

Raamat „Veevärk“ on koostatud eelkõige TTÜ keskkonnatehnika erialade õppeprogramme arvestades. Vajalikku teavet leiavad siit veevarustuse alal praktiseerivad insenerid ja spetsialistid, samuti teised välisveevärgi kohta teadmisi omandavad õppurid ja praktikud. Trükises käsitletakse joogivee ja muu tarbevee ettevalmistamist looduslikust veest (vee puhastamine, töötlemine, käitlemine), vaadeldakse kõiki olulisi etappe selles tegevuses, sealhulgas veevarustuse veallikaid, veehaardeid, välisveevõrku ja sellel olevaid rajatisi, vee omadusi ja joogiveele esitatavaid nõudeid, loodusliku vee töötlemise meetodeid ja tehnoloogilisi protsesse ning selleks kasutatavaid seadmeid. Erilist tähelepanu on pööratud vee keemilise töötlemise seaduspärasuste selgitamisele, samuti vee desinfitseerimisele. Põhjalikult käsitletakse metalltorustike korrosiooni ja vee stabiliseerimist, põhjavee puhastamist, samuti põhiliselt tootmisvee ettevalmistuse jaoks aktuaalseid küsimusi – vee pehendamist, soolaärastust, vee jahutamist ringlusveevärgkides.



Jaan Karu on sündinud 1945 Narvas. 1968 lõpetas TPI ehitusteaduskonna veevarustuse ja kanalisatsiooni erialal. 1970. aastast töötanud Tehnikaülikoolis inseneri, teaduri ja õppejõuna. 1975 kaitses tehnikakandidaadi kraadi (PhD) tarbeveetöötlemise tehnoloogia alal, millega on olnud seotud ka tema uurimistööd. Praegu on Tallinna Tehnikaülikooli emeriitdotsent.



Jaan Karu  
**VEEVÄRK**

# Jaan Karu

## **VEEVÄRK**



TALLINNA TEHNIKAÜLIKOOL  
Keskkonnatehnika instituut

Jaan Karu

# VEEVÄRK



TTÜ

KIRJASTUS

Tallinn 2016

Kaane kujundanud Tiia Eikholm

Autoriõigus: Jaan Karu, 2016

ISBN 978-9949-23-978-8

## Eessõna

Selles raamatus käsitletakse tarbevee (joogivee, olmevee, tootmisvee jm) ettevalmistamist looduslikust veest. Vaadeldakse veevarustuse veeallikaid, veehaardeid, vee omadusi ja joogivee kvaliteedile esitatavaid nõudeid, vee töötlemise meetodeid ja protsesse ning selleks kasutatavaid seadmeid ja nende projekteerimist, töödeldud vee säilitamist ja tarbijatele juhtimist. Väljaandes antakse ülevaade kõigist ühisveevärgiga seotud tehnilistest ja tehnoloogilistest probleemidest, käsitletakse ka tootmisveevarustuse küsimusi.

Raamatu koostamisel on arvestatud TTÜ kirjastuses aastail 2009–2011 välja antud õppematerjale „Tarbeveekäitus I–III“ ning digitaalset õppevahendit „Tarbeveekäitus“ (TTÜ raamatukogu digikogu 2013, jooksvalt täiendatud 2016). Väljaande koostamisel on arvesse võetud Eesti standardi EVS 847-2014 VEEVÄRK osa 1 „Veehaarded“ ja osa 2 „Veetöötlus“ nõudeid.

Väljaanne on mõeldud eelkõige keskkonna- ja veetehnika erialade üliõpilastele, siit võivad kasulikku teavet leida ka veevarustuse alal praktiseerivad insenerid ja praktikud.

# Sisukord

1. VEEVÄRK JA SELLE TEHNILINE LAHENDUS.....	7
1.1. Põhimõisteid .....	7
1.2. Ühisveevärgi toimimist reguleerivad olulisemad õigusaktid ja normdokumendid .....	10
1.3. Ühisveevarustuse probleeme Eestis .....	12
1.4. Veevärgi skeem.....	13
2. VEEVARUSTUSE VEEALLIKAD .....	15
2.1. Pinnaveeallikad .....	15
2.1.1. Veekogude hüdroloogilised faktorid .....	15
2.1.2. Tallinna joogiveeallikad .....	16
2.2. Põhjaveeallikad .....	17
2.3. Joogiveeallika valik.....	18
3. VEEHAARDED .....	19
3.1. Veehaarete liigitus.....	19
3.2. Pinnaveehaarded .....	20
3.2.1. Kaldaveehaarded .....	20
3.2.2. Sängiveehaarded .....	22
3.2.3. Abajasveehaarded.....	25
3.3. Põhjaveehaarded .....	25
3.3.1. Puurkaevud.....	25
3.3.2. Salvkaevud .....	32
3.3.3. Kaptaažveehaarded.....	32
3.3.4. Horisontaalveehaarded ja vihkveehaarded .....	33
3.3.5. Infiltratsiooniveehaarded.....	34
3.4. Veehaarde sanitaarkaitsealad .....	34
4. VÄLISVEEVÕRK JA SELLEL OLEVAD RAJATISED .....	36
4.1. Torud, torustikud, liitmikud, toruarmatuur .....	36
4.2. Veevärgi, veeõrgu ja veetöötlusjaama tootlikkuse määramine .....	40
4.3. Nõudeid veeõrgu projekteerimiseks .....	42
4.4. Veemahutid .....	43
4.4.1. Veevärgi veemahutite klassifikatsioon.....	43
4.4.2. Aktiivsed mahutid .....	44
5. VEE OMADUSED, JOOGIVEELE ESITATAVAD NÕUDED, VEE ANALÜÜS .....	46
5.1. Vee omadused ja vee kvaliteet .....	46
5.1.1. Loodusliku vee lisandite klassifikatsioon.....	46
5.1.2. Vee füüsikalised omadused .....	46
5.1.3. Vee keemilised omadused .....	48
5.1.4. Vee bioloogilised omadused .....	54
5.2. Nõuded joogivee kvaliteedile, veeproovide võtmine ja analüüside tegemine .....	55
6. VEE TÖÖTLEMISE MEETODID, PROTSESSID JA TEHNOLOOGIASKEEMID .....	58
6.1. Vee töötlemise levinuimad meetodid .....	58
6.2. Vee töötlemise tehnoloogilised protsessid .....	59
6.3. Tehnoloogiaskeemid .....	61
7. VEE KEEMILINE TÖÖTLEMINE .....	63
7.1. Veetöötluses kasutatavad põhilised reagentid .....	63
7.2. Vee koaguleerimise kemism .....	64
7.3. Koagulatsiooni efektiivsust mõjutavad tegurid.....	68

7.4. Koagulandi ladustamine .....	71
7.5. Koagulandi ja lubja annustamine, lahustamine ja segamine töödeldava veega .....	71
8. VEE EELPUHASTUSSEADMED .....	78
8.1. Mikrofiltrid .....	78
8.2. Hüdrotsüklonid .....	80
8.3. Setitid .....	82
8.3.1. Arvutusliku settimiskiiruse määramine .....	82
8.3.2. Setitite konstruktsioon .....	83
8.3.3. Setitamine õhukeses veekihis .....	86
8.3.4. Sette retsirkulatsiooniga setitid .....	86
8.3.5. Setitite arvutus .....	87
8.4. Heljumselitid .....	90
8.4.1. Heljumselitite tööpõhimõte ja klassifikatsioon .....	90
8.4.2. Heljumselitite arvutus .....	95
8.5. Flotatsioon .....	96
9. VEE FILTRIMINE .....	98
9.1. Filtrite liigitus .....	98
9.2. Kiirfiltri tehniline lahendus ja käitus .....	99
9.3. Kiirfiltri töörežiimi optimeerimine .....	106
9.4. Teraliste filtrite täitematerjalid .....	110
9.5. Kiirfiltrite projekteerimine .....	112
9.6. Mitmesuguseid teralisi filtreid .....	114
9.6.1. Kontaktselitid, kontaktfiltrid ja mitmekihilised filtrid .....	114
9.6.2. Survefiltrid .....	116
9.6.3. Kahevoolsed filtrid .....	118
9.6.4. Kaheastmeline filtratsioon .....	119
9.6.5. Dyna Sand filtrid .....	120
9.6.6. Aeglased filtrid .....	122
9.6.7. Uhtfiltrid .....	123
10. VEE DESINFITSEERIMINE .....	125
10.1. Üldist .....	125
10.2. Vee kloorimine .....	126
10.2.1. Kloorimise kemism .....	126
10.2.2. Kloorimine vedelklooriga, VTJ kloorimajand .....	128
10.2.3. Tallinna Ülemiste VTJ kloorimajand .....	129
10.2.4. Kloorimine klooriühenditega .....	130
10.2.5. Vee klooritustamine .....	131
10.2.6. Vee kloorimine ammoniseerimisega .....	131
10.3. Vee osoonimine .....	132
10.3.1. Osoon tarbeveekäitluses .....	132
10.3.2. Osoonimisseadmete tehniline lahendus .....	133
10.3.3. GDT-protsess .....	136
10.4. Vee desinfitseerimine ultraviolettkiirgusega .....	137
10.4.1. Protsessi kirjeldus .....	137
10.4.2. Bakteritsiidseadmed .....	138
10.4.3. Osooni ja UV-kiirguse kombineeritud kasutamine .....	140
11. VEE DESODOREERIMINE, PÕHJAVEEST RAUA-, MANGAANI-, NITRAADI- JA FLUORIÄRASTUS .....	142
11.1. Vee desodoreerimine, oksüdantide ja sorbentide kasutamine veepuhastuses .....	142

11.2. Raua- ja mangaaniärastus.....	143
11.3. Nitraadi- ja fluoriärastus .....	147
12. VEETÖÖTLUSJAAMADE TEHNOLOOGIASKEEMID JA PROJEKTEERIMINE.....	150
12.1. Veetöötlusjaamade tehnoloogiaskeemid .....	150
12.1.1. Tallinna Veetöötlusjaam .....	150
12.1.2. Helsingi veetöötlusjaamad .....	151
12.1.3. Mitmesuguseid tehnoloogiaskeeme.....	152
12.1.4. Rekonstrueeritud puurkaevupumpla Saaremaal Pihla vallas Kõljala asulas .....	154
12.1.5. Tallinnas Nõmme linnaosas asuv Piiri veekäitlussõlm .....	155
12.2. Veetöötlusjaama põhiplaani .....	155
12.3. Veetöötlusjaama kõrgusskeem ja seadmete paigutus.....	156
13. VEETORUSTIKE KORROSION JA VEE STABILISEERIMINE.....	158
13.1. Sisemine korrosioon veetorustikes ja vee korrodeerivate omaduste hindamine .....	158
13.2. Vee stabiliseerimine ja kaitsekihtide tekitamine toru sisepinnale .....	163
14. VEE DEGASEERIMINE .....	165
14.1. Degaseerimise tingimused .....	165
14.2. Vee degaseerimine füüsikaliste protsessidega .....	165
14.3. Vee degaseerimine keemiliste ja biokeemiliste protsessidega .....	167
15. VEE PEHMENDAMINE .....	169
15.1. Vee karedus ja vee pehmendamiseks kasutatavad menetlused .....	169
15.2. Reagentmenetlused .....	169
15.2.1. Lubimenetlus.....	169
15.2.2. Sooda-lubimenetlus.....	170
15.2.3. Fosfaat- ja baariummenetlus .....	171
15.2.4. Reagentmenetluse tehnoloogia ja seadmed .....	171
15.3. Kationiitmenetlused .....	172
15.3.1. Kationiidid ja nende kasutamise võimalused .....	172
15.3.2. Na-kationeerimine.....	173
15.3.3. H-kationeerimine.....	173
15.3.4. Kationeerimise skeemid .....	174
15.3.5. Kationiitfiltrite arvutamine.....	176
16. SOOLAÄRASTUS VEEST .....	179
16.1. Loodusliku vee soolsus ja soolaärastusprotsessid .....	179
16.2. Soolaärastus veest ioonivahetusega .....	179
16.3. Soolaärastus veest destilleerimisega .....	181
16.4. Membraanprotsessid .....	182
16.5. Soolaärastus veest väljakülmutamisega ja heliomagestamine .....	188
17. TOOTMISVEEVARUSTUS JA ETTEVÕTETE VESIJAHUTUSSÜSTEEMID.....	190
17.1. Tootmisprotsessi veetarbimise iseärasused, kasutatavad süsteemid ja skeemid .....	190
17.2. Vee jahutamine ringlusveevärgis .....	191
17.3. Torngradiirid ja ventilaatorgradiirid.....	193
17.4. Soojuselektrijaama ringlusveevärk .....	195
17.5. Näiteid.....	196
17.5.1. Iru Elektrijaam .....	196
17.5.2. Tallinna (Väo) Elektrijaam.....	198

# 1. VEEVÄRK JA SELLE TEHNILINE LAHENDUS

## 1.1. Põhimõisteid

*Veeseaduse* järgi eristatakse vee ja veekogu avalikku ning erikasutust.

a) *avalik kasutamine* – kasutamine igäihe poolt ilma veekogu seisundit mõjutavate ehitiste või tehnovahenditeta, st vett käsitletakse kui **keskkonda**, kus ei toimu veevaru kulutamist ega selle kvaliteedi olulist halvenemist (laevandus, veesport, kalandus, puhkus);

b) *vee erikasutus* – vee kasutamine veekogu või põhjaveekihi seisundit mõjutavate ainete, ehitiste või tehnovahenditega. Vee erikasutuse liigiks on *vee tarbimine*, mille puhul vett käsitletakse kui **materjali**, st toimub veevaru kulutamine ja selle kvaliteedi oluline halvenemine.

Vett tarbitakse olmes (*olmevesi*, *joogivesi*), tootmisotstarbel (*tootmisvesi*), tulekustutuseks (*tulekustutusvesi*), tänavate ja haljasalade kastmiseks (*kastmisvesi*), taimekasvatuses (*põllumajandusvesi*). Vee tarbimine võib toimuda *otsevoolse*, *ringlus-*, *tsoneeritud* või *korduvkasutusskeemi* järgi.

*Veetarbimise erikulu* – toodanguühiku valmistamiseks kuluv veehulk.

*Veetarbimismnorm* – elaniku, külastaja, õpilase, voodikoha jne kohta ööpäevas kuluv veehulk.

*Veetarbimise režiim* – vee tarbimine mingi perioodi kestel ajaühikute kaupa, enamasti ööpäeva jooksul tundide kaupa.

*Veevarustus* – abinõude kogum tarbija varustamiseks nõutava kvaliteediga veega.

*Veevärk* – seadmed ja ehitised tarbija varustamiseks veega.

*Veevärgi skeem* – veevärgi koostisosade paigutus üksteise suhtes.

*Vee puhastamine* – tarbijale mittevajalike lisandite kõrvaldamine veest.

*Vee töötlemine* – vee puhastamine ja teatud ühendite lisamine vette ning muud toimingud veega, mis on vajalikud vee kvaliteedi parendamiseks (kloorimine, koaguleerimine, jahutamine, soojendamine jm).

*Vee käitlemine* – vee töötlemine, säilitamine, edastamine ja tarbijatele jaotamine.

**Veeseaduses** (RT I 1994, 40, 655) kasutatakse termineid järgnevas tähenduses:

*Pinnavesi* – maismaavesi (v.a põhjavesi) ning siirdevesi, rannikuvesi ja keemilise seisundi hindamisel ka territoriaalvesi.



*Põhjaveekiht* – üks või mitu maa-alust kivimikihti või muud geoloogilist kihti, mis on piisavalt poorsed ja läbilaskvad, et põhjavesi saaks seal märkimisväärselt voolata, või millest saab olulises koguses põhjavett võtta.

*Põhjavesi* – maapõues sisalduv vesi.

*Veehaare* – ehitis vee võtmiseks veekogust või põhjaveekihist.

*Veehoidla* – vooluvee tõkestamise või paisutamise, vee pumpamisega või muul viisil maapinna nõkku, kaevandatud süvendisse või tammide vahele rajatud tehisveekogu.

*Veekogu* – püsiv või ajutine voolava (vooluveekogu) või aeglaselt liikuva (seisva) veega (seisuveekogu) täidetud pinnavorm.

*Põhjaveekogum* – põhjaveekihis või -kihtides selgesti eristatav veemass.

*Põhjaveemaardla* – põhjavee võtmiseks määratud kinnitatud põhjaveevaruga maapõue osa.

*Maismaavesi* – kogu maapinnal seisev või voolav vesi ning kogu põhjavesi maismaa pool lähtejoont, millest mõõdetakse territoriaalvee laiust.

*Pinnaveekogum* – selgelt eristuv ja oluline osa pinnaveest, nagu järv, veehoidla, jõgi, oja või kanal, jõe-, oja- või kanaliosa, siirdevesi või rannikuvee osa.

*Tehisveekogum* – inimtegevuse tulemusena tekkinud pinnaveekogum.

*Joogivesi* – joogiks, toiduvalmistamiseks ja muudeks olmevajadusteks kasutatav vesi.

Lisaks eespool esitatule kasutatakse selles õppevahendis termineid järgnevas tähenduses:

*Ajutine veehaare* – veehaare, mida kasutatakse vaid teatud perioodil aastast ning kasutusperioodi lõppedes demonteeritakse.

*Arteesiavesi* – vettpidavate maakoorekihtide vahel rõhu all olev põhjavesi.

*Filterveehaare* – pinnaveehaare, milles vesi voolab kaldakaevu läbi liivast ja kruusast filtrikihi.

*Horisontaalveehaare* – põhjaveekihti horisontaalselt paigutatud vett dreniv perforeeritud toru või galerii.

*Infiltratsiooniveehaare* – põhjaveehaare läbi loodusliku veekogu või spetsiaalselt rajatud imbväljaku põhja maakoarde imbunud pinnavee haaramiseks.

*Kaldaveehaare* – pinnaveehaare, milles vee sissevool kaldakaevu toimub läbi kaldakaevu seinas olevate sissevooluavade.

*Kaptaažveehaare* – põhjaveehaare, mis on rajatud kohta, kus allikad kontsentreeritult maapinnale välja voolavad.

*Lahusveehaare* – pinnaveehaare, milles veehaarde kaldakaev ja 1. astme pumpla asuvad eraldi hoonetes.

*Olmevesi* – olmevajadusteks (joogiks, toidu valmistamiseks, majapidamises ja hügieeni tarbeks) kasutatav vesi. Selle vee kvaliteet peab vastama joogiveele esitatavatele nõuetele.

*Pinnasevesi* – maakoore ülemise vettpidava kihi peal lasuv põhjavesi.

*Puurkaev* – rajatis maakoore sügavamatest kihtidest põhjavee haaramiseks, mis koosneb vertikaalsest šahtist ja selle toetamiseks paigaldatavatest manteltorudest.

*Põhjavee tarbevaru* – põhjavee kogus, mida on võimalik põhjaveemaardlast ammutada kogu põhjaveehaarde kasutusaja jooksul.

*Päis* – veekogu põhjas asuv sängiveehaarde osa, mille kaudu toimub vee sissevool veehaardesse.

*Salvkaev* – vertikaalne põhjaveehaare, millega tavaliselt võetakse pinnasevett.

*Püsiveehaare* – pidevalt töötav veehaare.

*Sukelpump-veehaare* – pinnaveehaare, mille põhilüli on veekogu põhja paigaldatud ja survetoruga ühendatud sukelpump.

*Sängiveehaare* – pinnaveehaare, milles vee sissevool toimub läbi veekogu põhja paigaldatud päise, mis on kaldakaevuga ühendatud vabavoolutoru abil.

*Tehispõhjavesi* – põhjavesi, mis tekib pinnavee imendamisel maakoore läbi kunstlikult rajatud imbväljaku.

*Vertikaalveehaare* – põhjaveehaare, mille põhirajatiseks on maakoore puuritud või süvistatud šaht.

*Vihkveehaare* – vertikaalne kogumiskaev, millest on põhjaveekihti sisse pressitud horisontaalsed perforeeritud veehaardetorud.

*Ühisveevärk* – **ühisveevärgi ja -kanalisatsiooni seaduse** (RT I 1999, 25, 363) järgi veevärk, mille kaudu toimub kinnistute veega varustamine ning mis on vee-ettevõtja hallatav või teenindab vähemalt 50 elanikku.

## 1.2. Ühisveevärgi toimimist reguleerivad olulisemad õigusaktid ja normdokumendid

Ühisveevärgi toimimise seisukohalt on eriti olulised mitmed Eesti seadused, määrused ja standardid:

1. Veeseadus, 1994.
2. Ühisveevärgi ja -kanalisatsiooni seadus, 1999.
3. Rahvatervise seadus, 1995.
4. Looduskaitse seadus, 2004.
5. Veehaarde sanitaarkaitseala moodustamise ja projekteerimise kord (keskkonnaministri 16.12.1996 määrus nr 61).
6. Joogivee kvaliteedi- ja kontrollinõuded ning analüüsimeetodid (sotsiaalministri 31.07.2001 määrus nr 82).
7. Joogivee tootmiseks kasutatava või kasutada kavatsetava pinna- ja põhjavee kvaliteedi- ja kontrollinõuded (sotsiaalministri 02.01.2003 määrus nr 1).
8. Eesti standardid.

**Veeseaduse** ülesanne on veekogude ja põhjavee puhtuse ning veekogudes ökoloogilise tasakaalu tagamine. Seadus reguleerib vee kasutamist ja kaitset, veekogudega seotud omandisuhteid. Seaduse järgi kehtestab sotsiaalminister *joogivee kvaliteedi- ja kontrollinõuded ning vee analüüsimeetodid*, samuti *joogivee allikatele* kehtivad nõuded. Veeseadusega on kindlaks määratud veehaarete *sanitaarkaitsealad* ja seal kehtivad kitsendused. Veeseadus ütleb ka, *mis on joogivesi (joogiks, toiduvalmistamiseks ja muudeks olmevajadusteks kasutatav vesi)*. Seadus määrab kindlaks, kes on *joogivee käitleja* (ettevõtja, kelle tegevuseks on joogivee tootmine, varumine, töötlemine, pakendamine või muud toimingud, mille tulemusel joogivesi saab kättesaadavaks tarbijale) ning määrab joogivee käitleja ülesanded.

**Ühisveevärgi ja -kanalisatsiooni seadus** (ÜVK seadus) reguleerib kinnistute varustamist veega ühisveevärgist ning nende reovee juhtimist ühiskanalisatsiooni, kusjuures ühisveevärki ja ühiskanalisatsiooni võib käsitleda kas koos või eraldi. Mis on ühisveevärk? Seaduse kohaselt on see *ehitiste ja seadmete süsteem, mille kaudu toimub kinnistute veega varustamine ning mis on vee-ettevõtja hallatav või teenindab vähemalt 50 elanikku*. Oluline on, kus kulgeb ühisveevärgi ja kinnistu (hoone) veevärgi piir. Selle määrab ära *liitumispunkt*, mis asub avalikult kasutataval maal kuni 1 m väljaspool kinnistu piiri. ÜVK-l on seaduse järgi ka *kaitsevöönd*, s.o ÜVK ehitisi ümbritsev maa-ala, õhuruum või veekogu, kus kehtivad teatud kitsendused (ei tohi tõkestada juurdepääsu, istutada puid, teha lõhkamis-puurimistöid, ladustada materjale jm). ÜVK rajatakse kohaliku omavalitsuse volikogu kinnitatud ÜVK arengukava alusel.

**Rahvatervise seaduse** ülesanne on inimese tervise kaitsmine, haiguste ennetamine ja tervise edendamine. Seadus sisaldab olulisi sätteid ka tarbevee kasutamise seisukohalt (*joogi- ja suplusvesi, samuti pakendatud mineraalvesi ja allikavesi peavad olema tervisele ohutud*).

Seadus sätestab joogivee, loodusliku mineraalvee, allikavee ja suplusvee kasutamisega seotud õigused ja kohustused. Joogiveega seotud probleemide seisukohalt on oluline, et seadus määrab joogiveeproovi võtjatele kehtivad nõuded, kusjuures *joogiveeproovi võtjate atesteerimine (iga 5 a tagant) ja vastava korra väljatöötamine on tehtud ülesandeks Sotsiaalministeeriumile*.

**Looduskaitse seaduses** on defineeritud mõisted *kallas* ja *rand*. Kallas on merd, järve, jõge, veehoidlat, oja, allikat või maaparanduskraavi ääristav maismaavöönd; rannaks nimetatakse ainult Läänemere, Peipsi järve, Lämmijärve ja Võrtsjärve kaldaid. Seaduses on rannale või kaldale kindlaks määratud kolme liiki kaitsevööndid – veekaitsevöönd, ehituskeeluvöönd ja piiranguvöönd koos nendes kehtivate kitsendustega. Ühisveevärgi jaoks on eelkõige oluline *piiranguvöönd*, sest selle vööndi nõuded kehtivad kõigile joogivee pinnaveeallikatele v.a Tallinna veeallikale Ülemiste järve ümber ja Narva veeallikale Narva jõel. Piiranguvööndis on keelatud reoveesete laotamine, matmispaiga rajamine, jäätmekäitluses kasutatavate ehitiste rajamine, maavara kaevandamine. Samuti on seal kehtestatud eritingimused mootorsõidukiga sõitmiseks (eespool nimetatud kahele veeallikale on kehtestatud sanitaarkaitseala, selle nõuded on rangemad, vt edaspidi).

Joogivee käitlemist reguleerib ka rida seadustest madalamal tasemel õigusakte, mis on eelkõige vastu võetud ministrite määrustena.

### **Veehaarde sanitaarkaitseala moodustamise ja projekteerimise kord.**

Kvaliteetse joogivee saamiseks on vaja kaitsta veeallikaid (veekogusid ja põhjavett) võimaliku reostumise eest. Selleks luuakse veeallikate ümber *sanitaarkaitseala*, kus piiratakse majandus- ja ehitustegevust. Nimetatud küsimusi reguleerivad veeseadus ja antud keskkonnaministri määrus (täpsemalt veehaarete peatükis).

Joogivee kvaliteedinõuded on tavaliselt kehtestatud *joogiveestandardiga*, Eestis aga **sotsiaalministri 31.07.2001 määrusega nr 82 (joogivee kvaliteedi- ja kontrollinõuded ning analüüsimeetodid)**, sellest täpsemalt punktis 5.

### **Joogivee tootmiseks kasutatava või kasutada kavatsetava pinna- ja põhjavee kvaliteedi- ja kontrollinõuded.**

Vastavalt sellele määrusele võib joogiveeallikana kasutada pinnaveekogu või põhjaveekihti, mis vee omaduste põhjal jagatakse *kolme kvaliteediklassi*. Veeallikana võib kasutada pinnaveekogu või põhjaveekihti, mille vee omadused vastavad vähemalt 3. klassi nõuetele. Samas on aga öeldud, et kui muud joogiveeallikad puuduvad, siis võib Terviseametiga kooskõlastatult kasutada ka joogiveeallikat, mille vee omadused ei

vasta isegi 3. klassi nõuetele – tingimusel, et vee töötlemise ja keskkonnaseisundit parandavate meetmetega on tagatud nõutav joogivee kvaliteet. 1. kvaliteediklassi kuuluv põhjavesi vastab joogiveele kehtestatud nõuetele, seda võib kasutada ilma eelneva töötlemiseta. Kõigi teiste joogiveeallikate vett peab enne joogiveena tarbijale suunamist töötlemata. Määrus loetleb ka võimalikke töötlusmeetodeid. Määruses ei ole mainitud, et selles esitatud nõuded kehtivad ainult nende joogiveeallikate kohta, millest võetakse vett ühisveevärgi tarbeks. Samas on selles jutt **joogivee tootmisest**, mis ilmselt ei käi suvalise veevõtu kohta näiteks talu salvkaevust.

Lisaks õigusaktidele reguleerivad ühisveevärgi projekteerimist ja toimimist ka mitmesugused *normdokumendid*, eelkõige *standardid*, mille kasutamine ei ole aga kohustuslik.

### 1.3. Ühisveevarustuse probleeme Eestis

Probleemid on eelkõige seotud vee kättesaadavuse, veevõrkide rajamise ja rekonstrueerimisega ning vee kvaliteediga. Eestis on kõigis linnades ja enamikus asulates ühisveevõrk. Kuid palju on amortiseerunud veetorustikke, mida tuleb kas täielikult asendada või erinevatel moodustel rekonstrueerida. Suured on veelekked torustikest, samuti veevõrkide omatarve. Eestis tervikuna ning eelkõige suuremates linnades on veetarbimine viimase paarikümne aastaga oluliselt vähenenud, näiteks Tallinnas üle 3 korra. Loodusvarade kokkuhoiu seisukohalt on see positiivne nähtus, kuid tehniliselt kaasneb sellega vee voolukiiruse oluline aeglustumine torustikes, mille tagajärjeks omakorda on vee kvaliteedi halvenemine.

Põhilised probleemid on siiski seotud *vee kvaliteediga*.

Pinnavett kasutavad Eestis kaks veevärki – Tallinn ja Narva, kus on ka veetöötlusjaamad. Ülejäänud veevõrgid kasutavad põhjavett, kusjuures mitte igal pool ei toimu põhjavee vajalikku puhastamist.

Põhjavee keemiline koostis sõltub põhiliselt kivimitest, mille poorides ja lõhedes vesi asub, samuti oma seosest mereveega ning päritolust (mereline genes). Põhjavee omadusi iseloomustab muutlikkus vertikaalis, samuti erinevate Eesti piirkondade kaupa. Mitmel pool Eestis vastab põhjavesi joogivee nõuetele, enamasti aga vajab enne tarbijale suunamist siiski puhastamist. Üheks laialt levinud probleemiks on *põhjavee rauasisaldus*, seda eelkõige Lõuna-Eesti devoni veekomplekside vees. Rauasisaldus võib ulatuda seal 5...6 mg/l (lubatud 0,2 mg/l). Sulfaatiderikkas vees tekib rauaühendite redutseerumise tulemusel ka *väävelvesinik*.

Rannikualadel ja saartel on kohati tegemist põhjavee suurenenud *soolsusega*, eelkõige kloriidide ja naatriumisaldusega (300...500 mg/l, lubatud kloriidide 250 ja naatriumi 200 mg/l). See võib olla seotud nii merevee sissitungimise kui ka veekihi moodustumise ajal kivimite pooridesse jäänud mereveega (nn *reliktvesi*). Põhjavees on

sageli suurenenud *mangaanisisaldus*, eriti kambriumi-vendi veekompleksi põhjavees. Mn põhjustab musta sademe ja mustade täppide teket veega kontaktis olevatel pindadel, samuti õlise kile teket vee pinnale. Lubatud Mn sisaldus joogivees on 0,05 mg/l.

Tõsiseks probleemiks on põhjavee suurenenud *fluoriidisisaldus*, mis esineb suuremal hulgal Lääne-Eesti siluri veekompleksi vees (4...6 mg/l), samuti muude veekomplekside vees. Suurenenud fluoriidisisaldus on iseloomulik 30% Eesti territooriumist (joogivees lubatud 1,5 mg/l). Fluor on oluline faktor, mis põhjustab hammaste, eriti laste hammaste lagunemist, kusjuures ka fluori täielik puudus vees ei ole hea.

Teatud probleemiks, eriti kambriumi-vendi veekompleksi vees, on kõrgendatud *radionukliidide sisaldus*. Selle kompleksi vett kasutavad praktiliselt kõik Põhja-Eesti rannikualale jäävad asumid. Joogiveega inimorganismi sattuvad radionukliidid põhjustavad seal *kiiritusdoosi*, mille suurust hinnatakse *efektiivdoosiga* mSv/aastas. Joogivees on lubatud efektiivdoosi suurus 0,1 mSv/a. Kuid see näitaja ei ole tervisele ohtlike ainete nimekirjas. Radioloogiliste omaduste hulka kuuluvad ka *tritiumisisaldus*, mida mõõdetakse Bq/l (lubatud 100 Bq/l) ning *radoon* (lõhnatu, värvitu inertne gaas, tekib uraani lagunemisel). Ka radooni lubatud sisaldus joogivees on 100 Bq/l.

Ühisveevärgi (ÜV) vett kasutab Eestis ligemale 90% elanikest, peamiselt linnades. 2/3 vee kogusest on põhjavesi, ülejäänud jääb Tallinna ja Narva pinnavee arvele.

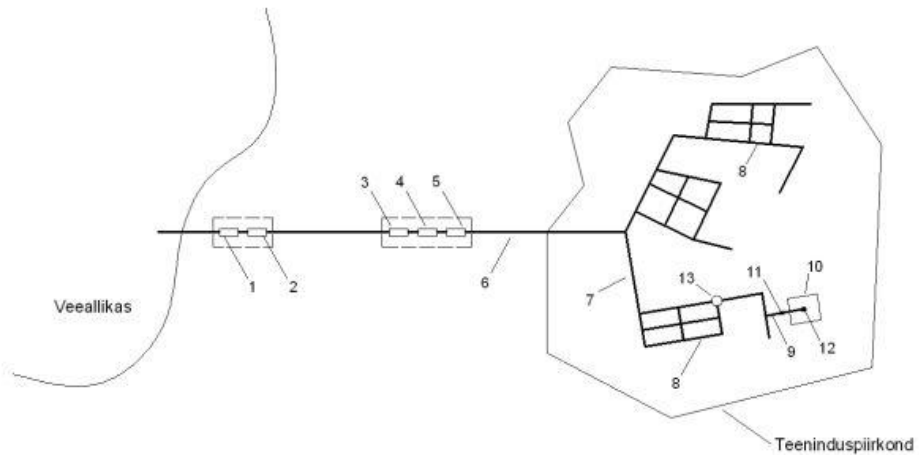
Eestile on iseloomulik väikese tootlikkusega, alla 1000 m<sup>3</sup>/d ÜV-de rohkus.

## 1.4. Veevärgi skeem

Veevärk koosneb *veehaardest*, 1., 2. ja 3. astme *pumplatest* või *pumpadest*, *veetöötusjaamast* või *-sõlmest*, *torustikest* ja *mahutitest*. Sõltuvalt veeallikast, toorvee omadustest, tarbija nõuetest veekvaliteedile ja teeninduspiirkonna iseloomust võivad veevärgis 2. ja 3. astme pumbad ja (või) veetöötlus puududa. Veehaare ja 1. astme pumbad asuvad koos veeallikal, ühte on koondatud ka veetöötlus, puhta vee reservuaarid ja 2. astme pumbad. Kõik lülid võivad asuda koos ühtse kompleksina, nagu Tallinna veetöötusjaam Ülemiste järve ääres ning Pärnu veetöötusjaam Reiul, või asub veetöötusjaam veehaarest oluliselt kaugemal, nagu Narvas. Viimasel juhul paikneb *tüvitorustik* veehaarde ja veetöötusjaama vahel.

Veevärgi võib jagada kahte ossa – veeallikast kuni liitumispunktini kinnistu veevärgiga on tegu *välisveevärgiga* (ühisveevärk), liitumispunktist tarbimispunktini aga *kinnistussisese (hoonesisese) veevärgiga*.

Vee jagamiseks erinevatele tarbijatele (kinnistutele) kasutatakse *veejaotustorustikku* (*veevõrk*), mis on kas *hargvõrk*, *ringvõrk* või *kombineeritud võrk* (*tupikharudega ringvõrk*).



Joonis 1.1. Veevärgi skeem: 1 – veehaare, 2 – 1. astme pumpla, 3 – veetöötlus, 4 – puhta vee reservuaar, 5 – 2. astme pumpla, 6 – tüvitorustik (veejuhe), 7 – veevõrgu magistraaltorustik, 8 – veejaotustorustik e tänavatorustik (veevõrk), 9 – tarnetoru, 10 – tarbija (kinnistu), 11 – liitumispunkt, 12 – veemõõdusõlm, 13 – reguleeriv mahuti (veetorn)

## 2. VEEVARUSTUSE VEEALLIKAD

Veevarustuse veeallikatena kasutatakse mageveelist pinnavett (jõgede, järvede, veehoidlate, kanalite vesi), põhjavett (ka tehispõjavett), vee magestamise korral merede ja ookeanide vett. Vee koguhulk hüdroosfääris moodustab  $1,5 \cdot 10^{18} \text{ m}^3$ , sellest 97% on ookeanides ja meredes olev soolane vesi. Mage vesi jaguneb omakorda:

77% – jääliustikesse koondunud vesi;

22% – põhjavesi;

1% – mageveelised pinnaveekogumid (jõed, järved, veehoidlad, kanalid, ojad).

### 2.1. Pinnaveeallikad

#### 2.1.1. Veekogude hüdrooloogilised faktorid

Pinnaveeallikatena kasutatavaid mageveelisi pinnaveekogumeid (veekogusid) ise-loomustatakse *hüdrooloogiliste faktoritega*:

- veekogu toitumine. On põhjaveelise, sademeveelise, sulaveelise või kombineeritud toitumisega veekogusid;
- vooluveekogu (jõe) äravool  $Q$ , st pikema perioodi jooksul (enamasti aasta jooksul) jõest välja voolanud veehulk;
- vooluhulk  $q$ ;
- voolusäangi püsivus;
- voolukiirused. Keskmise voolukiirus  $v = q/\omega$ , kus  $\omega$  on voolusäangi ristlõikepind;
- veeseisud  $z$ ;
- jäärežiim;
- suurveeperioodide iseloom;
- veekogu õitsemine;
- äravoolu norm  $M = \bar{Q} / A$  ( $\bar{Q}$  – paljude aastate keskmine äravool);
- äravoolu moodul  $\mu = \bar{q} / A$  ( $\bar{q}$  – paljude aastate keskmine vooluhulk).

$M$  ja  $\mu$  on olulised eelkõige väikejõgede korral, kui on vaja *äravoolu reguleerida*.  $v$ ,  $q$  ja  $z$  sõltuvad jõe toitumisest, põhjakaredusest, langust, põhjataimestikust, jääkattest, kliimatilistest tingimustest. Voolukiirus väheneb pinnalt jõe põhja poole ja jõe keskelt kalda poole. Eesti jõgedes jääb keskmine voolukiirus enamasti piirsesse 0,1...0,5 m/s. Voolusäangi kõveratel lõikudel on täheldatav vee spiraalne liikumine – *nõgusatel* kallastel domineerib tõusev ja *kumeratel* kallastel vee langev liikumine. Seetõttu läheb vesi ka nõgusate kallaste juures järsku sügavaks, kumerad kaldad on mudase ja lameda põhjaga. Nimetatud asjaolu tuleb arvesse võtta veehaarde asukoha valikul ja võimaliku kaldakindlustuse planeerimisel.



## 2.1.2. Tallinna joogiveeallikad

Tallinn saab ligikaudu 90% tarbeveest pinnaveeallikatest ja 10% põhjaveest. Pinnaveeallikate süsteem hõlmab Jägala, Pirita ja Soodla jõgede valgalasid kogupindalaga üle 1865 km<sup>2</sup>, kogumahuga 58,94 mln m<sup>3</sup> ja kasuliku mahuga 43,72 mln m<sup>3</sup>. Veeallikad asuvad 14 valla territooriumil, neist olulisemad Rae, Raasiku, Anija, Saku, Kiili, Kose, Lehtse, Kõue, Albu, Paide ja Kohila vallas. Pinnaveeallikate süsteemi kuuluvad 6 veehoidlat – Vaskjala, Paunküla, Soodla, Raudoja, Aavoja ja Kaunissaare. Lisaks Ülemiste järv ja varuveeallikana Raku järved. Kanalite kogupikkus on 66,9 km, tähtsamad neist Pirita-Ülemiste, Jägala-Paunküla ja Jägala-Pirita. Viimane on ka pikim – 25,5 km. Tallinna pinnaveeallikate süsteem saab alguse Pärnu jõe ülemjooksul Purdil, kust Pärnu–Jägala kanali kaudu juhitakse Pärnu jõe vett Jägala jõkke. Jägala jõel Sael olev pumppla suunab vee Jägala–Paunküla veejuhtme kaudu Paunküla veehoidlasse. Edasi voolab vesi piki Pirita jõe looduslikku sängi kuni Vaskjala hüdroõlme veehoidlani, kust algab Pirita–Ülemiste kanal. „Üleliigne“ vesi juhitakse üle kaarpaisu Pirita jõkke tagasi. Soodla jõe ja Jägala jõe keskjooksu vee haaramiseks on rajatud Soodla, Raudoja, Aavoja ja Kaunissaare veehoidlad ning Jägala–Pirita kanal, mis suunab Kaunissaare hüdroõlmest vee enne Vaskjalga samuti Pirita jõkke.

Nõmme ja osaliselt ka Pirita linnaosa varustatakse põhjaveega, selleks on põhiliselt kambriumi-vendi põhjaveehorisondi rajatud puurkaevud (85% kaevudest sügavusega 100–200 m). Kasutatakse ka kambriumi-ordoviitsiumi (70–100 m sügavused) ja kvaternaari (30–140 m sügavused) põhjaveehorisontidesse rajatud puurkaevusid.



Joonis 2.1. Kaarpais Vaskjala hüdroõlmes

## 2.2. Põhjaveeallikad

Veevarustuse põhjaveeallikatena kasutatakse maapõues sisalduvat vett. Oma seose iseloomult poorsete kivimitega jaguneb põhjavesi:

- *vaba e gravitatsiooniline vesi* – füüsiliselt ja keemiliselt kivimi osakestega sidumata vesi, moodustab põhjaveekihi ühtse hüdraulilise keskkonna ja allub raskusjõudude toimele;
- *kapillaarvesi* – kivimiosakestega füüsiliselt seotud vesi, allub nii raskusjõudude kui ka kapillaarjõudude (pindpinevusjõudude) toimele. Kapillaarvesi asub gravitatsioonilise vee peal, kapillaarne tõus moodustab jämeteralises liivas mõne sentimeetri, savikas pinnases võib ulatuda mõne meetrini;
- *hügroskoopne vesi* – kivimiosakeste külge adsorbeeritud vesi. Liigub aurustumise-kondenseerumise teel;
- *veeaur*.

Veevarustuse seisukohalt on tähtis ainult *vaba vesi*, mis hüdrauliliste tingimuste järgi jaguneb:

- *pinnasevesi e surveta e vabapinnaline põhjavesi* – maakoore ülemise vett-pidava kihi peal lasuv põhjavesi;
- *arteesiavesi* – vett-pidavate maakoorekihtide vahel rõhu all olev põhjavesi;
- *allikavesi* – maapinnale välja voolav põhjavesi;
- *infiltratsioonivesi* – läbi loodusliku veekogu või spetsiaalselt rajatud imb-väljaku põhja maakoore imbunud vesi. Esimesel juhul on tegemist *loodusliku infiltratsiooniveega*, teisel juhul nn *tehispõhjaveega*. Tehispõhjavee tekitamist nimetatakse ka *põhjavee toitmiseks*.

Gravitatsioonilise põhjavee liikumine on põhiliselt *laminaarne* ning allub **Darcy seadusele**

$$v = k \cdot J \quad (2.1)$$

kus  $v$  on  $q/\omega$  – filtratsioonikiirus;

$J = H/L$  – filtratsioonigradient;

$H$  – rõhulang vee voolamisel teepikkusel  $L$ ;

$k$  – filtratsioonimoodul, iseloomustab kivimit ning esitatakse tavaliselt  $m/d$

(tabel 2.1)

Põhjaveekihi iseloomustamiseks kasutatakse ka järgmisi parameetreid:

$k \cdot h$  – veejuhtivuse moodul  $m^2/d$ , kus  $h$  on põhjaveekihi paksus;

$\mu$  – veannitegur (täieliku küllastuse tingimustes poorides oleva vee ja pinnasemahu suhe).

Tabel 2.1. Erinevate pinnaste hüdrogeoloogilised parameetrid

Pinnasekiht	k, m/d	$\mu$	Pinnase veejuhtivus
kiviklibu, karst	100	0,25...0,35	väga hea
jämeteraline liiv	15...20	0,25...0,35	hea
peeneteraline liiv	1...10	0,2...0,25	keskmine
saviliiv, liivsavi	0,1...5	0,2...0,25	väike
savi	<0,1	0,2...0,25	väga väike

### 2.3. Joogiveeallika valik

Joogiveeallika valikul tuleb lähtuda sotsiaalministri määrusest **Joogivee tootmiseks kasutatava või kasutada kavatsetava pinna- ja põhjavee kvaliteedi- ja kontrollinõuded**. Sellele lisaks tuleb arvestada:

- vee kvaliteeti, veekogu või põhjaveemaardla võimsust ja sanitaarset seisundit;
- veekogu ümbritseva ala ning põhjaveemaardla piirkonda jääva ala sanitaarset seisundit ja selle võimalikku muutumist tulevikus;
- sanitaarkaitseala tagamise võimalikkust ja tingimusi.

Pinnavee kasutamisel ei tohi vee ammutamine veevärgi tarbeks rikkuda veekogus välja kujunenud *ökoloogilist tasakaalu*.

Valikuvõimaluse korral eelistatakse ühisveevärgi veeallikana *põhjavett, eelkõige arteesiavett*. Kui veeallika vesi ei vasta tarbija poolt kehtestatud nõuetele (st ei ole 1. kvaliteediklassi põhjavesi), tuleb vett *töödelda*.

Veekasutus ühisveevärgi tarbeks on *vee erikasutus*, milleks tuleb hankida luba (kui pinnavett võetakse veekogust rohkem kui 30 m<sup>3</sup>/d ja põhjavett rohkem kui 5 m<sup>3</sup>/d).

**Pinnaveeallika valikul** tuleb arvestada veekogu madalaimat ja kõrgeimat veetaset, vastavalt  $Z_{97\%}$  ja  $Z_{1\%}$ , vooluveekogu (jõe) puhul ka vähimat vooluhulka, milleks võetakse  $q_{95\%}$ . Pinnaveeallika ja veehaarde asukoha valikul tuleb arvestada *veekogu põhja ja kallaste võimaliku uhtumisega*, nähes vajadusel ette *põhjakindlustuse*.

Veehaaret ei ole soovitatav rajada kalade kudemise piirkonda, veetaimestiku jäänuste, planktoni, jää, lobjaka ja ujuprahi kuhjumiskohtadesse.

Veehaarde asukohas ei tohi veekogu põhi mudastuda.

**Põhjaveeallika valikul** tuleb arvestada, et põhjaveehaarde suure tootlikkuse korral (üle 500 m<sup>3</sup>/d ühest põhjaveekihist) on vajalik põhjaveevaru riikliku registrikande olemasolu.

## 3. VEEHAARDED

### 3.1. Veehaarete liigitus

Veehaare on vesiehitis, veevärgi esimene lüli, mis koosneb ehitistest ja seadmetest vee haaramiseks veekogust või maakoorest vee järgneva suunamiseks töotlusesse või vahetult tarbimisse. Veehaardeid võib liigitada paljude tunnuste alusel:

#### A. Pinnaveehaarded

1. Otstarbe järgi:
  - a) olmeveehaarded
  - b) tootmisveehaarded
  - c) ühisveehaarded
2. Veeallika järgi:
  - a) jõeveehaarded
  - b) järveveehaarded
  - c) kanaliveehaarded
  - d) mereveehaarded
3. Kasutusperioodi järgi:
  - a) püsiveehaarded
  - b) ajutised veehaarded
4. Sissevooluavade paiknemise järgi:
  - a) kaldveehaarded
  - b) sängiveehaarded
5. Veehaarde ja 1. astme pumpla paigutuse järgi:
  - a) ühitatud veehaarded
  - b) lahusveehaarded

*Ajutiste veehaarete hulka kuuluvad:*

- a) ujuvveehaarded
- b) sukelpump-veehaarded

*Raskete looduslike tingimuste korral veekogus kasutatakse abajasveehaardeid.*

*Sogase vee korral, samuti lojaka, kalade ja muu makroreostuse tõrjeks kasutatakse filterveehaardeid.*

#### B. Põhjaveehaarded

1. Vertikaalveehaarded:
  - a) puurkaevud
  - b) salvkaevud
2. Kaptaažveehaarded
3. Horisontaalveehaarded:

- a) torudreenid
- b) veehaarde galeriid

4. Vihkveehaarded

5. Infiltratsiooniveehaarded.

## 3.2. Pinnaveehaarded

Pinnaveehaarded ehitatakse pumplaga kokku (*ühitatud veehaare*) või pumplast eraldi (*lahusveehaare*). Veehaarde töökindluse tõstmiseks, kui seda nõuavad rasked looduslikud tingimused veekogus (jäälolud, lobjakas, põhjamuda, kalad), kasutatakse kaldaveehaardena *abajasveehaaret*.

Kui raskete tingimuste korral kasutatakse sängiveehaaret, rajatakse see võimalusel *filterveehaardena*. Veehaarded töötavad pidevalt (*statsionaarsed*) või periooditi (*ajutised veehaarded*). Ajutise veehaardena kasutatakse *ujuvveehaaret* või *sukelpumpveehaaret*.

### 3.2.1. Kaldaveehaarded

Kaldaveehaarde põhiehitus on *kaldakaev*, millel on vähemalt kaks teineteisest sõltumatult töötavat *paralleelset sektsiooni*. Kaldakaev on jagatud *sissevoolu-* ja *imikambriks*, mis on teineteisest eraldatud kas tasapinnalise või *pöörleva sõelaga*. Imikambri on ühendatud 1. astme pumba imitoru.

Kui veekogu kalda pinnase tugevus ja muud tehnilised ning majanduslikud tingimused seda võimaldavad, projekteeritakse kaldaveehaare *ühitatud veehaardena*. Vastasel juhul ehitatakse kaldaveehaare *lahusveehaardena*.

Kaldakaevu veekogus asuvasse seinu tehakse *võrega varustatud sissevooluava*. Võre peab saama puhastamiseks eest ära võtta. Võre valmistatakse enamasti metallvarrastest paksusega 10...12 mm, varraste vahekaugus 40...50 mm. Võret on jäätumise vältimiseks soovitatav *elektriga soojendada*.

Sissevooluava ristlõikepind arvutatakse valemiga

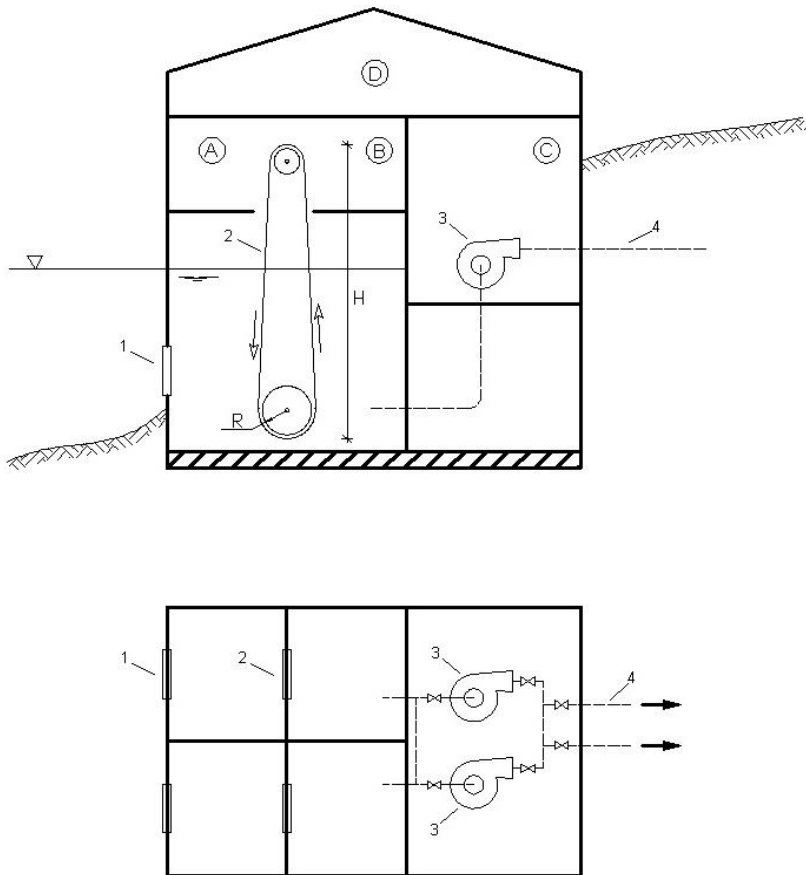
$$A_{s,a} = 1,25 Q_a k / v_a \quad (3.1)$$

kus  $Q_a$  on kaldakaevu sektsiooni arvutusvooluhulk m<sup>3</sup>/s;  
 $v_a$  – vee sissevoolu arvutuslik kiirus avas m/s;  
 $k$  – kitsendustegur, mille väärtus määratakse valemiga

$$k = (a + b) / a \quad (3.2)$$

kus  $a$  on varraste puhas vahekaugus;  
 $b$  – varraste paksus.

$v_a$  võetakse seisuveekogus 0,1 m/s, vooluveekogus sõltuvalt voolu kiirusest ja kalatõrje vajadusest 0,1...0,25 m/s. Suuremale voolukiirusele veekogus vastab suurem sissevoolukiirus. Juhul kui kalade sisseimemise oht puudub, valitakse suurem sissevoolukiirus. Sissevooluava alumine serv peab asuma vähemalt 0,5 m veekogu põhjast kõrgemal, sissevooluava ülemine serv vähemalt 0,3 m allpool jääkatte alumist serva minimaalse arvutusliku veeseisu korral.



Joonis 3.1. Ühitatud kaldaveehaarde skeem:

A – sissevoolukamber, B – imikamber, C – 1. astme pumpla, D – teeninduspaviljon, 1 – võre, 2 – pöörlev sõel, 3 – 1. astme pump, 4 – pumba survetoru

Vooluveekogude puhul tuleb arvestada veekogu *põhja võimaliku uhtumisega* kaldakaevu juures. Vajadusel nähakse ette *põhjakindlustus kivipuiste* näol.

Sissevoolu- ja imikambrit eraldava tasapinnalise sõela ristlõikepind arvutatakse nagu võre ristlõikepind, kusjuures kitsendustegur määratakse valemiga

$$k = \left( \frac{a + b}{a} \right)^2 \quad (3.3)$$

Sõel valmistatakse roostevabast traadist ( $a = 2...5$  mm,  $b = 1$  mm), mis on asetatud kahe jämedamast traadist ja suurema silmaga tugivõrgu vahele. Soovitatav on kasutada *pöörlevaid sõelu*, mida erinevad firmad tavaliselt valmistavad gabariitmõõtudega

$H = 5...20$  m,  $R = 0,7...0,8$  m ja tootlikkusega  $q = 1...5$  m<sup>3</sup>/s.

Madalaim veetase kaldakaevu sissevoolu- ja imikambrites arvutatakse, lähtudes madalaimast arvutuslikust veetasemest veekogus, millest on lahutatud rõhukaod võres 0,05 m ja sõelas 0,15 m.

Kaldakaevu põhja kõrgusmärk määratakse tingimusel, et madalaima veetaseme korral oleks kaldakaevus tagatud pumpade tööks vajalik vee sügavus.

### 3.2.2. Sängiveehaarded

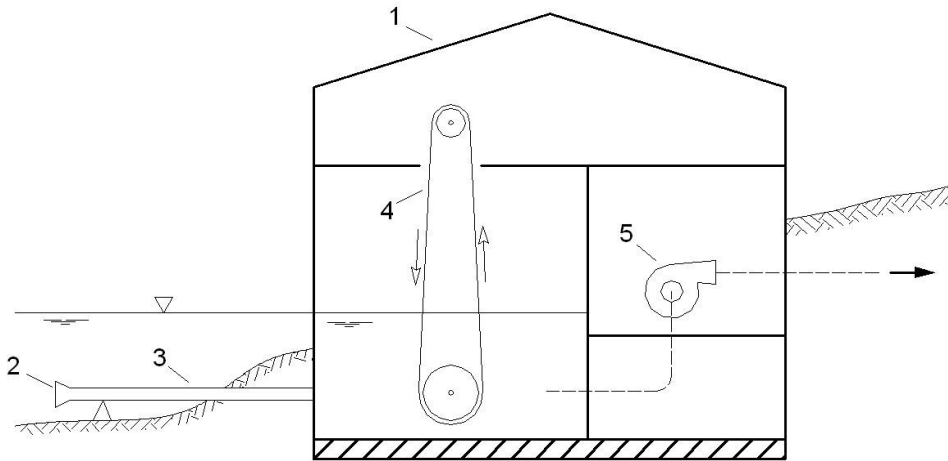
Sängiveehaaret kasutatakse lauge põhjaga veekogude puhul, kui sissevooluavade paigutamine kaldakaevu seinale pole võimalik.

Sängiveehaarde konstruktsioon ja sellele kehtivad nõuded on samad mis kaldaveehaardelgi. Täiendavalt kuulub sängiveehaardesse *päis* ja päist kaldakaevuga ühendav *vabavoolutoru*.

Sängiveehaarde päis on kas vabavoolutoru sissevooluava laiend või veekogu põhja paigutatud erikonstruktsiooniga kamber.

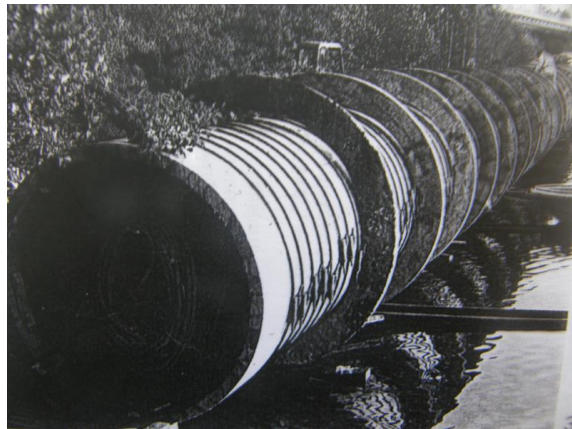
Päis peab olema kindlalt veekogu põhja kinnitatud ning kaitstud vigastuste eest. Päise kaugus veekogu kaldast peab tagama sissevooluavade sügavusele kehtestatud nõuete täitmise.

Päise sissevooluavad peavad olema vooluveekogus paigutatud risti voolu suunaga.



Joonis 3.2. Ühitatud sängiveehaarde skeem: 1 – kaldakaev, 2 – päis, 3 – vabavoolutoru, 4 – pöörlev sõel, 5 – 1. astme pump

Päisel peab olema vähemalt 2 sektsiooni, sektsioonide arv langeb kokku kaldakaevu sektsioonide ning vabavoolutorude arvuga. Vabavoolutoru lae kõrgusmärk kaldakaevu sissevoolul peab olema vähemalt 0,5 m allpool madalaimat veetaset kaldakaevus, mille arvutamisel tuleb lisaks rõhukadudele võres ja sõelas arvestada ka rõhukaoga vabavoolutorus.



Joonis 3.3. Puidust vabavoolutoru Helsingi Päijänne järve veehaardes

Vabavoolutoru läbimõõt  $D_t$  võetakse võimalusel vähemalt 300 mm, kusjuures soovitatavad arvutuslikud voolukiirused torus  $V_t$  on:

$$D_t = 300 - 500 \text{ mm} \quad V_t = 0,7 - 1 \text{ m/s}$$



$$D_t = 500 - 800 \text{ mm} \quad V_t = 1 - 1,4 \text{ m/s}$$

$$D_t > 800 \text{ mm} \quad V_t = 1,5 \text{ m/s}$$

Vabavoolutorus peab olema välistatud heljumi väljasadenemine (toru mudastumine).

*Mudastumist* kontrollitakse valemiga

$$M_0 \leq M_{arv} = 0,11 (1 - \omega/u)^{4,3} v_t^3 / g D_t \omega \quad (3.4)$$

kus  $M_0$  on vee hägusus veekogus  $\text{kg/m}^3$ ;

$M_{arv}$  – arvutuslik hägusus, mille puhul toru mudastub  $\text{kg/m}^3$ ;

$\omega$  – sette kaalutud keskmine hüdrauliline terasus  $\text{m/s}$ ;

$$u = v_t \frac{\sqrt{g}}{C} - \text{vee heljumiosakeste kaalutud keskmine hüdrauliline terasus } \text{m/s};$$

$v_t$  – voolukiirus torus  $\text{m/s}$ ;

$C$  – Chezy tegur, mille võib avaldada karedusteguri  $\lambda$  kaudu:

$$C = \sqrt{\frac{8g}{\lambda}} \quad (3.5)$$

Karedusteguri  $\lambda$  võib määrata  $Re$  arvu, toru läbimõõdu ja suhtelise kareduse  $\Delta e/D_t$  põhjal *Moody diagrammilt* (A. Maastik jt. Hüdraulika ja pumbad. Tartu 1995).

$Re = v_t D_t / \nu$ , kus  $\nu$  on vee kinemaatiline viskoosus  $\text{m}^2/\text{s}$ ;

( $\nu = \mu / \rho$ , kus  $\mu$  on vee dünaamiline viskoosus ja  $\rho$  – vee tihedus).

$\mu$  [ $\text{Pa} \cdot \text{s} = \text{N} \cdot \text{s}/\text{m}^2 = \text{kg} \cdot \text{m} \cdot \text{s}/\text{s}^2 \cdot \text{m}^2 = \text{kg}/\text{s} \cdot \text{m}$ ];

$\nu$  [ $\text{kg} \cdot \text{m}^3/\text{s} \cdot \text{m} \cdot \text{kg} = \text{m}^2/\text{s}$ ].

Vee viskoosus sõltub vee temperatuurist:

$$T^\circ = 0 \text{ }^\circ\text{C} \quad \nu = 1,792 (10^6 \text{ m}^2/\text{s})$$

$$4 \quad 1,567$$

$$10 \quad 1,308$$

$$20 \quad 1,007$$

$$30 \quad 0,804$$

$\Delta e$  – toru ekvivalentkaredus.

Kui tingimus  $M_0 \leq M_{arv}$  ei ole täidetud, tuleb suurendada voolukiirust torus.

### Näide

Määrata valemi (3.4) kasutamiseks vajalik Chezy tegur  $C$ , kui:

$D_t = 600 \text{ mm}$ ;  $v_t = 1,4 \text{ m/s}$ ;  $T^\circ = 10 \text{ }^\circ\text{C}$ .

Vee temperatuuri põhjal –  $\nu = 1,308 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$ ;

$Re = 1,4 \cdot 0,6 \cdot 10^6 / 1,308 = 642201$ ;

$\Delta e = 0,02 \text{ mm}$ ;  $\Delta e/D_t = 0,02/600 = 0,0000333$ ;

Moody graafikult  $\lambda = 0,013$ ;

$$C = \sqrt{\frac{8g}{\lambda}} = \sqrt{\frac{8 \cdot 9,8}{0,013}} = \sqrt{6030} = 77,6$$

$\lambda$  võib määrata ka valemiga, näiteks

$$\lambda = 0,0179/D_t^{0,3} (1 + 0,867/v_t)^{0,3} \quad (3.6)$$

(valem põhineb üldtuntud Darcy valemil  $h_1 = \lambda(L/D)v^2/2g$ , mida kasutatakse terasesest ja malmist veevärgitorude rõhukao arvutamiseks kui vee  $t^\circ = 10^\circ \text{C}$ ).

Lisaks tuleb töökindluse huvides ikkagi ette näha ka vabavoolutoru perioodiline vastassuunas läbiuhtumine. Selleks vajalik vee voolukiirus torus määratakse valemiga

$$v = 10(\omega D_t)^{0,25} \quad (3.7)$$

### 3.2.3. Abajasveehaarded

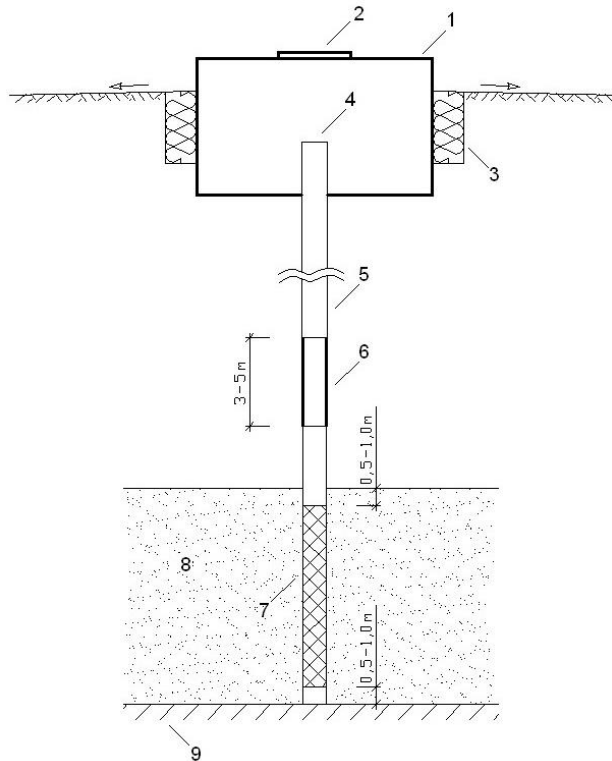
Raskete looduslike tingimuste korral vooluveekogudes (lobjakas, suure voolukiiruse tõttu ülesheljuv põhjamuda, jää jm) rajatakse voolusängist kanal (abajas), mille soppi paigutatakse kaldaveehaare. Sissevool abajasse suletakse vaiade, võrede, parvede vm tõkestusvahenditega. Väikese voolukiiruse korral abajas (0,15 m/s) kerkib lobjakas pinnale ja kiirendab jääkate tekkimist, muda ei helju üles ja sadeneb põhja, jää ei pääse abajasse. Hüdrauliliselt jagunevad abajad *ülalt sissevooluga* (abajas on rajatud voolu suunas) ja *alt sissevooluga* (abajas on vastu voolu suunda jões).

## 3.3. Põhjaveehaarded

### 3.3.1. Puurkaevud

#### 3.3.1.1. Puurkaevu tehniline lahendus

Puurkaev on kõige enam kasutatav põhjaveehaarde liik, eelkõige sügavamatest põhjaveehorisontidest vee saamiseks (arteesiavesi). Puurkaev on üldlevinud suurema tootlikusega veevärkides. Ettenähtud põhjaveekihti puuritakse tavaliselt 150...400 mm läbimõõduga vertikaalne kanal, mis seejärel toestatakse *mantelitorudega*. Puurkaevu põhielemendid on *suue* (survetorustiku, armatuuri, seadmete ühendamiseks), *tüvi* (manteltorudest toestatud kanal), *filter* (läbi mille toimub vee sissevool kaevu) ning *puurkaevupump* vee ülespumpamiseks põhjaveekihist. Puurkaevu suue paikneb *maaluses kambris* või *maapealses paviljonis*, kuhu sissepääs peab olema veevärgi valdaja kontrolli all.



Joonis 3.4. Maa-aluse kambri­ga puurkaevupumpla ristlõige: 1 – kamber, 2 – luuk, 3 – savilukk, 4 – puurkaevu suue, 5 – manteltorud (puurkaevu tüvi), 6 – tampon, 7 – filter, 8 – vettandev põhjaveekiht, 9 – vettpidav põhi

Kuna manteltorud võivad olla allapoole väheneva läbimõõduga (mille tulemusel kaev omandab nn teleskoopilise ristlõike), tuleb kaevu tüvi hermeetilisuse tagamiseks torude ühenduskohta jäävad praod tihendada *tamponiga*. Samuti on oluline, et kambri rajamisel tekkivate ebatiheiduste kaudu ei nõrguks põhjavette vihma-, sula- ega mingit muud maapinnalt pärit vett. Selleks peab olema paigaldatud *savilukk* paksusega 0,5 ja sügavusega 1 m. Maapind kambri ümber peab olema planeeritud ning languga kambri poolt.

### 3.3.1.2. Puurkaevu filtrid

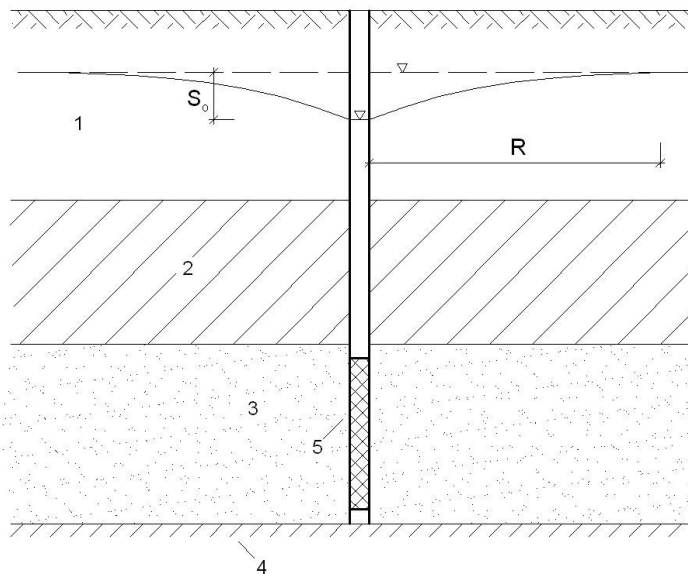
*Puurkaevu filtri* ülesanne on vältida koos veega peenemate pinnaseosakeste sattumist puurkaevu. Filter kinnitatakse alumise manteltoru külge ning peab olema pidevalt uputatud olekus, arvestades ka veepinna alanemisega kaevus vee väljapumpamisel. Filter koosneb *karkassist* ja selle peale moodustatud *filtrivast kihist*. Sõltuvalt karkassist eristatakse *torufiltreid* (karkassiks on perforeeritud toru) ja *varrasfiltreid* (karkassi moodustavad tugiplaatide külge kinnitatud vardad). Filtriv kiht moodustatakse traatmähisest (*traatfiltrid*), tihedast võrgust (*võrkfiltrid*), kruusast (*kruusfiltrid*).

Viimasel juhul võib kasutada kas lahtist kruusapuistet, nn *koryfiltreid* (karkassi ümber kinnitatud „korvidesse” kruusast ja jämeteralisest liivast paigutatud filtrikiht) või *plokkfiltreid* (puistematerjalist ja sideainest moodustatakse poorne monoliitne plokk, mis kinnitatakse karkassi ümber). Torufilter võib olla valmistatud ka pilutatud torust (*pilufiltrid*).

### 3.3.1.3 Puurkaevu depressioonilehter

Kuna arteesiavesi on vettandvas kihis rõhu all, on *staatiline veetase* puurkaevus põhjaveekihi laest kõrgemal. Kui see tase ulatub maapinnast kõrgemale, on tegemist *ülevoolava puurkaevuga*. Vee väljapumpamisel puurkaevust veetase kaevus alaneb *dünaamilise tasemeni*. Veetaseme alanemist nimetatakse *depressiooniks* ja tähistatakse  $S_0$ . Tänu rõhkude vahele toimub vee juurdevool kaevu. Ümber kaevu moodustub *depressioonilehter*, mille raadius  $R$  (*depressiooniraadius*) määrab, kui kaugele põhjaveekihti ulatub vaadeldavast kaevust vee väljapumpamise mõju. Seetõttu nimetatakse depressiooniraadiust ka *kaevu mõjuraadiuseks*.  $R$  sõltub vettandva kihi tihedusest ja kaevu *debitist* (kaevust ammutatava põhjavee voluhulgast) ning määratakse hüdroteoloogiliste uuringutega. Peeneteralise liiva korral on  $R$  tavaliselt 50...100 m, jämeteralise liiva korral võib ulatuda 1500...2000 m-ni.

Kaevu mõjuraadiust on eriti oluline arvestada *puurkaevude grupi* tootlikkuse määramisel, mil puurkaevud on üksteisele sedavõrd lähedal, et üksikute puurkaevude depressiooniraadiused osaliselt kattuvad.



Joonis 3.5. Arteesiapuurkaevu depressioonilehter: 1 – maakoore pealne kiht, 2 – vettpidav kiht, 3 – põhjavett sisaldav maakoorekiht, 4 – vettpidav põhi, 5 – puurkaevu filter

Sõltuvalt puurkaevu põhjaveekihti sissetungimise sügavusest jagatakse puurkaevud *täielikeks puurkaevudeks* (puurkaev ulatub läbi kogu põhjavett sisaldava maakoorekihi) ja *mittetäielikeks puurkaevudeks* (puurkaev ei ulatu eelnimetatud maakoorekihi põhjani).

#### 3.3.1.4. Puurkaevude veetõsteseadmed

Puurkaevude veetõsteseadmeid nimetatakse *arteesiapumpadeks*. Nende eripära on selles, et nad peavad mahtuma suhteliselt väikese läbimõõduga ümmargusse puurkaevu ning enamasti olema suure tõstekõrgusega, mis saavutatakse mitme tööratla järjestikuse ühendamisega. Seetõttu on arteesiapumbad torukujulised.

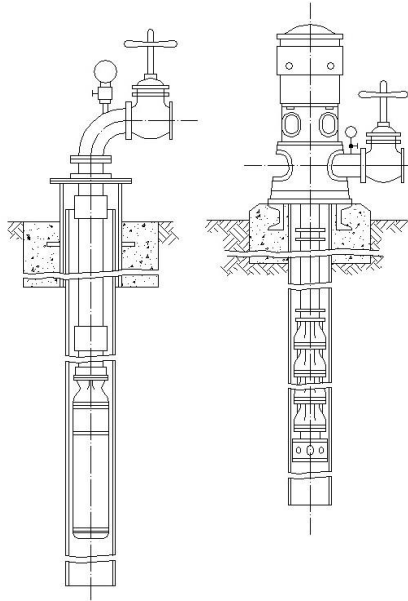


Joonis 3.6. Arteesiapumbad

Elektrimootori ja pumba ühendamise järgi jagatakse arteesiapumbad kahte rühma:

*pika ülekandevõlliga pumbad*, mille puhul elektrimootor asub üleval paviljonis või kambris ja pump paikneb allpool põhjaveehorisonti ning on mootoriga ühendatud ülekandevõlliga;

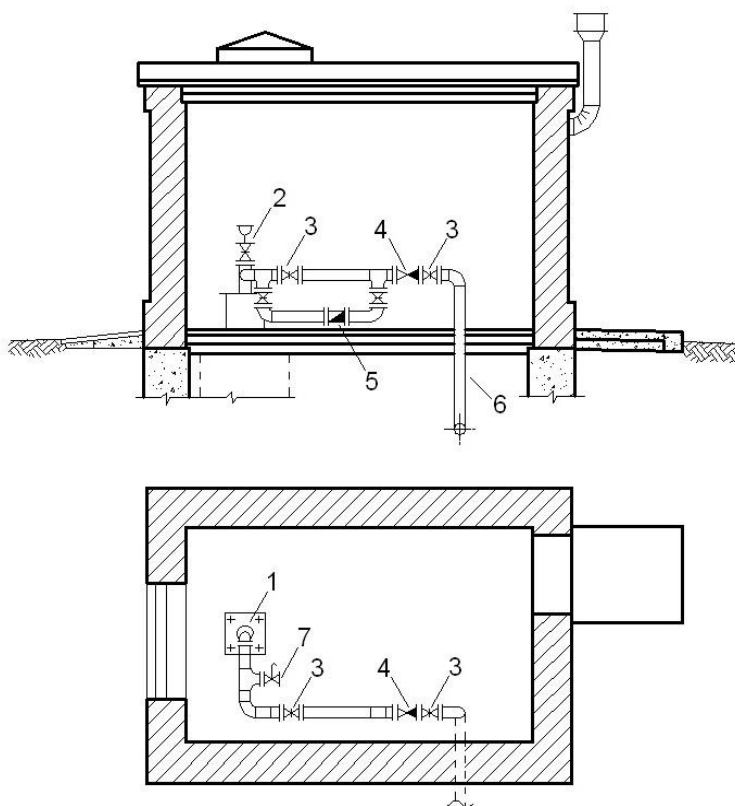
*sukelpumbad*, milles mootor koos pumbaga on suletud kinnisesse, vee alla lastud korpusesse. Sügavatest kihtidest vee pumpamisel on viimased enam levinud.



Joonis 3.7. Sukelpump (vasakul) ja pika ülekandevõlliga pump

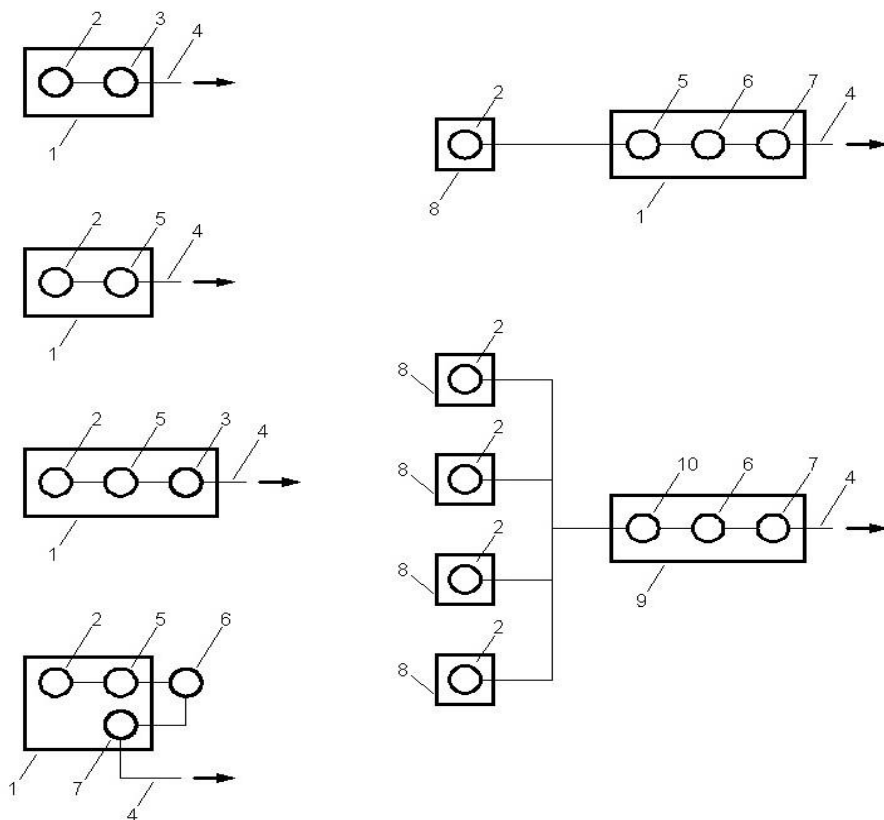
### 3.3.1.5. Puurkaevupumplate sisseseade ja ühenduskeemid

Puurkaevupumpla paviljonis või -kambris on vajalikud: veemõõtja, tagasilöögiklapp, manomeeter, veeproovide võtmise kraan, möödavoolutorustik, õhueraldi, vee nivoomõõtja, sulgemisarmatuur torustikul, mõõte- ja automaatikaseadmed puurkaevu töö kontrollimiseks ning vajadusel käsitsijuhtimisele ümberlülitamiseks. *Möödavoolutorustik* on vajalik, tagamaks vee juhtimist veemõõtjast mööda (veemõõtja vahetus, avariiolukord jm), *õhueraldi* kõrvaldab veest lahustunud gaasid enne vee suunamist survetorustikku.



Joonis 3.8. Puurkaevupumpla paviljoni skeem: 1 – puurkaevu suue (sukelpump on puurkaevus), 2 – õhueraldi, 3 – sulgemisarmatuur, 4 – tagasilöögiklapp, 5 – veemõõtja, 6 – survetorustik, 7 – sulgur koos kraaniga veeproovide võtmiseks ja vooliku ühendamiseks vee juhtimiseks kanalisatsiooni (näiteks proovipumpamisel)

Puurkaevu(de) ühendusskeem veevärgiga sõltub puurkaevude arvust, veetötluse olemasolust, veevärgi võimsusest ja veevärgi üldisest lahendusest. Järgnevalt on esitatud puurkaevude enam levinud ühendusskeeme.



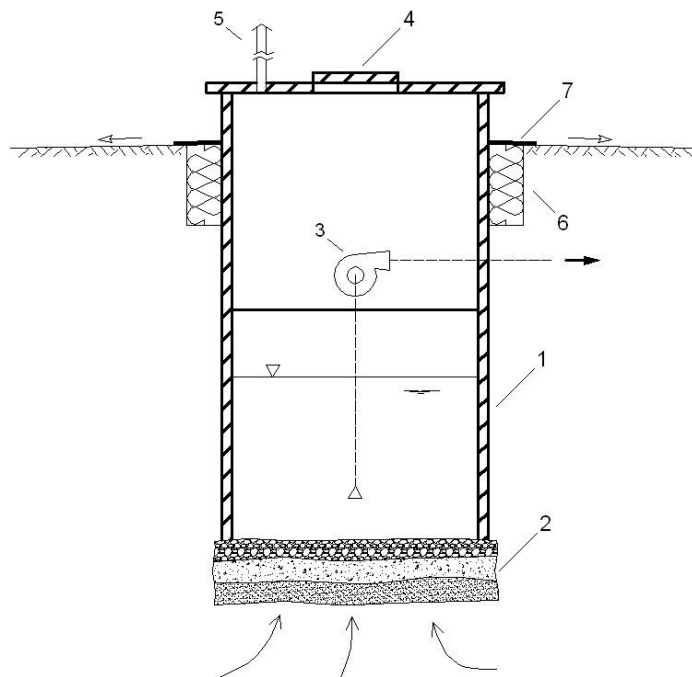
Joonis 3.9. Puurkaevude võimalikud ühendusskeemid veevärgiga: 1 – puurkaevupumpla (paviljon), 2 – puurkaev koos 1. astme pumbaga, 3 – hüdrofoor, 4 – survetorustik, 5 – survefilter, 6 – puhta vee reservuaar, 7 – 2. astme pumpla, 8 – puurkaevupumpla (maa-alune kamber), 9 – veetötlusjaam, 10 – veetötlusseadmed

Ühe puurkaevuga ja ilma veetötluseta veevõrkides on levinud ühendusskeem läbi *hüdrofoori*, mis on paigutatud puurkaevupumpla paviljoni (1. skeem). Hüdrofoor ühtlustab rõhku veeõrgus ning tagab teatud *reguleeriva mahu* olemasolu. Kui vett on vaja eelnevalt töödelda (näiteks rauaärastus), on tavaline, et selleks kasutatakse survefiltrit kas koos hüdrofooriga või ilma (2. ja 3. skeem). Suurema võimsusega puurkaevu (veevärgi) korral on kasutusel ka eraldi *puhta vee reservuaar*, mis asub väljaspool puurkaevupumplat (4. skeem). Kuna reservuaaris on vesi enamasti atmosfääri rõhu all, on vajalik ka 2. astme pump. Kui filter, puhta vee reservuaar ja 2. astme pump asuvad koos samas paviljonis, paikneb puurkaev sageli väljaspool maa-aluses kambris (5. skeem). Mitmest puurkaevust koosneva veevärgi ning mitmeastmelise veetötluse korral (näiteks Pärnu Reiu veetötlusjaam) juhitakse toorvesi erinevatest puurkaevudest ühte tsentraalsesse veetötlusjaama, kus puhta vee reservuaar võib asuda nii samas hoones kui ka eraldi väljaspool seda (6. skeem).



### 3.3.2. Salvkaevud

Salvkaevud on vanimaid põhjaveehaarete liike, neid kasutatakse põhiliselt pinnasevee võtmiseks veekihi lasumissügavusel kuni 10...15 m. Kasutatakse enamasti hajaasustus-alal olevate üksikute hoonete veega varustamisel. Vee sissevool kaevu toimub enamasti läbi kaevu põhja.

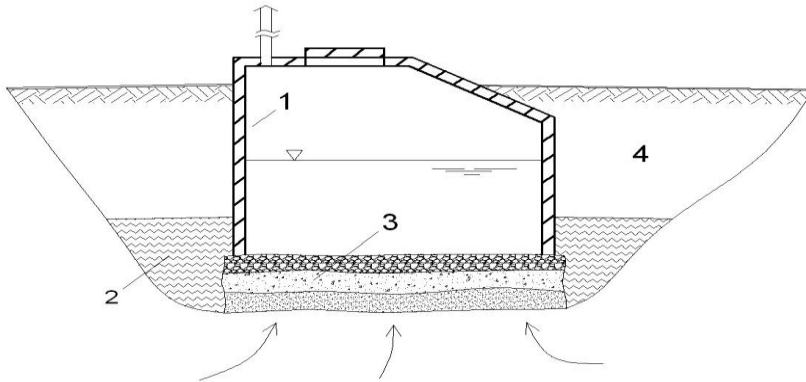


Joonis 3.10. Salvkaev: 1 – r/b kaevurõngad, 2 – pööratud filter, 3 – pump, 4 – luuk, 5 – ventilatsioonitoru, 6 – savilukk, 7 – kõvakate

Varemalt rajati salvkaeve r/b rõngastest läbimõõduga 1,5...3 m nn *allalastava kaevu* põhimõttel, tänapäeval kasutatakse selleks põhiliselt puuragregaate, mille abil on võimalik ehitada kuni 1 m läbimõõduga salvkaeve.

### 3.3.3. Kaptaažveehaarded

Kaptaažveehaardeid kasutatakse allikate vee haaramiseks kohtades, kus need piisavalt kontsentreeritult maapinnale tungivad. Sinna rajatakse *kaptaažkaev*, kuhu vesi läbi kaevu põhja rajatud pööratud filtri sisse imbub.



Joonis 3.11. Kaptaažkaev allikavee haaramiseks: 1 – r/b kamber, 2 – savilukk, 3 – pööratud filter, 4 – täitepinnas

Kui allikad väljuvad maapinnale mitmes lähestikku paiknevas kohas, võib kaevud vabavoolu- või sifoontorustiku abil omavahel ühte kogumiskaevu ühendada. Kui allikad väljuvad maapinnale hajutatult, võib kaevu ette rajada *veehaardeseina*.

### 3.3.4. Horisontaalveehaarded ja vihkveehaarded

*Horisontaalveehaardeid* kasutatakse kuni 8 m sügavusel lasuva *pinnasevee* või *infiltratsioonivee* haaramiseks. Nad jagunevad *torudreenideks* ja *veehaardegaleriideks*. Torudreenid on vähemalt 150 mm läbimõõduga külgedelt või laest perforeeritud torud, mis paigutatakse kaevikusse languga kogumiskaevu poole. Kaevik torude ümbert täidetakse liivapuustega, selle peale paigaldatakse täite- ja kasvupinnas ning murekamar. Drenaažitorud töötavad osalise täitega ning arvutatakse analoogselt isevoolsetele kanalisatsioonitorustikele, võttes voolukiiruseks vähemalt 0,7 m/s.

Veehaardegaleriid on sarnased ehitised kanalisatsioonikollektoritele ning need valmistatakse suurema läbimõõdu ja sageli ka erineva profiiliga (munakujulise, elliptilise või muu kujuga) torudest.

*Vihkveehaarded* koosnevad vertikaalsest šahtist, millest on põhjaveekihti horisontaalselt sisse pressitud perforeeritud drenaažitorud. Torud võivad olla paigutatud radiaalselt kiirtevihuna ümber šahti ühtlaselt või koondatud vajalikus suunas, olla erineva pikkusega ning erinevalt kõrguselt sisse pressitud. Šahti suubumisel on torud varustatud sulgemisarmatuuriga. Vihkveehaardeid kasutatakse põhjaveekihi lasumis-sügavusel kuni 20 m ja lasundi väikese paksuse korral. Need on levinud näiteks *loodusliku infiltratsioonivee* haaramiseks infiltratsiooniveehaardetes, mil šaht asub veekogu kaldal ja drenaažitorud on pressitud veekogu põhja alla.

### 3.3.5. Infiltratsiooniveehaarded

Veehaardeid, mis haaravad maakoode imunud (infiltreerunud) pinnavett, nimetatakse *infiltratsiooniveehaareteks*. Konstruksioonilt on need põhjaveehaarded, kõige sagedamini puurkaevud, horisontaalveehaarded või vihkveehaarded. Infiltratsiooniveehaare võib baseeruda *loodusliku infiltratsioonivee* või *tehis põhjavee* kasutamisel. Esimesel juhul imbub vesi maakoode läbi loodusliku veekogu põhja, teisel juhul immutatakse vesi läbi selleks rajatud *imbväljaku* põhja.

*Loodusliku infiltratsioonivee* haaramisel määratakse infiltratsiooniveehaarde kaugus veepiirist, veehaardeehitiste paigutus, arv ja tootlikkus hüdrogeoloogiliste uuringute ja majandusliku analüüsi alusel. Kui infiltratsiooniveehaardena kasutatakse *puurkaeve*, rajatakse need tavaliselt piki veekogu kallast. Kui kasutatakse *horisontaalveehaaret*, paigaldatakse drenaažitorustik piki veekogu kallast. Kui kasutatakse *vihkveehaaret*, rajatakse vertikaalne šaht veekogu kaldale. Vajadusel võib selle paigutada ka veekogusse. Vihkveehaarde horisontaalsed drenaažitorud pressitakse veekogu põhja alla.

*Tehis põhjavee* moodustamist kasutatakse looduslike põhjaveevarude suurendamiseks, pinnavee kvaliteedi parendamiseks, maa-aluse reguleeriva mahu loomiseks, vee temperatuuri aastaringseks ühtlustamiseks, põhjaveetaseme tõstmiseks, veetöötlusjaama ehitusmaksumuse alandamiseks ja jaama alla mineva territooriumi vähendamiseks. Tehis põhjavee moodustamisel põhinev infiltratsioonisüsteem koosneb vee eelpuhastusseadmetest, vee imbväljakule pumpamise ja jaotamise seadmetest, imbväljakust ning infiltratsiooniveehaardest.

Tehis põhjavee moodustamiseks on vajalik maapinna hea või keskmine veejuhtivus (filtratsioonimoodul vähemalt 10 m/d) ning imbväljakule pumbatava vee madal hägusus, värvus ja oksüdeeritavus. See eeldab vee eelpuhastamist enne imbväljakule juhtimist. Seda on otstarbekas teha juhul, kui pinnavee hägusus on üle 10 mg/l, värvus üle 40 kraadi ja oksüdeeritavus üle 40 mg/l KMnO<sub>4</sub>.

*Imbväljak* on ristkülik laiusega kuni 30 m ja pikkusega kuni 500 m, veekihi sügavus väljakul valitakse 0,7...1,5 m. Imbväljaku rajamiseks kõrvaldatakse maapinna pealmine kiht kuni vett hästi läbilaskva liiva või kruusani. Tekkivale aluspõhjale moodustatakse 0,5...0,8 m paksune liivast filtri kiht, soovitatavalt 0.5...2 mm terajämedusega liivast. Imbväljaku põhi peab olema vähemalt 4...5 m loodusliku põhjavee tasemest kõrgemal. Toorvesi juhitakse imbväljakule kas vihmute abil, jaotustorustiku või ülevoolu kaudu.

### 3.4. Veehaarde sanitaarkaitsealad

Vastavalt **veeseadusele** on *veehaarde sanitaarkaitseala* (SKA) joogivee võtmise kohta ümbritsev maa- ja veela, kus veeomaduste halvenemise vältimiseks ja veehaarde-rajatiste kaitsmiseks kitsendatakse tegevust ja piiratakse liikumist (muudel ühisveevärgi rajatistel on *kaitsevöönd*). SKA ulatus ja seal kehtivad kitsendused kehtestab

veeseadus, SKA moodustamise ja projekteerimise kord on kindlaks määratud keskkonnaministri *määrusega*. Osale pinnaveeallikatel paiknevatele veehaaretele on kitsendused kehtestatud *looduskaitseadusega* (ranna või kalda piiranguvööndi kitsendused). Seaduse järgi ei pea SKA-d moodustama, kui vett võetakse põhjaveekihi alla 10 m<sup>3</sup>/d ühe kinnisasja vajadusteks. See on veevõtukoht, millele keskkonnaminister kehtestab hooldusnõuded.

Juhul kui põhjaveehaarde tootlikkus on üle 500 m<sup>3</sup>/d, on nõutav ka *veehaarde SKA projekti* koostamine. Pinnaveehaardele on nõutav SKA projekti koostamine sõltumata selle tootlikkusest. SKA ulatus sõltub veevärgi tootlikkusest ning sellest, kas on tegemist pinna- või põhjaveehaardega.

### **Pinnaveehaare**

#### *a) vooluveekogu*

SKA ulatub 200 m veevõtukohast ülesvoolu, 50 m allavoolu, 50 m veevõtukohast mõlemale poole mööda veekogu kaldaga risti tõmmatud ja veevõtukohta läbivat joont.

#### *b) seisuveekogu*

SKA hõlmab kogu veekogu akvatooriumi koos 90 m laiuse kaldavööndiga. Kui veekogust võetakse vett üle 500 m<sup>3</sup>/d, kehtestatakse SKA ulatus kas veehaarde või sanitaarkaitseala projekti alusel.

### **Põhjaveehaare**

SKA kohta kehtivad nõuded on seadustatud *ainult puurkaevudele*. Juhul kui puurkaevu tootlikkus on alla 10 m<sup>3</sup>/d ning vett võetakse sealt *ühe kinnisasja* tarbeks, SKA-d ei moodustata ning sellele puurkaevule kehtestatakse *veevõtukohta hooldusnõuded*. Juhul kui vett võetakse ühisveevärgi tarbeks ning veehaarde tootlikkus on alla 500 m<sup>3</sup>/d, fikseeritakse SKA piirid ja kitsendused *veehaarde projektis* (kui üle 500 m<sup>3</sup>/d – SKA projektis). Üldjuhul on SKA *50 m raadiuses ümber puurkaevu või 50 m laiuse vööndina ümber puurkaevude rea*.

Keskkonnaminister võib SKA ulatust muuta veehaarde või SKA projekti alusel, kui:

- 1) veehaarde tootlikkus on alla 10 m<sup>3</sup>/d – vähendada 10 meetrini;
- 2) tootlikkus on üle 10 m<sup>3</sup>/d ja põhjaveekiht on hästi kaitstud – vähendada 30 meetrini;
- 3) tootlikkus on üle 500 m<sup>3</sup>/d – suurendada 200 meetrini.

*Põhjaveehaarde SKA-l kehtivad kitsendused:*

Majandustegevus on seal keelatud, v.a *veehaarderajatiste teenindamine, metsa hooldamine, heintaimede niitmine ja veeseire*. Samad kitsendused kehtivad ka Tallinna veehaardele Ülemiste järvel koos 90 m laiuse kaldavööndiga ning Narva jõel olevale Narva linna veehaardele. Ülejäänud pinnaveehaaretele, k.a Tallinna teistele veeallikatele, kehtivad *looduskaitseaduse ranna või kalda piiranguvööndi* kitsendused (keelatud on reoveesette laotamine, matmispaiga rajamine, maavara kaevandamine, maa-ala kruntideks jagamine ilma detailplaneeringuta jm).

## 4. VÄLISVEEVÕRK JA SELLEL OLEVAD RAJATISED

### 4.1. Torud, torustikud, liitmikud, toruarmatuur

Veevõrk koosneb torustikest, mille ülesanne on vee jaotamine tarbijatele. Ühisveevõrgis on tarbijateks kinnistud, mis on ühendatud ühisveevõrgiga läbi *liitumispunkti*.

Torustik on torude süsteem koos liitmike, armatuuri ja muude seadmetega. *Toru* on torustiku sirge ning ühtlase läbimõõduga lõik. *Liitmikud* on detailid torude ühendamiseks, *toruarmatuur* – seadmed veevoolu sulgemiseks, vooluhulga või rõhu reguleerimiseks torustikus (ventiilid, siibrid, tagasilöögiklapid, pöördklapid, õhueraldid, kastmiskraanid, veevõtupostid, hüdrandid e vesikud, reduktsiooniklapid).

Põhinõuded veevõrgitorudele on: *vastupidavus rõhule* soovitatavalt vähemalt 1,0 MPa ( $1 \text{ Pa} = 1 \text{ N/m}^2$ ;  $1 \text{ at} = 1 \text{ kgf/cm}^2 = 1 \text{ bar} = 10 \text{ m H}_2\text{O} = 0,1 \text{ MPa}$ ;  $1 \text{ MPa} = 10^3 \text{ kPa} = 10^6 \text{ Pa} = 10 \text{ at} = 10 \text{ bar} = 100 \text{ m H}_2\text{O}$ ), *korrosioonikindlus*, *kerge paigaldatavus* ning *keemiline püsivus veekeskkonnas*. Ühisveevõrgis kasutatakse malmist, terasest ja plastist torusid.

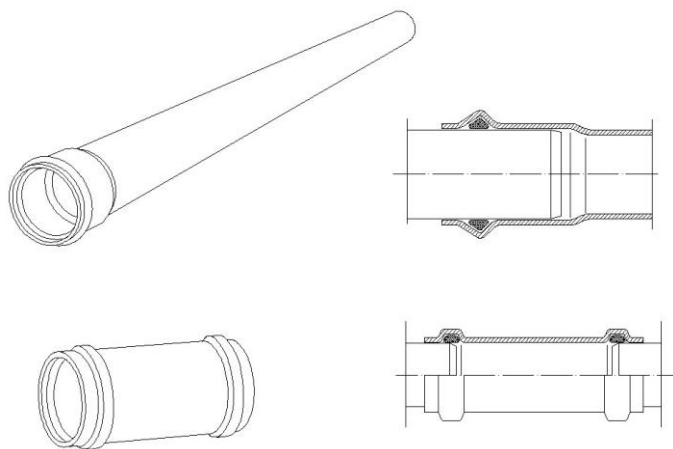
*Malmtorud* valmistatakse tempermalmist, torud on kaetud seestpoolt 4...6 mm tsemendikihi. Toru ühes otsas on *muhv* torude ühendamiseks. Tihendamiseks kasutatakse enamasti *kummirõngaid*.

*Terastorud* on vastupidavad kõrgele rõhule ja mehaanilisele koormusele, samas aga madala korrosioonikindlusega. Torud ühendatakse *keevitades* või *keermestatud liitmike abil* (tsingitud terastorud sisevõrkudes).

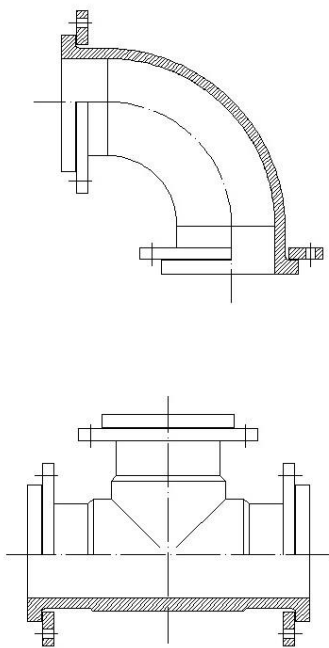
*Plasttorud* on korrosioonikindlad, kerged, sileda pinnaga, kergesti töödeldavad ja paigaldatavad, samas aga suure soojuspaisumisega, nende paigaldamine ei ole soovitatav külma ilmaga ( $-20 \text{ }^\circ\text{C}$ ).

Enam kasutatavad plasttorud on *polüvinüülkloriidist* (PVC) ja *polüetüleenist* (PE). PVC torud on muhviga või muhvita, pikkusega enamasti 6 m. Muhviga torud ühendatakse kummirõngastihendiga, muhvita torud kummirõnga ja liitmike abil. PE torud on kas *kõrgtihedast polüetüleenist* (PEH) või *keskmise tihedusega materjalist* (PEM). Ühendatakse kas *muhvidega*, *äärikutega*, *elekterkeevitusega* (elekterkeevitusmuhve kasutades) või *põkk-keevitusega* (torude otsad keevitatakse vahetult kokku).

*Liitmikud* valmistatakse toruga üldjuhul samast materjalist (plasttorusid ühendatakse sageli malmlitmikega). Ühendamine toruga toimub keermega (tsingitud terastorud sisevõrkudes) või *kummirõngastihendiga*, *äärikute* kasutamisel ühendatakse need omavahel kinnituspoltidega.



Joonis 4.1. PVC torude muhvhendus



Joonis 4.2. Äärikutega liitmikud PE torude ühendamiseks



Joonis 4.3. Keermestatud liitmikud tsingitud terastorude ühendamiseks



Joonis 4.4. Pöördklapp



Joonis 4.5. Kiilsiber



Joonis 4.6. Õhualdusklappe



## 4.2. Veevärgi, veevõrgu ja veetöötlusjaama tootlikkuse määramine

Veevärgi, veevõrgu ja sellel olevate seadmete ning ehitiste projekteerimisel saab kasutada näiteks järgmiste standardite tingimusi:

1. EVS 921: 2014 Veevarustuse välisvõrk.
2. EVS 812 – 6: 2012 Ehitiste tuleohutus, osa 6: Tuletõrje veevarustus.
3. EVS 835: 2014 Hoone veevõrk.

Tuleb arvestada, et veetöötlusjaam (VTJ) peab tootma vett veevärgi summaarse ööpäevase tarbimise katmiseks ( $Q_{summ.t}$ ) ja omatarbeks ( $Q_{ot}$ ) ning looma vajaliku veevaru tulekustutuseks ( $Q_t$ ). Järelikult VTJ summaarne ööpäevane tootlikkus

$$Q_{summ.d} = Q_{summ.t} + Q_{ot} + Q_t \text{ m}^3/\text{d} \quad (4.1)$$

$Q_{summ.t}$  koosneb:

- 1) olmetarbimisest elamutes –  $Q^{el}_{max d}$ ;
- 2) olmetarbimisest mittelehoonetes –  $Q^{m-el}_{max d}$  (koolid, lasteasutused, ravi-asutused, bürood, ettevõtted, hotellid, kinod, teatrid, restoranid jms);
- 3) ühisveevärgi kaudu kaetavast tootmisvee tarbimisest ettevõtetes –  $Q^{toom}_{max d}$ ;
- 4) parkide, haljasalade ja tänavate kastmisvee tarbimisest –  $Q^{kastm}_{max d}$ .

### Olmetarbimine elamutes

*Maksimaalne ööpäevane tarbimine*

$$Q^{el}_{max d} = K_{max d} Q^{el}_{k d} \text{ m}^3/\text{d} \quad (4.2)$$

kus  $K_{max d} = 1,2$  on elanike veetarbimise ebaühtlustegur;

$Q^{el}_{k d}$  – elanike keskmine ööpäevane veetarbimine;

$Q^{el}_{k d} = N Q_n$ ;

$N$  – elanike arv asumis;

$Q_n$  – veetarbimishorm l/el.d.

*Maksimaalse tarbimisega ööpäeva tipptunni tarbimine*

$$Q^{el}_{max h} = K^{el}_{max h} K^{el}_{max h} \frac{Q^{el}_{max d}}{24} \text{ m}^3/\text{h} \quad (4.3)$$

kus  $K^{el}_{max h} = A^{el}_{max} B^{el}_{max}$ ;

$A^{el}_{max} = 1,2-1,4$ ;

$B^{el}_{max} = 1 \dots 4,5$  – sõltub elanike arvust:

N, 10 <sup>3</sup>	B <sub>max</sub>
0,1	4,5
0,15	4,0
0,2	3,5
0,3	3,0
0,5	2,5
0,75	2,2
1,5	1,8
2,5	1,6
4,0	1,5
6,0	1,4
10	1,3
20	1,2
50	1,15
100	1,1
300	1,05
>1000	1,0

Vastavalt standardile (EVS 835:2014 Hoone veevõrk) määratakse olmevee keskmine arvutuslik tarbimine hoonetes sõltuvalt kasutatavatest veevõtuseadmetest. Ühiskondlike hoonete puhul võib lähtuda tarbijate liigist ning vastavad andmed võtta standardis esitatud tabelist.

Ühisveevõrgi kaudu kaetav tootmisvee tarbimine ettevõtetes ( $Q^{tootm.}_{max d}$ ) määratakse tootmisettevõtetest saadavate andmete põhjal, parkide, haljasalade ja tänavate kastmisvee tarbimine ( $Q^{kastm.}_{max d}$ ) vastavaid objekte haldavate firmade andmete alusel.

VTJ omatarve  $Q_{ot}$  sõltub põhiliselt VTJ filtrite uhtevee korduskasutuse olemasolust ning võetakse:

3–4%  $Q_{summ. t}$  – st (korduskasutus olemas)

10–14%  $Q_{summ. t}$  – st (korduskasutus puudub)

Tuletõrje veevajadus määratakse kindlaks Päästeameti poolt kooskõlastatult kohaliku omavalitsusega. Tuletõrjeveevarustus projekteeritakse, lähtudes standardist EVS 812–6: 2012 „Ehitiste tuleohutus“, osa 6: Tuletõrje veevarustus.

Tulekustutuseks vajalik veemaht  $W_t$  määratakse, lähtudes üheaegsete tulekahjude arvust ( $n = 1–2$ ), mis omakorda sõltub elanike arvust asustatud punktis: kuni 30 000 el – 1; üle 30 000 el – 2; ühe tulekahju normvooluhulgast  $q_u$ , mis sõltub hoone kubatuurist ja korruste arvust ning võetakse 10–35 l/s; tulekahju arvutuslikust kestusest ( $T_t = 2–6$  h). Viimane määratakse hoone korruste arvu ja tuleohtlikkuse põhjal. Seega,

$$W_t = 3,6 \cdot n \cdot q_t \cdot T_t \text{ m}^3 \quad (4.4)$$

Tulekustutusvesi säilitatakse *puutumatu tagavarana* VTJ puhta vee reservuaaris. Välistulekahju kustutusvett võib säilitada ka *looduslikus* või *tehisveekogus* või *tuletõrje veereservuaaris*. Tuletõrjeevarustuse standard ütleb ka, et tehisliku veevõtukohta tühjenemise korral peab selle täitmine olema tagatud 72 tunni jooksul. Ühisveevärgist võetakse kustutusvett läbi veevõrgutorustikul oleva *hüdrandi* (*vesiku*), millele asetatakse *tuletõrjepüstik* e *hüdrandi stender*. Ühisveevärgi veevõrk on alati *madalrõhuvõrk*, milles tagatakse vabarõhk 10...60 m H<sub>2</sub>O sõltuvalt korruste arvust: ühekorruselised elamud – 20 m; kahekorruselised – 24 m; iga järgmise korrusega lisandub 4 m. Tulekahju korral luuakse selles võrgus kustutamiseks vajalik rõhk *liikuva mootorpumba* abil. Tulekaitse seisukohalt võib veevõrk olla ka *kõrgrõhuvõrk*, milles tulekahju korral luuakse pumplas asuva pumba abil täiendav rõhk, mis tagab 10 m kõrguse kompaktse joa kõrgeima hoone kõrgemas punktis. Pump lülitub töösse kas automaatselt või manuaalselt (hüdrandikraani avamisega). See tagab tulekustutamise võimaluse ilma liikuva mootorpumbata. Selliseid süsteeme kasutatakse vastutusrikkamatel tootmisobjektidel.

Veehaare, 1. astme pumbad ja VTJ arvutatakse summaarsele ööpäevasele tootlikkusele  $Q_{summ.d}$ , 2. astme pumbad ja veevõrk arvutatakse maksimaalse tarbimisega ööpäeva tipptunni tarbimisele  $Q_{max h}$ .

$$Q_{max h} = Q_{max h}^{el} + Q_{max h}^{m.el} + Q_{max h}^{tootm} + 3,6 \cdot n \cdot q_t + Q_{max d / h}^{kastm} \quad (4.5)$$

### 4.3. Nõudeid veevõrgu projekteerimiseks

Veevõrgu projekteerimisel tuleb arvestada ehituslikke nõudeid, mis puudutavad torustikku ja sellel olevaid rajatisi.

#### *Torustikud*

Trassi valikul ja paigaldusel tuleb arvestada: pinnasetingimusi ja pinnasekoormust; liikluskoormust; pinnase külmumissügavust; veevõrgutorustiku ristumist teiste kommunikatsioonidega – vertikaalis peaks ristuvate kommunikatsioonide vahe olema vähemalt 0,2 m, paralleelsete kommunikatsioonide vahe vähemalt 0,4 m; riske ja kahjustusi, mida võivad põhjustada puud ja puujuured; torustiku korrosioonikindlust võimalikus agressiivses keskkonnas. Torustikule peab olema hoolduseks hea juurdepääs; torustiku, selle sõlmpunktide ja ehitiste asukohad peavad olema täpselt määratud teostusjoonistega. Tarnetorud (majaühendused) planeeritakse minimaalse pikkusega ja võimalikult sirgena. ÜV ja kinnistu veevärgi vaheline *liitumispunkt* asub avalikult kasutataval maal kuni 1 m kaugusel väljaspool kinnistu piiri, kuhu on paigutatud *maakraan* (ventiil või siiber kinnistu veevärgi väljalülitamiseks ÜV-st).

### *Õhu eraldamine torustikust*

Peatorustikule tuleb õhu eraldamiseks ette näha *õhueraldusklapid*. Kui torustik võimaldab, võib õhu eraldamiseks kasutada ka tuletõrjehüdrante.

### *Torustiku tühjendamine*

Projekteerimisel tuleb ette näha torustiku tühjendamise ja läbipesu võimalus.

### *Veevõrgu osade ajutine sulgemine*

Siibrite paigutus veevõrgul peab võimaldama võrgu eri osi sulgeda.

### *Hüdrandid (vesikud)*

ÜV hüdrantidest võetakse tuletõrjevett. Neid võib kasutada ka jaotustorustiku eri osade täitmiseks, torustiku ventileerimiseks ja läbipesuks. Sellele vastavalt tuleb valida vesiku tüüp ja asukoht.

### *Hüdrauliline löök*

Löök võib tekkida elektrivoolukatkestuse, pumpade käivitamise või peatamise ning ka siibrite sulgemise-avamise tagajärjel. Lööki vältivad ja summutavad seadmed tuleb ette näha veevõrgu hüdraulilise arvutusega.

### *Sisseimendumise vältimine torustikku*

Ühisveevärgi torustikus peab olema välditud alarõhu teke ning vee sisseimbumine torustikku. Selle tagavad õhueraldusklappide ja toruarmatuuri õige paigutus. Eriti suure riskiga kohtades ei tohi sisseimbumise vältimiseks kasutada tagasilöögiklappe.

## 4.4. Veemahutid

### 4.4.1. Veevärgi veemahutite klassifikatsioon

Veevärgis kasutatavad mahutid jagunevad **funktsionaalselt**:

- a) *reguleerivateks mahutiteks*, mida kasutatakse tarbimise ebaühtluse tasandamiseks;
- b) *varumahutiteks*, mille ülesanne on luua puutumatu veetagavara tuletõrje tarbeks, veevärgi omavajadusteks jne;
- c) *kombineeritud tüüpi mahutiteks*, mis täidavad mõlemat ülesannet.

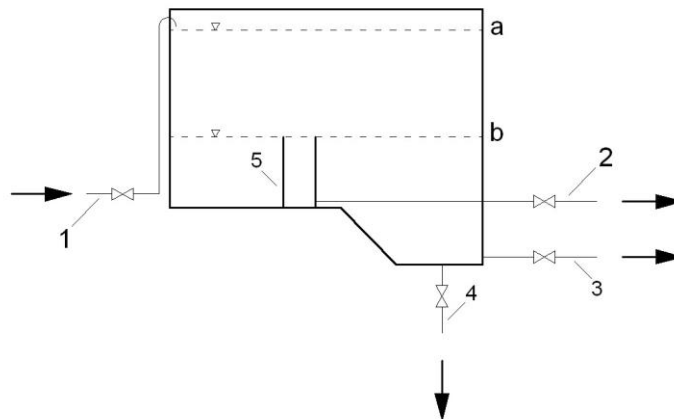
**Rõhu järgi** võib mahuteid klassifitseerida:

- a) *survemahutid* e *aktiivsed mahutid*, mis tagavad oma kõrgusasendi või mahutis loodava rõhuga vajaliku surve vee suunamiseks veevõrku. Seda tüüpi mahutid on *veetornid* ja *maapealsed survemahutid*;
- b) *surveta mahutid* e *passiivsed mahutid*, millest saab vett veevõrku juhtida ainult pumbates.

*Mahuti reguleeriv maht* määratakse teeninduspiirkonna tarbimisgraafiku ja vee juurdevoolugraafiku (näiteks 2. astme pumpade töögraafiku) alusel. Reguleeriv maht on suurim veejääk mahutis, arvestades tundide kaupa vee sisse- ja väljavoolu.

*Varumahuti* vajalik puutumatu veetagavara määratakse lähtuvalt vee otstarbest. Kui selleks on tulekustutusvesi, võib minimaalse puutumatu veetagavara määrata eespool esitatud valemiga 4.4. ÜV reservuaaride maht võetakse tavaliselt teatud varuga, mis tagab veevärgi suurema töökindluse ekstreemsetes oludes. Tüüpiliseks kombineeritud tüüpi surveta mahutiks on *VTJ puhta vee reservuaar*.

Arvestades kogu veetarbimist (elanikud, tööstus, tuletõrje, VTJ omatarve, võimalikud avariisituatsioonid jm), võetakse puhta vee reservuaari maht enamasti kuni 50% ööpäevasest tarbimisest. Seejuures peab mahutites tagama ka vajaliku *veevahetuse*, mis piirab selles ülemäära suure veetagavara loomist. Joonisel 4.7 on kujutatud puhta vee reservuaari skeem, kus sisse- ja väljavoolude paigutus tagab puutumatu veetagavara säilimise.



Joonis 4.7. VTJ puhta vee reservuaari skeem: 1 – vee sissevool, 2 – vee väljavool, 3 – puutumatu veetagavara väljavool, 4 – mahuti tühjendustoru, 5 – kaev

#### 4.4.2. Aktiivsed mahutid

*Veetornid* on veevärgi ehitised, milles veemahuti on asetatud kandekonstruktsioonile ning asub maapinnast 15–30 m kõrgusel. Paigutatult territooriumi kõrgematesse punktidesse paistavad nad kaugemale ja on ka paikkonna olulised arhitektuurielemendid.

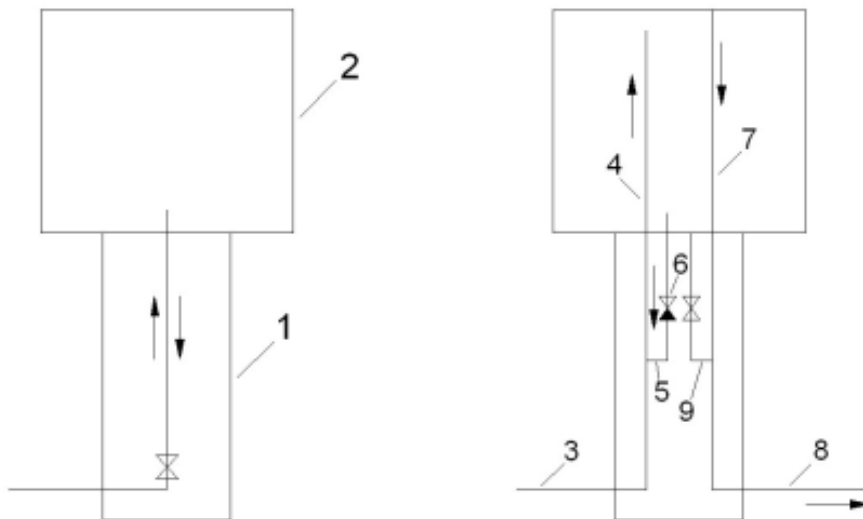
Veetorni mahuti on *reguleeriv mahuti*. Akumuleerides vett väikese tarbimise perioodil, väldib ta ühtlasi ülemäärast rõhu teket võrgus. Tippetarbimise ajal saab võrk mahutist täiendava veekoguse, vältides sellega ebapiisava rõhuga piirkondade teket. Seega ühtlustab veetorn veevõrgus valitsevat rõhku.

Veetorni mahuti võib sisaldada ka *tuletõrje puutumatut veetagavara*. Reservuaari maht määratakse eespool kirjeldatud reeglite alusel. Peab arvestama, et veevahetuse aeg reservuaaris ei ületaks 48 tundi.

Tänapäeval rajatakse veetorne reservuaari mahuga mitukümmend tuhat m<sup>3</sup>. Mahutid on ümmarguse põhiplaaniga, H/D ~ 0,5... 1,0.

Veetorni kõrguse määramisel (mahuti põhja kõrgus) lähtutakse nõudest, et mahuti kõrgusasend tagab kõigile veetorni mõjupiirkonnas asuvatele tarbijatele ettenähtud vabarõhu. Sageli asuvad veetornid veevõrgu lõpus (*kontrreservuaarid*).

Oluline on vee *tsirkulatsioon* mahutis. See sõltub sisse- ja väljavoolutorude paigutusest. Mahuti põhjas asuva väljavoolutoru ots peab olema põhjast kõrgemal, et vältida mahuti põhja koguneva sette sattumist torustikku (joonis 4.8).



Joonis 4.8. Veetorni mahutite ühendusskeeme veevõrguga: 1 – veetorni kandekonstruktsioon, 2 – mahuti, 3 – veevõrk, 4 – mahuti täitetoru, 5 – väljavoolutoru mahutist, 6 – tagasilöögiklapp, 7 – ülevool, 8 – äravoolutoru kanalisatsiooni, 9 – mahuti tühjendustoru

*Maapealsed survemahutid* täidavad sama funktsiooni mis veetornidki.

*Sagedusmuunduriga* varustatud 2. astme pumpade laialdane kasutamine vähendab veevõrku paigutatavate reguleerivate mahutite tähtsust.

## 5. VEE OMADUSED, JOOGIVEELE ESITATAVAD NÕUDED, VEE ANALÜÜS

### 5.1. Vee omadused ja vee kvaliteet

#### 5.1.1. Loodusliku vee lisandite klassifikatsioon

Vee sobivust tarbimiseks hinnatakse *vee omaduste* põhjal, mis jagunevad *füüsikalisteks, keemilisteks* ja *bioloogilisteks* ning on määratavad vees esinevate mitmesuguste lisandite iseloomu ja hulgaga. Vee omadused vaadelduna läbi konkreetse tarbija nõudmiste prisma moodustavad *vee kvaliteedi*.

Looduslikus vees esinevad lisandid võib nende *suuruse põhjal* klassifitseerida järgmiselt:

1. *Jämedisperssed osakesed*  $>0,1 \mu\text{m}$ . Siia kuuluvad savi-, lubja- ja kipsiühendite ning liiva suspensioonid osakeste suurusega  $0,1 \dots 10 \mu\text{m}$ , samuti bakterid ja plankton mõõtmega  $5 \dots 1000 \mu\text{m}$ . Jämedisperssed osakesed on *kineetiliselt ebastabiilsed*, st nad on võimelised raskusjõudude toimele settima.
2. *Kolloidosakesed*  $0,001 \dots 0,1 \mu\text{m}$ . *Mineraalsete* kolloidosakeste hulka kuuluvad saviosakesed, räni-, raua- ja väävliühendid. *Orgaanilist* päritolu kolloidid on põhiliselt soodest ja turbapinnastest vette kandunud *huumusained* ning mikroorganismide elutegevuse produktid. Kolloidosakesed on *kineetiliselt stabiilsed* ja seetõttu raskusjõudude toimele praktiliselt ei setti.
3. *Lahustunud ained*  $<0,001 \mu\text{m}$ . Selle rühma moodustuvad ioonid, gaasimolekulid, rida orgaanilisi ühendeid.

Jämedispersseid ja kolloidosakesi koos nimetatakse *lahustumata osakesteks*, need on visuaalselt tajutavad ning nendest sõltuvad vee sogasus ja värvus. Lahustunud ainete sisaldus määrab põhiliselt vee lõhna ja maitse ning keemilised omadused.

#### 5.1.2. Vee füüsikalised omadused

Füüsikaliste ehk organoleptiliste, s.o meeleorganitega tajutavate omaduste hulka kuuluvad vee temperatuur, heljumisisaldus, läbipaistvus, hägusus, värvus, lõhn, maitse, kõrvalmaitse.

Loodusliku vee *temperatuurist* sõltuvad oluliselt vees kulgevad füüsikalise-keemilised ja bioloogilised protsessid. Põhjavee temperatuur on aastaringse suhteliselt püsiv ega ületa  $10 \dots 13 \text{ }^\circ\text{C}$ , pinnavee temperatuur on suure aastaringse kõikumisega ning võib Eestis ulatuda suvel  $25 \dots 26 \text{ }^\circ\text{C}$ .

Vee *heljumisisaldus* on tingitud veekihi heljuvas olekus olevatest lahustumatutest osakestest, eelkõige jämedisperssetest osakestest, mis muudavad vee sogaseks. Heljumisisalduse määramiseks filtritakse kindel veemaht läbi *membraanfiltri*, mis seejärel kuivatatakse termostaadis püsiva massini ja kaalutakse. Tulemus antakse mg/l.

Kuna heljumisisalduse määramine on aeganõudev ja tülikas, hinnatakse vee sogasust sageli visuaalselt *läbipaistvuse* järgi. Tulemus antakse veekihi paksusena, läbi mille vaadates on võimalik näha veekihi alla paigutatud kirjateksti (*läbipaistvus šrifti järgi*) või keraamilisele kettale joonistatud risti ja punkte (*läbipaistvus risti järgi*). Esimesel juhul kasutatakse määramiseks 30 cm kõrgust läbipaistva põhjaga alt valgustatavat klaasilindrit, teisel juhul 3 m pikkust klaastoru, mille põhjas asub risti ja punktidega ketas. Vee läbipaistvus risti järgi võrdub sellise veekihi paksusega cm-tes, mille puhul punkte pole veel näha, kuid rist on selgelt eristatav.

Vee *hägususe* määramiseks kasutatakse fotoelemendil põhinevat nefelomeetrilist seadet, mis muudab läbi uuritava vee suunatud valguskiirguse elektriliseks signaaliks. Signaali tugevus registreeritakse aparadi skaalal. Igale seadmele koostatakse standardlahuse abil tareerimiskõver, mis võimaldab elektrilise näidu põhjal saada tulemuse kas mg/l või NHÜ-des (nefelomeetriline hägususe ühik, inglise k NTU). Hägusus on levinuim näitaja eelkõige puhastatud vee (joogivee) analüüside tegemisel. 1 NHÜ = 0,58 mg/l.

Nii heljumisisaldus, läbipaistvus kui hägusus on tingitud samadest vees olevatest lisanditest ning määravad ära veele antava kvalitatiivse hinnangu – sogasuse.

Vastavalt vee hägususele (heljumisisaldusele) võib looduslikku vett liigitada *vähesogaseks* (hägusus kuni 20 mg/l), *mõõdukalt sogaseks* (20...50 mg/l) ja *sogaseks* (hägusus üle 50 mg/l).

Vee *värvust* põhjustavad põhiliselt kolloidosakesed – huumusained, samuti plankton, rauaühendid jne. Värvuse mõõtmiseks kasutatakse katseklaaside komplekti, milles on erineva lahjendusega plaatina-koobalti lahus. Igale katseklaasile vastab kindel värvuse intensiivsus kraadides *Pt-Co skaala* järgi. Vee värvuse määramiseks võrreldakse uuritava veega täidetud samasugust katseklaasi komplektis olevatega. Visuaalne meetod on ebatäpne, seetõttu kasutatakse värvuse täpsemaks määramiseks värvusfiltriga varustatud nefelomeetrilist seadet, mis võimaldab vee sogasusest ja värvusest tingitud valguskiire neeldumise intensiivsused teineteisest lahutada. Tulemus antakse samuti kraadides Pt-Co skaala järgi.

Loodusliku vee *lõhna ja maitse* võivad põhjustada nii mineraalse kui ka orgaanilise päritoluga lisandid. Mineraalsetest on olulised väävelvesinik, rauaühendid, kloor jm. Orgaanilist päritolu on kõrgema veetaimestiku ja planktonirakkude elutegevuse ning lagunemise produktid. Eristatakse nelja põhimaitset – soolast, magusat, kibedat ja haput. Ülejäänud maitseaintinguid nimetatakse *kõrvalmaitseks*. Vee lõhn, maitse ja kõrvalmaitse võivad olla põhjustatud ka heitveest. Vee lõhna ja kõrvalmaitset



hinnatakse nii *kvalitatiivselt* (mudamaitse, kloorilõhn jne) kui ka *intensiivsuse järgi*, viimast *pallides* (tabel 5.1). Lõhna määramiseks valatakse koonilisse kolbi 150 ml vett, kaetakse kolb klaasiga, loksutatakse ja hinnatakse seejärel lõhna. Maitse ja kõrvalmaitse määramiseks võetakse suhu 15 ml vett, hoitakse paar sekundit alla neelamata ning antakse hinnang. Kahtlase kvaliteediga vee maitse määramiseks on soovitatav vesi eelnevalt keeta.

Tabel 5.1. Vee lõhna, maitse ja kõrvalmaitse intensiivsuse skaala

Pallid	Intensiivsus	Aistingu iseloomustus
0	lõhnatu, maitsetu	lõhn, maitse või kõrvalmaitse puuduvad
1	väga nõrk	tarbija ei tunne, määrab kogenud laborant
2	nõrk	tarbija märkab, kui sellele tähelepanu juhtida
3	märgatav	kergelt eristatav lõhn, maitse või kõrvalmaitse, võib muuta vee kasutamise ebaseeldivaks
4	ilmne	tähelepanu äratav, vee kasutamine ebaseeldiv
5	väga tugev	vesi on kasutamiskõlbmatu

### 5.1.3. Vee keemilised omadused

Loodusliku vee keemilised omadused on üldjääk, kuivjääk, kuumutusjääk, kuumutuskadu, elektrijuhtivus, karedus, aktiivreaktsioon, leelisus, oksüdeeritavus, ionne koostis ja gaaside sisaldus.

*Üldjääk* määratakse kindla veemahu aurustamise ja tekkiva jäägi kuivatamisega püsiva massini temperatuuril 105...120 °C. Näitaja iseloomustab antud temperatuuril mittelenduvate lisandite kogumassi vees ning esitatakse mg/l.

*Kuivjääk* määratakse filtritud vee aurustamise ja tekkiva jäägi kaalumise ja saadud tulemus iseloomustab ionide ja kolloidosakeste kogumassi. Kuna kolloidide mass on lahustunud ainete massist oluliselt väiksem, võib seda mitte arvestada, seetõttu kuivjääk iseloomustab vee üldist mineralisatsiooni e soolsust. Selle põhjal saab looduslikku vett klassifitseerida (tabel 5.2).

Tabel 5.2. Loodusliku vee klassifikatsioon soolsuse põhjal

Vee iseloomustus	Kuivjääk g/l
ülimage	<0,2
mage	0,2...0,5
mineraliseeritud	0,5...1,0
soolakas	1,0...3,0
soolane (Läänemeri)	3,0...10,0
kõrgsoolane (Must meri)	10,0...35,0
ülisoolane (Punane meri)	35,0...50,0
soolvesi	50,0...400

Vee soolsuse iseloomustamiseks on enam levinud *vee elektrijuhtivus*, mille määramiseks kasutatakse spetsiaalsed seadet. Tulemus väljendatakse  $\mu\text{S}/\text{cm}$ . Joogivee lubatud elektrijuhtivus on  $2500 \mu\text{S}/\text{cm}$ , mis ligikaudu vastab kuivjäägile  $1500 \text{ mg}/\text{l}$ .

*Kuumutusjääk* määratakse üld- või kuivjäägi põletamisega temperatuuril  $600 \text{ }^\circ\text{C}$  ning see iseloomustab mineraalse aine massi lisandites, *kuumutuskadu* aga orgaanilise aine kogumassi.

*Vee kareduseks* nimetatakse Ca- ja Mg-ioonide sisaldust. Nende esinemine looduslikus vees on põhjustatud peamiselt kivimite (lubjakivi, kips, dolomiit) lagunemisest. Vee kõrgendatud karedus on ebasoovitav eelkõige tootmisveevarustuses (soojavee-süsteemid, aurukatelde toitevesi, vesijahutus jm), kui vee käitlusega kaasneb vee temperatuuri tõus. Selle tagajärjel toimub karedusoolade väljasadenemine ning tekib *katlakivi*. Karedus on probleemiks ka vee kasutamisel *majapidamises* (näiteks auto-maatpesumasinad). Tervisele on kahjulik pigem ülemäärane pehme vee pidev tarbimine.

Kuna vesi on elektriliselt neutraalne, peab anioonide summa võrduma kationide summaga, väljendatuna ekvivalentühikutes. See asjaolu võimaldab loodusliku vee soolsust põhjustavate põhiliste ionide kontsentratsioonide alusel moodustada diagrammi, millele tuginedes saab kindlaks määrata soolade, sh karedusoolade nn hüpoteetilise koostise (tabel 5.3).

Tabel 5.3. Soolade hüpoteetilise koostise diagramm

$\text{Ca}^{2+}$	$\text{Mg}^{2+}$	$\text{Na}^+, \text{K}^+$
$\text{HCO}_3^-$	$\text{SO}_4^{2-}$	$\text{Cl}^-$

Eristatakse *karbonaatset e mööduvat karedust*  $K_k$ , mis kujutab endast  $\text{HCO}_3^-$  ionidega tasakaalustatud  $\text{Ca}^{2+}$ - ja  $\text{Mg}^{2+}$ -ioonide summat, ning *mittekarbonaatset e jäävkaredust*  $K_{m.k}$ , mille moodustab  $\text{SO}_4^{2-}$ - ja  $\text{Cl}^-$ -ioonidega tasakaalustatud  $\text{Ca}^{2+}$  ja  $\text{Mg}^{2+}$  kontsentratsioon. *Üldkaredus*  $K_0$  on mööduva ja jäävkareduse summa.

Vee karedust mõõdetakse  $\text{mg-ekv}/\text{l}$ ,  $\text{mmol}/\text{l}$  või kareduse kraadides. Kasutatakse Inglise, Prantsuse, Ameerika ja Saksa kareduskraade. Viimased on kõige enam levinud, neid tähistatakse  $^\circ\text{dH}$ .  $1 \text{ mg-ekv}/\text{l} = 0,5 \text{ mmol}/\text{l} = 2,8 \text{ }^\circ\text{dH}$ .

$1 \text{ mg-ekv}/\text{l} = 20,04 \text{ mg}/\text{l} \text{ Ca}^{2+} = 12,16 \text{ mg}/\text{l} \text{ Mg}^{2+} = 61,02 \text{ mg}/\text{l} \text{ HCO}_3^-$ , kusjuures kordajad on vastavate ühendite ekvivalentmassid  $\text{mg}/\text{mg-ekv}$ .

Seega, 
$$K_0 = \frac{[\text{Ca}^{2+}]}{20,04} + \frac{[\text{Mg}^{2+}]}{12,16} \text{ mg-ekv}/\text{l}$$

kus  $[\text{Ca}^{2+}]$  ja  $[\text{Mg}^{2+}]$  on ionide kontsentratsioonid  $\text{mg}/\text{l}$ .

$$\text{Kui } K_0 > \frac{[\text{HCO}_3^-]}{61,02}, \text{ siis } K_k = \frac{[\text{HCO}_3^-]}{61,02}.$$

$$\text{Kui } K_0 < \frac{[\text{HCO}_3^-]}{61,02}, \text{ siis } K_k = K_0 = \frac{[\text{Ca}^{2+}]}{20,04} + \frac{[\text{Mg}^{2+}]}{12,16}.$$

Üldkareduse põhjal jagatakse looduslikud veed nelja rühma – pehmed ( $K_0 < 4$  mg-ekv/l), mõõdukalt karedad (4...8), karedad (8...12) ja väga karedad (>12) veed.

Vee *aktiivreaktsioon*. Vesi on vähedissotsieeruv ühend ning tema ionkorrutus on väga väike suurus, toatemperatuuril

$$K_w = f_H [\text{H}^+] \cdot f_{\text{OH}} [\text{OH}^-] = 10^{-14} \text{ mol/l} = \text{const}$$

kus  $f_H$  ja  $f_{\text{OH}}$  on vastavate ionide aktiivsuskoeffitsiendid. Kui vesinikioonide sisaldus võrdub hüdroksüülionide sisaldusega, on tegemist neutraalse lahusega, seega

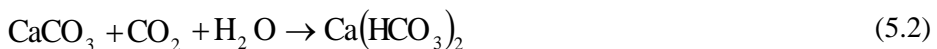
$$f_H [\text{H}^+] = f_{\text{OH}} [\text{OH}^-] = 10^{-7}$$

Kui  $f_H [\text{H}^+] > f_{\text{OH}} [\text{OH}^-]$ , on lahus happeline, vastupidisel juhul aga leeliseline. Vee aktiivreaktsiooniks nimetatakse vesinikioonide kontsentratsiooni negatiivset logaritmi ning seda tähistatakse pH. Järelikult neutraalse lahuse korral  $\text{pH} = 7$ , happelise lahuse korral  $\text{pH} < 7$  ja leeliselise lahuse korral  $\text{pH} > 7$ . pH-st sõltuvad paljud vees toimuvad puhastusprotsessid, pH järgi hinnatakse puhastusprotsesside staadiume.

*Leelisuseks* nimetakse üldjuhul  $\text{H}^+$ -ioonidega reaktsiooni astuvate anioonide sisaldust. Looduslikus vees on sellisteks põhiliselt süsihappeühendid –  $\text{H}_2\text{CO}_3$ ,  $\text{CO}_2$ ,  $\text{HCO}_3^-$  ja  $\text{CO}_3^{2-}$ . Dissotsieerumata  $\text{H}_2\text{CO}_3$  kontsentratsioon looduslikus vees on tühine, ülejäänud süsihappeühendid on aga dünaamilises tasakaalus vastavalt võrrandile (5.1)

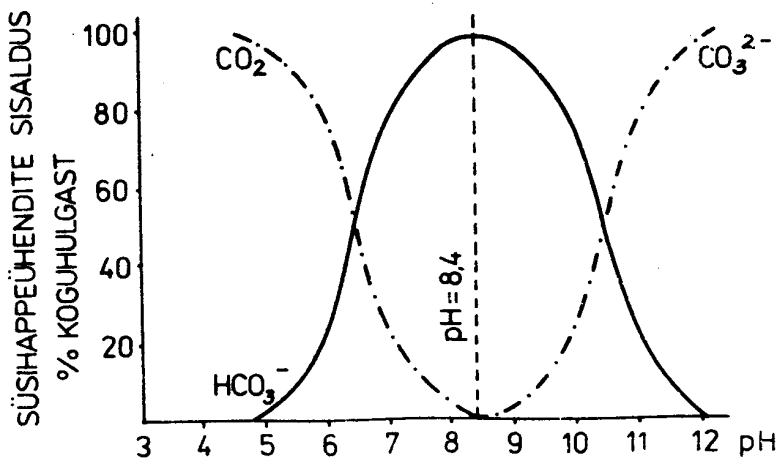


$\text{CO}_2$  hulka, mis on vajalik  $\text{HCO}_3^-$  püsiva kontsentratsiooni säilitamiseks vees, nimetatakse *tasakaaluliseks süsihappeks*. Kui vees on  $\text{CO}_2$  üle tasakaalulise koguse, nimetatakse seda ülejääki *agressiivseks süsihappeks*. Viimane lahustab tahket  $\text{CaCO}_3$  vastavalt võrrandile (5.2)



põhjustades sellega betooni korrosiooni ja metalltorude karbonaatse kaitsekile lahustumise.

Kui CO<sub>2</sub> on vees alla tasakaalulise koguse, toimub vastavalt võrrandile (5.1) teatud koguse vesinikkarbonaatiooni lagunemine ning CO<sub>2</sub> teke, mis reageerib vees olevate Ca<sup>2+</sup>-ioonidega, moodustades vähelahustava CaCO<sub>3</sub>. Viimane sadeneb, põhjustades katlakivi teket ja torustike ummistumist. Süsihappeühendite suhteline sisaldus looduslikus vees sõltub vee pH-st vastavalt graafikule joonis 5.1. Nagu graafikult näha, on happelises keskkonnas kogu süsihape vees CO<sub>2</sub>-na, pH = 8,4 korral bikarbonaatioonina ning pH > 12 puhul karbonaatioonina.



Joonis 5.1. Süsihappeühendite suhteline sisaldus vees sõltuvalt vee pH-st

Vee üldleelisuseks nimetakse summat

$$L_o = [\text{OH}^-] + [\text{CO}_3^{2-}] + [\text{HCO}_3^-] \quad \text{mg-ekv/l} \quad (5.3)$$

Kuna looduslikus vees tavaliselt pH = 7...8, võib üldleelisuseks nimetada bikarbonaatide sisaldust

$$L_o = [\text{HCO}_3^-].$$

Vastavalt graafikule joonisel 5.1, kui pH < 4, siis L<sub>0</sub> = 0.

Kareduse kohta öeldut arvestades kehtib

$$L_o = K_k \quad \text{kui} \quad ([\text{Ca}^{2+}] + [\text{Mg}^{2+}]) > [\text{HCO}_3^-]$$

ning

$$L_o > K_k \quad \text{kui} \quad ([\text{Ca}^{2+}] + [\text{Mg}^{2+}]) < [\text{HCO}_3^-]$$

Vees esinevate *lahustunud orgaaniliste ainete* kontsentratsiooni hinnatakse selle aine oksüdatsiooniks ärakulutatud reagenti koguse järgi. Kuna reagentina kasutatakse enamasti kaaliumpermanganaati  $\text{KMnO}_4$ , nimetatakse tulemust *permanganaatseks oksüdeeritavuseks* (PHT) ning esitatakse kas mg/l või mg  $\text{O}_2$ /l, võttes arvesse, et 1 mg  $\text{KMnO}_4$  on ekvivalentne 0,25 mg  $\text{O}_2$ -ga.

Täpsemaid andmeid orgaanilise aine sisalduse kohta vees võib saada nn *orgaanilise süsiniku meetodil*.

PHT iseloomustab kergesti laguneva orgaanilise aine hulka. Kogu vees oleva orgaanilise aine hulka iseloomustab *dikromaatne oksüdeeritavus* (keemiline hapnikutarve KHT), kus reagentina kasutatakse kaaliumdikromaati  $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ .

Pinnavees määratakse ka BHT (*biokeemiline hapnikutarve*). Orgaanilise aine oksüdeerimine toimub siin mikroobide elutegevuse toimel, milleks veeproov inkubeeritakse näiteks 7-ks ööpäevaks ( $\text{BHT}_7$ ) temperatuuril 20 °C ilma õhu ja valguse juurdepääsuta.

Nagu eespool selgus, on loodusliku *vee ioonne koostis* kaaluliselt määratud põhiliselt  $\text{Ca}^{2+}$ -,  $\text{Mg}^{2+}$ -,  $\text{Na}^+$ - ja  $\text{K}^+$ -katioonide ning  $\text{HCO}_3^-$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$  ja  $\text{Cl}^-$  anioonide sisaldusega. Peale nimetatute esineb vees ka ioone, mille mass ei ole suur, kuid mis võivad oluliselt mõjutada vee kvaliteeti.

*Lämmastikühendid*. Siia kuuluvad põhiliselt ammoniumioon  $\text{NH}_4^+$ , nitritid  $\text{NO}_2^-$  ja nitraadid  $\text{NO}_3^-$ . Lämmastikühendite kõrgendatud sisaldus looduslikus vees võib olla tingitud heitveest, samuti väetiste uhtumisest veekogusse. Seejuures  $\text{NH}_4^+$  ja  $\text{NO}_2^-$  on iseloomulikud värsketele reostusele, aja jooksul toimub nende oksüdeerimine nitraatideks. Kontsentratsiooni mõõdetakse kas mg/l või puhtale lämmastikule taandatuna mg N/l. 1 mg  $\text{NH}_4^+$  = 0,78 mg N; 1 mg  $\text{NO}_2^-$  = 0,3 mg N; 1 mg  $\text{NO}_3^-$  = 0,23 mg N. *Üldlämmastikuks nimetatakse* N ühendite summat.

*Fosfor* – peamine biogeenne element, millest sõltub veekogu produktiivsus. Siia kuuluvad *ortofosfaadid* (P ühendite mineraalne vorm), *polüfosfaadid*, *orgaaniline P* ja *üldfosfor*.

*Rauaühendid*. Raud esineb põhjavees lahustunult  $\text{Fe}^{2+}$ -ioonina, pinnavees ka kompleksühendite koosseisus või kolmevalentsel kujul kolloidse häguna.

Raud annab veele kollakaspruunika värvuse ning erilise maitse, põhjustab torustike kinnikasvamist ja toodangu (paber, fototarbed jne) rikkumist, rauarikas vesi on soodsaks keskkonnaks *rauabakteri* tekkele. Väga kõrge rauasisaldusega vesi on kahjulik ka inimese tervisele. Rauaärastus on probleemiks eelkõige põhjavee kasutamise korral.

*Fluor* on tähtis hammaste tervishoiu seisukohalt. Optimaalseks fluorisisalduseks joogivees loetakse 1,0...1,2 mg/l. Fluori ülemäärane sisaldus põhjustab hammaste fluoroosi, eriti lastel. Ka fluori puudus joogivees ei ole kasulik, kuigi selle üle

meedikud veel vaidlevad. Fluori puuduse kompenseerimiseks on joogivett fluoritud (näiteks aastaid tagasi ka Tallinna veetötlusjaamas).

*Mangaani* esineb vähesel määral põhjavees. Torustikku sattudes põhjustab see  $Mn(OH)_4$  sademe teket, mis võib jääda tumedate plekkidena või kilena veega kontaktis olevate materjalide pinnale. Mangaan võib jätta vee pinnale ka musta õlise kelme.

*Raskmetalle* leidub looduslikus vees harilikult mikrohulkades ning seetõttu nimetatakse neid ka *mikroelementideks*. Mõned raskmetallid, nagu Al, Co, Cu, Mo, Zn jt, kuuluvad bioloogiliselt aktiivsete ühendite (fermentide, hormoonide, vitamiinide jm) koostisse ja on hädavajalikud organismide normaalseks elutegevuseks. Suuremates hulkades võivad nad olla aga organismile kahjulikud. Mõned raskmetallid, nagu Ag, As, Be, Bi, Cd, Hg, Pb, Se, Te, Th, on toksilised.

Looduslikus vees esinevad *lahustunud gaasid*, mille eraldamisega praktikas kokku puutuda tuleb, on hapnik, süsihappegaas ja väävelvesinik. Lahustunud gaasid põhjustavad metalli ja betooni korrosiooni,  $H_2S$  annab veele lisaks ka terava mädamunalõhna.

Gaasi lahustuvus vees määratakse valemiga

$$C = k p \text{ mg/l} \quad (5.4)$$

kus  $p$  on antud gaasi partsiaalrõhk ja  $k$  – võrdetegur. Gaaside lahustuvus sõltub lisaks partsiaalrõhule ka vee temperatuurist. Tabelis (5.4) on toodud gaaside lahustuvus normaalrõhul 0,1 MPa.

Tabel 5.4. Gaaside lahustuvus vees atmosfäärirõhul

	0 °C	20 °C	40 °C	80 °C	100 °C
O <sub>2</sub>	69,8	44,3	32,9	25,1	24,2
CO <sub>2</sub>	3371	1713	1055	552	–
H <sub>2</sub> S	7100	3925	2520	1394	1230

Atmosfäärirõhk veekogu kohal moodustub õhu ja veeauru rõhust, viimane temperatuuri tõustes suureneb. Seetõttu tegelik O<sub>2</sub> lahustuvus veekogu pealmises kihis on veeauru mõju tõttu väiksem (tabel 5.5) ning on arvatav valemiga

$$C_{O_2} = k(P_0 - P_{VA})\alpha \quad (5.5)$$

kus  $P_0$  on kogurõhk;

$P_{VA}$  – küllastunud veeauru rõhk antud temperatuuril;

$\alpha = 0,21$  – koefitsient, mis arvestab O<sub>2</sub> osa õhu poolt avaldatavas rõhus.

Tabel 5.5. Hapniku lahustuvus vees normaalrõhul, arvestades veeauru mõju

T °C	0	20	40	80	100
O <sub>2</sub> lahustuvus mg/l	14,2	8,8	6,6	2,9	0

Vee *radioloogilised omadused* (vt ka punkt 1.3) on triitiumi ja radooni sisaldus (Bq/l) ning efektiivdoos mSv/a. Bq – bekkrell, radioaktiivsuse ühik (1 lag/s); Sv – siivert, kiiritusdoosi ühik. *Radionukliidid* – radioaktiivsust põhjustavad osakesed (looduslikest allikatest, tehnoloogilistest protsessidest, tuumakütusest, minevikus keskkonda lastud radioaktiivsetest jäätmetest).

*Tritium* ehk üliraske vesinik on suhteliselt lühiealine radioaktiivne vesiniku isotoop, mille poolestusaeg on 12,5 aastat, ning mis koosneb ühest prootonist, kahest neutronist ja ühest elektronist. Oma väikese energiasisalduse tõttu ei läbi triitium nahka, aga kui ta peaks organismi sattuma sissehingamisel või allaneelamisel, siis on tervisele ohtlik. Triitium esineb looduses ehedalt päikeses ja atmosfääri ülemistes kihtides ning ühenditena vees, taime- ja loomaorganismides, looduslikes kütustes.

Kui põhjavesi sisaldab triitiumi, siis tõenäoliselt vastav põhjavee horisont sisaldab vett, mis sadas vihmana atmosfäärist XX sajandi teisel poolel, sest triitium sattus atmosfääri seal läbi viidud tuumakatsetustega.

*Radionukliidid.* Joogivee radionukliidide sisalduse kohta on Eestis aastate jooksul läbi viidud mitmeid põhjalikke uurimistöid. Looduslike radioaktiivsete ainete peamiseks allikaks loetakse kristalse aluskorra kivimeid, kus lasub kambrium-vendi veekompleks. Radioaktiivsete ainete sisaldus põhjavees sõltub vettandvate kivimite radioaktiivsusest.

Eestis on kaks põhjavee kõrge radioaktiivsusega piirkonda – Tallinn koos Harjumaaga ja Lääne-Virumaa põhjapoolne osa.

#### 5.1.4. Vee bioloogilised omadused

Veekogus esineb toitaineid, mis soodustavad seal *mikroorganismide* arengut. Need jagunevad viirusteks, bakteriteks ja hulkrakseteks organismideks.

*Viirused* – koosnevad valgust ja nukleiinhappest, rakuline ehitus puudub, bakterid – põhiliselt ainuraksed.

Veekogus on nii inimesele kasulikke mikroobe – *saprofüüte*, mis lagundavad orgaanilisi aineid kui ka *haigusttekitavaid* (tõvestavaid e patogeenseid mikroobe). Tõvestavad mikroobid on nakkushaiguste, sh ka raskete nakkushaiguste kandjad. Viimati nimetatute pidevaks määramiseks ei ole vajadust, seetõttu kasutatakse kaudset moodust – määratakse selliste mikroorganismide sisaldus vees – *Escherichia coli*, *enterokokid*, *Clostridium perfringens*, *coli-laadsed bakterid* jm, mis elutsevad inimeste ja loomade soolestikus, mistõttu nende esinemine vees iseloomustab vee fekaalset reostust ning ühtlasi *võimalust*, et vees võivad olla ka nakkushaigusi põhjustavad mikroobid. Eespool nimetatud mikroorganismide sisaldus vees moodustab *vee mikrobioloogilised omadused*. Kui on oht või kahtlus, et vees võivad olla ka raskeid nakkushaigusi põhjustavad tõvestavad mikroorganismid, tuleb ka nende sisaldus määrata.

Hulkraaksete organismide ja teatud osa mikroorganismide (planktonirakud) sisaldust nimetatakse vee *hüdrobioloogilisteks omadusteks*. Hulkraaksed mikroorganismid ei avalda otseselt kahjulikku mõju inimese tervisele, kuid mõjutavad vee kvaliteeti ja võivad tekitada probleeme vee puhastamisel. Nad jagunevad loomset ja taimset päritolu organismideks.

Hüdrobioloogias nimetatakse veekihti *pelagiaaliks* ja veekogu põhja *bentaaliks*. Pelagiaalsed organismid on *plankton* (passiivselt vees heljuvad mikroorganismid), *nekton* (aktiivselt vees ujuvad organismid – kalad jm) ning *neuston* (veepinnal elutsevad väikeorganismid). Bentaalsed organismid on *bentos*. Vee puhastamisel on põhiprobleemiks eelkõige planktonirakud, mis jagunevad loomset päritolu (*zooplankton*) ja taimset päritolu (*fütoplankton*) rakkudeks. Fütoplankton ja fütobentos moodustavad *vetikad*.

## 5.2. Nõuded joogivee kvaliteedile, veeproovide võtmine ja analüüside tegemine

Joogivee kvaliteedi reglementeerimise põhilisi eesmärke on tagada joogivee *epidemioloogiline ohutus*, st välistada nakkuste levik joogivee kaudu.

Teine põhinõue – joogivesi ei tohi sisaldada *toksilisi* (mürgiseid) ühendeid. Kolmas põhinõue – joogivesi peab olema tarbimiseks vastuvõetavate *organoleptiliste omadustega*, selle tarbimine ei tohi olla ebameeldiv.

Eestis on joogivee nõutav kvaliteet reguleeritud sotsiaalministri 31.07.2001 määrusega nr 82 (**Joogivee kvaliteedi- ja kontrollinõuded ning analüüsimeetodid**). Määrus on kehtestatud kooskõlas Euroopa Liidu joogivee direktiiviga 98/83.

Määruses on joogivee nõutavad omadused grupeeritud kahte ossa:

- 1) *terviseohutuse tagavad* joogivee keemilised ja mikrobioloogilised kvaliteedinäitajad;
- 2) *indikaatornäitajad*, s.o vee füüsikalised-keemilised ja teatud mikrobioloogilised omadused, mis mõjutavad vee organoleptilisi omadusi ja iseloomustavad vee üldist reostust. Eraldi on määruses reglementeeritud vee radioloogilised kvaliteedinäitajad.

Määrus ütleb, et joogivett loetakse tervislikuks ja puhtaks, kui see ei sisalda mikroorganisme, parasiite ega mis tahes aineid sellisel arvul ega sellises koguses, mis kujutab potentsiaalset ohtu inimeste tervisele, ning kui *terviseohutuse tagavad mikrobioloogilised ja keemilised kvaliteedinäitajad ning radioloogilised näitajad* jäävad etteantud piiridesse. Määrus teeb vahet *ühisveevärgi, mahutite ja tsisternide* kaudu edastatava vee ning *pudelitesse ja kanistritesse* villitava vee vahel (erinevus puudutab ainult mikrobioloogilisi kvaliteedinäitajaid).

Kuna veeomadused jagunevad *mikrobioloogilisteks, keemilisteks ja füüsikalisteks* (organoleptiliseks), on vastavad näitajad esitatud eraldi tabelites.



Tabel 5.6. Joogivee mikrobioloogilised kvaliteedinäitajad (terviseohutuse tagavad näitajad)

Näitaja	Norm
Ühisveevärgi, mahutite ja reservuaaride vesi	
<i>Escherichia coli</i> , PMÜ/100ml	0
enterokokid, PMÜ/100ml	0
Pudelitesse ja kanistritesse villitud vesi	
<i>Escherichia coli</i> , PMÜ/250ml	0
enterokokid, PMÜ/250ml	0
<i>Pseudomonas aeruginosa</i> , PMÜ/250ml	0
koloniate arv 22 °C, PMÜ/ml	100
koloniate arv 37 °C, PMÜ/ml	20

Tabel 5.7. Keemilised kvaliteedinäitajad joogivees (terviseohutuse tagavad näitajad)

Näitaja µg/l	Norm
akrüülamiin	0,10
antimon	5,0
arsen	10
benseen	1,0
benso(a)püreen	0,010
boor	1000
bromaat	10
1,2-dikloroetaan	3,0
elavhõbe	1,0
epokloorhüdriin	0,10
fluoriid mg/l	1,5
kaadmium	5,0
kroom	50
nikkel	20
nitraat mg/l	50
nitrit	500
pestitsiidid	0,10
pestitsiidide summa	0,50
plii	10
polütsükliilised aromaatsed süsivesinikud (PAH)	0,10
seleen	10
tetrakloroeteen ja trikloroeteen	10
trihalometaanide summa	100
tsüaniidid	50
vask	2000
vinüülkloriid	0,50

Tabel 5.8. Mikrobioloogilised indikaatorid joogivees

Näitaja	Norm
<i>Clostridium perfringens</i> PMÜ/100ml	0
Kolooniate arv 22 °C PMÜ/ml	100
Coli-laadsed bakterid PMÜ/100ml	0

Tabel 5.9. Füüsikalis-keemilised indikaatorid ja radioloogilised näitajad joogivees

Näitaja	Norm
alumiinium mg/l	0,2
ammoonium mg/l	0,5
elektrijuhtivus µS/cm 20 °C juures	2500
jääkkloor mg/l	>0,2 ja <0,5
jääkosoon mg/l	0,3
kloriid mg/l	250
mangaan mg/l	0,05
naatrium mg/l	200
oksüdeeritavus mg O <sub>2</sub> /l	5,0
orgaanilise süsiniku sisaldus (TOC)	ilma muutusteta
raud mg/l	0,2
sulfaat mg/l	250
vesinikioonide kontsentratsioon (pH)	>6,5 ja <9,5
hägusus, NTU	tarbijale vastuvõetav, ebatavaliste muutusteta
maitse	tarbijale vastuvõetav, ebatavaliste muutusteta
lõhn	tarbijale vastuvõetav, ebatavaliste muutusteta
värvus	tarbijale vastuvõetav, ebatavaliste muutusteta
Radioloogilised näitajad	
tritium ja radooni sisaldus Bq/l	100
efektiivdoos mSv/a	0,10

Määrus nr 82 sätestab ka veeanalüüside tegemise sagedused, kasutatavad analüüsi-meetodid, analüüsitulemuste nõutava täpsuse jm. Seejuures joogivee proove võivad võtta vaid *atesteeritud proovivõtjad* ning veeanalüüse võivad teha vaid *akrediteeritud laborid*.

## 6. VEE TÖÖTLEMISE MEETODID, PROTSESSID JA TEHNOLOOGIASKEEMID

Tarbevee töötlemisel tuleb eristada *töötlemismeetodeid* (annavad vastuse küsimusele – mida teha), *protsesse* (selgitavad, kuidas teha) ja *tehnoloogiaskeeme* (kuna vajaliku veekvaliteedi saavutamiseks enamasti ei piisa ühe protsessi rakendamisest, on vajalik mitme töötlusprotsessi koosmõju).

### 6.1. Vee töötlemise levinuimad meetodid

1. *Selitamine* – vee puhastamine lisanditest, mis muudavad vee sogaseks. Põhiliselt on need lahustumatud, jämedisperssed osakesed.
2. *Värvitustamine* (dekoloreerimine) – vee värvumist põhjustavate lisandite, põhiliselt kolloidosakeste kõrvaldamine veest.
3. *Desinfitseerimine* – vees olevate mikroobide, sh tõvestavate mikroobide hävitamine.
4. *Desodoreerimine* – vee lõhna ja maitset (kõrvalmaitset) põhjustavate ühendite kõrvaldamine. Sellisteks on eelkõige lahustunud orgaanilised ühendid, aga ka kolloidid, rauaühendid (rauamaitse), desinfitseerimiseks vette lisatav kloor jm.
5. *Degaseerimine* – lahustunud gaasimolekulide kõrvaldamine veest.
6. *Pehmendamine* – vee kareduse, st Ca- ja Mg-ioonide kontsentratsiooni vähendamine.
7. *Soolaärastus* (vee magestamine) – lisaks Ca ja Mg ka muude vee soolsust põhjustavate ionide (põhiliselt Na, K, HCO<sub>3</sub>, Cl, SO<sub>4</sub>) kõrvaldamine veest.
8. *Raua-, mangaani- ja fluoriühendite ning nitraatide ärastus* – vees lahustunud ühendid, mille kõrvaldamisega tarbeveekäitluses, eelkõige põhjavee kasutamisel, kõige sagedamini kokku puututakse. Sõltuvalt toorveest ja veetarbija nõuetest võib osutada vajalikuks ka muude, vees enamasti mikrokogustes sisalduvate ühendite kõrvaldamine (näiteks fenoolid, radioaktiivsed ühendid, arseen, boor jm).
9. *Stabiliseerimine* – süsihappeühendite kontsentratsiooni tasakaalustamine vees lahustunud CO<sub>2</sub> sisalduse reguleerimise kaudu, mille eesmärk on vältida nii vee muutumist agressiivseks kui ka karbonaatsete ühendite väljasadenemist (katlakivi).

## 6.2. Vee töötlemise tehnoloogilised protsessid

1. *Setitamine setitites*. Setitid on basseinid, milles vees olevad lahustumatud osakesed välja sadenevad. Veekäitluses kasutatavad setitid on tavaliselt läbivoolu-tüüpi.

2. *Tsentrifugimine hüdrotsüklonites*. Hüdrotsüklonid on silindrilised anumad, milles vesi pannakse suure kiirusega pöörlema. Selle tulemusel paisatakse veest suurema tihedusega lahustumatud osakesed tsentrifugaaljõudude toimel silindri seina vastu, kust need silindri koonilisse põhja sadenevad.

3. *Flotatsioon* – peened õhumullid tõstavad enda külge adsorbeeritud osakesed basseini pinnale. Sinna tekiv vahukiht kõrvaldatakse hüdrauliliselt või mehaaniliselt, vahukihi alla jääb puhastatud vesi.

4. *Filtrimine*. Põhilisi tarbevee puhastusprotsesse. Sõltuvalt kasutatavatest seadmetest (filtritest) eristatakse:

4.1. *Filtrimine läbi mikroõrkude*. Seadmeid nimetatakse mikrofiltriteks, kus suured pöörlevad trumlid on kaetud mikroskoopilise silmaavaga võrguga (mikroõrk). Vee filtreerumisel läbi mikroõrgu jäävad planktonirakud jm toorvees olevad makroosakesed võrgu sisepinnale ning uhutakse trumli kõrgeimas punktis selleks otstarbeks ette nähtud kogumislehtritesse.

4.2. *Filtrimine läbi õhukese pulbrilise kihi*. Seadmeid nimetatakse uhtfiltriteks ning nende tööpõhimõte on vee filtrimine läbi mingi alusmaterjali (karkassi), millele on eelnevalt peale uhutud peeneteralisest, poorsest pulbrist vett filtriv kiht.

4.3. *Filtrimine läbi heljuvas olekus oleva settekihi*. Seadmeid nimetatakse heljumselititeks ning vee filtreerumine neis toimub alt üles läbi eelnevalt seadmesse (basseini) kasvatatud tiheda ja heljuvas olekus säiliva sademekihi.

4.4. *Filtrimine läbi teralise materjali kihi*. Seadmeid nimetatakse teralisteks filtriteks ning need on enamasti kasutusel tarbevee lõplikuks selitamiseks ja värvitustamiseks.

5. *Koaguleerimine*. Seisneb keemiliste ainete-reagentide (koagulandid) vette lisamises, mis moodustavad seal erineva suuruse ja väikese elektrilaenguga helbeid. Viimased adsorbeerivad enda külge töödeldavas vees olevaid põhiliselt lahustumatuid lisandeid ja kõrvaldatakse veest puhastusseadmetes. Vee koaguleerimine on asendamatu nn klassikalise veepuhastustehnoloogia järgi toimiva joogiveekäitluse korral, kui toorveena kasutatakse pinnavett.

6. *Flokulantide lisamine*. Flokulante (nn abikoagulandid) lisatakse sageli vette kiirendamiseks suuremate, tugevamate ja mittepurunevate koagulandihelveste teket.

7. *Leelistavate reagentide lisamine*. Kuna enamik koagulante alandab vee pH-d, on teatud juhtudel vajalik ka leelistavate reagentide (tavaliselt lubi või sooda) lisamine.

Protsessid 1–7 on valikuliselt kasutatavad eelkõige pinnavee selitamiseks ja värvitustamiseks. Sõltuvalt toorvee omadustest võivad need protsessid anda tulemust ka mõne teisegi veepuhastusmeetodi rakendamisel. Näiteks koaguleerimine ja filtrimine teralises filtris on olulised protsessid vee pehendamisel, sõltuvalt vee lõhna ja kõrvalmaitse päritolust võivad samad protsessid vett osaliselt ka desodoreerida, on teada, et ka suurem osa mikroobidest kõrvaldatakse veest puhastusseadmetes. Desinfitseerimise eesmärgil leiavad aga põhiliselt kasutamist protsessid 8–10.

8. *Kloorimine*. Vanimaid ja tänapäeval endiselt enam levinud tarbevee desinfitseerimise protsesse. Kasutatakse nii molekulaarset kloori (vedelkloor) kui ka kloori sisaldavaid reagente (naatrium- ja kaltsiumhüpoklorit, klooridioksiid jm). Kloorimise laia leviku tingivad reagenti suhteline odavus, desinfitseerimise efektiivsus ja järelmõju töödeldud veele, võimalus lihtsalt määrata optimaalset klooriannust (jäakkloor).

9. *Osoonimine*. O<sub>3</sub> valmistamine toimub osonaatoris kas õhuhapnikust (puudub vajadus reagenti tarnida) või puhtast hapnikust. Osoonimine on suhteliselt kallis (seadmed) ja energiamahukas, kuid efektiivne protsess. Osoon on võimeline oksüdeerima ka mitmesuguseid vees olevaid lahustunud ühendeid, mistõttu viimasel ajal kasutatakse osooni üha enam vee puhastamiseks.

10. *Vee töötlemine ultraviolettkiirgusega*. Selleks kasutatakse bakteritsiidseadmeid, mis kiirgavad vette mikroobidele surmava lainepikkusega ultraviolettkiiri. Seadmed on kompaktsed, nende kasutamiseks ei ole vaja reagente ning nende käivitamine on kiire ja lihtne.

11. *Vee töötlemine oksüdantidega*. Lisaks desinfitseerimisele võib oksüdante vajadusel kasutada ka vee puhastamiseks põhiliselt lahustunud ühenditest, mis annavad veele lõhna ja kõrvalmaitse. Oksüdantide lisamisega need ühendid lõhustatakse ja viiakse kujule, mis võimaldab neid puhastusseadmetes veest kõrvaldada. Tavaliselt kasutatakse osooni ja kaaliumpermanganaati, kloori kasutamisel tuleb arvestada trihalometaanide tekke ohuga. Vajadus oksüdante lisada võib esineda ka näiteks raua- ja mangaaniärastusel.

12. *Vee töötlemine sorbentidega*. Levinuim protsess lahustunud ühendite kõrvaldamiseks, mis esinevad vees mikrokogustes ja mida ei kõrvaldata tavalise koaguleerimise – setitamise – filtrimisega. Seejuures võib tegu olla nii vee lõhna- ja maitseomadusi mõjutavate kui ka näiteks teatud toksiliste ühenditega.

13. *Vee aereerimine*. Protsess võib olla vajalik nii lahustunud gaaside kõrvaldamiseks veest kui ka vee rikastamiseks õhuhapnikuga. Kasutatakse laialdaselt vee degaseerimisel, raua- ja mangaaniärastusel, teatud tulemusi võib saavutada ka vee stabiliseerimisel ja pehendamisel.

14–19 on põhilised vee soolsuse vähendamise protsessid ning neid kasutatakse tootmisvee ettevalmistamiseks (aurukatelde toiteveed, küttesüsteemides tsirkuleeriv

vesi, tehnoloogilistes protsessides kasutatavad veed). Kui olmevett saadakse merevee magestamisega, saab nimetatud protsesse ka selleks otstarbeks kasutada

14. *Ioonivahetus*. Enam levinud protsess tootmisvee pehmendamiseks ja soolaärastuseks. Vesi filtritakse läbi ioonivahetusmaterjaliga täidetud filtri, kus toimub ioonivahetus – filtri regenereerimise käigus kationiidiga (vee pehmendamine) või kationiidi ja anioniidiga (soolaärastus) seotud ioonid vahetatakse vees olevate ionide vastu.

15. *Destilleerimine*. Vanimaid soolaärastuse protsesse. Soolane vesi aurustatakse, auru kondenseerimisel saadakse mage vesi. Tööstuslikud destilleerimiseadmed on enamasti mitmeastmelised, mil eelnevasse astmesse jääv soolvesi aurustatakse uuesti.

16. *Pöördosmoos*. Membraantehnoloogia hulka kuuluv protsess, milles kasutatakse mikropoorseid, ioone kinni pidavaid poolläbilaskvaid membraane. Mõnevõrra suuremate pooridega membraanid on *ultrafiltrites*, mida saab kasutada ka vee desinfitseerimiseks.

17. *Elektrodialüüs*. Ionselektiivsete poolläbilaskvate membraanidega seadmed, millesse on vaheldumisi paigutatud ainult katioone läbilaskvad kationiitmembraanid ja ainult anioone läbilaskvad anioniitmembraanid. Selle tulemusel tekivad membraanide vahele vaheldumisi soolvett ja magedat vett sisaldavad vahemikud, mis ühendatakse vastavalt soolvee ja mageda vee kogumistorustikuga.

18. *Väljakülmutamine*. Tehnoloogia põhineb mageda ja soolase vee külmumissulamistäppide erinevusel. Kuna mage vesi külmub temperatuuri langedes varem, tekivad mageveelises jäämassis soolvee piirkonnad, kust soolvee saab kokku koguda ja ära juhtida.

19. *Heliomagestamine*. Destilleerimisprotsess, kus vee aurustamine toimub päikeseenergia toimele.

### 6.3. Tehnoloogiaskeemid

Skeeme võib klassifitseerida järgmiste põhitunnuste järgi:

1. Sõltuvalt reagentide kasutamisest:

*a. Reagentskeemid*. Üldlevinud tehnoloogia järgi on pinnavee töötlemisel joogiveeks reagentide lisamine möödapääsmatu.

*b. Reagentivabad skeemid*. Kasutatakse vee töötlemisel, kui toorvee omadused ja tarbija nõuded seda võimaldavad, näiteks põhjavee puhastamisel joogiveeks, tootmisvee ettevalmistamisel.

2. Sõltuvalt töödeldud vee kvaliteedist:

*a. Täieliku puhastuse skeemid*. Selle all mõistetakse tavaliselt vee töötlemist joogivee kvaliteedini.

*b. Osalise puhastuse skeemid.* Vee töötlemine vähem rangete kvaliteedinõueteni mõnedes tootmisveevärkides.

3. Kasutatavate puhastusprotsesside arvu järgi:

*a. Üheastmelised skeemid*

*b. Kaheastmelised skeemid*

*c. Kolme- ja enamaastmelised skeemid*

4. Vee liikumise iseloomu järgi:

*a. Vabavoolused skeemid.* Vee liikumine puhastusseadmetes ja seadmetevahelistes kommunikatsioonides toimub raskusjõudude toimel. Sel juhul on tavaliselt tegu pealt lahtiste, atmosfääri rõhu all olevate puhastusseadmetega, mil iga seadme veenivoo peab olema teatud suuruse võrra kõrgemal kui järgnevas seadmes. Selle tulemusel moodustub veetöötlusjaama *kõrgusskeem*.

*b. Surveskeemid.* Vee liikumine seadmetes ja nende vahel toimub pumpade poolt loodaval ülerõhul. Puhastusseadmed on kinnised mahutid, veetöötlusjaamas kõrgusskeem puudub, puhastusseadmed võib paigutada ühele tasandile. Praktikas kasutatakse ka kombineeritud skeeme.

## 7. VEE KEEMILINE TÖÖTLEMINE

### 7.1. Veetöötles kasutatavad põhilised reagentid

Reagentid on vee töötlemisprotsessis vette lisatavad keemilised ained. Enam levinud neist on *koagulandid*, *flokulandid*, *leelistavad reagentid* ja *desinfektandid*.

**Koagulandid** (näiteks AS Kemira, tehas Rae vallas, [www.kemira.com](http://www.kemira.com))

*Alumiiniumsulfaat*  $Al_2(SO_4)_3 \cdot n H_2O$  – valge materjal, puistetihedus 910...1160 kg/m<sup>3</sup>, aktiivainet ( $Al_2O_3$ ) 17%, soovitatav lahuse kontsentratsioon 5...20%.

*Granuleeritud polüalumiiniumkloriid*  $Al_2(OH)_5Cl$  (PAX – 16S) – kollakasvalge materjal, aktiivainet 29%, puistetihedus 850 kg/m<sup>3</sup>, säilitatakse originaalpakendis kuivas ja jahedas kohas.

*Polüalumiiniumkloriid* (PAX – 18) – lahus, mahumass 1370 kg/m<sup>3</sup>, sisaldab aktiivainet 17%, sh Al 9%.

*Raud(II)sulfaat*  $FeSO_4 \cdot 7H_2O$  – tahke, kristalliline pulber, heleroheline, puistetihedus 900 kg/m<sup>3</sup>, sisaldab raudsulfaati 95% ja Fe(II) 19%.

*Raud(III)kloriid*  $FeCl_3 \cdot n H_2O$  – pruunikas vedelik, mahumass 1420 kg/m<sup>3</sup>, sisaldab 40%  $FeCl_3$  ja 14% Fe(III).

*Raud(III)sulfaat* – granuleeritud pulber, sobib reovee puhastamiseks.

**Flokulandid** – sünteetilised, orgaanilist või mineraalset päritolu keemilised ained, mis vette lisatult moodustavad seal mitmesuguse kujuga *makromolekule*. Viimased seovad koagulandi mikrohelbeid suuremateks ja tugevamateks agregaatideks. Eestis on levinud Kemira Chemicals OY polüelektrolüüdid:

*Fennopol A 321* – anioonset tüüpi valge pulber, puistetihedus 600...900 kg/m<sup>3</sup>, tarnitakse 20 ja 500 kg kottides, säilituskontsentratsioon lahusepaagis 0,3...1%, annustuskontsentratsioon 0,05...0,1 %.

*Fennopol K 5060* – katioonset tüüpi valge hügrokoopne pulber. Muud näitajad samad mis eelmisel.

*Fennopol N 200* – valge pulbriline materjal (*polüakrüülamiid*).

*Polüakrüülamiid* – orgaaniline, värvitu geelitaoline (aktiivainet 6...7%) või pulbriline materjal (aktiivainet 48%).

*Magnaflok* – pulber, suure aktiivaine sisaldusega.



*Aktiveeritud ränihape* – mineraalne ühend, valmistatakse kohapeal veetöötusjaamas vesiklaasile happe või happelise reagenti lisamisega, mille tulemusel vesiklaasi leelisus väheneb 85...90%. Tekib ränihape, selle hüdrolüüsudes moodustub  $\text{Si}(\text{OH})_4$ , mis polümeriseerub ning tekib makromolekul.

### **Leelistavad reandid**

*Kustutatud lubi*  $\text{Ca}(\text{OH})_2$ . Lubja vähese lahustuvuse tõttu (1,23 g/l 20 °C juures) lisatakse vette enamasti suspensioonina – *lubjapiimana*.

*Kaltsineeritud sooda*  $\text{Na}_2\text{CO}_3$ . Valge pulber, sisaldab aktiivainet 95%.

*Seebikivi NaOH* – tarnitakse lahusena, sisaldab aktiivainet 42...47%, kristalliseerumise vältimiseks vajab pidevat soojendamist. Kasutatakse põhiliselt anioniitfiltrite regenereerimisel, harvem vee leelistamiseks.

### **Desinfektandid**

*Vedelkloor*  $\text{Cl}_2$ . Kloor on kollakas, väga mürgine gaas, saadakse keedusoola elektrolüüsil. Kloor veeldub madalal temperatuuril ja kõrgel rõhul (15 °C juures 0,5...0,75 MPa rõhul, normaalrõhul – 34,6 °C juures). Vedelkloor on kollakasroheline õline vedelik erimassiga 1,43 kg/l, mis toimetatakse tarbijale balloonides või konteinerites. Vedelkloor gaasistatakse, segatakse kloorvee moodustamiseks väikese veekogusega ning lisatakse töödeldavasse vette. Vajaliku kloorikoguse väljamõõtmine (annustamine) toimub gaasilises faasis gaasiannustitega (klooraatorites).

*Kaltsiumhüpoklorit*  $\text{Ca}(\text{ClO})_2$  – terava lõhnaga valge pulber, saadakse lubjapiima kloorimisel, sisaldab 30...50% aktiivkloori.

*Kloordioksiid*  $\text{ClO}_2$  – kollakasroheline gaas, bakteritsiidne toime tugevam kui  $\text{Cl}_2$  – 1. Õhus on  $\text{ClO}_2$  suure kontsentratsiooni korral plahvatusohtlik, vees praktiliselt ohutu. Saadakse veetöötusjaamas naatriumkloriti kloorimise või HCl-ga töötlemise tulemusel.

*Naatriumhüpoklorit*  $\text{NaClO}$ . Saadakse keedusoola elektrolüüsil vesilahusena (siirupi-taoline vedelik).

*Kaaliumpermanganaat*  $\text{KMnO}_4$  – kristallilise läikega pulber, kasutatakse oksüdandina näiteks vee puhastamisel rauaühenditest. Lisatakse vette 2...3% lahusena.

Väiketarbijad kasutavad vee desinfitseerimiseks (ujumisbasseinid) enamastipeen-granuleeritud või pulbrilist aktiivkloori sisaldavat reagenti, mis lisatakse vette otse, eelnevalt reagentilahust valmistamata.

## **7.2. Vee koaguleerimise kemism**

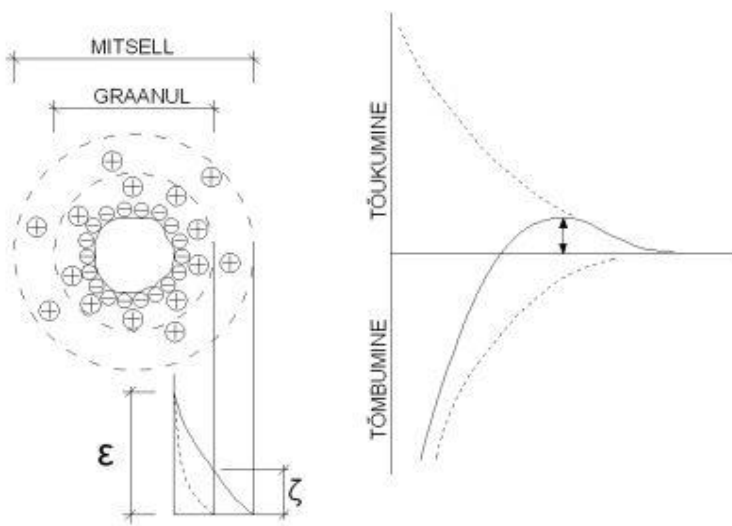
*Koaguleerimiseks* nimetatakse tehnoloogilist protsessi, mis seisneb metallisoolade-koagulantide lisamises vette, mille tulemusel seal tekivad erineva suurusega helbed.

Viimased adsorbeerivad enda pinnale heljuvas olekus olevaid lahustumata osakesi ning eraldatakse veest puhastusseadmetes. Tavaliselt toimub see kas setitamise, flotatsiooni või filtrimise teel. Kitsamas mõttes tuleb koagulatsiooni all mõista füüsikalisi-keemilisi protsesse, mis seisnevad lahustumata osakeste omavahelises kokkukleepumises molekulaarsete tõmbejõudude toimetel. Koaguleerimine on eelkõige pinnavete puhastamisel üks põhilisi protsesse, mille tulemusel saab vett selitada ja värvitustada, mõnevõrra võivad paraneda ka vee lõhna- ja maitseomadused.

Vee koagulatsiooniprotsessi tõhusus sõltub oluliselt koagulandihelveste võimest siduda kolloidosakesi (0,001...0,1  $\mu\text{m}$ ). Kolloidosakesed teatavasti raskusjõudude toimetel praktiliselt ei setti. Nimetatud asjaolu on tingitud sellest, et osakeste väikeste mõõtmete tõttu soojusliikumisest (Browni liikumisest) põhjustatud *difusioonijõud* domineerivad *raskusjõudude* üle. Selle poolest erinevad kolloidid jämedisperssetest osakestest, mille puhul domineerivaks on raskusjõud. Lahustunud ainetest erinevad kolloidid aga selle poolest, et lahustunud ained moodustavad homogeenise, kolloidid aga heterogeense süsteemi.

Pinnavees esinevad põhiliselt *hüdrofoobsed kolloidid* – savi-, liiva- ja mudaosakesed, samuti koagulatsiooniprotsessis endas tekkivad hüdroksiidid. Need on ümbritsetud õhukese veekilega ning elektriliselt laetud. Samanimelise laengu olemasolu kolloidosakestel annab kolloididele *agregatiivse stabiilsuse*, st võime säilitada oma disperssuse astet, mitte koaguleeruda.

Hüdrofoobsetele kolloididele on iseloomulik *kahekordse elektriliselt laetud kihi* olemasolu osakese tuuma ümber (joonis 7.1, vasakpoolne pilt).



Joonis 7.1. Hüdrofoobse kolloidosakese skeem

Tuum on elektriliselt neutraalne dispersne faas, mis moodustub antud aine molekulidest. Tuuma pinnale adsorbeeritakse ioonid, mille tagajärjel tuum omandab elektrilaengu. Laengu suurust iseloomustab  $\varepsilon$ -potentsiaal. Elektriliste tõmbejõudude toimet haaratakse tuuma mõjusfääri *vastandioone*, mis moodustavadki tuuma ümber kaks kihti – *adsorptsioonikihi* ja *difusioonikihi*. Tuum koos adsorptsioonikihiga moodustab *graanuli*, see omakorda koos difusioonikihiga *mitselli*. Kuna kolloidosake on pidevas soojusliikumises, elektrilised tõmbejõud aga tuumast kaugenedes vähenevad, siis difusioonikihis olevad vastandioonid jäävad graanulist maha. Tulemusena osutub kolloidosake elektriliselt laetuks, kusjuures selleks laenguks on graanuli välispinnal olev *elektrokineetiline* e  $\zeta$ -potentsiaal.

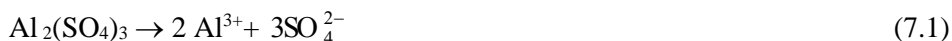
Hüdrofoobsete kolloidide  $\zeta$ -potentsiaal on tavaliselt 0,05...0,1 V ning see takistab nende koaguleerumist. Olukorda, mil  $\zeta$ -potentsiaal = 0, nimetatakse kolloidsüsteemi *isoelektriliseks olekuks*, sellele vastavat pH väärtust kolloidsüsteemi *isoelektriliseks punktiks* –  $\text{pH}_i$ . Isoelektrilise oleku võib saavutada vastandioonide üleminekuga difusioonikihist adsorptsioonikihti ning viimase tihenemisega. Vees olevate kolloidsete saviosakeste  $\text{pH}_i \approx 5$ , huumusainetel 3,5...4,5. Loodusliku vee pH on tavaliselt  $>7$ , mistõttu vees olevad kolloidosakesed on laetud negatiivselt (vees on isoelektrilise oleku saavutamiseks vajalike positiivselt laetud vastandioonide defitsiit) ning ilma välise mõjutamiseta kolloidid ei koaguleeru. Et otsustada, mida tuleks kolloidide koaguleerimiseks teha, vaatleme, millised jõud vees olevatele kolloidosakestele mõjuvad. Nendeks on raskusjõud, difusioonijõud, *elektrilised tõukejõud* ja *molekulaarsed tõmbejõud* (nn London-van der Waalsi jõud). Viimased mõjuvad vaid osakeste vahekaugusel  $< 10^{-9}$  m. Kolloidosakeste omavahelise tõmbumise-tõukumise tasakaal ja seeläbi ka koaguleerumise võimalus sõltuvad kahe viimati nimetatud jõu koosmõjust (joonis 7.1, parempoolne pilt). Nii tõmbumise kui tõukumise intensiivsus osakeste vahekauguse vähenedes suurenevad, kuid tingituna selle erinevast iseloomust tekib teatud vahekaugusel maksimaalne tõukumine e *jõubarjäär* (vt resultantjõu kõverat). Kui osakesed suudavad mingite, näiteks kineetiliste tegurite mõjul (vee segamine) jõubarjääri ületada, hakkavad domineerima tõmbejõud ning osakesed koaguleeruvad. Praktiliselt tähtsust aga sellel ei ole. Reaalse võimaluse pakub vee koaguleerimine, mille tulemus väljendub kahetiselt:

1. Koagulandi lisamisel suureneb vees vastandioonide kontsentratsioon, adsorptsioonikiht tiheneb ning kolloidi  $\zeta$ -potentsiaal väheneb. Kuna pinnavees domineerivad negatiivselt laetud hüdrofoobsed kolloidid, tuleb nende  $\zeta$ -potentsiaal vähendamiseks lisada katioone – näiteks  $\text{Al}^{3+}$ - või  $\text{Fe}^{3+}$ -ioone.

2. Koaguleerimise põhiline tähtsus seisneb aga selles, et vette lisatav koagulant moodustab seal isoelektrilises olekus või nõrgalt laetud kolloidosakesi – koagulandi hüdroksiide, mis omavahel koaguleerudes moodustavad helbeid. Need omakorda adsorbeerivad vees olevaid jämedispersseid osakesi ja kolloidide osakeste laengust sõltumata.

Vaatleme järgnevalt koagulatsiooniprotsessi laialt levinud koagulandi – *alumiiniumsulfaadi* näite varal.

Vette lisatult Al-sulfaat dissotsieerub, tekkivad  $\text{Al}^{3+}$ -ioonid astuvad ioonivahetusse vees olevate kolloidosakeste difusioonikihi põhiliselt ühevalentsete katioonidega. Ioonivahetusvõimsuse ammendudes ülejäänud Al hüdrolüüsib, moodustub vähe lahustuv kolloid – alumiiniumhüdroksoid  $\text{Al}(\text{OH})_3$ :



Neutraalses ja nõrgalt happelises keskkonnas on  $\text{Al}(\text{OH})_3$  kolloididel väike positiivne laeng. See on tingitud  $\text{H}^+$ - ja  $\text{Al}^{3+}$ -ioonide adsorbeerumisest kolloidide pinnale, mis ei takista kolloidide omavahelist koaguleerumist. Selle tulemusel tekivad Al-hüdroksoidi *mikrohelbed*.

Koagulatsiooniprotsessi võib jagada kaheks järjestikuseks faasiks – *pürokineetiliseks*, mis on lühiajaline ja lõpeb mikrohelveste tekkega, ning *ortokineetiliseks*, mis kestab oluliselt kauem ja lõpeb suurte helveste tekkega. Suured helbed tekivad Al-hüdroksoidi mikrohelveste koaguleerumisel, kusjuures helbed samaaegselt adsorbeerivad enda külge looduslikus vees olevaid kolloidosakesi ja on ise võimelised adsorbeeruma jämedisperssete osakeste külge.

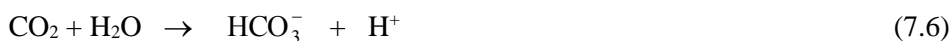
Nagu võrrandist (7.2) selgub, suureneb hüdrolüüsi tulemusel vees  $\text{H}^+$ -ioonide sisaldus, mis muudab keskkonna happelisemaks ja võib pidurdada protsessi edasist kulgu. Seetõttu võib osutada vajalikuks vett *leelistada*. See toimub osaliselt vee loodusliku leelisuse arvel



Kui looduslikust leelisusest ei piisa, tuleb lisada leelistavaid reagente – *lupja* või *soodat*:



Kuna tekivad  $\text{CO}_2$  avaldab vastupidist mõju vee leelistamisele



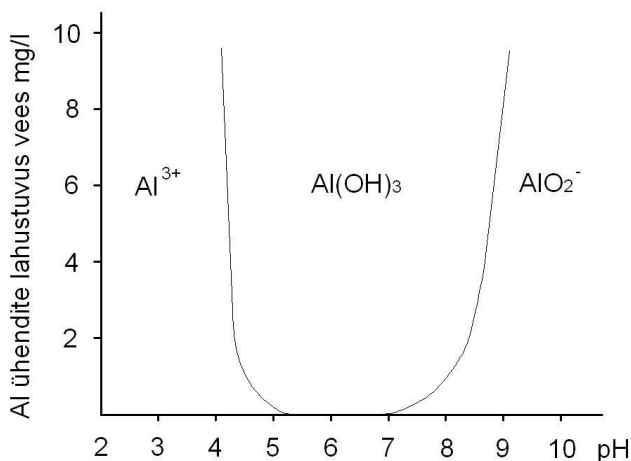
siis saavutatakse parim tulemus lubjaga (7.4), mil  $\text{CO}_2$  ei teki.

### 7.3. Koagulatsiooni efektiivsust mõjutavad tegurid

Efektiivseks koagulatsiooniks on vaja, et kogu lisatav koagulant helvestuks, et tekkivad helbed oleksid tihedad, võimalikult väikese laenguga ega puruneks-lahustuks. Määravaks on siin järgmised tegurid:

- vee temperatuur;
- pH;
- leelisus;
- koagulandi annus;
- lisandite hulk ja omadused;
- segamise intensiivsus ja kestus;
- flokulantide lisamine.

Alumiiniumühendite lahustuvus sõltub põhiliselt vee temperatuurist ja pH-st. Temperatuuri tõustes suureneb soojusliikumise intensiivsus ja seeläbi  $\text{Al}(\text{OH})_3$  kolloidide põrkumise ning koaguleerumise tõenäosus. Seejuures soojusliikumine avaldab protsessile soodustavat mõju pürokineetilises faasis. pH mõju koagulatsiooniprotsessile iseloomustab graafik joonisel 7.2.



Joonis 7.2. Al-ühendite lahustuvus vees sõltuvalt pH-st

Graafikult järeldub, et  $\text{pH} < 5$  ja  $\text{pH} > 7$  tingimustes  $\text{Al}(\text{OH})_3$  lahustuvus muutub järsult.  $\text{pH} < 4,5$  korral Al hüdrolüüsi ei toimu ning kogu lisatav reagent jääb vette lahustunud kujul.  $\text{pH} > 8,5$  puhul aga  $\text{Al}(\text{OH})_3$  lahustub aluminaatideks  $\text{AlO}_2^-$ . Seega toimub Al-koagulanti kasutades kõige efektiivsem koagulatsioon pH vahemikus 5...7, mil  $\text{Al}(\text{OH})_3$  on vähelahustuv. Olulised on ka toorvee omadused – mida kõrgem leelisus ja karedus ning madalam värvus, seda kõrgem on optimaalne pH.

Koagulandi lahustuvus on tähtis ka torustike kaitse seisukohalt. Kui lisatav koagulant ei helvestu ning satub lahustunud kujul veevõrku, võib see seal tingimuste muutudes (vee temperatuuri ja pH tõustes) välja sadeneda, halvendades vee kvaliteeti ja vähendades torustiku läbilaskevõimet.

Nagu valemist (7.3) selgub, avaldab teatud *leelisuse reservi* olemasolu toorvees koagulatsioonile soodustavat mõju. Kui see reserv ei ole piisav, tuleb lisada vette leelistavaid reagente, mille annus määratakse valemiga

$$D_l = e_l (D_k / e_k - L_0) + 1 \text{ mg/l} \quad (7.7)$$

kus  $D_k$  on veevaba koagulandi annus mg/l;

$e_k$  ja  $e_l$  – vastavalt veevaba koagulandi ja leelistava reagenti ekvivalentmassid mg/mg-ekv;

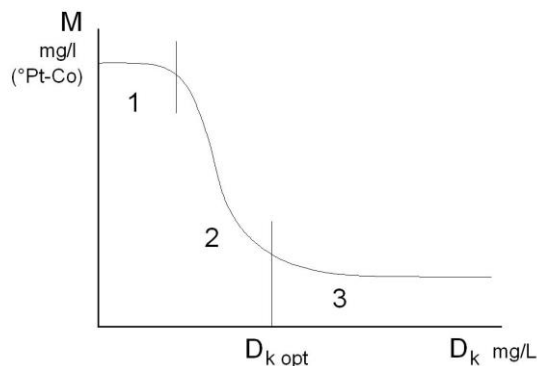
$L_0$  – toorvee leelisus mg-ekv/l;

$I$  – vajalik vee jääkleelisus.

Kui arvutamisel saadakse, et  $D_l < 0$ , siis leelistavat reagenti lisada ei ole vaja, piisab vee looduslikust leelisusest.  $e_k$  ja  $e_l$  väärtused võib võtta sõltuvalt kasutatavast reagentidest:



Koaguleerimise efektiivsus sõltub oluliselt *koagulandi annusest*. See määratakse enamasti laboratoorselt saadud graafikult. Selleks võetakse 5...6 liitrist keeduklaasi uuritava veega, lisatakse erinevad koagulandikogused, segatakse, 30...60 min pärast eraldatakse keeduklaasidest selginenud vesi ja määratakse selle hägusus või värvus  $M$  ning konstrueeritakse vastav graafik (joonis 7.3). Graafikul on tavaliselt 3 piirkonda – piirkonnas 1 on annus ebapiisav koagulatsiooni tekkimiseks, piirkonnas 2 parandab annuse suurendamine vee kvaliteeti ning piirkonnas 3 annuse edasine suurenemine enam olulist efekti ei anna. Optimaalseks koagulandi annuseks võetakse piirkondade 2 ja 3 üleminekupunkt.



Joonis 7.3. Koagulandi annuse ( $D_k$ ) ja koaguleeritud vee omaduste vaheline seos

Kui vett koaguleeritakse põhiliselt selle värvitustamiseks, võib optimaalse koagulandi annuse määrata ligikaudu valemiga

$$D_k = 4 \sqrt{V} \text{ mg/l} \quad (7.8)$$

kus  $V$  on toorvee värvus kraadides.

*Lisandite hulga ja omaduste* all tuleb põhiliselt silmas pidada lahustumata osakeste kontsentratsiooni ja osakeste suurust. Protsessi ortokineetilises faasis on jämedisperssed lisandid koagulatsioonitsentriteks koagulandi mikrohelvestele ja nende pinnale adsorbeerunud kolloididele. Vajalik koagulandi annus on seda suurem, mida rohkem on vees lahustumata lisandeid. Mida suurem on jämedisperssete osakeste osatähtsus kolloididega võrreldes, seda tihedamad ja vähem purunevad on tekkivad helbed.

*Segamise intensiivsus ja kestus.* On oluline, et lisatav koagulant saaks võimalikult kiiresti ja ühtlaselt töödeldava veemahuga segatud. Selleks on tehnoloogiaskeemis *segistid*, mis tagavad, et koagulatsiooniprotsess algaks vees üheaegselt. Segistis toimub koagulatsiooni pürokineetiline faas. Koagulandi ebahütlase jaotumise korral tekivad vees ebapiisava reagentiannusega tsoonid (joonis 7.3 piirkond 1) vaheldumisi tsoonidega, kus koagulanti on liiga (piirkond 3). Viimases moodustuvad suured haprad helbed.

Ka koagulatsiooni teine, ortokineetiline faas saab tõhusalt toimuda vaid vee segamise tingimustes. Sellega luuakse soodsad tingimused koagulandi mikrohelveste ja looduslikus vees olevate osakeste omavaheliseks põrkumiseks-koaguleerumiseks. Seejuures peab segamine olema mõõdukas, vältimaks tekkinud helveste purunemist. Kui puhastusseadmeteks on seadmed või flotatsioonibasseinid, kasutatakse eelnimetatud eesmärgil nende ees *helvestuskambreid (flokulaatoreid)*.

*Flokulantide lisamine* koagulatsiooni intensiivistamiseks on laialt levinud. Enamasti on tegemist kõrgmolekulaarsete ühenditega (vt punkt 7.1), mis seovad koagulandihelbed koos nende külge adsorbeerunud lahustumatute osakestega tugevateks helvesteks. Flokulante lisatakse koagulandihelveste tekkimise algstaadiumis, st pärast koagulandi lisamist sellise ajaintervalliga, et vees oleksid jõudnud tekkida koagulandi mikrohelbed. Flokulantide iseseisev kasutamine ei anna üldjuhul tulemust, sest tavaliselt on flokulandi makromolekul laetud negatiivselt (anioonset tüüpi flokulandid), nii nagu enamik loodusliku vee sogsust ja värvust põhjustavaid lahustumatuid osakesi.

## 7.4. Koagulandi ladustamine

Seadmed ja ehitised, mis on vajalikud koagulantide, flokulantide ja leelistavate reagentide ladustamiseks, lahuse valmistamiseks ja annustamiseks, moodustavad *veetöötlusjaama koagulandimajandi*. Selle tehniline lahendus sõltub suurel määral reagentide hoidmise (kuivhoidmine või märghoidmine) ja annustamise viisist (kuivannustus või märgannustus). Koagulant saabub veetöötlusjaama enamasti tahkel kujul puistematerjalina. Selle säilitamisel laos (*kuivhoidmine*) määratakse vajalik laopind eeldusel, et kogu saabuv koagulandipartii sinna ära mahuks:

$$A_l = Q_d D_k T_k \alpha / 10000 p_k G_k h_k \text{ m}^2 \quad (7.9)$$

kus  $Q_d$  on VTJ ööpäevane toodang  $\text{m}^3/\text{d}$ ;  
 $D_k$  – koagulandi annus aktiivaine ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ) järgi  $\text{mg/l}$ ;  
 $T_k$  – koagulandi laos säilitamise kestus ööpäevades;  
 $\alpha = 1,15$  – varutegur;  
 $p_k$  – koagulandi aktiivaine protsentuaalne sisaldus tehnilises produktis;  
 $G_k$  – koagulandi mahumass  $\text{t/m}^3$  ( $G_k \approx 1,1$ );  
 $h_k$  – koagulandikihi paksus laos ( $h_k = 2 - 3 \text{ m}$ ).

Tänapäevastes veetöötlusjaamades toimub puistena saabuva koagulandi kuivhoidmine hermeetiliselt suletud silindrilistes mahutites, kuhu koagulant laaditakse sisse pneumaatiliselt otse transpordivahendilt. Mahuti koonilise põhja külge on tavaliselt ühendatud ka *koagulandi kuivannusti*.

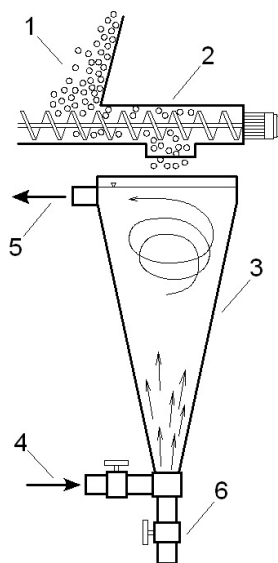
Kottides või muus taaras saabuva tahke koagulandi säilitamisel lähtutakse tarnija ettekirjutustest.

Koagulant võib veetöötlusjaama saabuda ka üleküllastunud lahusena, lubi kas lubjapiimana (lubja suspensioonina) või lubjataignana. Sel juhul toimub reagentide säilitamine vastavates hoidepaakides (*reagenti märghoidmine*), millele järgnevad *lahusepaagid*, kus reagentilahust enne annustamist vajalikult lahjendatakse.

## 7.5. Koagulandi ja lubja annustamine, lahustamine ja segamine töödeldava veega

Koagulandi annustamine toimub kas kuivalt (*kuivannustus*) või lahusena (*märgannustus*). Kuivannustuse korral (joonis 7.4) mõõdetakse reagenti vajalik kogus välja tahkes olekus kas reagentipulbrina või graanulitena ning seejärel valmistatakse reagentilahus, märgannustuse puhul valmistatakse eelnevalt reagenti lahus ning mõõdetakse selle voluuhulk, teades aktiivaine sisaldust lahuses. Töödeldavasse vette lisatakse koagulant ja flokulant alati lahusena, leelistav reagent (lubi) lahusena või suspensioonina.





Joonis 7.4. Koagulandi kuivannustus mahtannustiga: 1 – koagulandi graanulid, 2 – kruvipump (mahtannusti), 3 – reagenti lahusepaak, 4 – lahustamiseks vajaliku vee sissevool, 5 – koagulandilahuse väljavool, 6 – paagi tühjendustoru

Koagulandi kuivhoidmise ja märgannustuse korral laaditakse tahke reagent *lahusepaaki*, kus valmistatakse koagulandilahus. Lahusepaagi maht määratakse valemiga

$$W_{lp} = Q_h D_k n / 10000 b_l G_k \text{ m}^3 \quad (7.10)$$

kus  $Q_h$  on tunni vooluhulk  $\text{m}^3/\text{h}$ ;

$D_k$  – koagulandi annus  $\text{mg}/\text{l}$ ;

$n$  – ajavahemik, mille jooksul VTJ töötab antud paagi toitel  $h$ ;

$b_l$  – lahuse kontsentratsioon paagis aktiivaine järgi %, võetakse 15–20%;

$G_k \approx 1,1$  – koagulandi mahumass  $\text{t}/\text{m}^3$ .

Kuivannustuse korral määratakse lahusepaagi 3 (joonis 7.4) maht eeldusel, et paak töötab ühtlaselt-pidevalt, võttes arvesse koagulandi täielikuks lahustamiseks kuluvat aega. See eeldab, et paake oleks vähemalt kaks – üks töötab, teises lahustatakse koagulanti.

Märgannustusel lahustatakse koagulant lahusepaagis mehaanilise segamisega, täiendavalt võib kasutada tsirkulatsioonipumpa. Kuivannustust kasutatakse kvaliteetse koagulandi korral, kusjuures eelistatud on granuleeritud reagent. Märgannustuse korral toimub koagulandi annustamine enamasti vahetult lahusepaagist, kusjuures paake peab olema samuti vähemalt kaks. Lupja lisatakse lubjapiimana, mis valmistatakse lubjapiimapaagis. Et vältida lubjaosakeste settimist paagis, peab seal olema tagatud suspen-

siooni pidev segamine koos tsirkulatsiooniga. Lubjapiimapaake peab samuti olema vähemalt kaks.

Reagentide märgannustus toimub tavaliselt *annustuspumbaga* (joonis 7.5). Annustid võib jagada *püsitootlikkusega annustiteks*, mis lisavad etteantud reagentikogust sõltumata töödeldava vee vooluhulga muutumisest ning *proportsionaalannustiteks*, mis automaatselt muudavad lisatavat reagentikogust vastavalt vee vooluhulga muutumisele, tagades sellega muutumatu reagentiannuse vees (tingimusel, et aktiivaine sisaldus lisatavas reagentilahuses või tahkes reagentis ei muutu).



Joonis 7.5. Reagentilahuste annustamiseks kasutatavad membraanpumbad

### *Segistid ja helvestuskambrid*

Koagulandi kiire ja ühtlane segunemine töödeldava veega (koagulatsiooni 1. faas) toimub *segistis*. Tänapäeval kasutatakse põhiliselt *mehaanilisi segisteid*, mis võimaldavad reguleerida segamise intensiivsust. Seda hinnatakse *kiirusgradiendiga*, mis määratakse valemiga (7.11).

$$G = \sqrt{W / V\eta} \quad 1/s \quad (7.11)$$

kus  $W$  on vee segamiseks rakendatav koguvõimsus, N·m/s;  
 $V$  – segatav veemaht, m<sup>3</sup>;  
 $\eta$  – vee dünaamiline viskoossus, Pa·s ( N·s/m<sup>2</sup> ).

Praktikas arvutatakse kiirusgradient valemiga

$$G = K\sqrt{W/V} \quad 1/s \quad (7.12)$$

kus koefitsient  $K$  väärtus valitakse sõltuvalt vee temperatuurist (viskoossusest) alljärgnevalt:  $T = 5 \text{ }^\circ\text{C} \dots K = 25,6$ ;  $T = 10 \text{ }^\circ\text{C} \dots K = 27,6$ ;  $T = 15 \text{ }^\circ\text{C} \dots K = 29,6$ ;  $T = 20 \text{ }^\circ\text{C} \dots K = 31,5$ .

Kui segamine toimub tiiviku abil, kus  $n$  on tiiviku pöörlemiskiirus  $1/s$  ja  $t$  – tiiviku algpöördemoment (N m), siis  $W = 2\pi nt$ . Segisti arvutamisel määratakse esmalt segisti maht, lähtudes vee segamise kestusest (vee viibeajast segistis), mis võetakse soovitatavalt 30–40 s sõltuvalt kiirusgradiendist:

$G = 1000$ ,  $s = 20$  s;  $G = 700$ ,  $s = 40$  s. *Optimaalne kiirusgradient* on segisti puhul tavaliselt 700...1000  $1/s$ .

Lähtudes optimaalsest kiirusgradiendi väärtusest, arvutatakse  $W$ , seejärel  $n \cdot T$ , kus  $T$  võetakse passiandmetest ning määratakse  $n$ , mis tavaliselt jääb piiridesse 1...5  $1/s$ . Plaanis on mehaaniline segisti tavaliselt ruudukujuline. Vältida tuleks ümmarguse põhiplaani segistit.

#### Näide

$Q = 1000 \text{ m}^3/d$ . Pidevalt töötavad 2 segistit.  $G_{opt} = 850 \text{ } 1/s$ , siit segamise kestus 30 s.

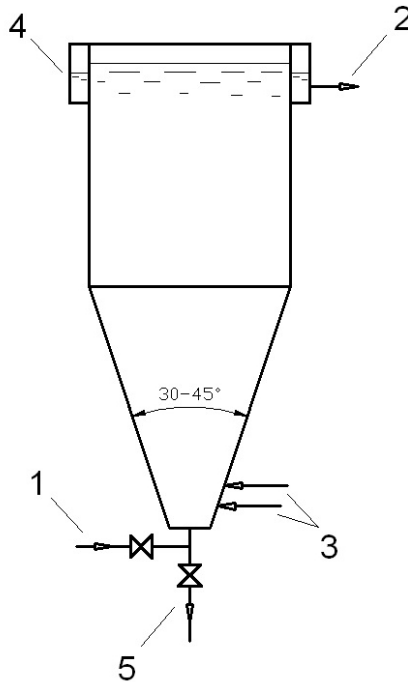
Segatav veemaht  $V = 1000 \cdot 30/2 \cdot 86400 = 0,1736 \text{ m}^3$ . Valime ruudukujulise

põhiplaani segisti  $0,45 \cdot 0,45 \text{ m} = 0,2025 \text{ m}^2$ . Segisti kõrgus  $0,1736/0,2025 = 0,86 \text{ m}$ .

Vee temperatuur on  $15 \text{ }^\circ\text{C}$ , siit  $K = 29,6$ .  $W = V G^2/K^2 = 0,1736 \cdot 850^2/29,6^2 =$

$143 \text{ N} \cdot \text{m}/s$ .  $W = 2\pi nT$ , siit  $n \cdot T = 143/6,28 = 22,8 \text{ N} \cdot \text{m}/s$ . Anname ette  $n = 2 \text{ } 1/s$ , siit  $T = 11,4 \text{ N} \cdot \text{m}$ .

Koagulandi segamiseks veega kasutatakse ka *hüdraulilisi segisteid*, millest enam levinud on *vertikaal- ehk pöörissegistid* (joonis 7.6). Segunemiseks vajalikud vee-pöörised tagatakse neis vee tõusukiiruse pideva vähenemisega segisti koonilises osas.



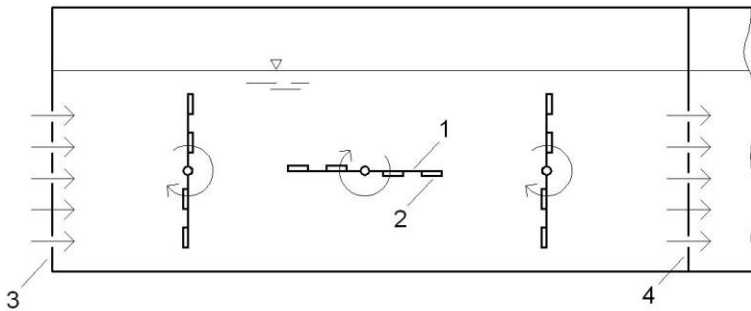
Joonis 7.6. Vertikaalsegisti skeem: 1 – toorvesi, 2, 4 – segunenud vee kogumisrennid, 3 – reagentide sissevool, 5 – segisti tühjendustoru

Vee sissevoolukiirus segistisse valitakse 1,2...1,5 m/s, tõusukiirus kogumisrenni tasandil 30...40 mm/s, vee viibeaeg segistis –2...3 min. Segisti silindrilise osa kõrgus on 1...1,5 m.

Reagenti segamiseks veega võib kasutada ka torule asetatud hüdraulilisi takistusi (näiteks diafragmasid) tingimusel, et takistuse rõhukadu oleks vähemalt 0,3...0,4 m. Sellist segistit nimetatakse *torusegistik*s.

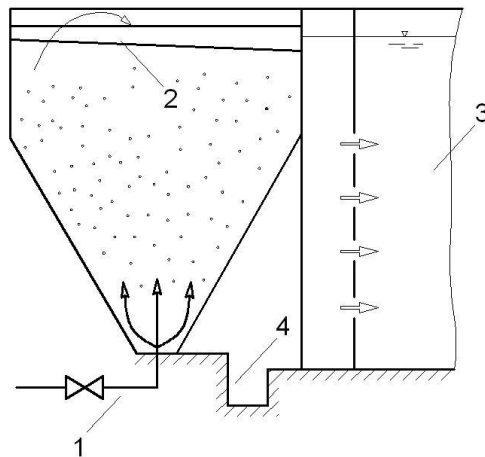
Kui tehnoloogiaskeemi kuuluvad setitid või flotatsiooniseadmed, on nende ees nõutavad *helvestuskambrid* (*flokulatsioonikambrid*), kus toimub koagulatsiooni 2. faas – helveste moodustumine. Ka nimetatud kambrid jagunevad *hüdraulilisteks* ja *mehaanilisteks*, viimaseid nimetatakse *flokulaatoriteks*. Helvestuskambris toimub vee mõõdukas segamine.

*Flokulaatorid* on sageli horisontaalsele võllile paigutatud ning aeglaselt pöörlevad labad (joonis 7.7).



Joonis 7.7. Flokulaator: 1 – labade kinnitusraam, 2 – labad, 3 – segunenud vee sissevool segistist, 4 – vee väljavool flokulaatorist

Hüdraulilist tüüpi helvestuskambrid on enamasti *pööriflokulatsioonikambrid* (joonis 7.8).

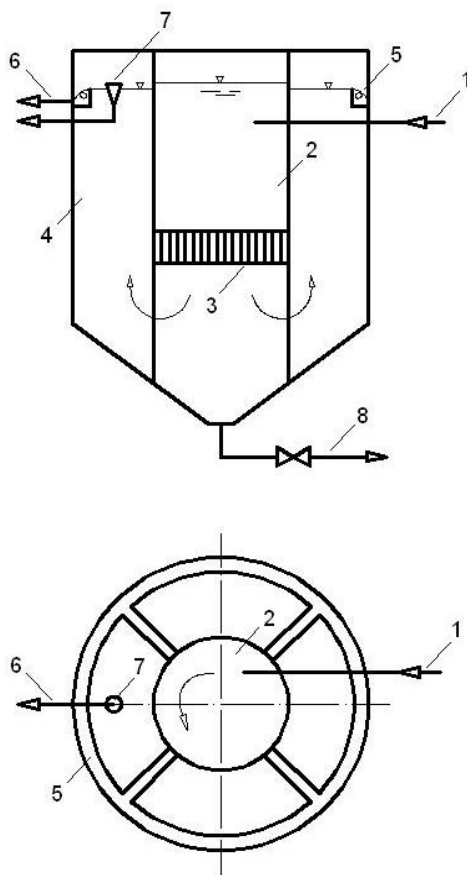


Joonis 7.8. Pööriflokulatsioonikamber: 1 – vee sissevool segistist, 2 – kogumisrenn, 3 – setiti, 4 – sette kogumiskanal

Pööriflokulatsioonikamber on plaanis ümmargune või ristkülikuline, põhja seinte vaheline kaldenurk – 50...70°, voolukiirus sissevoolul – 0,4...0,8 m/s, vee tõusukiirus kogumisrenni ristlõikes – ...5 mm/s, vee viibeag kambris – 6...12 min, rõhukadu kambris ligikaudu 0,15 m. Kuna helvestuskambrist puhastusseadmesse voolavas vees on koagulandihelveste purunemise oht eriti suur, ei tohi vee voolukiirus helvestuskambrist väljavoolul olla suurem kui 0,05...0,1 m/s ning vastavad rennid või torustikud peavad olema võimalikult lühikesed.

Seetõttu ehitatakse flokulatsioonikamber vahetult järgneva puhastusseadmega kokku või paigutatakse isegi selle sisse.

Vertikaalsetiti puhul kasutatakse *tangentsiaalflokulatsioonikambrit* (joonis 7.9), mis kujutab endast setiti keskele asetatud silindrit. Vesi pannakse silindris pöörlema tänu tangentsiaalsele sissevoolule. Vee viibeaeg kambris – 15...20 min, kambri kõrgus 3,5...4 m, vee sissevoolukiirus kambrisse (torust või düüsidist) – 2...3 m/s.



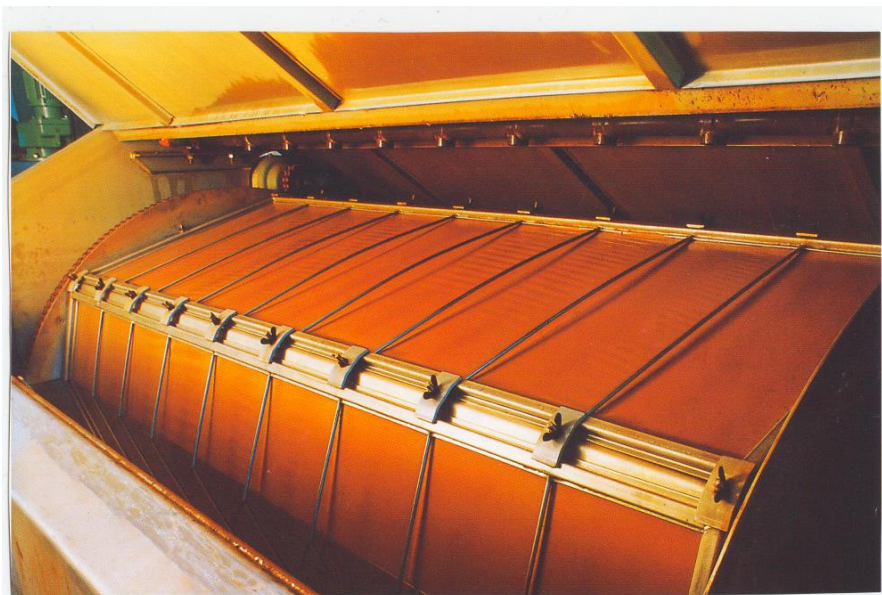
Joonis 7.9. Tangentsiaalflokulatsioonikamber vertikaalsetiti keskel: 1 – vee sissevool segistist flokulatsioonikambrisse, 2 – silinder, 3 – pöörisekustutaja (rest avadega 0,5 x 0,5 m paksusega 0,8 m), 4 – vertikaalsetiti, 5 – setitis selitatud vee kogumisrenn, 6 – selitatud vee äravoolutoru, 7 – ülevoolutoru, 8 – sette äravoolutoru

## 8. VEE EELPUHASTUSSEADMED

Eelpuhastusseadmeteks nimetatakse seadmeid, milles kõrvaldatakse vee sogasust ja värvust põhjustava heljumi põhimass ning mida kasutatakse pinnavee puhastamisel joogiveeks, samuti tootmisveearustuses. Eelpuhastusseadmed üksi ei taga joogiveele nõutavat kvaliteeti, seetõttu järgnevad neile tavaliselt filtrid, kus toimub vee lõplik selitamine ja värvitustamine. Eelpuhastusseadmete hulka kuuluvad mikrofiltrid, hüdrotsüklonid, setitid, heljumselitid ja flotatsioonibasseinid.

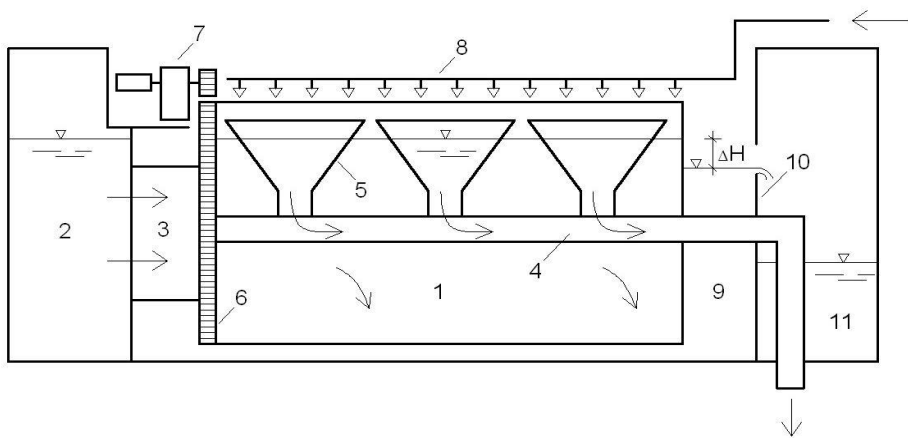
### 8.1. Mikrofiltrid

Makroreostuse (planktonirakud, jämedamad heljumiosakesed jm) kõrvaldamiseks pinnaveest enne reagentide lisamist kasutatakse *mikrofiltrid*. Need on pöörlevad trumlid, millele on kinnitatud metallist või sünteetilisest materjalist *mikrovõrgud*. Mikrovõrgu silma ava on 20...60 µm, selle 1 cm<sup>2</sup>-s on 20000...40000 ava. Mikrovõrgud on asetatud kahe jämedama silmaavaga kandevõrgu vahele ning tavaliselt kinnitatud trumli külge tasapinnaliste raamidena. Kui algselt (möödunud sajandi 40. aastatel) võeti mikrofiltrid kasutusele teralste filtrite töös olulisi häired põhjustavate planktonirakkude kinnipüüdmiseks, siis tänapäeval kasutatakse neid isegi reoveepuhastuses.



Joonis 8.1. Mikrofilter

Mikrofiltrid paigaldatakse tavaliselt kas ühe- või kahekaupa selleks rajatud basseini- nidesse. Toorvesi juhitakse läbi sissevooluava 3 trumli sisemusse (joonis 8.2) ning filtreerub läbi mikrovõrgu basseini 9, kust juhitakse kogumiskanalisse üle ülevoolu 10. Toorvees olevad planktonirakud jm makroreostus jäävad võrgu sisepinnaile ning uhutakse trumli kohale kinnitatud pihustite abil lehtritesse 5. Trummel asub ligikaudu 3/4 sügavuselt vees, trumli pöörlemine võib sõltuvalt toorvee omadustest olla pidev või perioodiline. Tingituna reostusosakeste kogunemisest võrgu sisepinnaile tekib seal nendest kile, mis toimib täiendava filtrina. Seetõttu peetakse mikrofiltris kinni osakesi, mille läbimõõt on tunduvalt väiksem võrgusilma läbimõõdust. Mikrovõrgu ja kile hüdraulilise takistuse tõttu on veenivoo trumlit ümbritsevas basseinis madalam kui trumli sees. Seda veepindade vahet nimetatakse mikrofiltri rõhukaoks  $\Delta H$ .



Joonis 8.2. Mikrofiltri skeem: 1 – trummel, 2 – sissevoolukanal, 3 – sissevooluava trumli- sisse, 4 – uhtvee kogumistoru, 5 – uhtvee kogumislehtrid, 6 – hammasratas, 7 – ajami reductor, 8 – pihustitega uhtvee jaotustoru, 9 – mikrofiltri basseini, 10 – ülevool, 11 – mikrofiltrituid vee kogumiskanali

Mikrofiltri töö juhtimine põhineb etteantud optimaalse  $\Delta H$  säilitamisel kas pöörle- miskiirust muutes või pöörlemist-uhumist perioodiliselt käivitades. Esimest kasuta- takse trumli pideva pöörlemisega töörežiimi korral ning see leiab aset suhteliselt suurema reostuskontsentratsiooniga toorvee puhul. Mikrofiltri töötsükli kestus (ajavahemik trumli mingi punkti vette sukeldumisest kuni veest väljumiseni) on sel juhul määratud trumli läbimõõdu ja pöörlemiskiirusega. Suuremale pöörlemiskiirusele vastab väiksem  $\Delta H$ .

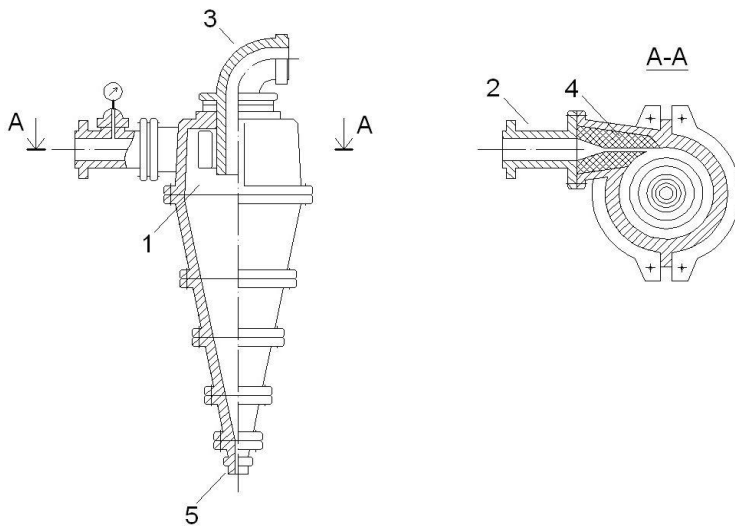
Perioodilise pöörlemisega töörežiimi korral lülitatakse trummel automaatselt pöörlema teatud  $\Delta H$  saavutamisel. Samaaegselt käivitub ka uhtesüsteem. Kui reostuskiht on trumli sisepinnaile maha pestud, väheneb  $\Delta H$  etteantud piirini, mille järel trumli pöörlemine ja uhtumine automaatselt seiskuvad. Pinnavee puhastamisel ei ületa  $\Delta H$  tavaliselt 50...200 mm. Filtratsioonikiirus (vooluhulk vee all oleva mikrovõrgu pinna



kohta) ja puhastusefekt sõltuvad võrgu tihedusest, toorvee reostuskontsentratsioonist, trumli pöörlemiskiirusest ja uhtumise intensiivsusest. Filtratsioonikiirus moodustab 40...70 m/h, puhastusefekt heljumi järgi on 20...40%. Trumli joonkiirus hoitakse tavaliselt piires 0,1...0,4 m/s, uhtevee kulu moodustab 0,5...2% mikrofiltri vooluhulgast. Mikro võrgu uhtumiseks kasutatakse kas toorvett või mikrofiltritud vett, kogumislehtritest 5 juhitakse uhtevesi kanalisatsiooni.

## 8.2. Hüdrotsüklonid

Pannes veemassi suure kiirusega pöörlema, mõjub vees olevatele osakestele tsentrifugaaljõud, mille väärtus võib tunduvat ületada raskusjõu. Sel põhimõttel töötavad *hüdrotsüklonid*, mida kasutatakse põhiliselt raskemate, mineraalsete osakeste kõrvaldamiseks veest, reagentilahuste puhastamiseks ning mitmesugustes tootmisveevarustuse süsteemides. Levinud on kinnise konstruktsiooniga *rõhkhüdrotsüklonid*, kuid kasutatakse ka suurema läbimõõdu ja tootlikkusega *lahtisi hürotsüklooneid*.



Joonis 8.3. Rõhkhüdrotsüklon: 1 – hüdrotsükloni korpus, 2 – sissevoolutoru, 3 – puhastatud vee väljavoolutoru, 4 – düüs sissevoolukiiruse suurendamiseks, 5 – sette väljavool

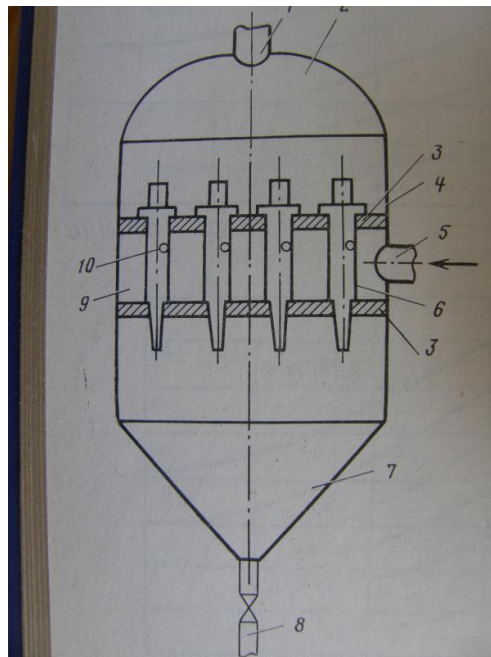
Koaguleerimata toorvesi juhitakse tangentsiaalselt läbi düüsi 4 hüdrotsükloni ülemisse, silindrilisse ossa. Veemassi pöörlemisest tingituna mõjub vees olevatele mineraal-osakestele tsentrifugaaljõud, mille mõjul osakesed paisatakse silindri seina vastu ning settivad seal raskusjõudude toimele hüdrotsükloni koonilisse põhja. Osakestele mõjuva tsentrifugaaljõu võib määrata valemiga

$$F = ma = m \frac{v^2}{R} = \frac{\pi d^3 v^2 (\rho - \rho_o)}{R} \quad (8.1)$$

kus  $m$  on osakese mass;  
 $a$  – tsentrifugaalkiirendus;  
 $v$  – vee sissevoolukiirus;  
 $R$  – hüdrotsükloni raadius;  
 $d$  – osakeste ekvivalentdiameeter;  
 $\rho$  ja  $\rho_o$  – osakese ja vee tihedused.

Nagu valemist järeldub, on tsentrifugaaljõud seda suurem ja ühtlasi seda suurem on ka hüdrotsükloni puhastusefekt, mida suurem ja raskem on osake, mida suurem on sissevoolukiirus ning mida väiksem on silindri raadius. Sissevoolukiiruse määrab pumpade rõhk. Tavaliselt tagavad pumbad hüdrotsükloni sissevoolul rõhu 0,05...0,3 MPa, millele vastab vee sissevoolukiirus 4...15 m/s.

Seega, valides suurel sissevoolurõhul väiksema läbimõõduga hüdrotsükloni, võib veest eraldada väiksemaid osakesi, st suurendada hüdrotsükloni puhastusefekti, kuid samas väheneb tsükloni vooluhulk. Suure puhastusefekti saavutamiseks ning samaaegselt vajaliku vooluhulga tagamiseks on võetud kasutusele *multitsüklonid*, s.o seadmed, kus paralleelselt on ühendatud suur hulk väikese läbimõõduga (10...20 mm) hüdrotsükcloneid.



Joonis 8.4. Multitsüklon

Hüdrotsükloni vooluhulga saab arvutada valemiga

$$Q = 3600 \alpha \mu A \sqrt{2 g \Delta H} \text{ m}^3/\text{s} \quad (8.2)$$

kus  $\alpha = 0,85 \dots 0,9$  on settest põhjustatud veekadusid arvestatav tegur;

$$\mu = 0,24 \frac{d_2}{d_1} - \text{hüdrotsükloni vooluhulgategur;}$$

$d_1; d_2$  – sissevoolu- ja väljavoolutorude läbimõõdud;

$A$  – sissevoolutoru ristlõikepind  $\text{m}^2$ ;

$\Delta H$  – hüdrotsükloni rõhukadu ( $\text{m H}_2\text{O}$ ).

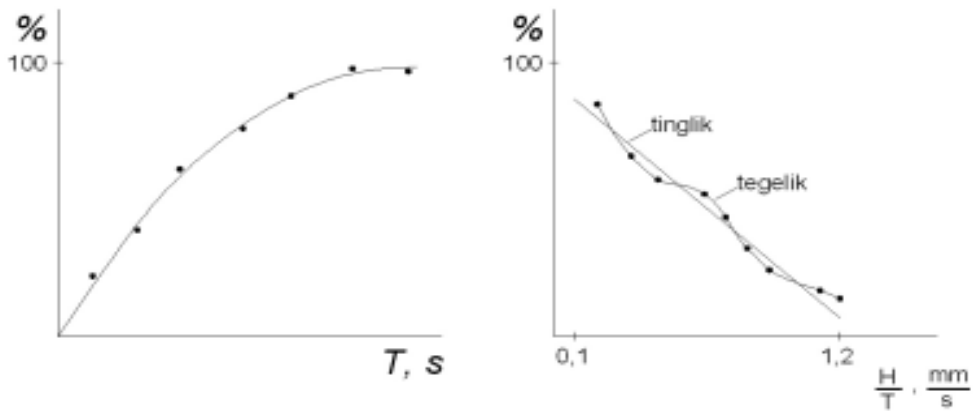
Puhastusefekti suurendamiseks on välja töötatud seadmed, kus vesi enne hüdrotsüklonist väljavoolu läbib tihedast materjalist padrunfiltrit. Padrunfiltrit on võimalik vahetada ning see asetatakse hüdrotsükloni silindrilisse ossa.

## 8.3. Setitid

### 8.3.1. Arvutusliku settimiskiiruse määramine

Setitid on läbivoolu-tüüpi basseinid, kus toimub heljumi põhimassi väljasadenemine raskusjõudude toimel. Setitid sobivad eelkõige raskemat heljunit sisaldava torvee korral. Olmeveevärkides puhastatakse setitites eranditult koaguleeritud vett. Setiti mõõtmed määratakse eeldusel, et vees olevad lahustumata osakesed jõuaksid vee läbivooluaja jooksul välja sadeneda. Seetõttu on setiti projekteerimisel esmatähtis osakeste *arvutusliku settimiskiiruse* määramine. Teoreetiliselt on see võimalik lihtsustatud juhul, kui vees olevad osakesed on ühesuguse suuruse, kuju ja tihedusega. Seejuures peavad nad veel olema *agregatiivselt stabiilsed*, st nad ei tohi settimisprotsessis koaguleeruda, mille tagajärjel nende suurus, kuju ja tihedus muutuksid.

Reaalselt on vees olev heljum *polüdispersne* ning sellise heljumi settimiskiirust saab iseloomustada eksperimentaalselt konstrueeritud *settimiskõveraga*. Selleks võetakse vähemalt 5...6 koonilise põhjaga silindrit ja täidetakse need teatud kõrguseni  $H$  uuritava veega. Erinevatel ajahetkedel eraldatakse koonilisse põhja kogunenud sete ja määratakse selle heljumisisaldus. Teades heljumisisaldust torvees, saab konstrueerida heljumi settekineetikat iseloomustava graafiku (joonis 8.5, vasakpoolne graafik).



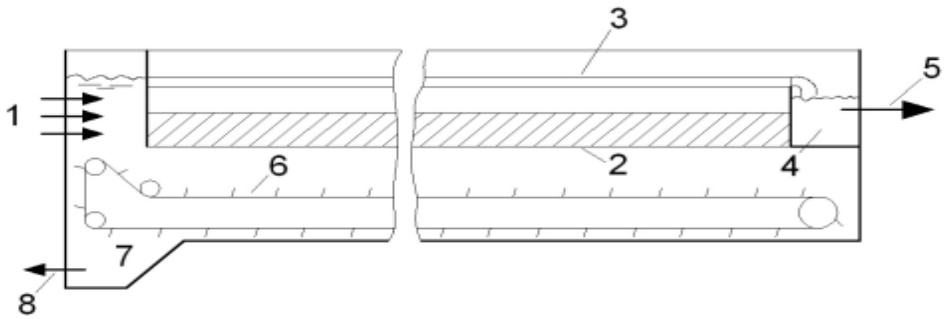
Joonis 8.5. Polüdisperse heljumi settimist iseloomustavad graafikud

Osakeste settimiskiirust seisvas vees nimetatakse *hüdrauliliseks terasuseks*. Iseloomustades antud hetkeks väljasettinud osakesi nende hüdraulilise terasusega  $H/t$ , kus  $t$  on settimise kestus, saab konstrueerida *settimiskõvera* (joonis 8.5 parempoolne graafik), mis näitab vees olevate lahustumata osakeste protsentuaalset jaotumist hüdraulilise terasuse järgi. Tegu on osakeste vähima hüdraulilise terasusega, sest silindri koonilisse põhja on antud ajahetkeks väljasadenenud ka raskemaid, s.o suurema hüdraulilise terasusega osakesi. Lähtudes setiti vajalikust puhastusefektist, võib settimiskõvera põhjal määrata väljasadenevate osakeste minimaalse hüdraulilise terasuse, st *arvutusliku settimiskiiruse*, mille puhul nõutav puhastusefekt on saavutatav. Seejuures tuleb arvesse võtta voolamisest tingitud *veepöörise* häirivat mõju settimisele, samuti seda, et settimise käigus toimub osakeste koaguleerumine ning seetõttu nende hüdrauliline terasus muutub.

### 8.3.2. Setitite konstruktsioon

Sõltuvalt vee liikumisest jagunevad setitid horisontaal-, vertikaal- ja radiaalsetititeks.

*Horisontaalsetitid* on riskülikulise põhiplaaniga pikad basseinid, mida kasutatakse veetötlusjaama suure tootlikkuse korral, samuti tootmisveevärkides ning eriti reoveepuhastuses.



Joonis 8.6. Horisontaalsetiti skeem: 1 – koaguleeritud vee sissevool, 2 – laminaarplokiid, 3 – horisontaalsed rennid puhastatud vee kogumiseks, 4 – puhastatud vee kogumiskanal, 5 – puhastatud vee äravool, 6 – roopmehhanism, 7 – süvend sette kogumiseks, 8 – sette äravool.



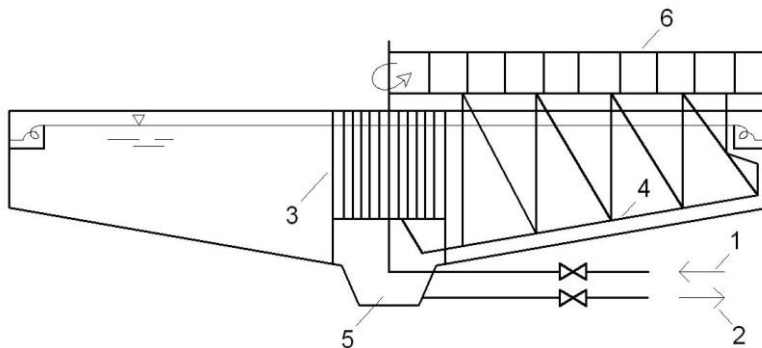
Joonis 8.7. Horisontaalsetitid Helsingi Vanhakaupunki veetöötusjaamas

Horisontaalsetiti ees on kas hüdraulilist või mehaanilist tüüpi helvestuskamber, mis koagulandihelveste purunemise vältimiseks on sageli paigutatud vahetult setitisse. Setiti põhja sadenenud sette ärajuhtimine toimub kas hüdrauliliselt või mehaaniliselt. Viimane on enam levinud. Setteeralduse periood sõltub põhiliselt puhastatava vee heljumisisaldusest ning võib muutuda suurtes piirides, enamasti paarist ööpäevast paari nädalani. Hüdraulilisel setteeraldusel paigutatakse setiti põhja horisontaalsed perforeeritud setteäravoolutorud. Nende otstes olevate sulgurite avamisel toimub setiti veesamba rõhul sette väljavool selleks ettenähtud mahutisse või süvendisse. Sade-

nemata heljumi kaasaimemise vältimiseks puhastatud vee kogumiskanalis üle otsaülevoolu tuleb suurendada ülevoolu pikkust. Selleks toimub puhastatud vee kogumine horisontaalselt paigutatud kogumisrennide või perforeeritud torudega 3 (joonis 8.6). Setiti põhi on languga  $i \geq 0,005$  sissevoolu poole, ristlõikes on põhi mehaanilise setteeralduse korral tasapinnaline, hüdraulilise setteeralduse korral aga prismaatiline kaldega  $45^\circ$  kogumistoru poole.

*Vertikaalsetitid* (vt tangentsiaalflokulatsioonikambri skeem joonis 7.9) on ümmarguse või ruudukujuluse ristlõikega alt kitseneva põhjaga reservuaarid, mille keskel asub silindriline tangentsiaalflokulatsioonikamber. Setiti põhja seintevaheline nurk on  $70...80^\circ$ , puhastatud vee kogumine toimub piki setiti välisseina asetatud renni abil. Kui setiti pind on suurem kui  $12 \text{ m}^2$ , lisatakse perifeersele rennile 4 radiaalset renni. Vertikaalsetitis valitakse vee tõusukiirus väiksem kui osakeste arvutuslik settimiskiirus, mis tagab koaguleeritud osakeste väljasadenemise. Ka vertikaalsetitisse paigutatakse tavaliselt laminaarplokid, mis tagab suurema puhastusefekti ja setiti suurema töökindluse.

*Radiaalsetiteid* kasutatakse suure heljumisisaldusega vee puhastamiseks põhiliselt tootmisveevarustuses, samuti reovee puhastamisel, kusjuures sageli puhastatakse koaguleerimata vett.



Joonis 8.8. Radiaalsetiti: 1 – torvee sissevool, 2 – sette äravool, 3 – jaotuskamber, 4 – pöörlev roopmehhanism, 5 – süvend sette kogumiseks, 6 – platvorm

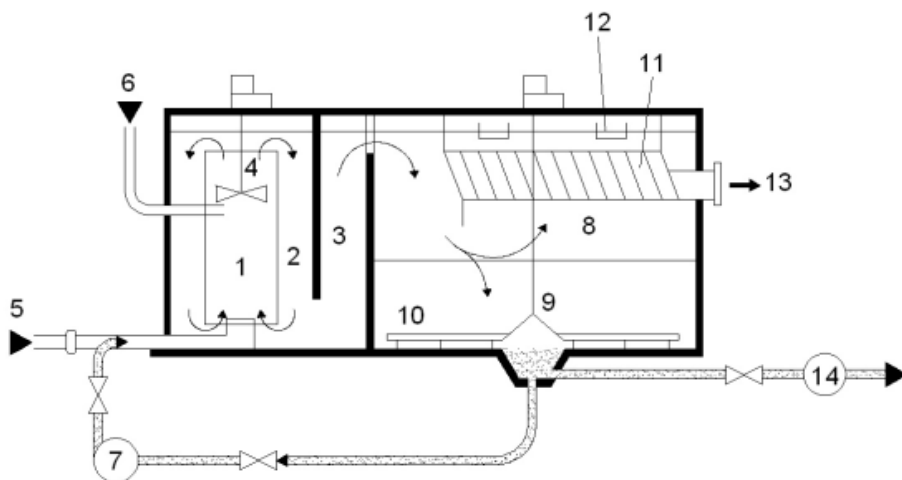
Radiaalsetiti on ümmarguse põhiplaani ning aeglaselt pöörleva roopmehhanismiga puhastusseade, milles vee liikumine toimub radiaalselt läbi setiti keskel asuva jaotuskambri perifeerse kogumisrenni poole. Tänu pidevalt pöörlevale roopmehhanismile juhitakse sade kogumissüvendisse, kust see pidevalt või perioodiliselt ära pumbatakse. Jaotuskambrit võib vajadusel kasutada ka helvestuskambrina.

### 8.3.3. Setitamine õhukeses veekihis

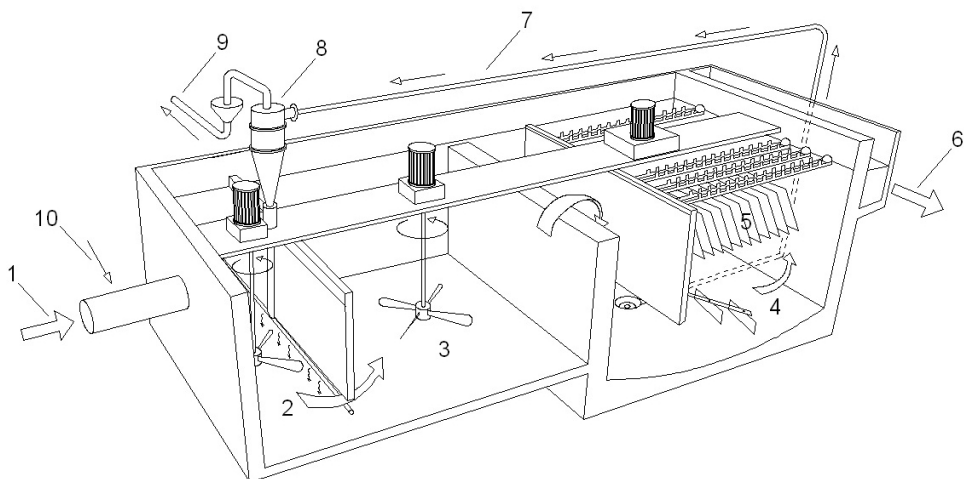
Veepöörste häiriva toime vähendamiseks seetimisele peaks vee voolamine toimuma *laminaarsel režiimil*. Pealegi, vähendades seetmistsooni sügavust, lüheneb heljumi-osakeste väljasadenemiseks kuluv aeg (väljasadenenuks loetakse osake, mille liikumistrajektor lõikub basseini põhjaga või muu vee liikumissuunas paigutatud tasapinnalise plaadiga). Nimetatud põhimõtteid aluseks võttes on välja töötatud *õhukeses veekihis seetamise tehnoloogia*, mis praktikas tähendab seetmistsooni liigendamist sinna asetatud tasapinnaliste plaatide, torude või kanalitega. Selle tulemusel moodustub nn *laminaarplokk*, mis asetatakse tavaliselt voolu suunas 60° nurga all puhastusseadme seetmistsooni (vt joonis 8.6 pos. 2) või kasutatakse ka omaette puhastusseadmena (laminaarsetiti). Laminaarploki võib valmistada üksteise peale asetatud plaatidest (lamellidest), torudest või kärjetaolise ristlõike moodustavatest kanalitest. Veekihi paksus laminaarploki kanalites on 2...5 cm, kanalite pikkus ligikaudu 1,5 m. Plokk valmistatakse reeglina plastist, mis tagab ploki kerge paigaldatavuse ning sinna kogunenud sette kerge mahapesemise perioodilise vastassuunalise uhtumisega.

### 8.3.4. Sette retsirkulatsiooniga setidid

Sette osaline *retsirkulatsioon* võimaldab mõningatel juhtudel suurendada setiti tootlikkust pinnaühiku kohta ja puhastusefekti ning setiti töökindlust tervikuna. Seejuures annab täiendavat efekti laminaarplokkide kasutamine.



Joonis 8.9. Sette retsirkulatsiooniga ja laminaarplokkidega setiti: 1 – mehaaniline segisti, 2, 3 – helvestuskamber, 4 – segur, 5 – toorvee sissevool, 6 – reagentid, 7 – sette retsirkulatsioonipump, 8 – seetmistsoon, 9 – süvend sette kogumiseks, 10 – pöörlev roopmehhanism, 11 – laminaarplokk, 12 – puhastatud vee kogumisrennid, 13 – sette äravool laminaarplokist, 14 – üleliigse sette äravool



Joonis 8.10. Actiflo-tüüpi sette retsirkulatsiooniga setiti: 1 – toorvee sissevool, 2 – segisti, 3 – flokulaator, 4 – lamellsetiti, 5 – lamellid, 6 – puhastatud vee väljavool, 7 – sette retsirkulatsioon, 8 – hüdrotsüklon, 9 – selitatud vee väljavool hüdrotsüklonist, 10 – reagendid

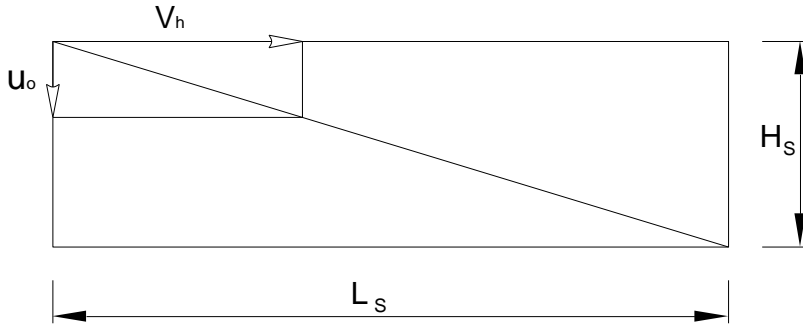
Actiflo-tüüpi setitile on iseloomulik raskemate heljumiosakeste suunamine laminaarsetiti settetsoonist hüdrotsükloni abil segistisse. Seal on need koagulatsioonitsentriks värskelt lisatavale koagulandile, muutes tekkivad koagulandihelbed seeläbi raskeks ja tihedaks. Tänu sellele võimaldab Actiflo-setiti saavutada lamellide tsoonis vee tõusukiiruse üle 40 m/h (11 mm/s!).

### 8.3.5. Setitite arvutus

#### a) horisontaalsetiti arvutus

Arvutus toimub nn *pinnakoormuse meetodil*, st etteantud settimisruumi sügavuse ja setiti puhastusefekti põhjal määratakse basseini vajalik veepeegli pind. Seejuures eeldatakse, et vee horisontaalne voolamine toimub ühtlase kiirusega  $v_h$ . Arvutuskeem koostatakse osakesele, mis settimise alghetkel asub setiti kõrgeimas ja kaugeimas punktis (joonis 8.11).





Joonis 8.11. Horisontaalsetiti arvutusskeem:  $v_h$  – vee keskmine voolukiirus setitis,  $L_s$  – settimistsooni pikkus,  $H_s$  – settimistsooni sügavus,  $u_o$  – katseliselt määratud polüdisperse heljumi arvutuslik settimiskiirus

Arvutusskeemist tulenevalt  $L_s / H_s = v_h / u_o$ , siit  $v_h = L_s u_o / H_s$ . Samas kehtib  $W_s = H_s L_s B_s$ , kus  $W_s$  on settimistsooni maht ja  $B_s$  setiti laius.  $W_s = H_s A_s = Q t_s = Q L_s / v_h$ , kus  $A_s$  on setiti veepeegli pind,  $Q$  – setiti vooluhulk ning  $t_s$  – vee viibeaeg setitis. Kuna arvutusskeemist tulenevalt  $L_s = H_s v_h / u_o$ , mistõttu  $H_s A_s = Q L_s / v_h = Q H_s v_h / u_o v_h = Q H_s / u_o$ . Siit  $A_s = Q / u_o$ .

Kui  $Q_h$  on setiti tunni vooluhulk ( $m^3 / h$ ),  $u_o$  – arvutuslik settimiskiirus mm/s, saame setiti arvutusvalemi

$$A_s = \alpha Q_h / 3,6 u_o \text{ m}^2 \quad (8.3)$$

kus  $\alpha$  on varutegur, mis arvestab veepöörise häirivat mõju settimisprotsessile ning mis võetakse 1,2...1,3.  $u_o$  võib võtta: vähesogased veed (hägusus < 20 mg/l) – 0,35...0,45 mm/s; mõõdukalt sogased veed (20... 50 mg/l) – 0,45...0,5; sogased veed (hägusus > 50 mg/l) – 0,5...0,6. *Laminaarplokkide* kasutamisel võib arvutuslikku settimiskiirust suurendada kuni 50%. Setiti settimistsooni sügavus  $H_s$  võetakse 3...3,5 m, vee horisontaalne voolukiirus setitis  $v_h$  sõltub samuti toorvee sogasusest: vähesogase vee puhul on see soovitatavalt 6...8 mm/s, mõõdukalt sogase vee puhul 7...10 mm/s, sogase vee korral 9...12 mm/s. Esitatud andmeid kasutades arvutatakse basseini pikkus valemiga  $L_s = H_s v_h / u_o$  (m) ning seejärel basseini laius. Setiti basseini tuleb horisontaalsete pikivaheseintega jagada üksteisest sõltumatult töötavateks sektsioonideks laiusega mitte üle 6 m.

Setitid arvutatakse eraldi kahele äärmuslikule olukorrale, s.o *talvisele*, mil toorvee heljumisisaldus on väike, koagulatsioon toimub halvasti ( $u_o$  on väiksem) ning eeldatavasti ka VTJ tootlikkus on minimaalne ning *suvisele*, mil VTJ tootlikkus ja ka vee heljumisisaldus on maksimaalsed. Aluseks võetakse suurem tulemus.

Puhastatud vee kogumiseks kasutatavad rennid paigutatakse kogu setiti pikkuses, vee voolukiirus rennist väljavoolul kogumiskanalisse peab olema 0,6...0,8 m/s. Kui kasutatakse avadega renni, võetakse voolukiirus avades 1 m/s, avad asuvad 5...8 cm renni põhjast ning renni serv peaks ulatuma 10 cm üle maksimaalse veetaseme setitis. Vee väljavool rennist kanalisse peab toimuma vabalt langeva joana. Rennide vahekaugus  $\leq 3$  m.

Horisontaalsetiti settetsooni maht määratakse valemiga

$$W_s = \beta \gamma Q_h T_s M_0 / 100 \delta \text{ m}^3 \quad (8.4)$$

kus  $T_s$  on setiti töötüsükkel (ajavahemik kahe järjestikuse setteeraldusprotsessi vahel);

$M_0$  – toorvee heljumisisaldus mg/l;

$\beta$  – setiti eeldatav puhastusefekt, mille võib võtta 50–75%;

$\gamma$  – tegur, mis arvestab reagentide lisamisest tingitud võimalikku vee sogasuse suurenemist setitisse saabuvas vees. Selle väärtuseks võib võtta 1,1–1,3;

$\delta$  – kuivaine sisaldus tihenend settekihis  $\text{g/m}^3$ , mis sõltub toorvee heljumisisaldusest  $M_0$  ja setiti töötüsüklist  $T_s$ . Kui  $T_s = 24$  h võetakse  $\delta$  sõltuvalt  $M_0$  väärtustest:  $M_0 < 50$  mg/l –  $\delta = 15000$ ;  $M_0 = 50...100$  –  $\delta = 20000$ ;  $M_0 = 100...400$  –  $\delta = 40000$ .

Hüdraulilise setteeralduse korral asetatakse piki setiti prismaatilist põhja perforeeritud torud, mis tagavad kogu sette ärajuhtimise 20...30 min jooksul. Kuna koos settega voolab välja ka teatud kogus vett, tuleb sette vooluhulga määramiseks  $W_s$  korrutada *lahjendusteguriga*: selle väärtus võetakse hüdraulilise setteeralduse korral 1,5 ning mehaanilise setteeralduse korral 1,2. Settetorusde vahekaugus hüdraulilise setteeralduse korral  $\leq 2$  m, veega segunenud sette voolukiirus torude lõpus  $\geq 1$  m/s, avades  $\geq 1,5...2$  m/s, avade läbimõõt  $\geq 25$  mm, avade vahekaugus 300...500 mm. Avad on suunatud allapoole  $45^\circ$  nurga all horisontaaltasandi suhtes ning paigutatud malekorras. Rõhukadu settetorus arvutatakse valemiga

$$h_s = \zeta v_s^2 / 2g \quad (8.5)$$

kus  $v_s$  on voolukiirus settetorus, m/s;

$\zeta = 3,3 / K_p^{1,8}$  – kohaliku takistuse tegur;

$K_p = 0,5...0,7$  – perforatsioonitegur (aukude pind / toru ristlõikepind).

#### b) vertikaalsetiti arvutus

Ka vertikaalsetiti arvutatakse eraldi kahele äärmuslikule olukorrale. Settimistsooni puhas pind (basseini pind, millest on lahutatud helvestuskambri pind) arvutatakse valemiga

$$A_s = \beta Q_h / 3,6 u_0 N \text{ m}^2 \quad (8.6)$$

kus  $\beta$  on setiti *mahukasutusmoodul*, mis ühtlasi arvestab ka seda, et vee tõusukiirus on mõnevõrra väiksem kui arvutuslik settimiskiirus  $u_0$ .

$\beta = 1,3$  kui  $B/H = 1$  ja  $\beta = 1,5$  kui  $B/H = 1,5$ ;

$B$  ja  $H$  on vastavalt setiti laius ja kõrgus;

$N$  – setitite arv.

Sette äravoolutoru läbimõõt võetakse vähemalt 150...200 mm, settetsooni maht on määratud setiti gabariitmõõtmete ja põhja koonilisusega.

*c) radiaalsetiti arvutus*

Setiti pind arvutatakse valemiga

$$A_s = 0,2 (Q_h / u_o)^{1,07} + A_j \text{ m}^2 \quad (8.7)$$

kus  $A_j$  on jaotuskambri ümber tekkiva veepööristega tsooni pindala. Tsooni läbimõõdu võib võtta jaotuskambri läbimõõdust 2 m suuremana.

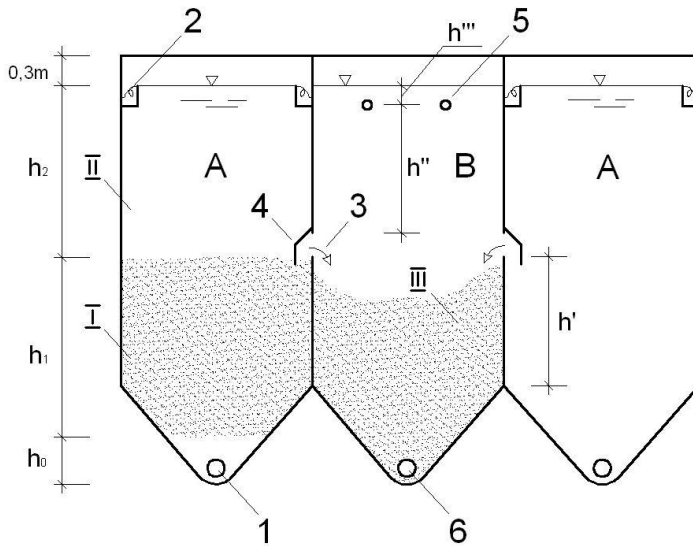
## 8.4. Heljumselitid

### 8.4.1. Heljumselitite tööpõhimõte ja klassifikatsioon

Juhtides koaguleeritud vett alt üles läbi heljuvas olekus oleva tiheda settekihi, on võimalik vett selitada ja setitiga võrreldes suurendada ka seadme mahuühikult saadavat toodangut. Sellel põhimõttel töötavaid veepuhastusseadmeid nimetatakse *heljumselititeks*.

Heljumseliti tööpõhimõtet vaatlеме lahtise setteeralduskambri koridor-tüüpi seliti näitel.

Seda tüüpi seliti kujutab endast riskülikulist basseini, mis on vertikaalsete vahe-seintega jagatud kaheks paralleelselt töötavaks *selituskambriks* A ja nende vahele asuvaks *setteeralduskambriks* B. Koaguleeritud toorvesi juhitakse perforeeritud jaotustorustiku 1 kaudu selituskambrisse, mille alumises osas, tinglikult kuni kõrguseni  $h_o$ , kus tõusukiirus saab võrdseks 2 mm/s, heljuvained kantakse vee suurest tõusukiirusest tingituna veega kaasa. Ristlõige, milles vee tõusukiirus on 2 mm/s, määrab tinglikult heljumikihi alumise piiri. Heljumikihis peetakse vees olevad koagulandi-helbed kinni ning selitatud vesi kogutakse rennidesse 2. Tagamaks stabiilset heljumi-kihti, on vajalik sette pidev ärajuhtimine kihist koguses, mis võrdub seal ajaühikus kinnipeetud heljumi hulga. Selleks on sette äravooluaknad 3, mille alumise äärega on määratud heljumikihi ülemine piir.



Joonis 8.12. Lahtise setteeralduskambriga heljumseliti: A – selituskamber, B – setteeralduskamber, I – heljumikiht, II – selitustsoon, III – settetsoon, 1 – koaguleeritud torvee jaotustorustik, 2 – selitatud vee kogumisrennid, 3 – sette väljavoolu aknad, 4 – varikaitse, 5 – selitatud vee kogumistorustik, 6 – tihenendud sette äravoolutorustik

Kuna koos settega voolab setteeralduskambrisse ka teatud osa vett, väheneb selituskambri selitustsoonis II vee tõusukiirus, mis tagab kihist väljakandunud osakeste tagasisettimise.

Selitustsooni tõhusust on võimalik suurendada, asetades sinna *laminaarplokid*.

Setteeralduskambri settetsoonis III toimub sette tihenemine ja perioodiline ärjuhtimine perforeeritud torudega 6. Kambri ülemises osas kogutakse selitatud vesi perforeeritud torustiku 5 abil ning juhitakse kokku rennidest 2 saabuva selitatud veega. Reguleerides vooluhulka torustikus 5, võib sobivalt muuta veepindade vahet kambrites A ja B. Sellega on omakorda määratud läbi akende 3 suunatav vooluhulk  $q$ , mida iseloomustatakse *jaotusmooduliga*  $K_j = 1 - q/Q$ , kus  $Q$  on selitatava vee vooluhulk.

Sellist selitit nimetatakse *sette väljaimemisega selitiks*. Settetsooni mahu määramisel võetakse tsooni ülemiseks piiriks horisontaaltasand, mis kulgeb sette äravooluakende alumisest äärest 0,7 m allpool. Mis tagab heljumikihi püsimise vee tõusukiiruse mõningase kõikumise korral?

Heljumikihis on tegu kontsentreeritud heljumimassiga. Kui seda kihti moodustavate üksikute heljumiosakeste (koagulandihelveste) hüdrauliline terasus s.o settimiskiirus vabas veemahus oleneb osakese ja vee füüsikalistest omadustest ning selle osakese säilitamiseks heljuvas olekus peab vee tõusukiirus täpselt vastama osakese hüdraulilisele terasusele, siis kontsentreeritud heljumikihi settimiskiirus sõltub lisaks ka selle

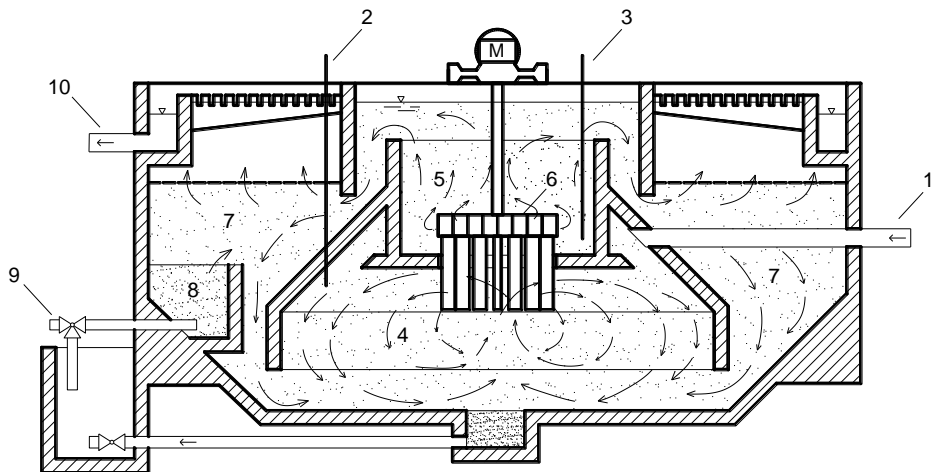
kihi tihedusest. Seetõttu on kihi settimiskiirus (ning sellega võrdne kihi heljuvas olekus säilitamiseks vajalik vee tõusukiirus) alati väiksem kui seda kihti moodustavate üksikute osakeste settimiskiirus. Seejuures eksisteerib pöördvõrdeline seos kihi settimiskiiruse (s.o vee tõusukiiruse) ja kihi tiheduse vahel – tõusukiiruse suurenedes kihi tihedus väheneb ning kiht vastavalt paisub, tõusukiiruse vähenedes kihi tihedus suureneb ja kiht surutakse kokku. Mõlemal juhul kiht säilib heljuvas olekus. Optimaalse paksusega kihi säilitamiseks on vaja kindlaks määrata sobiv tõusukiirus ja koaguleerimisrežiim, mis nõuab tehnoloogilisi katseid.

Heljumikihi stabiilsuse säilitamiseks on oluline ka vee võimalikult konstantne temperatuur. Intensiivsed temperatuurimuutused põhjustavad konvektiivsete voolude teket kihis, mis vähendavad seliti töö efektiivsust. Negatiivset mõju avaldab ka heljumikihti sattunud õhk, mistõttu eelnev *õhueraldus* veest on hädavajalik.

*Tehnilise lahenduse* poolest võib heljumiselitid jagada kahte rühma:

*a) mehaanilise segamisega selitid.*

Et tagada vee paremat kontakti settega, juhitakse toorvesi enne heljumikihti flokulaatorina toimivasse segamiskambris (näiteks joonis 8.13).



Joonis 8.13. Impellersegistiga heljumseliti: 1 – toorvesi, 2, 3 – reagentid, 4, 5 – mehaanilise segamise tsoon, 6 – impeller, 7 – heljumikiht, 8 – settetsoon, 9 – tihenendud sette äravool, 10 – selitatud vee äravool

*b) hüdraulilist tüüpi selitid.*

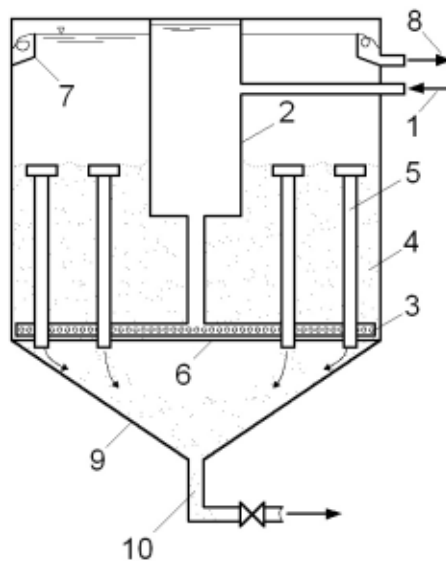
Sette mehaanilist segamist neis ei toimu, koaguleeritud vesi juhitakse sobivalt valitud tõusukiirusega läbi heljumikihi (näit. koridor-tüüpi seliti joonis 8.12., samuti 8.14. ja 8.15.) Kuna heljumikihis toimub *kontaktkoagulatsioon*, siis eraldi seadmena helvestuskambreid seda tüüpi selitite ees ei ole.

Sõltuvalt üleliigse sette heljumikihist ärajuhtimise moodusest võivad selitid olla *sette väljaimemisega* (põhiliselt koridor-tüüpi selitid) või *gravitatsioonilise setteeraldusega* (põhiliselt kõik ülejäänud selititüübid). Ka mehaanilise segamisega selitid on gravitatsioonilise setteeraldusega.

Lisaks sette väljaimemise moodusele jagunevad hüdraulilist tüüpi selitid ka sõltuvalt setteeralduskambri asukohast:

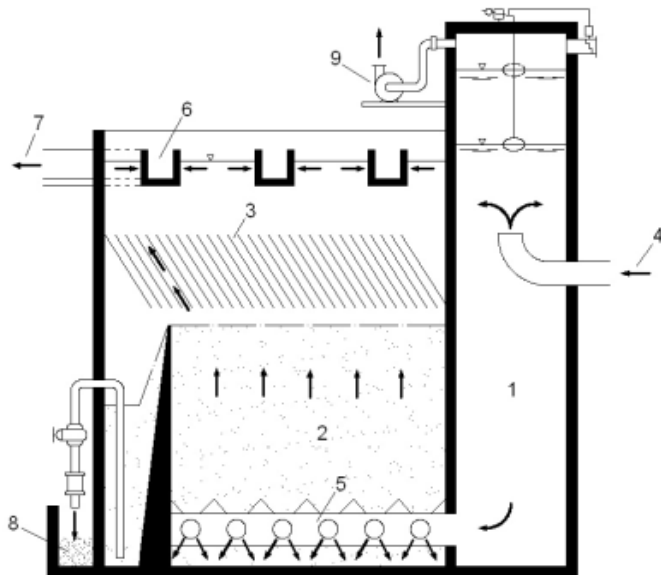
*a) kinnise setteeralduskambriga selitid (joonis 8.14)*

Nimetatud tüüpi selitites on setteeralduskamber asetatud selituskambri alla ning eraldatud sellest hermeetilise vaheseinaga. See vähendab seliti alla jäävat pinda ning tagab sette ühtlase ärajuhtimise kogu seliti pinnalt. Samas on seda tüüpi selitid kõrged.



Joonis 8.14. Kinnise setteeralduskambriga heljumseliti: 1 – koaguleeritud toorvee sissevool, 2 – õhueraldi, 3 – perforeeritud veejaotustorustik, 4 – heljumikiht, 5 – sette äravoolutorud, 6 – hermeetiline vahesein, 7 – rennid selitatud vee kogumiseks, 8 – selitatud vee äravool, 9 – setteeralduskamber, 10 – tihenenud sette äravoolutoru

b) lahtise setteeralduskambriga selitid (lisaks koridor-tüüpi selititele), näiteks (joonis 8.15)



Joonis 8.15. Lahtise setteeralduskambriga, gravitatsioonilise setteeraldusega pulsaator-tüüpi heljumseliti: 1 – vaakumkamber, 2 – heljumikiht, 3 – laminaarplokid, 4 – koaguleeritud vee sissevool, 5 – veejaotustorustik, 6 – selitatud vee kogumisrennid, 7 – selitatud vee äravool, 8 – sette kogumiskanal, 9 – vaakumpump

Efektiivsed ja laialt kasutatavad ongi pulsaator-tüüpi selitid. Nende põhilüli on vaakumpumbaga 9 ühendatud vaakumkamber 1, mis tagab sette tihendamise ja selitatud vee äravoolu vaheldumisi, s.o pulseerivalt. Vaakumpumba sisse- ja väljalülimine toimub vaakumkambriga ühendatud relee abil, mille klemmide asukohaga on ühtlasi määratud maksimaalne ja minimaalne veetaseme kambris. Vaakumpump lülitub töösse kambri minimaalse veetaseme juures, mis vastab selitatud vee kogumisrennid 6 ääre kõrgusele. Vaakumpumbaga imetakse nii toorvesi kui ka selitis olev vesi vaakumkambrisse, mille tulemusel heljumikiht tiheneb. Maksimaalse veetaseme saavutamisel vaakumpump seiskub ning veetasemete vahe tõttu vaakumkambris ja selitis toimub vee liikumine vastupidises suunas – heljumikiht paisub ja selitatud vesi kogutakse rennidesse. Vaakumkambriga täitumise-tühjenemise lühikeste tsüklite tõttu (vastavalt 10...15 ja 5 s) on välistatud nii heljumikihi ülemäärane tihenemine kui ka heljumi-osakeste kandumine selitatud vette.

## 8.4.2. Heljumselitite arvutus

Nagu setiti puhul, toimub ka heljumseliti selitus- ja setteeralduskambrite pinna arvutus eraldi talvisele ja suvisele perioodile, mis peab tagama kõige ebasoodsamate eksploatatsioonitingimuste arvestamise. Selituskambri pind arvutatakse (koridor-tüüpi seliti näite varal joonis 8.12) valemiga

$$A_{sel} = Q_h K_j / 3,6 v_s \text{ m}^2 \quad (8.8)$$

kus  $Q_h$  on arvutuslik vooluhulk  $\text{m}^3/\text{h}$ ;

$K_j$  – jaotusmoodul;

$v_s$  – vee arvutuslik tõusukiirus selitustsoonis,  $\text{mm}/\text{s}$ .

Setteeralduskambri pinna määramiseks kasutatakse valemit

$$A_{set} = Q_h (1 - K_j) / 3,6 v_s \text{ m}^2 \quad (8.9)$$

$v_s$  ja  $K_j$  väärtused sõltuvad toorvee omadustest, eelkõige vee temperatuurist ja heljumisisaldusest. Madalal temperatuuril (sama heljuvainete sisalduse korral) peab  $v_s$  olema koagulatsiooniprotsessi madalamat efektiivsust arvestades väiksem, vältimaks osakeste väljakandmist heljumikihist ja kihi lagunemist; toorvee heljumisisalduse suurenedes (sama temperatuuri korral) moodustub heljumikiht tihedamatest helvestest, mistõttu ka optimaalne tõusukiirus on suurem;  $K_j$  sõltub põhiliselt heljumikihti saabuva vee heljuvainete sisaldusest.

Arvestades nii heljumisisalduse kui ka temperatuuri mõju, määratakse  $v_s$  ja  $K_j$  eraldi suve- ja talveperioodile sõltuvalt selitisse saabuva vee heljumisisaldusest.  $\gamma M_o$ , kus  $M_o$  on toorvee heljumisisaldus  $\text{mg}/\text{l}$  ja  $\gamma$ -tegur, mis arvestab reagentide lisamisest tingitud vee sogasuse suurenemist selitisse saabuvas vees :

$$\gamma M_o < 100 \text{ mg/l} - v_s = 0,5 \dots 0,6 \text{ mm/s (talvel); } 0,7 \dots 0,8 \text{ (suvel); } K_j = 0,8 \dots 0,7.$$

$$\gamma M_o = 100 \dots 400 \text{ mg/l} - v_s = 0,6 \dots 0,8 \text{ (talvel); } 0,8 \dots 1,0 \text{ (suvel); } K_j = 0,8 \dots 0,7.$$

$$\gamma M_o > 400 \text{ mg/l} - v_s = 0,9 \text{ (talvel); } 1,1 \text{ (suvel); } K_j = 0,7 \dots 0,6.$$

Kui selitus- ja setteeralduskambris on *laminaarplokid*, võib tõusukiirust suurendada kuni 50%. Nii heljumikihi kui ka selitustsooni kõrgus valitakse tavaliselt 2...2,5 m. Ning vastavalt joonise 8.12 tähistusele:

$$h^I = 1 \dots 1,5 \text{ m; } h^{II} \geq 1,5 \text{ m; } h^{III} \geq 0,3 \text{ m.}$$

Selituskambri põhja moodustavate seinte vaheline nurk valitakse 60...70°, setteeralduskambris 70°.

Toorvee jaotamine selitisse toimub perforeeritud jaotustorustiku kaudu, vee voolukiirus torusse sissevoolul 0,5...0,6  $\text{m}/\text{s}$ , aukudest väljavoolul 1,5...2  $\text{m}/\text{s}$ , augud suunatakse alla 45° nurga all ning paigutatakse malekorras, aukude läbimõõt  $\geq 25 \text{ mm}$ , vahekaugus  $\leq 0,5 \text{ m}$ .



Selitustsoonis kogutakse puhastatud vesi kas kolmnurksete väljalõigetega varustatud renni või ülevoolurenni abil (väljalõigete sügavus 40...60 mm, vahekaugus 100...150 mm, servade vaheline nurk 60°), voolukiirus rennis 0,5...0,6 m/s. Setteeralduskambris toimub puhastatud vee kogumine perforeeritud torustiku abil (voolukiirus torus 0,5 m/s, aukudesse sissevoolul  $\geq 1,5$  m/s, aukude läbimõõt 15...20 mm). Kogumistoru põhi peab asuma vähemalt 0,4 m kõrgemal veepinna tasemest selitatud vee üldises kogumiskanalis.

Vee voolukiirus sette *väljavooluakna ristlõikes* valitakse 10...15 mm/s, *sette äravoolutorus* 5 (joonis 8.14) 40...60 mm/s. Sette ärajuhtimine settetsoonist toimub 15...20 min jooksul perforeeritud torustiku kaudu, võttes lahjendusteguri väärtuseks 1,5. Äravoolutoru läbimõõt peab olema vähemalt 150 mm, voolukiirus aukudes  $\geq 3$  m/s, voolukiirus toru lõpus  $\geq 1$  m/s, aukude läbimõõt 20 mm, vahekaugus  $\leq 0,5$  m. Setteeralduskambri settetsooni maht arvutatakse valemiga (8.4), kusjuures seliti töötükkiks võetakse 24 h. Sette äravoolutoru rõhukadu arvutatakse valemiga (8.5).

Selituskambris või selle ees on vajalik *õhueraldi*, mis tavaliselt on mahuti, milles vesi liigub ülalt alla. Vee viibeag mahutis – 1 min; õhueraldi pinna määramisel võetakse vee langemiskiiruseks 0,05 m/s.

## 8.5. Flotatsioon

Flotatsioonibasseinis toimub koagulandihelveste kleepumine õhumullikeste külge molekulaarsete tõmbejõudude toimele, mille tulemusel need helbed koos helveste külge jäänud heljumiosakestega tõstetakse flotatsioonibasseini pinnale. Tekkiv vahukiht eemaldatakse kas mehaaniliselt või hüdrauliliselt ning puhastatud vesi juhitakse ära vahukihi alt. Flotatsioon on tõhus eelpuhastusprotsess põhiliselt kergelt heljumit sisaldava vee korral. Selline on näiteks seisuveekogude (järved, veehoidlad) vesi.

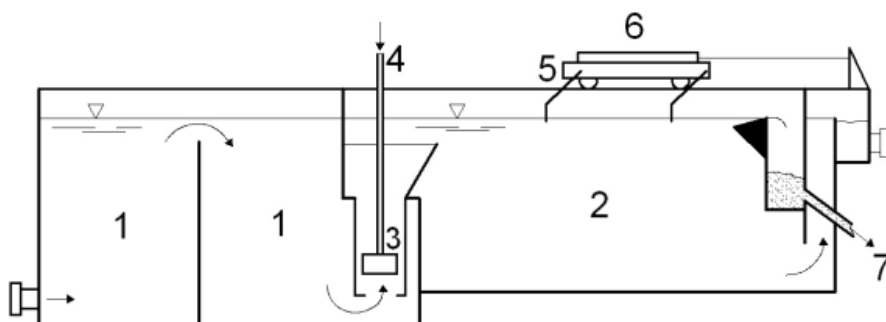
Flotatsiooni tõhusus sõltub vee ja heljumiosakeste omadustest, õhumullide suurusel ja nende basseini pinnale jaotumise ühtlusest. Kuna suurte õhumullide korral tekivad suured mullidevahelised tühikud, mis vähendavad puhastusefekti, peab mullikeste suurus olema  $< 100$   $\mu\text{m}$ , üldjuhul 20...30  $\mu\text{m}$ . Mida väiksem on vee *pindpinevus*, seda paremini lahustub seal õhk ning seda väiksemad on tekkivad õhumullikesed. Õhumullide külge kleepunud osakesed peavad olema *hüdrofoobsed*, nende optimaalne suurus on 0,01...1 mm. Vee pindpinevuse vähendamiseks, osakeste hüdrofobiseerimiseks ja nende optimaalse suuruse saavutamiseks tuleb vett enne flotatsioonibasseini suunamist *koaguleerida*.

Sõltuvalt õhumullikeste tekitamise viisist eristatakse mehaanilist ja pneumaatilist flotatsiooni. *Mehaanilise flotatsiooni* korral toimub õhumullide dispergeerimine spetsiaalsete turbiinide abil. Pinnavee töötlemisel kasutatakse enamasti *pneumaatilist*

*flotatsiooni*, mis põhineb vees olevate gaaside (õhu) lahustuvuse vähenemisel vastavalt nende partsiaalrõhu vähenemisele.

Seetõttu, juhtides lahustunud gaasi sisaldavat vett suurema rõhu tsoonist väiksema rõhu all olevasse flotatsioonibasseini, toimub seal üleliigse gaasi (õhu) eraldumine mullikestena. Kui flotatsioonibassein on vaakumi all, nimetatakse protsessi *vaakumflotatsiooniks*, ülerõhu alt tulnud vesi-õhk-emulsiooni juhtimisel lahtisesse flotatsioonibasseini aga on tegemist *surveflotatsiooniga*.

Viimati nimetatud flotatsiooniliik ongi pinnavee töötlemisel põhiliselt kasutatav.



Joonis 8.16. Surveflotatsiooni skeem: 1 – helvestuskamber, 2 – flotatsioonibassein, 3 – õhumullikeste jaotussüsteem, 4 – vesi-õhk-emulsiooni torustik, 5, 6 – roopmehhanism, 7 – vahukihi äravool

Flotatsioonibasseini sügavus on tavaliselt 2...3 m, vee viibeag seal 20...60 min, pinnakoormus 6...8 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup> h (1,7...2,2 mm/s). Võrdluseks: setiti arvutuslik settimiskiirus  $u_0$  (so pinnakoormus) on 0,35...0,6 mm/s; seliti arvutuslik tõusukiirus  $v_s$  on 0,5...1,1 mm/s.

Seega võib flotatsioonibasseinide kasutamine setitite või selitite asemel vähendada eelpuhastusseadmete vajalikku pinda kuni 2...3 korda, tagades sobivate omadustega toorvee ja optimaalse ekspluatatsioonirežiimi korral ka kõrgema puhastusefekti.

Vesi-õhk-emulsioon valmistatakse survepaagis, kuhu juhitakse 8...10% töödeldavast veest. Lisaks juhitakse survepaaki kompressoriga suruõhku rõhu all 0,6...0,8 MPa, mille kogus moodustab 0,9...1,2% töödeldava vee kogusest. Vee viibeag survepaagis – ligikaudu 2 min.

## 9. VEE FILTRIMINE

### 9.1 Filtrite liigitus

*Filtrimiseks* nimetatakse lahustumata lisandeid sisaldava vedeliku (gaasi) juhtimist läbi filtriva materjali kihi, mis peab tahked osakesed kinni kihi peal või sisemuses. Vastavaid seadmeid nimetatakse *filtriteks*. Sõltuvalt filtrivast materjalist jagatakse filtrid kahte rühma – *õhukesekihilised filtrid* (kiled, kangad, poorsed plaadid, tihedad võrgud), ning *teralised filtrid*, milles filtrivaks materjaliks on teralise puistematerjali kiht (kvartslüiv, antratsiit, aktiivsüsi, mitmesugused looduslikud ning sünteetilised päritolu teralised materjalid). Õhukesekihilistes filtrites leiab aset *kilefiltratsioon*, mille puhul vees olevad osakesed peetakse kinni filtrikihi peal, kusjuures kinnipeetud osakesed moodustavad täiendava või isegi peamise filtriva kihi ning filtrival materjalil on vaid seda kihti hoidev funktsioon. Teralistes filtrites toimub põhiliselt *mahtfiltratsioon*, milles erineva suurusega koagulandihelbed koos nende küljes olevate jämedisperssete ja kolloidosakestega peetakse kinni filtrikihi sisemuses olevates poorides. Õhukesekihilisi filtreid kasutatakse laialdaselt keemiatööstuses, aparaadi- ja masinaehituses, autotööstuses jm, teralised filtrid leiavad kasutamist eelkõige vee-puhastuses. Tarbeveekäitluses on teralised filtrid üldlevinud vee selitamisel, värvitus-tamisel, raua- ja mangaaniärastuses, teralise täitega on ka vee pehmemdamiseks-magestamiseks kasutatavadioonivahetusfiltrid.

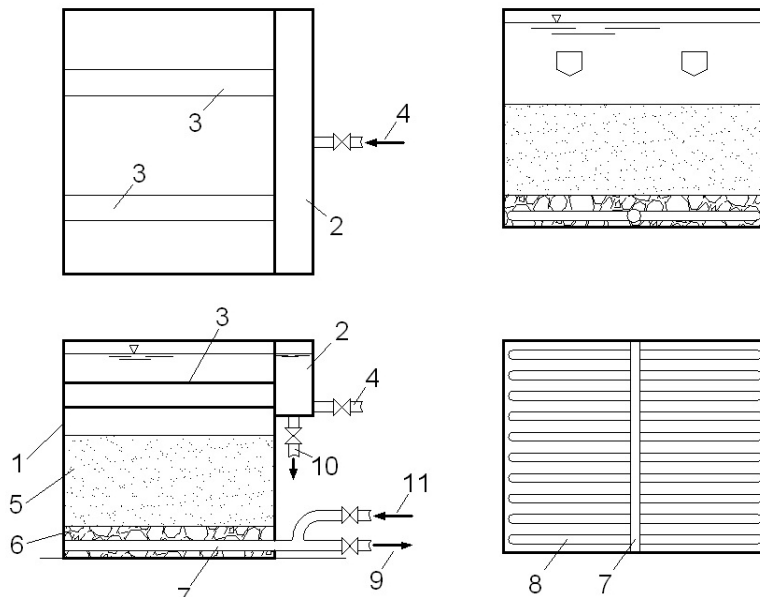
Teralisi filtreid võib liigitada mitmesuguste tunnuste järgi.

- 1) sõltuvalt rõhust filtrikihi peal:
  - *gravitatsioonilised filtrid*. Need on pealt lahtised bassenid, milles vee filtreerumine läbi filtrikihi toimub raskusjõudude toimele;
  - *survefiltrid*. Metallist või plastist hermeetiliselt suletud mahutid, milles vee filtreerumine toimub pumpadega tekitatud ülerõhu toimele.
- 2) sõltuvalt filtratsioonikiirusest:
  - *aeglased filtrid* ( $v = 0,1 \dots 0,3$  m/h);
  - *kiirfiltrid* ( $v = 2 \dots 10$  m/h);
  - *ülikiirfiltrid* ( $v > 20$  m/h).
- 3) sõltuvalt filtrikihtide arvust :
  - *ühekihilised filtrid*;
  - *kahekihilised filtrid*;
  - *mitmekihilised filtrid*.
- 4) sõltuvalt materjali terajämedusest filtri ülemises kihis:
  - *peeneteralised filtrid* ( $d < 0,4$  mm, kasutatakse põhiliselt aeglastes filtrites);
  - *keskmiseteralised filtrid* ( $d = 0,4 \dots 0,8$  mm, kasutatakse kiirfiltrites);
  - *jämeteralised filtrid* ( $d > 0,8$  mm, kasutatakse tootmisveekäitluses).

- 5) filtrimise suuna järgi:
  - ülalt alla filtrimisega filtrid;
  - alt üles filtrimisega filtrid;
  - kahevoolused filtrid.
- 6) sõltuvalt kandekihtidest:
  - kruusast kandekihtidega filtrid;
  - kandekihtideta filtrid.
- 7) sõltuvalt filtrikihi regenereerimise viisist:
  - vesiuhumiseega filtrid;
  - vesi-õhk-uhumiseega filtrid.

## 9.2. Kiirfiltri tehniline lahendus ja käitus

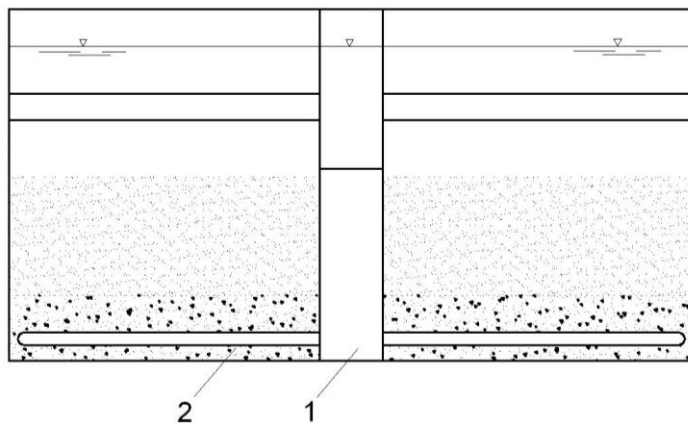
Ühisveevärkide veetöötlusjaamades on enam levinud ühe- ja kahekihilised gravitatsioonilised kiirfiltrid. Need on nelinurkse põhiplaaniga basseinid, millesse on paigutatud teatud paksusega filtrikiht, samuti torustik ja rennid toorvee, filtraadi ja uhtevee jaotamiseks-kogumiseks. Filtrid on varustatud kontrolljuhtimissüsteemiga, mis võimaldab filtrite töö nii käsi- kui kaugjuhtimist.



Joonis 9.1. Ühekihilise, gravitatsioonilise, ülalt alla filtrimisega, kandekihtiga ja vesiuhumiseega ning suure takistusega drenaažisüsteemiga kiirfiltri skeem: 1 – filtri bassein, 2 – toorvee jaotuskanal (uhtevee kogumiskanal), 3 – toorvee jaotusrennid (uhtevee kogumisrennid), 4 – toorvee sissevoolutorustik, 5 – filtrikiht, 6 – kandekiht, 7 – filtraadi kogumiskollektor (uhtevee jaotuskollektor), 8 – filtraadi perforeeritud kogumistorustik (uhtevee jaotustorustik), 9 – filtraadi väljavoolutorustik, 10 – uhtevee äravoolutorustik, 11 – uhtevee sissevoolutorustik

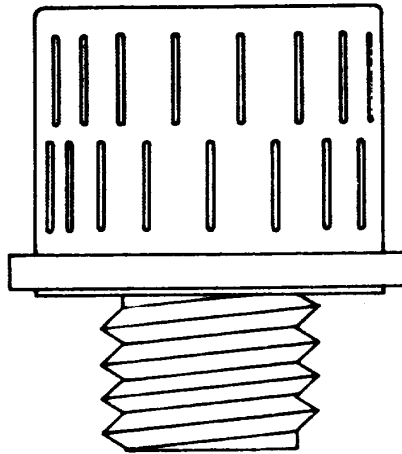
Kui kiirfiltrit kasutatakse pinnaveest joogivee kvaliteediga tarbevee valmistamiseks, on möödapääsmatu vee eelnev koaguleerimine. See suurendab oluliselt filtri puhastus-efekti, kuna vee koaguleerimisega vähendatakse heljumiosakeste agregatiivset stabiilsust ning luuakse tingimused nende kinnistumiseks (adhesiooniks) filtri täitematerjali terade külge. Kaheastmelise puhastuskeemi korral lisatakse koagulant enne eel-puhastusseadmeid (setiteid, seliteid, flotatsioonibasseine), kiirfiltrites toimub eespool olevatest seadmetest välja kantud peene heljumi kinnipidamine ning seeläbi vee lõplik selitamine ja värvitustamine. Vahel on puhastusefekti suurendamiseks otstarbekas lisada vette enne filtreid täiendavalt flokulanti.

Koaguleeritud vesi juhitakse jaotuskanaliga 2 ühendatud rennide 3 kaudu ühtlaselt filtrikihi peale (joonis 9.1). Rennid paigutatakse paralleelselt filtribasseini lühema küljega. Filtraadi kogumiseks ja uhtevee jaotamiseks kasutatakse *drenaažisüsteemi*, mis koosneb kogumistorustikust 8 ja kogumiskollektorist 7. Suure filtratsioonipinnaga filtrites kasutatakse tsentraalkanalit, millega on vahetult ühendatud filtraadi kogumistorustik. Seeläbi langeb ära vajadus paigutada suure läbimõõduga kogumiskollektor filtri sisse.



Joonis 9.2. Tsentraalkanaliga kiirfiltrit skeem: 1 – hermeetilise vaheseinaga kaheks sektsiooniks jagatud tsentraalkanal, 2 – filtraadi kogumistorustik (uhtevee jaotustorustik)

Filtrikihi alla asetatakse kruusast või graniitkillustikust kandekiht 6, mille ülesanne on vältida filtriva materjali terade sattumist kogumistorustikku ning tagada uhtevee võimalikult ühtlane jaotamine filtri pinnale. Kasutatakse ka *kandekihita filtreid*, kus perforeeritud kogumistorustiku asemel on *pilukuplid*. Pilude laius neis on 0,1 mm väiksem kui filtrikihi minimaalne teraläbimõõt, seega tavaliselt 0,3...0,4 mm. Pilukupleid valmistatakse plastist või terasest ning ühendatakse keermega kas filtri kahekordse põhja sisse või jaotustorustiku külge. Pilukuplite kasutamine võimaldab ühtlasemat uhtevee jaotamist filtri pinnale, vähendab teralise täitematerjali kihi kogupaksust filtris ning kandekihi terade horisontaalse paigaltnihkumise ohtu.



Joonis 9.3. Pilukuppel



Joonis 9.4. Terasest pilukuppel



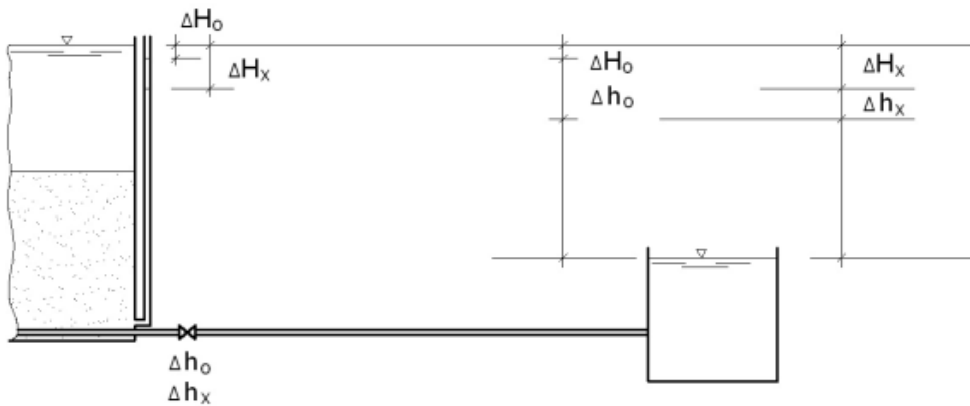
Joonis 9.5. Terasest pilukuplite ühendamine jaotustorustiku külge

Filtrikiht koos sinna kogunenud heljumiosakestega moodustab olulise hüdraulilise takistuse, mille suurust saab hinnata filtri peal oleva veenivoo ja (mõtteliselt) teralisest materjalist kihtide alla ühendatud piesomeetri veenivoo vahega (joonis 9.6). Seda nimetatakse *filtri rõhukaoks* ja tähistatakse  $\Delta H$ . Kiirfiltrid võivad töötada kahel erineval režiimil:

- a) ühtlase filtratsioonikiirusega režiimil;
- b) väheneva filtratsioonikiirusega režiimil.

#### Ühtlase filtratsioonikiirusega režiim

Arvestades heljumi pidevat lisandumist filtrikihti, toimub filtri töötükli  $T$  jooksul (s.o ajavahemik kahe järjestikuse uhtumise vahel) filtrikihi hüdraulilise takistuse pidev suurenemine. Et sellele vaatamata tagada filtratsioonikiiruse  $v$  püsimine muutumatuks, tuleb võrdeliselt hüdraulilise takistuse suurenemisele filtrikihis vähendada hüdraulilist takistust filtraadi äravoolutorul. Selleks kasutatakse äravoolutorule asetatud *kiirusregulaatorit*, mis automaatselt avab torul olevat sulgurit, vähendades sellega toru hüdraulilist takistust.



Joonis 9.6. Ühtlase filtratsioonikiiruse saavutamist illustreeriv skeem:  $\Delta H_0$  – filtrikihi algrõhukadu,  $\Delta H_x$  – filtrikihi rõhukadu ajahetkel  $x$ ,  $\Delta h_0$  – sulguri rõhukadu alghetkel,  $\Delta h_x$  – sulguri rõhukadu hetkel  $x$ .

Ühtlase filtratsioonikiiruse säilitamise filtri töötükli jooksul tagab tingimus  $\Delta H + \Delta h = \text{const}$ .

#### Väheneva filtratsioonikiirusega režiim

Kui veepindade vahe filtrikihi peal ja puhta vee reservuaaris on muutumatu ning kiirusregulaator puudub, toimub filtrikihi rõhukao kasvust tingituna filtri töötükli jooksul filtratsioonikiiruse pidev vähenemine.

Enam levinud on ühtlase filtratsioonikiirusega režiim, mis tagab kogu VTJ ühtlasema töö. Väheneva filtratsioonikiirusega režiim leiab kasutamist, kui VTJ-s on palju filtreid ning nende töö ja uhtumise tsüklid on üksteise suhtes nihutatud.

$\Delta H$ ,  $T$  ja  $v$  on filtri tööd iseloomustavad põhilised tehnoloogilised parameetrid. Ühtlase filtratsioonikiirusega töötav filter lülitatakse uhtumisele põhiliselt teatud  $\Delta H$  saavutamisel. Kui kiirfilter on välja reguleeritud optimaalsele töörežiimile, on filtritava vee omadused, filtrikihi paksus ja terajämedus ning  $\Delta H$ ,  $T$  ja  $v$  omavahel kindlas seoses. Tavaliselt ei ületa filtri maksimaalne rõhukadu, mil filter lülitatakse uhtumisele, filtriva kihi paksust.

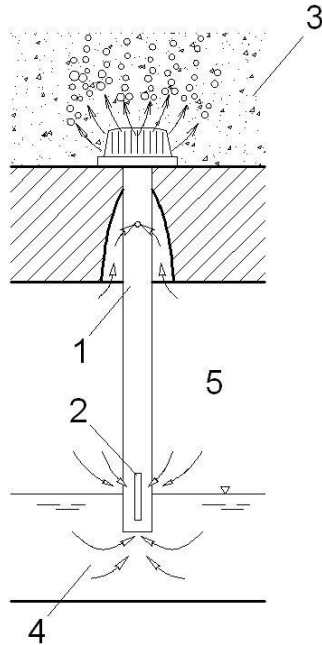
#### *Filtri vesiuhumine*

Selleks suletakse toorvee pealevool 4 (joonis 9.1) ja filtraadi äravool 9 ning avatakse uhtevee äravoolutorustik 10, mille järel veenivoo filtri peal langeb rennid 3 servani. Seejärel käivitatakse filtrite uhtepump, mis tavaliselt asub 2. astme pumplas või filtrite ruumis ning avatakse uhtevee pealevoolutorustikul 11 asuv siiber. Uhtumiseks kasutatakse filtritud vett puhta vee reservuaarist. Uhtepumba jõudlus peab olema selline, et see tagaks *filtrikihi paisumise* 20...40%. Sellele vastav *uhtumise intensiivsus* on enamasti 12...18 l/s m<sup>2</sup>. Sellise uhtumise korral kestab uhtumine kuni 10 min, mille järel äravoolutorustikus voolava uhtevee omadused vastavad uhtumiseks kasutatava vee omadustele. Kui uhtumine kestab oluliselt kauem, on tavaliselt tegu uhtepumba ebapiisava jõudlusega, mis ei taga filtrikihi vajalikku paisumist. Kui uhtumine on lõppenud, suletakse uhtevee pealevool, lülitatakse välja uhtepump, suletakse uhtevee äravool filtrist, avatakse toorvee pealevool ja tõstetakse veenivoo filtri peal vajaliku kõrguseni (tavaliselt 1,5...2 m). Seejärel reguleeritakse kiirusregulaatori abil välja vajalik filtratsioonikiirus ja alustatakse filtri uut töötüklit. Enamasti eelneb sellele nn *esimese filtraadi* juhtimine kanalisatsiooni. See vajadus on tingitud filtri täitesse jäänud väljauhtumata heljumiosakekestest, mis vastasel juhul halvendaksid filtraadi kvaliteeti filtri töötükli alguses.

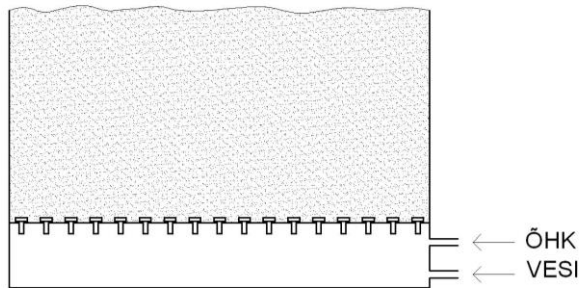
#### *Filtri vesi-õhk-uhumine*

Uhtevee kulu vähendamiseks ja efektiivsema uhtumise huvides kasutatakse uhtumisel lisaks veele ka suruõhku. Selleks paigutatakse filtri põhja vaheldumisi veetorudega suruõhu jaotustorustik või (sagedamini) kasutatakse erilisi "pika varrega" pilukupleid (joonis 9.7). Esimesel juhul on vajalik kandekihi olemasolu, pilukuplite korral neid vaja ei ole. Pilukupel on varustatud seest õõnsa ning pikipiluga varustatud varrega ning on keermega ühendatud filtri kahekordse põhja sisse (joonis 9.8). Kahekordse põhja vahele koos veega pumbatav suruõhk koguneb sinna õhukorgina. Valides sobivalt kompressori ja uhtepumba rõhud, on võimalik reguleerida veenivood kahekordse põhja vahel, millega ühtlasi tagatakse koos veega vajaliku hulga õhu kaasaimemine.





Joonis 9.7. Vesi-õhk-uhutumise pilukuppel: 1 – seest õõnes varras, 2 – pilu, 3 – filtrikiht, 4 – vesi, 5 – õhk



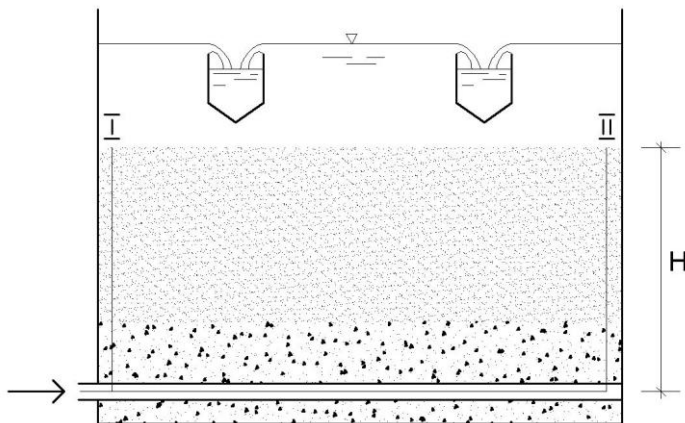
Joonis 9.8. Filtri kahekordse põhja sisse ühendatud vesi-õhk-uhutumise pilukuplid

Vesi-õhk-uhutumisel toimub uhtumine kolmes etapis:

- 1) suruõhuga barboteerimine 1... 2 min      15... 20 l/s m<sup>2</sup> ;
- 2) uhtumine üheaegselt õhu ja veega 4... 5 min:
  - õhuga 15... 20 l/s m<sup>2</sup>
  - veega 6... 8 l/s m<sup>2</sup>
- 3) uhtumine veega 4... 5 min 6... 8 l/s m<sup>2</sup>.

### Suure ja väikese takistusega drenaažisüsteemid

Drenaažisüsteem peab tagama uhtvee ühtlase jaotamise filtri pinnale. Vastasel juhul jäävad filtrisse läbipesemata alad, mis vähendavad filtri efektiivsust. Uhtvee ühtlane jaotamine on tagatud, kui uhtvee voolukiirused vertikaalides I ja II on võrdsed (joonis 9.9). Samas leiab uhtvee liikumisel filtrikihi aluses drenaažitorustikus aset rõhukadu, mille tulemusel uhtvee rõhk filtri kaugemas punktis võrreldes rõhuga filtrisse sissevoolul väheneb.



Joonis 9.9. Filtri uhtumise skeem

Hüdraulikast on teada, et  $v_1 = \varphi_1 \sqrt{2gH}$  ja  $v_2 = \varphi_2 \sqrt{2gH}$ , kus  $\varphi_1$  ja  $\varphi_2$  on kiirustegurid. Avaldistest järeldub, et

$$H = v_1^2 / \varphi_1^2 \cdot 2g = S_1 v_1^2 = v_2^2 / \varphi_2^2 \cdot 2g = S_2 v_2^2, \text{ st } S_1 v_1^2 = S_2 v_2^2,$$

kus  $S_1$  ja  $S_2$  tähistavad hüdraulilisi kogutakistusi vee voolamisel filtrisse sissevoolupunktist kuni filtri pinnani vastavalt vertikaalides I ja II.

Eelnevast tuleneb, et  $v_2 / v_1 = \sqrt{S_1} / \sqrt{S_2} = \sqrt{S_{\text{perf}} + S_{\text{kiht}}} / \sqrt{S_{\text{perf}} + S_{\text{kiht}} + S_{\text{toru}}}$ .

Siin  $S_{\text{perf}}$ ,  $S_{\text{kiht}}$  ja  $S_{\text{toru}}$  on hüdraulilised takistused vastavalt perforatsioonile, filtrikihis ja filtrikihi aluses torustikus. Tähistades nimetatud suhtarvu väärtuse  $\beta$ -ga (uhtvee jaotumise ebaühtlustegur) on selge, et  $\beta \leq 1$ .

Uhtvee ühtlaseks jaotumiseks peaks  $\beta = 1$ .  $\beta$  väärtuse suurendamiseks on 2 võimalust:

a) vähendada  $S_{\text{toru}}$ . Need on väikese takistusega drenaažisüsteemid, kus uhtvee ühtlane jaotumine tagatakse uhtvee väikese voolukiirusega filtrikihi all asuvates torudes (suure läbimõõduga torud) või kahekordse põhja vahel;

b) suure takistusega dreanaažisüsteemid, milles uhtvee ühtlane jaotamine tagatakse sellega, et dreanaažitorude perforatsiooni rõhukadu on suhteliselt suur – 0,03...0,07 MPa.

#### *Kandekihi terade horisontaalne paigaltnihkumine*

Normaalse uhtumise korral jääb kandekiht paigale, samas kui filtri kiht paisub. Kui filtri kiht on tiheda sademe poolt teatud määral tsementeeritud (vee suur heljumi-sisaldus, karbonaatne sade, pikk töötsükkel, peeneteraline filtrimaterjal) võib filtri kiht uhtumise alghetkel monoliitsena kerkida. Seejärel toimub uhtvee järsk “läbimurre” mingis vertikaalis või vertikaalides, kuhu nüüd hüdrodünaamiliste jõudude toimel kruusateri kõrvalt kaasa haaratakse. Läbimurde kohas tekib kruusakuhjatis, mille kõrgus iga järgneva uhtumisega suureneb. See omakorda põhjustab seal filtri kihi paksuse vähenemise, filtri kihi pealispind muutub lohklikuks. Filtri normaalne töörežiim on häiritud, selle töötsükkel ja efektiivsus vähenevad. Probleemi vältimiseks on sobiv kasutada kandekihi dreanaažisüsteemi (pilukuplid) või teatud juhtudel ka täiendavat filtri pealset uhtumist. Selleks asetatakse vahetult filtri kihi kohale 60...80 mm kõrgusele selle pealispinnast statsionaarne perforeeritud torustik, mille avadest suure rõhu all väljuvad veejoad kobestavad enne uhtetsükli algust filtri enim tsementeerunud pealmise kihi. Avad on suunatud alla 30° nurga all horisontaaltasandi suhtes, avade vahekaugus 80...100 mm, vajalik veesurve torustikus 30...40 m. Filtri pealne uhtesüsteem lülitatakse töösse 2...3 min enne põhiuhtumist ning jäetakse töösse kuni põhiuhtumise lõpuni.

#### *Filtri uhtvee korduvkasutus*

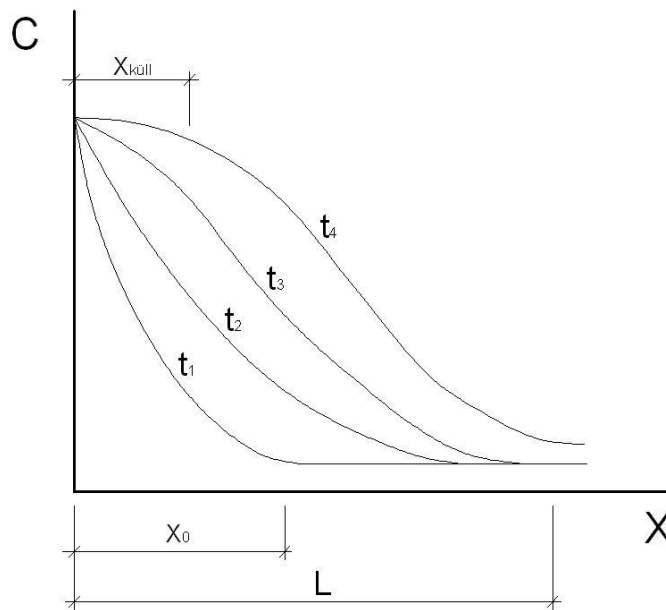
VTJ omatarve sõltub põhiliselt filtrite uhtvee kulust. Selle vähendamiseks rakendatakse filtri uhtvee korduvkasutust. VTJ kaheastmelise puhastusskeemi korral kogutakse uhtvesi keskendusreservuaari ning pumbatakse sealt ühtlaselt puhastusseadmete ette (segistisse). Kui see ei häiri jaama töörežiimi, võib keskendusreservuaarist loobuda ning pumbata tekkiva uhtvee otse segistisse. Üheastmelise skeemi korral (ainult filtrid) kogutakse uhtvesi heljumi väljasetitamiseks mahutisse, milles vett hoitakse 3...4 tundi. Seejärel pumbatakse selginenud vesi tagasi segistisse, sade juhitakse kanalisatsiooni. Filtri uhtvee korduvkasutuse olemasolul moodustab jaama omatarve 3...4% kasulikust toodangust, selle puudumisel aga võib see ulatuda 10...14%-ni.

### 9.3. Kiirfiltri töörežiimi optimeerimine

Kiirfiltris leiab aset mahtfiltratsioon, st toimub vees olevate lahustumatute osakeste kinnistumine filtri kihi terade külge molekulaarsete tõmbejõudude toimel ning nende kuhjumine teralise materjali pooridesse. Nendeks osakesteks on põhiliselt mikroosakesed – koagulandi mikrohelbed, mille külge on haaratud toorvees olevad lahustumatud osakesed. Seega on filtri efektiivseks tööks vajalik vee eelnev koaguleerimine, mis vähendab vees olevate osakeste *agregatiivset stabiilsust* ning

tekitab filtratsiooniprotsessi jaoks vajalikud koagulandihelbed. Teatud rolli etendab kiirfiltri puhul ka *kilefiltratsioon*, st osakeste kinnipidamine filtri kihi pinnal, kuid see filtrimise liik on rohkem omane *aeglastele filtritele*. Kiirfiltri tõhusus sõltub lisaks koaguleerimisele toorvee heljumisisaldusest ja heljumi omadustest (osakeste suurus ja tihedus), filtri kihi paksusest ja terajämedusest ning terade *eripinnast*, filtratsiooni kiirusest, vee temperatuurist.

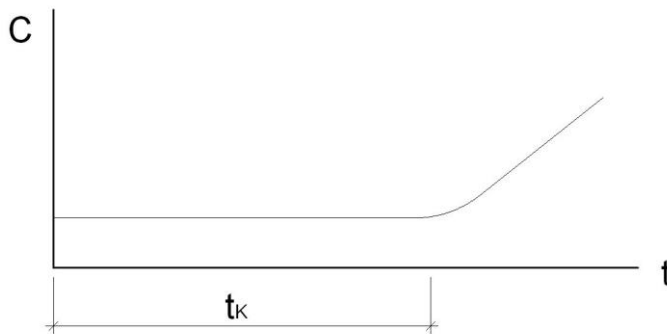
Vees olevate osakeste kinnipidamist filtri kihis võib vaadelda kahe protsessi koostöuna – osakeste kinnistumise-kleepumisena terade külge (*adhesioon*) ja terade külge kinnistunud osakeste taas lahtirebimiseks hüdrodünaamiliste jõudude toimel (*sufosioon*). Sufosiooni tulemusel lahti kistud osakesed kantakse koos filtraadiga filtri sisemusse, kus nad võivad adhesiooni teel uuesti filtri terade külge kinnistuda. Filtratsiooniprotsess on mittestatsionaarne, st filtri kiht ei võta kogu oma paksuses ühtlaselt osa vee selitamisest-värvitustamisest ning iga elementaarkihi kinnipidamisvõime muutub ajas tingituna sellesse kihti juba kogunenud osakeste massist (joonis 9.10). Graafikul on kujutatud filtraadi kontsentratsiooni muutumine filtri kihis erinevaid ajahetkeid.



Joonis. 9.10. Filtraadi kontsentratsiooni muutumine filtri kihis

C on graafikul filtraadi kontsentratsioon, X-filtri mingi (elementaar)kihi paksus ning L – filtri kihi kogupaksus. Algsel perioodil  $t_1$  peetakse osakesed kinni kihi paksusega  $x_0$ , ülejäänud filtri kiht paksusega  $(L - x_0)$  töötab, sest osa ei võta (C ei vähene). Edasi toimub järk-järgult filtri kihi selle osa paksuse suurenemine, mis võtab osa heljumi

kinnipidamisest. Samal ajal iga elementaarkihi efektiivsus ajas väheneb ( $C$  suureneb, sest mida rohkem on kihti kuhjunud heljunit, seda suurem on sufosiooni intensiivsus). Kui adhesiooni intensiivsus saab teatud kihis  $x_{küll}$  võrdseks sufosiooni intensiivsusega, on kiht küllastunud ning filtraadi kontsentratsiooni vähenemist selles kihis enam ei toimu (ajahetk  $t_4$ ). **Piltlikult – filtris toimub kinnipeetud heljumi frondi liikumine filtrikihi sisemusse seni, kuni kogu filtrikiht paksusega  $L$  on ära kasutatud.** Seejärel toimub *läbilööök*, st filtrist väljuva vee heljumisisaldus hakkab suurenema (ajahetk  $t_4$ ). Ajahetke filtri töö algusest kuni läbilöögini nimetatakse *filtri kaitsetegevuse ajaks*  $t_k$  (joonis 9.11) ning see on filtri töörežiimi optimeerimisel üks põhilisi näitajaid.



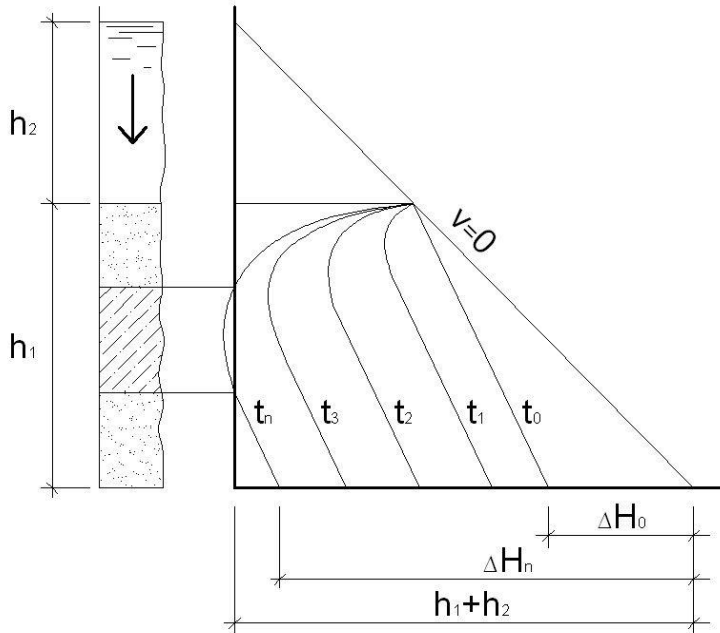
Joonis 9.11. Filtri kaitsetegevuse aja määramine

Heljumi kuhjumisega filtrikihi pooridesse kaasneb kihi hüdraulilise takistuse kasv, mis väljendub filtri rõhukaos  $\Delta H$ . Ajavahemikku, mil filter saavutab teatud etteantud rõhukaos, nimetatakse *piir rõhukaos saavutamise ajaks* ja tähistatakse  $t_h$ . Kiirfilter töötab optimaalsel režiimil, kui  $t_k = t_h$ , st filtri kinnipidamisvõime ammendub üheaegselt kogu etteantud rõhutagavara ära kasutamiseks. Praktiliselt on seda siiski raske saavutada. Seega on 2 võimalust – kas  $t_k < t_h$  või  $t_k > t_h$ . Esimesel juhul lülitatakse filter uhtumisele kaitsetegevuse aja ammendumisel, kusjuures rõhutagavara jääb lõpuni kasutamata ning filtritsükli lõpus filtraadi kvaliteet halveneb. Järelikult on õige lähtuda teisest variantist, st lülitada filter uhtumisele piir rõhukaos saavutamisel, mil kaitsetegevus ei ole veel ammendunud ning seega puudub filtri töötsükli lõpus filtraadi kvaliteedi halvenemise oht. Soovitavalt  $t_k / t_h = 1,1 \dots 1,2$ . Seda tingimust võib lugeda *kiirfiltri töörežiimi optimeerimise kriteeriumiks*.

Nii  $t_k$  kui  $t_h$  sõltuvad filtrikihist ja filtratsioonikiirusest ning neid on võimalik määrata tehnoloogiliste katsete alusel. Tuleb arvestada, et  $t_k$  sõltub põhiliselt filtrikihi ekvivalentdiameetrist  $d_e$ ,  $t_h$  aga filtrikihi teraläbimõõdust filtrimise suunas filtri esimestes kihtides  $d_{10}$  (ülalt alla filtrimise korral pealmistes kihtides). Järelikult, kui  $t_k$  on palju suurem kui  $t_h$ , tuleb filtri töötsükli pikendamiseks suurendada filtrimaterjali  $d_{10}$ , jättes

$d_e$  muutumatuks. Kuidas seda teha? Arvestades, et enamasti toimub filtrimine ülalt alla, asetatakse peenemateralise raskema filtrimaterjali kihi peale suurema teraläbimõõduga kergem filtrimaterjali kiht. Tulemuseks on *kahekihilised filtrid* (kvartslüiv + antratsiit või aktiivsüsi), mis on laialt levinud.

Kiirfiltri eelkirjeldatud tööprotsessiga on seotud ka võimalus, et teatud osa filtrikihist (ülalt alla filtrimise korral ning eelkõige ühekihilise täite korral) võib sattuda *vaakumi* alla. Seda olukorda illustreerib graafik joonisel 9.12.



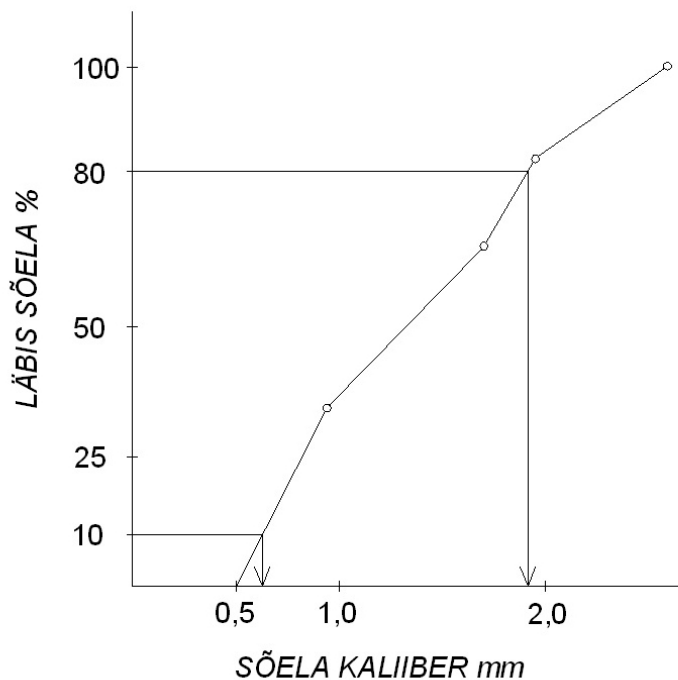
Joonis 9.12. Rõhukao jaotus filtrikihis

Heljumi põhimass koguneb filtri ülemistesse kihtidesse, mistõttu nende hüdrauliline takistus kasvab järsult, samal ajal kui alumised kihid on heljumist puhtad. Selline ebaühtlus on põhjustatud asjaolust, et uhtumise lõppedes toimub heljuvas olekus olnud filtrikihi terade loomulik selekteerumine – jämedamad alla, peenemad üles. Rõhukao kasv võib põhjustada selle, et teatud ajahetkel  $t_n$  satub mingi osa filtrikihist *vaakumi* alla. Selle tagajärjel võib filtraadi kvaliteet halveneda. Vaakumi vältimiseks peab veekihi paksus filtrikihi peal olema vähemalt 1,5...2 m.

## 9.4. Teraliste filtrite täitematerjalid

Teralistes filtrites kasutatavad puistematerjalid peavad olema sobiva *granulomeetrilise struktuuriga, mehaaniliselt tugevad, keemiliselt püsivad*. Filtri töötsükli jooksul filtritaitesse kogunenud heljumi kogus ja töötsükli kestus sõltuvad materjali *avatud poorsusest ja eripinnast* (terade kogupind filtrikihi mahuühiku kohta).

a. *Granulomeetrilised omadused* iseloomustavad puistematerjali terade suurust ja suurusjaotust materjalis. Need omadused määratakse graafiliselt *sõelkõveralt*, mis konstrueeritakse *sõelanalüüsi* tulemuste põhjal. Sõelanalüüsiks võetakse ligikaudu 1000 cm<sup>3</sup> pestud ja kuivatatud puistematerjali, mis sõelutakse läbi sõeltekomplekti. Sõeltele jäänud materjal kaalutakse ning koostatakse sõelkõver (joonis 9.13).



Joonis 9.13. Teralise materjali sõelkõver

Sõelkõveralt määratakse  $d_{10}$  (väike sõelakaliiber, mida läbis ainult 10% materjalist) ning  $d_{80}$  (suur kaliiber, mida läbis 80% materjalist).  $K = d_{80} / d_{10}$  on *ebaühtlustegur*, mis iseloomustab puistematerjali jaotumist teraläbimõõdu järgi. Erineva teraläbimõõduga materjali iseloomustatakse *ekvivalentdiameetriga*

$$d_e = 100 / \sum (P_i / d_i) \quad (9.1)$$

kus  $P_i$  on keskmise diameetriga  $d_i$  fraktsioonide protsentuaalne sisaldus materjalis.  $P_i$  ja  $d_i$  määratakse erineva kaliibriga sõeltele jäänud materjalikoguse kaalumiseega.

$d_{10}$ ,  $d_{80}$ ,  $K$  ja  $d_e$  on täitematerjali *granulomeetrilised omadused*. Nende järgi loetakse sobivaks kiirfiltri täitematerjaliks puistematerjali terajämedusega 0,5...2 mm, mille  $K = 1,5...2$  ning  $d_e = 0,7...1,2$ .

b. Filtrimaterjali *mehaanilist tugevust* võib hinnata selle *peenestatavuse* ja *kuluvuse* järgi. 100 g pestud ja sõelutud filtrimaterjali ( $d > 0,5$  mm) valatakse üle veega ja asetatakse 24 tunniks raputusagregaati. Seejärel materjal kuivatatakse ja sõelutakse läbi sõelte 0,5 ja 0,25 mm. *Peenestatavuseks* nimetatakse materjali protsentuaalset kogust, mis jääb sõelale 0,25 mm. Sõela läbinud kogus määrab materjali *kuluvuse*. Heaks filtrimaterjaliks loetakse sellist, mille peenestatavus ei ületa 4% ning kuluvus 0,5%.

c. *Keemiline püsivus* tähendab, et filtrimaterjali teradest ei tohi sellesse kuuluvad ühendid välja leostuda ei happelises, leeliselises ega neutraalses keskkonnas. Keemilise püsivuse hindamiseks puistatakse kolme kolbi igaühte 10 g pestud ja kuivatatud filtrimaterjali. Kolbidesse lisatakse vastavalt 100 ml väävelhapet, 100 ml seebikivi ja 250 g keedusoola lahust. Kolvid jäetakse 24 tunniks seisma, neid perioodiliselt loksutades. Seejärel kolvides olev vesi filtritakse ja määratakse filtraadi kuivjääk, PHT ning  $\text{SiO}_2$  sisaldus. Keemiliselt püsivaks võib lugeda filtrimaterjali, mille puhul üheski keskkonnas kuivjäägi juurdekasv ei ületa 20 mg/l ning PHT ja  $\text{SiO}_2$  juurdekasv 10 mg/l.

Levinuimaks filtri täitematerjaliks on *kvartslüüv* (terajämedus 0,5...2 mm, tihedus  $2,65 \text{ g/cm}^3$ , puistetihedus  $1600...1700 \text{ kg/m}^3$ ). Peale selle on laialdaselt kasutatavad *antratsiid* (terad  $\leq 4$  mm, süsinikusisaldus 90%, tihedus  $1,4...1,5 \text{ g/cm}^3$ , puistetihedus  $\sim 730 \text{ kg/m}^3$ ), kivi- ja puusõest toodetavad *aktiivsõed* (Filtrisorb jt, sõe termokeemilisel töötlemisel saadud sorbeerivate omadustega materjal, 1...3 mm terad, tihedus  $0,5...2 \text{ g/cm}^3$ , puistetihedus  $300...600 \text{ kg/m}^3$ ), *jahvatatud keramsiid* (kergkruus), karbonaatsed materjalid (*juraperle* jm), Fe ja Mn suhtes selektiivsed materjalid – *Manganees greensand* (eriliselt töödeldud glaukoniitlüüv, mille terade pinnale on tekitatud  $\text{MnO}_2$  katalüütiline kile, sobib Mn kinnipidamiseks, vajalik regenereerimine kaaliumpermanganaadiga), *Nevtraco*, *Magno-Dol*, *Birm*, *Aqua mandix* (katalüütiline materjal, sisaldab 65...68%  $\text{MnO}_2$ , 0,5...1 mm suurused musta või pruunikat värvi terad, lisatakse 10...30% filtri kvartslüüvast täitesse, sobib Mn äraastamiseks), samuti *tseoliidid*. Mitmekihilistes filtrites vajatakse alumises kihis raskeid, peeneteralisi materjale. Sellisteks sobivad näiteks *peenestatud basalt* (*Everzit BB*, tihedus  $2,95 \text{ g/cm}^3$ , puistetihedus  $1500 \text{ kg/m}^3$ , terajämedus  $> 0,4$  mm, sisaldab 49%  $\text{SiO}_2$ , 19%  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ) ja *Pyrolox* (looduslik  $\text{MnO}_2$  sisaldav mineraal, tihedus  $3,8 \text{ g/cm}^3$ , puistetihedus  $2000 \text{ kg/m}^3$ , terajämedus  $> 0,8$  mm, sobib Fe, Mn ja  $\text{H}_2\text{S}$  kõrvaldamiseks). Tootmisvee ettevalmistamisel kasutatakse ka *sünteesilisi filtrimaterjale* (vahtpolüstürooli terad ujukihiga filtrites).



*Filtri kandekiht* on kas kruusast või graniitkillustikust ning see paigutatakse filtri põhja fraktsioonide kaupa alt üles väheneva terajämeduse järjekorras:

40... 20 mm fraktsioon – kihi pealispind on samas tasapinnas perforeeritud kogumistorustiku laega, kuid vähemalt 100 mm perforatsioonist kõrgemal (kogumistorustiku põhi peab asuma 80...120 mm filtribasseini põhjast); 20... 10 mm fraktsioon – kihi paksus 100...150 mm; 10... 5 mm – 100...150 mm; 5... 2 mm – 50...100 mm.

Juhul, kui filtri kihi maksimaalne teraläbimõõt on  $d < 2$  mm, lisatakse täiendav kandekihi fraktsioon  $2...d$  mm paksusega 100 mm.

## 9.5. Kiirfiltrite projekteerimine

Kiirfiltrite projekteerimisel tuleb määrata:

- summaarne filtratsioonipind ja filtrite arv;
- täitematerjalid, nende terajämedus ja kihi (kihtide) paksus;
- dreanažisüsteem (kandekihiga või ilma);
- kandekiht, selle fraktsiooniline koostis ja kihtide paksus;
- filtri kommunikatsioonid (rennid, torustikud) ja nende mõõtmed;
- uhtepumba valikuks vajalik rõhukadu, valida pump ja määrata uhteeve kulu;
- uhteeve korduvkasutuseks vajalikud seadmed.

Veetöötlusjaama kiirfiltrite summaarne filtratsioonipind määratakse valemiga

$$A_f = (Q_d / T v) - nq - ntv \quad m^2 \quad (9.2)$$

kus  $Q_d$  on VTJ ööpäevane tootlikkus,  $m^3/d$ ;  
 $T$  – VTJ töötundide arv ööpäevas, tavaliselt  $T = 24$  h;  
 $v$  – arvutuslik filtratsioonikiirus, m/h;  
 $n$  – ühe filtri uhtumiste arv ööpäevas;  
 $q = 0,06 w t_1$  – uhteeve erikulu ühe filtri uhtumisel,  $m^3/m^2$ ;  
 $w$  – uhtumise intensiivsus,  $l/s m^2$ ;  
 $t_1$  – uhtumise kestus, min;  
 $t$  – filtri uhtumisest tingitud seisuaeg, h.

Olulisimaks lähteandmeks on arvutuslik filtratsioonikiirus. See määratakse, arvestades toorvee omadusi, vee eeltöötlust, kasutatavat filtrimaterjali, tarbija poolt puhastatud veele esitatavaid nõudeid ja tehnoloogiliste eelkatsete tulemusi. Tavaliselt arvutuslik filtratsioonikiirus ei ületa 7...8 m/h. Soovitav on võtta filtratsioonikiirus piisava varuga, mis tagab vajadusel võimaluse VTJ toodangut suurendada, ilma et see põhjustaks filtraadi kvaliteedi halvenemist. Teatud tingimustel võib tekkida vajadus ka töös olevate filtrite toodangut suurendada, näiteks kui lisaks uhtumisele on osa filtreid veel täiendavalt tööst välja lülitatud. Vastutusrikaste objektide puhul viiakse enne projekteerimist läbi tehnoloogilised katsed filtri mudelil, milleks enamasti on uuritava

filtrimaterjaliga täidetud ning proovivõttu ja rõhukao mõõtmist võimaldavate seadmetega varustatud vähemalt 100 mm läbimõõduga toru. Valitud filtratsioonikiirus peab kindlustama filtri optimaalse töörežiimi, st olukorra, mil  $t_k > t_h$  (vt p 9.3).

Vesiuhtumise intensiivsus võetakse 12...18 l/s m<sup>2</sup>. Uhtumise kestus on soovitatav võtta 10...15 min, filtri seisuaeg uhtumisest tingituna – 0,3...0,5 h.

Filtrite arv peaks olema vähemalt 4, mis ühe filtri uhtumise korral ei suurenda ülemäära filtratsioonikiirust ülejäänud filtrites. Ühe lahtise filtri pind ei peaks ületama 20...30 m<sup>2</sup>.

Filtri kommunikatsioonide mõõtmed ning voolukiirused ja rõhukaod neis määratakse, lähtudes uhtumise olukorrast.

Suure takistusega, perforeeritud torudrenaaži ja kandekihiga filtri kasutamisel (joonis 9.1) valitakse nii kogumistorustiku kui ka kollektori läbimõõt kogu pikkuses ühtlane. Voolukiirus kollektori alguses – 0,8...1,2 m/s, kogumistoru alguses – 1,6...2 m/s. Avade läbimõõt – 10...12 mm, avade kogupind peab moodustama 0,25...0,5% filtri pinnast. Avad asetsevad kahes reas, on suunatud allapoole 45° nurga all ning paigutatud vaheldumisi kahele poole. Kogumistorude telgede vahekaugus – 150...200 mm, vahemaa filtri põhjast toru põhjani – 80...120 mm.

Perforeeritud torudrenaaži rõhukadu arvutatakse valemiga

$$h_d = \zeta v_{kol}^2 / 2g + v_{kog}^2 / 2g \text{ m} \quad (9.3)$$

kus  $v_{kol}$  ja  $v_{kog}$  on voolukiirused vastavalt kollektori ja kogumistorustiku alguses, m/s;  
 $\zeta = (2,2 / K_p^2) + 1$  – kohaliku takistuse tegur;  
 $K_p$  – perforatsioonitegur (aukude pind / toru ristlõikepind).

Pilukuplite kasutamisel peaks neid olema 35...50 tk 1 m<sup>2</sup> filtri pinna kohta. Rõhukao arvutamisel võetakse vee või vesi-õhk-emulsiooni voolukiirus piludes  $\geq 1,5$  m/s ning  $\zeta = 4$ .

Drenaažikollektoril peab olema sulguriga varustatud vertikaalne õhueraldustoru  $\varnothing \geq 75$  mm. Filtri tühjendamiseks kanalisatsiooni nähakse ette tühjendustoru  $\varnothing \geq 150$  mm.

Rennide servad peavad olema rangelt horisontaalsed ja ühes tasapinnas, rennid valmistatakse poolringikujulise või kolmnurkse põhjaga ning need paigaldatakse paralleelselt filtribasseini lühema küljega. Rennide telgede vahekaugus  $\leq 2,2$  m. Renni laius arvutatakse valemiga

$$B_r = K [q_r / (1,57 + a_r)^3]^{0,2} \text{ m} \quad (9.4)$$

kus  $K$  on renni põhja kuju arvestav tegur ( $K = 2$  – poolringikujuline põhi,  $K = 2,1$  – kolmnurkne põhi);  
 $q_r$  – ühe renni uhtvee vooluhulk, m<sup>3</sup> / s;  
 $a_r = 2H_r / B_r$  – renni proportsioone arvestav tegur, antakse ette –  $a_r = 1...1,5$ ;

$H_r$  – renni vertikaalse osa kõrgus, m.

Renni põhi peab olema languga  $i = 0,01$  kogumiskanali poole. Tagamaks uhtevee takistamatut äravoolu rennist peab kanali põhi olema renni põhjast allpool  $H_k$  võrra:

$$H_k = 1,73 (q_k^2 / g B_k^2)^{0,3} + 0,2 \text{ m} \quad (9.5)$$

kus  $q_k$  on kanali vooluhulk  $\text{m}^3/\text{s}$  ja  $B_k$  – kanali laius, m.

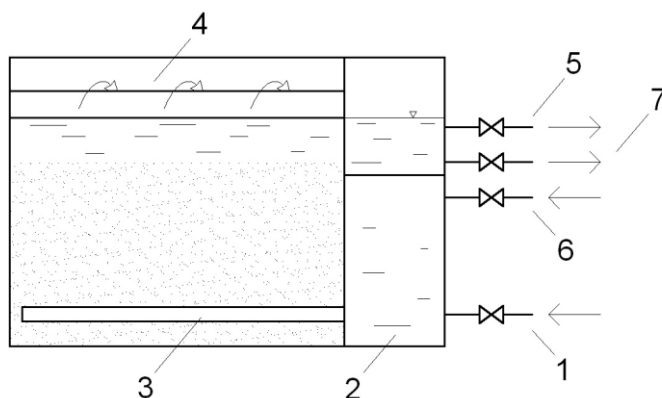
Veenivoo kanalis peab olema 0,2 m madalamal kui veenivoo rennis, renni serva kõrgus üle uhtumisel paisunud filtrikihi pealispinna – vähemalt 0,3 m.

Uhtepumba vajaliku tõstekõrguse määramisel tuleb arvestada rõhukadudega dreanažisüsteemis, filtrikihis, kandekihis ning juurdevoolutorustikus. Viimasel juhul lähtutakse voolukiirusest 1,5...2 m/s.

## 9.6. Mitmesuguseid teralisi filtreid

### 9.6.1. Kontaktselitid, kontaktfiltrid ja mitmekihilised filtrid

*Kontaktselitiks* nimetatakse ühekihilise täitega kiirfiltrit, milles vee filtrimine toimub *väheneva terajämeduse suunas*, s.o alt üles ning kus rakendatakse *kontaktkoagulatsiooni*, st vett koaguleeritakse vahetult enne selle juhtimist filtritäitesse. Kuna filtri uhtumise järel toimub teralise materjali loomulik sorteerumine, siis tähendab alt üles filtrimine ühtlasi ka filtrimist väheneva terajämeduse suunas. See lubab filtrikihi võimalusi täielikumalt ära kasutada ja filtrida suurema heljumisisaldusega vett, kartmata seejuures filtri kiiret ummistumist. Suurema puhastusefekti saavutamise tingimuseks on seejuures kontaktkoagulatsioon, mil ajavahemik koagulandi lisamisest kuni vee saabumiseni filtrikihti ei ole pikem kui on vajalik koagulatsiooni 1. faasi toimumiseks ja mikrohelveste tekkeks. Sellega välditakse suurte koagulandihelveste teket, mis põhjustaksid filtri kiire ummistumise. Kontaktseliti poolt töötükli jooksul kinnipeetav heljumimass (filtri mudamahtuvus) on tavalise kiirfiltriga võrreldes suurem, mis lubab kasutada nendel seadmetel põhinevaid üheastmelisi puhastuskeeme.



Joonis 9.14. Kontaktseliti: 1 – toorvee sissevool, 2 – magistraalkanal, 3 – toorvee ja uhtvee jaotustorustik, 4 – filtraadi ja uhtvee kogumisrennid, 5 – filtraadi väljavool, 6 – uhtvee sissevool, 7 – uhtvee äravool

Kontaktselitis toimub nii filtrimine kui uhtumine samas suunas, uhtumiseks võib kasutada ka toorvett. See esitab *kõrgendatud nõuded jaotustorustikule* (torustiku ummistumise oht tingituna toorvee heljumisisaldusest, täielikult ei ole välistatud ka filtrikihi terade sattumine torustikku läbi selle perforatsiooni, korrosioonioht). Kontaktselitite puuduseks on ka *filtrikihi püsivus tõusvas veevoolus*. Tuleb eristatada staatilist ja dünaamilist püsivust. *Staatiline püsivus* on tagatud, kui rõhujõudude vahe filtrikihi all ja kihi peal jääb väiksemaks filtrikihi kaalust vees. Seetõttu kasutatakse kontaktselitis põhiliselt kvartslüüa, kõne alla tulevad ka sellest raskemad materjalid. Kvartslüüa korral, võttes arvesse materjali tihedust  $2,65 \text{ g/cm}^3$ , on kihi staatiline püsivus tagatud, kui filtri piirrõhukadu ei ületa ligikaudu kihi paksust. *Dünaamilise püsivuse* tagamiseks ei ole filtratsioonikiirus kontaktselitites tavaliselt suurem kui 4...6 m/h.

Kontaktselitites *asub filtraat avatult filtrikihi peal*, mis võib põhjustada probleeme puhastatud vee sanitaarse kaitsega. Seetõttu on kontaktselitite ruum teistest ruumidest tavaliselt vaheseinaga eraldatud ning sinna sissepääs on range kontrolli all.

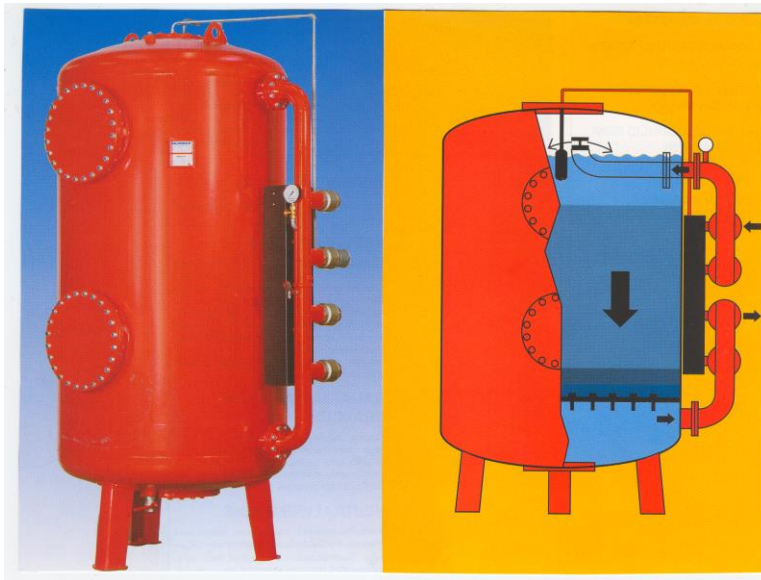
Säilitamiseks kontaktselitite põhilisi eeliseid, s.o filtrimist väheneva terajämeduse suunas ja kontaktkoagulatsiooni, ning samas vähendamaks puudusi, eelkõige neid, mis on seotud filtrimisega alt üles, kasutatakse *kontaktfiltreid*. Nimetatud tüüpi filtrites toimub filtrimine ülalt alla, mis eeldab aga erinevatest materjalidest *mitmekihilise täitematerjali* kasutamist. Tavaliselt on tegu vähemalt kolmekihilise täitega – peeneteraline ja suure tihedusega materjal kõige all (näiteks peenestatud basalt), selle peal suurema terajämedusega väiksema tihedusega materjal (näiteks kvartslüüv) ning kõige peal veelgi suurema teraläbimõõduga vähima tihedusega materjal (näiteks aktiivsüsi). Materjalide tihedused ja teraläbimõõdud peavad olema kindlates

proportsioonides, vältimaks nende segunemist filtri uhtumisel. Arvestades, et ülalt alla filtrimisel on filtri kihi peal 1,5...2 m paksune vee kiht, on kontaktkoagulatsiooni tagamine mitmekihilistes filtrites keerukas. Selleks asetatakse vahetult filtri kihi peale perforeeritud torustik koagulandilahuse ühtlaseks jaotamiseks filtri pinnale. Siit johtuvad omakorda probleemid.

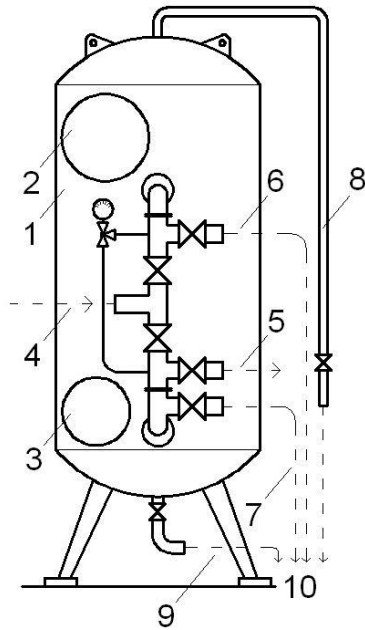
Veetöötusjaamades on väga levinud *kahekihilised filtrid* (kvartsiiv + antratsiit või aktiivsüsi). Seda tüüpi filtreid kasutatakse ülalt alla filtrimise korral filtri töötuskiiki pikendamiseks. Selleks suurendatakse filtrimaterjali  $d_{10}$ , jättes  $d_e$  muutumatuks (vt p 9.3), mille puhul asetatakse peenematerjalise raskema filtrimaterjali kihi peale suurema teraläbimõõduga kergem filtrimaterjali kiht. Taoline kahekihiline filter ei ole siiski kontaktfilter (puudub eespool kirjeldatud kujul kontaktkoagulatsioon).

### 9.6.2. Survefiltrid

Väiksemates veetöötussõlmedes, tootmisveevarustuses, ujumisbasseinide veepuhastuses jm on laialt levinud *survefiltrid*. Need on silindrilised, metallist või plastist reservuaarid hermeetiliselt suletavate luukidega filtrimaterjali sisse- ja väljalaadimiseks. Filtrid on varustatud nende töö ja uhtumise jaoks vajalike seadmete ja kommunikatsioonidega. Survefiltreid valmistatakse seeriaviisiliselt silindri läbimõõduga kuni 3 m. Enamasti on tegu vertikaalsete filtritega. Kuna filtratsioonipind määrab filtrist saadava toodangu, kasutatakse toodangu suurendamiseks mõnikord *horisontaalseid survefiltreid*.



Joonis 9.15. Vertikaalsed survefiltrid



Joonis 9.16. Vertikaalse survefiltri skeem: 1 – silindriline reservuaar, 2, 3 – luugid, 4 – toorvee ja uhteeve sissevool, 5 – filtraadi väljavool, 6 – uhteeve äravool, 7 – nn esimese filtraadi äravool, 8 – õhueraldustoru, 9 – tühjendustoru, 10 – äravoolud kanalisatsiooni



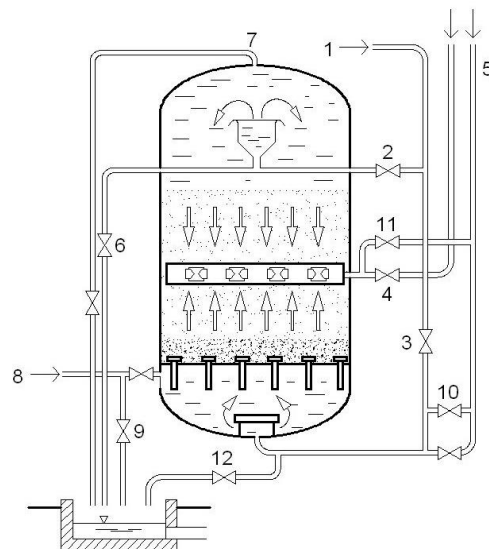
Joonis 9.17. Filtrisaal horisontaalsete survefiltritega

Survefiltrite eeliseks on võimalus loobuda teatud tingimustel 2. astme pumpadest, samuti ehitada kogu veetöötlussõlm välja surveskeemil põhinevalt. Sel juhul saab kõik seadmed (segistid, eelpuhastusseadmed, filtrid, puhta vee reservuaarid) paigutada ühele tasapinnale ning tagada kogu vajalik rõhk 1. astme pumpadega. See on eriti oluline väikestes veetöötlussõlmedes, kuna siis puudub vajadus paigutada tehnoloogilised seadmed eri kõrgustele. Kasutatakse ka kombineeritud skeeme – survefiltrist juhitakse vesi atmosfääri rõhu all olevasse puhta vee reservuaari (passiivne mahuti), sealt 2. astme pumpadega tarbijale.

Survefiltrites kasutatakse samu tehnoloogilisi seadmeid ja võtteid, mis gravitatsiooni-likeski – vesiuhutumist või vesi-õhk-uhutumist, ülalt alla või alt üle filtrimist, kandekihiga või ilma kandekihita filtrid, perforeeritud torudega või pilukuplitega dreanaaži.

### 9.6.3. Kahevoolised filtrid

Nagu eespool selgus, toimub ühekihilise täitega filtris ülalt alla filtrimise korral ülemiste filtrikihtide kiire ummistumine, alt üles filtrimise korral on puudused seotud filtrikihi stabiilsusega, dreanažisüsteemiga ja filtraadi sanitaarse kaitstusega. Mitmekihilistes filtrites on need puudused osaliselt kõrvaldatud, kuid raskusi võib põhjustada erinevate filtrimaterjalide omavaheline sobitamine, samuti tekib probleeme koagulantilahuse ühtlase jaotamisega filtri pinnale läbi perforeeritud jaotustorustiku. Osaliselt on nendest puudustest vabad *kahevoolised filtrid*, kus filtrikihi stabiilsuse tagamiseks juhitakse osa toorvett filtrisse ülalt alla. Filtraadi kogumistorustik asub seejuures filtrikihi sees.

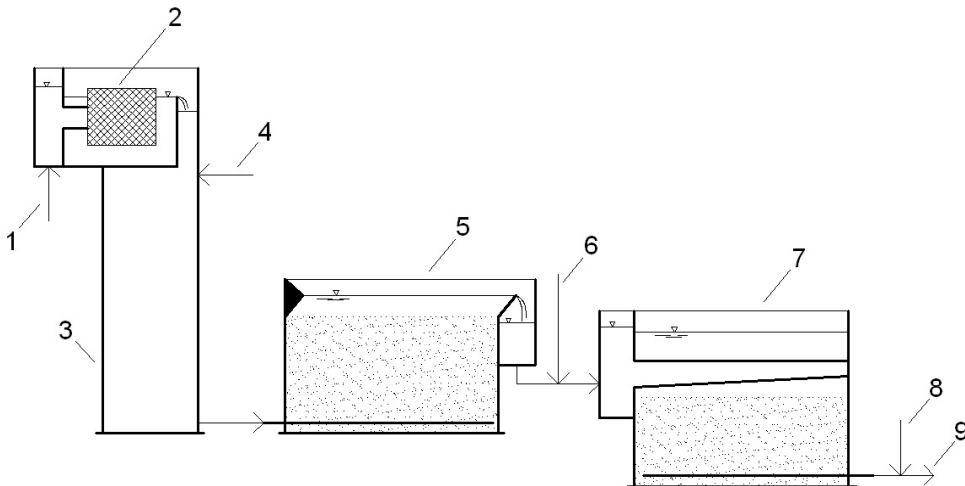


Joonis 9.18. Kahevoolse survefiltri skeem: 1, 2, 3 – toorvee sissevool, 4 – filtraadi väljavool, 5 – uhtvee sissevool, 6 – uhtvee äravool, 7 – õhueraldi, 8 – suruõhk vesi-õhk-uhutumise jaoks, 12 – filtri tühjendustorustik

Filtri töötsükli algul juhitakse sel juhul filtrisse vett ülalt ja alt võrdselt. Tingituna ülemiste kihtide kiiremast ummistumisest toimub töö käigus veevoogude pidev ümberjagunemine, mille tulemusel töötsükli lõpuks on põhiline osa veest filtreerunud alt üles, s.o väheneva terajämeduse suunas. Filtri uhtumine toimub filtrikihi all oleva uhtesüsteemi kaudu. Vältimaks kihist väljauhutud heljumi sattumist filtraadi kogumistorustikku, juhitakse uhtumise ajal uhtevett minimaalse intensiivsusega ka filtraadi kogumistorustikku. Kahevoolseid kiirfiltreid kasutatakse nii gravitatsiooniliste kui ka survefiltritena.

#### 9.6.4. Kaheastmeline filtratsioon

Väikese heljumisisaldusega pinnavee puhastamisel tavalises 2-astmelises puhastus-skeemis (setiti, seliti või flotatsiooniseade + kiirfilter) tekib eriti talvel vee madalast temperatuurist johtuvalt probleeme, mis väljenduvad selles, et ebarahuldavalt kulgeva koagulatsiooni tõttu ei ole eelpuhastusseadmete töö efektiivne. See omakorda suurendab koormust filtritele ja võib halvendada filtraadi kvaliteeti. Üheastmelise puhastuse (ainult filtrid või kontaktselitid) töökindlus jätab enamasti soovida. Probleemi lahendusena võib soovitada *kaheastmelist filtratsiooni*, milles vee puhastamine toimub läbi kahe järjestikku asetatud filtri.



Joonis 9.19. Kaheastmelise filtratsiooni skeem: 1 – toorvee sissevool, 2 – mikrofilter, 3 – õhueraldi ja segistina toimiv sissevoolukamber, 4 – koagulandi lisamine, 5 – 1. astme filter (kontaktseliti), 6 – flokulandi lisamine, 7 – 2. astme filter, 8 – desinfektandi lisamine, 9 – puhastatud vee väljavool

1. astmes sobib kasutada kontaktselitit, kusjuures see võib töötada ka üle oma kaitsetegevuse aja. 1. astme filtritest väljuv vesi keskendatakse ja suunatakse läbi ühe-



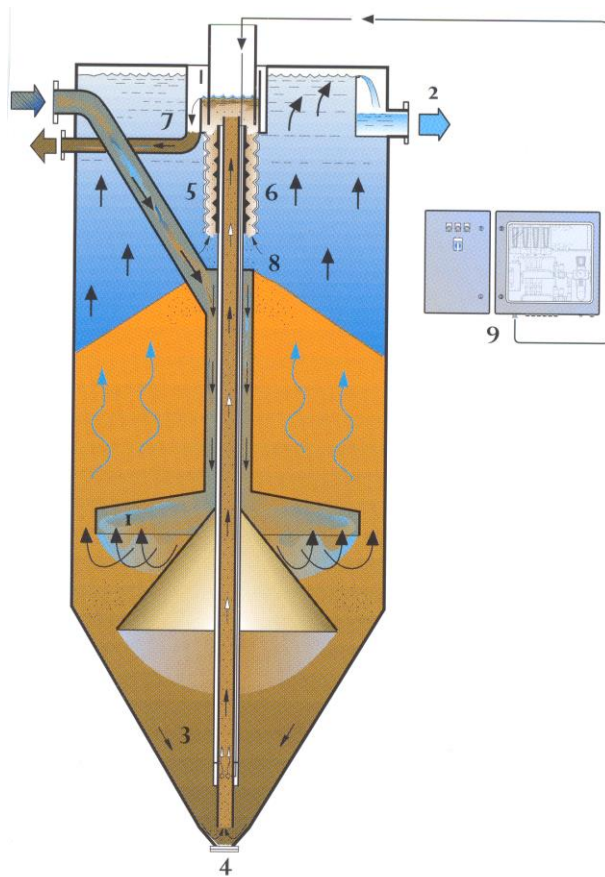
või kahekihiliste 2. astme filtrite. Kui 1. astme filtri kaitsetegevuse aeg on ammendunud, ei hakka filtraadi hägusus ja värvus kohe järsult suurenema tänu 2. astme filtrile, vaid püsivad veel suhteliselt kaua mõõdukal tasemel. Sellise vee puhastamise efektiivsus 2. astme filtrites on hea. Nimetatud asjaolu võimaldab ka 1. ja 2. astme filtreid teineteisest sõltumatult uhtuda.

### 9.6.5. Dyna Sand filtrid

Kui eespool käsitletud kiirfiltrid on perioodilise töörežiimiga (töötavad uhtumisest uhtumiseni) siis *Dyna Sand filter* töötab pidevalt. Seda võimaldab tehniline lahendus, kus nii filtrimine kui osa filtritäite uhtumine toimuvad üheaegselt.



Joonis 9.20. Dyna Sand filtrid



Joonis 9.21. Dyna Sand filtri skeem: 1 – keskkanal laiend toorvee sissevooluks, 2 – filtraadi väljavool, 3 – kooniline põhi määratud filtrimaterjali kogumiseks, 4 – õhktõstuk, 5, 6 – liivapesuri, 7 – uhtvee äravool, 8 – pestud liiv filtrikihi peal, 9 – juhtimiskilp

Dyna Sand filter on vertikaalse keskkanaliga silindriline reservuaar. Toorvesi juhitakse keskkanaliga kaudu filtrikihi alla, filtrimine toimub alt üles. Filtritud vesi kogutakse ülal asuvate kogumisrennidega. Keskkanaliga sees on õhktõstukina toimiv vertikaalne toru. Selleks juhitakse toru alumisse otsa suruõhku, mis tekitab seal määratud liiva ja vee segu kaasaimemiseks vajaliku hõrenduse. Torus toimuva turbulentsi tõttu vabaneb teraline materjal pooridesse kogunenud heljumist, mis juhitakse torustiku 7 kaudu koos teatud koguse veega kanalisatsioonini. Torus olev liiv langeb tänu oma raskusele läbi liivapesuri 5, 6 puhastatult filtrikihi peale.

Dyna Sand filtreid kasutatakse laialdaselt vee selitamiseks-värvitustamiseks, raua- ja mangaaniärastuses, nitraadiärastuses jm.

### 9.6.6. Aeglated filtrid

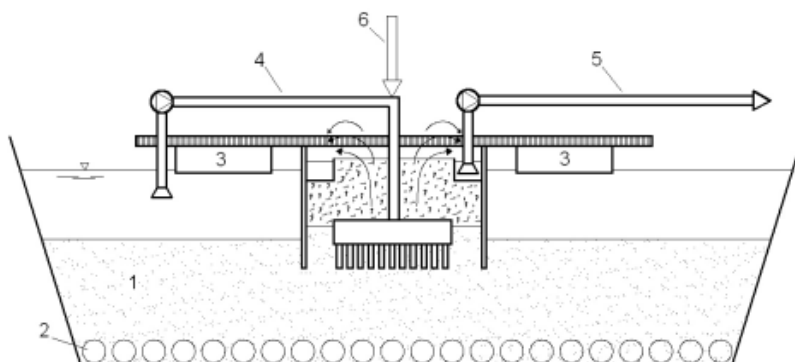
Aeglated filtrid on ülalt alla filtrimisega, ühekihilise ja peeneteralise ( $d = 0,3...1$  mm), enamasti kvartsliidast täitematerjaliga filtrid, mis töötavad filtratsioonikiirusel  $0,1...0,3$  m/h. Filtrikihi paksus on tavaliselt  $0,5$  m, selle all võib olla jämedamast materjalist kandekiht. Lisaks oluliselt väiksemale filtratsioonikiirusele erinevad aeglated filtrid kiirfiltritest ka oma tööpõhimõtte ja filtrikihi regenererimise poolest. Aeglastes filtrites domineerib *kilefiltratsioon*, milles kile rolli etendab paari cm paksune pealmine liivakiht. See kiht on *bioloogiliselt aktiivne*, kuna sinna kogunenud mikroorganismid võtavad osa vees oleva orgaanilise aine lagundamisest. Selle tagajärjel suureneb aeglates filtris  $CO_2$  sisaldus, heljum koos orgaanika laguproduktidega peetakse kinni teralise materjali alumistes kihtides.

Mikroobide elutegevuseks on vajalik lahustunud  $O_2$  olemasolu vees. Kui selle sisaldus langeb alla  $0,5$  mg/l, aeroobne elutegevus aeglustub, hakkavad välja arenema anaeroobsed mikroorganismid. Anaeroobse lagunemise tagajärjel võivad vette sattuda ka vee omadusi halvendavad ühendid – väävelvesinik, metaan jt. Bioloogilistest protsessidest ja kile tihedusest tingituna peetakse aeglates filtris kinni suur osa vees olevatest bakteritest, oluliselt väheneb orgaanilise aine sisaldus. Bioloogiliselt aktiivne kile tekib aeglates filtris kuni paari ööpäeva jooksul pärast puhta filtri töösse lülitamist, seejärel võib filter sõltuvalt toorvee omadustest töötada nädalaid ilma filtrikihi vahepealse regenererimiseta.

Aeglase filtri regenererimine toimub mehaaniliselt või hüdrauliliselt.

*Mehaanilise regenererimise* korral lastakse veepind  $20...25$  cm allapoole filtrikihi pealispinda ning eemaldatakse (tavaliselt käsitsi!)  $15...20$  mm paksune enam reostunud filtrikiht. Sellele järgneb vastassuunaline uhtumine veega. Filtrimaterjali lisatakse juurde mõne regenererimistsükli järel. Mehaanilise regenererimise tülkuse tõttu seda laialdaselt ei kasutata.

*Hüdrauliline regenererimine* toimub filtrivat materjali filtrist eemaldamata. Selleks on vaja filtrikihi pealispinda üheaegselt läbipesuga kobestada kas mehaaniliselt või hüdrauliliselt – veejuga (joonis 9.22).



Joonis 9.22. Hüdraulilise regenereerimisega aeglase filtri skeem: 1 – filtri kiht, 2 – дренаž, 3 – ujukid, 4 – uhtvee survetorustik, 5 – uhtvee äravoolutorustik, 6 – suruõhk

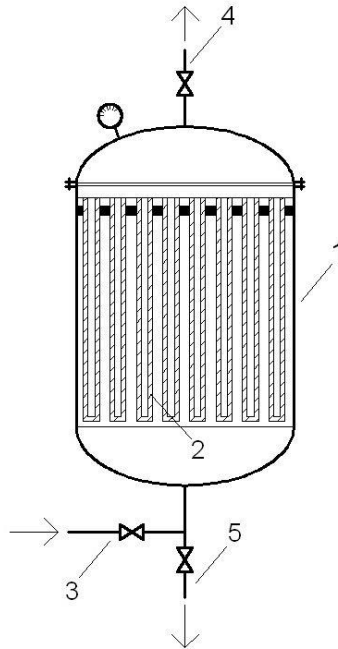
Ujukitele toetuva platvormi külge kinnitatud kambrisse on paigutatud kobestusseade, mis surutakse filtri kihti. Suruõhu ja uhtvee abil pealmine filtri kiht kobestatakse, veest kergem õhusegune uhtvesi koos kihist väljapestud heljumiga kogutakse rennidesse ja pumbatakse kanalisatsiooni. Seejärel nihutatakse kambrit edasi.

Aeglaste filtrite eelisteks on kõrge puhastusefekt, reagentide puudumine ja pikk töötuskiik, puudusteks tülikas regenereerimine ja väike filtratsioonikiirus, mis nõuab suurt filtripinda ja tõstab puhastusseadme ehitusmaksumust.

### 9.6.7. Uhtfiltrid

Kilefiltratsiooni põhimõttel töötavateks filtriteks on *uhtfiltrid*, milles filtrivaks materjaliks on aluskarkassile eelnevalt uhtunud peen pulbrikiht. Karkassina kasutatakse poorseid plaate, tihedaid metallvõrke või sünteetilisi membraane optimaalse pooride läbimõõduga 100...150  $\mu\text{m}$ , uhtmaterjalina *perliiti* või *diatomiiti*. Viimati nimetatust pärineb ka seda tüüpi filtrite sageli kasutatav nimetus – diatomiitfiltrid. Perliiti saadakse vulkaanilist päritolu kivimi purustamise-peenestamisega ning järgneva kuumutamise 800...1000  $^{\circ}\text{C}$  juures. Tekkiv pulbriline materjal on poorsusega 85...90% ja kerge (mahumass 30...400  $\text{kg}/\text{m}^3$ ). Diatomiit on ränimulda sisaldav, poorne (kuni 92%) ja kerge (mahumass 350...950  $\text{kg}/\text{m}^3$ ) looduslik materjal, mida esineb järve- ja meresetetes.

Uhtfiltreid valmistatakse nii surve- kui ka lahtiste filtritena ning neid kasutatakse ujumisbasseinide ringlusvee puhastamisel, samuti erinevates olme- ja tootmisveevärkides.



Joonis 9.23. Survelise uhtfiltri skeem: 1 – filtri korpus, 2 – filtrielemendid, 3 – toorvee ja uhtmaterjali suspensiooni sissevool, 4 – puhastatud vesi, 5 – uhtvee äravool kanalisatsiooni

Filtri töölerakendamiseks täidetakse see esmalt toorveega, valmistatakse uhtmaterjali suspensioon ning ringluspumba abil tsirkuleeritakse suspensiooni senikaua läbi karkassi, kuni selle pinnale tekib piisava tihedusega filtrikiht. Seejuures on uhtmaterjali kulu ligikaudu  $300...400 \text{ g/m}^2$  filtraiva pinna kohta. Järgneva vee filtrimisega on võimalik saavutada joogivee kvaliteedile vastavad filtraadi omadused (hägususe ja värvuse järgi) ilma koagulanti ning flokulante lisamata. Uhtfiltrid töötavad tavaliselt rõhuga  $0,15...0,2 \text{ MPa}$ , sejärel tuleb neid vastassuunas läbi pesta. Uhtvee kulu ei ületa 1% filtri kasulikust toodangust. Filtri töösükli pikendamiseks võib perioodiliselt lisada toorvette teatud koguse uhtmaterjali, millega suurendatakse filtrikihi poorsust.

## 10. VEE DESINFITSEERIMINE

### 10.1. Üldist

Vee desinfitseerimiseks nimetatakse mikroobide kõrvaldamist veest. Ligi 90% neist peetakse kinni veepuhastusseadmetes. Kuid järelejäänud mikroorganismide hulgas võib olla ka *tõvestavaid organisme*, nende hävitamiseks on vaja rakendada spetsiaalseid veetöötlusprotsesse, mida kitsamas mõttes nimetataksegi vee desinfitseerimiseks.

*Pinnavee* kasutamisel joogivee tootmiseks on vee desinfitseerimine möödapääsmatu, *põhjavee* korral toimub desinfitseerimine vastavalt vajadusele.

Desinfitseerimisel kasutatavad põhilised protsessid on *vee töötlemine tugevatoimeliste oksüdantidega* (kloori ja kloori sisaldavate reagentide või osooni lisamine) ja *kiiritamine ultraviolettkiirtega*. Tulemusi annavad ka membraanprotsessid (*ultrafiltratsioon*). Väiksemate veekoguste desinfitseerimisel võib vajaliku efekti saavutada ka *kaaliumpermanganaadi, joodi, vesinikülihapendi lisamisega, vee keetmisega, klooriühendeid sisaldavate tablettide lisamisega*.

Enam levinud, ning seda eriti suuremates veetöötlusjaamades, on tugevatoimeliste oksüdantide kasutamine vee desinfitseerimiseks. Oksüdantide desinfitseeriv toime põhineb *mikroobide rakufermentide lagundamises*, mille tagajärjel organism hukkub.

Oksüdantide lisamine ei ole seotud ainuüksi vee desinfitseerimisega. Põhiosa lisatavast reagentist kulutatakse ära vees olevate orgaaniliste ja ka mõnede mineraalsete ühendite lagundamiseks, sest nende oksüdatsioon toimub kergemini kui mikroobi rakufermenti oksüdatsioon. Ning ainult järelejääv osa lisatavast reagentist kulutatakse vahetult desinfitseerimiseks. Seega on oksüdantidel oluline osa *vee puhastamisel* – oksüdantide lisamisega võib sõltuvalt toorvee omadustest vähendada vee värvust, parendada vee lõhna- ja maitseomadusi, suurendada järgneva koagulatsiooni efektiivsust. Oksüdantide kasutamisel tuleb arvestada ka võimalike negatiivsete mõjudega, näiteks (kloori lisamisel) *trihalometaanide* tekkimise võimalusega.

Oksüdandi lisamisel on reagenti efektiivsus suurem ühendi dissotsieerumata vormi korral, samas vee temperatuuri tõustes suureneb gaasiliste ühendite lendumine ning väheneb nende lahustuvus vees.

## 10.2. Vee kloorimine

### 10.2.1. Kloorimise kemism

Kloor on vee desinfitseerimiseks kasutatav levinuim oksüdant. Selle põhjuseks on kloori stabiilne efektiivsus, võimalus *jääkkloori* kaudu määrata nii vajalik klooriannus kui ka kontrollida desinfitseerimisprotsessi kulgu, samuti kloorilahuse ettevalmistamiseks ja annustamiseks kasutatava aparatuuri suhteline lihtsus.

Kloor  $\text{Cl}_2$  on kollakas, terava lõhnaga mürgine gaas, õhust 2,45 korda raskem, seda saadakse keedusoola elektrolüüsil. Kloori lahustuvus vees normaalarõhul ja temperatuuril 20 °C on 7,29 g/l. Lahustuvus suureneb temperatuuri langedes ja rõhu suurenedes.

Madalal temperatuuril ja kõrgel rõhul (−34,6 °C juures normaalarõhul ja +15 °C juures rõhul 0,575 MPa) molekulaarne kloor veeldub. Vedelkloor transporditakse veetöötusjaama balloonides või konteinerites ning *kloorimine vedelklooriga* ongi kõige enam kasutatav kloorimise moodus.

$\text{Cl}_2$  lisamisel vette toimub selle *hüdrolüüs*, tekib *hüpokloorishape* HClO, mis omakorda dissotsieerudes moodustab *hüpokloritiooni* ClO<sup>−</sup>:



HClO dissotsieerumine sõltub pH-st: pH = 4 korral dissotsieerumist ei toimu, pH = 11 puhul dissotsieerub praktiliselt kogu HClO. Kuna kloori kasutamisel desinfektsiooni kiirus ja efektiivsus on suuremad ühendi dissotsieerumata vormi ja madala pH (soovitavalt pH < 7) korral, tuleb kloori lisada vette enne leelistavaid reagente.

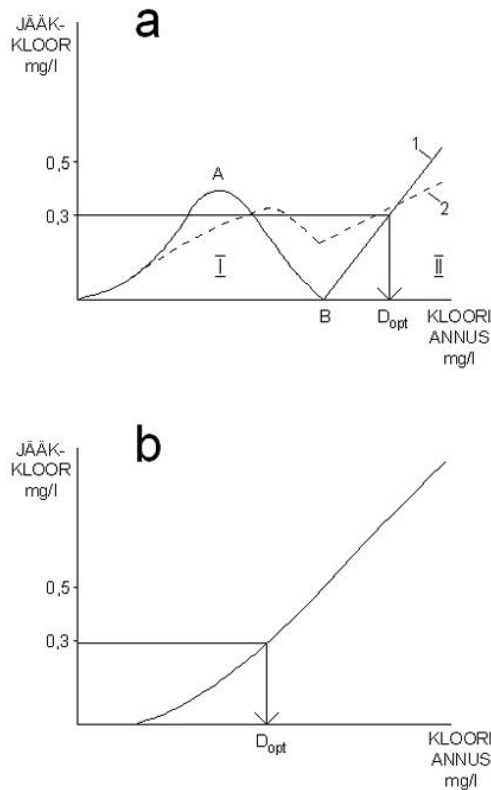
Kui vees on ammoniaaki, moodustab hüpokloorishape nendega reageerides *mono- ja diklooramiine*:



Klooramiine nimetatakse *seotud klooriks*,  $\text{Cl}_2$ , HClO ja ClO<sup>−</sup> moodustavad *vaba kloori*. Vaba ja seotud kloor kokku on *aktiivkloor*. Klooramiinide desinfitseeriv toime on väiksem kui vabal klooril, kuid nende mõju on püsivam. Seetõttu, vältimaks mikrobioloogilise järelreostumise ohtu veejaotustorustikus, lisatakse mõnikord vette koos klooriga ka ammoniaaki, st tehakse *kloorimist ammoniseerimisega*.

Kloorimisel on esmatähtis *optimaalse klooriannuse* määramine. Seejuures lähtutakse *jääkkloori* sisaldusest, mis on kindlaks määratud joogivee normide ja standarditega. Jääkkloor on vajalik desinfitseerimise sanitaarse garantii tagamiseks ning *optimaalseks klooriannuseks loetakse sellist annust, mis teatud kontaktiaja pärast tagab vees*

normatiivse jääkkloorisisalduse. Eestis kehtivate nõuete järgi on selliseks kontaktiajaks 30 min ning nõutav jääkkloori sisaldus on 0,2...0,5 mg/l. Optimaalne klooriannus määratakse kindlaks katseliselt, konstrueerides *kloori neeldumiskõvera* (joonis 10.1). Selleks võetakse vähemalt 5...6 klaassilindrit uuritava veega, lisatakse neisse erinevad kogused kloori, jäetakse silindrid 30 minutiks seisma, määratakse seejärel jääkkloorisisaldused ja koostatakse kloorineeldumiskõver.



Joonis 10.1. Kloori neeldumiskõverad: a) klooramiinide tekkimisel, b) klooramiinide puudumisel, 1, 2 – neeldumiskõverad toorvee erinevate omaduste korral

Kui vees tekivad kloori lisamisel klooramiinid (graafik a), on kloori neeldumisgraafik iseloomuliku kahe piirkonnaga I (seotud kloori piirkond) ja II (vaba kloori piirkond). Piirkonnas I seotakse kogu lisatav kloor klooramiinideks ning nende sisaldus jääkkloorina suureneb kuni punktini A. Klooriannuse edasisel suurenemisel klooramiinid lagunevad ning jääkkloori sisaldus väheneb kuni punktini B, mida nimetatakse murdepunktiks. Suurendades klooriannust üle murdepunkti (piirkond II), hakkab vees suurenema vaba kloorina esinev jääkkloor. Murdepunkti kõrgus iseloomustab ühtlasi seotud kloori osa jääkklooris.



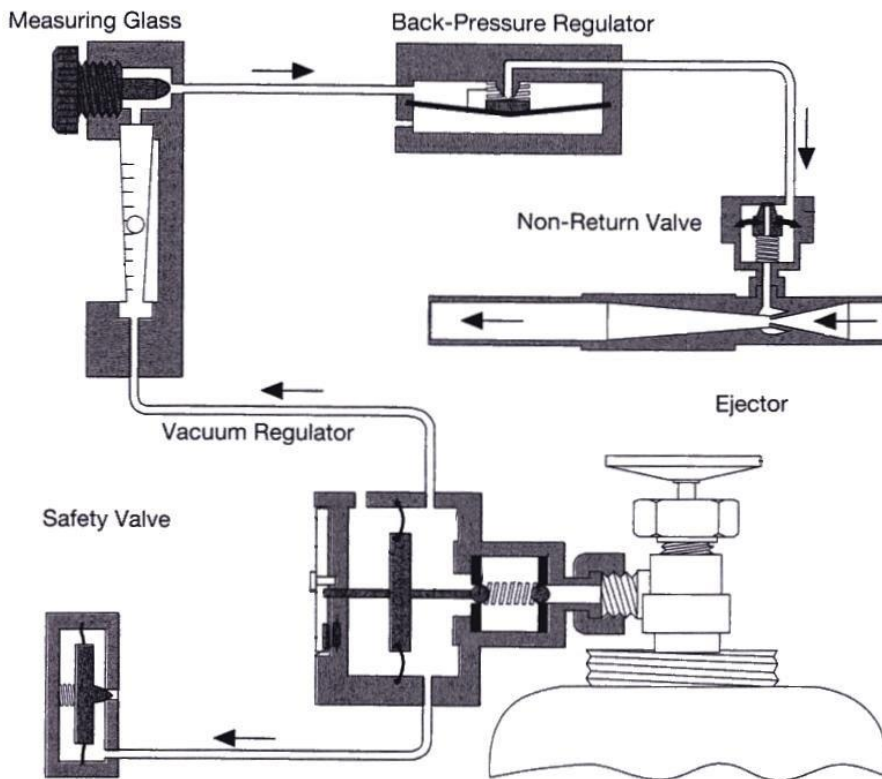
### 10.2.2. Kloorimine vedelklooriga, VTJ kloorimajand

Vedelkloor on levinud desinfitseerimisvahend eelkõige suuremates veetöötlusjaamades ja -sõlmedes. Reagent saabub kohale 6...8 at rõhu all olevates konteinerites (kaaluga 1 t ja enam) või väiksemates balloonides ning paigutatakse kloorilattu. Ladu peab asuma eraldi hoones ohutus kauguses VTJ muudest hoonetest. Kloori annustamine vette toimub gaasilises faasis, vastavaid annusteid nimetatakse *klooraatoriteks*. Selleks tuleb vedelkloor esmalt gaasistada, milleks piisab rõhu alandamisest konteineris või balloonis. Kiirendamiseks protsessi kulgu, paigutatakse vedelkloori konteiner horisontaalasendis spetsiaalsesse boksi (kloori aurustisse), kus kloori väljavoolu suurendamiseks konteinerit sageli soojendatakse.

Klooraatoris väljamõõdetud gaasiline kloor segatakse väikese koguse veega, mille tulemusel tekib *kloorvesi*.

Kloorvesi juhitakse töödeldavasse vette tavaliselt enne puhta vee reservuaari, tagades kloorvee segunemise ülejäänud veega ning kontaktiaja vähemalt 30 minutit enne esimesi tarbijaid (kloorimisel koos ammoniseerimisega vähemalt 60 min). Kloori annustamiseks kasutatakse *vaakumklooraatoreid* (joonis 10.2), mis välistavad kloorgaasi pihkumise. Klooriaurustid ja klooraatorid on paigutatud eraldi ruumi, mille uks avaneb otse välja. Klooraatoriruum võib asuda kloorilaos või VTJ põhikorpuses, igal juhul on see muudest ruumidest eraldatud kapitaalse vaheseinaga.

Klooraatori tööks vajalik vaakum tekitatakse epektori abil, milles samaaegselt toimub ka kloorgaasi segamine kloorveeks. Klooraatori põhilülideks on membraaniga varustatud vaakumregulaator, rotameeter gaasi koguse mõõtmiseks, tagasilöögi- ja vaakumklapid, mis takistavad vee sattumist klooraatorisse ning kaitseventiil.



Joonis 10.2. Firma JESCO vaakumkloraatori skeem

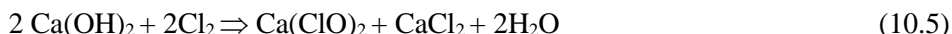
### 10.2.3. Tallinna Ülemiste VTJ kloorimajand

Klooriladu asub eraldi hoones VTJ põhikorpusest ohutus kauguses. Laos on ühe-tonnised vedelkloori konteinerid, klooriaurustid ja firma Jesco klooriannustid, mis on ette nähtud vee avariiliseks eelkloorimiseks ja torvekanali profülaktiliseks kloorimiseks. Joogivee jooksvaks kloorimiseks ette nähtud kloraatorid koos paari konteineriga asuvad veetootmishoonetes. Kloorilaos on olemas ka *kloori avariiline neutraliseerimissüsteem*, mis koosneb automaatselt käivituvatest skraberitest NaOH lahusega, läbi mille ruumist atmosfääri sundventileeritav ja võimalikult kloorgaasi sisaldav õhk eelnevalt tsirkuleerib seni, kuni õhk on atmosfääri juhtimiseks piisavalt puhas. Kloori konteinerite kohal on naatriumhüposulfiti ( $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_5$ ) ja soodalahuse pihustid juhuks, kui tekib vajadus neutraliseerida konteinerist välja pihkuvat kloorgaasi.

#### 10.2.4. Kloorimine klooriühenditega

Väiksemates veetöötlusjaamades ja -sõlmedes on sageli otstarbekam kasutada vedelkloori asemel kloori sisaldavaid reagente, millest põhilised on Ca-hüpoklorit, Na-hüpoklorit ja klooridioksiid.

*Ca-hüpoklorit* saadakse lubjapiima kloorimisega:



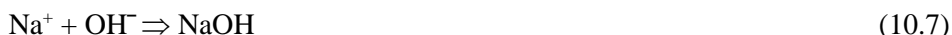
$\text{Ca(ClO)}_2$  on valge pulber, milles aktiivkloori sisaldus võib ulatuda kuni 70%-ni. Enam kasutamist leiavad siiski Na-hüpoklorit ja klooridioksiid  $\text{ClO}_2$ .

*Na-hüpokloritit* ( $\text{NaClO}$ ) on võimalik tarnida valmisproduktina või valmistada VTJ-s kohapeal *elektrolüüseris*, kasutades toorainena keedusoola. Elektrolüüsiseade koosneb üleküllastunud soolalahuse paagist (soolalahuse kontsentratsioon 280...300 g/l), elektrolüüserist, hüpokloritilahuse kogumispaagist ja alaldist, kuna elektrolüüser töötab alalisvoolu toitel.

Elektrolüüsivannis, kuhu soolalahus juhitakse kontsentratsioonil 100...120 g/l, dissotsieeruvad esmalt  $\text{NaCl}$  ja  $\text{H}_2\text{O}$ , seejärel toimub anoodil  $\text{Cl}^-$ -ioonide oksüdatsioon sellele järgneva hüdrolüüsiga:



Katoodil eraldub samaaegselt  $\text{H}_2$  ning tekib seebikivi



Segunemise tagajärjel tekib Na-hüpoklorit



$\text{NaClO}$  osaliselt dissotsieerub, moodustuv hüpokloritioon  $\text{ClO}^-$  oksüdeerub anoodil *kloraatiooniks*  $\text{ClO}_3^-$ , mille tekkimist tuleb vältida. Selleks tuleb hoiduda elektrolüüdi segamisest elektrolüüseris (see takistab  $\text{ClO}^-$ -ioonide juurdepääsu anoodile) ja viia protsess läbi *madalal temperatuuril* ( $\text{NaClO}$  dissotsieerumine aeglustub).

Elektrolüüserid on varustatud tõmbekapi ja vesijahutustorustikuga, hüpokloritilahuse paak peab asuma hästi ventileeritavas ruumis, lahuse annustamine toimub tavaliselt ejektori abil.

Vette lisatult



$\text{NaClO}$  on värvitu siirupitaoline vedelik, mille lisamine vette tõstab  $\text{NaOH}$  tõttu mõnevõrra vee pH-d. Seetõttu, näiteks ujumisbasseinide ringlusvee desinfitseerimisel, lisatakse  $\text{NaClO}$  järel vette ka väävelhapet.

*Kloordioksiid*  $ClO_2$  on rohekaskollane, intensiivse lõhnaga, mürgine ja plahvatusohtlik gaas, veetöötleses saadakse seda ohutu vesilahusena *naatriumkloriti*  $NaClO_2$  (valge kristalliline pulber, tugev oksüdant) kloorimisel.



$ClO_2$  on molekulaarsest kloorist tugevam oksüdant (eriti leeliselises keskkonnas  $pH > 8,5$  korral), olles eriti sobiv biokelme eemaldamiseks torude ja reservuaaride seintelt.  $ClO_2$  on võimeline oksüdeerima fenole, andmata veele kloorfenoolset lõhna.  $ClO_2$  võib saada ka  $NaClO_2$  reaktsioonil osooniga või soolhappega:



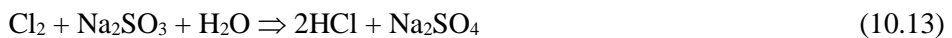
Kloordioksiid võib vees moodustada ka ebasoovitavaid klooraatioone (väidetavalt kantserogeensed), seetõttu on otstarbekas kasutada seda desinfektanti joogivee ettevalmistamise korral vaid perioodiliselt torustiku ning reservuaaride läbipesuks.

### 10.2.5. Vee klooritustamine

Teatud juhtudel, näiteks tootmisvee käitlemisel, ujumisbasseinide ringlusvee desinfitseerimisel jne võib tekkida vajadus lisada vette suuremaid kloorikoguseid, st teha *ülekloorimist*. Ülekloorimine (kloorišokk) on eelkõige vajalik vältimaks bioloogilise kile tekkimist veega kontaktis olevatele pindadele (torustikud, reservuaarid, basseinid jm). Ülekloorimise järel on enamasti vaja üleliigne kloor veest kõrvaldada enne vee suunamist tarbijale, st vett on vaja *klooritustada*. Selleks võib kasutada nii füüsikalisi kui ka keemilisi protsesse.

*Füüsikalised* – üleliigne aktiivkloor seotakse sorbentidega või kõrvaldatakse aereerimisega. Esimesel juhul filtritakse vesi läbi aktiivsõega täidetud *sorptsioonifiltri* (kihi paksus 2...2,5 m, filtratsioonikiirus 20...25 m/h). *Aereerimise* efektiivsus on väike, see võib anda teatud tulemust happelises keskkonnas ( $pH < 5$ ), kui kõrvaldamist vajava liigkloori kogus ei ole suur.

*Keemilisel klooritustamisel* seotakse aktiivkloor tavaliselt naatriumsulfiti või väävel-dioksiidiga:



### 10.2.6. Vee kloorimine ammoniseerimisega

Nagu eespool öeldud, kui on vaja, et vees tekiks *klooramiinid*, tuleb koos klooriga lisada vette ka ammoniaaki. Ammoniseerimise tehnoloogia on sarnane vedelklooriga kloorimise tehnoloogiaga.  $NH_3$  tarnitakse samuti veeldatud kujul rõhu all olevates galloonides, VTJ-s toimub selle gaasistamine, annustamine gaasilises faasis, segamine

väikese veekogusega ja lisamine töödeldavasse vette ammoniaakveena. Sõltuvalt toorvee omadustest lisatakse ammoniaaki 2...3 min enne kloori (eelammoniseerimine) või pärast kloori (järelammoniseerimine). Viimasel juhul on eesmärk kloori lõhna ja maitse vähendamine ning selle bakteritsiidse toime pikendamine. NH<sub>3</sub> ja Cl<sub>2</sub> lisatakse vahekorras 1:4...1:10.

## 10.3. Vee osoonimine

### 10.3.1. Osoon tarbeveekäitluses

Osoon O<sub>3</sub> on hapniku allotroopne vorm, mis looduses esineb atmosfääri ülakihtides, kus see tekib fotokeemilisel teel päikese ultraviolettkiirguse toimel. Normaalarõhul veeldub osoon –111,9 °C ja tahkub –192,5 °C juures, temperatuuril 0 °C on osooni lahustuvus vees 1,09 g/l. 1 liiter osooni kaalub 2,144 g (1,5 korda õhust raskem). Sünteetiliselt saab osooni *koroonalahendusel*, mis tekib lähestikku paiknevate ning dielektrikuga eraldatud kõrgepingeelektroodide (10...15 kV, 400...600 Hz) vahel atmosfääri rõhul. Koroonalahendusest annab märku sinakaslillakas helendus elektroodide vahel. Kui koroonalahenduse piirkonnast juhtida läbi puhast hapnikku või hapnikurikast õhku, hakkab seal tekkima osoon:



Osooni tööstuslikuks tootmiseks kasutatavaid generaatoreid nimetatakse *osonaatoriteks*.

O<sub>3</sub> on eriomase lõhnaga mürgine gaas, selle keskmine sisaldus sissehingatavas õhus ei tohi ületada 0,00012 mg/l. O<sub>3</sub> kui tugev oksüdant (1,5 korda tugevam kui kloor) leiab laialdast kasutamist nii tarbe- kui ka reovee desinfitseerimisel ning eriti vees olevate orgaaniliste ja mineraalsete ühendite oksüdeerimisel, millega saab vett puhastada-värvitustada, parendada selle lõhna- ja maitseomadusi. Osooni kasutatakse sageli veest raua- ja mangaaniühendite ärastamisel. Seega on osoon universaalne reagent, mida pealegi toodetakse kohapeal veetöötlusjaamas ning mis ei vaja selleks täiendavate reagentide tarnimist (juhul kui osooni tootmiseks ei kasutata puhast hapnikku). Osoon ise ei anna veele lõhna ega maitset, ta võib lagundada ühendeid, mis kloori toimele ei allu, näiteks fenoolid. Samas on osoon toksiline ja korrodeeriv, tema järelmõju töödeldud veele praktiliselt puudub, osoon võib muuta mõned orgaanilised ained mikroobidele paremini omastatavaks, mis omakorda võib põhjustada bakteriaalse elutegevuse intensiivistumist osoonitud vees (veevõrgus, mahutites). Viimati nimetatud asjaolu tõttu juhitakse osoonitud vesi sageli läbi aktiivsöega täidetud sorptsioonifiltri.

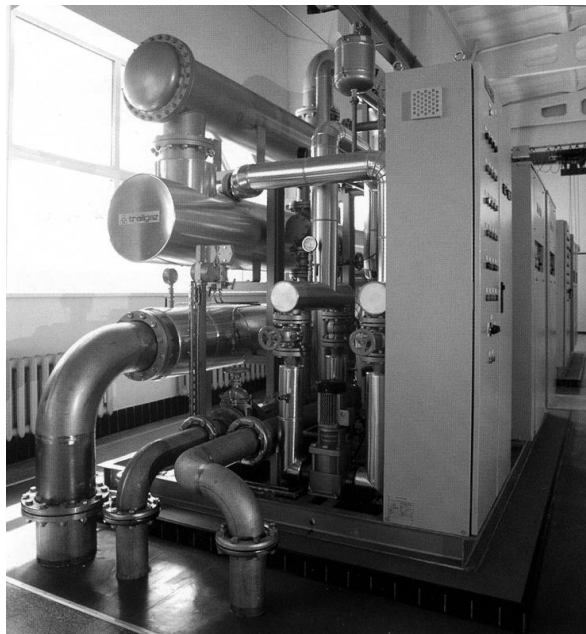
Kuna osooni puhul langeb ära trihalometaanide oht, on osoon efektiivne oksüdant vee puhastamiseks, kuid et tal pole järelmõju töödeldud veele, siis joogiveekäitluse korral on tähtis osooni ja kloori kombineeritud kasutamine. See on tavaliselt lahendatud

*eelsoonimise* ja *järeלקloorimise*ga, st osoon lisatakse tehnoloogiaskeemi alguses ja kloor nõutava jääkkloori saavutamiseks enne puhta vee reservuaari (Tallinna VTJ). Selline skeem võimaldab ka kloori kokku hoida ning soodustab osoonile järgnevat koagulatsiooniprotsessi.

Vee osoonimisel on oluline arvestada temperatuuri ja pH mõju. Temperatuuri tõustes osooni lahustuvus väheneb, 60 °C juures võrdub see praktiliselt nulliga. pH < 8 juures on rohkem orgaanilist ainet ioonsel kujul ning selle oksüdatsioon toimub täielikumalt, see suurendab ka osooni vajalikku annust. pH > 8 korral intensiivistub osooni lagunemine.

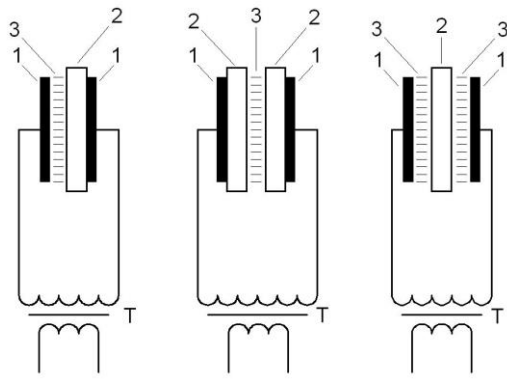
### 10.3.2. Osoonimisseadmete tehniline lahendus

Osoonimisseade koosneb õhu ettevalmistussõlmest (kui toorainena kasutatakse õhku), osonaatorist, transformaatorist ja kontaktbasseinist. Kui toorainena kasutatakse puhast hapnikku, on VTJ-s vajalik täiendav sõlm nimetatud reagendi ladustamiseks ja annustamiseks. Osoonimist iseloomustab suur energiakulu ning kallid seadmed (1 kg osooni valmistamiseks kulub 20...30 kWh elektrienergiat, sellest osonaatori enda osa on 14...18 kWh). Vajalik õhu hulk 1 kg osooni valmistamiseks on 70...80 m<sup>3</sup>. Kui kasutatakse õhku, peab see olema puhas, kuiv ja hapnikurikas. Selleks peab välisõhku töötleva, milleks kasutatakse vesi- või õhkjahuteid ning hügrokoopse granuleeritud materjaliga täidetud absorbereid. Õhu eeltöötlus toimub nii ühe- kui kaheastmeliselt.



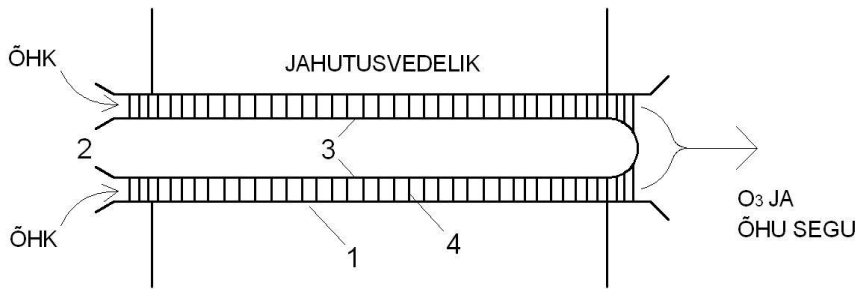
Joonis 10.3. Absorberkuivatid Tallinna VTJ osoonimajas. Absorbendina kasutatakse aktiveeritud alumiiniumoksiidi graanuleid

Osoonimisseadme põhilüli on *osonaator*. Koroonalahenduse tekitamiseks on võimalik elektrodide-dielektrikute erinev paigutus teineteise suhtes.

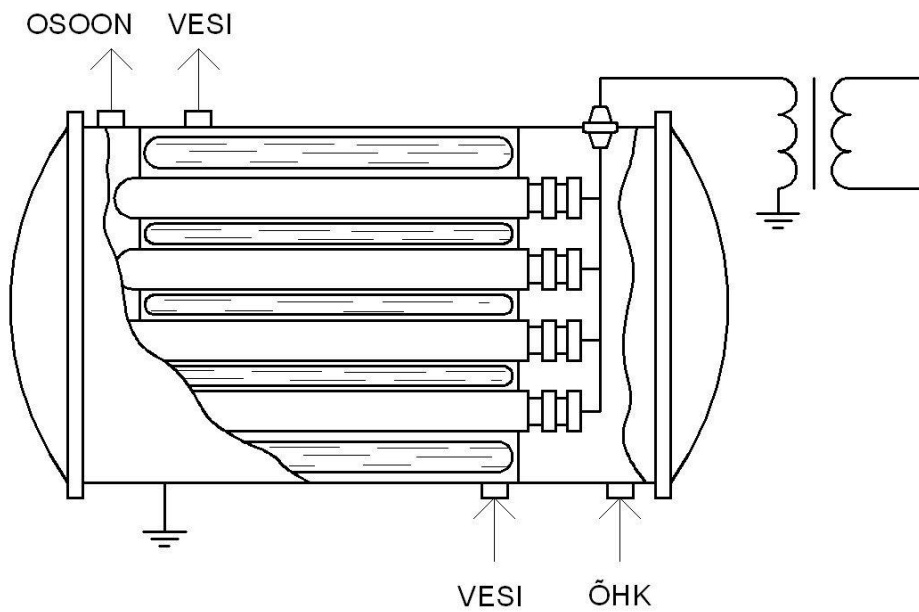


Joonis 10.4. Elektrodide ja dielektrikute paigutusskeeme osonaatoris: 1 – elektrod, 2 – dielektrik, 3 – õhupilu

Praktikas on enam kasutatavad toruelektroodidega silindrilised osonaatorid.



Joonis 10.5. Silindriline toruelektrod: 1 – metalltorust elektrod, 2 – klaastorust dielektrik, 3 – klaastoru sisse kinnitatud elektrod, 4 – õhupilu

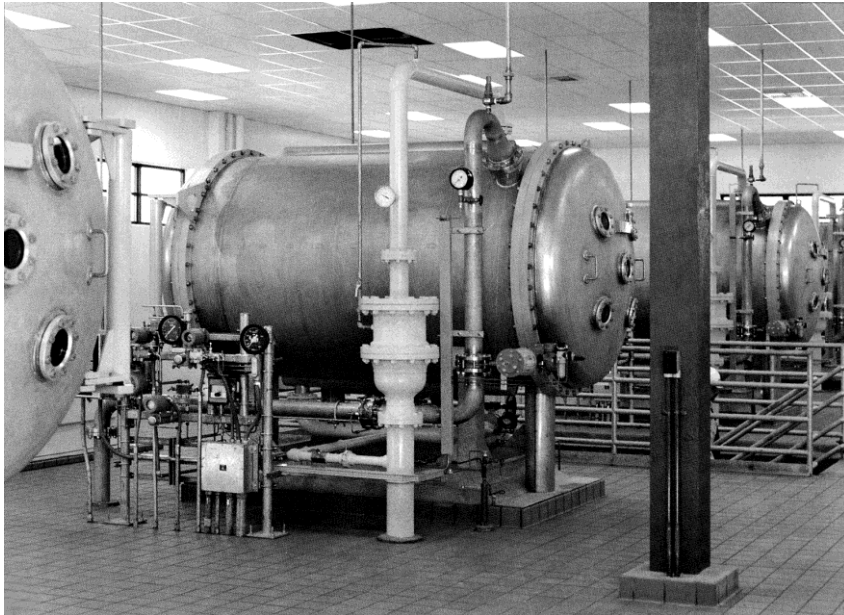


Joonis 10.6. Silindrilise osonaatori skeem



Joonis 10.7. Klaastorst dielektrikute paigaldamine osonaatorisse





Joonis 10.8. Osonaatorid

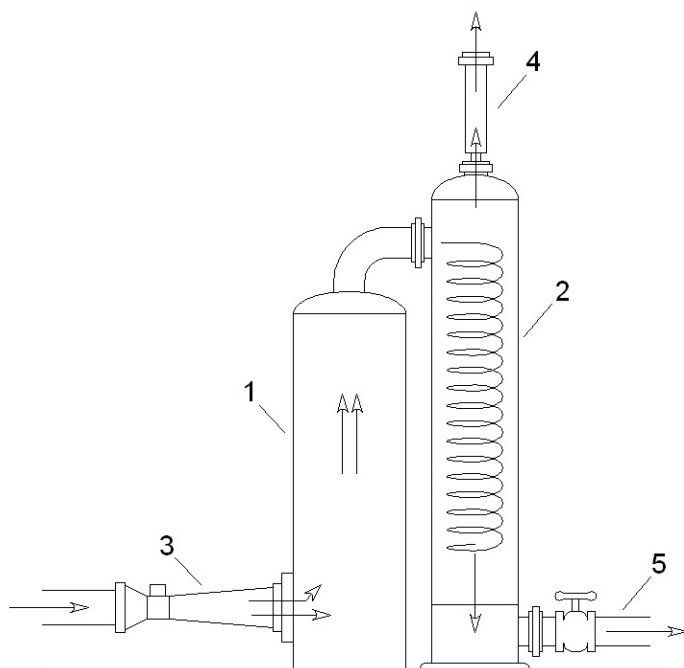
Kuna osooni tekkimisega kaasneb soojuse eraldumine, on osonaatorid varustatud vesijahutusega.

Vee osoonimiseks segatakse osooni ja õhu segu töödeldava veega spetsiaalses *kontaktbasseinis*, kuhu gaasisegu juhatakse tavaliselt läbi kontaktbasseini põhjas asuvate *poorsete difuuserplaatide*.

Kontaktbasseinis tagatakse vee segunemine osooniga 5...20 min jooksul. *Osooni annus* sõltub toorvee omadustest ja vee osoonimise otstarbest (pinna- või põhjavesi, vee värvitustamine, desodoreerimine või rauaärastus jne) ning tavaliselt ei ületa 5 mg/l (Tallinna VTJ-s 10 mg/l). Osooni paremaks ärakasutamiseks tuleb kontaktbasseinis tagada intensiivsete veepöörise teke. Selleks asetatakse sinna vaheseinad või kasutatakse mehaanilisi segureid. Kasutatakse ka osooni eelsegamist väiksema vee kogusega ejektori abil järgneva „osoonvee“ juhtimisega kontaktbasseini (GDT-protsess).

### 10.3.3. GDT- protsess

Nimetatud protsess (Gas-Degas-Treatment) on välja töötatud ja patenteeritud, suurendamaks osooni ärakasutamist vees ning gaaside eraldumist.



Joonis 10.9. GDT-seadme skeem: 1 – reaktor, 2 – tsentrifugaalseparaator, 3 – ejektor, 4 – gaaside eraldus, 5 – degaseeritud vee äravool

Seade koosneb *ejektorist*, mille abil kõrgel rõhul (5,5 at) toimub  $O_3$  kaasaimemine vette, *reaktorist*, kus toimub osooni segunemine veega, ning *tsentrifugaalseparaatorist* ärakasutamata osooni ja muude vees lahustunud gaaside eraldamiseks. Seade töötab nn osavoolu põhimõttel, st osooni täielikumaks ärakasutamiseks juhitakse läbi seadme osa veest, seejärel segatakse degasaatorist väljuv vesi ülejäänud veega.

## 10.4. Vee desinfitseerimine ultraviolettkiirgusega

### 10.4.1. Protsessi kirjeldus

Ultraviolettkiired lainepikkusega 205...315 nm (205 nm = 0,205  $\mu\text{m}$ ) toimivad bakteritele surmavalt. (> 780 nm – *infrapunane kiirgus*, 400...780 nm – *nähtav valgus*, 100...400 nm – *UV kiirgus*, < 100 nm – *röntgenikiired*). Seetõttu nimetatakse seda lainepikkuse ala *bakteritsiidseks*. Toime maksimum on lainepikkusel ~260 nm. Vastavaid seadmeid nimetatakse *bakteritsiidseadmeteks*.

#### Seadme plussid:

- kompaktne;
- ei vaja reagente;
- desinfitseerib momentaanselt, seetõttu puudub vajadus kontaktbasseini järele;
- ei anna veele omalt poolt lõhna ega maitset;
- lihtne ja kiire käivitamine;
- töö juhtimine hästi automatiseeritav.

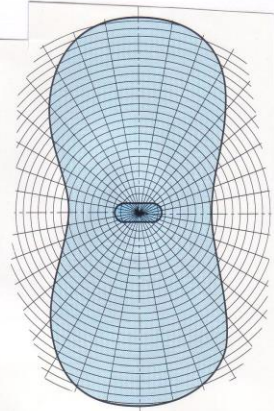
#### Seadme miinused:

- puudub järelmõju desinfitseeritud veele;
- raske kontrollida desinfitseerimise tegelikku tõhusust;
- lahustumata lisandite olemasolu vees (hägusus, värvus) vähendab oluliselt seadme efektiivsust.

### 10.4.2. Bakteritsiidseadmed

Valmistatavate seadmete nomenklatuur on lai – tootlikkusega 1...2 m<sup>3</sup>/h (paigutatakse vertikaalselt seinale) kuni 1000 ja enam m<sup>3</sup>/h.

UV-seadme põhilüli on *gaaslahenduslamp*, mis on täidetud inertgaasi, metalliauru või nende seguga. Juhtides sealt läbi elektrivoolu, muundub elektrienergia optilise kiirguse energiaks. Selle hulgas on ka silmale nähtamatu ultraviolettkiirgus. Tänapäeval on bakteritsiidseadmetes enam levinud *madalrõhu Hg-lambid*. Ultraviolettkiirguse desinfitseeriv efekt on seotud kiirguse fotokeemilise toimega mikroorganismi raku-molekulidele. Gaaslahenduslamp paigutatakse kvartsümbrisesse vältimaks lambi vahetatut kokkupuudet veega ning asetatakse *kiirituskambrisse*, millest desinfitseeritav vesi läbi voolab.



Hg- Flachstrahler

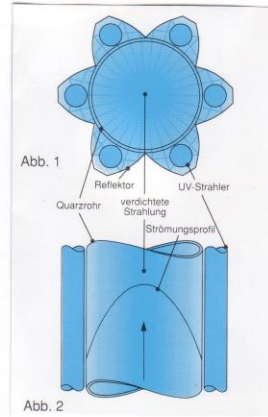
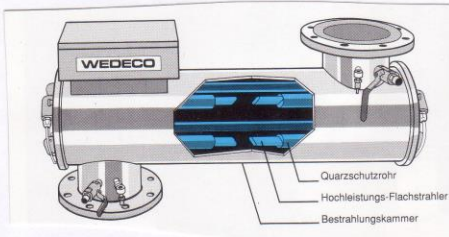
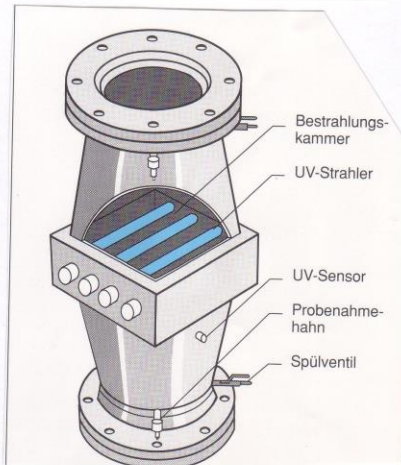


Abb. 1: Trinkwasser-Entkeimung in einem Wasserwerk, 2 x 230 m<sup>3</sup>/h, Typ 54-K48



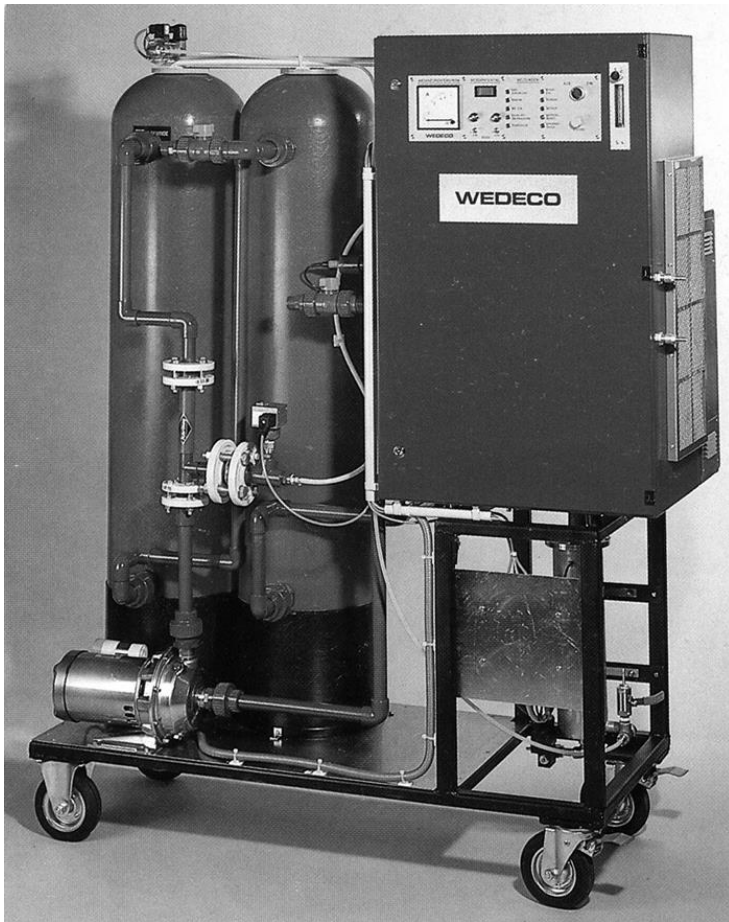
Joonis 10.10. Bakteritsiidseadmeid

### 10.4.3. Osooni ja UV-kiirguse kombineeritud kasutamine

Firma WEDECO on välja töötanud osooni ja bakteritsiidseadme kombineeritud kasutamisel põhineva tehnoloogia, mida saab kasutada näiteks *kloroformi* (trihalo-metaan) kõrvaldamiseks tarbeveest. Puhastusprotsess põhineb vee juhtimisel läbi bakteritsiidseadme, kusjuures osa vett osoonitakse ning tsirkuleerib läbi osooni kontaktmahuti ja UV-seadme. On olemas nii *konteinerpuhastil* põhinev variant tootlikkusega 120 m<sup>3</sup>/h kui ka ratastel variant tootlikkusega 7 m<sup>3</sup>/h.



Joonis 10.11. O<sub>3</sub> + UV-seade konteinerpuhastis tootlikkusega 120 m<sup>3</sup>/h



Joonis 10.12. O<sub>3</sub> + UV-seade tootlikkusega 7 m<sup>3</sup>/h

# 11. VEE DESODOREERIMINE, PÕHJAVEEST RAUA-, MANGAANI-, NITRAADI- JA FLUORIÄRASTUS

## 11.1. Vee desodoreerimine, oksüdantide ja sorbentide kasutamine veepuhastuses

Loodusliku vee lõhn ja kõrvalmaitse on põhjustatud eelkõige lahustunud orgaanilistest ühenditest. Nende olemasolu (pinna)vees on tingitud peamiselt veetaimede, planktoni, nektoni, mitmesuguste bakterite jm mikroorganismide lagunemisest ja selle tagajärjel tekkivate ühendite järgnevast transformatsioonist. Seega, vee *desodoreerimine* s.o *lõhna- ja maitseomaduste parendamine* tähendab eelkõige lahustunud orgaaniliste ühendite kõrvaldamist veest. Selleks töödeldakse vett nii *oksüdantidega* (põhiliselt osooniga) kui ka *sorbentidega*. Kuid vee lõhna ja kõrvalmaitset võivad põhjustada ka lahustunud gaasid (väävelvesinikust tingitud nn mädamuna lõhn), looduslikus vees esinevad mineraalsed ühendid (rauamaitse), samuti heitveega vette sattunud mineraalsed ja orgaanilised ühendid. Seetõttu tuleb desodoreerimise tehnoloogia valikul lähtuda lõhna ja kõrvalmaitse päritolust – kui vee lõhn on tingitud gaaside sisaldusest, annab tulemust vee *degaseerimine*, kui vee kõrvalmaitset põhjustab rauasisaldus – annab tulemust *rauaärastus*.

Oksüdandid enamasti lagundavad orgaanilise aine ühenditeks, mis on organoleptiliselt vähem tajutavad. Kuid vees võib esineda ka aineid, mille mittetäielik oksüdatsioon põhjustab lõhna ja kõrvalmaitse tugevnemist ning toksilisemate ühendite teket (näiteks mõned fosfororgaanilised ühendid). Seetõttu peavad oksüdantide kasutamisele eelnema põhjalikud laboratoorsed ja tehnoloogilised uuringud.

Lahustunud orgaaniliste ja muude ühendite, samuti mikrokoguses vees olevate toksiliste ühendite kõrvaldamiseks veest on levinud *sorbentide* kasutamine. Sorbentide eelis oksüdantide ees on, et nad ei lagunda vees olevaid ühendeid, seetõttu langeb ära ka ebasoovitavate vaheproduktide tekkimise oht. Sorbentidena kasutatakse *aktiivsütt*, mis saadakse süsinikku sisaldavate materjalide (kivisüsi, puusüsi, kookospähkli koor jm) *aktiveerimisega*. Aktiveerimine seisneb toorme termilises töötlemises ligikaudu 800 °C juures, mille tagajärjel lenduvad komponendid eralduvad ning materjal omandab adsorptsiooniks vajaliku mikropoorse struktuuri. Toodetakse põhiliselt kolme liiki aktiivsütt – pulbrilist, teralist ja granuleeritud. *Pulbrilise aktiivsöe* terasuurus on 50...200 µm, veekäitluses kasutatava *teralise aktiivsöe* puhul on see näitaja 1...3 mm. *Granuleeritud aktiivsöe* terad kujutavad endast pressitud silindriksi läbimõõduga 1...4 mm ja pikkusega 2...3 mm. Aktiivsöe puistetihedus on 300...600 kg/m<sup>3</sup> (puusöest toodetel väiksem, kivisöest toodetel suurem).

Aktiivsöe tuntumaid tootjaid-tarnijaid Euroopas on Chemviron Carbon (Filtrisorb 300, 400), Evers (Eversorb, Everzit–Special) jt.

Sorbendi kasutamiseks on kaks võimalust – lisada pulbrilist aktiivsütt vette nagu reagenti ning kõrvaldada see veest puhastusseadmetes või filtrida vett läbi teralise või granuleeritud aktiivsöega täidetud sorptsioonifiltri. Seejuures tuleb arvestada, et molekulaarsel kujul olevad ühendid sorbeeruvad paremini kui ioonsel kujul olevad. Sorptsiooni efektiivsus suureneb orgaaniliste ühendite molekulmassi ja vee temperatuuri suurenedes. Mehaanilised lisandid, rauahägu ja koagulandihüdroksiidid vees vähendavad sorbendi efektiivsust ja lühendavad filtri töötsükli.

*Pulbriline aktiivsüsi* lisatakse vette enne eelpuhastusseadmeid või filtreid, söe annus ei ületa tavaliselt 5 mg/l. Söepulbri märgamine ja söesuspensiooni ettevalmistus on tülikas, pealegi võib tolmjalt peen materjal läbida filtreid ja sattuda jääkproduktina puhastatud vette, suurendades selle hägusust üle lubatud normi.

*Sorptsioonifiltrid* on efektiivsemad ja enam levinud seadmed vee töötlemisel sorbentidega. Need filtrid paigutatakse tehnoloogiaskeemi lõppu, vesi peab olema eelnevalt läbinud selitamise-värvitustamise täieliku tsükli. Sel juhul võib sorptsioonifilter töötada ilma vahepealse regenereerimiseta mitu kuud. Sorptsioonifiltreid kasutatakse nii survekui ka gravitatsiooniliste filtritena. Filtratsioonikiirus valitakse 10...15 m/h, söekihi paksus 1,5...2 m. Põhiline probleem söefiltrite kasutamisel on seotud filtri täitematerjali regenereerimisega. Selleks asendatakse tavaliselt kogu äratöötanud materjal uuega.

Sorptsioonifiltrite täitematerjalidena leiavad kasutamist ka süsinikku mittesisaldavad materjalid, eelkõige *tseoliidid* (alumosilikaatide hulka kuuluvad looduslikud mineraalid võivad olla efektiivsed vee värvitustamisel, anorgaaniliste, sh toksiliste kloororgaaniliste jt ühendite veest kõrvaldamisel).

## 11.2. Raua- ja mangaaniärastus

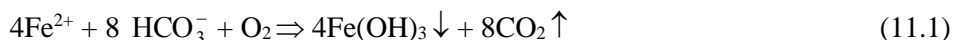
Põhjavee kasutamisel on üks põhiprobleem selle kõrgendatud rauasisaldus. Raud esineb põhjavees tavaliselt lahustunud kujul  $\text{Fe}^{2+}$ -ioonina, olles tasakaalustatud bikarbonaatidega  $\text{HCO}_3$ . Pinnavees on raud kas kompleksühendite koostises või peendisperse häguna  $\text{Fe}(\text{OH})_3$ .

Kõrgendatud rauasisaldus mõjutab vee organoleptilisi omadusi, põhjustab mitmesuguse toodangu rikkumist, sanitaartechniliste seadmete määrdumist, pruunika sademe teket torustikes ning reservuaaride ja basseini põhjas. Rauarikas vesi on soodne keskkond *rauabakteri* arenguks, mille tagajärjel intensiivistub korrosioon ning võib toimuda torustiku järkjärguline kinnikasvamine korrosiooniproduktidega.

$\text{Fe}^{2+}$  on võimeline vähelahustuvateks ühenditeks  $\text{Fe}(\text{OH})_2$  ja  $\text{FeCO}_3$  seotuna välja sadenema kõrge pH korral –  $\text{Fe}(\text{OH})_2$ -na pH > 10,3 ning  $\text{FeCO}_3$ -na pH > 8,4 juures.

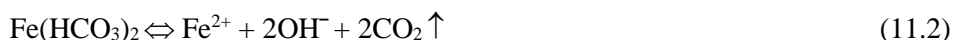


Seetõttu toimub rauaärastus põhjaveest järgmise skeemi kohaselt –  $Fe^{2+}$  oksüdeeritakse õhuhapnikku või oksüdanti kasutades  $Fe^{3+}$ -ks, selle hüdroliüsudes tekib vähelahustuv kolloidne  $Fe(OH)_3$ , mis seejärel eemaldatakse veest puhastusseadmetes, põhiliselt filtrimise teel.  $Fe(II)$  oksüdeerimise enam kasutatav moodus on vee aereerimine. Aereerimisel toimub vee üheaegne rikastamine hapnikuga ning tekkiva süsihappegaasi eraldumine:



$Fe^{2+}$  oksüdatsiooni kiirus sõltub vee temperatuurist ja pH-st ning katalüsaatorite olemasolust – temperatuuri ja pH suurenedes suureneb ka reaktsiooni kiirus, samasugust mõju avaldab katalüsaatorite, näiteks  $Fe(OH)_3$  sademe lisamine.

Lisaks tuleb arvestada, et põhjavees on vaba süsihape ning  $Fe(HCO_3)_2$  dünaamilises tasakaalus vastavalt võrrandile:



Seega, mida rohkem on vees  $CO_2$ , seda enam rauda esineb molekulaarsel kujul  $Fe(HCO_3)_2$ -na, mille oksüdatsioon toimub halvasti.

$CO_2$  sisalduse vähenedes suureneb dissotsieerunud raua osatähtsus, mis oksüdeerub ja eraldub seejärel veest kergemini. Järelikult on vaja  $CO_2$  veest kõrvaldada. Lisaks aereerimisele võib selleks kasutada ka vee lupjamist, mille tagajärel  $CO_2$  seotakse lahustumatuks  $CaCO_3$ -ks:



*Mangaan* esineb põhjavees sageli koos rauaga samuti lahustunud kujul kahevalentse ioonina  $Mn^{2+}$ .  $Mn$  oksüdeerub rauast aeglasemalt ja raskemini, moodustades hüdroliüsudes vähelahustuvad  $Mn(OH)_3$  ja  $Mn(OH)_4$ , mis põhjustavad mustade plekkide ja musta sademe teket, ka õlise kile tekkimist vee pinnale.  $Mn$  ärastuse skeem on analoogne rauaärastusele, s.o oksüdatsioon sellele järgneva filtrimisega. Seejuures tuleb arvestada, et tavalise aereerimisega  $Mn$  enamasti ei oksüdeeru. Seetõttu on vajalik kas oksüdantide lisamine ( $KMnO_4$ ,  $O_3$ ,  $ClO_2$ ) või (ja) sügavaeratsioon gradiiris. Sageli on  $Mn$  ühendite filtrimisel hädavajalik kasutada  $Mn$  suhtes selektiivseid filtrimaterjale (vt punkt 9.4), mis võib tähendada eraldi filtreid  $Fe$  ja  $Mn$  tarbeks.

*Raua ärastamiseks* (põhja)veest kasutatakse järgmisi tehnoloogilisi protsesse:

- lihtaeratsioon
- sügavaeratsioon
- oksüdantide lisamine
- vee lupjamine
- bioloogilised protsessid

Sobiva tehnoloogia valik eeldab tehnoloogilisi uuringuid katseseadmepel.

### *Lihtaeratsioon*

Annab tulemusi, kui Fe ei ole vees üle 10 mg/l, H<sub>2</sub>S < 0,5 mg/l, kui raud esineb vees põhiliselt Fe<sup>2+</sup>-ioonina ning on kergesti oksüdeeruv. Kasutatakse lihtsamaid mooduseid vee aereerimiseks enne selle filtrimist. Vesi piserdatakse filtrisse kas 0,5...0,6 m kõrgusele veepeegli pinnast asetatud perforeeritud piserdustorustiku kaudu või (survefiltrite korral) pumbatakse kompressoriga õhku filtri pealevoolutorustikku. Õhku on vaja juurde pumbata ligikaudu arvestusega 2 l õhku 1 g Fe<sup>2+</sup> kohta. Lihtaeratsiooni korral on rauaärastusfiltri töös „tavalise selitusfiltriga“ võrreldes eripära, mis väljendub selles, et filtri efektiivseks tööks on vajalik Fe(OH)<sub>3</sub> katalüütilise kile tekkimine täitematerjali terade ümber. Kile kiirendab oksüdatsiooniprotsessi ja soodustab rauaühendite adhesiooni terade pinnale. Kile tekitamist nimetatakse *filtri laadimiseks* ja see võib võtta aega 30...40 tunnist paari ööpäevani. Katalüütilise kile tekkimine võimaldabki lihtaeratsiooni korral loobuda vee põhjalikust aereerimisest.

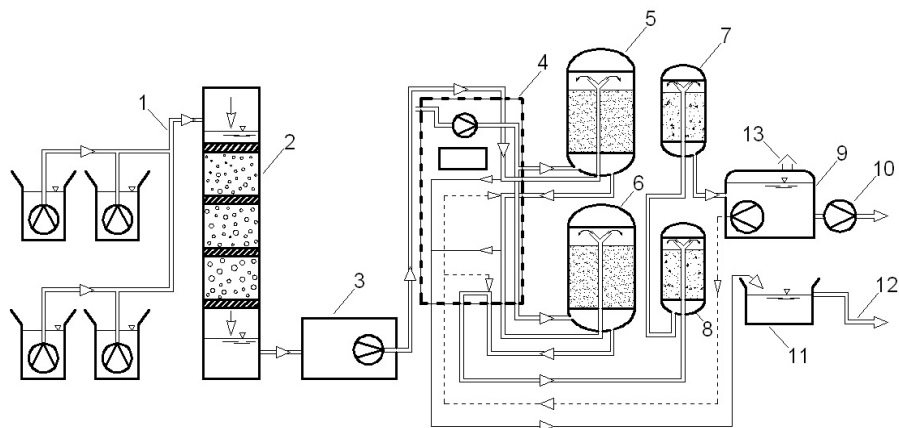
Kui lihtaeratsioon siiski soovitud tulemusi ei anna, kasutatakse sügavaeratsiooni.

### *Sügavaeratsioon*

Rauarikas toorvesi juhitakse filtrisse läbi *gradiiri*. Sageli on sel juhul gradiiri ja filtri vahel *kontaktreservuaar*, kus toimub Fe<sup>2+</sup> lõplik oksüdatsioon, Fe(OH)<sub>3</sub> teke ning osaline väljasadenemine. Sügavaeratsiooni kasutatakse sageli ka juhul, kui on vajalik samaaegne Fe ja Mn ärastus, mis eeldab eraldi filtreid raua ja mangaani ärastamiseks. Vett võib sel juhul puhastada näiteks konteinerpuhasteid kasutades (joonised 11.1 ja 11.2).



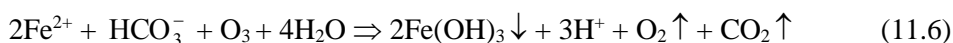
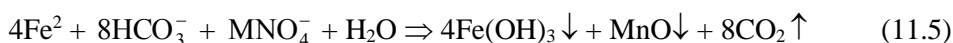
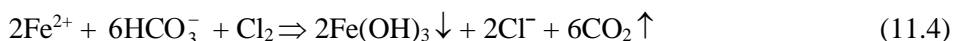
Joonis 11.1. Gradiiriga konteinerpuhasti Fe ja Mn ärastamiseks tootlikkusega 60 m<sup>3</sup>/h.



Joonis 11.2. Gradiiriga konteinerpuhasti (60 m<sup>3</sup>/h) skeem: 1 – toorvee torustik, 2 – gradiir Ø 1 m, kõrgus 9,2 m, 3 – aereeritud vee mahuti ja pumbad, 4 – konteiner õhupuhuri ja juhtimis-reguleerimisseadmetega, 5 – kvartslüüvaga rauaärastusfilter Ø 3 m, 6 – mangaaniärastusfilter Ø 3 m, täitematerjal Magnofilt, 7 – 2. astme sorptsioonfilter aktiivsõega Ø 2 m, täitematerjal Filtrasorb 100, 8 – 1. astme sorptsioonfilter, 9 – puhta vee mahuti, 10 – 2. astme pump, 11 – filtri uhtevee kogumispaak, 12 – selitatud uhtevee äravool, 13 – mahuti õhutustoru

### Oksüdantide lisamine

Mitte alati ei anna vee aereerimine Fe eraldamiseks soovitud tulemusi. Seda eriti siis, kui Fe on seotud kompleksühenditesse või tugevate hapete soolade koostisesse. Sel juhul on nende ühendite lagundamiseks ja rauahägu tekitamiseks vaja töödelda vett oksüdantidega. Selleks kasutatakse kloori, kaaliumpermanganaati, osoni:



Sõltuvalt toorvee omadustest lisatakse oksüdante kas täiendavalt aereerimisele või töödeldakse vett ainult oksüdantidega. Toorvee omadused võivad dikteerida ka vajaduse intensiivistada oksüdantide neeldumist (GDT-protsess).

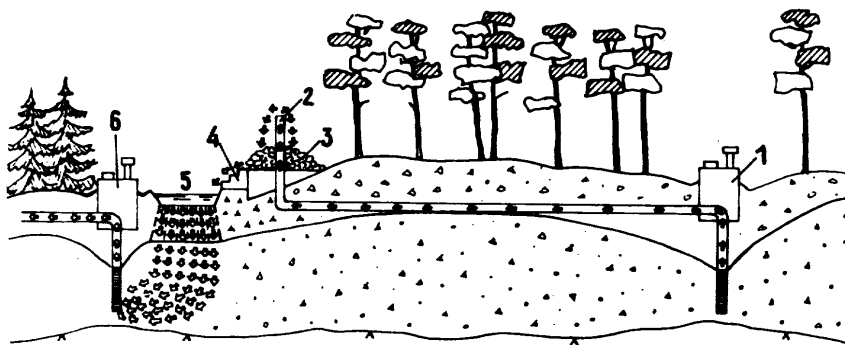
Vee kloorimisel, kui seda ei tehta järelkloorimisena jääkkloori tagamiseks, tuleb arvestada ka trihalometaanide tekkimise ohuga.

### Lupjamine

Nagu eespool selgus, seob lubi süsihappegaasi ning loob seeläbi soodsamad tingimused rauahägu tekkimiseks. Ainuüksi vee lupjamisest siiski ei piisa, seetõttu kasutatakse lupjamist peamiselt pinnavee puhastamisel, kus raud esineb kolloidse häguna koos muude vee sogasust ja värvust põhjustavate lahustumatute lisanditega.

### *Rauaärastus bioloogiliste protsessidega*

Tehnoloogia põhineb rauabakterite (*Leptothrix* ja *Gallionella*) oksüdeerival toimel, kuna need bakterid kasutavad vees olevaid orgaanilisi ühendeid oma toitainena. Taolise protsessi realiseerimiseks võib kasutada näiteks aeglasi filtreid. Levinud on nn *taasimendus*, st rauarikas vesi aereeritakse ning juhitakse läbi *imbväljaku* tagasi looduslikku pinnasesse (joonis 11.3). Imbväljaku põhja on moodustatud sobiva paksuse ja struktuuriga teralise materjali kiht (analoogselt aeglase filtri põhjaga), sinna tekib aja jooksul rauaühenditest *katalüütiline kile*, milles hakkavad arenema rauabakterid. Aereeritud vesi, imbudes läbi bioloogiliselt aktiivse kihi tagasi pinnasesse, puhastub rauaühenditest, haaratakse puurkaevu või mõne muu põhjaveehaardega ning suunatakse tarbijale. Taasimendus on tehnilise lahenduse poolest sarnane tehispõhjavee moodustamisele pinnavee immutamisel põhjaveete.



Joonis 11.3. Taasimenduse tehnoloogia võimalik skeem: 1 – rauarikka toorvee puurkaev, 2 – aereerimiseseade, 3 – kruusfilter (variant), 4 – kaskaad (variant), 5 – imbväljak, 6 – puhastatud vee puurkaev (infiltratsiooniveehaare)

## 11.3. Nitraadi- ja fluoriärastus

*Nitraadid* on lämmastiku loodusliku ringluse viimane aste (nitrifikatsioon – denitrifikatsioon). Nende kõrge sisaldus põhjavees on enamasti tingitud taimede poolt omastamata jäänud lämmastikväetistest või reoveest. Nitraatide lubatud sisaldus joogivees on 50 mg/l. Nitraadiärastus tarbeveekäitluses toimub bioloogiliste protsessidega, ionivahetusega või membraantehnoloogial põhinevaid puhastusseadmeid kasutades.

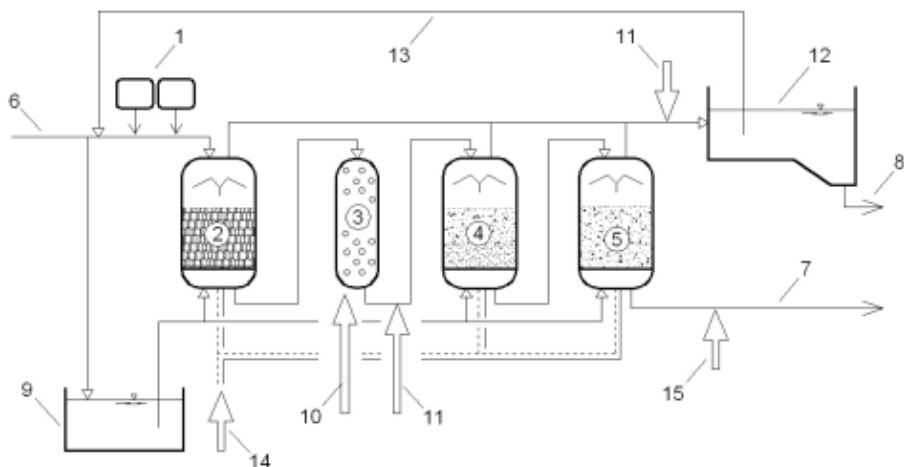
Joogivee *fluorisisaldus* on oluline hammaste ja luustiku tervishoidu mõjutav faktor. Joogivee ülemäärane fluorisisaldus avaldab negatiivset mõju eriti laste hammastele, põhjustades hammaste fluoroosi. Fluoriidide lubatud sisaldus joogivees on 1,5 mg/l.

Fluoriühendite ärastamiseks veest kasutatakse ionivahetust ja membraantehnoloogiat.

#### *Bioloogilised protsessid nitraadiärastuses*

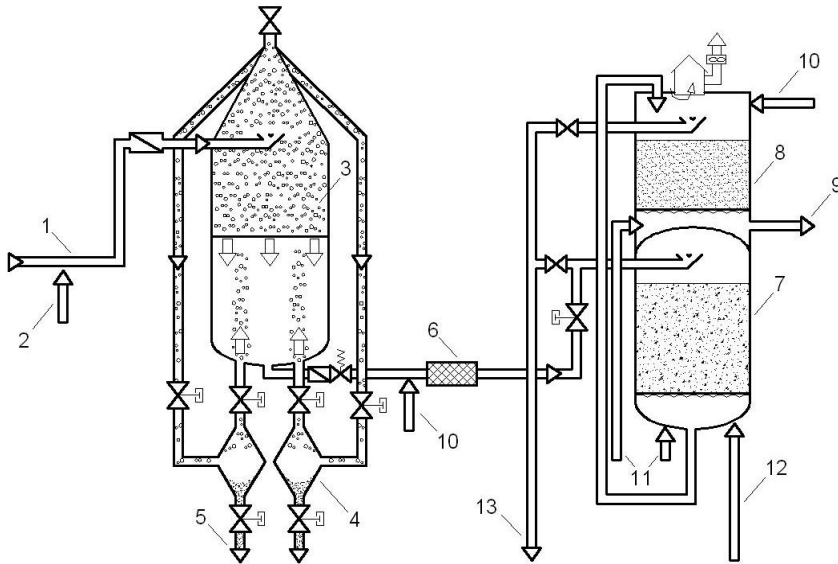
Selleks kasutatakse denitrifikatsiooniprotsessis tekkivaid mikroorganisme, mis anaeroobsetes tingimustes lõhustavad nitraate ning muudavad need gaasiliseks lämmastikuks. Vastav tehnoloogiaskeem koosneb tavaliselt õhukindlatesse mahutitesse asetatud pöörlevatest trumlitest, mis mikroobidele sobiva elukeskkonna loomiseks on kaetud spetsiaalse kunstkiust materjaliga. Trumleid on 2 või rohkem järjestikust astet, enne trumlitesse juhtimist lisatakse vette toitaineid-fosfaate, etanooli jm. Trumlitest väljuv nitraadivaba vesi puhastatakse ja juhitakse tarbijale.

Firma WABAG on välja töötanud denitrifikatsioonil põhineva nitraadiärastuse tehnoloogia BIODEN, mis koosneb reaktorist, aeratsioonikolonnist, teralise täitega filtritest ja desinfitseerimissõlmest (joonis 11.4).



Joonis 11.4. BIODEN-tehnoloogia nitraadiärastuseks: 1 – toitainete paagid, 2 – denitrifikatsioonireaktor, 3 – aeratsioonipaak, 4 – kahekihiline teralise täitega filter, 5 – aktiivsõega sorptsioonifilter, 6 – toorvee sissevool, 7 – nitraadivaba vee väljavool, 8 – sette väljavool kanalisatsiooni, 9 – uhtveepaak, 10 – suruõhk, 11 – koagulant ( $\text{FeCl}_3$ ), 12 – uhtvee kogumisaak, 13 – selitatud vee retsirkulatsioon, 14 – suruõhk reaktori ja filtrite vesi-õhk-uhumiseks, 15 – desinfitseerimissõlmest

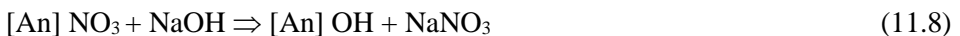
Pidevalt töötava reaktoriga nitraadiärastusseade on kujutatud joonisel 11.5. Reaktoris kasutatakse biomassikandjana vahtpolüstüroolist kuulikesi, seal toimub biomassi pidev regenereerimine ja retsirkulatsioon ning reaktorist tulnud vee kaheastmeline puhastamine kvartslüüa ja antratsiidiga täidetud filtris.



Joonis 11.5. Pideva töörežiimiga PERMAPOR-reaktor: 1 – toorvee sissevool, 2 – toitainete (etanol, naatriumfosfaat, mikroelemendid) lisamine, 3 – PERMAPOR-reaktor, 4 – biomassikandja puhastamine, 5 – jääkbiošlammi äravool, 6 – segisti, 7 – liivfilter, 8 – antratsiitfilter, 9 – puhastatud vee äravool, 10 – õhu juurdevool, 11 – uhtevesi, 12 – suruõhk filtrite vesi-õhk-uhumiseks, 13 – filtrite uhtvee äravool

#### *Nitraadi- ja fluoriärastusioonivahetusega*

Nitraadiärastuseks kasutatakse tugevalt leeliseliste, nitraatide suhtes selektiivsete anioniitidega täidetud anioniitfiltreid. Filtritest juhitakse läbi osa veest, mis seejärel segatakse ülejäänud veega arvestusega, et segatud vees olevate lahustunud ühendite sisaldus vastaks tarbija nõuetele. Anioniitfiltreid regenereeritakse kas üheastmeliselt NaCl lahusega või kaheastmeliselt NaOH ja HCl lahustega:



Fluoriärastuseks kasutatakse samuti fluori suhtes selektiivseid anioniite, näiteks granuleeritud alumiiniumoksiidi, mida võib regenereerida NaOH või alumiiniumsulfaadi lahusega. Ka fluoriärastuses töödeldakse osa veest, mis seejärel segatakse ülejäänud veega.

*Membraantehnoloogia vee puhastamisel nitraatidest, fluoriididest jt lahustunud ühenditest.*

Selleks kasutatakse poolläbilaskvate membraanidega varustatud *pöördoosmoosiseadmeid*, mis lasevad läbi vee ja peavad kinni ioonid ning muud vees lahustunud ühendid (vt punkt 16).

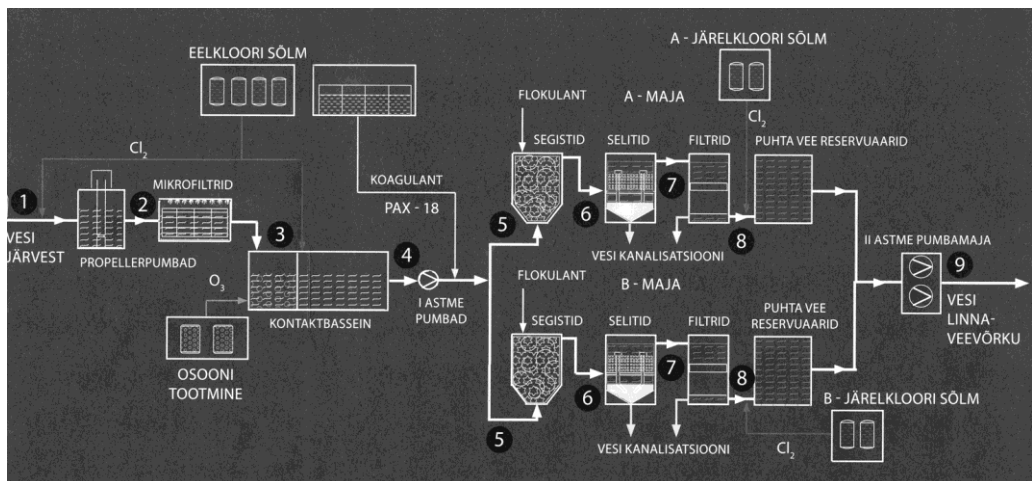
## 12. VEETÖÖTLUSJAAMADE TEHNOLOOGIA-SKEEMID JA PROJEKTEERIMINE

Veetöötlusjaama vajalik tehnoloogiaskeem sõltub toorvee liigist (põhjavesi või pinnavesi) ja omadustest, tarbija nõuetest, jaama tootlikkusest ja töörežiimist (pidev või perioodiline töörežiim).

Eelkõige toorvee omadustest lähtuvalt võivad tehnoloogiaskeemid omavahel oluliselt erineda nii puhastusastmete arvult, reagentide kasutamise kui ka selle poolest, kas kasutatakse surve- või gravitatsioonilist (vabavoolset) skeemi.

### 12.1. Veetöötlusjaamade tehnoloogiaskeemid

#### 12.1.1. Tallinna Veetöötlusjaam

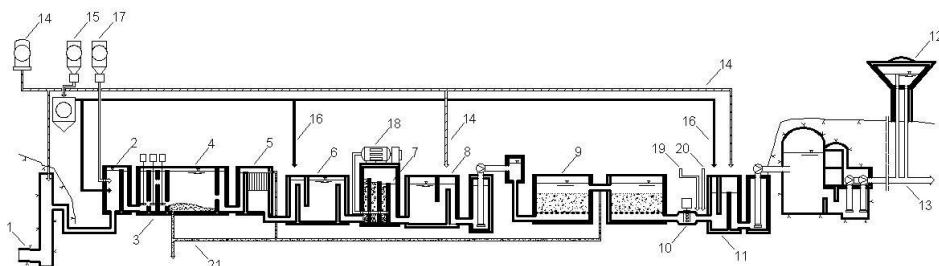


Joonis 12.1. Tallinna Veetöötlusjaama tehnoloogiaskeem

Tallinna VTJ kasulik toodang (linna pumbatav veekogus) on 2013. aastal ligikaudu 60 000 m<sup>3</sup>/d, millest elanikkonna osa on 3/4. Vee viibeaeg Ülemiste järves on 16 kuud. VTJ puhta vee reservuaaride maht on 52 000 m<sup>3</sup>, kloorimiseks kasutatavat *alumiinium-polükloriidi* tuuakse tsisternidega Soomest. Heljumselititest sette ärajuhtimine toimub 4 päeva tagant, filtreid uhitakse talvel 120 h tagant, suvel 2,2 m rõhukao saavutamisel, mis leiab aset ligikaudu 50...60 h tagant.

## 12.1.2. Helsingi veetötlusjaamad

Helsingi saab joogivee 120 km kauguselt Päijänne järvest kaljutunneli kaudu. Toorvee puhastamiseks on kaks veetötlusjaama – Pitkääkoski ja Vanhakaupunki. Pitkääkoski kasulik toodang on ligikaudu 7000 m<sup>3</sup>/h, Vanhakaupunkis – 5000 m<sup>3</sup>/h.



Joonis 12.2. Helsingi Vanhakaupungi VTJ tehnoloogiaskeem: 1 – toorvesi Päijänne tunnelist (läbi Silvola veehoidla), 2 – segistid, 3 – flokulaatorid, 4 – horisontaalsetitid, 5 – kiirfiltrid, 6 – vahemahuti lubja lisamiseks, 7 – osoon, 8 – CO<sub>2</sub> annustus, 9 – aktiivsõega sorptsioonfiltrid, 10 – UV seadmed, 11 – mahuti lubja, hüpokloriti ja ammoniaagi segamiseks, 12 – veetorn, 13 – vesi tarbijale, 14 – CO<sub>2</sub> mahuti, 15 – lubi, 16 – lubjalahuse lisamine, 17 – koagulant (ferrisulfaat), 18 – osonaator, 19 – Na-hüpoklorit, 20 – ammoniaak, 21 – uhtevete äravool

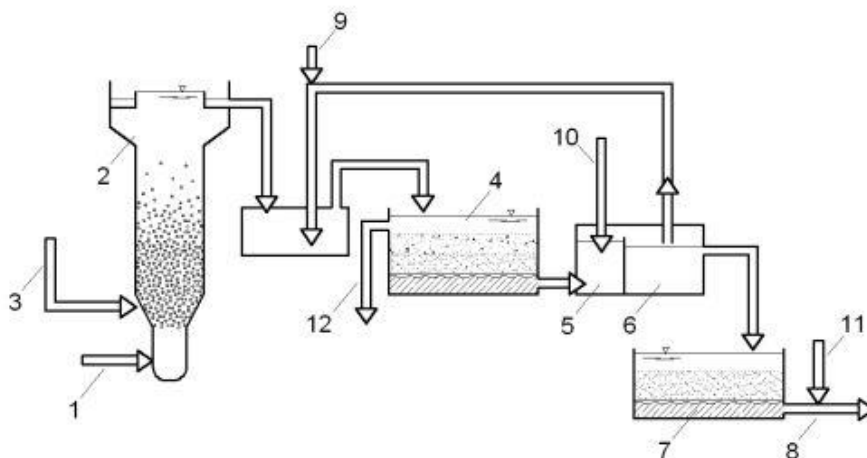
Lubja ja süsihappegaasi lisamisega suurendatakse vee leelisust (vee puhverduisvõime) samaaegselt karedusega, mis vähendab torustiku korrosiooniõhtu:



Lubi saabub kohale kustutamata kujul, VTJ-s see kustutatakse ning annustatakse vette lahusena. Osooni valmistatakse puhtast hapnikust. Aktiivsõega täidetud sorptsioonfiltrid on lülitatud skeemi kaheastmeliselt – 1. astmes toimub filtrimine alt üles, 2. astmes ülalt alla. Olles ise mikroobidele soodne elukeskkond, kõrvaldavad sorptsioonfiltrid veest osooni poolt lõhustatud, kuid mikroobidele paremini omastatavaid orgaanilisi ühendeid. Seetõttu on sorptsioonfiltrite järel bakteritsiidseadmed. Et tagada töödeldud vees vajalik jääkkloori sisaldus ja pikendada kloori bakteritsiidset toimet, lisatakse pärast UV-seadmeid vette naatriumhüpokloritit ja ammoniaaki (taoline lahendus on põhjendatud ka sellega, et UV-seadmeid läbinud mikroobidel olevat õht jaotustorustikus uuesti ellu ärgata!).

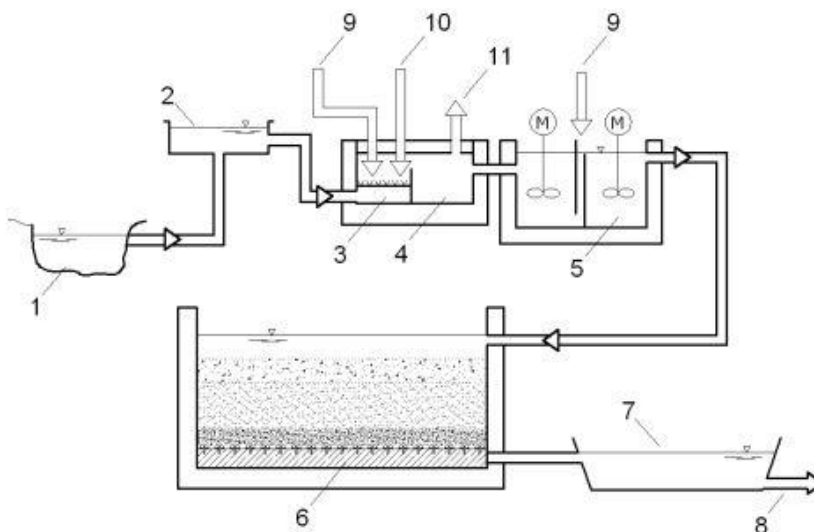


### 12.1.3. Mitmesuguseid tehnoloogiaskeeme



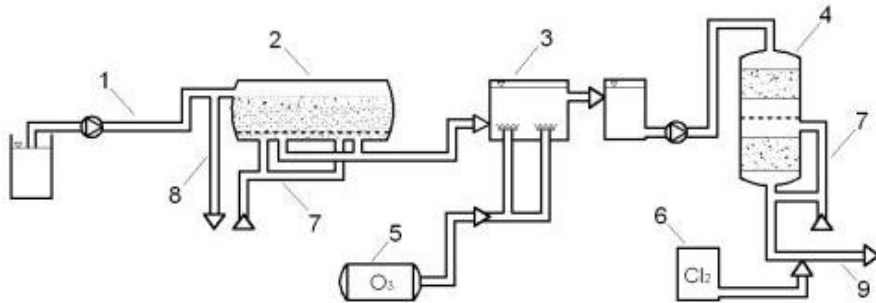
Joonis 12.3. Vee lupjamise ja osooni retsirkulatsiooniga tehnoloogiaskeem: 1 – toorvesi, 2 – vertikaalsegisti, 3 – lubjapiim, 4 – mitmekihiline filter, 5, 6 – osooni kontaktbassein, 7 – sorptsioonifilter, 8 – puhastatud vesi, 9 – suruõhk, 10 – osoon, 11 –  $\text{ClO}_2$ , 12 – filtri uhtevesi

Sellele tehnoloogiaskeemile on iseloomulik kontaktbasseinis tekkiva jääkosooni ärakasutamine, sorptsioonfiltrite lülitamine skeemi lõppu ning klooridioksiidi lisamine vee desinfitseerimiseks. Skeem on sobiv väikese hädususega, raskesti oksüdeeruvat orgaanilist ainet sisaldava vee puhastamiseks.

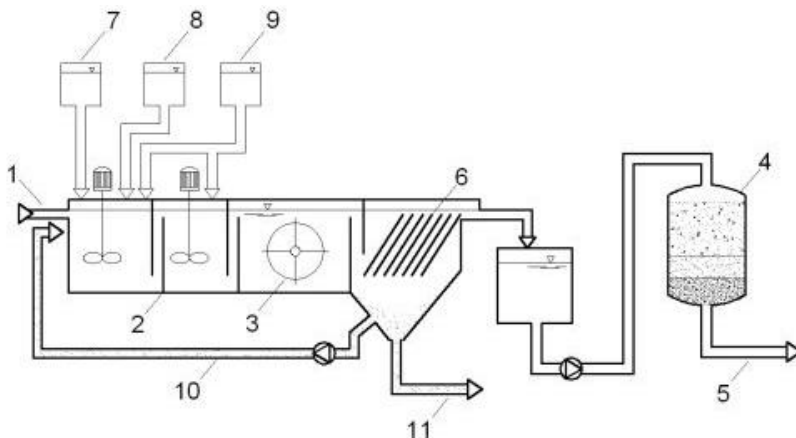


Joonis 12.4. Kaheastmelise filtratsiooni skeem: 1 – veekogu, 2 – aeratsioonibassein, 3, 4 – osooni kontaktbassein, 5 – flokulaator, 6 – kiirfilter, 7 – aeglane filter, 8 – puhastatud vesi, 9 – flokulant, 10 – osoon, 11 – jääkosoon

Vaadeldavat skeemi iseloomustab eelnev aeratsioonibassein, mis lisaks toorvee aereerimisele-degaseerimisele toimib ka keskendusreservuaarina. Viimane on oluline eelkõige jõvee kasutamisel, mille omaduste ajaline kõikumine võib olla märkimisväärne. Kaheastmelise filtratsiooni olemasolu ning setitite-selitite puudumine on iseloomulik toorveele, milles ei ole palju mineraalset heljumit.



Joonis 12.5. Horisontaalsete survefiltritega tehnoloogiaskeem: 1 – toorvesi, 2 – horisontaalsed survefiltrid, 3 – osooni kontaktbassein, 4 – aktiivsöega täidetud sorptsioonfiltrid, 5 – osonaator, 6 – klooraator, 7 – uhtevesi, 8 – uhtevee äravool, 9 – puhastatud vesi

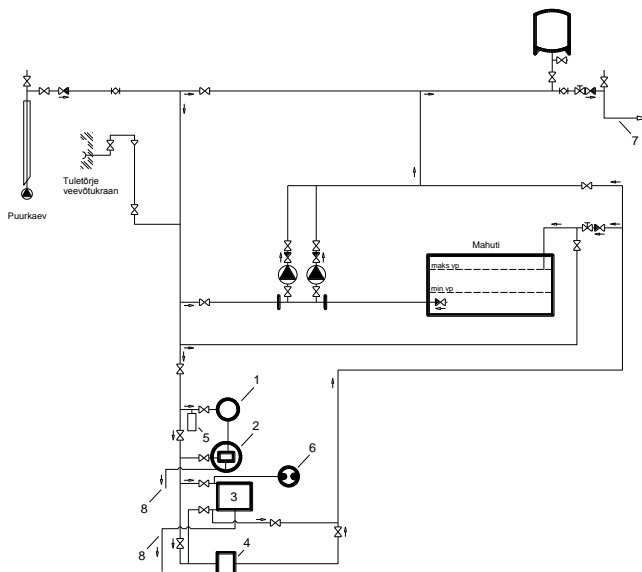


Joonis 12.6. Lamellselitite ja survefiltritega ning sette retsirkulatsiooniga tehnoloogiaskeem: 1 – toorvesi, 2 – mehaaniline segisti, 3 – flokulaator, 4 – kahekihilised survefiltrid, 5 – puhastatud vesi, 6 – lamellselitid, 7 – lubjapiim, 8 – koagulant, 9 – flokulant, 10 – sette retsirkulatsioon, 11 – sette äravool

Taoline tehnoloogiaskeem sobib suure *heljumisisaldusega* vee puhastamiseks, mis vajab ka põhjalikku keemilist eeltöötlemist koaguleerimise ja flokulantide lisamisega. Lamellselitis tekkiva sette osaline retsirkulatsioon võimaldab tõsta koaguleerimise efektiivsust ja vähendada kemikaalide kulu.

#### 12.1.4. Rekonstrueeritud puurkaevupumpla Saaremaal Pihtla vallas Kõljala asulas

Eestis on palju üksiku puurkaevu baasil töötavaid väikeseid ühisveevärke, mis vajavad rekonstrueerimist, sealhulgas sobiva veetötluse kasutuselevõttu. Ühe võimaliku näitena on siinjuures esitatud Saaremaal Pihtla vallas Kõljala asulas rekonstrueeritud puurkaevupumpla koos veetötlusega. 60 m sügavuse puurkaevu vees on suurenenud rauasisaldus (0,5 mg/l), fluoriidide sisaldus (2,2 mg/l) ja boorisaldus (1,1 mg/l), kohati ei vasta vesi joogivee nõuetele ka mikrobioloogiliste näitajate poolest. Rekonstrueerimise tulemusel rajati uus veetötlusjaam tootlikkusega 36 m<sup>3</sup>/d ning puhta vee reservuaar mahutavusega 20 m<sup>3</sup>. Põhjavesi läbib veetötluse, mille tehnoloogiaskeem koosneb aeratsioonipaagist, survefiltrist, pöördosmoosiseadmest ja bakteritsiidseadmest. Kõik veekäitluseks kasutatavad seadmed, välja arvatud puhta vee reservuaar, asuvad puurkaevupumpla paviljonis. Lisaks veetötlusseadmetele on siin ka puurkaev koos sügavveepumba automaatjuhtimisseadmetega, 2. astme pumbad, membraanhüdfoor ning elektri- ja automaatikaseadmed. Toorvee aereerimiseks vajalik õhk pumbatakse torustikku vahetult enne rauaärastusfiltrit. Filtrikihi läbipesu toimub toorveega ning seda juhitakse automaatselt programmikella abil. Pöördosmoosiseadet kasutatakse fluoriidide eemaldamiseks. Puhastatud vee vajaliku ionse koostise tagamiseks juhitakse läbi pöördosmoosiseadme 45% töödeldavast veest, mis seejärel segatakse rauaärastusfiltrit läbinud veega. Pöördosmoosiseadme membraane pestakse perioodiliselt vastassuunas, kasutades selleks filtritud vett. Katlakivi inhibiitori annustus on ette nähtud pidurdamaks pöördosmoosiseadmete membraanidel karbonaatsademe teket. Puurkaevupumpla juhtimine on täisautomaatne.



Joonis 12.7. Kõljala asula rekonstrueeritud puurkaevupumpla veekäitluse tehnoloogiaskeem: 1 – aeratsioonipaak, 2 – survefilter, 3 – pöördosmoosiseade HOH RO 2020, 4 – bakteritsiidseade Beta Line 175/L2, 5 – kompressor, 6 – katlakivi inhibiitori annustusseade DPG 603, 7 – puhastatud vesi asula veevõrku, 8 – uhtevesi kanalisatsioon

### 12.1.5. Tallinnas Nõmme linnaosas asuv Piiri veekäitlussõlm

See veekäitlussõlm koosneb eraldi paiknevatest puurkaevust, veetöötuspaviljonist ja puhta vee reservuaarist.



Joonis 12.8. Tallinna Nõmme linnaosa Piiri t veekäitlussõlm

Taoline veekäitlussõlm on iseloomulik üksikule, suurema tootlikkusega puurkaevule, mis varustab veega kas kogu linna/asulat või on osa suuremast veevärgist. Piiri t 187 m sügavune puurkaev saab vee kambrium-vendi põhjaveehorisondist (puurkaevupump asub 78 m sügavusel), vees esineb kohati üle normi rauda ja mangaani. Vee puhastamine toimub kahe Ø1400 mm kvartsliaivast täitega survefiltri abil.

Antud juhul kasutatakse filtritäites lisaks kvartsliaivale mangaani suhtes selektiivset täitematerjali Aqua Mandix (250 kg 1800 kg kvartsliaiva kohta). Filtrit uhitakse veega puhta vee reservuaarist ligikaudu 12 min jooksul intensiivsusega *ca* 7 l/s m<sup>2</sup>.

## 12.2. Veetöötusjaama põhiplaan

Jaama asukoha valikul tuleb lähtuda linna (piirkonna) üldplaneeringust. Asukoht peab võimaldama paigutada kõik hooned ja ehitised võimalikult kompaktselt, mis tagab ka kommunikatsioonide minimaalse pikkuse ja jaama hooldamise mugavuse. Peab ette nägema võimaluse jaama tulevikus laiendada, samuti ümber jaama kaitseala luua.

Tuleb arvestada ehitusplatsi geoloogilisi ja hüdrogeoloogilisi ning hüdroloogilisi tingimusi (pinnase kandevõime, põhjavee seis, veekogu läheduse korral võimalik territooriumi üleujutus jne).

Põhiplaani koostamisel lähtutakse vastavatest ehitus- ja planeerimisala standarditest.

Plaanile kantakse kõik hooned ja ehitised, väliskommunikatsioonid, teed, haljastus, tähistatakse jaama piire koos pääslaga.

Võimaluse korral tuleb kõik seadmed, tootmis- ja abiruumid, reagentimajand paigutada ühe katuse alla või grupeerida lähestikku asetsevatesse hoonetesse.

Erinõuded kehtivad vedelkloori ja muude mürgiste ainete, näiteks ammoniaagi ladudele ja nende ainete käitlemise seadmetele ning ehitistele. Siinkohal on vajalik kooskõlastus Päästeametiga.

VTJ-s peavad olema möödavoolukommunikatsioonid, mis võimaldavad vajadusel osa puhastusseadmeid välja lülitada ning ekstreemolukorras juhtida (osa) vett puhastusseadmetest mööda.

### 12.3. Veetöötlusjaama kõrgusskeem ja seadmete paigutus

Gravitatsioonilise (lahtise) tehnoloogiaskeemi korral peab veepuhastusseadmete kõrgusasend tagama vee isevoolse liikumise tehnoloogiaskeemi kõrgeimast punktist (tavaliselt segistist) kuni puhta vee reservuaarini. Veepinna kõrgusmärgid seadmetes määratakse, lähtudes rõhukadudest seadmetes ja nendevahelistes kommunikatsioonides. Rõhukaod tuleb võtta teatud varuga, tagamaks võimaliku suurema vooluhulga läbilaskmise.

Puhastusseadmete erinevast kõrgussasendist tingituna moodustub jaama *kõrgusskeem*, milles nulltasandiks võetakse maksimaalne veetase puhta vee reservuaaris.

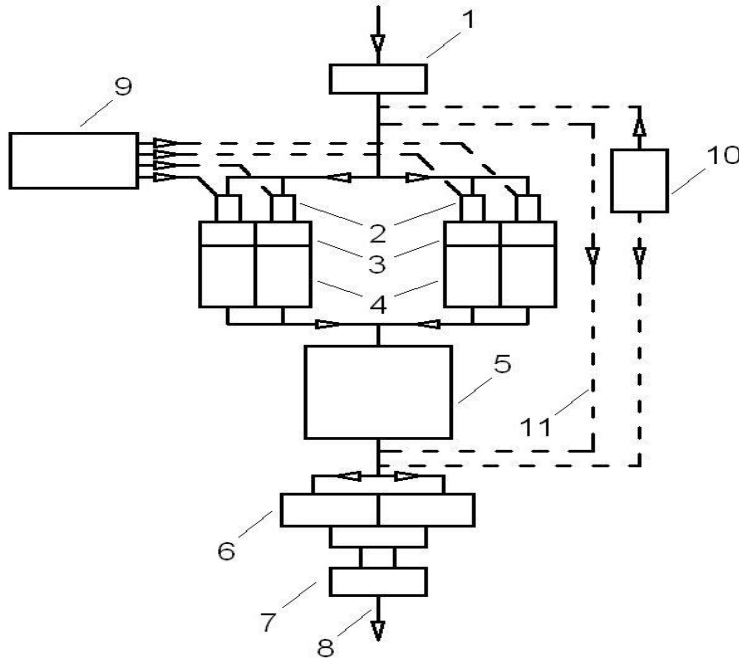
Ligikaudu võib kõrgusskeemi koostamisel aluseks võtta järgmised rõhukaod seadmetes ja kommunikatsioonides:

- mikrofiltrites – 0,4...0,6 m;
- hüdraulilistes segistites – 0,5...0,6 m,
- mehaanilistes segistites ja flokulaatorites – 0,1...0,2 m;
- hüdraulilistes flokulatsioonikambrites – 0,4...0,5 m;
- setitites ja heljumselitites – 0,7...0,8 m;
- kiirfiltrites – võrdne filtrikihi paksusega;
- aeglastes filtrites – 1,5...2 m;
- mikrofiltrist segistisse – 0,2 m;
- segistist setitisse või heljumselitisse – 0,3...0,4 m;
- setitist või selitist filtrisse – 0,5...0,6 m;

- filtrist puhtaveereservuaari – 0,5...1,0 m.

Vastutusrikkamate objektide puhul tuleb rõhukaod täpsustada hüdrauliliste arvutustega.

Samaaegselt tuleb koostada ka veepuhastusseadmete paigutusskeem.



Joonis 12.9. Veepuhastusseadmete paigutusskeem (variant): 1 – 1. astme pumpla, 2 – segistid, 3 – helvestuskambrid, 4 – horisontaalsetitid, 5 – filtrid, 6 – puhta vee reservuaar, 7 – 2. astme pumpla, 8 – puhastatud vesi veevõrku, 9 – reagentmajand, 10 – kloorimajand, 11 – möödavoolutorustik

Lisaks tuleb arvesse võtta, et VTJ alakorrusele paigutatakse reagentilaod, töökojad. Kõrgematele korrustele paigutatakse laborid, olmeruumid, samuti administratsiooni ruumid. Puhastusseadmete kõrgusest tingituna võivad need ulatuda läbi kahe korruse. Seadmete hooldustasandi (veenivoo) järgi grupeeritult on seadmed tavaliselt paigutatud suuremasse ruumi (hooldushalli) paralleelsetesse ridadesse, mis võimaldab sama-liigilistesse puhastusseadmetesse saabuvat ja sealt väljuvat vett keskendada ja sel teel veekvaliteeti ühtlustada.

Sobivate kliimatiliste tingimuste korral võib osa seadmeid paigutada ka välja (näiteks horisontaalsetitid), välistades seejuures jääkate tekkimise veepinnale.

## 13. VEETORUSTIKE KORROSION JA VEE STABILISEERIMINE

### 13.1. Sisemine korrosioon veetorustikes ja vee korrodeerivate omaduste hindamine

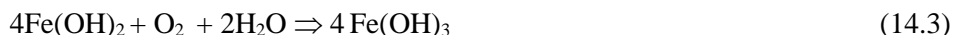
Metallist veetorustike korrosioon on põhiliselt *elektrokeemiline*. Veega täidetud torustikes tekivad anood-katood *mikrogalvaanipaarid*, milles anoodiks olevalt elektroodilt (metalltoru pinnalt) toimub metalli leostumine vette:



Anoodil vabanenud elektronide sidumine (*depolarisatsioon*) toimub katoodil, mille rolli täidab vees (elektrolüüdis) olev lahustunud hapnik:



$\text{Fe}^{2+}$  ja  $\text{OH}^-$  reaktsioonil tekib  $\text{Fe}(\text{OH})_2$ , mis oksüdeerudes moodustab vähelahustuva  $\text{Fe}(\text{OH})_3$ :



$\text{Fe}(\text{OH})_3$  sadeneb, segunedes ja tsementeerudes heljumiosakeste ning karbonaatsete ühenditega. Selle tagajärjel tekivad torude sisse erineva kuju ja paksusega *korrosioonimoodustised*, mis võivad oluliselt vähendada torustike läbilaskevõimet ja halvendada vee kvaliteeti. Need moodustised on ka soodne keskkond mikroorganismidele, mis võivad täiendavalt halvendada vee kvaliteeti ja põhjustada *bioloogilist korrosiooni*.

Korrosiooni intensiivsus sõltub nii metalli kui ka elektrolüüdi, s.o vee omadustest.

Torustike kaitseks korrosiooni vastu on 3 võimalust:

- sobivast materjalist, näiteks plastist torude kasutamine;
- vee töötlemine tema korrodeerivate omaduste vähendamiseks;
- toru sisepinna katmine kaitsekihiga.

Probleemi lahendamiseks *vee töötlemisega* tuleb eelkõige vaadelda, milline on vees olevate erinevate ühendite mõju korrosiooniprotsessile.

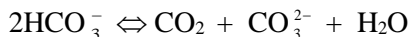
Looduslikus vees lahustunud ühendid võib jagada kolme rühma:

- süsihappeühendid ( $\text{CO}_2$ ,  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{HCO}_3^-$ ,  $\text{CO}_3^{2-}$ ). Siia võib lisada ka  $\text{H}^+$  ja  $\text{OH}^-$ ;
- mittesüsihappeühendid ( $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$ );
- lahustunud gaasid.

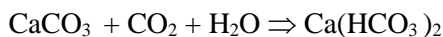
Kõik vees lahustunud ühendid, lisaks ka vee temperatuur, avaldavad suuremal või vähemal määral mõju korrosiooniprotsessile. Seejuures on eriti tähtis roll süsihappe-

ühenditel, kuna need võivad tekitada toru sisepinnale *karbonaatse kelme*, mis kaitseb toru vee korrodeeriva toime eest.

Teatavasti kehtib süsihappeühendite vahel dünaamiline tasakaal vastavalt võrrandile (5.1)



CO<sub>2</sub> hulka, mis tagab reaktsioonide tasakaalu, seega HCO<sub>3</sub><sup>-</sup> muutumatu kontsentratsiooni vees, nimetatakse *tasakaaluliseks süsihappeks*, vett aga sel juhul *stabiilseks*. Kui CO<sub>2</sub> sisaldus ületab tasakaalulise koguse, nimetatakse seda ülejääki *agressiivseks süsihappeks*, mis lahustab tahket kaltsiumkarbonaati vastavalt võrrandile (5.2), põhjustades näiteks betooni korrosiooni, samuti toru sisepinda kaitsva kelme lagunemist:



Vastavalt dünaamilise tasakaalu võrrandile kaasneb agressiivse süsihappega ka HCO<sub>3</sub><sup>-</sup> kontsentratsiooni suurenemine vees. Agressiivset süsihapet sisaldavat vett nimetatakse ka tervikuna *agressiivseks*. Enamasti sisaldab looduslik vesi agressiivset süsihapet, kui vaba CO<sub>2</sub> sisaldus vees ületab 40 mg/l.

Kui CO<sub>2</sub> on tasakaalulisest kogusest vähem, toimub vastavalt dünaamilise tasakaalu võrrandile (5.1) teatud koguse HCO<sub>3</sub><sup>-</sup> lagunemine. Seejuures tekib koos CO<sub>2</sub>-ga ka täiendav kogus CO<sub>3</sub><sup>2-</sup>, mis moodustab looduslikus vees alati seal olevate kaltsiumiioonidega vähelahustuva ning veest väljasadeneva CaCO<sub>3</sub> (*katlakivi*).

Vee töötlemist, mis seisneb süsihappeühendite sisalduse tasakaalustamises, nimetatakse *vee stabiliseerimiseks*. Stabiilne vesi ei lahusta karbonaatset kelmet ega põhjusta karbonaatse sademe teket. Vee stabiilsust hinnatakse tavaliselt *stabiilsusindeksi* J järgi, mida nimetatakse ka küllastusindeksiks e *Langelier' indeksiks*:

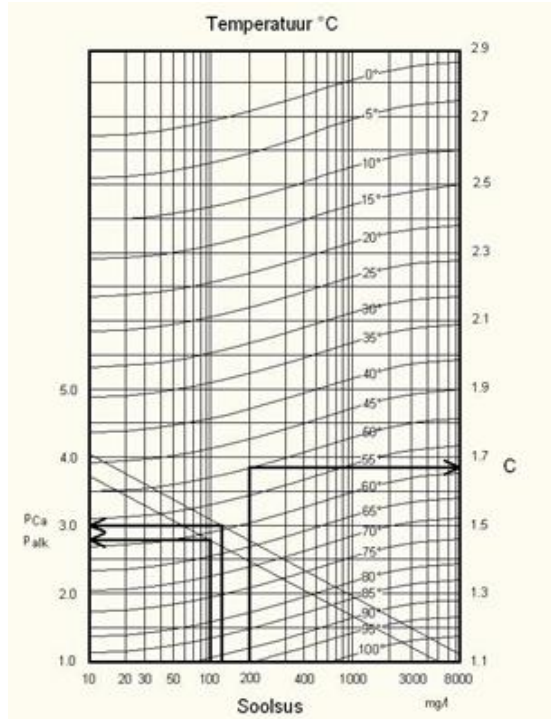
$$J = \text{pH} - \text{pH}_s, \quad (14.4)$$

kus pH<sub>s</sub> on nn *tasakaalulise küllastuse pH*, st selline pH väärtus, mis antud veeomaduste korral tagaks selle stabiilsuse. pH<sub>s</sub> väärtus sõltub vee temperatuurist, leelisusest, soolsusest ja Ca-ioonide sisaldusest.

Kui J = 0, on vesi stabiilne, kui J > 0, toimub CaCO<sub>3</sub> väljasadenemine, kui J < 0, on vesi agressiivne. Indeks J iseloomustab vee võimet tekitada või lahustada karbonaatset kaitsekihti ning ei peegelda otseselt vee korrodeerivaid omadusi. Viimaseid mõjutab lisaks ka mittekarbonaatsete ühendite ja lahustunud gaaside sisaldus. Seetõttu kasutatakse praktikas vee korrodeerivate omaduste hindamiseks ka muid kriteeriume, mis võtavad arvesse mittekarbonaatsete ühendite sisaldust, näiteks suhet HCO<sub>3</sub><sup>-</sup> / Cl<sup>-</sup> + SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>. Tuleb arvestada, et korrosiooni kulgemine torus sõltub ka toru materjalist.



pH<sub>s</sub> väärtus määratakse enamasti graafiliselt. Selleks võib kasutada *Langelier' nomogrammi*, millelt pH<sub>s</sub> leitakse vee soolsusest, temperatuurist, Ca ja HCO<sub>3</sub> ionide sisaldusest lähtudes. Selleks on aga eelnevalt vaja taandada Ca ja HCO<sub>3</sub> kontsentratsioonid ekvivalentsele CaCO<sub>3</sub> sisaldusele mg/l. Nomogrammilt saadud andmete põhjal leitakse:  $pH_s = C + p_{Ca} + p_{alk}$ .



Joonis 14.1. Langelier' nomogramm

*Langelier' nomogrammi kasutamise juurde:*

$E_m$  – aine ekvivalentmass

Iooni  $E_m$  – iooni molekulmass  $M$ /iooni valents

Soola  $E_m$  – soola molekulmass  $M$ /metalli aatomite arv  $\times$  metalli valents

$E_m [Ca] = 40/2 = 20$ ;  $E_m [CaCO_3] = (40+12+3 \times 16)/1 \times 2 = 50$ ;

$E_m [HCO_3] = (1+12+3 \times 16)/1 \times 1 = 61$ .

mg-ekv on  $E_m$  kordne aine mass mg-des.

1 mg-ekv/l [Ca] = 20 mg/l [Ca];

1 mg-ekv/l [CaCO<sub>3</sub>] = 50 mg/l [CaCO<sub>3</sub>];

1 mg-ekv/l [HCO<sub>3</sub>] = 61 mg/l [HCO<sub>3</sub>].

Seega,  $C$  (mg/l) =  $C$  (mg-ekv/l)  $\times E_m$ , kus  $C$  on aine kontsentratsioon

1 mg-ekv/l [Ca] = 1 mg-ekv/l [CaCO<sub>3</sub>]

1 mg-ekv/l [CaCO<sub>3</sub>] = 1 mg-ekv/l [HCO<sub>3</sub>].

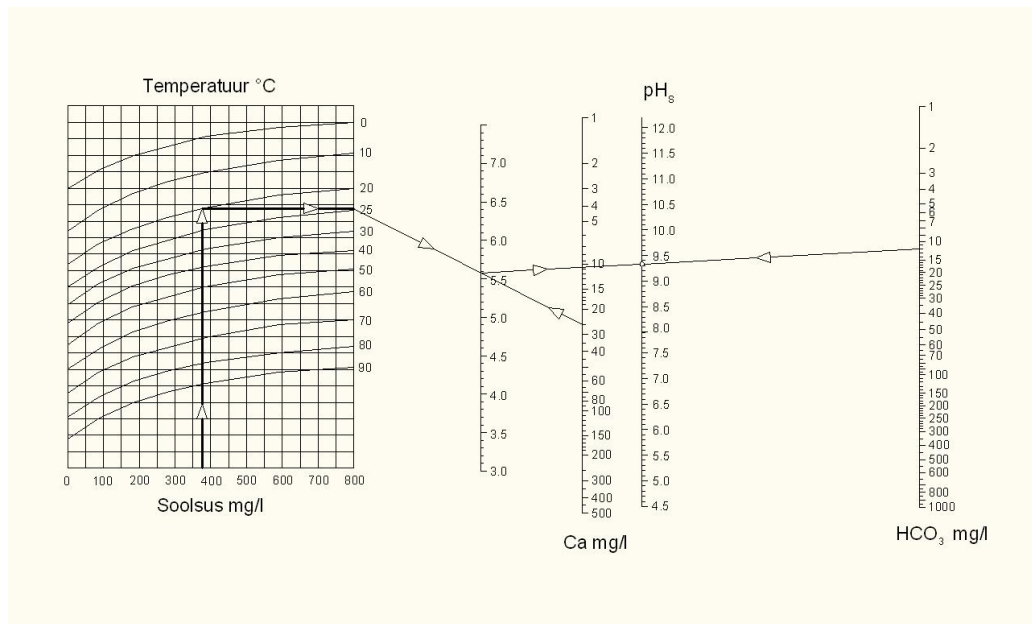
### Näide:

Vees on 1,5 mg-ekv/l [ Ca ] ja 2 mg-ekv/l [ HCO<sub>3</sub> ]. Määrata nende ühendite ekvivalentseid sisaldused CaCO<sub>3</sub> sisaldusele taandatuna.

1,5 mg-ekv/l [ Ca ] = 1,5 mg-ekv/l [ CaCO<sub>3</sub> ] = 1,5 x 50 = 75 mg/l [CaCO<sub>3</sub>].

2 mg-ekv/l [ HCO<sub>3</sub> ] = 2 mg-ekv/l [ CaCO<sub>3</sub> ] = 2 x 50 = 100 mg/l [CaCO<sub>3</sub>].

Langelier' nomogrammi alusel on töötatud välja käepärasem nomogramm (*Hooveri nomogramm*):



Joonis 14.2. Hooveri nomogramm pH<sub>s</sub> määramiseks

Stabiilsusindeksi graafiline määramine on töömahukas, aeganõudev ja ebatäpne. Käepäraseid nomogramme on nende indeksite määramiseks esitatud mitmes kirjandusallikas. Tänapäeval on enam levinud digitaalse, nn *Lenntechi mudeli* kasutamine, mis võimaldab kiiresti leida pH<sub>s</sub> ja J väärtused, sisestades digitaalsesse mudelisse vee pH, kuivjäägi, Ca, HCO<sub>3</sub> ja temperatuuri väärtused (<http://www.lenntech.com/calculators/langelier/index/langelier.htm>).

Lenntechi mudeli järgi määratakse LSI = pH – pH<sub>s</sub>. Mudelit on täpsustatud järgnevalt:

Kui LSI = -2...-0,5 – on tegemist tugeva korrosiooniga

LSI = -0,5...0 – nõrk korrosioon, kaitsekihti ei moodustu

LSI = 0 – vesi on stabiilne, kuid väike korrosioon on võimalik

LSI = 0...0,5 – võimalik nõrga kaitsekihi teke ja ka korrosioon

LSI = 0,5...2 – kaitsekihi moodustumine ilma korrosioonita

Lisaks kasutatakse ka *Ryznari indeksit* (RSI) kujul  $RSI = 2pH_s - pH$ , kusjuures  $pH_s$  määratakse digitaalselt Lenntechi mudeli järgi. RSI kasutamine on põhjendatud, kui vesi sisaldab lahustunud hapnikku vähemalt 4..5 mg/l.

Korrosiooni kulgemist võib RSi järgi hinnata ligikaudu vastavalt järgnevale tabelile:

Ryznari indeks	Protsessi kirjeldus
4...5	Intensiivne karbonaatse sette moodustumine
5...6	Nõrk karbonaatse sette moodustumine
6..7	Karbonaatse sette tasakaalu olukord või nõrk korrosioon
7...7,5	Korrosiooni ilmingud
7,5-9	Intensiivne korrosioon
>9	Korrosioon on äärmiselt tugev

Nii Langelier' kui Ryznari indeks iseloomustavad vee võimet tekitada või lahustada karbonaatset kaitsekihti ning ei peegelda otseselt vee korrodeerivaid omadusi. Viimaseid mõjutab ka mittekarbonaatsete ühendite ja lahustunud gaaside sisaldus. Seetõttu kasutatakse praktikas vee korrodeerivate omaduste hindamiseks ka muid kriteeriume, mis võtavad arvesse mittekarbonaatsete ühendite sisaldust. Enim kasutamist leiab *Larson-Skoldi indeks* (L-S), mis võeti kasutusele möödunud sajandi kuuekümnendatel aastatel, kui Ameerika Ühendriikides uuriti Suure Järvistu vee korrosiivseid omadusi. Indeks põhineb praktilistel vaatlustel, kui kasutati järvevee transpordiks tavalist terastorustikku. L-S väljendub sulfaat- ja kloriidiiooni ning leelisuse ja karbonaatiooni summa suhtena. Nimetatud näitajaid väljendatakse:

$$L-S = SO_4^{2-} + Cl^-/HCO_3^- + CO_3^{2-} \text{ mg-ekv/l.}$$

L-S indeksi väärtusi võib interpreteerida järgmiselt:

Kui  $L-S < 0,8$  – on tõenäoline, et vees lahustunud sulfaadid ja kloriidid ei takista loodusliku kaitsva kaitsekihi teket terastorustikus;

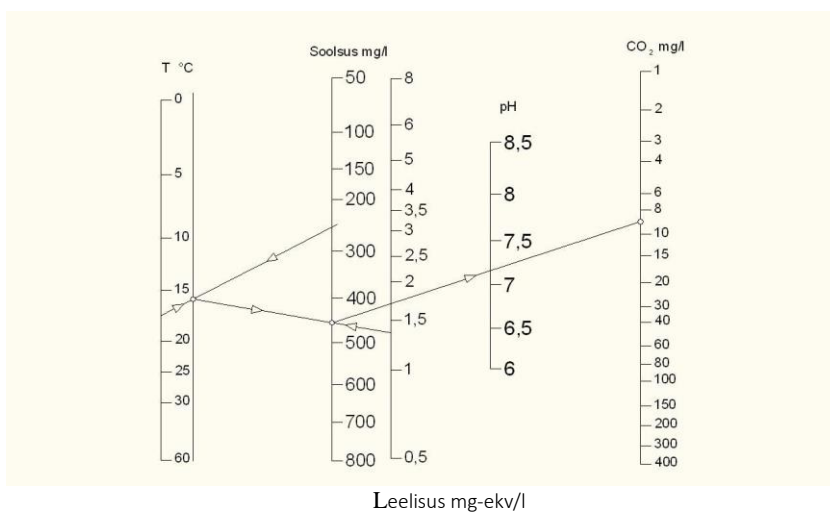
Kui  $L-S$  jääb vahemikku 0,8...1,2 – on olukord, kus vees lahustunud sulfaadid ja kloriidid võivad takistada loodusliku kaitsva kattekihi teket.

Kui  $L-S > 1,2$  – ilmneb otsene korrelatiivne seos indeksi ja korrosiooni kiiruse vahel. Sel puhul on torustikus korrosiooni ilmingud selgelt tajutavad. Kuna Larson-Skoldi indeks arvestab nii karbonaatsete kui mittekarbonaatsete ionide mõju korrosioonile, on tal Langelier' ja Ryznari indeksitega võrreldes teatav eelis.

Tuleb arvestada, et süsihappeühendite suhteline sisaldus vees sõltub vee pH-st vastavalt joonisel 5.1 esitatud graafikuile. Graafikust järeldub, et kui vee  $pH < 8,3$ , siis vees  $CO_3$ iooni praktiliselt ei ole. Sellise pH väärtuse korral väljendab L-S-indeks sulfaatide ja kloriidide summa suhet vee leelisisusse.

## 13.2. Vee stabiliseerimine ja kaitsekihtide tekitamine toru sisepinnale

Vett võib stabiliseerida nii negatiivse kui ka positiivse stabiilsusindeksi korral. Stabiliseerimist võib soovitada, kui vesi on ebastabiilne vähemalt 6 kuu jooksul aastas. *Negatiivse stabiilsusindeksi* korral (agressiivne vesi) kõrvaldatakse ülemäärane CO<sub>2</sub> veest aereerimisega või lisatakse leelistavaid reagente, tavaliselt lupja või soodat. *Aereerimise* korral juhitakse vesi läbi *ventilaatorgradiiri*, mille tagajärjel vee CO<sub>2</sub> sisaldus väheneb ja pH suureneb. pH väärtuse võib seejuures ligikaudu määrata nomogrammilt, arvestades, et ventilaatorgradiiri läbinud vee CO<sub>2</sub> sisaldus jääb piirsesse 8...10 mg/l. Nomogrammi, mida põhiliselt kasutatakse CO<sub>2</sub> ja pH vahekorra määramiseks vee töötlemise korral koagulandiga, võib kasutada ka CO<sub>2</sub> ligikaudseks määramiseks, mõõtes aereeritud vee pH:



Joonis 14.3. Nomogramm pH või lahustunud CO<sub>2</sub> määramiseks

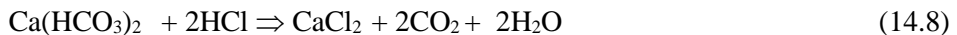
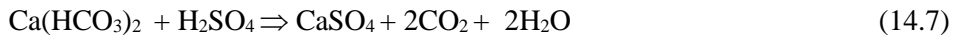
Vee stabiliseerimisel *leelistavate reagentidega* lisatakse neid tavaliselt puhastatud vette enne puhta vee reservuaari, vältides seejuures vee organoleptiliste omaduste halvenemist. Soodat on soovitatav lisada juhul, kui vees on karbonaatse kaitsekile tekitamiseks piisavalt Ca-ioone. Lubi ja sooda seovad süsinikdioksiidi:



Leelistavaid reagente tuleb lisada pidevalt, tagades karbonaatse kaitsekile tekkimise ja säilimise toru sisepinnal. Selleks on vaja hoida torustiku töö alguses stabiilsusindeks ligikaudu  $J \approx 0,5...0,7$  ning järgneva käituse jooksul  $J \approx 0$ . Toru sisepinda võib korrosiooni eest kaitsta ka *fosfaatidest kaitsekile* abil (soovitatavalt tootmis-

veevärkides). Selleks kasutatakse näiteks naatriumheksametafosfaati  $\text{Na}_2[\text{Na}_4(\text{PO}_3)_6]$  või naatriumtripolüfosfaati  $\text{Na}_5\text{P}_3\text{O}_{10}$ . Uue torustikulõigu käikuandmisel täidetakse see 2...3 ööpäevaks veega, milles on 100 mg/l fosfaate. Seejärel torustik tühjendatakse ja pestakse puhta veega läbi.

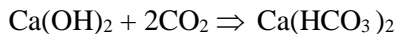
Tänapäeval veevarustuse tarbeks tarnitavad uued metalltorud on enamasti kaetud korrosioonivastase kaitsekilega. *Positiivse stabiilsusindeksi* puhul on otstarbekas vett stabiliseerida, kui  $J \geq 0,5$ . Selleks lisatakse vette hapet või, analoogselt agressiivse veega, fosfaate. Vee *hapustamiseks* kasutatakse sool- või väävelhapet:



Happe lisamisel suureneb vees vaba süsinikdioksiidi sisaldus, mis, olles vastavalt võrrandile (5.1) tasakaalus bikarbonaatioonidega, takistab kaltsiumkarbonaadi teket ja väljasadenemist.

*Vee fosfateerimise* efekt seisneb positiivse stabiilsusindeksi korral selles, et eespool nimetatud fosfaadid takistavad primaarsete kaltsiumkarbonaadi kristallide aglomeratsiooni ning koos sellega ka katlakivi teket. Selle tagajärjel tekib katlakivi asemel sültjas ning kergesti eemaldatav šlamm.

Väikese kareduse ja leelisusega pinnavete kasutamisel on eriti Soomes levinud vee töötlemine *samaaegselt  $\text{CO}_2$  ja lubjaga*. Süsihappegaasi ja  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  samaaegne lisamine tõstab vastavalt valemile (11.10) vee leelisust ja karedust, muutmata seejuures vett agressiivseks:



Metallist veetorude korrosiooni vähendamise seisukohalt on soovitatav, et vee  $\text{pH} \approx 8$ , üldkaredus oleks vähemalt 0,5...0,8 mmol/l ning leelisus vähemalt 0,6 mmol/l. Vesi ei tohiks sisaldada palju kloriide ja sulfaate, peaks olema võimalikult külm ning sisaldama piisavalt lahustunud hapnikku.

## 14. VEE DEGASEERIMINE

### 14.1. Degaseerimise tingimused

Looduslikus vees sisalduvatest lahustunud gaasidest O<sub>2</sub>, CO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>S, N<sub>2</sub> ja CH<sub>4</sub> tuleb vee töötlemisprotsessis kõrvaldada põhiliselt süsihappegaasi, väävelvesinikku ja hapnikku. CO<sub>2</sub> ärastamisega veest puututakse kokku näiteks vee stabiliseerimisel, rauaärastusel, vee pehmemdamisel H-kationiitfiltrites, lahustunud O<sub>2</sub> kõrvaldamist tootmisveest nõuavad mitmesugused tehnoloogilised protsessid. Enamasti tuleb veekäitluses vett siiski hapnikuga rikastada, st *aereerida*. Ka süsihappegaasi lisamine vette tuleb teatud juhtudel kõne alla (vt 13.2).

Vett on vaja degaseerida eelkõige metalli ja betooni korrosioonikaitse seisukohalt, seejuures annab H<sub>2</sub>S veele ka terava mädamunalõhna juba kontsentratsioonil 0,5 mg/l.

Tavaliselt määratakse gaasi lahustuvus vees valemiga:

$$C = k p \quad (14.9)$$

kus  $p$  on selle gaasi partiaalarõhk vee kohal ning  $k$  – võrdetegur. Samuti on teada, et gaaside lahustuvus vees temperatuuri tõustes väheneb.

Degaseerimisel kasutatavad protsessid jagunevad füüsikalisteks, keemilisteks ja bio-keemilisteks.

### 14.2. Vee degaseerimine füüsikaliste protsessidega

Vee degaseerimisel kasutatakse kahte liiki füüsikalisi protsesse:

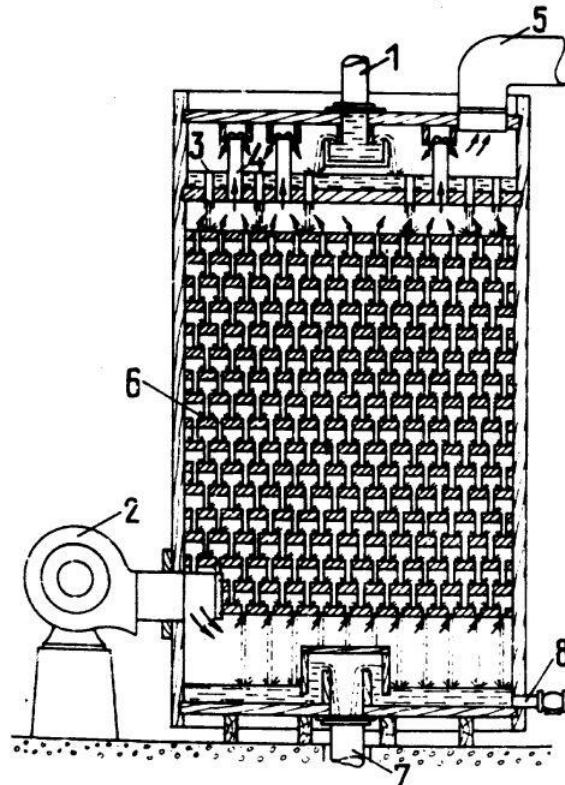
- vee aereerimine*, millega luuakse vee maksimaalne kontakt atmosfääriõhuga. Sellega kõrvaldatakse veest CO<sub>2</sub> ja H<sub>2</sub>S, mille partiaalarõhk atmosfääriõhus on ligikaudu võrdne nulliga. Samas rikastatakse vett hapnikuga, mis on vajalik näiteks rauaärastuseks põhjaveest;
- tingimuste loomine selleks, et *veeauru osarõhk vee kohal võrdsustuks kogurõhuga*. Sel teel ärastatakse veest lahustunud O<sub>2</sub>.

Vee aereerimiseks-degaseerimiseks võib kasutada kogumisbasseini kohale vee piserdamist perforeeritud jaotustorustiku kaudu, vee juhtimist langeva joana üle ülevoolu jm lihtsamaid mooduseid, mille efektiivsus ei ole sageli siiski piisav. Kõige levinum on vee aereerimine kontakt- ja ventilaatorgradiiridega.

*Kontaktgradiirid* on vertikaalsed kolonnid, mis on kontaktpinna suurendamiseks täidetud keraamiliste või plastist elementidega (Raschigi rõngad, väikese läbimõõduga torust lõigatud 4...5 cm pikkused otsakud, erilise konstruktsiooniga elemendid).

Degaseeritav vesi piserdatakse kolonni kohale ning kogutakse kolonni all asuvasse kogumisreservuaari. Õhu juurdevool toimub loomuliku tõmbe teel kontaktkolonni alt.

Ventilaatorgradiirides (joonis 14.4) kasutatakse õhu juurdevoolu suurendamiseks ventilaatorit. Sel juhul võib kontaktkolonn olla täidetud horisontaalselt või vertikaalselt paigutatud liistudega, kus vesi alla tilgub või õhukese kihina piki liistu alla nõrgub.



Joonis 14.4. Liistudest kontaktkolonniga ventilaatorgradiir: 1 – degaseeritava vee pealevool, 2 – ventilaator, 3 – veejaotustorustik, 4, 5 – õhu väljavoolutorustik, 6 – liistudest täidis, 7 – degaseeritud vee äravool, 8 – gradiiri tühjendustorustik

Ventilaatorgradiiri tootlikkus pinnaühiku kohta ja kontaktkolonni kõrgus sõltuvad toorvee omadustest, eelkõige lahustunud gaaside sisaldusest ning kasutatava täite tüübist. Tavaliselt jääb tootlikkus vahemikku  $40\text{...}60 \text{ m}^3/\text{m}^2\text{h}$ , kontaktkolonni kõrgus  $3\text{...}7 \text{ m}$  (võib olla ka veelgi kõrgem, vt sügavaeratsiooniga rauaärastuse skeemid, joonised 11.1 ja 11.2). Degaseeritud vee  $\text{CO}_2$  sisaldus ventilaatorgradiirist väljuvas vees moodustab  $3\text{...}5 \text{ mg/l}$ . Gradiiri täide võib ka puududa, vajalik kontakt õhuga tagatakse vee tilkumisel läbi üksteise kohale horisontaalselt paigutatud perforieeritud vaheseinte. See aga suurendab kontaktkolonni vajalikku kõrgust.

Väävelvesiniku ärastamisel aereerimisega tuleb arvestada, et osa väävelvesinikust oksüdeerub, tekib väävlihägu, mille kõrvaldamiseks tuleb vett järgnevalt filtrida:



Lisaks peab arvestama, et  $\text{pH} > 5$  korral esineb osa väävelvesinikust  $\text{HS}^-$ -ioonina, mis aereerimisel ei lendu. Seega tuleb üheaegselt aereerimisega vett *hapustada*.

Lahustunud hapniku ärastamisel veest (skeem b) tuleb silmas pidada, et kogurõhk lahtise vee kohal  $p_0$  moodustub veeauru osarõhust  $p_{VA}$  ja õhu osarõhust  $p_\delta$ , st

$$p_0 = p_{VA} + p_\delta \text{ ehk } p_\delta = p_0 - p_{VA} \quad (14.11)$$

Järelikult saab hapniku lahustuvuse vees määrata valemiga:

$$C_{hapn.} = k\alpha p_\delta = k\alpha (p_0 - p_{VA}) \quad (14.12)$$

kus  $\alpha = 0,21$  – kordaja, mis arvestab hapniku osa atmosfääriõhu poolt avaldatavas rõhus.

Teatavasti 100 °C korral normaalrõhul  $p_{VA} = p_0$ , seega,  $p_\delta = 0$  ja eeltoodud valemi järgi  $C_{hapn.} = 0$ . Järelikult hapniku ärastamiseks veest normaalrõhul tuleks vesi keema ajada, st täita tingimus  $p_0 = p_{VA}$ . Tingimuse võib täita ka juhul, kui veemahutis luua vaakum. Sel juhul võib hapniku veest ärastada ka madalamal temperatuuril. Nimetatud asjaolu kasutatakse ära *vaakumdegasaatorites*.

### 14.3. Vee degaseerimine keemiliste ja biokeemiliste protsessidega

Keemilisel degaseerimisel seotakse lahustunud gaas reagenti lisamisega vähe- lahustuvaks ühendiks ja eraldatakse seejärel veest puhastusseadmetes. Süsihappegaasi sidumiseks lisatakse vette tavaliselt lupja:



Vajaliku lubjaannuse (CaO järgi) mg/l võib määrata valemiga

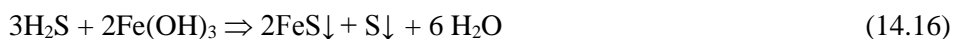
$$D_L = 28[\text{CO}_2] 100 / 22 k_L \quad (14.14)$$

kus  $[\text{CO}_2]$  on vaba  $\text{CO}_2$  sisaldus vees mg/l;  $k_L$  – CaO sisaldus lubjas %.

$\text{H}_2\text{S}$  keemiliseks sidumiseks võib lisada kaaliumpermanganaati, mille tagajärjel tekivad väävlihägu ja vähelahustuvad mangaaniühendid:



Kasutatakse ka muid mooduseid. Näiteks juhtides väävelvesinikku sisaldava vee läbi  $\text{Fe}(\text{OH})_3$  sademe, tekivad väävlihägu ja vähelahustuv  $\text{FeS}$ :



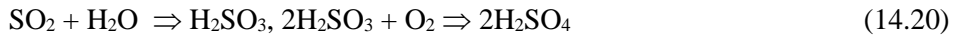
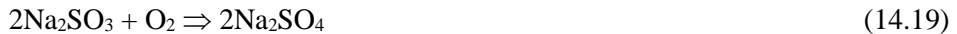


Väävelvesinikku võib keemiliselt siduda ka klooriga, kusjuures olenevalt lisatava kloori annusest tekib kas väävlihägu või tekivad happed:



Esimesel juhul lisatakse kloori 2,1 mg/mg H<sub>2</sub>S kohta, teise reaktsiooni toimumiseks on vajalik kloori annus 8,4 mg/mg H<sub>2</sub>S.

Hapniku keemiliseks sidumiseks kasutatakse naatriumsulfitit Na<sub>2</sub>SO<sub>3</sub> või väävel-dioksiidi SO<sub>2</sub>:



*Biokeemilist degaseerimist* kasutatakse H<sub>2</sub>S kõrvaldamiseks. Sel juhul lülitatakse järjestikku kaks teralise täitega filtrit, millest esimene on *aerofilter* (killustiku või šlakiga täidetud filter, kus täitekihi pinnale tekib väävlibakteritest aktiivne kiht, mis lagundab väävelvesinikku, muutes selle väävlihäguks). Hägu peetakse kinni järgnevas filtris.

## 15. VEE PEHMENDAMINE

### 15.1. Vee karedus ja vee pehmendamiseks kasutatavad menetlused

*Vee karedus* (vt punkt 5.1.3) on tingitud Ca- ja Mg-ioonide sisaldusest. Vee pehmendamine on eelkõige tootmisveevarustuse probleem. Karbonaatne e mööduv-karedus  $K_k$  on  $\text{HCO}_3^-$  ionidega tasakaalustatud  $\text{Ca}^{2+}$  ja  $\text{Mg}^{2+}$  ionide summa, mitte-karbonaatse e jäävkareduse  $K_{m.k}$  moodustavad peamiselt  $(\text{SO})_4^{2-}$  ja  $\text{Cl}^-$  ionidega tasakaalustatud  $\text{Ca}^{2+}$  ja  $\text{Mg}^{2+}$  ionid. Üldkaredus  $K_0$  on mööduva ja jäävkareduse summa (tabel 5.3).

Vee karedust mõõdetakse mg-ekv/l, mmol/l ning kareduskraadides. Kasutatakse Englise, Prantsuse, Ameerika ja Saksa kareduskraade. 1 mg – ekv/l = 2,8 Saksa kareduskraadi ( $^{\circ}\text{dH}$ ) = 3,51 Englise kraadi = 5,0 Prantsuse kraadi = 50.04 Ameerika kraadi = 0,5 mmol/l. Kraadidest on enam levinud Saksa kraadid.

1 mg-ekv/l = 20,04 mg/l  $\text{Ca}^{2+}$  = 12,16 mg/l  $\text{Mg}^{2+}$  = 61,02 mg/l  $\text{HCO}_3^-$ , kusjuures kordajad on vastavate ühendite ekvivalentmassid mg/mg-ekv. Üldkareduse põhjal jagatakse looduslikud veed nelja rühma – pehmed ( $K_0 < 4$  mg-ekv/l), mõõdukalt karedad (4...8), karedad (8...12) ja väga karedad (>12) veed.

Vee pehmendamiseks kasutatakse järgmisi menetlusi:

- reagentmenetlused,
- kationiitmenetlused,
- membraanmenetlused (pöördosmoos),
- vee magnetootlus (põhiliselt siseveevärkides).

### 15.2. Reagentmenetlused

Reagentmenetlusi kasutatakse juhul, kui ei nõuta vee sügavpehmendamist, sageli pinnavee töötlemisel, mil samaaegselt tuleb vett ka selitada. Reagentmenetlustena leiavad kasutamist lubimenetlus, sooda-lubimenetlus, fosfaatmenetlus, baariummenetlus.

#### 15.2.1. Lubimenetlus

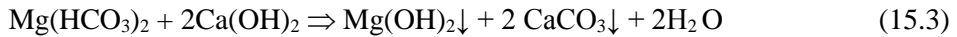
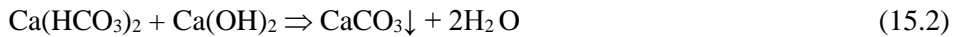
*Lubimenetlust* kasutatakse vee karbonaatse kareduse kõrvaldamiseks, kusjuures samaaegselt väheneb ka vee leelisus. Protsessi kulg sõltub lahustunud  $\text{CO}_2$  sisalduse vähenemisest vees, sellega kaasnevast  $\text{HCO}_3^-$ -ioonide lagunemisest,  $\text{CO}_3$  ja vähe-

lahustuvate CaCO<sub>3</sub> ühendite tekkimisest (vt süsihappeühendite dünaamilise tasakaalu võrrand 5.1).

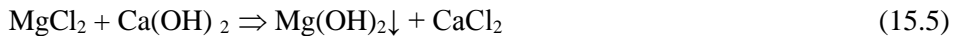
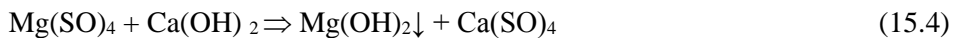
Lubimenetluse korral seotakse CO<sub>2</sub> lubjaga, milleks lisatakse vette kas lubjapiima (lubja suspensiooni) või lubjalahust:



Lisades täiendavalt lubja, tekivad ka vähelahustuvad CaCO<sub>3</sub> ja Mg(OH)<sub>2</sub>:



Lisades piisavalt lubja, viiakse magnesiaalne jäävkaredus üle kaltsiaalseks:



Vee lõplik karedus on sel juhul piiratud CaCO<sub>3</sub> ja Mg(OH)<sub>2</sub> lahustuvusega:

0 °C korral on CaCO<sub>3</sub> lahustuvus 0,15 mg-ekv/l ja Mg(OH)<sub>2</sub> lahustuvus 0,4 mg-ekv/l, seega kokku 0,55 mg-ekv/l; 80 °C korral on vastavad arvud 0,03 ja 0,2, seega kokku 0,23 mg-ekv/l.

Praktiliselt võib lubja lisamisega saavutada karbonaatse kareduse  $K_k \geq 1,5$  mg-ekv/l, kogu mittekarbonaatne karedus lisaks sellele. Vajalik lubjaannus sõltub Ca ja HCO<sub>3</sub> sisalduse vahekorrast (vt soolade hüpoteetilise koostise diagramm, tabel 5.3):

1. Kui  $\text{Ca} > \text{HCO}_3$ , kulub lubja mg/l võrrandi (15.2) kohaselt ainult Ca sidumiseks, sest Mg(HCO<sub>3</sub>)<sub>2</sub> puudub:

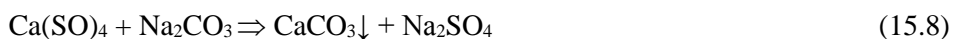
$$D_L = 28[\text{CO}_2/22 + K_k + D_k/e_k + 0,3] \quad (\text{CaO järgi}) \quad (15.6)$$

2. Kui  $\text{Ca} < \text{HCO}_3$ , kulub lubja nii Ca(HCO<sub>3</sub>)<sub>2</sub> kui ka Mg(HCO<sub>3</sub>)<sub>2</sub>-ga reageerimiseks. Seejuures Mg sisaldus (mg-ekv/l) on määratud seosega  $[(\text{HCO}_3)/61 - \text{Ca}/20]$ , kus HCO<sub>3</sub> ja Ca on vastavate ionide sisaldus:

$$D_L = 28[\text{CO}_2/22 + 2 K_k - \text{Ca}/20 + D_k/e_k + 0,5] \quad (15.7)$$

### 15.2.2. Sooda-lubimenetlus

Sooda-lubimenetlus on kõige levinum reagentmenetlus, mis võimaldab kõrvaldada veest nii karbonaatse kui ka mittekarbonaatse kareduse. Ca(SO)<sub>4</sub> ja CaCl<sub>2</sub> sidumiseks lisataksegi soodat Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>:



Seejuures vajalik lubjaannus mg/l on:

$$D_L = 28[\text{CO}_2/22 + \text{HCO}_3/61 + \text{Mg}/12 + D_k/e_k + 0,5] \quad (15.10)$$

ning vajalik soodaannus mg/l:

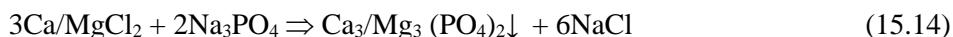
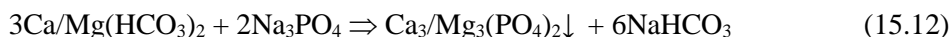
$$D_s = 53[\text{Ca}/20 + \text{Mg}/12 - \text{HCO}_3/61 + D_k/e_k + 1,0], \quad (15.11)$$

$$\text{kusjuures } K_{m,k} = \text{Ca}/20 + \text{Mg}/12 - \text{HCO}_3/61.$$

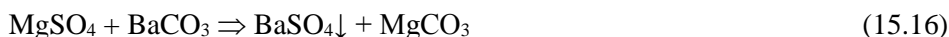
Sooda-lubimenetlusega võib saavutada jääkkareduse ( $K_0$ ) 1...1,5 mg-ekv/l.

### 15.2.3. Fosfaat- ja baariummenetlus

Kui on vaja vähendada jääkkaredust, võib lisaks sooda-lubimenetlusele kasutada täiendavalt fosfaatmenetlust:



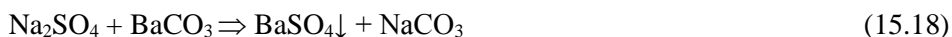
Baariummenetlust kasutatakse sulfaatse kareduse kõrvaldamiseks. Selleks lisatakse näiteks  $\text{BaCO}_3$ :



$\text{MgCO}_3$  kõrvaldamiseks tuleb seejärel lisada lubja:



Ba ühendeid tuleb lisada enne lubi- või sooda-lubimenetlust, vastasel juhul need reageerivad mittekaredussooladega, näiteks:



### 15.2.4. Reagentmenetluse tehnoloogia ja seadmed

Reagentide lisamisel tekkivate  $\text{CaCO}_3$  ja  $\text{Mg}(\text{OH})_2$  helveste kõrvaldamiseks veest kasutatakse pöörisreaktoreid, heljumseliteid ja teralise täitega filtreid. Protsessi kiirusele ja efektiivsusele mõjub soodustavalt vee soojendamise. Positiivne efekt seoses vee soojendamisega on tingitud sellest, et:

- 1)  $t^\circ$  tõustes väheneb karedussoolade lahustuvus;
- 2)  $\text{CO}_2$  (osalise) lendumisega väheneb vajalik lubja kulu süsihappegaasi sidumiseks;
- 3) vee viskoossuse vähenemine soodustab helveste settimist.

Pehmendatava vee temperatuuri tõus  $10^\circ\text{C} \rightarrow 50^\circ\text{C}$ -ni võib vähendada vee jääkkaredust kuni 2 korda. Seda asjaolu kasutatakse sageli ära nn *termokeemilisel*

*pehmemdamisel*. Reagentpehmemdamisel võib kasu olla ka reagenti lisamisest *liiaga* ja karbonaatse sademe *retsirkulatsioonist*. Pärssivalt mõjub suur *orgaanilise aine* sisaldus vees.

*Pöörisreaktor* on spetsiaalne seade põhiliselt CaCO<sub>3</sub> kõrvaldamiseks. See on vertikaalne koonus, mis täidetakse *kontaktmassiga* (kvartsliid või marmoripuru terade suurusega 0,2...0,3 mm, mida lisatakse 10 kg 1 m<sup>3</sup> reaktori mahu kohta). Pehmemdatav, reagentidega töödeldud vesi juhitakse koonuse alt sisse tõusukiirusega 0,8...1,0 m/s.

Tõusev veevool tõstab kontaktmassi osakesed heljuvasse olekusse, nende omavaheline hõõrdumine soodustab karbonaatsete ühendite kristalliseerumist terade ümber. Selle tagajärjel terade läbimõõt suureneb, pehmemdatud vesi kogutakse koonuse ülaosas rennidesse, kontaktmassi 1,5...2 mm-ni suurenenud terad lastakse koonuse alt välja ning lisatakse värsket kontaktmassi.

Üldjuhul peab reagentpehmemdamisele eelnema vee selitamise-värvitustamise täielik tsükkel. Kui vees domineerivad hägusus ja värvus oluliselt kareduse üle, võib vee selitamise-värvitustamise ja pehmemdamise protsessid ühitada. Sel juhul on sobiv tehnoloogia skeem – heljumselidid + filtrid, kusjuures filtritel on otstarbekas kasutada *filtripealset uhtesüsteemi*. Kaaluda võib ka kvartsliidist filtritüüpe asendamist aktiivsöe või antratsiidiga, sest kõrge pH taseme puhul võib toimuda räniühendite väljaleostumine filtriliidist.

## 15.3. Kationiitmenetlused

### 15.3.1. Kationiidid ja nende kasutamise võimalused

*Kationiidid* on teralised ioonivahetusmaterjalid – kõrgmolekulaarsed ühendid, mis koosnevad lahustumatust skeletist (ühevalentne anioon, tähistatakse [Kat]) ja selle külge kationiidi laadimise käigus sorbeerunud vahetusioonidest – katioonidest.

*Kationeerimine* on ioonivahetusprotsess, mille käigus toimub vees olevate Ca- ja Mg-ioonide sidumine kationiidiga nende vahetuse teel ioonidega, millega kationiit oli eelnevalt laetud.

Ioonivahetusvõime on mitmetel nii looduslikel kui sünteetilistel, nii orgaanilist kui mineraalset päritolu materjalidel – turbal, pruunsöel, glaukoniitliival jt. Enamasti kasutatakse tänapäeval siiski sünteetilisi orgaanilisi materjale – *sulfosüüt* ja *sünteetilisi vaike*. Sulfosüüsi kujutab endast tumedat värvi graanuleid, mis saadakse kivisöe termokeemilisel töötlemisel happega, sünteetilised vaigud on heledat värvi õlise läikega graanulid.

Kationiidid on *tugevalt ja nõrgalt happelised*. Esimesed on hästi dissotsieeruvad, võivad dissotsieeruda ka madala pH korral, teised dissotsieeruvad ainult leeliselises

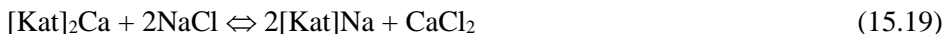
keskkonnas. Seetõttu kasutatakse tugevalt happelisi kationiite sügavpehmenemise lõppastmes – järelpehmenemiseks. Nõrgalt happelised on odavamad ja neid kasutatakse Ca- ja Mg-ioonide põhimassi kõrvaldamiseks vee pehmenemise esimesel etapil. Kationiidi tõhusust iseloomustab nende *ioonivahetusvõime*  $E_{\text{täiel}}$ , mille annab tootja-firma kationiidi passiandmetes. Sulfosütel ei ületa see näitaja 800 g-ekv/m<sup>3</sup> kationiidi mahu kohta, sünteetilistel vaakudel võib ulatuda 3000-ni ja enamgi.

Sõltuvalt sellest, kas kationiit laetakse eelnevalt Na<sup>+</sup>- või H<sup>+</sup>-ioonidega, eristatakse Na-kationeerimist, H-kationeerimist ja kombineeritud H-Na-kationeerimist. Na-kationeerimiseks regenereeritakse kationiidikihti keedusoola vesilahusega, H-kationeerimiseks happelahusega, enamasti väävelhappega. Seejärel toimub ionivahetusprotsess vee filtrimisega *kationiitfiltris*, milleks on tavaliselt 2...2,5 m paksuse kationiidikihiga survefilter. Ionivahetusfiltrile peab alati eelnema vee täielik selitamine ja värvitustamine.

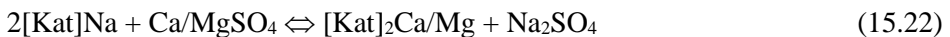
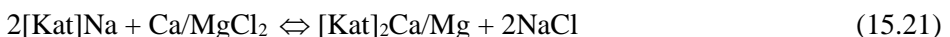
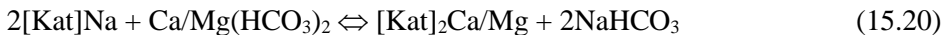
### 15.3.2. Na-kationeerimine

Kasutatakse ühe- ja kaheastmelist skeemi sõltuvalt nõutavast jääkkaredusest. Esimesel juhul saadav vee jääkkaredus ei ületa enamasti 1 mg-ekv/l, teisel juhul võib saada tulemuse kuni 0,01 mg-ekv/l.

Kationiidi laadimisel:



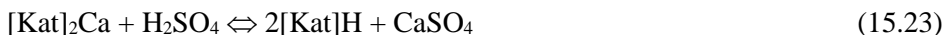
Kationeerimisel:



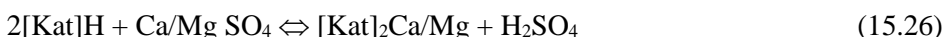
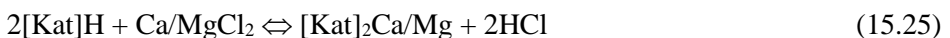
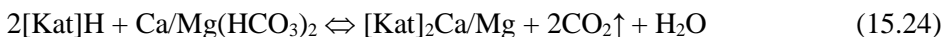
Seega Na-kationeerimisel vee leelisus (HCO<sub>3</sub>) ei muutu, soolsus mõnevõrra aga suureneb (ühe Ca-iooni vastu leostub vette kaks Na-iooni).

### 15.3.3. H-kationeerimine

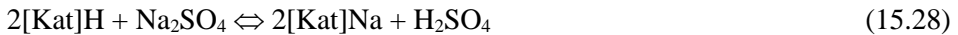
Kationiidi laadimisel:



Kationeerimisel:

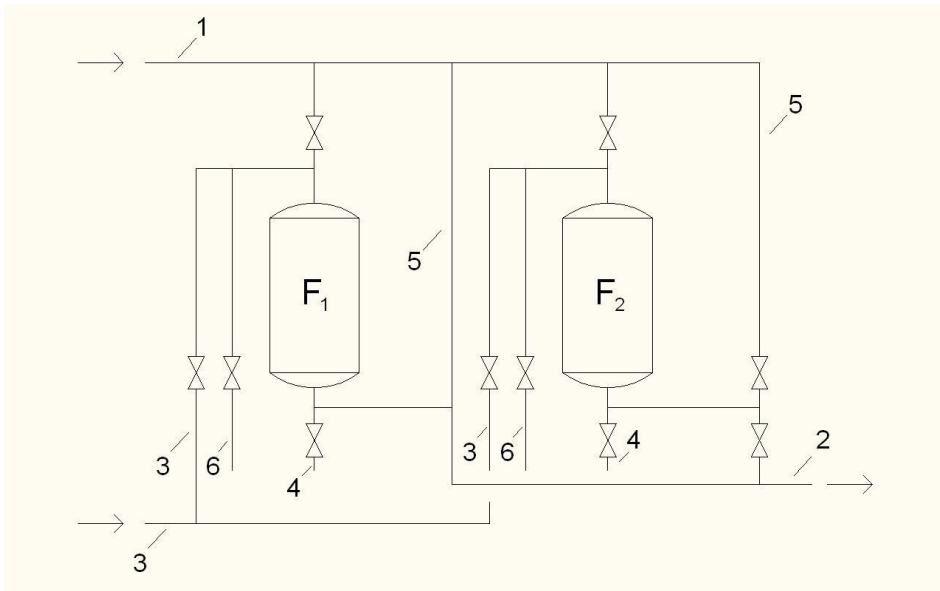


Nagu näha, kõrvaldatakse H-kationeerimisel koos vee karedusega ka leelisus, karbonaatsete soolade lagunemisel tekib CO<sub>2</sub>, mille kõrvaldamiseks peab kasutama *degasaatorit*. Ionivahetus mittekarbonaatsete sooladega (ka mittekaardusooladega) põhjustab filtraadi muutumise happeliseks:



### 15.3.4. Kationeerimise skeemid

Tehnoloogiaskeemi valik sõltub eelkõige toorvee omadustest ja tarbija nõuetest töödeldud vee ioonsele koostisele. Kui vee leelisuse vähendamist ei vajata, on sobiv kasutada Na-kationeerimist (joonisel 15.1 filtrid F<sub>1</sub> ja F<sub>2</sub> töötavad paralleelselt). Kui nõutakse ka vee leelisuse vähendamist, kasutatakse enamasti kombineeritud H-Na-kationeerimist.



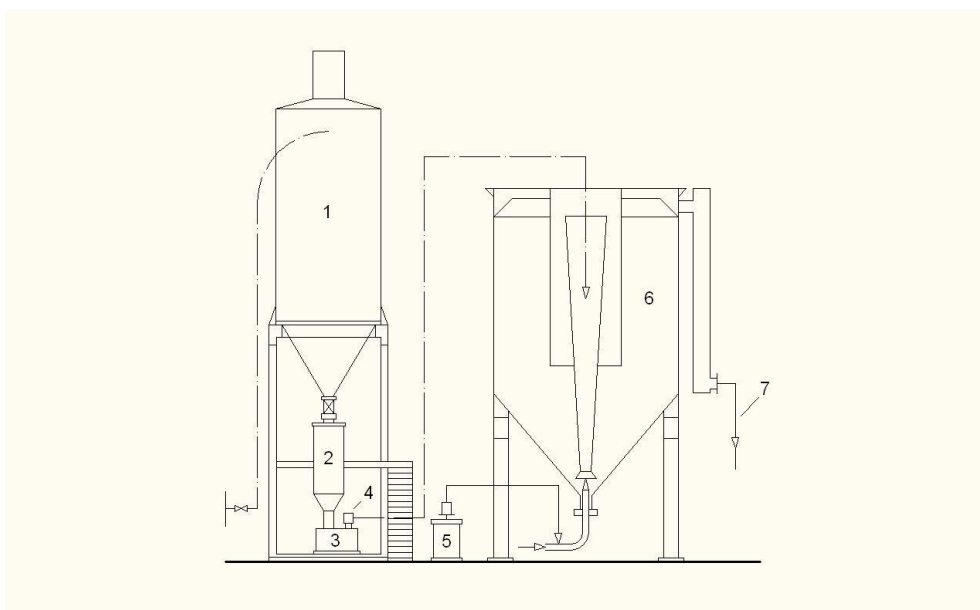
Joonis 15.1. Na-kationeerimise skeem: 1 – pehmdatav toorvesi, 2 – pehmdatud vesi, 3 – keedusoola regeneratsioonilahuse juurdevool, 4 – kasutatud regeneratsioonilahuse äravool, 5 – kationiidi eelkobestamine toorveega, 6 – kobestamisel tekkiva heitvee äravool

*Filtriite regenerereerimine* toimub kolmeastmeliselt:

1. Kationiidi kobestamine toorveega 10...15 min jooksul alt üles intensiivsusega 3...4 l/s m<sup>2</sup>.
2. Regenerereerimine NaCl vesilahusega ülalt alla filtratsioonikiirusel 3...4 m/h 25...40 min.
3. Kationiidi uhtumine toorveega filtratsioonikiirusel 6...8 m/h kasutamata regeneratsioonijääkide kõrvaldamiseks. Uhutakse, kuni kloriidide sisaldus äravoolavas vees saab võrdseks nende sisaldusega toorvees.

Seejärel toimub vee filtrimine kuni kationiidi ionivahetusvõime ammendumiseni.

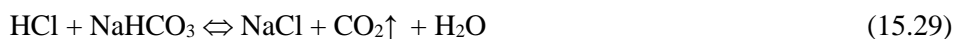
*Pinnavee pehmemdamisel*, kui samaaegselt toimub vee selitamine-värvitustamine, võib kasutada kaheastmelist pehmemdamist, kus pehmemdamise esimene aste on ühitatud vee selitamise-värvitustamisega heljumselitites (joonis 15.2) ja filtrites. Seejärel toimub osa või kogu vee pehmemdamine Na-kationiitfiltrites. Sellise skeemi korral peab aga kationiitfiltritele eelnema reagentpehmemdamise ja selitamise-värvitustamise täielik tsükkel vajaliku koagulandi, flokulandi, leelistava ja stabiliseeriva reagenti lisamisega. Kasutatakse ka skeemi *pööriseaktor + Na-kationiitfilter*. Selline tehnoloogiaskeem on sobiv leeliseliste pinnavete pehmemdamiseks ning sellele peab eelnema vee selitamine-värvitustamine.



Joonis 15.2. Vee reagentpehmemdamise 1. aste koos selitamise-värvitustamisega heljumselitis: 1 – lubjahoidla, 2...4 – lubjaannustus, 5 – koagulandilahuse paak, 6 – tsirkulaator-tüüpi heljumseliti, 7 – vee pealevool selitusfiltrisse

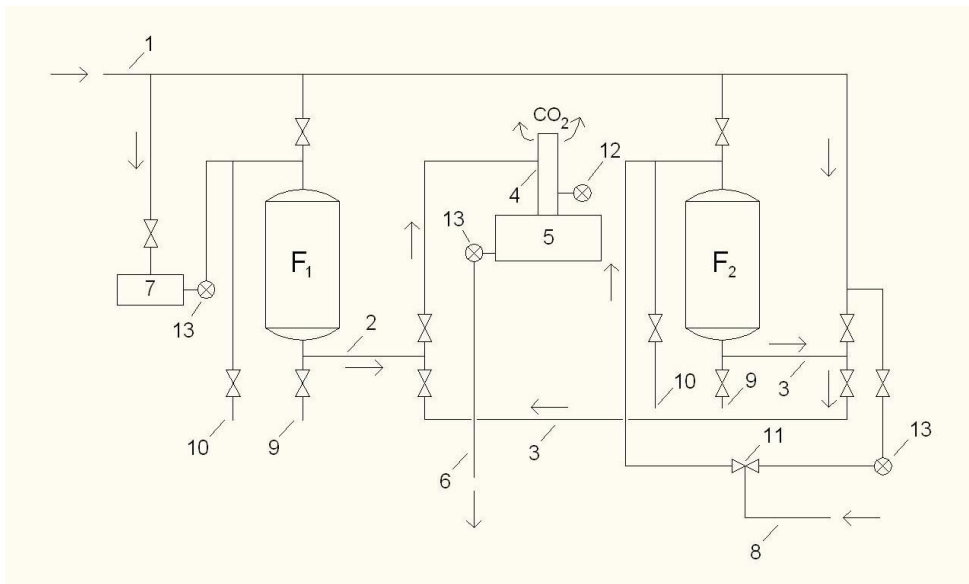
H-Na-kombineeritud kationeerimine toimub kas paralleelse või järjestikuse skeemi järgi.

1. *Paralleelse ühendusega skeem* (joonis 15.3). Osa vett juhitakse läbi H-kationiitfiltri ning osa läbi Na-kationiitfiltri. Seejärel filtraadid segatakse. Veehulga jaotamisel H- ja Na-kationiitfiltrite vahel lähtutakse põhimõttest, et H-kationiidist väljuva vee happesus oleks ekvivalentne Na-kationiidist väljuva vee leelisusega. Nende vete segunemisel:



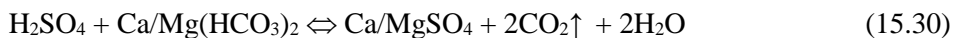
H-kationiitfiltri järel on vajalik degasaator CO<sub>2</sub> kõrvaldamiseks.



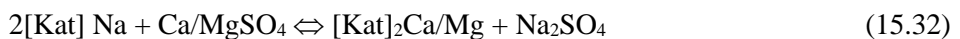
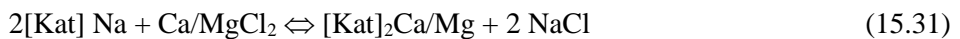


Joonis 15.3. H-Na-kationeerimise skeem paralleelsel ühendusel.  $F_1$  – Na-kationiitfilter,  $F_2$  – H-kationiitfilter: 1 – toorvesi, 2 – leeliseline filtraat Na-kationiitfiltrist, 3 – happeline filtraat H-kationiitfiltrist, 4 – degasaator, 5 – degaseeritud vee kogumispaak, 6 – pehmendatud vesi, 7 – soola regeneratsioonilahuse paak, 8 – happe regeneratsioonilahus, 9 – äravool (kanalisatsiooni), 10 – kationiidi eelkobestamisel tekkiva heitvee äravool (kanalisatsiooni), 11 – hüdroelevaator, 12 – ventilaator, 13 – pumbad

2. Järjestikuse ühendusega skeem. Osa vett juhitakse läbi H-kationiidi, seejärel toimub segamine ülejäänud veega:



Tekivad mittekarbonaatsed soolad peetakse kinni Na-kationiitfiltris:



## 15.3.5. Kationiitfiltrite arvutamine

### 15.3.5.1. Na-kationiitfiltrid

Vajalik kationiidi maht  $\text{m}^3$  määratakse valemiga:

$$W^{\text{Na}} = 24 q K_0/n E_{\text{akt}}^{\text{Na}} \quad (15.33)$$

kus  $q$  on pehmendatava vee vooluhulk,  $\text{m}^3/\text{h}$ ;

$K_0$  – toorvee üldkaredus,  $\text{g-ekv}/\text{m}^3$ ;

$n$  – kationiitfiltri regenerereerimiste arv ööpäevas;

$E_{\text{akt}}^{\text{Na}}$  – Na-kationiidi aktiivneioonivahetusvõime g-ekv/m<sup>3</sup>, mis määratakse valemiga:

$$E_{\text{akt}}^{\text{Na}} = \alpha_{\text{Na}} \beta E_{\text{täiel}} - 0,5 q_0 K_0 \quad (15.34)$$

kus  $\alpha_{\text{Na}}$  on Na-kationiidi regenereerimise tõhusust iseloomustav kordaja, mis võetakse sõltuvalt regenereerimiseks kasutatava soola erikulust (s.o soola kulust ioonivahetusega veest kõrvaldatud kareduse kohta):

Soola erikulu g/g-ekv	$\alpha_{\text{Na}}$
100	0,62
150	0,74
200	0,81
250	0,86
300	0,9

$\beta$  – regenereerimisprotsessis Ca- ja Mg-ioonide tagasivahetumist Na-ioonide vastu arvestav kordaja, mille väärtus valitakse sõltuvalt Na-ioonide ja üldkareduse suhtest toorvees:

$C_{\text{Na}}/K_0$	$\beta$
0,01	0,93
0,05	0,88
0,1	0,83
0,5	0,7
1,0	0,65
5,0	0,54
10,0	0,5

$E_{\text{täiel}}$  – kationiidi passiandmete põhjal määratavioonivahetusvõime g-ekv/m<sup>3</sup>;

$q_0 = 4 \dots 6 \text{ m}^3/\text{m}^3$  – vee erikulu kationiidi uhtumisel.

$0,5 q_0 K_0$  arvestab kationiidi uhtumisest tingitudioonivahetusvõime vähenemist.

Kui nõutav kationiidi maht on teada, määratakse kationiitfiltrite vajalik pind m<sup>2</sup>:

$$A^{\text{Na}} = W^{\text{Na}}/H^{\text{Na}} \quad (15.35)$$

kus  $H^{\text{Na}}$  on kationiidikihi paksus filtris, mis võetakse 2...2,5 m.

Na-kationiitfiltrite projekteerimisel tuleb lisaks arvestada, et:

- filtratsioonikiirus üheastmelise kationeerimise korral on soovitatavalt 10...15 m/h, kaheastmelisel kationeerimisel 2. astme filtris kuni 30 m/h;
- soola erikulu kationiidi regenereerimiseks sõltub toorvee ja filtraadi karedusest ning määratakse kationiidi tootja soovitude kohaselt:
  - a) üheastmelise skeemi korral – 100...300 g/g-ekv veest kõrvaldatud kareduse kohta,

- b) kaheastmelise skeemi korral 2. astme filtris 300...400 g/g-ekv;
- soolalahuse kangus:
  - a) 1. astme filtri regenereerimisel – 5...8%,
  - b) 2. astme filtri regenereerimisel – 8...12%.

### 15.3.5.2. H-Na-kationiitfiltrid

Sagedamini kasutatava paralleelse ühenduse korral tuleb esmalt määrata vooluhulga jaotus läbi H- ja Na-kationiitfiltrite. Eelduseks on, et H-filtraadi happesus oleks ekvivalentne kogu leelisusega, mis tuleb kationeerimise tagajärjel veest kõrvaldada. Seda tingimust võib väljendada g-ekv/h võrrandiga:

$$q(L_0 - L) = q^H(L_0 + S_0) \quad (15.36)$$

kus  $q$  ja  $q^H$  on vastavalt kogu pehmendatava vee ja läbi H-kationiitfiltrite juhitava vee vooluhulk  $m^3/h$ ;

$L_0$  ja  $L$  – toorvee ja pehmendatud vee leelisus g-ekv/ $m^3$ ;

$S_0$  – sulfaatide ja kloriidide sisaldus toorvees g-ekv/ $m^3$ .

Lähtudes võrrandist (15.36) saab määrata H-kationiitfiltritesse juhitava vee vooluhulga  $m^3/h$ :

$$q^H = q(L_0 - L) / (L_0 + S_0) \quad (15.37)$$

ning seejärel ka Na-kationiitfiltrite vooluhulga:  $q^{Na} = q - q^H$ .

H-kationiidi vajalik maht  $m^3$  määratakse valemiga

$$W^H = 24 q^H (K_0 + C_{Na}) / n E_{akt}^H \quad (15.38)$$

H-kationiidi aktiivneioonivahetusvõime g-ekv/ $m^3$  määratakse:

$$E_{akt}^H = \alpha_H E_{täiel} - 0,5 q_0 C_k \quad (15.39)$$

kus  $\alpha_H$  on H-kationiidi regenereerimise efektiivsuskordaja, mille võib määrata sõltuvalt väävelhappe erikulust:

erikulu g/g-ekv	$\alpha_H$
50	0,68
100	0,85
150	0,91
200	0,92

$q_0 = 4...6 m^3/m^3$  – vee erikulu kationiidi uhtumisel;

$C_k$  – kationide summarne sisaldus uhtumiseks kasutatavas vees (toorvees), g-ekv/ $m^3$ .

## 16. SOOLAÄRASTUS VEEST

### 16.1. Loodusliku vee soolsus ja soolaärastusprotsessid

Loodusliku vee soolsus on põhiliselt määratud  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{HCO}_3^-$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$  ja  $\text{Cl}^-$  ionide sisaldusega (vt punkt 5.1.3). Seejuures merevees domineerivad kloriidid (89%), magevees hüdrokarbonaadid (80%). Vee soolsust võib hinnata *kuivjäägiga*, põhiliselt tehakse seda siiski *elektrijuhtivusega*. Joogivee lubatud maksimaalne elektrijuhtivus on 2500  $\mu\text{S}/\text{cm}$  (vee temperatuuril 20 °C), mis ligikaudu vastab kuivjäägile 1500 mg/l.

Loodusliku vee soolsuse vähendamist (vee demineraliseerimist) joogivee tasemeni nimetatakse *vee magestamiseks*, soolsuse põhjalikum vähendamine võib olla vajalik tootmisvee ettevalmistamisel.

Soolaärastuseks veest kasutatakse järgmisi protsesse:

- ioonivahetus;
- destillatsioon;
- pöördosmoos;
- elektrodialüüs;
- väljakülmutamine;
- heliomagestamine.

Tootmisotstarbeline täielik soolaärastus veest toimub enamastiioonivahetuse ja (või) pöördosmoosiga. Nende protsesside kasutamisel vee magestamiseks töödeldakse tavaliselt osa veest, mis seejärel segatakse ülejäänud demineraliseerimata veega vahekorras, mis tagab joogivee ettenähtud soolsuse.

### 16.2. Soolaärastus veestioonivahetusega

Soolaärastusioonivahetusega toimub vee filtrimisega vaheldumisi läbi kationiidi- ja anioniidikihi. Selleks kasutatakse vee pehendamisest tuttavaid kationiitfiltreid ja anioniitfiltreid.

*Anioniidid* on analoogselt kationiitidega teralised materjalid – sünteetilised, kõrgmolekulaarsed ained, mis koosnevad tinglikult ühevalentsest karkassist – katioonist ning selle külge adsorbeeritud vahetusioonidest – anioonidest. Vahetusioonideks on kõige sagedamini  $\text{OH}^-$  või  $\text{CO}_3^{2-}$  ioonid. Selleks uhitakse anioniitfiltreid nende regenereerimise käigus vastavalt NaOH ja  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  lahusega. Anioniidid on tugevalt ja nõrgalt leeliselised:

*Tugevalt leeliselised* on võimelised siduma lisaks tugevate hapete anioonidele (kloriidid, sulfaadid) ka nõrkade hapete anioone (karbonaadid, silikaadid). Seetõttu kasutatakse neid jääksoolsuse vähendamiseks.

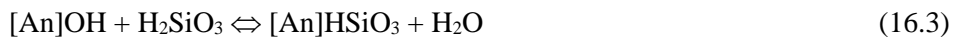
*Nõrgalt leeliselised* seovad ainult kloriide ja sulfaate ning neid kasutatakse ioonivahetuse esimeses astmes vee soolsuse põhiosa kõrvaldamiseks.

Ioonivahetusega soolaärastuse lihtsaim moodus on vee järjestikune filtrimine läbi H-kationiitfiltri ja anioniitfiltri.

Esmalt kõrvaldatakse H-kationiitfiltris vee karbonaatne karedus ning mittekarbonaatsed soolad redutseeritakse vastavateks hapeteks, degasaatoris eraldub CO<sub>2</sub> ning seejärel peetakse nõrgalt leeliselise anioniidiga laetud anioniitfiltris kinni kloriidid ja sulfaadid:

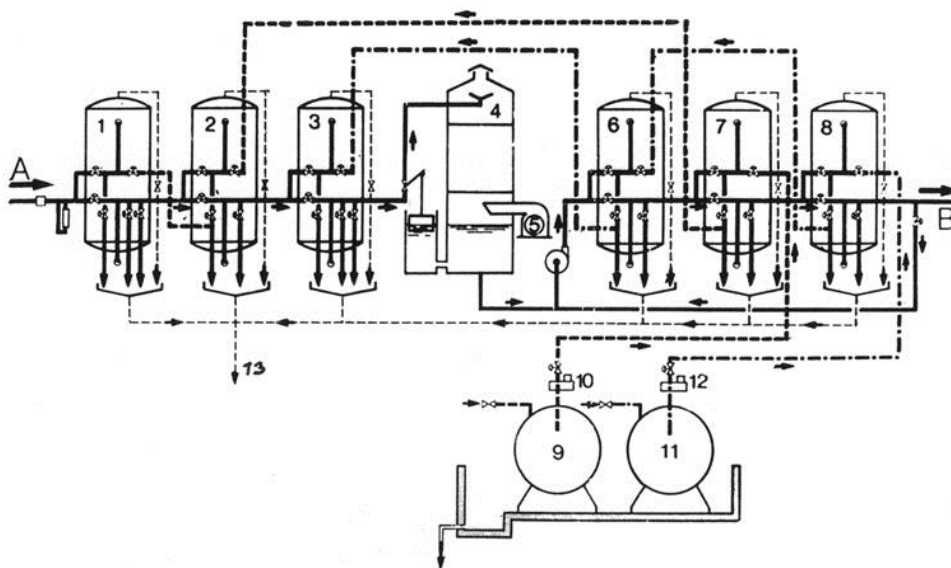


Kui on nõutav täielikum soolaärastus veest, kasutatakse *kaheastmelist skeemi*, st eeltoodule lisatakse tugevalt leeliselise anioniidiga laetud 2. astme anioniitfilter põhiliselt vee jääksoolsust moodustavate silikaatide kõrvaldamiseks:



Kaheastmelise skeemi lõpus on tavaliselt veel 2. astme H-kationiitfilter Na-ioonide kinnipidamiseks, mis võivad sattuda vette 2. astme anioniidi mittetäieliku läbipesemise korral pärast regenereerimist sooda või seebikivi lahusega.

Kui on nõutav praktiliselt *täielik soolaärastus* veest (kuivjääk demineraliseeritud vees alla 0,1 mg/l, sh SiO<sub>3</sub> sisaldus alla 0,05 mg/l), lisatakse veel 3. astme anioniitfilter kationiidi laguproduktide kinnipidamiseks (joonis 16.1).



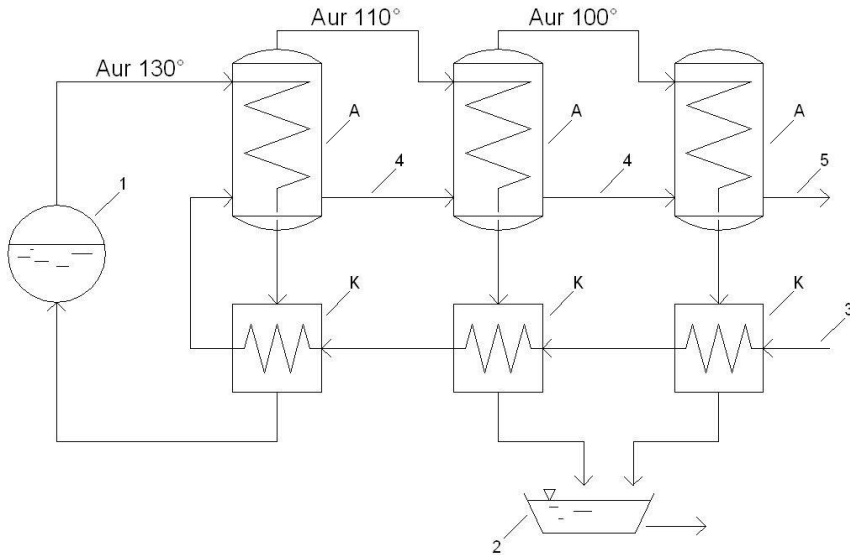
Joonis 16.1. Ionivahetusega soolaärastuse skeem kõrgsurvekatla toiteveest. A – toorvesi, B – demineraliseeritud vesi: 1 – 1. astme kationiitfilter, 2 – 2. astme kationiitfilter, 3 – nõrgalt leeliselise anioniidiga 1. astme anioniitfilter, 4 – degasaaator; 6 – tugevalt leeliselise anioniidiga 2. astme anioniitfilter, 7 – 3. astme kationiitfilter, 8 – tugevalt leeliselise anioniidiga 3. astme anioniitfilter, 9 – happe regeneratsioonilahuse paak, 11 – seebikivi regeneratsioonilahuse paak, 13 – kasutatud regeneratsioonilahuste ja ioniidi läbipesemisel tekkivate heitvete kogumistorustik (neutraliseerimisele)

1. ja 2. astme anioniiti regenereeritakse sooda või seebikivi lahusega, 3. astme anioniiti  $\text{NH}_4\text{OH}$  lahusega, et vältida Na-ioonide sattumist töödeldud vette reageerimata regeneratsioonilahuse mittetäieliku väljapesemise korral pärast uhtumist.

H-kationiitfiltri läbipesemine pärast uhtumist toimub skeemis eespool olevate filtrite veega, 1. ja 2. astme anioniiti pestakse läbi sama astme kationiitfiltri veega, 3. astme anioniiti – 2. astme anioniitfiltri veega.

### 16.3. Soolaärastus veest destilleerimisega

Destilleerimine on vanim ja põhiliselt merevee magestamisel kasutatav tehnoloogia, mis seisneb vee aurustamises ja sellele järgnevas soolavaba auru kondenseerimises. Suurema efekti saavutamiseks kasutatakse mitmeastmelisi seadmeid (joonis 16.2), kusjuures viimased astmed võivad töötada vaakumi all.



Joonis 16.2. Destillatsiooniseadme skeem. A – aurustid, K – kondensaatorid: 1 – aurukatel, 2 – kondensaadi kogumispaak, 3 – toorvesi, 4 – soolvesi, 5 – kontsentreeritud soolvee äravool

Destillatsiooniseadmete probleemiks on katlakivi tekkimise oht soojusvahetajates. Seetõttu on vajalik vee eelnev pehmemdamine.

## 16.4. Membraanprotsessid

Membraanprotsessidele tuginev tehnoloogia on tänapäeval kõige enam arenev suund veetöötles, mis põhineb *mikropoorsete poolläbilaskvate kilede (membraanide)* kasutamisel. Tööpõhimõtte järgi eristatakse kahte liiki membraane: a) – membraanid, mis lasevad läbi vee ja peavad kinni vees olevad osakesed sõltumata nende elektri-laengust; b) – ioonselektiivsed membraanid, mis lasevad läbi kas ainult katioone või ainult anioone (elektrodialüüsiseadmed). Levinumad on a-tüüpi membraanidega seadmed, mille vee puhastusvõime sõltub membraani pooride läbimõõdust.

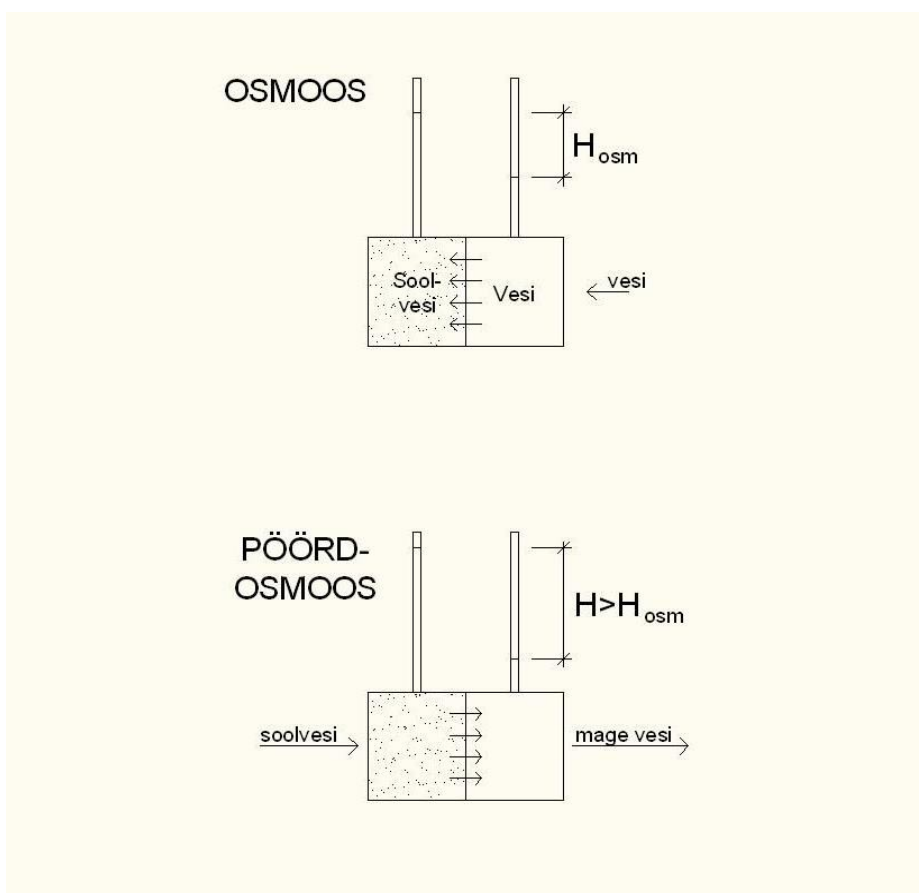
Membraanseadmetel on klassikaliste puhastusseadmetega võrreldes rida eeliseid:

- kompaktsus;
- on pidevalt töötavad;
- ei vaja reagente;
- on suhteliselt lihtsad hooldada;
- membraani tiheduse valikuga võib veest kõrvaldada soovitavaid lisandeid jämedisperssetest kuni ioonideni.

Põhiliselt jagunevad a-tüüpi membraanseadmed kahte rühma:

1. Ultrafiltrid (UF). Sellesse rühma kuuluvad membraanid pooride suurusega 10...100 nm (0,01...0,1µm), mis peavad kinni kolloide, orgaanilisi makromolekule, mikroorganisme. Vee mineraalne koostis jääb seejuures muutmata, sest membraanid ei pea kinni ioone. Ultrafiltreid kasutatakse ka *vee desinfitseerimiseks*. Töötavad rõhul 0,5...3 at.
2. Pöördosmoosiseadmed (PO). Need on membraanid pooride läbimõõduga alla 1 nm. Pöördosmoosi nimetatakse ka *hüperfiltratsiooniks*. PO-seadmed töötavad rõhul 8...40 at ja enam. Kuna seadmed peavad kinni ioone, kasutatakse neid vee soolsuse vähendamiseks (joonis 16.3).

Seadmeid, milles membraani pooride läbimõõt jääb UF ja PO vahelisse alasse, nimetatakse *nanofiltriteks*. Kasutatakse ionide, mikroelementide ja orgaaniliste ühendite kinnipidamiseks.

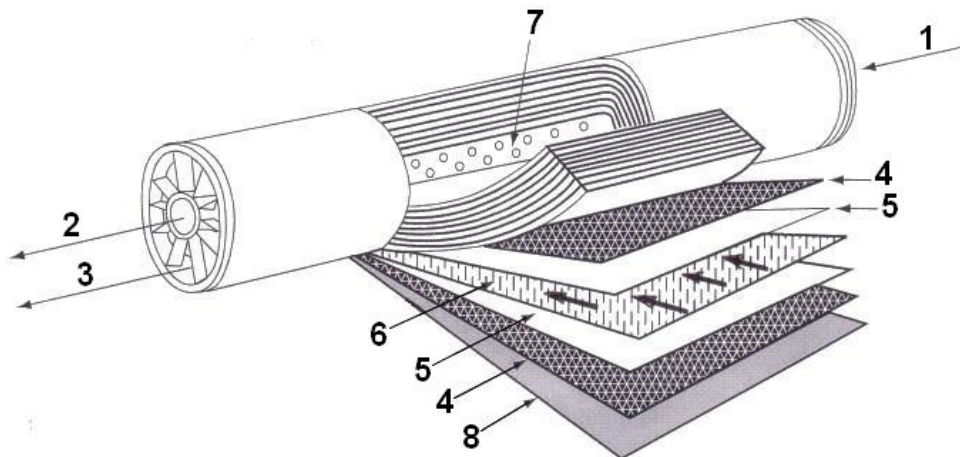


Joonis 16.3. Osmoosi ja pöördosmoosi illustreeriv skeem



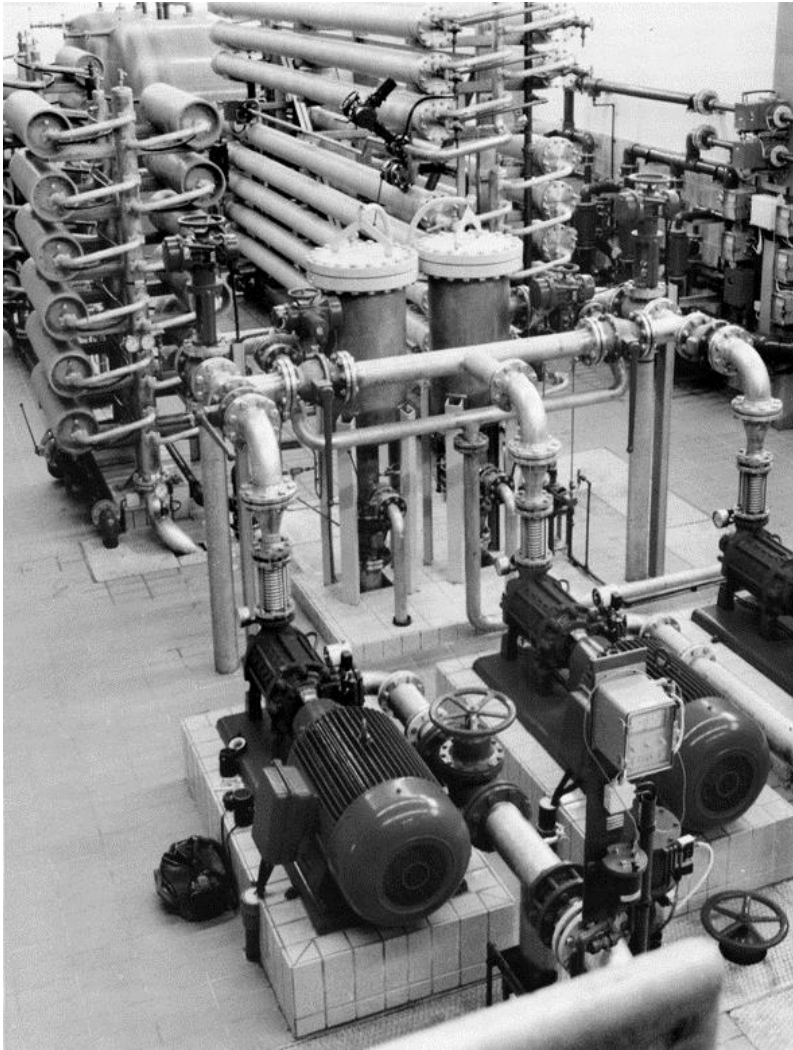
Osmoos on teatavasti aine difusioon läbi poolläbilaskva membraani, mis eraldab kaht erineva kontsentratsiooniga lahust. Selle tagajärjel tõuseb suurema kontsentratsiooniga lahuses (soolvees) rõhk kuni osmoosse rõhuni (ülemine pilt). Suurendades soolvees rõhku üle osmoosse, algab vastupidine protsess (pöördosmoos, alumine pilt).

PO seadmetena on levinuimad *spiraalsete moodulitena* ehitatud ning torusse paigutatud membraanipaketid (joonis 16.4). Spiraalse mooduli moodustavad selle keskel asuv perforeeritud toru 7 ning toru ümber rullitud erinevatest kihtidest koosnev pakett, mille kolm külge on hermeetiseeritud, neljas aga ühendatud perforeeritud toruga. Paketis on vahekiht 4, kuhu mooduli otsast juhitakse toorvesi 1, poolläbilaskev membraan 5 ning filtraadi (permeaadi) kogumiskollektor 6, kust permeaat perforeeritud torusse juhitakse.



Joonis 16.4. Spiraalse pöördosmoosimooduli skeem: 1 – toorvee sissevool, 2 – permeaadi äravool, 3 – kontsentradi äravool, 4 – vahekiht, 5 – poolläbilaskev membraan, 6 – permeaadi kogumiskollektor, 7 – perforeeritud toru, 8 – kate

Joonisel 16.5 on kujutatud tööstuslik spiraalsete moodulitega pöördosmoosiseade.



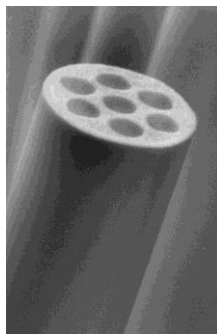
Joonis 16.5. Tööstuslik pöördosmoosiseade

Analoogse tehnilise lahendusega seadmeid kasutatakse ka ultrafiltrites.

Ultrafiltrites on levinud ka mitmesugused *kapillaarsetest õõneskiudelementidest* moodulid. Joonisel 16.6 on kujutatud õõneskiudelementidest moodulid, mis koosnevad 7 kapillaariga sünteetilisest kõrttest (joonis 16.7) moodustatud ning silindrisse paigutatud paketi. Kõrre läbimõõt on 4...5 mm, kapillaari läbimõõt 0,9 mm, kapillaaride seinteks oleva materjali pooride läbimõõt on 0,01...0,02  $\mu\text{m}$ . Toorvesi juhitakse kapillaaridesse ja filtreerub läbi poorse seina. Perioodiliselt pestakse moodulid läbi kloorveega, samuti töödeldakse suruõhuga.



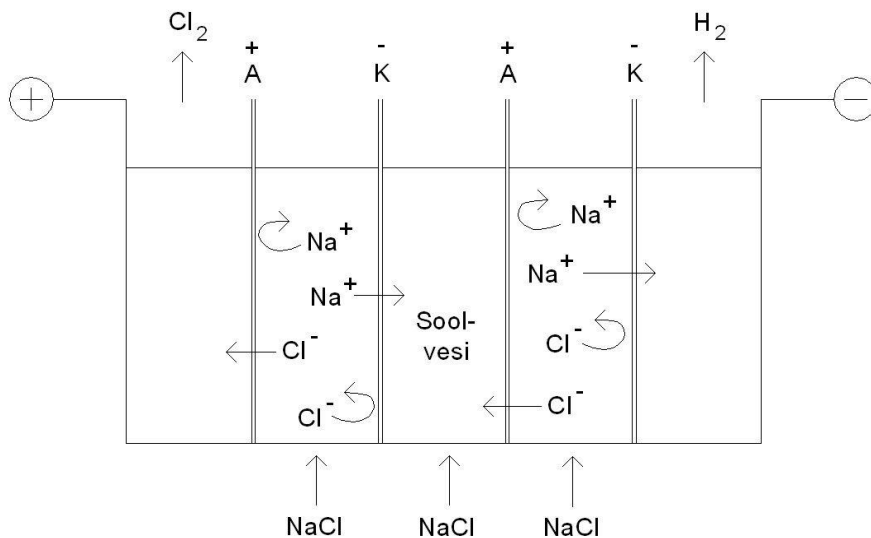
Joonis 16.6. Õõneskiudelementidest moodulid



Joonis 16.7. Õõneskiudelemendi seitsme kapillaariga kõrs

Kasutatakse ka *keraamiliste filtrielementidega mooduleid*.

*Elektrodialüüsideadmete* (joonis 16.8) töö põhineb selektiivseteioonivahetusmembraanide kasutamisel. Kationiit- ja anioniitmembraanid on paigutatud vaheldumisi elektrodialüüsvanni 0,7...1,5 mm kaugusele üksteisest. Vann ühendatakse tavaliselt 380 V alalisvooluallikaga.



Joonis 16.8. Elektrodialüüsideadme skeem

Elektrodialüüsi puuduseks on asjaolu, et neid seadmeid saab tõhusalt kasutada vee suhteliselt kõrge soolsuse korral – 200 mS/cm ja rohkem. Väiksema elektrijuhtivuse korral tuleb suurendada elektrodide vahelist pinget, mis ei ole majanduslikult otstarbekas.

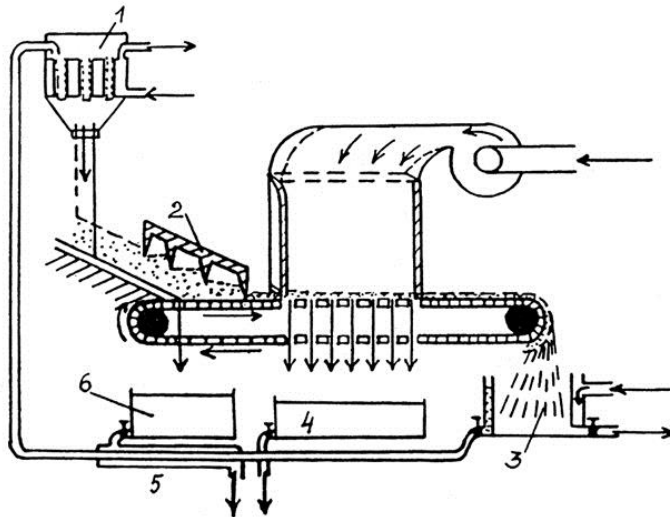
Vee *järeldemineraliseerimiseks* on levinud elektrodialüüsi jaioonivahetuse kombineeritud kasutamisel põhinevad *elektrodeionisatsiooni seadmed* (EDI seadmed, joonis 16.9). Nendes seadmetes paigutatakse anioniidi ja kationiidi seguioonselektiivsete membraanide vahelisse alasse, millega suurendatakse vee elektrijuhtivust ja koos sellega seadme efektiivsust. Soovitavad toorvee parameetrid EDI seadmesse sissevoolul: vee temperatuur – 10...25 °C, vaba kloori sisaldus mitte üle 0,1 mg/l, vee elektrijuhtivus kuni 60 µS/cm.



Joonis 16.9. EDI seade Tallinna Vao Elektri jaamas

## 16.5. Soolaerastus veest väljakülmutamisega ja heliomagestamine

Soolaerastus veest *väljakülmutamisega* põhineb mageda ja soolase vee sulamis-külmumistäppide erinevusel. Veetemperatuuri langedes külmumistäpi lähedale toimub homogeenses veemassis soolaosakeste kontsentreerumine. Selle tulemusel tekivad mageveelises jääs soolvee piirkonnad. Juhtides soolvee ära, võib seejärel jää sulades või seda üles sulatades saada mageda vee. Protsessi saab rakendada nii looduslikes kui ka tehistingimustes. Joonisel 16.10 on kujutatud tehistingimustes töötava väljakülmutusseadme skeem.



Joonis 16.10. Tehistingimustes töötava väljakülmutusseadme skeem: 1 – külmutusseade, 2 – kraap, 3 – mageda vee kogumispaak, 4 – soolvee kogumispaak, 5 – soolvee äravoolutoru, 6 – kontsentreeritud soolvee kogumispaak

*Heliomagestamine* seisneb soolase vee aurustumises päikeseenergia toimel sellele järgneva auru kondenseerimisega. Kasutatavad seadmed on enamasti kasvuhoone tüüpi klaasist või läbipaistvast plastist täisnurkse varikattega ning päikesevalgust neelava põhjaga kanalid, kuhu juhitakse demineraliseeritav vesi. Tekkiv aur kondenseerub varikatte sisepinnale ning nõrgub varikatte all olevasse kogumisrenni.

# 17. TOOTMISVEEVARUSTUS JA ETTEVÕTETE VESIJAHUTUSSÜSTEEMID

## 17.1. Tootmisprotsessi veetarbimise iseärasused, kasutatavad süsteemid ja skeemid

Tehnoloogilise protsessi tarbeks kulutatavat vett nimetatakse *tootmisveeks* (ka tehnoloogiliseks veeks). Sõltuvalt ettevõtte veevajadusest ja vee kvaliteedile esitatavatest nõuetest ning kohaliku ühisveevärgi võimsusest võib ettevõtte veevõrk olla kas piirkonna ühisveevärgiga *ühendatud* või *autonoomne*. Viimasel juhul kasutatakse tootmisvee hankimiseks sageli ka eraldi veeallikat.

Vee kasutamise otstarbe järgi võib tootmisvee jagada põhiliselt viide kategooriasse:

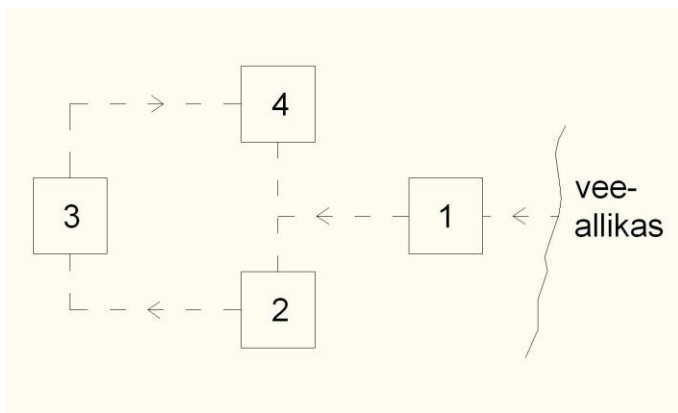
- *jahutusvesi* – sel otstarbel kasutatakse kõige rohkem tootmisvett. Ühed suuremad jahutusvee tarbijad on soojuselektrijaamad, kus vett kulub põhiliselt auruturbiinidest tuleva äratõotanud auru kondenseerimiseks;
- *vesi auru tootmiseks*;
- *hüdrotranspordiks kasutatav vesi* – tooraine ja pooltoodete transport tehnoloogilises tsüklis, näiteks metsa-, puidu- ja saematerjalitööstuses;
- *toodangu pesemise vesi*, näiteks kerge- ja toiduainetööstuses;
- *vesi toodangu koostises* – toiduainetööstuses.

Erinevad tootmisvee tarbijad esitavad oluliselt erinevaid nõudeid vee kvaliteedile.

Võrreldes olmeveega on tootmisveele esitatavatel nõuetel ka oma eripära:

- *tehnoloogiliseks protsessiks vajalik veekogus võib sõltuda vee omadustest* – näiteks vajalik jahutusvee vooluhulk sõltub vee temperatuurist, hapete ja leeliste neutraliseerimiseks kasutatava vee vooluhulk vee pH-st jne;
- tootmisvee puhul on tavaline, et *nõuded vee kvaliteedile esitatakse vaid piiratud hulgal vee omadustest*, kusjuures need nõuded võivad olla tunduvalt rangemad joogiveele esitatavatest – näiteks ülikõrged nõuded vee karedusele ja soolsusele, mis esitatakse aurukatelde toiteveele, vee hägususe ja rauasisalduse nõuded elektroonikatööstuses kasutatavale tootmisveele jt;
- tootmisveele on omane *eripärane veetarbimise režiim*. Seda iseloomustab tarbimisgraafik, mis enamasti erineb olmeveele iseloomulikust astmelisest tarbimisgraafikust. Tootmisvee tarbimisgraafik sõltub tootmisprotsessi režiimist ning on kas ööpäevaringselt ühtlane, astmeliselt muutuv sõltuvalt vahetustest vm eripärane;
- tootmisprotsessist sõltuvalt võib *tootmisveevarustuse töökindlusele esitada kõrgendatud nõudeid*, sest veevarustuse katkemine võib seal põhjustada olulist majanduslikku kahju, avariisid jne. Selliste tootmisveevärgide energiavarustus on enamasti dubleeritud, nähakse ette varuveeallikate kasutamist jne.

Tootmisveevarustuses kasutatakse kõiki kolme tuntud *veevarustussüsteemi* – otsevoolset, vee korduvkasutus- ja ringsüsteemi. Ringsüsteem leiab kasutamist põhiliselt *vesijahutuses* (joonis 17.1).



Joonis 17.1. Vesijahutuseks kasutatava ringlusveevärgi skeem: 1 – lisaveepumpla, 2 – ringlusveepumpla, 3 – jahutusseade, 4 – soojusvaheti

Vesijahutuse ringsüsteemi lisatav vesi peab eelnevalt läbima vajaliku puhastuse, mille iseloom ja sügavus sõltuvad veeallika vee omadustest. Eelkõige on vaja vähendada vee karedust ja heljumisisaldust. Vajaliku lisavee voluhulga määramiseks koostatakse *veebilanss*. Selle passivapool on määratud vee tarbimisega tootmises ja *vee kadudega* veeringluses.

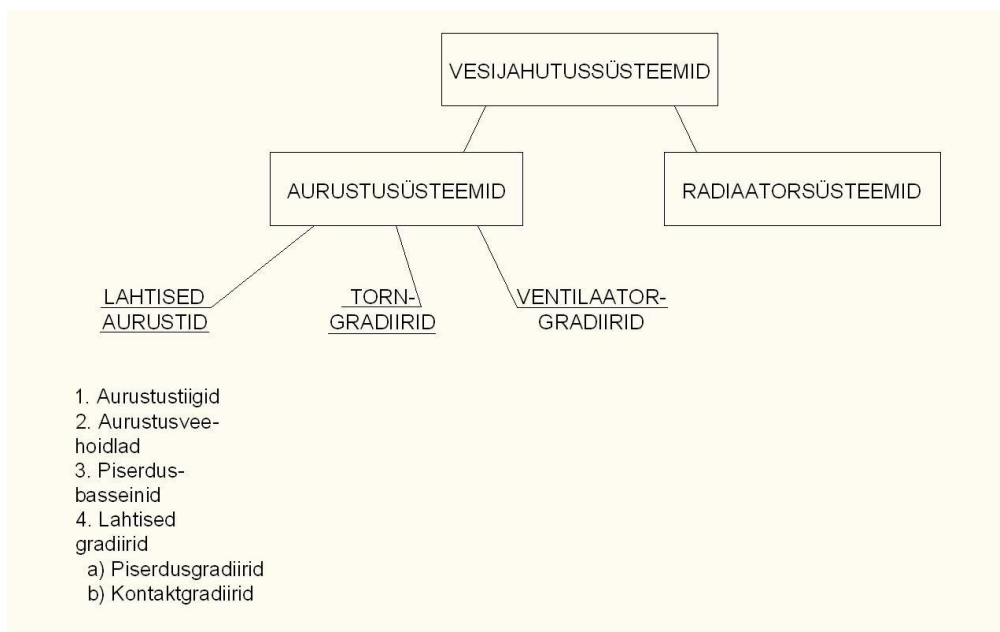
Veekaod tekivad põhiliselt sõltuvalt kasutatavatest jahutusseadmetest:

- *aurumisest jahutites*. Need kaod on aurustussüsteemide kasutamisel paratamatud;
- *tuule põhjustatud kaod*, mis on eriti iseloomulikud lahtiste aurustite puhul;
- *süsteemi perioodilisest läbipesust tingitud kaod*;
- *vee puhastamisega seotud kaod*;
- *filtratsioonikaod*.

## 17.2. Vee jahutamine ringlusveevärgis

Seadmete ja agregaatide jahutamine võib toimuda veega, õhuga või kombineeritult (hüdropneumaatiline jahutussüsteem). Vesijahutussüsteemid jagunevad *aurustus- ja radiaatorsüsteemideks* (joonis 17.2). Aurustussüsteemides jahtub vesi vahetu kontakti teel atmosfääriga, radiaatorsüsteemides voolab jahutatav vesi radiaatori torudes ning soojusvahetus toimub toru seina kaudu.





Joonis 17.2. Vesijahutussüsteemide jaotus

*Aurustustiike ja -veehoidlaid* kasutatakse juhul, kui ei nõuta vee temperatuuri olulist vähendamist. Tavaliselt leiavad veehoidlad kasutamist soojuselektrijaamade vesijahutussüsteemides, aurustustiigid aga oluliselt väiksema jahutusvee vooluhulga korral.

Aurustusveehoidlatena võib kasutada:

- looduslikke veekogusid;
- äravoolu reguleerimiseks jõgedele nende paisutamise teel rajatud veehoidlaid, mida tavaliselt kasutatakse ka muuks otstarbeks (Narva veehoidla Eesti Elektriijaamade jahutusveehoidlana);
- lähedalasuvatest veekogudest täidetavaid veehoidlaid.

Tuleb arvestada, et aurustusveehoidlad ja -tiigid eeldavad ulatusliku vaba territooriumi olemasolu ettevõtte läheduses.

Vee jahutamise efektiivsuse seisukohalt on oluline, et võimalikult suur osa veekogu pinnast ja kogu veemassist võtaks osa soojusvahetusest. Soojusvahetuse seisukohalt veehoidla „aktiivne tsoon“ sõltub vee voolamise eripärast veekogus, see omakorda veehoidla kujust ja sügavusest, sisse- ja väljavoolude paiknemisest ja nende tehnilisest lahendusest. Olulist rolli mängib ka domineerivate tuulte suund ja tugevus. Et tagada veehoidla paremat ärakasutamist, rajatakse sinna sageli veevoolu suunamiseks vajalikke vaheseinu. Veehoidla sügavus on tavaliselt 3...5 m, jahutatava vee sissevool toimub hajutatult pinnapealse kihina ning jahutatud vee väljavool veekogu põhja

lähedalt. Aurustusveehoidlate ja -tiikide puhul arvestatakse, et veetemperatuuri alandamiseks 8 °C võrra on vaja 25...40 m<sup>2</sup> veepeegli pinda jahutatava vee 1 m<sup>3</sup>/h kohta. Täpsemate tulemuste saamiseks tehakse *soojusarvutused*, millega määratakse vajalik veepeegli pind veetemperatuuri etteantud alanemise saavutamiseks (või lahendatakse vastupidine ülesanne, st määratakse olemasoleva veepeegli pinna korral saavutatav veetemperatuuri alanemine).

*Piserdusbasseinid* on 1,5...2 m sügavused ristkülikulise põhiplaaniga basseinid, kuhu jahutatav vesi piserdatakse 1,2...1,5 m kõrgusel veepeegli kohal asetsevast ja düüsidega varustatud torustikust. Basseinid on enamasti sektsioneeritud, jaotustorustik on paigutatud paralleelselt basseini lühema küljega ja domineeriva tuule suunaga. Jaotustorude vahekaugus ja düüside vahekaugus torul peavad olema sellised, et tekkivad veekoonused kataksid ühtlaselt kogu basseini veepeegli omavahel kattumata. Vee piserdustihedus valitakse sõltuvalt kliimatilistest tingimustest 0,8...1,3 m<sup>3</sup>/h 1 m<sup>2</sup> basseini pinna kohta.

*Lahtiste gradiiride* hulka kuuluvad piserdusgradiirid ja kontaktgradiirid on piserdusbasseinidega sarnased rajatised. Erinevus on selles, et piserdusdüüsid on neis paigutatud 4...5 m kõrgusele ning bassein on ümbritsetud vertikaalse varbseinaga, mis oluliselt vähendab tuule põhjustatud veekadusid.

*Piserdusgradiiris* täide puudub, vesi langeb kogumisbasseini tilkadena, seadme tootlikkus on ligikaudu 1,5...3 m<sup>3</sup>/h 1 m<sup>2</sup> gradiiri pinna kohta.

*Kontaktgradiiri* paigutatakse vee ja õhu kontakti suurendamiseks horisontaal- või vertikaalriidades liistud, mida mööda vesi alla tilgub või nõrgub. Kontaktgradiiri tootlikkus on 2...4 m<sup>3</sup>/h 1 m<sup>2</sup> gradiiri pinna kohta.

### 17.3. Torngradiirid ja ventilaatorgradiirid

*Torngradiirid* on rajatised, mida kasutatakse juhul, kui nõutakse vee jahutamist vähemalt 28...30 °C võrra. Gradiiri kohale ehitatakse tõmbetorn (joonis 17.3), mille eesmärk on suurendada õhu juurdevoolu loomuliku tõmbe teel.



Joonis 17.3. Iru Elektriijaama torngradiir

Torn on tüvikoonusekujuline, plaanis kas neli- või hulknurkne või ümmargune kõrgusega kuni 100 m. Loomulik tõmme tekib torni siseneva külma välisõhu ja tõmbetornist väljuva niiske ning sooja õhu tiheduste erinevusest. Torni pindala moodustab 30...45% gradiiri pinnast. Kasutamist leiavad nii piserdus- kui ka kontaktgradiirid. Intensiivse külma välisõhu juurdevoolu tõttu esineb talvel gradiiri jäätumise oht. Selle vältimiseks asetatakse õhu sissevooluavade ette kilbid, mille osalise sulgemisega saab õhu juurdevoolu piirata. Vee ühtlasemaks piserdamiseks gradiiri kohale kasutatakse sageli spetsiaalseid düüse.

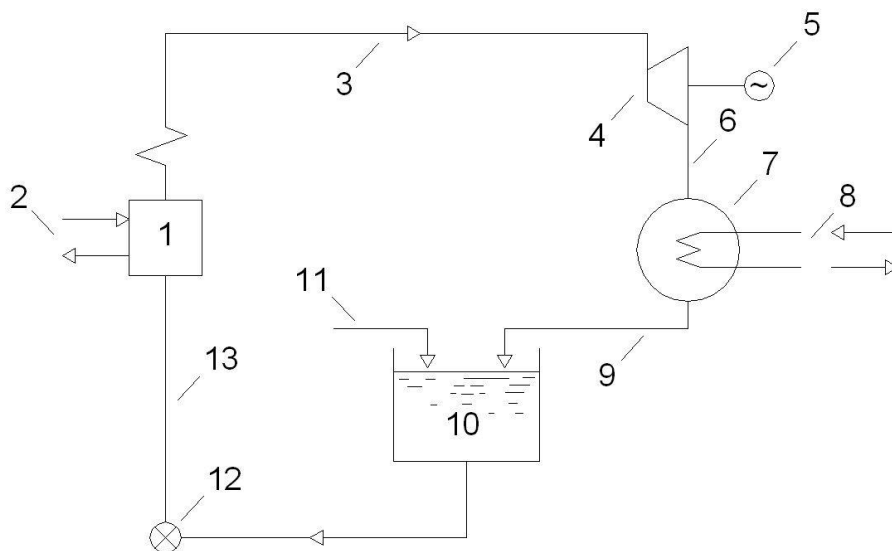
*Ventilaatorgradiiris* (joonis 17.4) toimub õhu juurdevool ventilaatoriga, mis on tavaliselt paigutatud gradiiri kohale (vaakumgradiirid). Ventilaatorgradiirides on jahutusprotsess paremini juhitud, ühtlasi saab siin loobuda võimalikke arhitektuurseid probleeme põhjustavast tornist või oluliselt vähendada selle kõrgust. Ventilaatorgradiiris ei ületa torni kõrgus tavaliselt 15...20 m, ventilaatori labade läbimõõtu võib aga ulatuda 10 m-ni.



Joonis 17.4. Ventilaatorgradiirid

## 17.4. Soojuselektrijaama ringlusveevärk

Joonisel 17.5 on kujutatud soojuselektrijaama ringlusveevärgi skeem.



**Joonis 17.5. Soojuselektrijaama ringlusveevärgi skeem:** 1 – aurukatel, 2 – soojuskandja (masuut, maagaas vm), 3 – aur ( $T \approx 550 \text{ }^\circ\text{C}$ ,  $p \approx 15 \text{ MPa}$ ), 4 – auruturbiin, 5 – elektrigeneraator, 6 – äratõotanud aur, 7 – kondensaator, 8 – jahutusvesi, 9 – kondensaator veeringlusesse, 10 – toiteveepaak, 11 – lisavesi, 12 – ringlusvee pump, 13 – aurukatla toitevesi

Siin on tegemist kahe erineva veeringlustsükliga: auru tekitamise-kondenseerimisega (3, 6, 9, 11, 13) ning jahutusveetsükliga 8. Kõrgeimad nõuded esitatakse esimesena nimetatud tsükli veele, seetõttu läbib lisavesi 11 nii üldise puhastuse lahustumatutest lisanditest kui ka põhjaliku pehmemdamise-soolaärastuse ionivahetuse ja (või) pöördosmoosi teel.



Joonis 17.6. Auruturbiin ja elektrigeneraator Iru Elektriijaamas

## 17.5. Näiteid

### 17.5.1. Iru Elektriijaam

Eesti Energia Iru Elektriijaam (Iru SEJ) on Eesti Energia äriüksus, mis varustab soojusenergiaga Tallinna Lasnamäe ja Kesklinna piirkonda ning Maardut. Iru elektriijaam on elektri ja soojuse koostootmisjaam, mis kasutab põhikütusena maagaasi ja reservkütusena vedelkütuseid.

**Koostootmine** ~ 40% elektrienergiat, 60% soojusenergiat. Tootmisveevarustus on üles ehitatud ringlusveevarustuse põhimõttel ning koosneb kolmest osast:

- aurukatelde toitevee ettevalmistustsükkel auru tootmiseks, mis on vajalik auruturbiinide käitamiseks;
- vee ettevalmistus linna soojusvõrgu veeringluse tarbeks;
- läbi torngradiiri toimiv vesijahutussüsteem.

Kogu tootmisveevärki suunatav vesi võetakse Pirita jõest ning pumbatakse lahtistesse basseinidesse „Pirita“ (7200 m<sup>3</sup>) ja „Jägala“ (20000 m<sup>3</sup>, vesijahutuse tarbeks).

Pirita basseinist tulev vesi läbib keemilise eelpuhastuse (4 selitit + 6 kahekihilise täitega, liiv ja hüdroantratsiit, survefiltrit). Enne seliteid lisatakse koagulanti (Al-sulfaat) ja flokulanti (Fennopol).

Eelpuhastatud vesi jagatakse kahte ossa:

**Üks osa** pehmendatakse Na-kationiitfiltrites ja kasutatakse linna soojusvõrgu lisa-veena. Pärast koaguleerimist on vee pH  $\approx 6...7$ , soojusvõrku antavas vees on pH  $\approx 9,5$ . Selleks lisatakse pehmendatud vette Na<sub>3</sub>PO<sub>4</sub>. Soojusvõrku juhitava vee parameetrid:

T° = 80...130 °C; p  $\approx 0,6$  MPa. Soojusvõrgus tsirkuleeriv veekogus  $\approx 6000$  m<sup>3</sup>/h, lisavett – 5...15 m<sup>3</sup>/h.

**Teine osa** veest suunatakse soolaärastusele auru valmistamiseks. Selleks kasutatakse kationiit- ja anioniitfiltreid. Soolaärastatud vee pH = 5,9. Lisades Na<sub>3</sub>PO<sub>4</sub>, viiakse pH väärtus katlasse suunatavas vees 10-ni. Auru parameetrid, mis läheb auruturbiinidele: T° = 550 °C; p = 146 at.

Auruturbiinist tuleva auru kondenseerimine toimub jahutusvee abil, kusjuures vee jahutamine leiab aset torngradiiris (joonis 17.3).

## 17.5.2. Tallinna (Väo) Elektriijaam



Joonis 17.7. Väo Elektriijaam

2009. aastal tegevust alustanud elektriijaam on samuti koostootmisjaam (2/3 soojust – 50 MV, 1/3 elektrit 25 MV). Erinevalt Iru elektriijaamast kasutab Väo jaam kütusena puiduhaket ning võtab tootmisvett Tallinna veevõrgust. Kogu veetarve on suhteliselt väike – koos tarbeveega  $\approx 5000 \text{ m}^3/\text{kuus}$ , millest tootmisprotsessi lisavesi moodustab 90%. Tootmisvesi jaguneb kahe tehnoloogilise liini vahel – aurukatla toitevee liini ja jahutusvee liini vahel.

*Aurukatla toitevee ettevalmistuse* tehnoloogiline tsükkel koosneb liivfiltrist, soojusvahetist (tõstab vee temperatuuri 25 °C-ni), Na-kationiitfiltrist, pöördosmoosiseadmest (joonis 17.8), mis ärastab 90% soolsusest ning EDI seadmest vee täielikuks demineraliseerimiseks (vt joonis 16.9).



Joonis 17.8. Spiraalsete moodulitega pöördosmoosiseadmed HOH Vao Elektriijaamas

*Jahutusveena* kasutatakse linna soojusvõrgu tagasivoolu vett ( $T^{\circ} \approx 45^{\circ}\text{C}$ ).

Oluline eripära puiduhakke kasutamisel toormena – toormaterjal sisaldab  $\approx 50\%$  niiskust. Hakke põletamisel vesi aurustub ning suunatakse läbi lamelliseliti ja liivfiltri kanalisatsiooni. Seetõttu on elektriijaamast kanalisatsiooni suunatava vee kogus suurem kui tarbitava toorvee kogus.