

Svankar på avløpsleidingar — Korleis innverkar dei på sjølvrensing

Av Arve Berg.

Arve Berg er sivilingeniør frå NTH og leiar for VA-gruppa på Norsk hydroteknisk laboratorium, SINTEF.

INNLEIING

På oppdrag for NTNFs Program for VAR-teknikk har NHL dei siste åra gjennomført prosjektet «Naturleg sjølvrensing og kunstig spyling av avløpsleidingar». Det er mellom anna utført feltundersøkingar av avløpsleidingar i Trondheim og Øyestad kommunar.

Alle dei undersøkte leidningane hadde større og mindre svankar, dvs. parti med motfall. Det var varierende grad av avsetningar i leidningane, men alle avsetningane var i svankane. På parti utan motfall fann vi så å seie ikkje avsetningar.

I denne artikkelen ser vi på korleis svankar verkar inn på sjølvrensinga i avløpsleidingar og på utspyling av røyrvlagringar under regnver. Ein av konklusjonane er at den tradisjonelle fortynningsberekninga har liten fysisk relevans.

DEFINISJONAR

Svankar

Med svankar meiner vi i denne samanhengen parti på leidningen som har motfall, jfr. figur 1. I slike parti vil det bli ståande vatn. Svankane vil fungere som sandfang (sedimenteringsbasseng) og som utjammingsbasseng for vassføringa. Sagt på ein annan måte så vil svankane i ein leidning både auke

nødvendig vassføring for sjølvrensing og redusere disponibel vassføring.

Dei mange kortvarige vassføringstoppene som er gunstig for sjølvrensinga, blir sterkt redusert når vatnet passerar ein svanke fordi ein del vatn går med til å heve vasstanden i svanken. Auken i nødvendig vassføring kjem vi nærare tilbake til.

Relativt svankevolum

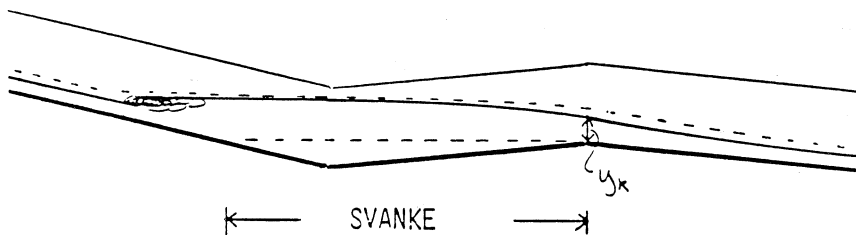
For å få ei kvantifisering av leidningsprofilen har vi definert eit nytt begrep som vi vil kalle:

Relativt svankevolum (%)

Relativt svankevolum er volumet av svankane i forhold til røyrvolumet. Med svankevolum meiner vi det volum som blir i røyret oppstraums alle høgbrekk på leidningen. Sagt på ein annan måte er svankevolumet det volumet av vatn som blir ståande i leidningen når vassføringa er lik 0 (forutsett at leidningen ikkje lekk).

Ein feilfri sjølvfallsleidning vil ha relativt svankevolum lik 0%, mens ein dykkarleidning pr. definisjon har eit relativt svankevolum lik 100%. Relativt svankevolum er dermed eit uttrykk som fortel oss i kor stor grad ein avløpsleidning fungerer som dykkarleidning.

For felleisleidningar vil svankevolu-



Figur 1. *Hydrauliske forhold i svankar.*

met fortelle oss kor store avlagringar som kan bli spylt ut (i overløp) under første delen av ein kraftig regnperiode. Vi reknar med at i ein lengre periode med liten vassføring vil svankane stort sett fyllast opp til nivået med nedstraums høgbrekk. Svankevolumet er m.a.o. lik det samla sandvolumet i leidningen.

FELTUNDERSØKINGAR

Det er utført feltundersøkingar av avløpsleidningar i Trondheim og Øyestad kommunar. Leidningane er profilert innvendig og det er utført

TV-undersøking. Hovuddata for dei undersøkte anlegga er vist i tabell 1.

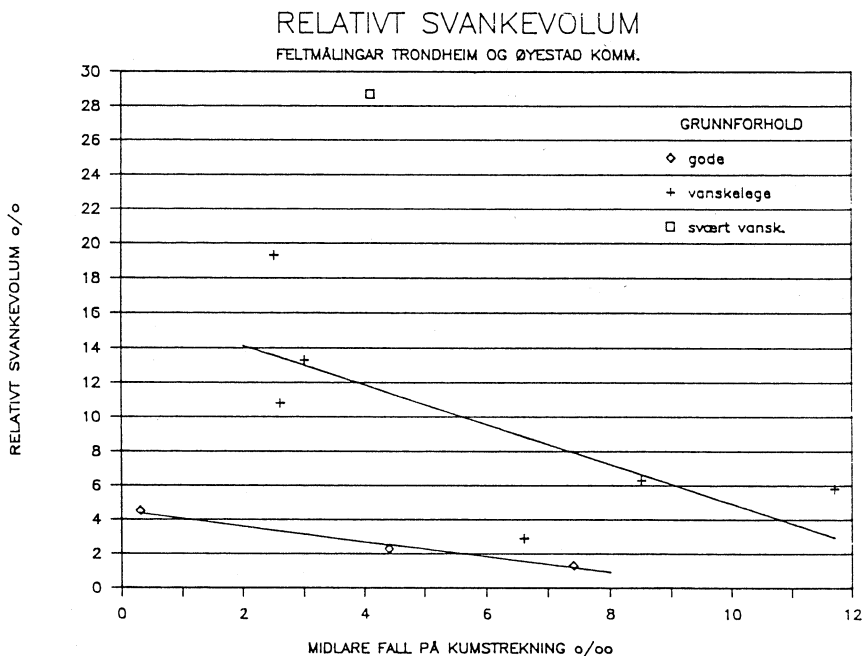
Undersøkinga av fallforholda på desse 4 leidningsanlegga viser at alle leidningane hadde større eller mindre svankar. Men det relative svankevolumet varierar stort. Ei samla oversikt er vist i figur 2 der vi har plotta relativt svankevolum som funksjon av oppmålt gjennomsnittleg fall. Vi har plotta resultatata for alle kumstrekningane. Lengdene for kumstrekningane varierte mellom 27 og 129 m. Grunnforholda har vi delt i tre kategoriar sin vist i tabell 2.

Tabell 1. *Hovuddata for undersøkte anlegg.*

Anlegg	Rostengrenda	Bostadvegen (2 kumstrek)	Rykene— Refsnes	Stoa
Kommune	Trondheim	Trondheim	Øyestad	Øyestad
Lengde (m)	121	80 + 140	240	129
Innvendig diameter (mm)	200	212 og 235	188	151
Prosjektert fall ‰	8—9	7 og 4	1,75	3
Materialtype	Betong	PVC	PVC kl. T	PVC kl. T
Byggeår	1979	1982	1979	1975

Tabell 2. Kategorisering av grunnforhold.

Kategori	Eksempel
Svært vanskelege:	Veksling mellom fjell og djupe myrparti.
Vanskelege/dårlege:	Fyllingar bygd samtidig med leidning, for eksempel masseutskifting i myrområde og vegfyllingar.
Gode:	Eksisterande vegar. Faste massar.



Figur 2. Relativt svankevolum som funksjon av gjennomsnittleg oppmålt fall på kumstrekningane. 4 ulike anlegg.

GENERELT OM HYDRAULISKE FORHOLD I SVANKAR

Når det oppstår svankar i ein avløpsleidning, fører det som regel til at vi får hydrauliske forhold som vist på figur 1.

Karakteristisk er det at helninga både oppstraums og nedstraums for svanken er så stor at normalstrømninga blir overkritisk. Eit viktig unntak er sjølv-sagt der det er oppstuvning pga. nedanforliggende forhold.

I sjølve svanken derimot er det motfall og dermed underkritisk strømning. Resultatet av dette er at i oppstrøms ende av svanken er det overgang frå overkritisk til underkritisk strømning, dvs. eit *vassstandssprang*. I nedstrøms ende er det overgang fra underkritisk til overkritisk strømning, dvs. at vi har eit såkalt *bestemmande snitt* ($Fr = 1$) (sjå symbolliste).

Eit unntak frå dette generelle bildet er korte svankar spesielt i bratte leidningar. I slike tilfelle kan vatnet i oppstrøms ende av svanken ha så stor impuls at vassstandsspranget blir «blåst ut» av svanken (overkritisk strømning i motbakke).

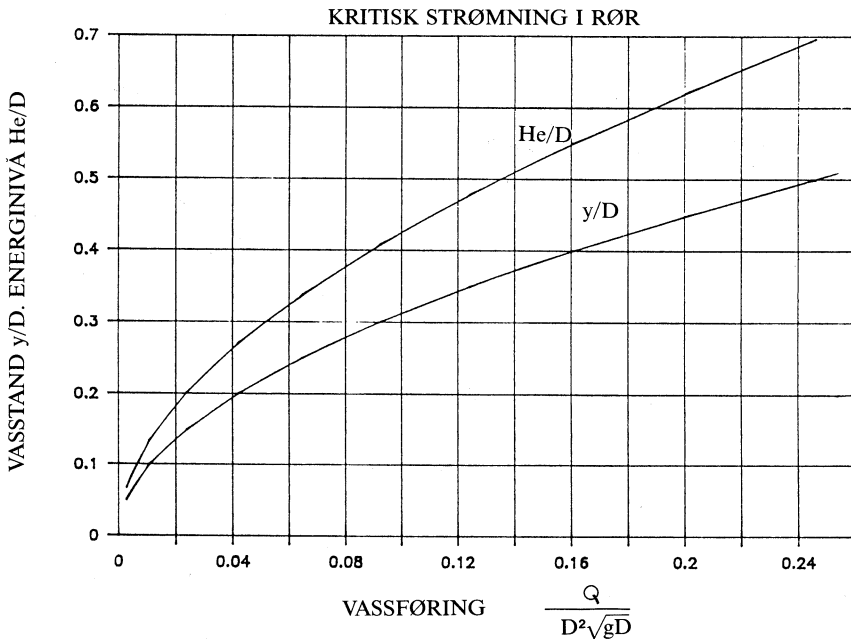
Bestemmande snitt ligg svært nær nedstrøms høgbrekk. I eit bestemmande snitt gjeld generelt følgjande uttrykk:

$$\frac{Q^2 \cdot B}{g \cdot A^3} = 1$$

Vidare er energinivået i leidningen gitt av Bernoullis likning:

$$H_e = y + \frac{v^2}{2g}$$

Desse to likningane kan brukast til å rekne ut vassstand i bestemmande snitt og energinivå i nedstrøms ende av svanken som funksjon av vassføringa.



Figur 3. *Vassstand og energinivå ved utløpet frå svanke som funksjon av vassføring.*

Dette er vist i figur 3. Vasstand og energinivå er gjort dimensjonslaus ved å dividere på rørdiameteren, mens vassføringa er gjort dimensjonslaus ved å dividere på $D^2\sqrt{gD}$.

Når vi kjenner energinivået i svanken, kan vi rekne ut gjennomsnittsfarten til vatnet langs svanken. Farten til vatnet er avhengig av kor djup svanken er.

SVANKAR SOM SANDFANG

Utskillingseffektiviteten til eit sandfang (sedimenteringsbasseng) må generelt sett vurderast utifrå tre kriterie:

- I Forholdet mellom vassføring, midlare breidde og lengde av sandfang (overflatebelastning) bestemmer kor små partiklar som når botnen på den tida vatnet brukar gjennom sandfanget.
- II Farten til vatnet bestemmer om partiklar som når botnen, blir liggande i ro eller fortset som botnlast.

Eksempel I

Som eksempel skal vi sjå på ein spillvassleidning prosjektert med følgjande data:

Innvendig diameter	$D_i = 200 \text{ mm}$
Skjærspenningskrav	$\tau_{\text{maks}} = 1,5 \text{ N/m}^2$
Disponibel vassføring	$Q_{\text{ds}} = 1,1 \text{ l/s}$
Prosjektert fall	$I = 7 \text{ ‰}$

Etter bygging har leidningen fått ein lang svanke som er 10 mm djup, dvs. $Y_s/D = 0,05$. I den situasjonen der leidningen skal vere sjølvrensande ($Q = 1,1 \text{ l/s}$) får vi $Q/D^2\sqrt{gD} = 0,02$. Frå figur 4 får vi at midlare skjærspenning i svanken er $0,22 \text{ N/m}^2$. Ved denne skjærspenninga blir materialet grovare enn ca. 0,4 mm liggande i ro, jfr. figur 5.

III Lengde og tverrsnitt bestemmer lagerkapasiteten som igjen verkar inn på dei to førstnemnde forholda.

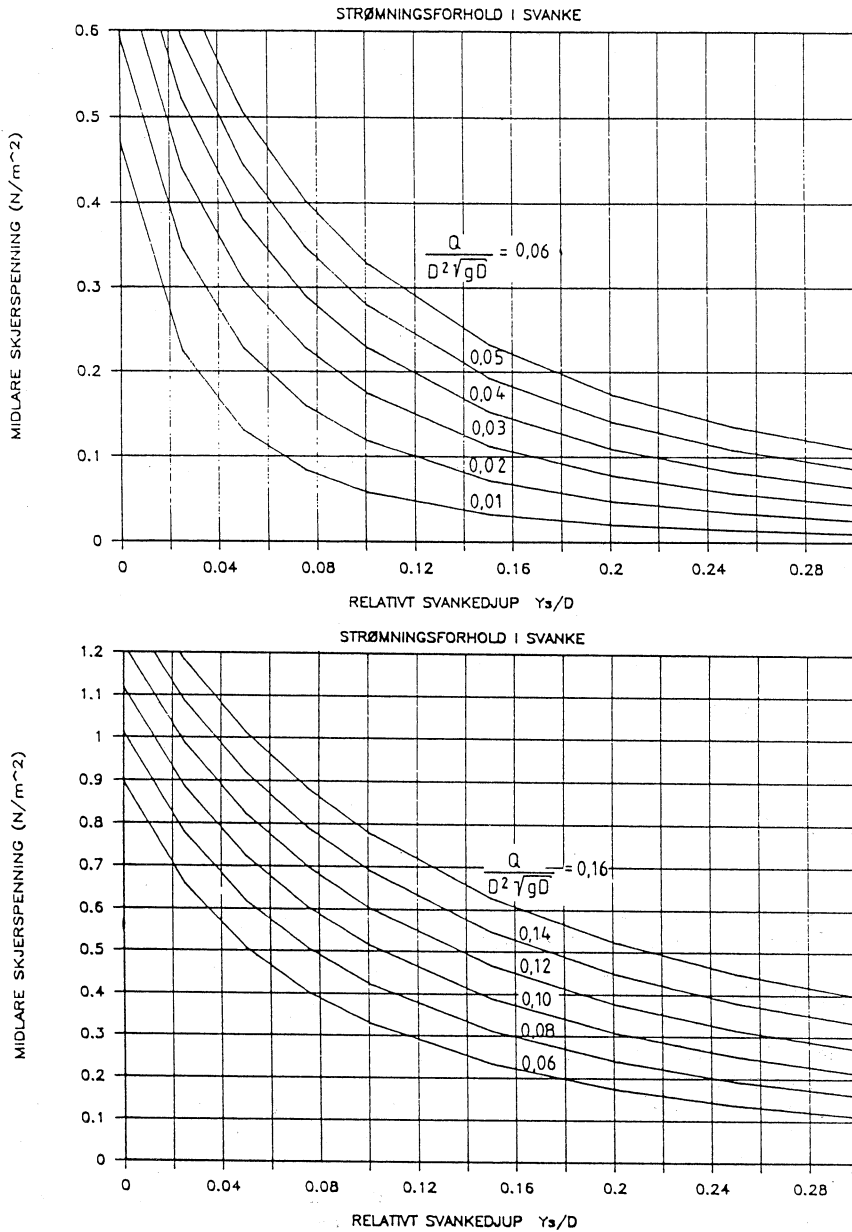
Grove og tunge partiklar (sand og grus) i avløpsnett blir under normale forhold transportert som botnlast. I første omgang er det då kriterie nr. II som bestemmer utskillingseffektiviteten.

Fine og lette partiklar (organisk stoff) derimot kan gjerne vere suspendert. Her blir utskillingseffektiviteten bestemt av både kriterie I og II. Men bortsett frå dei kortaste svankane er det likevel også her kriterie II som dominerer.

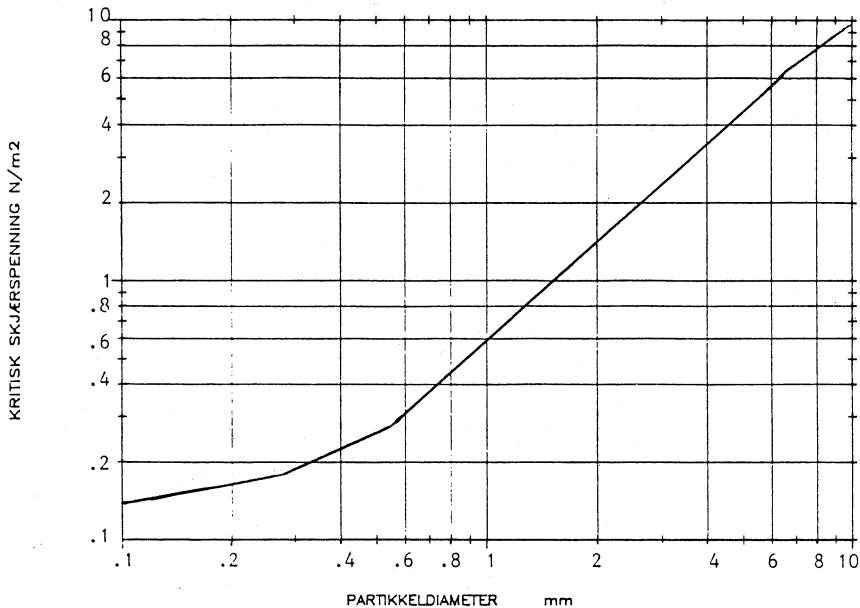
Kva slags partiklar som blir liggjande, kan vurderast ved hjelp av skjærspenningskriterie. Midlare skjærspenning er vist i figur 4, som funksjon av svankedjup og vassføring. (Figuren er rekna ut for $D_i = 200 \text{ mm}$ og $k = 1 \text{ mm}$). Kritisk (nødvendig skjærspenning for transport er vist i figur 5.

Etter gjeldande definisjon opptreer disponibel vassføring for sjølvrensing i 10% av tida, dvs. knapt 2 1/2 time pr. døgn. Resten av døgnet er vassføringa mindre. Dette betyr at materiale finare enn 0,4 mm også vil legge seg i svanken.

I tillegg kan vi regne med at den lettest sedimenterbare delen av det organiske materialet også vil falle ut.



Figur 4. Midlare skjærspenning som funksjon av svakedjup og vassføring.
(Figuren er rekna ut for $D_i = 200$ mm og $k = 1$).



Figur 5. Kritisk skjærspenning som funksjon av partikkeldiameter (etter SHIELDS) ($\zeta_s = 2650 \text{ kg/m}^3$ (sand)).

Svanken fylles altså opp med sediment. Etterkvart som sedimentmengda aukar, vil farten til vatnet og dermed skjærspenninga auke. Til slutt når sedimentmengda eit nivå der dei vanlege vassføringane sørger for transport. Denne transporten er ikkje kontinuerleg. Forholda vil veksle mellom periodar med lita vassføring der materiale sedimenterar og periodar med større vassføring der sedimentert materiale blir erodert og transportert.

Eksempel II

Data er dei same som i eksempel I, men leidningen er ein kombinert leidning. Tørrversforholda er vist i eksempel I.

Under regnver og snøsmelting blir vassføringa i leidningen større. Om vassføringa t.d. er 7,8 l/s får vi $Q/D^2\sqrt{gD} = 0,14$. Frå figur 4 får vi at midlare skjærspenning i svanken er 0,92 N/m². Dette fører til utspyling av det materiale som er finare enn ca. 1,5 mm. Det er m.a.o. berre grov sand og grus som blir liggande igjen.

UTSPYLING AV RØYRAVLAGRINGAR

Sanden i svankane inneheld mykje forurensing. Når sanden blir utspylt under regnver, blir forurensningane vaska ut av sanden. I kombinertsystem blir som regel noko av dette «vaskevatt» avlaste gjennom overløp.

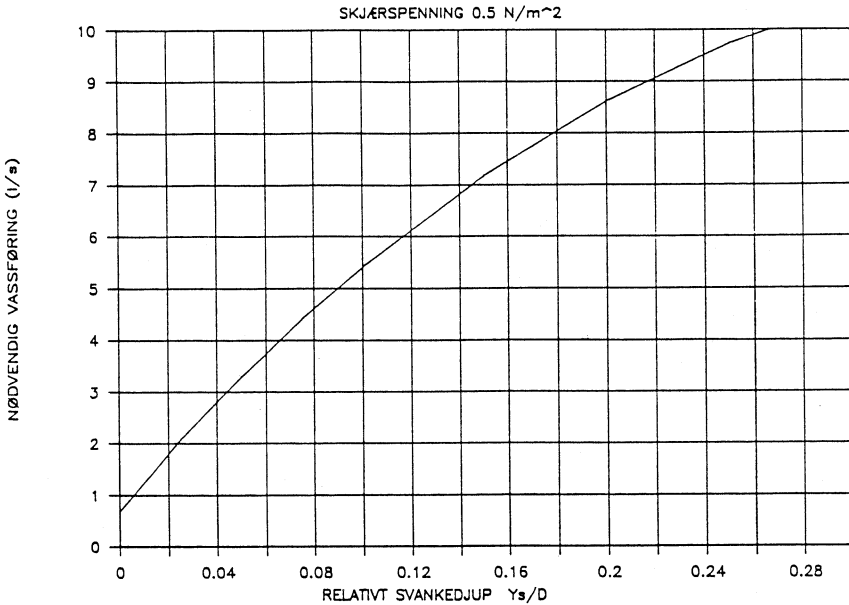
Det framgår av det føregåande at det er størrelsen på svankane og graden av oppfylling som bestemmer kor store vassføringer som er nødvendige for å få til erosjon av materialet og dermed utvasking av forurenningane. Figur 6 viser nødvendig vassføring for å oppnå ei skjærspenning på $0,5 \text{ N/m}^2$ som gjev transport av partiklar mindre enn $0,9 \text{ mm}$, jfr. fig. 5.

Vi ser av fig. 6 at for leidningar med djupe svankar, må vassføringa vere relativt stor før avsetningane blir spylt ut. Dette bør få konsekvenser for overløpsinnstillinga. Sagt på ein annan måte så bør overløpsstillinga vere «høgare» der leidningsnettet oppstraums har store svankar. I leidningar med svankar (dvs. dei aller fleste leidningar) har med andre ord den tradi-

sjonelle fortynningsberekninga liten fysisk relevans.

SYMBOLLISTE

- A = strømningsstverrsnitt
- B = breidde i overflata av vatnet
- d = partikkeldiameter
- D = røyr diameter (innvendig)
- F_r = Froudetal
- g = tyngdeakselerasjon
- H_e = energihøgde
- I = helning
- k = hydraulisk ruheit
- Q = vassføring
- v = gjennomsnittsfart for vatnet
- y = vasstand i forhold til botnen i nedstraums høgbrekk
- Y_s = svankedjup i forhold til nedstraums høgbrekk
- τ = skjærspenning
- ζ_s = tettheit for partikkel.



Figur 6. Nødvendig vassføring for å oppnå ei skjærspenning på $0,5 \text{ N/m}^2$ som funksjon av relativt svankedjup. (Figuren er rekna ut for $D_i = 200 \text{ mm}$ og $k = 1 \text{ mm}$).

LITTERATUR

- Berg, A.: Naturleg sjøvrensing i avløpsleidningar. NTNFs Program for VAR-teknikk prosjektrapport 47/86, Trondheim september 1986.
- Berg, A.: Undersøking av to avløpsleidningar i Øyestad kommune. NHL-rapport STF-60 A87102, Trondheim september 1987.
- Berg, A.: Sjølvrensing og spyling av avløpsleidningar. NTNFs Program for VAR-teknikk brukerrapport 9/88, Trondheim oktober 1988.