

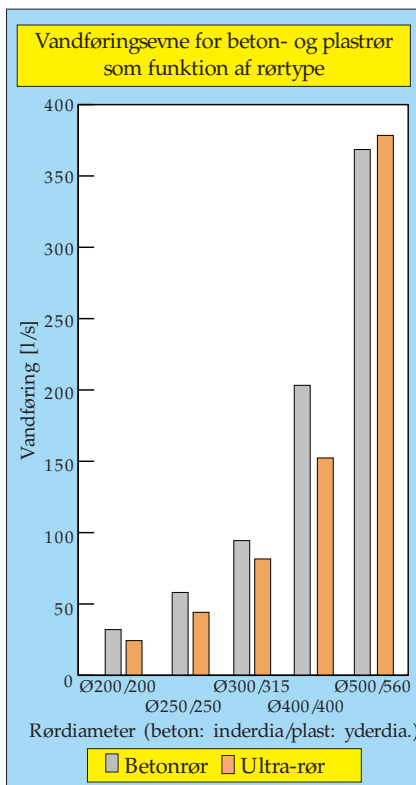


BETONRØR HAR DEN STØRSTE VANDFØRINGSKAPACITET

Betonrør har den største vandføringskapacitet

Et afløbssystemets opgave er at lede vand samt urenheder til rensningsanlæg eller recipient. Evnen til at gøre dette afhænger af systemets hydrauliske egenskaber nærmere betegnet vandførings- og selvrensningsevnen. Flere undersøgelser har vist, at kvaliteten af lægningsarbejdet og udformningen af afløbssystemet er alt afgørende for disse egenskaber. I det følgende vil der blive fokuseret på selve rørenes vandføringsevne.

Flere undersøgelser har vist, at der ikke er belæg for at regne med forskellige driftsruheder for de forskellige rørtyper. Man burde derfor regne med samme driftsruhed for betonrør som for plastrør. Da betonrør imidlertid i de fleste dimensioner har den største indvendige diameter betyder det, at betonrør i praksis har den største vandføringsevne.



Vandføringsevnen er for de fleste dimensioner størst i betonrør, når der regnes med ens driftsruheder, her 1,5 mm. Beregnet ved hjælp af Manningformlen, fald 10 %.

Forskellige typer undersøgelser

Der er flere muligheder for at vurdere et afløbssystemets hydrauliske

egenskaber, såvel teoretiske som praktiske. Der er lavet adskillige undersøgelser af afløbsledningers hydrauliske egenskaber. Det er her vigtigt at skelne i mellem:

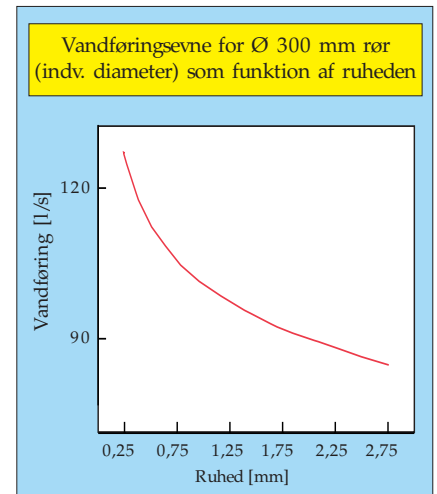
- ◆ laboratorieundersøgelser og
- ◆ feltundersøgelser.

Laboratorieundersøgelserne foretages oftest med rent vand og nye rør, mens feltundersøgelserne foretages på ibrugtagne afløbsledninger, der er i brug. Laboratorieundersøgelserne giver meget præcise resultater med hensyn til vandføring, ruhed osv., men til gengæld modsvarer de ikke de virkelige forhold. Feltundersøgelserne foretages på ibrugtagne afløbsledninger. De bygger således på de virkelige forhold, til gengæld er der større problemer med at få tilstrækkelig præcise målinger.

Rørmaterialets overflade er ubetydelig for hydraulikken

Rørmaterialets overflade har i praksis mindre betydning for vandføringsevnen, men teoretisk set har den dog stor indflydelse. Generelt betyder en fordobling af ruheden, at vandføringsevnen forringes med ca. 10 %.

Det er et faktum, at rørvæggen er mere ru i betonrør end i plastrør. Det er ofte vist ved diverse laboratorieundersøgelser. Men denne vægruhed er ikke så væsentlig, da det har vist sig, at deformationer, lunger, aflejringer mv. har en væsentlig større indflydelse på vandføringsevnen. Disse forhold kan beskrives ved hjælp af en såkaldt "driftsruhed", der er et udtryk for hele systemets "ruhed", dvs. indflydelsen af deformationer, lunger, kloakhud mv. (Driftsruheden er



Vandføringsevnen reduceres væsentlig når ruheden forøges. Her beregnet for Ø 300 rør, ved hjælp af Manningformlen, fald 10 %.

strengt taget ikke en ruhed men en beregningsmæssig størrelse). Denne driftsruhed findes ved feltundersøgelser, hvor man altså vurderer de virkelige forhold. I denne forbindelse er vægruheden ubetydelig. Sagt med den tyske forsker Manfred Sauerbrey's ord¹:

"En smålig diskussion om ruheden af forskellige rørmaterialer er ørkesløs. I rørledninger vil der i praksis altid indstille sig en ruhed, som især er afhængig af driftsbetingelserne og som tidsmæssigt forandrer sig og vil ligge over begyndelsesværdien af ruheden.

Rørmaterialers naturlige ruhed kan på ingen måde gælde for et bestemt rørs (rørmateriales) godhed. Andre faktorer - hydrauliske, spildevandstekniske og lægningstekniske - er dominerende."

Dette fremgår også af de foretagne feltundersøgelser, der giver driftsru-

heder, der er vidt forskellige alt afhængig af ledningens drifts- og anlægsmæssige stand. Det er i den forbindelse interessant, at der gennemgående er målt væsentlig større værdier, end der benyttes ved dimensioneringen², uafhængigt af rørmaterialet.

Feltundersøgelser viser samme ruhed for PVC og beton

På adskillige universiteter i USA og Canada er der udført laboratorie- og feltundersøgelser af såvel plast-, beton-, ler- og metalrør (stål og aluminium). Laboratorieundersøgelserne er gennemført med rent vand og nye rør, og giver stort set de samme resultater for ruheden³:

◆ $k = 0,27$ mm for beton

◆ $k = 0,15$ mm for PVC

Forskellen skyldes, at betonoverfladen er mere ru end plastoverfladen.

I 1986 blev der på University of Alberta i Canada gennemført feltundersøgelser af 16 PVC- og 6 betonrørsledninger³, alle spildevandsledninger. Der blev målt på 3 forskellige rørdiameter, 8", 10" og 12". Som det fremgår, er der målt væsentligt større driftsruheder end i laboratorieundersøgelserne. Dette indikerer, som tidligere nævnt, at det er læg-

Forskellige formler for beregning af vandføringen

Der er i tidens løb opstillet et stort udvalg af formler til beregning af vandføringsevnen i cirkulære rør. Der er dog hovedsageligt to formler, der har fundet anvendelse, nemlig Colebrook-White's formel og Manningformlen. I Danmark har A. E. Bretting opstillet tre formler med hvert deres gyldighedsområde. Den ene af disse formler er identisk med Manningformlen.

Det er den almindelige opfattelse, at Colebrook-White's formel er den mest præcise, men den er mere besværlig at benytte, hvorfor mange benytter Manningformlen eller en af Brettings formler, bla. fordi man mener, at de få procents forskel, der er på formlerne, ikke be-

rettiger det mere besværlige regnearbejde, specielt ikke når man tager de mange andre usikkerheder i afløbsprojekteringen i betragtning.

I DS 432 anviser man udelukkende Colebrook-White's formel, mens man i edb-programmet Mouse benytter Manningformlen.

I forbindelse med fastlæggelse af ruheder i afløbledninger måler man vandføringsevnen og omregner denne til en ruhed. Det giver forskellige ruheder, alt efter hvilken formel man benytter.

Man kan derfor ikke direkte sammenligne ruheder, der er udregnet ved hjælp af henholdsvis Colebrook-White's formel og Manningformlen. Forskellen er dog normalt kun få procent.

ningsforholdene, der er afgørende, og ikke vægruheden. Det er desuden mindst lige så interessant, at målin-

Rørdiameter	Ruheden k [mm]	
	PVC	Beton
8" (203 mm)	9	9
10" (254 mm)	13	5
12" (305 mm)	7	9

Middelværdier af målingerne. Beregnet ved hjælp af Colebrook-White's formel.

gerne viser, at der ikke er nogen éntydig forskel på driftsruheden på PVC- og betonrør. Resultatet af undersøgelsen er derfor, at man anbefaler, at der benyttes samme driftsruhed for PVC-rør som for betonrør.

Som nævnt er der nogen usikkerhed i disse feltundersøgelser, men man må forvente, at det vil give samme udslag for såvel målinger i PVC- som i betonrør.

Retlinede stærke betonrør er lettere at lægge lige

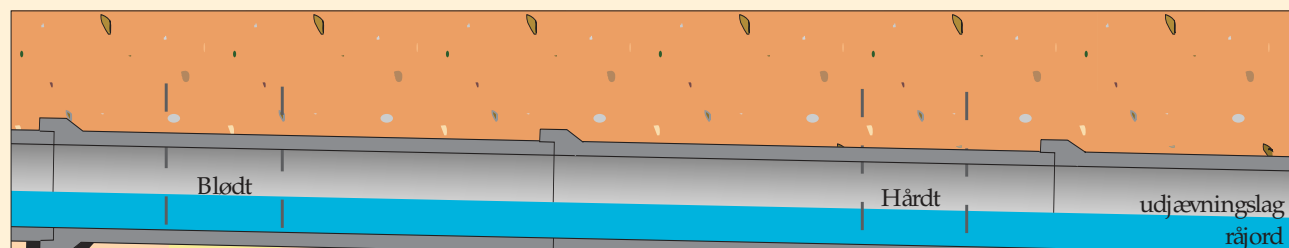
Et stift, stærkt rør „mærker“ ikke mindre forskelle i udjævningslagets planhed og variationer i underlagets stivhed. Det gør det lettere for rørlæggeren at lægge en afløbsledning med god hydraulik,

dvs. uden lunger og med ensartet fald.

Et forholdsvis tungt rør som betonrøret løftes eller sideforskydes sjældent pga. komprimeringen. Det ligger stabilt i rørgraven, hvilket er et

godt værn mod lunger skabt under komprimeringen.

Deformationer medfører en mindre vandføringsevne⁴. Det er dog ikke noget problem for betonrør, da disse er formfaste.



Et stift, stærkt rør påvirkes ikke af mindre forskelle i udjævningslagets planhed og variationer i underlagets stivhed. På figuren illustrerer det gule og brune felt områder, hvor stivheden

er lille/stor under rørene pga. variationer i udlægningen af udjævningslaget. På trods af dette ligger betonledningen uden lunger.

Ligeledes kan en rørlægning af stive

rør anlægges uden lunger på trods af variationer i stivheden af underlaget foranlediget af enten mindre ujævnheder i rørgravens bund eller mindre sætninger.

Samlinger har mindre indflydelse på hydraulikken

Laboratorieundersøgelser har vist, at i en korrekt samlet ledning har antallet af samlinger kun ubetydelig indflydelse på driftsruheden².

Dårlige samlinger har dog en mindre indflydelse på driftsruheden². Med dårlige samlinger menes forskudte samlinger, samlinger med store bagspalter eller indhængende pakninger. Med tiden vil eventuelle store bagspalter dog ofte blive fyldt med diverse aflejringer, og indflydelsen af fejlen vil blive reduceret. Med de moderne betonrørssamlinger er forskudte samlinger samt indhængende pakninger fortid⁵. Ved en korrekt udførelse undgås for store bagspalter.

Ingen indragende dele

Da betonrør har en stor godstykkelse, kan man uden problemer påbore stikledninger uden indragende dele. Dette er meget vigtigt, da indragende dele vil forringe ledningens hydrauliske egenskaber. Dette er da også et krav, for at påboringen kan VA-godkendes.

Kloakhud medfører ens røroverflade

Når afløbsledninger af såvel beton som plast har været i drift i et stykke tid, vil der blive opbygget et tyndt overtræk på rørvæggen, en såkaldt biofilm også kaldet kloakhud. Denne biofilm er mest fremtræden-

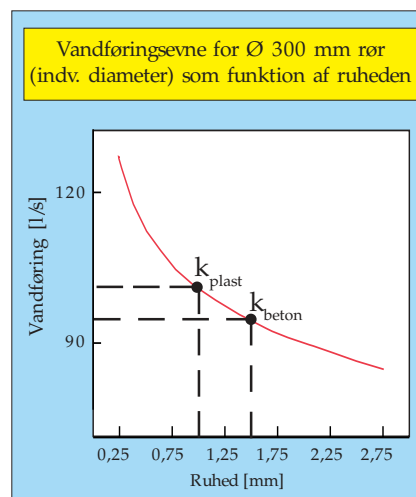
de i spildevandsledninger, men opstår også i regnvandsledninger og alle andre steder, hvor der er vand tilstede. Biofilmen vil hovedsagligt optræde på det normalt beskyllende areal. I de mikroorganismer, som biofilmen består af, foregår der diverse processer, og det er bl.a. her, der udvikles svovlbrinte under anerobe forhold (ingen ilt). Biofilmens tykkelse er normalt 1 - 3 mm afhængigt af vandets hastighed^{6, 7}. Det bevirker, at vandet kun er i berøring med biofilmen og ikke selve røroverfladen.

Det har været hævdet, at dette lag medfører, at vægruheden bliver mindre. Undersøgelser viser imidlertid, at ruheden stiger, efterhånden som biofilmen vokser⁷.

Dansk praksis

I Danmark er der ikke nogen klar anvisning for, hvilke ruheder man bør benytte ved dimensionering af afløbsledninger. I "Norm for afløbsinstallationer", DS 432, anvises en ruhed på $k_{\text{beton}} = 1 \text{ mm}$ og $k_{\text{plast}} = 0,25 \text{ mm}$, men denne norm er kun gældende inden for skel, og endvidere har det ikke været muligt, at klarlægge ud fra hvilket materiale man for ca. 25 år siden har fastlagt disse ruheder.

Ved dimensionering af ledninger uden for skel benyttes hovedsagligt edb-programmet Mouse. Det benyttes over hele landet af såvel kommuner som rådgivende ingeniørfirmaer og anviser ruhederne $k_{\text{beton}} = 1,5 \text{ mm}$ og $k_{\text{plast}} = 1 \text{ mm}$ som standardværdier⁸. De kan ændres i spe-



Som det ses har driftsruheden stor indflydelse på vandføringsevnen. På figuren er markeret ruheder fra Mouse. Beregnet ved hjælp af Manningformlen, fald 10 %.

cielle tilfælde.

Som det ses af ovenstående figur, giver det vidt forskellige vandføringsevner alt efter hvilken ruhed, der benyttes. Det er derfor vigtigt, at der benyttes en realistisk værdi for driftsruheden, og som de foregående afsnit indikerer, er denne værdi ens for beton og plast.

Udenlandsk praksis

I udlandet er der heller ikke nogen klar tendens i de ruheder, der benyttes. I Sverige anbefales det at benytte samme ruhed ($k = 1 \text{ mm}$) uafhængigt af rørmateriale⁹. I Tyskland benyttes forskellige ruheder (0,25 - 1 mm) alt efter de aktuelle drifts- og anlægsmæssigheder¹⁰.

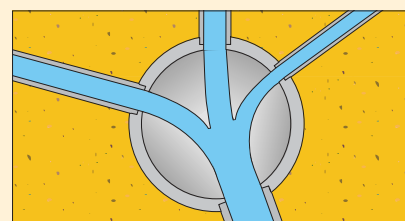
Brønde har stor indflydelse på vandføringsevnen

Energitabet i brønde vil normalt være af samme størrelsesorden som i ledningerne⁸. Det er derfor vigtigt at sørge for en hydraulisk korrekt udformning, så indflydelsen af disse elementer mindskes. Det vil sige, at bundløbene skal være strømlinede, og at banketterne skal være høje.

Bundløbene i betonbrønde er strømlinede og har høje banketter.

Endvidere har bundløbene en jævn overflade, og ved at benytte specialbrøndbunde, der er skræddersyede til opgaven, undgår man bøjninger og overgange.

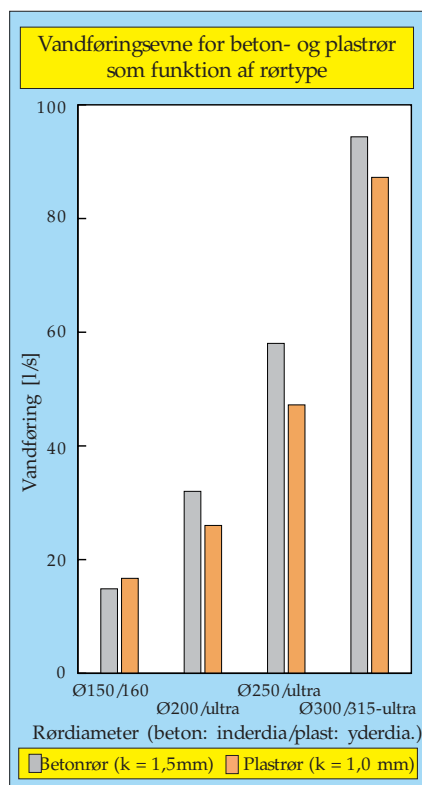
Dette betyder, at brøndene har en optimal hydraulik i form af stor vandføringsevne og god selvrensningsevne, og den forholdsvis store enkeltmodstand, brønde udgør, er således minimeret.



Med specialbrønde i beton undgår man bøjninger og overgange, hvorved man minimerer den store modstand, som brønden ellers udgør.

Betonrør betyder ikke større dimensioner

Det har ofte været hævdet, og hævdes stadig af nogle plastrørsproducenter, at man ved at benytte plastrør ofte kan gå én dimension ned - dette er **ikke** korrekt. Selv om der anvendes forskellige ruheder som i Mouse, har betonrørene for mange dimensioner endda større vandføringsevne end plastrørene pga. betonrørenes større indvendige diameter.



Betonrør har for de fleste dimensioner større vandføringsevne end plastrør. Beregnet ved hjælp af Manningformlen og standardværdier i Mouse, fald 10 %.

Alternative rør markedsføres med små ruheder

Ved et nærmere studium af markedsføringsmateriale for alternative rørtyper har det vist sig, at nogle rørtyper markedsføres med meget små ruheder. Til nogle rørtyper anvises værdier så lave som 0,01 og 0,05 mm. Disse værdier er højst sandsyn-

Et Ø 250 rør er ikke nødvendigvis et Ø 250 rør

Det kan lyde besynderligt, og det er det også. For betonrør er benævnelsen Ø 150, Ø 250 osv. udtryk for rørets indvendige diameter, dvs. den størrelse, der har betydning for rørets vandføringsevne.

I modsætning hertil angives for PVC-rør den udvendige diameter,

som altså ingen betydning har for vandføringsevnen.

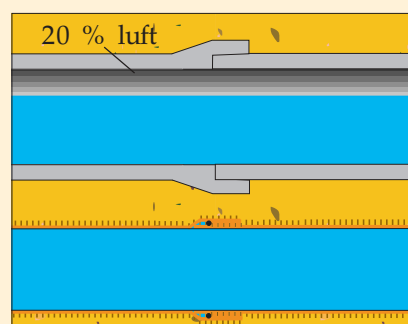
Dette skal altid tages i betragtning ved beregning af afløbsledninger, da man ellers vil begå betragtelige fejl med risiko for at undimensionere afløbssystemet.

Betonrør	PVC-rør klasse N		Ultra PVC-rør		Uporol PEH-rør	Uporen PEH-rør	
Handels betegn.	Handels betegn.		Handels betegn.		Handels betegn.	Handelsbetegn.	
Indv. dia.	Udv. dia.	Indv. dia.	Udv. dia.	Indv. dia.	Indv. dia.	Udv. dia.	Indv. dia.
150	160	153				175	150
200	200	191	200	180		233	200
250	250	238	250	226		250	225
300	315	300	315	284		315	280
400	400	380	400	359		400	355
500	500	476	560	505			
600					600		
800					800		
1000					1000		
1200					1200		
1600					1600		

Betonrør betegnes ved deres indvendige diameter, mens nogle plastrør, men ikke alle, betegnes ved deres udvendige diameter, som intet har at gøre med vandføringsevnen. Mål i mm.

Større diameter giver større "bassinvolumen"

Men hensyn til overløbsproblematikken skal overløb fra spildevandsnettet selvfølgelig begrænses mest muligt, hvilket kan gøres på mange måder. Overløb kan bla. begrænses ved, at ledningsnettet har et stort volumen. Her skal man være opmærksom på, at få millimeters forskel i diameteren har stor betydning for rørets volumen. Eksempelvis har et Ø 400 betonrør ca. 25 % større volumen end et Ø 400 Ultra-rør.



Vandvolumen i et fyldt f.eks. Ø 400 Ultra-rør, svarer kun til ca. 80 % fyldning af et betonrør.

ligt dokumenteret ved laboratorieforsøg, men som nævnt er de praktiske forhold helt anderledes med deraf følgende større driftsruhed.

Som tidligere nævnt er den normale laboratorieværdi for betonrør ca.

0,3 mm. Denne bør, ligesom de ovenstående værdier, ikke anvendes til dimensionering, da man er nødt til at benytte en højere værdi for at tage højde for den drifts- og anlægsmæssige tilstand.

Konklusioner

Af dette temablad kan følgende hovedkonklusioner uddrages:

◆ De gennemgåede feltundersøgelser viser, at der **ikke** bør regnes med forskellige driftsruheder afhængigt af rørmateriale. Størrelsen af driftsruheden afhænger i langt højere grad af ledningens drifts- og anlægsmæssige tilstand, og her har stive, retlinede og stærke rør en række fordele, som mindsker risikoen for lunger^{11, 12}. Man burde derfor ændre praksis med at benytte for-

skellige driftsruheder afhængigt af rørmateriale.

Hvor stor en ruhed, man bør anvende, skal ikke afgøres her, idet det kræver et større forskningsarbejde. Afløbsfraktionen, Dansk Beton Industriforening har derfor rettet henvendelse til Spildevandskomiteen, for at få igangsat dette arbejde.

◆ Der bør ikke anvises ruheder, der er fundet under laboratorieforhold, der ikke tilsvarende virkeligheden.

◆ Afløbssystemer uden for skel dimensioneres for det meste ved hjælp af edb-programmet Mouse. I programmet er der indlagt standardværdier for driftsruheden for forskellige rørmaterialer.

Beregninger med disse ruheder viser, at betonrørene for mange dimensioner har større vandføringsevne end de tilsvarende plastrør.

Man kan altså **ikke** gå én dimension ned ved at benytte plastrør - tværtimod.

Se også temablad 8
"Betonrør sikrer god komprimering og hydraulik. Fordele ved lægning af betonrør."

Referencer

1. "Abfluss in Entwässerungsleitungen unter besonderer Berücksichtigung der Fliessvorgänge in teilgefüllten Rohren". Manfred Sauerbrey. 1969.
2. "Afløbsledningers vandføringsevne og selvrensningsevne". Dansk Teknologisk Institut. Inge Faldager et al. 1982.
3. "Field Measurements of Resistance Coefficients in Sanitary Sewers". Joachim Besmehn, University of Alberta, Canada. 1986.
4. "Hydrauliske forhold ved ovale afløbsledninger". Civ. ing. J.B. Ingwersen. 1979.
5. "Betonrørssamlingen - en sikker løsning". Temablad 5, Afløbsfraktionen, Dansk Beton Industriforening. 1997.
6. "Transformation of wastewater in sewer systems - a review". Per Halkjær Nielsen, Kamma Raunkjær, Niels Henrik Norsker, Niels Aagaard Jensen og Thorkild Hvitved-Jacobsen. Laboratoriet for miljøteknik, Aalborg Universitet. 1992.
7. "Structure and Function of Biofilms". W.G. Characklis, P.A. Wilderer. Dahlem Workshop Reports. 1989.
8. "Mouse" Reference Manual. Edition 3.2. Dansk Hydraulisk institut. Maj 1994.
9. "Ledningsbyggnad - System av betong". Betongrörföreningen. Sverige. 1994.
10. "Projekt vedrørende ældre afløbsledninger vandføringsevne og selvrensningsevne". Teknologisk Institut. 1980.
11. "Diagnos av avloppsledningars kondition". Rapport 3194. Viveka Lidström, Institutionen för Teknisk Vattenresurslära, Lunds Tekniska Högskola, Lunds Universitet. 1996.
12. "Korrekt lægning af betonrør. Lægningsanvisning." temablad 7 og "Betonrør sikrer god komprimering og hydraulik. Fordele ved lægning af betonrør." temablad 8. Afløbsfraktionen, Dansk Beton Industriforening. 1998.
13. DS 432. "Norm for afløbsinstallationer". 1994.

*Temablade kan rekvireres pr.
e-mail: danent@danent.dk
eller på tlf. 33 747 747*

*Afløbsfraktionen
September 1998*