

# Tilsetting av høypolymere stoffer for å øke kapasiteten til avløpsledninger

Av Gunnar Mosevoll

Gunnar Mosevoll er sivilingeniør og ansatt ved Norges Hydrodynamiske Laboratorier, Divisjon Vassdrags- og havnelaboratoriet.

## 1. INNLEDNING

Enkelte vannløselige, høypolymere stoffer har den egenskapen at de reduserer strømningsmotstanden for vann. Denne egenskapen ble først funnet av B. A. Toms /1/, og fenomenet kalles derfor Toms effekt. Effekten er ikke bare knyttet til strømning av vann. Også ved strømning av f.eks. olje er denne virkningen tydelig.

Tilsetting av friksjonsreducerende, høypolymere stoffer er benyttet for å øke kapasiteten til avløpsledninger. Dette er emnet for denne artikkelen.

## 2. REDUKSJON AV STRØMNINGS-MOTSTAND OG ØKNING AV KAPASITETEN

Tilsettingen av spesielle typer, høypolymere stoffer reduserer turbulensen i vannet. Dermed reduseres også strømningsmotstanden (friksjonen) mellom vannet og rørveggen. Reduksjonen er avhengig av en rekke faktorer. Grovt sett kan strømningsforholdene deles inn i tre områder:

I. Tilsetting av høypolymere stoffer gir ingen reduksjon av strømningsmotstanden. Dette gjelder f.eks. for laminær strømning.

II. Tilsetting av høypolymere stoffer gir reduksjon av strømningsmotstanden. Reduksjonen er avhengig av blant annet:

- type høypolymert stoff,
- konsentrasjon av høypolymert stoff,
- hydraulisk radius for røret eller kanalen,
- rørets eller kanalens hydrauliske ruhet,
- Reynolds tall.

III. Tilsetting av høypolymere stoffer gir maksimal reduksjon av strømningsmotstanden. Økt konsentrasjon av det høypolymere stoffer gir ingen ytterligere konsentrasjon. Kurvene for strømningsmotstand i dette området kalles Virks asymptote for maksimal reduksjon av strømningsmotstanden, se figur 1.

Ligningen for friksjonstapet ved rør- eller kanalstrømning er vanligvis gitt ved ligningen:

$$h_f = f \frac{L}{4R} \frac{U^2}{2g}$$

hvor

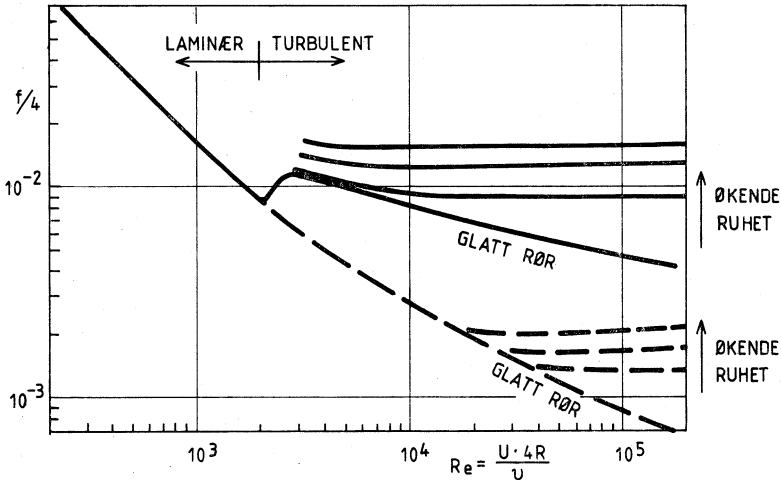
- $h_f$  = friksjonstapet (m vannsøyle)
- $f$  = friksjonsfaktoren
- $L$  = lengden på røret eller kanalen (m)
- $R$  = hydraulisk radius (m)
- $U$  = midlere vannhastighet (m/s)
- $g$  = tyngdens akselerasjon (9,8 m/s<sup>2</sup>)

For rent vann er friksjonsfaktoren avhengig av:

- Reynolds tall:  $Re = 4RU/\nu$
- relativ ruhet:  $k/4R$

( $\nu$  = vannets kinematiske viskositet og  $k$  = absolutt, hydraulisk ruhet for røret eller kanalen.)

I figur 1 er friksjonsfaktoren  $f$  framstilt som funksjon av Reynolds tall og relativ ruhet. Figuren viser kurver både for rent vann og for vann tilsatt høypolymerer. Kurvene for høypolymerer viser Virks asymptoter for maksimal reduksjon av strømningsmotstanden.



Figur 1. Friksjonsfaktoren  $f$  som funksjon av Reynolds tall og ruhet. Kurvene for vann tilsatt høypolymerer viser Virks asymptoter for maksimal reduksjon av strømningsmotstanden. Figuren er prinsippkisse (omarbeidet etter [2]). På den vertikale akselen er  $f/4$  angitt.

Heltrukken strek: Vann uten høypolymerer.  
Stiplet strek: Vann tilsatt høypolymerer.

I praksis er det mulig å oppnå en reduksjon i friksjonsfaktoren på 30–70%. For en trykkledning med konstant vannføring vil dette gi en tilsvarende reduksjon i friksjonstapet. For en pumpeledning vil kapasiteten øke når høypolymerer tilsettes. Økningen vil imidlertid være sterkt avhengig av formen på pumpekarakteristikken.

For åpne kanaler uttrykkes virkningen noe anderledes enn for trykkledninger. Her er rørleningen og dermed friksjonstapet konstant. Kapasiteten økes imidlertid, vanligvis 25–50%. For en åpen kanal vil en reduksjon i friksjonsfaktor  $f$  på 50% gi en økning i kapasiteten på ca. 40% ( $\sqrt{1/0,5} \approx 1,4$ ).

### 3. AKTUELLE HØYPOLYMERE STOFFER

Molekylene i de polymere stoffene som gir reduksjon av friksjonsfaktoren, danner lange kjeder. De kalles derfor høypolymere. De har følgende felles trekk:

- molekylvekten er større enn 500 000,
- molekylkjeden er «rettlinjet» (dvs. mest mulig uten avgreininger).
- stoffene er lett løselige i vann,
- nøytral til anionisk ladning.

Aktuelle stoffer er blant annet polyetylenoksyd og polyakrylamid. Det finnes imidlertid en lang rekke andre velegnede stoffer.

For å oppnå tilfredsstillende virkning trengs en konsentrasjon på 10—100 ppm vekt (deler høypolymer pr. million deler vann).

Forutsetningen for reduksjonen i friksjonsfaktoren er at stoffene beholder de lange kjedene. Deles kjedene opp, blir virkningen mindre eller forsvinner helt. Kjedene rives opp når turbulensen i vannet blir for høy. For hastigheter lavere enn 2 m/s er det liten fare for nevneverdig opprivning over en strekning på 5—10 km. Særlig i sentrifugalpumper er turbulensen så sterk at molekylkjedene rives delvis opp. Ved passering av flere pumper kan denne virkningen bli betydelig. Bare én pumpe har liten virkning.

De aktuelle høypolymere stoffene brytes også ned under lagring. Oppløst i vann begynner nedbrytningen allerede etter få dager. I emulsjon- og pulverform kan stoffene lagres i flere år uten nevneverdig nedbrytning.

Forurensningsvirkning og giftvirkning for de høypolymere stoffene er undersøkt nøye, særlig i USA /3/. De mest aktuelle stoffene er ikke giftige i vanlige konsen-

trasjoner, hverken for mennesker, fisk eller for biologiske prosesser i rensaneanlegg. Som forurensningskilde kan de friksjonsreducerende stoffene betraktes som et vanlig, organisk stoff.

Høypolymere stoffer som gir reduksjon i friksjonstapet, er grundig beskrevet i /3/.

### 4. AKTUELLE BRUKSOMRÅDER

#### 4.1. Oversikt, kostnader

Tilsetning av 10—20 ppm (vekt) av polymerer gir en økning på ca. 30% av kapasiteten til en selvfallsledning med fritt vannspeil. Kostnaden for bare polymerstoffet blir da ca. kr. 0,35—0,70 pr. m<sup>3</sup> vann. I tillegg kommer kapitalkostnadene for doseringsutstyret og driftskostnader for tilsyn o.l. Polymerkostnadene pr. m<sup>3</sup> er så høy at vanligvis er bruk av polymer bare aktuell når den årlige brukstiden er kort (mindre enn 20—200 timer pr. år).

Bruk av friksjonsreducerende stoffer er aktuelt for:

- selvfallsledninger med fritt vannspeil,
- pumpeledninger,
- dykkerledninger.

#### 4.2. Selvfallsledninger med fritt vannspeil

Det er forholdsvis enkelt å få selvfallsledninger med fritt vannspeil til å virke tilfredsstillende selv om vannføringen varierer sterkt. For nye ledninger er det derfor sjelden aktuelt å velge dosering av høypolymere. Det er som regel rimeligere å øke rørdiameteren.

For eldre ledninger med for lav kapasitet stiller saken seg anderledes. Kapasiteten er gjerne for liten i bare noen få timer pr. år. I slike tilfeller kan anleggskostna-

den for doseringsutstyret og de kapitaliserte driftskostnadene være langt lavere enn anleggskostnaden for en ny ledning.

### 4.3. Pumpeledninger

For pumpeledninger gjelder vanligvis de samme betingelser for selvfallsledninger med fritt vannspeil: For nye ledninger er dosering av høypolymerer sjelden aktuelt, mens det for eksisterende ledninger med knapp kapasitet kan være den beste løsningen.

Er pumpeledningen så lang at en kan få anaerobe forhold og utvikling av hydrogensulfid i vannet, kan bruk av polymerer være aktuelt også for nye ledninger. Hydrogensulfid er sterkt korrosiv for mange metaller og vanlig betong. Dersom en for vanlig, kommunalt kloakkvann klarer å holde oppholdstiden under 5—6 timer, vil en vanligvis ikke få problemer. Velger en å tilsette høypolymerer i perioder med høy tilrenning, kan en velge en ledning med mindre diameter og volum, dvs. kortere oppholdstid. Doseringstiden pr. år blir vanligvis vesentlig lengre enn 20—200 timer som nevnt i kapittel 4.1.

### 4.4. Dykkerledninger

Det er vanskelig å konstruere en dykkerledning for sterkt varierende tilrenning. Dykkerledninger skal være selvrensende ved vanlig tørrværtilrenning. For å oppnå selvrensning trengs en helning på energilinja på  $6-10^0/00$  (diameter 300—150 mm). Skal f.eks. dykkerledningen ha en kapasitet på 4 ganger vanlig tørrværtilrenning, kreves en helning på energilinja på ca.  $90-150^0/00$ . Det er sjelden at det tilgjengelige fallet mellom innløp og ut-

løp er så stort. Dette problemet løses vanligvis ved:

- spylebasseng,
- utjevningsbasseng,
- flere parallelle ledninger,
- dykkerledning med luftpute.

Tilsetning av friksjonsreducerende polymerer i perioder med høy tilrenning er i enkelte tilfeller en aktuell løsningsmetode i tillegg til disse.

### 4.5. Virkningen på resten av avløps-systemet

Tilsetning av friksjonsreducerende stoffer kan gi en rask økning av tilrenningen til ledninger og andre anlegg lengre nede i avløpssystemet. Her vil de friksjonsreducerende stoffene bli spedd mer ut, og friksjonsreduksjonen kan bli mindre. Dette kan føre til overbelastning av disse anleggene. Dette forholdet må vurderes før en starter tilsetning av friksjonsreducerende stoffer.

## 5. VIDERE ARBEID I NORGE

Vassdrags- og havnelaboratoriet har fått i oppdrag av Prosjekt Transport av Vann (PTV) å utarbeide en veiledning i bruk av friksjonsreducerende stoffer i vann- og avløpsanlegg. Arbeidet ventes ferdig sommeren 1984.

## 6. SAMMENDRAG

Enkelte vannløselige, høypolymerer stoffer har den egenskapen at de reduserer strømningsmotstanden for vann. Denne virkningen har en bare for turbulent strømning.

I praksis er det mulig å oppnå en reduksjon i friksjonsfaktoren på 30—70%. For en trykkledning med konstant vannføring gir dette en tilsvarende reduksjon i friksjonstapet. For åpne kanaler er det vanlig å oppnå en kapasitetsøkning på 25—50%.

Tilsetning av høypolymerer er forholdsvis kostbart, og denne løsning er vanligvis bare aktuell når doseringstiden er kort. Høypolymerer er derfor mest brukt for å øke kapasiteten til en avløpsledning under korte topper i tilrenningen.

#### LITTERATUR

- /1/ Toms, B. A.: «Some observations on the flow of linear polymer solutions through straight tubes at large Reynolds number», Proceedings 1st Int. Reological Conference, Nederland 1948.
- /2/ Virk, P. S.: «Drag reduction in rough pipes». Journal of Fluid Mechanics, Vol 45, part 2, pp. 225—246, 1971.
- /3/ Sellin, R. H. J., Hoyt, J. W., Scrivenser, O. & Pollert, J.: Part 1: Basic aspects.» Journal of Hydraulic Research, No. 1, 1982.  
Part 2: Present applications and future proposals. Journal of Hydraulics Research, No. 3, 1982.