

Reduksjon av E-coli ved kjemisk felling av avløpsvann

Av Hallvard Ødegaard, Gøril Thorvaldsen, Bente Storebråten og Jostein Skjefstad

Forfatterne arbeider ved Institutt for vassbygging, NTH. Ødegaard er dosent og sivilingeniør (bygg), NTH 1969 og dr.ing., NTH 1975. Skjefstad er sivilingeniør (bygg), NTH 1977 og Thorvaldsen og Storebråten er ingeniører fra TTS, 1974.

I den senere tid har det vært en viss interesse for i hvilken grad fekale coliforme bakterier fjernes i konvensjonelle avløpsrensaneanlegg, blant annet ble emnet berørt i to artikler i Vann 1, 1978 (Simensen, 1978), (Hellesnes, 1978).

Mens vi har relativt godt grunnlag for å vurdere hva de ulike rensmetoder er gode for m.h.t. de tradisjonelle forureningsparametre (BOF₇, KOF, SS, Tot P, Tot N o.s.v.), står vi på temmelig usikker

grunn når det gjelder å vurdere disse metodenes reduksjonsevne på ulike bakterier og virus.

Når det gjelder indikatororganismen for fekal forurensning, *Escherichia coli*, (E-coli) kan man i tekstbøker finne oversiktstabeller for hva som en vanlig prosentuell reduksjon ved ulike rensprosesser. En typisk tabell er den som er satt opp av Imhoff (3), og som synes å gå igjen i en rekke bøker.

Tabell 1. Bakteriereduksjon i ulike rensprosesser etter Imhoff (3).

Rensemetode	Bakteriereduksjon, %
Finsil	10 — 20
Sedimentering	25 — 75
Kjemisk felling	40 — 80
Biofilter, lavt bel.	90 — 95
» høyt bel.	70 — 90
Aktivslam, lavt bel.	90 — 95
» høyt bel.	70 — 90
Klorering, av råvann	90 — 95
» biol. rens. vann	98 — 99

Vi tror det er sunt å ta disse tabellene med en god klype salt fordi det viser seg at datagrunnlaget nok er temmelig tynt. Slike tabeller kan lett misbrukes. Et usikkert tall som blir gjentatt ofte nok, blir til slutt ofte betraktet som en «sannhet».

Årsaken til vår interesse for saken er det overraskende lave tallet for kjemisk felling i Imhoff's tabell, og det faktum at man av dette har trukket den slutning at biologiske prosesser fjerner fe-kale bakterier i langt større grad enn biologiske prosesser (1).

Dette virker overraskende idet det synes klart at bakteriene i stor grad er knyttet til partikler (kolloidale og suspenderte i vannet). I anlegg med ren kjemisk felling vil kolloidalt og suspendert stoff koaguleres og flokkuleres før det separeres fra vannfasen og gir et utløpsvann med svært lavt SS-innhold. Man vil være tilbøyelig til å tro at også fritt-svevende bakterier vil kunne la seg flokkulere etter forutgående adsorpsjon eller hydroksydomslutning.

Dette var følgende bakgrunnen for vår interesse av å undersøke dette nærmere gjennom laboratorieforsk.

Tidligere undersøkelser.

En litteratursøking som ble gjennomført over sju databaser over emnet: «E-coli reduksjon ved kloakkrensing», viste som ventet at referansene om emnet var meget fåtallige. Her i landet kjenner vi bare til en tidligere undersøkelse som er publisert.

Årsaken til at vi ikke er like ivrige til å analysere på hygieneparametrene, kan være:

a. Analysene er tidkrevende og tildels vanskelige å utføre

- b. Forurensningsmyndighetene setter ingen krav til innholdet av bakterier fra renseanlegg
- c. Parametrene som benyttes (Coliforme bakterier, E-coli, o.s.v.) er bare indikatororganismer og har således begrenset informasjonsverdi for å kartlegge den totale bakterielle situasjon
- d. Antallet av bakterier er enormt, størrelsesorden 10^6 — 10^8 E-coli/100 ml, og selv om den prosentuelle reduksjon er svært høy vil fortsatt det rensede avløpet ha høye konsentrasjoner.

Selv om man i endel andre land har krav til effluentens bakterieinnhold, er det lite å hente i litteraturen angående vårt emne (tradisjonelle renseprosesser) fordi man da ofte benytter desinfeksjonsmetoder i tillegg.

Vi er her interessert i å vurdere de videregående rensemetodene, kjemisk og biologisk rensing, opp mot hverandre og det er da aktuelt å vurdere prosentuelle renseseffekter.

Van der Drift el. al. (1977) studerte E-coli fjerningen i aktivslamprosessen. De fant at prosessen kunne beskrives i to faser.

En hurtig sorpsjon av bakterier til slamfnokken fant sted i den første timen etter at E-coli ble tilsatt en aktivslamsuspensjon. Senere ble langsommere fjerning av E-coli fra vannfasen observert. Den ble vist at den andre fasen av prosessen skyldtes beiting på E-coli av protozoer. Beitemekanismen var hovedansvarlig for E-coli reduksjonen i normale aktivslamanlegg.

Dette er i overensstemmelse med hva Curds og Fey (1969) fant. De demonstrerte at tilstedeværelse av protozoer i

aktivslamanlegg reduserte overlevelses-tiden til E-coli drastisk og at ciliater var hovedansvarlige. Som en følge av dette, må man vente at E-coli reduksjonen er høyere jo lavere slambelastning et aktivslamanlegg opereres med.

Fra målinger ved et aktivslamanlegg i Århus i Danmark ble E-coli-innholdet redusert fra $6.8 \cdot 10^5$ — $3.5 \cdot 10^8$ på innløpet til $6.8 \cdot 10^3$ — $5.4 \cdot 10^7$ på utløpet, tilsvarende midlere prosentuell reduksjon på 97,2% (20 observasjoner), (Grunnet, 1975).

En undersøkelse utført ved Skarpsno renseanlegg i Oslo (Mære, 1977) viste $2 \cdot 10^4$ — $8 \cdot 10^6$ E-coli pr. 100 ml på innløpet og $7 \cdot 10^3$ — $2.4 \cdot 10^5$ på utløpet tilsvarende en reduksjon på 98,7%. Skarpsno er et biologisk/kjemisk renseanlegg etter forfellingsmetoden.

Det er demonstrert at E-coli-reduksjonen ved rensing av avløpsvann i biodam har vært tildels meget høy (> 99%).

Parhad og Rao (1974) viste at høy pH i biodammer var hovedansvarlig for den gode reduksjonen. De fant at E-coli ikke vokste i avløpsvann med pH høyere enn 9,2, en pH som heller ikke i våre biodammer er unormal høy om sommeren.

Vi har ikke funnet noen publikasjoner som dokumenterer renseseffekt m.h.p. f.eks. E-coli i rene kjemiske fellingsanlegg, men det er klart, av det som Parhad og Rao (1974) fant, at kalkfelling (hvor fellingen foregår ved $\text{pH} = 11$ — 12) vil gi god bakteriereduksjon.

Rubin and Hanna (1968) studerte hvilken koaguleringsmekanisme som lå til grunn for koagulering av E-coli i vann, som er negativt ladet. Av deres resultater går det fram at E-coli i kjemiske fellingsanlegg må antas å bli fjernet ved omslutning av bakteriene i utfelte hydrok-sydfnokker, den samme mekanisme som

må antas å være dominerende ved koagulering av annet kolloidalt materiale i avløpsvann. De fant også at det optimale pH-området for koagulering av E-coli var det samme som ved koagulering av leirmineral o.s.v., d.v.s. ved $\text{pH} = 6,5$ — $7,5$ ved aluminiumsfelling.

Danielsson (1977) gjorde en studie av Salmonella i kloakkvann og slam fra biologisk/kjemisk renseanlegg basert på forfelling og etterfelling i Sverige. Hun fant at Salmonella reduksjonen var bedre i anlegg med etterfelling enn i de med forfelling. Resultatene indikerte også at Salmonella-fjerningen kan være mer effektiv i små renseanlegg enn i store. Kalkfelling ga 100% Salmonella-reduksjon. Aluminiumsulfat og jernklorid ble funnet å være likeverdige hva Salmonella-reduksjonen angår. I etterfellingsanleggene fant man at den største Salmonella-reduksjonen foregikk i det biologiske trinnet. Dette kan imidlertid ikke tæses som bevis på at biologisk rensing gir større totalreduksjon av Salmonella enn kjemisk felling av råvann. Anleggene med forfelling drives ofte dels som simultanfellingssystem med stort slamtap fra fellingssteget til det biologiske steget, og det er derfor vanskelig av resultatene å si noe generelt om hvor mye man reduserer Salmonella ved kjemisk felling av råkloakk.

Denne undersøkelsen

For å fremskaffe noen dato om kjemisk felling av råvann, ble det gjennomført en rekke fellingsforsøk i laboratorieskala (jar-test).

Det ble i alt kjørt 17 forsøksserier med felling med aluminiumsulfat ($\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 18\text{H}_2\text{O}$), jernklorid ($\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$), jernsulfat ($\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$) og kalk ($\text{Ca}(\text{OH})_2$) ved ulike pH og ulike doseringer.

Råvannet ble hentet fra en av Trondheim kommunes store slamavskillere (2000 pe) som er tilknyttet et typisk boligområde (Skjetnemarka).

Råvannet, samt det rensede vannet, ble analysert på termostabile koliforme bakterier etter NS 4751, røremetoden, både presumtiv og komplett prøve. Analyseverdien angis som det mest sannsynlige antall bakterier (MPN/100 ml) bestemt fra Mc Gradys tabell.

For hvert forsøksdøgn ble det hentet nytt prøvevann for å hindre effekten av lagring, og for hver forsøksserie ble det gjort innledende fellingsforsøk for å be-

stemme hvilken dosering og pH som ga gode fellingsbetingelser.

pH ble justert med saltsyre. Forsøksbetingelsene var lik i alle forsøksseriene. Fellingskjemikaliet ble innblandet ved hurtig omrøring i ett minutt, fulgt av flokkulering ved langsom omrøring i 15 minutter og sedimentering uten omrøring i 30 minutter. Prøver for bakteriologisk analyse ble tatt 3 cm under vannoverflaten etter sedimentering.

Forsøksresultater

Forsøksresultatene er angitt i tabell 2 og tabell 3.

Tabell 2. Forsøksresultater, aluminium og jernfelling.

Forsøkskjøring nr.	Fellingsmiddel	Dose-ring mg/l	pH	Råvann E-coli MPN/100 ml	Renset vann E-coli, MPN/100 ml			Renseeffekt %	Antall prøver
					Laveste	Høyeste	Middel		
1	Al-sulf.	350	6,5	918 · 10 ⁶	79 · 10 ⁴	918 · 10 ⁴	322 · 10 ⁴	99,65	5
2	Al-sulf.	350	6,0	221 · 10 ⁶	2 · 10 ⁴	11 · 10 ⁴	6 · 10 ⁴	99,97	6
3	Al-sulf.	350	6,25	14 · 10 ⁶	2 · 10 ⁴	40 · 10 ⁴	17 · 10 ⁴	98,86	6
4	Fe-klorid	350	4,5	130 · 10 ⁶	5 · 10 ⁴	221 · 10 ⁴	83 · 10 ⁴	99,36	3
5	Fe-klorid	350	5,0	130 · 10 ⁶	34 · 10 ⁴	918 · 10 ⁴	120 · 10 ⁴	99,07	3
6	Fe-klorid	350	5,5	130 · 10 ⁶	7 · 10 ⁴	130 · 10 ⁴	48 · 10 ⁴	99,63	3
7	Fe-klorid	350	5,0	172 · 10 ⁶	2 · 10 ⁴	2 · 10 ⁴	2 · 10 ⁴	99,99	3
8	Fe-klorid	350	5,5	172 · 10 ⁶	2 · 10 ⁴	2 · 10 ⁴	2 · 10 ⁴	99,99	3
9	Fe-klorid	250	4,25	348 · 10 ⁶	2 · 10 ⁴	2 · 10 ⁴	2 · 10 ⁴	99,99	3
10	Fe-klorid	250	6,8	348 · 10 ⁶	13 · 10 ⁴	23 · 10 ⁴	17 · 10 ⁴	99,95	3
11	Fe-klorid	300	4,5	348 · 10 ⁶	2 · 10 ⁴	5 · 10 ⁴	3,5 · 10 ⁴	99,99	3
12	Fe-sulf.	500	8,0	278 · 10 ⁶	79 · 10 ⁴	109 · 10 ⁴	84 · 10 ⁴	99,70	3
13	Fe-sulf.	500	8,5	278 · 10 ⁶	109 · 10 ⁴	221 · 10 ⁴	167 · 10 ⁴	99,40	3
14	Fe-sulf.	500	9,0	278 · 10 ⁶	49 · 10 ⁴	348 · 10 ⁴	176 · 10 ⁴	99,37	3
15	Fe-sulf.	400	8,5	172 · 10 ⁶	4 · 10 ⁴	11 · 10 ⁴	7,7 · 10 ⁴	99,96	3
16	Fe-sulf.	400	9,0	172 · 10 ⁶	2 · 10 ⁴	8 · 10 ⁴	5 · 10 ⁴	99,97	3

Diskusjon av forsøksresultater

Det fremgår av forsøksresultatene i tabell 2 at den prosentuelle reduksjonen ved felling med aluminium og jern har vært langt høyere enn den som oppgis av Imhoff (3). Den prosentuelle rense-

effekt har jevnt over vært høyere enn 99%.

Når det gjelder felling med aluminiumsulfat, synes ikke pH å ha noen signifikant innflytelse på renseeffekten selv om det er en tendens til at utløpskonsentra-

Tabell 3. Forsøksresultater. Kalkfelling

Dosering mgCa (OH) ₂ /l	pH	Råvann MPN/100 ml	Renset vann MPN/100 ml	Renseeffekt %
130	9,0	348·10 ⁶	79·10 ⁶	77,30
250	9,5	- " -	130·10 ⁴	99,62
350	10,0	- " -	33·10 ⁴	99,91
500	11,0	- " -	109·10 ²	> 99,99
600	11,5	- " -	141	> 99,9999
600*	11,5	- " -	22	> 99,99999
* filtrert GF/C				

sjonen synker med fallende pH. Heller ikke med jernklorid synes pH å ha hatt innflytelse på renseeffekten så lenge fellingen har foregått godt (d.v.s. fosfatfelling var god).

Spesielt var kjøring nr. 10 overraskende. Det har vært ganske alment akseptert at man må operere ved pH = 4,5 — 5,5

for å oppnå felling med jernklorid. I denne serien var imidlertid pH > 6,75, og god felling samt god E-coli reduksjon ble oppnådd.

Tabell 4 viser resultatene for kjøring 9, 10 og 11 hvor også fosforkonsentrasjonen på utløpet er angitt.

Tabell 4. FeCl₃-felling

Råvann: pH 8,12. E-coli MNP/100 ml: 348·10⁶

Dosering mg/l	250	250	250	250	250	250	300	300	300
pH	4,21	4,03	4,53	6,91	6,75	6,78	4,53	4,56	4,53
Orthofosfat mgP/l (ufiltrert)	0,12	0,10	0,05	0,05	0,075	0,10	0,19	0,40	0,27
E-coli MPN/100 ml 10 ⁴	<2	<2	2	13	14	23	<2	5	2

Så lenge god felling ble oppnådd, ser heller ikke doseringen av jernklorid å ha hatt innflytelse på reduksjonen av E-coli.

De samme konklusjonene kan gjøres gjeldende for jernsulfat. Ved dette fellingsmiddelet må man ha pH på den alkaliske siden for å oppnå god felling (pH = 8 — 9). pH ble korrigert med

kalk. Det er gjennomgående noe høyere utløpskonsentrasjoner med jernsulfat enn med jernklorid, men dette skyldes sannsynligvis at fellingen og dermed fosforfjerningen også ved dette fellingsmiddelet var noe dårligere.

Ved kalkfelling opererer man med høy pH, vanligvis pH > 11. Forsøkene viser

at ved denne høye pH får man en kraftig bakteriereduksjon. Ved pH > 11,5 er resultatene like gode som dem man vil oppnå med klordesinfeksjon.

Sammendrag

I tabell 5 er satt opp midlere verdier for E-coli reduksjonen i denne undersøkelsen.

Tabell 5. E-coli reduksjon. Midlere verdier.

Fellingsmiddel	E-coli, råvann, MPN/100 ml				E-coli, rensset, MPN/100 ml				% reduksjon i middel
	Ant. prøver	Laveste	Høyeste	Middel	Ant. prøver	Laveste	Høyeste	Middel	
Al-sulfat	3	14·10 ⁶	918·10 ⁶	385·10 ⁶	18	2·10 ⁴	918·10 ⁴	115·10 ⁴	99,70
Fe-klorid	3	130·10 ⁶	348·10 ⁶	217·10 ⁶	24	2·10 ⁴	918·10 ⁴	65·10 ⁴	99,70
Fe-sulfat	2	172·10 ⁶	278·10 ⁶	225·10 ⁶	15	2·10 ⁴	348·10 ⁴	88·10 ⁴	99,60
Kalk (pH > 11)	1	348·10 ⁶	348·10 ⁶	348·10 ⁶	3	22	109·10 ²	35·10 ²	99,999

Generelt kan man si at med saltene av aluminium og jern ble det oppnådd en reduksjon i bakterieinnholdet på mer enn to tierpotenser, eller over 99%. Med kalk ble tilnærmet fullstendig desinfeksjon oppnådd ved felling med pH > 11,5.

Dette er verdier som er høyere enn det man normalt finner i biologiske rensanlegg. Våre forsøk tyder derfor på at det ikke er grunnlag for å hevde at

biologisk behandling gir høyere bakteriereduksjon enn ren kjemisk felling. Målinger i full-skala anlegg bør imidlertid foretas for å fastslå dette sikkert. Med tradisjonelle rensemetoder må de beste resultater ventes å oppnås i biologisk/kjemiske anlegg, og av disse må etterfelling-anlegg antas å gi lavest utløpsverdier m.h.p. E-coli, fordi man da vil koagulere ut de bakteriene som vil passere det biologiske steget.

LITTERATURLISTE

- (1) *Simensen, T.*: «Noen synspunkter om tiltak mot vannforurensninger», Vann, 1, 1978
- (2) *Hellesnes, J.*, «Kloakkutslipp og helse — er vi årvåkne nok», Vann, 1, 1978
- (3) *Imhoff, K.*: «Taschenbuch der Stadtentwässerung» Oldenburg Verlag, München. 23. Auflage 1972
- (4) *Van der Drift, Van Seggelen, E., Stum, C. Hol, W. Tuinte, J.*: «Removal of Escherichia Coli in Waste Water by Activated Sludge». Appl. Environ. Microbiol 34 (3), 1977
- (5) *Curds, C. R. and Fey, G. J.*: «The effect of ciliated protozoa on the fate of Escherichia coli in the activated sludge process. Water Research, 3, 1969
- (6) *Grunnet, K.*: «Salmonella in sewage and receiving waters». Avhandling FADL's forlag Danmark, 1975
- (7) *Mære, B.*: «Sulfittreducerende klostridier i vann». Rapport, Institutt for næringsmiddelhygiene, 1977
- (8) *Parbad, N. M., and Rao, N. U.*: «Effect of pH on survival of Escherichia Coli». Wat. Poll. Contr. Fed. Journ. 46 (5), 1974
- (9) *Rubin, H. J. and Hanna, G. P.*: «Coagulation of the bacterium Escherichia Coli by aluminium nitrate». Environ. Sci. Technol. Vol. 2, Nr. 5, May 1968
- (10) *Danielsson, M. L.*: «Salmonella in sewage and sludge». Acta Veterinaria Scandinavica Supplementum 65 AVSPAC 65 1-126 (1977)