

O - 114/73

To-verdig jern for rensing av
kommunalt avløpsvann.

Saksbehandler: Hans Kristiansen
Rapporten avsluttet: Mai 1974

INNHALDSFORTEGNELSE:

	Side
INNLEDNING	3
TEORI	3
Oksydasjon av to-verdig jern	3
Kolloidale løsninger	4
Hydrofobe kolloider	4
Utfelling av den ko-loidale fase	5
Fjerning av fosfater	7
EKSPERIMENTELT	10
DISKUSJON AV RESULTATER	12
KONKLUSJON	15
Tabell 1 - 2 - 3	17
" 4 - 5	18
" 6 - 7	19
" 8 - 9	20
" 10 - 11	21
" 12 - 13	22
Figur 1. Løselighet av jern og aluminium som funksjon av pH-verdi.	6
" 2. Koaguleringshastighet for jernsalter som funksjon av pH-verdi.	8
" 3. Koaguleringshastighet for aluminium-sulfat som funksjon av pH-verdi.	9
" 4. Restmengde jern i filtrat.	11

INNLEDNING

Kronos Titan A/S har henvendt seg til Norsk institutt for vannforskning (NIVA) for å søke å finne anvendelse for to-verdig jernsulfat som idag er et avfallsprodukt. Etter en samtale med laboratoriesjef Erik Lund den 4. juni 1973 ble det av avdelingsjef Peter Balmér laget et notat om bruk av to-verdig jern for rensing av kommunalt avløpsvann, datert 14. august 1973. I notatet ble det gitt et forslag med kostnadsramme for en laboratorieundersøkelse av fellingsbetingelsene. Dette ble godtatt av Kronos Titan A/S i brev av 20. august 1973.

TEORI

Oksydasjon av to-verdig jern.

To-verdig jernhydroksyd dannes bare i oksygenfritt vann. Bunnfallet som dannes er hvitt og det krever en forholdsvis høy pH-verdi på vannet. Kvantitativ utfelling regner man å ha først ved pH-verdier over ca. 10. Ved spor av oksygen i vannet blir bunnfallet grønnlig. Med mere oksygen blir bunnfallet mørkere og nærmest svart når det er mere oksygen, men likevel for lite til å oksydere alt jernet til tre-verdig. Det mørke bunnfallet skyldes at det dannes blandinger av to-verdig og tre-verdig jernhydroksyd. Med høyt oksygeninnhold i vannet oksyderes to-verdig jern til tre-verdig, og det dannes bunnfall av tre-verdig jernhydroksyd som er brunet. Betingelsen for fullstendig oksydasjon er at oksygenforbruket som medgår til oksydasjonen ikke er for stort. Videre må innblandingen av jernsulfatløsningen være så fullstendig at det ikke lokalt blir oksygensvikt i vannet slik at det dannes hydroksyder av jern med forskjellig oksydasjonstrinn.

Ved felling med jern kan man til en viss grad visuelt bedømme hvilke oksydasjonstrinn jernet i de utfelte hydroksydfnokker har.

Kolloidale løsninger.

En kolloidal-løsning er en dispersjon av et stoff løst i en meget finfordelt form i et løsningsmiddel. På grunn av at det dispergerte stoff har en meget stor overflate befinner det seg i en energirik tilstand. En dispersjon er ustabil og det dispergerte stoff streber etter å løpe sammen til større aggregater med mindre overflate og dermed en mindre energirik tilstand. Når det ikke skjer en spontan utfokking av den disperse fase, skyldes det krefter som motsetter seg en slik prosess. Av stabiliserende krefter har man en elektrisk oppladning av de kolloide partikler etter at disse omgir seg med vannmolekyler. Til den førstnevnte form for stabilisering hører de såkalte hydrofobe og til den sistnevnte form de såkalte hydrofile kolloider.

Hydrofobe kolloider.

På grunn av overflatevirkningen har partiklene i en kolloidal løsning en stor adsorpsjonsevne. Dersom denne adsorpsjonsevne fore en hydrofob kolloid er begrenset til en bestemt ioneart i løsningen, vil alle de kolloide partikler få samme ladning og dermed gjensidig frastøte hverandre. Den elektriske ladning hindrer at partiklene løper sammen til større enheter og er derfor en betingelse for kolloidale løsningers stabilitet. Denne oppladning kan bero på adsorpsjon av hydrogen- eller hydroksylioner fra vann, men den kan også bero på ioner av de molekyler som de kolloidale partikler er bygget opp av.

Rundt en partikkel i en suspensjon bygger det seg opp et dobbeltsjikt av ioner, slik at det oppstår et felt mellom den faste og den flytende fase hvor det er en stor variasjon i potensialet. Omkring en partikkel har vi et fast sjikt innerst og et mer diffust sjikt lenger ute. Potensialet mellom grenseflaten mellom disse to sjikt og løsningen kalles det elektroinetiske potensial eller zetapotensialet.

Størrelsen av zetapotensialet er et mål for den elektriske ladning pr. flateenhet som systemets dobbeltsjikt bærer, og som er de elektrostatiske

frastøtende krefter mellom partiklene. Prinsippet for måling av zeta-potensialet er basert på partiklenes mobilitet i et elektrisk felt.

Utfelling av den kolloidale fase.

Det kolloide stoff som er stabilisert ved oppladning vil bringes til koagulering når fnokkene utlades. Dette gjøres ved å tilsette motsatt ladede ioner. Løsninger av hydrofibe kolloider er generelt meget ømfindtlig overfor tilsetning av elektrolytter. Det er derfor forståelig at fler-verdige ioner på grunn av sin høyere ladning har et større ufnokkende evne enn er-verdig.

Naturlig forekomne kolloider er hydrofobe og har stort sett negativ ladning. Ved kjemisk rensing av vann tilsetter man vanligvis salt av et tre-verdig metallion. Dette har maksimal koagulerende virkning på de naturlige kolloider. Denne første fase av renseprosessen er meget viktig, og et godt resultat er avhengig av en maksimal innblanding av det tilsatte metallsalt, koaguleringsmidlet. Vannets pH-verdi er også avgjørende for om koaguleringsprosessen skal forløpe tilfredsstillende. Koaguleringsmidlet som enten kan være et salt av aluminium eller tre-verdig jern, hydrolyserer i vann. Det dannes fnokker av metallhydroksyder som adsorberer de naturlige kolloidene. For å få utfelt metallhydroksyder må vannets pH-verdi først og fremst ligge innenfor et område som gir tungløselige hydroksyder med det anvendte metallion. Fig. 1 viser løseligheten for jern og aluminium som funksjon av pH-verdien.

Innenfor det pH-område hvor koaguleringsmidlets hydroksyder er tungtløselige fins det et snevrere pH-område hvor fnokkdannelsen skjer med maksimal hastighet og hvor det er minimum av koaguleringsmiddel igjen i vannet etter behandlingen. Den optimale pH-verdi er avhengig av vannets ionesammensetning og da særlig forholdet mellom polyvalente positive og polyvalente negative ioner i vannet. Ved tilsetning av koaguleringsmiddel tilsettes også anioner. Det er derfor ikke likegyldig om koaguleringsmidlet er et salt av en enbasisk eller tobasisk syre.

Fig. 1 Löselighet av jern og aluminium som funksjon av pH-verdien

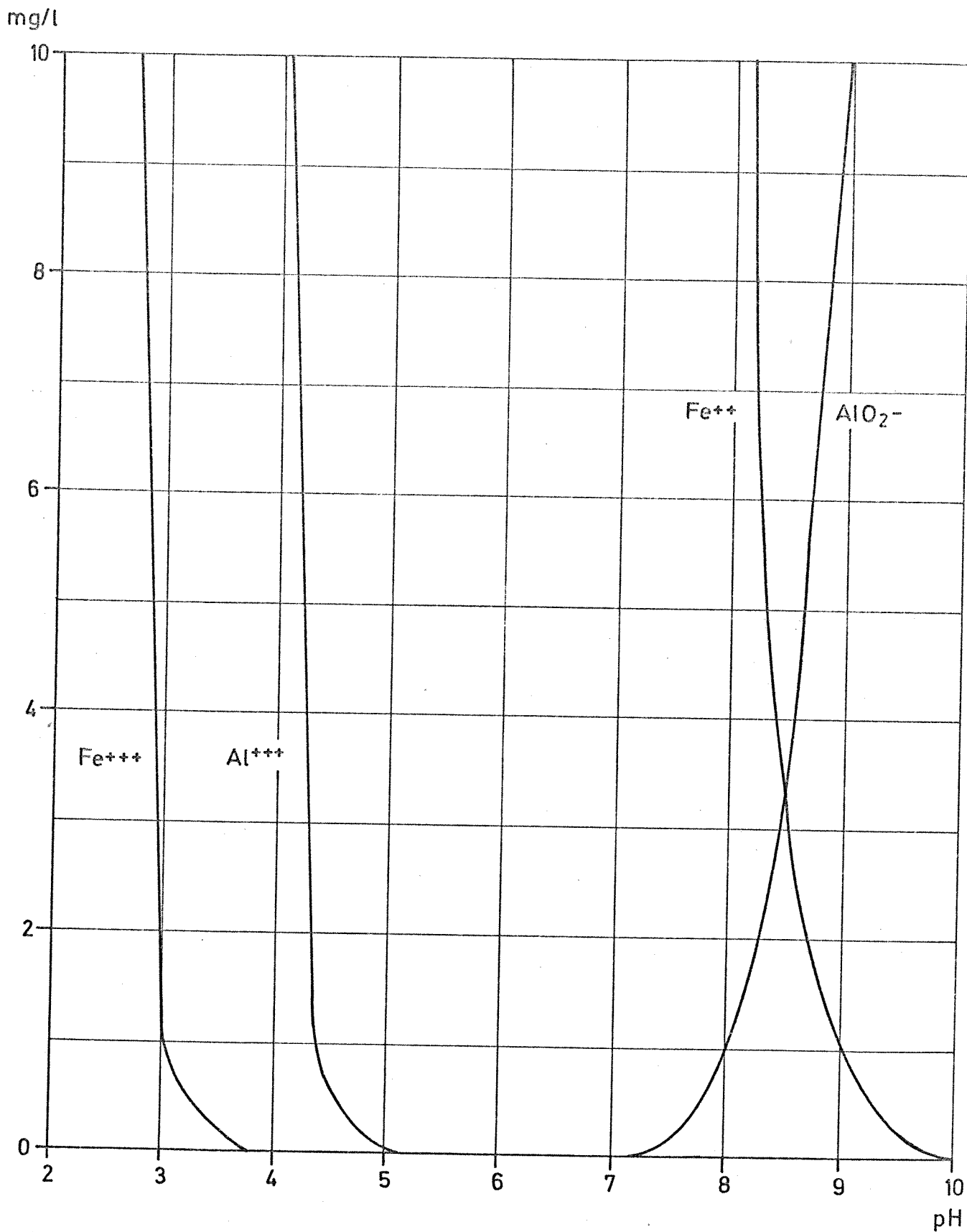


Fig. 2 viser hastigheten for dannelse av jernhydroksyder som funksjon av PH-verdien, når jernet tilsettes i form av sulfat og klorid.

Figur 3 viser koaguleringshastigheten for aluminiumsulfat som funksjon av pH-verdien.

Ved den pH-verdi som svarer til minimum for dannelse av hydroksydfnokker er deres ladninger akkurat kompensert. Det er kolloidenes isoelektriske punkt. Til venstre for minimumet er kolloidene positive i forhold til løsningen. På denne siden vil overskudd av negative polyvalente ioner påskynde utfellingen. Til høyre for minimumet er kolloidene negative i forhold til løsningen, og utfellingen av dem påskyndes av polyvalente, positive ioner.

Koagulering av positivt ladete partikler påskyndes av to-verdige og tre-verdige negative ioner som sulfater og fosfater. Fellingen foregår lettest i surt miljø. Av polyvalente, positive ioner er det bare to-verdige man i praksis har i vann, det vil si kalsium- og magnesiumioner, og koaguleringen foregår lettest i basisk miljø.

Opprinnelsen til de stoffer som skal elimineres er også av betydning. Suspensjoner av uorganiske stoffer fra en viss minimumskonsentrasjon lar seg lett flokkulere, og tilsetningen av flokkuleringsmiddel er ikke proporsjonal med innholdet av stoffer i suspensjon. Fjerning av organiske kolloider derimot krever et større forbruk av kjemikalier, og forbruket øker med mengden av de stoffer som skal fjernes. For fjerning av organiske kolloider kan det være nødvendig å regulere pH-verdien i to etapper. Den ene skal tilsvare det isoelektriske punkt for kolloider som skal fjernes, den andre har sammenheng med fellingsmidlets isoelektriske punkt.

Fjerning av fosfater.

Ved koagulering og flokkulering fjernes bare stoffer som foreligger i kolloidal form. En viss nedfelling av ioner vil finne sted, men den

Fig. 2 Koaguleringshastighet for jernsalter som funksjon av pH-verdien

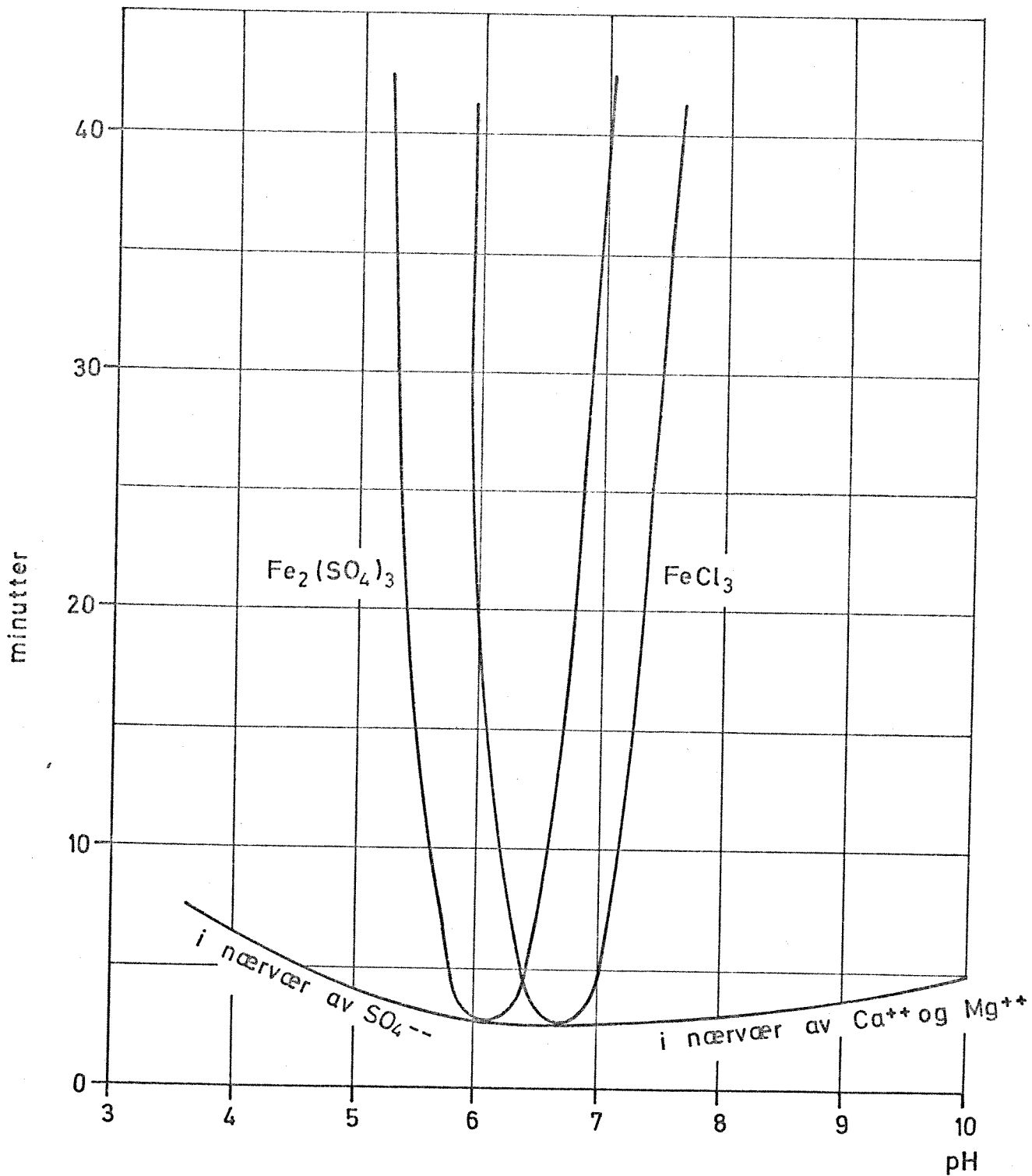
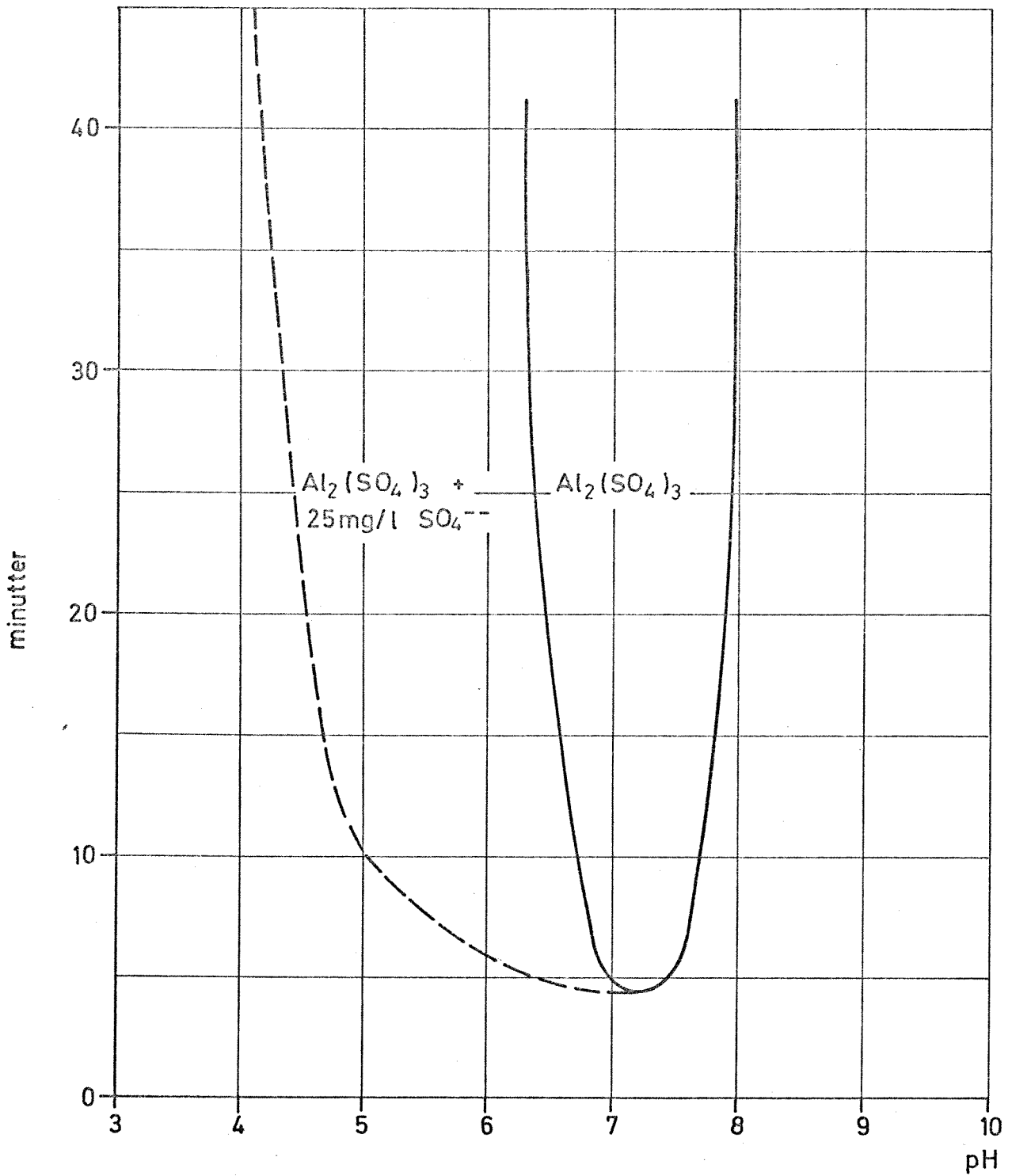


Fig. 3 Koaguleringshastighet for aluminiumsulfat som funksjon av pH-verdien



vil være så liten at man i praksis kan se bort fra den. Ved kjemisk rensing av avløpsvann vil bare fosfater i partikulær form bli fjernet. Fosfater i ioneform fjernes bare i den utstrekning de danner tungtløselige forbindelser med fellingsmidlet.

Fosforsyren danner foruten det normale også to sure salter. De sure saltene er generelt lettere løselige enn det normale og dannes i surt og nøytralt vann. Jo mere basisk vannet er, desto mere normale salter dannes det.

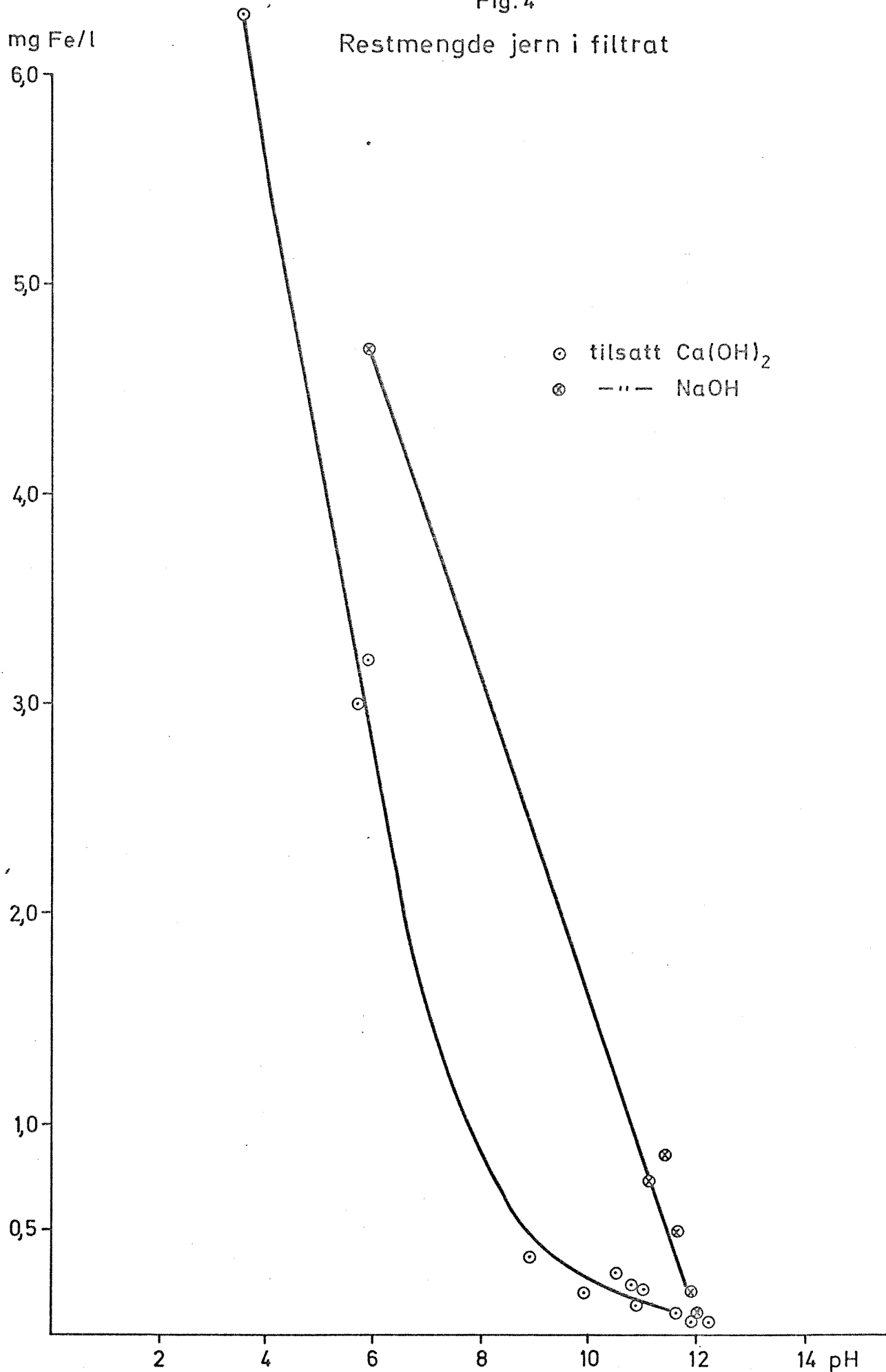
Av naturlig forekomne normale fosfater er kalsiumfosfatene de termodynamisk mest stabile. Kalsiumfosfatene har såkalt inkonguerente løselighetsforhold. Det vil si at de utfelte kalsiumfosfater er i likevekt med en løst fase som er surere enn den utfelte fase. Utfelte sure kalsiumfosfater vil derfor kontinuerlig omleires til mere basiske fosfater med stadig høyere kalsiuminnhold. Sluttproduktet i denne prosess er apatitt, og det er termodynamisk meget stabilt. Det er lite sannsynlig at denne langsomme oppbyggingen av apatitt vil ha noen betydning for fjerning av fosfor. Reduksjon av fosforinnholdet må enten bero på en koagulering av allerede utfelte fosfater eller ved å provosere en momentan utfelling enten ved tilsetning av kalsium eller ved å øke pH-verdien. Det er rapportert at det ved felling med to-verdig jern er påvist jern (II) fosfat i bunnfallet. For dannelsen av jern (II) fosfat kreves meget spesielle betingelser og det er derfor lite sannsynlig at det vil få noen betydning for fosforfjerningen.

EKSPRIMENTELT

Innledningsvis ble det gjort noen forsøk med å nøytralisere en to-verdig jernsulfatløsning med kalsiumhydroksyd og natriumhydroksyd. Prøver ble tatt ut ved forskjellige pH-verdier og filtrer. Jerninnholdet i filtratet ble bestemt og resultatene er fremstilt grafisk på figur 4. Avvikelsene i jerninnhold på prøver titrert med de to forskjellige alkaliseringsmidler skyldes virkningen av det positive ionet.

Fig.4

Restmengde jern i filtrat



Til fellingsforsøkene med kloakkvann ble det laget følgende løsninger:

Jernsulfat: Man regnet at jernsulfatet inneholdt 18 % Fe og det ble laget en løsning som inneholdt 10 mg Fe pr. ml. Denne oppløsning fikk et brunt bunnfall så det var tydelig jernet var delvis oksydert til tre-verdig.

Hydratkalk: Vanligvis tilsettes kalken i form av en "slurry". Det ble derfor laget kalkoppslamming som var ca. 10 ganger sterkere enn en mettet løsning.
Konsentrasjon: 10 mg Ca pr. ml.

Kalsiumklorid: Konsentrasjon 10 mg Ca pr. ml.

Til forsøkene ble brukt en laboratorieflokkulator eller "jar-test"-apparat med 6 l-listers begerglass for prøvene. Rørverket i begerglassene kunne innstilles på flere forskjellige hastigheter. Til hvert begerglass ble målt ut 1 liter kloakkvann og først ble hydratkalk og eventuelt kalsiumklorid tilsatt og deretter jernsulfat. Rørverket ble først innstilt på 100 omdreininger og gikk slik i 2 minutter for å få god innblanding av kjemikaliene. Deretter fikk rørverket gå i 20 minutter med 10 omdreininger pr. minutt. Prøver for analyse ble tatt ut etter 30 minutters henstand. Det ble først gjort fellingsforsøk med kloakkvann av lavt oksygeninnhold. Resultatene av analyse av vann fra disse serier er ført opp i tabell 1 til 6. Deretter noen forsøk med vann av høyt oksygeninnhold, og analysedata for forsøk utført med dette vannet er ført opp i tabell 7 til 13.

DISKUSJON AV RESULTATENE

Under alle forsøksseriene med vann av lavt oksygeninnhold fikk man utfelt et mørk grønnlig bunnfall. Det viste at jernet delvis ble oksydert til tre-verdig og fnokkene som ble dannet inneholdt en blanding av to-verdig og tre-verdig jernhydroksyd. Oksygeninnholdet ble bestemt med elektrode under den langsomme del av omrøringen.

De to første forsøksseriene ble utført på et forholdsvis "tynt" kloakkvann, det vil si mye oppblandet med regnvann. pH og turbiditet ble

bestemt på prøvene umiddelbart etter henstand og på forsøksseriene inntatt i tabell 1 til 5 ble jern og fosfor bare bestemt på filtrerte prøver.

Forsøkene i tabell 1 og 2 har begge hatt konstant jerntilsetning men med økende kalktilsetning. Turbiditeten avtar med økende pH-verdi og det samme gjør jerninnholdet i det filtrerte vannet. Det viser at det er to-verdig jernhydroksyd som dominerer som koaguleringsmiddel. Man får bedre utfelling desto høyere pH-verdien er.

Forsøksseriene som refereres til tabell 3, 4 og 5 ble utført på mere normalt kloakkvann. På disse serier ble foruten jern også fosforinnholdet bestemt på filtrerte prøver. Karboninnholdet ble bestemt på ufiltrerte prøver og det organiske karboninnhold fremkommer som forskjellen mellom det totale og det uorganiske karboninnhold.

Forsøksserie i tabell 3 ble utført med økende jerninnhold og man søkte å holde pH-verdien konstant. Både turbiditet, fosfor og restkonsentrasjon av jern avtar med økende jerntilsetning mens innholdet av organisk stoff i vannet ikke avtar i tilsvarende grad. Ser man på forholdet mellom jern og fosfor så er det forholdsvis konstant for de fleste prøver. Det er derfor lite sannsynlig at det dannes to-verdig jernfosfat i den grad at det vil ha betydning for fosforfjerningen.

For forsøkene i tabell 4 har man konstant jerntilsetning og økende kalktilsetning. Her avtar turbiditet, restjern og fosforinnhold med økende pH-verdi, mens reduksjonen i organisk stoff ikke er så markant.

For forsøksserie i tabell 5 har man i tillegg til jern og hydrat-kalktilsetningen også tilsatt økende mengder kalsiumklorid til vannet for å få et høyere innhold av to-verdige ioner i kloakkvannet. Resultatet har gitt seg utslag i en noe lavere turbiditet og et lavere fosforinnhold i vannet.

For serien i tabell 6 hadde råkloakken opprinnelig høyt oksygeninnhold, men ved henstand over natten sank oksygeninnholdet. På denne serie ble en mere omfattende analyse utført og alle analyser, unntatt for en ekstra jernbestemmelse ble utført på ufiltrerte prøver.

Analysen viser at med hensyn til turbiditet og fosforinnhold er reduksjonen størst for de høyeste jerntilsetninger og for den høyeste jerntilsetningen tiltar reduksjonen med økende hydratkalktilsetning. Det er liten sammenheng mellom turbiditet og kjemisk oksygenforbruk (KOF). Jerninnholdet i de ufiltrerte prøver er forholdsvis høyt i forhold til jern i filtrerte prøver. Det er mulig at en lengere henstand vil ha gitt bedre sedimentering, og det er mulig at dette også er årsak til den dårlige sammenheng mellom turbiditet og KOF.

Ved forsøkene med oksygenmettet kloakkvann, ble det først foretatt en serie med økende jerntilsetning og hvor man søkte å holde pH-verdien konstant med hydratkalktilsetningen. Analyseresultater for serien fremgår av tabell 7.

Det fremgår av resultatene at oksygeninnholdet avtar med jerntilsetningen. En visuell bedømmelse av de dannede fnokker indikerte at det bare var ved den høyeste jerntilsetningen at man fikk bunnfall av to-verdig jern. I de øvrige testglass fikk man brune fnokker som tydet på en momentan oksydasjon av to-verdig jern til tre-verdig. Det ble bare tatt full analyse av de prøver som hadde lavest turbiditet og av resultatene fremgår at rensingen øker med økende jerntilsetning.

Tre-verdig jernhydroksyd felles kvantitativt ved lavere pH-verdi enn to-verdig. Ved de neste forsøksserier (tabell 8 og 9) søkte man lav pH-verdi ved fellingen, men som det fremgår av resultatene er rensingen dårlig ved de lave pH-verdier. De neste forsøksserier fikk man ny kloakkvannstype og denne ga bedre utfelling ved lavere pH-verdier enn den foregående (tabell 10 og 11).

Det ble utført en forsøksserie med lave jerntilsetninger (tabell 12). For denne ser det ut til at utfellingen blir dårligere med økende pH-verdi.

Til slutt ble det utført en serie forsøk hvor kloakkvannet i tillegg til jern og hydratkalk også ble tilsatt kalsium. Resultatene av analysene er ført opp i tabell 13. Sammenlikner man disse resultater med resultatene i tabell 11 og 12 fremgår det at man har fått en vesentlig forbedring av renseeffekten med hensyn til fosfatfjerning ved kalktilsetning, og fellingen foregår ved en lavere pH-verdi.

For samtlige forsøk med kloakkvann av høyt oksygeninnhold gjelder at jerninnholdet i ufiltrerte prøver er vesentlig høyere enn i filtrerte prøver, et forhold som antakelig ville ha forbedret seg om henstandstiden hadde vært lenger. Med hensyn på KOF er reduksjon liten. Det er mulig at også dette har med henstandstiden å gjøre, men det kan også være at kloakkvannet inneholder organiske stoffer som ikke lar seg koagulere.

KONKLUSJON

Ved bruk av to-verdig jernsulfat som koaguleringsmiddel for kloakkvann, må man skille mellom om vannet har høyt eller lavt oksygeninnhold. For vann med lavt oksygeninnhold er man nødt til å foreta felling ved høy pH-verdi. Dette vil kreve forholdsvis store tilsetninger av kjemikalier og fellingsresultater vil derfor være mere uavhengig av utgangsvannets ionesammensetning for øvrig. Den høye pH-verdi på det rensede vann vil i mange tilfeller få konsekvenser for resipienten.

For felling av vann med høyt oksygeninnhold blir to-verdig jern umiddelbart oksydert til tre-verdig. Utfellingen vil derfor kunne foregå ved lavere pH-verdier. En tilsetning av jern i form av sulfat gir vannet et ekstra tilskudd av sulfat. I distrikter hvor

drikkevannet er bløtt vil dette influere på koaguleringen slik at renseeffekten blir dårlig. Det er derfor andre faktorer som innvirker på utfellingen enn bare pH-verdien. Hver enkelt vanntype krever sine bestemte betingelser for optimal utfelling. Det gjelder derfor å finne de tilsetninger som gir best mulig resultat for hvert enkelt tilfelle.

Tabell 1.

Tilsetning:						
Fe mg/l	10	10	10	10	10	10
Hydratkalk mg Ca/l	10	15	20	30	40	50
pH	7,3	8,1	9,3	9,0	9,4	9,8
mg O ₂ /l	1,25	1,3	2,1	1,25	1,2	1,6
Turb. JTU	48	38	42	27	22	22
Fe mg/l	2,3	1,3	1,7	0,66	0,7	0,64

Tabell 2.

Tilsetning:						
Fe mg/l	10	10	10	10	10	10
Hydratkalk mg Ca/l	15	20	25	30	35	50
pH	8,1	8,7	9,0	9,2	9,4	9,7
mg O ₂ /l	1,0	1,2	1,3	1,4	1,5	1,4
Turb. JTU	40	30	23	23	20	27
Fe mg/l	2,1	0,73	0,82	0,61	0,64	0,62

Tabell 3.

Tilsetning:						
Fe mg/l	10	20	30	40	50	100
Hydratkalk mg Ca/l	70	70	70	100	100	100
pH	9,1	9,4	9,4	9,6	9,4	8,8
mg O ₂ /l	0,7					0,5
Turb. JTU	67	55	42	28	25	26
Fe	2,7	1,0	0,9	0,7	0,4	0,9
Tot P mg P/l	2,3	1,0	0,8	0,5	0,4	0,3
Tot C mg C/l	113	86	78	63	66	62
Uorg C mg C/l	38,5			30,5		32,5

Tabell 4.

Tilsetning:						
Fe mg/l	50	50	50	50	50	50
Hydratkalk mg Ca/l	50	60	80	100	120	140
pH	8,4	8,6	9,2	9,5	9,6	9,8
mg O ₂ /l	0,6					0,4
Turb. JTU	65	52	40	27	24	19
Fe mg Fe/l	1,8	1,0	0,43	0,54	0,48	0,35
Tot P mg P/l	0,23	0,32	0,39	0,35	0,13	0,08
Tot C mg C/l	68	66	63	58	46	45
Uorg C mg C/l	38		32			33

Tabell 5.

Tilsetning:						
Fe mg/l	50	50	50	50	50	50
Hydratkalk mg Ca/l	120	120	120	120	120	120
Kalsium klorid mg Ca/l	25	50	75	100	150	200
pH	9,6	9,6	9,6	9,6	9,6	9,6
mg O ₂ /l	0,6					0,4
Turb. JTU	29	35	26	19	17	17
Fe mg Fe/l		0,38	0,41	0,35	0,24	0,25
Tot P mg P/l		0,16	0,12	0,08	0,06	0,07
Tot C mg C/l	59	53	58	40	36	39
Uorg C mg C/l	20		22			20

Tabell 6.

Tilsetning:							Rå-
Jernsulfat mg Fe/l	30	30	30	50	50	50	kloakk
Hydratkalk mg Ca/l	60	80	100	60	80	100	
pH	9,4	9,8	10,0	9,2	9,6	10,0	7,9
Oksygen mg O ₂ /l	1,6	1,7	1,7	0,7	0,6	0,6	11,5
Turbiditet JTU	33	33	32	23	21	17	68
KOF mg O/l	75	18	86	82	82	195	251
Fosfor total mg P/l	1,4	1,3	1,4	0,8	0,7	0,5	5,2
Fosfat-orto mg P/l	1,0	0,9	1,0	0,6	0,5	0,4	3,7
Jern mg Fe/l	5,0	4,0	3,0	4,3	3,0	2,0	3,2
Jern, filtrert mg Fe/l	0,08	0,10	0,12	0,06	0,04	0,05	0,65

Tabell 7.

Tilsetning:							Rå-
Jernsulfat mg Fe/l	10	20	30	40	50	100	kloakk
Hydratkalk mg Ca/l	60	70	80	100	120	140	
pH	9,7	10,1	9,9	10,6	10,9	10,8	7,9
Oksygen mg O ₂ /l	10	9	8	7,5	5,6	1,4	11,5
Turbiditet JTU	95	90	85	75	47	9,5	68
KOF mg O/l				116	88	77	251
Fosfor total mg P/l				1,4	0,8	0,08	5,2
Fosfat-orto mg P/l				1,0	0,6	0,03	3,7
Jern mg Fe/l				3,0	2,4	1,1	3,2
Jern filt. mg Fe/l				0,10	0,05	0,03	0,65

Tabell 8.

Tilsetning:							Rå-
Jernsulfat mg Fe/l	30	30	30	50	50	50	kloakk
Hydratkalk mg Ca/l	20	40	60	20	40	60	
pH	6,5	9,4	10,0	7,2	6,9	8,9	7,9
Oksygen mg O ₂ /l	6,6	6,7	6,7	5,4	8,6	4,9	11,5
Turbiditet JTU	100	85	75	100	100	32	68
KOF mg O/l			130				251
Fosfor total mg P/l			1,5				5,2
Fosfat-orto mg P/l			1,1				3,7
Jern mg Fe/l			5,0				3,2
Jern, filtrert mg Fe/l			0,21				0,65

Tabell 9.

Tilsetning:							Rå-
Jernsulfat mg Fe/l	40	40	40	50	50	50	kloakk
Hydratkalk mg Ca/l	20	40	60	20	40	60	
pH	7,7	8,9	9,4	7,7	9,0	9,4	7,9
Oksygen mg O ₂ /l	5,6	5,3	5,0	5,5	4,4	4,2	11,5
Turbiditet JTU	100	90	68	120	75	45	68
KOF mg O/l		162	159		97	102	251
Fosfor total mg P/l		1,8	1,4		1,3	1,0	5,2
Fosfat-orto mg P/l		1,3	1,0		0,9	0,7	3,7
Jern mg Fe/l		7,6	4,3		7,6	4,0	3,2
Jern filtrert mg Fe/l		0,36	0,17		0,22	0,08	0,65

Tabell 10.

Tilsetning:							
Jernsulfat mg Fe/l	30	30	30	50	50	50	Rå-
Hydratkalk mg Ca/l	60	80	100	60	80	100	kloakk
pH	9,2	9,4	9,7	9,1	9,6	9,8	7,4
Oksygen mg O ₂ /l	10,1	10,2	10,2	8,2	8,4	8,2	13,9
Turbiditet JTU	48	51	52	23	21	32	87
KOF mg O/l							393
Fosfor tot. mg P/l							6,2
Fosfat-orto mg P/l							3,9
Jern mg Fe/l							10,0
Jern, filtrert mg Fe/l							2,25

Tabell 11.

Tilsetning:							
Jernsulfat mg Fe/l	40	40	40	50	50	50	Rå-
Hydratkalk mg Ca/l	40	60	80	40	60	80	kloakk
pH	8,5	9,0	9,4	8,1	8,9	9,2	7,4
Oksygen mg O ₂ /l	9,0	9,0	9,0	9,0	9,0	9,0	13,9
Turbiditet JTU	16	17	23	21	16	15	87
KOF mg O/l	131	134	126	127	132	120	393
Fosfor total mg P/l	0,6	0,5	0,6	0,4	0,5	0,5	6,2
Fosfat-orto mg P/l	0,25	0,3	0,5	0,2	0,25	0,25	3,9
Jern mg Fe/l	3,5	3,5	3,4	4,5	3,2	2,8	10,0
Jern, filtrert mg Fe/l	0,12	0,07	0,06	0,13	0,05	0,05	2,25

Tabell 12.

Tilsetning:							
Jernsulfat mg Fe/l	20	20	20	30	30	30	Rå-
Hydratkalk mg Ca/l	40	60	80	40	60	80	kloakk
ph	9,0	9,3	9,5	8,9	9,2	9,5	7,4
Oksygen mg O ₂ /l	9,0	9,0	9,0	9,0	9,0	9,0	13,9
Turbiditet JTU	38	44	53	27	39	46	87
KOF mg O/l	153	150	188	147	154	147	393
Fosfor, total mg P/l	1,7	1,9	2,1	1,0	1,6	1,3	6,2
Fosfat-orto mg P/l	1,0	1,2	1,3	0,6	1,0	0,8	3,9
Jern mg Fe/l	7,6	7,6	8,0	5,5	3,5	5,0	10,0
Jern, filtrert mg Fe/l	0,11	0,10	0,09	0,08	0,08	0,14	2,25

Tabell 13.

Tilsetning:							
Jernsulfat mg Fe/l	20	20	20	50	50	50	Rå-
Hydratkalk mg Ca/l	40	40	40	40	40	40	kloakk
Kalsium klorid mg Ca/l	50	100	200	50	100	200	
pH	8,7	8,7	8,5	7,6	7,8	7,5	7,4
Oksygen mg O ₂ /l	11	11	11	8	8	8	13,9
Turbiditet JTU	14	12	12	23	19	23	87
KOF mg O/l	161	151	141	137	124	135	393
Fosfor total mg P/l	0,8	0,6	0,4	0,2	0,2	0,5	6,2
Fosfat-orto mg P/l	0,4	0,4	0,2	0,1	0,1	0,07	3,9
Jern mg Fe/l	3,4	3,0	4,0	2,7	1,8	2,7	10,0
Jern, filtrert mg Fe/l	0,07	0,05	0,05	0,14	0,10	0,07	2,25