

Selvrensing i rør for avløpsvann

Av fagsjef Dagfinn K. Lysne

Dagfinn K. Lysne er ansatt som fagsjef ved Vassdrags- og havnelaboratoriet, Norges Tekniske Høgskole. Han har B. Sc. (1960) og M. Sc. (1962) fra USA og lic. techn. fra Norges Tekniske Høgskole i 1970.

Rør for avløpsvann prosjekteres normalt med fritt vannspeil og følgende blir de hydraulisk sett åpne kanaler. Siden vannføring varierer sterkt både over døgnet og året vil selvrensningsevnen variere tilsvarende, og det er i praksis de mindre vannføringene som blir bestemmende m. h. t. selvrensning.

Fyllingskurver.

For et avløpsrør med bestemt fall vil vannhybden y variere med vannføring.

For å forenkle beregningsarbeidet er det satt opp såkalte fyllingskurver, fig. 1, som gir forholdet mellom vannhybde, vannføring, strømningsareal, hastighet og hydraulisk radius. Disse kan beregnes ut fra alle vanlige friksjonsformler for strømning i rør og kanaler så som Darcy-Weisbach's formel, Mannings formel m. fl. I det følgende er referert til Mannings formel, siden den fortsatt er i vanlig bruk. (Generelt foregår det en gradvis overgang til Darcy-Weisbachs formel både for avløpsrør og strømning i åpne kanaler.)

$$(1) \quad V = M \cdot R^{2/3} \cdot I^{1/2}$$

(1) gjelder både for fylte (hydraulisk radius $R = \frac{D}{4}$) og delvis fylte rør. Det er videre antatt at Mannings friksjonskoeffisient M har samme verdi både for fylte og delvis fylte rør. (Oppgitte verdier for M er normalt bestemt på grunnlag av falltapsmålinger i fylte rør.)

Det kan vises (1) at M vil være en funksjon av Reynolds tall (Re) og relativ ruhet ($\frac{k}{y}$), og utførte forsøk viser avvik fra den viste kurven for vannføring på fig. 1. Avvikene er imidlertid så små for fyllingsgraden under 0.7 at de er uten betydning for praktiske dimensjoneringsberegninger.

De «teoretiske» kurvene angir også at ved en fyllingsgrad på ca. 0.9 når vannføringen opp i ca. 107 % av kapasiteten ved fylt rør (forutsatt konstant helning på energilinjen, I_e). Dette er riktig nok så lenge vi betrakter bare røret. Innløpet vil imidlertid normalt forhindre at denne «ekstra» kapasiteten kan utnyttes, som antydnet på fig. 2, idet man da

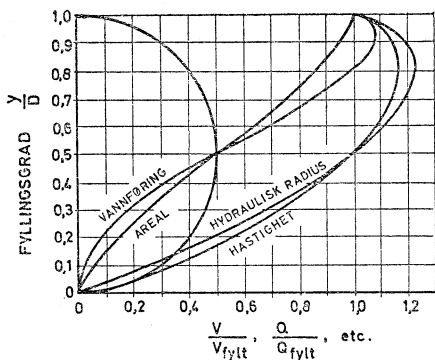


Fig. 1. Fyllingskurver.

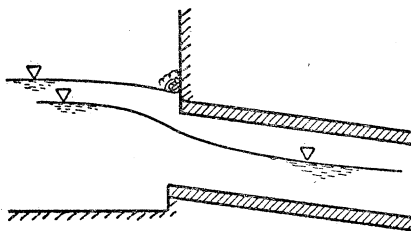
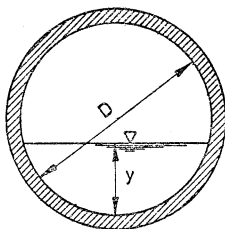


Fig. 2. Innløp for avløpsrør.

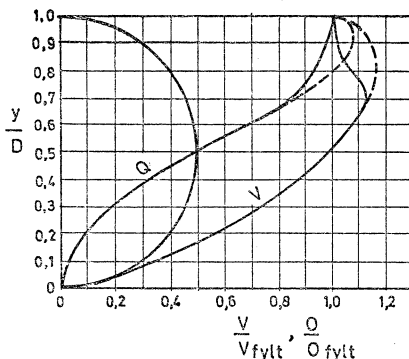


Fig. 3. «Reelle» fyllingskurver for vannføring og hastighet.

utformet innløp er det mulig å unngå slik oppstuvning. Fig. 3 viser «reelle» fyllingskurver for henholdsvis vannføring og hastighet.

Kriterier for selvrensning.

Det er vanlig praksis å angi minimum hastighet som kriterie for selvrensning. Kravene varierer fra 0.5—1.0 m/s. Avgjørende for selvrensningen er imidlertid ikke først og fremst hastigheten, men skjærspenningen, τ_{\max} langs bunn av røret.

Gjennomsnittlig skjærspenning langs rørveggen er, både for fylte og delvis fylte rør:

$$(2) \quad \bar{\tau} = \gamma \cdot R \cdot I$$

For fylte rør er den virkelige skjærspenningen lik med τ . Om vi antar det samme for delvis fylte rør, ser vi at skjærspenningen er direkte proporsjonal med hydraulisk radius R , og følgelig ville kurven for hydraulisk radius i fig. 1 også angi $\bar{\tau}$ som funksjon av fyllingsgraden.

får oppstuvning ved innløpet til røret. Bare for små fall og hydraulisk, godt

I virkeligheten varierer τ fra nær null ved overflaten til et maksimum

ved bunn. Lundgren og Jonsson (2) har utledet en formel for maksimum skjærspenning i kanaler med liten krumning på bunn, som for rør kan skrives:

$$(3) \quad \frac{\bar{\tau}}{\tau_{\max}} = 4 \frac{y}{D} \left(1 - \frac{y}{D}\right)$$

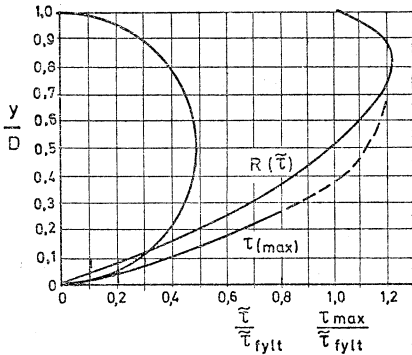


Fig. 4. Fyllingskurver for skjærspenning.

I fig. 4 er vist hvordan skjærspenningen varierer etter (3) opp til $y/d = 0.25$. Det videre forløpet er stiplet på grunnlag av publiserte måleresultater, bl. a. etter Reploge og Chow (3).

For å sikre selvrensning må skjærspenningen være over en viss minimumsverdi. Dessverre finnes i dag ikke tilfredsstillende oppgaver for minimum skjærspenning. Gustafsson (4) foreslår $\tau > 0.1-0.15 \text{ kg/m}^2$, mens Schulz (5) angir grenseverdier for minimumshastighet som omregnet gir $\tau > 0.14-0.21 \text{ kg/m}^2$.

Fig. 5 viser en del kurver (etter (6)) fra litteraturen som angir grenseverdier for begynnende erosjon. For sandpartikler opp mot 2—3 mm

er det betydelig spredning i forsøksresultatene. Det er imidlertid en klar tendens til høyere grenseverdier for τ når vannet inneholder suspenderte stoffer og hvor kohesjonskrefter er til stede.

På denne bakgrunn synes det rimelig å foreslå $\tau \cong 0.4 \text{ kg/m}^2$ som kriterie for selvrensning.

Det er særlig to årsaker til denne mangelen på data for å etablere tilfredsstillende beregningskriterier. For det første er det vanskelig å utføre realistiske selvrensningsforsøk med avløpsvann i laboratoriet. For det andre gjør den store variasjon i vannføring det i praksis meget vanskelig å oppnå selvrensning ved absolutt minimum vannføring for store deler av et avløpsrørnett. Et realistisk dimensjoneringskriterie ville derfor være at vannføringen (og derved skjærspenningen) skal overskride den kritiske grensen for selvrensning i tilstrekkelig lang tid, f. eks. pr. dag, til at rørene spyles rene (dvs. sedimentert materiale eroderes bort).

Så vidt vites finnes det ennå ingen systematiske undersøkelser som gir grunnlag for å etablere slike kriterier. Gustafsson (4) antyder bestemte vannføring til maximum time, minimum døgn, som normalt tilsvarer middels time, middels døgn.

Dette forholdet er imidlertid avhengig av om det benyttes kombinert system eller separat system.

Under «Prosjektkomitéen for rensning av avløpsvann», planlegges nå en undersøkelse ved Vassdrags- og havnelaboratoriet, NTH, for å avklare noen av disse spørsmålene.

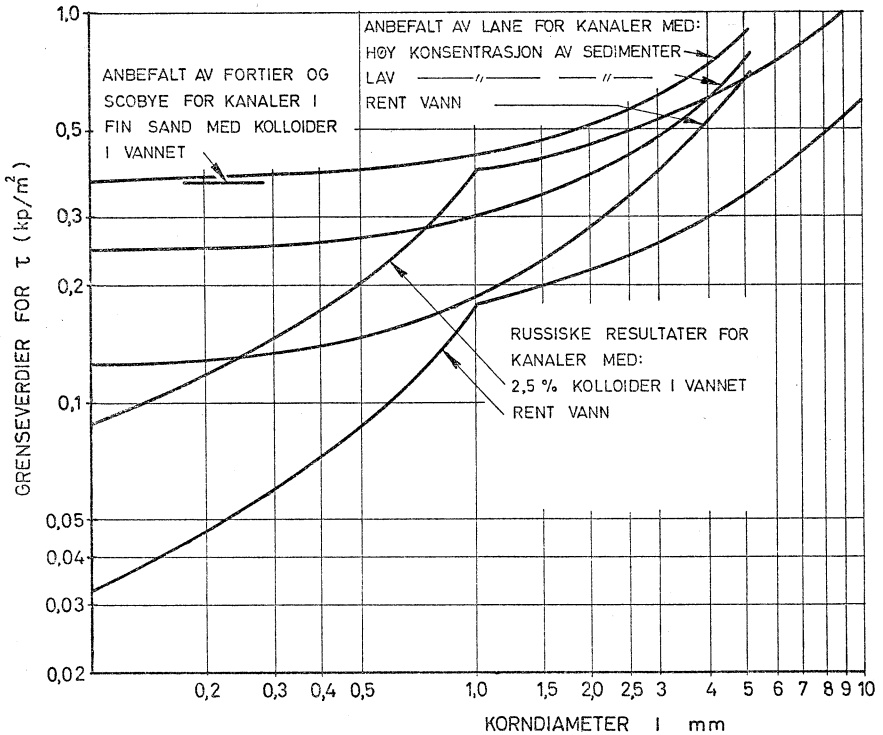


Fig. 5. Forholdet mellom korndiameter og grenseverdi for skjærspenning.

Sammenligning av skjærspennings- og hastighetskriterie for selvrensning.

Det er av praktisk interesse å se hvordan hastigheten varierer for en gitt grenseverdi for skjærspenning. Vi velger $\tau = 0.4 \text{ kp/m}^2$, og $M = 65$ i Mannings formel:

$$V = M \cdot R^{2/3} \cdot I^{1/2}$$

$$\tau_{\max} = K \cdot \gamma \cdot \frac{D}{4} \cdot I$$

$$V = M \cdot R^{2/3} \left(\frac{4\tau_{\max}}{K \cdot \gamma \cdot D} \right)^{1/2}$$

hvor $K = \frac{\tau_{\max}}{\tau_{\text{fylt}}}$, fra fig. 4.

Tabell 1 nedenfor angir hastighet V (m/s) og helning I (o/oo) som funksjon av fyllingsgrad og rørstørrelse.

TABELL 1

Fyllingsgrad γ / D	Rørdiameter (mm)							
	200		300		450		600	
	V	I	V	I	V	I	V	I
0.2	0,59	12,0	0,64	8,1	0,68	5,4	0,71	4,0
0.3	0,65	9,1	0,69	6,1	0,74	4,0	0,78	3,0
0.4	0,69	7,8	0,74	5,2	0,80	3,4	0,84	2,6
0.5	0,74	7,1	0,80	4,7	0,86	3,1	0,90	2,4

Konklusjon.

Selvrensning i avløpsrør er her vurdert ut fra antagelsen om at problemet er et spørsmål om erosjon (spyling) av masser som periodevis, ved meget lav vannføring, avleires i rørene. Generelle undersøkelser av sedimenterte masser viser at det forutsetter større hastighet (og skjærspenning) enn det som er nødvendig for å holde de samme masser i suspensjon.

De fleste grunnleggende undersøkelser av erosjon viser at skjærspenning langs bunn er et mer entydig parameter for vurdering av erosjon enn hastighet. For delvis fylte rør for avløpssvann vil det si at selvrensningen er bestemt av den maksimale skjærspenning langs bunn i røret.

Tabell 1 gir en del verdier for minimum hastighet og helning basert på et beregningseksempel med $\tau = 0.4$ kp/m². Denne grenseverdien for skjærspenning er ennå ikke tilstrekkelig underbygget ved undersøkelser, men antas å representere et fornuftig ingeniørmessig valg. Beregningseksemplet viser at nødvendig minimum hastighet øker med økende

fyllingsgrad og rørdiameter, mens nødvendige fall avtar som ventet. Et spørsmål som naturlig vurderes i dag er bruken av nyere og glattere rørtyper, bl. a. flere typer plastrør.

Forutsettes selvrensingsprosessen å være en periodevis spyling av materiale som avleires i rørene ved lav vannføring, blir kravet til skjærspenning på bunn uforandret. Plastrørene vil imidlertid ha hydraulisk glattere sider og følgelig vil man for samme helning (I) finne at hastigheten blir noe større. Nøyaktige beregninger ville her forutsette at man kjenner skjærspenningsfordelingen over den våte periferien for rør med avleiret materiale på bunn, men for øvrig glatt overflate. Denne skjærspenningsfordelingen er imidlertid meget vanskelig å bestemme. Rent kvalitativt kan man likevel konkludere med at for glattere rørtyper vil selvrensning kunne oppnås ved litt lavere helning, men samtidig noe høyere gjennomsnittshastighet enn for ruere rør.

LITTERATUR

1. Hydraulikk for bygningsingeniører, Trondheim, 1969. (Kan bestil-

- les fra Vassdrags- og havnelaboratoriet, NTH.)
2. Lundgren, H. og Jonsson, I. G., Shear and Velocity Distribution in Shallow Channels, ASCE, Journal of the Hydraulics Division, Vol. 90, No, HY 1, Jan. 1964.
 3. Reploge, J. A. and Chow, U. T., Tractiveforce Distribution in open channels, Proceedings, ASCE, Journal of the Hydraulics Division, March 1966.
 4. Gustafsson, B., Kompendium i vattenförsörjnings- och avløpsteknik, Avløpsteknik I, Kungliga Tekniska Högskolan, Stockholm 1964.
 5. Schultz, H., Über die Berechnung der unteren Grenzegeschwindigkeiten in Kanalisationsnetzen, Wasserwirtschaft und Wassertechnik, Heft 7, Jahrgang 1960.
 6. Lysne, D. K., Hydraulic Design of self-cleaning sewage tunnels, ASCE, Journal of the sanitary Engineering Division, Feb. 1969.