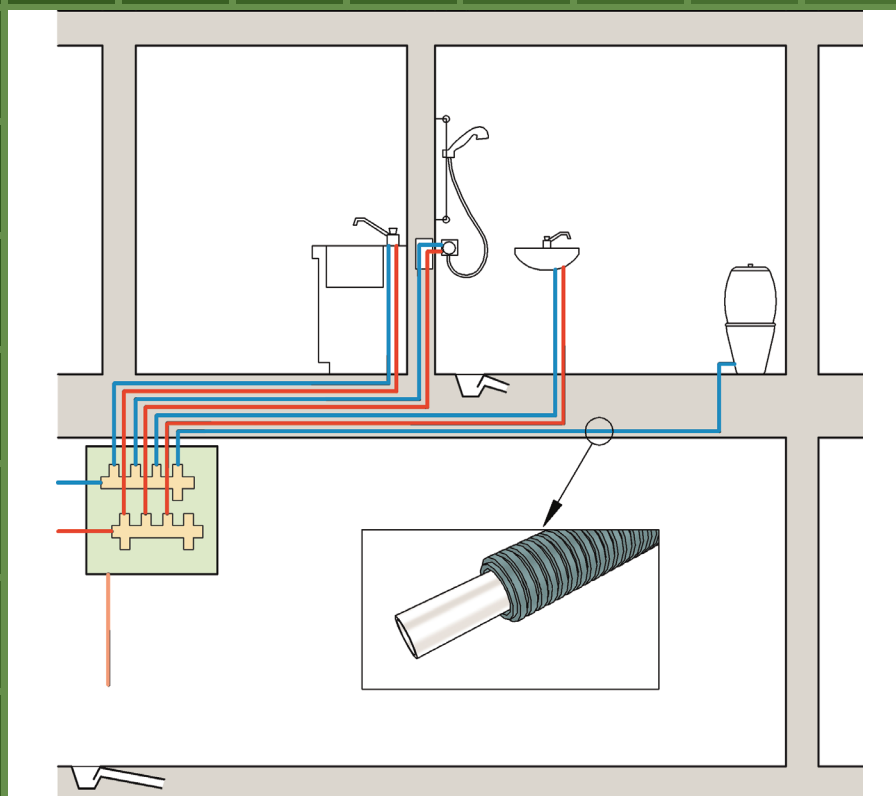


Måling av trykktap for rør-i-rør-system

Prosjektrapport 64

2010



SINTEF Byggforsk

Bjørn-Roar Krog

Måling av trykktap for rør-i-rør-system

Prosjektrapport 64 – 2010

Prosjektrapport nr. 64

Bjørn-Roar Krog

Måling av trykktap for rør-i-rør-system

Emneord:

Laboratorieundersøkelse, sanitæranlegg, rør og plast

ISSN 1504-6958

ISBN 978-82-536-1176-1 (pdf)

ISBN 978-82-536-1177-8 (trykk)

50 eks. trykt av AIT AS e-dit

Innmat: 100 g munken polar

Omslag: 240 g trucard

© Copyright SINTEF akademisk forlag 2010

Materialet i denne publikasjonen er omfattet av åndsverklovens bestemmelser.

Uten særskilt avtale med SINTEF akademisk forlag er enhver eksemplarframstilling og tilgjengeliggjøring bare tillatt i den utstrekning det er hjemlet i lov eller tillatt gjennom avtale med Kopinor, interesseorgan for rettighetshavere til åndsverk.

Utnyttelse i strid med lov eller avtale kan medføre erstatningsansvar og inndragning, og kan straffes med bøter eller fengsel.

Adr.: Forskningsveien 3 B
Postboks 124 Blindern
0314 OSLO

Tlf.: 22 96 55 55

Faks: 22 69 94 38 og 22 96 55 08

www.sintef.no/byggforsk



Forord

Denne rapporten beskriver og presenterer resultater fra et forskningsprosjekt for sanitær- og våtromsgruppen i avdeling Bygninger ved SINTEF Byggforsk.

Målet med prosjektrapporten er å gi retningslinjer i form av tabeller og diagrammer for å dimensjonere rør-i-rør-systemer for boliger. Ved dimensjonering av rør-i-rør-system må man også ta hensyn til utskiftbarhet av innerrør, trykkstøt, støynivå, ventetid på kaldt- og varmtvannet, ekspansjonskrefter, samtidighet og legge til rette for fremtidig endring av forbruksmønster og/eller utstyr.

I arbeidet med rapporten og utførelse av prøvingen har Lars-Erik Fiskum, Alf Furulund, Dag Henning Sæther, Thale S. W. Plessner, Nan Karlsson, Jonny Saltnes og Bjørn Byom fra SINTEF Byggforsk bidratt og vært til god hjelp. Prosjektet er finansiert ved hjelp av interne midler i SINTEF Byggforsk.

Oslo, november 2010

Lars-Erik Fiskum
Forskningsleder
SINTEF Byggforsk

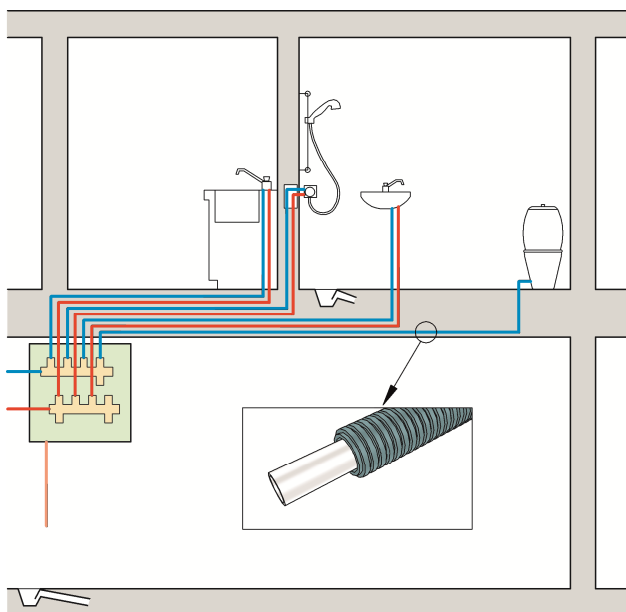
Innhold

Forord	3
1 Introduksjon	7
2 Forsøksmetode	9
2.1 Energiinnhold i en strømmende væske	9
2.2 Trykktapsmåling rør-i-rør-system	10
2.3 Prøveoppstilling.....	12
2.4 Beskrivelse av utstyr	14
2.4.1 Fordelerstokk	14
2.4.2 PEX-rør	14
2.4.3 Veggboks	14
2.4.4 Vinkelventil.....	15
2.4.5 Koplinger	15
2.4.6 Datalogger og måleprogram.....	16
2.4.7 Trykk giver.....	16
2.4.8 Termometer	17
2.4.9 Vannmengdemåler	17
2.5 Generelt.....	18
2.6 Begrensninger og kommentarer	18
2.6.1 Væskens viskositet.....	18
2.6.2 Utforming rørsøyfer	18
2.6.3 Samtidighet	18
2.6.4 Tilgjengelig vanntrykk foran fordelerstokk	18
3 Resultater	19
3.1 Statisk vanntrykk og trykkdifferanse	19
3.2 Trykktapsdiagram	20
4 Vurderinger og diskusjon	22
4.1 Prosjektering av rør-i-rør-systemer	22
4.2 Tilstrekkelig vannmengde ved tappested.....	22
4.2.1 Teoretisk beregning av trykktap i rette PEX-rør.....	25
4.2.2 Beregningsresultater.....	27
4.2.3 Moodys diagram	28
5 Konklusjon	29
5.1 Forslag til videre arbeid	29
5.1.1 Utskiftbarhet.....	29
5.1.2 Ventetid kaldt- og varmtvann	30

5.1.3 Tilsvarende målinger.....	30
5.1.4 Andre faktorer	30
5.2 Anerkjennelse	30
Referanser	31

1 Introduksjon

Forskrift om tekniske krav til byggverk (TEK10) til plan- og bygningsloven [1] stiller krav til utskiftbarhet og lekkasjesikkerhet for ferdig monterte sanitæranlegg. Et korrekt montert rør-i-rør-anlegg sørger for utskiftbarhet og sikrer mot vannskader i og med at vannrørene legges i varerør. Hovedprinsippet for et rør-i-rør-system er at man legger ett vannrør fra en sentralt plassert fordeler fram til hvert tappested eller til lokalt fordelerskap, se figur 1. Videre skal eventuelt lekkasjevann ledes via varerøret til avløp slik at det ikke oppstår skader på andre installasjoner eller bygningsdeler. Når det benyttes fordelerskap, skal varerørene drenere lekkasjevann tilbake til skap og videre til akseptabelt avløp.



Figur 1: Prinsippkisse for rør-i-rør-systemer [2]

TEK10 stiller også krav til at et vannforsyningsanlegg skal sikre nødvendig vannmengde ved tappested og god energiøkonomi. God energiøkonomi betyr at varmetapet fra varmtvannsrørene må begrenses. For å begrense dette må vannvolumet som står i rørene være minst mulig. Dette henger også sammen med ønsket om kortest mulig ventetid på varmtvannet. Med andre ord må rør-i-rør-systemer prosjekteres og dimensjoneres med tanke på utskiftbarhet, nødvendig vannmengde ved tappested og ventetid på kaldt- og varmtvann. I tillegg må man tenke på støynivå, trykkstøt, røreksponasjon, forbruksmønster (samtidighet) og legge til rette for fremtidig endring av forbruksmønster og/eller utstyr.

Flere av disse faktorene vil imidlertid virke mot hverandre, og det kan være vanskelig å avgjøre hvilken som skal være dimensjonerende. Ved å ta hensyn til alle faktorene samtidig vil man komme fram til det optimale rør-i-rør-anlegget.

VVS-bransjen mangler per i dag kunnskap om optimale valg av rørdimensjon og rørlengde for rør-i-rør-system er til tappevann i boliger. I følge rør-i-rør-leverandørene benyttes det nesten uten unntak innerrør med dimensjon 15 x 2,5 mm eller 16 x 2,2 mm fra fordelerskap fram til de ulike tappestedene. Leverandørenes egne salgstall viser at ca. 90 % av alle rør de selger har disse to dimensjonene.

Hensikten med laboratorieforsøkene er å gi svar på om og eventuelt når andre rørdimensjoner enn 15 x 2,5 mm kan benyttes. Målet med prosjektrapporten er å begynne på arbeidet med å gi entydige retningslinjer i form av tabeller og diagrammer for å dimensjonere optimale rør-i-rør-systemer for boliger og samtidig tilfredsstillende kravene i TEK10.

Kapittel 2 tar for seg valgte forsøksmetoder med beskrivelse av utstyr som er benyttet. Kapittel 3 viser til resultater, mens kapittel 4 gir vurderinger basert på resultatene. I kapittel 5 gis konklusjoner og forslag til videre arbeid.

2 Forsøksmetode

2.1 Energiinnhold i en strømmende væske

En væskedel, som befinner seg i en strømmende væske, har i et gitt punkt et bestemt energiinnhold. Energiinnholdet er avhengig av væskedelens høyde z over et gitt utgangsnivå, væsketrykket p og væskedelens strømningshastighet v [3]. Det totale energiinnholdet per volumenhet av væsken kan skrives:

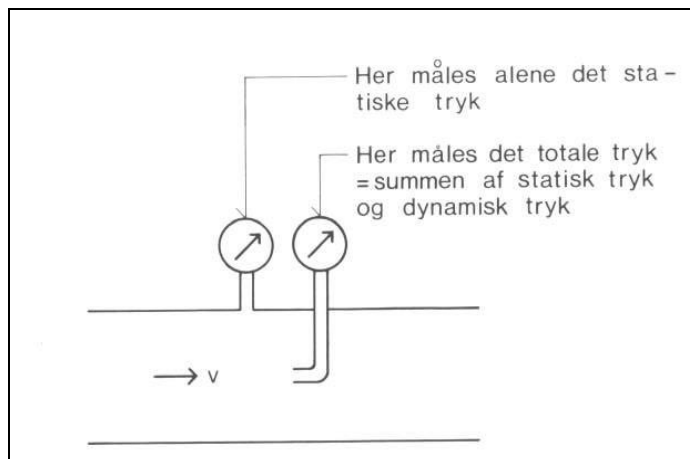
$$p_{\text{tot}} = \rho \cdot g \cdot z + p + \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot v^2 \quad (1)$$

der

p_{tot}	=	det totale trykket
ρ	=	væskens tetthet
g	=	tyngdens akselerasjon
z	=	høyde over et utgangsnivå
p	=	det statiske trykket
v	=	strømningshastigheten

Av likning (1) ser man at energiinnholdet er karakterisert av trykk. Likningens høyre side inneholder tre ledd, som hver karakteriserer en bestemt type mekanisk energi.

Det første leddet på høyre side i likningen kalles potensiell energi. Ledd nummer to kalles det statiske trykket, også selv om væsken er i bevegelse. Det tredje leddet kalles for dynamisk trykk. P_{tot} betegner væskedelens totale energiinnhold eller det totale trykket. Ofte bruker man det totale trykket for summen av statisk og dynamisk trykk. I figur 2 er det vist hvordan det statiske, dynamiske og totale trykket kan måles.



Figur 2: Statisk, dynamisk og totalt trykk i en strømmende væske [3]

I forsøkene som er beskrevet i denne rapporten er det det statiske vanntrykket når det tappes vann i rør-i-rør-systemet som er registrert. På bakgrunn av de målte statiske trykkene kan man beregne trykktap for hele eller komponenter som inngår i rør-i-rør-systemet.

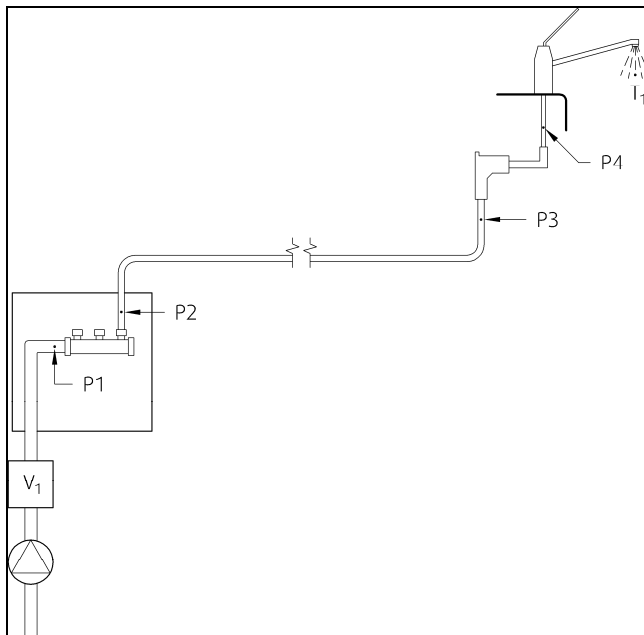
2.2 Trykktapsmåling rør-i-rør-system

For å kunne dimensjonere rør-i-rør-systemer med hensyn til nødvendig vannmengde ved tappestedet må man vite trykktapet for hele systemet. Figur 3 viser en prinsippskisse over prøveoppstilling av forsøk for å måle trykkdifferanse over enkeltkomponentene fordelerstokk, rør og veggboks inkludert vinkelventil, samt trykkdifferanse for hele systemet fra fordelerstokk til tappested. Ønsket vanntrykk foran fordelerstokken i målepunkt P_1 bestemmes ved hjelp av en turtallsregulert pumpe. Vannmengden under forsøkene ble målt med en vannmengdemåler, V_1 , plassert etter pumpen. Vanntemperaturen under forsøkene ble målt ved fritt utløp fra tappearmaturen, T_1 .

Det ble valgt en fordelerstokk med 3 uttak, men kun fordelerens uttak lengst fra inntaket ble benyttet under forsøkene. Dette ble gjort for å oppnå størst mulig trykkdifferanse over fordelerstokken. De to andre uttakene var plugget.

Det ble benyttet PEX-rør med forskjellig utvendige diameter og godstykkelse. Under forsøkene ble det benyttet rør med dimensjonene 12 x 2,0, 15 x 2,5 og 18 x 2,5 mm. Målepunkt P_2 er plassert på PEX-røret med en avstand $20 \times d_i$ (innvendig diameter rør i mm) etter uttaket fra fordeleren [4]. Målepunkt P_3 er plassert på PEX-røret med en avstand $5 \times d_i$ fra veggboksen.

Målepunkt P_4 er plassert etter veggboksen og vinkelventilen. Vinkelventilen er montert sammen med veggboksen. Etter ventilen er det montert en avstegningsventil. Med avstegningsventilen kan man regulere ønsket vannmengde fra 0,10 til 0,30 l/s så fremt vanntrykket er tilstrekkelig.



Figur 3: Prinsippskisse for måling av trykktap rør-i-rør-system

Tabell 1 viser utførte forsøk med kombinasjoner av de ulike parameterne rørdimensjon, statisk vanntrykk foran fordelerstokk ved tapping av vann, vannmengde og rørlengde.

Tabell 1: Utførte forsøk for å bestemme trykktap – rør-i-rør-system

Forsøk nr.	Rørdimensjon PEX [mm]	Vanntrykk foran fordelerstokk, P ₁ [kPa]	Vannmengde [l/s]	Rørlengde [m]		
1	12 x 2,0	500	0,10	10		
2				15		
3				20		
4			12 x 2,0	500	0,20	10
5						15
6						20
7					0,23	10
8						15
9						20
10	15 x 2,5	500	0,10	10		
11				15		
12				20		
13			15 x 2,5	500	0,20	10
14						15
15						20
16					0,30	10
17						15
18						20
19	18 x 2,5	500	0,10	10		
20				15		
21				20		
22			18 x 2,5	500	0,20	10
23						15
24						20
25					0,30	10
26						15
27						20

Det var i utgangspunktet meningen at det skulle utføres målinger med en vannmengde på enten 0,10, 0,20 eller 0,30 l/s for alle kombinasjoner av rørdimensjon og rørlengde. Det viste seg i praksis ikke å være mulig, fordi man ikke alltid hadde tilstrekkelig vanntrykk for å oppnå ønsket vannmengde. Vannmengden for forsøk 4-9 og 18 avviker derfor noe. Det viktigste er uansett å få utført tre ulike trykktapsmålinger for hver kombinasjon av rørdimensjon og rørlengde.

2.3 Prøveoppstilling

Foto 1 viser vannforsyningsystemet med blant annet turtallsregulerte pumper og vannmengdemålere i sanitærlaboratoriet ved SINTEF Byggeforsk. Foto 2 viser selve prøveoppstillingen med trykkuttak, fordelerstokk, PEX-rør og veggboks. Foto 3 viser et nærbilde av fordelerstokk med målepunkt P₁ og P₂. Foto 4 viser et nærbilde av veggboksen med vinkelventil med målepunkt P₃ og P₄.



Foto 1: Vannforsyningsystemet

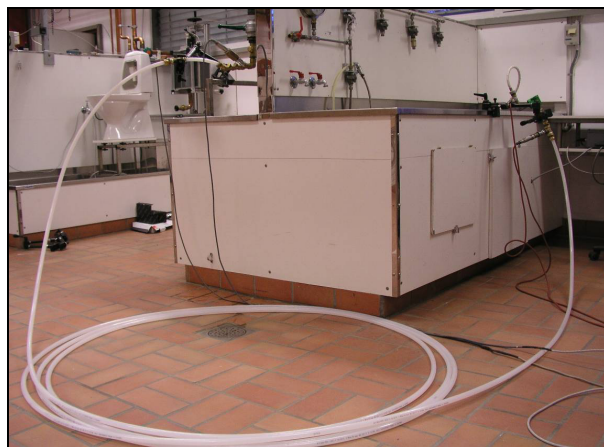


Foto 2: Prøveoppstillingen

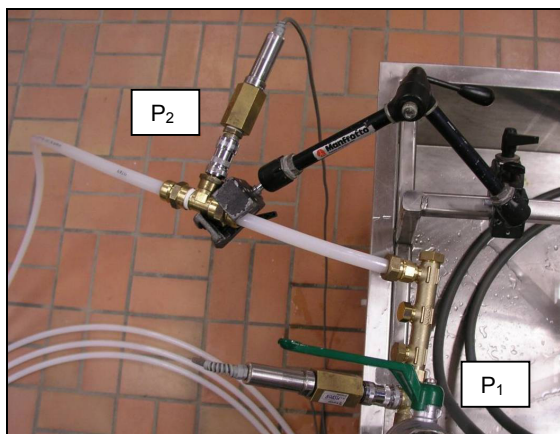


Foto 3: Fordelerstokk med målepunkt P₁ og P₂

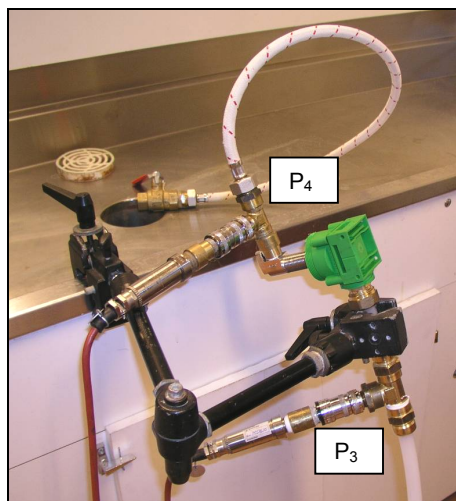


Foto 4: Veggboks med målepunkt P₃ og P₄

Foto 5 viser et nærbilde av målepunktet P_2 . PEX-røret er ført tvers gjennom et T-rør og to innstikkingskoplinger hvor skjærringen er fjernet. PEX-røret er ikke kappet og det er ikke benyttet støttehylser, dvs. at det ikke er innsnevringer i strømningsretningen for røret. I den delen av PEX-røret som blir liggende midt inne i T-røret er det boret et hull på 1,0 mm i diameter. Det er pakningen i innstikkingskoplingen som oppnår vanntett forbindelse mellom PEX-røret og T-røret. Trykk giveren er koplet til T-røret, og det er trykk giveren som registrerer vanntrykket via hullet i PEX-røret. Det samme prinsippet er brukt i målepunkt P_3 . Rent måleteknisk registreres det statiske trykket når det tappes vann i rør-i-rør-systemet. Se for øvrig figur 2.



Foto 5: Målepunkt P_2

2.4 Beskrivelse av utstyr

2.4.1 Fordelerstokk

I forsøkene er det benyttet en fordelerstokk i messing med 3 avstikk fra Uponor AS (NRF nr. 511 0163), se foto 6. Uttak er stengt med endelokk i størrelse 1/2" og 3/4" (NRF nr. 511 0223 og 511 0224). Uttak har dimensjon 1/2", mens innløp og ende har dimensjon 3/4".

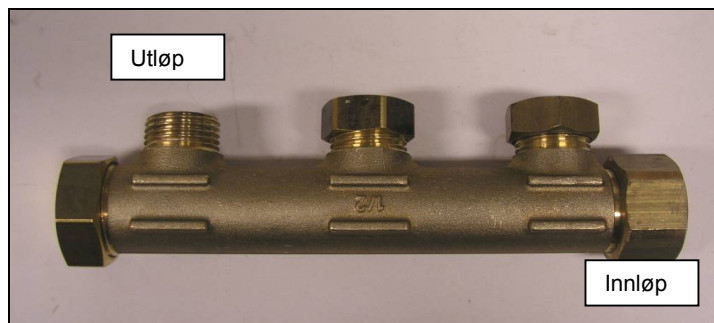


Foto 6: Fordelerstokk med endelokk

2.4.2 PEX-rør

I forsøkene er det benyttet PEX-rør fra Uponor AS med dimensjon 12 x 2,0 mm (NRF nr. 511 0005), 15 x 2,5 mm (NRF nr. 511 0007) og 18 x 2,5 mm (NRF nr. 511 0031).

2.4.3 Veggboкс

I forsøkene er det benyttet en veggboкс type M6 med kopling FPL-PX 15 mm x 1/2" fra Uponor AS, se foto 7.

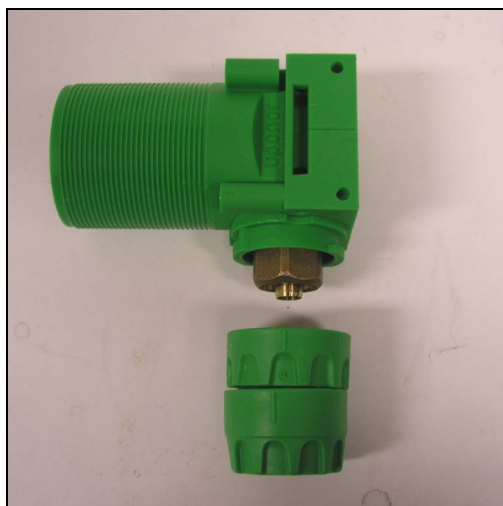


Foto 7: Veggboкс M6 – FPL-PX 15 mm x 1/2"

2.4.4 Vinkelventil

I forsøkene er det benyttet en kule vinkelventil G 1/2" x G 3/8" med avstegning fra Uponor AS (NRF nr. 511 0501), se foto 8.



Foto 8: Kule vinkelventil G 1/2" x G 3/8"

2.4.5 Koplinger

I forsøkene er det benyttet koplinger i messing type FPL-PX fra Uponor AS, se foto 9. Koplingene er brukt for montering av PEX-rør til fordelerstokk og veggboкс. Dimensjon 12 x 2,0 – G 1/2" (NRF nr. 511 0359), 15 x 2,5 – G 1/2" (NRF nr. 836 2521) og 18 x 2,5 – M28 (NRF nr. 511 0365). I tillegg er det benyttet en overgangsnippel fra M28 til G 1/2" (NRF nr. 506 3243) for forsøkene med 18 x 2,5 mm PEX-rør.

Støttehylsene har en innvendig diameter på 5,8 mm (12 x 2,0), 7,9 mm (15 x 2,5) og 10,4 mm (18 x 2,5).

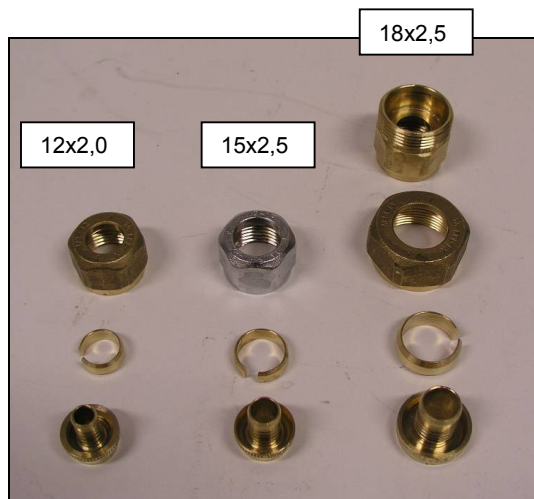


Foto 9: Koplinger FPL-PX

2.4.6 Datalogger og måleprogram

Logging av vannmengde og vanntrykk ble utført med datalogger fra Hewlett-Packard, type Hp3497a, med internt SINTEF Byggforsk utstyrsnummer M 5655, se foto 10. Til å registrere og lagre måledataene ble dataprogrammet YT-måling v 2.5 benyttet. Programmet er laget i Visual Basic og utviklet av SINTEF Byggforsk for måling av blant annet vanntrykk, vanntemperatur og vannmengde.

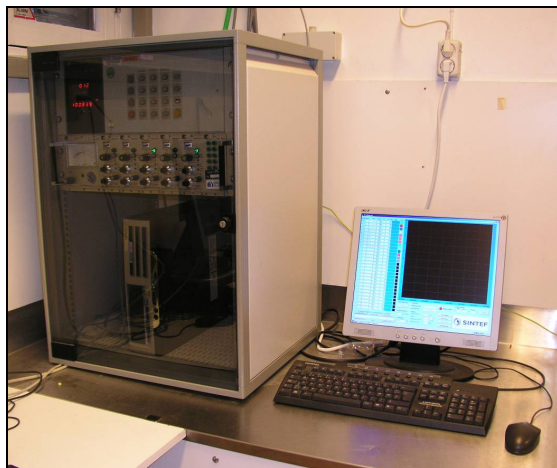


Foto 10: Datalogger og PC med måleprogram YT-måling v 2.5

2.4.7 Trykk giver

Trykkgivere HBM 20 bar, type P4AK, ble benyttet til å registrere statisk vanntrykk. Trykkgiverne har interne SINTEF Byggforsk utstyrsnummer M 5807, M 5808, M 5809 og M 5810. Trykkgiverne benyttes til daglig i akkreditert prøving.



Foto 11: Trykk giver HBM 20 bar, type P4AK

2.4.8 Termometer

Til å måle vanntemperaturen ble det benyttet et termometer, type Keithl. Mod. 819, med internt SINTEF Byggeforsk utstysnummer MO 5210.



Foto 12: Termometer Keithl. Mod 819

2.4.9 Vannmengdemåler

Vannmengdemåleren (Ø 15 mm) har internt SINTEF Byggeforsk utstysnummer MO 4974. Måleren ble sist kalibrert den 17/6-09 av Geir L. Stavnes. Vannmengdemåleren benyttes til daglig i akkreditert prøving.



Foto 13: Vannmengdemåler

2.5 Generelt

Målingene ble utført i sanitærlaboratoriet ved SINTEF Byggforsk, Oslo, høsten 2009. Målingene ble utført med en romtemperatur på ca. 20 °C.

2.6 Begrensninger og kommentarer

2.6.1 Væskens viskositet

Viskositet defineres som væskens motstand mot å flyte eller den indre friksjonen i væsken. Vann med ulik temperatur har forskjellig viskositetsfaktor. Varmt vann flyter ”lettere” enn kaldt.

Forsøkene er kun utført med en kaldtvannstemperatur på 17 ± 1 °C. I praksis vil det si at dimensjoneringsreglene basert på forsøkene kun gjelder ved denne vanntemperaturen. Dersom man benytter resultatene fra forsøkene i denne rapporten, vil man oppnå en viss sikkerhetsfaktor i forbindelse med dimensjonering av rørkurser for varmtvann.

2.6.2 Utforming rørsloyfer

PEX-rørene har under målingene ligget sammenkveilet som vist i foto 2. Det er ikke utført målinger hvor rørene har ligget rett uten bøyer. I denne rapporten er det ikke tatt stilling til hva dette eventuelt kan ha å si for trykktapet i rørene.

2.6.3 Samtidighet

Forsøkene er kun utført med tapping av vann fra ett uttak i fordelerstokken om gangen. Innvirkningen på samtidig tapping fra flere uttak på fordelerstokken er ikke vurdert i denne rapporten.

2.6.4 Tilgjengelig vanntrykk foran fordelerstokk

Vanntrykket inn til en bolig varierer gjennom døgnet på grunn av tappemønsteret. Det er vanlig å anta et vanntrykk på 6 bar inn til en bolig [5]. Fra hovedvanninntaket i boligen og fram til fordelerskapet vil man ha noe trykktap. Det er kun utført målinger med et tilgjengelig vanntrykk foran fordelerstokken på 500 kPa, dvs. 5 bar.

3 Resultater

3.1 Statisk vanntrykk og trykklifferanse

Tabell 2 viser de ulike trykktapene i rør-i-rør-systemet som kan beregnes med utgangspunkt i målepunktene P_1 , P_2 , P_3 og P_4 i henhold til figur 3.

Tabell 2: Trykktap, Δp

Trykktap, Δp	Forklaring
$\Delta p_1 = P_2 - P_1$	Trykktap over fordelerstokk
$\Delta p_2 = P_3 - P_2$	Trykktap over rørstrekket
$\Delta p_{21} = P_3 - P_2$	Trykktap per meter rør
$\Delta p_3 = P_4 - P_3$	Trykktap over veggboкс inkludert vinkelventil
$\Delta p_4 = P_4 - P_1$	Trykktap over fordeler, rør og veggboкс inkludert vinkelventil

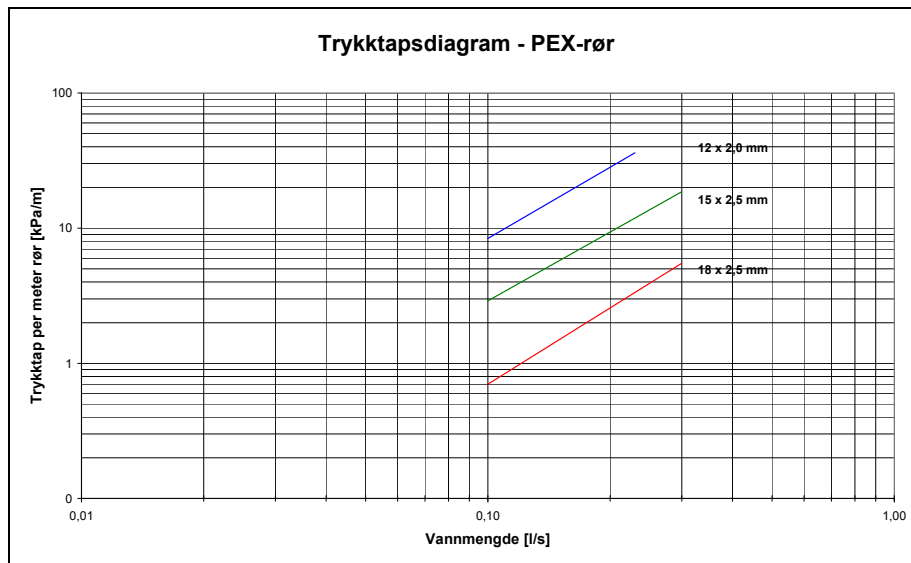
Tabell 3 viser statisk vanntrykk når det tappes vann i systemet og trykklifferanse som ble målt og registrert for hvert enkelt forsøk i henhold til tabell 1. I tillegg er registrert vanntemperatur og vannmengde med i tabell 3.

Tabell 3: Målte statiske vanntrykk og beregnede trykklifferanser

Forsøk nr. iht. tabell 2	Statisk vanntrykk ved tapping [kPa]				Trykklifferanse					Vann-temp. [° C]	Vannmengde [l/s]
	P_1	P_2	P_3	P_4	Δp_1 [kPa]	Δp_2 [kPa]	Δp_{21} [kPa/m]	Δp_3 [kPa]	Δp_4 [kPa]	T_1	V_1
1	499	489	404	394	-10	-85	-8,5	-10	-105	17 ± 1	0,10
2	503	492	367	356	-11	-124	-8,4	-11	-146	17 ± 1	0,10
3	501	490	330	319	-10	-160	-8,2	-11	-181	17 ± 1	0,10
4	499	466	186	147	-33	-280	-28,1	-38	-352	17 ± 1	0,20
5	500	478	232	210	-22	-246	-16,6	-22	-290	17 ± 1	0,15
6	500	480	141	118	-20	-339	-17,3	-24	-383	17 ± 1	0,15
7	500	456	96	47	-44	-361	-36,1	-49	-453	17 ± 1	0,23
8	502	468	71	32	-34	-397	-26,7	-39	-469	17 ± 1	0,20
9	501	476	56	26	-25	-420	-21,4	-30	-475	17 ± 1	0,17
10	501	496	469	461	-5	-27	-2,7	-8	-40	17 ± 1	0,10
11	501	496	455	446	-5	-41	-2,7	-8	-54	17 ± 1	0,10
12	501	496	422	413	-6	-74	-3,3	-9	-88	17 ± 1	0,10
13	498	486	395	369	-12	-91	-9,1	-27	-129	17 ± 1	0,20
14	501	488	339	310	-13	-149	-9,7	-29	-191	17 ± 1	0,20
15	498	486	279	253	-12	-208	-9,2	-25	-245	17 ± 1	0,20
16	500	477	293	236	-23	-184	-18,5	-58	-264	17 ± 1	0,30
17	498	475	186	128	-23	-289	-18,7	-58	-370	17 ± 1	0,30
18	502	481	111	63	-21	-370	-16,3	-48	-439	17 ± 1	0,27
19	500	497	490	482	-3	-7	-0,7	-8	-18	17 ± 1	0,10
20	502	499	488	480	-3	-11	-0,7	-7	-22	17 ± 1	0,10
21	499	497	481	473	-3	-16	-0,8	-8	-26	17 ± 1	0,10
22	502	496	469	441	-7	-27	-2,7	-28	-61	17 ± 1	0,20
23	498	491	452	425	-7	-39	-2,6	-27	-73	17 ± 1	0,20
24	498	493	437	410	-6	-56	-2,8	-27	-88	17 ± 1	0,20
25	498	487	433	376	-11	-54	-5,4	-57	-112	17 ± 1	0,30
26	499	487	404	345	-12	-83	-5,5	-59	-154	17 ± 1	0,30
27	499	488	377	318	-11	-111	-5,6	-59	-181	17 ± 1	0,30

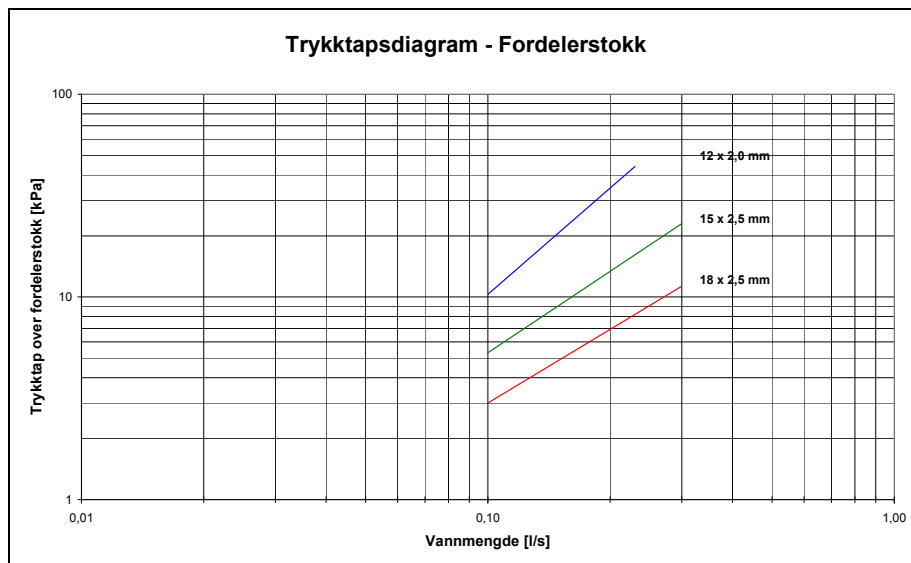
3.2 Trykktapsdiagram

Figur 4 viser et logaritmisk trykktapsdiagram for PEX-rør som er laget på bakgrunn av utførte målinger. Diagrammet viser trykktap per meter rør som en funksjon av vannmengden. Det er utarbeidet en kurve for hver rørdimensjon. Trykktapet per meter rør er størst for den minste dimensjonen (12 x 2,0 mm) og lavest for den største dimensjonen (18 x 2,5 mm).



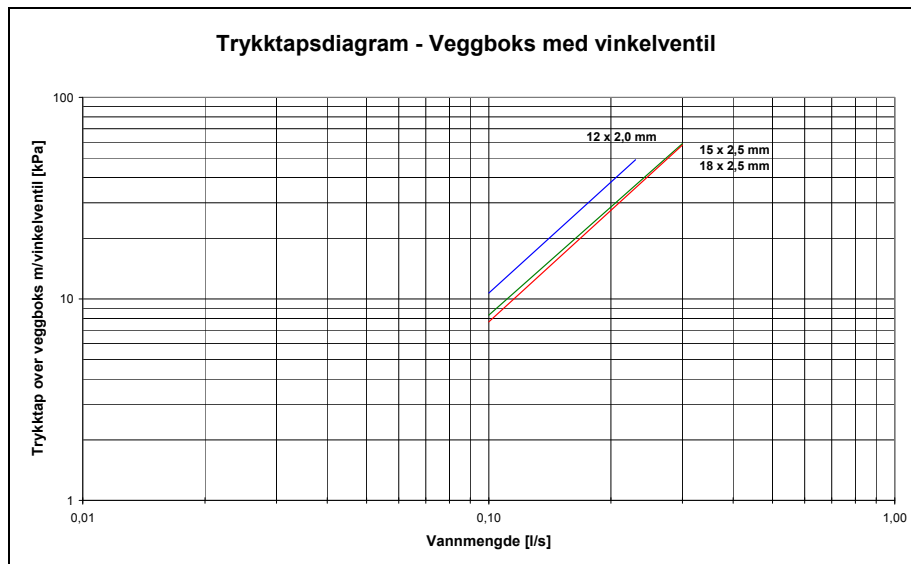
Figur 4: Trykktapsdiagram for PEX-rør

Figur 5 viser et logaritmisk trykktapsdiagram for fordelerstokken som er laget på bakgrunn av utførte målinger. Diagrammet viser trykktap over fordelerstokken som en funksjon av vannmengden. Trykktapet over fordelerstokken varierer avhengig av hvilken dimensjon det er på PEX-koplingen som er montert på uttaket til fordeleren. PEX-koplingen tilhørende rørdimensjon 12 x 2,0 mm har størst inn-snevring i strømningsretningen og gir størst trykktap. Når PEX-koplingen tilhørende rørdimensjon 18 x 2,5 mm er montert på uttaket, gir dette det laveste trykktapet.



Figur 5: Trykktapsdiagram for fordelerstokk

Figur 6 viser et logaritmisk trykktapsdiagram for veggboksen med vinkelventil som er laget på bakgrunn av utførte målinger. Diagrammet viser trykktap over veggboksen med vinkelventil som en funksjon av vannmengden. Når inntaket på veggboksen er tilknyttet en PEX-kopling for 12 x 2,0 mm PEX-rør, gir dette det største trykktapet. Trykktapet over veggboksen er tilnærmet identisk når den er montert sammen med PEX-koplingene for henholdsvis 15 x 2,5 og 18 x 2,5 mm PEX-rør. Det er de ulike utformingene av PEX-koplingene som gir utslag i forskjellig trykktap over veggboksen.



Figur 6: Trykktapsdiagram for veggboks med vinkelventil

4 Vurderinger og diskusjon

4.1 Prosjektering av rør-i-rør-systemer

Dimensjonering av rørkurser i et rør-i-rør-system er vesentlig forskjellig for et vannsystem bestående av kobberør. Ved dimensjonering av kobberør skiller man mellom fordelingsledninger og koblingsledninger. Fordelingsledninger er felles for flere tappesteder og har som oftest dimensjonsendringer, mens koblingsledning kun fører vann til et tappested. I et rør-i-rør-system leverer et vannrør etter forgrening i fordelerstokken vann til kun ett tappested uten avgreninger og dimensjonsendringer.

Når en skal prosjektere et rør-i-rør-system, tenker en først og fremst på at systemet skal være konstruert og dimensjonert for å tilfredsstille tappestedenes normalvannmengdebehov. Man har lett for å glemme utskiftbarhet av innerrør, trykkstøt, støynivå og ventetid på varmtvannet. I tillegg må man ta hensyn til ekspansjonskrefter, samtidighet og fremtidig endring av bruk.

4.2 Tilstrekkelig vannmengde ved tappested

For å oppnå tilstrekkelig vannmengde ved tappested kreves det minimum 300 kPa (3 bar) vanntrykk foran tappearmaturen. Vannmengden, målt ved et trykk på 300 kPa foran tappested, skal ha minst verdier som angitt i tabell 4 [5]. Krav til kapasitet ved 300 kPa for tappearmatur er fastsatt i produktstandardene NS-EN 200 [6], NS-EN 817 [7] og NS-EN 1111 [8] for henholdsvis to-grepsarmatur, ett-grepsarmatur og termostatbatterier.

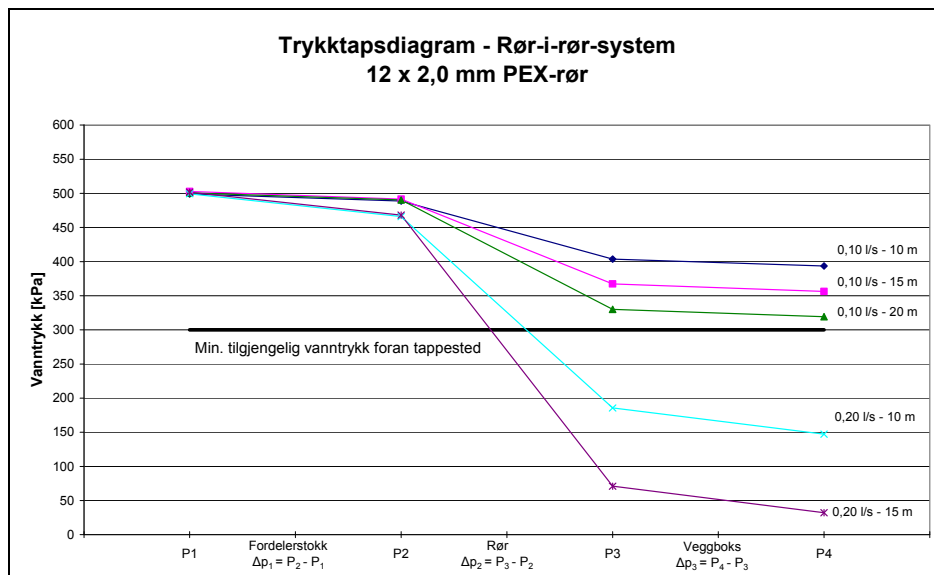
Tabell 4: Normalvannmengde ved 3 bar

Tappested	Normalvannmengde [l/s]
Klosettsisterne	0,10
Bidé Servant Vaskekum Kjøkken Vaskemaskin Dusj	0,20
Badekar	0,30

En viktig forutsetning ved dimensjonering av PEX- rør er å ha kjennskap til tilgjengelig vanntrykk foran fordelerstokken. Fra fordelerstokken og fram til tappestedet har man trykktap på grunn av rørfriksjon og enkeltmotstander som veggboxs, stengeventiler etc. Det er viktig at samlet trykktap fra fordelerstokken fram til veggboxen ikke gir lavere tilgjengelig vanntrykk foran tappestedet enn 300 kPa. Ellers vil ikke tappearmaturen fungere som forutsatt i henhold til produktstandardene.

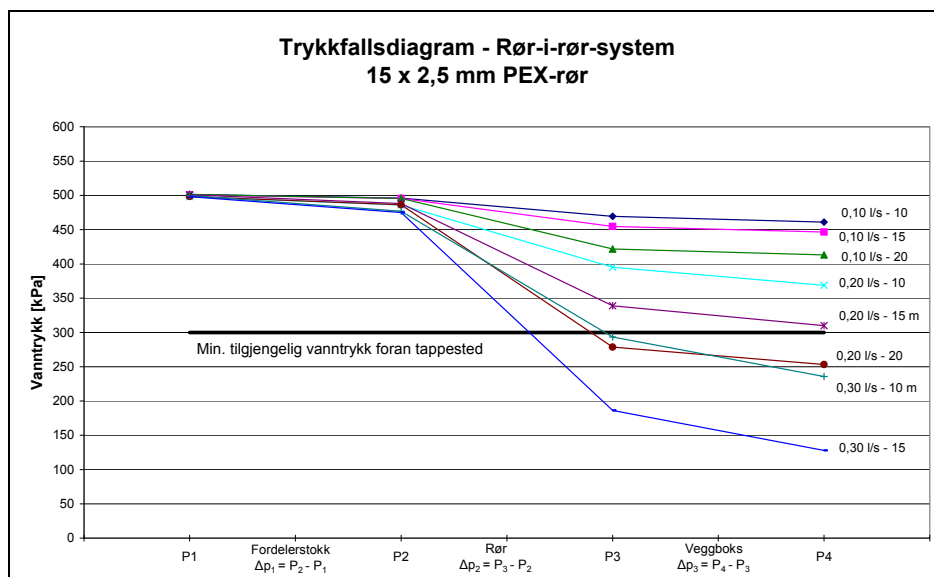
Figur 7, 8 og 9 viser et trykktapsdiagram for hele rør-i-rør-systemet laget på bakgrunn av utførte målinger for henholdsvis rørdimensjon 12 x 2,0, 15 x 2,5 og 18 x 2,5 mm. Diagrammene viser trykktapet over fordelerstokken, røret og veggboxen for ulike kombinasjoner av rørlengde og vannmengde. I tillegg er det tegnet inn en linje som indikerer minimum tilgjengelig vanntrykk på 300 kPa foran tappested for at det skal fungere som forutsatt. Figur 7, 8 og 9 gjelder under forutsetning av at man har minimum 5 bars vanntrykk tilgjengelig foran fordelerstokken.

Figur 7 gjelder for rørdimensjon 12 x 2,0 mm. Figuren viser at man oppnår tilstrekkelig vanntrykk på 300 kPa foran tappested for vannmengden 0,10 l/s uavhengig av om rørlengden er 10, 15 eller 20 m. Man kan ikke benytte rørdimensjon 12 x 2,0 mm når man behøver en vannmengde på 0,20 eller 0,30 l/s uavhengig om rørlengden er 10, 15 eller 20 m.



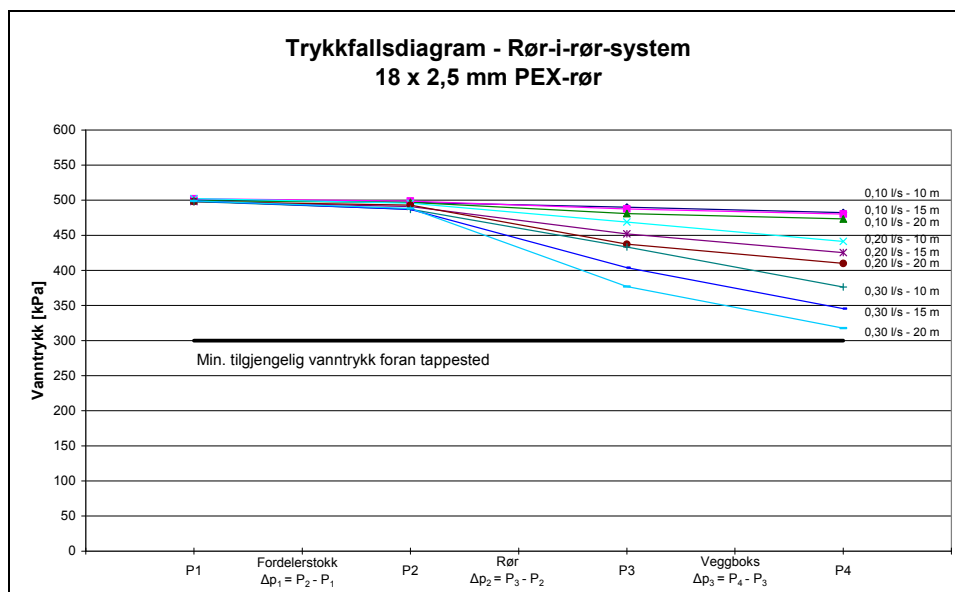
Figur 7: Trykktapsdiagram for rør-i-rør-system med rørdimensjon 12 x 2,0 mm

Figur 8 gjelder for rørdimensjon 15 x 2,5 mm. Figuren viser at man oppnår tilstrekkelig vanntrykk på 300 kPa foran tappested for vannmengde 0,10 l/s uavhengig av om rørlengden er 10, 15 eller 20 m. I tillegg oppnår man det samme for en vannmengde på 0,20 l/s med rørlengdene 10 og 15 meter når vanntrykket foran fordelerstokken er 500 kPa. Man kan ikke benytte rørdimensjon 15 x 2,5 mm når man behøver en vannmengde på 0,20 l/s og har en rørlengde på 20 m. For vannmengder på 0,30 l/s er rørdimensjon 15 x 2,5 mm uegnet når vanntrykket foran fordelerstokken er 500 kPa.



Figur 8: Trykktapsdiagram for rør-i-rør-system med rørdimensjon 15 x 2,5 mm

Figur 9 gjelder for rørdimensjon 18 x 2,5 mm. Figuren viser at man oppnår tilstrekkelig vanntrykk på 300 kPa foran tappested for vannmengdene 0,10, 0,20 og 0,30 l/s med rørlengdene 10, 15 og 20 m, dvs. for alle kombinasjoner som er målt når vanntrykket foran fordelerstokken er 500 kPa.



Figur 9: Trykktapsdiagram for rør-i-rør-system med rørdimensjon 18 x 2,5 mm

Alle kurvene i figur 7, 8 og 9 kan parallellforskyves opp eller ned dersom man har et høyere eller lavere vanntrykk enn 500 kPa foran fordelerstokken.

4.2.1 Teoretisk beregning av trykktap i rette PEX-rør

Trykktap i rette rørstrekk er avhengig av flere forhold som for eksempel strømningsform, vanntemperatur, rørlengde, rørdiameter og rørets innvendige ruhet. For å finne trykktap per meter rør, Δp , benyttes en variant av Darcy-Weisbachs likning [9]:

$$\Delta p = \lambda \cdot \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot v^2 \cdot \frac{l}{d_i} \quad (2)$$

der

Δp	=	trykktap rørstrekk	Pa
λ	=	friksjonskoeffisient (dimensjonsløs)	
ρ	=	væskens tetthet	kg/m ³
v	=	midlere vannhastighet	m/s
l	=	rørets lengde	m
d_i	=	innvendig rørdiameter	m

Darcy-Weisbachs likning løst med hensyn på friksjonskoeffisienten, λ :

$$\lambda = \frac{2 \cdot d_i \cdot \Delta p_2}{\rho \cdot v^2 \cdot l} \quad (3)$$

Friksjonskoeffisienten, λ , kan også bestemmes ved hjelp av Colebrook-Whites likning [10]. Likningen er basert på et stort antall laboratoriemålinger og den gjelder for turbulent strømming:

$$\frac{1}{\sqrt{\lambda}} = -2 \cdot \log \left(\frac{2,51}{\text{Re} \cdot \sqrt{\lambda}} + \frac{k}{3,71} \right) \quad (4)$$

der

λ	=	friksjonskoeffisient (dimensjonsløs)
Re	=	Reynolds tall (dimensjonsløs)
k	=	relativ ruhet (dimensjonsløs)

Relativ ruhet, k , finnes med følgende likning:

$$k = \frac{\varepsilon}{d_i} \quad (5)$$

der

ε	=	absolutt ruhet	m
d_i	=	innvendig rørdiameter	m

En strømning er turbulent når $Re > 4000$ [9]. Reynolds tall, Re , bestemmes av følgende likning:

$$Re = \frac{v \cdot d_i}{\nu} \quad (6)$$

der

v	=	midlere vannhastighet	m/s
d_i	=	innvendig rørdiameter	m
ν	=	kinematisk viskositet	m ² /s

Finner midlere hastighet, v , (stasjonær strøm) ved hjelp av:

$$v = \frac{q}{A} = \frac{q}{\frac{\pi}{4} \cdot d_i^2} \quad (7)$$

der

q	=	vannmengde	m ³ /s
d_i	=	innvendig rørdiameter	m

4.2.2 Beregningsresultater

I beregningene er det benyttet følgende verdier for kinematisk viskositet (ν) og vannets tetthet (ρ):

$$\begin{aligned} \nu &= 1,004 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s} \text{ ved } 20 \text{ }^\circ\text{C} & [11] \\ \rho &= 998,2 \text{ kg/m}^3 \text{ ved } 20 \text{ }^\circ\text{C} & [11] \end{aligned}$$

Først benyttes likning (7) for å beregne midlere vannhastighet, v . Deretter kan Reynolds tall, Re , beregnes ved hjelp av likning (6).

Den eneste ukjente størrelsen i likning (2) er friksjonskoeffisienten, λ . Benytter likning (3) og finner friksjonskoeffisienten.

For å finne relativ ruhet, k , benyttes likning (4). Relativ ruhet er den eneste ukjente faktoren i likningen. Setter inn og prøver forskjellige verdier for k slik at høyre og venstre side i likningen blir lik hverandre, dvs. benytter iterasjonsmetoden.

Til slutt kan man finne absolutt ruhet, ϵ , ved hjelp av likning (5).

Tabell 5 viser beregnede verdier av midlere vannhastighet, Reynolds tall, friksjonskoeffisienten og absolutt ruhet.

Tabell 5: Beregningsresultater på bakgrunn av målingene

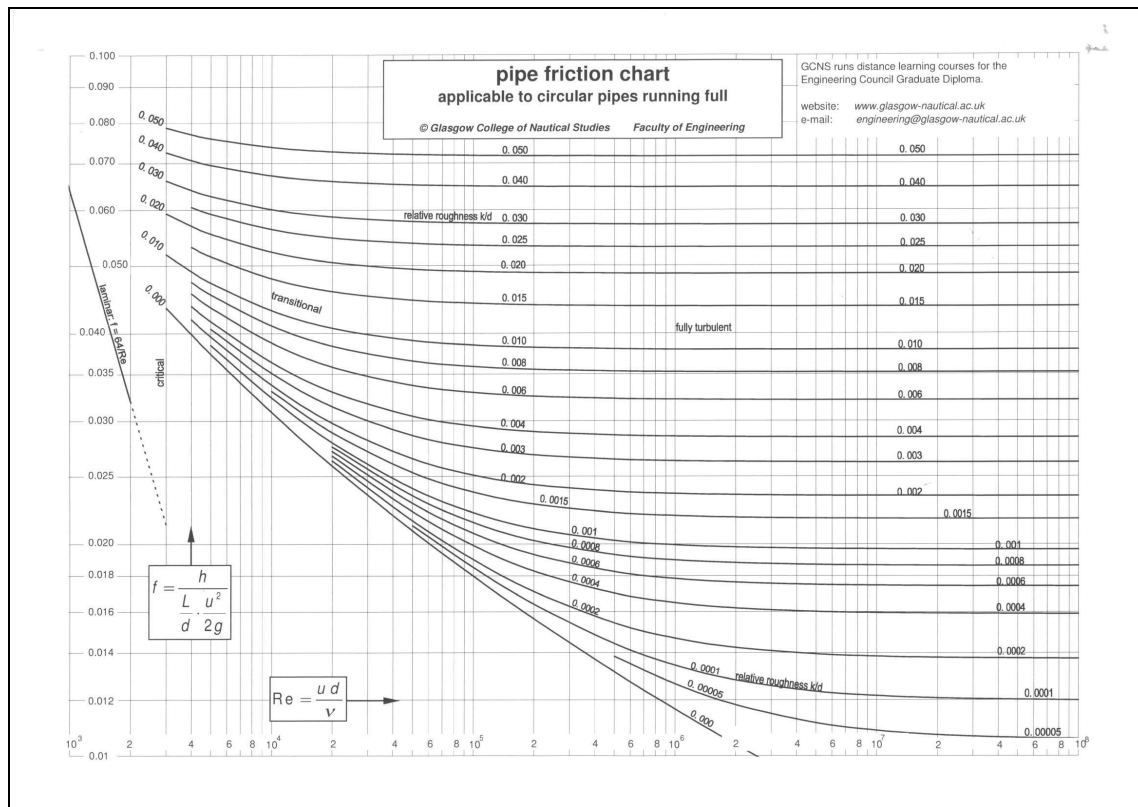
Forsøk nr. iht. tabell 2	Innvendig diameter, d_i [mm]	Trykktap per meter rør, Δp_{21} [kPa/m]	Beregnete verdier			
			Midlere vannhastighet, v [m/s]	Reynolds tall, Re	Friksjonskoeffisient, λ	Absolutt ruhet, ϵ [mm]
1	8,0	-8,5	2,0	15905	0,034	$3,4 \cdot 10^{-5}$
2		-8,4	2,0	15694	0,035	$3,5 \cdot 10^{-5}$
3		-8,2	2,0	15694	0,034	$3,1 \cdot 10^{-5}$
4		-28,1	4,0	31810	0,028	$1,8 \cdot 10^{-5}$
5		-16,6	2,9	23408	0,031	$2,4 \cdot 10^{-5}$
6		-17,3	3,0	23937	0,031	$2,4 \cdot 10^{-5}$
7		-36,1	4,6	36935	0,027	$1,4 \cdot 10^{-5}$
8		-26,7	3,9	31176	0,028	$1,6 \cdot 10^{-5}$
9		-21,4	3,4	27054	0,030	$2,2 \cdot 10^{-5}$
10	10,0	-2,7	1,3	13020	0,031	$1,6 \cdot 10^{-5}$
11		-2,7	1,3	12555	0,034	$2,8 \cdot 10^{-5}$
12		-3,3	1,3	13104	0,038	$6,3 \cdot 10^{-5}$
13		-9,1	2,6	25406	0,028	$1,6 \cdot 10^{-5}$
14		-9,7	2,6	25786	0,029	$2,1 \cdot 10^{-5}$
15		-9,2	2,5	24814	0,030	$2,4 \cdot 10^{-5}$
16		-18,5	3,8	38003	0,025	$1,2 \cdot 10^{-5}$
17		-18,7	3,8	37622	0,026	$1,5 \cdot 10^{-5}$
18		-16,3	3,4	34325	0,028	$2,0 \cdot 10^{-5}$
19	13,0	-0,7	0,7	9658	0,033	$1,4 \cdot 10^{-5}$
20		-0,7	0,7	9690	0,034	$2,7 \cdot 10^{-5}$
21		-0,8	0,8	9723	0,037	$5,6 \cdot 10^{-5}$
22		-2,7	1,5	19575	0,030	$3,0 \cdot 10^{-5}$
23		-2,6	1,5	19608	0,030	$2,3 \cdot 10^{-5}$
24		-2,8	1,5	19835	0,031	$3,5 \cdot 10^{-5}$
25		-5,4	2,3	29233	0,027	$2,1 \cdot 10^{-5}$
26		-5,5	2,3	29395	0,028	$2,3 \cdot 10^{-5}$
27		-5,6	2,3	29526	0,028	$2,5 \cdot 10^{-5}$

Av tabell 5 ser man at verdien for friksjonskoeffisienten, λ , varierer fra 0,025 til 0,038 for de ulike målingene. I gjennomsnitt er verdien ca. 0,030.

Beregnete verdier av absolutt ruhet, ϵ , for benyttede PEX-rør ligger i området fra $1,2 \cdot 10^{-5}$ til $6,3 \cdot 10^{-5}$. I gjennomsnitt er verdien ca. $2,5 \cdot 10^{-5}$.

4.2.3 Moodys diagram

Ut i fra målingene er det enkelt å finne friksjonskoeffisienten λ fordi man kjenner trykktapet per meter rør. I tillegg kan man regne ut det tilhørende Reynoldstallet, Re . Når man vet verdien for λ og Re , kan man gå inn i Moodys diagram for å finne relativ ruhet til røret [12]. Moodys diagram er utarbeidet av Lewis F. Moody på bakgrunn av Colebrook-Whites likning, se figur 10.



Figur 10: Moodys diagram
Kilde: www.glasgow-nautical.ac.uk

5 Konklusjon

For å kunne dimensjonere et rør-i-rør-system med hensyn til vannmengde må man vite trykktapet over komponenter som inngår i systemet. Ved dimensjonering av slike anlegg må man også ta hensyn til utskiftbarhet av innerrør, trykkstøt, støynivå, ventetid på kaldt- og varmtvannet, ekspansjonskrefter, samtidighet og legge til rette for fremtidig endring av forbruksmønster og/eller utstyr.

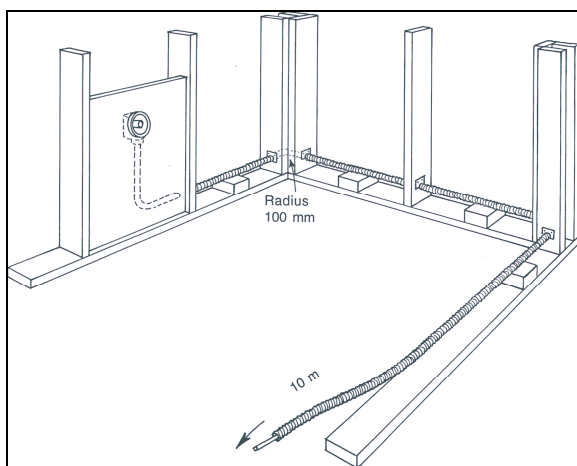
Denne rapporten inneholder innledende trykktapsmålinger av ett rør-i-rør-system med tre ulike rørdimensjoner. I tillegg er det kun utført trykktapsmålinger over en fordelerstokk og en veggbok for ett system. De andre faktorene som f. eks. utskiftbarhet og ventetid på kaldt- og varmtvann er ikke vurdert i denne rapporten. Før man kan slutte en endelig konklusjon vedrørende dimensjonering av rør-i-rør-systemer, bør det utføres flere tilsvarende målinger på andre rørdimensjoner, fordelerstokker og veggbokser fra flere leverandører. Se for øvrig forslag til videre arbeid.

5.1 Forslag til videre arbeid

5.1.1 Utskiftbarhet

For å kunne dimensjonere rør-i-rør-systemer med hensyn til utskiftbarhet av innerrøret er det nødvendig å finne maksimal rørlengde som er praktisk mulig å erstatte med et nytt. Til å dokumentere utskiftbarheten kan det benyttes en metode som beskrevet i NT VVS 129, punkt 6.4.13 [13]. Metoden går ut på at et rør-i-rør-system med total lengde på 10 meter blir montert i en oppstilling, se figur 11. Denne oppstillingen inkluderer fire 90° bend, inklusiv veggboksen. De to siste bøyene skal ha en radius på 100 mm. Varerøret klamres for hver 0,6 m. Utskiftingen av innerrøret og montering av nytt starter ved veggboksen. Kravet i metoden er at utskifting av varerøret skal kunne utføres og uten at varerøret skades.

Metoden beskriver kun prøving av rørlengder på 10 meter. SINTEF Byggforsk ønsker i tillegg å utføre tilsvarende forsøk med varerørlengder på 15 og 20 meter.



Figur 11: Prøveoppstilling for kontroll av utskiftbarhet [13]

5.1.2 Ventetid kaldt- og varmtvann

For å kunne dimensjonere rør-i-rør-systemer med hensyn til energi- og vannsparing må man vite ventetiden på kaldt- og varmtvann. Lengden på rørene bør dimensjoneres slik at man oppnår en ventetid på maksimum 10 sekunder for ønsket vanntemperatur [5].

5.1.3 Tilsvarende målinger

Gjennomføre tilsvarende målinger for PEX- rør med dimensjon 12 x 1,8, 16 x 2,2 og 20 x 2,8 mm, samt for fordelerstokker og veggbokser fra flere leverandører.

5.1.4 Andre faktorer

Fokuser og se på andre faktorer som trykkstøt, støynivå, ekspansjonskrefter, samtidighet og fremtidig endring av bruk som kan ha innvirkning på dimensjonering av rør-i-rør-systemer.

5.2 Anerkjennelse

Takk til Lars-Erik Fiskum og Alf Furulund for faglige råd og innspill, samt Johnny Saltnes for tegning av figur 3. Takk til Bjørn Byom og Dag Henning Sæther for hjelp til å rigge og lage utstyr i tilknytning til målingene i laboratoriet.

Referanser

- [1] Forskrift om tekniske krav til byggverk (TEK10) av 2010
- [2] Byggedetaljer 553.117 Rør-i-rør-systemer for vannforsyning, Byggforskserien, Norges byggforskningsinstitutt, Oslo, 2010
- [3] SBI-Anvisning 165 Vandinstallationer, Statens byggeforskningsinstitut, 1990
- [4] NT VVS 032 Pressure reduction valves: Flow capacity, NORDTEST, 1985
- [5] Byggedetaljer 553.116 Vannforsyningssystem i boliger. Dimensjonering av kobberrør, Byggforskserien, Norges byggforskningsinstitutt, Oslo, 2004
- [6] NS-EN 200 Sanitær tappearmatur – Tappeventiler og tappeblandere for vann for forsyningssystem type 1 og type 2 – Generelle tekniske krav, Standard Norge, 1. utgave, 2008
- [7] NS-EN 817 Sanitær tappearmatur – Mekaniske blandere (PN 10) – Generelle tekniske krav, Standard Norge, 1. utgave, 2008
- [8] NS-EN 1111 Sanitær tappearmatur – Termostatbatterier (PN 10) – Generelle tekniske krav, Standard Norge, 1. utgave, 1999
- [9] Munson, Bruce R.; Young, Donald F.; Okiishi, Theodore H., Fundamentals of fluid mechanics, 3. utgave. John Wiley & Sons, Inc, 1998
- [10] Colebrook, C.F, Turbulent flow in pipes, with particular reference to the transition region between the smooth and rough pipe laws, Journal of the Institution of Civil Engineers, volum 11, side 133-156, 1939
- [11] Hellsten, Mörtstedt, Energi- og kjemiteknikk – Formler og tabeller, Yrkesopplæring ans, 2. utgave, 1. opplag, 1982
- [12] Moody, L.F, Princeton, N.J, Friction Factors for Pipe Flow, American Society of Mechanical Engineers, volum 66, side 671-684, 1944
- [13] NT VVS 129 Pipe in tube systems, NORDTEST, 2002

SINTEF er Skandinavias største forskningskonsern. Vår visjon er «Teknologi for et bedre samfunn». Vi skal bidra til økt verdiskapning, økt livskvalitet og en bærekraftig utvikling. SINTEF selger forskningsbasert kunnskap og tilhørende tjenester basert på dyp innsikt i teknologi, naturvitenskap, medisin og samfunnsvitenskap.

SINTEF Byggforsk er et internasjonalt ledende forskningsinstitutt og Norges viktigste formidler av forskningsbasert kunnskap til bygge- og anleggsnæringen. Vi skaper verdier for våre kunder og for samfunnet gjennom forskning og utvikling, spesialrådgivning, sertifisering og kunnskapsformidling. Våre publikasjoner omfatter Byggforskserien, Byggebransjens våtromsnorm, håndbøker, rapporter, faktabøker og beregnings- og planleggingsverktøy.

