

Mengderegulering i avløpsteknikken. Hva er best tilgjengelig teknologi?

Av Lars Aaby og Oddvar Lindholm

Lars Aaby er sivilingeniør og daglig leder av MFT Miljø- og Fluidteknikk As
Oddvar Lindholm er professor ved Institutt for matematiske realfag og teknologi, UMB

Sammendrag

Den nye avløpsforskriften får store konsekvenser for kommunene. De skjerpede kravene for utslipp fra våre kloakkrensaneanlegg har fått bred omtale i pressen, i fagtidsskrift og på kurs og konferanser. Forskriften setter også skjerpede krav til avløpsnettet ved at best tilgjengelig teknologi skal legges til grunn. Artikkelen diskuterer krav som bør settes til mengderegulering i avløpsteknikken og konkluderer med at regulatoren som installeres i forbindelse med regnvanns-overløp og fordroyning skal være kvalitetssikret og tilfredsstillende en nøyaktighet på +/- 10%. Den tradisjonelle strupeledningen tilfredsstiller ikke kravet til best tilgjengelig teknologi. Av driftstekniske hensyn bør normalt den regulatoren som gir størst strømningsstvernsnitt velges. Regulatorer som bygger på virvelkammerprinsippet har store fordeler i denne sammenheng. Spesielt for dimensjonerende trykkhøyder på under 1.0 m kan et optimalt regulator valg gi et redusert magasinbehov, hvilket betyr mye økonomisk.

Summary

A new regulation on sewerage systems, pursuant to the Pollution Control Act, is recently implemented. Also for the transport elements in the drainage and sewerage networks, the best available technology (BAT) is required. The article discusses the flow regulation from units like detention tanks and combined sewer overflows (CSOs). To use throttle pipes to regulate flow is not regarded as a BAT solution. It is both an effective and economic alternative to use hydraulic regulators with a fluid vortex incorporated.

Innledning

Avløpsforskriften kapittel 14 gjelder utslipp fra tettbebyggelse med et samlet utslipp større enn 2000 pe til ferskvann og elvemunninger og større enn 10 000 pe til sjø. Forskriften §14-5 lyder:

Avløpsnettets skal, uten at det medfører uforholdsmessig store kostnader, dimensjoneres, bygges, drives og vedlikeholdes med utgangspunkt i den

beste tilgjengelige teknologi og fagkunnskap, særlig med hensyn til:

- a) avløpsvannets mengde og egenskaper
- b) forebygging av lekkasjer
- c) begrensnig av forurensning av resipienten som følge av overløp

Den ansvarlige skal legge til grunn anerkjente metoder som beslutningsgrunnlag for rehabilitering av avløpsnett. Den ansvarlige skal ha en oversikt over alle overløp på avløpsnett. Oversikten skal også inkludere eventuelle lekkasjer av betydning. Den ansvarlige skal fra 31. desember 2008 registrere eller beregne driftstid for utslipp fra overløp.

I §13 står de samme kravene unnatt kravet angående driftstid på overløp, og §13 gjelder steder med mer enn 50 pe og opp til det antall pe som §14 dekker.

Vannføringsregulatoren

Vannføringsregulatoren regulerer videreført vannmengde ved regnvannsoverløp og alle former for utjevning innen avløpsteknikken. Vannføringsregulatoren dekker en helt sentral funksjon samtidig som kostnaden representerer en svært liten andel av totalkostnadene.

Mengderegulering i avløpsteknikken er omtalt i (1) og (2).

De mest brukte vannføringsregulatorene er:

- strupeledning
- strupet utløp
- virvelkammer

Avløpsanlegg med behov for mengderegulering

Vårt fokus er mengderegulering i tilknytning til:

1. regnvannsoverløp i fellessystemet
2. utjevningsvolum i fellessystemet
3. utjevning av overvann før påslipp til overvannssystemet, fellessystemet eller lokal resipient

Fordrøyning ved overløp i fellessystemet har frem til nå ikke vært prioritert i Norge. I de fleste andre vestlige land har dette vært et konkret krav allerede i flere år (3). Flere anlegg av denne typen er imidlertid for tiden under planlegging i Norge. Internasjonalt er teknologien godt kjent med eksempelvis ca. 42 000 magasin i drift i Tyskland (4).

Anlegg for magasinering av overvann er av relativt ny dato her til lands og domineres av relativt små anlegg finansiert av private. Spesielt i Østlandsområdet er antall nyanlegg pr. år sterkt stigende.

Med bakgrunn i planlegging, prosjektering og bygging av regnvannsoverløp de siste 15 årene og anlegg for magasinering av overvann de siste 5 årene kan følgende grensebelastninger representere typiske norske anlegg i dag:

Anleggstype	Dimensjonerende trykk (h) i m	videreført ($Q_{v,dim}$) i l/s	Typisk anlegg
Regnvannsoverløp	0.55	6.0 – 10	Tverroverløp
Fordrøyning: Fellessystem (5)	2.80	40	Rørkulvert D-2.0 m
Overvann	2.00	5.0-15	GRP tank D-2.0m
Overvann	0.80	5.0-20	Åpen dam

Funksjonskrav

Avløpsforskriften krever best tilgjengelig teknologi for avløpsnett for alle nett med mer enn 50 pe og alle resipienttyper. Dette gjelder da også mengderegulatorer.

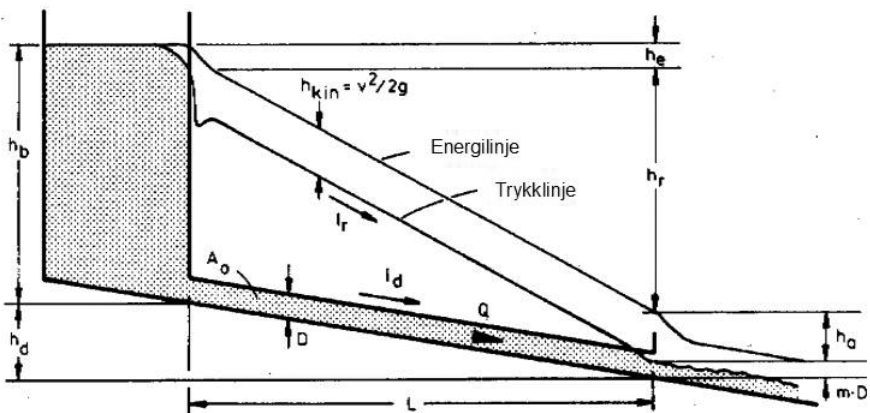
Konkrete funksjonskrav bør knyttes til:

- nøyaktighet
- driftsstabilitet/tilstopningsrisiko
- magasinutnyttelse

Nøyaktighet

Strupeledning

Tidligere ble strupeledning ofte benyttet som mengderegulator. Prinsippet er basert på omsetning av bevegelsesenergi til varme ved intens turbulens. Turbulensen oppstår i kontaktflaten mellom rørveggen og avløpsvannet. I tillegg kommer singulærtap ved strupeledningens innløp og utløp.



Figur 1. Skisse av en strupeledning

Ved beregning av vannstrømmen Q gjennom en strupeledning inngår følgende symboler:

- Q vannstrømmen (m^3/s)
- A_0 strupeledningens tverrsnittsareal (m^2)
- D strupeledningens diameter (m)
- I ledningsfall (-)
- L strupeledningens lengde (m)
- Re Reynolds tall (-)
- g tyngdens gravitasjon, $9.81 m/s^2$
- h trykkhøyde (m)
- k ruhetskoeffesient for rørvegg (mm)
- m delfyllingsforhold (-)
- α strømningsmotstands tall (-)
- ζ singulærtap (-)
- λ friksjonskoeffesient for rør (-)

Følgende indekser benyttes:

- a utløp
- b dimensjonerende
- d strupeledning
- e innløp
- kin kinetisk
- o sirkel
- r friksjon

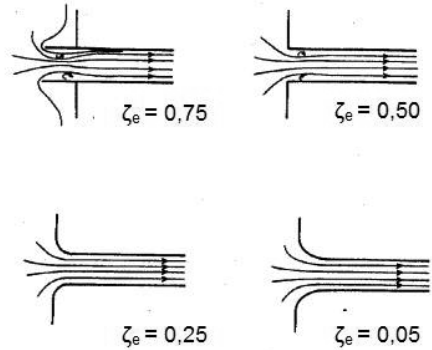
Det kan settes opp følgende sammenhenger (se figur 1):

$$(1) h_d + h_b = h_e + h_r + h_a + m \cdot D$$

$$(2) h_d = I_d \cdot L$$

$$(3) h_e = \xi_e \cdot \frac{Q^2}{A_0^2 \cdot 2g}$$

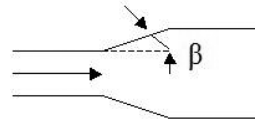
Innløpstapet avhenger detaljutformingen.



Figur 2. Innløpstapskoeffisienter for strupeledningen (6)

$$(4) h_r = \lambda \cdot \frac{L}{D} \cdot \frac{Q^2}{A_0^2 \cdot 2g}$$

$$(5) h_a = \zeta_a \cdot \frac{Q^2}{A_0^2 \cdot 2g}$$



B	5°	10°	15°	≥ 20°
ζ_a	0,2	0,5	0,85	1,00

Figur 3. Utløpstapskoeffisienter for strupeledningen (7)

For beregning av λ , friksjonskoeffisienten for rør benyttes Colebrooks formel.

$$(6) \frac{1}{\sqrt{\lambda}} = -2 \log \left(\frac{2,51}{\text{Re} \cdot \sqrt{\lambda}} + \frac{k}{3,71 \cdot D} \right)$$

Med utgangspunkt i (1) – (6) fås følgende uttrykk for vannstrømmen i strupeledningen.

$$(7) Q = A_0 \cdot \sqrt{2g \cdot \frac{h_b + I_d \cdot L - m \cdot D}{\zeta_e + \lambda \frac{L}{D} + \zeta_a}}$$

Strømningsmotstandstallet kan uttrykkes på følgende måte:

$$(8) \alpha = \sqrt{\frac{1}{\zeta_e + \lambda \frac{L}{D} + \zeta_a}}$$

slik at vannstrømmen i strupeledningen kan uttrykkes ved følgende likning:

$$(9) Q = A_0 \cdot \alpha \sqrt{2g(h_b + I_d \cdot L - m \cdot D)}$$

Basert på rammebetingelser for typiske anlegg i Tyskland har Brombach (5) beregnet vannstrømmen for en strupeledning med ”små” friksjonstap, en strupeledning med midlere friksjonstap og en med store friksjonstap. De beregnede avvik for forskjellige strupelednings lengder er vist i tabell 1.

Konstante verdier	Antatte friksjonsvariable				Beregnet avvik i vannstrøm Q i % i forhold til midlere friksjonstap				
D = 200 mm I _d = 0,002 h _b = 2,80 m	ζ_e	ζ_a	k _b	m	Lengde strupeledning L				
	[-]	[-]	[mm]	[-]	25	50	100	200	400
					[m]	[m]	[m]	[m]	[m]
små friksjonstap	0,1	0,5	0,25	0,5	+28,1	+25,4	+23,9	+22,9	+22,3
midlere friksjonstap	0,35	1,0	1,0	0,75	0	0	0	0	0
store friksjonstap	0,6	1,0	1,5	1,0	-7,5	-7,3	-7,1	-6,9	-6,9

Tabell 1. Mulige avvik ved bruk av strupeledning D=200 mm (5).

Tabellen viser at den mulige feilen ved dimensjonering av strupeledninger er større for korte strupeledninger enn for lange. Inn- og utløp

stap vil ha relativt større betydning for korte strupeledninger. For en strupeledning på 25 m kan feilen ligge i området – 7.5 % til + 28.1%.

Gjør vi tilsvarende beregninger for et typisk norsk anlegg for magasinerings av overvann; GRP tank D=2000 mm, gradient $I = 0.5\%$, $L = 5.0$ m, $D = 57$ mm og tilsvarende singulærtap for inn- og utløp som (5) vil videreført vannmengde ligge i området -7.9% til $+30.5\%$.

Strupeledning legges normalt med lite fall. Det kan innebære avsetninger av slam og sand spesielt under perioder med lav vannføring; strupeledningens kapasitet kan være avhengig av lengden på forutgående tørrværsperiode.

Beregningene er basert på ruhetsfaktor for rørveggen på k_s i området $0.25 - 1.5$. Dette er optimistiske verdier. Figur 4 viser innvendig begroing i et PVC rør i fellessystemet med en $k_s \gg 1.5$. Det er et tankekors at renseplugger jevnlig må benyttes i forbindelse med avløpaspumpestasjoner for å opprettholde pumpekapasiteten og at begroingen varierer fra anlegg til anlegg.

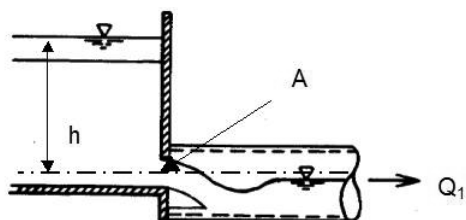


Figur 4. Innvendig begroing i AF ledning

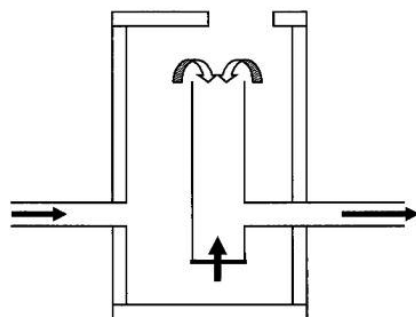
I tillegg til usikkerhet knyttet til rørmotstanden og singulærtapet ved innløp og utløp vil nøyaktigheten være knyttet til utførelsen av anlegget, bl.a. at ledningen anlegges med fallet (I), lengden (L) og selvfølgelig diameteren (D) som er lagt til grunn ved dimensjonering.

Strupet utløp

Strupeåpningen kan enten anordnes vertikalt, figur 5, slik at vannstrømmen skjer horisontalt ut av åpningen eller horisontalt der vannstrømmen ut av åpningen skjer vertikalt. Den vertikale vannstrømmen kan enten være oppadrettet, figur 6, eller nedadrettet.



Figur 5. Vertikalt strupet utløp (13)



Figur 6. Horisontalt strupet utløp for oppadrettet vannstrøm (8)

Fritt utløp gir nøyaktigere mengde-regulering enn delvis dykket eller dykket utløp. Arrangementet som vist i figur 6 gir dykket utløp.

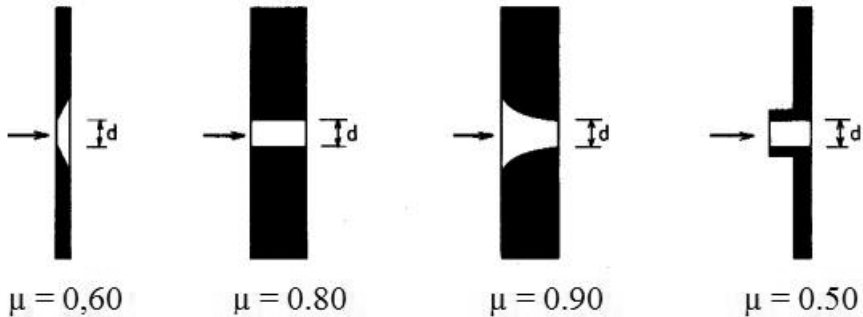
Vannmengden gjennom et strupet utløp beregnes etter Torricellis (1608 – 1647) formel der μ er den dimensjonsløse vannføringskoeffesienten:

$$(10) Q = A \cdot \mu \cdot \sqrt{2g \cdot h}$$

Ligningen løses for dimensjonering av utløpsåpningen:

$$(11) A = \frac{Q}{\mu \cdot \sqrt{2g \cdot h}}$$

Vannføringskoeffesienten avhenger av detaljutformingen.



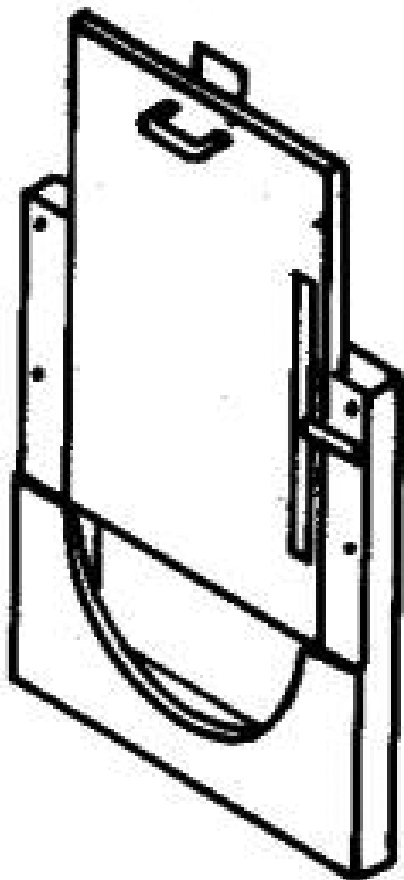
Figur 7. Vannføringskoeffesienter for fritt utløp gjennom sirkulære åpninger (6).

For å unngå akkumulering av slam, sand og grus anordnes normalt det strupete utløpet som bunnutløp (jfr. figur 5). For praktisk anvendelse oppgir (9) at for denne typen utløp varierer μ i området 0.55 – 0.85. Samme kilde oppgir at vannføringskoeffesienten varierer fra 0.54 for $H/a = 1.5$ til 0.59 for $H/a = 6$ der H/a er forholdet mellom trykkhøyden og spalteåpningen.

Vannverksventiler har i noen utstrekning vært benyttet for regulering av videreført vannmengde i avløps-teknikken. Stor grad av struping vil gi svært usikker mengderegulering. Videre vil videreført vannmengde mer eller mindre tilfeldig kunne endres. For små anlegg har det vært praktisert

at utløpsåpningen har blitt ”borret opp” på anlegget (fig. 6 boring av ters). Da er det viktig at riktig bor diameter benyttes?

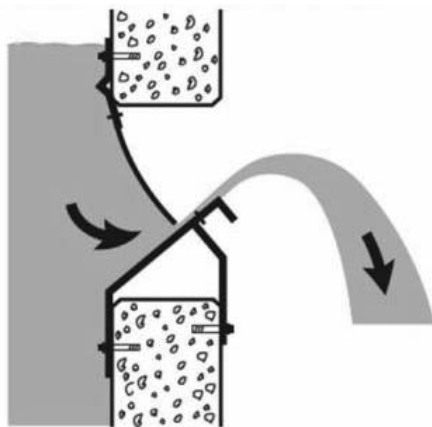
Vannføringskoeffesienten for strupet utløp vil være helt avhengig av detaljutformingen på utstyret som velges. Samtidig vil installasjon og betjening av regulatoren lett resultere i ytterligere avvik fra beregnet videreført vannmengde. Strupeluker ferdig kalibrert fra produsent er tilgjengelig på markedet. Forutsatt montert som anvist av leverandøren kan disse leveres med en kapasitetsgaranti på +/- 10% for dimensjonerende videreført vannmengde. Disse lukene leveres for relativt store vannmengder.



Figur 8. Strupeluke for mengderegulering av store vannmengder

For hindre overbelastning av utjevningmagasin basert på gjennomstrømningsprinsippet i fellessystemet, er det utviklet et selvregulerende strupet utløp (10). Utstyret består av en plate av fjærstål som på grunn av oppstrøms vanntrykk beveger seg mot en skråstilt terskel slik at det skjer en struping av videreført vannmengde. Prinsippet har også fått anvendelse i forbindelse med mengderegulering av utløpet fra åpne dammer med relativt

små trykkhøyder og store videreførte vannmengder. Regulatoren leveres med en kapasitetsgaranti på +/- 10% ved dimensjonerende videreført vannmengde.

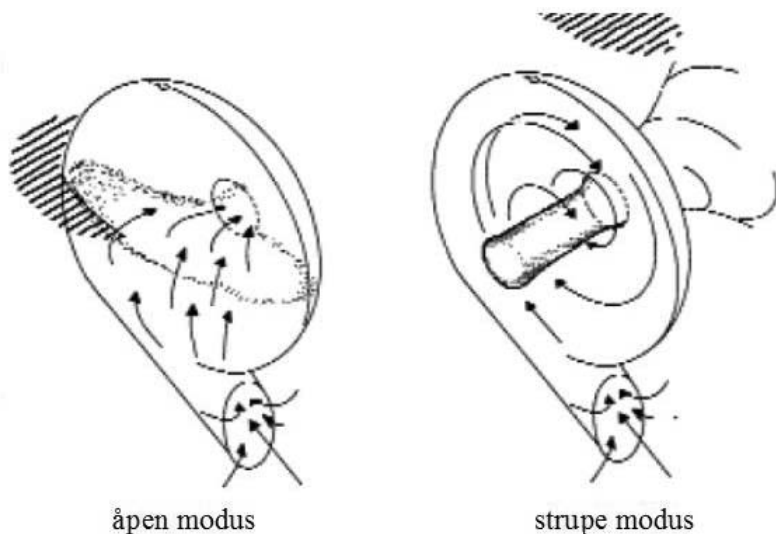


Figur 9. Selvregulerende strupet utløp (10).

Virvelkammer

Virvelkammeret er sirkulært med tangentielt innløp. Figur 10 viser vannstrømmen gjennom kammeret før virvelen er etablert (åpen modus) og etter (strupe modus). Vannpartiklene følger en spiral tilsvarende utløpet fra et badekar. Vannhastigheten akselereres fra innløp mot utløp; trykkenergien omformes til hastighetsenergi. Den innkommende vannstrømmen treffer de roterende vannmassene der trykket er høyest og blir på den måten kraftig bremsset opp. Hastighetsenergien omsettes når "hullstrålen" forlater virvelkammeret.

Hydraulikken i et virvelkammer lar seg modellere ved hjelp av matematisk teori (potensialteorien).



åpen modus

strupe modus

Figur 10. Virvelkammerets funksjon

Teorien kan benyttes til grove over-slag. Dagens krav til nøyaktighet forutsetter teoretisk kompetanse på høyt nivå som basis for omfattende praktiske undersøkelser i et moderne hydraulisk laboratorium.

Virvelkammerteknologien danner basis for en rekke spesialprodukter knyttet til avløpsteknikken. Virvelkammerene prefabrikeres. Forutsatt montert som anvist av leverandøren kan disse leveres med en kapasitetsgaranti på +/- 5% - 10%, avhengig av type, ved dimensjonerende videreført vannmengde.

Vurdering av nøyaktighet

Ved bruk av strupeledning er videreført vannmengde i stor grad avhengig av detaljutformingen og andre forhold som det er vanskelig å forutsi eller ha nødvendig kontroll over. Dette innebærer at det er knyttet stor grad av usikkerhet til beregning

av dimensjonerende videreført vannmengde. Det samme gjelder for strupet utløp med unntak av visse typer strupe luker som leveres ferdig kalibrert fra leverandør.

Vannføringsregulatorer som leveres med en kapasitetsgaranti på +/- 10% ved dimensjonerende videreført vannmengde anses å tilfredsstillere kravet om best tilgjengelig teknologi. Regulatoren bør være testet av en uavhengig institusjon og nøyaktighet og funksjon må kunne dokumenteres.

Strupeledning anses ikke å tilfredsstillere best tilgjengelig teknologi og er ikke videre omtalt i det følgende.

I denne sammenheng er det viktig å være klar over at det ikke kan forventes en bedre nøyaktighet enn i størrelsesorden +/- 20% ved avrenningsmålinger i felten ved bruk av typiske mengdemålere egnet til formålet.

Driftsstabilitet/tilstopnings risiko

Mange ulike forhold påvirker et anleggs driftsstabilitet. Sentralt i denne sammenheng er avløpsvannets partikkelinnhold og dermed risiko for tilstopping. For anleggets vannføringsregulator er det naturlig å ta utgangspunkt i regulatorens minste strømningsstverrsnitt. Strømningsstverrsnittet beregnes etter likning (11). Undersøkelser (11) tyder på en nedre praktisk grense for virvelkammer på μ

= 0.11. Dette innebærer eksempelvis at et virvelkammer med $\mu = 0.12$ har et strømningsstverrsnitt som er 5.4 ganger større enn et strupet utløp med $\mu = 0.65$.

I tabell 2 er strømningsstverrsnittet (D) for strupet utløp sammenlignet med minste strømningsstverrsnitt for passende virvelkammer (D) som er tilgjengelig på det norske markedet. For strupet utløp er beregningene basert på $\mu = 0.65$.

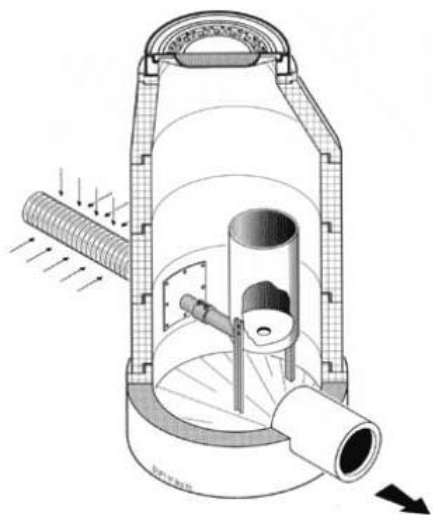
Type anlegg	Trykkhøyde h (m)	Vannmengde q (l/s)	Strupet utløp d (mm)	Virvelk D (mm)	Rel. strømningsstverrsnitt (D/d) ² (dim. løst)
<u>Fellessystemet</u>					
Regnv. overløp	0.55	8.0	70	150	4.6
Fordr. magasin	2.80	40.0	100	200	4.0
<u>Overvann</u>					
GRP tank	2.00	10.0	56	100	3.2
Åpen dam	0.80	12.0	78	150	3.7

Tabell 2. Strømningsstverrsnitt (diameter) for typiske norske anlegg. En sammenligning mellom strupet utløp og virvelkammer.

Ut fra tilstopningsrisikoen er vanlig praksis i Norge for fellessystemet at minste strømningsstverrsnitt velges større enn $D = 150$ mm. Det innebærer at strupet utløp er svært sjelden aktuelt både ved mengderegulering i forbindelse med regnvannsoverløp og ved fordrøyning i fellessystemet.

Ved samme strømningsstverrsnitt vil normalt tilstopningsrisikoen ved fordrøyning av overvann være mindre enn for avløpsvann i fellessystemet. Tilstopningsrisikoen for overvann vil

være avhengig av anleggstype. For eksempel er det vanskelig å forestille seg at tilstopping skal representere noe problem for et sprengsteinsmagasin eller lignende anlegg når oppsamling av videreført vannmengde skjer i perforerte rør oppstrøms vannføringsregulatorene, jfr. figur 11. Problemer knyttet til gjentetting eller reduksjon av nyttbart magasinivolum over tid, pga. gjenslamming, vil være mer typisk for denne typen anlegg.



Figur 11. Oppsamling gjennom perforerte rør. Regulatoren er basert på virvelkammerprinsippet.

Vurdering av driftsstabilitet

Driftstekniske hensyn gjør at strupet utløp er svært sjelden aktuelt i forbindelse med mengderegulering i tilknytning til regnvannsoverløp og ved fordøyning i fellessystemet.

Tilfeldig tilsyn er typisk for et stadig økende antall private små overvannsmagasin med små videreførte vannmengder. Det vil normalt alltid foreligge en viss risiko for at blader, pinner eller sand og grus kommer i kontakt med vannføringsregulatoren. Pga. faren for tilstopping bør derfor alltid et så stort strømningsstverrsnitt som mulig tilstrebes. Dette er særdeles viktig ved små til middels store videreførte vannmengder.

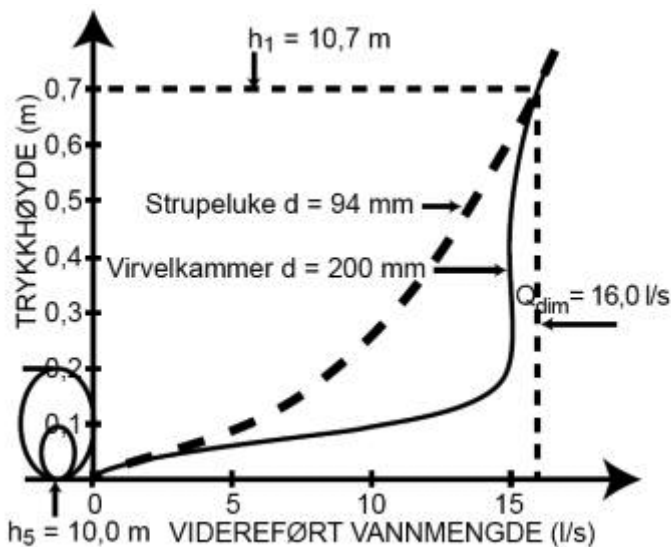
Magasinutnyttelse

I hvilken grad magasinet fylles opp, og i neste omgang tømmes under en gitt nedbørepisode, styres av tilrenningsforløpet og hvor mye vannføringsregulatoren til enhver tid slipper igjennom. Vannstrømmen gjennom regulatoren er gitt ved sammenhengen mellom trykkehøyden og videreført vannmengde, eller regulatorens hydrauliske karakteristikk. Karakteristikkens form er derfor helt avgjørende for hvor effektivt magasinvolumet utnyttes. Det ideelle kammeret i denne sammenheng har en loddrett hydraulisk karakteristikk, dvs. at videreført vannmengde tilsvarer grensebelastningen under oppfylling av magasinet. Dette forholdet illustreres best i følgende eksempel.

Det skal installeres en mengde-regulator nedstrøms et magasin (loddrette vegger) for overvann basert på følgende rammebetingelser:

- oppstrøms tette flater 2000 m²
- gjentakelsesintervall
10 år (Blindern)
- dim. trykkehøyde 0.7 m
- dim. videreført mengde 16 l/s

Figur 12 viser hydraulisk karakteristikk for en strupeluke og et virvelkammer som gir ønsket avrenning ved dimensjonerende trykkehøyde.



Figur 12. Hydraulisk karakteristikk for struveluke og virvelkammer

Eksempelet gir følgende:

Relativt strømningsstverrsnitt:

$$(A_{\text{virv.k}}/A_{\text{str.luke}}) = 4.5$$

For beregning av nødvendig magasinvolum (V) beregnes volumtilrenningen ved forskjellige varigheter (regnintensiteter). Utløpsmengden baseres på regulatorens midlere avrenning (Q_m) ut fra angitt karakteristikk. Den regnintensiteten som gir størst differanse mellom volumtilrenningen og utløpsmengden gir nødvendig magasinbehov (12).

$$\begin{aligned} Q_{m,\text{str.luke}} &= 10.7 \text{ l/s} \\ Q_{m,\text{virv.k}} &= 13.3 \text{ l/s} \\ V_{\text{str.luke}} &= 25.6 \text{ m}^3 \\ V_{\text{virv.k}} &= 21.0 \text{ m}^3 \end{aligned}$$

Dette innebærer at dersom magasinet utstyres med et strupet utløp må det bygges 22% større enn dersom virvelkammeret benyttes.

Vurdering av magasinutnyttelse

Eksempelet illustrerer at optimalt valg av regulator kan gi besparelser i nødvendig bassengvolum. Dette er spesielt aktuelt for relativt små trykkehøyder og da gjerne i forbindelse med åpne magasin eller rensedammer.

Referanser

1. L. Aaby. Overløp på avløpsnett, valg av vannføringsregulator. Vann 4/93
2. L. Aaby. Eksempler på produkter for å redusere skader ved å hindre overbelastning av ledningsnett og kjelleroversvømmelser. Vann 4/05
3. O. Lindholm: Avløpsdelen i forurensningsforskriften om ledningsnett. Sammenligning av norsk regelverk og andre lands regelverk om avløpsnett. VANN nr. 4, 2006.
4. H. Brombach. Abwasserkanalisation und Regenbecken im Spiegel der Statistik. Sonderdruck aus KA- Abwasser, Abfall, Heft 11/2006.
5. H. Brombach. Drosselstrecken und Wirbeldrosseln an Regenbecken. Schweizer Ingenieur und Architekt. Sonderdruck aus Heft 33 – 34/1982.
6. Klas Cederwall og Peter Larsen. Hydraulik för väg- och vattenbyggare. 1976 Liber Läromedel Malmö.
7. Erik Bahl Andersen. Pumpe ståbi. 1977 Teknisk forlag As.
8. Innløp- og utløpsarrangement ved overvannsdammer. NKF/NORVAR Miljøblad nr. 70. 2006
9. Bautabellen für Ingenieure. Klaus-Jürgen Schneider. Werner-Verlag. 11. Auflage 1994
10. G. Weiss. Hydraulische Aspekte bei der Gestaltung von Regenbecken. DWA-Seminar. Hydraulische Planung von Abwasseranlagen. Leipzig 29. – 30.11.2005
11. W.C. Pisano og Dr. H. Brombach: Historical Perspective; Use of Vortex flow throttles as flow controllers in sewerage systems. AWPCA/WEF National Speciality Conference “Collection Systems – Operation and Maintenance. June 1993, Arizona.
12. Overvannsdammer. Beregning av volum. VA/Miljøblad; Plan/transport-system/avløp nr. 69/2006.
13. L. Aaby, O.A. Tveit, S. Sægrov. Regnvannsoverløp. NORVAR Prosjektrapport nr. 29/1993