



LUND UNIVERSITY

Åkeshov-Nockeby Avloppsverk - Studier av metoder att erhålla nitrifikation och en långtgående fosforreduktion

Hultman, Bengt; Olsson, Gustaf

1980

Document Version:
Förlagets slutgiltiga version

[Link to publication](#)

Citation for published version (APA):
Hultman, B., & Olsson, G. (1980). Åkeshov-Nockeby Avloppsverk - Studier av metoder att erhålla nitrifikation och en långtgående fosforreduktion. (Technical Reports TFRT-7235). Department of Automatic Control, Lund Institute of Technology (LTH).

Total number of authors:
2

General rights

Unless other specific re-use rights are stated the following general rights apply:
Copyright and moral rights for the publications made accessible in the public portal are retained by the authors and/or other copyright owners and it is a condition of accessing publications that users recognise and abide by the legal requirements associated with these rights.

- Users may download and print one copy of any publication from the public portal for the purpose of private study or research.
- You may not further distribute the material or use it for any profit-making activity or commercial gain
- You may freely distribute the URL identifying the publication in the public portal

Read more about Creative commons licenses: <https://creativecommons.org/licenses/>

Take down policy

If you believe that this document breaches copyright please contact us providing details, and we will remove access to the work immediately and investigate your claim.

LUND UNIVERSITY

PO Box 117
221 00 Lund
+46 46-222 00 00

Åkeshov-Nockeby Avloppsverk
Studier av metoder att erhålla
nitrifikation och en långtgående
fosforreduktion

Bengt Hultman
Gustaf Olsson

Institutionen för Reglerteknik
Lunds Tekniska Högskola
Juli 1980

Department of Automatic Control Lund Institute of Technology P.O. Box 118 S-221 00 Lund Sweden		Document name Report	
		Date of issue July 1980	
		Document Number CODEN: LUTFD2/(TFRT-7235)/1-66/(1980)	
Author(s) Bengt Hultman Gustaf Olsson		Supervisor	
		Sponsoring organisation	
Title and subtitle Åkeshov-Nockeby Avloppsverk. Studier av metoder att erhålla nitrifikation och en långtgående fosforreduktion. (Åkeshov-Nockeby Avloppsverk. Static analysis of a nitrifying activated sludge process).			
Abstract Different studies on nitrification and phosphorus reduction in wastewater treatment plants have been performed to examine how major expansions of the plant may be done, either an expansion of the sedimentation unit or an expansion of the aeration system. An analysis has been made how effluent suspended solids, dissolved phosphorus, determines the influent phosphorus content. Also concerning nitrification a static analysis has been made how nitrification depends on the sludge content in the aeration basin, the proportion of nitrification organisms and their growth rates.			
Key words			
Classification system and/or index terms (if any)			
Supplementary bibliographical information			
ISSN and key title		ISBN	
Language Swedish	Number of pages 66	Recipient's notes	
Security classification			

The report may be ordered from the Department of Automatic Control or borrowed through the University Library 2, Box 1010, S-221 03 Lund, Sweden, Telex: 33248 lubbis lund.

1980-07-09

AKESHÖV-NÖCKEBY AVLOPPSVERK

**STUDIER AV METODER ATT ERHÅLLA NITRIFIKATION
OCH EN LÅNGTGÅENDE FOSFORREDUKTION**

**RAPPORT UTARBETAD AV BENGT HULTMAN, VAV, OCH
GUSTAF OLSSON, INST. FÖR REGLERTEKNIK, LTH,
I SAMARBETE MED STOCKHOLMS VA-VERK**

Den första punkten med förbättrad förbehandling har likheter med åtgärder för att minska andelen fosfor i det suspenderade materialet och förutsätter bl a en bättre avskiljning av suspenderat material än nu använda teknik med förfällning med tvåvärt järn. Förslaget med extern tillförsel med nitrifikationsbakterier torde vara av nyhetsvärde och torde inte ha studerats experimentellt. Utförda simuleringar tyder på att en nitrifiering av rejektivatten från avvattnings av röt-slam har en mycket stor positiv effekt på nitrifikationsgraden. Eftersom rejektivattenmängden är mycket liten i förhållande till totala flödet bör kostnaderna för nitrifieringen av rejektivattnet vara måttliga. Det rekommenderas därför att fortsatt utredningsarbete genomförs angående nitrifiering av rejektivatten och denna åtgärds effekt på nitrifikationsgraden i Åkeshov-Nockeby-verket.

Nitrifikationsbakteriernas tillväxtshastighet kan ökas genom pH-justering till pH 8-8,5. Bakteriernas tillväxt gynnas av ökad syrehalt och förstärkningen av luftningssystemet kan därmed få en gynnsam effekt på nitrifikationen. I litteraturen har framförts vissa indikationer på att tvåvärt järn kan ha en hämmande effekt på nitrifikationen.

Förbättrad fosforreduktion

Utgående fosforhalt beror av följande tre faktorer:

- Utgående halt av suspenderat material
- Andelen fosfor i det suspenderade materialet
- Löst halt av fosfor

Va-verkets förslag med utbyggnad av sedimenteringsbassängernas volym kommer främst att få en effekt på den första faktorn (utgående halt av suspenderat material). I föreliggande utredning har i första hand föreslagits en minskning av andelen fosfor i det suspenderade materialet. Detta är möjligt med hjälp av tvåstegsfällning. Därvid är det även av vikt att separationen av fosfor är god i första steget (före aktivslamprocessen) och detta kan kräva en utbyggnad av flockningsbassänger och en övergång från tvåvärt järn till t ex trevärt järn. Eventuellt kan det räcka med att använda trevärt järn (eller tvåvärt järn och ett flockningsmedel) enbart under vissa tidsperioder (sommartid, vid höga flöden etc). Det bör även nämnas att möjligheter även finns att minska den lösta halten fosfor med hjälp av t ex tillsats av kalciumjoner (baserat på relativt få studier vid inst. för Teknisk Hygiejne, DTH).

Förbättrad nitrifikation

Nitrifikationsgraden kommer bl a att bero på:

- Slamhalt i luftningsbassängen
- Andel nitrifikationsbakterier i slammet
- Nitrifikationsbakteriernas tillväxtshastighet

Va-verkets förslag med utbyggnad av sedimenteringsbassängernas volym kommer medföra möjligheter att öka slamhalten i luftningsbassängen (om inte alltför stora problem erhålles med flytslambildning) och därmed gynna möjligheterna att erhålla nitrifikation. I föreliggande utredning har främst föreslagits åtgärder för att öka andelen nitrifikationsbakterier i slammet. Detta kan ske på följande två sätt:

- Förbättrad förbehandling så att halten av organiskt material och inert material (t ex i form av fällningskemikalier) minskar in till aktivslamsteget
- Extern tillförsel av nitrifikationsbakterier genom nitrifikation av rötslamvatten (eller rejektivatten från avvattnings av rötslam).

Den första punkten med förbättrad förbehandling har likheter med åtgärder för att minska andelen fosfor i det suspenderade materialet och förutsätter bl a en bättre avskiljning av suspenderat material än nu använda teknik med förfällning med tvåvärt järn. Förslaget med extern tillförsel med nitrifikationsbakterier torde vara av nyhetsvärde och torde inte ha studerats experimentellt. Utförda simuleringar tyder på att en nitrifiering av rejektvatten från avvattnings av röt-slam har en mycket stor positiv effekt på nitrifikationsgraden. Eftersom rejektvattenmängden är mycket liten i förhållande till totala flödet bör kostnaderna för nitrifieringen av rejektvattnet vara måttliga. Det rekommenderas därför att fortsatt utredningsarbete genomförs angående nitrifiering av rejektvatten och denna åtgärds effekt på nitrifikationsgraden i Åkeshov-Nockeby-verket.

Nitrifikationsbakteriernas tillväxtshastighet kan ökas genom pH-justering till pH 8-8,5. Bakteriernas tillväxt gynnas av ökad syrehalt och förstärkningen av luftningssystemet kan därmed få en gynnsam effekt på nitrifikationen. I litteraturen har framförts vissa indikationer på att tvåvärt järn kan ha en hämmande effekt på nitrifikationen.

OLIKA DELSTUDIER

- 1 Åkeshov-Nockeby avloppsreningsverk. Studier av metoder att er-
hålla nitrifikation och långtgående reduktion av fosfor.
Delrapport 1. Preliminär bedömning av lämplig reningsteknik.
1979-07-12.
- 2 Åkeshov-Nockeby avloppsreningsverk. Studier av metoder att er-
hålla nitrifikation och långtgående reduktion av fosfor -
Sammanfattning och rekommendationer. 1979-10-26.
- 3 G. Olsson: Stationär analys av nitrifierande aktivslamanlägg-
ning. 1980-06-30.
Bilaga: Simulation of complete mix aerator with carbonaceous
and nitrogeneous removal.
- 4 Åkeshov-Nockeby avloppsreningsverk. Kompletterande synpunkter
på metodik för att erhålla nitrifikation och långtgående re-
duktion av fosfor. 1980-07-07.

1979-07-12

ÅKESHÖV-NÖCKEBY AVLOPPSRENINGSVÄRK

STUDIER AV METODER ATT ERHÅLLA NITRIFIKATION OCH
LÅNGTGÅENDE REDUKTION AV FOSFOR.

DELRAPPORT 1. PRELIMINÄR BEDÖMNING AV LÄMPLIG
RENINGSTEKNIK

Akeshov-Nockeby avloppsreningsverk.

Studier av metoder att erhålla nitrifikation och långtgående reduktion av fosfor.

Delrapport 1. Preliminär bedömning av lämplig reningsteknik.

(B. Hultman, VAV)

INLEDNING

För att bedöma lämplig reningsteknik kan det vara fördelaktigt att dela in avloppsverket i följande tre delar:

- 1 Slambehandlingsdel
- 2 Förbehandlingsdel (den del av avloppsverket som finns i Akeshov)
- 3 Slutbehandlingsdel (den del av avloppsverket som finns i Nockeby)

Krav på slutbehandlingsdelen kommer i sin tur att ställa krav på slambehandlingsdelen och förbehandlingsdelen och det kan därför vara lämpligt att först diskutera slutbehandlingsdelen.

SLUTBEHANDLINGSDEL

För utgående avloppsvatten gäller:

<u>Komponent</u>	<u>Föreslaget krav</u>	<u>Nuvarande värde</u>
Tot-P, mg P/l	0,3	0,76
Org-N + NH ₄ -N, mg N/l	ca 7 (80 % red)	21
BOD ₇ , mg/l	10	18
Susp., mg/l	-	19

Avskiljning av suspenderat material

Den höga ytbelastningen i slutsedimenteringsbassängerna medför att utgående halt av suspenderat material är hög. En viss förbättring bör kunna uppnås om flockningsbetingelserna bättre beaktas i slutet av luftningsbassängerna. Det skall därför antas att det med befintlig utrustning bör vara möjligt att nå 15 mg SS/l.

Reduktion av fosfor

Utgående fosforhalter från verket var:

Fosfatfosfor: 0,11 mg P/l

Totalfosfor: 0,76 mg P/l

Med förbättrad fällningsteknik bör det vara möjligt att garantera en fosfatfosforhalt på 0,1 mg P/l. Därmed får halt suspenderad fosfor (för att en viss säkerhetsmarginal skall finnas) inte överstiga mer än ca 0,15 mg P/l. Med en utgående halt av suspenderat material på 15 mg/l får således andelen fosfor i det suspenderade materialet inte vara högre än $ca\ 0,15/15 = 0,01\ mg\ P/mg\ SS$.

Reduktion av BOD₇

Om man antar att anläggningen utformas så att partiell nitrifikation föreligger bör lösta halten av BOD₇ kunna vara ca 5 mg BOD₇/l. Resterande BOD₇ får därför finnas i suspenderad form. Med en utgående halt av suspenderat material på 15 mg SS/l får andelen av BOD₇ i det suspenderade materialet högst vara $5/15 = 0,33\ mg\ BOD_7/mg\ SS$.

Nitrifikation

För att erhålla nitrifikation erfordras att en viss slamålder överskrides (gäller för konventionellt driven aktivslamprocess). Slamåldern kan skrivas:

$$\text{slamålder} = \frac{\text{slammängd i luftningsbassängen}}{\text{producerad slammängd per tidsenhet}} \quad (1)$$

Vid temperaturer på 10 °C bör slamåldern överskrida ca 10 dygn och i det följande skall 250 h användas.

Slammängd i luftningsbassängen är lika med slamhalt (X) gånger luftningsbassängvolym (V). Producerad slammängd per tidsenhet, W, kan skrivas:

$$W = \text{flöde} \left[Y(s_0 - s) + \text{inert slamhalt} + Z \cdot (\text{tillsatt kemikaliedos}) \right] \quad (2)$$

där Y substratutbyteskoefficient, mg SS/mg BS₇ (antages vara 0,6 vid höga slamåldrar)

s_0 = inkommande halt BOD₇, mg/l

s = utgående halt BOD₇, mg/l

Z = bildad mängd kemikalieslam per tillsatt mängd fällningskemikalie (antages vara 2 mg SS/mg Fe vid tillsats av två- eller trevärt järn)

Med hjälp härav kan formel 1 skrivas:

$$250 = \frac{VX}{Q[0,6(s_0 - s) + \text{ink. inert slamhalt} + 2(\text{tillsatt kemikaliedos})]}$$

Med hänsyn till att sedimenteringsbassängerna har en hög ytbelastning antages att X får vara högst 2500 mg/l. Uppehållstiden i luftningsbassängerna (V/Q) antages vara 4 h. Därav fås:

$$0,6(s_0 - s) + \text{ink. inert slamhalt} + 2(\text{tillsatt kemikaliedos}) = 40 \text{ mg/l}$$

Ovanstående krav är svårt att uppfylla. Nitrifikation gynnas i hög grad av om nitrifikationsbakterier kan tillföras externt (se delen om slambehandling). Vidare kan en partiell nitrifikation erhållas om kontaktstabilisering utnyttjas (ställer inte lika höga krav på minsta erforderliga slamålder). Det skall härvid antas att en ca 70 %-ig nitrifikation erhålles vid följande villkor i Nockebyanläggningen:

Extern tillförsel av nitrifikationsbakterier

Kontaktstabilisering

$$0,6(s_0 - s) + \text{ink. inert slamhalt} + 2(\text{tillsatt kemikaliedos}) \leq 70 \text{ mg/l}$$

Kravet innebär att högsta halt $\text{NH}_4\text{-N} + \text{Org.-N}$ får vara ca 23 mg N/l.

Vidare kan t ex följande krav uppställas (för underskridande av 70 mg/l):

$s_0 = 60 \text{ mg BOD}_7/\text{l}$ vilket ger (för $s = 5 \text{ mg BOD}_7/\text{l}$):

$0,6(60 - 5) = 33 \text{ mg/l}$

ink. inert slamhalt: 27 mg/l

tillsatt kemikaliedos till Nockebyverket

5 mg Fe/l (tvåstegsfällning förutsättes)

vilket ger kemikalieslamhalten = $\frac{10 \text{ mg/l}}{70 \text{ mg/l}}$

Diskussion

Den producerade slammängden per tidsenhet i Nockebyverket blir 70Q. Inkommande fosforhalt antages vara a mg P/l. Med en utgående löst halt fosfor på 0,1 mg P/l blir utgående mängd susp.-P per tidsenhet (i utgående klarvatten och i överskottsslamflödet) Q(a - 0,1). Andelen fosfor i det suspenderade materialet blir Q(a - 0,1)/70Q eller (a - 0,1)/70. Tidigare ställdes kravet att andelen fosfor i det suspenderade materialet fick högst vara 0,01 mg P/mg SS. Härav fås:

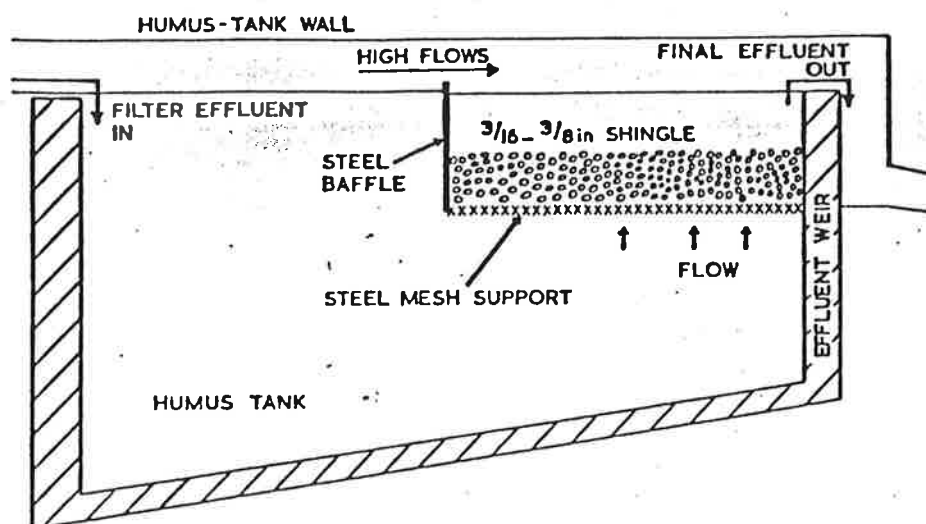
$$\frac{a - 0,1}{70} = 0,01$$

dvs inkommande fosforhalt får högst vara 0,8 mg P/l.

För en aktivslamprocess anges överslagsmässigt att 1 mg SS motsvaras av 0,5 mg BOD. I Nockebyanläggningen kommer mindre än 50 % av slammet (33/70) vara av biologisk karaktär. Med hänsyn till hög slam-ålder bör tidigare krav på att andelen BOD₇ i det suspenderade materialet får vara högst 0,33 mg BOD₇/mg SS anses vara uppfyllt.

Det kan således vara möjligt att klara krav på nitrifikation, BOD₇ och totalfosfor med den befintliga anläggningen i Nockeby om kraven på förbehandling uppfylls. Det är dock av stort intresse att undersöka olika metoder att förbättra reningen i Nockebyverket och deras kostnader och därvid är bl a följande metoder av intresse.

Behandlingsmetod	Effekt
Ytterligare sedimenteringsbassänger	Förbättrad avskiljning av suspenderat material och därmed av suspenderad fosfor och suspenderad BOD ₇ . Sannolikt ökar möjligheterna att öka slamhalten i luftningsbassängerna så att förutsättningarna för nitrifikation förbättras.
Kontaktfilter	Förbättrad avskiljning av suspenderat material och därmed av suspenderad fosfor och suspenderad BOD ₇ . Fällningsmedel före filtret medför en minskning av lösta fosforhalten.
Roterande skivor i luftningsbassängerna	Förbättrad reduktion av BOD ₇ och bättre möjligheter att erhålla nitrifikation. Möjligheter att minska "slambelastningen" på sedimenteringsbassängerna.
"Pebble-bed" (pebble = småsten)	Se följande text



Installation av "pebble-bed" i sedimenteringsbassäng med horisontell strömning placerad efter en biobädd. (från Truesdale och Birkbeck, 1967).

En principskiss av en "pebble-bed" visas ovan. Vid användning av en grusbädd (med diametern 6-25 mm på gruset och grusbäddstjocklek på 0,1-0,3 m) har vid en ytbelastning på ca 0,6-1,7 m/h en reduktion erhållits för suspenderat material på 50-60 % och för BOD på 25-40 % (White, 1978). Vid för stark igensättning av bädden kan sedimenterat vatten strömma förbi bädden (se figuren). Bädden kan lätt rengöras genom att nivån sänks i bassängen varvid slam lossnar från bädden. Avlägsnande av slam underlättas av vattenspolning (White, 1978). Sänkningen av nivån kan göras genom att avloppsvatten inte tillförs den aktuella aktivslamprocessdelen under någon tid och att en viss mängd slamsuspension från sedimenteringsbassängen pumpas till en annan bassäng. Användning av "pebble-bed" uppges vara en billig metod (Oakley och Cripps, 1969).

Det bör även vara möjligt att utnyttja en "pebble-bed" som bärrmaterial för järnbakterier. En viss information om detta bör kunna fås från de planerade försöken va-verket skall bedriva tillsammans med KTH. Om bäddens huvudsakliga funktion är att vara ett bärrmaterial för järnbakterier kan mer ihålliga bärrmaterial vara lämpliga där genomströmningssmotståndet är lägre än i en konventionell "pebble-bed".

SLAMBEHANDLINGSDEL

Rejektvatten från olika slambehandlingsströmmar innehåller en hög halt av ammonium. Detta beror bl a på att ammonium frigörs i samband med rötningsprocessen. En separat behandling av rötslamvatten skulle vara av stor betydelse för att förbättra reningen i Akeshov-Nockeby på grund av:

- Tillförd mängd suspenderat material från slambehandlingsdelen till Nockebydelen skulle kunna hållas låg (tidigare har visats att detta är en nödvändig förutsättning bl a för att nitrifikation skall erhållas i Nockebyverket)
- Nitrifiering av rejecktvattnet minskar dels mängden ammoniak och organiskt kväve till Nockebyverket samt möjliggör en extern tillförsel av nitrifikationsbakterier till Nockebyverket (underlättar nitrifikationen i Nockebyverket)

Behandlingen av rejecktvattnet skulle kunna bestå av följande delar:

- sedimenteringsbassäng
- flockningsbassänger med fällning med t ex trevärt järn
- separering av slammet med t ex flotation
- nitrifikationsanläggning

Nitrifikationsanläggningen skulle kunna utgöras av en aktivslamprocess eller roterande skivor. Om en aktivslamprocess utnyttjas kan det vara lämpligt att utnyttja finmald kalciumkarbonat som bärarmaterial för nitrifikationsbakterierna. Bildat nitrifikationsbakterieslam tillförs Nockebyverket.

Eftersom rejecktwaterflödet endast är en liten del av det totala flödet bör behandlingsdelen av rejecktvattnet kunna göras relativt liten och inte behöva medföra alltför stora kostnader.

FÖRBEHANDLINGSDEL

Enligt tidigare diskussion av Nockebydelen erfordras en god förbehandling för att Nockebydelen skall kunna ge nitrifikation och en hög fosforreduktion utan betydande ombyggnader. Detta uppfylls inte för närvarande (se nedan).

Komponent	Ungefärligt krav för att erhålla nitrifikation och en fosforhalt under 0,3 mg P/l i Nockebyverket	Nuvarande värden
Inert susp. mg/l	25-30	ca 60 (total susp. är 122 mg/l, varav hälften antages vara inert)
BOD ₇ , mg/l	60	83
Tot-P, mg/l	0,8	3,9
Org-N + NH ₄ -N, mg/l	20-25 (uppfylls om ca 35 % av- lägsnas vid förbehandl.)	-

Om inga stora ombyggnader skall göras i Nockebydelen måste förbehandlingen i Akeshov förbättras betydligt. Detta kan lämpligen göras med byte av fällningskemikalie, t ex användning av trevärt järn eller ev. kombinationen tvåvärt järn och kalk. För att få en god utflockning är det sannolikt nödvändigt att bygga flockningsbassänger (väl dimensionerade). Vid mycket höga flöden kan det vara lämpligt att förbättra flockningen med polymertillsats (tillsätts t ex under 5 % av tiden varvid polymerkostnaderna blir måttliga).

Trevärt järn är dyrare än tvåvärt järn. Till viss del kompenseras denna merkostnad av energivinster (mer organiskt material tillförs röt-kammaren och mindre organiskt material tillförs aktivslamprocessen så att luftbehovet minskas). Slamproduktionen minskar om organiskt material bryts ned anaerozt jämfört med aerob nedbrytning.

En förstärkning av reduktionen av föroreningar kan eventuellt erhållas vid recirkulering av slam från försedimenteringen till t ex sandfånet, förluftningen eller flockningsbassängerna. Tillsats av kalciumkarbonat har i vissa fall förbättrat utflockningen.

Det är även av intresse att undersöka om förbehandlingen kan ökas för vissa industrier. Speciellt gäller detta Pripps där en stor utjämnings-

bassäng skall byggas (uppehållstid knappt ett dygn). Med hjälp av t ex roterande skivor installerade i utjämningsbassängen borde en långtgående reduktion erhållas av organiskt material. Om slammet tillförs ledningsnätet finns det risk för svavelvätebildning. Om reningen vid Prippts drivs med partiell nitrifikation (eller nitrat tillförs avloppsvattnet) bildas inget svavelväte.

SAMMANFATTANDE DISKUSSION

En preliminär bedömning av lämplig reningsteknik för Åkeshov-Nockeby tyder på:

- 1 Separat behandling bör ske av alla rejektivattenströmmar från slambehandlingen för att minska tillförd mängd suspenderat material till Nockebydelen, för att minska mängden organiskt kväve och ammoniumkväve till Nockebydelen och för att alstra nitrifikationsbakterier som tillförs Nockebyverket (underlättar nitrifikationen).
- 2 Förbehandlingen i Åkeshovsdelen måste förbättras betydligt. Detta kan ske genom byte av fällningskemikalie (till t ex trevärt järn) och byggande av flockningsbassänger.
- 3 Det kan visa sig nödvändigt att förbättra reningen i Nockebydelen. Innan mer kostnadskrävande förändringar görs (t ex filter eller ytterligare sedimenteringsbassänger) bör undersökas möjligheter att utnyttja roterande skivor i luftningsbassängerna (förbättrar nitrifikationen och minskar slambelastningen på sedimenteringsbassängerna) eller använda s k "pebble-beds" för att förbättra separeringen i sedimenteringsbassängerna och ev. som bärarmaterial för järnbakterier.

Såväl slambehandlingsdelen (inkl. rejektivattenbehandling) och förbehandlingen bör i viss mån ses som separata avloppsverk som skall uppfylla vissa krav på rening. Detta innebär att möjligheter till god processuppföljning även bör finnas i Åkeshov (förstärkning av laborieresurser kan vara aktuellt).

Föreliggande rapport bör betraktas som preliminär där fortsatt utredningsarbete kan komma att förändra olika bedömningar.

LITTERATURFÖRTECKNING

Oakley, R.H. och Cripps, T. (1969): British practice in the tertiary treatment of wastewater. J. Water Pollution Control Federation, 41, 1, sid. 36-50.

Truesdale, G.A. och Birkbeck, A.E. (1967): Tertiary treatment processes for sewage works effluents. Wat. Pollut. Control, sid. 371-385.

White, J.B. (1978): Wastewater Engineering. Edward Arnold Publ. Ltd.

AKESHOV-NOCKEBY AVLOPPSRENINGSVRK.

STUDIER AV METODER ATT ERHÅLLA NITRIFIKATION OCH LÅNGTGAENDE
REDUKTION AV FOSFOR - SAMMANFATTNING OCH REKOMMENDATIONER

BAKGRUND

Förslag till villkor för reningseffekten från SNV

I ett yttrande från SNV angående villkor för fortsatt utsläpp av avloppsvatten från Åkeshov-Nockeby avloppsreningsverk föreslås följande resultat:

-
- Minst 80 procents reduktion med avseende på ammoniumkväve och organiskt bundet kväve (N^{-3})
- Resthalt BOD_7 i det behandlade avloppsvattnet: högst 10 mg/l
- Resthalt totalfosfor i det behandlade avloppsvattnet: högst 0,3 mg P/l

Målsättning med utredningen

På uppdrag av Stockholms vatten- och avloppsverk har Bengt Hultman, VAV, studerat metoder att erhålla nitrifikation och en långtgående reduktion av fosfor. Huvudintresset inriktades härvid på att utifrån litteraturstudier och beräkningar ta fram sådana processsystem som kan ge nitrifikation och långtgående fosforreduktion utan att omfattande och dyrbara ombyggnader behöver göras vid Åkeshov-Nockeby avloppsreningsverk. Målsättningen har varit att föreslå åtgärder skall medföra ett lägre investeringsbehov än t ex utbyggnad av sex nya eftersedimenteringsbassänger eller kontaktfiltär och inte medföra alltför stora öknings av driftkostnaderna eller skötselbehovet.

Arbetets genomförande

- Ettapp 1: Genomläsning av handlingar rörande Åkeshov-Nockeby
- Ettapp 2: Preliminär bedömning av lämplig reningsteknik (inlämnades som bilaga 1 till Stockholms va-verk 1979-07-12)
- Ettapp 3: Kompletterande litteraturstudier

Etapp 4: Kontakter med olika experter bl a:

- Dr R. Kühn, Institut für Wasser-, Boden- und Lufthygiene (angående användning av järnbakterier för fosforreduktion och inverkan av kalciumkarbonat på nitrifikationen)
- Dr M. Boller och R. Schertenleib, EAWAG, Schweiz (angående utbyggnadsplaner med nitrifikation och kontaktfilter för avloppsverk i närheten av Zürich)
- Dr B.A. Heide, TNO, Delft (angående nitrifikation)
- Dr C. Lue-Hing, Dr T.B.S. Prakasam och Dr D.R. Zenz, Chicago (angående nitrifikation speciellt av rötslamvatten)
- Carmen Guarino m fl, Philadelphia Water Department (angående nedsänkta roterande skivor i luftningsbassänger)
- Prof. W.K. Johnson, Metropolitan Waste Control Commision, Twin Cities Area (angående nitrifikation)
- Alan Hais, EPA, Washington (angående utvecklingstendenser för nitrifikation och fosforreduktion i USA)
- Dr M. White, WRC, Stevenage (angående ytfilter och användning av fluidiserade bäddar för nitrifikation)
- Univ. lektor Gustaf Olsson, inst. för Reglerteknik, LTH, (angående modellering av nitrifikationsförlopp)
- Lars Hallén, NOVA (angående ytfilter)

Etapp 5. Utformning av sammanfattningsrapport (föreliggande rapport)

Etapp 6. Kompletterande material (ännu inte avslutat; se nedan)

Kompletterande material

Föreliggande sammanfattningsrapport redovisar mer schematiskt förslag till lämplig processteknik för erhållande av nitrifikation och en långtgående fosforreduktion. Som grund för olika ställningstagande i sammanfattningsrapporten föreligger:

- Kopior på artiklar som varit av central betydelse vid bedömning av lämplig processteknik
- Rapport där olika artiklar bearbetats och tillämpats på Åkeshov-Nockeby (ännu inte avslutat)
- Rapport angående inverkan av suspenderat material och extern tillförsel av nitrifikationsbakterier på nitrifikationen i en aktivslamprocess (genomförs av Gustaf Olsson, inst. för Reglerteknik, LTH; arbetet ännu inte avslutat)

SYNPUNKTER PÅ UPPSTÄLLDA VILLKOR FÖR RENINGSEFFEKTEN FRÅN SNV

Reduktion av kväve (organiskt bundet kväve och ammoniumkväve)

Nitrifikation erhålles lättast vid hög vattentemperatur. Under tiden augusti-oktober är recipienten mest känslig för syreunderskott. Det kan därför vara lämpligt att ha olika krav på reduktionen av N^{3-} vid olika årstider t ex:

- | | |
|---------------------------|--------|
| - juli-oktober | ca 80% |
| - april-juni och november | ca 60% |
| - december-mars | ca 40% |

BOD₇

Kravet bör avse BOD₇ med nitrifikationshämmare (t ex ATU) och avse medelvärde för en längre tidsperiod (t ex ett kvartal)

Tot-P

Kravet bör avse medelvärdet för en längre tidsperiod (t ex ett kvartal)

VAL AV LÄMPLIG PROCESSTEKNIK

Konventionell processteknik

För närvarande finns i drift och konstrueras reningsverk vilka kan ge reningsresultat bättre än 80% reduktion av N^{3-} , och utgående halter av BOD₇ på 10 mg/l och totalfosfor på 0,3 mg/l. Användning av sådan processteknik skulle dock leda till mycket stora investeringar för Åkeshov-Nockeby vilket skall illustreras med exempel.

Alternativ 1

Vid Chicagos west-southwest treatment plant utnyttjas nitrifikation i ett steg. Med nuvarande reningsteknik vid Akeshov-Nockeby skulle erforderlig uppehållstid i luftningsbassängen behöva ökas från ca 3,7 h till minst 6 h för att nitrifikation skulle erhållas och sannolikt skulle även nya sedimenteringsbassänger behöva byggas. En förbättrad fosforreduktion skulle kunna åstadkommas med hjälp av efterfällning eller kontaktfilter.

Alternativ 2

Vid t ex Roanoke water pollution control plant utnyttjas två på varandra följande aktivslamprocesser där avsikten är att den sista aktivslamprocessen skall medföra nitrifikation. För att erhålla en långtgående fosforreduktion utnyttjas efterfällning följt av filtrering.

Alternativ 3

Vid Zürich planeras att utnyttjas processkombinationen simultanfällning direkt följt av ett nitrifikationssteg (biobädd) och kontaktfilter.

Förslag till processsystem för Akeshov-Nockeby

Konventionell processteknik för att erhålla nitrifikation och en långtgående fosforreduktion skulle medföra att mycket stora investeringar skulle erfordras för att erhålla såväl nitrifikation som en förbättrad fosforreduktion. Av detta skäl kommer ett modifierat processsystem att föreslås som inte tidigare byggts men vars olika delsteg bygger på teknik som studerats eller håller på att byggas i full skala. Stor vikt har lagts på att processsystemet skall vara driftsäkert.

Föreslaget processsystem visas i figur 1 där även nuvarande processsystem i Akeshov-Nockeby har uppritats. Föreslagna förändringar jämfört med nuvarande processsystem är främst:

- 1 Flockningskammare byggs före försedimenteringen (ungefärlig uppehållstid 20-30 min)
- 2 Istället för tvåvärt järn användes trevärt järn eller aluminiumsulfat som fällningskemikalie

För inkommande avloppsvatten till Åkeshov-Nockeby gäller approximativt:

Halt suspenderat material: 310 mg/l

Halt BOD₇: 180 mg/l

Halt COD: 410 mg/l

Halt totalfosfor: 8,9 mg/l

Halt totalkväve: 35 mg N/l

Efter behandlingen med kemisk fällning med trevärt järn eller aluminiumsulfat bör ungefär följande utgående halter kunna erhållas:

Halt suspenderat material: 30 mg/l

Halt BOD₇: 70 mg/l

Halt COD: 150 mg/l

Halt totalfosfor: 0,6 mg/l

Halt totalkväve: 25 mg N/l

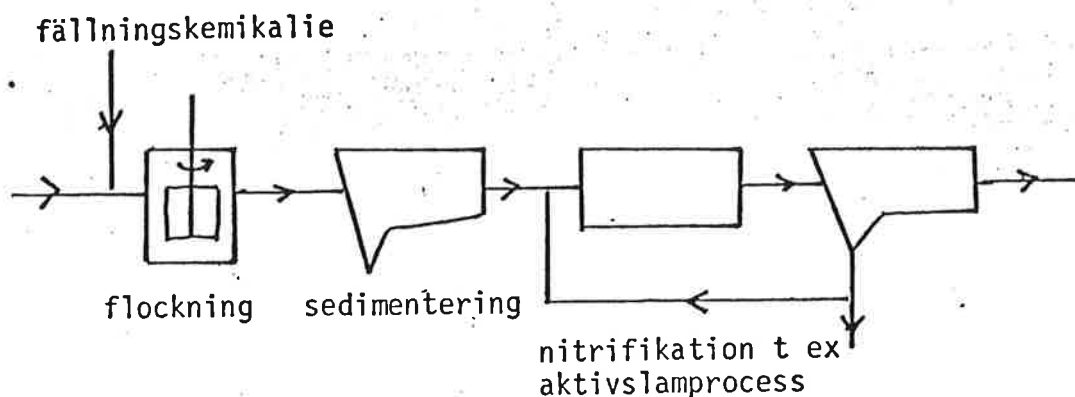
Behandling av rejektivatten

Separatbehandling avses ske för rejektivatten från såväl förtjockningen som från avvattningen. Motivet för att separat behandla rejektivattnet från förtjockningen är att säkerställa att ingen betydelsefull mängd av suspenderat material tillförs aktivslamprocessen från förtjockningssteget, så att nitrifikationen i aktivslamprocessen underlättas. Behandlingen av rejektivattnet från förtjockningen avses ske med hjälp av tillsats av fällningskemikalie, flockningssteg och avskiljningssteg med t ex sedimentering. Eftersom vattenflödet från förtjockningen endast är några % av inkommande flödet har investerings- och driftkostnaderna bedömts vara måttliga.

Rejektivattnet från avvattningen avses behandlas med följande steg (figur 2)

- 1) Tillsats av fällningskemikalie
- 2) Flockning
- 3) Avskiljning, t ex med hjälp av sedimentering
- 4) Nitrifikationssteg

Olika litteraturstudier tyder på att rejektivatten från avvattning av rötslam kan nitrifieras med hjälp av aktivslamprocessen eller med hjälp av biorotor. Nitrifikationen i aktivslamprocessen kan underlättas om kalciumkarbonat och utfällda järnföreningar användes som bärarmaterial för nitrifikationsbakterierna. Även användning av "SURFACT" (biorotorer



Figur 2. Behandlingssystem för rejecktatten från avvattning av rötslam

nedsänkta i aktivslamprocessens luftningsbassäng) kan vara lämplig för att åstadkomma nitrifikationen.

Motiv för att separat behandla rejecktattnet från avvattningen av rötslammet är främst:

- Minskning av suspenderat material och andra föroreningar (underlättar nitrifikationen i aktivslamprocessen i Nockeby)
- Nitrifikationen kan lätt kontrolleras för rejecktattnet eftersom flödet är litet och temperaturen hög (underlättar möjligheterna att erhålla en hög total reduktion av N^{3-} för hela Akeshov-Nockeby-verket)
- Erhållet slam från nitrifikationssteget har en hög andel av nitrifikationsbakterier och externt tillförda nitrifikationsbakterier underlättar nitrifikationen i aktivslamprocessen i Nockeby

Kostnaderna för behandlingen av rejecktattnet vid avvattningen av rötslammet har bedömts vara rimliga. Vid Kuwahee Waste Water Treatment Facility i Knowville, Tennessee, byggs för närvarande kompletterande reningssteg. Därvid kommer rejecktattnet från rötningen kunna behandlas med hjälp av kemisk fällning, flockning, sedimentering och nitrifika-

STATIONÄR ANALYS AV NITRIFIERANDE
AKTIVSLAMANLÄGGNING

Gustaf Olsson
Institutionen för reglerteknik
Lunds tekniska högskola
22007 Lund

G. Olsson 800630

De levande organismerna representeras här av Heterotrofer (c_x) och de inerta av en variabel (c_z). Substrat förekommer

i två former, löst substrat (s) samt upplagrad massa (s_m).

Trådformiga eller dispersa bakterier är ej representerade i modellen.

Nitrifikation

Nitrifikationen antages representerad i två steg. I det första oxideras ammoniumkväve (s_n) till nitrit (no_2) genom

Nitrosomonas (c_{ns}) bakterier. I det andra steget oxideras

nitritet till nitrat (no_3) genom Nitrobacter (c_{nb})

bakterier.

Tillväxten för både Nitrosomonas och Nitrobacter antages följa Monodkinetik. Tillväxten av Nitrosomonas begränsas normalt av både syre och ammonium-kväve,

$$\mu_{ns} = \hat{\mu}_{ns}(T) \cdot \frac{C_o}{K_{nsO} + C_o} \cdot \frac{S_n}{K_{ns} + S_n}$$

och den maximala specifika tillväxten är en funktion av temperaturen, se EPA (1975).

På samma sätt begränsas tillväxten av Nitrobacter av syre och nitrit,

$$\mu_{nb} = \hat{\mu}_{nb}(T) \cdot \frac{C_o}{K_{nbO} + C_o} \cdot \frac{S_{n2}}{K_{nb} + S_{n2}}$$

där maximala specifika tillväxten är en funktion av temperaturen.

Ingen upplagring i flocken av kväve antages äga rum i modellen.

Reaktormodellen

Följande tillståndsvariabler ingår i modellen:

löst organiskt material (s)

upplagrad massa (s_m)

levande heterotrofer (c_x)

inerta organismer (c_z)

(löst syre)

ammonium-kväve (s_n)

nitrit-kväve (s_{n2})

nitrat-kväve (s_{n3})

Nitrosomonas (c_{ns})

Nitrobacter (c_{nb})

Inerta organismer har klumpats ihop i en variabel.

Förtjockarens roll kommenteras i nästa avsnitt.

tionssteg (aktivslamprocess). Kapitalkostnaderna för behandling av rejektivattnet har beräknats till \$1 miljon varvid totalt inkommande avloppsvattenflöde till anläggningen uppgår till ca 150.000 m³/dygn (något mer än för Akeshov-Nockeby). Driftkostnaderna utgörs främst av kemikaliekostnader vid kemisk fällning och energikostnader för luftningen.

Slutbehandling

Slutbehandlingssteget utgörs av aktivslamprocessen i Nockeby. Till denna doseras en lämplig fällningskemikalie (trevärt järn, aluminiumsulfat eller tvåvärt järn) så att ytterligare fosfor kan avlägsnas. Om föroreningshalten från olika rejektivatten försummas (motiverat av att separat rejektivattenbehandling införts) blir inkommande föroreningshalter till Nockebydelen desamma som för utgående vatten från förbehandlingen, dvs:

Halt suspenderat material: 30 mg/l

Halt BOD₇: 70 mg/l

Halt COD: 150 mg/l

Halt totalfosfor: 0,6 mg/l

Halt kväve i N³⁻-form: 25 mg N/l

Bedömning av möjligheter att uppfylla krav m a p N³⁻

Inkommande totalkvävehalt till Akeshov-Nockeby är ca 35 mg N/l och är i huvudsak i N³⁻-form. Med en 80 %-ig reduktion av N³⁻ skulle utgående halt från Nockebydelen högst få vara 7 mg N³⁻/l. På grund av upptagning av kväve i slam (motsvarande ca 3 mg N³⁻/l) vid aktivslamprocessen i Nockeby skulle en utgående halt av N³⁻ på 22 mg N/l förväntas från Nockebydelen om ingen nitrifikation ägde rum, motsvarande en reduktion av N³⁻ på ca 37%.

Om slamhalten i luftningsbassängen uppgår till ca 2.500 mg SS/l, uppehållstiden i luftningsbassängen uppgår till 3,7 h och slamproduktionen uppgår till ca 80 mg SS/l (räknat på hela flödet) så skulle slamåldern bli ca 5 dygn. Denna slamålder är något för låg för att säkerställa nitrifikation året om. Med användning av kontaktstabilisering och med hänsyn till extern tillförsel av nitrifikationsbakterier från rejektivattenbehandlingen bör dock följande grad av nitrifikation kunna säkerställas:

Månad	Bildad mängd nitratkväve i aktivslamsteget, mg N/l	Utgående mängd N ³⁻ från aktiv- slamsteget, mg N/l	Total reduktion av N ³⁻ i Akeshov- Nockeby-verket, %
juli-okt.	15	7	ca 80
april-juni och nov.	10	12	ca 60
dec.-mars	5	17	ca 40

För att förbättra nitrifikationen (säkerställa 80% reduktion av N³⁻ året om) kan det vara nödvändigt att t ex utnyttja biorotorer, som sänks ned i aktivslamprocessens luftningsbassäng ("SURFACT").

Bedömning av möjligheter att uppfylla krav m a p BOD₇

Med hänsyn till relativt hög slamålder och att andelen syreförbrukande material blir relativt låg i det suspenderade materialet bör halten av BOD₇ kunna understiga ca 10 mg/l (om nitrifikationshämmare används).

Bedömning av möjligheter att uppfylla krav m a p totalfosfor

Med hänsyn till att partiell nitrifikation utnyttjas bör läckage av fosfor från slam vara relativt liten i sedimenteringsbassängen. Den lösta halten fosfor skall antas understiga 0,2 mg P/l.

Inkommande totalfosforhalt till aktivslamprocessen är ca 0,6 mg P/l varför mängden suspenderad fosfor motsvarar 0,4 mg P/l. Andelen fosfor i det suspenderade materialet är ca $0,4/80 = 0,005$ mg P/mg SS. Vid en utgående halt av suspenderat material på 20 mg/l blir utgående halt av suspenderad fosfor 0,1 mg P/l och utgående halt av totalfosfor 0,3 mg P/l. Kravet på en högsta utgående halt av totalfosfor på 0,3 mg P/l bör därför kunna klaras.

En bättre reduktion av suspenderat material (och därmed av suspenderad fosfor) skulle kunna erhållas genom att utnyttja:

- Ytfilter som sänks ned i sedimenteringsbassängen (utvecklingsarbeten härom pågår vid NOVA och ett avloppsverk nära London)
- Grusbäddar ("Pebble-beds") som sänks ned i sedimenteringsbassängen
- Biobäddsmaterial t ex från Munters nedsänkt i sedimenteringsbassängen (används vid vattenverket San Carlos Park, Florida)

Ytterligare en förbättrad fosforreduktion skulle kunna erhållas om järnbakterier fick växa på det nedsänkta grusbädds- eller biobädds-materialet.

REKOMMENDATIONER

Villkor för reningseffekten

- 1 Kraven bör gälla som medelvärden för en längre tidsperiod, t ex ett kvartal
- 2 Kravet på BOD_7 bör gälla med tillsats av nitrifikationshämmare
- 3 Kravet på reduktion av N^{3-} bör variera med årstiden

Val av processteknik

- 1 Betydande insatser bör läggas på att ta fram ett nytt processsystem för nitrifikation och långtgående fosforreduktion än de konventionella system som för närvarande är i drift eller byggs
- 2 Detaljstudier bör ske av här föreslaget modifierat processsystem inkluderande
 - Byggande av flockningskammare före försedimenteringen
 - Användning av trevärt järn eller aluminiumsulfat istället för det tvåvärda järnet
 - Separat behandling av rejektivatten från förtjockare
 - Separat behandling av rejektivatten från avvattningen av rötslamvatten
 - Uppbyggnad av doserutrustning för fällningskemikalier vid aktivslamsteget i Nockeby

Lämplig experimentell FoU

- 1 Användning av "SURFACT" (biorotorer nedsänkta i aktivslamprocessen) för att nitrifiera rejektivatten från avvattning av rötslam och förbehandlat avloppsvatten
- 2 Inverkan av tillsats av kalciumkarbonat och tvåvärt järn på nitrifikationen av rejektivatten från avvattning av rötslam och förbehandlat avloppsvatten
- 3 Användning av ytfilter för att reducera halten suspenderat material från slutsedimenteringen.
- 4 Användning av järnbakterier för en förbättrad fosforreduktion

1980-06-30

STATIONÄR ANALYS AV NITRIFIERANDE
AKTIVSLAMANLÄGGNING

BILAGA: SIMULATION OF A COMPLETE MIX AERATOR
WITH CARBONACEOUS AND NITROGENEOUS
REMOVAL

GUSTAF OLSSON
INSTITUTIONEN FÖR REGLERTEKNIK
LUNDS TEKNISKA HÖGSKOLA
220 07 LUND

STATIONÄR ANALYS AV NITRIFIERANDE
AKTIVSLAMANLÄGGNING

Gustaf Olsson
Institutionen för reglerteknik
Lunds tekniska högskola
22007 Lund

SAMMANFATTNING

En stationär analys av en nitrifierande aktivslamanläggning presenteras. Syftet med arbetet är att belysa hur vissa fundamentala parametrar kan påverka graden av nitrifikation. I arbetet har speciellt belysts hur slamålder, förtjockning och temperatur påverkar nitrifikationen. Vidare har analyserats hur injicering av Nitrosomonas bakterier samt ökad suspkoncentration genom fällningskemikalier förändrar nitrifikationen. Injicering av kväveoxiderande bakterier kan ha en avgörande positiv effekt vid låga slamåldrar medan en ökad inkommande susp kan ge en stor försämring av nitrifikationen.

1. INLEDNING

Bakgrunden till detta arbete är frågesställningar vid reningsverket vid Nockeby - Åkeshov i Stockholm. För att ha en beredskap i konstruktionen i det fall att kväveborttagning skulle krävas vill man undersöka olika alternativa konstruktioner.

För att minimera ändringskostnaderna är det viktigt att beakta kopplingar till andra delprocesser inom anläggningen. En viktig sådan är slamåterföring, vilken bidrar med injicering av kvävebakterier. Dessa kan ha en positiv inverkan på graden av nitrifikation.

En matematisk modell bestående av nio processvariabler har utvecklats och simulerats. Simuleringarna har genomförts med programpaketet Simnon vid institutionen för reglerteknik, LTH, Lund. Modellen är beskriven närmare i avsnitt 2. I avsnitt 3 diskuteras förtjockarens inverkan. Körfallen presenteras i avsnitt 4 och resultaten av beräkningarna kommenteras i avsnitt 5.

2. DYNAMIKEN HOS AKTIVSLAMANLÄGGNINGEN

I föreliggande studie har en dynamisk modell utnyttjats för att räkna fram stationära betingelser för aktivslamanläggningen. Modellen baserar sig mycket på tidigare arbeten av Andrews (1974), Stenstrom (1975). Speciella studier på nitrifikation har företagits bl.a. av Poduska-Andrews (1974) och Murphy et al (1977). En god översikt har skrivits av Sharma et al (1977). Värden på flera kinetiska parametrar har hämtats från EPA (1975). Vidare har förf. förfinat modellen i samarbete med John Andrews, Univ. of Houston, Texas.

Den strukturerade modellen av aktivslamanläggningen* består av följande delfenomen:

- *nedbrytning av biologiskt nedbrytbart material, innehållande både organiskt material och kväve,

- *biosorption av organiskt material,

- *celltillväxt,

- *inverkan av sekundära parametrar, speciellt temperatur.

Luftningsbassängen har antagits vara totalomblandad. Vidare antages att syretillförseln är tillräcklig, varför syredynamiken har uteslutits. Ingen syrebegränsning i metabolismen förekommer alltså. Inverkan av pH, gifter eller andra sekundära parametrar har inte medtagits explicit i modellen.

Organiskt material

Modellen för organisk nedbrytning följer i stort sett Stenstrom (1975) med vissa modifikationer för metabolismen Olsson (1975):

- (1) Substratet penetrerar cellens membran genom en rent fysikalisk-kemisk process. Det borttagna substratet lagras i flocken (stored mass). Denna process äger rum inom 15-30 minuter om cellerna är i det rätta tillståndet.

- (2) Den upplagrade massan användes i metabolismen av de levande organismerna.

- (3) Organismerna brytes ned till inert massa.

G. Olsson 800630

De levande organismerna representeras här av Heterotrofer (c_x) och de inerta av en variabel (c_z). Substrat förekommer

i två former: löst substrat (s) samt upplagrad massa (s_m).

Trådformiga eller dispersa bakterier är ej representerade i modellen.

Nitrifikation

Nitrifikationen antages representerad i två steg. I det första oxideras ammoniumkväve (s_n) till nitrit (no_2) genom

Nitrosomonas (c_{ns}) bakterier. I det andra steget oxideras

nitritet till nitrat (no_3) genom Nitrobacter (c_{nb})

bakterier.

Tillväxten för både Nitrosomonas och Nitrobacter antages följa Monodkinetik. Tillväxten av Nitrosomonas begränsas normalt av både syre och ammonium-kväve,

$$\mu_{ns} = \hat{\mu}_{ns}(T) \cdot \frac{C_o}{K_{nsO} + C_o} \cdot \frac{S_n}{K_{ns} + S_n}$$

och den maximala specifika tillväxten är en funktion av temperaturen; se EPA (1975).

På samma sätt begränsas tillväxten av Nitrobacter av syre och nitrit,

$$\mu_{nb} = \hat{\mu}_{nb}(T) \cdot \frac{C_o}{K_{nbO} + C_o} \cdot \frac{S_{n2}}{K_{nb} + S_{n2}}$$

där maximala specifika tillväxten är en funktion av temperaturen.

Ingen upplagring i flocken av kväve antages äga rum i modellen.

Reaktormodellen

Följande tillståndsvariabler ingår i modellen:

löst organiskt material (s)

upplagrad massa (s_m)

levande heterotrofer (c_x)

inerta organismer (c_z)

(löst syre)

ammonium-kväve (s_n)

nitrit-kväve (s_{n2})

nitrat-kväve (s_{n3})

Nitrosomonas (c_{ns})

Nitrobacter (c_{nb})

Inerta organismer har klumpats ihop i en variabel.

Förtjockarens roll kommenteras i nästa avsnitt.

3. DEFINITION AV SLAMÅLDER SAMT FÖRTJOCKARENS ROLL

Eftersom endast stationära förhållanden skall undersökas kan en relativt enkel modell antagas för förtjockningen. Den utgöres helt enkelt av en konstant förtjockning. Klarningen lämnas utanför modellen, eftersom den inte är kopplad till systemets beteende i detta fall.

Aktuella förtjockningen beräknas utgående från storleken på en antagen slamålder. Med kunskap om slamåldern och uppehållstiden för luftningsbassängen kan förtjockningen beräknas i det aktuella fallet, se Olsson-Andrews (1978).

I litteraturen återfinnes flera olika definitioner av slamålder. Den definieras här som

$$t_x = \frac{\text{massan av slam i luftningsbassäng}}{\text{totalt utgående slam per tidsenhet}} \quad (3.1)$$

Den totala utgående mängden slam omfattar dels överskottsslam, dels suspenderat material i utgående vatten. Vidare antages att kvoten mellan aktiv massa och total slamkoncentration är de samma i luftningsbassäng och i utgående slam. Definitionen kan därför skrivas (se fig 1):

$$t_x = \frac{V \cdot c}{w \cdot Q \cdot c_r + (1-w) \cdot Q \cdot c_e} \quad (3.2)$$

där

c = slamkoncentration i luftningsbassängen

c_r = returslammets koncentration

c_e = koncentration av suspenderat material i utgående vatten

Den första termen i nämnaren utgör överskottsslammet, medan den andra är suspenderat material i utgående vatten.

I stationaritet kan en massbalans göras för slammet i sedimenteringsbassängen (se fig 1). Detta ger

$$(1+r) \cdot Q \cdot c - (1-w) \cdot Q \cdot c_e - r \cdot Q \cdot c_r - w \cdot Q \cdot c_r = 0 \quad (3.3)$$

Vidare uttryckes kvoten mellan returslammets koncentration och luftningsbassängens slamkoncentration som en konstant g . Storleken på g är tills vidare okänd, men är större än 1, d.v.s.

$$c_r = g * c \quad (3.4)$$

Insättes ekv (3.3) och (3.4) i (3.2) kan den senare förenklas till

$$t_x = \frac{V * c}{Q * (1 + r - r * g) * c} = \frac{T}{1 + r - r * g} \quad (3.5)$$

Av ekv (3.5) framgår, att slamåldern kan uttryckas enkelt i hydrauliska uppehållstiden för luftningsbassängen samt r och g . Returslamflödet och förtjockningen är kopplade till varandra och endast kombinationen av dem avgör storleken på slamåldern.

Observera, att hänsyn har tagits till oavsiktligt utgående slam genom klarningen.

I beräkningarna har slamåldern använts som en primär ingående parameter. Om denna tillsammans med uppehållstiden T väljes som ingående parametrar måste alltså åstadkommas en lämplig kombination av förtjockning och returslamflöde. Förtjockningen är i sin tur en funktion av både slamkoncentration och hydraulisk belastning, och därmed en funktion också av storleken på r .

Eftersom storleken på förtjockningen är okänd i varje enskilt fall utgår vi i diskussionen från slamåldern och visar sedan vilka tänkbara kombinationer av r och g som kan bilda en given slamålder.

I fig 2 visas slamåldern som funktion av förtjockningen vid några olika värden på returslamflödet r . Figuren illustrerar att slamåldern är en mycket känslig funktion av förtjockningen vid höga värden på slamåldern. Detta har avgörande konsekvenser vid störningar i slamkoncentrationen i luftningsbassängen.

Antag t.ex., att förtjockningen är ungefär 3 vid recirkulationen 0.5. Slamåldern blir då ca 240 tim, d.v.s. 10 dygn. Antag att slamhalten i luftningsbassängen sedan ökar, så att förtjockningen går ned 10 %. Vid en oförändrad recirkulation 0.5 blir då i stationaritet slamåldern endast 16 timmar! Skall slamåldern behållas måste således värdet på recirkulationen ändras också.

Orsaken till den stora känsligheten vid höga slamåldrar är den stora skillnaden i överskottsslamflöde och inkommande flöde. Endast en liten relativ förändring i inkommande flödet eller returslamflödet motsvarar en kraftig relativ förändring av överskottsslamflödet.

G. Olsson 800630

4. ANALYSERADE KÖRFALL

Sammanlagt har simulereta 32 olika körfall. De varierade parametrarna framgår av tabell 1.

En hög slamålder är en grundförutsättning för en fullständig nitrifikation. Fall med låg slamålder har undersökts för att analysera inverkan av stora susphalter (se 3).

Det fall som motsvarar inkommande BOD 30 mg/l skall simulera tvåstegs nitrifikation. Organiska reduktionen har antagits äga rum i ett första steg.

Eftersom temperaturen har stor inverkan på tillväxthastigheten har den här antagits vara 10 eller 15°.

Storheten NS-in motsvarar koncentrationen av Nitrosomonas organismer i inkommande vatten.

Vid kemikaliefällning ökar inkommande susphalten till luftningsbassängen. En sådan ökning med 50 mg/l simuleras.

5. ALLMÄNNA SLUTSATSER AV SIMULERINGARNA

I jämförelsen ingår 32 typfall. Helt naturligt kan bara begränsade slutsatser dragas av detta material. Modellen tillåter dock betydligt vidare variationer, och nya typfall kan lätt simuleras fram vid behov. Några typiska parametrars betydelse kan dock tydligt illustreras.

Slamåldern

Slamåldern har varierats från 10 dygn (fall 1-16) till 5 dygn (fall 17-24), 3 dygn (fall 25-28) och 2 dygn (fall 29-32). Nitrifikationen blir naturligtvis fullständigare vid en högre slamålder. Detta framgår tydligt av koncentrationerna på nitrat och nitrit. Speciellt vid temp=15 och låg inkommande BS (fall 13-16) har oxidationen av kväve drivits långt.

Det är intressant att notera, att ganska stor nitrifikation också kan åstadkommas vid så låg slamålder som 3 dygn. Speciellt om man antar att organiskt material reducerats i ett tidigare steg blir oxidationen till nitrit ganska fullständig (fall 21-24).

Slamåldern 2 dygn är definitivt för låg. Ändå kan man konstatera (fall 29-30) att någon oxidation uppträder. Detta beror på injicering av Nitrosomonas i inkommande vatten (se nedan).

Temperatur

Man kan konstatera (tabell 3), att Nitrobacter har större specifik tillväxt än Nitrosomonas vid båda temperaturerna 10 och 15°. Vid högre temperaturer växer Nitrosomonas snabbare, se EPA (1975).

Skillnaden i resultat av nitrifikationen på grund av temperaturen är förvånansvärt liten. Jämföres fall 1-5, 2-6, 3-7 o.s.v. ser man visserligen skillnader i ammoniumkoncentration, men de är inte stora. Även vid 10° sker således en tillfredsställande nitrifikation.

Inkommande inert susp

Många fall har simulerats, där resultatet av inkommande inert susp kan undersökas (c_{zi}). Jämföres i tur och ordning

fall 1-2, 3-4, o.s.v. är skillnaderna tydliga på susp-koncentrationen i luftningsbassängen. Nitrifikationen utvisar naturligtvis ingen skillnad. I praktiken kommer dock inert inkommande material att kraftigt kunna påverka

nitrifikationen. Detta har med förtjockningen att göra.

Såsom påpekats i avsnitt 3 är slamåldern mycket känslig för förtjockningsgraden vid högre slamåldrar. Om nu slamhalten ökar kraftigt torde förtjockningen också ändras kraftigt. I jämförelsen mellan fall 1 och 2 måste detta faktum hållas i minnet. Jämförelsen är bara sann om de verkliga slamåldrarna är lika.

Låt oss ta fall 6 som utgångspunkt. Antag att inert susp kommer in. Vi antar att slamåldern samtidigt går ned genom en förändrad förtjockning, till 120 tim. Då skall fall 6 jämföras med fall 18.

Inkommande BS

Två typfall har simulerats. I fallet BS (s) = 200 tänkes_i

kombinerad organisk borttagning och nitrifikation. I fallet BS = 30 tänkes nitrifikationen ske i en tvåstegs aktivslamanläggning.

Jämför nu fall 1-9, 2-10, etc. För den organiska reduktionen blir en viss skillnad i löst substrat. Mängden substrat i utgående vatten minskar, men inte i proportion till inkommande koncentration. Den procentuella reduktionen av substrat minskar således.

Koncentrationen av kvävebakterier ökar vid en minskande BS-koncentration i ingående vatten. Detta beror på, att mängden Heterotrofer har minskat. Därmed har konsumtionen av ammonium minskat och mer ammoniumkväve finns tillgängligt för Nitrosomonas. Därmed drivs också oxidationen av kväve längre.

Injicering av Nitrosomonas

Injicering av kvävebakterier Nitrosomonas ger intressanta verkningar. Speciellt märks detta vid låga slamåldrar, t.ex. fall 29-32. Vid slamåldern 2 dygn sker praktiskt taget ingen tillväxt av Nitrosomonas eller Nitrobacter. Den mängd som kommer in cirkuleras alltså runt i systemet och oxiderar ammoniumkvävet.

Vid slamåldern 10 dygn är inverkan av injiceringen mindre. Naturligtvis ökar en injicering hela tiden graden av oxidation av kvävet.

6. REFERENSER

(1) Andrews, J.F. "Dynamic models and control strategies for wastewater treatment processes". Review paper, Water Res., 1974, 8, 261-269.

(2) EPA "Process design manual for nitrogen control". US Environmental Protection Agency, Oct. 1975.

(3) Murphy, K.L., Sutton, P.M. and Jank, B.E. "Dynamic nature of nitrifying biological suspended growth systems". Prog. Water Tech., 1977, 9, 279-290.

(4) Olsson, G. "Activated sludge models Rep. 7511, Dept of Automatic Control, Lund Inst. of Tech., Lund, 1975.

(5) Olsson, G. and Andrews, J.F. "The dissolved oxygen profile - a valuable tool for control of the activated sludge process". Water Res., 1978, 12, 985-1004.

(6) Poduska R.A. and Andrews, J.F. "Dynamics of nitrification in the activated sludge process". Proc. 29th Ann. Ind. Waste Conf., Purdue Univ., Lafayette, Ind., 1974.

(7) Sharma, B. and Ahlert, R.C. "Nitrification and nitrogen removal". Water Res., 1977, 897-925.

(8) Stenstrom, M.K. "A dynamic model and computer compatible control strategies for wastewater treatment plants". PhD thesis, Dept. of Environmental Systems Engineering, Clemson Univ., Clemson, S.C. 1975.

TABELL 1.

BESKRIVNING AV VARIERADE INGANGSPARAMETRAR

fall	slam- ålder t_x	BODin s_i	temp	NS-in	slam-in c_{zi}
------	-------------------------	----------------	------	-------	---------------------

1	240	200	10	0.7	50
2					0
3				0	50
4					0
5			15	0.7	50
6					0
7				0	50
8					0
9		30	10	0.7	50
10					0
11				0	50
12					0
13			15	0.7	50
14					0
15				0	50
16					0
17	120	200	15	0.7	50
18					0
19				0	50
20					0
21		30		0.7	50
22					0
23				0	50
24					0
25	72	200		0.7	0
26				0	0
27		30		0.7	0
28				0	0
29	48	200	15	0.7	50
30					0
31				0	50
32					0

TABELL 2. STATIONÄRA VARIABLER

fall	s		C _x	C _z	S _n			S _{n2}	S _{n3}
	BOD	Stored	Living	Inert	NH4	Nitro- som.	Nitro- bact.	Nitrit	Nitrat
1	6.5	88	1655	3819	0.4	96	11	0.3	20.0
2	7.1	57	1655	1880	0.4	96	11	0.3	20.0
3	6.5	88	1655	3819	0.7	78	11	0.3	19.6
4	7.1	57	1655	1880	0.7	78	11	0.3	19.6
5	6.5	88	1655	3819	0.3	91	11	0.36	19.9
6	7.1	57	1655	1880	0.3	91	11	0.36	19.9
7	6.5	88	1655	3819	0.46	74	11	0.36	19.8
8	7.1	57	1655	1880	0.46	74	11	0.36	19.8
9	5.1	48	225	3115	0.42	111	13	0.33	23.8
10	5.5	20	230	1175	0.42	111	13	0.33	23.8
11	5.1	48	225	3114	0.76	92	13	0.33	23.4
12	5.4	20	231	1175	0.76	92	13	0.33	23.4
13	5.1	48	225	3114	0.33	105	13	0.36	23.8
14	5.4	20	231	1175	0.33	105	13	0.36	23.8
15	5.1	48	225	3114	0.46	89	13	0.36	23.7
16	5.4	20	231	1175	0.46	89	13	0.36	23.7
17	8.5	71	1340	2174	0.60	62	7.1	0.68	18.3
18	9.5	44	1341	862	0.60	62	7.1	0.68	18.3
19	8.5	71	1340	2174	1.13	49	7.0	0.66	17.8
20	9.5	44	1341	862	1.13	49	7.0	0.66	17.8
21	6.8	36	165	1751	0.67	75	8.9	0.69	23.0
22	7.5	11	168	439	0.67	75	8.9	0.69	23.0
23	6.8	36	165	1750	1.16	62	8.7	0.68	22.6
24	7.5	11	168	439	1.17	62	8.7	0.68	22.6
25	13	37	1059	363	1.74	41	4.2	1.7	15.3
26	13	37	1059	363	6.3	26	3.4	1.2	11.2
27	10.8	5.8	114	125	2.4	50	5.5	1.8	20.2
28	10.8	5.8	114	125	8.0	33	4.4	1.3	15.0
29	15.5	54	830	761	7.3	22	1.5	4.1	6.7
30	17.8	33	826	152	9.1	19	0.2	7.9	1.2
31	15.5	53	829	750	17.7	0.8	0.03	0.4	0.05
32	17.8	33	826	152	17.8	0.8	0.03	0.4	0.05

G. Olsson 800630

TABELL 3: KONSTANTER

Kinetikparametrar

Nitrosomonas:

temp	10	15	
μ_y	0.0122	0.0187	h^{-1}
k_{ns}	0.22	0.405	mg/l
d_{ns}	0.0052	0.0058	h^{-1}
$Y_{ns} = 0.147$			

Nitrobacter:

temp	10	15	
μ_y	0.0175	0.0248	h^{-1}
k_{nb}	0.30	0.625	mg/l
d_{nb}	0.005	0.005	h^{-1}
$Y_{nb} = 0.02$			

Heterotrofer:

μ_y	0.2	h^{-1}
K_x	0.15	(dim.löst)
Y_x	0.66	
d_x	0.015	h^{-1}
a_z	0.25	
a_n	0.084	

Reaktorparametrar:

θ	4 h	(uppehållstid = V/Q)
r	0.5	(recirculation)

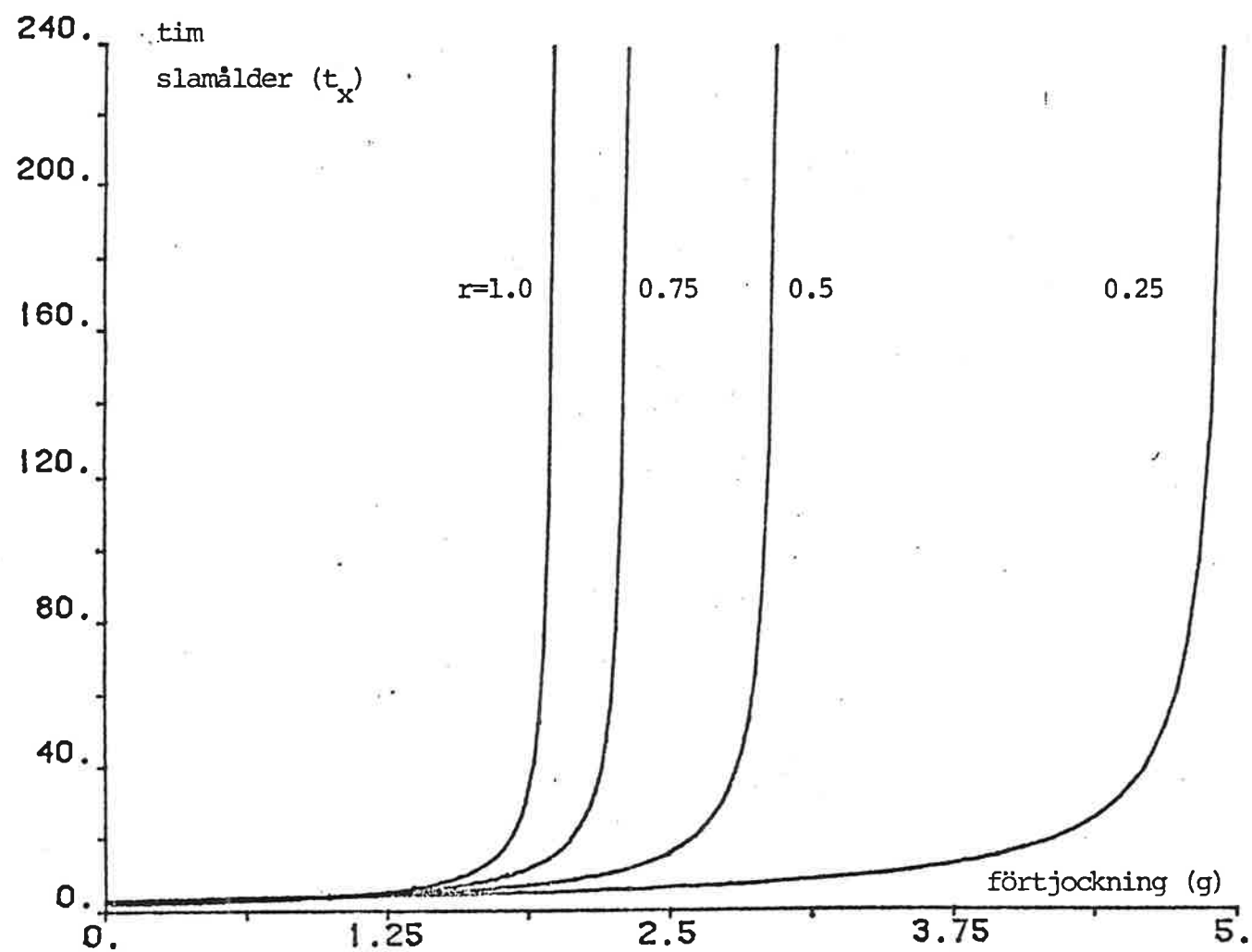


Fig. 2. Samband mellan slamålder och förtjockning vid konstant returslamflöde och uppehållstid (4 tim).

FÖRBEHANDLING

En förbättrad reduktion av föroreningar i Akeshovsdelen har en betydande effekt för att förbättra den totala reningseffekten i Akeshovs Nockeby-verket. Viktiga orsaker är bl a:

- En sänkning av inkommande fosforhalt till aktivslamsteget medför förbättrade möjligheter att erhålla en låg utgående halt av totalfosfor från Nockebydelen (jfr t ex diskussion på sid. 4 i stencil 1979-07-12)
- En sänkning av inkommande halt av suspenderat material till aktivslamsteget medför att nitrifikation betydligt lättare kan erhållas (jfr G. Olssons rapport sid. 10)
- En sänkning av halten av organiskt material medför att det är lättare att erhålla nitrifikation (jfr t ex sid. 3 i stencil 1979-07-12)

Olika uppfattningar finns i litteraturen om tvåvärt järn har en negativ effekt på nitrifikationen. Gujer och Boller (1978) erhöll vid pilot plant studier följande maximala tillväxthastigheter för *Nitrosomonas* vid 10 °C:

	$\mu_{\max}$
Förfällning med trevärt järn	0,33 h ⁻¹
Simultanfällning med trevärt järn	0,30 h ⁻¹
Konventionell aktivslamprocess	0,27 h ⁻¹
Simultanfällning med tvåvärt järn	0,23 h ⁻¹

Använd dos vid simultanfällning med tvåvärt järn var 13,5 g Fe²⁺/m³.

Vid pilot plant studier fann Valve (1979) att en tillsats av 100-130 g järnsulfat/m³ medförde en minskning av nitrifikationshastigheten med 35-41 % jämfört med en kontrollanläggning. Temperaturen var härvid 15,3-16,5 °C och slambelastningen 0,14-0,15 kg BS₇/kg org. slam, dygn. Vid korttidsförsök (13 dygn) erhöll Sawyer och Bradney (1945) däremot ingen negativ effekt av tvåvärt järn på nitrifikationen. Heide och Kampf (1978) har sammanställt olika studier där aluminiumsulfat haft en hämmande effekt på nitrifikationen. Vid tillsats av 2 g AVR/m³ (pH = 6,8-7,3) erhölls en ca 60 %-ig minskning av nitrifikationshastigheten jämfört med försök med simultanfällning med kalk.

mg ammoniumkväve/l tillföras aktivslamsteget. Olika fall med ingen extern tillförsel av nitrifikationsbakterier och med extern tillförsel av nitrifikationsbakterier (*Nitrosomonas*) jämförs. Inkommande halt *Nitrosomonas* har därvid valts till 0,7 mg/l. Med hänsyn till substratutbyteskoefficienten för *Nitrosomonas* som valts till 0,147 motsvarar detta en oxidation av ca 5 mg ammoniumkväve/l (eller att ca 5/30 eller 17 % av kvävehalten in till aktivslamsteget oxiderats externt).

Ett lämpligt sätt för extern oxidation av ammonium är behandling av rötslamvatten i ett nitrifikationssteg (eller behandling av rejektvatten från ett avvattningssteg med rötslam). Denna fråga har inte studerats i högre grad men av tillgängliga studier tycks inga tekniska svårigheter av betydelse föreligga (Lue-Hing m fl, 1975 och Prakasam m fl, 1977 och Brower m fl, 1979). Detta bekräftades även vid muntliga diskussioner med bl a Lue-Hing, Prakasam och Brower.

KOMPLETTERANDE RENING

Denna fråga skall inte närmare diskuteras. Nitrifikation kan t ex ske med hjälp av kompletterande avloppsvattenbehandling med hjälp av t ex biobädd, roterande skivor eller ev. fluidiserad bädd. Bildat slam kan avskiljas i ett kontaktfiler varvid även fosforreduktionen ökar betydelsefullt.

SAMMANFATTANDE DISKUSSION

I olika delrapporter har studerats frågan hur nitrifikation och en förbättrad fosforreduktion skall kunna erhållas vid Akeshov-Nockeby avloppsreningsverk. Därvid har inte närmare studerats de konventionella metoder, vilka idag är någorlunda väl kända (t ex utökad luftningsbassängvolym, utökad sedimenteringsbassängvolym, kompletterande rening i form av t ex tvåstegsbiologi och filter) utan sådana metoder har främst studerats vilka inte krävt betydande utbyggnadsbehov. Bedrivna studier kan därför ses som ett komplement till de studier som bedrivits vid Stockholms va-verk.

En djupgående analys av hur utbyggnaden borde genomföras vid Akeshov-Nockeby avloppsverk för att nå olika grader av reduktion av olika föroreningar skulle i princip ha bestått av:

- Matematisk beskrivning av reduktionen av olika föroreningar som funktion av olika åtgärder vid förbehandling, luftningsbassängdelen,

MIKROBIELLA REAKTIONSFÖRLOPP I EN AKTIVSLAMPROCESS MED TOTALOM-BLANDNING

INLEDNING

I det följande skall redovisas och diskuteras något utförligare den modell som beskrivs av Gustaf Olsson i "Simulation of a complete mix aerator with carbonaceous and nitrogenous removal". Redovisningen och diskussionen följer följande huvudavsnitt:

- Hydraulisk modell
- Materialbalanser för olika komponenter
 - a. Lösta komponenter
 - b. Slamburna komponenter
- Produktionsfunktioner
- Ingående parametrar i produktionsfunktionerna
 - a. Huvudparametrar
 - b. Parametrar som påverkar huvudparametrarna

HYDRAULISK MODELL

En aktivslamprocess kan drivas på ett flertal sätt så att luftningsbassängen drivs totalomblandad, med pluggflöde eller olika former av stegbeskickning (inkl. kontaktstabilisering). Ur modelleringssynpunkt är den totalomblandade luftningsbassängen lättast att beskriva och denna reaktortyp har valts.

MATERIALBALANSER FÖR OLIKA KOMPONENTER

En principskiss av en aktivslamprocess redovisas i det följande.

Beteckningar använda i modellen

- a_n = upptagen mängd ammoniumkväve per bildad mängd heterotrofer
- a_z = andel bildad inert substans vid nedbrytning av heterotrofer
- c_{NB} = halt Nitrobacter
- c_{NS} = halt Nitrosomonas
- c_T = total slamhalt
- c_x = halt heterotrofer
- d_{NB} = nedbrytningskonstant för Nitrobacter
- d_{NS} = nedbrytningskonstant för Nitrosomonas
- d_x = nedbrytningskonstant för heterotrofer
- f = förhållande mellan halt lagrat organiskt material och total slamhalt
- $\hat{f}$ = maximalt värde på f
- K_{NB} = mättnadskonstant för Nitrobacter
- K_{NS} = mättnadskonstant för Nitrosomonas
- K_s = mättnadskonstant för upplagring av organiskt material
- K_x = mättnadskonstant för heterotrofer
- s = halt organiskt material i lösning
- s_m = halt lagrat organiskt material
- s_{NB} = halt ammonium
- s_{NS} = halt nitrit
- Y_{NB} = substratutbyteskoefficient för Nitrobacter
- Y_{NS} = substratutbyteskoefficient för Nitrosomonas
- Y_x = substratutbyteskoefficient för heterotrofer
- μ_{NB} = tillväxthastighet för Nitrobacter
- $\hat{\mu}_{NB}$ = maximalt värde på μ_{NB}
- μ_{NS} = tillväxthastighet för Nitrosomonas
- $\hat{\mu}_{NS}$ = maximalt värde på μ_{NS}
- μ_s = substratupptagningshastighet för organiskt material
- μ_x = tillväxthastighet för heterotrofer
- $\hat{\mu}_x$ = maximalt värde på μ_x
- r_s = hastighetskonstant för substratlagring