

Rodzoneanlæggets dimensionering

Af J. A. Pontoppidan

I løbet af det sidste år er rodzonemetoden blevet almindeligt kendt, i hvert fald hvad navnet angår. Dens kvaliteter eller mangel derpå diskuteres ud fra de mest forskellige forudsætninger og meninger.

Den afvises af nogen som en flyvsk idé hos grønne romantikere, andre ser den som en mulighed for, at spildevandsrensningen kan yde et positivt bidrag til miljøet ved at skabe gode levevilkår for dyr og fugle.

Nogle kommuner venter, at metoden kan spare dem for mange penge, andre tror ikke, at det kan lade sig gøre, atter andre mener, at værdien for miljøet vil være så stor, at penge slet ingen rolle bør spille, o.s.v.

Det diskuteres om metoden overhovedet er noget for ingeniører at beskæftige sig med; bør den ikke overlades til botanikere eller biologer?

For en ingeniør, som igennem nogle år har bestræbt sig på at vise, hvor uegnede de traditionelle metoder er til løsning af spildevandsopgaverne ved alle mindre byer, og anbefaler bl.a. rodzonemetoden, er det egentlig en ganske tilfredsstillende situation; ikke mindst fordi den følger efter en almindelig accept af, at centrale anlæg ikke er løsningen.

Ingeniørerne er ikke med

Der er imidlertid grund til at fremhæve et særligt træk i det noget brogede billede: Ingeniørerne udmærker sig ved praktisk talt ikke at optræde. Det ser ud til, at de overlader sagen til biologerne, og det er skade.

Biologerne

Uden tvivl kan biologer have lige så gode muligheder for at studere metoden som ingeniørerne – måske endda bedre. Men de er ikke i stand til at sørge for fremstilling af konkrete, tekniske anlæg. Uden ingeniører blokerer de for metodens praktiske anvendelse.

Heri er ingen nedvurdering af biologer, men en fremhævelse af en principiel forskel på en universitets- og en ingeniøruddannelse.

Biologen klarlægger og beskriver problemerne stadig bedre, d.v.s. han skaffer ny viden.

Ingeniørens job er at fremstille brugelige, tekniske anlæg til en bestemt tid på grundlag af den viden, der allerede foreligger.

De to er som skabt til at supplere hinanden, men uden ingeniørerne kommer der ingen anlæg ud af det.

Interessekonflikt

Man må acceptere, at en del af de ingeniører, der har deres udkomme fra arbejdet med traditionelle anlæg, vil være interesseret i blokering af en metode, som kan genere deres forretning; for dem er det netop sagen at overlade nye metoder til biologerne.

Muligheden for varetagelse af landets interesser

Danmark har imidlertid brug for bedre og billigere rensningsanlæg. Danmark har brug for dem her og nu. Derom er ingen tvivl, enhver forsinkelse er en økonomisk og miljømæssig belastning.

Her-og-nu opgaven må nødvendigvis udføres af ingeniører.

Heldigvis er der store grupper af ingeniører, som ikke har interesse i blo-

keringen. Først og fremmest alle de offentligt ansatte, hvis arbejde består i at arbejde for borgerne, og de rådgivende ingeniører, som engageres med samme formål. Men også de skyder i vidt omfang sagen over til biologerne. Her må forklaringen nødvendigvis være en anden.

Planter og ingeniører

Så vidt jeg kan se, mener mange ingeniører, at planterne i rensningsanlægget medfører, at der foregår noget helt andet end i de sædvanlige anlæg, så at de ikke kan overføre den viden, de har, til rodzoneanlægget.

Samme processer

Men det er en fuldstændig misforståelse, som det er vigtigt at få fjernet. Rodzoneanlægget udnytter de samme processer som de traditionelle anlæg, og kan dimensioneres efter modeller, som er til rådighed f.eks. i de lærebøger, der anvendes ved ingeniøruddannelsen, og som ingeniøren kan tilpasse til rodzoneanlægget ganske som til et traditionelt anlæg.

For at vise ligheden, foretages i det følgende en sammenligning mellem processerne i traditionelle anlæg og i rodzoneanlæg. Der opstilles en model for den biologiske proces og en tilsvarende for systemets hydraulik, hvorefter det vises, hvordan modellerne anvendes til beregning af rensningsevnen.

Beregningsmetoden er uden videre anvendelig til praktisk dimensionering. Nok så stor betydning vil den nok have, hvis den kan få beslutningstagerne, hvad enten de er politikere eller teknikere til at forstå, at rodzonemetoden er en teknisk metode, som ingeniører kan håndtere, hvis de opfordres dertil.

Nedbrydningsprocesserne

Nedbrydningen af organisk stof i rensningsanlæg er en naturlig proces i den forstand, at den ville finde sted også uden rensningsanlæggene. Den er en lille del af den generelle nedbrydning, som er uadskillelig fra det økologiske kredsløb, og som er en betingelse for, at liv kan eksistere. Den er uundgåelig.

Et nyt rensningsanlæg går da også i gang »af sig selv«. De mikroorganismer, som finder egnede levevilkår i anlægget, formerer sig; alle der kræver andre forhold forsvinder.

Valg af mikroorganismer

Af de umådelig mange rensningsmuligheder, naturen byder på, vælges en større eller mindre del, resten udelukkes. Det

gælder alle rensningsanlæg, også rodzoneanlæg.

Udvælgelsen af aktive organismer er nok det, der mest afgørende karakteriserer de forskellige anlægstyper.

De fleste af de konventionelle anlæg vælger bakterier, der kan trives fritsvævende i vand.

Rodzoneanlægget favoriserer, ligesom det traditionelle biologiske filter, fastsiddende organismer.

Let overskuelige systemer

Ved de konventionelle anlæg etableres veldefinerede forhold, som let kan studeres i laboratoriet, og som giver mulighed for en systematisk styring.

Anlæggene kan optimeres til en høj effekt, og de kan på forholdsvis lille plads behandle store forureningsmængder.

Fordelene opnås på bekostning af artsantallet i anlægget, som derved bliver så ensidigt i sin virkemåde, at selv små afvigelser fra optimeringsforudsætningerne medfører driftsforstyrrelser.

Efterligning af naturens processer

De mange anlægstyper – lad os kalde dem naturnære – søger at efterligne den nedbrydning, som er foregået i naturen i mange millioner år, og de systemer, som herved har vist sig effektive og levedygtige. Efterligningen af gode konstruktioner er en sund ingeniørtidition.

Følger man dette princip, bemærker man tre afgørende forskelle i forhold til procesvalget ved de sædvanlige rensningsanlæg.

1. Nedbrydning i frie vandmasser er en undtagelse. Den foregår praktisk taget kun for forurening, der opstår i vandmassen. Som hovedregel foregår nedbrydningen i jorden eller i jordlignende substans.
2. Artsantallet for de aktive organismer i rensprocesserne er meget stort.
3. Nedbrydningen foregår ved den energi, som er indeholdt i det stof, der nedbrydes.

Planter bestemmer jordbundens fysiske egenskaber

Rodzoneanlægget er beskrevet andre steder, det skal ikke gentages her. Kun skal det endnu en gang understreges, at planternes næringsoptagelse ikke er af væsentlig betydning for rensfunktionen. Det afgørende er deres fysiske indflydelse på jordbunden. De er bestemmende for dens vandledningsevne og deres strå danner et stort antal tynde rør, som leverer ilt til de aerobe processer.

Mange processer i samme volumen

Den umådeligt enkle opbygning: et afgrænset jordvolumen, som er beplantet med tagrør, og som gennemstrømmes vandret af spildevand, har fået mange til at betegne rodzoneanlægget som et primitivt anlæg.

Men det betyder ikke, at det er særlig enkelt i sin funktion. Som reaktor betraget er det i sin mangfoldighed mere kompliceret end konventionelle anlæg.

Det kombinerer i et enkelt volumen alle de processer, som i et traditionelt anlæg må fordeles på iltningstrin, denitrifikationstrin, bundfældning, kemisk fældning og slamudrødning.

Fig. 1 giver en oversigt over de vigtigste delprocesser og deres indbyrdes sammenhæng. Den er opstillet på grundlag af en mere omfattende oversigt i /2/.

Rodzonens koblede rensningsprocesser

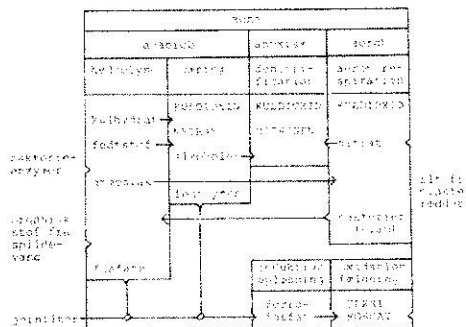


Fig. 1. STORE BOGSTAVER angiver at stoffet afgår i luftform eller fastlægges i tungtopløselig form. Alle processerne kendes fra den konventionelle rensning.

Bioreaktorens struktur

Lægger man, også med hensyn til anlæggets opbygning, mere vægt på lighederne end på forskellene, finder man en klar lighed med et dykket, vandret gennemstrømet biologisk filter.

I det følgende opstilles en beregningsmodel, der bygger på denne lighed, og som tager hensyn til det særlige forhold, at det aktive rodzonevolumen afhænger af den hydrauliske belastning og af de hydrauliske forhold i øvrigt.

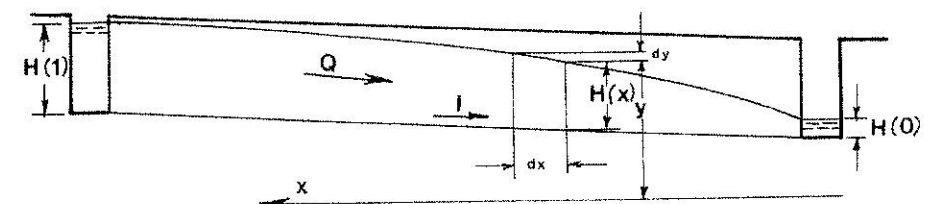


Fig. 3.

Model af den biologiske proces

Rodzonen betragtes som et dykket biologisk filter med direkte gennemstrømning; d.v.s. som et porøst legeme med indbyrdes forbundne porrer, hvis vægge bærer den aktive biofilm. Det består af elementer med tværsnitsareal $f(x)$, som hver gennemstrømmes af hele vandmængden $q(x)$.

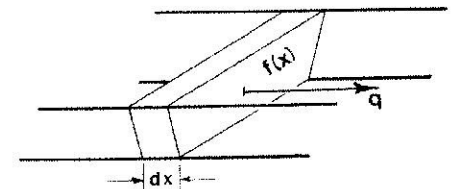


Fig. 2.

Det antages, at arealet af elementets biofilm, dA , er proportionalt med elementets volumen, $dA = a(x) \cdot f(x) \cdot dx$.

Stoftransporten fra væsken ind i biofilmen beskrives ved en 1.ordens proces. D.v.s. at transporten er proportional med arealet af den aktive biofilm, med stofkoncentrationen i væsken, $C(x)$, og med hastighedskonstanten k .

For stofkoncentrationen i vandet, C gælder, jvfr. f.eks. /1/

$$dC/dx = -k \cdot C(x) \cdot a(x) \cdot f(x) / q(x)$$

som løses ved

$$\ln C = -k \int (a(x) \cdot f(x) / q(x)) dx$$

Ved de fleste anlæg kan $a(x)$ betragtes som konstant, $a(x) = a$, og ved det direkte gennemstrømmende anlæg er også $q(x)$ konstant, $q(x) = Q$, det giver:

$$\ln C = -k \cdot a / Q \int f(x) dx = -k \cdot a \cdot V / Q + c$$

$$\ln C = \ln C(0) - (K \cdot V / Q) \quad (A)$$

Med $K = 0.3$ pr. døgn, får vi den almindeligt anvendte formel til bestemmelse af rensningsevnen for anlæg med tagrør, belastede med husspildevand, der kan også skrives:

$$C/C(0) = r = \text{EXP}(-0.3 \cdot V / Q)$$

Hydraulisk model

For at kunne benytte (A) må man beregne volumen V , som er den vandmættede del af rodzonen, og som bestemmes af den hydrauliske belastning.

Begrænser vi os til anlæg med konstant bredde, B, og med plan bund, kan vi med god tilnærmelse beskrive vand-spejlet i rodzoneanlægget ved løsninger til differentiaalligningen

$$Q = B \cdot K \cdot H(x) \cdot (dy/dx)$$

hvor K er den hydrauliske ledningsevne.

Ligningen er en tilnærmelse, der anvendes almindeligt i forbindelse med dræningsberegninger, /3/. Tilnærmelsen er god, når den lodrette strømnings-hastighed er lille i forhold til den vandrette.

$$dy/dx = (i + dH/dx)$$

For $i=0$ gælder:

$$H(1)^2 = 2 \cdot (Q \cdot L) / (B \cdot K) + H(0)^2$$

Det vandtætte volumen,

$$V = (B^2 \cdot K) / (3 \cdot Q) \cdot (H(1)^3 - H(0)^3)$$

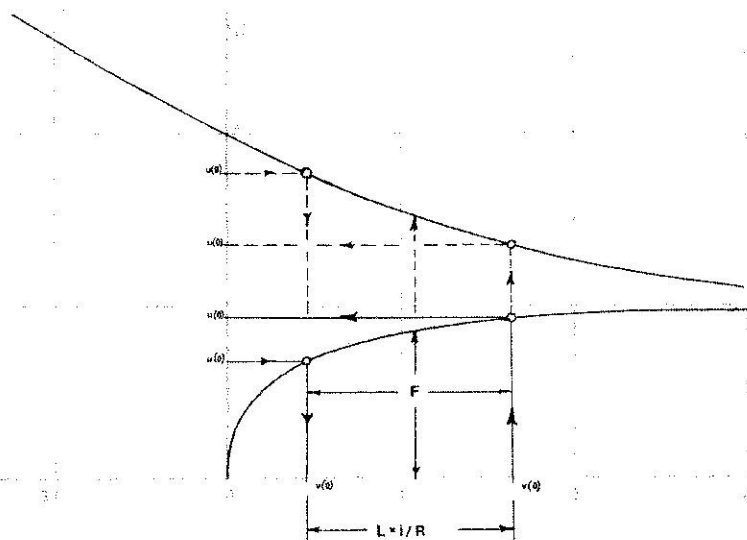


Fig. 4
Rodzoneanlæggets dimensionering.

For $i <> 0$ bestemmes $H(1)$ af ligningen:

$$\ln((R - H(0)) / (R - H(1))) - (H(1) - H(0) + L \cdot i) / R = 0; \text{ hvor } R = Q / (K \cdot B \cdot i)$$

Løsning må ske ved forsøg. Med lommeregneren er det ikke særlig tidskrævende. $H(1)$ ligger imellem $H(0)$ og R .

Det er dog bekvemmere at bruge kurven fig. 4.

Man beregner $u(0) = H(0) / R$ og finder det tilsvarende $v(0)$, $v(1)$ bestemmes af: $v(1) = v(0) + L \cdot i / R$, det tilsvarende $u(1)$ aflæses, herefter er $H(1) = u(1) \cdot R$.

Arealet F under kurven mellem $v(0)$ og $v(1)$ bruges til bestemmelse af rodzonens vandmættede volumen.

$$V = F \cdot R^2 \cdot B / i$$

Bemærkninger til modellen

En model så enkel som denne, hvor de biologiske processer beskrives alene ved en reaktionshastighed, giver naturligvis langtfra en beskrivelse af det virkelige procesforløb. Alligevel er den velegnet til anvendelse ved dimensionering.

Vi ved fra udførte anlæg for husspildevand, at en god reduktion af BI5 medfører en god N-reduktion. Hvis anlægget er bygget dertil, får man også en god P-reduktion, det sidste stiller krav til jordens indhold af lerminerale, aluminium og jern.

Når N- og P-reduktionerne følger med BI5, hænger det sammen med, at anaerob omsætning af fede syrer til metan indgår som en vigtig del af BI5-reduktionen, og netop metan-reaktionen er så langsom, at den giver rigelig tid til de øvrige processer.

Hvor rodzoneanlæg bruges til behandling af andre spildevandstyper, for eksempel industrispildevand, hvortil det er særdeles velegnet, kan man ikke være

sikker på, at denne betragtning nødvendigvis holder stik, men må tage hensyn til spildevandets særlige sammensætning.

Modellen lader sig let udvide, så at den kan bruges ved beregning af lagdelte rodzoner, hvor de enkelte lag har forskellige egenskaber.

Praktisk anvendelse

Den praktiske anvendelse vises i den følgende beregningstabel, som behandler et landsbyanlæg.

Det skal rense det spildevand, der er betegnet med belastninger 1 og 2. I begge tilfælde forlanges et afløb med mindre end 10 mg BI5 pr. liter.

For hver belastning er foretaget to gennemregninger; en hvor udløbsdybden $H(0)$ er valgt til 0.55 m, og en hvor den er 0.30 m. Man ser, at den højere vandstand ved udløbet giver et betydeligt større rodzonevolumen og en tilsvarende bedre rensning.

Litteraturreferencer:

- /1/ Harremoes, P. et al., Teoretisk vandhygiejne. København 1977.
- /2/ Kickuth, R., Verfahrens- und Dimensionierungsgrundlagen der Wurzelraumsordnung. Teil I. Gesamthochschule Kassel, Witzhausen 1982.
- /3/ Dahl, N., Grundvandsbevægelse. København 1969.

Dimensioneringseksempel

Belastning:		1	1	2	2
Q(ind)	cbm/d	136	136	286	286
BI5(ind)	g/d	21600	21600	25600	25600
Krav:					
BI5(ud)	- -	1360	1360	2860	2860
Dimensioner:					
K	m/d			300	
D	m			0.60	
B	-			100	
L	-			36	
fald: i	m/m			0.015	
H(0)	m	0.55	0.30	0.55	0.30
Beregning:					
$R = Q / (B \cdot K \cdot i)$	-	0.30	0.30	0.64	0.64
$u(0) = H(0) / R$		1.82	1	0.87	0.47
$v(0)$ af fig. 4		0.38	-	1.20	0.17
$L(1) = L \cdot i / R$		1.79	1.79	0.85	0.85
$v(1) = v(0) + L(1)$		2.17	-	2.05	1.02
$u(1)$ af fig. 4		1.24	1	0.96	0.84
$a = (u(0) + u(1)) \cdot L(1) / 2$		2.73	1.79	0.78	0.56
$V = a \cdot R^2 \cdot B / i$	cbm	1665	1088	2100	1502
$r = \text{EXP}(-0.3 \cdot V / Q)$		0.03	0.09	0.11	0.21
$\text{BI5(ud)} = \text{BI5(ind)} \cdot r$	g/d	549	1960	2829	5298
acceptabelt?		ja	nej	ja	nej