# Afløbsregulering i ledningsnet

*Akademiingeniør Inge Faldager,*
*Teknologisk Institut's Rørcenter*



**Akademiingeniør Inge Faldager**
Akademiingeniør fra 1972 fra bygningsretningen.
Har været beskæftiget:
4 år som videnskabelig assistent på Den Kongelige Veterinær- og Landbohøjskole
5 år som lektor ved Aalborg Universitetscenter
3 år på Rørcentret på Teknologisk Institut.
Arbejdsområdet er afløbssystemer i jord.

*I artiklen redegøres for nogle af de metoder, der kan anvendes, når man i afløbssystemer ønsker at regulere vandstrømmen for dermed at få en bedre udnyttelse af ledningssystemet.*

I de nærmeste år skal der i forbindelse med sanering af afløbssystemer ofres store summer på at forbedre funktionen af vore afløbsnet. Sanering er for mange ensbetydende med en omlægning (separering) af afløbssystemet, men der findes mange andre muligheder for at afhjælpe de ulemper, der opstår i forbindelse med systemer, der ikke fungere.

I denne artikel vil der kun blive set på mulighederne for at klare rent hydrauliske problemer. Saneringstiltag over for afløbssystemets fysiske tilstand vil ikke blive berørt.

Et af de mest effektive løsninger i fællessystemer (eller i separate regnvandsledninger) er en udjævning af vandstrømmen i ledningen ved hjælp af en eller anden form for magasin. Ved at supplere et fællessystem med et bassin kan man mindske den maximale vandstrøm på problemstrækninger nedstrøms for bassinet, og dermed mindske risikoen for eventuelle oversvømmelser.
Afløbsregulering ved hjælp af bassiner uden for ledningssystemet har været kendt i Danmark i mange år og er den almindeligste metode ved afløbsregulering. I de senere år er der imidlertid dukket projekter op, som løser udjævningsproblematikken ved afløbsregulering i ledningsnettet.

**Afløbsregulering i ledningsnet**

*Afløbsregulering i ledningsnettet er ensbetydende med at udnytte de tomme ledningsvoluminer, der er til stede ved langt de fleste nedbørshændelser.* De dimensionsgivende regnskyl er korte regnskyl, der kun giver fuldtløbende ledninger i meget kort tid. Desuden medfører vores dimensioneringspraksis, at det ofte kun er enkelte strækninger i den nedre del af systemet (se fig. 1). Under almindelige regnskyl er det derfor kun en del af ledningsvoluminet, der udnyttes.

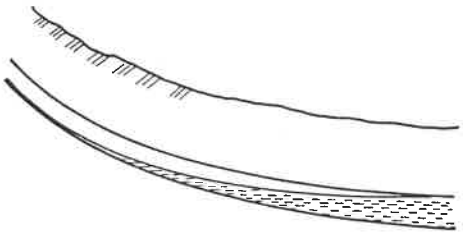


*Fig. 1. Afløbssystem under et dimensionsgivende regnskyl. Den nederste del af systemet er fyldt op, mens der er tomme voluminer i den øvre del af systemet.*

Afløbsregulering i ledningsnettet består i at skabe en kontrolleret opdæmning i ledningerne, således at så stor en del af ledningsvoluminet som muligt udnyttes. Ved hjælp af opdæmningen fyldes den øvre del af systemet, og afløbet herfra forsinkes. Derved aflastes den nedre del af systemet, så fx overløb ikke træder i funktion så ofte (se fig. 2).

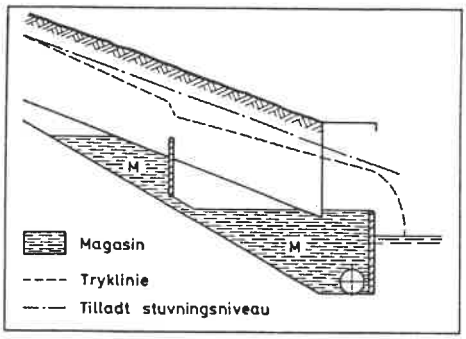



*Fig. 2. Forsinkelse af afløbet fra den øvre del af et ledningssystem.*

Regulering af afløbsstrømmen i et ledningsnet kan udføres på mange måder, spændende fra en simpel neddrosling af ledningsdimensionen til avancerede reguleringssystemer med bevægelige klapper og ventiler.

I det følgende skal beskrives 2 reguleringsmetoder

- fast regulering
- specielle regulatorer.

**Fast regulering**

*Stigbord*

Den simpleste form for en fast regulering er en indsnævring af lednigsnettet ved hjælp af et stigbord med et udløbshul ved bundløbet (se fig. 3).

Ved små vandføringer løber vandet uhindret gennem åbningen ved bundløbet. Ved regn stuver vandet op bag stigbordet og udnytter ledningens volumen. Ved kraftige regnskyl stuver vandet så højt op, at stigbordet også virket som overfaldskant. Stigbordet må altså ikke være højere, end at ledningens dimensionsgivende vandføring skal kunne løbe over stigbordets overkant uden at skabe stuvningsproblemer i kældre el. lign. opstrøms for konstruktionen.

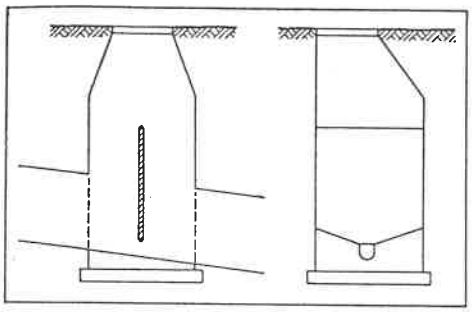


*Fig. 3. Fast regulering. Konstruktionen består af et stigbord i en almindelig brønd.*

Når udløbsåbningen er lille i forhold til den maximale trykhøjde, kan den øjeblikkelige vandstrøm beregnes af

$$Q = \mu \cdot A \cdot \sqrt{2g \cdot H} \qquad (1)$$

hvor A er åbningens areal. H er trykhøjden (se fig. 4), g er tyngdekraften, og $\mu$ er en udløbskoefficient, der normalt sættes til 0,6.

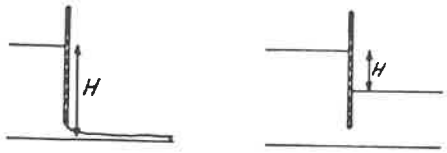



*Fig. 4. Trykhøjden ved udløb gennem et skarpkantet hul.*

I praksis vil det ofte være situationen med det dykkede udløb, der forekommer ved det dimensionsgivende regnskyl.

Karakteristikken for en sådan udløbskonstruktion er en parabel (se fig. 11).

Indholdet af faste stoffer i spildevandet sætter imidlertid en nedre grænse for, hvor lille gennemstrømningsåbningen kan gøres (15-20 cm). Så ønsker man at regulere ned til en meget lille vandføring, må en anden konstruktion vælges.

*Drosselledningen*

En sådan konstruktion kunne være drosselledningen. I denne konstruktion øger man energitabet i ledningsnettet ved at lade afløbet foregå gennem en lang ledning med lille dimension.

Energitabet for strømningen gennem drosselledningen kan beregnes ved hjælp af energiligningen og Manningformlen og kan udtrykkes ved

$$\Delta H = Q^2 \left( \frac{L}{M^2 \cdot R^{4/3} A^2} + \frac{\Sigma \zeta}{2 \cdot g \cdot A^2} \right) \quad (2)$$

hvor L er ledningens længde, M er ledningens Manningtal, R er hydraulisk radius, A er ledningens tværsnitsareal, Q er vandføringen, g er tyngdekraften, og $\Sigma\zeta$ er summen af enkelttab gennem ledningen.

Den ligning kan omskrives til

$$\Delta H = Q^2 \cdot K \quad (3)$$

hvor K kaldes ledningens specifikke modstand.

Ved omrokering fås:

$$Q = \sqrt{\frac{\Delta H}{K}} \quad (4)$$

Ligning 4 er formlen for vandføringen gennem en drosselledning. Af formlen ses det, at jo mindre vandføring, der ønskes gennem ledningen, jo større må den specifikke modstand i ledningen gøres. Da der også her er en nedre grænse for, hvor lille man kan gøre ledningsdimensionen, øges ledningsmodstanden bedst ved at gøre drosselledningen længere.

I praksis er man henvist til at bruge de givne handelsdimensioner til drosselledningen, og det kan af og til være vanskeligt at etablere en fuldt tilfredsstillende løsning på grund af springene i handelsdimensionerne.

I fig. 5 er vist en reguleringskonstruktion med en drosselledning suppleret med et centraloverløb. Ved små vandføringer vil spildevandsmængden løbe fra ø 800 mm gennem drosselledningen ø 300 mm og videre til den anden ø 800 mm. Ved mindre regnskyl vil vandet stuve op inde i centraloverløbet, og ledningsvoluminet opstrøms for drosselledningen vil blive udnyttet som magasin. Ved større regnskyl vil centraloverløbet træde i funktion og sende regnvandet videre ned i systemet.

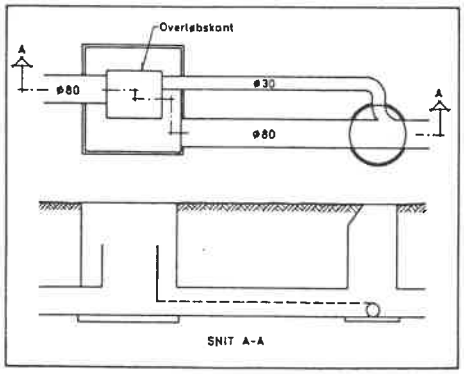



*Fig. 5. Centraloverløb med drosselledning.*

**Specielle regulatorer**

Ved hjælp af specielle regulatorer indsat i afløbssystemet kan man ofte regulere vandstrømmen langt mere nøjagtigt end med faste regulatorer.

*Vandbremsen*

I Danmark blev der i 1960'erne udviklet en reguleringsanordning, der blev kaldt en »vandbremse«. Konstruktionen er uden mekaniske dele, har en stor gennemløbsåbning, men alligevel en betydelig hydraulisk modstand.

Den principielle funktion af vandbremsen ses i fig. 8. Konstruktionen består af et excentrisk cylinderhus, hvori vandets strømning bliver tangentielt, og vandet sættes i rotation. Herved opstår en betydelig centrifugalkraft, som er modsat rettet gennemløbsretningen. Herved reduceres gennemløbsmængden betydeligt.

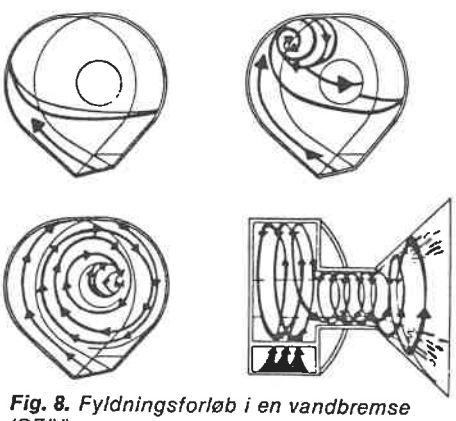


*Fig. 8. Fyldningsforløb i en vandbremse (CE/V).*

Hvirveldannelsen i vandbremsen - hvis vandføring i øvrigt beregnes efter formel (1) - gør, at vandføringen i en vandbremse bliver mindre end svarende til et simpelt hul med samme diameter som vandbremsen. Dette giver sig udtryk i en betydeligt mindre $\mu$-værdi.

Vandbremsen findes i tre hovedtyper, som vist i fig. 9.

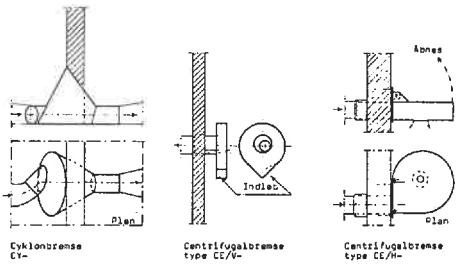



*Fig. 9. De tre hovedtyper af vandbremsen.*

*Cyklonbremsen,* der har et liggende keglestubformet bremsehus. Denne regulator har mireret gennemløb.

*Centrifugalbremsen,* der har et fladt og set fra fladen dråbeformet bremsehus, findes både i en *vertikal* og i en *horisontal* udgave.

Bremsevirkningen fremgår af vandbremsens karakteristik. I fig. 11 ses en karakteristik fra en horisontal centrifugalbremse (CE/H). Af figuren ses, at man med en horisontal centrifugalbremse med en åbning på 150 mm kan opnå samme effekt som gennem et skarpkantet udløbshul på 80 mm. På figuren er også antydet den bremsede karakteristik for en vertikal centrifugalbremse med gennemløb ø 150 mm, idet den giver mindre vandføringer end et skarpkantet ø 80 mm hul.

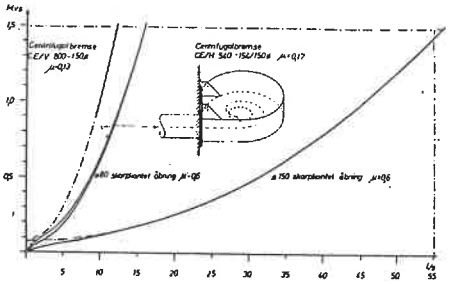


*Fig. 10. Vandføringen gennem centrifugalbremser sammenlignet med vandføringen gennem skarpkantede udløb.*

I fig. 11 ses karakteristikken for cyklonbremsen (CY) og den vertikale centrifugalbremse (CE/V). Denne karakteristik er lidt anderledes, idet der i starten

ikke er nogen nævneværdig bremseeffekt (0-1). Når vandet når op over bremsehusets top, og der opstår en regulær rotation, indtræder bremseeffekten. Ved trykhøjder over bremsehusets top bøjer karakteristikkurven opad og tilbage (1-2-3), hvorefter den går over i den parabel, der kan betegnes »den bremsede karakteristik« (3-4). Denne parabel har en for bremsen specifik $\mu$-værdi. Ved faldende trykhøjder følger kurven 4-3-5.

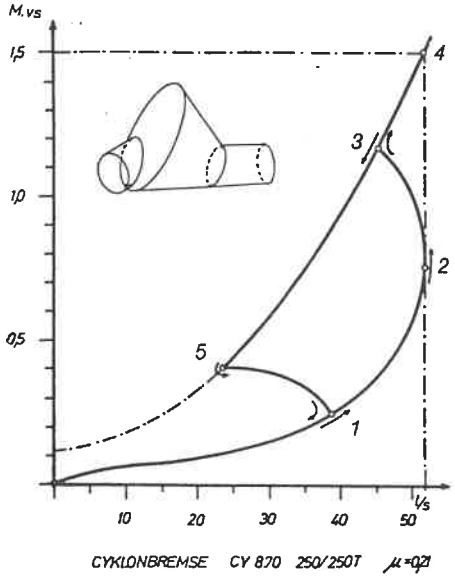



*Fig. 11. Karakteristik for cyklonbremser og vertikale centrifugalbremser.*

Når vandstanden når under toppen af bremsehuset, bliver rotationen ustabil, hvilket giver en momentan fprøgelse af gennemstrømningen til ca. 0,7 Qmax (5-1). Derefter er karakteristikken tilbage i sit principielle forløb. Denne pludselige forøgelse af vandstrømmen er særdeles gunstig, idet den virker som en gennemspuling af systemet. Både opstrøms og nedstr)mq øges hastigheden, så bundfældede stoffer hvirvles op samtidig med, at spuleeffekten hindrer, at bremsen tilstoppes.

Denne specielle karakteristik medfører desuden, at middelgennemstrømningen vil være ca. 0,9 × Qmax, mens man ved en normal parHbmlformet karakteristik har, at middelgmnnemstrømningen er 0,67 Qmax.

Dette betyder, at man allerede fra starten ved de små trykhøjder har fået etableret maximal afløbsstrøm, og derfor kan nedsætte bassinvoluminet i forhold til traditionelle udløbskonstruktioner.

De i fig. 10 og 11 viste karakteristikker antyder to store fordele ved vandbremsen

- lille eller ingen reduktion af strømningstværsnittet, og dermed mindre risiko for tilstopning.
- meget stejle karakteristikker, der viser, at vandføringen kun varierer lidt med trykhøjden.

Vandbremsen laves af rustfrit stål og monteres normalt i en brønd. De almindelige typer kan passere et brønddæksel, hvilket gør vandbremsen anvendelig ikke alene ved nyanlæg, men også ved reguleringer i eksisterende systemer, hvor den kan anbringes uden opgravning.

Vandbremsen er taget i brug af flere kommuner i Danmark, og erfaringerne viser, at de fungerer meget fint, og at de ikke giver driftsmæssige problemer.

**Eksempel**

I det følgende gives et eksempel på beregning af en reguleringskonstruktion efter de anviste formler.

Forudsætninger:

Vandspejlsforskel 1,50 m
Ønsket vandføring 52 l/s

*1 Udløb gennem stigbord eller skarpkantet hul*

d = 140 mm

*2 Drosselledning*

d = 250 mm, længde 180 meter
d = 200 mm, længde 51 meter
d = 150 mm, længde 9 meter

*3 Vandbremse*

Cyklonbremse CY 870 - 250/250T (se fig. 11).
(Bremse med ø 250 mm gennemløb).

Af eksemplet ses det, at kun drosselledningen og vandbremsen giver acceptable gennemstrømningsåbninger, og det kan så være økonomien og karakteristikken, der afgør hvilken løsning, der vælges. Her vil en vandbremse oftest være billigst, idet den ikke kræver særlige ændringer i systemet, men blot kan indbygges i en almindelig brønd. Drosselledningens udstrækning begrænser dens anvendelsesmuligheder.

**Afslutning**

I artiklen er givet en oversigt over nogen af de muligheder, der kan tages i anvendelse, når afløbssystemer ønskes udnyttet mere effektivt gennem *regulering i ledningsnettet.*

Ingen af metoderne er særlig anvendt herhjemme endnu, men i forbindelse med kommende saneringsplaner, må det forventes, at de mest velegnede vil blive taget op. I den forbindelse vil man nok lægge vægt på metoden, der nemt kan indpasses i eksisterende ledningssystemer.

Indførelsen af reguleringskonstruktioner betyder uden hensyn til arten større fare for forstoppelser i systemet. Det er derfor vigtigt dels at vælge så »afløbsvenlige« reguleringskonstruktioner som muligt, dels at øge sit drifts- og vedligeholdelsesberedskab for at kunne forebygge evt. driftsgener. ■

**Litteratur**


Peter Stahre: Flödesutjämning i avloppsnät.

Palle Andersen: Optimering af driftsbetingelser for spildevandsanlæg gennem automatisering. Aalborg Universitetscenter, 1977.

A. E. Bretting: Hydraulik, Teknisk Forlag, 1960.