



Metodika izvođenja ekskurzija na
vodoprivredne objekte
OTPADNE vode



Sadržaj

Naslovnica.....	3
1 Opći uvod	4
1.1.1 Legenda razine:	4
1.1.2 Priča o vodi:.....	4
1.1.3 Priča o materiji i energiji:	4
1.1.4 Narodna priča:.....	5
1.1.5 Kako se pripremiti za ekskuziju?	6
2 Vlastiti izlet	9
2.1 zdravlje i sigurnost	9
2.2 Važnost pročišćavanja gradskih otpadnih voda	10
2.3 Razvoj pročišćavanja otpadnih voda	12
2.4 Priča o vodi.....	13
2.4.1 Izvor otpadnih voda.....	13
2.4.2 Put vode do uređaja za pročišćavanje otpadnih voda.....	18
2.4.3 Postrojenje za pročišćavanje otpadnih voda	21
2.4.4 Kvaliteta i kontrola otpadnih voda.....	23
2.4.5 Budućnost čišćenja	25
2.5 Priča o tvarima i energiji dobivenoj iz otpadnih voda	25
2.6 Priča o ljudima koji brinu o kanalizacijskoj mreži i rade na pročistaču	31
2.7 Cijene vode	33
3 Opis tehnologija UPOV	35
3.1 Mehaničko čišćenje	36
3.2 Biološko čišćenje.....	38
3.3 Tercijarno čišćenje.....	41
3.4 Upravljanje muljem.....	43

Naslovnica

Ovaj dokument izradio je kolektiv autora: Jitka Czakořová, Martin Srb, Helena Bakeřová, Jakub Sochor, Denisa Čadková, Lenka Procházková, Jindřich Procházka, Andrea Benáková, Eliška Maršálková, Jana Šmídková i Jiří Paul, kao dio projektog rješenja:



Od kohoutku do záchodu

Tento projekt je financován Evropskou unií v rámci Národního plánu obnovy.

Projekt cílí na zlepřování kvality odborných exkurzí a odborných přednášek či demonstrací v oblasti vody. Primárně se zaměřuje na poskytnutí podpory a materiálů pro učitele, odborníky a pracovníky vodořospodářských společností, kteří provádějí exkurze.

Realizace projektu: únor 2024 – červenec 2025

Voditelj projekta je Udruga za vode



1 Opći uvod

Dobro došli u metodologiju za izlete u postrojenja za pročišćavanje otpadnih voda (WTP). Uređaji za pročišćavanje otpadnih voda iznimno su važni za zaštitu okoliša i zdravlja ljudi. Ova metodologija pružit će vam opći uvod i smjernice kako pročišćivač otpadnih voda predstaviti kao fascinantno mjesto na kojem se odvija priča o vodi, tvarima i energiji, ali i ljudima koji tamo rade. Cilj ekskurzije nije samo upoznati studente s osnovnim principima pročišćavanja otpadnih voda, već ih motivirati na odgovoran odnos prema vodi i okolišu.

Metodologija je izrađena tako da se može koristiti na većim i manjim uređajima za pročišćavanje otpadnih voda. U poglavlju Opis tehnologija pronaći ćete pregled tehnologija čišćenja među kojima možete odabrati samo one koje imate na određenoj lokaciji i uključiti ih u izlet.

Metodika je namijenjena učenicima osnovnih i srednjih škola, ali i najznatijeljnim sudionicima ekskurzija. Odlomci označeni bojama koriste se za razlikovanje različitih razina.

1.1.1 Legenda razine:

Osnovne škole - zbog nastave kemije i drugih predmeta prvenstveno se računaju učenici drugog razreda osnovne škole (tj. cca. 11-15 godina starosti).

Srednje škole - cca. 15-19 godina iz različitih škola (gimnazija, industrijske škole, naukovanje...).

Radoznalo - korisno, primjerice, za terenske izlete na izborne seminare iz kemije ili okoliša u maturalnim godinama ili za tehničke klubove mladih i druge interesne ustanove i neformalno obrazovanje.

Izlet je moguće voditi s različitih stajališta, koja možete kombinirati i tako stvoriti cjelovit pogled na problematiku pročišćavanja otpadnih voda. Za vas smo pripremili tri – priču o vodi, priču o tvarima i energiji te priču o ljudima.

1.1.2 Priča o vodi:

Započnite obilazak predstavljanjem uređaja za pročišćavanje otpadnih voda kao mjesta gdje se odvija priča o vodi. Objasnite učenicima da otpadna voda koju proizvodimo u našim domovima i industriji odlazi u postrojenje za pročišćavanje gdje se pročišćava i vraća u prirodu. Upoznati ih s procesom pročišćavanja vode i objasniti njegovu važnost za zaštitu okoliša.

1.1.3 Priča o materiji i energiji:

Zatim se usredotočite na priču o tvarima i energiji koje se recikliraju u postrojenju za pročišćavanje otpadnih voda. Objasnite učenicima da postrojenje za pročišćavanje koristi različite tehnologije i procese za uklanjanje nečistoća iz otpadnih voda. Pokažite im kako se iz otpadnih voda dobivaju vrijedne tvari poput fosfora ili dušika koje se dalje koriste, primjerice, u poljoprivredi. Također spomenite korištenje energije dobivene iz otpadnih voda, primjerice za grijanje postrojenja za pročišćavanje ili proizvodnju obnovljive električne energije i biometana.

1.1.4 Narodna priča:

Neka učenici upoznaju i priču o ljudima koji rade na postrojenju za pročišćavanje otpadnih voda. Upoznajte ih s različitim profesijama i zanimanjima koja se nalaze u postrojenju za pročišćavanje, kao što su kemičari, tehničari ili operateri. Objasnite važnost njihovog rada za zaštitu okoliša i na koji način brinu o ispravnom radu uređaja za pročišćavanje.

1.1.5 Kako se pripremiti za ekskurziju?

Kako bi ekskurzija zainteresirala posjetitelje, a ujedno iz nje ponijela znanje za sljedeći život, potrebno je za nju se pripremiti i interpretaciju prilagoditi publici, njezinoj dobi, iskustvu i interesima. Istodobno, ekskurziju je dobro učiniti što interaktivnijom (čime se razlikujete od ostalih eksplanativnih satova, npr. obilazaka dvoraca i dvoraca). Ne zaboravite da su ekskurzije s dužim teoretskim dijelom prikladnije za srednjoškolce. Mlađi sudionici imaju znatno nižu razinu koncentracije, zbog čega je potrebno razmišljati što praktičnije, čak i pod cijenu manjeg obima prenesenih informacija.

Posebno je dobro znati:

- **Koliko će posjetitelja doći?**

Ne samo što se tiče prijevoda, jer pozornost opada s povećanjem broja sudionika, već i što se tiče tehničkog uređenja – hoće li me svi čuti? možemo li stati u pojedinačne stanice? ili u kontrolnu sobu? Ako imate dovoljno vodiča, nemojte se bojati podijeliti grupu u nekoliko manjih skupina.

- **Koliko imaju godina i iz koje su škole?**

Učenici industrijske škole usmjerene na automatizaciju bit će zainteresirani za drugačije informacije od učenika humanističkih gimnazija, a oni pak za drugačije informacije od budućih medicinskih sestara; ekskurzija će izgledati drugačije za učenike 6. razreda osnovne škole bez znanja kemije.

- **Koja je svrha ekskurzije?**

Da li primarno prenijeti teoretsko znanje o procesima čišćenja ili je teorijski sat već održan u školi i cilj ekskurzije je pokazati stečeno znanje u praksi; ili predstaviti opis poslova zaposlenika (karijera u vodnom sektoru).

- **Koliko vremena imate za ekskurziju?**

Tipično vrijeme je dva nastavna sata, tj. otprilike 1,5 sat; međutim, to ne ovisi samo o dobi sudionika, već i o udaljenosti između škole i zgrade Čistače - ovaj aspekt obilaska uvijek je potrebno unaprijed dogovoriti s nastavnim osobljem.

Dobro je unaprijed pripremiti opće informacije o pročišćavanju otpadnih voda, na primjer:

- **Koliko će vode protjecati kroz uređaj za pročišćavanje otpadnih voda u stanju bez kiše u sekundi, dnevno, godišnje? Koliko vode UPOV može očistiti za vrijeme jake kiše (tj. kada je kapacitet popunjen)?**

Za bolju predodžbu, preporučljivo je pretvoriti vrijednosti u neke pristupačnije jedinice, pogledajte tablicu u nastavku.

Jedinica	Volumen
Olimpijski bazen (dubina 2,5 m)	3.125 m ³
seoski ribnjak	reda veličine tisuća m ³
željeznička cisterna	46–90 m ³
tenk na šasiji T815	9 m ³
tenk na šasiji V3S	3,5 m ³
kupka	100–200 l

kanta	star 12 godina
kanta za zalijevanje vrta	5 l

- **Koliki je udio otpadnih voda, balastnih voda i voda iz industrije?**
- **Iz kojih dijelova grada/općine pročišćavate otpadne vode na određenom UPOV-u?**

Da li se cijelo područje grada/općine odvodi na ovaj UPOV ili se neka područja drugačije tretiraju. Ili postoji li neko drugo područje u blizini povezano s određenim UPOV-om.

- **Od koliko ljudi/kućanstava pročišćavate otpadne vode?**

Naravno, za ideju vam ne treba točan broj, već red veličine.

- **Koliko je duga kanalizacijska mreža i od kojeg je materijala?**

Opet, moguće je zumirati korištenjem npr. udaljenosti od izletišta ili centra grada/sela do grada XY; koliko benzinskih postaja i drugih zanimljivih objekata ima na njemu.

- **Koliko je električne energije potrebno za čišćenje otpadnih voda?**

Možete usporediti s potrošnjom kod kuće - prosječna potrošnja električne energije u Češkoj Republici 2023. za 1 kućanstvo bila je 3.500 kWh/godišnje (uobičajena potrošnja vode u postrojenju za pročišćavanje po 1 ekvivalentnom stanovniku je oko 50 kWh/EO).

- **U koji vodotok otječe pročišćena otpadna voda?**

Uz naziv vodotoka moguće je dodati i druge podatke kao što su:

Kakva je kvaliteta vode u potoku? Koliki je njegov protok? Koji dio protoka je otpadna voda iz uređaja za pročišćavanje?

- **Koliko košta pročišćavanje 1 litre vode?**

Razmisli o:

- **Gdje ćete voditi posjetitelje?**

S obzirom na njihovu sigurnost, sigurnost u prometu, kapacitet prostora, predviđeno vrijeme za obilazak i udaljenost između pojedinih lokacija.

- **Koje glavne informacije sudionici trebaju ponijeti s ekskurzije?**

Ovdje im nije uputno mijenjati ovlasti, dovoljno je da im oduzmu 3-4 ključne informacije.

- **Kako biste ih otprilike nazvali zajedno s vremenskom nadoknadom za pojedinačna zaustavljanja?**
- **Što ćete im pokazati i pokazati da mogu sami isprobati u vašim uvjetima?**
- **Što bi vas mogli pitati?**
- **Što u njihovim godinama niste razumjeli, a htjeli biste razumjeti?**
- **Što ćete ih pitati?**

Kako bi turu učinili interaktivnijom i ujedno saznali početno stanje znanja sudionika o zadanoj problematici.

Osigurajte i pripremite unaprijed:

- **Potrebni dokumenti koje zahtijeva operater objekta (na primjer, zdravlje i sigurnost, popis imena sudionika).**
- **Potrebna zaštitna oprema, po potrebi (zaštitni prsluci, kacige, rukavice,...).**
- Radni listovi za posjetitelje (po dogovoru s učiteljima).
- Pomagala za demonstraciju.

Na primjer, oprema za zahvat vode u pojedinim tehnološkim fazama, cilindar za taloženje mulja i sl. Također preporučamo izradu pojednostavljene tehnološke sheme, karte ili fotografije područja iz zraka (da se ili distribuira sudionicima ili, ako je potrebno, redovito prikazuje trenutna lokacija na velikom formatu).

- **Male nagrade za posjetitelje, ako su dostupne (na primjer olovke tvrtke, bomboni...).**
- Mogućnost korištenja toaleta i pranja ruku nakon izleta.

2 Vlastiti izlet

2.1 zdravlje i sigurnost

Kratka edukacija o sigurnosti i zdravlju na terenu prvi je obvezni dio svakog izleta. Nemojte podcjenjivati ovaj dio, iako se može činiti suvišnim ili nepotrebnim.

Tijekom edukacije o zaštiti na radu koristite interne smjernice svoje tvrtke ili možete koristiti prilog ove metodologije koji sadrži jednostavan pregled s čime upoznati sudionike ekskurzije.

Nadalje, preporučljivo je unaprijed poslati uvod u zdravlje i sigurnost te zatražiti potpisan popis imena sudionika s potvrdom da su unaprijed upoznati sa zdravljem i sigurnošću te obaviti samo kratko osvježenje o zdravstvenim i sigurnosnim točkama prije izleta.

Na početku izleta potrebno je naglasiti da sudionici neće moći jesti, piti niti se udaljavati od grupe tijekom izleta. Prije početka poželjno je ostaviti vremena za sudionike da na brzinu nešto prezaloga je ili odu na WC.

2.2 Važnost pročišćavanja gradskih otpadnih voda

? Pitanje: Zašto pročišćavamo vodu?

💡 Odgovor:

U prošlosti su kanalizacija tekla direktno u lokalne rijeke, potoke, bare, mora itd., a cilj je bio riješiti se otpadnih voda što je prije moguće. Međutim, onečišćenje vodotoka često je rezultiralo uništavanjem njihovih ekosustava, vodom su se širile bolesti i neugodni mirisi, a vodu nije bilo moguće koristiti za potrebne aktivnosti.

Pročišćavanje vode posebno je važno s obzirom na korištenje rijeke nizvodno od uređaja za pročišćavanje otpadnih voda. Kada ne bismo dovoljno očistili otpadne vode, došlo bi do opasnosti za zdravlje stanovništva. Voda ispod uređaja za pročišćavanje otpadnih voda može se koristiti za rekreaciju, kao izvor pitke vode ili za navodnjavanje. Pročišćavanje vode sprječava prijenos klica, bakterija i kemikalija koje mogu uzrokovati bolesti, infekcije i pospješiti proces eutrofikacije.

ZŠ: Čišćenje komunalnih otpadnih voda od temeljne je važnosti za zaštitu okoliša i zdravlja ljudi. Ovaj problem prati čovječanstvo od davnina, kada su se prve civilizacije borile s utjecajem onečišćene vode na svoje stanovnike.

SŠ: U starom Rimu postojao je razrađen sustav kanalizacije i kolektora koji je odvodio otpadnu vodu iz grada. Unatoč tome, bolesti poput kolere i dizenterije uzrokovane zagađenom vodom nastavile su se širiti. Povijesno gledano, te su epidemije odnosile milijune života i dovele do potrebe da se problem kanalizacije riješi na učinkovitiji način.

Prijelomni trenutak bilo je otkriće mikroorganizama i njihove uloge u razgradnji organskih tvari u 19. stoljeću. To je omogućilo razvoj bioloških postrojenja za pročišćavanje otpadnih voda koja koriste prirodne biološke procese za uklanjanje onečišćujućih tvari. Prvo moderno postrojenje za pročišćavanje otpadnih voda pušteno je u rad u Britaniji 1892.

Danas je pročišćavanje otpadnih voda prijeko potrebno za održavanje kvalitete vodnih resursa i zaštitu okoliša. Ispuštanje nepročišćene kanalizacije u rijeke, jezera i mora imalo bi razorne učinke na vodene ekosustave, ubijajući ribu i druge vodene životinje i onemogućavajući korištenje vode u rekreacijske svrhe ili za proizvodnju pitke vode.

Primjer može biti situacija u Indiji, gdje je rijeka Ganga jedna od najzagađenijih rijeka na svijetu zbog ispuštanja nepročišćene kanalizacije iz gradova i industrija. Ovo onečišćenje ne samo da prijeti lokalnim ekosustavima, već predstavlja i ozbiljan zdravstveni rizik za milijune ljudi koji ovise o rijeci.

Naprotiv, pravilno pročišćavanje otpadnih voda omogućuje sigurno ispuštanje pročišćene vode natrag u vodotokove bez njihovog onečišćenja. Na taj se način štite vodeni ekosustavi, čuva kakvoća pitke vode i smanjuje opasnost od širenja bolesti. Pročišćavanje otpadnih voda također omogućuje recikliranje i ponovno korištenje vrijednih resursa kao što su hranjive tvari i energija sadržani u otpadnoj vodi.

Jasno je da je pročišćavanje komunalnih otpadnih voda ključan čimbenik održivog razvoja naših gradova i općina te zaštite okoliša za sadašnje i buduće generacije.

Zanimljivo: U ljeto 1858. u Londonu se pojavio takozvani Veliki miris. U to vrijeme u Londonu je živjelo oko 2 milijuna ljudi i brojka se stalno povećavala. Prvotno se na zahod odlazilo u loncima koji su se praznili u septičke jame, koje su se izvozile izvan grada na polja, a njihov sadržaj seljaci su koristili kao gnojivo, ali i za proizvodnju baruta. Međutim, kako se broj ljudi povećavao, jame više nisu bile dovoljne, a pojavili su se i WC-i na ispiranje, pa se količina otpadnih voda dodatno povećala. Uprava Londona konačno je odlučila da će se kanalizacija u početku ispuštati kroz oborinske odvode u Temzu. Rijeka se pretvorila u odvod. U njemu je završilo sve, od sadržaja WC-a do mrtvih pasa, raspadajuće hrane i industrijskog otpada, uključujući dijelove životinja iz klaonica i kemikalije iz kožara. Osim toga, ljeto 1858. godine bilo je izrazito vruće, pa se otpad u rijeci razgrađivao brže nego inače. Otpad u rijeci "doslovno je ključao i fermentirao", a smrad je bio takav da su ljudi povraćali i padali u nesvijest na ulicama, kraljica Viktorija je otkazala riječna krstarenja, a parlament nije mogao zasjedati. Nije pomoglo ni 250 tona klornog vapna izlivenog u rijeku. Na kraju je odlučeno da se izgradi novi, cjeloviti kanalizacijski sustav u dužini od 1.800 km koji će odvoditi vodu ispod grada (izgradnja je započela već sljedeće godine). Nakon njegovog završetka više nikada nije bilo epidemije kolere u Londonu.

? Pitanje: Što je eutrofikacija?

💡 Odgovor: Eutrofikacija se odnosi na proces obogaćivanja vode hranjivim tvarima, posebno dušikom i fosforom sadržanim u urinu i izmetu. Razlikuju se prirodna i neprirodna eutrofikacija (uzrokovana ljudskim djelovanjem). Zbog velike količine hranjivih tvari u vodi se razmnožavaju plankton, a također i cijanobakterije (cvjetanje vode), što rezultira smanjenjem kisika u vodi, što se očituje njezinim truljenjem, smrću riba i drugih organizama koji žive u vodi.

U većini zemalja postoje zakonski zahtjevi za kvalitetu vode i tretman vode koji se moraju poštovati. Ovi su propisi osmišljeni za zaštitu zdravlja ljudi i okoliša.

2.3 Razvoj pročišćavanja otpadnih voda

Ekskurziju je moguće započeti kratkim povijesnim uvodom o razvoju pročišćavanja otpadnih voda na određenom području. Cilj ovog odjeljka nije ići u velike detalje, već samo ukazati na važne prekretnice. Informacije o lokalnom razvoju možete pronaći u arhivi poduzeća ili arhivi nadležne općine. Nadalje, preporučljivo je obavijestiti posjetitelje ako će se uređaj za pročišćavanje razvijati u narednim godinama, na primjer, povećavati se na temelju sve većeg broja stanovnika.

Ako povijesni podaci nisu dostupni, možete koristiti sljedeće odlomke za kratki uvod, koji se bave općim razvojem zbrinjavanja otpadnih voda i pročišćavanja otpadnih voda.

Osnovna škola: Preporučamo da učenike ne opterećujemo točnim datumima, već da spomenemo samo najveće promjene koje su se dogodile na pročišćavaču tijekom njegovog postojanja.

Srednja škola: S ovim učenicima već možete ići u više detalja, ali pokušajte podatke prošarati raznim zanimljivostima i pričama, primjerice iz rekonstrukcije.

Opća povijest industrije čišćenja u Češkoj

Proces pročišćavanja otpadnih voda proširio se u Češku iz Engleske, gdje su krajem 19. stoljeća postavljeni prvi uređaji za pročišćavanje (mehanički ili mehaničko-kemijski). Ovi uređaji za pročišćavanje također uključuju Stari uređaj za pročišćavanje otpadnih voda u Pragu u Bubenču. Zanimljivo je da se ovo postrojenje za čišćenje nalazi ispod zemlje.

Početak 20. stoljeća proces aktivacije otkriven je u Manchesteru u Engleskoj. Dva britanska kemičara (Edward Arden i William Lockett) provodili su eksperimente s prozračivanjem otpadnih voda i otkrili da se u vodi stvara suspenzija, što je skratilo vrijeme pročišćavanja otpadnih voda. Ovu su suspenziju nazvali aktivni mulj. Širenje ovog otkrića usporili su Prvi i Drugi svjetski rat, a šire se proces primijenio tek nakon Drugog svjetskog rata (nakon 1945.). Prvo postrojenje za pročišćavanje otpadnih voda s biološkim pročišćavanjem postupkom aktivacije bilo je UPOV Modřice (1961.). Ovaj proces je kasnije korišten u Pragu 1968.

2.4 Priča o vodi

2.4.1 Izvor otpadnih voda



Savjet za tumačenje: Ovdje ima dosta prostora za razmišljanje sudionika ekskurzije. Što sve ide u kemijsku čistionicu? Odakle? Gdje se kod kuće stvara otpadna voda (WC, tuš, perilica posuđa, perilica rublja itd.) i u kojoj količini? Koji su drugi izvori otpadnih voda u blizini (industrijska poduzeća, poljoprivreda, bolnice, škole, restorani,...)? Što bi se dogodilo da otpadne vode ne pročišćavamo i ispuštamo direktno u rijeku? Kod navođenja organskog onečišćenja može se navesti i broj ekvivalentnih stanovnika. Zaključno, prikladno je reći kako stanovnici plaćaju pročišćavanje otpadnih voda.

? Pitanje: Gdje se odvodi otpadna voda?

💡 Odgovor: Otpadna voda je voda koju smo koristili, a sada je zagađena. Ova voda dolazi iz naših domova (WC, perilica posuđa, perilica rublja,...), tvornica, bolnica i ureda. Tu spada i kišnica koja za vrijeme oluje ili jake kiše nije upila u tlo, već je otjecala u odvod. Sva ta voda otječe u cijev koja je odvodi u uređaj za pročišćavanje otpadnih voda na čišćenje kako bi se vratila u prirodu.

ZŠ: Raspravite općenito koji su izvori otpadnih voda u kućanstvu - što misle gdje imaju najveću potrošnju vode i što se nalazi u otpadnim vodama (voda, krute čestice, plutajuće čestice, ulja, masti).

Radoznali: Prema podrijetlu otpadne vode dijelimo na:

- *kanalizacijska otpadna voda (ili kanalizacija) - dolazi iz kućanstava i društvenih objekata*
- *industrijske otpadne vode - dolaze iz industrije (iz tvornica)*

? Pitanje: Što sadrži otpadna voda?

💡 Odgovor: Onečišćenje vode čine otopljene i neotopljene tvari. Otopljene tvari mogu biti biorazgradive (npr. monosaharidi) ili nebiorazgradive (npr. azo boje). Otopljene tvari koje se nalaze u otpadnoj vodi također uključuju otopljene anorganske soli. Neotopljene organske tvari u otpadnim vodama opet se dijele na razgradive (škrob, celuloza) i nerazgradive (plastika). Neotopljene anorganske tvari uključuju, na primjer, pijesak i šljunak. U vodu koja dotječe spadaju i stvari koje više liče na komunalni otpad. No, njima nije mjesto u kanalizaciju i u nju nikako ne smiju ulaziti. Nadalje, u vodi postoje bakterije i mikrobi koji mogu uzrokovati bolesti.



Savjet za tumačenje: Iskoristite ovu priliku da sa sudionicima raspravite što ne spada u otpad. It is usually advisable to have this discussion in a place where you can see the flowing water and it is possible to immediately point out objects that do not belong in the waste water. Također je preporučljivo pitati o njihovoj praksi kod kuće i možda također o tome što rade s uljima i mastima.

Osnovna škola: Za starije učenike možete izravno postavljati usmjeravajuća pitanja o kemijskom sastavu otpadne vode - koje se organske ili anorganske tvari nalaze u otpadnoj vodi.

? Pitanje: Koliko otpadne vode čovjek proizvede?

💡 Odgovor: Količina i kvaliteta otpadne vode koju proizvodi čovjek može varirati. Za potrebe projektiranja uređaja za pročišćavanje stvorena je jedinica pod nazivom ekvivalentna populacija (EO) koja odražava prosječnu količinu i kvalitetu otpadne vode koju proizvede jedan stanovnik u jednom danu. Količina onečišćenja koju proizvodi jedan EO odgovara:

1 EO = 120-150 l/d otpadne vode

1 EO = 60 g/d organske tvari (BPK5) 1 EO = 11 g/d N ukupno 1 EO = 2,5 g/d P ukupno

BPK5 (biološka potrošnja kisika) je analitička metoda za određivanje organskih tvari koje su podložne biokemijskoj razgradnji u aerobnim uvjetima. Drugim riječima: biološka potreba za kisikom izražava koliko kisika treba bakterijama da uklone organsko onečišćenje u otpadnoj vodi.

Na uređaj za pročišćavanje otpadnih voda u pravilu su priključeni i industrijski objekti. Za procjenu onečišćenja izrađuju se pretvorbene tablice uz pomoć kojih možemo izračunati onečišćenje koje odgovara ekvivalentnim stanovnicima.

Na primjer:

Proizvodnja 1 tone repe u tvornici šećera odgovara 45-70 EO.

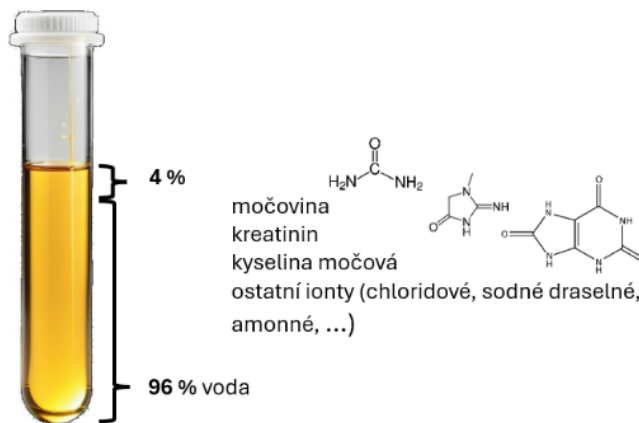
Proizvodnja 1 m³ piva odgovara 150-350 EO.

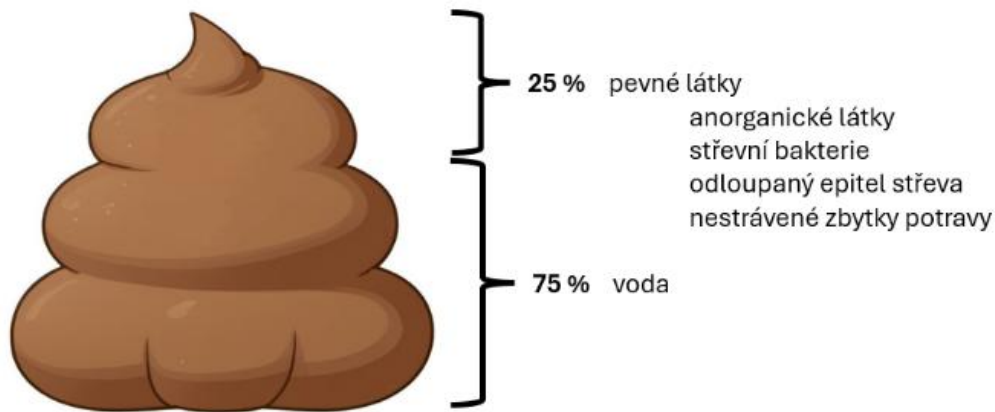
Pranje 1 tone rublja u praonici odgovara 350-950 EO.

? Pitanje: Koje tvari sadrže ljudski urin i izmet?

💡 Odgovor: Urin i izmet su otpadni proizvodi ljudskog metabolizma. Urin se proizvodi filtriranjem krvi u bubrežima, a stolica se stvara u debelom crijevu.

Sastav ljudskog urina i stolice prikazan je na sljedećim slikama. Sa stajališta pročišćavanja otpadnih voda, urin je važan izvor dušika. S druge strane, fekalije su izvor fosfora i organskih tvari. Organske tvari potječu iz ostataka hrane koja nije u potpunosti probavljena u našem tijelu.





? Pitanje: Razlikuje li se sastav otpadnih voda u različitim gradovima/lokacijama ili je svugdje isti?

💡 Odgovor: Otpadne vode iz kućanstava i društvenih objekata (kanalizacija) imaju približno isti sastav. Što se tiče industrijskih otpadnih voda, njihov sastav uvelike ovisi o vrsti industrije. Priroda onečišćenja snažno utječe na tehnologiju koja se koristi u UPOV-u.

? Pitanje: Što smije, a što ne spada u WC?



Savjet za tumačenje: U ovom odjeljku preporučljivo je educirati posjetitelje o tome što ne spada u kanalizaciju, odnosno što se ne smije baciti u WC školjku, kuhinjski sudoper ili sudoper kod kuće.

💡 Odgovor: Kanalizacija ne uključuje:

- ostaci hrane
- otpad iz kuhinjskih sjeckalica
- masti i ulja
- higijenske potrepštine – vlažne i kozmetičke maramice, štapići za vatu, jednokratne pelene,...
- komunalni otpad
- kemijski ostaci, ili možda živa

Zanimljivo: Božić je kritično vrijeme kada je loša navika ljudi bacati ogromne količine ulja u smeće. Ulju je mjesto u spremnicima za ulje ili u sabirnom dvorištu.

? Pitanje: Zašto ovim stvarima nije mjesto u kanalizaciju?

💡 Odgovor: Zato što mogu oštetiti ili začepiti kanalizacijske cijevi i opremu na uređaju za pročišćavanje otpadnih voda. Na primjer, masnoća se taloži na stijenkama kanalizacije, a zatim se na njoj hvataju druge nečistoće (salvete, higijenske potrepštine,...). To može dovesti do potpunog začepjenja cijevi, a otpadna voda tada nema kamo otjecati. Ne radi se samo o cijevima koje vode otpadnu vodu do postrojenja za pročišćavanje, začepjenja se mogu pojaviti i u kanalizacijskim cijevima u vašem domu. U takvom slučaju, lijek je vrlo kompliciran i neugodan. Ili, u slučaju ostataka hrane, mogu podržati obilje štakora u kanalizaciji, koji mogu prenositi bolesti i općenito su nepoželjni gosti u gradovima i domovima, s kojima se tada treba pozabaviti istrebljenjem kanalizacije. Kod opasnih tvari i kemikalija postoji opasnost od oštećenja tehnologije uređaja za pročišćavanje, posebice biološkog procesa, kao i ugrožavanja osoba koje rade na kanalizacijskom sustavu i na uređaju za pročišćavanje.

Radoznali: Najpoznatiji slučaj začepjenja kanalizacije masnoćama i ostalim otpadom iz kanalizacije je iz Londona 2017. Nagomilani materijal bio je 250 metara dugačak i 130 tona težak. Bilo je potrebno 9 tjedana rada da se to ukloni. Na engleskom je čak skovan naziv "Fatberg" za ovo "naslage", koje je nastalo od riječi "fat" - salo i "iceberg" - santa leda, na češkom bi se moglo zvati "tukovec".

2.4.2 Put vode do uređaja za pročišćavanje otpadnih voda



Savjet za tumačenje: Ovdje je dobro znati odakle otpadna voda teče do vašeg uređaja za pročišćavanje (iz kojih gradova/mjesnih četvrti/općina), kolika je to količina (po godini i po sekundi), od koliko ljudi dolazi, koliko je duga kanalizacijska mreža koja dovodi vodu, koliko je vremena potrebno da otpadna voda teče do uređaja za pročišćavanje. Možete napraviti anketu među posjetiteljima čije otpadne vode teku ovdje, gdje teku otpadne vode iz njihove škole i slično.

? Pitanje: Kako se otpadna voda ispušta u uređaj za pročišćavanje otpadnih voda?

💡 Odgovor: Otpadne vode iz zgrada ispuštaju se kroz cijevi koje se otvaraju u veće cijevi tvoreći kanalizacijsku mrežu. Kanalizacijska mreža je transportni sustav koji prenosi otpadnu vodu od mjesta gdje nastaje do mjesta gdje se pročišćava. Kanalizacijska mreža je podzemna, ali kuda prolazi možemo vidjeti po okruglim poklopcima šahtova na ulici.

Kanalizacijski sustav, odnosno kanalizacijska mreža, može se projektirati u različitim stilovima ovisno o tome odvođe li se kanalizacija i oborinska voda zajedno. Jedinstvena mreža u kojoj se, kako i samo ime kaže, odvodi sva otpadna voda bez obzira na vrstu, odnosno otpadna voda se odvodi zajedno s oborinskom. Kanalizacijska mreža u kojoj se otpadna i oborinska voda ispuštaju odvojenim putovima i ne miješaju se naziva se zasebnim sustavom. Otpadne vode ispuštaju se u uređaj za pročišćavanje otpadnih voda, dok se oborinske vode ispuštaju npr. u vodotok.

Nedostatak objedinjene kanalizacijske mreže je njeno preopterećenje tijekom jakih kiša. Kanalizacijska mreža projektirana je za maksimalnu količinu otpadnih voda koju može primiti, a isto vrijedi i za uređaj za pročišćavanje otpadnih voda. U slučaju prekoračenja kapaciteta kanalizacijske mreže ili uređaja za pročišćavanje otpadne vode koje su "ekstra" padaju kroz rasterećenje izravno u vodotok. Ova neprečišćena otpadna voda, koja sadrži, na primjer, otpadnu vodu iz zahoda, zagađuje vodotok.

Mogućnost smanjenja količine kišnice koja dospije u kanalizacijski sustav je ciljano hvatanje kišnice. Oborinska voda koja bi se niz nogostup, cestu ili npr. krov slijevala u kanal, odvodi se tako da dospijeva u tlo, gdje je mogu iskoristiti biljke.

Osnovna škola: Saznaj koliko je udaljena škola iz koje su došli i usporedi je s duljinom kanalizacijske mreže. Neka pogode vrijeme potrebno da otpadna voda stigne do uređaja za pročišćavanje. Razgovarajte gdje i zašto se nalaze šahtovi iz kanalizacije (glavne ceste). Moguće je pitati o raznim objektima i uređajima kanalizacijske mreže s kojima su se susreli – najčešće će spomenuti kanal, možete im reći da se ispravno nazivaju odvod ili gula.

Radoznali: Na ulicama najčešće možemo susresti dva objekta, koji se obično nazivaju "kanal". Možda ste primijetili da neki "kanali" imaju rešetku i omogućavaju protok vode. To su kanalizacijski odvodi, koji se također nazivaju gula. Ali neki otvori imaju ili samo malene rupe ili ih uopće nemaju. To su poklopci kanalizacijskih šahtova koji omogućuju pristup objektima kanalizacijske mreže. Obično skrivaju priključak, neku promjenu smjera kanalizacije (probija šaht), ili se radi o revizijskom oknu koje se redovito postavlja kako bi se osigurao pristup kanalizaciji i njeno čišćenje vodom pod pritiskom i posebnom opremom.

? Pitanje: Zašto kanalizacija smrdi?

💡 Odgovor: Razgradnjom organskih spojeva u kanalizacijskoj mreži nastaju plinovi koji uzrokuju jak miris. Do razgradnje organskih spojeva dolazi na mjestima gdje je slab protok otpadnih voda ili nedovoljan nagib kanalizacijske mreže. Razgradnjom organskih spojeva koji sadrže sumpor nastaje sulfan, koji je otrovni plin. Sulfan miriše na pokvarena jaja.

Protok zraka u kanalizacijskom sustavu također igra značajnu ulogu. Ako u kanalizaciji ima dovoljno kisika, truljenje je minimalno.

Za vrijeme jake kiše sva taložena nečistoća ispire se u kanalizacijsku mrežu. Prvi val otpadnih voda koji stiže u uređaj za pročišćavanje stoga je vrlo koncentriran.

Osnovna škola: Učenicima možete dati prostora i pitati jesu li ikada osjetili miris kanalizacije i s čime bi ga usporedili.

SŠ: Sulfan miriše već u koncentracijama od 0,5 ppm (čestica na milijun). Ovdje možete pitati učenike za savjet - koliko misle da molekula mora biti u kanalizaciji da bismo osjetili miris sulfana? Ovo će pitanje potaknuti učenike na razmišljanje i upoznati ih s novim jedinicama ppm koje se često koriste za izražavanje koncentracije u SAD-u.

Sulfan dakle smrdi od koncentracije, kada je u zraku jedna molekula sulfana na dva milijuna molekula zraka (kisik + dušik). Ili pri sadržaju od 0,00005% sulfana u zraku. Dakle 0,5 ml sulfana u 1 m³ zraka.

? **Pitanje: Žive li neke životinje u kanalizaciji?**

💡 Odgovor: U kanalizacijskoj mreži ima štakora, bacanjem ostataka u otpad osiguravamo im izvor hrane. Iz tog razloga, mogu se čak razmnožiti u nekim gradovima. U proljetnim i ljetnim mjesecima provodi se njihovo istrebljenje, kada se u kanalizacijsku mrežu postavljaju otrovne zamke kako bi se populacija štakora održala na razumnoj razini. Hubex se koristi za istrebljenje štakora - zamke za hranu pogodne za vlažne sredine. Sadrže npr. krušne mrvice, krupicu, kukuruz, čokoladu, mast i aktivnu tvar antikoagulans.

Štakor se često pogrešno smatra štakorom. Štakor ima svjetlije krzno, veći je, ima kraći rep od tijela i voli vlažnu okolinu. Dok štakor ima do crno-sivo krzno, manji je, ali mu je rep duži od tijela i ne voli vlažnu okolinu.

? **Pitanje: Kolika je temperatura u kanalizaciji?**

💡 Odgovor: Temperatura otpadne vode u kanalizaciji ovisi o godišnjem dobu, kreće se od 8 do 20 °C.

? **Pitanje: Kakvog je oblika kanalizacija?**

💡 Odgovor: Poprečni profili kanalizacije mogu imati različite oblike. Osnovni oblik je kružni. Drugi oblik je ovalni oblik, koji je idealan za jednolike odvođe s fluktuirajućim protokom. Profil usta se koristi kada je nedovoljna visina otkrivke.

? **Pitanje: Od kojih je materijala napravljena kanalizacijska mreža?**

💡 Odgovor: Kanalizacijska mreža mora biti izgrađena od materijala koji su otporni na abraziju, koroziju, kemikalije i djelovanje mikroba. Za izgradnju kanalizacijske mreže koristi se kamenina, beton, lijevano željezo, bazalt, kanalizacijska opeka (zvonoblokovi) ili plastika.

Znatiželjan: U gradnji kanalizacije prije su se koristile posebne keramičke opeke, tzv. zvonaste opeke. To su vrlo tvrde opeke od posebne gline, koje se dva puta peku u ciglanskoj peći na reducirajućem plamenu. Stare mreže za čarape mogu se vidjeti, primjerice, u Rimu (Forum Romanum) ili u Pragu, gdje se nekoliko puta godišnje otvara Ulaz za strance (kod Starogradskog astronomskog sata). Ovdje je moguće ući u spojnu komoru koja je izgrađena prije više od sto godina.

2.4.3 Postrojenje za pročišćavanje otpadnih voda



Savjet za tumačenje: Ovaj dio treba sastaviti tako da odgovara vašem specifičnom postrojenju za čišćenje. U sljedećim odlomcima pronaći ćete općenito opisane korake za pročišćavanje otpadnih voda. Za detaljnije objašnjenje pojedinih tehnologija koje se nalaze na vašem uređaju za pročišćavanje, možete koristiti poglavlje 3. Opis tehnologija UPOV-a. Ovo poglavlje zamišljeno je kao tzv. katalog, iz kojeg možete odabrati samo one dijelove koji Vam odgovaraju u interpretaciji izleta.

? Pitanje: Gdje i kako se čiste otpadne vode?

💡 Odgovor: Na postrojenju za pročišćavanje otpadnih voda.

Kanalizacijska mreža dovodi otpadne vode do uređaja za pročišćavanje otpadnih voda, gdje počinje njihovo pročišćavanje. Male količine onečišćenja može sama priroda očistiti, taj se proces naziva samočišćenje. Uređaj za pročišćavanje otpadnih voda koristi iste principe kao i priroda, samo mi stvaramo optimalne uvjete da se oni što brže odvijaju.

Način na koji će se voda pročišćavati ovisi o određenoj lokaciji, ovisno o tehnologijama kojima je uređaj za pročišćavanje opremljen, vrsti otpadne vode koja dotječe, kao i o količini vode koja se pročišćava.

Ako je moguće, otpadna voda kroz uređaj za pročišćavanje teče gravitacijom, odnosno gravitacijskim padom. To je osobito povoljno u smislu potrošnje električne energije. Uštedjet ćemo energiju koju bismo inače koristili za rad crpki.

Najprije moramo ukloniti velike predmete koji plutaju u vodi ili su na dnu. To može biti, na primjer, kamenje, pijesak, ostaci hrane ili vlažne maramice. Ovi predmeti se uklanjaju na način da se protok vode uspori, a nečistoća taloži na dno (šljunkolov, pijeskolov) ili se uhvati na rešetke ili sita (češljaonica). Osim navedenih objekata, u vodi su prisutne i neotopljene organske tvari koje se hvataju u taložnicama. Ovaj taloženi materijal, koji se naziva primarni mulj, ispumpava se za daljnju obradu u sustav upravljanja muljem. Tada u vodi ostaje onečišćenje koje nije vidljivo golim okom, odnosno otopljeno je u vodi.

Otopljeno onečišćenje može u određenoj mjeri ukloniti bakterije i druge mikroorganizme iz vode (aktivacijski spremnik). Tehnički, skupljanje tih bakterija naziva se aktivnim muljem, a proces čišćenja naziva se biološkim čišćenjem.



Savjet za tumačenje: Preporučljivo je dubinu opisa biološke obrade otpadnih voda prilagoditi ciljanj skupini. U nastavku nudimo varijante prema razini slušatelja.

ZŠ: *Na pročištaču te bakterije držimo kao životinje u zoološkom vrtu. Brinemo se o njima stvarajući im pogodne uvjete za život i dajući im otpadnu vodu kao hranu. Ovdje uzgajamo nekoliko vrsta bakterija. Kakvi su im uvjeti potrebni za život? Ovisi o njihovoj naravi, nekima je potrebno puno zraka za život, dok drugi cijene kada ga uopće nemaju. Zadovoljne bakterije žive zajedno i stvaraju takve male gradove, koje mi nazivamo pahuljicama, množe se i njihova populacija raste.*

SŠ: *Aktivni mulj sastoji se od mikroorganizama koje održavamo u potrebnoj količini na uređaju za pročišćavanje otpadnih voda. Mikroorganizmi u aktivnom mulju uključuju bakterije, protozoe (balegare, mekušce, rakove), metazoe (rotifere, nematode, crve) kao i plijesni, gljivice i kvasce.*

Savjet za interpretaciju: Ovdje bi bilo dobro djeci pokazati neke slike spomenutih mikroorganizama ili video, npr. na mobitelu, da ne bude samo dugo objašnjenje. Osim toga, možete potaknuti djecu da pitaju svog profesora biologije u školi za dodatne informacije.

Bakterije svojim metabolizmom transformiraju zagađenje iz otpadnih voda, tj. onečišćenje im služi kao hrana. Prema metabolizmu razlikujemo nekoliko vrsta bakterija. Bakterije koje oksidiraju organski supstrat (organotrofne), bakterije koje oksidiraju amonijačni dušik i nitritni dušik u nitratni dušik (nitrifikirajuće), bakterije koje reduciraju nitratni dušik u plinoviti dušik (denitrifikirajuće) i bakterije koje akumuliraju veću količinu fosfora (poli-P) u svojim stanicama. Pojedine vrste bakterija trebaju odgovarajuće uvjete kisika za svoj metabolizam - oksidirajuće bakterije trebaju kisik, redukcijske bakterije, s druge strane, trebaju uvjete praktički bez kisika. Stoga se uvjeti u pročištaču mijenjaju kako bi svaka vrsta bakterije mogla raditi svoj posao. Bakterije žive zajedno u ljuskicama, množe se i povećava se njihova količina odnosno koncentracija u sustavu.

Radoznalost: Postoji stalno žestoko natjecanje za resurse ("hranu") između pojedinačnih vrsta organizama u aktivnom mulju. Bakterija koja u zadanim uvjetima može dobiti najviše energije će se najviše razmnožavati i tako početi dominirati i istiskivati one manje uspješne. Različite skupine bakterija koje razgrađuju različite vrste onečišćenja nerijetko idealnim smatraju potpuno različite uvjete. Osim toga, većina bakterija može preraditi "hranu" različitim metaboličkim putovima. Na primjer, u prisutnosti kisika, oni uklanjaju organsku tvar pomoću takozvane aerobne respiracije, ali ako kisik nije dostupan, mogu prebaciti svoj metabolizam na mnogo manje povoljnu denitrifikaciju. Organizmi uvijek "odabiru" proces iz kojeg u danim uvjetima dobivaju najviše energije. Međutim, u postrojenjima za pročišćavanje često su nam potrebne i bakterije koje provode malo hranjivih reakcija i stoga sporo rastu. Trudimo se stvoriti najbolje moguće uvjete za njih i razmaziti ih. Tipičan primjer su nitrificirajući organizmi, za koje gradimo regeneracijske spremnike s viškom kisika, gdje se mogu "odmarati" i "probavljati" pohranjene tvari.

Organizmi aktivnog mulja doista su mikroskopski mali, veličine im se kreću od desetaka do jedinica mikrometara. Za referencu, jedan mikrometar je milijunti dio metra. Ovi sićušni organizmi mogu unositi samo male molekule hrane. Međutim, većina zagađivača u vodi mnogo je veća. Dakle, kako bakterije mogu probaviti ove veće nečistoće? Da bi to učinile, bakterije koriste posebne kemikalije koje se nazivaju egzoenzimi. Enzimi su tvari koje ubrzavaju ili usporavaju kemijske reakcije. U slučaju bakterija aktivnog mulja pomaže im proces koji se naziva hidroliza. Prefiks "exo" znači da te enzime ispuštaju bakterije iz svog tijela u okoliš. To je slično pauku koji ubrizgava svoje probavne sokove u muhu uhvaćenu u svoju mrežu. Umjesto muhe u paučini, u ovom slučaju imamo otpadnu vodu u spremniku. Duge molekule zagađivača dijele se na manje molekule uz pomoć egzoenzima. One su već dovoljno male da ih bakterije mogu prihvatiti unutar svojih stanica i tamo ih dalje prerađivati i probaviti.

Zatim bakterije nastavljaju u taložnike, gdje ih je potrebno odvojiti od pročišćene vode. Bakterije u pahuljicama (ili u svojim "gradovima") polako tonu na dno spremnika. Većinu bakterija moramo vratiti u proces kako bismo očistili novonadolazeću otpadnu vodu. Ovo je kontinuirani proces i ne možemo si priuštiti čekanje da izraste nova punopravna kultura mikroorganizama. A budući da se mikroorganizmi jako brzo množe, neki od njih se zbog "redundancije" uklanjaju iz procesa i pumpaju u sustav za upravljanje muljem na daljnju obradu.

Na vrhu taložnika nalazi se pročišćena voda koja se prelijeva preko rubova ili u potopljenu odvodnu cijev i otječe iz uređaja za pročišćavanje natrag u prirodu (npr. u vodotok).

Radoznalo: govoriti o aktivnom mulju samo o bakterijama je krajnje pojednostavljivanje. Aktivni mulj zapravo je cijeli mikrokozmos s bezbroj različitih vrsta bakterija koje dominiraju njime, ali osim njih, u aktivnom mulju se nalaze i viši mikroorganizmi kao što su razne protozoe, metamorfi, trepetljikaši, helminti, rotiferi ili grinje, a pod odgovarajućim uvjetima i na određenim mjestima i fotosintetizirajući organizmi poput algi.



Savjet za tumačenje: Ovdje je dobro upozoriti posjetitelje da ova voda nije za piće! I prikladno je objasniti zašto.

? Pitanje: Je li voda koja istječe iz postrojenja za pročišćavanje otpadnih voda pitka?

💡 Odgovor: Ovako pročišćena voda je dovoljno čista da ne zagađuje potok povećanom količinom organskih tvari, dušika i fosfora, ali nije za piće! To je slično pijenju vode izravno iz rijeke ili lokve. Iz ove vode potrebno je ukloniti bakterije koje mogu uzrokovati probavne smetnje.

? Pitanje: Gdje se proizvodi pitka voda?

💡 Odgovor: Na postrojenju za pročišćavanje pitke vode. Što je još jedan uređaj u kojem se voda za piće proizvodi od vode prirodnog podrijetla.

2.4.4 Kvaliteta i kontrola otpadnih voda



Savjet za tumačenje: Ostavlja se prostor za navesti u koji vodotok otječe pročišćena voda i koji je npr. razred kvalitete te je li protok u toku dovoljan.

Ako imate na raspolaganju mobilnu analitiku (pH sonda, kapljični testovi,...), posjetitelji mogu provjeriti kvalitetu otpadnih voda.

? Pitanje: Kako saznati da je pročišćena otpadna voda u redu?

💡 Odgovor: Kvaliteta otjecanja se procjenjuje na različite načine. Najlakše je koristiti osjetila (vid, njuh) - iskusni radnici pamte kako odvod normalno "izgleda", ako se nešto promijeni (boja, prozirnost, količina ljuškica, miris), traže uzrok. Druga pomoć su online sonde i analizatori (npr. mjerenje amonijaka, nitrata, mutnoće, fosfata,...), ali su vrlo skupi (više od desetaka tisuća do stotina tisuća CZK po komadu), pa se koriste na stvarno velikim postrojenjima za pročišćavanje. Također se mogu koristiti prijenosne sonde i "kapljični testovi", gdje se boja uspoređuje sa skalom boja. Najtočnije je određivanje tvari u laboratoriju.

? Pitanje: Kakvu kvalitetu treba imati pročišćena otpadna voda?

💡 Odgovor: Kvaliteta otpadnih voda iz uređaja za pročišćavanje podliježe zakonskim propisima. Češki propisi odgovaraju zakonodavstvu Europske unije. Granice su postavljene kako za granice pojedinih spojeva

tako i za učinkovitost uklanjanja pojedinih tvari na uređaju za pročišćavanje otpadnih voda. Razina ograničenja je stupnjevana prema veličini postrojenja za pročišćavanje, što je postrojenje za pročišćavanje veće, to su ograničenja stroža. Točna ograničenja za postrojenja za pročišćavanje određuju nadležna tijela za vodu, a svako postrojenje za pročišćavanje može imati malo drugačija ograničenja. Kvaliteta pročišćene vode koja istječe podložna je neovisnim provjerama nadležnih tijela, na primjer Češke inspekcije zaštite okoliša, vodnih tijela itd. Ako se ograničenja prekorače, operateri postrojenja za pročišćavanje plaćaju kazne.

Za mjerenje količine pročišćene otpadne vode na izlazu iz uređaja za pročišćavanje postavljaju se mjeraci protoka pročišćene vode. Najčešće se za mjerenje protoka vode koristi Parshall korito sa senzorom razine.

U nekim vodotocima (rijeke, potoci), efluent iz uređaja za pročišćavanje odgovoran je za veliki dio tekuće vode. Postoje i slučajevi kada je kvaliteta otpadnih voda iz uređaja za pročišćavanje veća od kvalitete vode u vodotoku. Ograničenja koja postavlja vodno tijelo mijenjaju se s obzirom na korištenje vode nizvodno (za rekreaciju ili zahvatanje vode za piće).

ZŠ: Nemojte ove učenike opterećivati detaljima zakonskih propisa, dovoljno je reći da pročišćena voda mora zadovoljiti određene parametre koncentracije ugljika, dušika i fosfora prije istjecanja u rijeku, a u njoj ne smije plutati velika količina neotopljenih tvari.

Srednja škola: Ovim učenicima možemo detaljnije objasniti kako funkcionira uzorkovanje i mjerenje protoka vode.

Radoznalo: Ako nekoga jako zanimaju ograničenja ispuštanja otpadnih voda, možete ga uputiti na Dekret br. 401/2015 Coll. Zanimljivost u zakonodavstvu je uvođenje dvije granice "m" i "p". Simbol "m" označava maksimalnu neprekoračenu granicu, a simbol "p" je dopuštenu granicu, koja se može prekoračiti u određenoj količini uzoraka otjecanja u dopuštenoj mjeri.

? Pitanje: Koje su mogućnosti daljnjeg pročišćavanja kako bi voda bila još čišća?

💡 Odgovor: U određenim slučajevima voda se obrađuje tzv. tercijarnim tretmanom (mehanički i biološki tretman može se označiti kao primarni i sekundarni), koji već uključuje specijalizirane metode namijenjene prilagođavanju specifičnih pokazatelja kvalitete vode karakterističnih ili značajnih za danu tretiranu vodu ili recipijent.

Tercijarno pročišćavanje se sve više primjenjuje na uređajima za pročišćavanje otpadnih voda, zbog postupnog pooštavanja ograničenja koja se ne mogu zadovoljiti korištenjem samo primarnog i sekundarnog pročišćavanja.

Tercijarne metode čišćenja uključuju dezinfekciju, membranske tehnologije, kemijsko taloženje fosfora ili filtraciju kroz sloj aktivnog ugljena. Drugim riječima, to su vodovodne metode.

ZŠ: Ako vaš uređaj za pročišćavanje nema niti jednu od tercijarnih tehnologija pročišćavanja, onda je dovoljno na kraju odvodnje reći da će zahtjevi za pročišćenom otpadnom vodom postupno rasti i iz tog razloga će se na uređaju za pročišćavanje pojaviti druge tehnologije.

Zanimljivo: 2024. godine bit će objavljena nova direktiva Europske unije o pročišćavanju otpadnih voda, koja će dramatično postrožiti ograničenja hranjivih tvari u ispuštenim otpadnim vodama.

2.4.5 Budućnost čišćenja

? Pitanje: Kako će izgledati pročišćavanje otpadnih voda u nadolazećim godinama i desetljećima?

💡 Odgovor: Na nekim pročišćavačima u svijetu već postoji terciarno i kvartarno pročišćavanje, odnosno sljedeći stupanj pročišćavanja, kada kvalitetna voda izlazi iz pročišćavača. Međutim, ta voda više ne odlazi samo u plovni put. Zbog svoje visoke kvalitete moguća je njeno reciklaža (ponovna uporaba).

? Pitanje: Za što se može koristiti reciklirana voda?

💡 Odgovor: Neke od mogućih upotreba reciklirane vode uključuju:


- navodnjavanje i poljoprivreda – navodnjavanje vrtova, urbanog zelenila, golf terena i poljoprivrednih površina
- industrijske primjene – korištenje u raznim industrijskim procesima kao što su hlađenje ili pranje
- uređenje – umjetna infiltracija ili punjenje jezera i fontana

U budućnosti će biti veliki pritisak na kvalitetu ispuštenih otpadnih voda, ne samo sa stajališta nutrijenata, već i mikropolutanata kao što su ostaci lijekova, geni otpornosti na antibiotike, mikroplastika, pesticidi itd.

U svijetu se naziv postrojenja za pročišćavanje otpadnih voda (na engleskom) već mijenja u postrojenje za regeneraciju vode u slobodnom prijevodu, odnosno mjesto gdje obnavljamo vodu.

Znatiželjan je: u vezi s otpadnim vodama često se govori o takozvanim mikropolutantima. Ovo je širok pojam koji uključuje tvari kao što su ostaci lijekova, hormoni, mikroplastika, pesticidi, tvari iz proizvoda za osobnu negu, neke tvari koje se koriste u industriji. Ovo je široka skupina tvari koje se u otpadnim vodama pojavljuju u vrlo niskim koncentracijama. Razina njihovog uklanjanja u postrojenjima za čišćenje je različita, uvijek ovisi o konkretnoj tvari. Njihovo uklanjanje otežava i činjenica da su njihove koncentracije u otpadnim vodama vrlo niske. Za njihovo učinkovitije uklanjanje u budućnosti će biti potrebno dopuniti tehnologije uređaja za pročišćavanje specijaliziranim stupnjevima, kao što su napredna kemijska oksidacija, sorpcija na aktivnom ugljenu i slično.

2.5 Priča o tvarima i energiji dobivenoj iz otpadnih voda

 **Savjet za tumačenje:** Kada pričate ovaj odjeljak, morate stvarno uzbuditi sudionike, jer u društvu još uvijek postoji velika stigma o pročišćavanju otpadnih voda. Ljudi razumiju potrebu za pročišćavanjem otpadnih voda, ali to doživljavaju samo kao nužnost. Sudionicima možete predstaviti novi pogled na ovu stranu stvari – u uređajima za pročišćavanje možemo dobiti vrijedne tvari prilikom čišćenja otpadnih voda, npr. aktivni mulj se smatra otpadom, ali se može promatrati i kao vrijedna sirovina! Sam mulj ima izvrsna gnojidbena svojstva, postupno otpušta hranjive tvari, a pomaže i u zadržavanju vode u tlu. Daljnjom preradom mulja možemo dobiti energiju (npr. preradom bioplina) kao i elemente sadržane u mulju - uglavnom fosforne i dušikove spojeve.

Otpadne vode sadrže nevjerojatno veliku količinu različitih tvari i energije. Na primjer, ako pogledamo ljudsku probavu, veliki dio tvari iz hrane odlazi u otpadne vode, jer naša probava nije potpuno savršena i ne možemo u potpunosti iskoristiti sve tvari.

ZŠ: Samo sažeti tvari koje se mogu dobiti iz otpadnih voda i fokusirati se na korištenje mulja na poljoprivrednom zemljištu ili spaljivanje.

Srednja škola: Stariji učenici mogu ići u detalje o anaerobnoj stabilizaciji i taloženju fosfora.

Zanimljivo: Detaljno opišite različite vrste izgaranja (piroliza, rasplinjavanje), koji su proizvodi ovdje i spomenite biougljen kao perspektivnu tvar. U ovu skupinu spada i tema rafiniranja bioplina u biometan. Treba spomenuti da su neka postrojenja za pročišćavanje u Europi (čak i u Češkoj) već energetske samodostatna, ili čak proizvode više energije nego što troše, zahvaljujući dovoljnoj proizvodnji bioplina.

? Pitanje: Koje tvari možemo dobiti iz otpadnih voda?

💡 Odgovor: Sažetak tvari koje možemo dobiti iz otpadnih voda:

- Organske tvari, N, P,....
- Mulj
- energija
- Ostalo - mast, celuloza
- Šljunak, pijesak

Znatiželjan: U prošlosti su se fekalije uglavnom koristile u poljoprivredi kao gnojivo. Nekad se urin koristio kao sredstvo za čišćenje, stari Rimljani su urinom izbjeljivali zube. Tkanine su se prije bojanja namakale u urinu kako bi boja bila postojanija. Mokraća je također bila važna sirovina za proizvodnju baruta. Izmet se koristio za obradu kože, kožari su u birtijama imali takozvane pisoare za skupljanje mokraće.

? Pitanje: Koje se tvari odvajaju od vode tijekom mehaničkog pročišćavanja vode?

💡 Odgovor: U mehaničkom dijelu uređaja za pročišćavanje otpadnih voda iz otpadnih voda dobivamo trosku, pijesak, šljunak, ulja i masti. Otpaci su higijenski nepoželjni, zbog toga se odlažu na deponije ili spaljuju u spalionicama. Godišnje jedan stanovnik u prosjeku proizvede 5-15 litara krhotine. Pijesak i šljunak također su higijenski nepoželjni, ali se nakon obrade mogu koristiti npr. u građevinarstvu. U anaerobnoj stabilizaciji koriste se ulja i masti, a zatim se iz njih proizvodi bioplin koji se može koristiti za energiju.

? Pitanje: Kako se hranjive tvari uklanjaju iz otpadne vode?

💡 Odgovor: Za uklanjanje ovih elemenata koristi se nekoliko bioloških procesa koji se odvijaju u aktivacijskom spremniku uređaja za pročišćavanje.

Uklanjanje ugljika

- Oksidacija organskih tvari djelovanjem mikroorganizama u prisutnosti kisika u ugljikov dioksid i vodu. Ugljični dioksid je bezopasan plin koji ispušta u atmosferu.

Uklanjanje dušika – nitrifikacija i denitrifikacija

- Dušik ulazi u otpadnu vodu uglavnom iz urina.
- Dušik se uklanja kroz dva procesa: nitrifikaciju i denitrifikaciju.
- Tijekom nitrifikacije, nitrifikacijske bakterije oksidiraju amonijev ion preko nitrita u nitrate. Tijekom ovog procesa spremnike je potrebno intenzivno prozračivati jer se tijekom ovog procesa troši velika količina kisika. Prozračivanje je energetski, a time i financijski zahtjevno. Prozračivanje se odvija uz pomoć puhala i elemenata za prozračivanje koji se nalaze na dnu spremnika. Puhalo upuhuje zrak u te elemente. Fini mjehurići naknadno izlaze iz elemenata.
- Tijekom denitrifikacije nitrati se pretvaraju u plinoviti dušik. Na kraju, dušik (bezopasan plin koji čini oko 78% atmosfere) nestaje iz naše vode, curi u našu atmosferu. Tijekom denitrifikacije troši se i organski ugljik iz otpadnih voda.
- Ako u otpadnoj vodi nedostaje organskog ugljika, potrebno je u spremnike nanijeti vanjski supstrat (najčešće metanol) - bakterije zatim koriste vanjski supstrat za metaboliziranje nitrata u plinoviti dušik.
- Zbog dovoljne količine organskog ugljika obično postoji spremnik u kojem se odvija denitrifikacija prije nitrifikacije. Interni reciklaž tada radi između spremnika, gdje se dio otpadne vode iz nitrifikacije pumpa natrag u denitrifikaciju, tako da se nitrati stvoreni u nitrifikaciji transportiraju u denitrifikaciju, gdje su uvjeti pogodni za njihovo uklanjanje. Napomena: ovaj odjeljak može značajno varirati ovisno o specifičnoj čistionici. Prilagodite interpretaciju svojoj tehnologiji, a posebno publici. Detaljan opis uklanjanja dušika može biti vrlo zbunjujući i kompliciran za osnovne, ali često i srednje škole.

Uklanjanje fosfora – kemijsko taloženje ili pojačano biološko uklanjanje fosfora

- Fosfor ulazi u otpadne vode iz fekalija, iz industrijskih praonica (dopušteno je koristiti fosfatne deterdžente), iz tableta u perilicama posuđa.
- Fosfor se može ukloniti iz vode kemijskim taloženjem ili pojačanim biološkim uklanjanjem fosfora pomoću posebnih bakterija koje akumuliraju fosfor.

? Pitanje: Stvaraju li se staklenički plinovi tijekom uklanjanja hranjivih tvari?

💡 Odgovor: Tijekom aktivacije nastaju staklenički plinovi: ugljični dioksid (produkt uklanjanja organskog ugljika), dušikov oksid (nastaje tijekom nitrifikacije) i na nekim mjestima s izrazito niskom koncentracijom kisika metan. Dušikov oksid i metan imaju značajno veći učinak staklenika od ugljičnog dioksida. Ostali staklenički plinovi nastaju tijekom proizvodnje električne energije za pogon strojeva u postrojenju za pročišćavanje.

? Pitanje: Što je mulj sa stajališta upravljanja muljem?

💡 Odgovor: Mulj je otpadni produkt pročišćavanja otpadnih voda koji predstavlja 1-2% volumena pročišćene vode, ali je u njemu koncentrirano 50-80% izvornog onečišćenja sadržanog u dotoku u uređaj za pročišćavanje otpadnih voda. Obrada i obrada mulja ima za cilj minimizirati negativne utjecaje na okoliš i zdravlje ljudi. S muljem se bavimo na različite načine, koji ovise o veličini uređaja za pročišćavanje.

Na uređaju za pročišćavanje otpadnih voda sakupljamo mulj iz dva spremnika. Prvo iz taložnika uklanjamo mulj koji se naziva primarni mulj. Naknadno uklanjamo mulj iz taložnika koji se naziva sekundarni ili višak. Mješavina primarnog i sekundarnog mulja naziva se sirovi mulj.

ZŠ: Ako vi i sudionici prijeđete s odvodnje na gospodarenje muljem, dobro ih je još jednom pojednostavljeno podsjetiti što je mulj i odakle dolazi.

SŠ: S ovom skupinom učenika idealno je započeti raspravu na početku gospodarenja muljem o tome koje se tvari nalaze u mulju i što im se može dogoditi, pokušavajući doći do drugih tvari osim samo organskog onečišćenja. Mulj sadrži mješavinu organskih i anorganskih tvari, vodu i razne otrovne tvari poput teških metala, pesticida, ostataka lijekova ili patogenih i drugih mikroorganizama.

Zanimljivo: Trošak prihvatljive obrade mulja odgovara otprilike 50% operativnih troškova obrade otpadnih voda. Ne isplati se imati gospodarenje muljem na manjim uređajima za pročišćavanje.

? Pitanje: Kako se mulj prerađuje u malim postrojenjima za pročišćavanje?

💡 Odgovor: Na malim uređajima za pročišćavanje ne dolazi do anaerobne stabilizacije zbog nedovoljne proizvodnje bioplina. To znači da se mulj obično ili aerobno stabilizira ili odvodi, ili se tekući transportira u veće postrojenje za obradu. Tijekom aerobne stabilizacije, mulj se ili ostavlja dulje vrijeme u aktivacijskom spremniku ili se pumpa u aerirani odvod mulja. Nakon odvodnjavanja, mulj se može transportirati u veće postrojenje za pročišćavanje, gdje se zatim prenosi u rezervoare digestora.

? Pitanje: Kako se mulj obrađuje u većim postrojenjima za obradu koja imaju upravljanje muljem?

💡 Odgovor: Na srednjim i velikim postrojenjima za pročišćavanje najčešće se koristi anaerobna stabilizacija mulja (ili anaerobna digestija). Velika količina izvornog onečišćenja sadržanog u dotočnim otpadnim vodama koncentrirana je u mulju. U većim postrojenjima za pročišćavanje dio tog onečišćenja pretvara se u bioplin u digestorskim spremnicima (putem anaerobne stabilizacije).

Tijekom anaerobne stabilizacije mulj se skuplja u spremnicima u kojima je ograničen pristup kisiku (=anaerobna okolina). U tim se spremnicima tvari sadržane u mulju razgrađuju uz pomoć posebnih bakterija (metanogene bakterije) za proizvodnju bioplina. Prema temperaturi u spremnicima razlikujemo mezofilnu (35 °C) i termofilnu digestiju (55 °C).

Nakon što mulj prođe kroz digestivni tank, on postaje stabilizirani mulj, što znači da se u njemu više ne smije odvijati intenzivna spontana razgradnja. U anaerobnoj digestiji otprilike polovica suhe tvari mulja pretvara se u bioplin.

SŠ: Proces probave također se naziva anaerobna stabilizacija. Bakterije sadržane u mulju postupno metaboliziraju organske tvari u jednostavne šećere i alkohole, a zatim u ugljični dioksid, vodik i metan. Smjesa plinova koja nastaje u ovom procesu naziva se bioplin i sastoji se uglavnom od ugljičnog dioksida i metana (cca. 60-80%). Uređaj u kojem se bioplin pretvara u toplinsku i električnu energiju naziva se kogeneracijska jedinica. Bioplin se koristi za pogon motora s unutarnjim izgaranjem ili turbine. Izgaranjem bioplina proizvodi se toplina i ujedno pokreće generator koji proizvodi električnu energiju.

Radoznalo: Osim ugljičnog dioksida i metana, anaerobna stabilizacija također proizvodi amonijak (amonijak) i sulfan, koji su plinovi jakog mirisa.

Zanimljivo: Metanogene bakterije su po razvoju vrlo stara skupina bakterija, pojavile su se prije 3,5 milijardi godina (starost Zemlje je 4,5 milijardi godina). U to vrijeme u atmosferi nije bilo kisika, a Zemljina je atmosfera nalikovala današnjoj Veneri. Usporedbe radi, dinosauri su se pojavili prije 250 milijuna godina, a čovjek prije 2,8 milijuna godina. Ako bi os bila 0 stvaranje Zemlje i 10 sadašnjost, tada su se metanogeni pojavili u točki 2.22, dinosauri u 9.44 i čovjek u 9.99).

? Pitanje: Čemu služi stabilizirani mulj?

💡 Odgovor: Upotreba stabiliziranog mulja ovisi o njegovoj kvaliteti. Ovaj se mulj može primjenjivati na poljoprivrednom zemljištu zahvaljujući svojim gnojivnim svojstvima jer sadrži veliku količinu organske tvari, fosfora i dušika. Također se može koristiti u postrojenjima za kompostiranje. Drugi način obrade je toplinska obrada koja uključuje izgaranje, pirolizu ili rasplinjavanje. Tijekom pirolize nastaju pirolizni plin (syngas), ulje i čvrsti ostatak (biougljen). U današnje vrijeme biougljen se čini kao vrlo obećavajuća tvar koja, na primjer, povećava zadržavanje vode u tlu.

Problematika nanošenja stabiliziranog mulja na poljoprivredno zemljište je složena jer, s jedne strane, znamo da je mulj vrijedno gnojivo, ali s druge strane, može biti izvor niza onečišćujućih tvari, poput teških metala, ostataka lijekova, patogenih mikroorganizama (npr. salmonela) i postojanih organskih tvari. Stoga mulj koji se nanosi na poljoprivredno zemljište svakako mora biti u skladu sa zakonskim propisima. Zakonski propisi nadziru ne samo kvalitetu mulja, već i to u kojoj količini i gdje se mulj može primijeniti. Tehnički, potrebno je imati ugovorene poljoprivrednike koji imaju dovoljno kapaciteta za skladištenje mulja, jer se tlo gnoji nekoliko puta godišnje, ali je proizvodnja mulja kontinuirana.

SŠ: Ako ste vi i učenici raspravljali o tome koje tvari sadrži mulj, možete se pokušati nadovezati pitanjem o njima. Što oni misle - kamo odlazi mulj od čišćenja i gdje bi se dalje mogao koristiti? Stabilizirani mulj koristi se u poljoprivredi zbog korištenja gnojivnih svojstava anorganskih i organskih hranjiva sadržanih u njemu. Postoje li rizici korištenja mulja na terenu? (samo pojednostavljeno)

Zanimljivo: mogući rizik primjene stabiliziranog mulja na poljoprivredno zemljište je sadržaj mikropolutanata u mulju. Među mikropolutantima koje mulj sadrži su mikroplastika, pesticidi, endokrini disruptori i ostaci lijekova. Unatoč niskoj koncentraciji, te tvari potencijalno mogu imati negativne učinke na okoliš i zdravlje ljudi. Zakonski parametri za korištenje mulja na poljoprivrednom zemljištu uključuju mikrobiološke kriterije (salmonela, E. coli i enterokoki) te ograničenja sadržaja teških metala, polikloriranih bifenila i policikličkih aromatskih tvari.

Geni otpornosti na antibiotike također se mogu pronaći u mulju, koji se potom mogu proširiti na druge bakterije.

Tehnologije koje se mogu koristiti za obradu mulja također uključuju pirolizu ili rasplinjavanje, gdje se gorivo proizvodi iz mulja. npr. u susjednoj Njemačkoj, najčešći način rješavanja mulja je njegovo

spaljivanje. Mulj se ili spaljuje zasebno u specijaliziranoj spalionici ili se pomiješa s drugim materijalom i zajedno spaljuje, npr. u spalionici otpada, elektrani/toplani ili cementnoj peći.

U mulju je pohranjena velika količina fosfora koji se iz mulja može dobiti termički (oporaba fosfora iz pepela nakon spaljivanja mulja) ili kemijski (taloženje).

? Pitanje: Kako se iskorištava dobiveni bioplin?

💡 Odgovor: Bioplin se izgara u kogeneracijskoj jedinici koja iz njega proizvodi toplinsku i električnu energiju. Toplina se koristi natrag za zagrijavanje spremnika digestora. Proizvedena električna energija koristi se u postrojenju za pročišćavanje, npr. za pokretanje pumpi ili prozračivanje aktivacijskog spremnika.

Druga mogućnost korištenja bioplina je njegova prerada u biometan. Biometan ima svojstva slična prirodnom plinu i može se pumpati u plinovodnu mrežu.

2.6 Priča o ljudima koji brinu o kanalizacijskoj mreži i rade na pročištaču



Savjet za tumačenje: Većina ljudi nema pojma koliko je teško ukloniti i pročišćavati otpadne vode i koliko je ljudi na različitim položajima uključeno u ovaj proces. Iz tog razloga preporučamo da izlet obogatite spominjanjem ljudi koji rade u kanalizacijskom sustavu ili na postrojenju za pročišćavanje na odgovarajućim mjestima. Povećanjem znanja o ovim pozicijama moguće je povećati razinu percepcije važnosti ovih zanimanja, ali i interes za njihovo studiranje. Ovdje je moguće spomenuti kako će se razvijati potreba za ovim profesijama i kako će se, primjerice, mijenjati sadržaj rada pojedinih zaposlenika (npr. izračun ugljičnog otiska, digitalni blizanac uređaja za pročišćavanje otpadnih voda ili ESG izvješćivanje).

Uklanjanje i pročišćavanje otpadnih voda kontinuirani je proces koji se ne može jednostavno zaustaviti. Da bi sve funkcioniralo i cijeli proces ne bi stao, potrebno je puno truda i rada mnogih ljudi različitih zanimanja. Pojedine struke slijede jedna drugu i ne mogu jedna bez druge. Kanalizacijsku mrežu i uređaj za pročišćavanje otpadnih voda možemo vidjeti kao jedan dobro podmazan stroj.

Kanalizacijski sustav potrebno je redovito provjeravati, au slučaju kvarova ili začepjenja prljavštinom popraviti ili očistiti. Snimanje kanalizacijske mreže provodi vodoprivredni tehničar specijaliziran za dijagnostiku mreže sustavom kamera koje se postavljaju na početku pregledane lokacije, a kamere se daljinskim upravljačem vode kroz cjevovod. U slučaju utvrđivanja poremećaja propusnosti cijevi, koristi se čišćenje mlaznicom i ispušavanje materijala visokotlačnom čistilicom. Odnedavno postoje čak i dronovi koji automatski lete kroz kanalizaciju i vrše potrebna mjerenja. Popravke i čišćenje obavljaju monter i operateri specijalnog vozila za čišćenje kanalizacije.

Na uređaju za pročišćavanje otpadnih voda radi više uređaja čijim radom neposredno upravljaju inženjeri vodoprivredne opreme. Ovi radnici osiguravaju rad strojeva i tehnološke opreme te osiguravaju njihovu punu funkcionalnost i redoviti pregled. Održavanje i popravke električne opreme provode operativni električari. Rad uređaja za pročišćavanje otpadnih voda je kontinuiran, zbog čega je nužan stalni nadzor nad procesima na uređaju za pročišćavanje koji osiguravaju dispečeri (kontrolori). Dispečeri prate izlaze iz rada na monitorima i upravljačkim sustavom upravljaju radom uređaja za pročišćavanje otpadnih voda. Dispečeri rade u smjenama tako da je osiguran 24/7 nadzor uređaja za pročišćavanje.

Kvaliteta otpadnih voda i različiti izlazi procesa pročišćavanja otpadnih voda prate se u laboratoriju. Djelatnici laboratorija obrađuju uzorke i provode kemijske, mikrobiološke i hidrobiološke analize. Uzorci se prikupljaju i transportiraju u laboratorij uzorkivačima.

Tehnolog je odgovoran za pravilan rad uređaja za pročišćavanje otpadnih voda i kvalitetu pročišćenih otpadnih voda koje istječu. Na temelju rezultata analiza iz laboratorija, vrijednosti iz sonde, analizatora i mjerača protoka na uređaju za pročišćavanje, procjenjuje proces čišćenja i prilagođava postavke pojedinih uređaja kako bi osigurao nesmetan rad i dobru kvalitetu vode koja teče.

Sustav kontrole provjeravaju i razvijaju IT stručnjaci. Zanimljiv sektor je i izrada tzv. digitalnih blizanaca uređaja za pročišćavanje otpadnih voda pomoću specijaliziranog softvera, koji se koriste, primjerice, u testiranju raznih neobičnih situacija ili optimizaciji rada.

U posljednje vrijeme sve je veći interes za praćenjem ugljičnog otiska i ostalih parametara vezanih uz utjecaj opreme na okoliš, a samim time i potreba za tim stručnjacima iz područja vodnoga gospodarstva.

Iz gore navedenog popisa zanimanja vidljivo je da se na uređaju za pročišćavanje otpadnih voda može zaposliti i radnik s osposobljenošću i visokom stručnom spremom.

Osnovna škola: Samo sažmite zanimanja i pokušajte ih nabrojati za cisterne i strojeve na kojima se obavlja njihov rad, kako bi imali što veću predodžbu o datom zanimanju.

Srednja škola: Za starije učenike postoje opcije gdje možete studirati za poziciju tehnologa za vodu - sveučilišta s fokusom na vodu (VŠCHT, BUT, VŠB).

Inkvizitori: Ovdje je na vama hoćete li ponijeti razne predmete s kojima ova zanimanja rade: kutije za uzorke, instrumente, mjerni cilindar za indeks mulja, kameru itd.

2.7 Cijene vode

Cijena vode česta je tema u medijima i javnim raspravama, ali malo tko zapravo zna kako se izračunava ukupna cijena vode i koliko zapravo košta proizvodnja pitke vode i pročišćavanje otpadnih voda. Često ljudi zamišljaju da se voda za piće može uzimati direktno s izvora, koja je besplatna, pa se onda pokreću rasprave o tome da vodoprivredne tvrtke zarađuju ogromne novce od onoga što je u prirodi zapravo besplatno. Nije tako! I zato je važno djecu upoznati s time kako nastaje cijena vode, od čega se sastoji te koliko su financijski zahtjevni procesi proizvodnje pitke vode i pročišćavanja otpadnih voda.

Ukupna cijena vode sastoji se od dvije stavke, a to su voda i kanalizacija. Vodna naknada je naknada za proizvodnju pitke vode i njenu dostavu do našeg doma (potrošača). Kanalizacija je naknada za uklanjanje otpadnih voda iz izvora (npr. iz kućanstva) i njihovo naknadno pročišćavanje.

Cijena vode je regulirana, tj. formirana prema pravilima koje je utvrdilo Ministarstvo financija Češke Republike. Ova pravila definiraju od kojih stavki se može, a od kojih ne može sastojati konačna cijena te koju dobit mogu zadržati vodovodne tvrtke. Cijena vode ažurira se svake godine. Konačnu riječ u formiranju cijene ima vlasnik vodnogospodarske infrastrukture.

Cijena vode = odobreni troškovi + razumna dobit + državni nameti

- prihvatljivi troškovi (primjeri):
 - o stjecanje/najam, obnova i modernizacija vodnogospodarskog dobra
 - o potrošnja električne energije, kemikalija, kontrola kvalitete vode (laboratorijski rad) itd.
 - o troškovi održavanja i popravka
 - o plaće zaposlenika koji osiguravaju poslovanje, usluga korisnicima (ugovaranje, fakturiranje, reklamacije)
- razumna dobit
 - o regulira Ministarstvo financija Češke Republike
 - o max. 7% uloženog kapitala
- državni nameti
 - o PDV
 - o naknade za ispuštanje otpadnih voda
 - o naknade za zahvatanje sirove vode iz koje se naknadno proizvodi pitka voda

ZŠ: Samo objasnite pojmove voda i kanalizacija. I usporedite cijenu jedne litre vode iz slavine u usporedbi s drugim cijenama, npr. flaširana voda, Coca Cola, slatkiši i sl. Za bolju predodžbu koliko je 1m³ vode, dobro je reći da je to isto kao 500 dvolitarskih boca.

SŠ: Usporedite cijenu vode s drugim troškovima – primjerice s cijenom struje, Netflix, mjesečnog telefonskog računa itd.

Zanimljivo: Detaljnije opisati od čega se sastoji cijena vode - pojedinačne stavke koje su tu uključene.

? Pitanje: Kolika je bila prosječna cijena vode u češkoj 2024. godine?

💡 Odgovor: 2024. godine prosječna cijena vode (kanalizacija + voda) bila je 125 CZK po m³. Prosječna cijena vode bila je 63 CZK po m³, a prosječna cijena kanalizacije 59 CZK po m³.

Za bolju predodžbu donosimo i preračun cijene za jednu litru vode. Prosječna ukupna cijena vode bila je 0,125 CZK po litri, od čega je prosječna cijena vode bila 0,063 CZK po litri, a prosječna cijena kanalizacije 0,059 CZK po litri.

? **Pitanje: Je li voda iz slavine skupa?**

💡 **Odgovor:** Najbolji odgovor na ovo pitanje je usporediti potrošnju vode jedne osobe s ostalim troškovima te cijenom vode i kanalizacije na danom području. Za primjer, donosimo usporedbu s prosječnom cijenom vode u Češkoj iz 2024. godine.

Prosječna potrošnja vode iz slavine po osobi u Češkoj je oko 90 litara dnevno.

Cjenik:

Razdoblje	Broj litara otpadne vode (1 osoba)	Cijena pitke vode	Cijena pročišćavanja vode	Ukupna cijena
1 dan	90 l	5,67 CZK	5,31 CZK	10,98 CZK
1 mjesec	2.700 l	170,1 CZK	159,3 CZK	329,4 CZK
1 godina	32.850 l	2069,55 CZK	1.938,15 CZK	4007,7 CZK

Razdoblje	Broj litara otpadne vode (4 osobe)	Cijena pročišćavanja vode
1 dan	360 l	21,24 CZK
1 mjesec	10.800 l	637,2 CZK
1 godina	131.400 l	7752,6 CZK

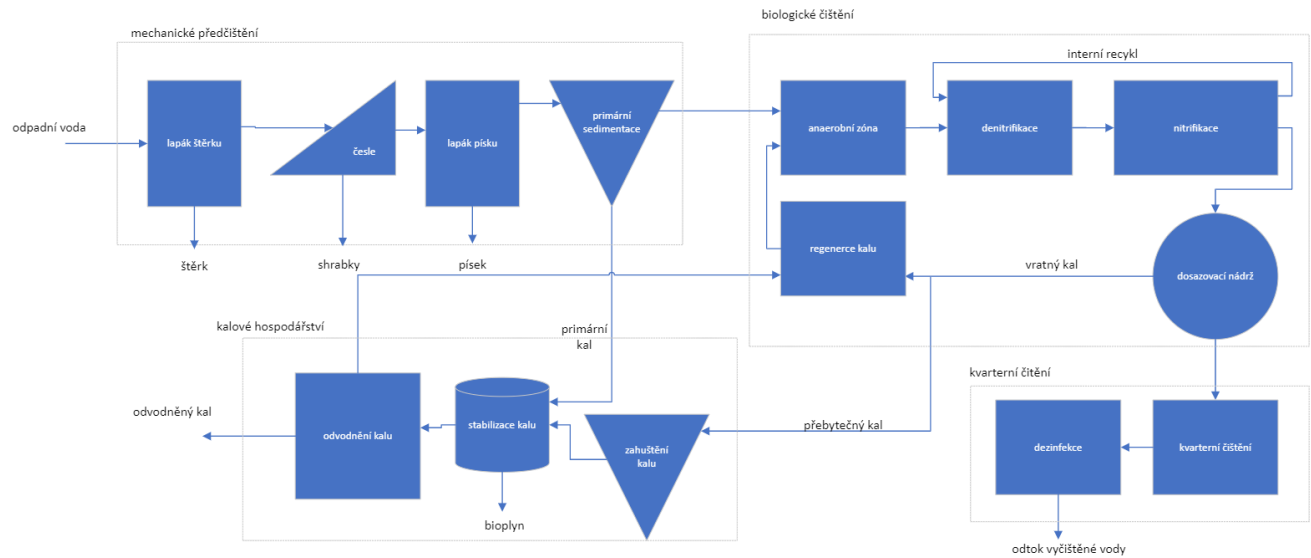
? **Pitanje: Hoće li cijena vode biti niža ako svi počnemo štedjeti vodu?**

💡 **Odgovor:** Ne, smanjenje potrošnje vode dovodi do povećanja cijene po litri, jer je velik dio troškova u vodoprivredi fiksna. Na primjer, nije važno da li kroz postojeći cjevovod teče manje ili više vode, njegovo održavanje, popravak i servis i dalje će biti potrebni.

3 Opis tehnologija UPOV





Savjet za tumačenje: U ovom poglavlju pronaći ćete osnovne informacije o tehnologijama, činjenice i zanimljivosti. Koristite ovo poglavlje kao katalog iz kojeg možete odabrati informacije o tehnologijama koje imate u svom postrojenju za čišćenje.



3.1 Mehaničko čišćenje

Prije svega, UPOV treba ukloniti neotopljeni materijal koji bi mogao začeptiti pumpe, taložiti se u spremnicima ili uništiti drugu opremu (abrazija).

Šljunčana zamka		
	Važnost	Hvatanje velikih objekata koji se mogu taložiti na dno (sediment).
	Načelo	Sump u kojem se protok otpadne vode usporava i tako taloži materijal. Zarobljeni materijal se zatim mora iskopati s dna i utovariti u spremnik koji se odvozi iz uređaja za pročišćavanje otpadnih voda, obično na odlagalište.
	Uhvaćeni materijal	Šljunak, kamenje.

Sječivo		
	Važnost	Uklanjanje većeg plutajućeg otpada.
	Načelo	Naprava poput sita kroz koju se filtrira voda. Materijal koji se uhvati u ovu mrežu naziva se grablje. Uhvaćeni materijal se zatim uklanja iz saća (ručno ili automatski) i utovaruje u kontejner u kojem se obično odvozi na odlagalište.
	Uhvaćeni materijal	= grablje grane, krpe, ambalaža, ostaci hrane, voće i povrće, kondomi, ulošci, tamponi, vlažne maramice... novčanik, dokumenti mrtvi štakori, novac, nakit, odjeća, ključevi, jastuci, kore od banane

ZŠ: Ovdje je primjereno skrenuti pozornost na ono što ne spada u kanalizaciju i objasniti zašto. Obično će nešto od toga isplivati i na problem se može izravno ukazati.

Radoznalo: otpaci su obično najhigijensiji materijal koji se može susresti u kemijskoj čistionici. Istovremeno, to je materijal koji nikako ne bi smio ulaziti u kanalizaciju.



Savjet za tumačenje: Moguće je pripremiti malu "izložbu" zanimljivih eksponata na češljevima ili možda prikazati fotografije zanimljivih stvari snimljenih na češljevima.

Zamka za pijesak



Važnost

Odvajanje pijeska (anorganskog materijala) od organske suspendirane tvari, što je važno u sljedećem dijelu tehnologije uređaja za pročišćavanje otpadnih voda.

Načelo

Odvajanje pijeska od organskih suspendiranih tvari odvija se na temelju njihove različite gustoće. Pjeskolovke se razlikuju po tome koristi li se za odvajanje gravitacija ili centrifugalna sila.

Uhvaćeni materijal

= **pijesak**
 teške anorganske tvari – pijesak, krhotine stakla, sitna troska

? Pitanje: Zašto je pješčanik prozračen kada bi se pijesak trebao nataložiti ovdje?

💡 Odgovor: To je zbog odvajanja organskih nečistoća iz pijeska. Trebamo samo ukloniti pijesak u pješčaniku. Organske tvari uzrokovale bi truljenje zamke i iskopanog pijeska, štoviše, potrebne su nam kao hrana za bakterije u daljnjem procesu.

Taložni spremnici



Važnost

Taloženje neotopljenih tvari organskog podrijetla i brisanje plutajućih nečistoća s površine.

Načelo


Taložnik radi na principu gravitacije, kada teže čestice tonu na dno i potom se usisavaju s dna za daljnju obradu.

Uhvaćeni materijal

= **primarni kal**
 Materijal koji se taloži na dnu taložnika naziva se primarni mulj. Ovaj mulj je bogat organskim tvarima i koristi se u gospodarenju muljem.

Radoznalo: Taložnici mogu ukloniti otprilike 30% dolaznog onečišćenja, au isto vrijeme, mulj koji je ovdje zarobljen pridonosi otprilike polovici ukupnoj proizvodnji bioplina i električne energije.

3.2 Biološko čišćenje

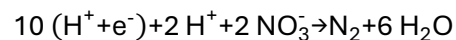
Aktivacijski spremnik		
	Važnost	Biološko uklanjanje ugljika, dušika i fosfora - zajedno nazvanih hranjivim tvarima.
	Načelo	Ovdje se odvijaju bezbrojni biološki procesi. Zagađenje sadržano u otpadnoj vodi metaboliziraju bakterije u određenim uvjetima, koji su prilagođeni tako da odabrani sojevi bakterija prežive (i prevladavaju) u spremnicima. Skupina bakterija i mikroorganizama koji metaboliziraju onečišćenje u otpadnim vodama naziva se aktivni mulj. Kako mikroorganizmi konzumiraju onečišćenje, rastu i množe se. Iz toga slijedi da se količina aktivnog mulja s vremenom povećava te se višak mulja mora redovito uklanjati iz spremnika za aktivaciju.
	Uhvaćeni materijal	Ovdje se izravno ne hvata nikakav materijal, ali postoji rast i razmnožavanje bakterija aktivnog mulja na koje se mogu sorbirati (hvatati) razne vrste tvari. Bakterije dalje pretvaraju organske tvari, dušik i fosfor u oblike koji se uklanjaju iz vode.
<p>? Pitanje: Znete li plivati u aktivacijskim spremnicima?</p> <p>💡 Odgovor: Ne možete plivati u spremnicima, smjesa je toliko prozirna da ima prenisku gustoću za plivanje. Kad bi netko to pokušao, utopio bi se. Spremnike je stoga potrebno osigurati od pada radnika ili koristiti osiguranje na užadima itd.</p> <p>? Pitanje: Razlikuju li se uvjeti u spremnicima?</p> <p>💡 Odgovor: Uvjeti u pojedinim akumulacijama se značajno razlikuju.</p> <p><u>nitrifikacija – visoka koncentracija kisika (aerobna zona)</u> <u>denitrifikacija – bez kisika, ali s nitratima (anoksična zona)</u> <u>uklanjanje fosfora – bez pristupa kisiku i bez nitrata (anaerobna zona)</u> <i>neka postrojenja za pročišćavanje nemaju odvojene spremnike za različite uvjete, već se uvjeti mijenjaju tijekom vremena u jednom spremniku</i></p>		

ZŠ: Za ove učenike potrebno je osigurati da proces bude što jasniji. Bilo bi korisno imati spremne slike mikroorganizama koji se nalaze u aktivnom mulju, ali nema potrebe spominjati imena. Također im možete pokazati kako element za prozračivanje izgleda (fizički, slika, fotografija ispražnjenog spremnika).

Možemo pokazati da se mulj sastoji od pojedinačnih pahuljica koje se mogu vidjeti golim okom. Nadalje, reći da te pahuljice stvaraju mikroorganizmi koji se hrane onečišćenjem.

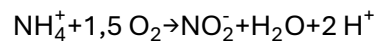
SŠ: Ovdje je moguće detaljnije govoriti o pojedinim biološkim procesima uklanjanja hranjivih tvari, imati pripremljene reakcije nitrifikacije i denitrifikacije, izravno spomenuti organizme koji su odgovorni za te procese. Napomenimo da se u aktivnom mulju, osim bakterija, nalaze i protozoe (filiforme, mekušci, kriptidi), metazoe (rotiferi, nematode, crvi) te u manjoj mjeri plijesni, gljivice i kvasci.

Denitrifikacija:

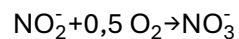


Nitrifikacija (sastoji se od dvije reakcije):

nitricija – oksidacija amonijačnog dušika u nitritni dušik




nitracija – oksidacija nitritnog dušika u nitratni dušik



Radoznalo: U nekim postrojenjima za pročišćavanje aktivni se mulj redovito pregledava pod mikroskopom kako bi se provjerilo koje se bakterije i mikroorganizmi nalaze u mulju i koliko često. Iz pojedinih vrsta i ukupnog sastava organizama može se procijeniti odvijanje pojedinih procesa.

Taložnik


	Važnost	Spremnik služi za izdvajanje aktivnog mulja iz pročišćene otpadne vode.
	Načelo	Protok vode u spremniku će se usporiti. Aktivni mulj se pod tim uvjetima može taložiti na dno spremnika. S dna spremnika najveći dio aktivnog mulja vraća se u aktivacijski spremnik, gdje mulj ponovno čisti vodu. Budući da je aktivni mulj živi organizam koji se razmnožava, potrebno je održavati samo potrebnu količinu u sustavu, a njegov višak ispumpavati iz sustava. Višak mulja koji se ne iskoristi natrag u spremnik za aktivaciju pumpa se u sustav upravljanja muljem. U postrojenjima za obradu bez zbrinjavanja mulja u spremnik. Odakle se zatim odvodi u veća postrojenja za obradu mulja. Iznad istaloženog mulja nalazi se pročišćena otpadna voda, koja se iz spremnika prelijeva u odvod i dalje u recipijent (rijeka, potok,...).
	Uhvaćeni materijal	Višak mulja – višak aktivnog mulja koji se uklanja iz sustava. Povratni mulj - aktivni mulj koji se vraća u aktivacijski spremnik i ponovno čisti otpadnu vodu.


Zanimljivo: U slučaju taloženja ili aktivacijskih spremnika, moguće je sudionicima objasniti kako se određuje kvaliteta mulja sa stajališta taloženja, odnosno indeksa mulja. Indeks mulja se mjeri sedimentacijskim testom, kada se uzorak uzme iz spremnika i ulije u mjerni cilindar, zatim se nakon 30 minuta mjeri visina granice između vode i mulja. Indeks mulja se tada izračunava kao visina sedimenta podijeljena s vremenom sedimentacije. Prema izračunatom indeksu mulja moguće je procijeniti koliko se mulj lako ili teško taloži.




Savjet za tumačenje: Test sedimentacije možemo izvesti na licu mjesta. Na početku interpretacije kod aktivacijskih spremnika uzeti uzorak mulja, a na kraju interpretacije već se može vidjeti sučelje voda-mulj i offset voda. Ako ćemo raditi ovu demonstraciju, preporučljivo je na ovaj način prikupiti dotočnu otpadnu vodu i prikazati razliku u izgledu otpadne i pročišćene vode.

3.3 Tercijarno čišćenje


Dezinfekcija vode		
	Važnost	Očišćene otpadne vode još uvijek sadrže razne bakterije, viruse i parazite koji mogu imati negativan učinak na vodene ekosustave. Dezinfekcijom se smanjuje broj mikroorganizama i osigurava zaštita okoliša.
	Načelo	Moguće je koristiti više metoda, npr. UV zračenje ili ozonizacija. UV zračenje određene valne duljine prodire kroz uzak sloj vode. Ovo zračenje naknadno ubija mikroorganizme (samo ubija, ne uklanja). Druga metoda je primjena dezinficijensa, na primjer vodikovog peroksida.

Filtracija kroz sloj aktivnog ugljena		
	Važnost	Uz stroža ograničenja za tvari koje nisu hranjive tvari, moguće je primijeniti filtraciju kroz sloj aktivnog ugljena. Aktivni ugljen može ukloniti mikropolutante (tvari sadržane u vodi u vrlo niskim koncentracijama).
	Načelo	Adsorpcija organskih tvari, lijekova, teških metala i drugih nečistoća iz otpadnih voda na aktivni ugljen


Membranska tehnologija

	Važnost	Primjeni membranskih tehnologija pristupamo kada želimo imati izuzetno kvalitetnu vodu na izlazu. Primjenom membranske tehnologije smanjuje se broj bakterija, koncentracija elemenata i spojeva, ovisno o veličini pora na membrani.
	Načelo	Pročišćena otpadna voda se pumpa kroz membranu koja se sastoji od otvora zadane veličine (razlikujemo: mikrofiltraciju, nanofiltraciju i ultrafiltraciju). Kroz membranu će teći voda i tvari koje su manje veličine od zadanih rupica, dok će se tvari veće od tih pora početi nakupljati na membrani.


Kemijsko taloženje fosfora na odvodu

	Važnost	Ako je koncentracija fosfora u efluentu iz taložnika još uvijek visoka i ne zadovoljava granice, moguće je koncentraciju fosfora smanjiti kemijskim taloženjem.
	Načelo	Preostali fosfor sadržan u pročišćenoj vodi se taloži pomoću sredstva za taloženje. Postrojenja za pročišćavanje primjenjuju različite tvari, najčešće sulfate ili željezo-klorid. Sol željeza reagira s fosfatima da bi se stvorio netopljivi spoj željeznog fosfata.

3.4 Upravljanje muljem

Zgušnjavanje mulja		
	Važnost	Smanjenje sadržaja vode u mulju prije daljnje obrade.
	Načelo	Mulj se zgušnja gravitacijom u zgušnjivačima ili mehanički u centrifugi za zgušnjavanje ili situ za zgušnjavanje.

Stabilizacija mulja

	Važnost	Proizvodnja stabilnog i sigurnog materijala koji se može dalje koristiti npr. u poljoprivredi.
	Načelo	<p>Stabilizacija mulja dovodi do smanjenja količine organskih tvari u mulju i smanjenja broja patogenih i drugih živih organizama. Stabilizirani mulj se dalje ne razgrađuje i ne uzrokuje probleme s mirisom.</p> <p><u>Vrste stabilizacije mulja:</u></p> <ul style="list-style-type: none"> anaerobni aerobni kemijski <p>Tijekom anaerobne stabilizacije (truljenja) mulja organske tvari se pretvaraju u bioplin koji se dalje prerađuje u energiju. Koristi se u srednjim i velikim postrojenjima za pročišćavanje.</p> <p>Aerobna stabilizacija temelji se na prozračivanju mulja. Organske tvari sadržane u njemu su oksidirane.</p> <p>Tijekom kemijske stabilizacije mulju se dodaje živo vapno (CaO). Živo vapno reagira s vodom prisutnom u mulju i proizvodi toplinu i hidroksid, što će povećati pH i time inhibirati aktivnost mikroorganizama.</p>

Odvodnjavanje mulja



Važnost

Smanjenje sadržaja vode u stabiliziranom mulju, kako bi se mogao dalje koristiti i smanjili troškovi njegovog transporta (manja količina vode znači manji volumen mulja, što znači i manji broj napunjenih posuda).

Načelo

Mulj se odvodnjava mehanički ili na muljnim poljima.

Strojne metode uključuju:

centrifuge
sito trakaste preše
calopresses
vakuumske preše
vijčana preša

Centrifuga radi na principu centrifugalne sile. To je takvo ubrzano taloženje čestica (sedimentacija). Tijekom centrifugiranja rotor centrifuge se brzo okreće i mulj se razdvaja na čvrste čestice i vodu. Kalolisi su onda takvo sito koje hvata mulj i propušta vodu.