtmed tuleb määrata vastavalt vooluhulgale (vt ka joonist 5.15).



Joonis 1.16. Liivapüünise väljavooluava ülevoolu arvutuskeem [19]

Vooluhulk läbi väljavooluava kõverprofiiliga ristlõike (joonis 5.15) on määratav valemist:

$$Q = C_d \sqrt{2g} \int_0^{h_0} (h_0 - z)^{1/2} dz$$

(5.14)

ehk lihtsustatuna:

$$Q = 1,57 C_d \sqrt{2g} L H^{3/2},$$

(5.15)

kus L on ava laius kõrgusel H ja vooluhulgategur tavaliselt $C_d = 0,6$.

Ülevoolu alumised servad lõpevad vertikaalse osaga, mille kõrgus $a = 2$ cm. Ülevoolu ülaosas peab õhk saama maksimaalse vooluhulga ajal läbi voolata (vertikaalpilu < 5 cm). Selline ülevool tagab vee sügavuse ja vooluhulga vahel peaaegu lineaarse sõltuvuse. Konstantse läbivoolukiirusega liivapüünise soovituslik pikkus $P \approx 20 H$. Peale selle:

- peab mahuti või kanal olema kerge pikikaldega;
- sõltub liiva kogumissumba maht liiva kogunemiskiirusest ja kõrvaldamissagedusest.

Survekadu liivapüünises oleneb väljavoolu lahendusest. Proportsionaalülevoolus vastab veetase vooluhulgale. Nelinurkülevoolus on survekadu tavaliselt kuni 30 % vee sügavusest.

1.4 Reovee ühtlustamine

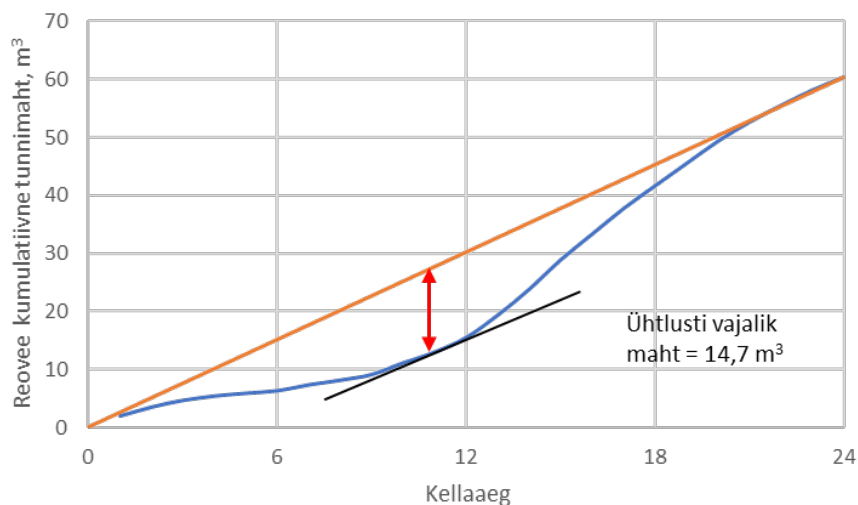
1.4.1 Ühtlustusmahuti

Reovee vooluhulga ja reostuskoormuse ööpäevase ebaühtluse tasandamiseks on soovitatav rajada ühtlustusmahutid. Ühtlustamiseks on võimalik kasutada kanalisatsiooni peatoru, milles tekitatakse tipptunnil paisutus, või ehitada peapumplale suur vastuvõtumahuti. Ühisvoolukanalisatsiooniga piirkondades kasutatakse ühtlustusmahuteid, millesse suuremate sademete ajal kogunenud reovett käideldakse pärast vooluhulga normaliseerumist. Sageli rakendatakse neis mahutites jämemullõhustust või sukelsegureid, et vähendada roiskumist ja heljumi väljasettimist. Reoveepuhastis võiks ühtlustusmahuti paikneda mehaanilise osa järel ning sel moel vähendada reovee heljumi- ja liivasisaldust. Reovee hulga ja koormuse ühtlustamine muudab puhastusprotsessi stabiilsemaks ja parandab sellega puhastustulemust. Ühtlustamine on soovitatav eriti väikestes

puhastites, kus juurdevool on ebaühtlasem kui suurtes. Ühtlustamine on vajalik ka siis, kui puhastil on purgla.

Ühtlustusmahuti mahu määramiseks tuleb koostada reovee tunnihahtude kumulatiivne graafik (sinine joon joonisel 5.17). Siis lisatakse joonisele sirge (oranž joon), mille tõusunurk võrdub keskmise tunnihauga. Ühtlusti maht võrdub kahe joone suurima vertikaalse vahekaugusega.

Ühtlustusmahuti optimaalne asukoht tuleb iga puhasti jaoks eraldi määrata, kuid oluline on otsustada, kas sellest juhitakse läbi kogu reovesi või piisab üksnes tippkoormuste ühtlustamisest.



Joonis 1.17. Ühtlustusmahuti arvutusskeem [3] järgi

Settimise vältimiseks ja reoainesisalduse ühtlustamiseks peab vesi liikuma igas mahutipunktis. Selleks kasutatakse suruõhuga segamist, mehaanilisi segisteid või õhku imevaid pumpsegisteid. Mehaaniline segisti on energiasäästlikum ja soovitatav, kui reovee heljumisisaldus on suurem kui 500 mg/l. Surujugapump võtab enam energiat, kuid samaaegselt segab ja õhustab reovett ning pidurdab anaeroobseid protsesse. Sõltuvalt reovees sisalduva heljumi iseloomust ja mahuti väliskujust (kas neljakandiline või ümmargune), on rakendatav segamisjõud 8–20 W/m³. Reoveeühtlustite vett on võimalik segada ka õhuga läbipuhumise teel. Kui reovee heljumisisaldus on väike, võib seinäärse segamissüsteemiga mahutites piisata õhuhulgast 6 m³/h meetri kohta, settimisaldi heljumi korral on aga vaja 12 m³/h meetri kohta. Difuusori asetussügavuse (h) ja vastasseina kauguse suhe on 1 – 1.5.

Ühtlustusmahuti ette on otstarbekas seada peente avadega trummelsõelur ja sõelmepress. Projekteerimisel tuleb jälgida, et sissevool mahutisse ei jääks väljavõtutoru vahetusse lähedusse. Kui reovee heljumisisaldus on suur ning siis, kui ei ole võimalik mahuti põhja korrapäraselt puhastada, on soovitatav mahuti jagada kaheks töötavaks osaks. Kui reovesi sisaldab plahvatusohtlikke või eriti haisvaid või ohtlikke gaase, tuleb mahuti katta, ventileerida ja heitgaasid käidelda (vt ka jaotist 18).

Soovitav on õhustada ka ühtlustusmahutit, et vältida anaeroobseid protsesse ja plahvatusohtliku biogaasi teket.

1.4.2 Neutraliseerimine

Bioloogilises puhastusetapis on mikroorganismide jaoks soodne pH-vahemik 6,5–9,0. Liiga suure või väikese pH-ga heitvesi võib vajada **neutraliseerimist**. pH reguleerimiseks kasutatakse mitmeid kemikaale, mille valik võib sõltuda saadavusest, tarnekindlusest, konkreetsest rakendusest, ökonoomsusest ja ohutusprobleemidest. Ülevaade mõningatest enamlevinud kemikaalidest on tabelis 5.3.

Tabel 1.3. Enamlevinud neutraliseerimisel kasutatavad kemikaalid

pH-d vähendavad		pH-d suurendavad	
Väävelhape	H ₂ SO ₄	Naatiumhüdroksiid	NaOH
Soolhape	HCl	Ammooniumhüdroksiid	NH ₄ OH
Lämmastikhape	HNO ₃	Kaltsiumoksiid	CaO
Fosforhape	H ₃ PO ₄	Kaltsiumhüdroksiid	Ca(OH) ₂
Süsihappegaas	CO ₂	Kaltsiumkarbonaat	CaCO ₃
Vääveldioksiid	SO ₂	Dolomiit	(Ca-Mg)CO ₃
		Magneesiumoksiid	MgO

Neutraliseerimismahuti suurus peab võimaldama protsessi täielikult lõpuni viia. Hea praktika on võtta viibeajaks mahutis 15–30 minutit. Sissevool ja väljavool tuleb viia üksteisest võimalikult kaugele. Arvestada tuleb kemikaalilao vajalikkust. Kemikaalivaru suurus sõltub kemikaali saadavusest ja veohinnast, kuid soovitav on laos hoida vähemalt ühe kuu kulu jagu kemikaale. Vedu kaugelt eeldab suurt ühekordset kogust ja suuremat varu. Arvestada tuleb protsessis tekkinud sette kogumist ja edasise käitlemist.

Soovitud pH saavutamiseks ja hoidmiseks tuleb dosaatorsüsteem konstrueerida muutuvatesse voolutingimustesse sobivaks. See tähendab, et kemikaalide lisamist tuleb reguleerida nii, et heitvee pH jääks soovitud vahemikku. Neutraliseerimise juhtimiseks on soovitav kasutada tagasisideelemendiga automaatjuhtimiskontuuri, mis koosneb voolumõõturist, reaktsioonianumast koos segistiga, pH-andurist, kontrollierist ja kemikaalimahutist. Voolumõõturi ja pH-anduri signaalid edastatakse kontrollierile, mis annab (vajadusel) kemikaali annustavale pumbale signaali annustamise reguleerimiseks, et hoida pH kõigil voolukiirustel eelseadistatud väärtuse lähedal.

1.5 Kolloidide kõrvaldamine reoveest

Kolloid on aine, mis koosneb suurematest osakestest kui aatom või molekul, mis ei ole paljale silmale nähtav, või laiemalt aine, mis võib olla õhukene kile või kiud suurusega 10 nm kuni 10 µm. Osakeste suurus on seega väiksem kui heljumis ja suurem kui lahuses. Kolloidsüsteem on ühe aine dispersioon teises (reovee korral vees). Kolloidosakesed võivad olla mineraalset, orgaanilist või bioloogilist päritolu. Kolloidmaterjal võib olla suure molekulkaaluga (polümeerid, polüelektrolüüdid, proteiinid), või väikese molekulkaaluga materjal, mis võib spontaanselt moodustada kolloidi mõötudes materjali nagu seebi, detergendi, värvaine või lipiidide vesiseгу.

Levinuim ja praktiline kolloidide kõrvaldamise meetod on füüsikalise-keemilise käitluse kahe järjestikuse protsessiga – koagulatsiooni ja flokulatsiooniga, millega tekitatakse hõlpsalt settiv või üles ujuv materjal. Kasutatavad kemikaalid on:

- **koagulandid** – tavaliselt vees hästi lahustuvad mitmevalentse metalli ja nõrga leelise ning tugeva happe soolad. Enamkasutuses on Al- ja Fe-soolad, kuna nende ioonid on suure laenguga ja sobivad hästi neutraliseerimisprotsessi. Näiteks Na⁺ suhteline koagulatsioonijõud on 1, Mg⁺ puhul 30, Al³⁺ ja Fe³⁺ korral aga üle 1000. Koagulantidena on kasutusele tulnud ka polüelektrolüüdid, mida temperatuur, pH ja segamisintensiivsus vähem mõjutavad;
- **flokulandid** – destabiliseeritud kolloidmaterjali osakeste suuremateks kompleksideks liitvad ained, mida on nii looduslikke kui ka sünteetilisi. Protsessi, mida nimetatakse flokulatsiooniks ehk helvestamiseks, tulemusena tekivad väga suured molekulid (makromolekulid), mis omakorda koosnevad paljudest monomeeridest.

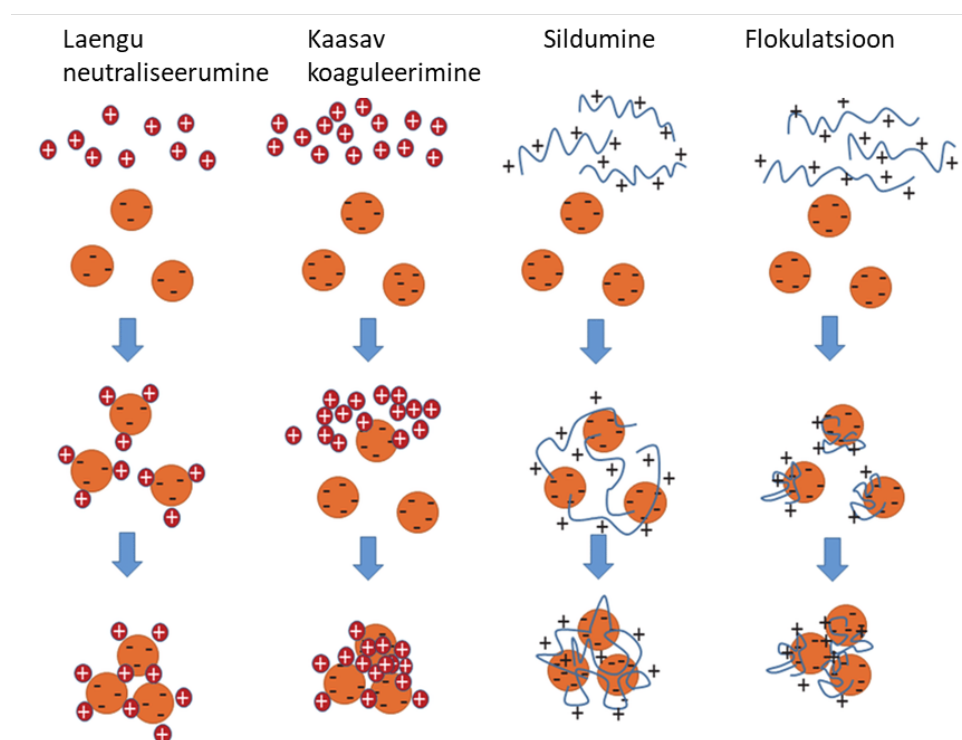
1.5.1 Koagulatsioon

Kolloidide vaba settimise aeg võib kesta kuid ja aastaid, sest peamiselt negatiivse laenguga peente osakeste mass on väga väike, eripind aga suur. Väike mass ei soodusta gravitatsioonilist sadestumist ega mikrohelveste teket van der Waalsi (tõmbe)jõudude toimele, mis mõjuvad vaid väga väikese vahekauguse korral. Samas takistavad suur sama laenguga laetud pind ja Browni liikumine osakeste liitumist ning hoiab süsteemi tasakaalus. Elektrolüütide toimele toimub kolloidlahustes koagulatsioon, mille kutsus esile ioon (koagulant), mille laengu märk on vastupidine osakese laengumärgile ning mille koaguleeriva toime on seda suurem, mida suurem on koaguleeriva iooni laeng [8].

Tavalisemad koagulandid on alumiiniumi- ja rauasoolad: Al₂(SO₄)₃, Fe₂(SO₄)₃ ning polümeersed koagulandid. Eestis on agressiivne FeCl₃ vähem kasutusel. Kui viia Al(III) või Fe(III) soolad vette,

dissotsieeruvad nad 3-valentseteks ioonideks. Reovee koaguleerimisel tuleb arvestada 200–400 mg/l suuruste $\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 18\text{H}_2\text{O}$ annustega.

Kiire ja ühtlane segamine tagab hüdrokomplekside tekke ja nende adsorbtsiooni osakestele. Protsess on kiire – metallisooladega kulub kuni 0,5 sekundit destabiliseerimiseks ja agregateerimiseks ning üks sekund mikrohelveste tekkeks, polümeeri puhul aga ligi üks sekund. Protsess lõpeb ligi 6 sekundit pärast amorfse metallihüdroksiidi pilve teket ning valdavaks muutub kaasnev koagulatsioon, milles see pilv haarab alla liikudes kaasa kolloidiosakesi (joonis 5.18). Protsess jätkub ning segamise korral (kiirusgradiendiga $10^2 - 10^3 \text{ G}$) liituvad $1 \mu\text{m}$ osakesed mõne minuti jooksul kuni $20 \mu\text{m}$ suurusteks. Jätkuval segamisel tekivad suured helbed. Karedas vees tekib protsessi käigus ka CO_2 .



Joonis 1.18. Koagulatsioon ja flokulatsioon [10]

Segamise intensiivsust hinnatakse ruumalaühikus segamiseks rakendatavat jõudu väljendava kiirusgradiendiga G [9]:

$$G = \left(\frac{P}{\eta_{dün} V} \right)^{1/2} \quad (\text{s}^{-1}), \quad (5.16)$$

kus P on rakendatav jõud (W), V – kambri maht (m^3) ja $\eta_{dün}$ – dünaamiline viskoossus ($\text{N}\cdot\text{s}/\text{m}^2$).

Metallihüdroksiidide helbed on lahustumatud kitsas, reovee omadustest sõltuvas pH vahemikus. Samas muudab H^+ -ioonide liig vee happeliseks ja karbonaadivaba vee pH alaneb. Seega on pH

kontrollimine oluline juba käideldavasse vette jääva metalli tõttu ning selle optimaalses suuruses hoidmiseks lisatakse tänapäeval leelist NaOH. Leelis antakse vette kas enne või pärast koagulanti, kuid mitte samaaegselt. Selle kogus on ligikaudselt arvutatav valemitest:

$$D_{NaOH} = (0,0147D_{Fe} - S_{alk} + 1) \times 40 \quad (5.17)$$

ja

$$D_{NaOH} = (0,0178D_{Al} - S_{alk} + 1) \times 40, \quad (5.18)$$

kus S_{alk} on vee leelisus (mg-ekv/l) ning D_{Fe} ja D_{Al} – veevaba sulfaadi annused. Negatiivse D_{NaOH} korral leelist ei lisata.

1.5.2 Flokulatsioon ehk helvestamine

Ka koagulatsioonijärgne kestev, kuid väikese intensiivsusega segamine viib koagulatsioonifaasis tekkinud väikesed osakesed liitumiseni, mis soodustab nende setitamist või floteerimist. Helbed jäävad siiski väikeseks ja halvasti settivaks ning protsess on aeglane. Flokulatsiooniaeg koagulandiga võib kesta kuni 30 minutit ja kauemgi ning sõltub toorvee omadustest. Ka setitamine kestab selles koagulatsioonisüsteemis 2–6 tundi, olenevalt reoveest ja setiti tüübist.

Flokulatsioonisüsteemi eesmärk on soodustada osakeste liitumist suurematesse, kergesti kõrvaldavatesse helvestesse ning sel moel kiirendada settimist. Flokulatsiooniprotsess koosneb kahest, teineteisest järgnevast osast: perikineetilisest (kolloidosakeste põrkumine Browni liikumise mõjul), mis toimub sekundite jooksul pärast osakeste laengu neutraliseerimist, ja sellele vahetult järgnevast, veemassi liikumisest tingitud ortokineetilisest osast. Reovee töötlemisel on segamise tähtsus suur, sest ajal, mil vette lisatakse koagulante, on vaja segamist, et koagulandid kiiresti reoveega seguneksid. Kui kiiresti ei sega, võib koagulantide tõhusus väheneda, sest mingis osas reovees on neid ülemäära, mujal aga liiga vähe. Kiirele segamisele järgneb aeglane segamine, mille kestel osakesed liituvad. Aeglane segamine mõjutab helveste suurust – väiksema kiirusgradiendi G puhul on vaja suurte helveste tekkimiseks rohkem aega [11].

Protsessi kiirendamiseks kasutatakse tänapäeval selleks sobivaid kemikaale (polümeere) – flokulante. Flokulant lisatakse käideldavasse vette, mille aeglasel segamisel väikesed koaguleerunud osakesed mingi perioodi vältel suuremateks liituvad. Segamise intensiivsus on oluline – liiga aeglane segamine pikendab segunemisaega, kuna kontakt osakeste ja flokulandi vahel on vähem kindel. Liiga intensiivne segamine lõhub aga juba tekkinud helbed. Kuna reovee, koagulandi ja flokulandi omadused ja

temperatuur on eri juhtudel erinevad, vajab õige segamisaja ja -intensiivsuse määramine katsetööd. Sama käib õige koagulandi ja flokulandi valimise kohta.

1.6 Eelsetiti

1.6.1 Eelsetiti vajadus ja tüübid

Setitamine on puhastusmeetod, mille puhul vedelikus sisalduv heljum (HA) sadestatakse raskusjõu toimele. Eelsetitis peetakse kinni liivapüünise läbinud settivad tahked osakesed.

Settimine sõltub olulisel määral reovee tüübist ja omadustest. Seejuures on määrava tähtsusega:

- osakeste tihedus;
- vedeliku tihedus;
- vedeliku temperatuur;
- osakeste suurus;
- mahutis esinevad otsevoolud.

Setitamise teooriat ja arvutusi on detailsemalt käsitletud jaotises 15. Eelsetiti puhul on oluline teada, milline on selle tõhusus mitmesuguste mõõdetavate näitajate suhtes. Kõige olulisem näitaja on reovee viibeaeg setitis. Alljärgnevalt on esitatud kaks olmereoveepuhastite puhul rakendatud lihtsustatud lähenemist eelsetite tõhususe hindamiseks.

Eelsetitamise tulemusena väheneb reoveepuhasti heljumikoormus 50–70% ja BHT-koormus 25–40% (keskmiselt 35%). Nende koormuste vähenemistõhusus eelsetitis 20 °C puhul ($eff_{HA,ES}$):

$$eff_{HA,ES} = \frac{HRT}{a+b \cdot HRT} \quad (\%), \quad (5.19)$$

kus HRT on keskmine viibeaeg (h) ning a ja b – empiirilised konstandid, mille väärtused on tabelis 5.4.

Tabel 1.4. Empiiriliste konstantide väärtused

Konstant	a	b
BHT	0,018	0,020
HA	0,0075	0,014

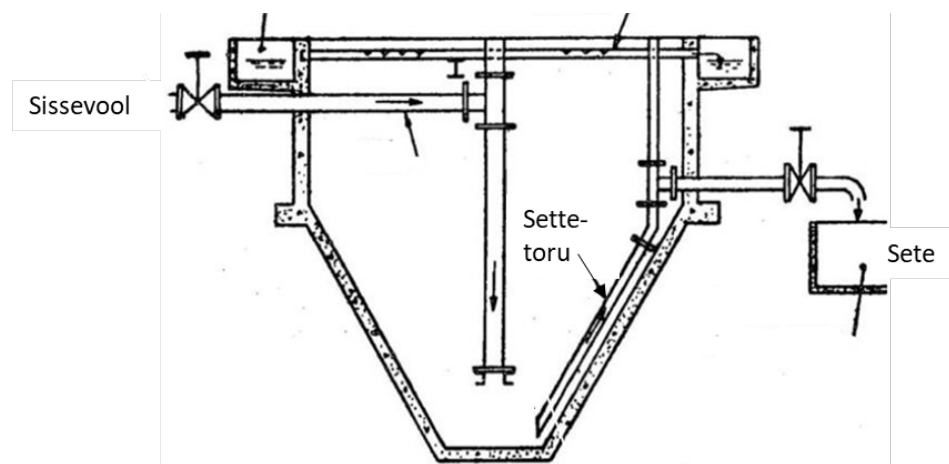
Teine empiiriline lähenemine, mida saab olmereoveepuhastite sissevooluvee puhul rakendada, on kirjeldatud Saksamaa standardis DWA A 131 [12]. Eri näitajate eraldustõhususe η [%] sõltuvus reovee viibeajast eelsetitis on esitatud tabelis 5.5. Kuna reoveepuhasti eelsetitid sadestavad ainult heljumis

olevaid osakesi, on eraldustõhusus heljumi suhtes kõige suurem. Et heljum sisaldab palju orgaanilisi aineid, on ka KHT eraldamise tõhusus suhteliselt suur. Lämmastiku- ja fosforiühendid on reoveepuhasti sissevooluvees enamasti lahustunud olekus ning seetõttu on nende ühendite eraldustõhusus väike. Seetõttu vähendab eelsetitamine suhet C_N/C_{KHT} ka biopuhastusprotsessis ning võib põhjustada vajaduse lisasüsiniku lisamiseks lämmastikuärastuses.

Suurematel reoveepuhastitel on eelsetid enamasti kas plaanis nelinurksed ja frontaalse vooluga (jaotis 15.3) või plaanis ümarad radiaalse vooluga horisontaalsetid (jaotis 15.3), mis on varustatud kaapidega põhjamuda ja pindmise saasta kõrvaldamiseks. Väikepuhastitel kasutatakse nelinurkse või ümara põhiplaani vertikaalseteid (joonis 5.19), mis mehaanilisi kaape ei vaja.

Tabel 1.5. Eelsetiti eraldustõhusus eff_{ES} [%] sõltuvus hüdrauilisest viibeagst keskmise kuiva aja vooluhulga puhul

Näitaja	Eraldustõhusus (eff_{ES}), kui hüdrauiline viibeag HRT keskmise kuiva aja vooluhulga puhul ($Q_{KI,h}$) on		
	0,75–1 h	1,5–2 h	>2,5 h
C_{KHT}	30 %	35 %	40 %
X_{KHT}	45 %	55 %	60 %
X_{KA}	50 %	60 %	65 %
C_N	10 %	10 %	10 %
C_N	10 %	10 %	10 %



Joonis 1.19. Dortmundi tüüpi vertikaalvooluga eelsetiti [16]

Eelsetitamisel rakendatakse kas otsest settimist või kombineeritakse seda flokulantsadestamisega, mille puhul kasutatakse spetsiaalseid sadestamiskemikaale.

Põhimõtte poolest on eel- ja järelsetitamise lahendused sarnased. Setitide dimensioneerimist on täpsemalt kirjeldatud jaotises 15.

Eelsetitite hulka võib tinglikult lugeda ka septikud ja emšerid, milles heljumi ja orgaanika settimine on kombineeritud samas setitis aset leidva anaeroobse käärimisega. Pikema viibeaja tõttu muutub keskkond nendes anaeroobseks ja käivitub anaeroobne käärimine. Tänapäeval kasutatakse emšereid reoveepuhastite eelpuhastusetapis harva, sest ökonoomsem ja keskkonnahoidlikum on setet kääritada iseseisva protsessina. Septikuid rakendatakse eelpuhastuseks väikepuhastitel.

1.6.2 Eelsetite tüüpilised probleemid ja nende kontrollmeetmed

Setitite peamine probleem on sette ebaregulaarne kõrvaldamine, mistõttu reovesi ja sete hakkavad neis käärima ning gaase eraldama, mis vähendab setiti tõhusust. Setiti käitamisel tuleb hoolitseda sette ja ujukõntsa regulaarse kõrvaldamise eest.

1.7 Septik

Septiku ülesanne on vähendada reovee heljumisisaldust ning heljumi kandumist järgnevatesse puhastusetappidesse. Et reovesi viibib septikus üle kahe ööpäeva, hakkab sete seal käärima, mille tulemusena osa orgaanilisest ainest mineraliseerub ja settekogused vähenevad. Tavaliselt kuuluvad septikud väikepuhastite koosseisu ning septikusse pumbatakse ka jääkmuda. Sete kõrvaldatakse septiku põhjast pumba või õhktõstukiga, kuid erinevalt eelsetitist ei ole sette kõrvaldus pidev. Hästi toimiv ning korralikult hooldatud septik võib olla väga tõhus vahend järgnevate puhastusetappide koormuse vähendamiseks (õigesti toimivasse septikusse jääb pidama ca 70% heljuvainest), ca 10% väheneb ka põhipuhasti orgaaniliste ja toitainete koormus). Septikus toimuv anaeroobne protsess võib bioloogilisi protsesse järgnevates puhastusastmetes ka pärssida (vt ka jaotist 12).

1.8 Rasva jm ujumaterjali kõrvaldamine

Mitmed probleemid bioloogilises puhastusetapis tulenevad reovee suurest rasvasisaldusest. Neid probleeme on võimalik ennetada rasvapüünise või flotaatori abil, mis kõrvaldavad reoveest rasva, õli või muu pinnal ujuva materjali. Et rasvad võivad peale bioloogiliste protsesside pärssimise ummistada ka kanalisatsiooni, on kõige otstarbekam nad kõrvaldada kohtpuhastis (vt ka jaotist 3.2), ent ka selles võib rasva kõrvaldamata jätmine kujuneda kriitiliseks kogu puhasti toimimise seisukohast.

Üks reovee selitamise võimalusi on rakendada flotatsiooni, s.o ujutada vees olev heljum veepinnale ning koristada see vahuna.

Flotatsioon võib olla kolmesugune:

- spontaanne flotatsioon, s.o ainete (vedeliku ja selles suspendeerunud ainete) erineval tihedusel põhinev protsess. Spontaanset flotatsiooni rakendatakse laialt rasva- ja õlipüünistes;
- abistatud flotatsioon, milles kasutatakse teatud tahkete ja vedelikuosakeste omadust ühineda ja haakuda gaasimullidega (õhu või vesinikuga elektroflotaatoris), tekitades kompleksi osake/gaas, mille tihedus on väiksem kui vedelikul (nt veel), ning milles osakesed on disperseerunud. Suspensioon või kompleksid tõusevad pinnale, moodustades tiheda kihi, mida on võimalik kõrvaldada. Nõnda on võimalik pinnale ujutada ka veest raskemaid osakesi. Floteerimine on võimalik, kui materjalid on hüdrofoobsed, s.o osakeste ja gaasimullide vaheline adhesioon (külgekleepumine) on suurem kui vedeliku märgumise mõju;
- keemiliselt esile kutsutud flotatsioon: osakeste liitmiseks kasutatakse koagulante ja flokulante. See meetod on sobivaim kolloidide ülesujutamiseks.

Flotatsiooni kasutatakse sageli tööstusreovee puhastamiseks, kui vett reostab põhiliselt kolloidne materjal. Eestis võib flotaator sobida eriti siis, kui asulareovee puhastisse juhitakse toiduainetööstusest (piima- või lihatööstusettevõttest, pärmitehasest vm) pärit reovett (siis on küll otstarbekam kohtpuhastina toimiv flotaator tööstuse juures). Õli- ja rasvapüünist rakendatakse tavaliselt väiksemate ühiskondlike ja tööstusobjektide (nt söökla, pagaritöökoda jmt) kohtpuhastina. Kui kohtpuhastit pole või selle töö on ebapiisav, tuleb flotaator rajada ühisesse reoveepuhastisse. Siis liidetakse see sageli õhustatava liivapüünisega. Reoveepuhastites on sageli rakendatud abistatud flotatsiooni, milles ained ujutatakse veepinnale õhumullide abil.

Stokes'i valemi kohaselt on õhumulli tõusukiirus vedelikus:

$$v_{\text{õhk,üles}} = \frac{g}{18\eta} (\rho_v - \rho_g) \cdot d_{\text{mull}}^2, \quad (5.20)$$

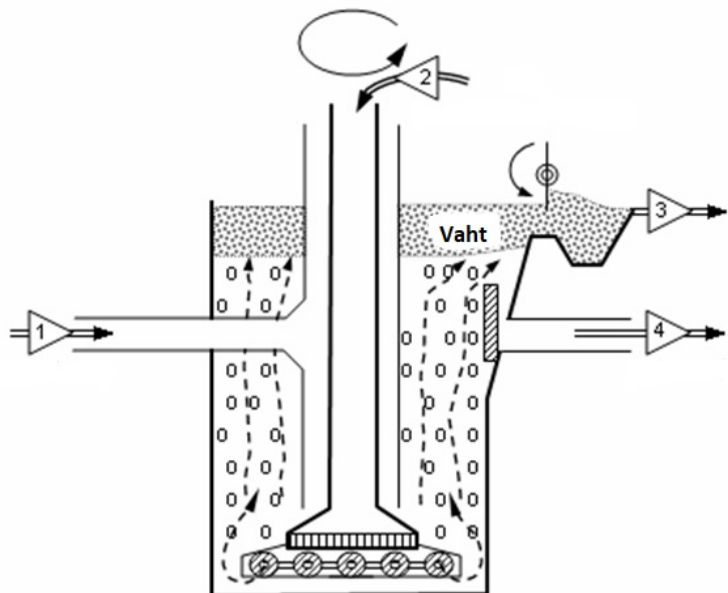
kus d_{mull} on mulli läbimõõt (m); ρ_v – vedeliku tihedus (kg/m^3); ρ_g – gaasi tihedus (kg/m^3) ja η_{kin} – kinemaatiline viskoossus (m^2/s).

Reoveepuhastuses rakendatakse nii jämemull-flotatsiooni (mulli suurus 0,2–2 mm) kui ka peenmull-flotatsiooni (mulli suurus 40–70 μm). Suurete mullide tekitamiseks kulub oluliselt rohkem õhku ning nende suur tõusukiirus põhjustab vees intensiivse turbulentsi. Peenmulli (50 μm) tõusukiirus on ca 6 m/h, jämemullil (mõni mm) aga kuni 100 korda suurem. Eelistatakse peenmulle, sest neid mahub vette rohkem ning nad jaotuvad vedelikus ühtlasemalt, mistõttu on nende ühinemine heljumiga tõenäolisem. Väiksema tõusukiirusega peenmullid kleepuvad paremini ka õrnade helveste külge.

Loomulikku flotatsiooni rakendatakse eelpuhastites (või kohtpuhastites) õlide lahutamiseks vedelikust, kuid see tekib ka fermentatsioonil, mille tulemusel tõuseb vedeliku pinnale vaht, milles on heljunit 20–40% ning mille tihedus on 0,7–0,8 kg/l.

Abistatud flotatsiooni tekitatakse kas mehaaniliste seadmetega või õhku vedelikku pumbates. Õlide lahutamiseks reoveest kasutatakse mulle suurusega 2–4 mm, mis reovett intensiivselt segavad ja emulgeerivad. Heljum koos selle külge kleepunud orgaaniliste ja anorgaaniliste rasvadega koristatakse flotaatori rahulikuma vooluga osast. Puhta õli lahutamiseks kasutatakse mulle suurusega 0,5 – 1 mm, mida tekitakse veealuse mehaanilise õhustiga. Mehaaniliselt pöörlev seade paneb rasvad mullidega ühinema ning õhktõstukina toimivad mullid aitavad rasvadel pinnale koguneda. Sageli kasutatakse flotatsiooni tõhustamiseks pindpinevust muutvaid kemikaale.

Vahtflotaator (joonis 5.22) on seade, milles materjalid lahutatakse selektiivselt olenevalt sellest, kas nad on vett tõrjuvad (hüdrofoobsed) või mitte (hüdrofiilsed). Vaht tekitatakse, juhtides mehaanilise seadme abil vette peeni hajutatud õhumulle. Tekib suspensioon, millesse tavaliselt lisatakse väikeste mullide moodustumise soodustamiseks keemilist reaktiivi – vahustit. Hüdrofoobsed osakesed koos neile kinnitunud õhumullidega moodustavad veepinnal vahu, mida saab sealt kõrvaldada, hüdrofiilsed materjalid jäävad aga vedelasse faasi.

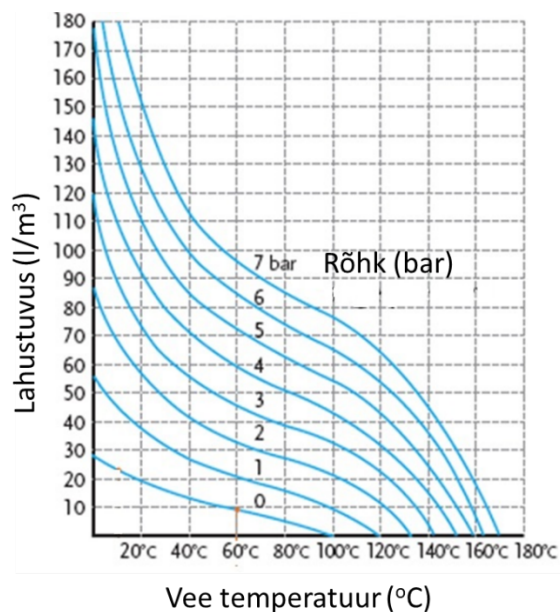


Joonis 1.20. Vahtflotaator: 1 – vee sissevool; 2 – õhu sissevool; 3 – vahukontsentraat; 4 – puhastatud vee väljavool [20]

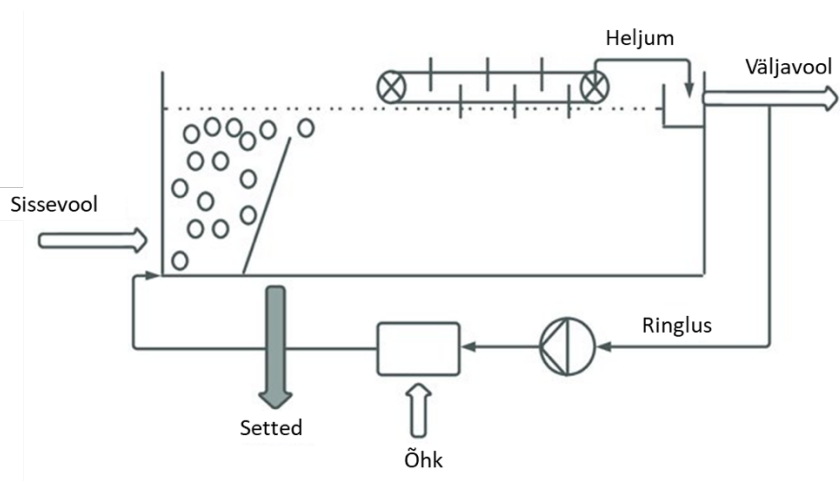
Peenmullflotatsioon (ingl *dissolved air flotation, DAF*) on heljumi kõrvaldamise protsess, milles osakesed kinnituvad õhumullidele. Peenmullide tekitamiseks lahustatakse õhk vette rõhu all, mis suurendab oluliselt selle lahustuvust (joonis 5.23). Rõhu all õhuga küllastatud vesi juhitakse flotaatorisse, kus rõhu alt vabanev õhk moodustab vette peeneid mulle. Õhumullid kleepuvad heljumi

külge ning ujutavad selle veepinnale, kust see koristatakse vahuna (joonis 5.24). Düüside ummistumisega seotud probleemide vältimiseks ei survestata käideldavat reovett, vaid puhast vett või enamasti flotaatori läbinud puhastatud reovett e ringlusvett. Ringlusvesi küll suurendab flotaatorit läbivat vooluhulka ehk hüdraulilist koormust, ent tagab parema puhastustulemuse, sest tahked osakesed, eriti õrnad helbed, ei läbi neid lõhkuvaid süsteeme (pumpasid, rõhualandusdüüse).

Õhu ja vee segu valmistatakse väikeses paagis puhtast veest ca 3–6 baarise rõhu all ning seda kulub 10–50% puhastatava vee hulgast. Õhu ja vee segu valmistamiseks piserdatakse vesi tavaliselt survemahuti paaki, millesse on ca 2/3 kõrguse ulatuses lisatud suure pindalaga täidist. Mitmed autorid soovivad anda õhk parema segamise huvides survepumba ette, see ei pruugi aga alati hea olla kavitatsiooniohu tõttu, mis lühendab oluliselt kõrgsurvepumba tööiga. Õhulahustuspaak ei ole suvaline surveanum, vaid kuulub kompressorist, lahustuspaagist ja survepumbast koosnevasse süsteemi. Konstruktsiooni poolest on parim sale vertikaalne silinder, mis on täidetud vee liikumist ühtlustava täidise. Kontrollsüsteem hoiab survepaagis etteantud veepinda, et vältida suurte õhumullide pääsemist flotaatorisse. Survepaagi maht peab kindlustama õhu lahustumiseks vajalik aja. Õhu lahustuvus on ca 70% küllastuvusest antud rõhul. Parim kontaktaeg on 2–3 min.



Joonis 1.21. Õhu lahustuvus vees olenevalt rõhust ja temperatuurist [21]



Joonis 1.22. Peenmull-flotaatori põhimõtteskeem [22]

Peenmullflotaatori tõhusus sõltub peamiselt õhukoguse ja heljumimassi suhtest (A/S), mis on vajalik soovitud puhastusastme saavutamiseks. See suhe sõltub reovee omadustest ning tuleb enne seadme dimensioneerimist katseliselt kindlaks teha. Reeglina on A/S vahemikus 0,005–0,060 [3]:

$$\frac{A}{S} = \frac{1,3S_{\text{õhk}}(f \cdot p - 1)}{X_{KA}}, \quad (5.21)$$

kus X_{KA} on heljumisisaldus (g/m^3); $S_{\text{õhk}}$ – õhu lahustuvustegur (l/m^3); p – avaldatud rõhk (atm) ning f – rõhu all oleva õhu osakaal (tavaliselt 0,5). Flotatsiooniprotsesside juhtarve on toodud tabelis 5.6.

Tabel 1.6. Flotatsiooniprotsesside juhtarve

Flotatsiooni-protsess	Õhu kogus m^3/m^3 vee kohta	Mulli suurus	Võimsus Wh/m^3 kohta	Viibeaeg, min	Pinnakoormus, m/h
Jämemull	100–400	2–5 mm	5–10	5–15	10–30
Vaht	10 000	0,2–2mm	60–120	4–16	-
Peenmull	15–50	40–80 μm	40–80	20–40	3–10

Flotaatori peamine eesmärk on ujumaterjali kõrvaldamine, ent seadmesse koguneb mingil määral ka põhjasetet. Settekõrvaldus sõltub flotaatori konstruktsioonist ning on tavaliselt automatiseeritud. Vertikaalsetest flotaatoritest kõrvaldatakse sete põhjakoones paikneva siibri kaudu, horisontaalse flotaatori põhjas on tigutransportöör.

Mõned praktilised näpunäited:

- peapumplas peab olema võre, mille varvavahe sõltub valitud pumbale lubatud tahkise suurimast läbimõõdust;

- flotaatori ees peab olema ühtlusti, mille suurus sõltub reovee iseloomust. Üsna tavaline on, et ühtlusti maht on võrdne reovee ööpäevakogusega. Flotaatori tõhusus sõltub selle töötingimustest – väike voolukiirus soodustab settimist ning kiire vool halvendab helveste tekkimistingimusi;
- flotaator ja kemikaalid peavad asuma siseruumis, mille ehitamisel tuleb arvestada nii vajalikku pinna suurust kui ka ruumi kõrgust. Ei tohi unustada flotaatoris eralduvate gaaside pidevat kõrvaldamist ja arvestada tuleb ka soojakadu;
- kõrvaldatud heljumi- ja settekoguse vähendamiseks võib kaaluda nende tihendamist (vt ka jaotist 17).