

## 12. AVLOPPSVATTENRENING

### 12.1 Avloppsvattnets flöde och sammansättning

Vi skiljer mellan kommunalt och industriellt avloppsvatten. Det kommunala innehåller spillvatten från hushåll, t.ex. toalett-, tvätt-, disk- och duschvatten. Industriellt avloppsvatten kan innehålla många olika ämnen beroende på typen av industriell aktivitet. Ofta måste industrierna själva rena sitt avloppsvatten innan det kan släppas ut eller ledas vidare till det kommunala reningsverket. Förutom spillvatten så består det kommunala avloppsvattnet också av en hel del tillskottsvatten. Detta är dagvatten som rinner in i avloppsledningarna. På många ställen är avloppssystemet kombinerat vilket betyder att dagvatten och spillvatten samlas i samma ledningar. Men även i separerade ledningssystem så finns det ett inläckage av tillskottsvatten. Sveriges vattentjänstföretag levererar ungefär 1 km<sup>3</sup> dricksvatten varje år men tar emot cirka 1,5 km<sup>3</sup> avloppsvatten.<sup>3</sup> Detta betyder att tillskottsvatten är en stor del av avloppsvattnet. Flödet till reningsverk varierar beroende på vädret och även under dygnet. Vid morgonen och kvällen brukar det t.ex. vara flödestoppar på grund av att människor då är hemma och använder mycket vatten när de t.ex. duschar och tvättar. Avloppsvattenflödet kan anges på olika sätt. Designflödet är det flöde som många processer i reningsverket är dimensionerade för, medelflödet är det genomsnittliga flödet till reningsverket, och maxflödet per timme är den maximala volym avloppsvatten som kommer till reningsverket under en timme. Vissa reningsverk har utjämningsmagasin där avloppsvatten kan lagras temporärt under perioder av höga flöden. Om flödet är så högt att allt vatten inte renas i reningsverkets processer och utjämningsmagasin inte finns tillgängligt så bräddas vatten. Det kan ske t.ex. vid kraftiga regn. Bräddning betyder att avloppsvattnet förbipasserar alla eller vissa reningsprocesser och släpps ut till recipienten utan fullständig rening.

Kommunala reningsverk är byggda för att ta bort syretärande organiska ämnen och näringsämnen från avloppsvattnet. Dessa kan förekomma både i form av partiklar och som lösta ämnen. Vanliga koncentrationer i spillvatten är 200-400 mg/L BOD<sub>7</sub>, 25-70 mg/L totalkväve (TN) och 4-10 mg/L totalfosfor (TP).<sup>3</sup> Avloppsvatten med mycket tillskottsvatten har vanligtvis lägre koncentrationer. Avloppsvatten kan också innehålla mikroföroreningar som metaller och läkemedel. Det finns dock i dagsläget inga krav på svenska reningsverk att rena mikroföroreningar och det varierar i vilken utsträckning de tas bort i reningsprocesserna. Schweiz har dock nyligen lagstiftat om rening av mikroföroreningar för vissa reningsverk.

Storleken på avloppsreningsverk brukar anges i antalet personekvivalenter (pe) som är kopplade till verket. En person ger upphov till ungefär 60-90 g BOD, 10-14 g TN och 1,7-2,7 g TP per dygn.<sup>3</sup> Antalet pe kopplade till ett reningsverk kan räknas ut genom dividera den totala inkommande BOD<sub>7</sub>-belastningen (g/dygn BOD<sub>7</sub>) med 70 g BOD<sub>7</sub>/pe·dygn.<sup>2</sup> Belastningen i antalet pe beror både på verkliga personer och industrier vars avloppsvatten är kopplat till reningsverket. Det finns avloppsreningsverk av många olika storlekar, alltifrån enskilda hushåll till flera hundra tusen pe.

### 12.2 Reningsprocesser

De tekniska processer som används för att rena avloppsvatten kan kategoriseras i tre reningssteg: mekanisk-, biologisk- och kemisk rening. Reningen av avloppsvattnet ger upphov till ett slam som tas om hand in slambehandlingsprocesser.

#### *Mekanisk rening*

Syftet med det mekaniska reningssteget är att ta bort partiklar och fast material från avloppsvattnet. Den mekaniska reningen kallas även primär rening eller förbehandling och är de första reningsprocesserna som sker i verket. Tre processer ingår: rengaller, sandfång och försedimentering.

#### Rengaller (eng. bar racks)

När avloppsvattnet kommer till reningsverket så passerar det först genom ett rengaller. Detta är ett

galler med öppningar på 15-75 mm.<sup>5</sup> Gallret fångar upp grovt material som egentligen inte ska finnas i avloppsvattnet, t.ex. tops och trasor. Skräpet som fastnar i gallret lyfts bort kontinuerligt eller periodvis med någon form av mekaniskt system. Flödet genom rengallret ska vara tillräckligt högt för att förhindra sedimentation av fast material i avloppsvattnet men inte så högt så att material trycks igenom gallret. En referens rekommenderar flödes hastigheter mellan 0,3-0,5 och 0,6-1,0 m/s.<sup>5</sup>

#### Sandfång (eng. grit chamber)

Sandfånget är en sedimentationstank designad för att ta bort tunga inorganiska partiklar som sand och grus. Det är viktigt att ha rätt flödes hastighet igenom sandfånget. Om flödes hastigheten är för hög så hinner inte de tunga partiklarna att sedimentera. Om flödes hastigheten är för låg så kommer även de lättare organiska partiklarna att sedimentera. I vissa fall är tanken designad med inblåsning av luft för att åstadkomma rätt turbulens. Man vill separera reningen inorganiska och organiska partiklar bl a eftersom sand och liknande inorganiska partiklar annars kan orsaka slitage på pumpar och ackumulera i röt-kammaren som används för att omvandla organiskt slam till biogas.

#### Försedimentering (eng. primary sedimentation)

Försedimenteringen är en sedimenteringstank som har en betydligt längre uppehållstid och lägre flödes hastighet än sandfånget. Här kan organiska partiklar sedimentera och samlas upp som så kallat primärslam i botten av tanken. En automatisk skrapa skrapar slammet till ena änden av tanken där det pumpas vidare till slambehandlingsprocesserna. Försedimenteringstankar kan ha olika former, t.ex. avlänga där vattnet flödar in vid ena kortsidan och ut vid den andra eller runda där vattnet flödar in i mitten och ut utmed sidorna.

Försedimenteringstankar kan dimensioneras baserat på ytbelastning och uppehållstid. Ytbelastning beräknas genom att dividera flödet med tankarnas vattenyta. En normal ytbelastning är 30-50 m<sup>3</sup> m<sup>-2</sup> d<sup>-1</sup> baserat på medelflöde och 80-120 m<sup>3</sup> m<sup>-2</sup> d<sup>-1</sup> baserat på maxflöde per timme. En typisk uppehållstid är 1,5-2,5 timmar.<sup>5</sup> Man vill undvika att ha för lång uppehållstid eftersom det skulle kunna leda till att anaeroba förhållanden uppstår och man får luktproblem.

#### **Biologisk rening**

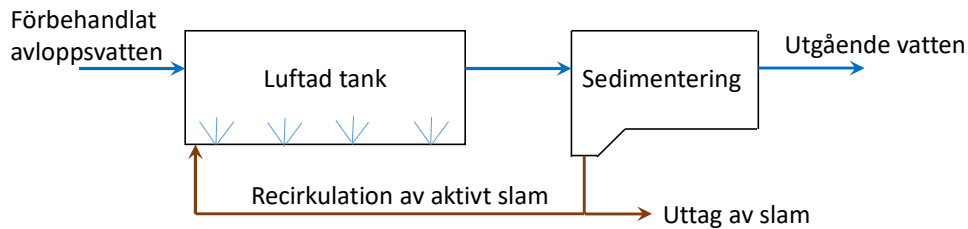
Det biologiska reningssteget kallas även sekundär rening. Syftet är att ta bort lösta organiska ämnen och kväve från avloppsvattnet. Även fosfor kan tas bort med biologiska processer men detta är mindre vanligt. När man designar biologiska reningsprocesser försöker man att skapa förhållanden som gynnar tillväxt av mikroorganismer som kan bryta ner eller omvandla de föroreningar som man vill ta bort. För att ta bort organiska ämnen så vill man ha syre tillgängligt. Detta gör det möjligt för mikroorganismer att oxidera de organiska ämnena till koldioxid och vatten. För att ta bort kväve från vattnet så varierar man mellan syrefria och syrerika förhållanden. Detta gynnar olika grupper av mikroorganismer som tillsammans omvandlar ammonium-kvävet i avloppsvattnet till kvävgas som avgår till luften. Processen för kväverening beskrivs mer detaljerat i avsnitt 12.4, Avancerade reningsprocesser, nedan.

Biologiska processlösningar kan kategoriseras som aktivslam- eller biofilmprocesser. Aktivt slam baseras på mikroorganismer som är suspenderade i vattnet medan en biofilm är mikroorganismer som växer på en yta.

#### Aktivt slam (eng. activated sludge)

Den vanligaste biologiska reningsprocessen kallas aktivt slam. Aktivslamprocessen består av en omrörd tank som innehåller mikroorganismer som växer i flockar. Flockar är aggregat som är några 100 µm stora. Flockarna formas naturligt av att mikroorganismerna binder till varandra. Om man vill ha syrefria förhållanden i tanken så är den omrörd med mekaniska omrörare. Om man vill ha aeroba förhållanden så blåses luft in i tanken för att syresätta vattnet. Luftningen kan också fungera som omrörning.

Det aktiva slammet, dvs flockarna med mikroorganismer, bryter ner eller omvandlar föroreningarna i avloppsvattnet. Det är viktigt att vattnets uppehållstid i tanken är tillräckligt lång för att det aktiva slammet ska hinna bryta ner föroreningarna. Upphållstider på 3-8 timmar är vanligt. En annan viktig parameter är slammets uppehållstid (även kallad slamålder) i systemet. Efter aktivslamtanken flödar vattnet och slammet till eftersedimenteringen, vilket är bassänger där slammet sedimenterar till botten och det renade vattnet rinner vidare till efterföljande processer eller ut från verket. Slammet pumpas sedan tillbaka till den luftade tanken. Denna återanvändning av det aktiva slammet gör det möjligt att ha en relativt lång slamålder i systemet. Dvs, slammets uppehållstid i systemet kan vara betydligt längre än vattnets uppehållstid. Slamåldern är den genomsnittliga tiden som en mikroorganism befinner sig i systemet. Slamåldrar på 3-15 dagar är vanligt vid reningsverk. En lång slamålder kan vara fördelaktigt eftersom långsamväxande bakterier, t.ex. de som är involverade i kväverening, kan behållas i systemet. Slamåldern styrs genom ett visst uttag från det koncentrerade returslam som pumpas från eftersedimenteringen. Om målet med aktivslamprocessen är att bara ta bort organiskt material så är hela tanken luftad (Figur 12-1). Om målet är att även ta bort kväve så kan tanken ha olika konfiguration med luftade och icke-luftade zoner (Figur 12-2).



Figur 12-1. Aktivslamprocess för BOD-rening.

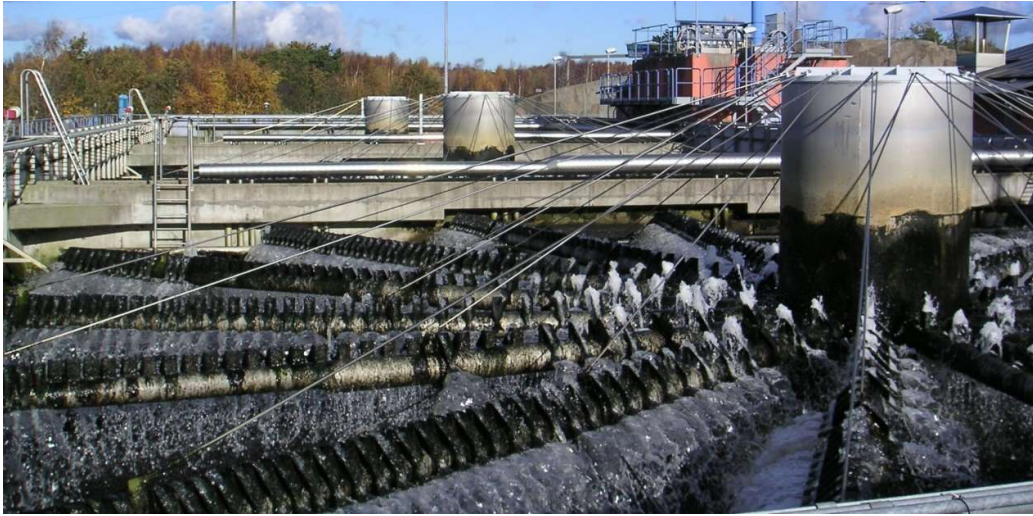


Figur 12-2. Luftade (vänster) och icke-luftade (höger) aktivslamtankar.

### Biobäddar (eng. trickling filter)

Biobäddar (Figur 12-3) är en biofilmprocess. En biobädd består ett material med stor yta per volymenhet (oftast i plast). Biofilm växer på ytan. Avloppsvattnet sprayas över biobädden och biofilmen bryter ner föroreningar i vattnet. Biobäddar är en aerob process. Det faktum att

avloppsvattnet sprayas över biobädden gör att vattnet är mättat med löst syre när det når biofilmen. Vattnets som går ut från biobäddarna innehåller flagor eller delar som har lossnat från biofilmen. Därför har man vanligtvis en eftersedimenteringstank för att separera denna biomassa från det renade vattnet.



Figur 12-3. Biobäddar. Bilden visar distributionsarmar som sprayar vattnet över bäddmaterialet.



Figur 12-4. Suspenderade biofilmbärare (MBBR). Bilden till höger visar gallret som separerar bärarna från det renade vattnet.

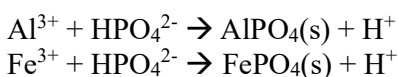
Suspenderade biofilmbärare (eng. *moving bed biofilm reactor, MBBR*)

MBBR-processen (Figur 12-4) är också baserad på biofilm. Tanken innehåller en stor mängd biofilmbärare. Detta är plast-chips som är några centimeter stora. Dessa bibehålls i tanken med ett gallret som separerar det renade avloppsvattnet från bärarna. Bärarna hålls suspenderade i tanken med hjälp av omrörare eller luftning. MBBR-processen kan användas både för BOD och kväverening. En MBBR-process följs vanligtvis av en eftersedimentering.

### ***Kemisk rening***

Kemikalier tillsätts i avloppsreningen framförallt för att förbättra avskiljningen av partiklar och för fosforrening. Vad det gäller partiklar så vill man aggregera små partiklar till större aggregat vilka är lättare att separera från vattnet med sedimentering. Denna process kallas koagulering och flockulering. Partiklar som är mindre än ungefär 1 µm i diameter sedimenterar väldigt långsamt och kallas för kolloidala partiklar. Dessa partiklars ytor är vanligtvis negativt laddade i vatten vilket gör att de repellerar varandra. För att motverka de elektrostatiska repellerande krafterna så tillsätter man positivt laddade polymerer eller metalljoner ( $\text{Al}^{3+}$  eller  $\text{Fe}^{3+}$ ) vilka gynnar aggregering av partiklar.

En stor del av den fosfor som finns i avloppsvattnet är bundet till partiklar. Därför förbättras även fosforreningen när partikelavskiljningen ökar. Löst fosfor tas bort från vattnet genom att fosfatjonen bildar fällningar med de metalljoner som tillsätts i den kemiska reningen. Löst fosfor förekommer främst som vätefosfatjonen ( $\text{HPO}_4^{2-}$ ) i ett avloppsvatten med pH på ungefär 7,5. Fällningar med aluminium och järn bildas då enligt följande kemiska reaktioner:



Dessa fällningar kan avskiljas med sedimentering. Fosfor som avskiljs från avloppsvattnet i reningsverket återfinns alltså i slammet.

### ***Slambehandling***

Alla reningsstegen bildar slam. Den mekaniska reningens försedimentering bildar primärslam, den biologiska reningen bildar bioslam och den kemiska reningen bildar kemsлам. Oftast så blandas dessa tre typer av slam och behandlas tillsammans. Slambehandlingen har tre syften:

- Reducera mängden vatten i slammet.
- Reducera mängden slam.
- Utvinna energi från slammet.

Slammets sammansättning varierar. Andelen torrsubstans är normalt 2-6% för primärslam, 0,5-1,5% för bioslam från en aktivslamprocess och 0,5-1,5% för kemsлам från kemfällning med järn.<sup>5</sup> Slammet innehåller alltså mestadels vatten. Torrsubstansen i slammet är till största delen organiskt material. Slambehandlingen kan se ut på olika sätt men ofta innefattar den tre processer: förtjockning, anaerob rötning och avvattning.

#### Förtjockning

Syftet med förtjockningen är att minska andelen vatten i slammet och på så sätt minska volymen slam som ska hanteras i efterföljande processer. Det finns olika typer av förtjockare där vattnets separeras med hjälp av t.ex. sedimentering, gravitation eller centrifugering. Förtjockat slam har en torrsubstans på ungefär 2-10%.

#### Anaerob rötning

Syftet med rötprocessen är dels att minska mängden slam och dels att utvinna energi i form av biogas. Rötprocessen är en biologisk process där mikroorganismer bryter ner organiska ämnen under syrefria förhållanden. Detta leder till att den energirika gasen metan ( $\text{CH}_4$ ) bildas. Biogasen som bildas under rötprocessen består normalt av cirka 60-70% metan och 30-40% koldioxid. För att processen ska fungera bra körs rötkammaren vid en temperatur på cirka 35°C (mesofil rötning) eller 55°C (termofil rötning). Eftersom detta betyder att rötkammaren måste värmas upp är det fördelaktigt om slammet som kommer in i processen har en hög halt torrsubstans. Att värma vatten är en energikrävande process. En stor del av de organiska ämnena i slammet bryts ner i rötprocessen så slammet som lämnar

rötkammaren har en lägre halt torrsubstans än det slam som kom in.

### Avvattning

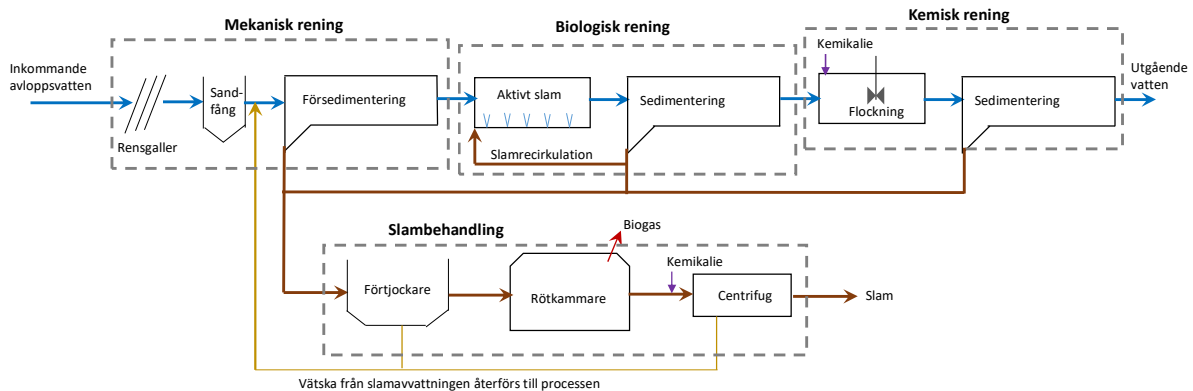
Den slutliga avvattningens syfte är att minimera slammets vikt och volym genom att ta bort så mycket vatten som möjligt. Genom att tillsätta polymerer får man slammets partiklar att aggregera. För själva avvattningen används ofta centrifugering eller en slampress. Slammkakan som genereras har en torrsubstans på cirka 15-25%. Den vätska som avskiljs från slammets partiklar i förtjockningen och avvattningen kallas för rejektvatten och återförs till reningsprocesserna i verket.

### Vad händer sen med slammets?

Sedan 1990-talet finns det ett deponeringsförbud för avloppsslam i Sverige. Detta betyder att man måste hitta användningsområden för slammets näringsämnen. Årligen produceras cirka 200 000 ton slam på de svenska reningsverken. Ett användningsområde är jordbruket och skogsbruket. Slam innehåller mycket näringsämnen, bland annat fosfor och kväve, som till viss del kan ersätta mineralgödsel. Användning inom jordbruket kräver dock att slammets kvalitet är tillräckligt hög, dvs inte innehåller giftiga ämnen eller patogener. Slam kan även förbrännas eller användas t.ex. för markåterställning, som anläggningsjord eller för sluttäckning av deponier.<sup>1</sup>

## 12.3 Processlösningar

Avloppsreningsverk kan vara designade på många olika sätt beroende på reningskrav, lokala förutsättningar och reningsverkets historia. En processlösning som innefattar mekanisk-, biologisk- och kemisk rening samt slambehandling som separata steg visas i Figur 12-5. Ofta så är den kemiska reningen inte ett separat steg utan integreras i övriga processer. Till exempel så tillsätts fällningskemikalier ibland vid försedimenteringen för att förbättra avskiljningen av partiklar där. Kemikalier kan också tillsättas i aktivslamprocessen för att förbättra flockning av slam och fällning av fosfor.



Figur 12-5. Exempel på en processlösning för ett reningsverk som innefattar mekanisk-, biologisk- och kemisk rening samt slambehandling.

## 12.4 Avancerade reningsprocesser

### Biologisk kväve- och fosforrening

När vi designar biologiska reningsprocesser försöker vi skapa miljöer som gynnar den typ av mikroorganismer som utför de funktioner som vi är ute efter. När vi pratar om grupper av mikroorganismer som kan utföra olika funktioner så är det viktigt att känna till några olika termer som används inom biologisk avloppsvattenrening.

- **Aeroba** förhållanden innebär att syre ( $O_2$ ) finns tillgängligt. Aeroba mikroorganismer använder syre som elektrontagare.
- **Anoxa** förhållanden innebär att syre inte är tillgängligt men nitrit ( $NO_2^-$ ) eller nitrat ( $NO_3^-$ )

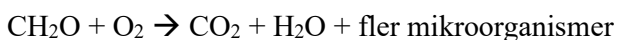
finns tillgängligt som elektrontagare.

- Anaeroba förhållanden innebär att varken syre, nitrit eller nitrat finns tillgängligt. Anaeroba mikroorganismer kan inte leva under aeroba förhållanden. För dem är syre giftigt.
- Fakultativa mikroorganismer kan använda syre som elektrontagare men även växla till andra ämnen när syre inte är tillgängligt.
- Heterotrofer är mikroorganismer som använder organiska ämnen som kolkälla. Dessa är generellt snabbväxande, speciellt aeroba heterotrofer.
- Autotrofer är mikroorganismer som använder koldioxid (CO<sub>2</sub>) som kolkälla. Dessa är generellt mer långsamväxande än heterotrofer eftersom det kräver mycket energi för att reducera koldioxid till organiska ämnen som kan användas i cellupbyggnaden.

Låt oss titta närmare på de tre typer av föroreningar som vi vill ta bort i den biologiska reningen: organiska ämnen, kväve och (i vissa fall) fosfor.

### Organiska ämnen

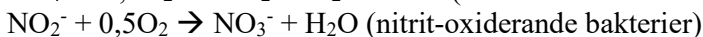
När det gäller organiska föroreningar så är den snabbaste och enklaste metoden aerob nedbrytning. Man vill alltså skapa en miljö där heterotrofa mikroorganismer kan oxidera organiska ämnen med syre som elektrontagare. I följande reaktion representeras organiska ämnen av CH<sub>2</sub>O men i avloppsvatten finns det naturligtvis ämnen med många olika kemiska sammansättningar.



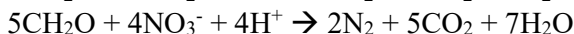
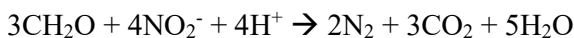
Oxidation av organiska ämnen med syre som elektrontagare är en reaktion som är termodynamiskt mycket fördelaktig. Bakterier som använder den här reaktionen kan alltså utvinna mycket energi per molekyl som de oxiderar. Följaktligen finns det många snabbväxande bakterier som kan utföra den här reaktionen och aerob rening av organiska ämnen är vanligtvis en stabil process på reningsverk.

### Kväve

Kväve förekommer i avloppsvattnet främst som organiskt kväve och som ammonium (NH<sub>4</sub><sup>+</sup>). En viss fraktion av kvävet i vattnet kommer att assimileras (tas upp) av mikroorganismer när de oxiderar organiska ämnen. Det ger dock inte en tillräcklig kväverening. Det vanligaste sättet att ta bort kväve från avloppsvatten är istället att skapa förhållanden som gynnar olika grupper av mikroorganismer omvandlar ammonium till kvävgas i flera steg. Först oxiderar man ammonium till nitrit och nitrat. Detta sker under aeroba förhållanden och kallas nitrifikation.



Nitrit och nitrat kan sedan reduceras till kvävgas (N<sub>2</sub>) som avgår till luften. Det utförs av bakterier som oxiderar organiska ämnen och processen kallas för denitrifikation.



I de här processerna är flera saker värda att notera. För det första så är ammonium- och nitrit-oxiderande bakterier autotrofer och därför betydligt mer långsamväxande i jämförelse med de heterotrofa bakterier som oxiderar organiska ämnen. Det betyder att det finns risk att autotroferna konkurreras ut av heterotrofer om det finns mycket organiska ämnen i vattnet när ammonium-oxidationen ska ske. För det andra så kan vi notera att oxidation av ammonium leder till produktion av H<sup>+</sup>. Detta betyder att alkalinitet konsumeras och pH sjunker. För de flesta mikroorganismer är ett optimalt pH mellan ungefär 6,5 och 8. Om pH sjunker för mycket kan mikroorganismerna inaktiveras.

Ammonium-oxidationen kan alltså begränsas av alkaliniteten i avloppsvatten som har hög ammoniumkoncentration och låg alkalinitet. Vi kan också notera att denitrifikationsprocessen konsumerar  $H^+$ , alltså produceras viss alkalinitet och pH höjs i vattnet. Denitrifikation utförs av heterotrofer vilka är relativt snabbväxande och följaktligen är denitrifikationsprocessen vanligtvis en stabilare process än nitrifikationen.

### Fosfor

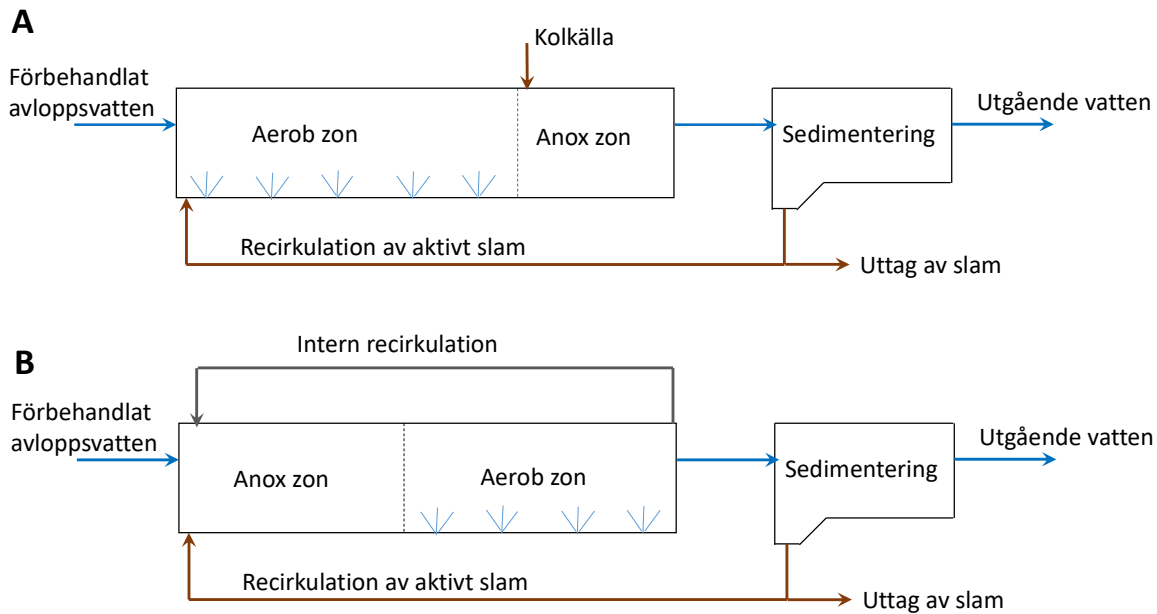
Biologisk fosforering kan åstadkommas genom att utsätta mikroorganismer för alternerande anaeroba och aeroba förhållanden. Under sådana omständigheter kan en grupp mikroorganismer som kallas polyfosfat-ackumulerande bakterier gynnas. Under anaeroba förhållanden så tar dessa bakterier upp organiska ämnen och lagrar dem som polymerer. Energi som krävs för detta får de genom att bryta ner kedjor av polyfosfat till fria fosfatjoner. Under aeroba förhållanden så oxiderar bakterierna sina lagrade organiska ämnen. Då passar de även på att på nytt lagra fosfatjoner som polyfosfat i cellen för att ha en energikälla under den anaeroba fasen. Detta betyder att i slutet av den aeroba fasen så kommer det finnas väldigt mycket polyfosfat lagrat i bakteriecellerna och väldigt lite fria fosfatjoner i vattnet. Genom att avskilja bakterierna så renar man alltså avloppsvattnet från fosfor. I Sverige finns ett tjugotal reningsverk med biologisk fosforering.

### Processlösningar för kväve- och fosforering

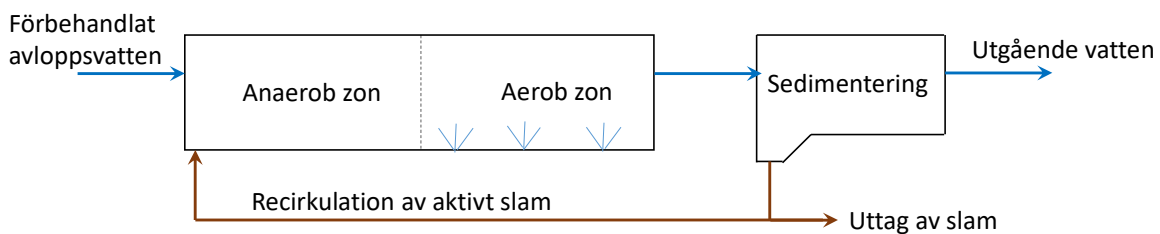
Den vanligaste biologiska reningsprocessen är aktivt slam där mikroorganismerna är suspenderade i vattnet i form av flockar. Figur 12-6 visar två typer av processlösningar med aktivt slam för kväverening. I Figur 12-6A har aktivslamtanken en aerob zon. Där kommer först BOD att tas bort och nitrifikation att ske. I slutet av tanken finns en anoxisk zon. Där innehåller avloppsvattnet nitrat men väldigt lite BOD. För att få denitrifikation att ske tillsätts en extern kolkälla, t.ex. metanol. I Figur 12-6B består tanken av en anoxisk zon följt av en aerob zon. I den aeroba zonen sker nitrifikation. En intern recirkulation av aktivt slam och avloppsvatten till den anoxiska zonen möjliggör denitrifikation med BOD i det inkommande avloppsvattnet som kolkälla. En fördel med den här processlösningen är alltså att man inte behöver tillsätta en extern kolkälla vilket annars kan vara en stor kostnad. En nackdel är att man behöver internrecirkulera ett ganska stort flöde av aktivt slam och avloppsvatten.

En process för rening av BOD och fosfor visas i Figur 12-7. En anaerob tank där polyfosfat-ackumulerande bakterier tar upp och lagrar organiska ämnen och släpper fosfat följs av en aerob tank där bakterierna bryter ned sina lagrade organiska ämnen och istället tar upp och lagrar fosfat. Detta betyder att vattnet som går ut från eftersedimenteringen innehåller väldigt lite fosfat och slammet som tas ut innehåller väldigt mycket.





Figur 12-6. Aktivslamprocesser för BOD- och kväverening.



Figur 12-7. Aktivslamprocess för BOD- och fosforering.

### Partikelavskiljning

Vissa reningsverk använder processer för att ta bort ytterligare partiklar från det utgående vattnet. En vanlig teknik är sandfilter vilka består en sandbädd. Vattnet tillförs ovanpå sandbädden och får sjunka igenom densamma. När vattnet passerar genom sanden så fastnar partiklar i avloppsvattnet i sandbädden. Ett annat alternativ är skivfilter vilka består av filterdukar med öppningar som är cirka 10-20  $\mu\text{m}$  stora. Filterdukarna måste backspolas med filtrerat avloppsvatten med jämna mellanrum för att undvika igensättning. Membranbioreaktorer (MBR) är en avancerad reningsmetod som kombinerar biologisk rening och membranfiltrering. MBR-tekniken beskrivs mer detaljerat i kapitlet "12.6 Exempel på nya reningstekniker" nedan.

### 12.5 Drivkrafter för teknikutveckling

När det gäller reningstekniker för avloppsvatten så pågår det mycket forskning och utveckling för att förbättra existerande tekniker och för att utveckla nya, mer hållbara tekniker. Det finns flera drivkrafter för teknikutveckling:

- *Effektivare rening:* Reningskraven blir hårdare och hårdare vilket gör att reningsverken måste nå allt lägre koncentrationer av BOD, kväve och fosfor i utgående vatten.
- *Kompaktare reningsverk:* Reningsverk är ofta placerade nära vattnet på attraktiva platser i en stad. Utbyggnad är oftast varken möjlig eller önskvärd. Kompaktare reningsprocesser som möjliggör effektiv rening på en liten yta är därför eftertraktade.

- *Vattenresurser:* På många ställen i världen är vatten en bristvara. Där är det viktigt att återanvända avloppsvattnet i så stor grad som möjligt. Processer för höggradig rening som möjliggör återanvändning för bevattning eller till och med som dricksvatten finns redan. Forskning och utveckling för att ytterligare förbättra dessa processer pågår dock.
- *Energieffektivitet:* I Sverige använder vatten- och avloppsverken ungefär 1% av landets totala elkonsumtion.<sup>4</sup> Trots att avloppsvatten innehåller energi i form av värme och organiskt material utvinns ganska lite. Istället är avloppsreningsprocesser mycket energikrävande. Detta är drivkrafter för att utveckla tekniker som minskar energikonsumtion och ökar energiutvinning från avloppsvatten.
- *Materialåtervinning:* Avloppsvatten innehåller flera olika värdefulla ämnen. Kväve och fosfor är näringsämnen som skulle vara viktiga som gödningsmedel om de kunde återvinnas från avloppsvatten. Vissa typer av främst industriella avloppsvatten innehåller också värdefulla metaller som t.ex. koppar eller zink. Gruvbrytning och kemisk produktion av gödsel och metaller är energikrävande och miljöförstörande processer. Återvinning av dessa material från avloppsvatten och annat avfall är därför ett sätt att göra samhället mer hållbart.
- *Mikroföroreningar:* Avloppsvatten innehåller flera typer av mikroföroreningar som läkemedel och mikroplaster. Idag är det oklart vilket påverkan utsläpp av dessa ämnen har på miljön och människan. I framtiden är det möjligt att vi kommer att kräva att reningsverken även tar bort dessa ämnen. Därför är forskning om hur dessa ämnen sprids och påverkar miljön och vad som händer med dem i reningsprocesser viktig.

## 12.6 Exempel på nya reningstekniker

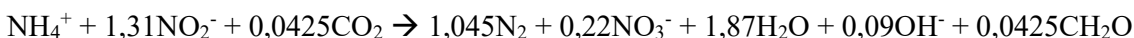
Nedan presenteras några nya tekniker som kan bidra mer hållbar avloppsvattenrening. Vissa av dessa är redan etablerade i VA-världen medan andra bara finns i forskningslaboratorier.

### *Membranbioreaktor (MBR)*

En MBR är en aktivslamtank med ett nedsänkt membran. Det behandlade vattnet sugas ut genom membranet som vanligtvis har en porstorlek  $< 1 \mu\text{m}$  vilket gör att slam och även individuella bakterier och små partiklar inte kan passera. Det reade vattnet har därför en mycket hög kvalitet. En stor fördel med MBR-processen är att eftersedimenteringen inte behövs eftersom membranet gör det möjligt att separera slammet från det reade vattnet direkt i aktivslamtanken. Eftersedimenteringsbassänger tar upp en väldigt stor yta på reningsverk så MBR-processen är i jämförelse med den konventionella aktivslamprocessen väldigt liten och kompakt. Den stora nackdelen med MBR är att membranen sätter igen efterhand och måste därför rengöras regelbundet. MBR är också något mer energikrävande än konventionell rening. MBR är en etablerad teknik och fullskaleanläggningar finns runtom i världen. Himmerfjärdsverket i Stockholm planerar att bygga en av världens största MBR-anläggningar.

### *Anammox*

Anammoxbakterier omvandlar ammonium och nitrit till kvävgas. Som kolkälla använder de koldioxid. Följande reaktion visar deras reaktanter och produkter. Notera att  $\text{CH}_2\text{O}$  används för att representera produktion av nya bakterier.<sup>6</sup>



Anammoxprocessen är mycket attraktiv att använda för att ta bort kväve från avloppsvatten. För det första så behövs inte så mycket syre. Bara en fraktion av ammonium-kvävet i avloppsvattnet måste oxideras till nitrit, vilket kräver syre. I konventionell kväverening oxideras normalt allt ammonium till nitrat, vilket kräver betydligt mer syre. Att syresätta avloppsvatten genom luftning är en mycket energikrävande process så anammoxprocessen ger alltså stora energibesparingar. För det andra så

behövs ingen kolkälla för denitrifikation. Anammoxbakterierna är autotrofer som använder koldioxid. Detta betyder att vi kan spara både pengar och miljö (kemikalieproduktion, transporter) genom att inte behöver tillsätta en extern kolkälla.

Anammoxbakterier är relativt långsamväxande. Fullskaleprocesser baserade på anammox har hittills utvecklats för kväverening av rejektvatten. Rejektvatten har en ganska hög temperatur och ammoniumhalt. Detta gör att anammoxbakterierna kan växa snabbare vilket gör processen stabilare. Nu pågår forskning för att få processen att fungera även i huvudströmmen där vattnet har lägre temperatur och koncentrationen av ammonium är lägre.

### ***Granuler***

Under vissa förhållanden så kan mikroorganismer forma kompakta granuler som är flera millimeter i diameter. Dessa har betydligt bättre sedimenteringsegenskaper än flockarna i aktivslamprocessen som bara är cirka 100 µm stora. Under aeroba förhållanden så bildas granuler bland annat när avloppsvatten tillsätts satsvis så att mikroorganismerna utsätts för alternerande höga och låga koncentrationer av organiska ämnen, när det är hög turbulens i reaktion och när sedimenteringstiden är kort så att icke-granulärt material spolats ut från systemet. Granuler har också fördelen att rening av organiska ämnen, kväve och fosfor kan ske i samma reaktor. Eftersom granulerna är så stora och kompakta bildas det gradienter. T.ex. så är syrekonzentration hög vid granulens yta medan inget syre finns tillgängligt i granulens mitt. Detta betyder flera olika grupper av mikroorganismer kan leva sida vid sida och t.ex. nitrifikation och denitrifikation kan ske i samma granul. Detta, tillsammans med granulernas goda sedimenteringsegenskaper gör att processen blir liten och kompakt.

### ***Anaeroba processer***

Anaerob rötning används normalt för att utvinna energiinnehållet i slammet som produceras i avloppsvattenreningen. Anaeroba processer skulle dock även kunna användas för att rena vattnet i huvudströmmen och samtidigt producera biogas från de organiska ämnena i avloppsvattnet. En utmaning är dock att få dessa processer att fungera vid låga temperaturer. Detta är viktigt att kunna bibehålla en hög slamkoncentration i reaktorn trots att tillväxthastigheten är låg för anaeroba mikroorganismer. I en process som kallas upflow anaerobic sludge blanket (UASB) tillsätts avloppsvattnet i botten av en reaktor av kolonntyp. Vattnet flödet uppåt och lämnar reaktorn vid toppen. Vattnets flödesriktning uppåt och gravitationskraften som verkar nedåt håller slammet suspenderat men förhindrar att det lämnar reaktorn med utgående vatten. UASB-tekniken används främst i varmare klimat. En annan teknik som är under utveckling är anaeroba MBR. Där ser membranet till att det anaeroba slammet bibehålls i reaktorn.

En anaerob process för rening av organiska ämnen skulle dels spara energi eftersom man inte behöver lufta slammet och även producera energi i form av biogas. Man ska notera att anaeroba processer inte kan användas för att ta bort näringsämnen från avloppsvatten. Därför måste det finnas reningsprocesser efter det anaeroba steget (t.ex. anammox och kemisk rening). Även ytterligare polering med avseende på organiska ämnen är troligtvis nödvändig.

### ***Mikrobiella elektrokemiska system***

Vissa mikroorganismer kan fungera som katalysatorer i elektrokemiska system. T.ex. så kan en del bakterier oxidera organiska ämnen och använda en elektrod (anod) som elektrontagare. Det ger upphov till en elektrisk ström. Detta betyder alltså att man med hjälp av bakterier direkt kan omvända organiska ämnen i avloppsvattnet till elektrisk ström. Beroende på hur det elektrokemiska systemet är konfigurerat kan elektrisk energi utvinnas, energibärare som vätgas eller metangas och kemikalier som väteperoxid och kaustiksoda produceras. Man kan även använda mikrobiella elektrokemiska system för att utvinna metaller och näringsämnen från avloppsvatten. Den mest realistiska tillämpning i en nära framtid är dock antagligen användning som sensorer för att mäta t.ex. BOD eller toxicitet i vatten. Forskningen om mikrobiell elektrokemi har ökat enormt sedan början av 2000-talet. Vissa

system börjar nu att kommersialiseras.

### Referenser

1. Balmér, P. (2013). Slamanvändning och strategier för slamanvändning. Svenskt Vatten.
2. Balmér, P. Hellström, D. (2011). Nyckeltal för reningsverk - verktyg för effektivare resursanvändning. Svenskt Vatten.
3. Naturvårdsverket Svenskt Vatten (2013). Formulering av villkor och krav för utsläpp från avloppsreningsverk - vägledning
4. Olsson, G. (2008). Effektivare reningsverk. Några steg mot bättre energi- och resursutnyttjande. Svenskt Vatten.
5. Tchobanoglous, G., Burton, F. L., Stensel, H. D. Metcalf & Eddy Inc. (2004). Wastewater Engineering, Treatment and Reuse 4th Ed. New York, USA, McGraw-Hill.
6. van de Graaf, A., de Bruijn, P., Robertson, L. A., Jetten, M. S. M. Kuenen, J. G. (1996). Autotrophic growth of anaerobic ammonium-oxidizing micro-organisms in a fluidized bed reactor. Microbiology **142**: 2187-2196.

## 12. ÖVNINGAR

Ö12-1. Beskriv spillvatten, tillskottsvatten och industriellt avloppsvatten.

Ö12-2. Vad betyder bräddning?

Ö12-3. Hur många personekvivalenter är kopplade till ett reningsverk som tar emot 456 ton BOD<sub>7</sub> per år?

Ö12-4. Vilka föroreningar är reningsverk byggda för att ta bort från avloppsvattnet? Vad händer med dessa föroreningar, dvs omvandlas de på något sätt och avskiljs de som gaser, vätskor eller fasta ämnen?

Ö12-5. Vilka reningssteg används för att rena avloppsvattnet?  
Beskriv vilka föroreningar som tas bort i varje reningssteg.  
Vilka processer ingår i varje reningssteg?

Ö12-6. Vad är syftet med slambehandlingen? Vilka processer ingår? Vad genereras i slambehandlingen?

Ö12-7. Rita en processlösning för ett avloppsreningsverk.

Ö12-8. Beskriv några anledningar till att utveckla nya reningstekniker för avloppsvatten.

Ö12-9. Försedimenteringstankar som behandlar ett avloppsvattenflöde på 0,5 m<sup>3</sup>/s dimensioneras med en ytbelastning på 100 m/d och en uppehållstid på 1,5 timmar. Vad ska tankarna ha för dimensioner?

Ö12-10. Förklara termerna aerob, anox, anaerob, fakultativ, heterotrof och autotrof.

Ö12-11. Hur många kg etanol (C<sub>2</sub>H<sub>6</sub>O) krävs för att denitrifiera 1 kg nitrat-N? (Kolla bilaga B om du är osäker på redoxreaktioner).

Ö12-12. Ett avloppsvatten har en ammonium-koncentration på 200 mg NH<sub>4</sub>-N/L. Vattnets pH är 7,5 och alkaliniteten 45 meq/L. Hur mycket skulle vattnets pH sjunka om all ammonium oxiderades till nitrat? (Kolla övning 4-7 och 4-8, kapitel 4)

## **FACIT**

### 12. ÖVNINGAR

**Ö12-3.** Svar: 17 847 PE

**Ö12-9.** Svar: De ska ha en total yta på minst 432 m<sup>2</sup> och en volym på minst 2700 m<sup>3</sup>.

**Ö12-11.** Svar: 1,37 kg etanol

**Ö12-12.** Svar: pH blir ungefär 6,1