

Bølge- og strømkrefter på utslippsledninger

Av fagsjef lic. techn. Alf Tørum

Alf Tørum er ansatt som fagsjef ved Vassdrags- og havnelaboratoriet, NTH.
Han er siv.ing. fra Norges Tekniske Høgskole i 1957.

Etter foredrag i Norsk Forening for Vassdragspleie og Vannhygiene, 20. november 1972.

1. INNLEDNING

Ved valg av tracé for og utførelse av utslippsledninger for avløpsvann må en blant annet ta hensyn til følgende faktorer:

1. Tracéen velges slik at man får tilfredsstillende strømningsforhold i røret og best mulige forhold i resipienten ut fra hygieniske og andre forurensningsmessige synspunkter.
2. Det må tas hensyn til ytre krefter fra bølger, strømmer, is samt bunnforhold ved tracévalg med hensyn til dimensjoneringen av rør, forankringer, steinkledning, beskyttelse etc.

For å oppnå optimum tracévalg kan det bli aktuelt å

- a) grave ned røret
- b) plassere røret på bunnen
- c) forankre røret svevende mellom bunnen og overflaten
- d) forankre røret flytende i overflaten.

De fysiske faktorer som kraftmessig påvirker røret direkte er bølger, strømmer og is. Indirekte vil is, og i første rekke bølger og strøm kunne bevirke erosjon ved røret, slik at det kan knekke på grunn av setninger. Erosjon vil også kunne oppstå ved rørlekkasjer.

Ved nedgravde rør må det tas hensyn til jordtrykkskrefter mot røret og på enkelte steder må en regne med at faren for undervannsras må nøye vurderes.

Videre må en ved nedgraving av røret ha for øye at rørets vekt kan bli bestemt av det forhold at igjenfyllingsmassen i fyllingsfasen kan nærmest være en tung væske, slik at oppdriftskreftene på røret kan være store.

Vi skal nedenfor spesielt se på strøm- og bølgekrefter mot et rør.

2. Strømkrefter.

Når et rør ligger på eller nær bunnen vil man få både en horisontal dragkraft F_D og en vertikal løftekraft F_L , slik som antydnet i figur 1.

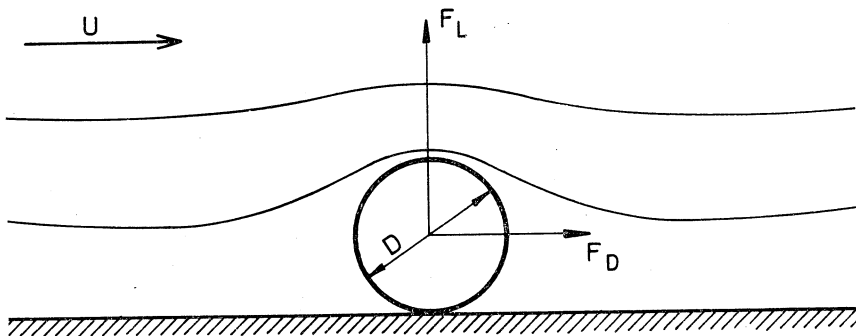


Fig. 1.

I mindre målestokk vil bildet ta seg ut slik:

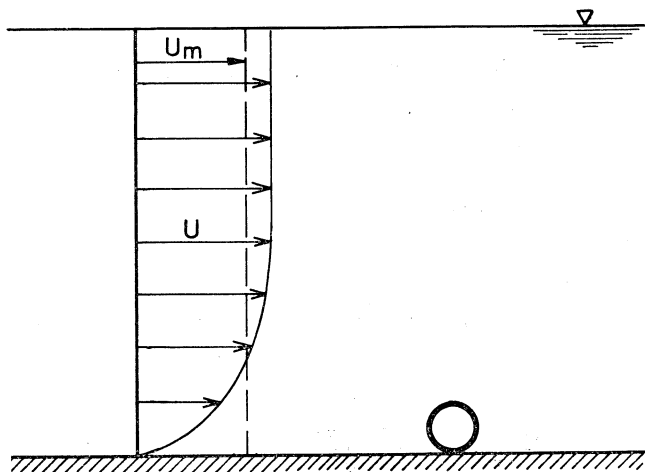


Fig. 2.

JONES (1) har nylig gjennomført en omfattende laboratorieundersøkelse av strømkrefter mot rør.

JONES kommer frem til følgende uttrykk for strømkrefter pr. lengde-enhet.

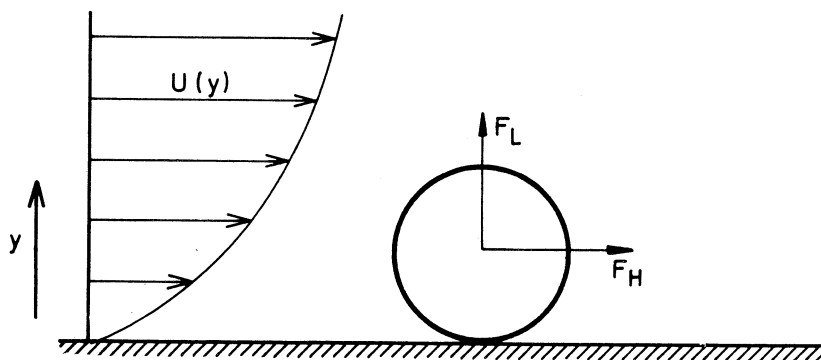


Fig. 3.

$$F_H = \frac{1}{2} \frac{\gamma}{g} \cdot D \cdot C_{De} \cdot V_{eff}^2$$

$$F_L = \frac{1}{2} \frac{\gamma}{g} \cdot D \cdot C_{Le} \cdot V_{eff}^2$$

$$V_{eff}^2 = \frac{1}{D} \int_0^D U^2(y) dy$$

$$C_{De} \text{ og } C_{Le} = f(N_{Re,e})$$

$$N_{Re,e} = \frac{D V_{eff}}{\nu} \quad (\text{Reynolds tall})$$

hvor

ν = kinematisk viskositetskoeffisient.

Verdier av C_D og C_L er vist i Fig. 4 og 5, hvor k er en ruhetsparameter for bunnen.

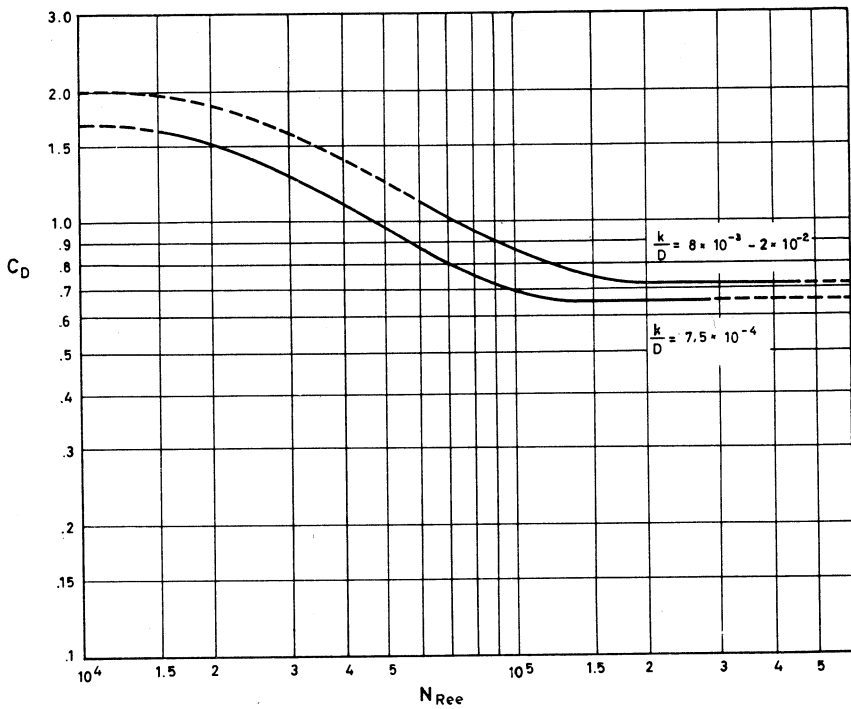


Fig. 4. Anbefalte dragkoeffisienter etter (1) for et rør på bunnen.

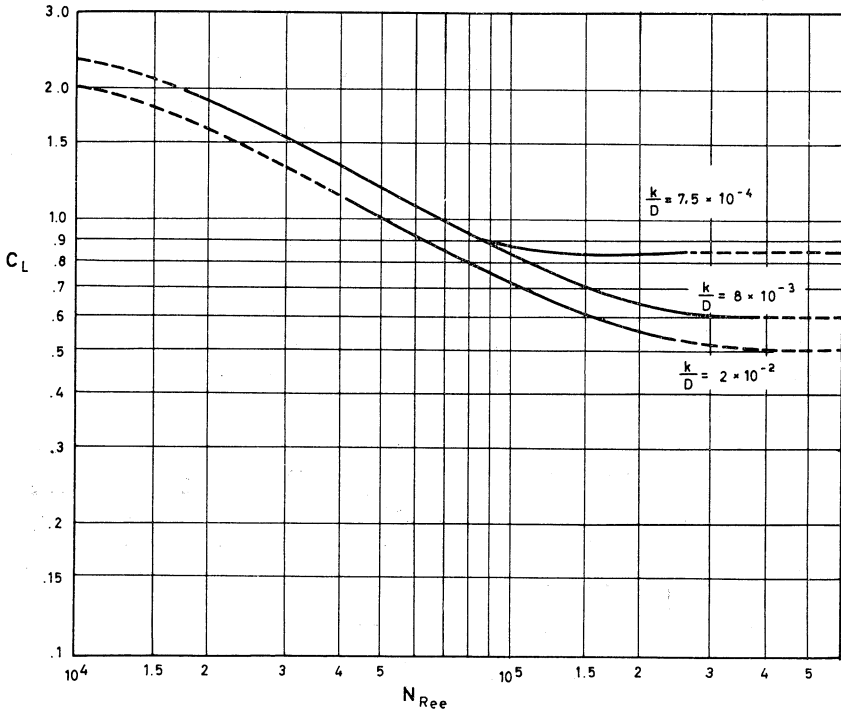


Fig. 5. Anbefalte løftkoeffisienter etter (1) for et rør på bunnen.

3. Bølgekrefter.

Bølgekraften mot et rør som ligger på bunnen kan settes:

$$F_H = C_D \cdot \gamma \cdot D \cdot \frac{u^2}{2g} \cdot l + C_m \cdot \frac{\gamma}{g} \cdot \frac{\pi D^2}{4} \cdot \frac{\partial u}{\partial t} \cdot l \quad (\text{horisontalt})$$

$$F_L = C_L \cdot \gamma \cdot D \cdot \frac{u^2}{2g} \cdot l \quad (\text{vertikalt})$$

hvor:

C_M — Massekoeffisient

$\frac{\partial u}{\partial t}$ = Aksellerasjon av vannpartiklene.

u = Hastigheten av vannpartiklene

l = Lengden av røret

Det første leddet kjennes igjen som strømkraften. Det andre leddet betegner treghetskraften.

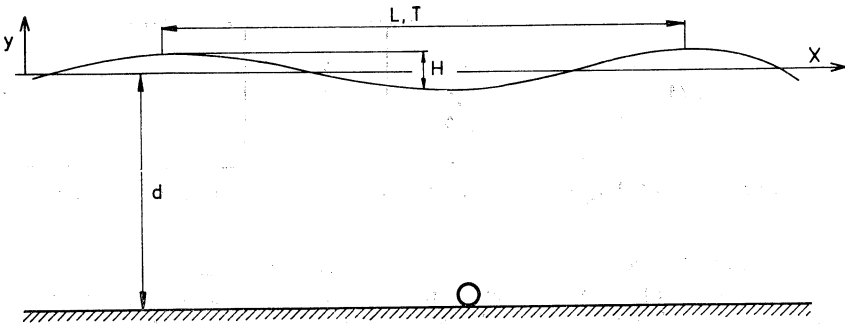


Fig. 6.

Partikkelhastigheten og aksellerasjonen i en bølge settes etter 1. ordens bølgeteori (horisontalt):

$$u = \frac{\pi H}{T} \frac{\cosh k(d+y)}{\sinh kd} \cos(kx - \omega t)$$

$$\frac{\partial u}{\partial t} = \frac{2\pi^2 H}{T^2} \frac{\cosh k(d+y)}{\sinh kd} \sin(kx - \omega t)$$

hvor:

H = bølgehøyden

T = bølgeperioden

$$\omega = \frac{2\pi}{T}$$

$$k = \frac{2\pi}{L}$$

L = bølgelengde

d = vanddybde

t = tiden

Bølgelengden

$$L = \frac{g T^2}{2 \pi} \tanh \frac{2 \pi d}{L}$$

For koeffisientene C_D og C_M foreligger det en del data fra modellforsk. Børje Johanson (2) fant at man

bør bruke følgende koeffisientverdier når røret ligger normalt på bølgeretningen:

Avstand mellom bunn og rør, uttrykt i rørdiameter	C_M	C_D	C_L
0	3,3	2,0	∞ 0,6 d/D *)
1/4	2,4	1,1	0
1	2,0	1,1	0

*) For $3,5 D < d < 6,7 D$. For større verdier på d settes $C_L = 4,0$.

For rør som danner en vinkel θ med bølgeretningen fant Johanson at bølgekreftene ble redusert med $\sin\theta$.

Vi skal merke oss at når røret løftes opp fra bunnen vil løftekraften minke.

4. Bølger og strømmer.

For det tilfelle at bølger og strømmer virker samtidig utførte Solberg (3) en del forsøk i modell. Noen entydig konklusjon fra disse forsøkene kan man ikke trekke, men det ser ut som man er på den sikre side ved å sette:

$$F_H = C_D \cdot \gamma \cdot \frac{(U+u)^2}{2g} l + C_M \frac{\gamma}{g} \cdot \frac{\pi D^2}{4} \frac{\partial u}{\omega t}$$

hvor U er strømhastigheten, C_D , C_M og C_L verdier som funnet av Johanson.

Generelt kan det sies at bølge- og strømkraftproblemet for rør på bunnen ennå ikke er tilstrekkelig klarlagt. Videre undersøkelser vil imidlertid kreve relativt stor innsats for å komme fram til noe som er vesent-

lig bedre enn det man i dag har. Det må også spesielt påpekes at de koeffisientverdier som her er gitt ikke gjelder for bølgebrytningssonen og på grunt vann. Der vil strømbildet være svært forskjellig fra 1. ordens bølge teori. Røret er som oftest hardt påkjent der og det vil være behov for å beskytte det eller grave det ned.

5. *Beskyttelse av undervannsledninger.*

Den beste beskyttelse mot bølge- og strømkrefter får man om man graver røret ned. Det er imidlertid et økonomisk spørsmål hva man skal velge. Fjell nær overflaten vil blant annet gjøre nedgravingsarbeidet dyrt.

Der man har sand og går til det skritt å grave ned røret, må man ha for øye at i gjenfyllingsfasen av grøften vil man ha en kort periode hvor gjenfyllingsmassene kan oppføre

seg som en tung væske med egenvekt kanskje opp mot 2,0 kg/dm³. Ved dimensjonering av ledningens vekt må man ta hensyn til den store oppdriften man da får.

Når det gjelder bestemmelse av nødvendig steinstørrelse for beskyttelseslaget, så er det materialet som foreligger mangelfullt.

Hedar (4) har foreslått at man beregner nødvendig steinstørrelse for dekklaget i en grøft etter følgende formel:

$$Q = \frac{\pi}{6} \cdot \gamma_s \cdot k^3$$

$$k = \frac{\gamma_s}{\gamma_s - \gamma_v} \frac{2,2 \cdot H_b}{\lg \left(\frac{14,83 \cdot H_b}{k} \right)^2 (1,11 \cos \alpha + \sin \alpha)}$$

hvor:

- γ_s = steinens spesifikke vekt
- γ_v = vannets » »
- H_b = høyden på brytende bølge
- α = bunnens helning

For en støttefyllings beskyttelseslag settes:

$$k = \frac{\gamma_s}{\gamma_s - \gamma_v} \frac{u^2}{7,5 \left(\lg \frac{14,83 \cdot Z}{k} \right) (1,11 \cos \alpha - \sin \alpha)}$$

hvor:

- u = vannpartiklenes hastighet
- z = vannmassens tykkelse over fyllingen
- α = helningen på støttefyllingen i vannets bevegelsesretning.

En viktig faktor ved slike støttefyllinger er at man påser at det blir et tilstrekkelig filter mellom fint bunnmateriale og de grove fyllingsmaterialer. Ved utilstrekkelig filter vil man kunne risikere at sanden suges ut mellom dekksteinene med setninger og fare for rørbrekkasje som resultat.

De filterkriterier som idag eksisterer er blant annet Terzagis filterkriterium fra geoteknikken. Dette synes imidlertid å være konservativt for erosjonsbeskyttelse. *Problemet er til nærmere undersøkelse sammen med erosjonsproblemet omkring rør som ikke er nedgravd.*

LITTERATUR

1. Jones, W. T.: Forces on Submarine Pipelines from Steady Current. The American Society of Mechanical Engineers, Underwater Technology Conference, September 19—23, 1971, Houston, Texas.
2. Johansson, Börje: Vågkrafter mot circular rörledning liggande på havsbotten. Bulletin no. 71 of the Division of Hydraulics at the Royal Institute of Technology, Stockholm 1963.
3. Solberg, G.: Bølge- og strømkrefter på rør. «Diplom» i havnebygging, NTH 1967.
4. Hedar, P. A.: Utloppsledningar för avloppsvatten. Väg og vattenbyggaren, 2, 1962.