



Aalborg Universitet

AALBORG UNIVERSITY
DENMARK

Trykstød i pumpeledninger

Larsen, Torben

Published in:
Spildevandsteknisk Tidsskrift

Publication date:
2007

Document Version
Også kaldet Forlagets PDF

[Link to publication from Aalborg University](#)

Citation for published version (APA):
Larsen, T. (2007). Trykstød i pumpeledninger. *Spildevandsteknisk Tidsskrift*, 35(2), 36-38.

General rights

Copyright and moral rights for the publications made accessible in the public portal are retained by the authors and/or other copyright owners and it is a condition of accessing publications that users recognise and abide by the legal requirements associated with these rights.

- Users may download and print one copy of any publication from the public portal for the purpose of private study or research.
- You may not further distribute the material or use it for any profit-making activity or commercial gain
- You may freely distribute the URL identifying the publication in the public portal -

Take down policy

If you believe that this document breaches copyright please contact us at vbn@aub.aau.dk providing details, and we will remove access to the work immediately and investigate your claim.

Trykstød i pumpeledninger

Torben Larsen Professor, civilingeniør Institut for Byggeri og Anlæg, Aalborg Universitet

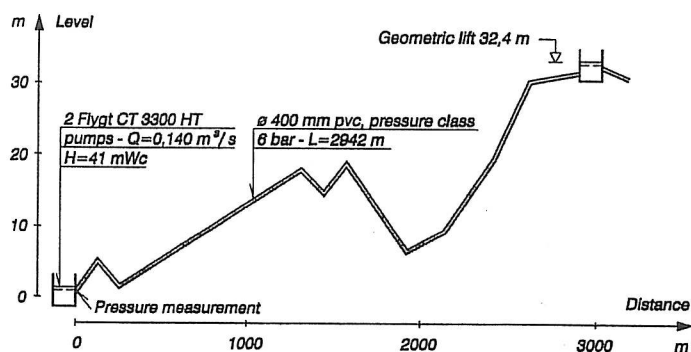
Indledning

Trykstød i rørledninger optræder, når vi starter og stopper pumper eller åbner og lukker ventiler. Trykstød giver både overtryk og undertryk. Overtrykket er normalt den kraftigste belastning et rør bliver udsat for og er den hyppigste årsag til brud i rør. Undertryk kan få røret til at klappe sammen eller suge forurenset vand ind i ledningssystemet.

I det følgende vil vi af praktiske grunde bruge enheden *meter vandsøjle* (mVs) som enheden for tryk. 1 mVs svarer til 9,81 KPa.

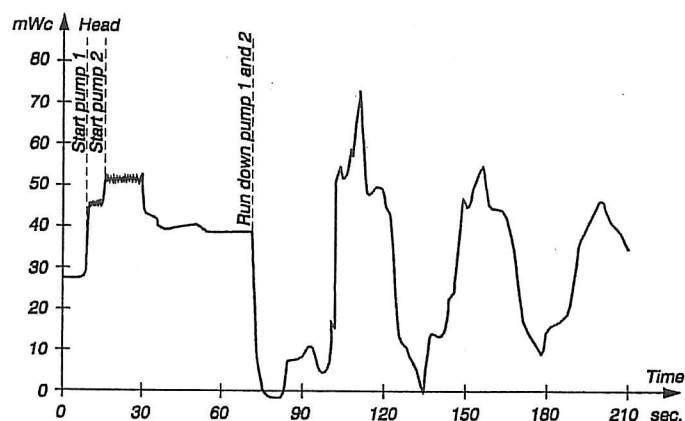
Trykstødsmåling i en pumpeledning

Figur 1 viser længdeprofil af en kloakpumpeledning, hvor der var konstateret problemer med trykstød.



Figur 1.
Længdeprofil af ø 400 mm kloakpumpeledning med længde 2942 m.

På figur 2 ses resultatet af trykmålinger i ledningen umiddelbart efter pumpen.



Figur 2.
Trykmåling i ledning ved pumpestart og pumpestop (måling umiddelbart efter pumpen).

På figur 2 ser vi, hvordan først pumpe nr. 1 starter og kort efter starter pumpe nr. 2. Det fremgår, at i den første tid er løftehøjden over pumpen større, end hvad svarer til driftspunktet, som først opnås efter ca. 1 minut, når vandet i hele ledninger har opnået en konstant hastighed.

Dernæst standses begge pumper, og straks falder trykket til lidt under nul, dvs. at der i kort tid strømmer en svag vandstrøm gennem de standsede pumper og kontraventiler. Dernæst stiger trykket, og kontraventilerne vil lukke. Trykket stiger yderligere til en maksimal værdi, betydeligt over hvad der svarer til driftspunktet. Herefter ser man hvorledes trykbølgen kører frem og tilbage i ledningen under moderat dæmpning.

På figuren ser man tydeligt den store forskel på start og stop af pumper. Opstarten er stort set uproblematisk, fordi kørende centrifugalpumper har en kraftig dæmpende virkning på trykstødet. Hvorimod ændringerne ved pumpestop er alvorlige. Her forekommer både de største overtryk og undertryk. I det aktuelle tilfælde overskrider trykfluktuationer de krav, der stilles af hensyn til udmattelsesbrud i røret (PVC). Den markante kortvarige spids, som man ser på toppen af kurven, skyldes, at der har været kavitation ude i ledningen. Denne kavitation (hulrum) er derefter klappet sammen og fremkaldt et lokalt ekstra trykstød.

Med få ord kan man sige, at der ved pumpestoppet er sket følgende: Hastighedsændringen skaber en negativ trykbølge (undertryk). Denne trykbølge bliver reflekteret og kommer tilbage som overtryk. Undervejs har der været kavitation, som har skabt et ekstra lokalt trykstød.

Hastighedsændring giver trykændring

I 1898 publicerede den russiske ingeniør N. Joukowsky, som arbejdede i St. Petersborgs vandforsyning, sin berømte formel for beregning af den ændring i trykniveau Δh (målt i meter vandsøjle), der opstår, hvis vi skaber en hastighedsændring Δv i en rørledning for eksempel ved lukning af en ventil. Formlen, som bygger på Newtons 2. lov, lyder:

$$\Delta h = \pm \frac{c}{g} \Delta v$$

hvor c er trykbølgens forplantningshastighed, og g er tyngdens acceleration $9,81 \text{ m/s}^2$. Fortegn plus gælder på den opstrøms side af ventilen og minus på den anden.

Forplantningshastigheden c afhænger af vandets og rørets elasticitet. I plastrør har c en størrelse på ca. 250 – 400 m/s og i stålrør ligger den på omkring 1000 – 1300 m/s. Da vi ofte arbejder med strømningshastigheder på 1 til 2 m/s i rørledninger, kan man af formlen se, at de potentielle trykstød i plastrør er i størrelsesorden 50 – 80 mVs og i stålrør 100 – 200 mVs.

Refleksion

Det er umiddelbart forståeligt, at en trykbølge vil blive reflekteret, når den rammer en aflukket ende af et rør. Imidlertid er det en vigtig pointe, at en trykbølge også reflekteres, når den når en åben ende. På figur 2 kan vi for eksempel se, hvordan et pumpestop sender en undertryksbølge af sted, og at denne bølge reflekteres ved oppumpningsbrønden og kommer tilbage til pumpen som en overtryksbølge. Derved kan under-

tryksbølger være lige så farlige som overtryksbølger. Der er eksempler på rørbrud i vandforsyningsledninger på grund af overtryk, der oprindeligt er startet som undertryk, forårsaget af hurtig åbning af brandhaner.

Kavitation

Damptrykket af vand ved almindelige temperaturer er ganske lille (0,13 mVs ved 10° C) i forhold til atmosfæretrykket, som er ca. 10,2 mVs. Det betyder, at hvis trykket (dvs. det relative tryk) i en rørledning falder til ca. - 10 mVs, så vil vandet koge og skifte fra flydende fase til dampfase, uden at trykket i øvrigt bliver lavere. Dette kan forholdsvis let ske i rørledninger når pumper stopper. Problemet er, at de opståede kaviteter (hulrum) klapper momentant sammen, hvis trykket stiger, hvorved der opstår et kraftigt lokalt trykstød.

Virkningen af kavitation er vanskelig at forudsige, og i almindelighed tilstræber man at undgå kavitation, hvilket i mange tilfælde kræver foranstaltninger for at dæmpe trykstød ved pumpestop.

Afhjælpning af trykstød

Joukowskys formel viser, at trykstød skal dæmpes ved at begrænse hastighedsændringerne. Der findes en række muligheder:

- Omdrejningsregulering af pumpen (VLT)
- Vindkeddel (hydrofor)
- Svinghjul
- Styrbare ventil
- Tryktårn
- Tidsforskuet stop af pumper

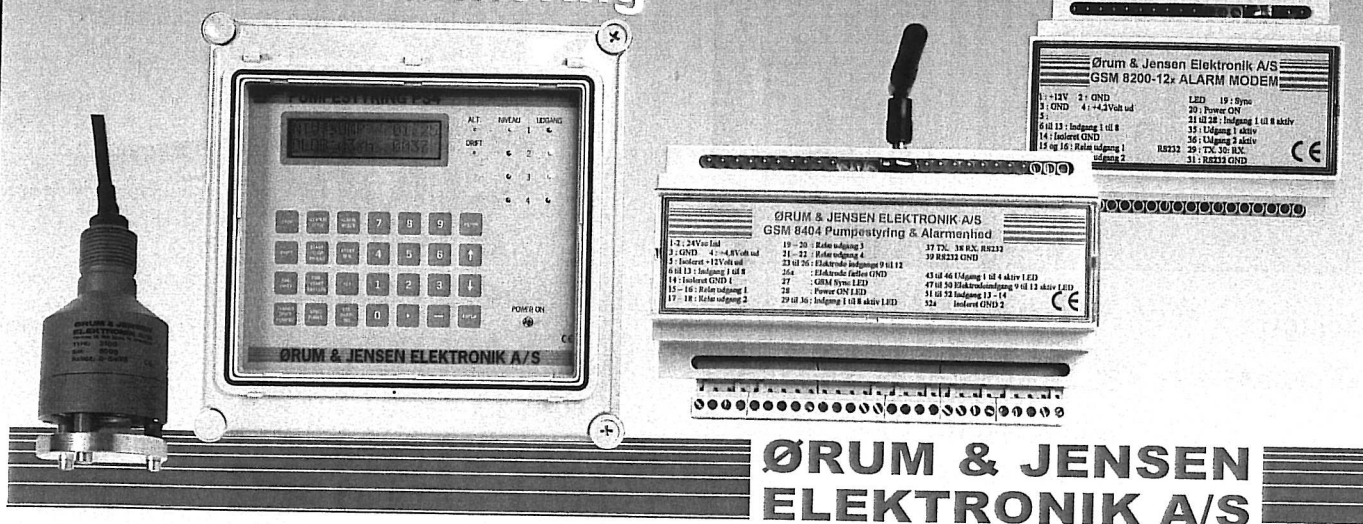
Kontraventiler

Kontraventiler udgør et særligt problem i forbindelse med pumpestop. Når pumpen er stoppet, forsøger tyngdekraften at presse vandet i ledningen tilbage gennem pumpen, og en returstrømning starter op. Denne returstrømning afbrydes ved, at kontraventilen lukker med nogle få brøkdele af et sekunds forsinkelse.

Såfremt kontraventilen lukker for langsomt i forhold til, hvor hurtigt returstrømningen starter op, kan der opstå et kraftigt mekanisk slag i ventilen og et trykstød i væsken, som gradvist kan ødelægge ventilen. Det er vigtigt, at kontraventilen lukker så hurtigt som muligt, når pumpen er standset. Såfremt man benytter en vindkedel til reduktion af trykstød, skal man være særligt agtpågivende, fordi vindkedlen oprettholder trykket i ledningen, når pumpen er stoppet. Derfor starter returstrømningen meget hurtigt op, og stødet i venti-

Vi fremstiller og leverer udstyr til

Niveaumåling
Pumpestyring
Datalogning
Alarmering



Damgårdsvej 8 7600 Struer Postbox 36 www.orumjensen.dk Tlf. 97840055

len bliver kraftigere, end det ville have været uden kontraventil.

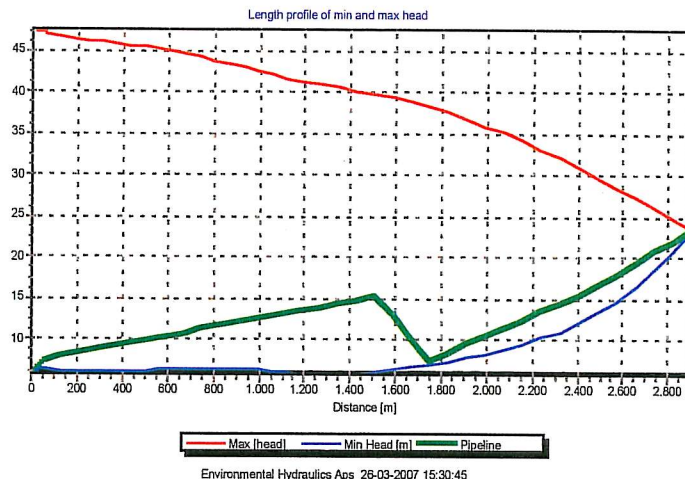
Nogle typer kontraventiler er forsynet med fjedre eller kontravægt, hvor lukkehastigheden kan justeres. For store ledningsdimensioner benyttes næsten altid kontraventiler, der har en hydraulisk dæmpning af lukkefunktionen, så skader undgås.

Edb-beregninger

Joukowskys formel kan kun benyttes til helt simple overslagsberegninger af trykstød. Såfremt man ønsker at se virkningen af omdrejningsregulering af pumpen, vindkeddel osv. må man benytte edb-beregninger. I en edb-beregning bestemmer man hele tidsforløbet af tryk og flow i alle punkter i ledningen således, at man til sidst kan vise en graf, der angiver hvad det henholdsvis maksimale trykniveau og minimale trykniveau i hele ledningen har været på et eller andet tidspunkt i perioden efter pumpestop. Herefter kan man vurdere om trykforholdene er acceptable eller ej for ledningen. Et eksempel herpå ses på figur 3 (Larsen, 2004).

Afslutning

Trykstød i rørledninger er et kompliceret fysisk fænomen, som kun oversigtsmæssigt har kunnet beskrives i denne artikel. Erfaringen viser, at problemerne med trykstød vokser kraftigt



Figur 3 Resultat af edb-beregning der viser det maksimale(rød) og minimale(blå) trykniveau i en pumpeledning efter pumpestop (Larsen, 2004). Pumpen er placeret ved st. 0,0 m til venstre på figuren og længdeprofilen er vist med grøn punktering. Der er kavitation omkring st. 1300 m.

med størrelsen af anlægget, især med ledningsdiameteren. Sammenligning mellem målinger og edb-beregninger viser god overensstemmelse, så det gode råd må være, at man altid for større systemer bør foretage en edb-beregning som led i dimensioneringen af pumpesystemet. Mere detaljerede beskrivelser af trykstød ses blandt andet i Wylie et al, 1994 og i Larsen, 2006.

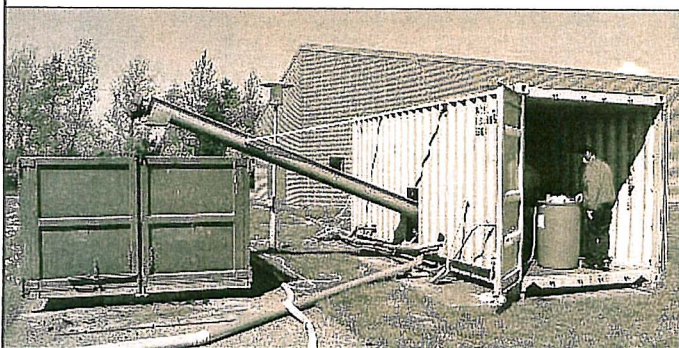
Referencer

- Wylie, E.B., Streeter, V.L. and Suo, L. (1993). Fluid Transient in Systems. Prentice Hall, NJ.
- Larsen, T. (2006). Water Hammer in Sewer Pressure Mains. Spildevandskomiteen, EVA udvalget, (kan hentes frit fra www.evanet.dk se under skrifter).
- Larsen, T. (2004). Userguide for WHPS computer program. Environmental Hydraulics Aps.

Torben Larsen Professor, civilingeniør Institut for Byggeri og Anlæg, Aalborg Universitet.

Telefon 96 35 84 81, e-mail: (torben.larsen@civil.aau.dk)

Udlejning/salg af komplette forafvandings- og slamafvandingsanlæg med bl.a. HUBER slamtykner, HYSEP/ALFA LAVAL dekantere, SALTEC sibåndspresse m.m.



Kontakt:

Jensen & Nowak Aps

Peder Rimmensgade 97

9850 Hirtshals

Tlf. 70 200 318

www.jnseparation.dk

HUSK!

stof til nr. 3 - 2007 skal være os i hænde senest 18. juni 2007

