



## PUMPEPRØVESTAND



*December 2004*

Industri og Energi  
Ventilation og proces

# **Pumpeprøvestand**

**Sandie Brændgaard Nielsen  
Hans Andersen**

**Teknologisk Institut, Industri og Energi**

## Forord

Denne rapport er den ene halvdel af den faglige rapportering/dokumentation til forskningsprojekt bevilget af PSO 2002 administreret af ELFOR:

### *Projekt 334-003 – Virkningsgrader for pumper inkl. regulering.*

Rapporten beskriver resultatet af opbygning af testbænk til mindre pumper. Denne aktivitet har repræsenteret ca. 75 % af indsatsen i projektet.

De øvrige aktiviteter er en række feltstudier foretaget på pumper i drift under faktiske forhold. Med basis i fire anlæg til ejendomme er vurderet, hvorledes de installerede pumper passer til det aktuelle varmemeforbrug, samt om reguleringen fungerer efter hensigten. Dette arbejde er rapporteret separat i 16 siders pjece. Pjecen er indbefattet som bilag 5, men kan rekvireres separat.

Arbejdet – såvel opbygning af testfacilitet som feltstudier – har forløbet i perioden april 2003 – oktober 2004. Arbejdet er udført af en arbejdsgruppe bestående af:

Jens Erik Jensen, Smedegaard  
Tommy Andersen, Smedegaard  
Sandie B Nielsen, Teknologisk Institut  
Otto Paulsen, Teknologisk Institut  
Hans Andersen, Teknologisk Institut

Arbejdet er finansieret af ELFOR. Desuden har boligselskaberne KAB og Roskilde Boligselskab gjort en stor indsats med hensyn til feltstudier i forskellige afdelinger. Endelig har Smedegaard bidraget med tilrettelæggelse og udvælgelse af potentielle felttest, og ikke mindst assisteret ved projektering samt opbygning af prøvestanden.

Felttest er foretaget i ejendommene:

- Valbyholm
- Utterslevhuse
- Parkvænget
- Rødovre parkvej

Hans Andersen  
December 2004

# Indholdsfortegnelse

Side

<b>1</b>	<b>Indledning .....</b>	<b>5</b>
<b>2</b>	<b>Pumpestandens opbygning .....</b>	<b>7</b>
<b>3</b>	<b>Pumpestandens anvendelse .....</b>	<b>8</b>
<b>4</b>	<b>Instrumentering &amp; dataopsamling .....</b>	<b>11</b>
4.1	Dataopsamling på Pc – LabVIEW .....	11

**Bilag 1** – Tegninger & skitser

**Bilag 2** – Tekniske specifikationer

**Bilag 3** – Eksempel på pumpekurve (inkl. testmetode)

**Bilag 4** – Validering af prøvestand

**Bilag 5** – Pjecen – Valg af pumpe

# 1 Indledning

Pumpefabrikanterne i Europa er lykkedes med en fælles frivillig e-mærkning af pumper efter en skala a-g indenfor vådløbertypen (små pumper). For at dette har kunnet lykkedes, er der udviklet et fælles sæt vurderingskriterier for en vådløber. I Danmark er iværksat en pumpekampagne i ELFORs regi, som vil løbe i årene 2004-2006. Denne kampagne vil selvfølgelig benytte sig af samme vurderingsmetode til at udforme en positivliste, hvor de 25 % bedste pumper i energimæssig henseende vil være at finde.

Set i lyset af ovenstående, er det meget vigtigt, at have en uvildig prøvningsfacilitet til pumper under denne ordning, det vil sige mindre pumper.

Prøvningsfaciliteten vil i fremtiden kunne bruges, er allerede benyttet flittigt, til en række aktiviteter:

- opmåling af pumpe- og effektivitetskurver for mindre pumper
- undervisning af konsulenter i korrekt drift og dimensionering
- understøtning af branchespecifikke frivillige mærkningsordninger

Ifølge Dansk Elforsyning Statistik bruges der ca. 2.300 GWh/år til pumpning i Danmark. Fordelingen på de enkelte sektorer ses af tabellen herunder.

## Elanvendelse til pumpning

Sektor	Elforbrug	andel i %	GWh/år	fordeling
Industri	9.817	9	884	38,1%
Handel og service	5.866	3	176	7,6%
Offentlig sektor	4.101	11	451	19,4%
Landbrug og gartneri	2.578	5	129	5,6%
Bolig	9.615	7	673	29,0%
Øvrige	872	1	9	0,4%
<b>Samlet</b>	<b>32.849</b>	<b>7</b>	<b>2.321</b>	<b>100,0%</b>

Tabel 1.1 Elforbrug til pumpe drift.

Overordnet set kan pumperne opdeles i de mindre pumper (vådløberne), som kendes fra radiator kredsen og til cirkulation af varmt brugsvand, og de større pumper (blokpumper, inline pumper og normpumper), som primært bruges i industrien, den offentlige forsyning samt landbrug og gartneri. Opdeles elforbruget på de mindre og de større pumper fås følgende tilnærmede fordeling:

Pumpe størrelse/ sektor	GWh/år	fordeling
Store pumper (Industri + landbrug og gartneri + forsyning)	1.212	52,2%
Små pumper (Offentlig byggeri + handel og service + bolig)	1.109	47,8%
<b>Samlet</b>	<b>2.321</b>	<b>100,0%</b>

Det vurderes ikke urealistisk, at en frivillig mærkningsordning vil kunne effektivisere pumpe-  
driften energimæssigt med 5%. Et sådant tiltag vil således alene i Danmark resultere i en  
årlig besparelse på ca. 60 GWh indenfor de mindre pumper

## 2 Pumpestandens opbygning

Opbygningen af pumpestanden – se Figur 2.1 - på Teknologisk Institut, er sket i koordinati-  
on med de eksisterende faciliteter for prøvninger af elmotorer, ventilatorer og deslige i Cen-  
ter for Roterende Elforbrugende Udstyr. Prøvestanden bliver en vigtig brik i Teknologisk In-  
stituts ”CENTER FOR ENERGITEST”, som er under opbygning under resultatkontrakten:  
*ELBESPRELSER I INDUSTRIEN* – som afvikles i perioden 2004-2006.

Prøvestanden er blevet opbygget som en komplet enhed, og kan dermed flyttes rundt efter  
behov på eksempelvis messer, udstillinger og ikke mindst kursusvirksomhed.



Figur 2.1 Prøvestanden i et tidligt stadie

Prøvestanden er opbygget for pumper med følgende nøgletal:

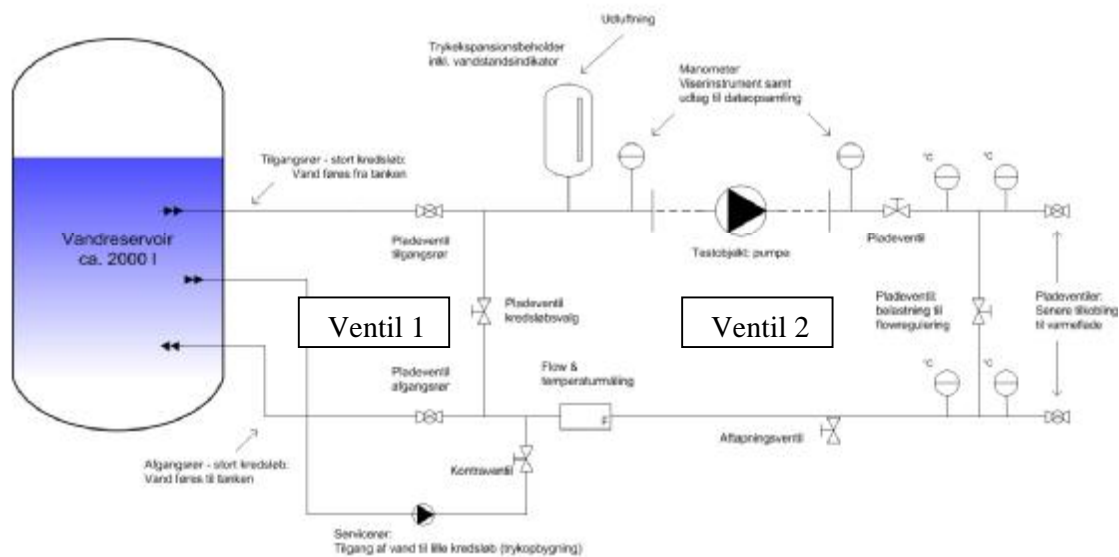
- Flowmængde: 0 – 100 m<sup>3</sup>/h
- Løftehøjde: 0 – 15 mVs
- Optagen effekt: 0 – 5 kW

Ydermere er der begrænsninger i form af indbygningsmål, vægt og lignende, og dette er igen afhængig af størrelsen på indbygningsstudsene. Eksempelvis er den maksimale indbyg-  
nings-længde på en pumpe med DN80 tilslutninger i begge ender 450 mm. Se mere herom i  
bilag 1 og 2.

### 3 Pumpestandens anvendelse

Nedenfor er vist en skitse af prøvestanden. Det blev meget sent i processen besluttet, hvor vidt tanken skulle sidde til venstre eller til højre på prøvestanden, hvorfor nedenstående skitse principielt er spejlvendt. Komponentplaceringer med mere er dog helt korrekte:

Pumpeprøvestand - endeligt design, 1. oktober 2003  
Overview / frontview



Hele systemet monteres på én stor fælles støtteramme (i samme plan)  
I forb. hermed etableres "spytbakke" for opsamling + elefantrist

Figur 3.1 Tegning af prøvestanden

Med den valgte ventilplacering er det muligt at køre i fire forskellige kredsløb på prøvestanden.

- Det store kredsløb hvor ventil 1 er lukket og 2 er åben, og man dermed kører direkte til vandreservoiret. Det er ikke muligt at tryksætte systemet her, da reservoiret er åbent til fri luft i toppen. Til gengæld får man ikke opvarmet sin væske med pumpetabet grundet den store vandmængde, og temperaturforholdene kan dermed holdes nærmest konstante – også under en langvarig prøvning.
- Det lille kredsløb hvor begge ventilerne til tanken er lukkede og både ventil 1 og 2 er åbne, er det en relativt lille mængde vand, der cirkulerer (ca. 100 liter vand), hvorfor vandet hurtigt opvarmes, hvis pumpen afgiver en betydelig mængde energi til vandet. Dette medfører ikke stabile temperaturforhold på prøvninger, hvilket påvirker resultatet.



Til gengæld er det her muligt, at tryksætte systemet med op til 1,5 bar i statisk tryk via bipumpen, der er monteret fornedet på prøvestanden.

- Yderligere to kredsløb udgøres af de allerede førnævnte, men i kombination med et eksternt kredsløb – varmeveksler, ventilafprøvning og lignende.

Selve prøvestanden er opbygget i rustfrit stål. Rørføringerne er som udgangspunkt 100 mm, men i forbindelse med flowmålingen (det bagerste lige rørstykke) er røret indsnævret til et DN65 mål for at få en så ren strømningsprofil ind til flowmåleren som muligt.

Vandreservoiret er en cylindrisk tank med åbent toplåg, således at den ikke kan tryksættes. Denne er ligeledes opbygget i rustfrit stål og rummer omkring 2000 liter.

Rørsystem og tank er fastmonteret på en stålramme (alm. stål), der står på fødder, så der kan komme en palleløfter ind under ved transport.

***Prøvestanden må kun flyttes, når den er uden vand!***

Med pumpeprøvestanden er der muligt, at køre pumpeprøvninger ifølge ISO 9906, og dermed optage uvildige pumpekurver på givne pumper.

Systemet kan ligeledes anvendes i undervisningsøjemed, hvor man vilkårligt kan sætte arbejds punkter efter behov, og dermed eksempelvis køre forskellige reguleringsformer på pumper (konstanttrykregulering, proportionaltrykregulering m.fl.).

Der kan tilkobles alverdens kombinationer af belastninger, ventiler og pumper på afgangssiden af standen helt efter behov.

Eksempelvis har der været monteret en strengreguleringsventil med tilhørende tilslutningsstudse, der er blevet anvendt i en undervisningssituation. Med denne opstilling er det muligt, at måle flowet i systemet, når man kender tryktabet hen over ventilen. En strengreguleringsventil er kendetegnet ved, at man kender sammenhængen mellem flow og tryktab i hele arbejdsområdet.



## 4 Instrumentering & dataopsamling

Med det pædagogiske mål for øje, er der blevet etableret instrumenter med displayvisning, som rent fysisk er placeret netop hvor målepunkterne tages. Alle målepunkterne har ligeledes udgangssignaler til dataopsamlingen. Instrumenterne på prøvestanden udgør:

- Flowmåling – Danfoss, MAGFLO MAG3100 DN65 + MAG5000 Signalomsætter
- Temperaturmåling – PR Electronics, 4 x Pt100 måler inkl. omsætter 4-20mA.
- Trykmåling – Bourdon Haenni, 2 x FlexBar HRT programmable

Tilmed anvendes følgende instrumenter der er en del af Teknologisk Instituts laboratorium faciliteter:

- Effektoptag – Voltech, Power analyzer PM3000
- Trykdifferens – Danfoss, PFM 3000 håndinstrument.
- Omdrejningstæller – Chauvin Arnoux, C.A 27 tachometer

Det er således muligt, at køre med pumpeprøvestanden både med og uden dataopsamling på pc. I undervisningsøjemed er det alt rigeligt, at kunne finde et givent arbejds punkt manuelt, og så notere de relativt få målinger i hånden ved eksempelvis optagelse af en pumpekurve.

### 4.1 Dataopsamling på Pc – LabVIEW

Til fuldautomatisk dataopsamling – og på sigt fuldautomatisk pumpeafprøvning - er der valgt en løsning med en stationær pc og dertil hørende LabVIEW dataopsamlingsprogram. Dette bliver i stor udstrækning også anvendt andre steder i laboratoriet på Teknologisk Institut, hvorfor hardware, software og ikke mindst erfaringen med samme er godt udbredt.

I den stationære pc'er sidder der et PCI 6014 dataopsamlingskort fra National Instruments (LabVIEW). Interfacet mod måledata er en flad modulkasse SC-2345 forbundet til Pc'en via et multikabel. I SC-2345 kassen sidder der forskellige A/D konvertere. I skrivende stund 4 stk. CI (Current Input) moduler samt 1 CO (Current Output). modul. Sidstnævnte er endnu ikke taget i anvendelse, men tænkes på sigt anvendt til styring af belastningen på prøvestanden.

Til forsyning af målepunkterne er en selvstændig DC spændingsforsyning 230V AC / 12V DC.

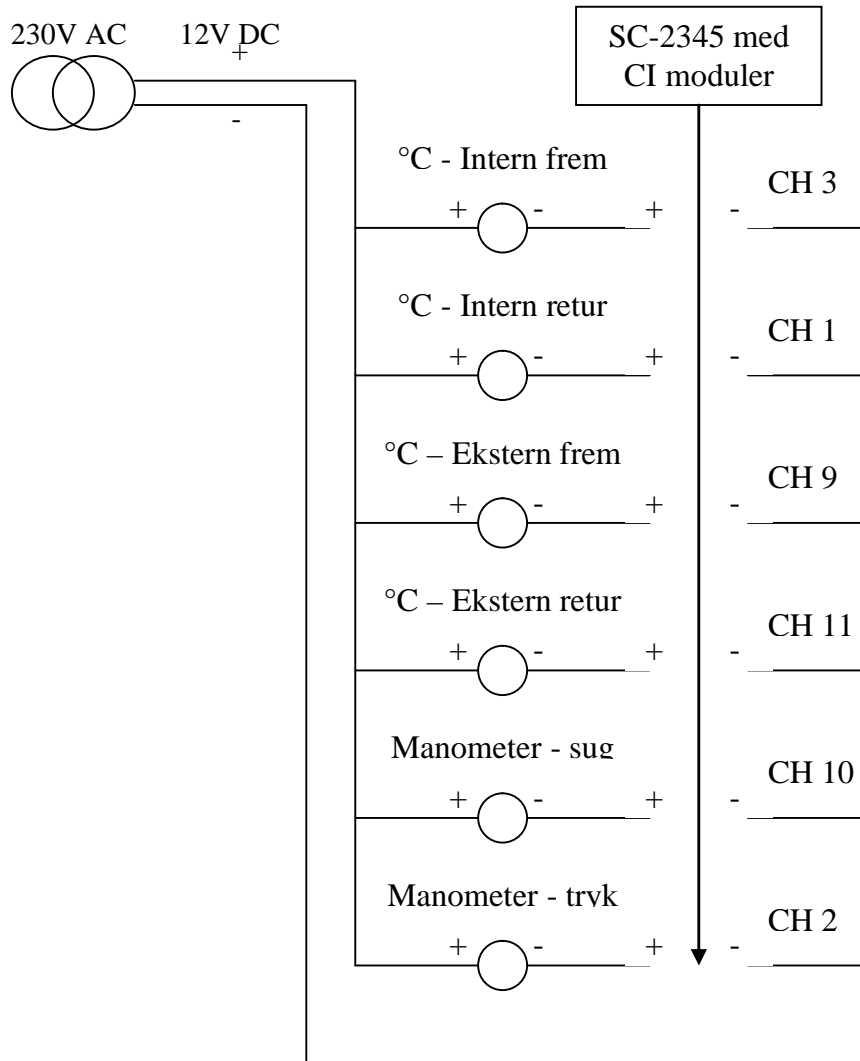
Hardwareoversigt:

- PCI 6014 dataopsamlingskort i PC
- SC-2345 modulkasse hvori samtlige kabler er monteret.
- 4 stk. CI (Current Input) moduler – anvendes

- 1 stk. CO (Current Output) modul – forberedt for hastighedskontrol af motor/pumpe
- Transformator: 230V AC / 12V DC

For alle instrumenters vedkommende er kablingen udført med skærmet 4 x 1 mm<sup>2</sup> LIYCY kabel fra Louis Poulsen, med leder nr. 1 som plus (positiv pol) og leder nr. 2 som minus (negativ pol)

Nedenstående 6 målesignaler er alle 4-20 mA.  
Fortrådningen er udført som følger:



Figur 4.1 Fuldautomatisk dataopsamling

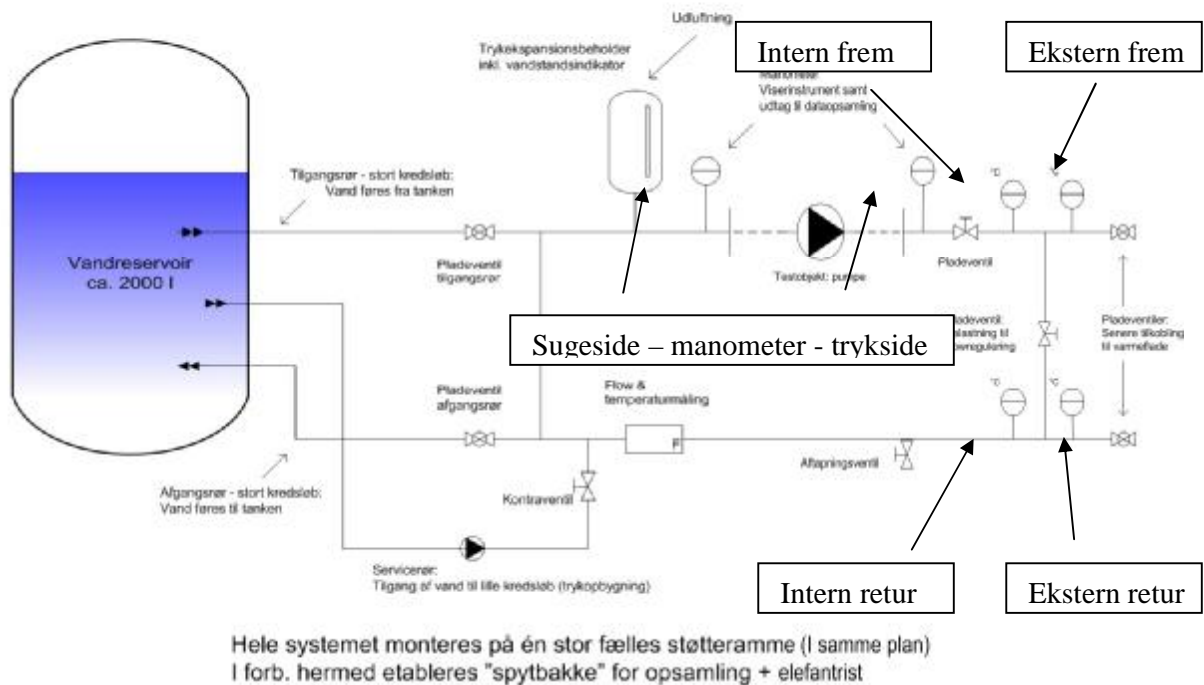
Flowmeteret – MAG 3100 med dertilhørende MAG 5000 signalomsætter, bliver forsynet fra en stikkontakt med 230V AC og har dermed en aktiv målekreds 4-20 mA. Denne er forbundet til CH 0 på SC-2345 boksen.

Resume af kanaler på SC-2345 boksen:

Indgang:	Signal:
<b>CH 0</b>	Flowmeter 4-20 mA, skaleret: $-0,01-99,45 \text{ m}^3 / \text{time}$ (kalibreret)
<b>CH 1</b>	Pt100 føler Intern retur 4-20 mA, skaleret: $0-100 \text{ }^\circ\text{C}$
<b>CH 2</b>	FlexBAR Manometer tryk 4-20 mA, skaleret: $0-6 \text{ bar}$
<b>CH 3</b>	Pt100 føler Intern frem 4-20 mA, skaleret: $0-100 \text{ }^\circ\text{C}$
<b>CH 9</b>	Pt100 føler Ekstern frem 4-20 mA, skaleret: $0-100 \text{ }^\circ\text{C}$
<b>CH 10</b>	FlexBAR Manometer sug 4-20 mA, skaleret: $-1-2,5 \text{ bar}$
<b>CH 11</b>	Pt100 føler Ekstern retur 4-20 mA, skaleret: $0-100 \text{ }^\circ\text{C}$

Forklaring til målepunkternes placering:

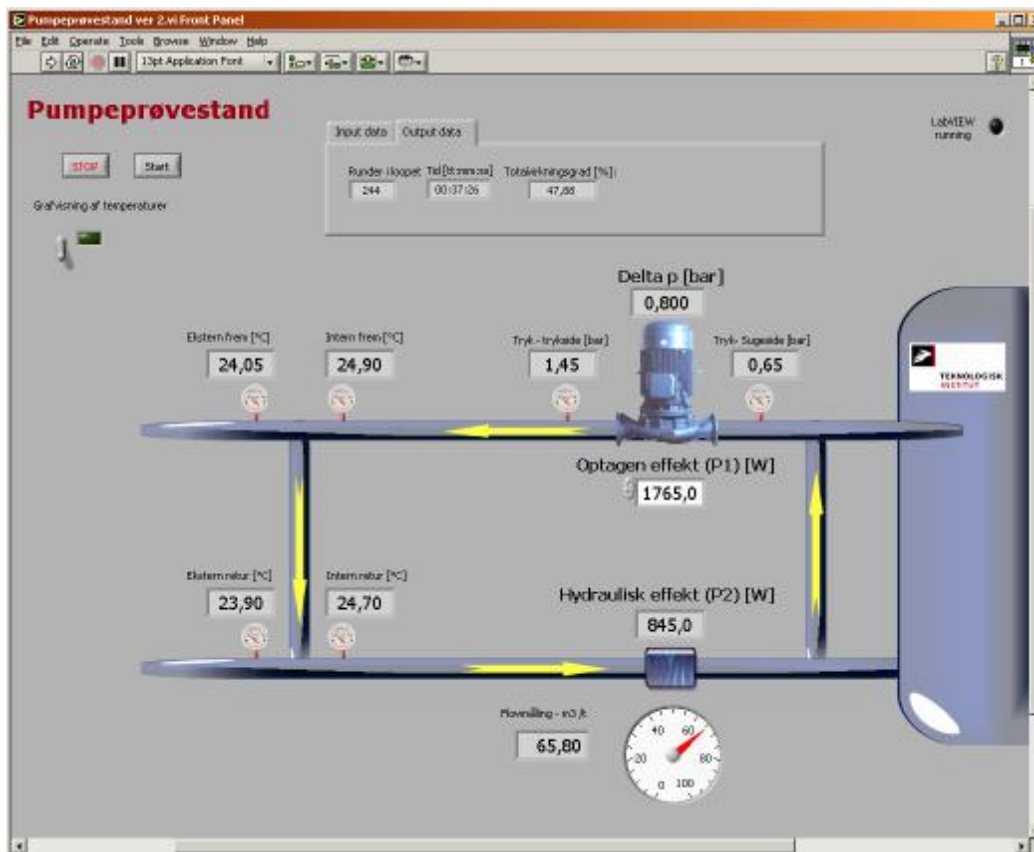
Pumpeprøvestand - endeligt design, 1. oktober 2003  
Overview / frontview



Figur 4.2 Placering af målepunkter

Softwaremæssigt er der i LabVIEW opbygget en dataopsamling, der viser de målte værdier på de respektive målesteder, samt udregner eksempelvis den hydrauliske effekt online, og dermed virkningsgraden på pumpen. Alle relevante data bliver gemt i en datafil for senere behandling. Diverse andre parametre kan ligeledes tilføjes og udregnes online.

Herunder et "screenshot" fra LabVIEW programmet:

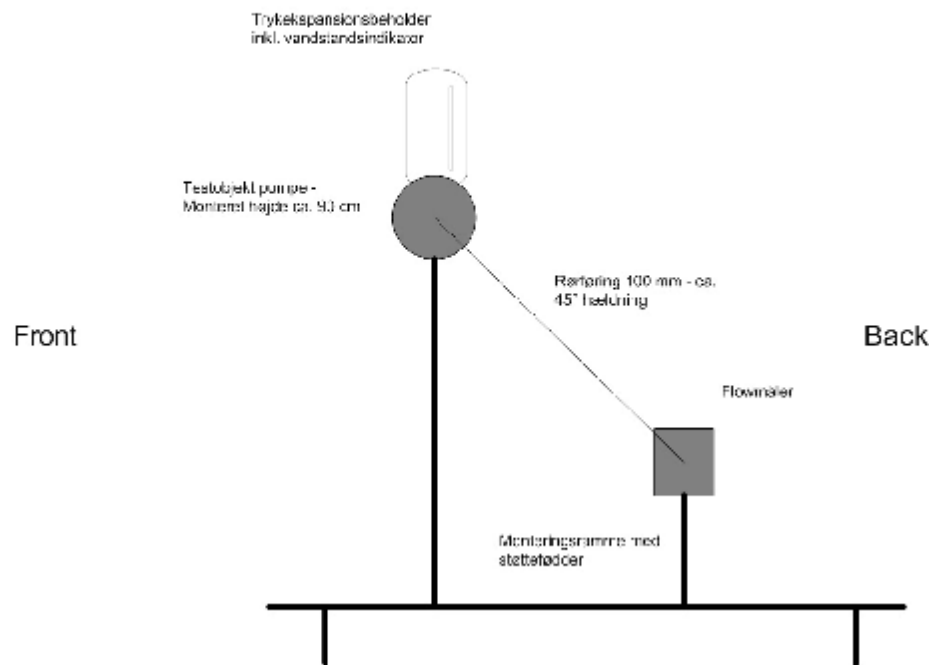


Figur 4.3 Labview skærbillede



Tegning af prøvestand sideview.  
Komponentplacering, layout med mere.

## Pumpeprøvestand - endeligt design, 1. oktober 2003 Sideview





## Bilag 2 – Tekniske specifikationer

Nøgletal for pumper til pumpeprøvestand:

- Pumpemedie - vand
- Flowmængde: 0 – 100 m<sup>3</sup>/h
- Løftehøjde: 0 – 1,5 mVs
- Optagen effekt: 0 – 5 kW
- DN100, DN80 eller DN50 tilslutning som standard (andre kan bestilles)
- Maksimalt indbygningsmål for pumper: 600 mm (afhænger af DN tilslutning)
- Maksimal vægt for pumper: 80 kg (afhænger af udformning på pumpen)
- Maksimalt statisk tryk for standen: 1,5 bar (lille kredsløb)

Instrumenter og måleusikkerheder:

- Flowmåling – Danfoss, MAGFLO MAG3100 DN65 + MAG5000 Signalomsætter. Katalogdata for usikkerhed: ± 0,5 % af målt værdi
- Temperaturmåling – PR Electronics, Pt100 måler inkl. omsætter 4-20mA og displayvisning. Katalogdata for usikkerhed: ± 0,1 % af skala ± 0,01 % af skala / °C – basisnøjagtighed for RTD ± 0,3 °C ± 0,01 °C/°C
- Trykmåling – Bourdon Haenni, FlexBar HRT programmable. Katalogdata for usikkerhed: ± 0,1 % af målt værdi + 1 ciffer
- Effektoptag – Voltech, Power analyser PM3000:

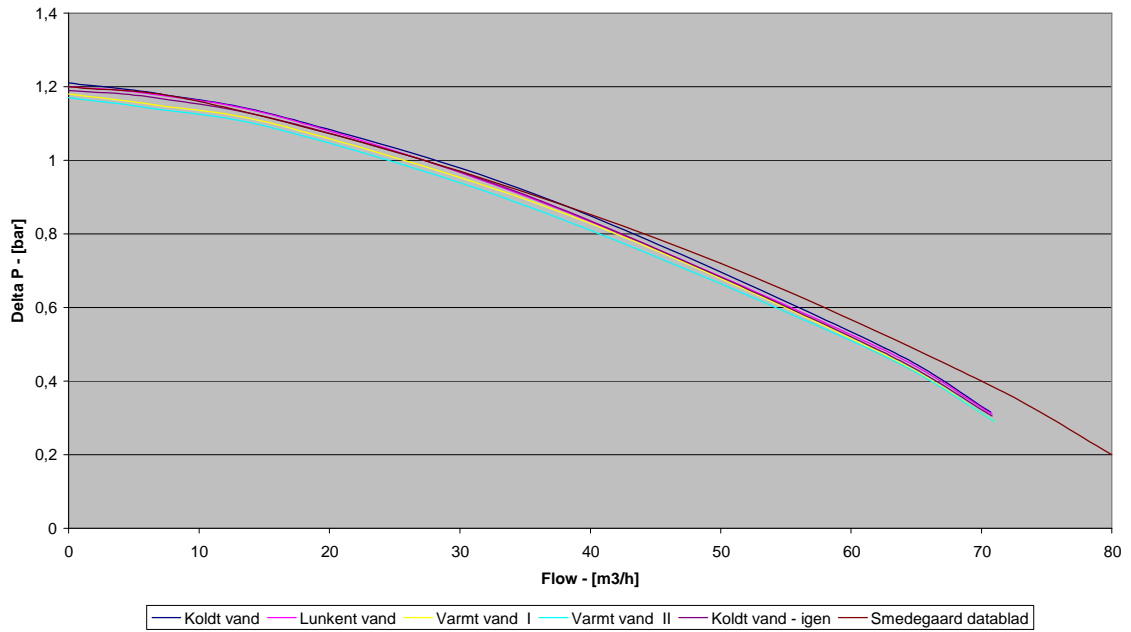
Udstyr	Parameter	Signatur	Usikkerhed
Effekt-analyser	Spænding	$U_1$	$\Delta U_1 = \pm 0,05\%$ af aflæsning ± 0,05% af område
	Strøm	$I_1$	$\Delta I_1 = \pm 0,05\%$ af aflæsning ± 0,05 % af område ± 100 µA
	Effekt	$P_1$	$\Delta P_1 = \sqrt{((I_{aflæst} \cdot \Delta U_1 \cdot \cos(j))^2 + (U_{aflæst} \cdot \Delta I_1 \cdot \cos(j))^2 + (0,04 / \cos(j))^2)}$ % af aflæst værdi <sup>2</sup> )

- Trykdifferens – Danfoss, PFM 3000 håndinstrument. Katalogdata for usikkerhed: ± 0,15 % af skala.
- Omdrejningstæller – Chauvin Arnoux, C.A 27 tachometer Katalogdata for usikkerhed: ± 1 rpm

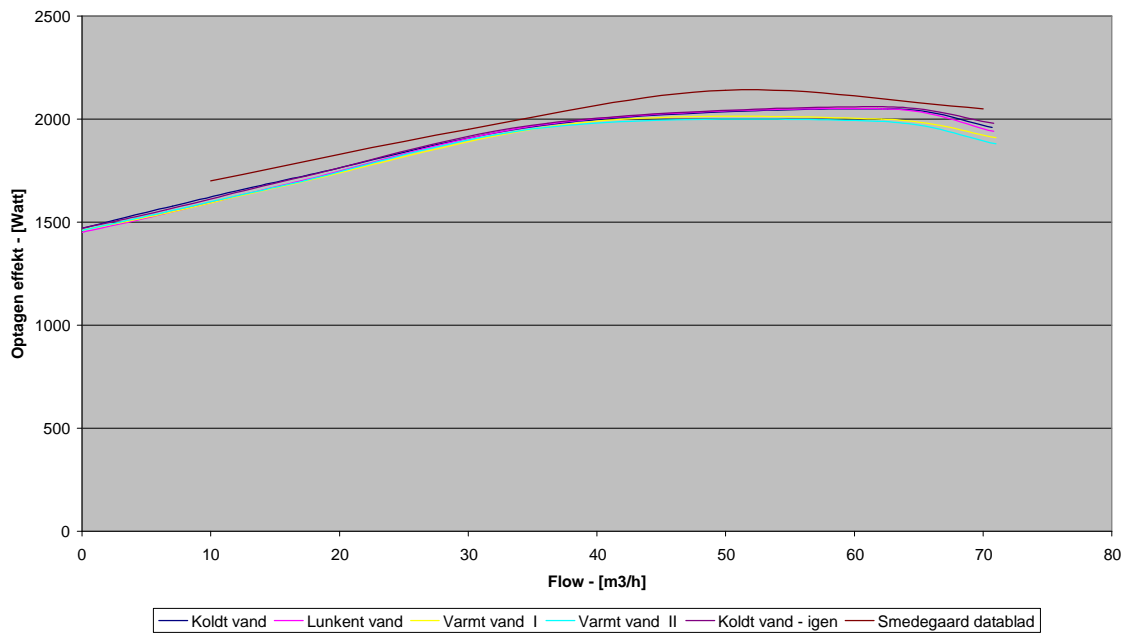
## Bilag 3 – Eksempel på pumpekurve (inkl. testmetode)

Herunder ses en optagen pumpekurve for en Smedegaard pumpe med tilhørende effektkurve:

Pumpekurve - Smedegaardpumpe EV8 - 100 - 2



Effektkurve - Smedegaardpumpe EV8 - 100 - 2



## Beskrivelse af testmetode for optagelse af pumpekurve

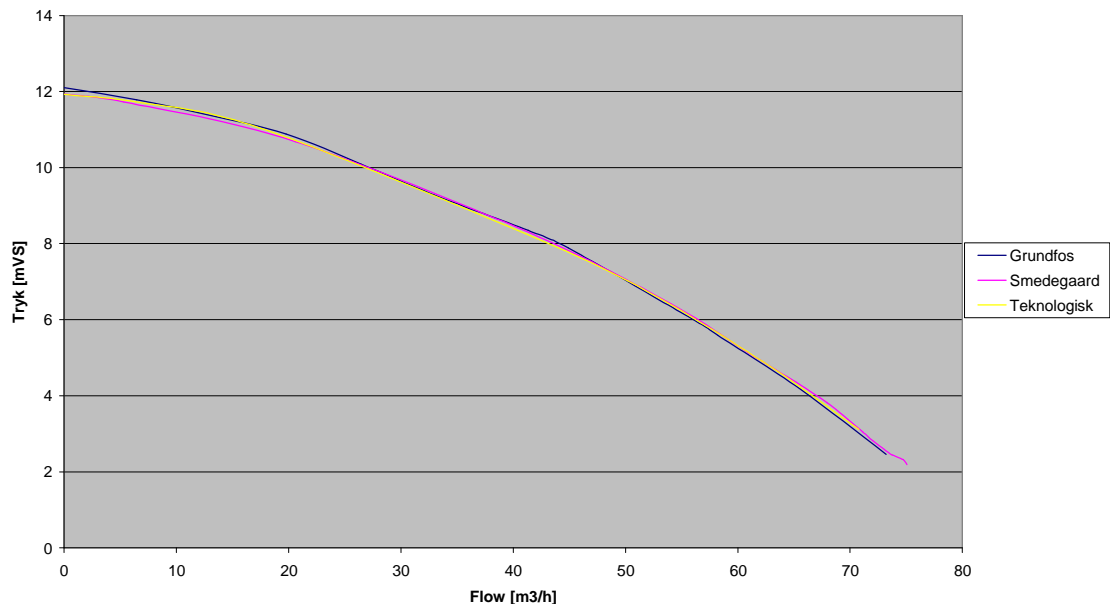
Metodikken for optagelse af ovenstående kurver er som følger:

1. Pumpen opspændes i bænken og startes op i et tilfældigt valgt arbejds punkt, hvor den skal køre i en periode lang nok til at pumpe systemet med videre er blevet driftsvarmt.
2. Herefter åbnes belastningen så meget som muligt for at få mest muligt flow igennem systemet. Løftehøjden (trykfylden på pumpen) falder tilsvarende.
3. Stepvist øges belastningen i eksempelvis 6-8 punkter ned mod blokeret pumpe – flow = 0. I hvert step afventes stabile tilstande. Flow, løftehøjde og effekt noteres for de enkelte punkter. Man kan ved 0 flow vælge at fortsætte op igen stepvist til fuldt flow for at eftervise repeterbarhed for målingerne. Dette er dog ikke et krav i følge ISO 9906.
4. Herefter føres målepunkterne ind i et regneark og der tegnes de to kurver som illustreret herover. Løftehøjde som funktion af flow samt Effekt som funktion af flow.
5. Der kan udvides med hastighedsregulerede pumper, variationer af regulering med mere, men igen, dette er ikke noget krav i forhold til en standard pumpekurve.

## Bilag 4 – Validering af prøvestand

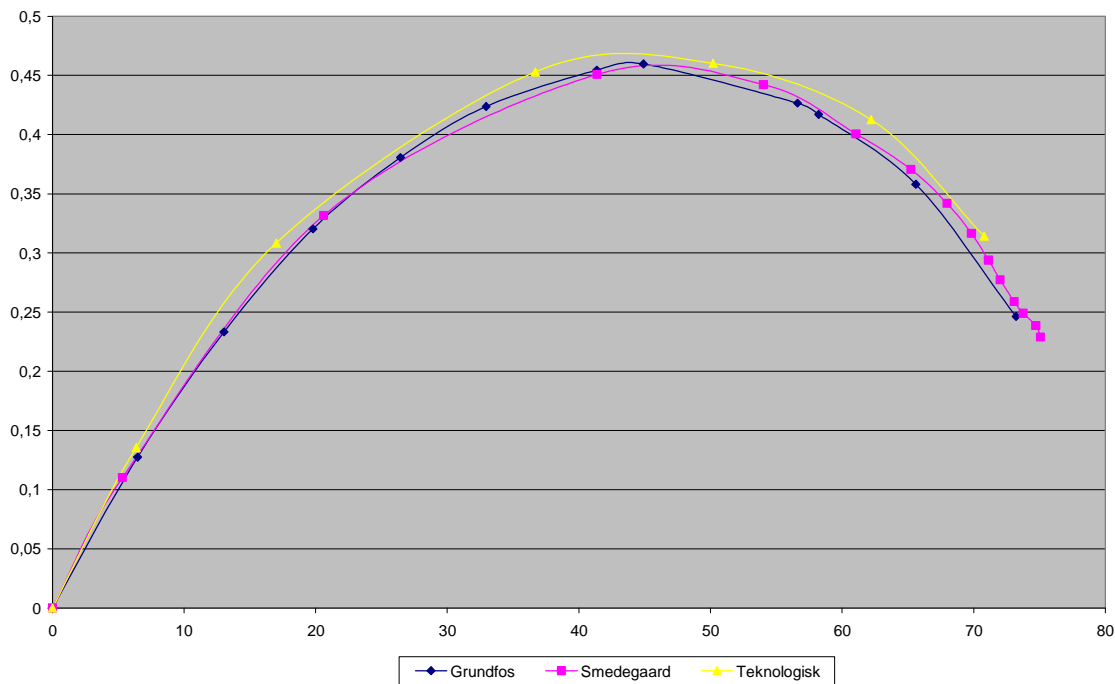
Til eftervisning af prøvestandens brugbarhed og funktionalitet, også i forhold til pumpeproducenter med mere, blev det i projektet besluttet at lade den samme pumpe ”gå på rundtur” mellem Teknologisk Institut, Smedegaard og Grundfos. Her blev der således optaget pumpekurver med tilhørende effektkurver på deres respektive prøvningsfaciliteter.

De tre optagne pumpekurver ses herunder i samme graf og resultaterne må konkluderes til at være ens.



*Opmålt pumpekurve hos henholdsvis Grundfos, Smedegaard og Teknologisk på samme pumpe i nettilsluttet tilstand.*

Endvidere er der på baggrund af de optagne data beregnet en total pumpevirkningsgrad (inkl. motor) under en drøvling af pumpen i nettilsluttet tilstand således, at hele flowområdet er målt igennem. Dog skal bemærkes at omdrejningstallet ikke er holdt helt konstant i denne driftsform.



Beregnet effektivitetskurve hos henholdsvis Grundfos, Smedegaard og Teknologisk på samme pumpe i nettilsluttet tilstand.

## **Bilag 5 – Pjecen – Valg af pumpe**

Kan rekvireres på: [helle.bohm@teknologisk.dk](mailto:helle.bohm@teknologisk.dk)