

Diffperm

Program til måling og beregning
af væskepermeabilitet
Version 1.0

Gert Andersen
Kernelaboratoriet

(1 CD-Rom inkluderet)



Diffperm

Program til måling og beregning
af væskepermeabilitet
Version 1.0

Gert Andersen
Kernelaboratoriet

(1 Cd-Rom inkluderet)

Indhold

| | | |
|------------|--|-----------|
| 1. | Introduktion | 5 |
| 2. | Program beskrivelse | 6 |
| 2.1 | Generelt | 6 |
| 2.1.1 | Styremetoder (Automatisk eller manuel drift) | 7 |
| 2.1.2 | Batchmode eller recirkulation | 7 |
| 2.1.3 | Mettlervægt eller ingen vægt | 8 |
| 2.1.4 | Analog/Digital konvertere med transducere | 8 |
| 2.1.5 | Transducer typer | 8 |
| 2.1.6 | Pharmacia pumpe og interface | 8 |
| 2.2 | Programmets funktion | 9 |
| 2.2.1 | Hovedmenuen | 9 |
| 2.2.2 | Filstruktur | 9 |
| 2.2.3 | Driftsmuligheder | 10 |
| 2.2.4 | Inddata | 11 |
| 2.2.5 | Uddata | 12 |
| 2.2.6 | Beregninger | 12 |
| 2.3 | Funktioner i hovedmenuen | 13 |
| 2.3.1 | Konfigurer | 13 |
| 2.3.2 | Pumpe kalibrering | 14 |
| 2.3.3 | Pharmacia pumpe | 15 |
| 2.3.4 | Projekt opsætning | 16 |
| 2.3.5 | Start automatikken | 17 |
| 2.3.6 | Styring | 17 |
| 2.3.7 | Graf | 19 |
| 2.3.8 | Fortsæt | 19 |
| 2.3.9 | Stop | 19 |
| 3. | Eksempler på anvendelse | 20 |
| 3.1 | Pharmacia pumpe | 20 |
| 3.2 | Kalibrering | 20 |
| 3.2.1 | Danne fil med 3 datasæt | 20 |
| 3.2.2 | Komponere fil med mange datasæt | 21 |
| 3.2.3 | Projekt med konstant opstrømstryk | 21 |
| 3.2.4 | Konstant flowrate | 21 |
| 4. | Dansk metodebeskrivelse | 22 |
| 4.1 | Instrumentering for væskepermeabilitet | 22 |
| 4.2 | Permeabilitet og hydraulisk konduktivitet | 23 |
| 5. | Engelsk metodebeskrivelse | 24 |
| 5.1 | Hardware and setup | 24 |

| | |
|--|-----------|
| | 4 |
| 5.2 Permeability and hydraulic conductivity | 25 |
| 6. Installation og udstyr | 26 |
| 6.1 Installation | 26 |
| 6.1.1 Universal Library og CIO-CTR05 counterkort | 26 |
| 6.1.2 DiffPerm | 26 |
| 6.2 Kabler | 27 |
| 6.2.1 Digital Pressure Indicator - DPI 420 | 27 |
| 6.2.2 Temperatur panelmeter | 27 |
| 6.2.3 PJ-serie Mettlervægt | 28 |
| 6.2.4 Pharmacia - CIO-CTR counterkort | 28 |
| 6.3 Transducere og sensorer | 28 |
| 6.3.1 Druck DPI420 | 29 |
| 6.3.2 Temperatur panelmeter | 30 |
| 6.4 Udviklingsmiljø og source kode | 30 |
| 7. Bilags liste | 31 |

1. Introduktion

Denne rapport er en dokumentation for programmet "DiffPerm". DiffPerm er udviklet til brug for at bestemme væskepermeabiliteten af cylindriske porøse prøver.

Programmet er designet til at køre under Windows98, og er en delvis portering af et tidligere program designet til at køre under Dos. Dette Dos program har været anvendt til kommercielle opgaver, dog uden at være nærmere dokumenteret.

Ved udviklingen af DiffPerm er der taget hensyn til at opnå følgende projektmål:

- Brugervenligt Windows interface.
- Valgfri setup af forsøgsopstilling.
- Kort vejledning for daglige brugere (eksempler).
- Dokumentation for datakvalitet gennem dokumentation for programkode og analysemetode. Samtidig sikre mulighed for eventuelle senere modifikationer og videre udviklinger.
- Struktureret filhåndtering.
- Temperatur korrektion ved alle beregninger.
- Kalibrering og kontrol af pumpekarakteristik for Pharmacia pumper.
- Maksimal opløselighed for flowrater på Pharmacia pumper.
- Mulighed for flowrater i intervallerne 0.00995-1ml/t.
- Mulighed for flowrater i intervallet 499-900ml/t i forbindelse med forberedelser og anden øvrig brug af Pharmacia pumper.
- Mulighed for at vælge Pharmacia pumpens funktion "solvent change" ved såvel vilkårlige flowrater som ved vilkårlige batch voluminer.
- Maksimal beskyttelse mod overbelastning af tryktransducere.
- Etablering af komplet installationsdisk. Både af hensyn til muligheden for at kunne dublere forsøgsopstillingerne, og for at kunne genoprette forsøgsopstillingerne ved uplanlagte problemer, som f.eks. brand eller computernedbrud.

Programmet er desuden tiltænkt som grundlaget for et efterfølgende program til en forsøgsopstilling med måling og beregning af relativ permeabilitet. Funktioner og interface i det nuværende program skal derfor først afprøves ved praktisk brug.

Der har, samtidig med målene for denne programudvikling, vist sig at være et behov for at programmet også kan håndtere NAPL-væsker (Non Aqueous Phase Liquids). Dette betyder, at væskeviskositeten bestemmes som funktion af både temperaturen og tryktabet når væsken passerer prøven.

2. Program beskrivelse

2.1 Generelt

Programmet kontrollerer Pharmacia pumpen og overvåger temperatur, sleevetryk, opstrømstryk, differensstryk og aktuelle flowrater under driften. Afhængig af den valgte opsætning, så beregnes den aktuelle flowrate ud fra den masse der forbruges fra den tilsluttede vægt, eller ud fra en given kalibrering af Pharmacia pumpen.

Det foretrækkes at beregningerne bygger på vejedata, idet en eventuel blokering af Pharmacia pumpen af den indbyggede funktion "limit" straks vil blive erkendt af programmet. Til gengæld, så forudsætter denne beregningsmetode at

- Vægten er nøje kalibreret og balanceret
- Væsken på vægten er korrekt beskrevet v.h.a. indlæste datafiler for temperatur, densitet og viskositet.
- Der ikke sker fordampningstab fra beholderen og slangerne på vægten
- Slangerne til beholderen på vægten ikke påvirker vægtens visninger.

Hvis der vælges en opsætning uden tilsluttet vægt, så er der risiko for at programmet benytter forkerte flowrater ved beregning af permeabilitet og batchvolumener, idet programmet ikke monitorer "limit" funktionen på Pharmacia pumpen. Brugen af denne opsætning forudsætter desuden at pumpen i forvejen er nøje kalibreret, og dette gøres iøvrigt v.h.a. en vægt. Hvis der ikke er en vægt til rådighed, så må der alternativt blot defineres en mere upræcis kalibreringsfil med det deraf følgende niveau for datakvaliteten. Typisk defineret som om pumpen er en perfekt pumpe. Metoden uden brug af vægt er brugbar i det tilfælde hvor prøver blot skal flushes m.h.p. rensning, eller hvor der ikke er behov for præcise permeabilitetsdata.

Funktionen for kalibreringen af Pharmacia pumpen giver mulighed for

- Løbende at checke pumpernes funktion m.h.p. vedligeholdelse (selv kalibreringen er en logfil med udskrift af ydelse som funktion af tiden, og dermed også med mulighed for at afsløre eventuelle irregulariteter i stemplerne). Og det skal her nævnes at filnavne for kalibreringsfiler er unikke m.h.t. pumpenavn, dato og tidspunkt.
- Udføre kalibreringer designet til specielle forhold. Der kan f.eks. tænkes at blive udført kalibreringer ved særligt høje opstrømstryk, og kalibreringer ved meget lave opstrømstryk. Eller der kan tænkes udført kalibreringer på væsker med forskellige viskositeter samt molekylestørrelser.

Programmet har en generel målecyklus hvor 5 tryksensorer på skift aflæses fra DPI420 konverteren, og 2 temperatur sensorer aflæses fra Panelmeteret, og hvor en eventuel vægt også aflæses. Dette tager cirka 20-25 sekunder hvor computeren er travlt optaget med denne opgave. Efterfølgende er der 2-3 sekunder hvor brugeren har mulighed for at gøre indgreb. Disse indgreb kan godt gøres mens computeren har travlt med målingerne, og indgrebet vil så blot blive udført umiddelbart efter en cyklus. Men det betyder dog at brugeren generelt skal bruge programmet med **meget stor tålmodighed**, og aldrig give mere end en ordre til computeren ad gangen.

Den krævede tålmodighed fra brugeren er prisen for at det har fået højst prioritet, at computeren bruger det meste af tiden på at måle og kontrollere tilstanden omkring plug, transducere og kerneholder. - Programmet måler for en sikkerheds skyld også på de 2 transducere som der altid

vil være til overs ved denne transducer konfiguration. Dette er for en sikkerheds skyld, idet brugeren jo teoretisk kan komme til at glemme at lukke for ventilerne til disse transducere, og dermed tilføre skader på disse. - Programmet stopper fuldstændigt hvis der registreres utilladelige høje værdier på transducerne.

Programmet forsøger også at opretholde det valgte konstante tryk eller konstante flowrate (afhængigt af brugerens valg). Men flowraten reduceres under alle omstændigheder hvis opstrømstrykket kommer utilladeligt nær på sleevestrykket.

2.1.1 Styremetoder (Automatisk eller manuel drift)

Programmet skal enten sættes til at virke ved en konstant flowrate eller ved et konstant opstrømstryk på pluggen.

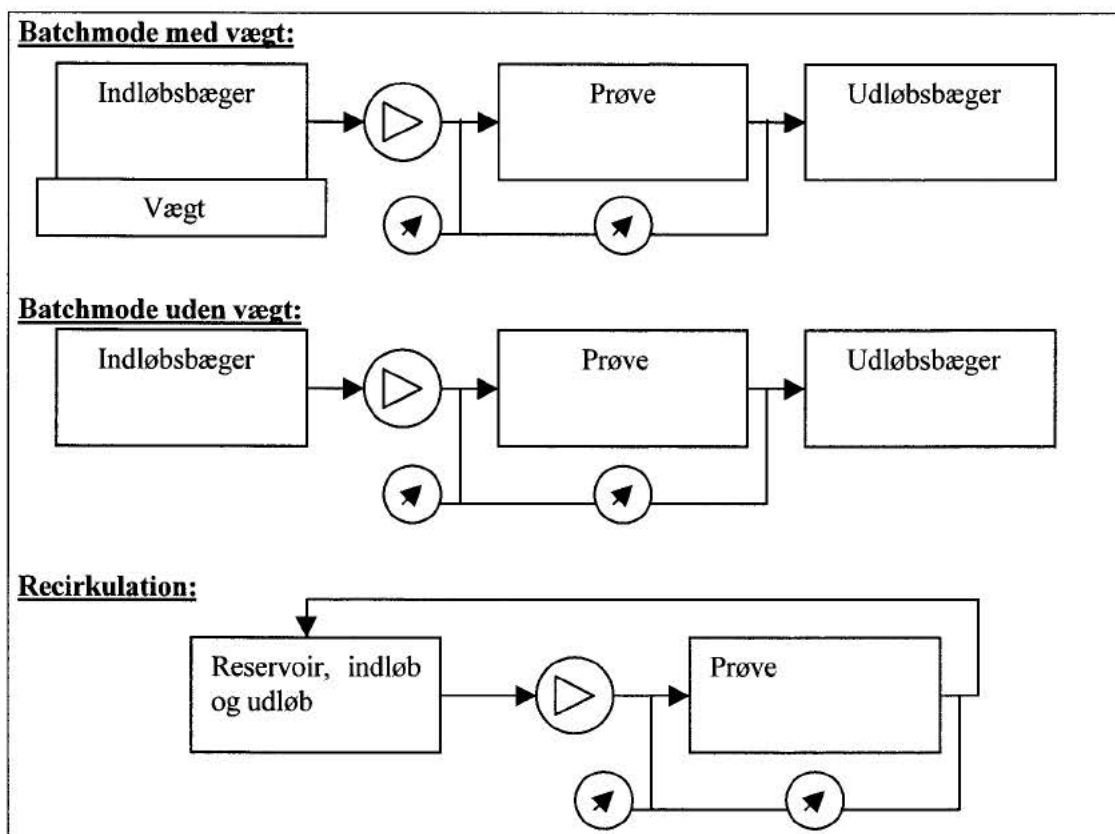
Det er fælles for begge styremetoder, at flowraten dæmpes, ellers stoppes fuldstændigt, hvis det konstateres, at opstrømstrykket er i alvorlig risiko for at overskride sleevestrykket (v.h.a. en trykmargen defineret af brugeren).

Styremetoden "konstant flowrate" er den velkendte metode således som den traditionelt kendes fra manuel brug af en Pharmacia pumpe. Dog med langt større frihedsgrad til at vælge flowrate (Bl.a. med ydelser under 1 ml/t og ned til 0.00995ml/t).

Ved styremetoden "konstant tryk" sørger programmet hele tiden for at regulere flowraten således at opstrømstrykket på pluggen fastholdes på den planlagte værdi.

2.1.2 Batchmode eller recirkulation

Programmet er designet til styre flere setup kombinationer:



Ved recirkulation pumpes der ubegrænset indtil brugeren standser processen. Og regnskabet med de gennempumpede voluminer og pumpeydelse bygger udelukkende på tillid til en korrekt pumpekarakteristik.

I batchmode pumpes væske fra et reservoir (beholder/bæger) til et andet. Og der angives et indløbs- og udløbsvolumen for begge disse beholdere. Programmet vælger det mindste volumen, og der pumpes kun indtil dette volumen er opnået.

2.1.3 Mettlervægt eller ingen vægt

I batchmode er det valgfrit om der skal benyttes en Mettlervægt til kontrol af indløbsvolumen, eller om der udelukkende skal stoles på pumpens karakteristik. Hvis det er angivet at der anvendes en vægt, så vil programmet anvende informationerne herfra til beregning af pumpeydelsen. Dette har specielt en fordel hvis pumpen går i limit.

Ved recirkulation beregnes flowstørrelserne som nævnt udelukkende ud fra pumpens den nominelle ydelse som fås fra pumpens karakteristik.

2.1.4 Analog/Digital konvertere med transducere

Instrumentet DPI420 anvendes til brug for måling af sleeve-, opstrøms- og differenstryk. Instrumentet er, sammen med Panelmeteret, tidsmæssigt programmets største begrænsning. Det tager nogen sekunder at gennemføre en sekvens bestående af 5 målinger fra DPI420 og 2 målinger fra Panelmeteret.

Til brug for måling af temperaturen anvendes en A/D-converter kaldet "Panelmeter", hvorpå der er tilkoblet 2 temperaturfølere. Følerne er placeret på h.h.v. indløbet og udløbet. Nærmere dokumentation for instrumenteringen af denne hardware findes ikke.

2.1.5 Transducer typer

DiffPerm måler tryktabet over pluggen v.h.a. differenstryktransducere, mens øvrige tryk måles ved direkte tryktransducere. Opstrømstrykket, som benyttes som grundlag for pumpestyringen og overvågningen, måles v.h.a. en transducer der måler det absolutte tryk, hvorved der som udgangspunkt er reduceret for atmosfære trykket. Der er som default anvendt standard værdier 1.013bar for atmosfæretrykket. Denne reduktion fremgår af **Setup.prn** filen, og kan evt. være justeret af brugeren.

2.1.6 Pharmacia pumpe og interface

Programmet forudsætter, at der er installeret et "Computerboard" counterkort på computeren. Til DiffPerm's nuværende version er det tilstrækkeligt med kortet CIO-CTR05 der kan styre 1 pumpe.

Kortene fungerer således at computeren sender en besked til kortet om at udsende en bestemt frekvens af TTL pulser. Kortet vil herefter sende denne frekvens indtil det får en ny kommando, og optager/generer ikke computerens CPU i denne mellemliggende tid. Computeren vil derfor kunne fortsætte med andre aktiviteter som f.eks. at kommunikere med A/D-konverterne.

2.2 Programmets funktion

2.2.1 Hovedmenuen

Programmet har en hovedmenu, hvor menuens punkter løbende tændes og slukkes efter behov. Brugeren har således hele tiden kun adgang til de funktioner der aktuelt er brugbare.

Som hovedregel skal menuens punkter gennemløbes fra venstre mod højre, som når man læser en bog.

Programmet er generelt søgt sikret mod de uhensigtsmæssige konflikter der kan opstå som følge af "multitasking" i Windows. D.v.s., at der ikke kan være to processer igang på samme tid, herunder skrivning til filer. Der kan ligeledes også kun være et DiffPerm.exe program i funktion på computeren ad gangen. Programstart nr. 2 vil afslutte sig selv når programmet i opstarten konstaterer, at der allerede er starte et andet program på computeren.

2.2.2 Filstruktur

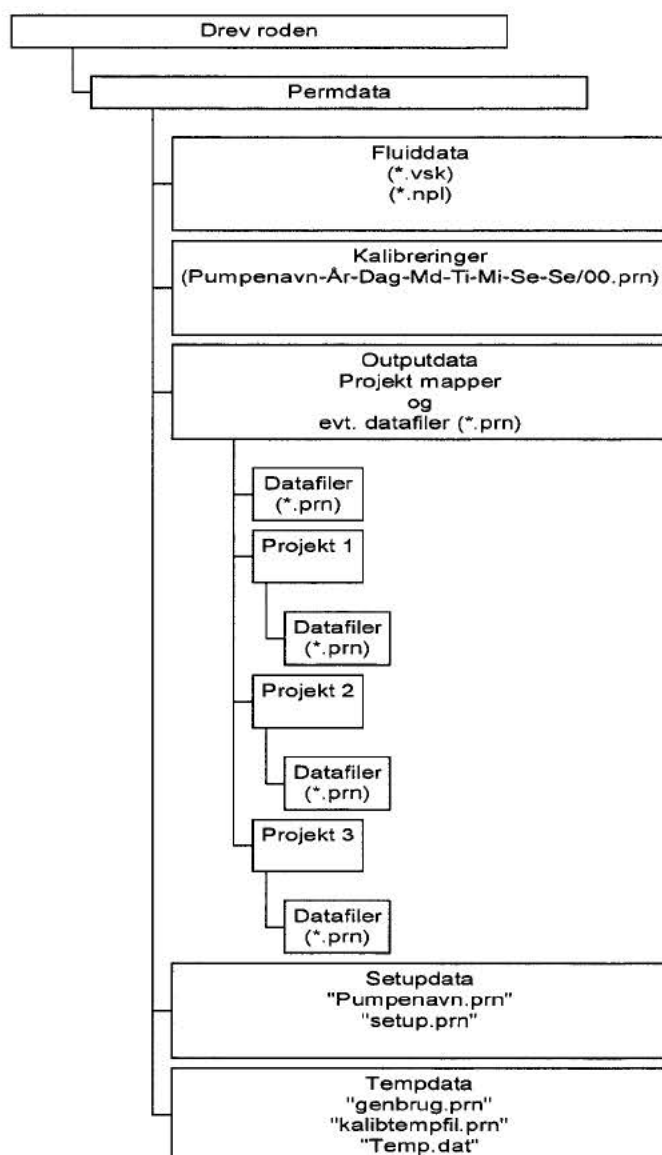
Programmet opretter det nedenstående system af biblioteker og filer i roden på det samme drev hvor programmet er installeret. Hvis dette bibliotekssystem, eller dele af det, ikke findes i forvejen, så oprettes det af programmet.

Nogen af filerne **setup.prn** og **genbrug.prn** bliver genereret første gang programmet anvendes. **Setup.prn** etableres med default værdier, og revideres hvis brugeren ændrer disse. **Genbrug.prn** bliver oprettet og revideret for hver gang et nyt projekt startes.

Filen **Pumpenavn.prn** indeholder navne på alle laboratoriets Pharmacia pumper. Hvis nye pumpenavne skrives ved staren af en ny kalibrering, så vil dette navn også blive tilføjet i listen, eller rettere som endnu en linie i filen **Pumpenavn.prn**. Pumpenavnet indgår i opbygningen af et filnavn til en kalibreringsfil (sammen med det aktuelle tidspunkt) til en fil af typen ***.kal**. Derved fremgår pumpenavn og kalibreringstidspunkt altid direkte af navnet på kalibreringsfilen, og derved lettes valget af eksisterende kalibreringsfil.

Et eventuel reset af programmet kan således foretages ved blot at slette disse filer.

Der er generelt sikret mod, at programmet overskriver eksisterende datafiler.



2.2.3 Driftsmuligheder

Man kan benytte programmet til følgende processer:

- Interface til Pharmacia pumpen
- Kalibrering af en Pharmacia pumpe
- Måling af permeabilitet ved recirkulation, enten ved konstant tryk eller konstant flow
- Måling af permeabilitet i batch mode, enten ved konstant tryk eller konstant flow

Ved anvendelse som interface til Pharmacia pumpen er det muligt at vælge mellem ubegrænset drift, og begrænset drift (svarende til at programmet kun tillader at pumpe et begrænset volumen fra indløbsbeholderen). Programmet monitorer trykket på alle transducerne, og vil standse helt hvis de bliver overbelastet.

Moniteringen af tryktransducerne er tidskrævende og CPU belastende, og det betyder at computeren generelt er optaget af kommunikationen med instrumenterne, og dermed at det kræver en vis tålmodighed at betjene programmet.

Ved den begrænsede drift skal der angives det volumen som der ønskes skyllet gennem systemet. (Og funktionen er analog til Pharmacia pumpens egen funktion "Solvent Change", blot at brugeren selv skal definere skyllevolumenet og den flowrate der skal benyttes til skyllingen. Pumpen benytter ikke Mettler vægten til denne drift, og ydelsen bygger alene på pumpe karakteristikken som den kendes fra den valgte kalibreringsfil (*.kal).

Ved brugen som almindeligt interface er det desuden muligt at overskride pumpens normale maksimale ydelse på 499ml/t således at der kan ydes op til 900ml/t. Det er samtidigt muligt at benytte flowrater ned til 0,00995ml/t.

Ydelser over 499ml/t kan være forbundet med pumpe svigt, og ydelser mellem 499 og 900ml/t er kun testet ved pumpning uden systemmodstand. For at kunne garantere kvaliteten af målingerne, er det derfor kun muligt at opnå ydelser op til 499ml/t når et projekt først er startet op.

Under måling er det muligt at ændre på flowrater, styretryk, sikkerhedsmargin mellem sleeve og opstrømstryk, samt de parametre der iøvrigt indgår i programmets styrerutiner.

Kalibreringen af en Pharmacia pumpe kræver samtidig anvendelse af en Mettler vægt, mens det er valgfrit om der skal benyttes vægt ved permeabilitet i batch mode.

2.2.4 Inddata

Programmet genererer selv de fleste filer. D.v.s. kalibreringsfiler, fluiddatafiler, genbrug mm. Men brugeren kan også selv oprette og indtaste nye filer hvis det skulle være nødvendigt.

Der er generelt den regel for programmets datafiler at en stjerne (*), oftest i starten af en linie, indikerer, at der følger et datasæt som er beregnet til indlæsning i programmet. Programmet leder ganske enkelt efter den næste stjerne i ASCII filen, hvorefter den indlæser et specificeret datasæt. Dette betyder at der kan indsætte et vilkårligt antal linier mellem hver datalinie, og at der kan være en vilkårlig tekst på disse linier blot den ikke indeholder karakteren stjerne (*). Det betyder også, at man kan appende flere filer for at øge detaleringsgraden af kalibreringsfiler og fluiddatafiler.

Programmet sorterer de indtastede værdier når de er indlæst fra filen. Og ved beregninger udføres derefter lineær interpolation eller lineær ekstrapolation for at beregne den korrekte værdi til beregningerne. Hvis der kun er et datasæt, så anvendes dette uden yderligere beregninger. Hvis der ikke er nogen data overhovedet, så afbrydes programmet. Metoden anvendes på følgende filer:

- Beregning af korrektionsfaktor som funktion af tiltænkt flow for Pharmacia pumpen.
- Beregning af densitet og viskositet som funktion af målt temperatur.
- Beregning af korrektionsfaktorer for densitet og viskositet som funktion af stress (NAPL).

Der er ingen faciliteter til at generere filer for fluiddata. Dem skal brugeren selv indtaste. Alle laboratoriets data indtil september 2001 er på forhånd indtastet og leveret på den medfølgende CD-rom.

Fluiddatafilerne er opdelt i filerne *.vsk som indeholder sammenhørende data for temperatur(C), densitet(g/ml) og viskositet(cP) og i filerne *.npl som indeholder sammenhørende data for stress(bar/mm), densitetskorrektion(faktor) og viskositetskorrektion(faktor).

Der er plads til 1000 datalinier (datasæt) i hver inddatafil.

2.2.5 Uddata

Data skrives til den output datafil som brugeren specificerer ved starten af et projekt. I denne fil skrives samtlige de oplysninger der er tilgængelige, herunder indholdet af de anvendte kalibreringsfiler, fluiddatafiler, og eventuelt NAPL-datafiler, således at det til enhver tid er muligt at kontrollere og evt. korrigere data.

Kalibreringsfilen indeholder på samme måde alle de målinger der ligger til grund for beregningen af de korrektionsfaktorer som benyttes under afviklingen af et projekt. Det giver mulighed for mere detaljeret at analysere funktionen af Pharmacia pumpen. Og det giver mulighed for mere målrettet problemløsning ved f.eks. at identificere utætheder som følge af slitage på o-ringe, eller på den ene af cylindrene.

Overskrifter og søjler i output datafilen er struktureret således at data både er læsevenlige ved direkte udskrift, og samtidigt smidige at importere i et regneark.

2.2.6 Beregninger

Programmet beregner en permeabilitet hver gang skærmbillede opdaterer grafen for hele projektføreløbet. Typisk for hver 300 sek. Ved denne opdatering er såvel tryk som flow blevet integreret op over tiden. Disse data benyttes til beregning af middelværdier for tryk og flow, og videre som inddata til beregningen af permeabiliteten.

Som inddata til permeabiliteten og flowberegningen (hvis Mettlervægten er valgt) benyttes også de temperaturkorrigerede værdier for densitet og viskositet. Temperaturkorrektionen for densitet og viskositet sker ved lineær interpolation, eller ekstrapolation, på de data der er indlæst via fluiddata filen.

Hvis der desuden er valgt en NAPL-datafil, så vil både densitet og viskositet blive multipliceret med den værdi som fremgår af den valgte NAPL-datafil. Inden denne multiplikation bestemmes værdierne ved lineær interpolation, eller ekstrapolation, på de sammenhængende værdier mellem stress, densitet og viskositet der findes listet i NAPL-datafilen.

I programmets nuværende version er der ingen kontrolrutiner til at sikre mod at der beregnes negative faktorer, og det kan derfor tilrådes at indtaste et sæt data for urimeligt høje stress værdier og urimeligt lave stress værdier.

2.3 Funktioner i hovedmenuen

Programmets menu har følgende emner:

- Konfigurer
- Kalibrering
- Pharmacia pumpe
- Projekt opsætning
- Start automatikken
- Styring
- Graf
- Fortsæt
- Stop

2.3.1 Konfigurer

Konfigurer kalder kortvarigt et billede der viser hvorledes de serielle porte er konfigureret. Den aktuelle konfiguration findes gemt i ASCII filen "Drev:\permdata\setupdata\setup.prn".

Hvis brugeren ønsker at editere, eller gennemse denne opsætning, så skal der trykkes på billedet i det korte øjeblik det vises på skærmen. Alternativt kan der editeres i ASCII filen "Setup.prn".

Hvis der ikke findes en "setup.prn" fil, så vil programmet generere en ny fil som er default gældende for en Siemens Nixdorf PCD-5H 90MHz maskine med følgende tilslutninger:

Comport 1: Panelmeter med 2 temperatur sonder.

Comport 3: Mettler PJ400 vægt.

Comport 4: Druck DPI 420 A/D converter.

Druck DPI 420 A/D converteren skal være monteret med følgende sensorer:

- Kanal 1: Difftryk 700mb
- Kanal 2: Difftryk 7bar
- Kanal 3: Difftryk 35bar
- Kanal 4:
- Kanal 5: 135 bar sleevetryk
- Kanal 6: 35 bar opstrømstryk, absolut tryk
- Kanal 7:

I den nuværende programversion er der ikke mulighed for at flytte sensorerne til andre kanaanler på DPI420 instrumentet. Brugen af kanalerne skal være præcist som beskrevet i listen ovenfor. Og det skal specielt bemærkes, at tryktransducere i kanal 6 måler det absolutte tryk, og at dette tryk derfor i softwaren reduceres 1.013 bar pr default. (Brugeren har dog mulighed for at justere denne værdi).

Der findes desuden et sæt parametre til brug for hver enkelt af de serielle kommunikationsporte og tilkoblede instrumenter. Herunder et nødvendigt antal timeout konstanter hvis antal er forskelligt fra instrument til instrument.

Der skal formodentligt justeres på timeout konstanterne ved installation på maskiner med andre processor hastigheder. I den forbindelse skal default værdierne formodentligt blot multipliceres med forholdet mellem F/90. Hvor F er frekvensen i Hertz på den aktuelle maskine.

2.3.2 Pumpe kalibrering

Hvad det går ud på

En kalibrering er en pumpekarakteristik for Pharmacia pumpen, og der genereres korrektionsfaktorer som funktion af pumpeydelsen. Kalibreringsfilerne indeholder oplysninger om aktuelle temperaturer og opstrømstryk under kalibreringen, og der er derved også mulighed for at generere kalibreringsfiler til brug under specielle temperatur og trykforhold.

Ved kalibrering skal der enten vælges en tidligere kalibrering af Pharmacia pumpen, eller også skal der genereres en helt ny.

Hvorledes pumpen virker

Programmet er designet således at de fleste Pharmaciapumper vil fungere korrekt ved korrektionsfaktoren 1. Men små afvigelser kan forekomme fra pumpe til pumpe, og efterhånden som o-ringe m.m. bliver slidt eller udskiftet med andre typer.

Pharmacia pumpen drives ved hjælp af en frekvens af on/off TTL spændinger (transistor-transistor logic) der sendes fra et counterkort (ComputerBoards CIO-CTR) som er installeret på computeren. Og ved en kalibrering bestemmes der en sammenhæng mellem den frekvens der sendes til pumpen, og det volumen der derved pr tidsenhed fjernes fra vægten.

Counterkortet skifter TTL spændingen til Pharmacia pumpens interface med cyklus som har en vis bølgelængde, d.v.s. en bølgelængde der beregnes ud fra den ønskede flowrate (korrigeret for pumpens virkningsgrad). Counterkortet har en bestemt grundfrekvens, og bølgelængden kan kun bestemmes som et multiplum af grundfrekvensens bølgelængde. Dette giver især begrænsninger for valg af den flowrate der reelt kan bruges. Og der vil derfor næsten altid ved små flowrater være en mindre afvigelse mellem det flow brugeren og programmet ønsker, og så det reelle flow som pumpen kan levere.

Kalibreringen korrigerer således for pumpens virkningsgrad, eller pumpekarakteristik, mens de to parametre "Flow" og "TrueFlow" som løbende afbildes på skærmen viser sammenhængen mellem det ønskede flow, og det reelle flow.

Brug eksisterende kalibrering:

Ved at vælge "Brug eksisterende kalibrering" bliver brugeren bedt om at vælge en fil fra roden "Drev:\permdata\kalibreringer*.kal". Her vil der typisk være lagret en række filer med filnavne efter nomenklaturen: "pumpenavn-år-måned-dag-time-minut-sekund-sekund/100.kal".

Pumpenavn angiver hvilken pumpe kalibreringen gælder for.

År, måned,dag,time,sekund,sekund/100 i filnavnet angiver hvornår kalibreringen er udført.

Andre filnavne kan også forekomme hvis brugere har omdøbt kalibreringsfiler til specielle projektnavne eller specielle væsker og tryksituationer. Endelig kan brugere også have sammensat flere kalibreringsfiler til filer med højere detaljeringsgrad, og dermed fra filer fra forskellige datoer. (Kalibreringer ved meget små flowrater kan komme til at tage flere dage).

Det skal særligt bemærkes, at programmet sorterer data i kalibreringsfilen under indlæsningen således at der interpoleres på et sæt data der er monotont voksende m.h.t. flowraten. Programmet undersøger dog ikke om der er dubletter af flowrater, og det er brugerens ansvar selv at borteditere sådanne dubletter, (eller f.eks. at erstatte med et midlet datasæt).

Ny kalibrering:

Under en kalibrering anvendes korrektionsfaktoren 1, svarende til en perfekt pumpe. Samtidig så pumpes der fra et reservoir på Mettlervægten, hvor vædskens data på reservoiret skal være meget nøje bestemt. D.v.s. at densiteten som funktion af temperaturen skal være indlæst. Samtidig skal det være sikret at:

- Indløbet til Pharmacia pumpen er placeret på en Mettlervægt.
- Indtaget fra Pharmacia pumpen er udført således at der ikke påvirker vægten.
- Mettler vægten er justeret så libellen er perfekt centreret.
- Indløbsbeholderen er sikret mod fordampningstab.

Ved dette system er det muligt at sætte pumpen til at køre ved en given nominel ydelse, og samtidig beregne hvilket volumen der så reelt forbruges fra vægten. Og korrektionsfaktoren bestemmes så som forholdet mellem den nominelle ydelse og det reelle forbrug.

Når "Ny kalibrering" vælges skal der indtastes disse oplysninger:

- Navn på pumpen
- Indlæsning af filnavn med væskedata
- 1, 2 eller 3 forskellige flowrate mellem 0.00995 og 499 ml/t
- Kalibreringsvolumen for hver flowrate

Stemplerne i Pharmacia pumperne indeholder ca 20ml tilsammen, og et rimeligt kalibreringsvolumen må derfor være mindst 60ml for at pumpen får lejlighed til at blive kalibreret i forbindelse med skift af stempelretningerne. - Programmet har 4 checkbokse som skal afkrydses inden der kan fortsættes. En af disse angiver hvor meget volumen der mindst være på Mettlervægten beregnet ud fra det volumen som brugeren netop har indtastet.

En computer genereret fil indeholder først oplysninger om pumpenavnet. Derpå oplysninger om den vædske der er anvendt og endelig starttidspunktet for kalibreringen.

Derpå data for kalibreringerne for de op til 3 valgte, eller forskellige, flowrate. Datasættet for hver flowrate indeholder først en række målinger af flow, temperatur, tryk m.m. som funktion af tid. Derpå en datalinie begyndende med en stjerne (*) og derefter selve kalibreringsresultatet.

Principielt kunne kalibreringsfilen blot nøjes med at indholde disse dataliner (begyndende med en stjerne), og med muligheden for direkte at appende flere kalibreringsfiler, er der også mulighed for at sammensætte flere filer til en kalibreringsfil med højere opløselighed og detaljeringsgrad. Denne teknik kan være anvendelig til at fremstille detaljerede kalibreringsfiler uden at gøre filstørrelsen urimelig stor, og med den fordel at der er større overblik over datasættet.

2.3.3 Pharmacia pumpe

Der er 2 funktioner ved anvendelsen af dette menupunkt:

- Før et projekt er påbegyndt
- Når et projekt er sat igang

Når "Pharmacia pumpe" benyttes inden igangsætningen af et projekt vil den fungere med konstant flowrate, og der vil kunne vælges flowrate helt op til 900ml/t. Samtidig skal der dog først vælges om pumpen bare skal køre ubegrænset eller om den skal stoppe efter et vist volumen.

Det ønskede og det aktuelle flow fremgår af skærbilledet.

Programmet tager hele tiden målinger samtidigt med at Pharmacia pumpen kører, og programmet vil lukke hvis det konstateres, at tryktransducerene bliver overbelaste. Derfor skal der ventes med tålmodighed når der klikkes på funktionerne mens pumpen kører. Og hvis "Begrænset volumen" er valgt, vil det begrænsede volumen som regel være overskredet inden programmet opdaterer og stopper pumpen.

Ved et klik på checkboksen "Sluk Pharmacia pumpen igen" vil pumpen stoppe næste gang en målecyklus er færdig.

2.3.4 Projekt opsætning

En dialog fremkommer når "Projekt opsætning" vælges. Og programafviklingen kommer ikke videre inden denne er udfyldt tilfredsstillende.

Brugeren kan vælge at indtaste alle de nødvendige oplysninger succesivt, eller der kan skydes genvej med knappen "Genbrug". Ved "Genbrug" skal brugeren som minimum indtaste plugnavn, længde og diameter. Og brugeren bør også kontrollere de indlæste oplysninger. Specielt bør det kontrolleres om den anvendte væske er korrekt, om voluminerne i indløb og afløb stadig svarer til det indtastede.

Ved successiv indtastning vil programmet selv tænde og slukke de relevante felter, og samtidig vil programmet sørge for at flytte fokus til næste relevante felt når der trykkes return.

Data bliver kontrolleret for hvert eneste tast der bliver udført på tastaturet. Hvis der sker fejl under indtastningen i et felt, f.eks. ved at indtaste et bokstav hvor der skulle have været et reelt tal, så bliver det hidtidige straks slettet fra feltet.

Der er 2 særlige knapper som benyttes til at indlæse fluiddata:

Vælg fil med densitet og viskositet **Evt. NAPL funktion**

Vælg fil med densitet og viskositet

Tryk på knappen , og vælg en *.vsk fil som indeholder datalinier med sammenhængende værdier for temperatur(C), densitet(g/ml) og viskositet(cP). Når en fil er valgt, så vil programmet selv udfylde felterne med "Væske/filnavn", "Viskositet" og "Densitet". Og der er ingen mulighed for at editere i disse felter.

Evt. NAPL funktion

Tryk på knappen, og vælg en *.npl fil som indeholder datalinier med sammenhængende værdier for stress(bar/mm), densitetskorrektions(faktor) og viskositetskorrektions(faktor). Når en fil er valgt, så vil knappen vise filnavnet.

Ud over disse funktioner, så er der diverse andre kontrolrutiner i programmet. Bl.a. er det ikke muligt at indtaste styretryk større end det maksimale differenstryk for den valgte differenstryktransducer.

Ved valg af styretryk og differenstryktransducer er det særligt vigtigt, at limit på Pharmacia pumpen indstilles langt højere end disse værdier, idet programmet ikke kan håndtere situationer hvor Pharmacia pumpen går i "limitmode" med fastlåst flowrate på 0 ml/t.

"Radioknapper" til valg af differenstrøkmålerne 7 bar og 700 mbar har begge fået en speciel farve for at minde brugeren om virkeligt at holde øje med om ventilerne til disse 2 transducere reelt er koblet fra hvis 35 bar transducere er valgt som aktiv differenstrøkmåler. Og tilsvarende stadig at holde øje med om ventilerne til 700mbar transducere også er koblet fra hvis 7 bar transducere vælges som differenstrøkmåler.

2.3.5 Start automatikken

Når denne funktion vælges, så vil programmet påbegynde processen. Og det anbefales at overvåge opstarten visuelt indtil der er opnået et stabilt styretryk. Og evt. gribe ind ved at bruge menuen "Pharmacia pumpe" hvis programmet har svært ved at finde en stabil flowrate.

Hvis Pharmacia pumpen alligevel går i limit, så vil programmet og counterkortet være i en tilstand hvor der hele tiden sendes besked om at pumpe med 499ml/t. Derfor nytter det ikke blot uden videre at udløse denne limitfunktion. Der skal udføres et reset ved følgende metode:

- Benyt "Pharmacia pumpe" til at ændre flowet til 0 eller i hvert fald passende lavt.
- Vent indtil TrueFlow på skærm-billet viser en værdi nær ved den indtastede.
- Giv pumpen et reset så den ikke længere er blokeret i limitmode.
- Benyt evt. "Pharmacia pumpe" til at tildele et nyt og mere passende flow, eller lad programmet selv ordne resten.

2.3.6 Styring

Vælger man menupunktet Styring fås der lejlighed til at justere på

- styretrykket
- trykmarginen
- øvrige parametre til de funktioner der styrer flowraten

Nedenfor beskrives styringsmekanismerne i detaljer. Og det skal her kort nævnes at følsomheden af styringen især kan kontrolleres ved at justere på parameteren "Grundtal".

Ved trykstyringsmoden beregner programmet selv den næste flowrate. Dette gøres ud fra de 2 seneste målte opstrømstryk, den mellemliggende tid, styretrykket (det ønskede opstrømstryk) og trykmarginen.

Der beregnes en hældningskoefficient på trykstigningen mellem de 2 seneste målinger, samt en ønsket hældningskoefficient gældende for den efterfølgende sekvens eller cyklus. Og differencen mellem disse to hældningskoefficienter (regnet med fortegn), indgår i en faktor til at multiplicere med den foregående flowrate:

$$\text{Nyt flow} = ((\text{Aktuel hældning} - \text{Ønsket hældning}) * \text{Grundtal} + 1) * \text{Gammelt flow}$$

Hvis det f.eks. er i starten af et projekt, og der endnu ikke er opbygget et tilstrækkeligt opstrømstryk, så er den ønskede hældningskoefficient stor, svarende til at "Pejle1" anvendes. Værdien 30 sekunder for skæring med styretrykket er default for "Pejle1". Til gengæld, når opstrømstrykket er tæt ved styretrykket, så er der behov for mindre følsomme korrektioner hvorved den ønskede hældning beregnes på baggrund af "Pejle2" med default værdien 300 sekunder. - Programmet beregner ganske enkelt at skæring med trykstyring først skal ske efter 300 sekunder.

I korrektionen indgår desuden en parameter Grundtal. Denne er pr default sat til værdien 10. Hvis denne reduceres vil reduktionerne eller forøgelse af flowraterne også være reducerede på samme måde som hvis Pejle1 eller Pejle2 forøges.

Der kan være situationer hvor denne styringsmekanisme ikke er tilstrækkelig. Og i de tilfælde er der defineret 3 forskellige hændelser der som en sikkerhed træder i kraft med en særlig kraftig reduktion af flowraterne.

- Katastrofe 1, svag risiko for at overskride maksimale trykniveau.
- Katastrofe 2, kraftig risiko for at overskride maksimale trykniveau.
- Katastrofe 3, maksimale trykniveau har, eller er, overskredet.

Tabellen på skærmbilledet viser løbende en status på disse hændelser.

Katastrofe 1

Hvis den seneste trykstigning er så stor at opstrømstrykket måske ville nå styretrykket allerede efter den næste cyklus, så er der tale om "Katastrofe 1". I dette kriterie indgår en sikkerhedsfaktor "Katastr.faktor" :

Hvis
 Styretryk > Opstrømstryk
 og
 $\text{Styretryk} - \text{Opstrømstryk} + \text{Trykmargin} < \text{Katastr.faktor} * (\text{Opstrømstryk} - \text{FørrigeOpsstrømstryk})$
 Så er "Katastrofe 1" indtruffet

Ved Katastrofe 1 reduceres næste flowrate for en sikkerheds skyld med faktoren 0.95.

Katastrofe 2

Hvis den seneste trykstigning ser ud til at være eksponentielt stigende i forhold til den forrige trykstigning, så er der tale om en "Katastrofe 2". Dette indtræffer typisk i starten af en opgave, hvor systemet først skal opbygge et tryk ved at presse små gaslommer sammen. I dette kriterie indgår en sikkerhedsfaktor "Katastr.faktor" :

Hvis
 Hældning 1 er positiv
 og
 Hældning 2 er positiv
 og
 $\text{Hældning 2} > \text{Hældning 1}$
 og
 $\text{Opstrømstryk} + \text{Katastr.faktor} * (\text{Opstrømstryk} - \text{Gammelt opstrømstryk}) > \text{StyreTryk} + \text{TrykMargin}$
 Så er "Katastrofe 2" indtruffet

Ved "Katastrofe 2" reduceres næste flowrate for en sikkerheds skyld med faktoren 0.75.

Katastrofe 3

Hvis det sker at opstrømstrykket trods denne styring alligevel overstiger styretrykket plus trykmarginen, så indtræffer "Katastrofe 3". Og i den forbindelse bliver Pharmaciapumpen straks standset, og der ventes derpå til trykket er faldet til et acceptabelt niveau. Når dette niveau er nået, så bliver pumpen sat igang igen med en ny ydelse der er decimeret ud fra den følgende algoritme og tabel:

Hvis følgende udtryk gælder for parameteren "Overskridelse" så reduceres næste flowrate med den tilsvarende værdi der kan findes i tabellen nedenfor:
 $\text{Opstrømstryk} > \text{Styretryk} + \text{Overskridelse} * \text{Trykmarginen}$
 Så er "Katastrofe 3" indtruffet

| Overskridelse (faktor) | Reduktion (faktor) |
|---------------------------|-----------------------|
| 1.00 | 0.90 |
| 1.25 | 0.75 |
| 1.50 | 0.50 |
| 1.75 | 0.10 |
| 1.80 | 0.01 |
| 1.90 | 0.001 |
| 2.00 | 0.0001 |

Det ses at jo mere alvorlig overskridelsen har været, jo kraftigere bliver flowraten reduceret inden programmet starter Pharmacia pumpen næste gang.

2.3.7 Graf

De kurver m.m. som programmet tegner på skærmen er ikke låst fast på programmet. Det betyder at det der er optegnet vil forsvinde i samme øjeblik en eventuel screen saver har været i funktion, hvis programmet har været minimeret eller hvis et andet program i Windows midlertidigt har været i fokus og derved midlertidigt skygget for DiffPerm programmet. (Grafikken i DiffPerm er ikke fast knyttet til skærmbilleden, og skal gendreges da den helt forsvinder i disse situationer.)

Ved at trykke på "Graf" vil der ske sådanne opdatering af koordinatsystemerne og alle graferne.

2.3.8 Fortsæt

Hvis programmet kører i batch mode, og processen er løbet til ende. Så kan det vælges at benytte funktionen "Fortsæt" hvis det hidtidige forløb ikke har været tilstrækkeligt.

Når der trykkes på knappen skal der ventes tålmodigt på at programmet får gennemført en cyklus af dataopsamling fra alle instrumenterne. Og ordrene på den lille dialogboks skal derefter følges. Der er en serie checkbokse som skal afkrydses inden dialogboksen kan slukkes, og programkørslen bliver genoptaget. Det er vigtigt, at alle instrukserne følges nøje, og at der ikke bare afkrydses for at komme videre. - Vægten, eller indløbsreservoaret, skal bl.a. genfyldes, og afløbsbægeret skal tømmes.

Fortsæt funktionen kan kun kaldes når programmet har gennemført den første batch. Dette skyldes, at der skal holdes regnskab med vægtændringen før og efter genfyldningen.

2.3.9 Stop

Ved **Stop** afsluttes programmet pænt således at alle datasæt i filerne er komplette. Der kan derfor gå et stykke tid mens programmet afslutter en eventuel igangværende målecyklus.

3. Eksempler på anvendelse

Nedenfor følger eksempler som blot er beregnet som en hjælp til hurtigt at komme igang med en programafvikling. Programmet er generelt udformet således at det burde være selvforklarende, og det ville blive for uoverskueligt hvis alle detaljer skal beskrives i et eksempel. - Brugeren må selv gøre sine erfaringer ved "learning by doing". God fornøjelse...

3.1 Pharmacia pumpe

I dette eksempel forudsættes det at filen "Neutral.kal" fra CD-ROM er kopieret og indsat i biblioteket med stien "(Drev bokstav):\permdata\kalibreringer\nneutral.kal"

Først startes programmet og menuen for Pharmacia pumpen:

Start DiffPerm-programmet fra Windows menuen, og vælg følgende funktioner i programmet: Konfigurer - Kalibrering - Brug eksisterende kalibrering - Vælg "Neutral.kal" - Pharmacia pumpe.

Herfra skal det vælges om der skal pumpes et bestemt volumen, eller om der skal pumpes i uendelighed indtil pumpen atter stoppes manuelt. Der skal derfor sættes et mærke i et af "radio knapperne".

Ved uendelig drift tages blot en flowrate i det gule felt, efterfulgt af et **return**. Og hermed bør pumpen være i drift efter et stykke tid.

Ved begrænset drift tages først det ønskede volumen, og derpå den ønskede flowrate efterfulgt af et **return**. Og hermed bør pumpen være i drift efter et stykke tid.

I begge situationer vil programmet gennemføre en overvågning, og der vil derfor gå et stykke tid for hver gang der har været trykket på en tast.

Pumpen stoppes ved at afkryds det felt der vises på skærmen. Eller ved at bruge funktionen **Stop** eller **Projekt opsætning** i hovedmenuen.

3.2 Kalibrering

3.2.1 Danne fil med 3 datasæt

Først startes programmet og menuen for Pharmacia pumpen:

Start DiffPerm-programmet fra Windows menuen, og vælg følgende funktioner i programmet: Konfigurer - Kalibrering - Ny kalibrering.

Indtast derefter pumpeavnet, 3 gyldige flowrater, ønsket kalibreringsvolumen og kryds af ud for de 4 checkpunkter. Husk også at checke de 4 forhold inden de afkrydses.

Tryk **OK**, og lad programmet ordne resten. Ved fuldendt kalibrering skriver programmet på skærmen at kalibreringen er afsluttet.

En ny ASCII fil med et filnavn indeholdende pumpenavn, dato og tidspunkt på formatet *.kal vil derpå være dannet i biblioteket "(drevbokstav:\permdata\kalibreringer*.kal". Filen indeholder alle målingerne for hvert af de 3 trin, og indeholder såvel informerende linier som kan undværes som andre datalinie der er ultimativt påkrævet for programafviklingen. Alle de påkrævede linier starter med en stjerne, og må ikke fjernes eller editeres. Alle andre linier kan e.v.t. fjernes med en editor.

3.2.2 Komponere fil med mange datasæt

En detaljeret kalibreringsfil kan dannes ved at appende flere kalibreringsfiler til en fælles kalibreringsfil. Brugeren skal blot passe på at der ikke er flere datasæt for den samme flowrate.

3.2.3 Projekt med konstant opstrømstryk

Vælg **Projekt opsætning** efter brug af funktionen Pharmacia pumpe (se afsnit 3.1), eller efter **programstart - Konfigurer - Kalibrering - (Vælg en kalibreringsfil)**. Der vil ved valget af funktionen **Projekt opsætning** fremkomme et skema der skal udfyldes til brug for projektets afvikling.

Felterne udfyldes et efter et. Og den næste rubrik tændes når der trykkes return efter en indtastning. Programmet kan i alle tilfælde ikke fortsætte inden skemaet er udfyldt korrekt med data, og programmet vil undervejs selv ændre data der ville kunne være katastrofale for udstyret. (F.eks. ved at bede om et styretryk der er højere end det tilladelige for den valgte tryktransducer.)

De fleste felter kan udfyldes i en fart hvis programmet netop har udført et andet tilsvarende projekt. Dette gøres ved at vælge knappen **Genbrug**.

Når skemaet er udfyldt, skal der trykkes på **OK**. Hvis der ikke er oplagte fejl, så vil programmet slukke skemaet og spørge efter et filnavn til projektet. *Det er meget vigtigt, at checke om ventilerne til transducerne er instillet i overensstemmelse med indtastningerne. Og det er også vigtigt at kaste et blik på hele opstillingen om alt er i orden inden der trykkes OK.*

Derpå kan projektet sættes igang fra hovedmenuen med **Start automatikken**.

Det er især vigtigt at blive ved opstilling og holde øje med programafviklingen indenfor de første målinger, da det i specielle situationer kan være til stor fordel at hjælpe programmet med at finde en passende flowrate, og eventuelt også justere på følsomheden af styringen:

Flowraten justeres ved at vælge **Pharmacia pumpe** fra hovedmenuen. Derpå indtaste en mere passende flowrate. Efter 1 målecyklus vil indtastningsfeltet slukkes igen, og den nye værdi vil blive aktuel efter endnu en målecyklus. Dog vil værdien være modificeret lidt p.g.a. matematikken i styreprocessen.

Hvis programmet har svært ved at opnå en stabil flowrate, så kan der justeres på følsomheden gennem hovedmenuen **Styring**. Parameteren **Grundtal** er den vigtigste i denne sammenhæng, og mere rolige forandringer i flowraten kan opnås ved at reducere dette tal.

3.2.4 Konstant flowrate

Et projekt med konstant flowrate startes som ved "3.2.4 Projekt med konstant opstrømstryk." Under skemaet til definitionen af projektet skal der blot vælges en konstant flowrate i stedet for konstant tryk. Og samtidig skal der indtastes den ønskede flowrate.

Under projektafviklingen kan der vælges **Pharmacia pumpe** fra hovedmenuen, og der igennem kan den ønskede flowrate ændres til en ny værdi.

4. Dansk metodebeskrivelse

Måling af væskepermeabilitet er dokumenteret i GEUS rapport nr. 2001/83, "Difperm. Program til måling og beregning af væskepermeabilitet. Version 1.0. G. Andersen.

4.1 Instrumentering for væskepermeabilitet

GEUS måler permeabilitet ved egen udviklet forsøgsopstilling. Opstillingen styres af en computer, og samtlige data logges til datafiler. Programmet der styrer forsøgsopstillingen kan indstilles til forskellige driftsformer, og til forskellige konfigurationer af forsøgsopstillinger.

Der er generelt to driftsformer ved bestemmelse af permeabilitet:

- Konstant flowrate med deraf følgende varierende opstrøms- og differenstræk.
- Konstant opstrømsstræk med deraf følgende varierende flowrater.

Der er desuden tre generelle konfigurationer for forsøgsopstillinger:

- Recirkulation
- Batch med måling af flowrate ud fra vejedata for indløbsreservoir
- Batch med bestemmelse af flowrate ud fra defineret pumpekaraktistik.

Det gælder generelt for forsøgsopstillingen, at der kan justeres på flowrater, trykstyring og andre parametre samtidig med et projektførløb. Dette betyder, at der trinvis kan måles ved forskellige sleevetryk, flowrater, opstrømsstræk o.s.v.

Data skrives i en ASCII fil i kolonneform som er venlig overfor import i regneark. Der skal benyttes mellemrum som separator for at opnå en smidig indlæsning. Indholdet af kolonnerne fremgår af datafilen.

Øverst i datafilerne beskrives forsøgsomstændighederne, ligesom kalibreringsfiler og filer for væskedata alle er indlæst inden de egentlige resultater. I visse tilfælde kan disse data dog være redigeret bort a.h.t. overskueligheden for rekvirenten.

Programmet korrigerer måledata for den aktuelt målte temperatur. Dette gælder for såvel dynamisk viskositet som for densitet.

Hvis der er anvendt "Non Aquaceous Phase Liquids" (NAPL væsker), så vil dette fremgå af datafilen, og data vil være korrigeret for de non-lineære egenskaber for væsken.

4.2 Permeabilitet og hydraulisk konduktivitet

Pluggen placeres i en Hassler kerneholder med et omsluttende sleeve tryk. Den specifikke væske permeabilitet måles ved et flow af væske gennem pluggen. Med pluggens kendte dimensioner, længde og diameter, med kendt væskeviskositet og væskedensitet, samt målt strømning og målt tryktab ved denne strømning kan pluggens specifikke væskepermeabilitet beregnes ud fra Darcy's lov.

Væskepermeabilitet bestemmes v.h.a. Darcy's lov:

$$k = \mu * q * l / (dp * a), \text{ hvor}$$

| Symbol | Parameter | Enhed |
|--------|----------------|--------------------|
| k | Permeabilitet | Darcy, D |
| μ | Viskositet | cP, g/(cm*s) |
| q | Flow | cm ³ /s |
| l | Længde | cm |
| dp | Differenstryk | atm |
| a | Tværsnitsareal | cm ² |

Og hydraulisk konduktivitet defineres ved følgende definition:

$$K = Q * L / (A * dH), \text{ hvor}$$

| Symbol | Parameter | Enhed |
|--------|--------------------------|-------------------|
| K | Hydraulisk konduktivitet | m/s |
| Q | Flow | m ³ /s |
| L | Længde | m |
| A | Tværsnitsareal | m ² |
| dH | Tryk af vandsøjle | m |

Der er følgende relation mellem de 2 parametre væskepermeabilitet og hydraulisk konduktivitet:

$$K(\text{m/s}) = k(\text{D}) * \rho(\text{kg/m}^3) * g(\text{m/s}^2) * \text{m}^2 / (\mu(\text{cP}) * 10^9 * 1.013250 (\text{Pa/atm}) * \text{cm}^2)$$

hvor

| Symbol | Parameter | Enhed |
|-----------------------|--------------------------|-------------------|
| K | Hydraulisk konduktivitet | m/s |
| k(D) | Permeabilitet | Darcy |
| $\mu(\text{cP})$ | Viskositet | cP, g/(cm*s) |
| $\rho(\text{kg/m}^3)$ | Fluid densitet | kg/m ³ |
| $g(\text{m/s}^2)$ | Tyngdeaccelerationen | m/s ² |

Ved fluid densiteten 999.973kg/m³, tyngdeacceleration 9.806650 m/s², og viskositeten 1cP fås:

$$K(\text{m/s}) = 9.678 * 10^{-6} (\text{m/s/D}) * k(\text{D})$$

eller

$$K(\text{m/s}) = 9.678 * 10^{-9} (\text{m/s/mD}) * k(\text{mD})$$

5. Engelsk metodebeskrivelse

Measurement of liquid permeability is documented in GEUS report nr. 2001/83, "Difperm. Program til måling og beregning af væskepermeabilitet. Version 1.0. G. Andersen.

5.1 Hardware and setup

Measurement of the permeability is performed on equipment developed by GEUS. The equipment is controlled by a computer, and all data is logged to a datafile. Setup and configuration of the equipment can be freely selected depending on the operating mode of the pump.

Generally permeability can be determined by the following operating modes:

- Constant flowrate; independent setting of upstream and differential pressure.
- Constant upstream pressure; independent setting of flowrate.

Three different configurations of setup can be selected:

- Recirculation
- Batch mode and measurement of flowrate by weighing
- Batch mode and determination of flowrate from correlation of real pumprates and nominal pumprates.

There are several features on the equipment, e.g. ad hoc. adjustment of flowrates and upstream pressure during measurement.

Data is written as columns in an ASCII file in a friendly format ready for importing in a spreadsheet by space separated data. The content of the file should be easy to read just by opening the file with an editor.

Some additional information is written in the top of the ASCII output datafile for the purpose of making the datafile easy to read for customer. These data may be deleted before delivery to the client.

All measured data are temperature compensated.

The header section also identifies if algorithms for "Non Aquaceous Phase Liquids" (NAPL liquids) have been applied. In that case the viscosity will be compensated before calculation of permeability.

5.2 Permeability and hydraulic conductivity

A cylindric porous plug is placed in a Hassler coreholder with a confining sleeve pressure. The specific liquid permeability is then measured by a flow of liquid along the axis of the plug. Specific liquid permeability of the porous plug can be calculated according to Darcy's law if dimensions (length and diameter), dynamic viscosity, density of liquid, flowrate and pressure drop is known or can be measured:

Darcy's law:

$$k = \mu * q * l / (dp * a), \text{ where}$$

| Symbol | Parameter | Unit |
|--------|-----------------------|--------------------|
| k | Permeability | Darcy, D |
| μ | Viscosity | cP, g/(cm*s) |
| q | Flow | cm ³ /s |
| l | Length | cm |
| dp | Differenspressure | atm |
| a | Area of cross section | cm ² |

Hydraulic conductivity is defined by the following equation:

$$K = Q * L / (A * dH), \text{ where}$$

| Symbol | Parameter | Unit |
|--------|--------------------------|-------------------|
| K | Hydraulic konduktivty | m/s |
| Q | Flow | m ³ /s |
| L | Length | m |
| A | Area of cross section | m ² |
| dH | Pressure of water column | m |

The following relation can be derived for the two parameters permeability and hydraulic conductivity:

$$K(\text{m/s}) = k(\text{D}) * \rho(\text{kg/m}^3) * g(\text{m/s}^2) * \text{m}^2 / (\mu(\text{cP}) * 10^9 * 1.013250 (\text{Pa/atm}) * \text{cm}^2)$$

wherer

| Symbol | Parameter | Unit |
|-----------------------|------------------------|-------------------|
| K | Hydraulic conductivity | m/s |
| k(D) | Permeability | Darcy |
| $\mu(\text{cP})$ | Viscosity | cP, g/(cm*s) |
| $\rho(\text{kg/m}^3)$ | Fluid density | kg/m ³ |
| $g(\text{m/s}^2)$ | Gravity | m/s ² |

The following special relation can be derived in the case of the fluid density of 999.973kg/m³, gravity 9.806650 m/s², and viscosity 1cP :

$$K(\text{m/s}) = 9.678 * 10^{-6} (\text{m/s/D}) * k(\text{D})$$

or

$$K(\text{m/s}) = 9.678 * 10^{-9} (\text{m/s/mD}) * k(\text{mD})$$

6. Installation og udstyr

6.1 Installation

Installationen forudsætter følgende:

- Computer med Windows98
- ComputerBoards Universal Library (findes på medfølgende CD-ROM)
- ComputerBoards counterkort CIO-CTR05
- Minimum 3 serielle porte (Com*)

Af anden hardware kræves:

- PJ400 Mettlervægt, inklusiv I/O-kort åbnet for kommunikation
- Serielt kabel til Mettlervægt (jvnf. nedenfor)
- Analog-Digital converter Druck-DPI420, inklusiv transducere
- Serielt kabel til DPI420 (jvnf. nedenfor)
- Panelmeter Temperatur, inklusiv 2 stk. temperatur sensorer
- Serielt kabel til Panelmeter (jvnf. nedenfor)

Det sikres, at der ikke er konflikter i adresseringen af de serielle porte.

Det sikres derpå, at Config.sys tillader, at der åbnes et tilstrækkeligt antal filer på computeren. Antallet af åbne filer skal være større end summen af samtidigt åbne filer på computeren. Herunder også filer og porte som benyttes af andre programmer. Man åbner Config.sys med en kommandolinie editor, eller WordPad/NotePad og tilføjer f.eks. en sætning "Files = 100" hvis der er brug for tilladelse til at have 100 filer og instrumenter åbne samtidigt.

6.1.1 Universal Library og CIO-CTR05 counterkort

Universal Library installeres fra 8 disketter. Disketterne findes på den medfølgende CD-ROM, og der startes med Setup.exe fra disk1. Fravælg alle andre installationer end "Windows Universal Library and Instacal".

Efter installation af Universal Library installeres Counterkortet CIO-CTR05 ved brug af det installerede program "Instacal". Først vælges menuen "Add", hvor det er vigtigt, at counterkortet installeres som "Board no. 0". Bagefter konfigureres med menuen "Configure". I konfigurationen sikres det at Base Adress = 300H, Interrupt level = None(X), Wait State = Disabled, Clock speed = 1 MHz.

6.1.2 DiffPerm

DiffPerm installeres fra CD-rom ved programmet \DiffPerm\setup.exe. Windows installerer programmet som det generelt forudsættes kendt fra andre windows installationer. Installationen sker default i roden \Programmer\Geologisk Undersøgelse\DiffPerm\, med en ikon med teksten "DiffPerm" etablere i Windows-menuen "Start".

Programmet startes ved brugen af "Start"- "Programmer"- "DiffPerm" i Windows.

Programmet kan afinstalleres v.h.a. "Start-Instillinger-Kontrolpanel-Tilføj/fjern programmer".

Installationsprogrammet findes i roden "Spektr~1\650mb\Disk1", og startes med Setup.exe. Programmet kan installeres og afinstalleres med de almindelige faciliteterne i Windows på normal vis.

På CD-ROM findes desuden et bibliotek \permdata**.* hvorfra der evt. kan kopieres forskellige setup og kalibreringsfiler til DiffPerm programmet. Data for fluider er vigtige, med mindre brugeren ønsker helt andre datasæt. Andre kalibreringsfiler kan genereres senere under brugen af DiffPerm. DiffPerm opretter selv biblioteket \permdata**.* hvis det ikke findes i forvejen.

6.2 Kabler

6.2.1 Digital Pressure Indicator - DPI 420

| Serielt kabel Druck Digital Pressure Indicator - DPI420: | | | |
|--|-----------|------------------------|---------|
| 9-pin connector PC | | 9-pin connector DPI420 | |
| Pin nr. | Status | Status | Pin nr. |
| 1 | Forbundet | Forbundet | 1 |
| 2 | Forbundet | Forbundet | 3 |
| 3 | Forbundet | Forbundet | 2 |
| 5 | Forbundet | Forbundet | 5 |
| Skærm | Forbundet | Blind | Skærm |

Der skal sættes følgende switches inde i instrumentet DPI420:

| Pin nummer | SW1 | SW2 |
|------------|-----|-----|
| S1 | ON | OFF |
| S2 | ON | OFF |
| S3 | OFF | OFF |
| S4 | OFF | OFF |
| S5 | OFF | OFF |
| S6 | OFF | OFF |
| S7 | OFF | OFF |
| S8 | OFF | OFF |

6.2.2 Temperatur panelmeter

| Serielt kabel A/D Konverter for temperatur panelmeter: | | | |
|--|-----------|---|---------|
| 9-pin connector PC | | 9-pin connector "Panelmeter" | |
| Pin nr. | Status | Status | Pin nr. |
| 2 | Forbundet | Forbundet | 2 |
| 3 | Forbundet | Forbundet | 3 |
| 5 | Forbundet | Forbundet | 5 |
| | | Pin nr 1, 6 og 4 forbindes internt i kablet, ligesom også pin nr. 7 og 8 forbindes internt. | |

6.2.3 PJ-serie Mettlervægt

| Serielt kabel Mettler PJ- serien - f.eks. Mettler PJ3000 med Option 018 interfacekort: | | | |
|--|-----------|----------------------------------|---------|
| 9-pin connector PC | | 15-pin speciel Mettler connector | |
| Pin nr. | Status | Status | Pin nr. |
| 2 | Forbundet | Forbundet | 12 |
| 3 | Forbundet | Forbundet | 2 |
| 5 | Forbundet | Forbundet | 13 |
| 6 | Forbundet | Forbundet | 3 |

Mettler vægten skal desuden forberedes for data kommunikationen:

- Sluk først vægten
- Tænd derefter igen, og hold tasten nede til "-CONF-" vises i display
- Tryk kort på tasten så display viser "I-FACE"
- Hold tasten nede til der står "S.Stb" i display
- Tryk kort 3 gange på tasten så der står "S.Cont"
- Hold tasten nede til der står "b.2400" i display
- Hold tasten nede til der står "-END-" i display

Vægten er nu indstillet til:

- S.Cont
- 2400 baud
- Even parity
- 7 databits
- 1 stopbit

6.2.4 Pharmacia - CIO-CTR counterkort

| Kommunikations kabel mellem Pharmacia pumpe og CIO-CTR counterkort | | | |
|--|-----------|------------------------------------|---------|
| CIO-CTR 37-pin connector | | Pharmacia pumpe 15-pin connector | |
| Pin nr. | Status | Status | Pin nr. |
| 20 | Forbundet | Forbundet | 15 |
| 35 | Forbundet | Forbundet | 14 |
| | | Pin nr 12 og 15 forbindes internt. | |

6.3 Transducere og sensorer

Alle måledata (fra vægten og de to A/D konvertere) bliver korrigeret umiddelbart efter aflæsningen, og inden selve databehandlingen. Dette sker ved hjælp af lineære ligninger, og med de parametersæt der fremgår af den fil "\permdata\setupdata\setup.prn" som bliver genereret første gang programmet startes.

Værdierne i filen ses kortvarigt når menupunktet "Konfigurer" vælges umiddelbart efter programstarten. Og de kan editeres hvis der klikkes på popup vinduet inden det automatisk slukkes igen. Dette er kun relevant efter en senere recalibrering, eller hvis der er brug for at kompensere for uhensigtsmæssig statistisk trykfordeling hen over differenstrymålerne.

Programmet husker eventuelle ændringer til næste programstart, og vil således påvirke det næste projekt der udføres med programmet. Nulstilling kan ske ved at slette filen "\permdata\setupdata\setup.prn", ligesom ændringer kan ske ved simpel editering i filen.

6.3.1 Druck DPI420

Druck DPI420 monteres med følgende transducere:

| DPI 420 S/N 335/88-10 | | |
|-----------------------|--|---|
| Kanal | Sensor | Parameter |
| 1 | PDCR 120/2WL 0-700mbar S/N 249757 Kal. 04-07-2001 Cert. no. S51196 | Differenstryk (Multipliseres i software med 0.001bar/mbar) |
| 2 | PDCR 120/35WL 0-7bar S/N 248296 Kal. 04-07-2001 Cert. no. S51199 | Differenstryk |
| 3 | PDCR 120/75WL 0-35bar S/N 256528 Kal. 04-07-2001 Cert. no. S51201 | Differenstryk |
| 4 | (ledig) | |
| 5 | PDCR 4021 0-135bar S/N 1479335 Kal. 04-07-2001 Cert. no. S51202 | Sleevetryk |
| 6 | PDCR 910 abs 0-35bar S/N 281254 Kal. 04-07-2001 Cert. no. S51205 | Opstrømstryk |
| 7 | (ledig) | |

6.3.2 Temperatur panelmeter

Det har ikke været muligt at skaffe dokumentation for A/D Panelmeteret, og selve programmeringen til kommunikationen med instrumentet er gennemført ved delvise gæt på de koder der sendes.

Der er tilkoblet to sensorer til instrumentet, og ved kontrol af visningen er det konstateret at denne skal tilføjes følgende korrektion for at få indlæst den korrekte temperatur ved sonden:

$$\text{Temp 1} = 1.038500 * \text{Aflæsning} - 1.24230$$
$$\text{Temp 2} = 1.030500 * \text{Aflæsning} - 0.73890$$

6.4 Udviklingsmiljø og source kode

Programmet er udviklet med Borland C++ Builder Professional Version 5.0 (Build 12.34), og installationsdisken er fremstillet v.h.a. InstallShield Express Version 2.12 (62).

Source koden til programmet findes på CD-rom under biblioteket "DiffPerm source kode", og et print af *.cpp filer (c++ kode) findes i bilag 2. (Øvrige filer til kompilering af programmet findes kun på CD-ROM.)

7. Bilags liste

Bilag 1: "Calibration certificate" for 5 Druck tryktransducere.

Bilag 2: CD-ROM, monteret på omslaget, indholdende:

- Installationsprogram
- Biblioteksstruktur med nyttige datafiler "\permdata"
- ComputerBoards Universal Library
- Denne rapport i Word format.
- C++ Source koder for DiffPerm, Pharmacia_DLL, DiffIcon og driveren CBW32.dll.

Opstrøm 356a

Calibration Certificate

CERTIFICATE NO. S51205

MODEL: PDCR 910 abs

S/N: 281254

RANGE: 0 - 35 Bar

CALIBRATION DATE: 04-07-01

CALIBRATION EQUIPMENT:

PRIMARY INSTRUMENT: DWT BUDENBERG Reg.No.:W007

CALIBRATION TRACEABILITY and PROCEDURE:

CALIBRATION TRACEABILITY: According to BNM, LNE, JTI (DK)
accreditation no. 200
CALIBRATION PROCEDURE: See enclosed

CALIBRATION CONDITIONS:

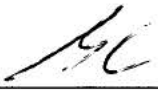
CALIBRATION TEMPERATURE: 23°C ± 1°C
HUMIDITY: 50% ±10%
GRAVITY: 9.80655 m/s²
CALIBRATION UNCERTAINTY: 0.01% rdg.

CALIBRATION RESULTS:

These are test results not a specification

| Pressure Nominal | Pressure Actual | Pressure Read | Deviation | | |
|------------------|-----------------|---------------|-----------|--|--|
| BAR | BAR | BAR | % | | |
| 1.0 | 1.015 | 1.02 | -0.014 | | |
| 18.5 | 18.528 | 18.50 | 0.080 | | |
| 36.0 | 36.040 | 36.07 | -0.086 | | |

Calibrated together with DPI 420 S/N:335/88-10 CH 6

OPERATOR: JEL INSPECTOR: GC  DATE: 04-07-01

Diff from bar ~ 0.7 bar

Calibration Certificate

CERTIFICATE NO. S51196

MODEL: PDCR 120/2WL

S/N: 249757

RANGE: 0 - 700 mBar

CALIBRATION DATE: 04-07-01

CALIBRATION EQUIPMENT:

| | | |
|----------------------------|-------|----------------|
| PRIMARY INSTRUMENT: | PK-II | Reg. No.: W005 |
|----------------------------|-------|----------------|

CALIBRATION TRACEABILITY and PROCEDURE:

| | |
|----------------------------------|--|
| CALIBRATION TRACEABILITY: | According to BNM, LNE, JTI (DK) accreditation no. 200 |
| CALIBRATION PROCEDURE: | See enclosed |


CALIBRATION CONDITIONS:

| | |
|---------------------------------|--------------------------|
| CALIBRATION TEMPERATURE: | 23°C + 1°C |
| HUMIDITY: | 50% ±10% |
| GRAVITY: | 9.80655 m/s ² |
| CALIBRATION UNCERTAINTY: | 0,5 mBar |

CALIBRATION RESULTS: These are test results not a specification

| Pressure Nominal | Pressure Actual | Pressure Read | Deviation | | |
|---------------------|--------------------|------------------|-----------|--|--|
| mBar | mBar | mBar | % | | |
| 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.000 | | |
| 520.0 | 520.4 | 507.5 | 1.843 | | |
| 702.0 | 702.7 | 702.7 | 0.000 | | |

Calibrated together with DPI 420 serial No.:335/88-10 Ch.1

OPERATOR: JEL INSPECTOR: GC  DATE: 04-07-01

P. J. 7 bar

Calibration Certificate

CERTIFICATE NO. S51199

MODEL: PDCR 120/35WL

S/N: 248296

RANGE: 0 - 7 BAR

CALIBRATION DATE: 04-07-01

CALIBRATION EQUIPMENT:

| | | |
|----------------------------|----------|----------------|
| PRIMARY INSTRUMENT: | RK-2000N | Reg. No.: W009 |
|----------------------------|----------|----------------|

CALIBRATION TRACEABILITY and PROCEDURE:

| | |
|----------------------------------|--|
| CALIBRATION TRACEABILITY: | According to BNM, LNE, JTI (DK) accreditation no. 200 |
| CALIBRATION PROCEDURE: | See enclosed |

CALIBRATION CONDITIONS:

| | |
|---------------------------------|--------------------------|
| CALIBRATION TEMPERATURE: | 23°C ± 1°C |
| HUMIDITY: | 50% ± 10% |
| GRAVITY: | 9.80655 m/s ² |
| CALIBRATION UNCERTAINTY: | ±0.5 mBar |

CALIBRATION RESULTS:

These are test results not a specification

| Pressure Nominal | Pressure Actual | Pressure Read | Deviation | | |
|---------------------|--------------------|------------------|-----------|--|--|
| BAR | BAR | BAR | % | | |
| 0.0 | 0.0000 | 0.000 | 0.000 | | |
| 3.5 | 3.5233 | 3.530 | -0.096 | | |
| 7.0 | 7.0265 | 7.027 | -0.007 | | |

Calibrated together with DPI 420 S/N.:335/88-10 CH 2

OPERATOR: JEL INSPECTOR: GC *GC* DATE: 04-07-01

Diff 35 bar

Calibration Certificate

CERTIFICATE NO. S51201

MODEL: PDCR 120/75WL

S/N: 256528

RANGE: 0 - 35 Bar

CALIBRATION DATE: 04-07-01

CALIBRATION EQUIPMENT:

PRIMARY INSTRUMENT: DWT BUDENBERG Reg.No.:W007

CALIBRATION TRACEABILITY and PROCEDURE:

CALIBRATION TRACEABILITY: According to BNM, LNE, JTI (DK)
accreditation no. 200
CALIBRATION PROCEDURE: See enclosed

CALIBRATION CONDITIONS:

CALIBRATION TEMPERATURE: 23°C ± 1°C
HUMIDITY: 50% ±10%
GRAVITY: 9.80655 m/s²
CALIBRATION UNCERTAINTY: 0.01% rdg.


CALIBRATION RESULTS:

These are test results not a specification

| Pressure Nominal | Pressure Actual | Pressure Read | Deviation | | |
|---------------------|--------------------|------------------|-----------|--|--|
| BAR | BAR | BAR | % | | |
| 0.0 | 0.000 | 0.00 | 0.000 | | |
| 17.5 | 17.513 | 17.43 | 0.237 | | |
| 35.0 | 35.025 | 35.03 | -0.014 | | |

Calibrated together with DPI 420 S/N:335/88-10 CH 3

OPERATOR: JEL

INSPECTOR: GC 

DATE: 04-07-01

Sleeve 135 bar

Calibration Certificate

CERTIFICATE NO. S51202

MODEL: PDCR 4021

S/N: 1479335

RANGE: 0 - 135 Bar

CALIBRATION DATE: 04-07-01

CALIBRATION EQUIPMENT:

| | |
|----------------------------|----------------------------|
| PRIMARY INSTRUMENT: | DWT BUDENBERG Reg.No.:W007 |
|----------------------------|----------------------------|

CALIBRATION TRACEABILITY and PROCEDURE:

| | |
|----------------------------------|--|
| CALIBRATION TRACEABILITY: | According to BNM, LNE, JTI (DK) accreditation no. 200 |
| CALIBRATION PROCEDURE: | See enclosed |

CALIBRATION CONDITIONS:

| | |
|---------------------------------|--------------------------|
| CALIBRATION TEMPERATURE: | 23°C ± 1°C |
| HUMIDITY: | 50% ±10% |
| GRAVITY: | 9.80655 m/s ² |
| CALIBRATION UNCERTAINTY: | 0.01% rdg. |

CALIBRATION RESULTS: **These are test results not a specification**

| Pressure Nominal | Pressure Actual | Pressure Read | Deviation | | |
|---------------------|--------------------|------------------|-----------|--|--|
| BAR | BAR | BAR | % | | |
| 0.0 | 0.000 | 0.00 | 0.000 | | |
| 70.0 | 70.066 | 70.01 | 0.041 | | |
| 140.0 | 140.128 | 140.13 | -0.001 | | |

Calibrated together with DPI 420 S/N:335/88-10 CH 5

OPERATOR: JEL INSPECTOR: GC  DATE: 04-07-01



Druck

OK

APPLICATION DATA

- 1 Supply voltage may be up to a maximum of 12 volts. Transducer sensitivity and current consumption will be proportional to supply voltage.
- 2 Current consumption will not exceed 10 mA for stated supply voltage.
- 3 Zero offset can be nulled using a 250 Kohm potentiometer across the output terminals with the wiper connected to the negative supply via a 250 Kohm resistor.
- 4 For best temperature stability, the transducer must be operated into a load impedance of > 50 Kohm.
- 5 A shunt calibration resistor may be connected between the negative supply and the negative terminal to produce a positive output. The output obtained may be temperature sensitive. In case of difficulty, refer to the manufacturer.
- 6 If a power supply earth is to be used, then the positive side should be earthed.
- 7 Following conventional practice, the cable screen is not connected to the transducer body.

SPECIFICATION

Date 1-MAY-2001
 Sales Number U05517.1.1
 Transducer Type PDCR 4021
 Serial Number 1479335
 Part No. D4021-17
 Pressure Range 135 bar sg
 Supply Voltage 10 V
 Zero Offset 0 +/- 3 mV
 Span 100 +/- 3 mV
 Non-Linearity & Hysteresis max +/- 0.08 % BSL
 Temperature Error Band max +/- 1.00 % FRO
 Compensated Temperature Range -20°C to +80 °C
 Pressure Connection 1/4 NPT
 Electrical Connection
 Cable Length 2 m
 Positive Supply Red
 Negative Supply Blue
 Positive Output Yellow
 Negative Output Green
 Screen See Application Data
 Mounting Torque 20 Nm

Calibration Traceable To National Standards

CALIBRATION DATA

Full Range Output(FRO) 100.93 mV at 23°C

Deviations from Best Straight Line

| | | | | | | | | | |
|-----------------|------|------|--------|--------|---------|---------|---------|---------|---------|
| Pressure (bara) | 0.00 | 0.00 | 27.58 | 55.16 | 82.74 | 82.74 | 110.32 | 137.90 | 137.90 |
| (psia) | 0.00 | 0.00 | 400.00 | 800.00 | 1200.00 | 1200.00 | 1600.00 | 2000.00 | 2000.00 |
| % FRO | 0.02 | 0.02 | -0.02 | -0.02 | -0.02 | -0.02 | -0.01 | 0.02 | 0.02 |

Thermal Zero Shift

| | | | | | |
|------------------|-------|-------|------|------|------|
| Temperature (°C) | -20.0 | 0.0 | 23.0 | 50.0 | 80.0 |
| % FRO | -0.05 | -0.02 | 0.00 | 0.00 | 0.04 |

Thermal Span Shift

| | | | | | |
|------------------|-------|------|------|------|-------|
| Temperature (°C) | -20.0 | 0.0 | 23.0 | 50.0 | 80.0 |
| % FRO | -0.69 | 0.10 | 0.00 | 0.07 | -0.84 |

Temperature Error Band +/- 0.44 % FRO

