

Spildevandsrensning på et hospital

Spildevand fra hospitaler ligner på mange måder spildevand fra almindelige husholdninger. Der kommer fx spildevand fra hospitalets køkken, fra toiletterne og fra vaskeriet. Med de rensemetoder man bruger på almindelige renseanlæg, kan man derfor fjerne mange af affaldsstofferne i hospitalsspildevandet. Nogle af hospitalets aktiviteter fører imidlertid til at spildevandet også indeholder andre problematiske stoffer der skal renses fra, og det giver nogle særlige udfordringer. Det er især rensningen af denne særlige del af spildevandet som de følgende aktiviteter handler om, men nogle af de mere traditionelle måder at rensse spildevand på vil også blive berørt.

Hvorfor skal spildevandet renses?

Spildevandet fra hospitalet ender ligesom alt andet spildevand i det akvatiske miljø, altså i vandløb, søer og havet. Hvis det ikke renses, vil nogle af affaldsstofferne kunne påvirke planter, dyr og andre organismer der lever i vandet. Nogle planter vil måske vokse på bekostning af andre planter, nogle dyr vil ikke kunne overleve, og i værste fald vil dele af økosystemerne blive næsten livløst. Målet med rensningen er derfor at alt i spildevandet fjernes eller i alt fald ender på en form der ikke påvirker recipienten, dvs. naturområdet der modtager spildevandet.

Hvad indeholder hospitalsspildevand?

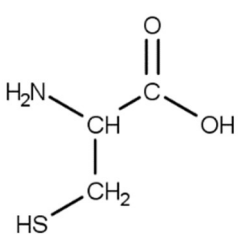
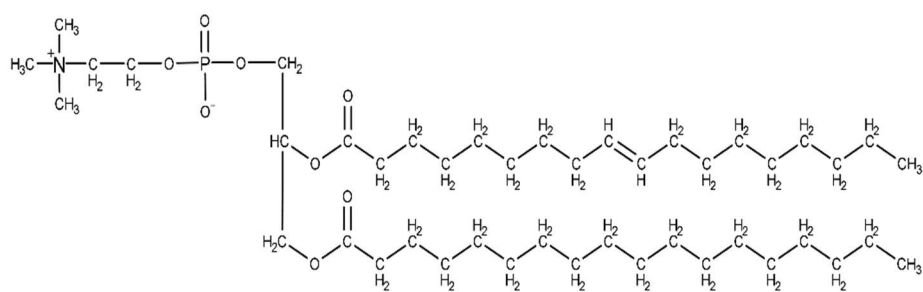
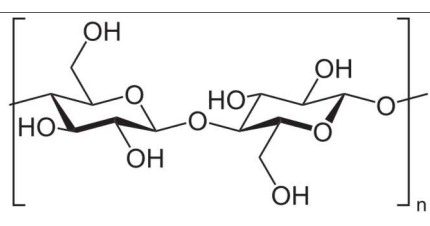
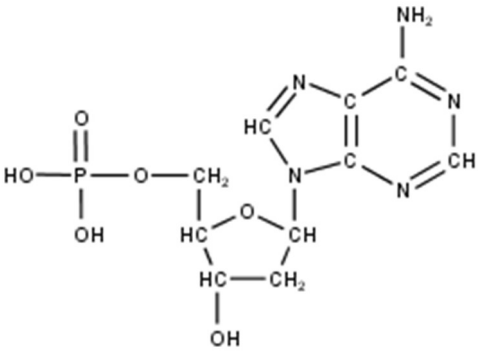
Det man finder i spildevand fra almindelige husholdninger, finder man også i spildevand fra hospitaler. Det drejer sig især om organiske stoffer som fx protein og fedt, og om uorganiske stoffer som fx salte. Derudover indeholder hospitalsspildevandet som noget særligt bl.a. også

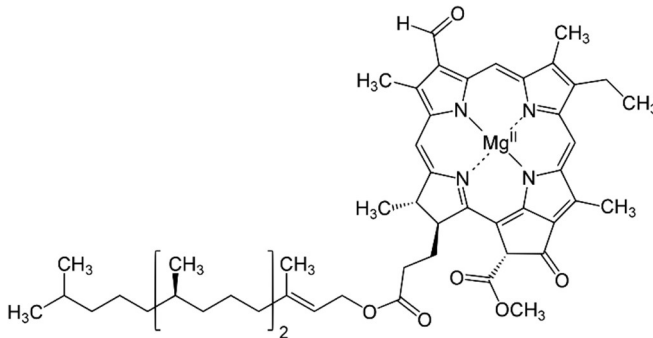
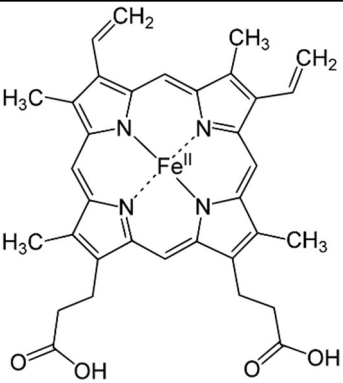
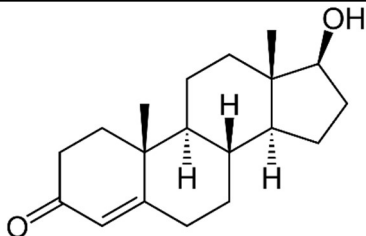
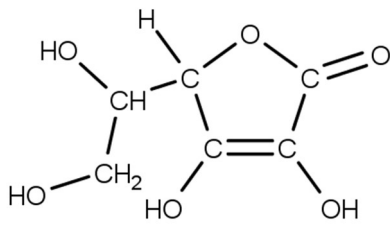
- radioaktive stoffer
- sygdomsfremkaldende mikroorganismer
- medicinrester
- benzin, diesel og olie

Organiske stoffer

De organiske stoffer stammer bl.a. fra hospitalskøkkenet. Når gryder og pander vaskes af, og når råvarer gøres i stand, ryger der noget fedt, kulhydrat og protein ud i afløbet, og nogle gange følger små stykker grøntsager og kødtrævler med. Der kommer også masser af organisk stof fra toiletterne. Med urinen udskilles affaldsstoffer m.m., og en meget stor del af afføringen er dels bakterier der lever i vores tarme, og dels cellerester samt svært nedbrydelige dele af maden. Bakterier er encellede organismer, og celler er opbygget af enormt mange forskellige stoffer, herunder organiske. Allerede på vej til renseanlægget vil nedbrydningen af cellerne begynde, og de forskellige stoffer de består af, vil blive frit tilgængelige.

Tabel 1 er en oversigt over nogle af de organiske stoffer man finder i spildevandet. Læg mærke til hvilke atomer de er opbygget af.

Organiske stof	Kemisk struktur - eksempler
Aminosyrer fra proteiner	 cystein
Phosphorlipider	
Kulhydrater	 cellulose^a
Nucleotider fra DNA	 adenosinmonophosfat

Organiske stof	Kemisk struktur - eksempler
Chlorophyl	 chlorofyl d^b
Prostetiske grupper	 Hæmgruppen^c i hæmoglobin
Hormoner	 Testosteron^d
Vitaminer	 C-vitamin

Tabel 1: Nogle organiske stoffer i spildevand.

^a Public domain. https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Cellulose_Sessel.svg. Lokaliseret 31.05.2021.

^b Public domain. https://en.wikipedia.org/wiki/Chlorophyll_d#/media/File:Chlorophyll_d_structure.svg. Lokaliseret 31.05.2021.

^c Public domain. https://da.wikipedia.org/wiki/Prostetisk_gruppe#/media/Fil:Heme_b.svg. Lokaliseret 31.05.2021

^d Public domain. [https://en.wikipedia.org/wiki/Testosterone_\(medication\)#/media/File:Testosteron.svg](https://en.wikipedia.org/wiki/Testosterone_(medication)#/media/File:Testosteron.svg). Lokaliseret 31.05.2021.

Uorganiske stoffer

I spildevandet findes der uorganiske stoffer som fx Na^+ og Cl^- fra almindeligt køkkensalt og phosphorsyre fra fx cola. Når de organiske stoffer nedbrydes, både på vej til renseanlægget og under rensningen, dannes der også uorganiske stoffer. Alle organiske stoffer nedbrydes til bl.a. CO_2 og H_2O , men fra de organiske stoffer der også indeholder andre slags atomer end carbon, hydrogen og oxygen, er der desuden andre uorganiske nedbrydningsprodukter. Det drejer sig bl.a. om NH_3 , NH_4^+ , NO_3^- , PO_4^{3-} , Mg^{2+} , Fe^{3+} , K^+ og SO_4^{2-} .

Radioaktive stoffer

På et hospital anvendes radioaktive stoffer til forskellige typer diagnostiske undersøgelser og til radionuklidterapi. Diagnostiske undersøgelser hvor der anvendes radioaktive sporstoffer, kunne f.eks. være SPECT- og PET-scanninger. I begge tilfælde får patienten indsprøjet radioaktiv kontrastvæske hvilket betyder at patienten udsender ioniserende stråling. I forbindelse med undersøgelsen skal patienten tømme sin blære. Dette gøres i specielle toiletter som er tilsluttet et renseanlæg der kan hindre at de radioaktive stoffer der er i patientens urin, kommer ud i naturen.

Sygdomsfremkaldende mikroorganismer

I almindeligt spildevand er der masser af forskellige mikroorganismer, ikke mindst bakterier. For eksempel er omkring en tredjedel af massen af de faste bestandele af vores afføring bakterier, og fra fødevarer som fx grøntsager kommer der bakterier i spildevandet når vi skyller dem. Mange af spildevandets bakterier er harmløse, men nogle er sygdomsfremkaldende, bl.a. nogle der kommer fra syge personer.

Hospitalsspildevand fra de fleste afdelinger indeholder de samme slags mikroorganismer, men fra afdelinger hvor der er indlagt folk med infektioner, risikerer der at komme nogle særlige. Nogle af dem kan være særligt smitsomme, farlige og sjældne, hvorfor patienterne nogle gange indlægges på højisolationsstuer. Udover bakterier kan mikroorganismene være mikroskopiske svampe, virusser og parasitter. Indholdet og farligheden af mikroorganismer i hospitalsspildevand kan altså være betydeligt anderledes end i almindeligt spildevand fra husholdninger. Det kræver særlig rensning.

Medicinrester

Når man indtager medicin, bliver nogle af medicinens indholdsstoffer udskilt i urinen. Inden da er de ofte i mere eller mindre grad blevet omdannet i kroppen, typisk i leveren. Urinen indeholder altså medicinrester. Der er også fra fx piller stoffer som slet ikke optages i kroppen og derfor udskilles med afføringen.

Nogle af disse medicinrester kan hvis de ikke renses fra, have negative effekter i de økosystemer hvor spildevandet ender. Problemet er større jo højere koncentrationen af medicinrester er. Hospitalsindlagte patienter får tit mere medicin end andre, så spildevandet herfra har større indhold af medicinrester. Det giver en særlig udfordring ved spildevandsrensningen.

Benzin, diesel og olie

Der transporteres dagligt store mængder varer til hospitalet, mange af dem på lastbiler. Selvom der selvfølgelig gøres meget for at undgå spild af benzin, diesel og olie, kan det ikke helt undgås at asfalten ved modtagestederne forurenes med disse olieprodukter. Når det regner, skylles noget af det i kloakken, og kloakvandet skal derfor renses særskilt inden det ledes videre til renseanlægget. Akutlægehelikopteren lander ofte med patienter til hospitalet. Fra landingspladsen kommer der tilsvarende forurening, ligesom der gør fra alle hospitalets parkeringspladser.

Rensemetoder

Der findes forskellige metoder til rensning af spildevand, i nogle tilfælde også for de samme slags stoffer. Det drejer sig om

- mekanisk rensning
- fedtfang
- mikrobiel nedbrydning af organisk stof til uorganisk stof
- fældningsreaktioner
- nitrifikation, denitrifikation og lignende
- henstand af radioaktive stoffer i tanke
- UV-bestråling
- syre- og varmebehandling
- ozon-behandling
- membranfiltrering
- behandling med aktivt kul

I de til denne teksts tilhørende aktiviteter arbejdes der med nogle af metoderne. Beskrivelse af rensemetoderne findes i forbindelse med de enkelte aktiviteter, i lærebøger og her.

Mekanisk rensning

På renseanlægget møder spildevandet først nogle store riste der sorterer toiletpapir og andre større ting fra. Afstanden mellem tremmerne i ristene er ikke mindre end at fx svært nedbrydelige vatpinde uheldigvis kan passere, men ellers er det der kommer igennem, i det store hele en opløsning af stoffer og opslæmning af partikler, celler og den slags. Det frasorterede materiale fra ristene afbrændes på et forbrændingsanlæg.

Fedtfang

Fedt og olie kan ikke opløses i vand, og derfor vil en blanding af fedt, olie og vand skille sig i to faser: en vandfase og en fedt/olie-fase. Fedt/olie-fasen vil ligge øverst og kan forholdsvis nemt skræbes eller pumpes væk.

Mikrobiel nedbrydning af organisk stof til uorganisk stof

Det organiske stof nedbrydes stort set fuldstændigt af en masse forskellige mikroorganismer, ikke mindst forskellige bakteriearter. Nedbrydningsprocesserne er forskellige variationer af aerob respiration, men også anaerobe nedbrydningsprocesser finder sted. Nedbrydningsprodukterne er i sidste ende især CO_2 og H_2O . Mange af stofferne i spildevandet indeholder imidlertid andre atomer end carbon, hydrogen og oxygen. De atomer udskiller mikroorganismene som uorganiske stoffer, ofte i form af en- eller fleratomige ioner.

Nogle af ionerne, især de fleratomige som ammonium, nitrat og fosfat, bliver aktivt og effektivt renses fra vha. fældningsreaktioner og mikrobielle omsætninger som nitrifikation og denitrifikation. Andre af ionerne, specielt de enatomige som fx tungmetalioner, bliver i mindre grad aktivt renses fra. Mange af dem udfælder dog mere eller mindre spontant i forbindelse med renseanlæggets andre processer og ender i renseanlæggets slam, så rensesgraden for flere af disse ioner er alligevel ofte over 50 %.

Fældningsreaktioner

Ioner der er opløst i vand, kan i nogle tilfælde danne uopløselige salte med hinanden. De uopløselige saltkrystaller vil hvis vandet står mere eller mindre stille, bundfælde og kan derefter sorteres fra.

I renseanlæg sorteres fosfat ofte fra på den måde. Det skyldes at fosfat kan optages af planteplankton, tang og bundplanter i vandmiljøet og i mange tilfælde kan øge plantevæksten. Fosfat betegnes ofte som et 'næringssalt', selvom det egentlig blot er en del af et salt, nemlig en ion. Man vil med rensningen forhindre at plantevæksten bliver for stor, for det kan i sidste ende føre til iltvind i vandmiljøet. Iltsvindet kan især opstå når planterne dør, og bakterier og svampe nedbryder det døde plantemateriale vha. respiration.

Nitrifikation, denitrifikation og mikrobiel phosphorfjernelse

På samme måde som fosfat kan virke som gødning for vandplanterne, kan ammonium og nitrat gøre det. Derfor vil man også gerne fjerne dem fra spildevandet. Det gør man vha. nitrificerende bakterier der vha. nitrifikation omdanner ammonium (eller ammoniak) til nitrit, og derefter nitrit til nitrat. Denitrificerende bakterier tager derefter over, og omdanner nitrat til dinitrogen der diffunderer fra vandet op i atmosfæren. Dels er 78 % af molekylerne i atmosfærisk luft i forvejen dinitrogen, og dels kan kun ganske få planter optage dinitrogen, så på den måde bliver nitrogenatomerne stort set utilgængelige for planterne, og giver derfor ikke miljøproblemer.

Der findes også andre mikrobielle processer der kan fjerne næringssaltene fra spildevandet. På det seneste er man flere steder begyndt at bruge nogle bakterier der kan lave processen anammox hvor ammonium og nitrit omsættes direkte til dinitrogen. Og i flere år har man nogle steder suppleret fosfatfældningen (se ovenfor) med mikrobiel phosphorfjernelse hvor bakterier der har optaget store fosfatmængder, bundfældes og fjernes.

Henstand af radioaktive stoffer i tanke

Den urin der opsamles i forbindelse med undersøgelser og behandling med radioaktive stoffer, henstår i tanke i et passende stykke tid inden den ledes videre i renseanlægget og renses på samme måde som spildevand fra resten af hospitalets toiletter. Årsagen til dette er at de radioaktive stoffer der anvendes, har relativt korte halveringstider. Det betyder at deres aktivitet i løbet af kort tid falder så meget at de ikke længere er farlige.

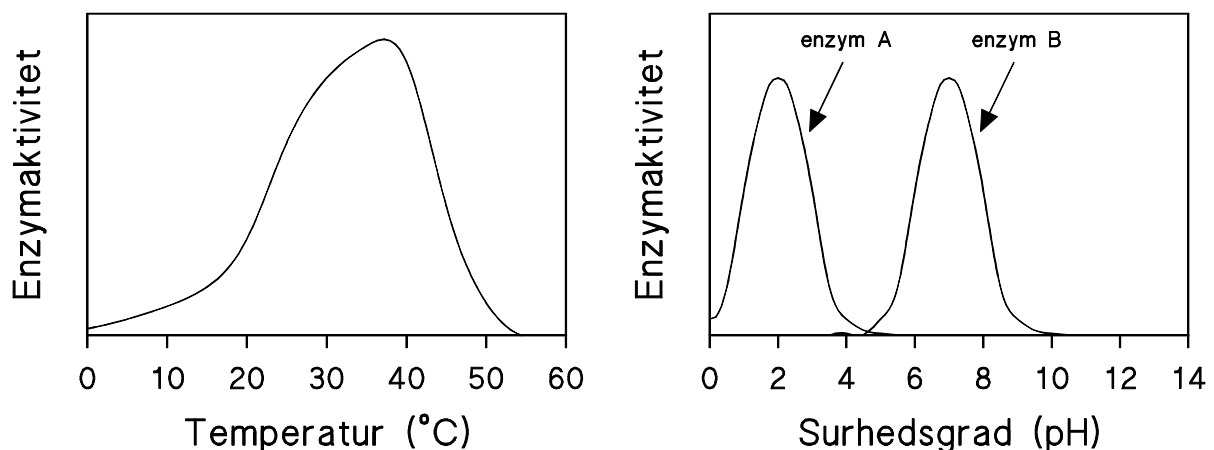
UV-bestråling

Ultraviolet stråling (UV-lys) er så energirig at det kan bryde bindinger inde i molekyler, og dermed ødelægge dem. Hvis det er molekyler i celler, kan cellerne dø. Men der er også den mulighed at cellerne overlever med ændringer i nogle molekyler, fx DNA. Derfor kan man få mutationer i hudceller pga. overdreven solbadning, og mutationerne kan forårsage kræft.

På almindelige renseanlæg bruger man sjældent UV-bestråling, men hvis man vil uskadeliggøre farlige mikroorganismer i fx hospitalsspildevand, er UV-bestråling en mulighed. Målet er da at bestråle så kraftigt at mikroorganismerne dør eller i alt fald beskadiges så meget at de ikke kan formere sig. Dødeligheden afhænger af strålingsintensiteten og strålingens bølgelængde.

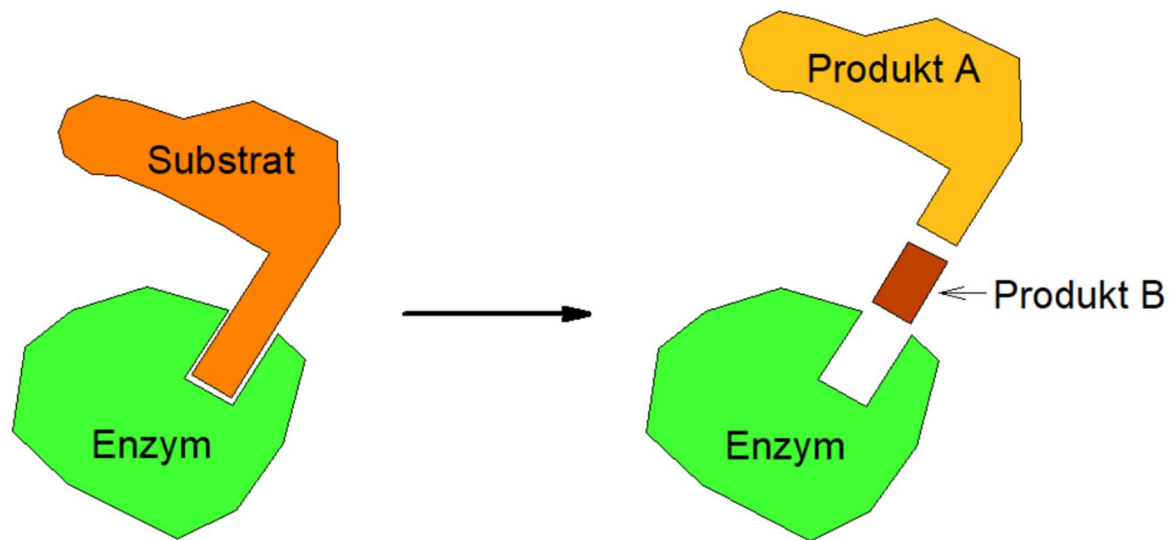
Syre- og varmebehandling

Man kan også dræbe mikroorganismer ved at ændre pH og ved at varmebehandle. I begge tilfælde er det især cellernes enzymer man påvirker. Når temperaturen stiger, stiger enzymaktiviteten (enzymernes reaktionshastighed), men hvis temperaturen overskrider en vis temperatur (temperaturoptimum), begynder enzymerne at gå i stykker (denaturere), se Figur 1.

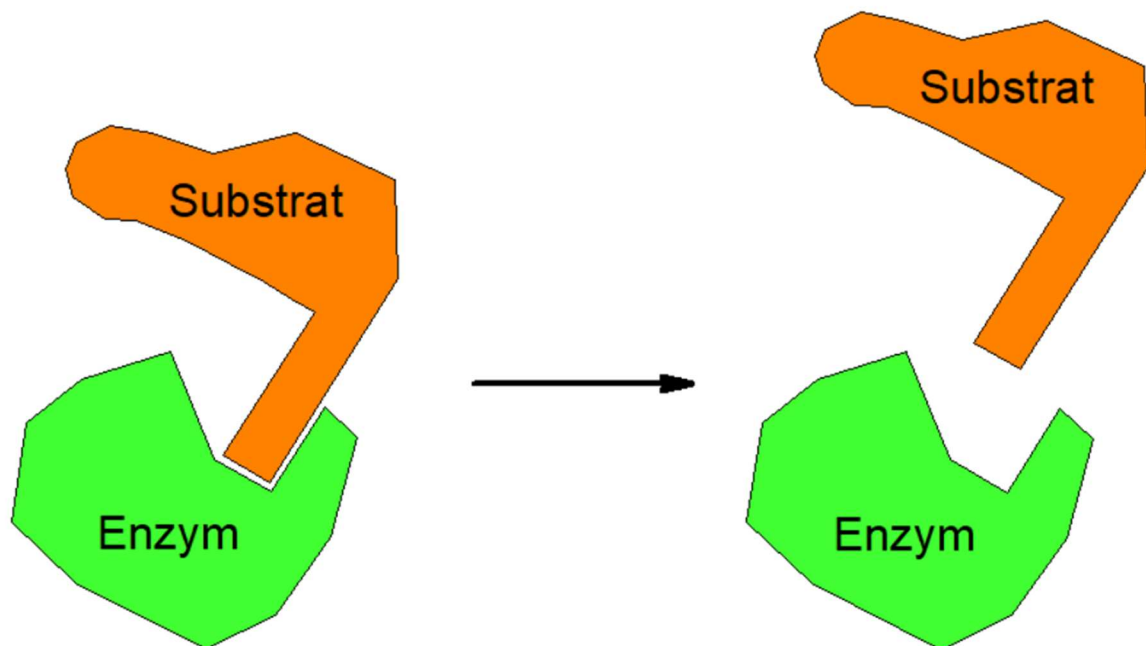


Figur 1: Enzymaktivitetens afhængighed af temperatur og pH

Det skyldes at nogle bindinger mellem de enkelte enzyms aminosyrersidegrupper brydes, hvorved enzyms tredimensionelle struktur ændres så meget at det aktive center og substratet ikke passer til hinanden mere, se Figur 2a og 2b.

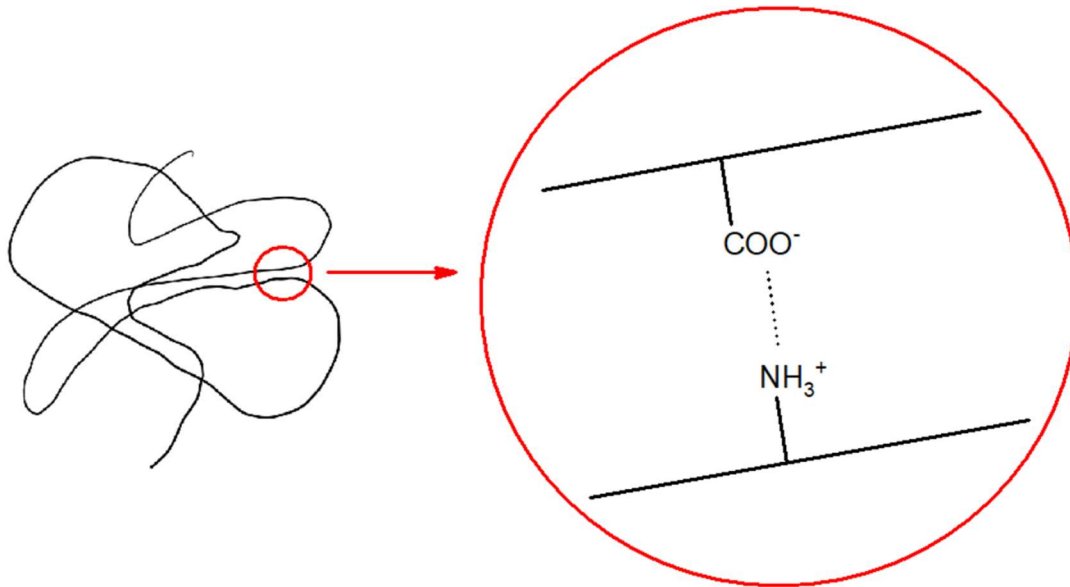


Figur 2a: Substratet og det aktive center passer perfekt til hinanden, så enzymet kan hjælpe med at omdanne substratet til produkterne.

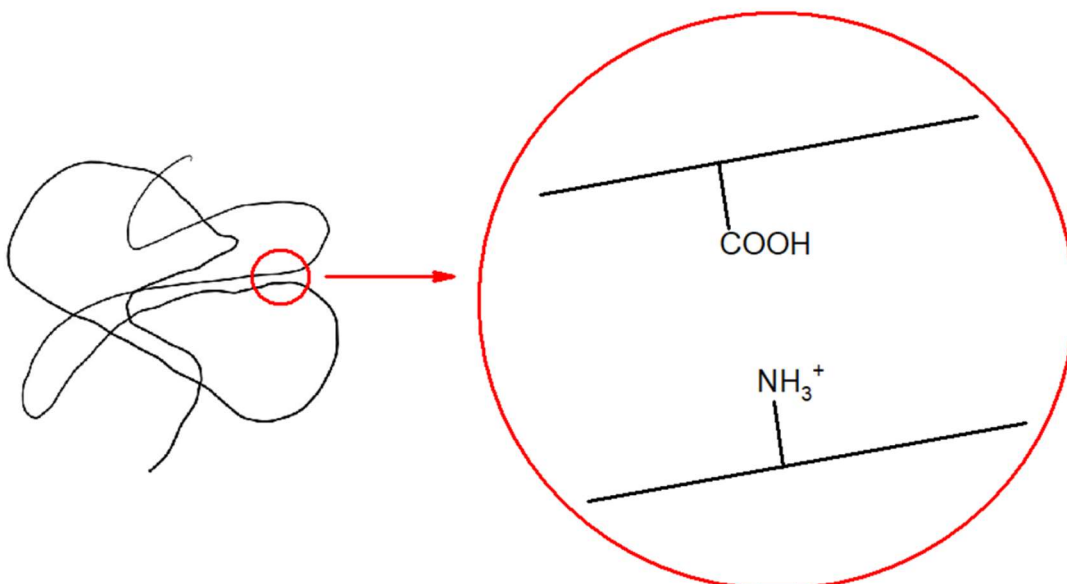


Figur 2b: Nogle bindinger inde i enzymet er blevet brudt så det aktive centers form ikke længere passer til substratet. Substratet bliver derfor ikke omdannet til produkter.

Enzymernes tredimensionelle struktur påvirkes også af pH-ændringer. Nogle af enzymets aminosyresidegrupper er nemlig bundet til hinanden med ionbindinger. Hvis pH ændres, vil nogle af ionbindingerne brydes og andre måske opstå. Strukturændringen som derved opstår, vil på samme måde som før ødelægge bindingsmuligheden mellem det aktive center og substratet så enzymet ikke længere virker lige så godt, se Figur 3a og 3b.



Figur 3a: Enzymer er opbygget af aminosyrekæder. Sidegrupper i nogle af aminosyrerne kan binde til hinanden med ionbindinger som holder atomgrupper med modsatte ladninger sammen. Det er med til at fastholde enzymets tredimensionelle struktur. Her på figuren holdes en -COO^- gruppe sammen med en -NH_3^+ gruppe.



Figur 3b: En ændring af pH kan ændre sidegruppernes ladning. Her er -COO^- gruppen omdannet til en ladningsløs -COOH gruppe der ikke kan binde til -NH_3^+ gruppen. Når denne binding ikke er der, ændres enzymets tredimensionelle struktur, fx i det aktive center, og enzymet virker derfor ikke længere lige så godt.

Når mikroorganismernes enzymer ikke virker som de skal, dør mikroorganismene. I praksis kan man behandle mikroorganismeforurenet spildevand fra højisolationsstuer med methansyre (myresyre) til pH = 3 i et døgn og efterfølgende fortynde spildevandet så pH ikke længere er så lav, og endelig opvarme det til 85 °C.

Ozon-behandling

Man kan også slå mikroorganismer ihjel med ozon, O₃. Ozon er meget stærkt oxiderende, og mikroorganismene dør først og fremmest fordi deres cellemembran ødelægges. Mange andre af de stoffer og strukturer som mikroorganismene er opbygget af, fx DNA og RNA, kan også beskadiges effektivt med ozon.

De af spildevandets andre stoffer der kan deltage i redoxreaktioner, fx nogle typer medicinrester, kan i princippet også ødelægges af ozon, men der skal større mængde ozon til end til desinfektion, så i stedet anvender man normalt andre rensemetoder til det.

Membranfiltrering

Membraner er tynde plader eller hinder som nogle, men ikke alle stoffer kan trænge igennem. Membranerne siges derfor at være selektive. På en måde ligner membraner altså de riste som bruges i den mekaniske rensning, men hullerne i membranerne er vildt små. De kan være så små at selv små, opløste stoffer bliver tilbageholdt, men vand trænger igennem. Derfor kan de bruges til at rense spildevand for fx medicinrester, men også for mikroorganismer.

Afhængig af porestørrelsen (hullernes diameter) benævnes filtreringsmetoden som mikro-, ultra-, nanofiltrering eller omvendt osmose. Ulempen ved membranfiltrering er at det er dyrt fordi det indtil videre er ret energikrævende at bruge, og at membranerne kan være dyre at udskifte. Til gengæld er det ikke så pladskrævende som traditionelle renselanlæg.

Behandling med aktivt kul

Kul kan behandles så kulpartiklerne bliver meget porøse og derved får en stor, især indre overflade hvortil nogle typer af stoffer kan binde sig. Man kalder den slags kul for *aktivt kul*. Det aktive kul er hydrofobt, og derfor er det især andre hydrofobe stoffer eller stoffer med større hydrofobe områder som kan binde sig til det. Især hydrofobe stoffer med høj molekylmasse og højt kogepunkt kan binde sig. Man siger at stofferne adsorberer til det aktive kul.

Spildevandet presses gennem filte med aktivt kul. Hvis det aktive kul er placeret i lange, søjleformede rør, kaldes det en *kolonne*. Spildevandet skal være i kontakt med det aktive kul i et stykke tid for at tilstrækkeligt meget stof adsorberer til det. Derfor er gennemløbstiden væsentlig. På et tidspunkt er det aktive kul mættet med adsorberet stof. Så kan det regenereres (det adsorberede stof fjernes så kullet igen kan adsorbere stof) eller brændes.

Arbejdsspørgsmål om spildevandets indhold

1. Hvilke andre organiske stoffer end de nævnte kan der være i spildevandet?
2. Hvor i organismerne og cellerne finder man de organiske stoffer som ses i Tabel 1?
3. Find molekylformlerne og de funktionelle grupper i stofferne som ses i Tabel 1. Hvilke atomer indeholder de enkelte stoffer?
4. Navngiv de uorganiske ioner der er omtalt i afsnittet om uorganiske stoffer.
5. Hvad er tungmetaller, og hvordan kan de påvirke organismer?
6. Find eksempler på særligt farlige mikroorganismer som hospitalsindlagte kan være inficerede af, og undersøg hvilke symptomer patienterne kan have.
7. Er benzin og diesel opløseligt i vand? Begrund svaret.