

Fakulta životního prostředí Univerzity J.E.Purkyně v Ústí n.L.

Technologie ochrany životního prostředí

Část I.

Ochrana čistoty vod

Ing. Miroslav Richter, PhD., EUR.ING
richter@fzp.ujep.cz

Ústí n.L., 2014

Autor:

Ing. Miroslav Richter, Ph.D., EUR ING

Vědecký redaktor:

Oponenti:

1. Vydání: © **Miroslav Richter – Ústí nad Labem 2005**
 ISBN
2. Elektronická verze – 2. upravené vydání v rámci projektu ENVIMOD

Předmluva

Obsah předkládané publikace vznikl postupně na základě potřeb výuky předmětu „Technologie ochrany životního prostředí“. Tento předmět je zařazen v bakalářských studijních programech Fakulty životního prostředí studovaných presenční a kombinovanou formou studia. Řada zde uváděných informací je důležitá i pro ostatní studijní obory zaměřené na ochranu složek životního prostředí před znečišťujícími složkami antropogenního případně i přírodního původu. Studijní text je také vhodný pro vodohospodáře a techniky pracující v průmyslu, výzkumných a projekčních ústavech, kontrolních a inspekčních orgánech nebo odborech životního prostředí ve státní správě.

Učební text přímo navazuje na předchozí výuku průmyslových technologií na FŽP - technologií využívaných průmyslem chemickým, hutním a strojírenským, průmyslem celulózy a papíru, gumárenstvím, potravinářstvím, průmyslem stavebních hmot, skla a keramiky. Pozornost je také věnována komunální sféře, službám a částečně dopravě, které se rovněž podílejí na znečišťování složek životního prostředí. V předcházejících technologicky orientovaných předmětech získává studující znalosti o fyzikálních a chemických vlastnostech zpracovávaných látek, meziproduktů a výrobků i výrobních postupech, ale také o základních vlastnostech odpadních látek všech skupenství a konstrukci základních technologických zařízení. Tím student získává ucelený přehled jak o ekonomických aktivitách v průmyslově rozvinuté společnosti, tak o rizicích poškozování pracovního a životního prostředí, ale i možnostech předcházení nebo alespoň minimalizace jejich negativních účinků na složky životního prostředí.

Z naznačeného obsahu studijního textu je patrné členění publikace do třech dílů, na tři základní skupiny technologických postupů:

Ochrana čistoty vod
Ochrana čistoty ovzduší,
Technologie zneškodňování odpadů.

Uvedené tři skupiny technologických postupů zajišťují ochranu složek životního prostředí – hydrosféry, atmosféry a litosféry. Komplexní ochranou uvedených složek životního prostředí je rovněž chráněna biosféra včetně člověka. Publikace si klade za cíl seznámit studující s principy a základními technologickými postupy čištění odpadních vod, odpadního vzduchu a plynů, základními metodami zneškodňování odpadů různých skupenství a různého původu. Text je doplněn stručným přehledem užívaných metod měření, regulace a automatizace – systémů řízení příslušných technologií, monitoringu vod a ovzduší, konstrukčního a materiálového provedení příslušných technologických zařízení. Částečně je také věnována pozornost prevenci vzniku odpadů všech skupenství ve směru uplatňování čistších technologií. Zde autor čerpal jak z dostupné odborné a prospektové literatury, tak dlouholeté praxe a zkušeností získaných v chemickém průmyslu.

Doporučená metodika studia

Obsah učebního textu je členěn do 7 kapitol. Důležité partie textu jsou zvýrazněny tučným tiskem, podtržením nebo umístěním části textu s důležitými závěry do rámečku. V každé kapitole je ve stručnosti uvedena (-o, -y):

- část úvodní seznamující s problémem a možnostmi jeho řešení,
- část teoretická objasňující základné pojmy a principy,
- schéma zařízení,
- praktická část popisující konkrétní technologický postup a použitá zařízení s podmínkami provozu,
- uplatnění příslušné technologie, omezení a rizika provozu,
- kontrolní otázky.

Student si musí samostatným studiem osvojit každou z uvedených částí textu s důrazem na zvládnutí oborové terminologie, technologických postupů a jejich chemismu. Zároveň musí studující zvládnout principy funkce základních technologických zařízení. Uváděná zjednodušená schémata technologických postupů a zařízení musí být schopen načrtnout a popsat minimálně v rozsahu připojené legendy.

Pro kontrolu úspěšnosti studia jsou připojeny kontrolní otázky. Jejich vypracováním a kontrolou správnosti odpovědí dle předchozího textu má student průběžně zpětnou vazbu o účinnosti studia. Za dobrý výsledek lze považovat min. 2/3 správných odpovědí.

Kontrolní otázky jsou součástí písemných testů, které musí student zvládnout pro získání zápočtu ze studovaného předmětu „Technologie ochrany životního prostředí“.

Obsah části I

Ochrana čistoty vod

Předmluva	3
Doporučená metodika studia	4
Obsah	5
1.0. Vývoj vodního práva	7
1.1. Vodní právo v ČR	7
1.2. Legislativa Evropské unie	8
2.0. Povrchové vody a zdroje jejich znečištění	11
2.1. Znečištění vodních toků	14
2.2. Samočištění vodních toků	18
2.2.1. Biochemické procesy	18
2.2.2. Fyzikální a fyzikálně-chemické procesy	19
2.2.3. Chemické procesy	20
3.0. Biochemická, chemická a totální spotřeba kyslíku	22
3.1. Biochemická spotřeba kyslíku – BSK	22
3.2. Chemická spotřeba kyslíku - CHSK	23
3.3. Teoretická spotřeba kyslíku – TSK	24
3.4. Stanovení znečištění jako C_{org}	24
4.0. Odpadní vody	26
4.1. Komunální vody	26
4.2. Průmyslové odpadní vody	27
4.3. Srážkové (dešťové) vody	28
4.4. Podzemní vody	28
4.5. Kanalizační sítě	29
5.0. Čistírny odpadních vod	33
5.1. Mechanické čištění odpadních vod	36
5.1.1. Lapáky štěrku a písku	36
5.1.2. Česle	36
5.1.3. Síta	36
5.1.4. Lapáky olejů a tuků	37
5.1.5. Usazováky	38
5.1.6. Filtry	40

5.2.	Biologický stupeň čištění odpadních vod	41
5.2.1.	Biochemická rozložitelnost organických látek	42
5.2.2.	Množení a růst mikroorganismů	43
5.2.3.	Podmínky biochemického čištění vod	46
5.2.4.	Skrápené biologické kolony – biofiltry	48
5.2.5.	Aerobní čištění v aktivačních nádržích	49
5.2.6.	Anaerobní stabilizace kalů a anaerobní čištění odpadních vod	53
5.2.7.	Metanizační reaktory	56
5.3.	Třetí – terciární stupeň čištění odpadních vod	58
6.0.	Čištění průmyslových odpadních vod	61
6.1.	Vyrovňování koncentrace odpadních vod	62
6.2.	Elektroflotace	63
6.3.	Neutralizace	64
6.4.	Srážení	64
6.5.	Mokrá oxidace	66
6.6.	Oxidační procesy	67
6.7.	Redukční procesy	67
6.8.	Membránové procesy	68
6.9.	Další metody čištění průmyslových odpadních vod	70
7.0.	Měření, regulace a řízení ČOV	71
7.1.	Základní měřené parametry a signalizace	71
7.2.	Zpracování vstupních signálů měření a systémy řízení	73
7.3.	Řízení procesu čištění odpadních vod	76
8.0.	Seznam literatury	78
8.1.	Odborná literatura, časopisy, internetové zprávy	78
8.2.	Prospektivní literatura	79

Ochrana čistoty vod

1.0. Vývoj vodního práva

Vodní právo obecně upravuje právní vztahy ke všem druhům vod, jejich zdrojům, vodním tokům, vodním nádržím a vodohospodářským zařízením a vůči nakládání s vodami. Potřeba zákonné ochrany vodních zdrojů byla součástí právního systému již prvních civilizací na Zemi. V římském právu byla poprvé uplatněna důležitá zásada veřejnosti tekoucích vod. Tyto vody nenáležely státu, ale byly vyhrazeny veřejnému užívání. Přitom ale existovala i zvláštní práva nad rámec obecného užívání povolovaná vladaři nebo zákonem (mlýnské právo, plavební právo, rybníční právo aj.). Zvláštní práva byla zpravidla zpoplatněna formou daní odváděných panovníkovi nebo později státu. Ochrany obecného užívání veřejného toku nebo zvláštních práv bylo možné se dovolat žalobou k panovníkovi nebo soudu.

Ochrana břehů a pobřežních pozemků byla podle římského práva věcí majitelů těchto pozemků. Přitom byla i v následných dobách obvykle dodržována zásada přístupnosti břehu a břehových porostů pro správce vodních toků – pro potřeby čištění koryta vodního toku, opravy a úpravy břehů, výsadbu a údržbu břehových porostů, vodohospodářských staveb, mostů, lávek aj. technických zařízení.

Statut vod jako veřejného (obecného) statku byl přejímán v pozdějších dobách do většiny právních norem evropských zemí včetně Království Českého a Říše Rakousko-Uherské. Prvním soustavným zpracováním vodoprávních poměrů ve střední Evropě byl český zákon zemský č. 71/1870 čes.z.z. o tom, kterak vody užívati, ji svozovati a jí se brániti, moravský zákon zemský č. 65/1870 mor.z.z. a slezský zákon zemský č.51/1870 slez.z.z. o používání i provádění vod a obraně proti nim. Tyto právní normy platily až do roku 1942, kdy byla platnost českého zemského zákona rozšířena i na území Moravy a Slezska. V této úpravě platil český zákon zemský až do vydání zákona č. 11/1955 Sb. o vodním hospodářství. Český zemský zákon se tak stal základem vodního práva Československé republiky. Jednalo se o velmi zdařilý zákon, o čemž svědčí doba jeho platnosti – 85 let! Presumpce veřejnosti vodních toků byla zachována i přes významné zásahy do koryt toků při jejich regulaci nebo splavňování s účastí státního i soukromého kapitálu. V právním řádu z roku 1870 byly také definovány vody soukromé, které zahrnovaly hlavně studny a rybníky, které byly součástí vlastněných pozemků.

1.1. Vodní právo v ČR

V současné době platný zákon v ČR ze dne 28.6.2001 č. 254/2001 Sb. o vodách a o změně některých zákonů (vodní zákon) vstoupil v platnost od 1.1.2002. Vychází ze zákona č. 138/1973 o vodách, později vydaných vyhlášek, emisních limitů a vládních nařízení. Tento zákon je již kompatibilní s právními normami Evropské unie (viz dále). Plné znění platného zákona, návazných vyhlášek a prováděcích předpisů je dostupné na internetové adrese <http://www.env.cz> .

Dalšími právními normami legislativního systému ČR podřízenými zákonu jsou:

- Vládní nařízení,

- Vyhlášky, prováděcí předpisy a směrnice MZdr., hygienické služby a dalších ministerstev ČR (zejména MPO, MZem.),
- České státní normy (ČSN) a normy ISO,
- Směrnice Evropské unie, OSN aj. mezinárodních institucí, jsou-li ratifikovány (viz. tabulka dále) s požadavky na systémy nakládání s odpadními vodami.

Zákonem o vodách je vymezena pravomoc orgánů státní správy – Ministerstva životního prostředí jako nejvyššího řídicího a kontrolního orgánu ČR a dále České inspekce ŽP – divize ochrany vod, krajských úřadů, obecních úřadů s rozšířenou pravomocí, obecních úřadů a správ povodí.

Monitoring vod zajišťuje Český hydrometeorologický ústav. V kontrole kvality vod je dále zapojen systém hygienické služby ČR, vodohospodářských organizací a velkých průmyslových podniků.

1.2. Legislativa Evropské unie

Oblast voda je v rámci komunitární legislativy velmi obsáhlá. Tvoří ji na 70 dokumentů, převážně směrnic a rozhodnutí Rady EU. Dalších asi 20 dokumentů z ostatních oblastí má rovněž přímý dopad v oblasti vod (horninové prostředí, průmysl, zemědělství, komunální hospodářství, služby, odpady, příroda aj.). Legislativa pochází převážně ze sedmdesátých let a byla doplněna počátkem let devadesátých. V současné době je doplňována některými důležitými předpisy (směrnice o IPPC, o pitné vodě, Rámcová směrnice o vodní politice). Ne všechny dokumenty jsou stejně závažné a určité předpisy nejsou pro ČR relevantní např. z geografických důvodů. I tak se však jedná o několik desítek dalších dokumentů.

Evropská Komise vybrala 16 nejdůležitějších směrnic z oblasti voda (seznam A), na které je zaměřena hlavní pozornost, byly předmětem vyjednávání a stav jejich transpozice a implementace bude i nadále průběžně hodnocen.

Jedná se o tyto směrnice resp. skupiny směrnic:

1. Čištění komunálních odpadních vod - SR 91/271/EHS;
2. Ochrana vod před nitráty ze zemědělských zdrojů - SR 91/676/EHS;
3. Znečištění povrchových vod nebezpečnými látkami - SR 76/464/EHS + 5 speciálních tzv. dceřiných směrnic (SR 82/176/EHS, SR 83/513/EHS, SR 84/176/EHS, SR 84/491/EHS, SR 86/280/EHS a její doplňky SR 88/437/EHS, SR 90/415/EHS);
4. Vody pro koupání - SR 76/160/EHS;
5. Pitná voda - SR 80/778/EHS (platnost do 24.12.2003), SR 98/83/ES;
6. Surová voda pro výrobu pitné vody - SR 75/440/EHS a její monitoring SR 79/869/EHS;
7. Informační systém kvality povrchových sladkých vod - RR 77/795/EHS;
8. Ochrana podzemních vod - SR 80/68/EHS;
9. Podpora života ryb a měkkýšů - SR 78/659/EHS a SR 79/923/EHS.

Seznam byl rozšířen o schválenou Rámcovou směrnicí pro vodní politiku Společenství (2000/60/ES), která významně zasáhne do celé struktury komunitární legislativy v oblasti voda.

Pro Českou republiku se jedná v oblasti ochrany vod o přechodné období pro implementaci směrnice 91/271/EHS o čištění městských odpadních vod. Odhad celkových nákladů na implementaci směrnic EU v oblasti ochrany vod činí kolem 170 mld. Kč, přičemž náklady na implementaci směrnice 91/271/EHS byly vyčísleny na 98 mld. Kč.

Směrnice Rady 91/271/EHS o čištění městských odpadních vod

Směrnice o čištění městských odpadních vod má za cíl ochranu povrchových vod před znečišťováním způsobeném vypouštěním komunálních odpadních vod a biologicky odbouratelných průmyslových vod (potravinářský průmysl) - viz Tab. 1. a 2.

Pro vypouštěné vody z čistíren odpadních vod (ČOV) požaduje stanovit emisní limity (BSK₅, CHSK, NL, pro citlivé oblasti navíc N a P)¹ a systémy vzorkování, rozborů a kontroly. Je možno uplatňovat buď koncentrační limit nebo procento snížení:

Tab. 1.

Parametr	Koncentrace (mg/l)	Účinnost (% snížení)
<i>Limity pro dvoustupňové čištění</i>		
BSK ₅	25	70 – 90
CHSK _{Cr}	125	75
Nerozpuštěné látky	35	90
<i>Limity pro vyšší stupeň čištění</i>		
Celkový dusík		
do 100 000 EO	2	80
nad 100 000 EO	1	80
Celkový fosfor		
do 100 000 EO	15	70 – 80
nad 100 000 EO	10	70 – 80

Členské státy musí vymezit tzv. citlivé oblasti tj. vodní útvary (vodní toky, nádrže, podzemní vody včetně vod minerálních, mořské vody) zasažené nebo ohrožené eutrofizací² nebo jakýmkoliv znečištěním a vodní útvary určené pro odběry pitné vody. Tato identifikace nesmí být ovlivněna ekonomickými hledisky. Vymezení nemusí být provedeno, vztáhnou-li se požadovaná přísnější opatření na celé území státu. Tam, kde je to vhodné, mohou být vymezeny i tzv. méně citlivé oblasti (moře, ústí velkých řek). Revize vymezených citlivých oblastí a hodnocení účinnosti opatření se provádí každé čtyři roky. V citlivých oblastech platí přísnější limity pro vypouštění a požaduje se vyšší stupeň čištění včetně odstraňování fosforu a dusíku. Pro tyto oblasti musí být zpracovány akční programy nápravných opatření.

¹ BSK₅ – biochemická spotřeba kyslíku za pět dnů při 20 °C ve tmě.

CHSK – chemická spotřeba kyslíku (Cr – oxidačním činidlem je dychroman draselný, Mn – oxidačním činidlem je manganistan draselný)

NL – nerozpuštěné látky

P – koncentrace fosforu ve formě iontů PO₄³⁻

N – celková koncentrace dusíku ve formě iontů NO₃⁻, NH₄⁺ a amidického dusíku (skupina NH₂)

² eutrofizace – nadměrný růst řas a sinic, způsobený zvýšenou koncentrací živin ve vodě, který způsobuje přechod z aerobního prostředí do anaerobního v době odumírání a rozkladu rostlin.

Pro obce nad 2.000 ekvivalentních obyvatel (EO)² je požadováno zavedení kanalizace a čistíren odpadních vod s biologickým stupněm do konce r. 2005 (viz Tab. 2). Pro větší obce nad 15 000 EO a průmyslové zdroje s produkcí znečištění nad 4.000 EO bylo čištění odpadních vod požadováno do konce r. 2000. I pro obce pod 2.000 EO je požadováno vhodné čištění v případě, že je zde vybudována kanalizace. Přísnější podmínky a kratší termíny jsou stanoveny pro vypouštění do citlivých (eutrofizovaných) oblastí. Přehled je v následující tabulce³:

Tab. 2.

Počet EO	do 2000	2 - 10 000	10 - 15 000	15 - 150 000	nad 150 000
Citlivé oblasti (eutrofizace)	31.12.2005 je-li kanalizace vhodné čištění	31.12.2005 kanalizace dvoustupňové čištění	31.12.1998 kanalizace vyšší stupeň čištění	31.12.1998 kanalizace vyšší stupeň čištění	31.12.1998 kanalizace vyšší stupeň čištění
Normální oblasti	31.12.2005 je-li kanalizace, vhodné čištění	31.12.2005 kanalizace dvoustupňové čištění	31.12.2005 kanalizace dvoustupňové čištění	31.12.2000 kanalizace dvoustupňové čištění	31.12.2000 kanalizace dvoustupňové čištění
Méně citlivé oblasti (moře, ústí velkých řek)	31.12.2005 je-li kanalizace, vhodné čištění	31.12.2005 kanalizace vhodné čištění	31.12.2005 kanalizace jedno nebo dvoustupňové čištění	31.12.2000 kanalizace jedno nebo dvoustupňové čištění	31.12.2000 kanalizace dvoustupňové čištění

Dále platí následující pravidla:

- Vypouštění vyčištěných vod z ČOV musí podléhat povolení.
- Pokud je to vhodné, mají být tyto vody znovu užívány.
- Vypouštění průmyslových odpadních vod do komunálních kanalizací musí podléhat zvláštnímu povolení.
- Je zakázáno vypouštění čistírenských kalů do vodních toků.
- Kvalita vody ve výpustích a v recipientu se pravidelně monitoruje.
- Čistírny odpadních vod musí být projektovány a provozovány tak, aby zajistily dostatečný výkon za běžných klimatických podmínek.
- Je stanovena povinnost zpracovat investiční programy výstavby kanalizací a ČOV.

Situační zprávy pro EK o postupu zavádění směrnice jsou požadovány v dvouletém intervalu. Komise následně publikuje souhrnnou zprávu za EU.

Kontrolní otázky:

1. **Napište číslo a přesný název platného vodního zákona!**
2. **Které další právní normy se vztahují k ochraně vod?**
3. **Které orgány státní správy pečují o ochranu vod?**
4. **Jaké vazby jsou mezi legislativou ČR a EU?**
5. **Který parametr rozhoduje o platnosti příslušných nařízení EU?**

³ Splnění níže uvedených termínů je podmíněno rozsáhlými úpravami nebo opravami stávajících kanalizačních sítí a ČOV, v řadě obcí zcela novou finančně náročnou investiční činností. Termíny nebyly v ČR plněny. Ke splnění je využíváno finančních zdrojů ČR a strukturálních fondů EU.

2.0. Povrchové vody a zdroje jejich znečištění

Vodními zdroji se rozumí vody povrchové nebo podzemní, které mohou být využívány pro krytí potřeb společnosti, tj. především obyvatelstva, průmyslu a zemědělství.

Podzemní vody představují tu část podpovrchových vod, které vyplňují dutiny zvodněných hornin. Horninové prostředí a jeho struktura určuje podmínky pro proudění či akumulaci vod pod povrchem. Významně ovlivňuje chemické složení podzemních vod rozpouštěním minerálů, adsorpcí nebo desorpcí látek na částicích půdy a hornin, mícháním vod různého původu s možností chemických reakcí mezi přítomnými složkami za vzniku rozpustných i nerozpustných sloučenin. Samostatnou kategorií podzemní vod jsou vody minerální obsahující nad $1,0 \text{ g} \cdot \text{l}^{-1}$ rozpustných solí a vody termální s teplotou nad $30 \text{ }^\circ\text{C}$. Podzemní vody obsahují minimální množství kyslíku a organických látek, mikrobiologické oživení je téměř vyloučeno, pokud nejsou znečištěny průsakem z antropogenní činnosti (např. z průmyslových areálů, zemědělské výroby, komunální sféry) nebo znečištěných povrchových vod. V podzemních vodách jsou zvýšené koncentrace oxidu uhličitého, sloučenin vápníku, hořčíku, železa a manganu. S ohledem na jakost jsou podzemní vody rozděleny na vody vhodné pro vodárenské účely - jejich chemické složení je blízké ČSN 75 7111 "Pitná voda" nebo jsou na pitnou vodu dostupnými technologickými postupy upravitelné za přijatelných ekonomických nákladů. Z uvedeného vyplývá, že také část podzemních vod je nevhodná pro vodárenské účely.

Povrchové vody jsou z hlediska množství rozhodující částí vodních zdrojů ČR. Kryjí až 80 % potřeb vody. Zahrnují veškeré vodní toky a vodní nádrže přírodní i umělé. Povrchové vody mají proměnlivou teplotu závisle na ročním období. Obsahují vyšší množství rozpuštěného kyslíku, organických látek různého původu, mikroflóru i mikrofaunu. Obsah anorganických rozpuštěných látek (mineralizace) je oproti podzemním vodám nižší. Jakost povrchových vod je na horních tocích nejvyšší z hlediska možnosti úpravy na vodu pitnou. Proto jsou vodárenské nádrže stavěny přednostně na horních tocích řek.

Zdroje podzemních a povrchových vod stejně jako všechny vodní toky České republiky jsou odkázány na atmosférické srážky (viz Tab. 3,4, [16]). Rozvoj průmyslové výroby, zemědělských závlah, splavňování vodních toků a růst životní úrovně obyvatelstva byly vždy spojeny se zvýšením spotřeby vody. To si vynucovalo zásahy do odtokového režimu povrchových vod s cílem vytvoření jejich zásob pro krytí spotřeby v období nižších srážek v průběhu roku i mezi roky.

Výstavba přehrad pro vodárenské účely, jezů a splavů na tocích Labe, Vltavy, Moravy a dalších řek umožňuje účelnou regulaci odtoku povrchových vod z území ČR. Navíc byly souběžně vytvořeny podmínky pro splavnění uvedených velkých řek, využití jejich hydroenergetického potenciálu a rekreační využití vodních ploch i jejich okolí. Byla takto vybudována síť hydroelektráren využívaných především pro krytí spotřeby elektřiny v době energetických špiček, kdy je zátěž elektrizační soustavy nejvyšší. Instalovaný výkon hydroelektráren odpovídá cca 10% kapacity všech elektráren ČR. Hydroelektrárny ale v důsledku omezených zdrojů vod zajišťují jen cca 5% roční výroby elektřiny.

Dále byla vystavěna řada vodárenských nádrží, přednostně na horních tocích řek, zachycujících vodu z jarního tání a přívalových dešťů v průběhu roku. Výhodou jejich lokalizace je zachycení vod minimálně znečištěných antropogenní činností vhodných především pro úpravu na vodu pitnou.

Přehradní nádrže a další vodní díla včetně rybníků významně zvyšují zásoby povrchových vod a přispívají ke zvýšení jejich čistoty díky probíhajícím přirozeným čistícím procesům. Tímto způsobem jsou dlouhodobě kryty rostoucí nároky na spotřebu vody a významně sníženy náklady na úpravárenské postupy pro přípravu vody pitné, užitkové a průmyslové.

Tabulka 3.: **Roční odtok podle hlavních povodí (v milionech m³ za rok)**

Povodí	Průměrný roční odtok (mil. m³.rok⁻¹)	Minimální roční odtok (mil. m³.rok⁻¹)	Plocha povodí (km²)
Labe (+)	10.000	4.600	51.491
Odra	1.750	910	6.252
Morava	2.890	1.420	21.119

(+) včetně povodí Lužické Nisy, Smědavy a Mandavy

Některé technické a ekonomické aktivity, zejména ve druhé polovině 20. století, ale vedly k výraznému zhoršení kvality povrchových i podzemních vod především na dolních tocích velkých řek. Např. regulací menších vodních toků – hlavně zpevněním břehů zásypem kamenivem, vyzděníím či vybetonováním břehů, vydlážděním dna nebo až kanalizačních toků spojeným s jejich zkrácením odstraněním částí meandrů se zhoršily podmínky pro přirozené čistící procesy. Regulace vodních toků byla v některých případech spojena s neuváženou výstavbou protipovodňových hrází, která zmenšila plochu inundačních území při vodních tocích. Situace je napravováno revitalizacemi vodních toků, které zahrnují i výstavbu suchých poldrů pro zachycení extrémních srážek. Zvýšilo se tak riziko vyšších a povodím rychleji se šířících povodňových vln při intenzivních dešťových srážkách nebo rychlém tání sněhu. Vyšší průtoky vody pak způsobují zvýšenou erozi koryt toků a růst koncentrace nerozpustných látek v tekoucích vodách.

Větrná a zejména vodní eroze půdy rovněž významnou měrou přispívá ke znečištění vodních toků. Markantní je tento jev na velkých ne vždy vhodnou technologií obdělávaných zemědělských půdách nebo po přechodnou dobu odlesněných lesních půdách. Tomu lze bránit vhodnou technologií orby a setí (po vrstevnicích) na zemědělsky obdělávaných parcelách, obnovou některých struh a mezí v krajině, uvážlivým hospodařením v lesích, údržbou pastvin, sečením travních porostů apod. Vyplavování nebo průsak znečišťujících látek ze zemědělsky intenzivně využívaných pozemků zvyšuje znečištění vod zejména sloučeninami dusíku a fosforu z průmyslových hnojiv i zbytky ze statkových hnojiv a pesticidů.

Rozsáhlou výstavbou vodovodů a kanalizací bez odpovídajících čistíren odpadních vod v obcích spolu s neúměrným počtem výjimek z platného vodního zákona udělovaných průmyslovým podnikům vedl k vážnému poškození kvality povrchových vod. Tím se nároky na úpravu vod pro průmyslové účely, ale hlavně úpravu na vodu pitnou na dolních tocích řek trvale zvyšovaly. Je nutné zdůraznit, že některé zdroje podzemních vod využívané pro přípravu pitné vody jsou významně zásobovány

infiltrací povrchových vod do odběrových studní. Infiltrací je voda obohacována rozpouštěním minerálních látek z horninového prostředí a zároveň zbavována části nerozpustných znečišťujících látek. Tyto zdroje podzemních vod jsou zejména v povodí Labe, Jizery a Moravy v ČR. Podobně je tomu v povodí Labe např. na území SRN, v povodí Dunaje v Rakousku a Maďarsku i v povodí Odry v Polsku.

Zvýšený obsah znečišťujících látek spolu se změnou jejich kvality posunem v chemickém složení k biochemicky hůře odbouratelným látkám a celkovým nárůstem množství i počtu znečišťujících látek vstupujících do povrchových vod vážně ohrožovalo po celé minulé století kvalitu vody v tocích. Následně vedlo až k zásadním změnám ve flóře a fauně povrchových vod, poklesu biodiverzity i vymizení některých druhů biologických organismů.

Tabulka 4.: **Roční odtok vytvářející se na území státu zvýšený o přítok ze zahraničí**

Stát	Průměrný roční odtok (km ³ .rok ⁻¹)	na obyvatele (tis. m ³ .rok ⁻¹)	na km ² území (tis. m ³ .rok ⁻¹)
ČR	15	1,5	190
SR	75	15,0	700
Maďarsko	120	12,0	1290
Polsko	59	1,8	187
SRN	162	3,0	650
Francie	207	4,2	380
Itálie	187	3,8	610
Švédsko	183	23,4	410
Norsko	413	115,0	1270

Z uvedených tabulek jsou patrné značné výkyvy v ročních objemech povrchových vod, které jsou v ČR k dispozici. Množství vod vztažené na obyvatele náleží v ČR k nejnižším v Evropě! Tím je potvrzen význam ochrany všech zdrojů vod v našem státě. Cenovou regulací vodného a stočného je vedle krytí nákladů na výstavbu a provoz příslušných zařízení také řešeno relativní i absolutní snížení spotřeby vody všemi odběrateli. Hospodárné využívání zdrojů vod při zvyšování jejich zásob zajišťuje plynulé zásobování všech odběratelů – obyvatelstva, průmyslu, zemědělství a sféry služeb (viz tab. 1. a 2.).

Povrchové vody jsou zejména průmyslovou a komunální sférou využívány podél vodních toků **opakovaně**. Při odběru čerstvé vody z vodního toku a vypouštění použité vody zpět je nutnost zajištění čistoty vypouštěné vody do povrchových vod základním předpokladem pro umožnění tohoto cyklu nakládání s vodami.

Proto byla a je nevyhnutelná potřeba zintenzivnění ochrany povrchových vod zásadní změnou v přístupu k výstavbě a údržbě kanalizačních sítí a zejména čistíren odpadních vod komunálních i průmyslových. Nezastupitelnou úlohu má modernizace a rozvoj technologií čištění odpadních vod všech druhů. Trend nastoupený v ochraně čistoty povrchových a podzemních vod podložený novou legislativou v devadesátých letech 20. století znamenal zásadní obrat.

2.1. Znečištění vodních toků

Znečišťující látky vstupující do povrchových vod nepříznivě ovlivňující celkový stav vodního toku a složení vody. Nečistoty plovoucí na hladině působí rušivě až odpudivě, vizuální dojem je velmi negativní. V případě přítomnosti těkavých složek ve vodě mohou pachy obtěžovat bližší i vzdálenější okolí. To platí zejména u peřejí, splavů a jezů, kde dochází k intenzivnímu provzdušnění vody a desorpci rozpuštěných plynů (princip stripingu). Znečišťující látky lze vzájemně rozlišit dle několika hledisek:

Dle vstupu do toku lze rozlišit zdroje:

- místní – bodové, které ústí do vodního toku v jednom konkrétním místě. Jedná se např. o vyústění kanalizační sítě, malý znečištěný tok nebo stoku.
- liniové – difusní, které vstupují do toku např. průsakem kontaminované vody z pobřežních pozemků, vodní erozí způsobenou odplavováním půdy při deštích nebo při rychlém tání sněhu.

Dle skupenství znečišťujících látek:

- plynné látky: - rozpuštěné ve vodě,
- tuhé látky: – rozpuštěné ve vodě tvořící pravé nebo koloidní roztoky,
 - nerozpuštěné suspendované v objemu vody dobře sedimentující nebo nesedimentující,
 - nerozpuštěné plovoucí na hladině,
- kapalně látky: – dokonale mísitelné s vodou tvořící roztoky,
 - částečně mísitelné tvořící roztoky nebo emulze,
 - nemísitelné s vodou, často plovoucí na hladině.

Dle původu lze rozlišit látky pocházející z:

- průmyslu,
- zemědělství,
- komunální sféry,
- půda a nesoudržné horniny s povrchu Země transportované erozními procesy (vodní a větrná eroze),
- zbytky vegetace splavené do toku při povodních apod.

Dle chemického složení lze rozlišit látky:

- organické: - biologicky rozložitelné
 - rozpuštěné tvořící roztoky (např. sacharidy, alkoholy, karboxylové kyseliny)
 - nerozpuštěné tvořící suspenze nebo koloidní roztoky (např. škroby, rostlinné oleje a tuky, bakterie, řasy)
- biologicky nerozložitelné (rozuměno v intervalu cca do 1 měsíce)
 - rozpuštěné (např. azobarviva)
 - nerozpuštěné tvořící emulze, povlak kapalinového filmu na hladině nebo pěnu (např. plasty, papír, ropné látky, vosky)
- anorganické: - rozpuštěné (např. chloridy alkalických kovů, kovů alkalických zemin a některých těžkých kovů, sírany a fosforečnany alkalických kovů)
 - nerozpuštěné (např. sírany, fosforečnany, fluoridy kovů alkalických)

zemin a některých těžkých kovů, křemičitany a
hlinitokřemičitany alkalických kovů a kovů alkalických
zemin, hydroxidy těžkých kovů)

Nejvíce kvalitu vody ohrožují **látky rozpuštěné** ve vodě. Tyto látky **ovlivňují kvalitu vody v celém objemu**. Pokud se jedná o organické látky podléhající biochemickému rozkladu, snižují za aerobních podmínek koncentraci kyslíku ve vodě a nejvíce ohrožují vodní flóru a faunu. V krajním případě může dojít až ke zvratu biochemického rozkladu z aerobních do anaerobních poměrů.

Rozpuštěné anorganické látky zvyšují koncentraci minerálních látek (solnost) ve vodě. Jejich korozivní účinky na kovové i betonové konstrukce se s růstem koncentrace a teploty vody zvyšují. Často způsobují potíže při úpravě vody, někdy omezují až vylučují její použitelnost, neboť prodražují úpravárenské procesy. Nejzávažnější potíže způsobují ionty amonné, dusičnanové a fosforečnanové. Tyto základní živiny mohou za příznivých světelných a tepelných podmínek vyvolat enormní růst biomasy spojený až eutrofizací vod (viz dále).

Nerozpuštěné anorganické a organické látky suspendované ve vodě (např. jíly) nebo plovoucí na hladině (např. dřevo) kvalitu vody ovlivňují jen v některých případech, ale hlavně působí nepříznivě na vzhled toku. Nejhorší jsou v tomto směru rostlinné oleje a tuky, ale zejména ropné látky (motorová paliva a maziva, lehké a těžké topné oleje, rozpouštědla aj.). Všechny tyto znečišťující látky se na hladině rozprostírají do tenké vrstvy bránící přístupu vzduchu, čímž brání rozpouštění kyslíku ve vodě. Jejich biochemické odbourávání přirozenými procesy sice probíhá, ale velmi pomalu. Při delším trvání tohoto znečištění (několik dnů nebo týdnů) závisle na množství znečišťujících látek, ročním období, průtoku a teplotě vody, teplotě atmosféry a slunečním svitu může dojít až ke kolapsu ekosystému. Potom jeho návrat do původního přírodního stavu trvá velmi dlouho nebo je bez aktivního zásahu člověka vyloučen. Proto je nezbytné co nejrychlejší zastavení šíření plovoucích látek pomocí norných stěn a odčerpání nebo sbírání nečistot s hladiny toku. Zbytkové znečištění je sanováno pomocí adsorbentů např. na bázi křemeliny, vláknitých hmot nebo dřevěných pilin.

Nerozpuštěné látky s hustotou vyšší než má voda se v klidnějších úsecích vodních toků usazují a zanášejí koryto. Současně zhoršují prosvětlení vody. U splavněných řek sedimenty způsobují další potíže – snižují využitelný ponor plavidel a zhoršují průjezdnost plavební dráhy. Při zvýšených průtocích se část kalů zvirí a pohybuje se vodním tokem až se opět nekontrolovatelně usadí v klidnějších úsecích toku, což může zásadně měnit plavební podmínky. Při poklesu průtoku po povodních suspendované látky sedimentují v zátopovém (inundačním) území. Dle kvality sedimentu ovlivňují využitelnost a úrodnost půdy. Kaly mohou významně působit na změny ekosystému. V silnějších vrstvách usazených kalů obsahujících organické látky probíhají pomalejší anaerobní rozkladné procesy, neboť k nim nemá přístup okysličená voda. Do vody se pak v podobě bublin uvolňuje oxid uhličitý a metan. Humínové kyseliny a jejich soli obsažené v sedimentech působí jako iontoměniče a vážou na sebe kationy těžkých kovů. Proto bahno vytěžené ze dna toků nebo nádrží může být zcela nevhodné pro rekultivace, zúrodnování půd, přípravu kompostů apod. Bývá klasifikováno jako nebezpečný odpad a dle toho se s ním musí nakládat – musí být uloženo na skládkách nebezpečných odpadů (viz díl „Zneškodňování odpadů“).

Mikroorganismy – bakterie, viry, řasy aj. – ve vodním prostředí se vyskytuje velké množství mikroorganismů. Některé z nich mají vliv na samočisticí procesy ve vodách, jiné mohou mít škodlivé účinky. Jejich škodlivost je hodnocena podle patogenity - schopnosti vyvolávat různá infekční onemocnění. Platí, že patogenní zárodky se nejlépe množí a déle přežívají ve znečištěné vodě s dostatkem živin (zejména sloučenin N, P, K) a za zvýšené teploty. Optimální teplotní podmínky pro jejich život jsou obvykle mezi 25 - 40 °C. Řada kmenů bakterií naopak v přirozených samočisticích procesech způsobuje biochemické odbourávání organických sloučenin (viz dále).

Oteplení vodního toku bývá problémem při vypouštění větších objemů ohřátých chladících vod z průmyslu nebo energetiky. Hovoří se potom o tepelném znečištění vodního toku. Nejvýraznější je tento problém v letních měsících za vyšších atmosférických teplot a nízkých průtoků vody v tocích. Zvýšená teplota vody způsobuje snížení koncentrace kyslíku ve vodě jeho nižší absorpcí a rozpustností, urychlení rozkladných procesů a tím vyšší spotřebu kyslíku. V krajním případě se při dlouhodobém vypouštění oteplených vod zcela změní ekosystém v daném úseku toku. Z tohoto důvodu není přípustné vypouštět do povrchových toků vodu teplejší než 40 °C a zvýšit teplotu vody mezi odběrem a výpusť zpět do toku o více než 20 °C. Řada vodních organismů je citlivá na rychlé změny teploty, které mohou vyvolat až teplotní šok spojený s úhynem příslušných organismů.

Radioaktivní látky přirozeného nebo antropogenního původu mohou rovněž znečistit povrchové vody. Tyto látky mohou zářením dlouhodobě ovlivňovat vodní flóru a faunu, snadno jsou přenášeny do potravních řetězců. Adsorpce a chemisorpce radionuklidů v anorganických a organických sedimentech působí nepříznivě – koncentrují se v nich a v případě zvýšených průtoků nebo povodní jsou vodou transportovány povodím a zamořují další úseky vodních toků nebo zaplavené pozemky.

Analogicky mohou být znečištěny i podzemní vody. Jelikož jsou často zdrojem pro úpravny pitné vody, případně přímé zásobování obyvatelstva pitnou vodou ze studní, je toto poškození podzemních vod vždy velmi závažné. Často na dlouhou dobu zcela vyřazuje znečištěné podzemní zdroje z jejich využitelnosti. Také sanace - odstranění znečišťujících látek - je komplikovanější a vždy je nákladné. Často musí být vyvrtána síť vrtů - studní pro odebrání vzorků podzemní vody k chemickým analýzám a monitorování šíření znečištěné vody. Vrty jsou pak využívány pro sanaci.

V principu jsou užívány dvě metody sanace znečištění podzemních vod:

- *in situ* – spočívá ve vhánění vzduchu do podzemních vod v místě jejich znečištění nebo naopak odsávání par těkavých látek z hladiny podzemních vod, očkování vody mikroorganismy schopnými rozkládat znečišťující látky apod.
- *ex situ* - spočívá v odčerpávání vody z podzemního zdroje a její separátní čištění ve stabilních čistírnách odpadních vod nebo k tomu účelu instalovaných čistírnách.

Volba metody především závisí na:

- chemickém složení a koncentraci znečišťujících látek,
- ploše zasaženého území s kontaminovanými vodami,
- rychlosti a směru proudění podzemních vod,
- teplotě podzemních vod,
- propustnosti a charakteru horninového prostředí apod.

Všechny dříve popsané zdroje a účinky znečištění na kvalitu vody jsou označovány jako **primární** (prvotní). Zhoršení kvality vody ale mohou také vyvolat biochemické nebo chemické procesy probíhající následně až ve vodním prostředí mající za následek **sekundární** (druhotné) znečištění.

Např. zvýšený přísun živin – fosforečnanů a dusičnanů, zejména v prohráté stojaté vodě koncem léta, může intenzifikovat fotosyntézu natolik, že způsobí přemnožení některých druhů řas, sinic a vodních rostlin. Objem biomasy původně příznivě působící na kyslíkovou bilanci ve vodě vyvolá po jejím odumření během biochemického rozkladu rychlé odčerpávání kyslíku. To může skončit až zvratem k anaerobním procesům s eutrofizací vody spojené s hynutím všech biologických organismů přítomných ve vodě. Přitom rozkladem nižších organismů, hlavně planktonu, vzniká sapropel (hnilokal) - jezerní, rybníční nebo říční sediment tmavé barvy. Kal vykazuje přibližně neutrální reakci. Vytváří páchnoucí bahno bohaté na organické látky a sulfidy železa.

Pro povrchové vody je stanovováno saprobní číslo vyjadřující čistotu vod podle osídlení organismy – jedná se o formu bioindikace. Toto hodnocení člení vody do pěti tříd (v uvedeném pořadí klesá znečištění vod):

- polysaprobie,
- α -mezosaprobie,
- β -mezosaprobie,
- oligosaprobie,
- katarobie.

2.2. Samočištění vodních toků

Vodní tok jako každý ekosystém reaguje na podněty okolí, v tomto případě vstupující znečišťující látky. Pochody, kterými se snaží vrátit do původního rovnovážného stavu spolupůsobí při samočištění povrchových vod. Přitom se uplatňují následující procesy:

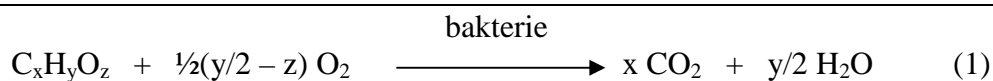
2.2.1. Biochemické procesy

Řada kmenů bakterií vyvolává v tekoucích nebo stojatých vodách biochemické odbourávání organických sloučenin, které je principem přirozených samočisticích procesů. Tyto procesy jsou v intenzifikované podobě využívány v biologickém stupni čištění odpadních vod. Základem jsou biochemické oxidačně-redukční reakce. Hlavním faktorem rozdělení biochemických procesů je konečný akceptor elektronů a s ním související hladiny oxidačně redukčních potenciálů.

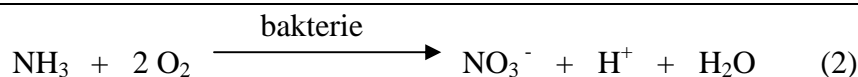
V aerobní oblasti (oxické) probíhá oxidace organických látek a nitrifikace. **Konečným akceptorem elektronů je kyslík rozpuštěný ve vodě.** Oxická oblast vykazuje oxidačně-redukční (redox) potenciál nad +50 mV.

Základem biochemického odbourávání organických látek ve vodách je v případě aerobních podmínek jejich postupná oxidace a následně mineralizace – přeměna až na oxid uhličitý a vodu. Meziprodukty oxidace jsou alkoholy, aldehydy nebo ketony, karboxylové kyseliny a jejich sloučeniny. Účinkem bakterií tak vznikají konečné

produkty rozkladu - voda a oxid uhličitý. Proces biochemického odbourávání lze schematicky znázornit rovnicí:

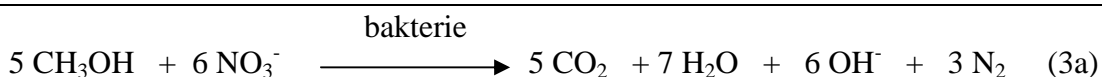


V aerobní oblasti probíhá za účasti bakterií nitrifikace amoniaku:



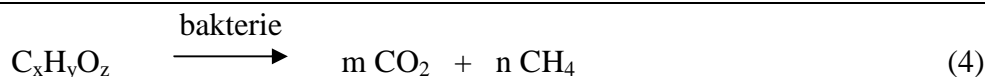
Oblast, kde se hodnota redox potenciálů nachází v rozmezí od +50 mV do -50 mV, je nazývána **anoxickou – bezkyslíkatou oblastí**. V této oblasti probíhá denitrifikace – anoxická oxidace neboli nitrátová respirace. V této oblasti není ve vodě přítomen rozpuštěný kyslík, ale jsou v ní rozpuštěny dusitany a dusičnany. **Konečným akceptorem elektronů je dusitanový a dusičnanový dusík.**

V anoxické oblasti probíhá za účasti bakterií denitrifikace schematicky popsaná např. následujícími rovnicemi:



Z uvedeného schématu vyplývá, že jsou při denitrifikaci uvolňovány do roztoku OH^- ionty, což může vést k růstu pH závisle na tlumivé kapacitě systému. V krajním případě může dojít až inhibici procesu denitrifikace.

Pokud není ve vodě přítomen rozpuštěný kyslík, dusitany ani dusičnany, jedná se o oblast anaerobní. V anaerobní oblasti jsou redoxní potenciály pod -50 mV. Za těchto podmínek probíhá biologické odstraňování fosforu depolymerací polyfosfátů, desulfatace vedoucí až k sulfanu, anaerobní acidogeneze, acetogeneze a methanogeneze. Konečným akceptorem elektronů je organická látka, přičemž část molekuly se oxiduje a část redukuje. V anaerobních podmínkách se při probíhající biochemickém rozkladu organických látek uplatňují hlavně redukční procesy za vzniku metanu a oxidu uhličitého:



Současně vznikají poměrně stabilní sloučeniny huminového typu a do vod se uvolní minerální živiny – dusičnany a fosforečnany, dále sloučeniny síry a jiných prvků.

Část minerálních živin vznikajících během biochemického rozkladu organických látek spotřebovávají bakterie a dále zelené řasy s vodními rostlinami během fotosyntézy spolu s částí vznikajícího oxidu uhličitého. Přínosem fotosyntézy je produkce kyslíku

rozpouštějícího se ve vodě, čímž se intenzifikuje aerobní rozklad. Nevýhodou po odumření vodních rostlin je vznik dalšího podílu biomasy, která vodu znečišťuje a opět podléhá biochemickému rozkladu spojenému se spotřebou kyslíku.

V ekologicky vyváženém systému je produkce kyslíku vyšší než jeho spotřeba a dle teplotních a tlakových poměrů kyslík resorbuje do atmosféry. Tento cyklus koloběhu živin, kyslíku a biomasy bývá spojen s produkcí závadných nebo alergenních látek některými řasami. Ty mohou ohrožovat vodní živočichy i člověka.

2.2.2. Fyzikální a fyzikálně-chemické procesy

Látky těžší než voda sedimentují na dně toku. Jejich negativní vliv na čistotu a prosvětlení vody se snižuje. Za zvýšených průtoků jsou sedimenty odplavovány, za povodňových situací sedimentují v inundačním území podél vodního toku nebo v klidnějších zónách koryta. Rizika spojená se sedimenty byla komentována v kapitole 1.3.

Regulací vodních toků byla silně potlačena vodní eroze břehů – břehy splavněných toků bývají dlážděné nebo obložené kamenivem, v některých úsecích velkých měst jsou zděné. Tím poklesl zákal vody působený vodní erozí břehů, ale také se zhoršila infiltrace říční vody do břehů při vzestupu hladiny. Řada vodních toků byla splavněním a odstraněním meandrů významně zkrácena. V ČR na Labi je toto zkrácení řečiště odhadováno až na 70 km!

Po regulaci vodních toků byla neuváženě zavezena nebo hrázemi od vodního toku oddělena vedlejší nebo slepá ramena. Také byla zastavěna některá záplavová území podél toků. Tím se významně zhoršily odtokové poměry za vyšších stavů vody při jarním tání nebo dlouhodobých či intenzivních srážkách. Výsledkem těchto zásahů je nižší akumulace a vsakování vod v záplavových územích, vyšší povodňové vlny a jejich rychlejší šíření povodím.

Stabilizací hladiny výstavbou splavů, jezů, hrází nebo přehrad je snížena intenzita proudění, jsou zlepšeny podmínky pro sedimentaci kalů a prosvětlení vodních vrstev. Naopak lodní doprava způsobuje zviřování sedimentů a přechodné zakalení vody. Světlo je nutnou podmínkou fotosyntézy, procesů zajišťujících uvolnění kyslíku do vody a průběh aerobního biochemického rozkladu. Proto má světlo nezastupitelný význam pro samočisticí procesy. Menší turbulencí v klidnějším toku je ale způsoben pomalejší transport kyslíku od hladiny do objemu vody – ve větší míře se uplatňuje pomalejší molekulární difuze místo proudění (konvekce). Při transportu kyslíku z atmosféry do vody příznivě působí kromě turbulence na peřejích, jezích a splavech také vítr a vlny, čímž se promíchávají svrchní vrstvy vody při hladině, zvyšuje se mezifázový povrch rozhodující pro výměnu plynů difusí mezi atmosférou a vodou. Intenzivní provzdušnění vody tedy intenzifikuje jak absorpci kyslíku, tak desorpci plynů. Rozhodující je koncentrace složek rozpuštěných ve vodě a jejich parciální tlak v plynné fázi nad hladinou (v atmosféře), teplota atmosféry a teplota vody, atmosférický tlak a z nich vyplývající rovnovážné koncentrace.

2.2.3. Chemické procesy

Látky přirozeně přítomné ve vodách mohou chemicky reagovat se sloučeninami vstupujícími do toků s odpadními vodami. Tím se může část znečišťujících látek přeměnit na neškodné sloučeniny, které kvalitu vody neohrožují, resp. mohou vzniknout dobře sedimentující sraženiny. V tomto případě jsou výsledky průběhu chemických reakcí pro vodní prostředí příznivé. Příkladem mohou být uhličitany, fosforečnany a sírany, které s řadou kationtů z druhé a vyšších skupin periodické soustavy prvků, zejména těžkých kovů, tvoří omezeně rozpustné až nerozpustné sloučeniny. Vedle srážecích reakcí probíhají ve vodách reakce neutralizační a oxidační. Oxidaci rozpuštěným kyslíkem snadno podléhají siřičitany nebo dvojmocné železo. Jejich sloučeniny jsou často méně rozpustné a dobře sedimentují.

Opačný efekt – zhoršení kvality vody - mohou mít rozkladné reakce probíhající v důsledku poklesu pH vody při deštích v územích s vysokou depozicí kyselinotvorných oxidů v atmosféře (SO_2 , NO_x). V kyselější vodě se některé omezeně rozpustné nebo původně nerozpustné sloučeniny rozloží a rozpustí. Tím se zvyšuje koncentrace minerálních solí ve vodě se všemi negativními důsledky pro její kvalitu.

Výsledkem samočisticích procesů je vždy zlepšení kvality vody. Zda je dosaženo téměř úplného vyčištění vody nebo nikoliv záleží v první řadě na původní kvalitě vody, úrovni znečištění, charakteru a koncentraci znečišťujících látek, průtoku, intenzitě proudění a teplotě vody. Pro odstranění organických sloučenin je navíc důležitá kyslíková bilance a biochemická rozložitelnost těchto látek (viz dále).

Samočisticí kapacita povrchových vod je omezená. Zpočátku je rychlost samočisticích procesů vysoká. S vyčerpáváním kyslíku se jejich rychlost zpomaluje a v krajním případě se mohou zcela zastavit. Překročení samočisticí kapacity se projeví změnami nebo poškozením biocenózy, mění se zastoupení některých druhů vodní flóry a fauny, případně některé citlivé druhy ryb, koryšů a měkkýšů zmizí. Samočisticí biochemické procesy se zastaví v případě přítomnosti toxických látek ve vodách, neboť blokují biochemické procesy.

V povrchových vodách jsou do jisté míry stále úrovně znečištění, které mají charakteristickou biocenózu odlišnou od např. toku neznečištěného. Pro úseky s určitou kvalitou vody jsou typické vybrané druhy vodních organismů, které jsou základem pro klasifikaci toků do tzv. saprobního systému. Nejčistší pramenné vody jsou katarobní, relativně čisté vody v přirozených podmínkách jsou oligosaprobní, mírně znečištěné vody jsou mesosaprobní, silně znečištěné polysaprobní atd. (viz kap. 2.1.). Tak lze podle identifikovatelných organismů z tabulek určit odpovídající pásmo a podle něho stupeň znečištění vodního toku v daném úseku. Výhodou této nepřímé metody kontroly kvality vody je relativní rychlost a spolehlivost. Vypovídá o koncentraci a kolísání obsahu znečišťujících látek v určitých mezích a zejména v delším časovém úseku daném reprodukčním cyklem příslušných organismů.

Kontrolní otázky:

- 1. Jakého skupenství jsou znečišťující látky ve vodách?**
- 2. Co je rozuměno primárním a sekundárním znečištěním vod?**
- 3. Co je samočištění povrchových vod, jaké procesy se při něm uplatňují?**
- 4. S jakými typy disperzí se setkáváme v oboru ochrany vod?**
- 5. Vyjmenujte alespoň tři typy znečištění vod!**
- 6. Jak ovlivňuje hospodaření v krajině kvalitu povrchových a podzemních vod?**
- 7. Čím je způsobena eutrofizace vod?**

3.0. Biochemická, chemická a teoretická spotřeba kyslíku

V předchozím textu byla zdůrazňována úloha kyslíku v aerobních biochemických procesech. Tyto procesy zajišťují oxidaci organických znečišťujících látek z různých příčin se vyskytujících ve vodách. Obsah přirozeně rozložitelných organických látek ve vodách se zpravidla stanovuje nepřímo stanovením spotřeby kyslíku na jejich biochemickou oxidaci za definovaných podmínek.

3.1. Biochemická spotřeba kyslíku – BSK

Aerobní mikroorganismy využívají organické látky přítomné ve vodách jako zdroj energie, uhlíku pro výstavbu vlastních buněk a syntézu zásobních látek. Rozkládají je a přitom spotřebovávají kyslík rozpuštěný ve vodě. Úplná biochemická oxidace v buňkách mikroorganismů probíhá za normální teploty asi 10 – 20 dnů. To odpovídá tzv. hodnotě BSK₀.

Parametr BSK₅ se používá pro charakterizaci úrovně znečištění povrchových vod nebo odpadní vody organickými látkami, posouzení jeho vlivu na vodní tok, možností a účinnosti samočisticích procesů. BSK₅ je rovněž jedním z parametrů rozhodujícím o využitelnosti vody pro určité účely užití.

Biochemická spotřeba kyslíku BSK₅ je takové množství kyslíku v mg O₂ · l⁻¹ znečištěné vody, které se spotřebuje na biochemický rozklad organických látek přítomných ve vodě za 5 dní při 20 °C a ve tmě (k vyloučení vlivu fotosyntézy).

Během stanovení BSK₅ se stanovuje koncentrace kyslíku ve vodě před a po biochemickém rozkladu. Vzorky více znečištěné vody se ředí destilovanou vodou.

Znalost BSK₅ v odpadních vodách je důležitý parametr pro stanovení kapacity čistíren odpadních vod (ČOV), zejména jejich biologického stupně, a ke kontrole provozu ČOV. V komunálních vodách se za uvedených podmínek během 5 dnů obvykle zoxidují 2/3 původně přítomných organických látek. Jejich úplná oxidace by proběhla cca za 20 dnů.

Stanovení BSK₅ je pracné a zdlouhavé, rovněž přesnost stanovení je velmi závislá na pečlivosti a zkušenostech personálu laboratoří. Proto jsou pro stanovení koncentrace organických látek používány rychlejší chemické metody oxidace, jak je uvedeno dále. Pro technologické účely jsou v praxi používány metody instrumentálně analytické, které jsou rychlejší a poskytují dobře reprodukovatelné výsledky:

Obsah kyslíku se stanovuje:

- chemicky pomocí manganatých solí kvantitativně reagujících s kyslíkem. Vícemocné sloučeniny manganu po okyselení a přidavku jodidu uvolní takové množství jodu, které je ekvivalentní původní koncentraci kyslíku rozpuštěného ve vzorku,
- manometricky měřením poklesu tlaku během biochemického rozkladu a jeho vyrovnáváním elektrolytickým vývojem kyslíku. Elektrolýzou vyloučené množství kyslíku je rovné jeho spotřebě při biochemickém rozkladu.
- kyslíkovými potenciometrickými čidly.

Poslední dvě metody jsou používány pro kontinuální stanovení kyslíku ve vodě, např. během čištění odpadních vod.

3.2. Chemická spotřeba kyslíku – CHSK

Chemická spotřeba kyslíku je spotřeba kyslíku v $\text{mg O}_2 \cdot \text{l}^{-1}$ znečištěné vody, které je třeba k oxidaci vodu znečišťujících organických látek působením oxidačních činidel za standardních podmínek. Je označována jako chemická spotřeba kyslíku – CHSK_{Cr} nebo CHSK_{Mn} podle použitého oxidačního činidla.

U odpadních vod je běžně prováděna oxidace organických látek dichromanem draselným v prostředí 50 % obj. kyseliny sírové při 150 °C po dobu dvou hodin. Přebytek dichromanu se stanoví po ochlazení a zředění vzorku titrací železnatou solí s indikací bodu ekvivalence na ferroin nebo fotometrickou indikací. Za uvedených podmínek dochází u většiny látek k úplné oxidaci. Pouze u etanolu nebo kyseliny octové oxidace proběhne až po přidavku stříbrné soli katalyzující reakci. Organické báze se takto neoxidují, je nutné použití manganistanu draselného v alkalickém prostředí.

U málo znečištěných podzemních a povrchových vod a u pitné vody je také prováděna oxidace manganistanem draselným v kyselém prostředí. Výsledky mají lepší reprodukovatelnost, než je v případě dichromanové metody, i když oxidace organických látek nemusí být také ve všech případech dokonalá.

V posledních letech jsou v provozních laboratořích úpraven vod a čistíren odpadních vod používány modifikované instrumentálně analytické metody stanovení CHSK. K tomu účelu jsou užívány fotometry se sadami chemikálií jednorázově přidávaných do určeného objemu vzorku vody. Po oxidaci vzorku, urychlené např. krátkým ohřevem, je dle intenzity zabarvení fotometricky stanoven obsah organických znečišťujících látek. Fotometr bývá propojen s PC a tiskárnou, která vytiskne protokol s výsledkem stanovení.

Dále jsou používány instrumentálně analytické metody vhodné pro stanovení stopových koncentrací specifických znečišťujících látek. K těmto metodám náleží polarografie, plynová a kapalinová chromatografie, hmotová spektrometrie, isotachofórze aj. metody. Bylo rovněž vyvinuto stanovení celkového organického uhlíku spočívající ve spálení vzorku a stanovení vzniklého oxidu uhličitého infračervenou spektrometrií. Zpracování a tisk výsledků pomocí PC do grafů a protokolů je u těchto přístrojů běžné. Bližší podrobnosti k instrumentálně analytických metodám jsou k dispozici v dostupné odborné literatuře.

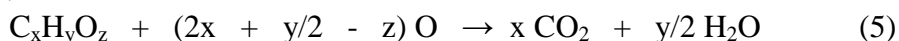
Výhodou stanovení CHSK výše uvedenými instrumentálně analytickými metodami je rychlost, operativnost a možnost použití výsledků pro řízení a kontrolu procesu úpravy vod v úpravnách nebo čištění odpadních vod v ČOV.

Stanovené CHSK je vždy vyšší než BSK. Důvodem je vyšší intenzita chemické oxidace organických látek dichromanem nebo manganistanem draselným proti oxidaci biochemické. Poměr CHSK ku BSK charakterizuje biologickou rozložitelnost dané látky – pro splaškové vody se pohybuje kolem 2.

3.3. Teoretická spotřeba kyslíku – TSK

Teoretickou spotřebou kyslíku je rozuměno takové množství kyslíku v $\text{g} \cdot \text{g}^{-1}$ látky, kdy dojde dle příslušné stechiometrické rovnice k úplné (totální) oxidaci přítomné

oxidovatelné organické látky až na oxid uhličitý a vodu. Pro každou organickou sloučeninu s obecným sumárním vzorcem $C_xH_yO_z$ lze napsat stechiometrickou oxidační rovnici:



Specifická hodnota TSK je potom pro organickou látku s relativní molekulovou hmotností M_r vypočítána dle vztahu:

$$TSK = (4x + y - 2z) 8 / M_r$$

Nejnižší specifickou hodnotu TSK má kyselina šťavelová: $0,178 \text{ g} \cdot \text{g}^{-1}$
 Nejvyšší specifickou hodnotu TSK má metan: $4,00 \text{ g} \cdot \text{g}^{-1}$

Obdobné stechiometrické rovnice lze odvodit pro sloučeniny obsahující např. dusík, síru, halogenidy nebo jejich kombinace. Přitom záleží na konečných produktech přeměny přítomných heteroatomů. Např. N vystupuje ve formě iontů NH_4^+ , S jako SO_3^{2-} , Cl ve formě HCl jako Cl^- apod.

$$TSK > CHSK > BSK_u > BSK_5$$

3.4. Stanovení znečištění jako C_{org}

Koncentraci organických znečišťujících látek ve vodách lze stanovit také nepřímo jako organický uhlík C_{org} . Část organického uhlíku může pocházet z látek přirozeně se vyskytujících ve vodách (humínové kyseliny, lignin, alkoholy, tlející zbytky rostlin aj.). Stanovení spočívá v úplné oxidaci organických sloučenin až na oxid uhličitý a vodu s detekcí množství uvolněného oxidu uhličitého. Oxidace je prováděna na mokré nebo suché cestě - spalováním odloučených organických látek.

Pro technologické účely je ale nutné znát spotřebu kyslíku v kyslíkových jednotkách, která je reprezentativní – obsah uhlíku může být shodný pro různé organické sloučeniny, ale spotřeba kyslíku pro úplnou oxidaci se může lišit!

Kontrolní otázky:

1. **Definujte co nejpřesněji termín BSK, CHSK a TSK!**
2. **Jak a proč se liší stanovení BSK a CHSK ve vodách?**
3. **Jak je stanovována BSK a CHSK ve vodách?**
4. **Jaký význam má stanovení BSK a CHSK pro provoz čistíren odpadních vod?**
5. **Jakou instrumentálně analytickou metodou bývá stanovována CHSK?**

4.0. Odpadní vody

Odpadní vody vznikají v cyklu jejich užití v domácnostech, službách, průmyslu a zemědělství. Dle původu se mění chemické složení a koncentrace znečišťujících látek, tj. stupeň a charakter znečištění. Tomu musí být přizpůsobena technologie čištění odpadních vod. Základní charakteristiky odpadních vod jsou uvedeny dále:

4.1. Komunální odpadní vody

Komunální odpadní vody (splaškové a městské odpadní vody) pocházejí z domácností, sociálních a zdravotních zařízení, provozů veřejného stravování a ubytování, provozoven služeb apod. Jejich teplota v průběhu roku kolísá cca v rozmezí 5 – 20 °C. Hodnota pH bývá v rozmezí 6,8 – 7,5. Jsou znečištěny zeminou a pískem, ale i zbytky ovoce a zeleniny, jedlými oleji a tuky aj. potravinami, fekáliemi, močí, čistícími, pracími a mycími prostředky, zbytky papíru, textilí a textilními vlákny, vlasy, chlupy aj. materiály. Spotřeba vody a množství odpadních komunálních vod se v Evropě a Severní Americe pohybuje kolem 250 l . obyvatele⁻¹. den⁻¹. Aktuální průměrná spotřeba vody v ČR je kolem 110 l . obyvatele⁻¹. den⁻¹. Významný růst měrné spotřeby vody se neočekává. Průtok komunálních vod během dne kolísá o desítky procent. Znečištění komunálních vod kolísá kolem 60 - 80 g BSK₅.obyvatele⁻¹.den⁻¹. Zastoupení znečišťujících látek bývá v následujících mezích:

- nerozpuštěné látky (NL)	30 – 40 g	BSK ₅ /obyvatele.den
- z NL usaditelné látky	20 - 25 g	- „ -
- z NL neusaditelné látky	10 - 15 g	- „ -
- rozpuštěné látky (RL)	30 - 40 g	- „ -
- veškeré přítomné látky	60 – 80 g	- „ -
- CHSK	110 – 170 g	
- C _{org.}	40 - 60 g	
- celkový N	12 g	
- celkový P	2 g	
- extrahovatelné látky (EL)	12 g	

Zhruba ½ až ¾ přítomných znečišťujících látek je organického původu. Koncentrace znečišťujících látek v komunálních odpadních vodách má dlouhodobě stoupající tendenci. To je dáno jednak vzrůstem spotřeby chemikálií obyvatelstvem, ale také růstem cen teplé užitkové vody, vodného a stočného, což motivuje k úsporám vody. Očekává se vzrůst znečištění o 30 – 50%. Tento trend je nutné respektovat při plánování kapacity ČOV.

Komunální vody obsahují glycidy, bílkoviny, tuky, mastné kyseliny, povrchově aktivní látky (tenzidy) a produkty jejich rozkladu. Rozkladem vzniká oxid uhličitý, metan, voda, amoniak, sulfan a jiné sloučeniny - meziprodukty probíhající oxidace dřívě uvedených skupin organických sloučenin. V komunálních vodách jsou rozpuštěny dusičnany, dusitany, močovina, amonné soli, fosforečnany, chlorid sodný, sloučeniny síry a sloučeniny těžkých kovů.

4.2. Průmyslové odpadní vody

Množství a charakter znečištění průmyslových odpadních vod je velmi různorodý. Rozhodující je typ průmyslové výroby, z níž odpadní vody pocházejí. Množství vznikajících znečištěných vod je zpravidla vztahováno na jednotku produkce, např.:

- na výrobu 1t papíru je spotřebovááno	200 m ³ vody
- na výrobu 1t syntetického kaučuku je spotřebovááno	750 m ³ vody
- na úpravu 1t uhlí je spotřebovááno	10 m ³ vody

Průmyslové podniky chemické, farmaceutické, celulózo-papírenské, strojírenské, hutní, důlní a úpravárenské zpravidla mají v současnosti vlastní průmyslové ČOV se specifickými technologiemi čištění. Vyčištěné vody zpravidla vypouštějí přímo do recipientu (povrchových vod), spíše výjimečně bývají předčištěné vody spojovány s komunálními vodami ze sídel a společně sváděny k dočištění v městských ČOV.

Na území průmyslových zón jsou oddělené kanalizační sítě vod dešťových, oteplených, splaškových, chemicky znečištěných (alkalických nebo kyselých, s vysokým CHSK, obsahem např. solí těžkých kovů, ropných látek, rozpuštěných anorganických nebo organických látek aj.).

V průmyslových podnicích je běžné oddělené jímání a čištění odpadních vod. Hlavním důvodem je snaha čistit co nejmenší objem pokud možno koncentrovaných, nenaředených odpadních vod. Pak je čistící proces intenzivnější, účinnější a levnější investičně i provozně.

V intravilánu měst se často nacházejí potravinářské průmyslové podniky (pivovary, lihovary, mlékárny, masokombináty, mrazírny, konzervárny, cukrovary a rafinérie cukru, škrobárny, mlýny, pekárny aj. výroby). Tyto podniky nemívají vždy vlastní ČOV a odvádějí odpadní vody městskou kanalizací do komunálních ČOV. Typickým znakem odpadních vod z potravinářství je vysoké BSK. Proto připojení a každá změna kapacity těchto průmyslových podniků musí být předem koordinována s provozovateli ČOV, aby se nezhoršila účinnost čištění vod a nevzrostly emise znečišťujících látek do recipientu nad stanovené limity.

Obsah organických rozložitelných látek v průmyslových odpadních vodách je vyjadřován **ekvivalentem znečištění (populační ekvivalent)**, kdy je znečištění vod přepočteno na ekvivalent znečištění od určitého počtu obyvatel:

- výroba 1 hl piva	odpovídá znečištění od	15 - 35	obyvatel / den
- výroba 1 t droždí	- „ -	od 5000 - 7000	- „ -
- výroba 1 t sulfit. celulózy	- „ -	od 3500 - 5500	- „ -
- výroba 1 t papíru	- „ -	od 200 - 900	- „ -

Obsah organických látek znečišťujících průmyslové odpadní vody a tím i jejich BSK je nejméně o 1 řád vyšší než je obvyklé u vod komunálních.

Pro posuzování znečištění odpadních průmyslových vod a volbu technologie jejich čištění jsou významné především následující parametry:

- BSK, CHSK a jejich poměr,

- obsah sloučenin fosforu ($P_{\text{celk.}}$, $P_{\text{vod.}}$) a dusíku ($N_{\text{celk.}}$, $N_{\text{nitr.}}$, $N_{\text{čp.}}$) jako základních živin nezbytných také pro biologické čištění,
- pH a neutralizační kapacita,
- obsah rozpuštěných látek (RL),
- obsah a usaditelnost nerozpuštěných látek (NL),
- teplota odpadních vod,
- obsah minerálních a rostlinných olejů nebo tuků,
- obsah toxických látek.

4.3. Srážkové (dešťové) vody

Srážkové vody jsou sváděny z území obcí – střech budov, ulic, chodníků, veřejných prostranství aj. hlavně zpevněných a dlážděných ploch.

Srážková voda je sváděna do kanálových vpustí (gul) dešťové kanalizace. Na počátku dešťů je silně znečištěna rozpuštěnými nebo suspendovanými látkami pocházejícími z atmosféry, dále obsahuje velký podíl nerozpustných mechanických nečistot různého původu, včetně ropných látek unikajících z motorových vozidel. Znečišťující látky jsou splavovány vodou s povrchu střech, vozovek, chodníků a zpevněných nebo nezpevněných ploch do kanalizace. Situace je v tomto směru nejhorší v zimním období a předjaří, kdy jsou do dešťové kanalizace splachovány posypové hmoty z chodníků a vozovek (písek, škvára, štěrky a sůl). Úroveň znečištění dešťových vod, zejména nerozpustnými látkami, je pak srovnatelná s komunálními odpadními vodami. Rozměry gul, potrubí a stok se dimenzují podle lokální intenzity srážek, velikosti odvodňované plochy a charakteru území (např. podíl dlážděných ploch a zpevněných vozovek), aby byl zajištěn odtok vody i během přívalových dešťů.

4.4. Podzemní vody

Podzemní vody mohou pronikat do stokových sítí netěsnostmi nebo jsou tam záměrně sváděny drenážemi. Např. drobné vodní toky pramenící na území měst jsou často sváděny do kanalizací, aby nekomplikovaly výstavbu inženýrských sítí, hlavně komunikací, a městskou zástavbu. Drenáže navíc brání podmáčení základů staveb, ohrožení jejich stability nebo brání průniku podzemních vod do sklepů, podzemních nádrží a garáží, metra, kolektorových sítí apod. Významné je toto opatření ve vlhkých obdobích, kdy stoupne hladina podzemních vod.

Odtok podzemních vod je v průběhu dne stálý a významně nekolísá na rozdíl od průtoku komunálních vod. Podzemní vody zvyšují objem vod odváděných stokovou sítí do ČOV, roste jejich hydraulická zátěž. Rovněž zvyšují platby za objem vod vypouštěných z čistíren odpadních vod, jsou-li sváděny do ČOV!

4.5. Kanalizační sítě

Všeobecně je předpokládáno, že kanalizační sítě musí být v provozu nepřetržitě v průběhu celého roku. Proto návrh, realizace a provozování kanalizačních sítí musí být velmi pečlivé. Jakékoliv poruchy kanalizačních zařízení značně komplikují jak odvod znečištěných vod (nutnost přečerpávání nebo odvoz fekálními vozy), tak provoz na vozovkách nebo chodnicích, pod nimiž je obvykle kanalizace umístěna. Kanalizační potrubí jsou ukládána do nezámrazné hloubky min. 1,50 m. Kvůli nutnému

spádu 1 – 2 % eliminujícímu sedimentaci nerozpuštěných látek, bývají v rovinatých úsecích i podstatně hlouběji. Kanalizační řady jsou členěny zpravidla na přímé úseky o délce kolem 100 m mezi inspekčními šachtami zakrytými ocelovými nebo litinovými víky. Šachty jsou rovněž budovány v místech zaústění vedlejších přípojek do hlavních kanalizačních řadů. Vpustě dešťové kanalizace jsou také kryty kovovými rošty, které zároveň musí vyhovovat dynamickému zatížení projíždějících motorových vozidel. Pod rošty bývají umístěny kovové filtrační koše. V nich jsou zachyceny nejhrubší nečistoty, které by mohly způsobit rychlé zanášení až ucpání kanalizačních řadů.

Pokud musí mělko uložený kanalizační řad překonávat hluboký vodní tok se dnem pod úrovní kanalizačního řadu, ale např. i kolejiště železniční trati či dálnici, je na trase řadu vystavěna shybka. Na obou stranách překážky jsou svislé šachty, které jsou pode dnem toku nebo pod dopravní stavbou propojeny spádovaným potrubím. Potrubí je spádováno zpravidla k níže umístěné svislé šachtě, tj. po směru toku odpadních vod.

Kanalizační sítě na území obcí bývají trojího typu:

- jednotná stoková síť (kombinovaná kanalizace) odvádí z území obce společně veškeré odpadní vody, tj. komunální i dešťové. Výhodou jsou nižší investiční i provozní náklady této sítě. Nevýhodou je proměnné zředování komunálních odpadních vod dešťovou vodou, což ruší kontinuální procesy čištění odpadních vod. Je také velké riziko hydraulického přetížení stokové sítě a hlavně ČOV. Nejsou vyloučeny případy, kdy je překročena hydraulická kapacita ČOV a část odpadních vod se po přechodnou dobu nedá okamžitě čistit – musí se shromažďovat v zásobních nádržích, ale častěji odpadní vody bez čištění jen zředěné odtékají do recipientu.
- oddělená (oddílná) stoková síť má dvě paralelní samostatné větve. Jedna je určena pro odvádění komunálních odpadních vod do ČOV, druhá větev je vyhrazena pouze pro odvádění dešťové vody. Dešťové vody bývají do recipientů sváděny bez čištění. V nejlepším případě jsou opatřeny lapáky šterku a písku, tj. sedimentačními vanami pro oddělení nerozpustných látek, případně odlučovacími komorami pracujícími na principu hydrocyklonů. Lapoly pro oddělení ropných látek jsou obvyklé jen u silnic I.třídy a dálnic procházejících poblíž ochranných pásem zdrojů vod.
- podtlaková stoková síť je tvořena systémem sběrných nádrží napojených na potrubí odpadních vod pracující za sníženého tlaku. Znečištěná voda natéká samotížně z objektů do sběrných nádrží společných pro několik objektů nebo např. ulici obytné čtvrti. Odtud je odpadní voda automaticky dle výšky hladiny ve sběrné nádrži nasávána do podtlakové kanalizační sítě, kterou je odváděna do čistírny odpadních vod. Systém je používán v rovinatých územích, kde nelze potrubí odpadních vod spádovat, bylo by nezbytné odpadní vody zbavit hrubších nerozpustných podílů a čerpat. V podtlakové stokové síti není nutné předčištění odpadních vod. Podtlak v kanalizačním systému je udržován vývěvami napojenými na zásobní - oddělovací nádrže před vstupem do ČOV. V ČR nejsou podtlakové stokové sítě provozovány.

Na území průmyslových podniků nebo průmyslových zón jsou běžné výhradně oddělené stokové sítě. Ty zajišťují separátní jímání a svod znečištěných odpadních vod do čistíren. Důvodem je nutnost nesmíchání a nezředění znečišťujících látek, které by

významně zhoršilo podmínky pro jejich čištění a v konečném efektu i proces čištění prodražilo. Zpravidla jsou používány oddělené stoky pro odpadní vody:

- dešťové a oteplené,
- splaškové a biologicky znečištěné,
- chemicky znečištěné vody: – kyselé,
 - alkalické,
 - s obsahem ropných látek,
 - s obsahem těžkých kovů aj.

Součástí všech kanalizačních sítí pracujících za atmosférického tlaku jsou vstupní šachty pro inspekční, čistící a údržbářské práce, dále větrací potrubí, vyústění domovních kanalizací nad střechy budov a propojení gul dešťové kanalizace s atmosférou. Důvodem je potřeba zachování aerobních podmínek v celé kanalizační síti. Jinak není za anaerobních podmínek vyloučen vývoj metanu, jehož směs se vzduchem je výbušná. To by ohrožovalo bezpečnost provozu kanalizačních sítí. Navíc propojení s atmosférou a zavzdušňování potlačuje vznik podtlaku v kanalizační síti vznikajícího tokem odpadních vod ve spádovaných a hlavně svislých úsecích potrubí. Podtlak by způsoboval odsátí vody ze sifonových uzávěrů výпустů umyvadel, van, klozetů aj. sanitárních zařízení. Zápach z kanalizační sítě tak neproniká do prostoru objektů.

Nejstarší páteřové kanalizační řady ve velkých městech Evropy včetně Prahy jsou starší než 150 let. Hlavní větve bývají do dneška stavěny hornickým způsobem – ražbou tunelů. Stěny byly dříve vyzděny ostře pálenými nebo glazovanými cihlami. V současnosti mají hlavní – páteřové větve kanalizačních sítí betonový plášť s impregnačním nátěrem na bázi syntetických pryskyřic nebo asfaltu. Tyto větve jsou průchozí – při stěně je chodník pro potřeby vnitřní kontrol, oprav a čištění. Mají klenutý strop se žlabem u dna nebo oválný průřez. Celková výška přesahuje 2,5 m a šířka přesahuje 2 m. Ostatní kanalizační řady jsou budovány s povrchu. Potrubí je pro průměry nad 500 mm vyrobeno ze železobetonových trub s asfaltovým impregnačním nátěrem vnitřních stěn. Jsou rovněž používána potrubí na bázi kompozitních materiálů, např. z polyesterových pryskyřic vyztužených skleněnými vlákny (skelné lamináty). Potrubí je kruhového, oválného nebo nejlépe vejčitého průřezu (s nejmenším poloměrem zakřivení u dna), což zajišťuje vysokou turbulenci toku i při malém průtoku odpadní vody a tím minimální sedimentaci nerozpuštěných látek. Starší potrubí s průměrem pod 500 mm bývala vyrobena z kameniny nebo litiny. V současnosti jsou vyráběna přednostně z termoplastů (PE, PVC). Výhodou trub z termoplastů je pružnost, vysoká korozní odolnost, hladký vnitřní povrch bránící vzniku úsad, dlouhá životnost, snadná zpracovatelnost a rychlé opravy (ohýbání za tepla, možnost svařování nebo lepení). Kameninové trubky na podpovrchové úseky nebo kabřincové cihly na povrchové kanalizační žlaby jsou přednostně používány v průmyslu těžké chemie. Důvodem je silně korozivní prostředí a riziko průniku horkých roztoků do kanalizace v případě poruch nebo nehod, což by mohlo materiál kanalizace zničit. Jejich nevýhodou je vysoká cena, malá pružnost a nárazuvzdornost se sklonem k praskání.

Všechny trasy kanalizačních sítí se navrhují a staví se spádem min. 1-2%, aby byl umožněn samovolný odtok odpadních vod bez potřeby přečerpávání. Spádem kanalizační sítě je minimalizována sedimentace nerozpuštěných látek ve stokové síti a její ucpávání. Čerpání silně znečištěných vod představuje vždy závažný technicko-technologický problém, proto je vhodné se mu pokud možno vyhnout. Pokud je nutné přečerpávání odpadních vod v kanalizační síti, musí se voda zbavit nejhrubších

nerozpuštěných látek na usazovacích šterku a česlích (viz dále mechanické čištění odpadních vod).

Konstrukcí kanalizačních řadů a užitými materiály je předcházeno poruchám a zkrácení životnosti. Důvodem je vysoká cena zemních a stavebních prací spojených s výstavbou a provozem kanalizačních sítí a také vysoká cena vlastních kanalizačních potrubí. Významným zdrojem nefunkčnosti kanalizačních řadů je zanášení usazeninami z odpadních vod a vznikem inkrustací – usazenin pevně spojených s vnitřním povrchem řadu. Dalším zdrojem poruch je mechanické poškození stěn řadu prolomením pláště v důsledku např. intenzivního silničního provozu, tramvajové dopravy nebo neopatrnosti při zemních pracích na vzájemně se křížících či souběžně vedoucích trasách inženýrských sítí. Zde je nutno zdůraznit, že většina tras kanalizačních řadů je vedena v ulicích pod vozovkami, takže uvedené poruchy jsou poměrně časté.

Technologie oprav poškozených řadů využívají následujících postupů:

- vnitřní inspekce pochůzkou v průchozích řadech, vizuální kontrola přístupných úseků řadů z inspekčních šachet,
- vnitřní inspekce pomocí kamerového vozíku ve spojení s průmyslovou televizí u kanalizací s průměrem potrubí nad cca 150 mm. Na základě vnitřních prohlídek se rozhoduje o postupu oprav.
- odstranění úsad a inkrustací ručně škrabkami aj. ručním nářadím nebo vysokotlakým čistícím zařízením využívajícím tlakové vody (až 200 MPa). To i v případě silně zanesených nebo zcela ucpaných potrubí.
- vyčerpání kalů z jímek inspekčních šachet pomocí fekálních vozů,
- vykopání a výměna poškozeného úseku potrubí, je-li zborcené, zkorodované nebo jinak mechanicky poškozené,
- bezvýkopové postupy oprav potrubí, je-li poškození trub jen povrchové bez velkých prasklin a vypadlých kusů materiálu.

Bezvýkopové technologie oprav potrubních řadů jsou v poslední době s výhodou používány jak pro potrubí pitné nebo průmyslové vody tak pro potrubí na odpadní vody. Vnitřní stěny potrubí musí být vždy před opravou zcela zbaveny všech nánosů a inkrustů výplachem vodou pomocí vysokotlakých čistících zařízení pracujících při tlacích až 200 MPa. K tomuto účelu jsou používány např. postupy:

a) Bezvýkopová technologie systému RELINER spočívající v zatažení hadice z netkané textilie napuštěné polyesterovou pryskyřicí do poškozeného úseku potrubí. Zavlečení hadice do potrubí a její vytvarování podle stěn potrubí je zajištěno hydrostatickým tlakem vody. Vytvrzení pryskyřice je prováděno následně cirkulací horké vody napouštěné do hadice. Na vnitřní stěnu starého potrubí se tak nalepí asi 10 mm silná laminátová vrstva, která ji mechanicky zpevní zalitím drobných trhlin a vlastní pevností. Kovové díly chrání před korozi a protože laminátový povrch je hladký, brání úsadám a inkrustacím. Životnost takto opravených trub se prodlouží až o 50 let.

b) Jiným technologickým postupem bezvýkopových oprav a renovace potrubí je cementace potrubí - mechanické povlečení povrchu betonových trub vrstvou cementového potěru s následnou impregnací povrchu asfaltovým nátěrem nebo syntetickými pryskyřicemi.

c) Bezvýkopová technologie SOLTAU spočívající v pneumatickém zavlečení hadice z termosetů do původního potrubí. Nafouknutá hadice - trubka - přilne ke stěnám původního potrubí a je vytvrzována elektrotermicky pomocí měděných vláken zapracovaných do hmoty termosetu (polymeru vytvrzovaného teplem).

Bezvýkopové technologie oprav kanalizačních sítí jsou příkladem čistších - maloodpadových technologií. Realizací oprav bez nutnosti výkopu potrubního řadu se významně sníží množství odpadních materiálů. Vedle úspory materiálů prodloužením životnosti potrubního řadu také přinášejí úsporu pracovního času nutného na opravy, zkrácení doby vyřazení potrubí z provozu, zkrácení výluk dopravy apod.

Zákonné normy EU nebo ČR včetně vodního zákona č. 254/2001 Sb. nepředepisují, jaká stoková síť musí být na území sídel. Nepřímo ale nutí uživatele stokových sítí ke stavbě oddílných kanalizací, neboť sazby za objem vod vypouštěných do recipientu se platí za vodu vystupující z ČOV. To má významný ekonomický motiv rozhodování při budování nových nebo rekonstrukcích starých stokových sítí – většina z nich v ČR je starších třiceti až padesáti let, kdy se přednostně stavěly sítě jednotné (kombinované).

Kontrolní otázky:

- 1. Jaké typy kanalizačních sítí jsou používány na území měst?**
- 2. Jaké typy kanalizačních sítí jsou používány v průmyslových zónách?**
- 3. Jaké materiály jsou používány pro výrobu potrubí na odpadní vody?**
- 4. Jaké druhy odpadních vod jsou rozlišovány – jmenujte alespoň tři!**
- 5. Jaké jsou možnosti oprav a renovací kanalizačních sítí?**

5.0. Čistírny odpadních vod komunálních

Technologie čištění odpadních vod komunálních a průmyslových jsou obvykle principiálně shodné. Čištění průmyslových vod je doplněno o specifické postupy a úpravy zařízení dle chemického složení, vlastností a koncentrace znečišťujících látek.

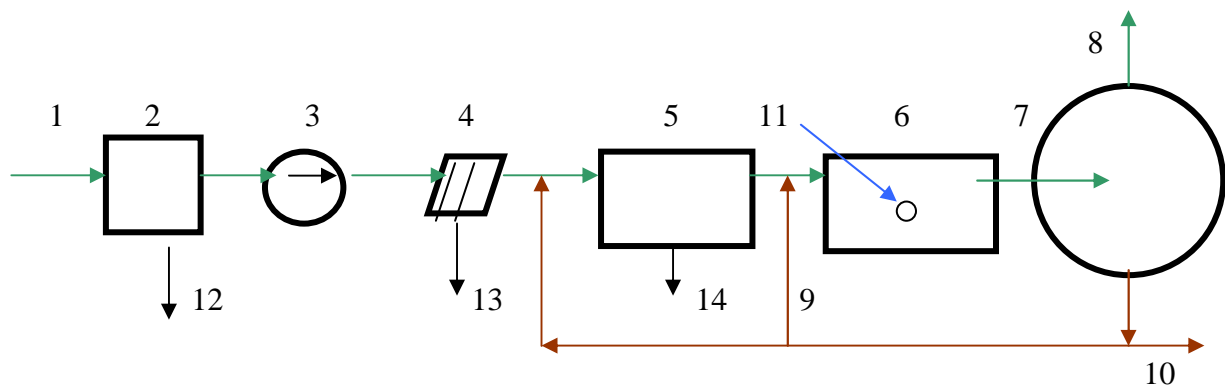
ČOV jsou stavěny zpravidla poblíž vodních toků v nejnižší položených lokalitách sídel, průmyslových zón nebo podniků. Tím je zajištěn samotížný odtok odpadních vod kanalizačním řadem z celého obhospodařovaného území do ČOV. Pokud to spádové poměry dovolují, nečerpá se odpadní voda ani do technologických nádrží čistírny. V opačném případě je před vstupem do ČOV čerpací stanice vybavená zpravidla šnekovými čerpadly. Ta jsou schopna čerpat velké objemy silně znečištěné odpadní vody do výšky několika metrů. Pro zajištění bezporuchového provozu a snížení opotřebení konstrukčních dílů čerpadel (žlabů, šneků, hřídelí, převodových skříní s elektromotory a ložisky) jsou jim předřazovány lapače šterku a písku. V nich se zároveň zachytí i větší mechanické nečistoty, např. betonu z poškozených kanalizačních řadů připlavených proudem odpadní vody. Odstředivá čerpadla bývají používána jen pro přečerpávání na česlích mechanicky předčištěných odpadních vod.

Všechny technologické aparáty - nádrže čistírny jsou vždy řazeny sériově nebo paralelně (je-li část aparátů se shodnou funkcí provozována současně nebo jich část zůstává v záloze). Jednotlivé technologické stupně jsou řazeny za sebou v kaskádách. Voda přepadá z jednoho čistícího stupně do dalšího bez čerpání. Tím se podstatně zlevní a zjednoduší čištění vod, provoz technologie je spolehlivější, zejména v zimních měsících. Naprostá většina technologických zařízení je pro velké rozměry umístěna venku, mimo zastřešené nebo uzavřené prostory. Právě vystavení povětrnostním vlivům musí být respektováno při projekci, konstrukci a materiálovém provedení - časté je použití termoplastů, skelných laminátů a nerezavějících ocelí tř. 17. Zařízení vyrobená z konstrukční oceli tř. 11 a 12 musí mít kvalitní antikorozi povrchovou ochranu vícevrstevnými nátěry. Totéž se týká jejich příslušenství - pohonů a pojezdů shrabovacích zařízení, dopravníků tuhých odpadů, kabelových lávek silnoproudé a slaboproudé elektroinstalace, zařízení měření, regulace a řízení, technologická potrubí s dopravními a dávkovacími čerpadly atd.

Technologické zařízení musí být uspořádáno tak, aby zajistilo **kontinuální provoz po celý rok bez přerušení** a nutnosti vyřazení ČOV jako celku z provozu. U velkých ČOV jsou prakticky všechna technologická zařízení minimálně zdvojena pro možnost zajištění běžných, středních a generálních oprav zařízení nebo technologického čištění jednotlivých aparátů a jejich příslušenství.

Čistírny odpadních vod mají následující základní technologické stupně:
(viz Obr. 1. a 1a.)

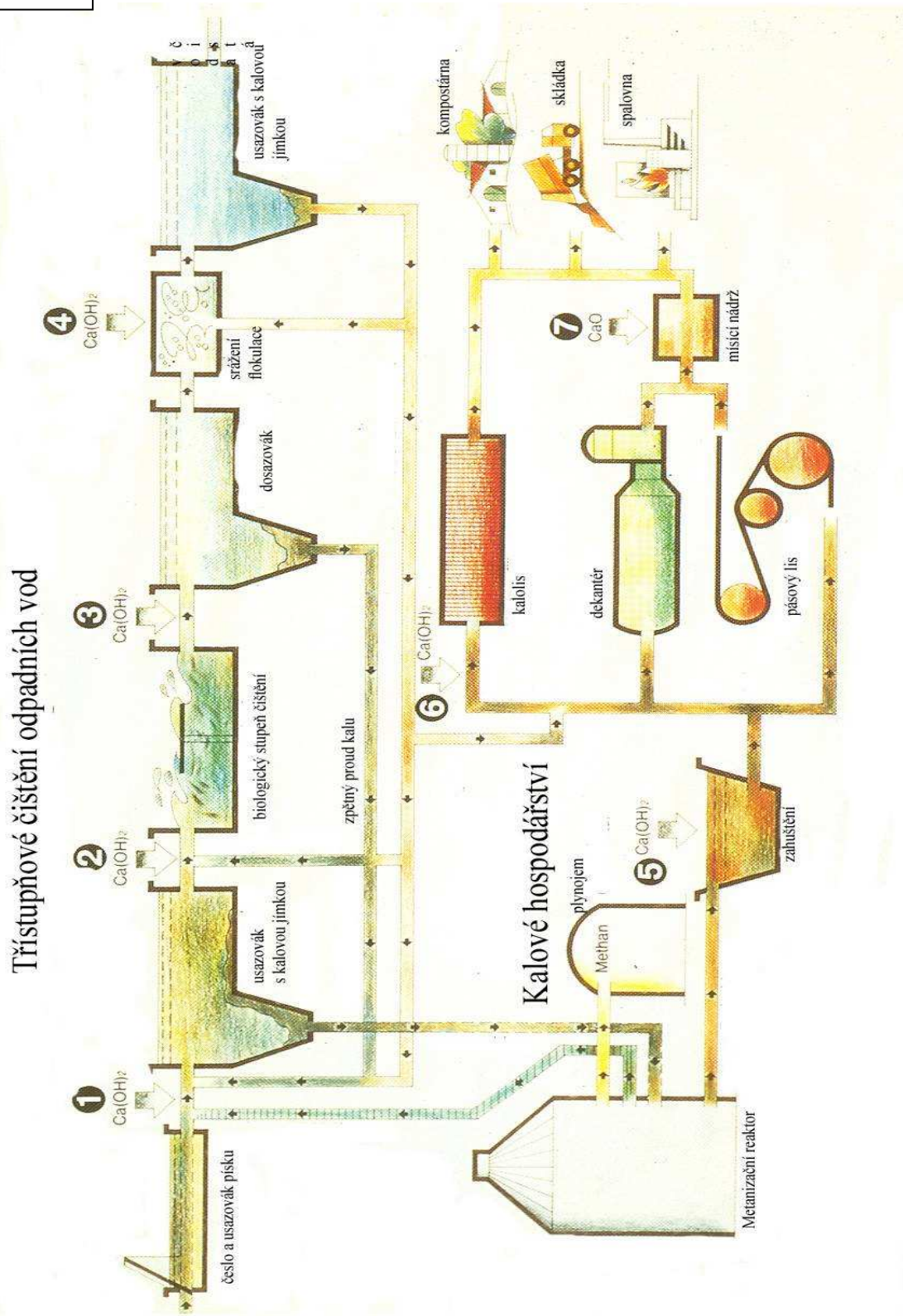
- **mechanické čištění**, které zajišťuje odloučení nerozpuštěných sedimentujících i nesedimentujících látek a odloučení kapalných látek s vodou nemísitelných plovoucích na hladině,
- **biologické čištění** zabezpečující biochemický rozklad organických látek rozpustných, koloidních i nerozpustných a nesedimentujících organických látek, které prošly mechanickým stupněm,
- **terciární stupeň čištění** zajišťuje snížení koncentrací živin - sloučenin dusíku a fosforu ve vodách k potlačení rizika eutrofizace toků způsobující sekundární znečištění. K tomuto účelu je používáno chemických a fyzikálně-chemických postupů. Chemické čištění zajišťuje odstranění rozpuštěných nebo koloidních látek a zbytek nesedimentujících látek pomocí srážení, koagulace a adsorpce vyvolané přidávkem železitých solí, zpravidla síranu železitého. Aktivní látkou je hydrolyzou vzniklý hydroxid železitý. K chemickému čištění náleží také postupy čištění průmyslových odpadních vod využívající neutralizační, oxidačně-redukční, iontovýměnné aj. chemické reakce. Oxidační procesy jsou obvykle realizovány dávkováním chloru nebo chlornanu sodného, což zároveň zajišťuje desinfekci čištěných vod.



Obr. 1.: **Blokové schéma aerobní čistírny odpadních vod (s aktivovaným kalem)**

1 – vstup znečištěné vody, 2 – lapáky štěrků a písku, 3 – čerpadla, 4 – česle, 5 – usazovák s lapolem, 6 – aktivační nádrž, 7 – dosazovák, 8 – výstup vyčištěné vody, 9 - vracený aktivovaný kal, 10 – výstup kalu, 11 – přívod vzduchu pro aeraci, 12 – štěrk a písek, 13 – hrubé plovoucí a nesedimentující nerozpuštěné látky (shrabky), 14 - sedimentující kal k odvodnění

Obr. 1a.



5.1. Mechanické čištění odpadních vod

Cílem mechanického stupně čištění odpadních vod je odstranění nerozpuštěných sedimentujících, plovoucích i suspendovaných nesedimentujících látek a odloučení kapalných látek s vodou nemísitelných plovoucích na hladině. K tomu účelu jsou používána následující zařízení:

5.1.1. Lapáky štěrku a písku

Lapáky štěrku a písku bývají u moderních ČOV zařazeny jako vůbec první technologické zařízení mechanického stupně čištění odpadních vod. Zajišťují jejich hrubé předčištění a chrání další zařízení před mechanickým poškozením velkými, tvrdými a abrazivně působícími materiály. Jedná se zpravidla o dvě paralelně zapojené sedimentační komory – železobetonové vany. Jedna komora je provozována, druhá se čistí a potom zůstává v záloze. Sedimenty jsou z komor vyprazdňovány drapákovým bagrem.

V lapácích štěrku a písku jsou zachycovány nejhrubší dobře sedimentující nečistoty s velikostí částic nad 0,1 – 0,2 mm. Experimentálně bylo zjištěno a praxí ověřeno, že průtoková rychlost musí být těsně kolem 0,3 m/s, aby nesedimentovaly organické látky. Odstraněním hrubých nečistot je chráněno veškeré dále zařazené technologické zařízení před mechanickým poškozením a zvýšeným opotřebením. Pak je předčištěná odpadní voda čerpána šnekovými čerpadly do česlovny.

5.1.2. Česle

K zachycení nejhrubších nečistot plovoucích nebo vznášejících se v proudu odpadních vod jsou používány česle. Česle zároveň chrání dále zařazená technologická zařízení před ucpáváním nebo mechanickým poškozením během manipulace s kalem. Proto jsou česle umístěny na vtoku do ČOV za lapáky štěrku a písku.

Česle jsou v principu rošty z ocelových prutů nebo pásů, tzv. česlic. Rozteč průlin mezi česlicemi je u hrubých česlí 50 – 100 mm, u jemných česlí 5 – 25 mm. Materiál zachycený česly (shrabky) je shrabován ručně nebo mechanicky. Sklon česlí vůči hladině je pod úhlem 45° u česlí čištěných ručně a do 60 – 70° u česlí mechanických. Zachycené shrabky jsou od česlí dopravovány šnekovými dopravníky, kde jsou zároveň slisováním částečně odvodněny a je snížen jejich objem. Shromažďují se v kontejneru a periodicky jsou odváženy na skládku tuhých komunálních odpadů.

5.1.3. Síta

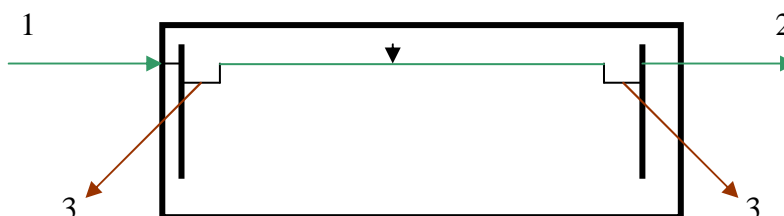
Pro odstranění jemnějších nečistot obsažených v česlemi předčištěných komunálních nebo průmyslových odpadních vodách jsou používána kotoučová nebo častěji bubnová síta. Znečištěná voda teče otevřeným žlabem a natéká shora na kotoučové síto. Zachycené mechanické nečistoty jsou vynášeny kotoučovým sítem nad hladinu, kde jsou mechanicky shrnovány stěračem nebo kartáči. U bubnového síta znečištěná voda natéká do vnitřku rotujícího bubnu se sítem. Voda sítem protéká a mechanické nečistoty se zachycují na vnitřní straně síta. Pak jsou vynášeny nad hladinu, kde jsou s povrchu síta odstraněny, stejně jako v předchozím případě. Zachycené nečistoty jsou opět shromažďovány v kontejneru a odváženy na skládku.

5.1.4. Lapáky olejů a tuků

Lapáky olejů a tuků (lapoly - viz Obr. 2) zachycují veškeré organické látky nemísitelné s vodou s hustotou nižší než je hustota vody. Zpravidla se jedná o látky obtížně dispergovatelné a obtížně biochemicky rozložitelné, zejména v případě ropných látek obsažených hlavně v průmyslových odpadních vodách.

Vyšší koncentrace olejů a tuků v čištěných odpadních vodách by způsobovala zalepování nebo ucpávání zařízení a propojovacích potrubí, rušila by průběh čistících procesů tvorbou emulzí, značně by zatěžovala biologický stupeň čištění a zhoršovala by tak účinnost celé ČOV. Proto je jejich odloučení nutné v mechanickém stupni ČOV.

Lapoly jsou konstruovány jako horizontální betonové vany. V lince ČOV jsou často zapojeny paralelně dva lapoly kvůli technologickému čištění a opravám. V chemickém průmyslu bývá betonový povrch van lapolů impregnován syntetickými pryskyřicemi nebo je celá vana vyložena plechem z nerezavějící oceli, případně je vyzděna kyselinovzdornou vyzdívkou. Uvnitř vany jsou umístěny jedna nebo dvě pevné norné stěny. Norné stěny zasahují cca do 2/3 hloubky vany, aby proudění vody u hladiny nerušilo odsazování vrstvy olejů a tuků. Norné stěny jsou ze strany přítoku opatřeny žlábkami. Žlábkami jsou odváděny zachycené oleje a tuky do separátní nádrže, odkud jsou dopravovány ke zneškodnění metanizací, spálením nebo skládkováním jako nebezpečný odpad. Spíše výjimečně jsou oleje a tuky zachycené v lapolech recyklovatelné - téměř výhradně to platí pro ČOV v chemickém a strojírenském průmyslu, čerpací stanice pohonných hmot pro silniční a kolejová vozidla, sklady motorových paliv a topných olejů nebo autoservisy.



Obr 2.: Schéma lapače olejů a tuků

1 – vstup znečištěné vody, 2 – výstup vyčištěné vody, 3 – žlábků s výstupy olejů a tuků

Principem odlučování olejů a tuků v lapolech je jejich nemísitelnost s vodou a nižší hustota vůči vodě. Proto kapky olejů a tuků účinkem vztlakové síly vyplavou na hladinu klidné vody, přičemž se pohybují směrem nahoru určitou vzestupnou rychlostí v_{vz} vyjádřenou v $m \cdot s^{-1}$. Postupná rychlost ve vaně lapolu, tj. střední rychlost toku v horizontálním směru, nemá překročit 15 cm/s, aby turbulence nerušila proces odlučování. Výjimku tvoří oleje a tuky tvořící emulze, které se snadno váží na koloidní částice a tvoří tzv. třetí fázi – klky. Rozrašení emulzí bývá velmi obtížné a omezené účinné – pomáhá okyselení vod nebo koagulace přísadkou povrchově aktivních látek (tenzidů). Doba zdržení čištěné vody v lapolu bývá alespoň 1,5 hodiny – rozhodující je minimální vzestupná rychlost částice, kterou je nutné ještě odloučit. Ta je dána vztahem:

$$v_{vz} = \frac{Q}{A} ,$$

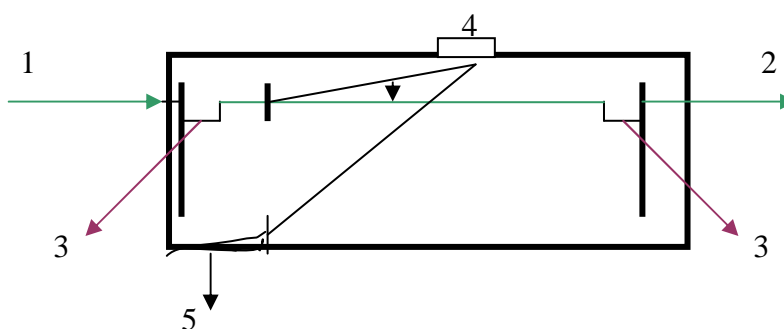
kde v_{vz} je vzestupná rychlost odlučované částice v m/s, Q je objemový průtok vody lapolem v m^3/s a A je plocha usazováku v m^2 . Shodný vztah platí i pro rychlost sedimentace tuhé částice, přirozeně pohyb částice je v opačném směru, t.j směrem ke dnu usazovacích zařízení.

Jelikož v lapolech jsou dobré podmínky i pro sedimentaci tuhých nerozpustných částic, bývá funkce lapolů a usazováků spojena do jednoho zařízení – u hladiny se odlučují oleje a tuky, u dna se odlučují tuhé nerozpustné látky.

5.1.5. Usazováky

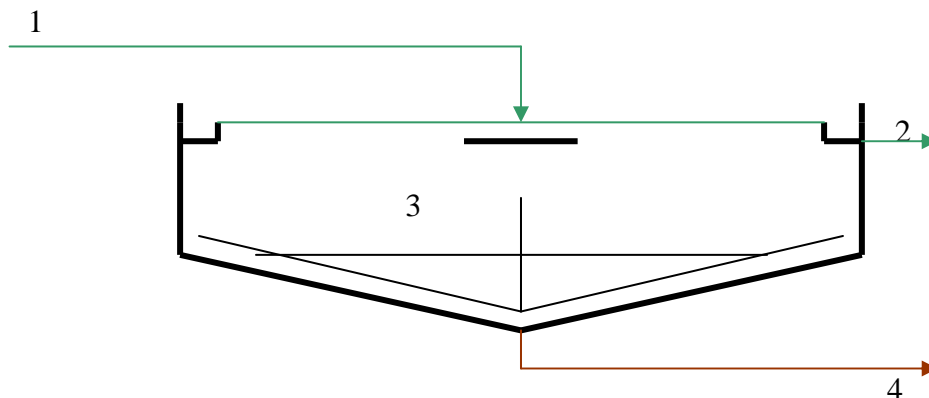
Hlavní podíl nerozpustných látek původně obsažených v čištěných odpadních vodách je oddělován v usazovacích - sedimentačních nádržích (Obr. 3). Jsou nejdůležitějším technologickým zařízením mechanických částí ČOV. Usazováky jsou rovněž koncovým aparátem biologického a terciárního stupně ČOV (tzv. dosazováky).

V mechanickém stupni ČOV jsou nejčastěji používány vanové (hranolové) usazováky s obdélníkovým povrchem a horizontálním průtokem vody. Čištěná voda vtéká do usazováku přes rozdělovací úsek tvořený pevnou normou stěnou. Je tak zajištěno rovnoměrné rozdělování vody po celé šíři usazováku a ve středu se netvoří proud s vyšší postupnou rychlostí. Normá stěna zároveň zajišťuje nerušené oddělování olejů a tuků u hladiny v případě, že je spojena funkce lapolu a usazováku. Je proto opatřena odváděcím žlabem olejů a tuků. U výtoku z usazováku je ze stejných důvodů druhá pevná normá stěna s odtokovým žlabem. V tomto uspořádání je v usazováku ještě pohyblivá normá stěna bez žlabu. Tato normá stěna je posunována podél vany k výtakovým žlabům olejů a tuků na protilehlých koncích usazováku. Normá stěna stírající z hladiny vrstvičku olejů a tuků je spojena s pojezdovým zařízením a radlicí shrnující sedimentující kal ze dna ke kalové jámce. Kalová jámka s výpustí kalů je buď na straně vtoku nebo uprostřed usazováku.



Obr. 3.: **Schéma vanového usazováku spojeného s lapačem olejů**
 1 – vstup znečištěné vody, 2 – výstup vyčištěné vody, 3 – žlábkové výstupy olejů a tuků, 4 – pojezdový most s rameny shrnování kalu a stěračem olejů a tuků, 5 – kalová jámka s výstupem kalů

Jako dosazováky jsou používány kruhové – radiální nádrže s přívodem vody centrálním rozdělovačem a výtokem vody přes obvodový sběrný žlab (Obr. 4.). Kaly jsou shrnovány mechanicky radličkami zavěšenými na rámu spojeném s otáčivým pojezdovým mostem. Kal je odčerpáván ze středové kalové jámky.



Obr. 4.: **Schéma dosazováku s mechanickým vyhrnováním kalu**
 1 – přítok z aktivační nádrže, 2 – výtok vyčištěné vody, 3 – rameno s radlicemi na vyhrnování kalu, 4 - výstup kalu z kalové jímky

V menších ČOV komunálních, ale i průmyslových, bývají používány usazováky vertikální prosté, lamelové nebo patrové. U vertikálních usazováků může být spojena spodní část s biologickým čištěním v anaerobním cyklu.

Usazováky využívají k odloučení nerozpuštěných částic gravitační sílu. Návrh usazováků musí brát v úvahu tvar, velikost, hustotu, koncentraci a disperzitu nerozpuštěných částic. V principu jsou nerozpuštěné částice dvou typů. Prvním typem jsou zrnité částice s konstantní velikostí a tím i konstantní sedimentační rychlostí (písek, popílky, škvára, uhelné kaly aj.). Částice druhého typu se s časem zvětšují v důsledku aglomerace a jejich vločky postupně zvyšují sedimentační rychlost (např. hydroxid hlinitý, hydroxid železitý, aktivovaný kal). Nerozpuštěné částice jsou proto v naprosté většině případů polydispersní směsí. O rozměrech koncových usazováků (dosazováků) pak rozhoduje velikost nejmenších částic, které se ještě musí usadit. Podíl všech částic menších procházejících usazovákem bez odloučení musí být s rezervou nižší, než je stanovený emisní limit nerozpuštěných látek.

Pro čas τ_s sedimentace nejmenší sedimentující částice potom platí:

$$\tau_s = \frac{h}{v_s} = \frac{l}{u} = \frac{V}{Q} = \frac{P \cdot h}{Q}$$

$$v_s = \frac{Q}{P}$$

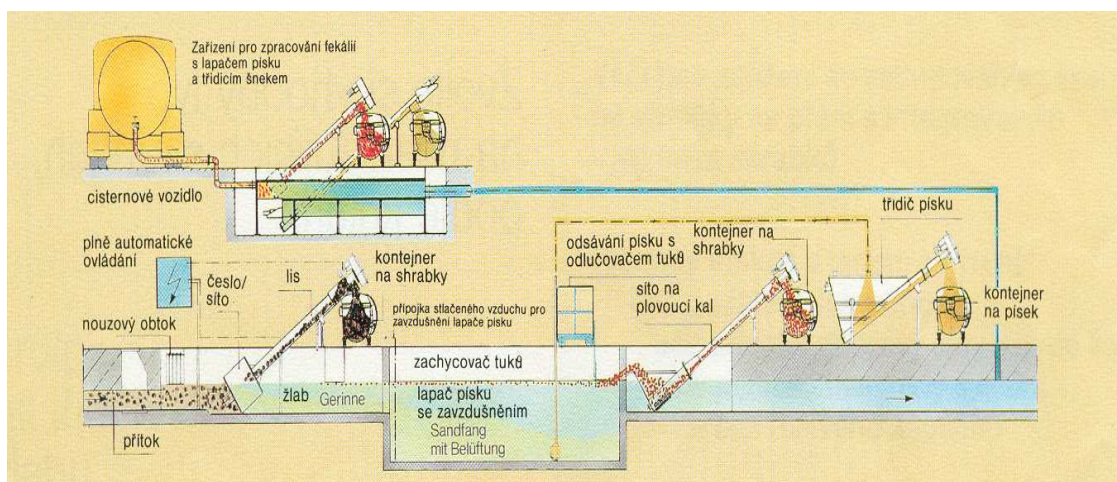
τ_s	-	čas sedimentace nejmenší částice	(mezi 1,5 – 2 hodinami)
v_s	-	rychlost sedimentace nejmenší částice v m/s	
h	-	hloubka horizontálního usazováku	(1,5 – 3 m)
u	-	postupná rychlost proudění v usazováku	(2 – 5 cm/s)
V	-	celkový pracovní objem horizontálního usazováku v m ³	
Q	-	objemový průtok usazovákem v m ³ /h	
P	-	plocha povrchu usazováku v m ²	

Cílem je, aby se účinnost usazováků vůči odloučení suspendovaných látek pohybovala kolem 70 %. Mezi suspendované látky náleží i organické látky, takže se usazováký podílí na snížení BSK₅ čištěné vody cca o 30 %. Poddimenzování usazováků nebo jejich hydraulické přetěžování má za následek zhoršení účinnosti všech dalších technologických stupňů ČOV.

5.1.6. Filtry

V mechanickém stupni ČOV jsou filtry s hrubými sítí z ocelové tkaniny nebo roštem používány jen na oddělení hrubých nečistot a v některých případech zcela nahrazují česle (viz Obr. 5.). Zpravidla se jedná o rotující buben uložený horizontálně nebo šikmo v proudu čištěné vody. Ta natéká dovnitř a oddělené nečistoty jsou mechanicky stírány a vynášeny z bubnu filtru šnekovnicí. Filtrovaná voda protékající sítím je z vnější strany odváděna k dalšímu čištění. Jinak se v mechanických stupních ČOV žádný typ např. tkaninových komorových, pásových nebo bubnových filtrů na dočištění vody z usazováků neuplatnil. Důvodem je vznik filtračního koláče s vysokým hydraulickým odporem a prakticky vyloučenou možností obnovení funkčnosti filtru zpětným praním obvyklým např. u vodárenských pískových filtrů.

Filtry mají ale význam pro odvodňování vložkovitých kalů z dosazováků a kalů z terciárního stupně čištění odpadních vod. V těchto případech je užití filtrů různých typů (viz. dále) oprávněné a ani praní filtrů zpětným proudem vody nečiní zásadní potíže.



Obr. 5. Nakládání s kaly v případě použití rotačních filtrů

5.2. Biologický stupeň čištění odpadních vod

Základním úkolem biologického stupně je odstranění organických látek obsažených v čištěných vodách za mechanickým stupněm ČOV. K tomu jsou využívány intenzifikované biochemické postupy analogické samočisticím procesům. Koloidní a rozpuštěné organické látky jsou převedeny na látky nerozpustné – někdy je tento proces označován jako biokoagulace. Teplota čištěných vod v biologickém stupni čištění nesmí klesnout pod 10 °C. Jinak se čistící proces prakticky zastaví.

Biologické čištění, jak už bylo částečně uvedeno, může probíhat:

- extenzivně v přirozených podmínkách vodních toků nebo nádrží během samočisticích procesů. Přitom je nízký stupeň využití reakčního prostoru. Biochemický rozklad organických látek probíhá pomalu, zpravidla 1 týden až několik týdnů závisle na teplotě vody, koncentraci kyslíku a znečišťujících látek i jejich biologické rozložitelnosti.
- uměle extenzivně při závlahách nebo v rybnících s využitím živin pro výživu rostlin nebo biomasy pro výživu ryb. Do této skupiny čistících zařízení je vhodné zařadit také kořenové ČOV. Zelené rostliny jsou aktivním článkem transportu kyslíku do čištěné vody a zároveň spotřebovávají část ve vodě obsažených živin (N, P, K). Biochemický rozklad organických látek probíhá několik dnů, většinou do 1 týdne.
- uměle intenzivně v biologických kolonách nebo v nádržích s aktivovaným kalem, tj. v biologických čistírnách průmyslového typu. Biochemický rozklad organických látek proběhne za 6 - 8 hodin, případně i dříve.

Cestou k intenzifikaci biologického čištění vod je nasazení heterotrofních mikroorganismů živících se organickými látkami z čištěných vod. Ty jsou prvním článkem detritového potravního řetězce. Ten pokračuje dalšími trofickými úrovněmi. V biologickém stupni ČOV je přerušen - není doveden do konce jako u samočisticích procesů v povrchových vodách, kde končí rybami.

V biologickém stupni čištění odpadních vod jsou uměle navozeny podmínky pro intenzivní růst heterotrofních mikroorganismů tvořících biomasu. Biomasa intenzivně se rozmnožujících mikroorganismů buď tvoří povlak biofilmu na nosičích nebo se volně vznáší v objemu čištěné vody. Směsná kultura mikroorganismů tvoří tzv. aktivovaný kal.

Aktivovaný kalem nazýváme směsnou kulturu složenou z mnoha zástupců mikroorganismů převážně ve formě zoogléí. Jsou zde zastoupeny:

- bakterie rodů *Pseudomonas*, *Flavobacterium*, *Achromobacter*, *Chromobacterium*, *Azotobacter*, *Micrococcus*, *Bacillus*, *Alcaligenes*, *Arthrobacter*, *Acinetobacter*, *Mycobacterium*, *Nocardia*, *Lophomonas* aj.
- houby,
- plísně,
- kvasinky,
- nitrifikační bakterie (*Nitromonas*, *Nitrobacter*),
- vláknité mikroorganismy (např. *Leptomitus*, *Leucothrix*, *Thiothrix*, *Toxothrix*, *Beggiatoa*, *Microaccila*, *Nocardia*, *Flexibacter*, *Vitreoscilla*, *Geotrichum candidum*, *Lineola longa*, *Pelonema subtilissum*, *Spirulina albida*, *Microthrix parvicella*, *Sphaerotilus*, *Nostocoida limicola* aj.

Převládnou-li vláknité mikroorganismy, mohou se objevit značné technologické potíže spočívající ve špatné sedimentovatelnosti kalu a potížemi s jeho zahušťováním.

Z vyšších mikroorganismů se v aktivovaném kalu vyskytují:

- protozoa, vířníci, hlístice aj.
- prvoci s nejčastějšími zástupci *Vorticella*, *Opercularia* a *Epistylis*. Prvoci mají v aktivovaném kalu významnou úlohu, protože snižují obsah volně pohyblivých bakterií a tím zlepšují vyčiření čištěné vody.

Bioflokulace je vyvolána snížením povrchového elektrického náboje buněk vlivem polysacharidů produkovaných buňkami, které vně obalují jejich stěny. Jsou vylučovány hlavně v období stacionární a endogenní růstové fáze. Interakcí vysokomolekulárních polyelektrolytů s buňkami je vzájemně spojují do shluků tvořících vločky. Bioflokulace, shlukování mikroorganismů do sedimentujících vloček, je jednou z jeho velmi cenných vlastností. K oddělování aktivovaného kalu z čištěných odpadních vod postačuje prostá sedimentace v dosazovacích bez potřeby odstředování nebo filtrace.

Tato charakteristika platí obecně pro aktivované kaly z městských čistíren. Kvalitativní i kvantitativní složení aktivovaného kalu závisí na složení substrátu a na hodnotách technologických parametrů čištění (doba zdržení, stáří kalu, zatížení, teplota, tlak atd.). V ČOV průmyslových nemusí mít bioflokulace vyhovující účinnost. Pak je nutné aktivované kaly z čištěné vody oddělovat odstředováním nebo filtrací.

Vytvořená biomasa je z biologického stupně čištění plynule odtahována. Část je využívána pro očkování znečištěné vody vstupující do biologického stupně čištění, větší část biomasy je buď zpracována nebo zneškodněna skládkováním či spalováním (viz dále).

Podmínkou intenzivní tvorby biomasy je dodržení poměru koncentrací odpovídající $BSK_5 : N : P = 100 : 5 : 1$ při dostatečné koncentraci kyslíku ve vodě. Je-li to nutné, musí se chybějící složky přidávat (provzdušňováním kyslík, dávkováním kyseliny fosforečné a jejích solí fosforečnanový iont, močoviny nebo dusičnanů sloučeniny dusíku). Proces biologického čištění ruší nebo až zastaví přítomnost toxických látek, pH nad 8 a pod 5, rychlé výkyvy teploty nebo příliš vysoká koncentrace organických látek na vstupu do procesu.

5.2.1. Biochemická rozložitelnost organických látek

Organické látky bývají biochemicky rozložitelné působením mikroorganismů. Při hodnocení rozložitelnosti není rozhodující pouze fakt, zda vůbec biochemický rozklad probíhá, ale také jeho rychlost a podmínky průběhu. Organické látky jsou při biochemickém rozkladu mikroorganismům živným substrátem – poskytují jim základní látky pro výstavbu buněk včetně části základních živin.

Obrazem biochemické rozložitelnosti organických látek je poměr mezi BSK (hlavně BSK₅) a TSK. Nenulový poměr BSK₅/TSK naznačuje, že je příslušná organická látka biochemicky rozložitelná.

Pokud je poměr BSK₅/TSK 0,4 – 0,2, je příslušná organická látka snadno a rychle rozložitelná. Při nižších hodnotách biochemická rozložitelnost příslušných organických látek klesá, resp. směsná mikrobiální kultura není na biochemický rozklad dostatečně adaptována. Velikost tohoto poměru ale nevyovídá o rychlosti biochemického rozkladu.

Kvantitativním měřítkem biochemické rozložitelnosti organické látky adaptovanou směsnou kulturou je maximální specifická rychlost jejího odstraňování značená $r_{x \max}$. Pokud je $r_{x \max} > 50 \text{ mg} \cdot \text{g}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$, je příslušná organická látka danou mikrobiální kulturou dobře a rychle rozložitelná. Je nutné zdůraznit, že rychlost biochemického rozkladu je vždy závislá na:

- stáří směsné kultury mikroorganismů,
- podmínkách její kultivace,
- koncentraci příslušné organické látky během adaptace.

Pro posouzení biochemické rozložitelnosti organických látek platí následující obecná kritéria:

- růst počtu substituentů u všech organických látek zvyšuje jejich toxicitu a vede ke snížení rychlosti rozkladu,
- čím jsou řetězce alifatických sloučenin delší, rozvětvenější nebo zacyklené, tím je biochemická rozložitelnost příslušných sloučenin nižší,
- snadno biochemicky rozložitelné jsou sacharidy, aminosacharidy, alifatické alkoholy, aldehydy a karboxylové kyseliny,
- rozložitelnost primárních aminů je nejvyšší a klesá směrem k aminům terciárním a jejich sloučeninám,
- biochemický rozklad aromatických sloučenin je pomalejší s růstem počtu benzenových jader a substituentů, přičemž skupiny $-\text{OH}$, $-\text{CHO}$, $-\text{COOH}$ rychlost rozkladu ovlivňují pozitivně a naopak skupiny $-\text{Cl}$, $-\text{NO}_2$, $-\text{SO}_3\text{H}$ nebo jejich kombinace ji ovlivňují negativně,
- pěti- a šestičlenné nasycené heterocyklické sloučeniny s jedním heteroatomem v molekule jsou dobře rozložitelné. S růstem počtu heteroatomů se rychlost rozkladu snižuje,
- nenasyčené pětičlenné heterocyklické sloučeniny s jedním heteroatomem v molekule i jejich kondenzáty s benzenovým jádrem jsou dobře rozložitelné. Jejich rozložitelnost je lepší, než u šestičlenných heterocyklických sloučenin,
- nenasyčené dusíkaté šestičlenné heterocyklické sloučeniny jsou pomaleji rozložitelné než obdobné deriváty benzenu.

Údaje o biochemické rozložitelnosti organických sloučenin jsou shromažďovány v ČR na Fakultě technologie vody a prostředí VŠCHT v Praze. Ve všech vyspělých státech jsou k dispozici obdobné databáze o biochemické rozložitelnosti a toxicitě organických látek. Řada informací tohoto typu je také dostupná i na internetu.

5.2.2. Množení a růst mikroorganismů

Především množení mikroorganismů dělením buněk vede k růstu koncentrace a objemu biomasy v čištěných vodách. Jsou ale výjimky, kdy se např. vláknité *Sphaerotilus natans* rozpadají za tvorby konidií bez podstatného růstu objemu biomasy.

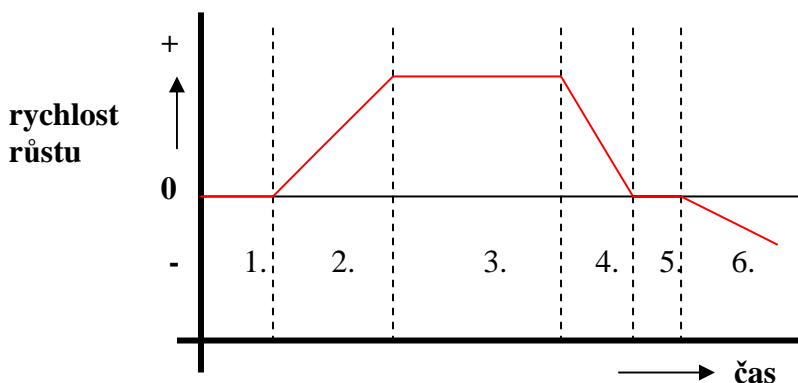
Růstem mikroorganismů je rozuměno zvětšování mateřských buněk mikroorganismů bez jejich dělení. Některé kmeny mikroorganismů jsou schopny zvětšit buňky až na trojnásobek jejich původní hmotnosti. I tímto způsobem se zvyšuje objem biomasy a její koncentrace v čištěných vodách vyjádřená např. v $\text{g} \cdot \text{l}^{-1}$. Jiné kultury mikroorganismů se před dělením buněk podstatně nezvětšují.

Poměr hmotnostní objemové koncentrace vyjádřený v $\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$ mezi substrátem - živným kultivačním prostředím pro mikroorganismy tvořeným biochemicky rozložitelnými organickými látkami a inokulem - biomasou mikroorganismů S_0/X_0 určuje, zda v systému dojde pouze k růstu mikroorganismů bez dělení buněk nebo i k jejich rozmnožování dělením.

Má-li poměr S_0/X_0 hodnotu 0,1, nedojde k výraznému rozmnožení mikroorganismů (to je stav běžný v komunálních odpadních vodách). Pokud se zvýší uvedený poměr o dva nebo tři řády, zintenzivní se rozmnožování buněk mikroorganismů a dojde k vysokému přírůstku biomasy.

Růst počtu mikroorganismů v každém systému je nerovnoměrný. Je rozeznáváno šest různých fází kinetiky růstu mikroorganismů:

1. Lagová fáze – rychlost růstu je nulová, mikroorganismy se adaptují na dané prostředí dle jeho fyzikálních a chemických podmínek.
2. Fáze zrychleného růstu – rychlost růstu se postupně zvyšuje a na konci fáze dosahuje maxima.
3. Exponenciální fáze růstu – rychlost růstu je vysoká a konstantní až do významného poklesu koncentrace substrátu pod jistou limitující hodnotu.
4. Fáze zpomaleného růstu – substrát je vyčerpáván, mikroorganismy nemají dostatek živin pro svůj růst a rozmnožování, rychlost růstu počtu mikroorganismů proto klesá až na nulu.
5. Stacionární fáze – substrát je prakticky vyčerpán, růst buněk mikroorganismů se zastavuje.
6. Fáze poklesu – mikroorganismy odumírají pro nedostatek živného substrátu a zvolna se rozkládají.



Závislost rychlosti růstu mikroorganismů na čase

Z tvaru růstové křivky je patrné, že ji nelze jednoduše matematicky popsat. Pouze pro fázi 3. exponenciálního růstu platí vztah:

$$R = \frac{dX}{dt} = \mu X$$

nebo po úpravě

$$\frac{d \ln X}{dt} = \mu$$

a po integraci

$$\ln X = \mu t + X_0$$

$$X = X_0 \cdot e^{\mu t},$$

kde **m** je hmotnost mikroorganismů, **t** je čas a **μ** je specifická rychlost růstu.

Pokud je směsná kultura mikroorganismů kultivována v nesterilních podmínkách, což je běžné v ČOV, pak vždy obsahuje velký počet různých druhů mikroorganismů. Jejich zastoupení je závislé na:

- Složení substrátu.
- Stáří kultury.
- Momentální koncentraci substrátu v bioreaktoru.

Během biochemického rozkladu organických látek můžeme rozeznat následující varianty:

- a) čistá kultura mikroorganismů a jednosložkový substrát,
- b) čistá kultura mikroorganismů a vícesložkový substrát,
- c) směsná kultura mikroorganismů a jednosložkový substrát,
- d) směsná kultura mikroorganismů a vícesložkový substrát.

Varianty a), b) mají význam spíše jen pro teoretické studium kinetiky biochemického rozkladu organických látek. Pro ČOV jsou běžné případy c) a zejména d).

Naprostá většina odpadních vod je vícesložkovým substrátem, v němž jsou rozpuštěny jak jednoduché nízkomolekulární látky (alkoholy, karboxylové kyseliny a cukry) tak i látky vysokomolekulární (polysacharidy, bílkoviny, lipidy). V odpadních vodách jsou zároveň suspendovány nerozpuštěné látky ve formě jemných a koloidní disperzí.

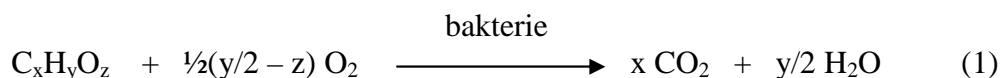
Nerozpuštěné organické látky ve formě jemných a koloidní disperzí se z odpadních vod odstraňují fyzikálními a fyzikálněchemickými procesy spočívajícími v jejich koagulaci a sorpci na shlucích mikroorganismů směsné kultury. Z čištěných vod jsou nakonec odděleny sedimentací. Tyto procesy jsou podstatně rychlejší než biochemický rozklad rozpuštěných organických látek popsaný dále.

5.2.3. Podmínky biologického čištění vod

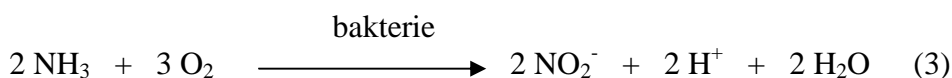
Podmínky aerobní

Za přítomnosti vzduchu, tj. vzdušného kyslíku, a teploty nad 10 °C část organických látek podléhá biochemické oxidaci za přítomnosti mikroorganismů. Tím mikroorganismy získávají energii, materiál pro růst a množení buněk, přičemž se organické látky přemění na oxid uhličitý a vodu. Při aerobním postupu vzniká velké množství biomasy. Sloučeniny fosforu (fosfolipidy) se přemění na fosforečnany,

sloučeniny dusíku na dusičnany – základní živiny nutné pro vývoj biomasy. To přispívá i k sekundárnímu znečištění vody. Proces biochemického rozkladu (odbourávání) v aerobním stupni čištění lze schematicky popsat rovnicí:



Kromě toho v aerobním stupni probíhá za účasti bakterií nitrifikace amonných iontů. Nitrifikace probíhá ve dvou stupních. V prvním se amoniakální dusík oxiduje na dusitany pomocí bakterií rodů Nitrosomonas, Nitrosococcus, Nitrospira a Nitrosocystis. Ve druhém stupni jsou vzniklé dusitany oxidovány na dusičnany mikroorganismy Nitrobacter a Nitrocystis. Nitrifikace probíhá podle rovnic:

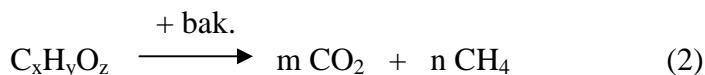


Amonné ionty vznikají hydrolýzou močoviny nebo se do vod dostávají z průmyslových hnojiv:

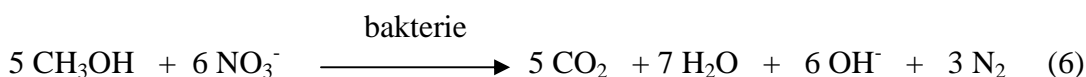


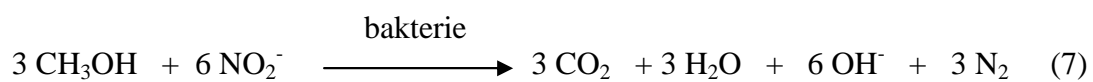
Podmínky anaerobní

Za anaerobních podmínek, tj. bez přístupu vzduchu a tím vzdušného kyslíku (rovnice 2) probíhá biochemický rozklad organických látek optimálně při teplotě mezi 35 - 45 °C. Kyslík a energii získávají mikroorganismy z organických aj. kyslíkatých sloučenin - v tomto případě probíhají v systému redukční procesy. Konečná produkce biomasy je při tomto procesu cca 5x nižší, než při procesu aerobním. Většina organických látek se působením mikroorganismů přeměňuje na plynné produkty – bioplyn – obsahující hlavně oxid uhličitý (obvykle 40 % obj.) a methan (zpravidla 60 % obj.). Bioplyn zároveň obsahuje desetiny % obj. amoniaku a sulfanu. Reakční schéma naznačené sumární rovnicí (2) je značně zjednodušené – ve skutečnosti postupně vzniká řada organických sloučenin typu aldehydů, ketonů, alkoholů, thioalkoholů, aminů aj. sloučenin. Za anaerobních podmínek se při probíhajícím biochemickém rozkladu uplatňují redukční procesy za vzniku methanu a oxidu uhličitého:

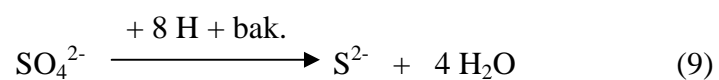


V anaerobních podmínkách probíhá za účasti bakterií rovněž denitrifikace. Je opakem nitrifikace a znamená redukci dusičnanů a dusitanů na N₂ nebo N₂O. Mohou ji provádět četné organotrofní bakterie jako např. rody Micrococcus, Pseudomonas, Chromobacterium, Denitrobacillus aj. Schematicky můžeme denitrifikaci popsat např. rovnicemi (6) a (7) takto:





Zároveň za anaerobních podmínek probíhá redukce síranového aniontu dle rovnic (8) a (9):

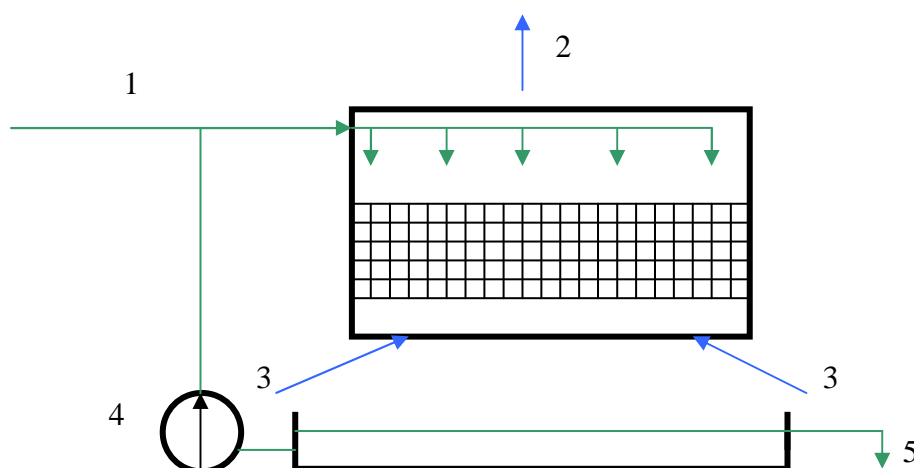


Rozkladem organických látek se uvedenými postupy vytvářejí původní anorganické látky, proto je hovořeno o mineralizaci. Účinnost biologického čištění je posuzována podle dosažené hodnoty BSK, CHSK a obsahu organického uhlíku.

5.2.4. Skrápěné biologické kolony (biofiltry)

Biofiltry (Obr. 6.) jsou často používány pro aerobní biochemické čištění průmyslových odpadních vod znečištěných organickými látkami. Jsou také používány pro biochemické čištění odpadních plynů obsahujících páry organických látek.

Biofiltry jsou stavěny o průměru několika metrů do cca 50 m. Výška plastové nebo laminátové výplně je dle výkonu a zátěže 2 – 5 m. Měrný povrch výplně je až 500 m²/m³ výplně. Na povrchu výplně je vytvořena slizovitá vrstva biofilmu, po které stéká čištěná voda. Průtok vody nemá přesahovat 0,8 m³/m².h. při zátěži do 700 g BSK₅/m³.den u vysokozátěžových biofiltrů. Do výplňové kolony je zdola protiproudě přiváděn vzduch. Proudění vzduchu je buď přirozené nebo nucené pomocí ventilátoru umístěného nad rozstřikovači vody. Voda stékající z výplně je zachycována do vany, která je zároveň předlohou nádrží cirkulačního čerpadla. Ze záchytné vany je odváděna vyčištěná voda. Do cirkulačního okruhu je dávkována voda znečištěná. Účinnost biofiltrů se pohybuje mezi 75 - 90 % BSK₅.



Obr. 6.: **Biofiltr**

1 – přívod znečištěné vody, 2 – výstupu vzduchu, 3 – vstup vzduchu,
4 – cirkulační čerpadlo, 5 – výstup vyčištěné vody

Biofiltry nízkozátěžové pracují se skrápěním do 0,2 m³/m².h při zatížení do 200 g BSK₅/m³.d. Zátěžovou proluku mezi vysoko- a nízkozátěžovými biofiltry nelze využívat pro riziko ucpávání výplně biomasou.

Biomasa slizovitého charakteru vytváří mikroorganismy – bakterie. V biomase jsou zároveň obsaženi bičíkovci, vířníci, červi a larvy hmyzu (mušek), kteří se biomasou živí. Přitom ji rozrušují, uvolňují s povrchu výplně a pomáhají jejímu vyplachování z kolony.

5.2.5. Aerobní čištění v aktivačních nádržích

V aktivačních nádržích biologického stupně je voda čištěna aerobně s převahou oxidačních procesů působením suspendované kultury mikroorganismů. Voda je na vstupu do aktivačních nádrží očkovaná částí aktivovaného kalu z dosazováků. Přebytečný kal je odváděn. Někdy je aktivovaný kal dávkován i před usazovákou (obr. č. 1). Tím je kultura mikroorganismů plynule obnovována.

Množství biomasy v systému zpočátku provozu ČOV narůstá, v ustáleném stavu se udržuje na stejné úrovni odběrem přebytečného kalu za dosazovákou k dalšímu zpracování. Při uvádění nové ČOV do provozu nebo nájezdu biologického stupně po opravách je pro urychlení nájezdu nejvýhodnější dovoz čerstvého aktivovaného kalu fekálním vozem z jiné ČOV, není-li k dispozici aktivovaný kal z jiných paralelně provozovaných aktivačních nádrží.

Oproti biofiltrům je suspendovaný aktivovaný kal citlivější na hydraulické přetížení nebo velké výkyvy BSK₅ v čištěné vodě. Proto jsou v některých ČOV za česle vřazeny homogenizační nádrže o objemu až několika tisíc m³, kde jsou mícháním extrémní výkyvy koncentrací částečně vyrovnávány. Také citlivost na přítomnost toxických látek, přísun minerálních živin a kyslíku je u aktivovaného kalu vyšší. Při poruchách se rozvíjí přednostně vláknité mikroorganismy (jejich růst lze potlačit chlórováním) nebo mikroorganismy hynou. Kal se jeví vodnatější a špatně sedimentuje (tzv. zbytněný kal), což se projevuje rostoucím obsahem NL ve vodě odtékající z dosazováků. Tím klesá celková účinnost ČOV. Poruchové stavy jsou řešeny:

- zvýšenou aerací,
- změnou množství vraceného aktivovaného kalu před aktivační nádrže,
- přidávkem minerálních živin.

Pro urychlení rozpouštění kyslíku v čištěné vodě se jeho koncentrace udržuje kolem 1,0 mg.l⁻¹, tj. relativně nízké úrovni oproti rovnovážné koncentraci. Ta je za běžných teplot 10 – 20 °C kolem 10 mg.l⁻¹. Tím se urychlí absorpce kyslíku a specifická spotřeba vzduchu na provzdušňování je nízká, klesají provozní náklady úsporou energie.

Z uvedeného textu je zřejmá potřeba průběžného sledování kvality aktivovaného kalu a dalších parametrů v aktivačních nádržích. Jedním ze sledovaných parametrů je kalový index KI (ml.g⁻¹):

$$KI = \frac{\text{objem kalu po 30 minutách sedimentace (ml)}}{\text{sušina kalu (g)}}$$

Kvalitní aktivovaný kal má obsah sušiny 1,0 – 1,5 %hm. a kalový index 60 – 100 ml.g⁻¹. Vyšší hodnoty ukazují na zbytnění kalu. Koncentrace aktivovaného kalu ve vodě aktivačních nádrží se pohybuje v rozmezí 0,5 – 3,0 g.l⁻¹ sušiny.

Dle velikosti kalového indexu jsou aktivované kaly rozdělovány do tří kategorií:

KI < 100 ml . g ⁻¹	- normální
KI = 100 – 200 ml . g ⁻¹	- lehký
KI > 200 ml . g ⁻¹	- zbytnělý

Dále je sledováno stáří kalu SK (dny) – tj. čas, za který se teoreticky zcela vymění objem veškerého kalu v systému:

$$SK = \frac{\text{hmotnost sušiny kalu v systému (kg)}}{\text{hmotnost sušiny kalu odebíraného (kg.den}^{-1}\text{)}}$$

Stáří kalu se pohybuje mezi 2 – 8 dny. Starší kal je výhodnější pro rozklad obtížně rozložitelných látek, neboť jsou na ně přítomné bakterie adaptovány. Ve starších ČOV s oxidačními příkopy bývá stáří kalu až 21 dnů.

Objemové zatížení aktivačních nádrží se pohybuje mezi 0,5 – 1,0 kg BSK₅.m⁻³.den⁻¹. Pak při stáří kalu 3 – 15 dnů lze dosáhnout účinnosti odstranění BSK₅ nad 90 %. Vzrůstem zátěže cca o 20 % klesá účinnost na cca 85 %. Jsou používány i vysokozatížené systémy s rychloaktivací s více než 1,5 kg BSK₅.m⁻³.den⁻¹. Také jsou používány systémy s dvoustupňovou aktivací dosahující zatížení až 10 kg BSK₅.m⁻³.den⁻¹ v prvním stupni, ve druhém stupni je zátěž aktivace klasická. Jejich účinnost bývá i pod 80 %, ale pokud jsou plněny emisní limity na výstupu do recipientu, je jejich užití oprávněné. Výhodné jsou rovněž investiční a provozní náklady.

Podmínkou spolehlivé funkce aerobního čištění vod je intenzivní přívod vzdušného kyslíku do objemu čištěné vody. Toho je dosaženo aeračními - provzdušňovacími zařízeními různé konstrukce.

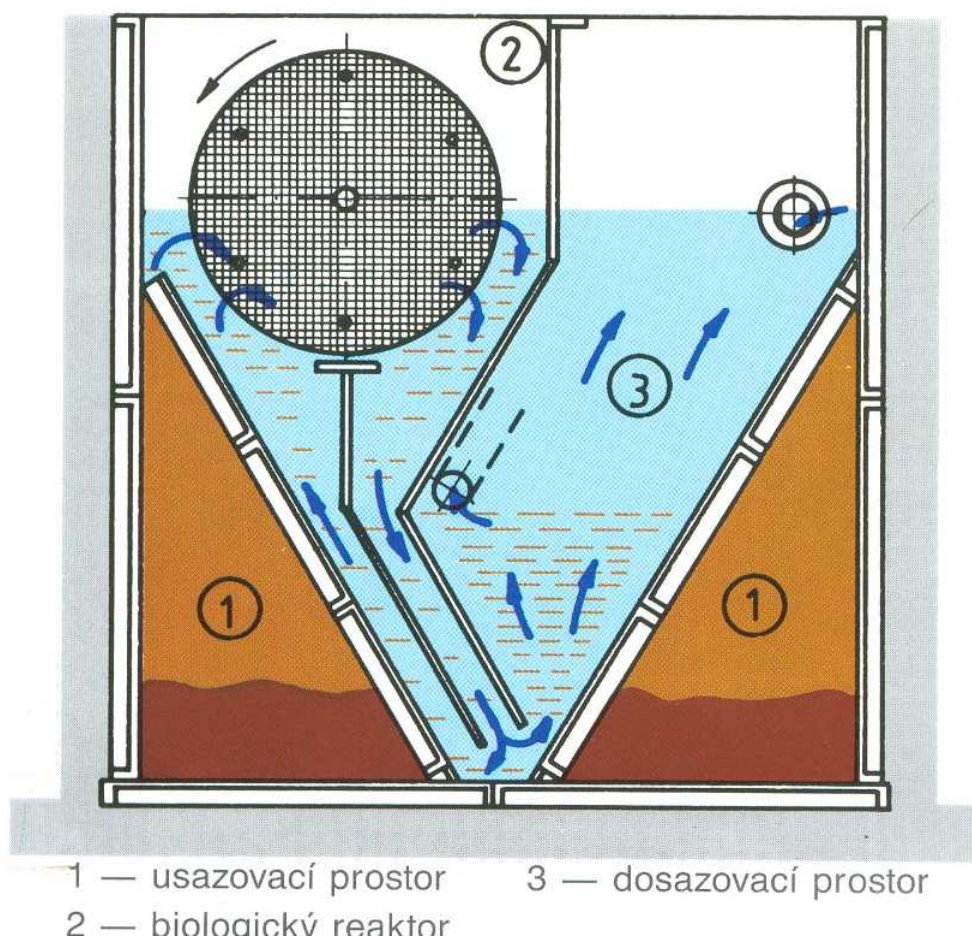
Používaná aerační zařízení

- kaskáda sériově řazených nádrží se splavy, kde je přepadající voda sycena kyslíkem. Jedná se o starší konstrukci aerace vyžadující větší spád mezi nádržemi s nutností přečerpávání čištěné vody, není-li přirozený spád k dispozici. Jedná se o starší konstrukční uspořádání v současnosti téměř nepoužívané.
- mechanické aerátory zviřující zároveň hladinu i objem čištěné vody (lopatková kola nebo válcové kartáče s horizontální hřídelí, míchadla částečně vynořená nad hladinu, hladinové turbínové aerátory s vertikální hřídelí aj.). Mechanické aerátory mají vysokou měrnou spotřebu elektřiny pro pohon, neboť intenzivně míchají celý objem aktivačních nádrží. Přesto jsou pro vysoký výkon používány i ve velkých ČOV.
- oxidační příkopy – oválné mělké kanály kombinované s mechanickými aerátory, které zajišťují provzdušnění a zároveň cirkulaci s oběhem vody v příkopu. Jejich výhodou je práce s kalem stáří i nad 25 dnů. Tento kal je již aerobně stabilizován, takže se s ním po odvodnění lépe nakládá.
- jemnobublinové aerátory - stlačený vzduch je u dna železobetonových aktivačních nádrží dmýchán do objemu čištěné vody rozptylován v podbě jemných bublinek perforovanými hadicemi nebo rozdělovači s porézními deskami. Velký mezifázový povrch tvořený jemnými bublinkami zajišťuje rychlé rozpouštění kyslíku ve vodě při relativně nízké měrné spotřebě elektřiny a intenzivním míchání objemu aktivačních nádrží vzduchovými bublinkami. Jemnobublinová aerace je velmi často používána na velkých moderních ČOV. Aeraci lze intenzifikovat přidávkou kyslíku do stlačeného vzduchu (Systém OXIDEP) bez nutnosti stavby dalších aktivačních nádrží. Pro zajištění vyšší cirkulace v objemu čištěné vody bývají v nádrži instalována např. horizontální vrtulová míchadla.
- rotační diskové reaktory – rotační biofilmové reaktory (Obr. 7.). V železobetonové nebo plastové vaně s čištěnou vodou jsou umístěny pomalu rotující biodisky, na

jejichž povrchu je biofilm tvořený mikroorganismy (viz. kap. 5.2. Biofiltr). Biodisky se brodí cca 50 % plochy v čištěné vodě a kolem zbývajícího povrchu nad hladinou volně proudí vzduch sytící biofilm vzdušným kyslíkem (viz obr. dále). Biofilm na povrchu disku je střídavě v kontaktu s čištěnou vodou a vzduchem. Aktivační nádrže s biodisky mají spíše menší výkon, bývají používány u domovních ČOV, ale byly užity i pro velké ČOV pro 100.000 ekv. obyvatel nebo pro průmyslové ČOV. Mají nízkou měrnou spotřebu energie – cca 0,4 W/obyvatele. Dobře snáší i přetížení nebo výkyvy koncentrací.

Volba systému aerace pro konkrétní ČOV je důležitá především s ohledem na objem znečištěných vod, koncentraci znečišťujících biologicky rozložitelných látek a měrnou spotřebu energie v kWh.m⁻³ čištěné vody. Tím se přímo promítá do provozních nákladů.

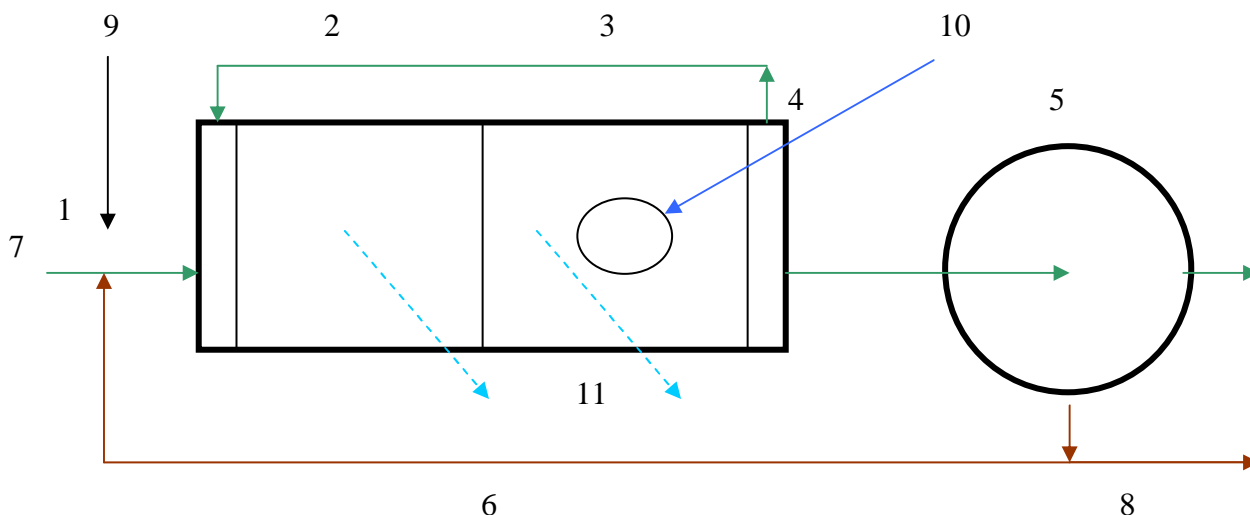
Obr. 7. Schéma domovní čistírny s biodisky



V moderních biologických čistírnách odpadních vod jsou v současnosti kombinovány procesy aerobní s anaerobními (obr. 8.). Procesy probíhají v samostatných zpravidla železobetonových vanách s rozdělovacími žlaby na vstupu a odváděcími žlaby na výstupu. Vany jsou řazeny za sebou v kaskádě. V tomto případě bývá biologický stupeň členěn minimálně na dvě sekce. V první sekci za usazovací probíhá za anaerobních podmínek bez provzdušňování denitrifikace dle rovnice (6 a 7 na str. 46). V navazující provzdušňované aerobní sekci probíhají oxidační procesy

včetně nitrifikace dle rovnice (3 a 4 na str 45). Přitom čištěná voda z druhé sekce je čerpadly recirkulována do sekce první. Ve vratné recirkulační větvi je průtok řízen tak, aby snížení koncentrace nežádoucích složek bylo maximální. K tomu účelu je využíváno i přepojování nádrží mezi sebou, je-li jich k dispozici více než dvě. Tím se mění prostory, tj. reakční objemy a doby zdržení čištěné vody, v nichž probíhají procesy aerobní nebo anaerobní. Rozhodující pro průtokové poměry je bilance fosforečnanových, amonných a dusičnanových iontů a hlavně jejich koncentrace na výstupu do dosazováku.

Do biologického stupně také bývají dávkována srážecí činidla, především levný síran železitý. Využitelné jsou k tomuto účelu i hlinité soli a vápenné mléko. Vápenné mléko je s výhodou používáno pro nízkou cenu, zvýšení pH čištěné vody a srážení i dalších aniontů (síranový, uhličitanový, fluoridový, hexafluorokřemičitanový). Při zvýšeném pH jsou sráženy ve formě hydroxidů i kationty těžkých kovů (viz terciární stupeň ČOV).



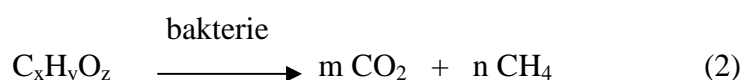
Obr. 8.: **Kombinovaný biologický stupeň**

1 – přítok vody z usazováku, 2 – denitrifikační nádrž, 3 – provzdušňovaná nitrifikační nádrž, 4 – cirkulace vody z nitrifikace do denitrifikace, 5 – dosazovák s výstupem vyčištěné vody, 6 – vracení aktivovaného kalu, 7 – přívod čištěné vody z mechanického stupně, 8 – výstup aktivovaného kalu ke stabilizaci nebo metanizaci, 9 – dávkování srážecích činidel, 10 – přívod stlačeného vzduchu pro aeraci, 11 – odvod plyných zplodin do atmosféry

Část fosforu je vždy v biologickém stupni ČOV vázána biomasou do polyfosfátů, zásobních látek energie. Dávkování srážecích činidel je řízeno s ohledem na potřeby výživy biomasy a přípustných emisí sloučenin fosforu a dalších látek do recipientu. Tímto způsobem je v kombinovaném biologickém stupni čištění odpadních vod včleněn i tzv. terciární stupeň čištění. Všechny nerozpustné podíly jsou nakonec odloučeny v dosazováku a koncentrují se v odvodněných a stabilizovaných kalech (viz dále). Pokud tyto kaly neobsahují těžké kovy, jsou použitelné pro rekultivace nebo přípravu kompostů.

5.2.6. Anaerobní stabilizace kalů a anaerobní čištění odpadních vod

Anaerobní biochemický rozklad organických látek probíhá běžně v přírodních podmínkách, např. v sedimentech vodních nádrží, močálech nebo rýžovištích. Produktem rozkladu je bioplyn (bahenní plyn) obsahující až 60 % obj. methanu a do 40 % obj. oxidu uhličitého. Vedle těchto základních složek suchý bioplyn obsahuje kolem 1 – 2 % obj. příměsí – sulfanu, čpavku a dusíku pocházejících z rozkladu bílkovin. Výhodou anaerobních procesů je nízká tvorba biomasy – v biomasu se přemění cca 5% hm. původně přítomných organických sloučenin (u aerobních procesů biomasy vznikne cca 5x více). Kolem 90 % hm. organických sloučenin se přemění v bioplyn. Anaerobní rozklad vystihuje sumární schématická rovnice (2):



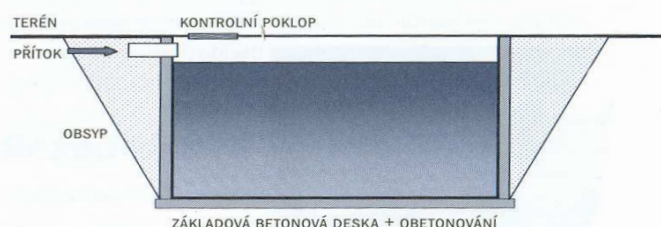
Mechanismus redukčního anaerobního rozkladu je tvořen několika kroky:

- hydrolytické štěpení makromolekul celulózy, bílkovin, škrobů a glycidů na nižší sacharidy aj. jednodušší sloučeniny,
- ty jsou dále štěpeny acidogenezí na nižší mastné kyseliny, alkoholy, oxid uhličitý a vodík,
- acetogenezí vzniká kyselina octová, další oxid uhličitý a vodík,
- metanogenezí je kyselina octová štěpena na methan a oxid uhličitý.

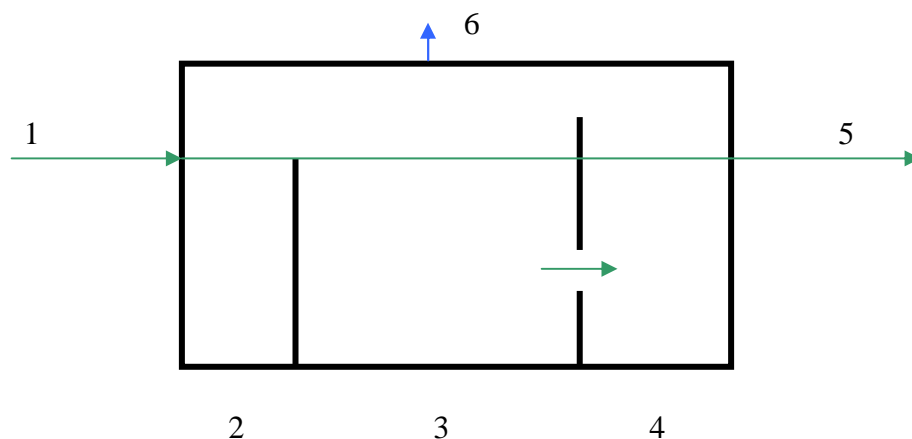
V první fázi je ve štěpeném materiálu růstem koncentrace karboxylových kyselin prostředí kyselé, které v metanogenní fázi přechází v prostředí alkalické.

Anaerobní rozklad byl poprvé použit k čištění odpadních komunálních vod v jednodokomorových septicích koncem 19. století. Jejich výhodou byla jednoduchost a dosažitelná účinnost kolem 75% vůči snížení BSK i obsahu nerozpustných látek.

Určitou variantou jednodokomorového septiku jsou bezodtokové jímky s pevnými nepropustnými stěnami z termoplastů či betonu s hydrofobním nátěrem (Obr. 9.). V současnosti jsou v praxi využívány výjimečně jen na osamělých lokalitách v chráněných územích nebo v obcích bez kanalizační sítě. Veškerá shromážděná odpadní voda musí být vyvážena fekálními vozy do ČOV. S ohledem na dopravní náklady je jejich provoz velmi nákladný.



Obr. 9. Schéma bezodtokové jímky



Obr. 10. **Tříkomorový septik**

1 – přítok vody, 2 – sedimentační komora, 3 – vyhnívací komora, 4 – oddělovací a sedimentační komora, 5 – výtok čištěné vody, 6 - odvětrání

Tříkomorový septik (obr. 10.) je zdokonalenou a účinnější variantou septiku jednokomorového. Tento typ septiků byl stavěn od začátku druhé poloviny 20. století v odkanalizovaných, ale hlavně neodkanalizovaných lokalitách. Bývá dosud užíván v menších venkovských sídlech u rodinných domů nebo na samotách bez ČOV pro zneškodňování odpadních vod z domácností a drobných zemědělských hospodářství.

Současné vodohospodářské předpisy již používání septiků s trativodem jako metodu čištění odpadních vod nepovolují i když jejich užívání na venkově dosud přetrvává.

V sedimentační komoře jsou odděleny dobře sedimentující mechanické nečistoty. Voda přepadá přes první přepážku do střední vyhnívací komory. V tomto prostoru probíhá anaerobní rozklad organických látek. U hladiny se zdržuje plovoucí kal, vyhnílé dobře sedimentující kaly se zadržují ve spodní třetině vyhnívací komory. Voda protéká otvory v dolní třetině druhé dělící stěny septiku do výstupní sedimentační a oddělovací komory, kde se zachytí zbytek jemného sedimentujícího kalu.

Účinnost septiku je silně závislá na průtoku, koncentraci a charakteru znečišťujících látek a době zdržení čištěné vody v prostoru vyhnívací komory. Doporučuje se její objem min. 1 - 2 m³ na osobu. Pak účinnost přesahuje i 80 % vůči BSK. Usazené kaly je nutné periodicky ze septiku vyčerpávat – dle kapacity a zatížení u dobře navrženého septiku postačuje vyvážení 1x ročně u objektu trvale obývaného.

Rozkladem vznikající oxid uhličitý se částečně absorbuje ve vodě. Proto obsah metanu v odcházejícím bioplynu může být kolem 70-ti % obj. Odvětrávací potrubí nebývá instalováno vždy přímo na septicích. Vždy je odvětrávána kanalizační síť. Odvětrávací potrubí ústí nad střechy objektů, aby zápach neobtěžoval okolí a unikající metan ve směsi se vzduchem nezpůsobil při náhodné iniciaci výbuch.

Voda vystupující ze septiků zapáchá a vždy obsahuje menší množství jemných tmavě hnědých produktů rozkladu zbarvujících odtékající vodu. Proto voda přepadá ze septiku do trativodu s podmokem a zemním filtrem nebo do kanalizační sítě. Aby voda v místech bez kanalizace neobtěžovala okolí zápachem a zbývající znečišťující látky neohrožovaly povrchové a podzemní vody, je odváděna trativodem. Trativodem je rozuměno drenážní potrubí uložené mělko pod povrchem země, které umožňuje

pozvolné vsakování vody do podloží. Vrstva zeminy potom tvoří zemní filtr, v němž se mechanicky zachytí nerozpustné látky. Rozpuštěné znečišťující látky se v zemním filtru adsorbují nebo chemisorbují díky sorpční kapacitě zemin. Aktivní úlohu v procesu sorpce hrají humusové složky zemin a jejich iontovýměnná kapacita. Pro chemisorpci těžkých kovů jsou významné zejména humínové kyseliny. Do zemních filtrů je také běžně odváděna voda z kořenových čistíren odpadních vod. Pro odvod živin z prostoru zemního filtru je důležitý jeho vegetační kryt tvořený zpravidla travinami a bylinami.

V místech, kde z hlediska struktury půdy a ochrany vod nemohl být použit zemní filtr, bývaly stavěny také bezodtokové jímky na odpadní vody. Z nich se ale musela veškerá voda i kal vyvážet. Obsah septiků a bezodtokových jímek je dosud užíván jako statkové hnojivo pro hnojení zemědělských pozemků. Pokud není tato varianta použitelná, je obsah septiků vyvážen fekálními vozy do ČOV, v nejhorším případě dosud kanalizace ústí do povrchových toků.

Septiky přes několik nevýhod sehrály a dosud sehrávají významnou úlohu v ochraně vod v lokalitách bez kanalizační sítě a jakýchkoliv ČOV. Jsou významným vývojovým stupněm anaerobních technologií čištění splaškových aj. odpadních vod. Bezodtokové jímky mají dosud velký význam v lokalitách mimo dosah kanalizačních sítí.

Obdobně jako septiky fungují dvoupatrové usazováky. Horní část zastává úlohu klasického usazováku pro odlučování nerozpustných látek a dolní uzavřená komora je vyhnívací nádrž. Voda z dolní komory je vracena zpět do komory horní. Kal je nutné z vyhnívací komory vypouštět 1 – 2x ročně, je-li její kapacita dimenzována na 100 – 150 l/obyvatele. Jelikož ve vyhnívací nádrži je nízká teplota, probíhá vyhnívání kalu pomalu a oxid uhličitý se dobře rozpouští v čištěné vodě. Koncentrace metanu v bioplynu potom dosahuje 70 – 80 % obj.

Od devadesátých let 20. století byly ve větší míře ve světě i ČR stavěny **kořenové čistírny** (Obr. 11) se zemními filtry. S výhodou byly stavěny v odlehlých lokalitách vzdálených od sídel s kanalizací a ČOV, zpravidla u objektů využívaných pouze sezónně menším počtem obyvatel (např. rekreační objekty). Vlastním kořenovým čistírnám jsou předřazeny mechanické stupně čištění odpadních vod, většinou lapák štěrku a písku s česly. Tím je zajištěno předčištění odpadních vod od nejhrubších nečistot, které by rychle zanášely pracovní prostor kořenové čistírny a zhoršovaly její účinnost.

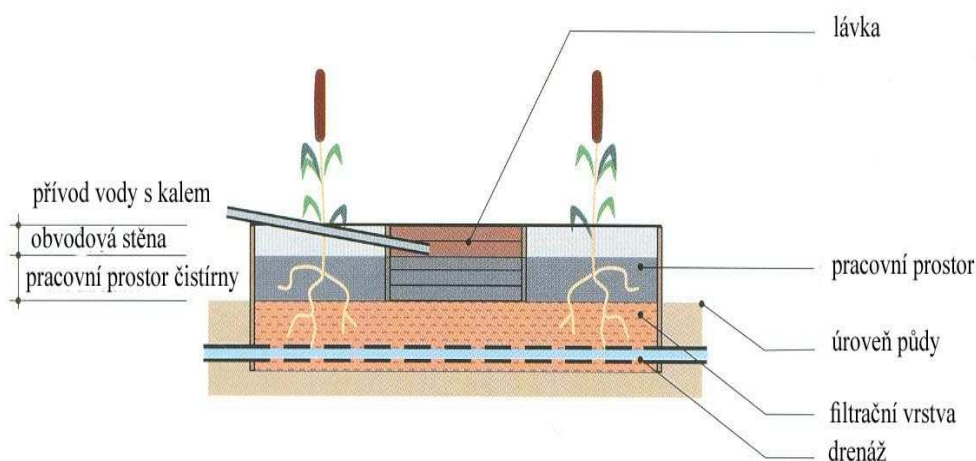
V prostoru kořenových čistíren jsou v principu imitovány přirozené čistící procesy probíhající v povrchových vodách, Transport kyslíku do objemu čištěných vod zajišťuje difúze vzdušného kyslíku hladinou spolu s vegetací v prostoru kořenové čistírny. Jsou používány jako třetí stupeň čištění po mechanicko-biologickém předčištění odpadních vod, nebo pro dočištění po mechanickém předčištění odpadních vod, Výhody lze shrnout do následujících bodů:

- nízké investiční a provozní náklady,
- nulová spotřeba elektrické energie,
- poměrně vysoká účinnost čištění ve vegetačním období (cca 70 %)
- přítomné živiny spotřebovávají vodní rostliny (rákos) rostoucí v prostoru čistírny,

Nevýhodou kořenových čistíren se zemními filtry je omezená životnost filtrů (cca 15 let), potřebný vysoký spád na filtru (cca 0,9 – 1,2 m), větší zastavěná plocha a omezená spolehlivost čištění v zimním období, kdy účinnost vůči BSK, P a N klesá i pod 50 %!

Obr. 11

Řez kořenovou čistírnou se zemním filtrem



5.2.7. Metanizační reaktory

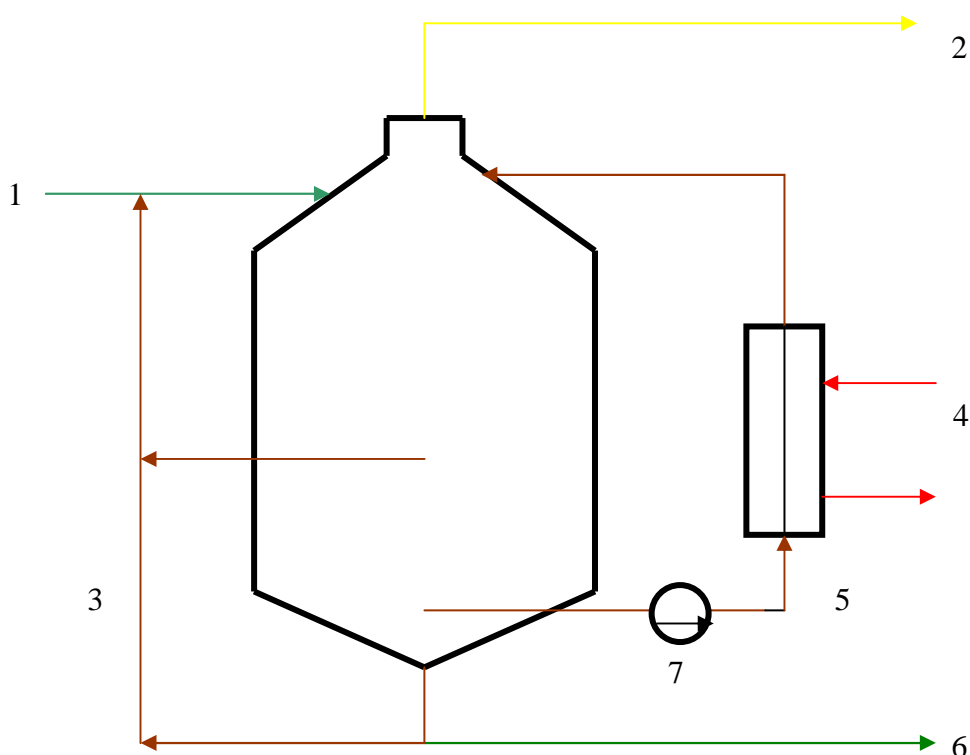
Po roce 1920 byly stavěny první samostatné vyhřívané metanizační reaktory (dříve vyhnívací nádrže - viz Obr. 12.). Probíhá v nich anaerobní rozklad organických látek na jednoduché sloučeniny – methan a oxid uhličitý - dle rovnice (2). Systém metanizace je plynotěsný, proto do okolí neunikají pachy vznikající rozkladem organických sloučenin síry a dusíku, neobtěžují tak okolí ČOV.

Metanizační reaktory jsou v současné době používány ke (k):

- stabilizaci kalů ze sedimentačních nádrží mechanického stupně čištění odpadních vod,
- stabilizaci kalů z dosazováků biologického stupně čištění odpadních vod,
- čištění odpadních vod komunálních nebo průmyslových.

Ve větší míře jsou míchané metanizační reaktory stavěny od roku 1970, kdy bylo technicky zvládnuto oddělení a recirkulace anaerobního kalu s aktivními bakteriemi nebo novější fluidní anaerobní reaktory. Druhou variantou jsou metanizační reaktory s pevným nosičem anaerobní biomasy, např. trubkové, diskové aj., což je obdoba biofiltrů (kap. 5.2.1.).

Anaerobní biochemický rozklad v metanizačních reaktorech probíhá obvykle za teploty 35 – 45 °C. Nejčastější je použití velkoprostorových metanizačních reaktorů míchaných proudem recirkulovaného kalu nebo mechanickými míchadly. Čištěná voda s kaly je ohřívána ve výměníku tepla horkou vodou získávanou v kotli vytápěném produkovaným bioplynem.



Obr. 12. **Metanizační reaktor**

1 – přívod znečištěné vody s kaly, 2 – výstup bioplynu do plynojemu, 3 – očkovací kal, 4 – výměník tepla s přívodem a odvodem horké vody, 5 – ohřívací a míchací okruh kalů, 6 – výstup vyhnilých kalů a vody, 7 – cirkulační čerpadlo

Výhodou anaerobního reaktorů je možnost čištění velmi koncentrovaných odpadních vod nebo kalů při malé tvorbě biomasy. Souběžně je vyráběno energeticky hodnotného palivo – bioplyn. Anaerobně lze s výhodou čistit průmyslové odpadní vody, zejména z průmyslu potravinářského (droždáren, škrobáren, pivovarů, masokombinátů, konzerváren aj.) a farmaceutického s vysokým BSK, odpadní vody a kejdu ze zemědělských živočišných výrob nebo silážní šťávy. Provozně vyzkoušeno je i čištění odpadních vod z průmyslu papírenského, důlního a úpravárenského s obsahem síranů s možností zisku čisté síry.

Anaerobní reaktory dobře snášejí výkyvy průtoků a koncentrací, lze i na několik měsíců přerušit provoz, bez nutnosti vyprázdnění a obnovy kultury bakterií je opět uvést do provozu. Zatížení metanizačních reaktorů se běžně pohybuje kolem $10 \text{ kg CHSK} \cdot \text{m}^{-3} \cdot \text{den}^{-1}$, ale může být dle zpracovávaného kalu a konstrukce i 10x vyšší! Dosažitelná účinnost je běžně kolem 75 %, ale i nad 90 % dle CHSK. Zbytek organických látek je rozložitelný aerobně.

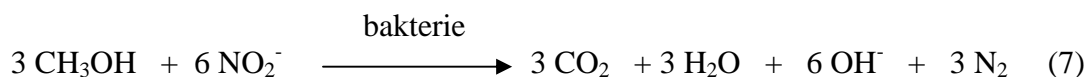
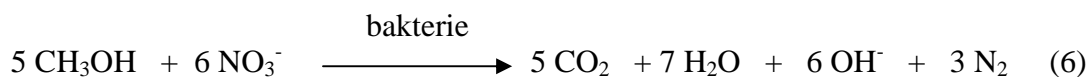
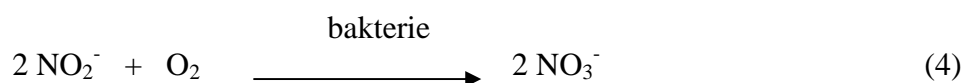
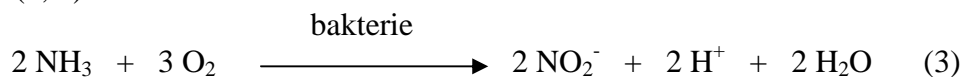
Produkovaný bioplyn je odváděn do plynojemu. Přednostně je využíván pro ohřev čištené vody, dále pro vytápění provozních prostor a sociálních zařízení ČOV nebo přípravu teplé užitkové vody. V moderních čistírnách je užíván jako palivo plynových motorů kogeneračních jednotek. Tato vysoce účinná energetická zařízení jsou užívána pro kombinovanou výrobu elektřiny a tepla – více než 30 % energie bioplynu je využito pro výrobu elektřiny a přes 50 % energie je získáváno ve formě horké vody z chlazení motoru, spalin a oleje plynového motoru. Jako plynové motory

jsou běžně užívány klasické pístové zážehové motory. Plynové turbíny nejsou pro ČOV příliš vhodné pro vyšší investiční a provozní náklady.

Anaerobní postupy čištění odpadních vod s metanizačními reaktory se v řadě průmyslových aplikací stávají integrální součástí výrobních technologií. Vedle čištění odpadních vod zajišťují produkci energie ve formě bioplynu, elektřiny a tepla. Pak je nelze považovat za pouhé koncové technologie, ale stávají se tzv. čistšími technologiemi.

5.3. Třetí – terciární stupeň čištění odpadních vod

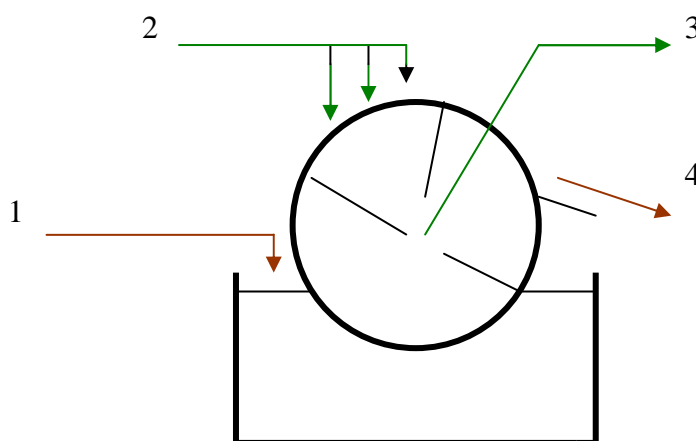
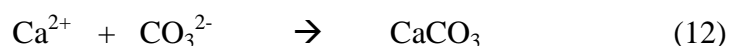
Terciární stupeň čištění odpadních vod je zařazen za mechanickým a biologickým stupněm ČOV. V některých čistírnách bývá integrován do biologického stupně. Funkce terciárního stupně spočívá v dalším snížení koncentrace anorganických sloučenin dusíku, fosforu a případně dalších znečišťujících složek včetně těžkých kovů. Jsou tak z vody odstraňovány jak látky pocházející ze surové odpadní vody, tak látky sekundárně vzniklé nebo do procesu vnesené během čistícího procesu. Obsah dusičnanů je snižován anaerobní nitrifikací (rovnice 3, 4) a denitrifikací schématicky popsanou rovnicemi (6, 7):



Pokud je v čištěné vodě nedostatek organických látek, lze je pro potřeby tvorby biomasy dodávat např. alkoholy.

Do terciárního stupně jsou dávkována srážecí činidla, především levný síran železitý. Využitelné jsou k tomuto účelu i hlinité soli a vápenné mléko. Vápenné mléko je s výhodou používáno pro nízkou cenu. Jeho užitím je dosaženo srážení aniontů – fosforečnanů, síranů, uhličitanů, fluoridů a hexafluorokřemičitanů. Při zvýšeném pH jsou sráženy ve formě hydroxidů i kationty těžkých kovů – Fe, Mn, Pb, Cd, Cr, Zn, Sn, Ni aj. podle obecné schématické rovnice (15). Tím je zajištěno snížení koncentrace současně několika aniontů a kationtů jejich srážením do omezeně rozpustných sloučenin. Průběh srážecích reakcí vystihují následující stechiometrické rovnice:



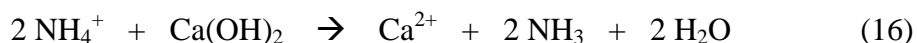


Obr. 13 **Bubnový filtr**

1 – přívod suspenze do vany bubnového filtru, 2 – přívod vody k promývání filtračního koláče, 3 – odsávání vody vývěvou, 4 – stěrač filtračního koláče a jeho odvod za sušící zónou filtru

Všechny dříve uvedené nerozpustné sloučeniny jsou z čištěné vody odděleny sedimentací v usazovacích. Síran a chlorid železitý nebo hlinitý zároveň vyvolávají koagulaci koloidních látek na bázi křemičitanů a hlinitokřemičitanů do vloček oddělitelných sedimentací nebo filtrací. Zachycený kal je dále odvodňován v sedimentačních odstředivkách (dekantérech), komorových, pásových nebo bubnových filtrech (viz obr. 13.), případně pásových lisech. Cílem je získat relativně suchý, nelepivý a tím dobře manipulovatelný kal. Pokud oddělený kal neobsahuje těžké kovy v nadlimitních koncentracích, je použitelný pro přípravu kompostů nebo rekultivace.

Pokud jsou v čištěné vodě přítomny amonné soli, po přidavku vápenného mléka je při zvýšeném pH uvolněn amoniak. Amoniak je z vody následně desorbován proudem vzduchu (stripováním). Dle jeho množství je zachycován absorpcí nebo vypouštěn do atmosféry.



Kontrolní otázky:

- 1. Jmenujte základní technologické stupně ČOV komunálních!**
- 2. Jakými typy čerpadel jsou zpravidla přečerpávány odpadní vody?**
- 3. Jmenujte alespoň 5 základních technologických zařízení pro odloučení nerozpustných látek z vod!**
- 4. Napište základní rovnice aerobního a anaerobního čištění odpadních vod!**
- 5. Vyjmenujte základní aparáty aerobního a anaerobního stupně čištění odpadních vod!**
- 6. Co je rozuměno aerací, jakými zařízeními je aerace realizována?**
- 7. Jaká je dosažitelná účinnost aerobních a anaerobních čistících procesů v ČOV komunálních vzhledem k BSK, CHSK, nerozpustným látkám, amonným, dusičnanovým a fosforečnanovým iontům?**
- 8. Co je rozuměno nitrifikací a denitrifikací vod, napište schema základních reakcí!**
- 9. Co je eutrofizace vod, co ji způsobuje?**
- 10. Co je rozuměno terciárním stupněm ČOV?**
- 11. Jakými chemikáliemi je možné zároveň snížit obsah koloidních látek a fosforečnanů? Jaké chemické reakce se při tom uplatní.**
- 12. Která látka a proč je nejčastěji užívána jako neutralizační a srážecí činidlo?**
- 13. Napište minimálně 3 chemické rovnice srážení kationtů těžkých kovů a aniontů sloučenin síry, fosforu, fluoru, fluorokřemičitanu!**
- 14. Na jakých zařízeních jsou odlučovány nerozpustné látky z čistěných vod?**
- 15. Na jakých zařízeních jsou odvodňovány odloučené kaly?**
- 16. Co je rozuměno tzv. stabilizovaným kalem?**
- 17. K jakým účelům lze použít bioplyn z anaerobních procesů?**
- 18. Načrtněte metanizační reaktor, napište optimální provozní teploty!**
- 19. Jak jsou zneškodňovány odloučené kaly, minerální oleje a tuky zachycené v ČOV?**
- 20. Co je rozuměno biofiltrem, na jakém principu pracuje – načrtněte ho!**

6.0. Čištění průmyslových odpadních vod

Jak bylo uvedeno v úvodu kap. 5.0., jsou základní stupně čištění odpadních vod komunálních a průmyslových v principu shodné. Odlišné postupy jsou užívány pro případy oddělování znečišťujících látek specifických vlastností fyzikálních, chemických, toxikologických aj.

Pokud jsou koncentrace znečišťujících látek a jejich vlastnosti z různých průmyslových výroben značně odlišné, pak je nutné separátní jímání a separátní čištění odpadních vod. Výhodou je práce s menším objemem koncentrovanější odpadní vody, kdy je prakticky využitelný dražší technologický postup s vyšší účinností.

Problémem průmyslových vod rovněž bývá extrémně vysoký obsah znečišťujících látek, kolísání jejich koncentrace a kolísání průtoku odpadních vod různého složení z několika výroben provozujících v areálu podniku nebo průmyslové zóny. Proto je nutné buď shromažďování odpadní vody v mezizásobnících, je-li jí menší objem. Při čištění velkých objemů odpadních vod (řádově desítky m³/hod. a více) jsou používány tzv. egalizační nádrže pro tlumení výkyvů koncentrací znečišťujících látek. Egalizační nádrže jsou předřazeny vlastním čistírenským procesům.

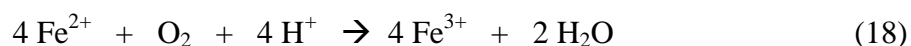
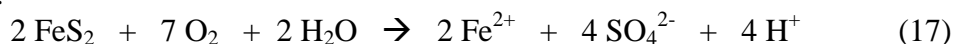
Zvláštní kategorií průmyslových odpadních vod jsou **důlní vody**. Těžba minerálních surovin v hlubinných dolech nebo povrchových lomech je spojena s potřebou odčerpávání důlních vod. V naprosté většině se jedná o vody vznikající průsakem podzemních vod do důlních prostor, v menší míře vznikají průsakem povrchových vod. V případě povrchových lomů zvyšují objem důlních vod dešťové srážky.

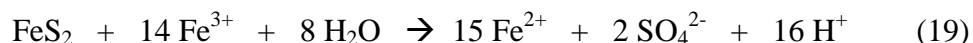
Systémem drenáží je nezbytné minimalizovat objem všech druhů vod pronikajících do prostor dolů. Odčerpáváním důlních vod je bráněno zaplavování těžebních prostor, zajištěna bezpečnost práce v porubním prostoru a poškozování technologických zařízení.

Množství, složení a teplota důlních vod je závislá na hydrogeologických poměrech v konkrétní lokalitě těžby, chemickém složení hornin, kterými vody do důlních prostor pronikají, a hloubkou dolu.

Jsou rozeznávány dvě základní kategorie důlních vod:

- vody z hlubinných šachet – bývají neutrální nebo slabě alkalické. V případě hlubinných uhelných šachet jsou důlní vody velmi často kyselé, s vysokým obsahem síranů, iontů železa a dalších rozpuštěných látek (viz dále). Nakládání s nimi je závislé na chemickém složení a obsahu rozpuštěných znečišťujících složek. Pokud jsou málo znečištěné, lze jich využívat pro průmyslové účely např. v úpravkách těžených minerálů navazujících na těžební provozy.
- vody z povrchových lomů surovin s obsahem pyritických složek (např. rudné a uhelné lomy) - tyto vody vykazují velmi nízké pH jako důsledek vyluhování a oxidace přítomných složek. Probíhající chemické reakce popisují následující rovnice:



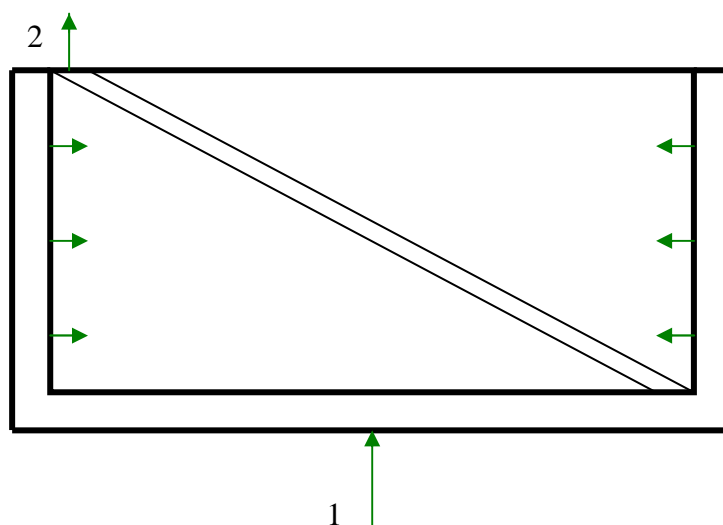


Pro čištění důlních vod je proto používáno hlavně neutralizačních a srážecích reakcí, na něž navazuje mechanický stupeň čištění zajišťující sedimentaci nerozpustných látek. Technologicky výhodné je provzdušňování vody, které zajišťuje oxidaci železnatých iontů na železité, které se snadno odloučí ve formě hydratovaných oxidů. V posledních letech je solnost důlních vod snižována kromě nákladného a technologicky náročného zahušťování v krystalizačních odparkách odsolováním na iontoměničích nebo využitím membránových procesů – ultrafiltrací, reverzní osmózou a elektrodialýzou.

6.1. Vyrovnaní koncentrace odpadních vod

Cílem vyrovnávání koncentrace odpadních vod v egalizačních nádržích (Obr. 14.) je přiblížit časový průběh koncentračního profilu průměrnému složení odpadních vod. To často vůbec umožňuje provoz ČOV, hlavně biologického stupně. Egalizační nádrže bývají vřazeny i v ČOV komunálních, pokud jsou v nich čištěny i průmyslové odpadní vody.

Homogenizace odpadních vod v egalizační nádrži je dosaženo různou dobou zdržení přitékající vody v prostoru nádrže. Nádrž má největší hloubku ze strany přívodu odpadních vod, nejmenší je hloubku u strany výtoku. Znečištěná voda je přiváděna do nádrže dvěma protilehlými rozváděcími žlaby. Po smíchání je voda odváděna z diagonálně umístěného výstupního žlabu:



Obr. 14. **Vyrovnávací - egalizační nádrž**
1 – přítok znečištěné vody, 2 – odtok vody

Objem průtočných egalizačních nádrží je možné stanovit podle vztahu:

$$V = \frac{Q \cdot t}{2 \cdot a} \quad ,$$

kde Q je průtok odpadní vody v $\text{m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$, t je délka cyklu změn koncentrace odpadní vody v hod., $a = 0,7$ je empiricky stanovený součinitel. Za konstantního průtoku je výsledná koncentrace na výstupu z egalizační nádrže:

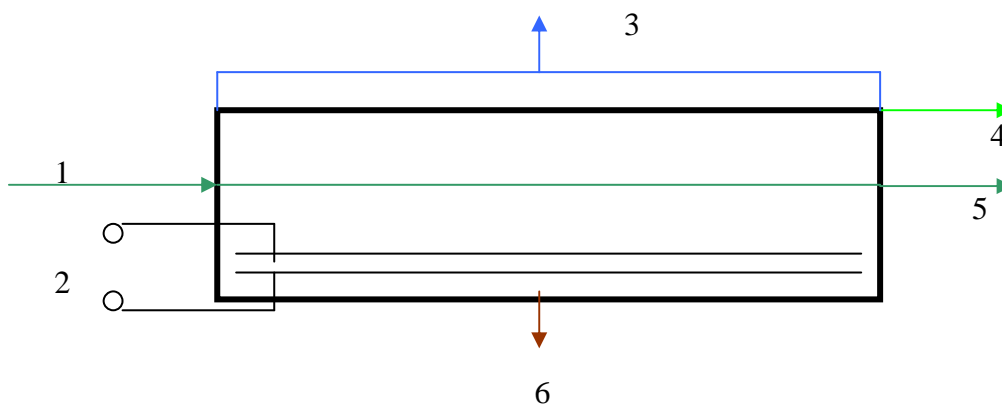
$$C = \frac{\sum t_i \cdot c_i}{\sum t_i}$$

kde t_i je časový interval kolísání koncentrace c_i .

6.2. Elektroflotace

Během elektroflotace vznikají jemné bublinky kyslíku a vodíku elektrolýzou vody stejnosměrným nebo střídavým proudem o napětí 10 – 20 V s proudovou hustotou 1,5 $\text{A} \cdot \text{dm}^{-2}$. Voda je tak obohacena kyslíkem. Jemné bublinky plynů působí na vznik pěny, která vynáší vločky kalů na hladinu.

Ve starších konstrukcích elektroflotačních reaktorů (Obr. 15.) je používán výhradně stejnosměrný elektrický proud s tzv. „obětovanou“ anodou ze železa nebo hliníku. Anoda se v čištěné vodě rozpouští za vzniku hydratovaných oxidů. Tím zároveň vzniká koagulant působící na tvorbu dobře odlučitelných vloček kalů vynášených bublinkami plynů do samostatně oddělované pěny. Plyny z reaktoru jsou odsávány víkem tak, aby v prostoru flotátoru byl mírný podtlak. Tím je zajištěno ředění plynů pod mez výbušnosti směsi vzduchu s vodíkem, neboť v elektroflotátoru se elektrochemicky rozkládá voda na vodík a kyslík. To je nutné pro bezpečný provoz zařízení.



Obr. 15

Elektroflotační reaktor

1 – přítok čištěné vody, 2 – příklady elektřiny s elektrodami, 3 – odsávání plynů víkem reaktoru, 4 – odvod pěny s kaly, 5 – výtok vody, 6 – výpust sedimentů

Závisle na provozním napětí, přítomnosti dalších iontů v roztoku a jejich koncentraci se může v čištěné vodě změnit pH a mohou se při elektroflotaci:

- na katodě redukovat dusičnany na dusitany,
- na anodě se oxidací chloridových aniontů může vyvíjet chlór,
- rozkládat komplexní sloučeniny,
- změnit rozpustnosti disperzní fáze – může se rozpustit nebo vzniknout suspenze apod.

Moderní elektroflotátory pracují se stálými elektrodami ve tvaru roštů umístěných nade dnem reaktoru. Tím je dosaženo rovnoměrné rozptýlení bublinek vodíku a kyslíku do objemu reaktoru spojené s mícháním celého jeho obsahu. Koagulačního účinku je dosaženo přidávkem organických koagulantů anionaktivních, kationaktivních nebo neionogenních, např. na bázi esterů kyseliny adipové.

6.3. Neutralizace

Průmyslové odpadní vody často vykazují pH příliš nízké nebo příliš vysoké, proto musí být upraveno. V principu jsou možné následující postupy:

- vzájemné míchání kyselých a alkalických odpadních vod,
- neutralizace filtrací přes kolony s vhodnou náplní, např. kusového vápence v případě kyselých vod,
- neutralizace dávkováním roztoků neutralizačních činidel – odpadních kyselin v případě neutralizace alkalických odpadních vod nebo suspenze vápenného mléka, roztoků hydroxidů či sody v případě neutralizace kyselých odpadních vod.

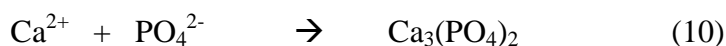
Nevýhodou prvních dvou metod je obtížné řízení pH vody na výstupu z neutralizace v důsledku kolísání průtoků směšovaných vod a jejich pH i změn rychlosti rozpouštění vápence. Proto je nutné metody vzájemně kombinovat. Velmi spolehlivé, často výhradně užívané je automatické dávkování neutralizačních činidel. Činidla jsou dávkována dávkovacími čerpadly řízenými regulátory, jejichž vstupním signálem je údaj pH-metru. Pak lze udržet pH v rozmezí desetin jednotek pH i při průtocích vody v desítkách nebo stovkách $\text{m}^3 \cdot \text{hod.}^{-1}$.

Použití velmi levných a poměrně účinných srážecích činidel typu mletého vápence, oxidu vápenatého nebo vápenného hydrátu je méně vhodné a v současnosti málo užívané např. pro předneutralizování silně kyselých odpadních vod. Důvodem je obtížná manipulace a dávkování i riziko vzniku hrudek snižujících využití srážecího činidla.

Schéma neutralizační stanice je v principu shodné se schématem srážecí stanice (viz. text a obr. 12 v následující kapitole), neboť neutralizace bývá spojena se srážením.

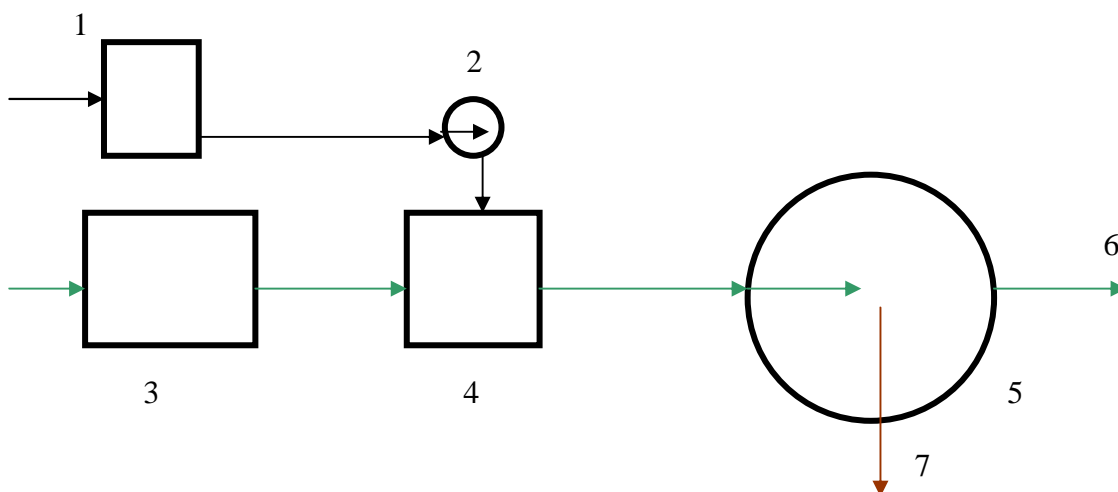
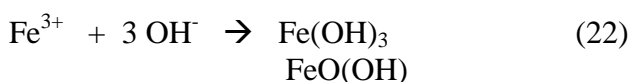
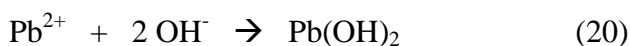
6.4. Srážení

Použije-li se k neutralizaci odpadních vod vápenného mléka – suspenze hydroxidu vápenatého – srážejí se zároveň anionty (viz kap. 5.). Tím je možné spojit neutralizaci se srážením:



Podmínky pro použitelnost a účinnost srážení jsou definovány pro konkrétní sloučeniny a teplotní poměry koncentracemi srážených iontů a jejich součiny rozpustnosti. Účinnost srážení pozitivně ovlivňují ionty, které jsou společně sloučenině sráženy. Naopak negativně je účinnost srážení ovlivněna přítomností iontů, které ve srážené sloučenině nejsou přítomny, neboť zvyšují iontovou sílu roztoku a zvyšují rozpustnost sloučenin tvořících sráženiny. Dalším rizikem ve složitějších soustavách je možnost vzniku rozpustných komplexních sloučenin mezi ionty tvořícími sráženiny a dalšími ionty nebo molekulami přítomnými v čištěných vodách.

Závisle na chemických vlastnostech a součinu rozpustnosti lze z odpadních vod odstranit srážením vápenným mlékem ve formě hydroxidů nebo hydratovaných oxidů těžké kovy, např.:



Obr. 16 Schéma srážecí stanice

1 – zásobník srážecího (a neutralizačního) činidla, 2 – dávkovací čerpadlo, 3 – předlohová vyrovnávací nádrž, 4 – míchaný srážecí reaktor, 5 – usazovák, 6 – výtok čisté vody, 7 – odvod kalu k odvodnění

Zásadní výhodou vápenného mléka je jeho cena, která je o řád nižší než u vodných roztoků sody nebo alkalických hydroxidů použitelných pro neutralizaci. Proto je vápenné mléko nejvíce používaným neutralizačním a srážecím činidlem.

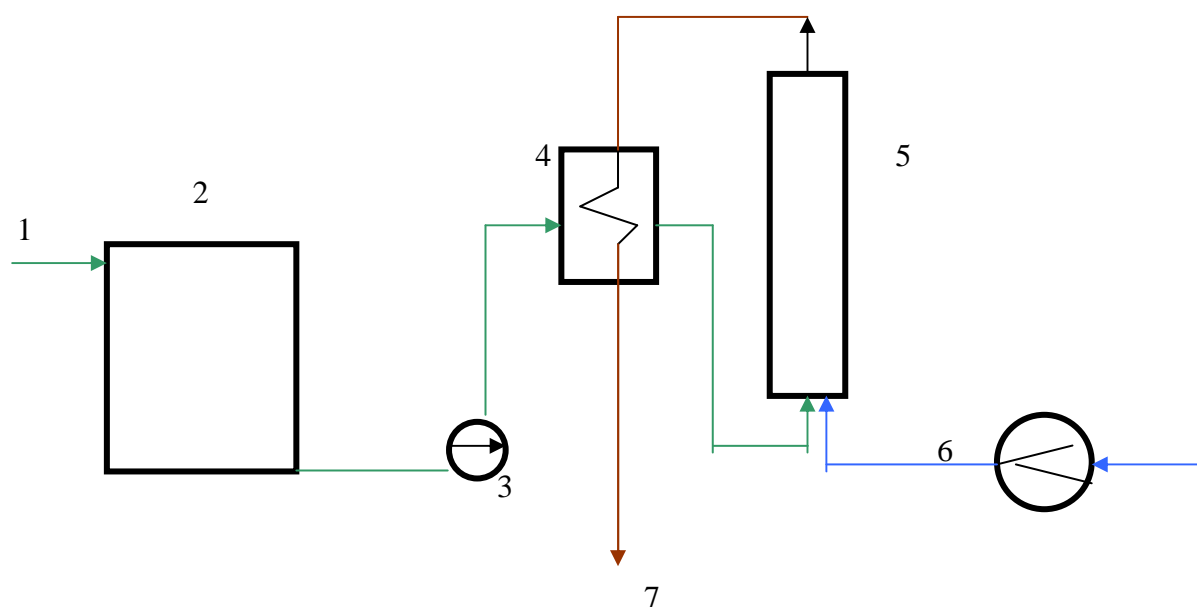
V praxi užívanou metodou je **adsorpční srážení** (koprecipitace). Principem je adsorpce iontů nebo sloučenin Pb, Cd, As, Cr, Se, Ag, V, U na povrchu sráženin solí Fe^{3+} , Mn^{2+} nebo Al^{3+} . Tím lze výrazně snížit koncentrace iontů všech uvedených kovů v čištěných vodách.

6.5. Mokr  oxidace

Mokr  oxidace (mokr  spalování, tzv. Zimmermannov proces) je technologie pou z van  k oxidaci organických látek v koncentrovaných kapalných odpadech. Je vhodn  k oxidačnímu zne škodn van n  např.  ist rensk ch kalů, sulfitových výluhů v celulozk ch, kyselých kondenzátů z rafinace ropy nebo odpadů z farmaceutického průmyslu (viz Obr. 17.).

Proces probíhá při podkritických parametrech vody, tj. teplotách pod 374  C a tlacích do 22,0 MPa. Obvykl  jsou teploty kolem 350  C a tlaky 10 – 20 MPa. Do oxidovaných tekutých odpadů je za těchto podmínek d vkovan vzduch nebo kyslík. Během 1 hodiny proběhne oxidace organických látek, jejichž produkty jsou oxid uhličitý, voda, nerozpuštěné minerální látky charakteru popela a mastn  kyseliny. Roztok proto má pH 3 – 6 a CHSK mezi 500 – 5000 mg.l⁻¹, je páchnoucí se siln  korozivními u inky. Je do i třov n biochemickými postupy.

Výhodou mokr  oxidace jsou n zk  provozn  náklady dan  vylou en m odpařování z čistícího procesu a vysok  u innost. Nevýhodou jsou vysok  investicn  náklady na tlakovou korozní odolnou aparaturu:



Obr. 17

Schéma mokr  oxidace

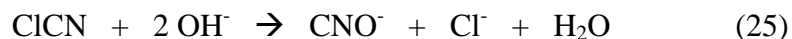
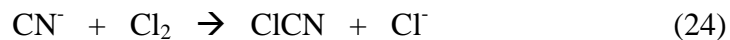
1 – přívod odpadních vod, 2 – zásobník, 3 – vysokotlak  čerpadlo, 4 – výměník tepla, 5 – oxida n  reaktore, 6 – kompresor vzduchu (kyslíku), 7 – odtok vody a kalů do separátoru k odplyn n 

6.6. Oxida n  procesy

V řadě průmyslových procesů odpadají vody, kde k oxidaci zne i třuj c ch látek neposta uj  biochemick  anaerobní procesy, oxidace vzdu n m kyslíkem nebo  ist m kyslíkem za normálních nebo zvy šen ch teplot a tlaků (viz kap. 6.4.).

Při čištění průmyslových odpadních vod je někdy nutné použití intenzivnějších oxidačních činidel, např. manganistanu draselného, ozónu, peroxidu vodíku nebo chlóru. Výjimečně je použitelná i drahá elektrochemická anodická oxidace účinkem stejnosměrného elektrického proudu. V řadě případů vede intenzivní oxidace k rozkladu původních chemických sloučenin na látky zcela neškodné životnímu prostředí.

Typickým příkladem oxidačního procesu je čištění odpadních vod s obsahem jednoduchých kyanidů nebo jejich komplexů pocházejících např. z lázní pro elektrochemické pokovování. Zde je používána alkalická chlorace popsaná následujícími rovnicemi:



Podmínkou bezpečného průběhu je pH nad 9, intenzivní míchání, přebytek chlóru a teplota, aby velmi toxický chlorkyan neunikal do ovzduší a kvantitativně proběhla hydrolyza s oxidací až na oxid uhličitý a dusík.

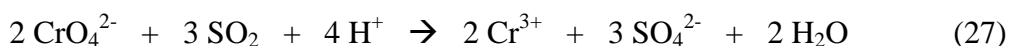
Oxidaci kyanidů lze rovněž provést roztokem peroxidem vodíku nebo manganistanu draselného. Z cenových důvodů nejsou tyto metody používány.

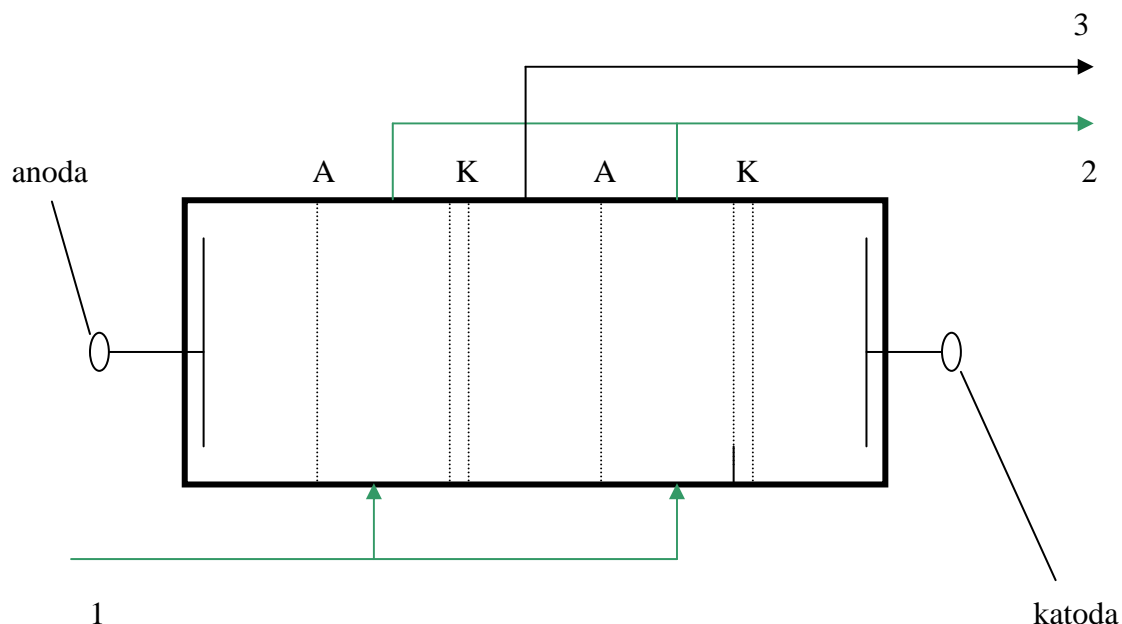
6.7. Redukční procesy

Redukční procesy jsou užívány tam, kde vyšší oxidační stupeň znečišťující látky ohrožuje např. svými toxickými vlastnostmi kvalitu vody nebo ve vyšším oxidačním stupni tvoří velmi dobře ve vodě rozpustné a jinými cestami špatně odstranitelné sloučeniny. Redukci lze v principu realizovat dvěma postupy:

- elektrochemicky v elektrolytických lázních účinkem stejnosměrného proudu. Na katodě je snížen oxidační stupeň příslušných iontů nebo dochází k jejich vylučování z roztoku. Pro vysoké investiční a provozní náklady je užití elektrochemické redukce oprávněné v případech čištění malých objemů znečištěných vod nebo jinak obtížně rozložitelných sloučenin.
- chemickými postupy, kdy jsou jako redukční činidlo obvykle užívány oxid siřičitý, siřičitan sodný Na_2SO_3 nebo dithioničitan sodný $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_4$, hydrazin N_2H_4 nebo síran železnatý.

Typickým příkladem je čištění vyčerpaných roztoků z chromovacích lázní nebo oplachových vod odpadajících z galvanického chromování. Tyto vody jsou vždy kyselé a obsahují až 300 g.l^{-1} chromanových iontů. V prvním kroku se oxidem siřičitým redukuje šestmocný chrom na trojmocný a ten se pak po srážení vápenným mlékem oddělí sedimentací:





Obr. 19. **Schéma elektrodialýzy**

1 – přívod předčištěné vody, 2 – odvod vyčištěné vody (diulátu), 3 – odvod koncentrátu, A – anexová membrána, K – katexová membrána

Membránové procesy umožňují získání koncentrátů cenných sloučenin i z velmi zředěných roztoků např. z galvanických lázní a oplachových vod, barviv, latexu, minerálních olejů, léčiv a pod. S výhodou jsou získané koncentráty použitelné pro recyklaci a opětné využití těchto látek – umožňují zavádění čistších - maloodpadových technologií.

Kromě uplatnění v procesech čištění vod mají membránové procesy význam pro odsolování vody a přípravu pitné vody, odvodňování potravinářských tekutin (mléka, ovocných moštů), demineralizaci cukerných šťáv, získávání roztoků minerálních nebo karboxylových kyselin, oddělování elektrolytů od neelektrolytů aj.

6.9. Další metody čištění průmyslových odpadních vod

Při čištění průmyslových odpadních vod je používána řada fyzikálně-chemických metod. Jedná se např. o následující metody:

- extrakce,
- propařování vodní parou nebo probublávání vzduchem (stripování),
- adsorpce na aktivním uhlí, silikagelu, alumině aj. materiálech,
- iontovýměnné reakce,
- krystalizace,
- odpařování,
- destilace a rektifikace,
- elektrochemické procesy.

Užití těchto metod závisí na fyzikálních a chemických vlastnostech látek znečišťujících odpadní vody, jejich koncentraci a tím i dosažitelné účinnosti čistícího procesu. Významným hlediskem je ekonomika procesů – investiční a zejména provozní náklady.

Obecně získávají převahu metody umožňující:

- recyklaci materiálů s minimalizací množství vznikajících odpadů všech skupenství,
- nižší měrnou spotřebu pomocných látek ($\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$ čišťené odpadní vody),
- nižší měrnou spotřebu energie ($\text{kWh}\cdot\text{m}^{-3}$ čišťené odpadní vody),
- automatizaci řízení čistících procesů s využitím automatických analyzátorů.

Kontrolní otázky:

1. **Jak jsou jímány a čištěny průmyslové odpadní vody v podnicích s různými typy výrob s odlišným charakterem znečištění vod?**
2. **Vysvětlete princip funkce egalizační nádrže!**
3. **Jakými neutralizačními činidly jsou neutralizovány průmyslové odpadní vody a proč?**
4. **Která srážecí činidla jsou vhodná pro ČOV průmyslových?**
5. **Co je principem:**
 - elektroflotace
 - ultrafiltrace
 - elektrodialýzy
 - mokré oxidace
6. **Načrtněte zařízení uvedená v otázce 5.!**
7. **Která oxidační činidla jsou používána při čištění průmyslových odpadních vod?**
8. **Které redukční činidlo je používáno pro čištění průmyslových odpadních vod?**

7.0. Měření, regulace a řízení ČOV

Sebedokonalejší technologický proces čištění komunálních, průmyslových aj. odpadních vod se neobejde bez přesného, spolehlivého a bezpečného systému řízení čistícího procesu. Na moderních ČOV je nyní běžné použití řídicích počítačů. Základním úkolem řídicího systému je vedení technologie čistícího procesu v předem stanovených optimálních mezích zajišťujících jeho vysokou účinnost při optimálních ekonomických parametrech a splnění legislativou předepsaných emisních limitů znečišťujících látek na výstupu čištěných vod do recipientů.

Provozy velkokapacitních čistíren odpadních vod komunálních a průmyslových nebo čistíren technologických odpadních vod a roztoků se proto neobejdou bez kvalitního a spolehlivého měření základních provozních parametrů důležitých pro řízení čistícího procesu.

7.1. Základní měřené parametry a signalizace

V naprosté většině případů jsou v současnosti používány automatické systémy měření parametrů odpadních vod nebo procesních plynů a kapalin (tekutin) nezbytných pro čistící proces. Ty jsou pak využívány pro vlastní řízení technologie ČOV z centrálního velínu. Automatické systémy měření – měřicí čidla - poskytují řídicímu systému vstupní signály např. o:

- průtocích tekutin,
- teplotách tekutin,
- tlacích v potrubí a zásobnících tekutin,
- hustotách kapalin a roztoků,
- hladinách v zásobnících kapalin,
- pH vody a čištěných roztoků,
- vodivostech vody a čištěných roztoků.

Dále je měřeno a řízeno dávkování:

- vzduchu do biologického stupně čištění odpadních vod,
- neutralizačních činidel do neutralizační stanice,
- kyslíku do mokré oxidace,
- srážecích činidel,
- flokulantů,
- dávkování dalších chemikálií typu desinfekčních, oxidačních, redukčních aj. činidel.

Ve skladovacích zásobnících kapalin jsou kontinuálně měřeny:

- výšky hladin kapalin, které jsou úměrné jejich zásobě,
- teploty kapalin a případně další parametry (hustota, koncentrace, vodivost apod.).

V plynojemech je měřena:

- teplota,
- tlak,
- koncentrace složek automatickými analyzátory plynů.

U velkých spotřebičů elektrické energie a důležitých pohonů jsou měřeny odběry elektřiny v ampérech. Jedná se zejména o následující stroje a zařízení:

- čerpadla šneková, odstředivá aj.,
- kompresory, dmyhadla a ventilátory,
- sedimentační odstředivky (dekantéry),
- pásové nebo bubnové filtry,
- mechanické aerátory,
- míchadla,
- pohony pojezdových mostů na usazovacích nebo dosazovacích aj. zařízení.

Vyšší odběr elektřiny, tj. vyšší proudové zatížení elektromotorů pohonů zpravidla signalizuje:

- mechanické poruchy pohonů či pojezdů,
- mechanické přetěžování příslušných strojů technologickým procesem (vysoké průtoky tekutin, vysoké koncentrace a tím vysoké viskozity suspenzí nebo velký objem shrnovaných kalů apod.

Chod nebo zastavení elektrických pohonů je signalizován v řídicím velínu opticky na monitorech PC se schémata příslušného technologického článku ČOV. Signalizace je realizována např. blikáním nebo rozsvícením červeného signálního světla (značky) místo zeleného, které signalizuje normální provoz. Bývá užívána rovněž souběžná signalizace akustická pomocí houkačky - sirény.

Teploty jsou měřeny např. odporovými teploměry a regulovány průtokem cirkulující horké vody pláštěm duplikátorů nebo trubkovými hady, případně přívodem syté páry, přes výměníky tepla např. v (ve):

- suspenzi kalů v metanizačních reaktorech,
- skladovacích nádržích chemikálií apod.

Monitoring čištění odpadních vod v sobě zahrnuje odběry s analýzami vzorků vod:

- z kanalizační sítě,
- na vstupu do ČOV,
- v jednotlivých technologických stupních,
- na výstupu z ČOV do recipientu.

Vzorkování je zajištěno periodicky např. v intervalu 1 hod. obsluhou ČOV. Moderní ČOV bývají vybaveny automatickými kontinuálními vzorkovači s analyzátory vod a roztoků pracující v nastavitelném taktu. Systém vzorkování poskytuje periodicky odebrané nebo slévané vzorky. Interval odběru vzorků je nastavitelný – např. je odebíráno 5x 10 ml za hodinu do jedné vzorkovací nádoby. Slévané vzorky jsou pak používány pro kontrolní chemické analýzy v:

- provozních laboratořích mezioperační kontroly ČOV,
- automatických analyzátořech.

Kontrolní vzorky jsou odebírány rovněž inspekčními orgány ČIŽP, divize ochrany vod nebo hygienické služby. Rozhodné analýzy musí realizovat akreditované laboratoře.

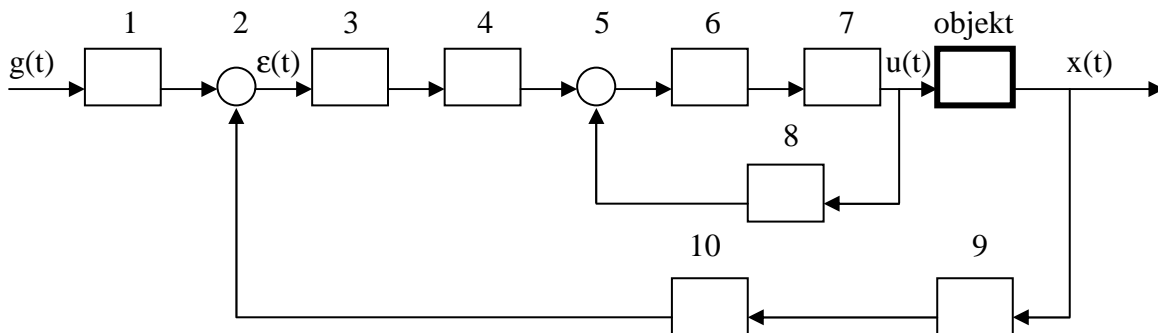
V odebraných jednorázových nebo slévaných vzorcích čištěných vod nebo roztocích je stanovována např. koncentrace:

- tuhých nerozpuštěných látek sedimentujících nebo nesedimentujících, aktivovaného kalu apod.,

- nemísitelných kapalin a emulzí,
- rozpuštěného kyslíku,
- iontů rozpuštěných látek (např. pomocí iontově selektivních elektrod),
- organických látek stanovením CHSK.

7.2. Zpracování vstupních signálů měření a systémy řízení

7.2.1. Základní struktura řídicího obvodu je patrná z následujícího schématu:



- 1 – **snímač vstupní veličiny** – převádí operátorem nebo programem zadávanou vstupní veličinu $g(t)$ na řídicí signál srovnatelný se signálem zpětné vazby
- 2 - srovnávací člen, který vytváří z rozdílu mezi vstupním signálem a signálem hlavní zpětné vazby chybový signál $\varepsilon(t)$
- 3 - zesilovač chybového signálu
- 4 - korekční člen zajišťující požadované dynamické vlastnosti regulátoru
- 5 - pomocný srovnávací člen zpracovávající dílčí zpětnou vazbu
- 6 - **regulátor a zesilovač** výkonového členu (s převodníkem)
- 7 - **akční člen**
- 8 - korekční člen dílčí zpětné vazby, zajišťuje rovněž úpravu signálu zpětné vazby
- 9 - snímač výstupní veličiny – **měřicí čidlo**
- 10 – zpětnovazební obvod s úpravou signálu hlavní zpětné vazby

Řídicí obvod je rozčleněn do několika vzájemně propojených bloků:

- | | |
|----------------------------------|---|
| Blok 6-7-8 | tvoří místní zpětnou vazbu |
| Blok 2-3-4-5-(6-7-8)-objekt-9-10 | tvoří hlavní zpětnou vazbu |
| Blok 2 – objekt | tvoří tzv. dopřednou větev regulačního obvodu |
| Obvody 8, 9-10 | jsou větvemi zpětné vazby |

7.2.2. Obecný popis číslicově řízené soustavy

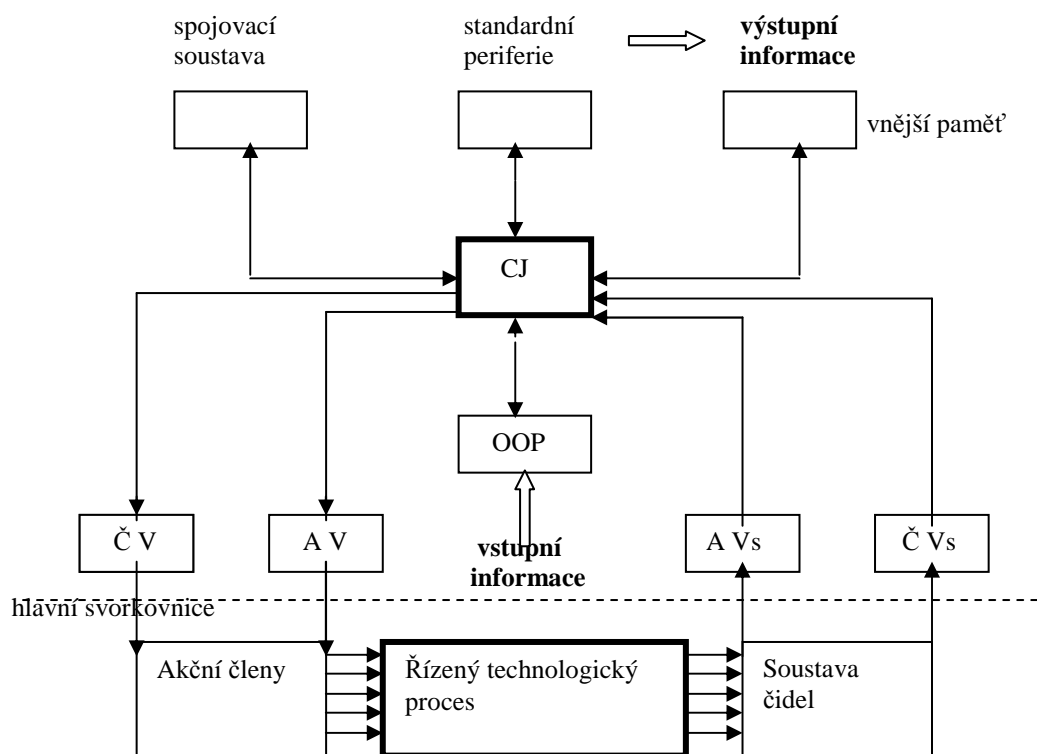
V ČOV je běžně několik desítek až několik stovek regulačních obvodů závisle na složitosti technologie, počtu operací, požadavků na provozní spolehlivost a bezpečnost provozu.

Růst nároků na zpřesněné řízení technologických procesů obecně vedl ke zvyšování počtu sledovaných veličin, znásobení počtu snímačů – měřících čidel. Jejich vizuální kontrola a manuální korekce parametrů obsluhou řídicího velínu se stala od určité úrovně řízení nezvládnutelná.

Proto byly v prvním kroku nasazeny na velkých výrobních blocích (elektráren, tepláren, provozů chemického průmyslu, cementáren aj.) ale i ČOV **měřicí ústředny** vybavené počítači. Tím byl řešen problém kumulace a zpracování většího počtu signálů ze snímačů v centrálním velínu vybaveném počítači se zobrazením naměřených hodnot na monitorech. Zároveň musel být vyřešen problém přechodu na normalizované výhradně elektrické vstupní signály instalací převodníků. Přehledným uspořádáním snímačů do bloků s uvedením žádané a skutečné hodnoty každého měřeného parametru včetně signalizace poruchových stavů byl zvládnut růst počtu vstupních signálů s odpovídajícím vyhodnocením počítači i obsluhou (operátorem).

V dalším podstatně obtížnějším kroku bylo řešeno **počítačové řízení** procesů na základě jejich detailního matematického modelování. Rostoucí kvalitou hardware a software byla významně zvýšena úroveň řízení celých technologických procesů, nejen jednotlivých operací. Jádrem řídicího systému se staly centrální jednotky s procesory. Jejich hlavním znakem je modulové – stavebnicové uspořádání. To umožňuje návrh sestavy řídicího počítače vyhovující individuálním požadavkům konkrétních technologií a nárokům uživatelů. Pro konstrukci a montáž řídicího systému je důležité přesné stanovení rozhraní mezi řídicím systémem a řízenou soustavou osazenou snímači a akčními členy. Zpravidla je tímto rozhraním hlavní svorkovnice řídicího systému.

Blokové schéma počítačově řízené soustavy:



ČVs – číslicové vstupy – soustava číslicových vstupů, která přivádí do centrální jednotky informace o číslicově měřených a binárních proměnných (polohy zavřeno–otevřeno, zapnuto–vypnuto apod.).

Avs – analogové vstupy – soustava analogových vstupů zajišťující dodávku informací o analogově měřených veličinách, které jsou spojitě proměnné. Většina měřených veličin v technologických procesech je analogová (teplota, tlak, průtok, vlhkost, koncentrace, napětí, proud, poloha, hladina aj.). Soustava analogových vstupů a analogově-číslicové převodníky proto náleží k nejdůležitějším a realizačně nejobtížnějším modulům řídicích systémů. Převod analogových signálů na číslicové je spojen s určitým rizikem nepřesností a vzniku časového zpoždění. Technicko-technologická úroveň řešení tohoto uzlu často rozhoduje o kvalitě celého řídicího systému.

CJ – centrální jednotka – počítač nebo soustava počítačů, které zpracovávají vstupní informace a výpočtem stanovují příslušný regulační zásah do řízeného technologického procesu.

OOP – obslužné operátorské panely (pracoviště) vybavené klávesnicí, ovládacími tlačítky, vypínači aj prvky umožňujícími komunikaci operátora s CJ řídicího systému.

ČV – číslicové výstupy – soustava číslicových výstupů, která předává výsledky výpočtů realizovaných CJ v binární, číslicové nebo impulsní formě akčním členům, Tato soustava realizuje činnosti, které jinak zabezpečují tzv. sekvenční automaty.

AV – analogové výstupy – soustava analogových výstupů zajišťuje převod výsledků výpočtů provedených CJ z číslicové na analogovou formu a přenos analogových signálů k analogovým akčním členům.

Standardní periferie - zahrnují monitory a tiskárny pro kontrolu řízení technologie a archivaci technologických parametrů.

Spojovací soustava - zajišťuje přenos informací o technologickém procesu do nadřazených nebo podřízených řídicích systémů, zajišťuje komunikaci a přenos informací ke vzdáleným procesorům, např, na podnikový výrobní dispečink.

Vnější paměť - rozšiřuje uživatelské možnosti řídicího systému a umožňuje nezávislou archivaci dat nezbytnou pro překlenutí poruchových stavů a zvládnutí extrémních situací, jež mohou za provozu nastat. Do vnější paměti jsou ukládána data, která nejsou potřebná pro běžný provoz a funkce CJ.

Výhodou zavedení počítačového řízení bylo především:

- podstatné zvýšení rychlosti zpracování vstupních signálů,
- zkrácení rychlosti reakce řídicího systému na výchyly a poruchové stavy,
- zvýšení četnosti řídicích zásahů do systému,
- zmenšení odchylek od optimálního režimu,
- programové provázání řízení většího počtu operací,
- potlačení negativního vlivu lidského faktoru na řízení systému s objektivizací řízení.

7.3. Řízení procesu čištění odpadních vod

Signály z měřících čidel jsou vedeny do řídicích počítačů v centrálním velínu ČOV. Pokud jsou měřícími čidly získávány signály pneumatické nebo optické, jsou příslušnými převodníky převáděny na normalizované signály elektrické vhodné pro počítačové řízení. V počítači jsou signály z měřících čidel zesíleny. Vstupní signály měřících čidel jsou zpracovány instalovaným programem a porovnány s hodnotami požadovanými – zadanými operátorem nebo zadanými do řídicího programu (užitým softwarem).

Pokud se vzájemně liší hodnoty změřené od žádaných je řídicím počítačem vyslán po zesílení výstupní signál do akčních členů regulačních obvodů – např.:

- automatických ventilů, kohoutů klapek a šoupátek pro regulaci průtoků tekutin,
- dávkovacích čerpadel pro řízení dávkování chemický činidel,
- dmychadel pro regulaci jejich výkonu např. změnou otáček,
- kalových čerpadel aj. zařízení.

Výstupním signálem řídicího počítače a aktivním zásahem akčních členů regulačních obvodů do procesu čištění je tak korigována zjištěná chyba – rozdíl mezi hodnotou žádanou a skutečnou. Zpětná vazba – odezva na řídicí zásah – je zprostředkována kontinuálním měřením řízených technologických parametrů.

Řídicí PC se speciálním programovým vybavením jsou schopny naprosto všechny sledované technologické parametry celé ČOV zkontrolovat a řídit v intervalu minut! Toho nelze dosáhnouti klasickými analogovými řídicími systémy ani za účasti člověka – kvalifikované obsluhy. Moderní řídicí jednotky nezajišťují jen automatické řízení vlastního procesu čištění vod, ale také kontrolu chodu strojního zařízení a jeho nájezd např. po výpadku elektrické energie.

Pro zvýšení spolehlivosti a přesnosti systémů měření a řízení, jsou vybrané nejdůležitější regulační - řídicí smyčky zdvojeny, resp. ztrojeny. Přitom jsou vzájemně porovnávány hodnoty naměřené jednotlivými čidly. Případný chybný signál čidla je signalizován obsluze jako porucha a není řídicím systémem zpracováván. Takto je eliminována možnost vzniku chybného řídicího signálu – chybného řídicího zásahu do technologického procesu.

Všechny provozní parametry jsou tak automaticky řídicím PC udržovány na relementovaných hodnotách. Tyto hodnoty jsou vpisovány do technologických schémat zobrazených na monitorech PC. Celá technologie ČOV je rozdělena do samostatných vzájemně navazujících bloků paralelně nebo následně zobrazovaných na kontrolních monitorech. Výkyvy mimo stanovené meze jsou signalizovány obsluhám opticky a akusticky se záznamem poruchových stavů do periodicky tištěných protokolů.

Pracovníci obsluhy ČOV jsou tak průběžně informováni o všech technologických parametrech důležitých pro řízení provozu každého technologického článku ČOV. Činnost obsluh ČOV je zaměřena hlavně na:

- kontrolní činnost při řízení technologie a odstraňování poruch,
- zadávání dat do řídicího PC,
- odběry a chemické analýzy vzorků vod, tuhých odpadů a kalů, používaných chemikálií a jejich roztoků,
- pochůzkovou činnost s vizuální kontrolou strojně-technologického zařízení,

- údržbu, cejchování a seřizování měřících přístrojů, regulačních a řídicích obvodů,
- údržbu a seřizování strojně-technologického zařízení,
- kontrolu a inovaci HW a SW řídicího systému,

Základní parametry technologického režimu jsou archivovány v pamětech řídicích PC. Archivace technologických dat je důležitá pro:

- odhalení příčin výkyvů technologického režimu,
- stanovení příčin poruch strojně-technologického zařízení,
- kontrolní a inspekční činnost.

Popsaným uspořádáním řídicích systémů je předcházeno výraznějším výkyvům v technologickém režimu ČOV a hlavně poklesu účinnosti čistícího procesu i poruchám na technologickém zařízení.

Kontrolní otázky:

1. **Které fyzikální, fyzikálně chemické a chemické parametry jsou na ČOV měřeny nebo analyticky stanovovány?**
2. **Jak je v principu zpracováván signál měřících přístrojů?**
3. **Jaké výhody mají automatizované systémy řízení s využitím PC?**
4. **Které základní úkoly plní obsluha ČOV?**

8.0. Seznam literatury

8.1. Odborná literatura, časopisy, internetové zprávy

1. Dočkal P.: Opětovné používání vody v průmyslu, SNTL Praha, 1988
2. Dohányos M. a kol.: Čištění odpadních vod, skripta VŠCHT Praha, 2004
3. Frank K.: Provozování vodovodů a kanalizací v malých obcích, MZe ČR Praha, 1995
4. Horký J.: Tvorba a ochrana životního prostředí, ČVUT Praha, 1991
5. Kolektiv: Automatizace a řízení provozu ČOV, FS VUT Brno, ISBN 80-86020-11-8, 1997
6. Kolektiv: Čištění průmyslových odpadních vod, sborník přednášek, ISBN 80-86020-24-X, Brno, 2000
7. Kolektiv: Nové metody a postupy při provozování čistíren odpadních vod VI, sborník přednášek, ISBN 80-86020-38-X, Brno, 2001
8. Kolektiv: Optimalizace návrhu a provozu stokových sítí a ČOV, Hydrosphere 2003, ISBN 80-86020-41-X, Brno, 2003
9. Koller J.: Ochrana prostředí v průmyslu I, SNTL Praha, 1984
10. Kolesnikov V.A. a kol.: Elektroflotační technologie čištění odpadních vod průmyslových podniků, ISBN 978-5-98109-044-8, Moskva, 2007
11. Malý J., Malá J.: Chemie a technologiie vody, ISBN 80-86020-13-4, Brno, 1996
12. Nesměrák I.: Projekt Labe - Výsledky a přínosy, VÚV T.G.Masaryka, ISBN 8085900-06-8, Praha, 1995
13. Palatý J. a kol.: Základy ochrany prostředí, VŠCHT Praha, ISBN 80-7080-173-5, 1993
14. Palatý J., Paleček J.: Základy ekologie, VŠCHT Praha, ISBN 80-7080-144-1, 1992
15. Pariláková K.: Možnosti riešenia biologicko-technickej rekultivácie kalových polí ZSNP a.s. Žiar n.H., VÚ podoznalectva a ochrany vody, ISBN 80-89128-02-5, Bratislava, 2003
16. Pěňčík K.: Přehled zařízení pro čištění a úpravu vod, I. a II. díl, MŽP Praha, 1990
17. Sojka J.: Malé čistírny odpadních vod, Vydavatelství ERA, ISBN 80-86517-11-X, Brno, 1997
18. Šilar J., Böhms A.: Vodní zákon a související předpisy, 2. vydání, SZN Praha, 1975
19. Tuček F. a kol.: Základní procesy a výpočty v technologii vody, SNTL, Praha, 1988
20. Vlček J., Drkal F.: Technika a životní prostředí, ČVUT Praha, 1994
21. Vodovody a kanalizace ČR, MŽP, Praha, 1998 – 2002
22. www.zamek.cz 1996
23. www.datatechnik.cz, 2004
24. www.marinfo.cz, 2004
25. www.inkos.cz, 2004
26. controlweb.mii.cz, 2004

Poznámka: Jako studijní literaturu lze všeobecně doporučit původní práce vydávané pracovníky FOP VŠCHT Praha, FCHPT STU Bratislava a Asociace čistírenských expertů ČR.

8.2. Prospektová literatura

1. ACON Anlagenbau GmbH.: Membranschlauch-Belüftungssystem, München, SRN
2. AGROSTAV, a.s.: Čistírny odpadních vod, Šumperk
3. ASEKO, s.r.o.: Jemnobublinový provzdušňovací systém, Zábřeh na Moravě
4. Bertrams AG: Nassoxidation von Abwasser, Muttenz, Schweiz, 2002
5. CEFIC: Phosphates a sustainable future in recycling, Bruxelles, Belgii
6. Euro Iseki, Ltd.: The vacuum way, Straford, UK, 2002
7. Environment Commerce s.r.o./Ltd./GmbH: Biologické čistírny odpadních vod, Praha
8. Envitest, s.r.o.: Kalolisy pro technologickou výrobu a pro kalové hospodářství, Brno
9. FFG Flensburger Fahrzeugbau GmbH.: Saug-Druck-Spulfahrzeuge, Flensburg, SRN, 1992
10. Fuchs Gas - und Wassertechnik, GmbH.: Wastewater purification, Sewage sludge treatment, Mayen, SRN
11. GSE Lining Technology GmbH.: Das GSE Relining-System, Hamburg, SRN, 1996
12. Heraeus Elektrochemie GmbH.: Elektrolyse-Systeme zur Schwermetallrückgewinnung und zur Prozesswasseraubereitung, Rodenbach, SRN
13. HP Waste Water Management AB: Step Screen L, SS 900, Lindome, Sweden
14. HUBER CS, s.r.o.: Huber Rotamat - Rotační čelo, Rotační síto, Brno
15. IAB Ingenieur und Anlagenbau GmbH.: The new IAB Deep-Jet Aerator, Leipzig
16. KHD Humboldt Wedag AG: Centrifugal dewatering of water treatment solids, Köln, SRN, 1993
17. KRONOS INTERNATIONAL, INC.: Phosphat-Elimination, Langenfeld, SRN
18. LINDE AG: Stickstoff-Elimination in Klarwerken, Hollriegelskreuth, SRN, 1995
19. Maschinenfabrik Landindustrie b.v.: Ladox-Umlauf-Belüftungssystem, Sneek, Holland, 1990
20. PBS, a.s.: Dekantační odštědivka HDO, Velká Bíteš
21. PROX T.E.C., s.r.o.: Čištění odpadních vod, Praha
22. TMS a.s. Pardubice, divize BIOGAS: Anaerobní čištění odpadních vod a zpracování kalů, Pardubice
23. TROLINING GmbH.: Trolining Rohrsanierung, Troisdorf, SRN, 1996
24. SASLMO a.s.: Pásový lis EP-70, Bratislava,
25. Seko Projekt, s.r.o.: Lapoly, Turnov, 1998
26. SILKEM GmbH.: Die starke Sanierungslösung für Hauptkanal, Reilingen, SRN
27. Schauenburg Maschinen und Anlagen-Bau, GmbH.: Abwasserklärung und Schlammwässerung, Muhlheim a.R., SRN, 1995
28. STN Systemtechnik Nord, GmbH.: GULLYVER - Kanalinspektion an der langen Leine, Bremen, SRN, 2002
29. WOMA Apparatebau GmbH.: Ecomaster 2000 - Hochdruck-Strahlwasser System, Duisburg, SRN

Název souboru: TOŽP
Adresář: C:\Documents and Settings\richter\Dokumenty
Šablona: C:\Documents and Settings\richter\Data
aplikací\Microsoft\Šablony\Normal.dotm
Název: Fakulta životního prostředí Univerzity J
Předmět:
Autor: Richter
Klíčová slova:
Komentáře:
Datum vytvoření: 27.9.2005 10:53:00
Číslo revize: 7
Poslední uložení: 8.8.2014 12:56:00
Uložil: richter
Celková doba úprav: 262 min.
Poslední tisk: 11.8.2014 9:45:00
Jako poslední úplný tisk
Počet stránek: 78
Počet slov: 25 323 (přibližně)
Počet znaků: 149 406 (přibližně)