

Sulfid-dannelse i lange trykkledninger for avløpsvann

Av Gunnar Mosevoll, Arve Berg og Harald Fløgstad

Forfatterne er alle sivilingeniører fra NTH og ansatt som forskere ved Norsk hydroteknisk laboratorium (NHL).

1. INNLEDNING

Det er økende interesse for å bygge lange trykkledninger for avløpsvann. Det er flere årsaker til dette:

- I mange tilfeller er det billigst å pumpe avløpsvann fra ytterområdene i et distrikt inn mot et sentralt, stort rensenanlegg fremfor å bygge flere, små rensenanlegg.
- Det kan også være gunstig å overføre avløpsvann fra flere distrikter med dårlige resipienter til et samlet utslipp i en god resipient. Kravene til rensing kan da ofte reduseres.
- Økende bruk av dykkerledninger /2/ og pumping på felles trykkledning (flere pumpestasjoner er tilknyttet samme trykkledning) /3/.

Dersom kommunalt avløpsvann med temperatur 10—15°C får en oppholdstid i en trykkledning på mer enn 4—6 timer, kan det dannes hydrogensulfid og organiske sulfider i vannet. Sulfider kan være korrosive overfor både betong og metaller. I /4, 5, 6, 7/ er det beskrevet tilfeller på betydelige korrosjonsskader i Sverige, Danmark, Storbritannia og Vest-Tyskland.

Avløpsledninger og andre anlegg like nedstrøms utløpet fra trykkledningen er spesielt utsatt for korrosjonsangrep.

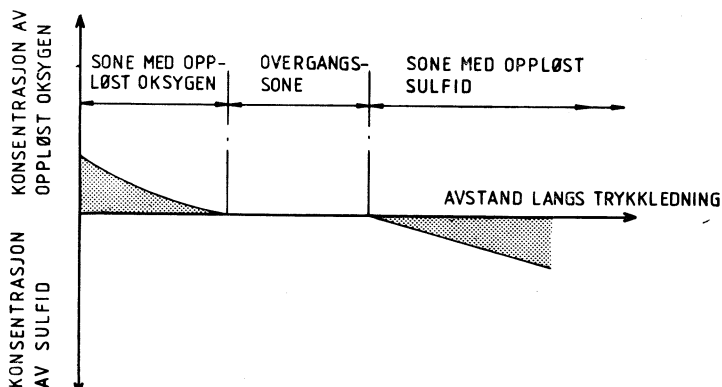
For å unngå at en skal få tilsvarende problemer her i landet, har NTNFs Utvalg for VAR-teknikk finansiert et prosjekt om hydrogensulfid i lange trykkledninger for avløpsvann /1/. Prosjektet er utført ved Norsk hydroteknisk laboratorium. Denne artikkelen inneholder de viktigste konklusjonene fra prosjektet.

2. VILKÅR FOR DANNING AV SULFID I AVLØPSVANN

2.1. Generelt

Mikroorganismer bryter ned organisk stoff i avløpsvannet. Dersom vannet inneholder fritt oksygen, vil aerobe mikroorganismer stå for denne prosessen. Nedbrytningen foregår da ved forbruk av oksygen. Trykkledninger er helt vannfylte, og vannet i ledningen tilføres derfor ikke oksygen underveis. For vanlig, kommunalt avløpsvann med en temperatur på 10—15°C vil oksygenet være brukt opp etter 4—6 timers opphold i trykkledningen.

En tid etter at det frie oksygenet er brukt opp, vil anaerobe mikroorganismer komme i virksomhet. Bakterier av typen *Desulfovibrio desulfuricans* vil redusere sulfat, SO_4^- , til sulfids-, slik at det blir dannet hydrogensulfid, H_2S , samt organiske sulfider som metylmercaptan, dimetylsulfid, dithiabutanol, trithiapentanol og tetrathiahexanol /7/. De forskjellige fasene fram til utvikling av sulfid er illustrert i figur 1.



Figur 1. Innholdet av oppløst oksygen og sulfid i en lang trykkledning for avløpsvann (prinsippkisse) /8/.

Sulfatinnholdet i vanlig, kommunalt avløpsvann er tilstrekkelig til at det kan bli dannet sulfid i skadelige mengder dersom vannet blir anaerobt.

2.2. Forbruk av oksygen

For at sulfat skal kunne bli redusert til sulfid, kan en grovt si at vannet ikke må inneholde fritt oksygen eller andre oksyderende stoffer (f.eks. nitrat).

Tiden det tar før det frie oksygenet i vannet i en trykkledning er brukt opp, er avhengig av mange faktorer. De viktigste er:

- Temperatur.
- Konsentrasjonen av organisk stoff.
- Hvor lett nedbrytbart det organiske stoffet er.
- Konsentrasjonen av oksygenforbrukende mikroorganismer i vannet.
- Tykkelsen på laget av oksygenforbrukende mikroorganismer på rørveggen.
- Konsentrasjonen av fritt oksygen ved innløpet til ledningen.
- pH.

Tabell 1 viser sammenhengen mellom forbrukshastigheten for oksygen og vanntemperaturen (laboratorieforsøk /1, 9/). Disse laboratorieforsøkene viser oksygenforbruket til mikroorganismer som er suspendert i vannet. For å illustrere temperaturens betydning er det i tabellen også regnet ut hvor lang tid det tar å bruke opp en vanlig oksygenmengde i avløpsvann.

Mikroorganismene i «biohuden» på innsiden av rørveggen vil også forbruke oksygen. Det totale oksygenforbruket i en rørlledning kan derfor bli høyere enn det tabell 1 viser. Målingen på en ca. 6 km lang pumpeledning (diameter ca. 250 mm) på Eidsvoll viste et oksygenforbruk på 1,5 mg O₂/l h /9/. Temperaturen var 11–12°C og 6°C ved henholdsvis innløpet og utløpet av ledningen.

Tabell 1 gjelder for såkalt «ferskt» avløpsvann. Etterhvert som «alderen» på vannet øker, vil konsentrasjonen av mikroorganismer øke. Dette gjelder særlig for vann som luftes kraftig. Etter noen timers kraftig lufting kan hastigheten være 2–4 ganger tabellverdiene /10/.

Vann- temperatur °C	Hastighet for oksygenforbruk mg O ₂ /l time	Tiden det tar for å bruke opp alt fritt oksygen (forutsatt 75% metning) timer
8	ca. 1,0	ca. 9
10	» 1,7	» 5
12	» 2,0	» 4
20	» 3,5	» 2

Tabell 1. Forbrukshastigheten for oksygen i «ferskt» og vanlig, kommunalt avløpsvann som funksjon av temperaturen (laboratorieforsøk /1, 9/).

Laboratorieforsøkene /1/ ble utført på to ulike vannkvaliteter med stor forskjell i organisk stoff (BOF₂₀ = 375 og 685 mg/l). Det var liten forskjell i forbrukshastigheten. Det skyldes muligens at konsentrasjonen av organisk stoff ikke var den begrensende faktor, men derimot konsentrasjonen av mikroorganismer.

De fleste mikroorganismene i avløpsvann trives best ved pH 6,5—7,5. Når pH er mindre enn 6,0 og større enn 9,5 er aktiviteten liten, og forbruket av oksygen skjer sakte.

2.3. Danning av sulfid

Som vist i figur 1, starter danningen av sulfider en tid etter at det frie oksygenet i vannet er oppbrukt. Sulfid dannes på to steder i en rørledning:

- Ute i vannstrømmen i ledningen.
- I et lag av mikroorganismer festet til rørveggen (biohuden).

Biohudens tykkelse kan være fra noen ti-dels mm til noen få cm. De tykkeste lagene med biohud blir gjerne dannet ved utløpet av ledningen der alderen til avløpsvannet er høyest. Er vannhastigheten stor, og ledningen i tillegg fører mye sand

og grus, vil ledningen være nesten fri for biohud. I lange trykkledninger er det sjelden økonomisk å holde så høy vannhastighet at en unngår at biohud på noen mm tykkelse bygges opp. Vanligvis er biohuden så tykk at det meste av sulfiden produseres av bakterier i biohuden.

Produksjonen av sulfid øker med økende vanntemperatur. I /11/ nevnes en økning på 7% pr. °C.

3. PROBLEMER SOM SULFID KAN FØRE TIL

3.1. Oversikt

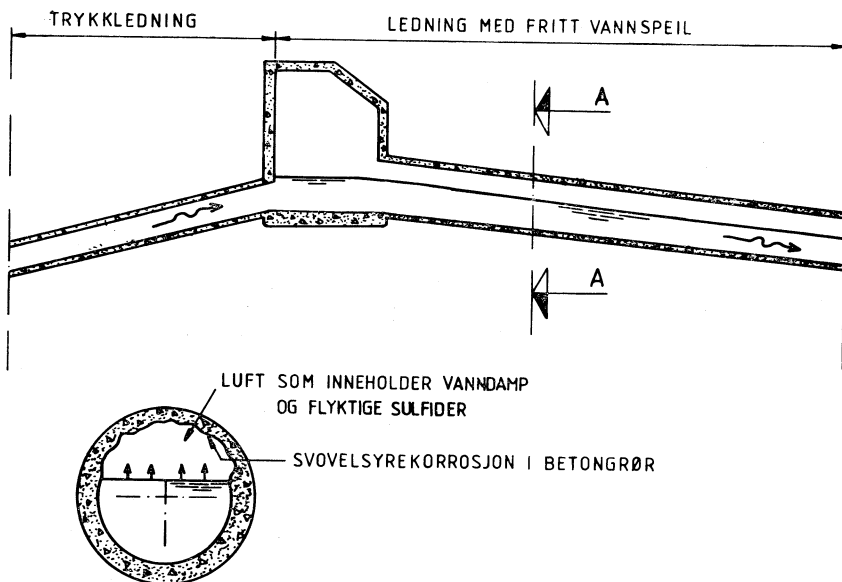
Utvikling av hydrogensulfid og andre sulfider kan føre til følgende problemer:

- Korrosjon på metaller og betong
- Lukt og helsefare.
- Dårligere drift av renseanlegg.

3.2. Korrosjon

Når det gjelder korrosjon, deles ledningsanlegget i to:

- Trykkledningen.
- Ledningsanlegget nedstrøms trykkledningen (avløpsledning med fritt vannspeil, pumpestasjoner, renseanlegg).



SNITT A-A (forstørret)

Figur 2. Korrosjon i en betongledning nedstrøms en lang trykkledning. Sulfid frigjøres fra vannet i ledningen med fritt vannspeil. Her blir det korrosjon under rørtaket (over vannspeilet).

I selve trykkledningen inneholder vannet sulfid hovedsakelig løst som syre. Konsentrasjonen er forholdsvis liten, og sulfiden angriper ikke betong. Metall angripes derimot av sulfid i slike konsentrasjoner. Derksom ikke den innvendige korrosjonsbeskyttelsen er svært god, vil f.eks. støpejern og stål korrodere.

Når det sulfidholdige avløpsvannet kommer ut av trykkledningen, vil noe av sulfiden frigjøres fra vannet, se figur 2. Sammen med vanddamp vil sulfiden kondensere på faste flater. Her vil sulfid oksyderes til svovelsyre.

Oksidasjonsprosessen er delt i to: Først en kjemisk oksygen fra sulfid til elementært svovel. Deretter oksyderes det elementære svevelet mikrobiologisk til svovelsyre. Det er bakterier av typen Thiobacillus som

produserer syren /12/. Oksydasjonshastigheten øker med økende temperatur. Det er målt konsentrasjoner av svovelsyre på opp til 6% (tilsvarer $\text{pH} \approx 0,2$) /13/. Svovelsyre er korrosiv både for betong og metaller.

Figur 2 viser en prinsippsskisse av korrosjon i en betongledning med fritt vannspeil. Sulfid kondenseres under rørtaket og oksyderes til svovelsyre. Betongen over vannspeilet korroderer.

Noe av oksygenet som dras inn i kummen, vil blandes inn i vannstrømmen. Sulfiden i vannet oksyderes gradvis til sulfat, men svovelsyrekonsentrasjonen i vannstrømmen blir alt for liten til å korrodere betongen. Under vannspeilet blir det følgelig ikke korrosjon.

Korrosjonshastigheten i betong er sterkt avhengig av betongkvaliteten. Forsøk utført i forbindelse med de store korrosjonsproblemene i hovedavløpsnettet i Hamburg tyder imidlertid på at selv i særlig svovelsyresterk betong kan en etter noen år vente betydelig korrosjon /7, 12/.

Sulfid som frigjøres i kummer, pumpestasjoner og renseanlegg, vil gi korrosjon på metalleder. I kummene er stigetrinnene særlig utsatt. I pumpestasjoner med utilstrekkelig ventilasjon kan en i tillegg til rør og ventiler også få korrosjon på den elektriske utrustningen /14/.

For beskrivelse av andre problemer forbundet med hydrogensulfid og andre sulfider henvises til /1/.

4. TILTAK MOT SKADER FRA SULFID

Det finnes en lang rekke tiltak som kan settes inn for å unngå at sulfid blir dannet eller fører til skade.

Først har en metodene som tar sikte på å unngå at vannet blir oksygenfritt:

- Reduksjon av vannets oppholdstid ved å redusere rørdiameter og lengde.
- Tilsetning av luft eller oksygen i gassform.
- Tilsetning av oksygenrikt vann.
- Tilsetning av kjemisk bundet oksygen, hydrogenperoksyd, nitrat etc.

Videre har en metoder som tar sikte på å hindre eller redusere danningen av sulfid etter at oksygenet er brukt opp:

- Hindre tilførsel med særlig høyt sulfidinnhold eller tilførsler av særlig varmt vann til ledningsnett.
- Mekanisk hemming av oppbyggingen av biohuden på rørveggen ved jevnlig å presse en renseplugg gjennom ledningen, se /15, 16/.

- Hemming av aktiviteten til mikroorganismene i vannet ved å tilsette stoffer som lut, kalk, klor etc.

Ved andre metoder blir danning av sulfid akseptert, men det tilsettes kjemiske stoffer som enten oksyderer eller feller ut hydrogensulfiden:

- Oksydasjon med klor, hydrogenperoksyd eller oksygen.
- Utfelling med metallsalt.

Til slutt har en de metodene som tar sikte på å hindre at sulfid blir frigitt fra vannet eller fører til skade:

- Overføring til ioneform ved å heve pH.
- Strømningsmessig utforming av ledninger, pumpestasjoner og renseanlegg slik at sulfid ikke frigjøres der den kan gjøre skade.
- Bruk av motstandsdyktige materialer i rørledningene.
- God ventilasjon av ledninger med fritt vannspeil, pumpestasjoner og renseanlegg.

Lokale forhold avgjør hvilken metode som er best egnet.

5. KONKLUSJON

1. I trykkledninger for avløpsvann synker oksygeninnholdet utover i ledningen. Det skyldes aktiviteten til mikroorganismer i avløpsvannet og på rørveggen. Er vannets oppholdstid i trykkledningen lang nok (mer enn 4—6 timer for temperatur 10—15°C), forbrukes alt oksygenet.
3. Når det sulfidholdige vannet kommer ut i en ledning med fritt vannspeil, i

- pumpestasjoner eller i renseanlegg, frigjøres hydrogensulfid og andre sulfider. Sulfid kan føre til betydelige korrosjonsskader på betong og metaller.
4. Hydrogensulfid lukter sterkt og kan være giftig.
 5. Det finnes en rekke effektive tiltak mot skader og ulemper fra sulfid.
 6. Dersom en på planleggingsstadiet tar hensyn til det, er det mulig å bygge lange trykkledninger for avløpsvann (2—10 km) uten at sulfider vil skape driftsproblemer.

LITTERATUR

- /1/ Berg, A., Fløgstad, H., Mosevoll, G.: «Hydrogensulfid i lange trykkledninger for avløpsvann». Norsk hydroteknisk laboratorium. Prosjektrapport nr. 25/85 fra NTNFs Program for VAR-teknikk, Trondheim 1985.
- /2/ Mosevoll, G.: «Dykkerledninger for avløpsvann». Norsk hydroteknisk laboratorium. Prosjektrapport nr. 26/85 fra NTNFs Program for VAR-teknikk, Trondheim 1985.
- /3/ Thorolfsson, S., Ystad, D., Mosevoll, G.: «Avskjærende avløpsledninger. Eksempel fra Steinkjer by». Prosjekt Transport av Vann PTV 21, Trondheim 1983.
- /4/ Sporre, Holmstrøm, Hultmann & Nyberg: «Svavelvätebildung och svavelsyrakorrosion vid avloppsanläggningar». VAV-Driftsstudier inom VA-området ISSN 0347—9137 rapport 3/78, okt. 1978.
- /5/ Hvitved-Jacobsen, T. & Vestby Jensen, B.: «Svovlbrintdannelse og -kontroll i trykkledninger»: Stads- og havneingeniøren 9, 1983, pp. 258—264.
- /6/ Richardson, L. W.: «Corrosion Effects and Use of Resistant Materials in Sewage Systems». Proceedings of Symposium: Septic Sewage: Problems and Solutions. Bournemouth, May 1979.
- /7/ Klose, N.: «Biogene Schwefelsäure korrosion. Erkenntnisse aus dem Hamburger Forschungsvorhaben». Abwassertechnik, Heft 1/1985.
- /8/ Thistlethwayte, D. K. B.: «The Control of Sulphides in Sewerage Systems». Butterworths ISBN 0409 48450 4, Sydney Australia 1972.
- /9/ Bergerud, S.: «Utredning om selvrensing og hydrogensulfiddannelse i lange pumpeledninger med tanke på energiøkonomisering». Hovedoppgave ved Institutt for vassbygging, NTH 1982, D-1-82-4.
- /10/ Newcombe, S., Skellett, C. F. & Boon, A. G.: «An Appraisal of the Use of Oxygen to Treat Sewage in a Rising Main». Journal of Water Pollut. Control 1979, pp. 474—504.
- /11/ U.S. Environmental Protection Agency: «Process design manual for sulfide control in sanitary sewerage systems». Technology Transfer, October 1974.
- /12/ Sand, W. and Bock, E.: «Concrete Corrosion in the Hamburg Sewer System». Environmental Technology Letters, Vol. 5 (1984), pp. 517—528.
- /13/ Billmeier, E.: «Ursachen der Beanspruchung von Rohrleitungen in Abwasseranlagen». Wasserwirtschaft 74 (1984) 2, pp. 54—58.
- /14/ Armand, Jonsson, Lundkvist, Petersson & Vikström: «Ventilation i avloppspumpstationer». ASF-prosjekt 80/108 K-konsulent, Stockholm, maj 1982.
- /15/ Hakemann, L.: «Tryckavloppsledning, kapacitet, svavelväteproblem». Reflexen Vatten 1.83, pp. 12—13.
- /16/ Svensson, K.: «Praktiska erfarenheter av svavelvätebekämpning i kommunala avloppsledningsnät». VAV-prosjekt nr. 12. Scandia consult AB 52. 3865—05 (18). Stockholm, febr. 1984.