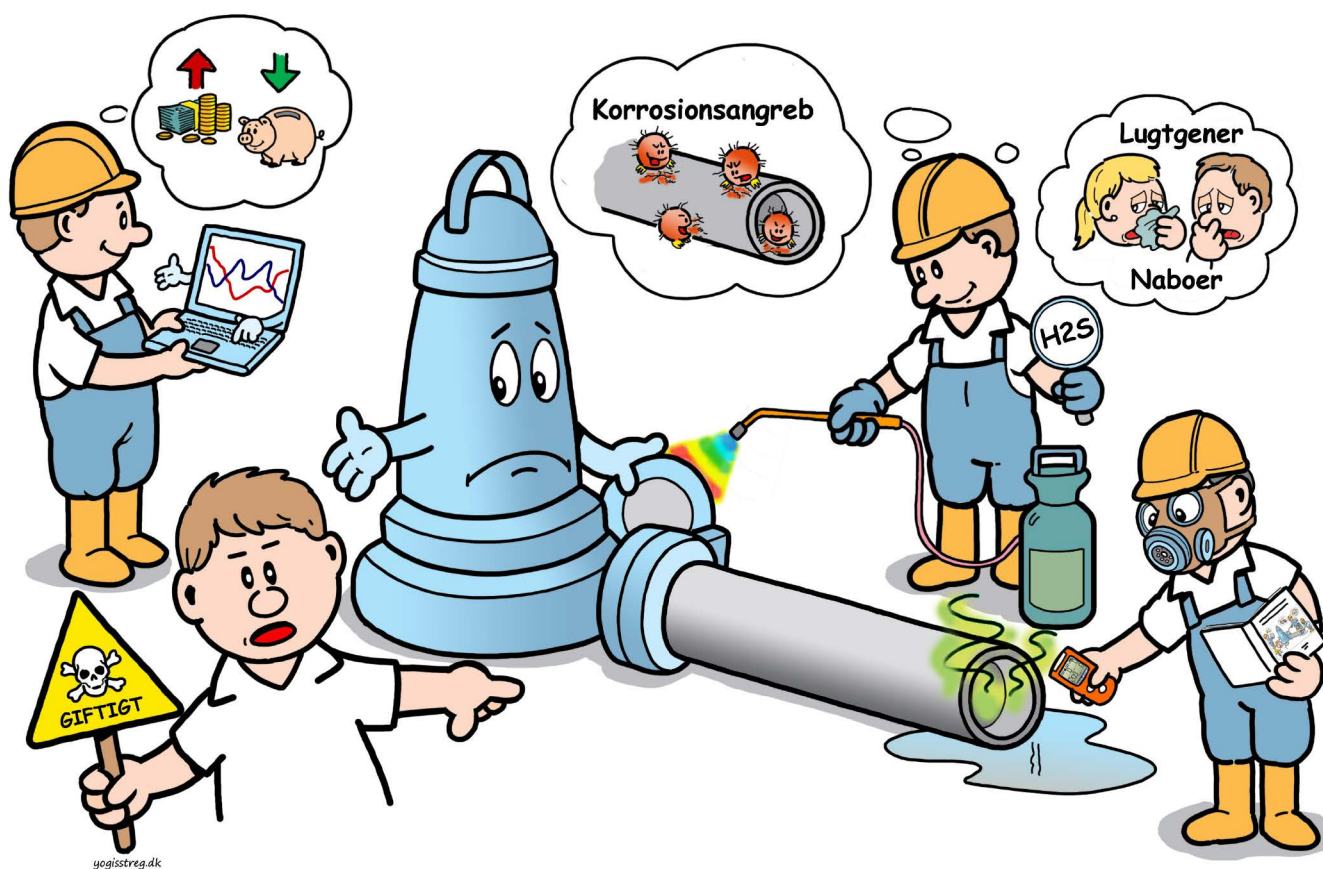


Svovlbrintehåndbogen



DANVAs netværksgruppe vedr. svovlbrinte

Indhold

Baggrund	3
Formål	3
Hvad er svovlbrinte	4
Et stigende problem	6
Årsager til dannelse af svovlbrinte	7
- Kort om biologien	7
Sediment	9
- Geografiske forskelle på svovlbrinteniveauet	9
- Kort om kemien	10
Svovlbrinte og arbejdsmiljøet	11
Svovlbrinte og lugtgener	12
Svovlbrinte og korrosion af beton og metal	12
- Korrosion af beton	12
- Korrosion af metaller	14
Svovlbrinte på renseanlægget	15
Hvordan opdages problemet	16
Måling	16
- Måling i luftfasen	16
- Måling i vandfasen	17
- Logning af data	18
- Måling af overflade-pH	19
Behandling af kundehenvendelse	19
Hvad kan der gøres –på eksisterende anlæg	21
- Forebyggende tiltag	21
Afsendelse af rensegris	21
Tilsætning af nitrat	22
Biologisk bekæmpelse	22
Iltning	22
- Bekæmpende tiltag	23
Hæve pH-værdien	23
Oxidering af sulfid	23
Fældning af sulfid	24
- Indkapsling af beton	24
- Stripning	25
- Lugtfjernelse	26
- Offerledning	27
- Ændring af spildevandssammensætning og -tilførsel	27
Hvad skal der gøres -når nye anlæg planlægges	27
- Korrekt designgrundlag	27
- Forebyggende design	29
Areal/volumen	29
- Afværgende design	30
- Udbud	31

Svovlbrinte håndbogen
Udarbejdet af DANVAs netværks-
gruppe vedr. svovlbrinte
Version 1.2 Maj 2019

“Denne håndbog er udarbejdet af Danvas Svovlbrinteværk i 2019. Svovlbrintenetværket har med håndbogen ønsket at videreformidle den tilgængelige viden på en ligetil og uvidenskabelig måde. Svovlbrintenetværket fralægger sig ethvert ansvar for håndbogens indhold, anvendelse og de konklusioner der fremgår af håndbogen, eller som måtte drages deraf. Der ydes ikke support i forhold til tolkning eller anvendelse af håndbogen.”

Baggrund

Denne håndbog er udarbejdet af DANVAs netværksgruppe vedrørende svovlbrinte, som gennem mange år har arbejdet med og erfaringsudvekslet omkring svovlbrinteproblematikken i vores spildevandssystemer. I løbet af disse år har vi opnået en betydelig viden omkring emnets mange facetter. Det har igennem alle årene været netværkets ønske, at strukturere og videreformidle alt den indsamlede viden til alle andre i branchen, som arbejder med emnet.

Netværket rejste i 2015 med egne midler, samt hjælp fra Spildevandsteknisk Forening, Sulzer Pumps Denmark, Krüger og Innovationsnetværket for Miljøteknologi det økonomiske grundlag til dette arbejde. Resultatet er, udover denne håndbog, forskellige redskaber, der kan være nyttige for at forstå og forebygge svovlbrinteproblemer.

- Sikkerhedsarket: et informationsark om risici ved arbejde i områder med svovlbrinte
- Præsentationen (slideshow) der visualiserer og går i dybden med områder beskrevet i håndbogen
- Beregningsværktøjet til estimering af svovlbrinteproblemer og omkostninger til bekæmpelse af disse
- Proceduren for bestemmelse af korrosionshastigheder af betonoverflader
- Produktarket fra leverandører, der tilbyder produkter inden for behandling af svovlbrinte

Alle disse redskaber stilles til rådighed til fri afbenyttelse for branchen, og de kan downloades fra www.danva.dk/svovlbrinte. Anvendelse til kommercielt brug er kun tilladt med tydelig kildeangivelse.

Formål

Alle spildevandsforsyninger kender til svovlbrinte og de negative følger af det i gravitationsledninger, pumpestationer, oppumpningsbrønde og på renseanlæg. De viser sig oftest som kraftige lugtgener og krav til driftsfolkene om anvendelse af målere og masker. Ved nærmere undersøgelser viser der sig hyppigt store skader på beton- og metaldele i anlæggene.

Det kan være vanskeligt at forudsige problemer med svovlbrinte, og hvilke konsekvenser det kan have. Derfor undlades det ofte at inddrage problemstillingen i planlægningsfasen (i stedet håber man det bedste). Det er som oftest først noget forsyningerne bliver opmærksomme på, når spildevandssystemet er etableret og driftsorganisationen modtager klager over lugtgener, eller når der observeres korrosionsangreb på betonoverflader.

Håndteringen af svovlbrinteproblematikken bør derfor ske ved en kombineret indsats, hvor driftsafdelingens viden og erfaringer om de eksisterende anlæg kombineres med planafdelingens viden om spildevandssystemets belastning og udformning.

Formålet med denne håndbog er at synliggøre de problemer, som driftsorganisationerne står overfor, når der konstateres svovlbrinte og give et bud på de muligheder, der er for at forebygge eller imødegå problemer med svovlbrinte. Håndbogen henvender sig først og fremmest til medarbejdere i drifts- og planafdelinger, men kan med fordel bruges af rådgivere, leverandører og andre, der arbejder med drift og planlægning af spildevandsanlæg.

Hvad er svovlbrinte?

Svovlbrinte er en farveløs, ildelugtende, giftig og korrosiv gas, der dannes ved biologiske processer under iltfrie (anaerobe) forhold. Gassen har mange navne som bruges i flæng, og omfatter bl.a. kloakgas, sumpgas, gyllegas, mv.

De kemiske betegnelser for svovlbrinte er dihydrogensulfid [H_2S], som er en gas, der kan være opløst i vandet eller i luften, samt hydrogensulfid [HS^-] eller sulfid [S^{2-}] som er væsker. Hvilken form den optræder i afhænger af pH-værdien.

Betegnelserne bruges ofte i flæng. I denne håndbog bruges betegnelsen svovlbrinte, når stoffet optræder i luftfasen - over vandspejlet, og sulfid når det optræder i væskefasen - under vandspejlet, -også når det er gas, der er opløst i væskefasen.

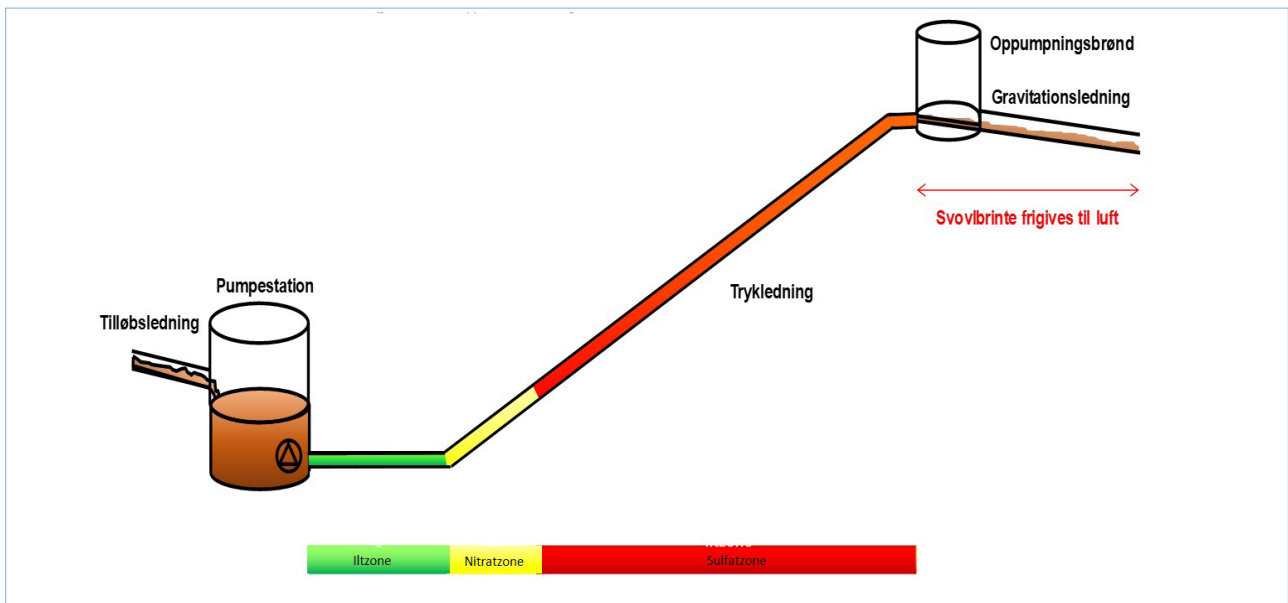
Gassen er også eksplosiv men først ved koncentrationer højere en 4,3 %[vol], svarende til 43.000 ppm, hvilket er meget højt -og sjældent målt- i spildevandssammenhænge.



Svovlbrinte har en massefylde på $1,36 \text{ kg/m}^3$ og er tungere end atmosfærisk luft ($1,21 \text{ kg/m}^3$). Gassen er i stand til at bevæge sig over store afstande, da den har en tendens til at søge nedad og samles i lavpunkter, f.eks. i bunden af brønde og bygværker. Den blandes dog let med atmosfærisk luft, så den ved turbulente forhold også kan findes i højereliggende luftlag i kloakken.

Svovlbrinte forårsager til stadighed dødelige ulykker samt skader for mange millioner kroner på vores spildevandsanlæg. Kort sagt er svovlbrinte noget, vi skal undgå. I spildevandsanlæg er det hovedsagelig i trykledninger, der kan opstå iltfrie forhold, men også i slam og andet sediment kan de rette forhold for udvikling af sulfid være til stede.

I vandfasen udgør sulfid sjældent et problem, men når den overgår til luftfasen bliver tilstedeværelsen kritisk. Her optræder svovlbrinte både ildelugtende, korrosiv og arbejdsmiljømæssigt farlig. I et tryksat spildevandssystem vil afstrippingen (afgasningen) af gassen fra vandfasen typisk ske når spildevandet udpumpes fra trykledningen i oppumpningsbrønden og herfra løber ned i det efterfølgende gravitations-system. Gassen fjerner sig kun ved opblanding med den omgivende luft eller ved kemisk eller biologisk iltning på anlæggets overflader.



Figur 1 Oversigt over trykledningens forskellige iltningszoner

Hvor meget og hvor hurtigt sulfid fra spildevandet afstrippes til luftfasen afhænger af flere forhold, først og fremmest temperatur, pH og turbulens. Det er altså ikke nødvendigvis al den væskebundne sulfid, der frigives, og en måling af luftfasens koncentration vil derfor ikke give et retvisende billede af problemets størrelse. Ikke-afstrippet sulfid vil blive ført med spildevandsstrømmen videre nedstrøms med stor risiko for frigivelse her.



Figur 2 Kørebandedæksel som er voldsomt korroderet af svovlbriente. Foto Hedensted Spildevand.

Et stigende problem

Lige siden vi begyndte at aflede vores spildevand i kloakker, har vi kendt til, at der blev udviklet svovlbrinte fra slammet i bunden af kloakken. Problemet har dog været forholdsvis afgrænset, indtil vi begyndte at pumpe spildevandet sidst i 1800-tallet og dermed skabte ledningsstræk med iltfrie forhold.

Fra midten af 1900-tallet er vi begyndt at opdele vores kloaksystem, således at regn- og overfladevand bliver adskilt fra det "rigtige" spildevand, som så løber i separate spildevandsledninger. Dette sker for at mindske mængden af vand, der skal transporteres til -og renses på- renselanlægget. Særligt ved heftige regnskyl er denne opdeling hensigtsmæssig, da de store regnmængder i separate ledninger kan ledes direkte til recipient, uden om renselanlægget.

I dag bliver stort set alle nye kloakoplande lavet med separate spildevandsledninger, og der pågår et stort anlægsarbejde med at opdele regn- og spildevand i de eksisterende oplande. Det betyder, at koncentrationen af organisk stof i spildevandet bliver meget højere, da det nu ikke længere bliver fortyndet med regn- og overfladevand. Den højere koncentration af organisk stof betyder større produktion af svovlbrinte.

For at mindske forureningen af vandløb, søer og grundvand bliver stadig flere ejendomme i landområder kloakeret og spildevandet pumpet til renselanlæg igennem trykledninger fra små husstandspumpestationer. På grund af ejendommenes spredte beliggenhed bliver disse trykledninger som oftest meget lange, og den tid som spildevandet opholder sig i trykledningen under iltfrie forhold, tilsvarende lang - op til flere dage.

I effektiviserings-øjemed nedlægges flere og flere små og mindre renselanlæg. De ombygges til pumpestationer, som pumper spildevandet frem til store centrale renselanlæg. Der er ofte tale om pumpning over lange afstande, hvor spildevandet undervejs opholder sig i transportledningen under iltfrie forhold i lange perioder.

Vores spildevandsanlæg tilrettelægges altså i stigende grad, så koncentrationen af organisk stof i spildevandet stiger, og opholdstid under iltfrie forhold forøges. Hermed forøges udviklingen af svovl-



Figur 3 Betonbrønd med omfattende korrosionsskader (Foto Asbjørn ??)

Selv om nye spildevandsanlæg ofte etableres i korrosionsbestandige plastmaterialer som PE, PVC eller GAP, er beton stadig et anvendt materiale i mange anlægssituationer. Over halvdelen af det eksisterende ledningsnet samt bygværker til pumpestationer er af beton. Sammenholdt med den stigende svovlbrinteudvikling, må vi fremover forvente massive korrosionsproblemer i vores spildevandssystemer.

Årsager til dannelse af svovlbrinte

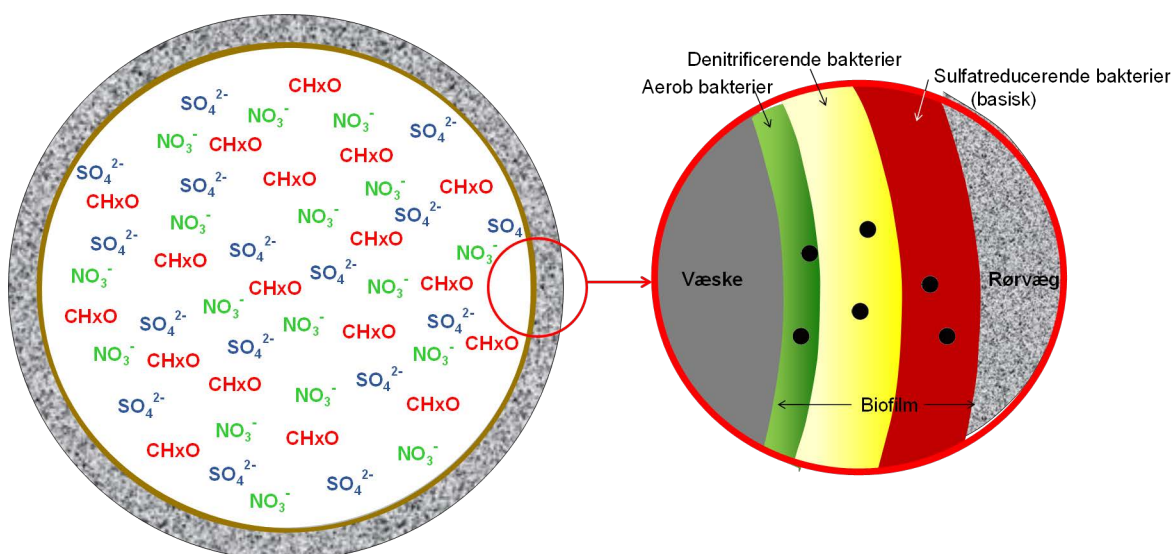
Kort om biologien



Spildevand er et meget komplekst og sammensat produkt, hvori der sker mange kemiske og biologiske processer. En af disse er svovlbrinteudvikling.

Sulfid er et nedbrydningsprodukt af bakterieaktivitet i den biofilm, der sidder på de overflader i rør og brønde, som har kontakt med spildevandet ("kloakhud"). Råstoffet, eller næringen, til denne aktivitet er den sulfat, som findes i spildevandet. Sulfaten (SO_4^{2-}) stammer hovedsageligt fra rengøringsprodukter, sæbe, vaskemiddel, kosmetik og andre produkter til personlig pleje, men i høj grad også fra vores drikkevand og indsvivende grundvand, som naturligt indeholder sulfat. De andre komponenter, der er relevante, når vi snakker om dannelse af svovlbrinte er: organisk stof [CH_xO], ilt [O_2] og nitrat [NO_3^-].

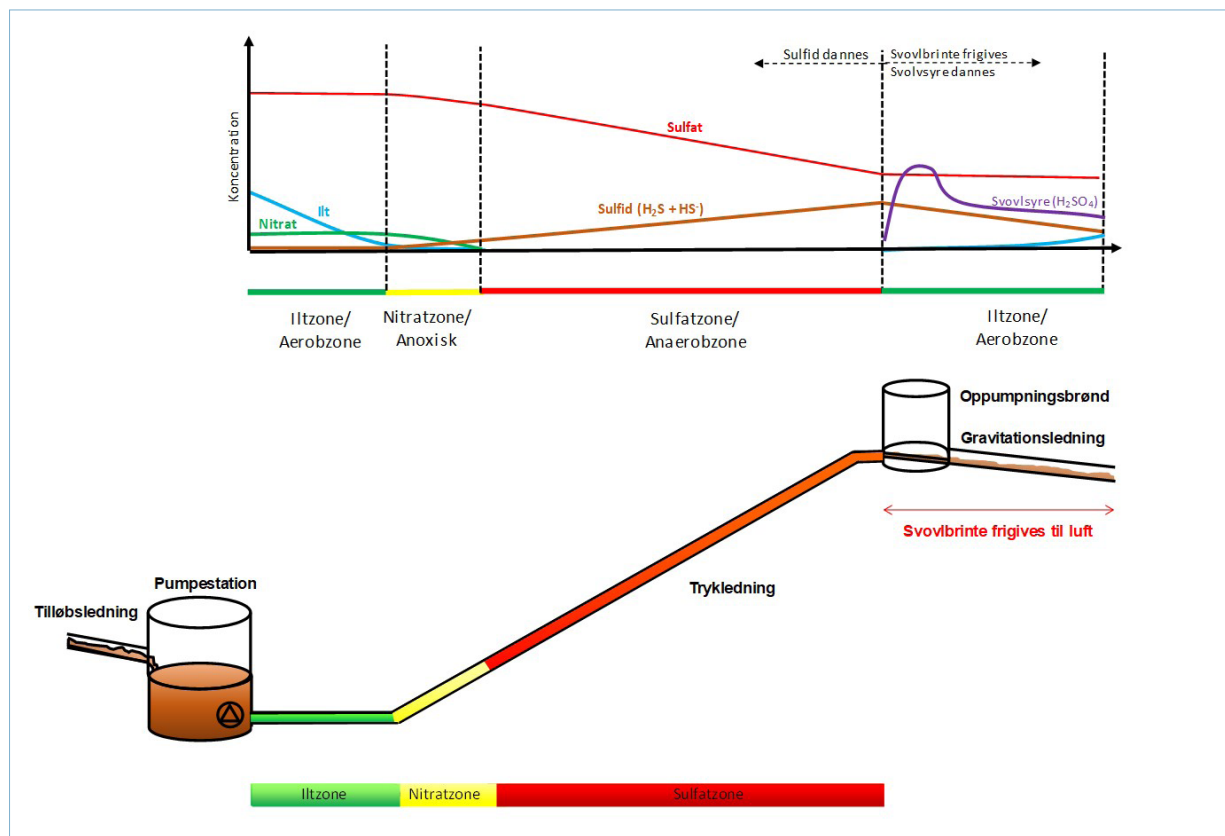
Bakterierne i biofilmen får deres energi ved nedbrydning af det organiske stof. Så længe der er fri ilt [O_2] eller nitrat [NO_3^-] tilstede, foregår nedbrydningen aerobt eller ved denitrifikation. Her er der ingen aktivitet hos de sulfatreducerende bakterier, der producerer sulfid. Det er først, når ilt og nitrat er opbrugt, at der bliver "plads" til disse bakterier. De sulfatreducerende bakterier får deres energi ved at bruge svovlmolekylet i sulfaten til at nedbryde (oxidere) det organiske stof. Herved omdannes og frigives svovlmolekylet som sulfid.



Figur 4: Spildevandet er sammensat af mange forskellige stoffer. En del af disse bliver omsat af bakterier i vandet og i biofilmen på røroverfladen

Ved de rette pH-forhold optræder sulfid på gasform [H_2S], som kan afstrippes til luften over vandspejlet. Gassen er ildelugtende og farlig, men er ikke i sig selv korrosiv. Imidlertid indgår svovlbrinten, sammen med ilt, som næring for nogle andre bakterier, der holder til på overflader over vandspejlet. Disse bakterier spiser altså en del af svovlbrintegassen. Desværre er affaldsproduktet fra denne proces en kraftig syre, svovlsyre [H_2SO_4], som ætser betons basiske kalkindhold. Det er på grund af denne bakterielle aktivitet, at svovlbrinten korroderer betonrør og -bygværker.

Da dannelse af sulfid og svovlbrintens omdannelse til svovlsyre foregår som biologiske processer, er hastigheden af disse afhængige af temperaturen. Ved stigende temperatur stiger proceshastigheden. Derfor vil problemerne med svovlbrinte oftest være størst i sommerhalvåret.



Figur 5: Stileret oversigt over tilstande i tryk- og gravitationsledningen ift. stofomsætning, dannelse af sulfid og frigivelse af svovlbrinte

Se meget mere om de biokemiske processer i sulfid-dannelsen i den animerede PowerPoint præsentation "Årsager til og konsekvenser af, svovlbrinte dannet i trykledninger". Præsentationen kan hentes på www.danva.dk/svovlbrinte.

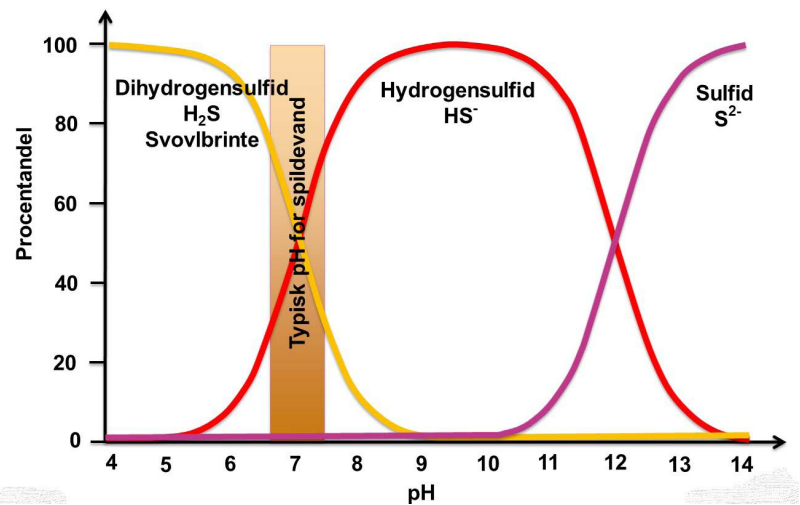
Kort om kemien

I vandfasen kan svovlbrintestofferne findes i 3 forskellige former, nemlig som dihydrogensulfid [H_2S], hydrogensulfid [HS^-] og som sulfid [S^{2-}]. I denne håndbog bruges betegnelsen svovlbrinte, når stoffet er i luftfasen, mens vi kalder det sulfid, når de optræder i vandfasen. Overgangen mellem de 3 former er glidende. Det er vandets surhedsgrad (pH-værdi) som afgør, i hvilken form sulfiden optræder i spildevandet. Sulfidionen S^{2-} optræder kun i meget basisk miljø, hvilket ikke er normalt i vores spildevandsanlæg.

HS^- og S^{2-} findes kun i væskeform, og kan derfor ikke forlade vandfasen. H_2S derimod er på gasform, opløst i vandet, ligesom kulsyren i en sodavand. Denne form vil kunne komme fra vandet ud i luften (afstrippes) und-er de rette betingelser, eksempelvis ved meget turbulens i en oppumpningsbrønd – som når man ryster en sodavand.

Det er således kun H_2S der skaber problemer i spildevandsanlæg-gene. Ved at holde en pH-værdi over 8,5 i spildevandet er det altså muligt helt at undgå problemer med svovlbrinten. Omvendt kan der forventes stigende problemer med svovlbrinte, hvis spildevan-dets forsures og pH-værdien falder.

Figur 8: Sulfids tilstandsformer ift. pH



Sediment

Trykledninger er ikke det eneste sted i spildevandssystemet, hvor der opstår iltfrie forhold. I aflejret slam og sand i ledninger og bassiner opstår der ligeledes zoner, hvor ilt ikke kan trænge ned selv om overfladen ikke er vanddækket. Ved berøring af dette sediment, f.eks. ved manuel rengøring, spuling eller slam-sugning, vil svovlbrinten straks frigives og ophobes i bunden af røret eller bassinet. For at undgå denne risiko anbefales det, at bassiner og bygværker designes, så de er selvrensende, f.eks. med automatiske skyllesystemer. Enhver manuel rengøring eller oprensning skal udføres med stor forsigtighed og med alle nødvendige sikkerhedsforanstaltninger.



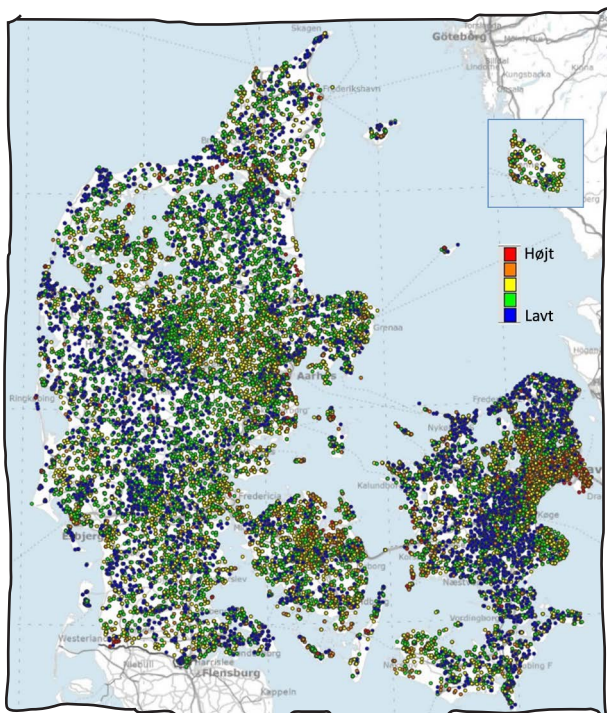
Figur 7: Sediment i bassin, hvor der er risiko for svovlbrintefrigivelse ved berøring

Geografiske forskelle på svovlbrinteniveauet

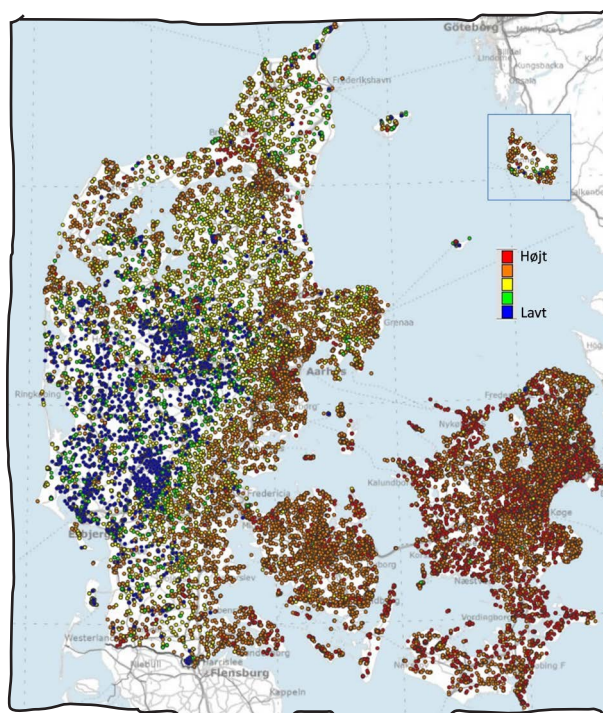
Det er ikke alene spildevandets indhold af organisk stof, der giver næring til svovlbrinteudviklingen.

Råvandet, som pumpes op fra vores drikkevandsboringer, indeholder naturligt sulfat [SO_4^{2-}] i varierende mængder. Det samme gælder for det grundvand der siver ind i kloakledninger fra dræn og andre uvedkommende kilder. Da disse vandmængder tilsammen udgør mere end 3/4 af vores spildevand, er det en væsentlig råstofkilde til produktionen af sulfid. Mængderne af sulfat i råvandet ligger typisk mellem 0 og 100 mg/l og svinger fra boring til boring. Den hygiejniske grænseværdi for sulfat er 250 mg/l, så stoffet fjernes normalt ikke på vandværket.

Ligeledes har mængden af hydrogencarbonat [HCO_3^-] i grundvandet indflydelse på pH-værdien i spildevandet, og dermed på om sulfiden optræder som opløst gasform eller som væskebundet sulfid. Hydrogencarbonat har stor buffereffekt, og jo mere der er i vandet, des mere neutral eller basisk kan pH-værdien holdes. Jo mindre hydrogencarbonat der er i vandet, des større er risikoen for at spildevandet forures

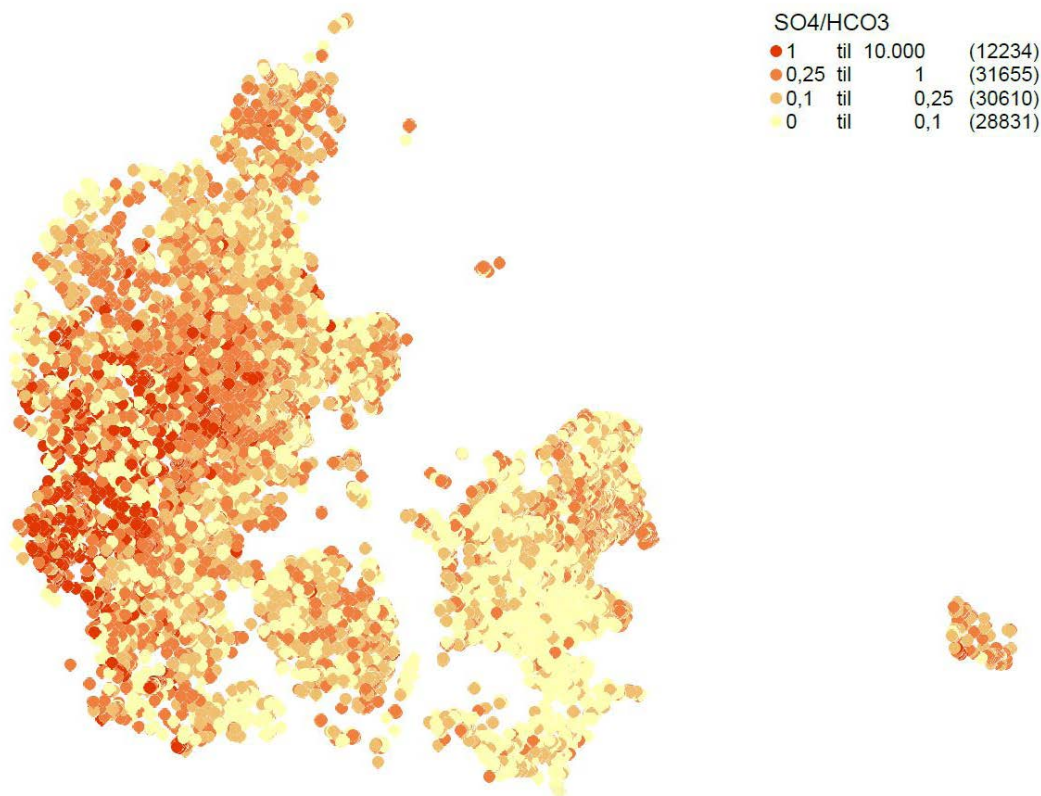


Sulfat i drikkevandsboringer (kilde: GEUS)



Hydrogencarbonat i drikkevandsboringer (kilde: GEUS)

I områder med høje koncentrationer af sulfat og lave koncentrationer af hydrogencarbonat er der altså et større potentiale for svovlbrintedannelse end i områder hvor koncentrationerne er modsat. På nedenstående kort er boringernes indhold af sulfat divideret med indholdet af hydrogencarbonat. Jo større værdi dette giver (mørkere pletter), des større er potentialet for at der udvikles svovlbrinte. Hvorvidt dette potentiale indfris, afhænger så af mange andre faktorer.

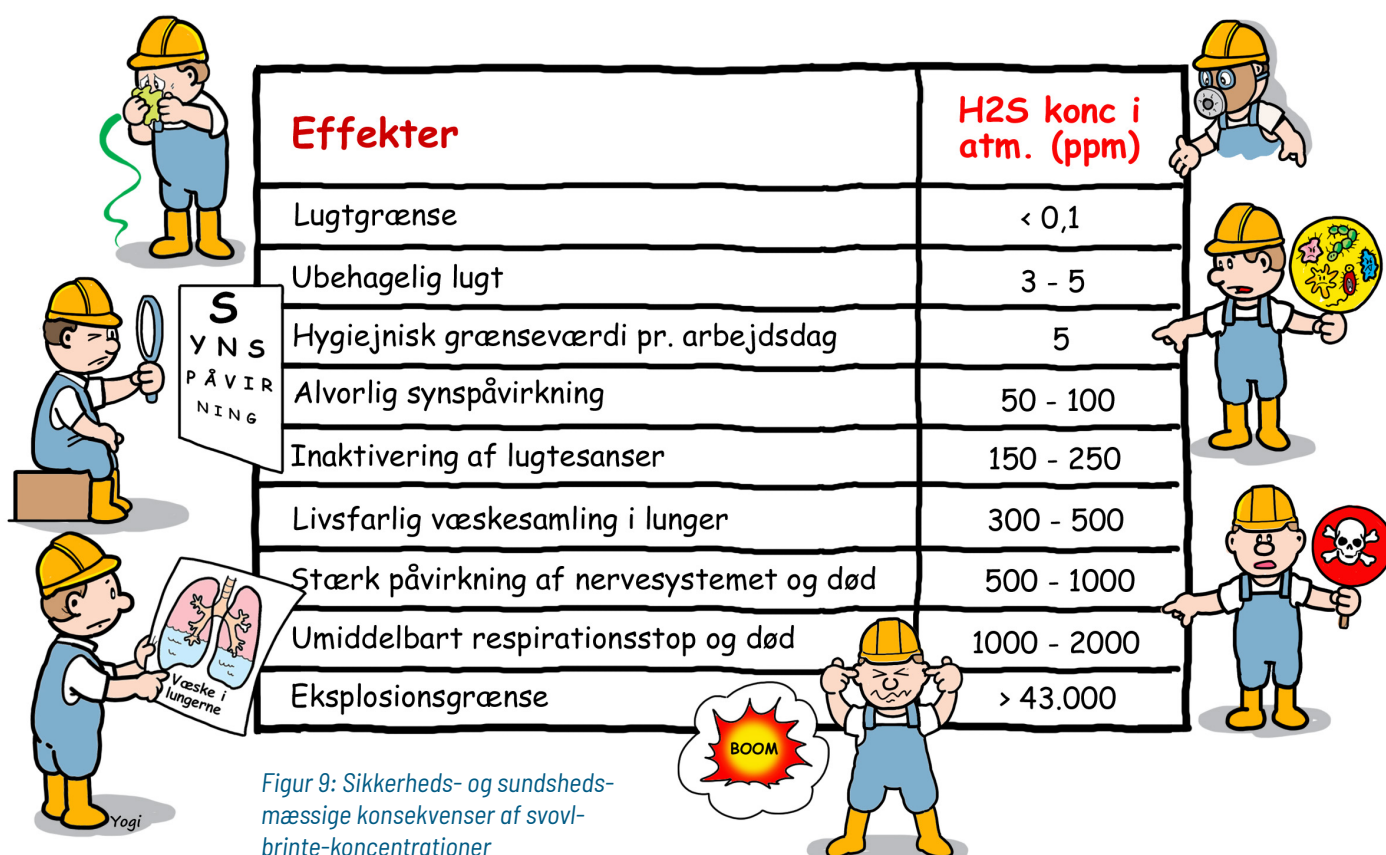


Du kan finde sulfat- og hydrogencarbonat niveauet for boringer i dit område på www.geus.dk under grundvandsanalyser.

Figur 6: Geografiske forskelle i potentialet for dannelse af svovlbrinte

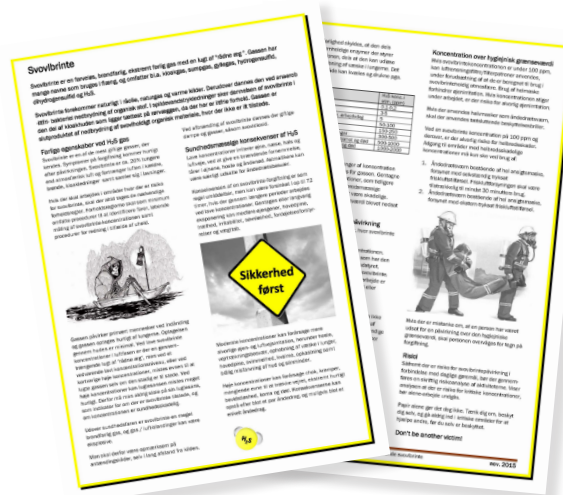
Svovlbrinte og arbejdsmiljøet

Svovlbrinte er en ekstrem giftig gas. Lave koncentrationer af svovlbrinte irriterer øjne, næse, hals og luftveje ved at give en brændende fornemmelse i slimhinderne, tårer i øjnene, hoste og åndenød. Høje koncentrationer kan forårsage chok, kramper, manglende evne til at trække vejret, koma og død. Arbejde i og omkring spildevandsanlæg med risiko for svovlbrinte er ekstremt farligt og kræver, at der medbringes personlig gasdetektor og nødvendige personlige værnemidler iht. AT-bek. 473 okt. 1983 med senere ændringer. Den hygiejniske grænseværdi for svovlbrinte er fastsat til 5 ppm (2019).



Figur 9: Sikkerheds- og sundhedsmæssige konsekvenser af svovlbrinte-koncentrationer

Læs videre om arbejdsmiljø og personsikkerhed i Sikkerhedsarket som kan hentes på www.danva.dk under Svovlbrinte netværk.



Svovlbrinte og lugtgener

Svovlbrinte lugter fælt og umiskendeligt af rådne æg. Selv i meget små koncentrationer (mindre end 0,1 ppm) kan den menneskelige lugtesans registrere svovlbrinte. Det kan derfor være til stor gene at være nabo til et spildevandsanlæg, hvorfra der er udslip af svovlbrinte.

Svovlbrinten lammer vores lugtesans. Efter kort tids påvirkning af svovlbrinte holder vores lugtesans op med at registrere lugten. Dette er meget farligt ved arbejde i kloaker og bygværker, da vi så kan forledes til at tro, at faren er drevet over, og ikke søger i sikkerhed på terræn. Stol aldrig på din lugtesans og brug altid gasdetektor.

Svovlbrinte og korrosion af beton og metal

Svovlbrinten i sig selv er korrosiv overfor metaller, ikke overfor beton. Det er først når svovlbrinten omdannes til svovlsyre (H_2SO_4) at der sker korrosion af beton.

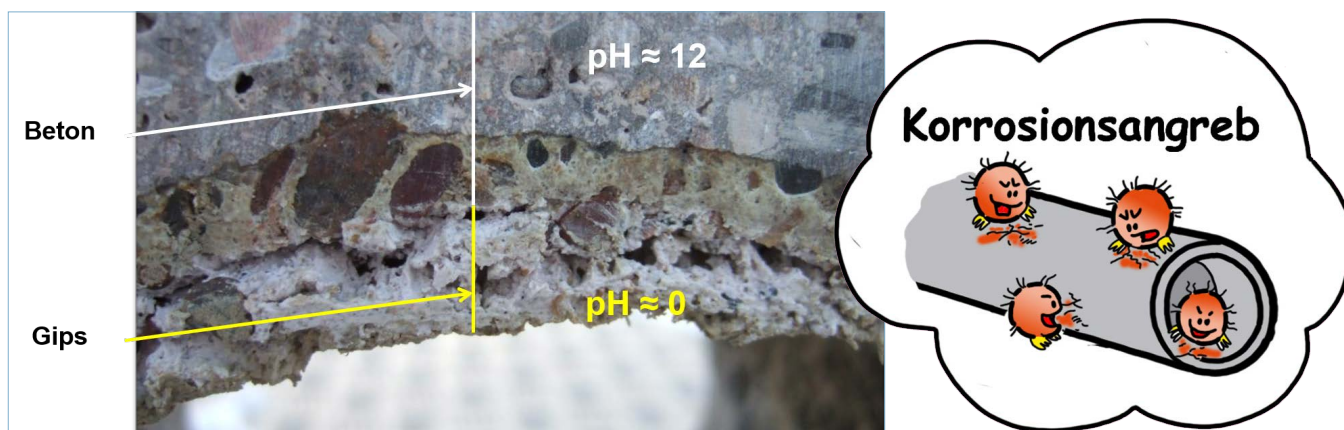
Korrosion af beton

Hvor der frigives svovlbrinte, vil dette give næring til bakterier, der lever i biofilmen over væskespejlet på indersiden af brønde og kloakrør. Bakterierne oxiderer svovlbrinten [H_2S] til svovlsyre [H_2SO_4] og den dannede svovlsyre virker stærkt korroderende (ætsende) på beton.

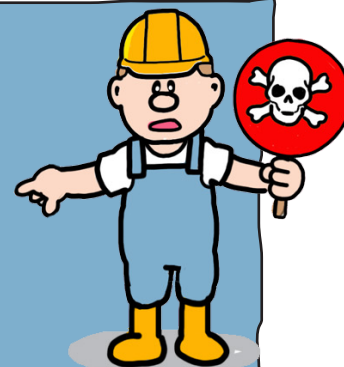
Beton består af en række forskellige kalkforbindelser og har naturligt en meget høj pH-værdi (basisk), omkring pH 12. Efter støbning påvirkes den alleryderste betonoverflade af luftens CO_2 -indhold (karbonisering), og der dannes en stabil hinde af kalksten [$CaCO_3$], som medfører et fald i overfladens pH-værdi til omkring neutral. Den neutrale overflade tillader, at visse sulfidoxiderende, syredannende bakterier kan kolonisere betonoverfladen. Bakterierne får næring fra svovlbrintegassen i kloakatmosfæren over væskespejlet, og omdanner den til svovlsyre [H_2SO_4], hvilket medfører korrosion af betonen. Som restprodukt

af korrosionsprocessen omdannes betonen primært til gips [CaCO_3] som efterlades på overfladen. Gips har ikke nogen fysisk styrke eller bæreevne, så betonens styrke forringes. Ved vedvarende syreangreb er der risiko for sammenbrud af rør og bygværker.

De biologiske processer kræver fugtighed. Derfor foregår de typisk umiddelbart lige over vandspejlsniveau, hvor vandet kan trækkes op af rørsiden af kapillærkræfterne, eller på rørets overside, kronen, hvor det almindelige fugtindhold i kloakluften almindeligvis kondensereres.

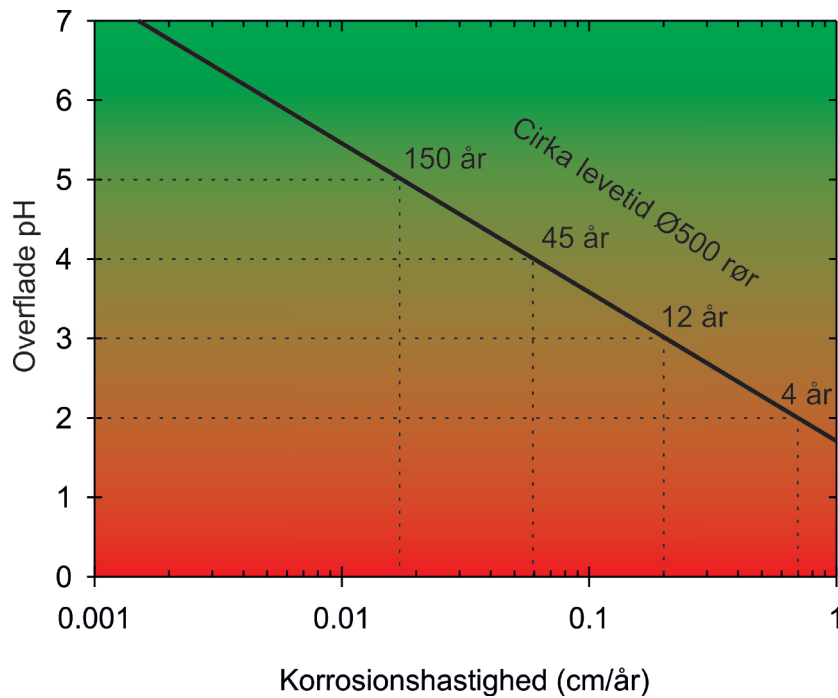


Svovlbrintekorrosion af betonoverflader ses ikke med det samme. Betons naturligt høje pH-værdi udgør et effektivt værn mod bakterievækst og har også en stor bufferkapacitet overfor syreangreb. På nystøbte betonanlæg skal der først ske en karbonisering og neutralisering af betonoverfladen, før der kan opbygges en biofilm med de syredannende bakterier. I det første stykke tid vil den indtrængende syre blive neutraliseret af betonen, og der vil ikke være tydelige tegn på korrosion, bortset fra noget hvidt gipspulver på overfladen.



Figur 10: Frilagt armering som følge af syreangreb

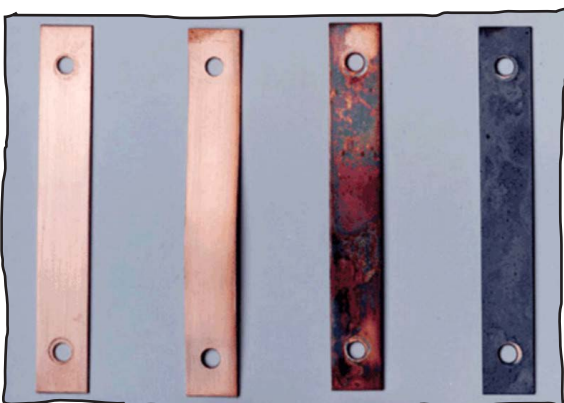
Nedenstående graf viser betons nedbrydningshastighed som funktion af overfladens pH-værdi, altså hvor mange cm af rørets godstykkelse der forsvinder hvert år ved forskellige pH-værdier. Allerede ved pH-værdier mindre end ca. 4 begynder korrosionen at være så kraftig, at det har afgørende betydning for betonens restlevetid.



Figur 11: Teoretisk sammenhæng mellem overflade-pH og korrosionshastighed, samt forventelig levetid for et Ø500 betonrør.
Kilde: L.A. County San District

Korrosion af metaller

På metaloverflader vil svovlbrinten forårsage en direkte kemisk iltning af materialet og danne en sort hinde af metalsulfid. Der behøves altså ikke en aktiv biofilm på metaloverflader, før disse påvirkes af svovlbrinten. Hinden af metalsulfid er elektrisk isolerende. Oxidering af metaller er derfor kritisk i spildevandsanlæggenes el-tavler, printplader, måleudstyr, frekvensomformere og andre elektriske installationer. Ofte er en sort hinde på kobberør og -skinner det første synlige tegn på, at der er svovlbrinteproblemer i anlægget.



Figur 12: Forskellige stadier af overfladeangreb på kobberskinner



Figur 13: Omfattende korrosion af alu-plumbe

Hvis der kommer fugt til metalsulfidhinden, vil der udskilles syre, som så angriber metallet (korrosion). Aluminiumsprofiler kan korrodere indefra, uden synlige yvendige tegn. Speciel ved stiger, lejdere og lignende er dette meget farligt, da trin og vanger kan se fuldstændig upåvirkede ud, selv om der ikke er nogen styrke tilbage i materialet.

Svovlbrinte på renselanlægget

Ved indløbet på renselanlægget vil tilløbsvandet afstripe en stor del af svovlbrinten i ristebygværket samt i beluftede sand- og fedtfang. Udover at være en meget stor lugt- og arbejdsmiljømæssig gene, som kræver kraftig ventilation, kan el-anlæg samt beton- og metalkonstruktioner være udsat for kraftig korrosion.



Figur 14: Korrosion af beton i sandfang på renselanlæg, hvor svovlbrinten frigives.

Sulfid er giftigt for biologien på renselanlægget. Blot nogle få mg/l sulfid kan hæmme nitrifikationsprocesserne i proces-tankene. Ved tilførsel af store mængder sulfid på små renselanlæg er der risiko for, at anlæggets renseseffekt svækkes. Ved større renselanlæg hvor fortyndingen er større, vil svovlbrinten sjældent have nogen dramatisk effekt på biologien. Det er typisk på renselanlæg i industrien, at svovlbrinte påvirker de biologiske processer.

Sulfid er et foretrukket næringssubstrat for mange trådformede, slimede bakterier. Opblomstring af disse bakterier vil medføre dårligere flokkulerings- og bundfældningsegenskaber for det aktive slam i proces-tankene og hermed øge risikoen for slamflugt. Herved reduceres anlæggets hydrauliske kapacitet. Den forringede flokkulering kan også give problemer med at afvande slammet.

Hvis der undervejs til renselanlægget tilsættes nitratholdige kemikalier i overskud til spildevandet for at forhindre svovlbrinteudvikling, skal det fjernes igen på renselanlægget under brug af ekstra kulstof.

Hvordan opdages problemet?

Typisk vil lugten af rådne æg være det første advarselstegn på svovlbrinteudvikling. Ofte opdages lugten først af naboer til spildevandsanlægget, som så ringer til forsyningen og klager. Vores lugtesans kan registrere meget små koncentrationer af svovlbrinte. Der behøves derfor ikke at være alvorlige problemer med anlægget, selvom det lugter, men der bør følges op på alle henvendelser (se afsnit Behandling af kundehenvendelser). Besigtigelse af anlæg og evt. efterfølgende TV-inspektion af ledninger vil hurtigt vise evt. korrosionsskader fra svovlbrinte.

Det er dog ikke altid, at problemet opdages i tide. Korrosionen kan være så fremskreden at betonrør kollapse og medfører øjeblikkelig blokering af i ledningsstrækket, i terrænet over ledningen eller i værste fald hul i kørebanen over røret. Korrosion vil også svække vejdæksler, som kan bryde sammen ved tung belastning og skabe farlige situationer for trafikken.



Figur 15: Sammenstyrtet vej grundet gennemtæring af gravitationsledning

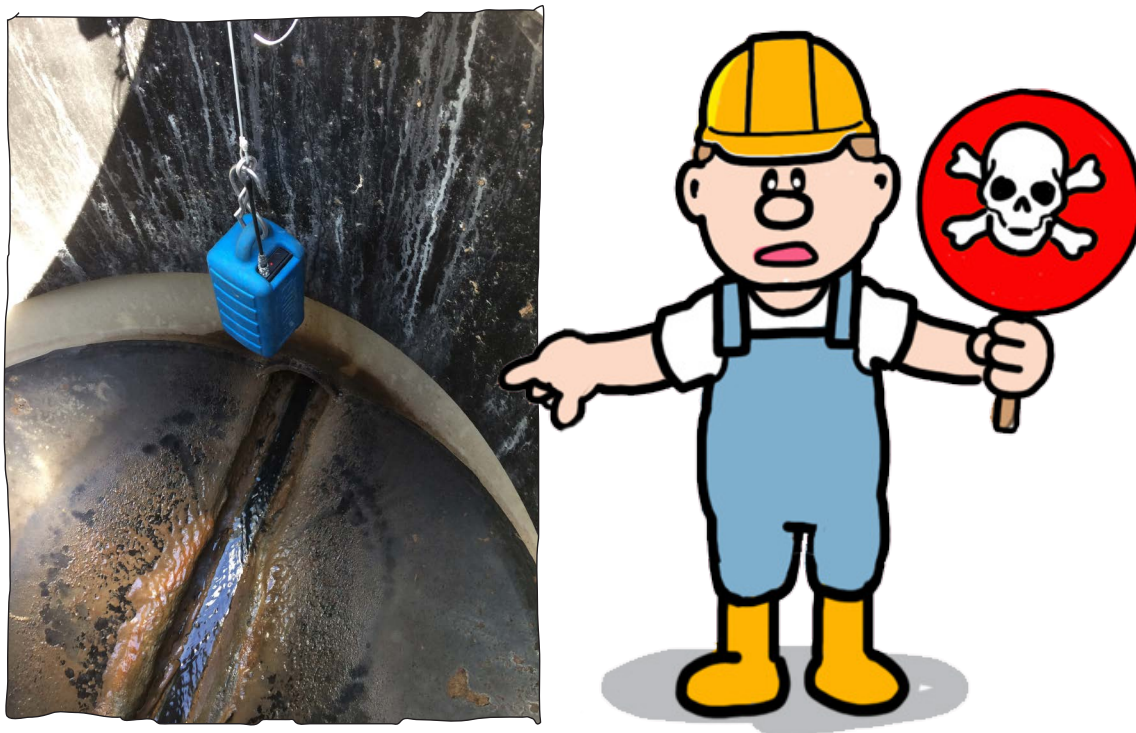
Måling

Måling i luftfasen

Traditionelt er svovlbrintekonzentrationen i forbindelse med kloaknetværk blevet målt med gasmålere, som ophænges i luften over kloakvandet. Typiske ophængningssteder er i forbindelse med pumpestationer, oppumpningsbrønde eller andre adgangsbrønde. Der findes en række produkter på markedet til at måle koncentrationen af svovlbrinte i gasfasen, og alle virker som pålidelige instrumenter. De er generelt baseret på den samme basisteknologi, som leveres af nogle få producenter.

Selvom gasmålerne er pålidelige, er der dog en række problemer med dem, som gør, at flere forsyninger, konsulenter og andre aktører på kloakområdet er begyndt at kigge efter alternativer. For det første afhænger gasfasemålingen meget kraftigt af ventilationsforholdene i kloakken på ophængningsstedet og dermed også af den præcise placering. Da ventilationen ofte har variationer, kan det derfor være svært at

få et totalt overblik over svovlbrintesituationen ud fra en enkelt opsat måler. For det andet tåler gasmålerne ikke at blive neddykket i spildevand i længere tid, og det kan derfor være problematisk at ophænge dem tæt på vandoverfladen, hvor man ellers ville få det mest pålidelige billede af svovlbrintefrigivelsen.



Figur 16: Gasfasemåling af svovlbrinte

Måling i vandfasen

Ved at afdække kilden til svovlbrinteudviklingen bliver det nemmere og billigere at iværksætte de rigtige bekæmpelsestiltag. Spildevandssammensætningen ved kilden er - trods alt - mindre kompleks end længere nedstrøms i systemet, hvor mange tilløb er blandet sammen. For at lave en præcis sporing af kilden er det nødvendigt at måle sulfidindholdet i væskefasen.

Hidtil har det kun været muligt at foretage feltmålinger af svovlbrinte i luftfasen. Måling af den væskebundne sulfid har tidligere krævet omstændige laboratoriemålinger af indbragte vandprøver. Der er de sidste par år udviklet sensorer, som kan måle og logge svovlbrintekonzentrationen direkte i vandfasen.

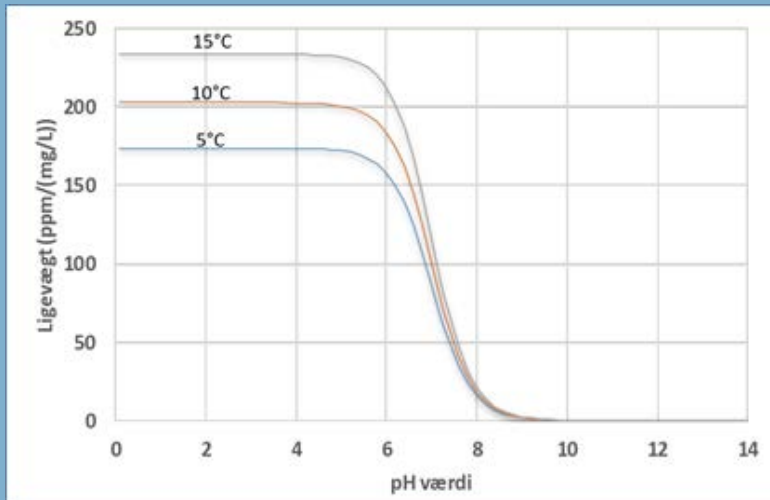
Sensorerne måler opløst sulfid (H_2S) i spildevandet, og de har den fordel, at signalet er langt mere stabilt over tid uden at afhænge af ventilationen. Ved en samtidig pH-måling kan den totale sulfidmængde bestemmes ud fra væskemålingerne. Man kan dermed få et samlet overblik over, hvor meget svovlbrinte der potentielt vil kunne frigives i kloaknetværket nedstrøms fra målepunktet.

Væskefasemålingerne giver derfor en unik mulighed for f.eks. at styre doseringsløsninger og sikre, at man ikke kun doserer efter, hvad der måles i et enkelt opsat punkt i luften over spildevandet, men at man bruger overblikket over den samlede mængde sulfid i stedet for. Dermed undgår man at handle på en måde, hvor man blot risikerer at flytte problemet til et nyt sted i netværket. Der kan også opnås store besparelser, da man trygt kan skrue ned for kemikaliedoseringen, når der ikke er sulfid i vandet, uden frygt for at der "gemmer sig noget under overfladen".

Hvor meget svovlbrintegas kan der afstrippes?

Det afhænger af spildevandets temperatur og pH-værdi. Grafen viser ligevægten mellem den totale sulfidkoncentration [H_2S , HS^- og S^{2-}] i væskefasen (måles i mg/liter) og svovlbrintekonzentrationen [H_2S] i gasfasen som (måles i ppm). Ligevægten er afhængig af temperatur og pH-værdi.

Da den opløste svovlbrinte først optræder ved pH mindre end 8,5, er ligevægten 0 ved de høje pH-værdier.



Spildevand kommer sjældent under pH 6.5 på grund af de buffersystemer som findes naturligt i vandet. Ved de lavere pH-værdier og en vandtemperatur på f.eks. 10° C kan der maksimalt frigives svovlbrintegas i en koncentration på 200 ppm for hvert mg/l opløst sulfid, der måles i væsken. Ved 15° C vil der kunne frigives 235 ppm svovlbrinte pr mg/l sulfid. Det er dog kun under meget specielle forhold, at alt sulfid vil blive afgasset – typisk vil man se lavere værdier.

Logning af data

Forudsætningen for at kunne gribe effektivt ind mod svovlbrinte er, at det fastlægges, hvor meget svovlbrinte der potentielt er i transportsystemet, samt hvilke variationer der optræder over døgnet, uger, måneder og gerne året. Jo længere en tidsperiode der kan findes data for, des mere præcist et billede kan man få af omfanget og måske også en idé om kilden til problemet. Ud over selve logningen og indsamlingen af data er det vigtigt at opbevare data på en måde, så de nemt kan hentes frem igen. Bedst er det at tilrettelægge dataopbevaringen, så drifts- og planfolk selv kan hente data (uden at de skal omkring it-afde-

lingen eller ekstern SRO-leverandør). For at sikre størst anvendelighed bør data opbevares som rådata (ikke beregnede data) og med et tidsinterval på højst 5 minutter. Det er vigtigt at tidsintervallet mellem logningerne holdes korte da der ofte optræder kortvarige "spidsbelastninger" i svovlbrinteniveauet i forbindelse med pumpestarter/kørsler.

De historiske data giver en enestående mulighed for at tjekke samtidig med andre hændelser i spildevandssystemet, eksempelvis pumpestarter fra tilledende pumpestationer og herigennem finde et mønster i, hvornår koncentrationer af svovlbrintegas stiger og falder. På den måde er det muligt at finde kilderne til et aktuelt svovlbrinteproblem.

Måling af overflade-pH

Ved inspektion af betonbygværk- eller brønd kan det være svært at afgøre, om et korrosionsangreb på betonoverfladen stammer fra svovlbrinte eller fra almindelig ældning af anlægget. Da svovlbrinteudviklingen i spildevandet kan variere over året eller pga. spildevandets forskellige sammensætning, er det ikke sikkert, at der altid lugter af svovlbrinte, og selv om det lugter, er det ikke sikkert at koncentrationen af svovlbrinte er stor nok til at forårsage korrosion.

En metode til at afgøre om betonoverfladen er udsat for korrosionsangreb, er at spraye en pH-indikatorvæske ud over overfladen og så sammenligne den fremkomne farve med en farveskala, der er specifik for indikatorvæsken. Hvis overfladens pH-værdi er mindre end 6-7, er det meget sandsynligt at korrosionen stammer fra svovlbrinte.



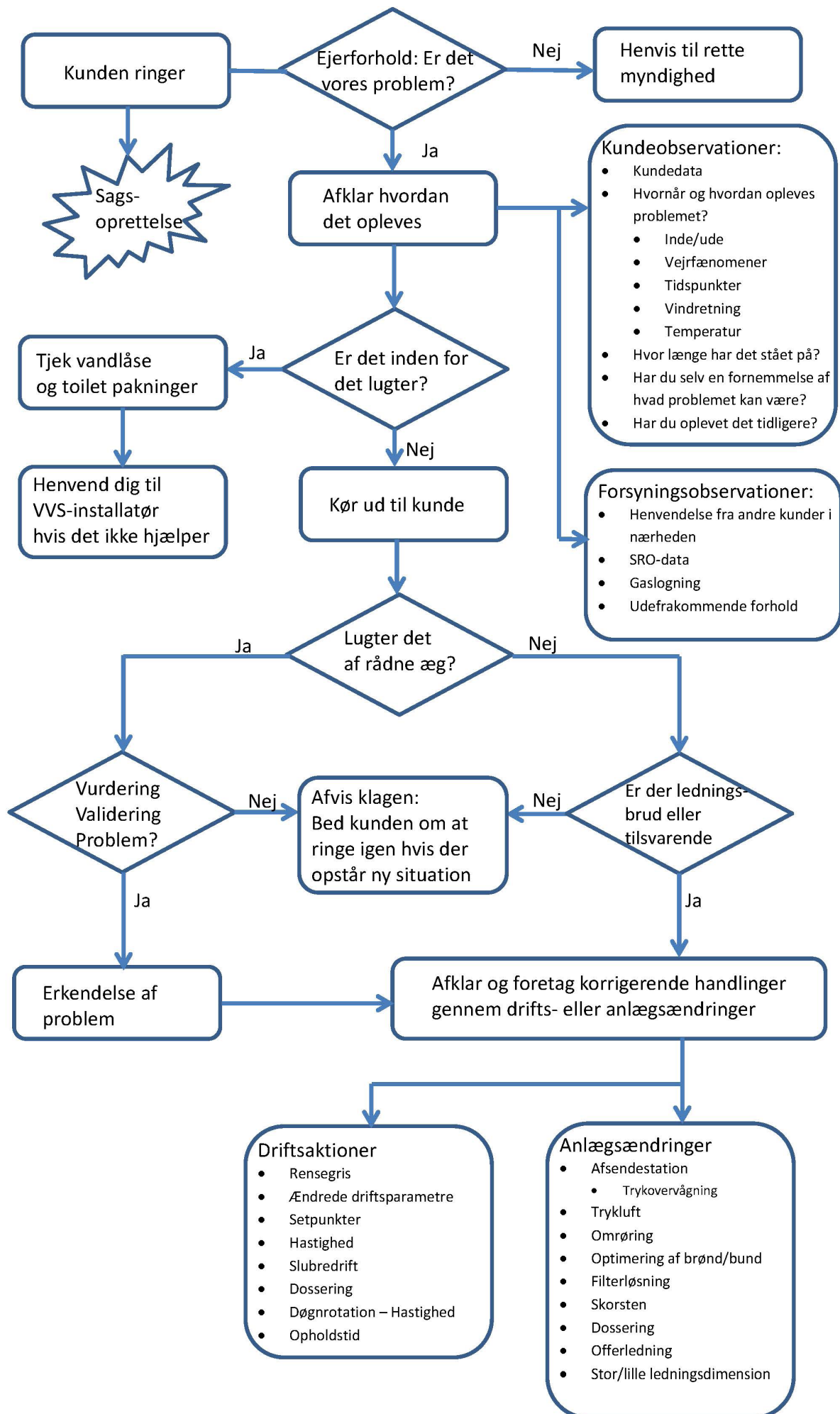
Figur 17: Betonbrønd før og efter påsprøjtning af pH-indikatorvæske. Overfladens pH er lavere end 2 og tydeligt syrepåvirket.

I nye anlæg uden synlige tegn på korrosion, kan metoden også anvendes til at opdage svovlbrintepåvirkning af overfladens biofilm. Dermed kan man få et fingerpeg om hvilke problemer med korrosion, der kan forventes. pH-værdi på betonoverfladen viser også, hvor hurtigt korrosionen forløber (se mere om dette under afsnittet Svovlbrinte og korrosion af beton og metal).

Du kan læse mere om denne metode til visning af overflade-pH i Proceduren for bestemmelse af korrosionshastigheder af betonoverflader som kan hentes fra www.danva.dk/svovlbrinte.

Behandling af kundehenvendelse

Det kan være uudholdelig at være nabo til et spildevandsanlæg, der lugter af svovlbrinte. Derfor bør alle klager over lugtgener behandles seriøst og grundigt. Ofte er det spildevandsforsyningens kunder, der først opdager problemerne med svovlbrinte, nemlig når lugten af rådne æg spredt sig fra nærliggende spildevandsanlæg. En kunde, der ringer ind og gør opmærksom på lugtgener fra brønde eller pumpestationer, er en enestående håndsrækning i arbejdet med kortlægning af svovlbrinte. Ofte kan der direkte indgås et samarbejde, hvor kunden foretager registreringer af lugthændelser, evt. på et udleveret registreringsskema. Derfor skal alle kundehenvendelser om lugt tages meget alvorligt og behandles systematisk.



På næste side er vist et beslutningsdiagram, som viser en vej, fra kunden ringer ind, frem til at de nødvendige afværgeaktiviteter skal vælges. Øverste halvdel af diagrammet kan anvendes af forsyningens kundesupport, inden opgaven evt. gives videre til driften. Undervejs i det viste forløb registreres kundens observationer. Det afklares, hvem der skal løse problemet. Er det forsyningen, myndigheden, eller er det kunden selv? Det kan f.eks. være, at lugtgenen slet ikke er registreret i nærheden af forsyningens anlæg, men at det er kommunens, naboens eller kundens eget anlæg, der lugter. Der er en mængde spørgsmål, som det er vigtigt at få svar på, inden der træffes valg om at køre ud til lokaliteten og undersøge henvendelsen nærmere og tage videre aktion.

Registrering og opbevaring af de indhentede svar er vigtig, også selv om det ikke er forsyningen, som skal løse problemet. Der kan senere vise sig andre svovlbrinteproblemer i nærheden af lokaliteten, hvor det kan være nyttigt at medtage tidligere hændelser, som en del af problemafdækningen.

Hvad kan gøres – på eksisterende anlæg

Når der er konstateret svovlbrinte i et spildevandsanlæg, kan der iværksættes både forebyggende og bekæmpende tiltag. Forebyggende tiltag iværksættes for, at udviklingen af svovlbrinten forhindres, mens bekæmpende tiltag sørger for, at den producerede svovlbrinte pacificeres eller fjernes fra spildevandssystemet, før det når at skabe problemer.

På de sidste sider i denne håndbog er de forskellige tiltag listet op med fordele og ulemper.

Forebyggende tiltag

Forebyggende tiltag iværksættes for at forhindre udviklingen af sulfid i trykledningen.

Afsendelse af rensegris



Figur 18: Afsendelse af rensegris

Ved afsendelse af en rensegris i en trykledning af-rives det meste af biofilmen på trykledningens inder-side, som er der hvor svovlbrinteproduktionen foregår. Herved reduceres svovlbrinteudviklingen væsentligt, indtil biofilmen igen er opbygget og renseproceduren må gentages, sædvanligvis med ugers eller få måneders interval. Udover at reducere svovlbrinteproblemet, vil rensning af trykledningen også give et mindre modtryk for pumpen, som så sparer energi.

Sørg for at få lavet en fast procedure på de berørte ledningsstræk, så afsendelse bliver foretaget med faste intervaller eller efter faste set-punkter. Gør proceduren så nem som muligt ved at etablere faste afsendestationer i pumpestationerne, der er nemme at arbejde med og få lavet gode modtageforhold i oppumpningsbrønden, så det er let at optage grisen efter brug.

Hvis der tilsættes kemikalier, skal dosseringen af kemikaliet reduceres eller helt stoppes efter afsendelse af rensegris, da der nu ikke er en biofilm til at danne sulfid.

Tilsætning af nitrat

Ved at tilsætte nitrat til spildevandet, f.eks. i form af calciumnitrat, forhindres dannelsen af sulfid i trykledninger, da nitrat skal være omsat, før der er vækstbetingelser for de sulfidproducerende bakterier. Tilsætning af nitrat kan endvidere forhindre dannelsen af andre ildelugtende svovlforbindelser, fede syrer mv.



Figur 19: Nitratdosering i sump

Omsætningen af den tilsatte mængde nitrat vil forbruge en del af det let-omsættelige organiske stof i spildevandet som renseanlægget har brug for til kvælstoffjernelse. Derfor vil nitrattilsætning have negativ effekt på spildevandsrensningen.

Biologisk bekæmpelse

Et forholdsvis nyt tiltag er at tilsætte/pode specielle bakterier i trykledningen, som så udkonkurrerer de svovlbrinteproducerende bakterier. Metoden er kun afprøvet i Danmark i begrænset omfang, og erfaringerne er derfor få.

Iltning

Atmosfærisk luft eller ren ilt kan tilsættes vandet i trykledningen. Herved skabes iltholdige forhold i en længere del af trykledningen, så de svovlbrinteskabende bakterier udkonkurreres.

Til sammenligning med nitrat, er opløseligheden af ilt i vand forholdsvis begrænset. Opløseligheden er afhængig af trykket, temperaturen og hvorvidt man benytter ren ilt eller atmosfærisk luft. Metoden er derfor ikke velegnet ved trykledninger med meget lange opholdstider. Tilførsel af atmosfærisk luft kan skabe problemer for pumpedriften, da det kan danne store luftlommer i trykledningens højdepunkter.

Bekæmpende tiltag

Hæve pH-værdien

Ved at tilsætte base til spildevandet (f.eks. lud) kan pH-værdien hæves, så størstedelen af sulfiden bliver på væskeform og ikke frigives som svovlbrente. Der skal bruges store mængder base, men hvis det kan skaffes som affaldsprodukt fra industrivirksomheder, kan det være en god løsning. Når sulfiden optræder på væskeform vil den reagere med tilstedeværende ilt og langsomt oxideres kemisk tilbage til sulfat. Der er dog risiko for blot at skubbe problemet nedstrøms hvis denne proces ikke løber til ende. Hvis pH-værdien falder igen længere nedstrøms pga. tilførsel af andet spildevand, vil det væskeformige sulfid atter overgå til gasform. Håndtering af stærk base er endvidere problematisk ift. arbejdsmiljøet.

Oxidering af sulfid

Det dannede sulfid kan oxideres til elementært (rent) svovl [S^0] eller sulfat [SO_4^{2-}] ved at tilsætte stærke oxidanter til spildevandet, f.eks.:

- Ren ilt [O_2]
- Peroxider (brintoverilte) [H_2O_2]
- Natriumhypoklorit (klorin) [$NaClO$]

Iltningsmidlerne skal tilsættes efter at sulfiden er dannet – fx tæt ved udløb fra en trykledning eller i et decideret reaktionsbassin. Fælles for iltningsmidlerne gælder det at de ikke kun reagerer specifikt med sulfiden, men en del tabes ved at det indgår i iltningsreaktioner med spildevandets organiske stofindhold. Iltningsmidlerne vil normalt også kunne fjerne andre lugtforbindelser, som dannes sideløbende med sulfid. Den nødvendige dosering afhænger typisk af spildevandets stofsammensætning og pH-værdi.

Ilt kan fjerne sulfid ved både en spontan kemisk reaktion og ved biologisk iltning. Begge processer forløber side om side og omdanner sulfid til elementært svovl [S^0] eller sulfat [SO_4^{2-}]. Den kemiske reaktion er væsentlig hurtigere ved høje pH-værdier, så spildevandets sammensætning er vigtig for effektiviteten. Til sammenligning med atmosfærisk luft har ren ilt en opløselighed, der er cirka 5 gange højere.

Brintoverilte er et kraftigt iltningsmiddel som fås i tekniske opløsninger med en koncentration på 35–50%. Iltningsmidlet skal tilsættes i overskud på grund af reaktioner med spildevandets organiske stofindhold. Erfaringer fra USA har vist, at der typisk kræves en dosering i forholdet en til fire dele brintoverilte per del sulfid (på vægtbasis). Reaktionshastigheden med brintoverilte er forholdsvis langsom og kræver i størrelsesordenen 15–30 minutter for at løbe til ende. Ved tilsætning af en katalysator (typisk en jernforbindelse) kan reaktionstiden nedbringes betydeligt.

Natriumhypoklorit er ligeledes et kraftigt kemisk iltningsmiddel, der kan oxidere sulfid. Reaktionshastigheden med sulfid er væsentligt hurtigere end for brintoverilte og kemikaliet kan derfor tilsættes tættere ved udløbet af en trykledning. Reaktionen er typisk løbet til ende i løbet af få minutter. Teoretisk reagerer sulfid og hypoklorit i forholdet cirka 1 til 9 på vægtbasis. Ved reaktionen omdannes sulfid til sulfat og hypoklorit til natrium klorid (alm. bordsalt). I praksis skal der doseres en større mængde pga. sidereaktioner med organisk stof.

Fældning af sulfid

Sulfid kan udfældes med en lang række di-valente metaller. Herved vil sulfiden blive bundet til disse og udfældes som tungtopløselige metalforbindelser. Oftest benyttes jern-salte, da disse er miljømæssigt forholdsvis uproblematisk. Jern kan tilsættes enten som jern (II) eller jern (III) salte. Det er imidlertid kun den di-valente jern (II), som kan udfælde direkte med sulfiden. Jern (III) skal først omdannes kemisk til jern (II) før der kan ske udfældning. Dette sker primært ved en iltningsreaktion, hvor en del af sulfiden omdannes til elementært svovl. Jern (III) salte kan derfor i princippet fjerne en smule mere sulfid end jern (II).

Ved tilsætning af jern-salte vil en del af det tilsatte kemikalie tabes i andre processer. En del binder sig eksempelvis til spildevandets organiske stofindhold. I praksis er der derfor ikke stor forskel på den nødvendige dosering af jern (II) og jern (III) salte.

Effektiviteten af jern som fældningskemikalie afhænger i høj grad af spildevandets pH værdi. Ved pH værdier under 7 skal det tilsættes i relativt stort overskud for at fælde alt den dannede sulfid. Ved høje pH værdier er effektiviteten større.

Indkapsling af beton

Hvis det ikke er muligt at forebygge eller bekæmpe svovlbrinten, må betonen beskyttes på bedste vis. Det gøres sædvanligvis ved at isolere betonen fra svovlbrinten med en membran eller barriere typisk af et plastmateriale.

Ved runde betonbrønde er det muligt at nedsænke en standardindsats af GAP eller PE. Efter tæt tilslutning af rør, dæksler og andre gennemføringer vil plastindsatsen udgøre kontaktfladen til spildevand og svovlbrinte. Ved nøje planlægning kan denne løsning udføres forholdsvis hurtigt så overpumpnings-perioden bliver minimal.



Figur 20: Overfladebeskyttelse af pumpeump med PE-plader

Ved andre bygningsgeometrier vil det være nødvendigt at opbygge barrieren på stedet. Her vil det oftest være PE-plader, som svejses sammen, der udgør den nye væg. Metoden med forring af det angrebne bygværk er en slidstærk, tæt og effektiv barriere overfor svovlbrinte. Montering og sammensvejsning af PE-pladerne er forholdsvis arbejdstung og kræver at bygværket tages ud af drift i længere tid.

En anden mulighed for at beskytte betonen er at "coate" betonoverfladerne med epoxyprodukter. Hvis betonoverfladen er meget korroderet, skal der foretages en oppudsning af betonen inden den coates. Coatningen kan foretages ved at rulle eller sprøjte epoxyen på betonen. Det kræver stor omhyggelighed at udføre coatningen korrekt. Selv det mindste hul i coatningen (pinholes) vil give svovlbrinten adgang til den bagvedliggende beton og genoptage korrosionsprocessen.



Figur 21: Coatning af betonoverflader

Anvendelse af vandglas (natriumsilikat) til coatning af beton har ikke givet dokumenterbar beskyttelse mod svovlbrintekorrosion.

Gravitationsledninger kan strømpefores som beskyttelse mod korrosion.

Ved at indkapsle betonen i plastmaterialer opnås en lokal beskyttelse mod korrosion, men mængden af svovlbrinten er ikke reduceret. Hvis ikke svovlbrintegassen afluftes eller neutraliseres vil problemet flytte længere nedstrøms i ledningssystemet.

Stripning

En måde til at fjerne de fleste svovlbrintegasser i spildevandet på, er ved at lade vandet plaske mest muligt nede i oppumpningsbrønden. Turbulensen i vandet sammen med den store kontaktflade mellem vand og luft presser svovlbrintegassen ud af vandet og over i luften (gassen afstrippes), hvorfra den så skal fjernes ved aktiv ventilation. Når svovlbrintegassen er bortventileret skaber den ikke problemer i systemerne nedstrøms.

Der kan i oppumpningsbrønden indrettes forskellige konstruktioner, som øger turbulens og kontaktflade så afstrippingsforholdene optimeres. Det er vigtigt, at alle komponenter i oppumpningsbrønden er korrosionsbestandige, da den aktive afstripping skaber meget højere svovlbrintekonzentrationer end i en sædvanlig oppumpningsbrønd.

Den øgede afstripping betyder også, at lugtgener fra ventilationsafkastet forøges voldsomt og det kan være nødvendigt at fjerne lugten med en filterløsning.



Figur 22: Oppumpningsbrønd hvor indløbet er udformet så der sker maksimal afstripping



Lugtfjernelse

For at forhindre lugten af rådne æg i at brede sig til omgivelserne, kan der sættes et filter på afkastet fra udluftninger og ventilatorer. Der findes mange forskellige typer filtermateriale, som kan vælges afhængig af svovlbrintekonzentration, luftmængde, plads og økonomi. Fælles for dem alle er, at filtermaterialet skal holdes fugtig og med tiden udskiftes eller suppleres. Af filtermateriale kan nævnes bark, flis, leca, muslingeskaller, lava, kul, biomåtter mv.

Der er også eksempler på, at svovlbrinteholdig luft fra et indpumpningsbygværk på et renseanlæg ledes igennem diffusorer i bunden af renseanlæggets procestanke sammen med den almindelige beluftning. Lugten bliver her fjernet ved den almindelige biologiske omsætning af spildevandet i procestanken. Det er også muligt at anvende en lampe med ultraviolet lys, som monteres direkte i oppumpningsbrønden eller i en ventilationskanal. Lampen fungerer som ozon-generator, hvor UV_C -lys ved fotolyse danner ozon af luftens ilt. Den dannede ozon oxiderer svovlbrinten til svovldioxid og vand.



Den dannede ozon vil ikke kun reagere med svovlbrinte men også med fede syrer, mecaptaner og andre ildelugtende gasser. Da råstoffet for ozonproduktionen er atmosfærisk ilt, kræver metoden tilførsel af luft udefra. Ozon er i sig selv giftigt, så der skal tages arbejdsmiljømæssige forholdsregler ved anvendelse af metoden.

På de sidste sider i Håndbogen ses en liste, hvor de forskellige filtermaterialer er opført med fordele og ulemper.

Offerledning

Offerledninger er en betegnelse for betonrør med ekstra godstykkelse og med ekstra meget kalk/marmor i tilslaget. Offerledningen lægges, hvor der sædvanligvis er stor korrosion i betonledningerne. Rørene er designet til at blive "spist" af den svovlbrinterelaterede svovlsyre, hvorved denne neutraliseres og ikke skaber korrosionsproblemer længere nedstrøms. Altså en slags kontrolleret nedbrydning hvor røret "ofrer" sig til fordel for resten af det nedstrøms ledningssystem. På grund af den forøgede godstykkelse og kalkindhold har offerledningen en længere levetid end et normalt betonrør lagt på samme sted, men røret vil stadig bortkorrodere og skulle udskiftes efter en årrække.



Ændring af spildevandssammensætning og -tilførsel

Hvis det er industrier eller andre enkeltudledere, der er medvirkende- eller direkte årsag-til svovlbrinteproblemer, bør det undersøges, om det er muligt at ændre på spildevandets sammensætning, eksempelvis ved:

- Etablering af forrensning af spildevandet inden det ledes ud i kloaksystemet, så COD-indholdet reduceres.
- Tilførsel pH-regulerende kemikalier (f.eks. lud), som hæver spildevandets pH-værdi til 8,5+, hvorved svovlbrinten fastholdes som sulfid på væskeform.
- Etablering af bassiner med stor overflade, som kan være med til at sænke temperaturen i varmt spildevandet inden udledning til kloaksystemet.

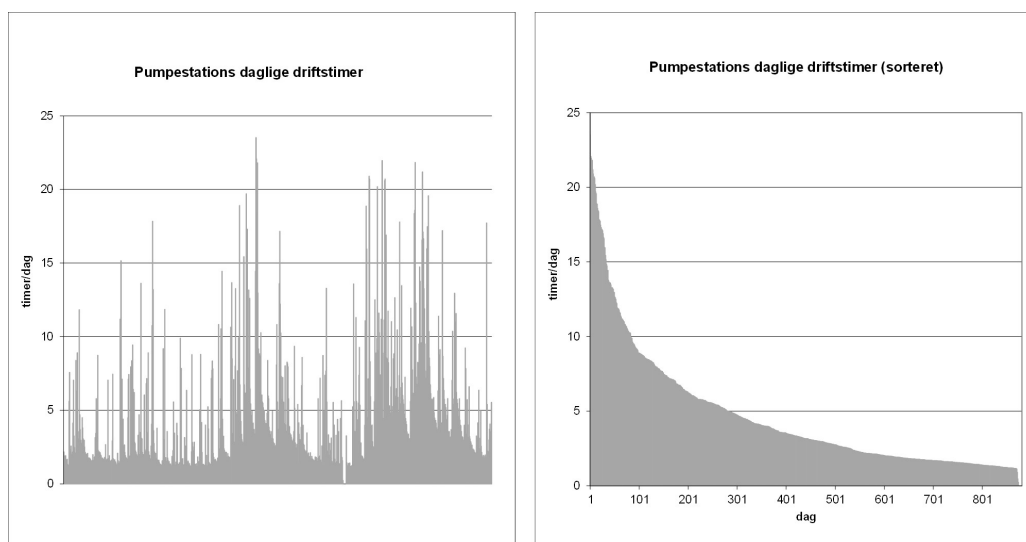
Hvad skal der gøres -når nye anlæg planlægges

Forudsætningerne for svovlbrinteutvikling vil altid være til stede i spildevand. Jo længere tid spildevandet holdes under iltfrie forhold des større er produktionen af svovlbrinte. Derfor er trykledningens længde og dimension i kombination med den pumpede vandmængde de helt afgørende faktorer for svovlbrinteutvikling. Når nye afskærende, tryksatte spildevandssystemer projekteres, er det derfor væsentligt at indtænke svovlbrinteproblematikken fra starten. Herved undgås, at der efterfølgende skal laves dyre afværgetiltag eller reetablering af korroderede rør og bygværker.

Korrekt designgrundlag

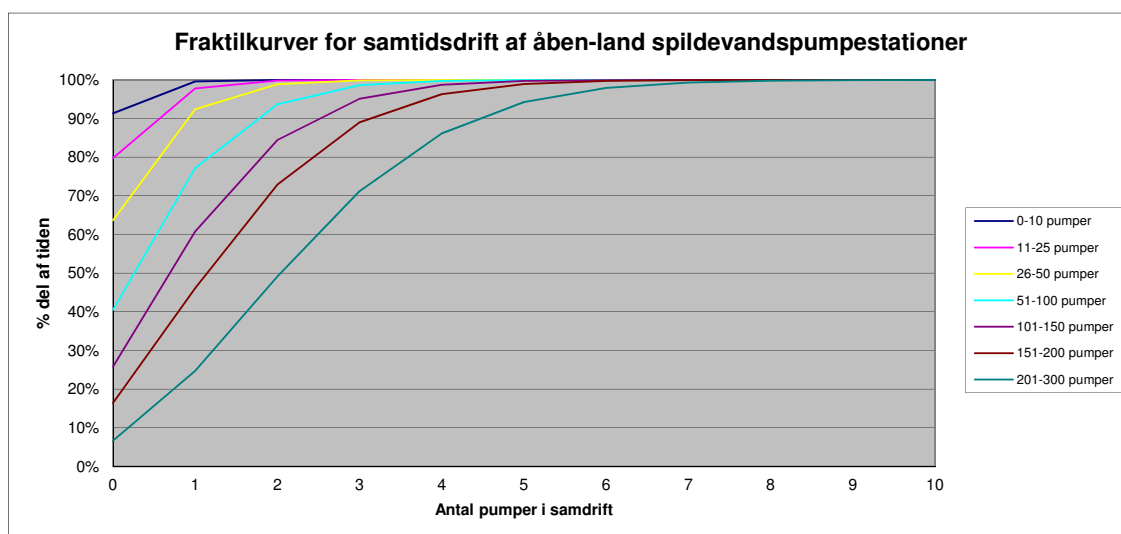
I designgrundlaget til et pumpesystem er de vigtigste parametre:

- Vandmængder.
- Variationer i tilløb over døgn og år (samtidighed, indsvining, overfladevand).
- Spildevandets sammensætning (organisk stof, pH, temperatur).



Figur 23: Daglig drifttid på pumper, sorteret/usorteret. Ved at organisere daglige driftsdata efter størrelse kan der hurtigt opnås et bedre overblik over det faktiske pumpebehov

Fastlæggelse af det korrekte dimensioneringsgrundlag er yderst vanskeligt, da det er afhængigt af mange forskellige faktorer. Derfor anvendes forsigtighedsprincippet som regel, når de forskellige faktorerne skal fastlægges, så vi er sikre på, at ledningerne ikke bliver for små. Det resulterer i, at der ofte anvendes "sikkerhed på sikkerhed -metoden", hvilket fører til en overestimering af den nødvendige kapacitet. Ved design af åben-landssystemer beregnes der ofte med, at der kan forekomme flere pumper i samtidig drift end der reelt vil forekomme. Dette betyder at trykleddene overdimensioneres.



Figur 24: Sandsynligheden for at flere pumper er i drift samtidig i åben-landssystemer af forskellig størrelse

I spildevandsanlæg er overestimering af belastningsgrundlaget problematisk, da det typisk resulterer i overdimensionering af sumpe, pumper og ledningsanlæg. Da opholdstiden er den væsentligste faktor for dannelse af svovlbrinte i vores spildevandsanlæg, bør kapacitetsbehovet vurderes kritisk, så størrelsen på sumpe, pumper og trykleddene matcher tilløbet mest muligt.

I mange tilfælde vil det også være nødvendigt at se på den fremtidige belastning af anlægget, da den i mange tilfælde vil ændre sig. Disse ændringer kan f.eks. skyldes separering af oplande, tilkobling af nye oplande, reduktion af indsvivningsmængder, nedlæggelse af industrier mv.; forhold som har indflydelse på belastningen og som vil ændre opholdstiden.

Konsekvensen af en længere opholdstid vil være en øget svovlbrinteproduktion. Hvis der kan forventes variationer i belastningen på mere en 20-30 % i hele systemets levetid, skal der tages vidtgående hensyn til fleksibilitet i anlægget.

Den bedste måde at bekæmpe svovlbrinte på, er at forhindre den i at dannes. Jo mindre organisk stof der er i vandet, des mindre svovlbrinte. Etablering af en forrensning af spildevandet for sand og fedt, inden det pumpes ind i trykledningen, vil således reducere den efterfølgende svovlbrinteudvikling.

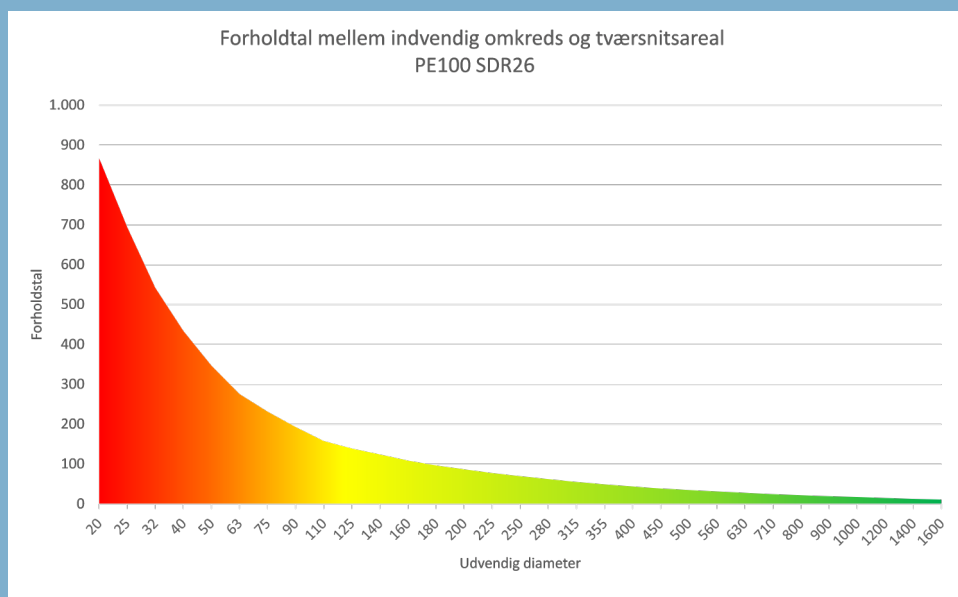
Forebyggende design

Optimalt design med henblik på at forebygge svovlbrinte problemer er kort sagt at sørge for så kort opholdstid under iltfrie forhold som muligt. Det gøres ved at lave:

- Korte trykledninger
- Korrekt rørdimension (Volumen/Areal-forhold, strømningshastighed).
- Parallelle ledninger
- Afsende- og modtagestation for rensegris
- Korrekt sumpstørrelse.
- Selvrensning af sump og bassiner

Areal/volumenforhold

Jo større et trykrør der anvendes til transport af spildevandet, desto mindre kontakt har hver liter transporteret spildevand med den indvendige rørvæg og dermed med biofilmen. I et trykrør med lille diameter, som hovedsagelig bruges i åbent-land-systemer, har spildevandet forholdsvis større berøring med biofilmen på rørvæggen og dermed vil produktionen af sulfid være større. Spildevandets opholdstid i trykledningen har altså større indflydelse på svovlbrinte problematikken i ledninger med lille dimension end i ledninger med større dimension. Derfor skal man være opmærksom på problematikken, når afvejningen mellem ledningsdimension og opholdstid sker.



Ved at projekttere ledningssystemet så vandets opholdstid under iltfrie forhold forkortes, vil svovlbrinte-udviklingen reduceres. Altså skal ledningssystemet projekteres med så korte trykledninger som muligt, og i en dimension der giver en høj vandhastighed (dette kan være i konflikt med en energieffektiv pumpedrift).

I små tryksatte anlæg, hvor omkostningerne til energi er lave i forhold til afhjælpning af svovlbrinte-problemerne, kan det være hensigtsmæssigt at pumpe spildevandet til et højdepunkt, for derefter at lade det gravitere længst muligt i et velventileret gravitationssystem.

Dette stiller imidlertid store krav til tracévalg, som ofte er et vilkår, der ikke kan ændres meget på. I så fald bliver svovlbrinte også et vilkår, som der skal handles på.

Opholdstider i trykledninger

Hvis der transporteres almindeligt husholdningsspildevand vil en opholdstid på mindre end 3-4 timer sædvanligvis ikke betragtes som problematisk ift. svovlbrinteudvikling. Ved opholdstider på over 8 timer må der forventes problemer med svovlbrinte. En entydig regel kan ikke gives her, da sulfid- og svovlbrinteudviklingen som nævnt er afhængig af mange faktorer.

Hvis der er stor variation i spildevandsmængderne, kan der lægges flere parallelle trykledninger i forskellige dimensioner, som så successivt tages i brug, når vandmængden stiger.



Figur 25: Dobbeltledning i forskellig dimension

Svovlbrinten udvikles i bakteriebelægningen i trykledningens biofilm (kloakhud). Ved jævnligt at anvende rensegrise i trykledningen kan bakteriebelægningen, og dermed svovlbrinteudviklingen, holdes nede. Når nye pumpestationer bygges, skal der derfor etableres mulighed for at afsende og modtage rensegrise.

Afværgende design

Afværgende tiltag ved tilsætning af kemikalier eller ilt er meget omkostningstunge, da det skal foregå i hele anlæggets levetid. Endvidere er de nødvendige kemikaliemængder proportionale med spildevands-

mængden, hvorfor disse metoder er urentable på hovedledninger med stor vandføring. Ligeledes kan etablering af offerledninger også betragtes som en væsentlig driftsomkostning, da de korroderer og skal udskiftes efter 10-15 år. Ved nyanlæg kan det derfor være mere omkostningseffektivt at gå efter mere passive løsninger.

Ved at etablere udsatte brønde og bygværker i korrosionsbestandigt materiale, f.eks. i PE, vil disse ikke blive levetidsforkortet af svovlbrinten. Mest udsat for svovlbrinte er oppumpningsbrønden, hvori vandet fra trykledningen udpumpes og afstrippingen starter. Endvidere vil det første stykke af gravitationsledningen herfra, typisk de første 200 meter, være udsat.

Aktiviteten hos de bakterier, der omsætter svovlbrinte til svovlsyre, er markant større i betonrør end i plast-rør. Dette skyldes sandsynligvis betonens evne til - i et vist omfang - at neutralisere syren i bakteriernes vækstzone tættest på betonoverfladen. På plastoverflader vil den dannede syre ikke blive neutraliseret. Her vil pH blive så lav, at bakterierne vil blive hæmmet - eller dø - af deres egen syreproduktion. Plastprodukters resistens overfor syre betyder altså, at mindre mængder af svovlbrinte omsættes til syre. Svovlbrinten bliver derfor ikke fjernet i samme omfang som i betonprodukter, så problemet kan blive skubbet længere nedstrøms i ledningsnettet.

Lugtgenerne fra svovlbrinten kan kontrolleres ved at ventilere oppumpningsbrønden og gravitationsledningerne nedstrøms. Der kan placeres afkaststeder på lokaliteter, hvor lugten ikke er til gene for de omkringboende. Alternativt kan der sættes filter på udluftningsstedet. Ventilering af systemet vil også kunne nedbringe gaskoncentrationerne så de udgør en mindre sundhedsfare, når anlægget skal serviceres.

Dimensionering af gravitationsledninger

Gravitationsledningen bør projekteres så delfyldningsgrad ikke overstige 50-60 %, da det kan nedsætte geniltningen af spildevandet. Såfremt der er dannet svovlbrinte, vil det afstrippes fra spildevandet til luften, og efterfølgende blive udledt via brøndene på gravitationsledningen. Det er derfor vigtigt, at der placeres brønde tæt på oppumpningsbrønden, så den afstrippede svovlbrinte hurtigt kan afluftes.

Udbud

Hvis spildevandsforsyningen eller bygherrerådgiveren ikke selv detailprojekterer et kommende spildevandsanlæg, men udbyder det i funktionsudbud eller totalentreprise hvor det er en entreprenør, der foretager detailprojektering, er det vigtigt, at udbudsmaterialet til opgaven meget klart beskriver, hvordan man ønsker svovlbrinteproblematikken håndteret. Eksempelvis med krav til maksimale opholdstider, placering af brønde, styring af pumperne mv.

En god måde at gøre svovlbrinteproblemerne i de forskellige tilbudte løsninger sammenlignelige på, er at de bydende entreprenører skal opgive vandets opholdstider i anlæggets trykledninger og brønde. Endvidere at de skal beregne, hvor stor svovlbrinteudviklingen i det tilbudte projekt vil være, og hvad det vil koste at forebygge eller bekæmpe denne svovlbrinteudvikling. Udgifterne til forebyggelse eller bekæmpelse i en periode på eksempelvis 20 år skal så indgå i tilbudslisten og dermed i den samlede tilbudspris.

Beregning af svovlbrinteudvikling og betonkorrosion i de tilbudte anlæg samt prisen for nødvendig svovlbrintebekæmpelse, kan hurtigt foretages i Beregningsværktøjet. Beregningsværktøjet kan med få oplysninger om spildevandsmængde og -sammensætning samt om pumpestation og ledningsanlæg, estimerer svovlbrinteproblemets omfang. Ligeledes estimeres hastigheden af betonkorrosion og udgifter til den kemikaliedosering, der er nødvendig for at forhindre svovlbrinteproblemerne.

Med Beregningsværktøjet er det også muligt at sammenligne de svovlbrintemæssige konsekvenser af forskellige skitseforslag til system, dimension, tracé mv.

Beregningsværktøjet er et Excel-ark som kan hentes fra www.danva.dk/svovlvbrinte

Indata

Inndata til sulfid beregning

Spildevandsdata	Værdi	Enhed
Spildevandstype (væg fra liste)	Typisk_blandt	(-)
Dagflow	250	(m ³ /d)
Uvedkommene vand/infiltration	0%	af tarvejsflow
Temperatur	16	grader C
COD opløst	230	(mg/L)
pH	7.2	(-)
Sulfatindhold	30	(mg S/L)

Pumpestation

Arbejdsvolumen_sump	3	(m ³)
Pumpeydelse	50	(m ³ /h)
	17	(L/s)

Trykleddning

Diameter	170	(mm)
Længde	1200	(m)
Volumen	27.2	(m ³)
Geometrisk luftehedje	3	(m)
Start kote	0	(m)

Inndata til korrosionshastighed

Parameter	Værdi	Enhed
Diameter	1	(m)
Dybde	1	(m)
Overfladeareal/volumen	4	(1/m)

Oppumpning

Diameter	1	(m)
Dybde	1	(m)
Overfladeareal/volumen	4	(1/m)

Nedstrøms ledning

Rørdiameter	300	(mm)
Indre diameter	0.3	(m)
Godstykkelise	53	(mm)
Bundningegradient	0.005	(m/m)
Råmhæd	1	(mm)
Betonens alkalinitet	0.2	(g CaCO ₃ /g)
Tilladt reduktion af godstykkelise	50%	

Beregning af kemikaliebehov

Fældningskemikalier

Støkiometri:

Jern(II)sulfat

Aktivstof	Koncentration (mm)
Fe ₂ (SO ₄) ₃	40%
Molvægt	399.88 (g/mol)
Densitet af opløsning	1.55 (g/cm ³)
Beregnet forbrug	7.6 kg/Fe ²⁺ SO ₄ 3/d
	19.0 kg opløsning/d
	12.3 L opløsning/d

Jern(III)chlorid

Aktivstof	Koncentration (mm)
FeCl ₃	35%
Molvægt	162.204 (g/mol)
Densitet af opløsning	1.42 (g/cm ³)
Beregnet forbrug	6.2 kg/Fe ³⁺ Cl ₃ /d
	17.6 kg opløsning/d
	12.4 L opløsning/d

Nitratbaserede bekæmpelsesmidler

Kontrol (modvirker H₂S dannelse): Angiver i hvor stor en

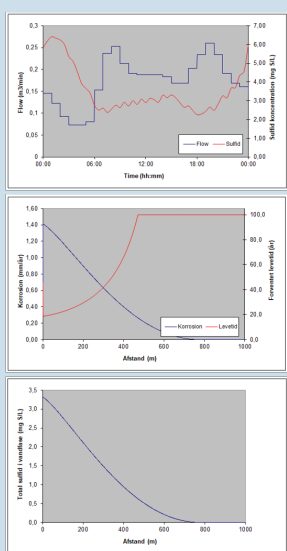
Calciumnitrat

Aktivstof	Koncentration (mm)
Ca(NO ₃) ₂ ·4H ₂ O	50%
Molvægt	236.15 (g/mol)
Densitet af opløsning	1.4 (g/cm ³)
Beregnet forbrug	33.6 kgCa(NO ₃) ₂ ·4H ₂ O/d
	87.2 kg opløsning/d
	48.0 L opløsning/d

Natriumnitrat

Aktivstof	Koncentration (mm)
NaNO ₃	35%
Molvægt	84.99 (g/mol)
Densitet af opløsning	1.317 (g/cm ³)
	24.2 kgCa(NO ₃) ₂ ·4H ₂ O/d
	69.1 kg opløsning/d
	52.5 L opløsning/d

Output



Tilførsel af ilt som gas		
Tiltag	Fordele	Ulemper
Atmosfærisk luft	Enkel installation	Skal være i konstant drift Ved lokale toppunkter skal der doseres i alle dybdepunkter Lav overførelsesrate af ilt Luftlommer i lokale toppunkter Nedbryder organisk stof
Teknisk rent ilt	Overførelsesrate fra gas til væske	Skal være i konstant drift Driftsomkostninger Ved lokale toppunkter skal der doseres i alle dybdepunkter Luftlommer i lokale toppunkter Nedbryder organisk stof
Ozon	Overførelsesrate fra gas til væske Desinficerende	Skal være i konstant drift Anlægsomkostninger Driftsomkostninger Ved lokale toppunkter skal der doseres i alle dybdepunkter Luftlommer i lokale toppunkter Aggressivt oxyderende -nedbryder organisk stof Giftig

Kemiske oxidationsmidler

Tiltag	Fordele	Ulemper
Nitrat, f.eks. calciumnitrat	Overførelsesrate fra nitrat til væske	Skal være i konstant drift Driftsomkostninger Nedbryder organisk stof Restnitrat skal fjernes på renseanlæg Oplagring af kemikalie
Peroxider	Overførelsesrate fra peroxider til væske Desinficerende	Skal være i konstant drift Driftsomkostninger Nedbryder organisk stof Oplagring af kemikalie Meget reaktiv og stærkt oxiderende

pH regulering

Tiltag	Fordele	Ulemper
Natriumhydroxid [NaOH] Magnesium hydroxid (Mg(OH) ₂) Markedsføres under forskellige handelsbetegnelser	Installation Effektiv Forhindrer dannelse af H ₂ S Hæver pH - beskytter beton Billigt såfremt der anvendes et spildprodukt	Skal doseres når der pumpes Hvis pH sænkes under 8,5, frigives H ₂ S efterfølgende Kan være problematisk på renseanlæg Arbejds miljø Skal frostsikres Behov for store voluminer

Rensegris

Tiltag	Fordele	Ulemper
Rensegris for fjernelse af kloakhud	Installation Driftsomkostninger Til tider effektiv Forhindrer dannelse af H ₂ S Reducerer systemmodstand	Arbejdskrævende Dårlig langtidseffekt

Kombinationsløsning

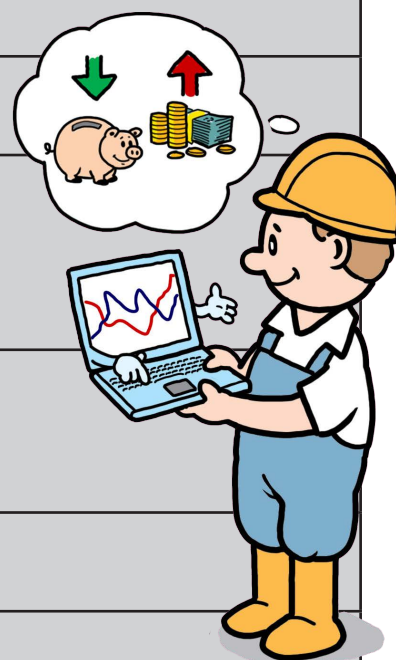
Tiltag	Fordele	Ulemper
UV-belysning og efterfølgende filtrering over aktivt kul	Enkel præfab. installation Effektiv 2-trinsløsning Effekt tilpasses behov Mange referencer	Anskaffelsespris

Fældning med metal-ioner f.eks. jern, aluminium, etc.

Tiltag	Fordele	Ulemper
Jernsulfat, - jernvitriol og lign. FeSO ₄ ·7H ₂ O Markedsføres under forskellige handelsbetegnelser	Enkel installation Etableringsomkostninger Fjerner H ₂ S når det er dannet Anses ikke for værende sundhedsskadelig eller miljøfarlig	Danner bundfald /slam ved reaktion Skal doseres når der pumpes Ikke altid effektiv Sænker pH og kan medføre korrosion Skal frostsikres Behov for store voluminer
Jernchlorid og lignende FeCl ₃ Markedsføres under forskellige handelsbetegnelser	Enkel installation Fjerner H ₂ S når det er dannet Etableringsomkostninger	Danner bundfald /slam ved reaktion Skal doseres når der pumpes Ikke altid effektiv Sænker pH, har en pH værdi på 1 eller lavere. Er stærkt korrosiv Sundhedsfarlig

Design

Tiltag	Fordele	Ulemper
Minimere ledingsdimension	Kort opholdstid Bedre selvrensning Minimerer rensegrisbehov Anlægspris	Stort tryktab Medium overflade
Korte trykledning	Lille tryktab Kort opholdstid	Anlægsudgift
Ensidigt stigende trykledninger	Ingen risiko for luftansamlinger Beluftning mulig Høj effektivitet Ingen dybdepunkter Ingen udluftningsventiler	Anlægsudgift Gravedybder
Realistisk designgrundlag	Optimal udnyttelse af investering Acceptabel opholdstid Optimal anlægspris Minimal vedligehold	Mindre reservekapacitet
Parallele trykledninger	Optimal opholdstid God reservekapacitet	Etableringsomkostning Styring af flow
Sumpdesign og -udnyttelse	Forbedrer selvrensning Mindre sediment Færre driftsproblemer	Måske ombygning Mixer/pumpe til omrøring Driftsomkostninger Øget tilsyn
Ingen pumpestation	Ingen problemer	Anlægsomkostning
Stripningstårn	Forhindrer videreførsel Simpel teknologi	Kræver bygværk Anlægsomkostning Udsugning af store mængder luft



Filtrering

Materiale	Fordele	Ulemper
Kompost	Medium levetid (2 - 4 år) Pris	Pakker let Stort tryktab Medium overflade Medium permeabilitet
Tørv	Lavt tryktab Medium levetid (2- 4 år) Pris	Ofte surt Ofte hydrofobt Få mikroorganismer Få næringsstoffer
Jord	Pris Lang levetid > 30 år	Stort tryktab Danner let 'stier' Lille permeabilitet
Træflis eller bark	Stor permeabilitet Lille tryktab Pris Renseeffekt 60-100%	Skal holdes fugtigt Levetid
Aktivt kul	Stor overflade Stor permeabilitet Renseeffekt	Levetid Pris
Perlite eller LECA	Stor porøsitet Pris	Renseeffekt Skal holdes fugtigt. Håndtering af H ₂ S-peaks
Muslingskaller	Stor porøsitet Stor overflade Kemisk reaktion Driftsomkostninger	Skal holdes fugtigt Etableringsomkostning Nedbrydes af svovlbrinte
Syntetiske materialer	Stor overflade Stor permeabilitet Levetid	Bortskaffelse Pris

Vendt på hovedet...

10 gode råd!

Hvis du vil være helt sikker på at få svovlbrinte i dit spildevandssystem

1. Læg lange trykledninger
2. Overdimensioner trykledningerne
3. Forøg opholdstiden i trykledningen
4. Lav store pumpestøbe uden omrøring
5. Hold gravitationsystemet helt tæt
6. Undgå afsendelse af rensegrise
7. Skaf spildevand med højt indhold af let-omsætteligt organisk stof
8. Sænk pH-værdien i spildevandet
9. Hæv temperaturen i spildevandet
10. Undgå nitrat i spildevandet



Se mere om svovlbrinte på www.danva.dk/svovlbrinte.
Netværksgruppen kan kontaktes på svovlbrinte@danva.dk