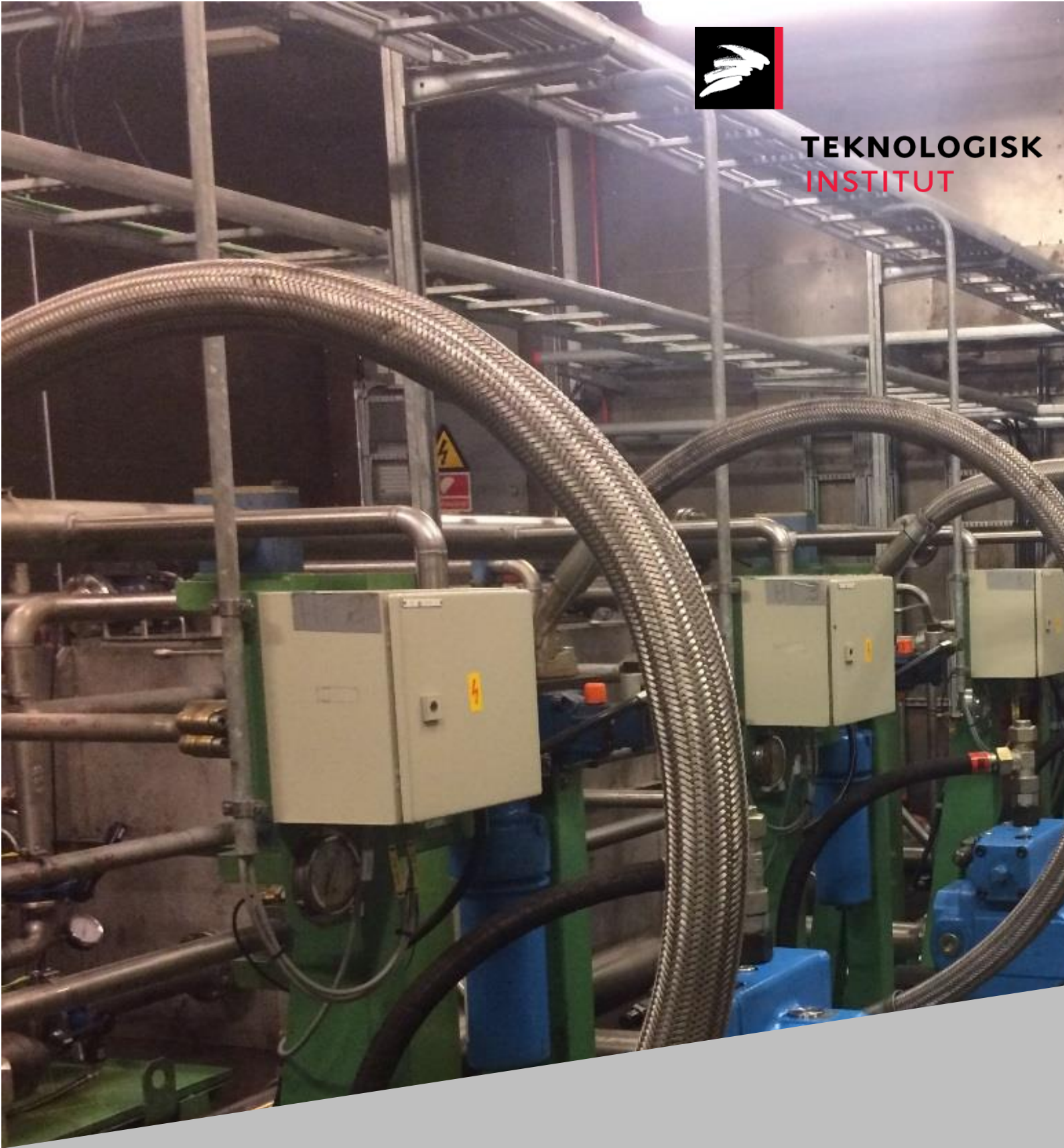


**TEKNOLOGISK
INSTITUT**



Hydraulikapplikation – vejledning

Marts 2019



Indhold

1	INDLEDNING	2
2	ANVENDELSE AF PROGRAMMET	2
2.1	INSTALLATION.....	2
2.2	MULIGE BEREGNINGER	2
3	FASTLÆGGELSE AF INDDATA	3
4	EKSEMPEL	7



1 Indledning

Formålet med denne vejledning er at guide læseren i anvendelsen af den applikation, der er udviklet for hydraulikanlæg i forbindelse med ELFORSK projektet "Optimering af hydraulikanlæg".

2 Anvendelse af programmet

2.1 Installation

Programmet er udført i National Instruments programsprog Labview, der installeres med den Installer der kan hentes sammen med det øvrige projektmateriale. De brugere der har installeret f.eks. Motor Systems Tool eller andet beregningsværktøj der er baseret på Labview behøver ikke anvende Installer'en. Der klikkes på den medfølgende Installer for at downloade Labview programmet. Følg anvisningerne for at installere programmet på din PC. Når installationen er tilendebragt har du Labview på din PC, og er klar til at installere den udviklede applikation Hydraulik.exe, der følger med denne vejledning.

Der medfølger ligeledes et eksempel på inddata, der kan anvendes ved at anvende knappen "Hent data" i fanen "Beregningsgrundlag" i applikationen. Eksemplet indeholder de data som er vist i tabel 2 i kapitel 3.

2.2 Mulige beregninger

Det udviklede beregningsværktøj kan håndtere i alt ti forskellige reguleringsformer. Værktøjet kan anvendes både til analyse af eksisterende anlæg og ved planlægning af nyanlæg.

0. **Separat pumpe til hver proces.** Dette er et idealiseret system, hvor pumpearbejdet netop er lig behovet for hvert forbrugssted. Her er det udførte arbejde lig med den energi der tilføres pumpen på nær friktionstabet. Den hydrauliske systemvirkningsgrad er her 100%. Denne systemopbygning er reference for virkningsgraden for andre systemer.
1. **V1: Konstant flow og trykregulering.** Pumpe og motor kører konstant, men overstrømsventilen indstilles løbende til det maksimalt forekommende arbejdstryk og der er trykafastning ved tomgang. Motor og pumpe kører tilnærmelsesvis med konstant omdrejningstal. Hvis flowbehovet ikke varierer så meget, men trykbehovet varierer er dette system velegnet.
2. **V2: Konstant motoromdrejningstal og pumpe med variabel fortrængning.** Overstrømsventilen er indstillet til konstant højt tryk, men flowet er tilpasset, så der kun løber en lille kontrolmængde eller ingenting ud af overstrømsventilen. Motor og pumpe kører tilnærmelsesvis med konstant omdrejningstal. Hvis trykbehovet varierer lidt og flowbehovet varierer meget er dette system velegnet.
3. **V3: Load sensing. Konstant omdrejningstal for pumpen og pumpens fortrængning reguleres efter load sensing signaler for tryk og flow.** Her er såvel flow som tryk tilpasset behovet: Trykket tilpasses til højeste tryk, typisk med en lille margen, og fortrængningen tilpasses til flowbehovet typisk med et lille overflow. Dette system vil kunne opnå en høj hydraulisk virkningsgrad og er egnet til systemer med store variationer i både tryk- og flowbehov. Pumpefortrængningen vil typisk kunne nedreguleres til nær nul.
4. **V4: Omdrejningstalregulering af pumpe med konstant fortrængning og tryk.** Pumpen er forsynet med en omdrejningstalsregulerbar motor, så omdrejningstallet reguleres efter flowbehovet, og overstrømsventilen er indstillet på det højest forekommende tryk plus en trykmargen. Eventuelt må et lille kontrolflow løbe gennem overstrømsventilen. Systemet kan også realiseres elektronisk uden overstrømning.

Reguleringsområdet vil være begrænset af det lavest mulige omdrejningstal. Det gælder at motormomentet stadig er højt ved lave omdrejningstal (i modsætning til, hvad der gælder ved drift af ventilatorer og pumper). Systemet er velegnet ved små variationer i trykbehov og store variationer i flow.

5. **V5: Konstant omdrejningstal for pumpen samt konstant tryk og flow.** Et ofte anvendt primitivt system. Ved konstant flow og tryk vælges en pumpe med konstant fortrængning f.eks. en gerotor- eller tandhjulspumpe og en motor med konstant omdrejningstal. Overstrømsventilen stilles på det højeste forekommende tryk + en trykmargen. Dette system vil give den ringeste systemvirkningsgrad. Motor og pumpe kan derimod dimensioneres til at køre med maksimal virkningsgrad.
6. **V6: Konstant omdrejningstal for pumpen og flow men med trykaflastning.** Systemet beskrevet i V5 kan suppleres med en trykaflastningsanordning, så pumpen kortsluttes ved tomgang på nær typisk et tryk på 5 – 10 bar. Dette kan give en stor forbedring i processer med lang tomgangstid og reducerer kølebehovet tilsvarende. Motor og pumpe kører tilnærmelsesvis med konstant omdrejningstal. Pumpen vil typisk køre med høj virkningsgrad også i aflastningssituationen mens motorens virkningsgrad er reduceret.
7. **V7: Omdrejningstalregulering ved load sensing.** Flowet er tilpasset behovet, eventuelt på nær et lille kontrolflow. Trykket tilpasses til det aktuelt forekommende maksimale trykbehov. I forhold til LS systemer med variabel pumpefortrængning og konstant omdrejning kan der i visse tilfælde opnås højere motor- og pumpevirkningsgrader.
8. **V8: trinregulering med konstant tryk, der stilles på overstrømsventilen og tilpasset flow.** Der defineres kun en motor- og pumpekombination. Der kan regnes med op til fire ens motor- og pumpekombinationer. Hver af dem kører med både konstant flow og med konstant modtryk og dermed konstant effekt.
9. **V9: Trinregulering med tilpasset flow og tryk efter behov.** Der defineres kun en motor og pumpekombination. Hver pumpe kører med konstant flow, men modtrykket varierer efter behov + en lille margen.

3 Fastlæggelse af inddata

Udgangspunktet for beregningerne er inddata for flow og tryk, som funktion af tiden suppleret med flowet i hver delproces. Beregningsværktøjet tager udgangspunkt i systemer med én pumpe og systemer med flere ens pumper. Grundlæggende set skal der altid foretages en overordnet vurdering af opbygningen. Hvis der er store variationer i samtidige trykbehov vil det altid være det højeste tryk, der bestemmer driften og selv med Load Sensing eller EFM vil der være begrænsninger i den opnåelige energiøkonomi. I sådanne tilfælde bør det overvejes at anvende flere separate pumper, som f.eks. en højtryks- og en lavtrykspumpe. Hvis det udviklede beregningsværktøj skal anvendes i sådanne tilfælde kan beregningerne gentages med processerne opdelt på systemer med forskelligt tryk.

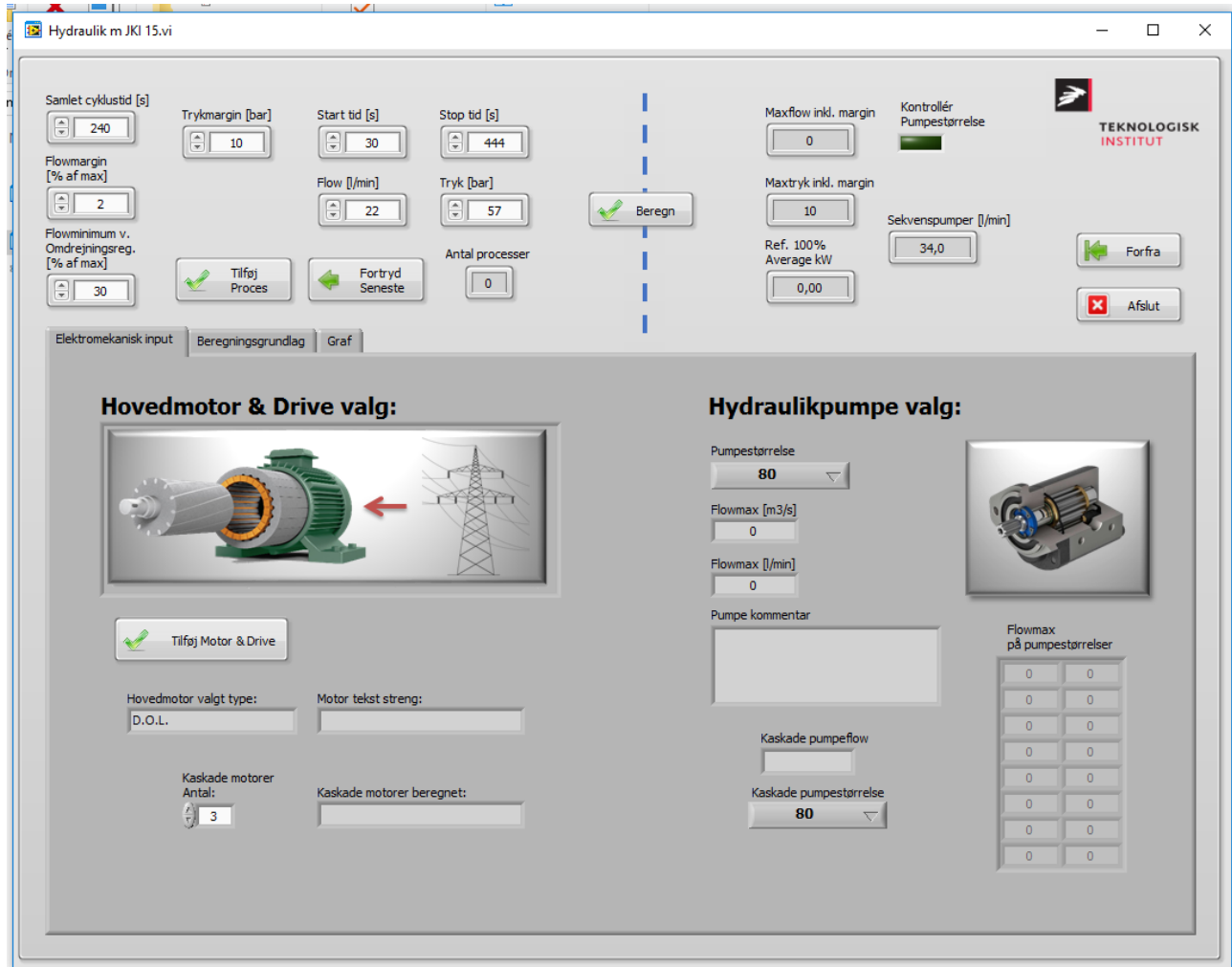
I værktøjet defineres et sammensat hydrauliksystems enkelte processer, dvs. flow- og trykbehov samt varighed. Hvis tryk og flow varierer i processen, må den opdeles i stykkevis konstante stykker.

Ved lastsækning, dvs. tomgangskørsel, regnes der med en belastning af pumpen på et trykbehov på nul + en trykmargen samt et flow på nul + en flowmargen.

Input til det udviklede beregningsværktøj foretages på baggrund af en detaljeret gennemgang af de processer anlægget betjener. I værktøjet skal der indtastes værdier for flow- og trykbehov for hver af de processer, der betjenes af det hydrauliske system. Der skal indtastes værdier for én total procescyklus inklusiv en eventuel tomgangsperiode.

Værktøjet kan kun regne på hydrauliksystemer med én pumpe eller med flere kaskadekoblede ens pumper. Hvis der, som i eksempel 2, er to forskellige pumper behandles disse hver for sig og effekterne lægges sammen. Hvis der er to forskellige cyklustider lægges arbejdet sammen, dvs. effekt * cyklustid.

Ved opstart af applikationen ses dette skærmbillede.



Figur 1 Opstartsskærmbillede.

I nedenstående tabel vist med figur 2 er der et samlet procesforløb med fire delprocesser, der anvendes som eksempel på hvordan applikationen anvendes.

Proces nummer	1	2	3	4
Start sek	0	1,5	50	100
Slut sek	12	90	100	200
Flow l/min	20	10	30	0
Tryk bar	100	50	200	0

Figur 2 Eksempler på delprocesser, der kunne være f.eks. være flytning, fastholdelse, trykning og aflastning.

Som det første skal det samlede procesforløb over de delprocesser der indgår testes ind. Dette gøres i fanen "Beregningsgrundlag".

Det er vigtigt, at den samlede cyklostid for hele processen indlæses først, da denne parameter ikke kan ændres senere, når der først er trykket på knappen "Beregn" midt i billedet. Desuden indlæses trykmargen og flowmargen, - disse parametre kan justeres senere, hvis det ønskes.

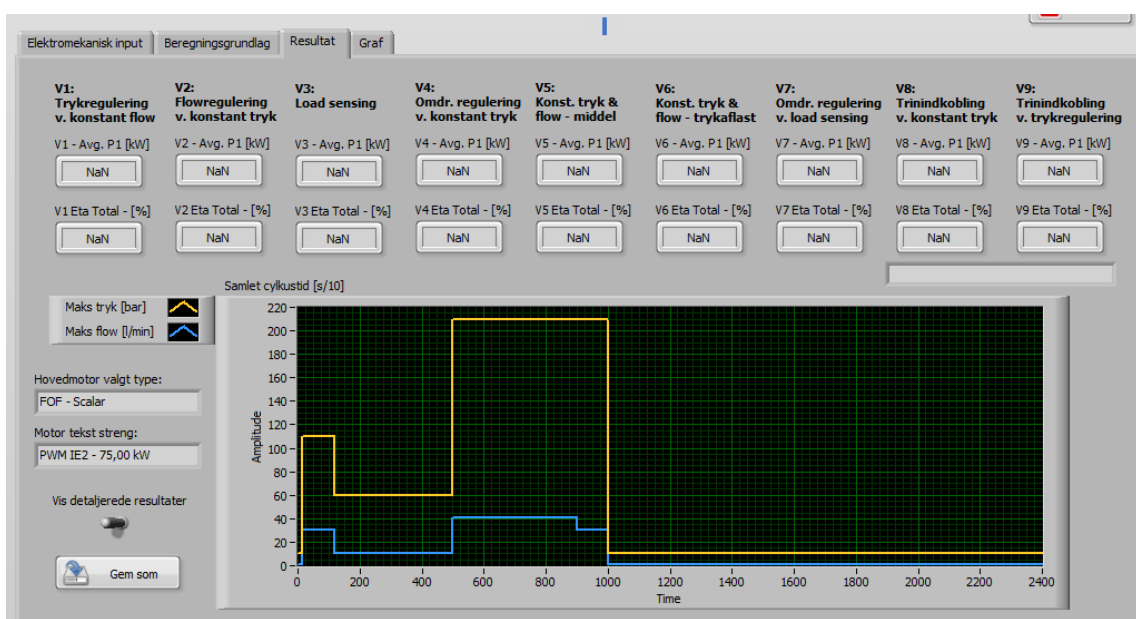
Anvendelsen af programmet vil være en iterativ proces, bortset fra cyklostiden, men rækkefølgen er følgende, idet der ser tages udgangspunkt i tabellen i figur 2.

De enkelte punkter er beskrevet mere detaljeret senere.

1. Indlæs cyklostid. Indlæs også minimumsomdrejningstal for eventuel frekvensomformer. Indlæs også tryk- og flowmargen. Trykmargen repræsenterer tryktab i retningsventiler og eventuelt tryktab i bypass'ventiler. Flowmargen repræsenterer at flere typer af styre- og reguleringsventiler kræver et lille overløb. Det er ikke alle systemer der kræver dette. For eksempel vil en omdrejningstalsregulerbar pumpe der reguleres efter flow ikke nødvendigvis kræve flow- og trykmargen. Endelig indtastes minimumsomdrejningstal for pumpen, - ofte minimum 30%.
2. Definer delprocesserne, se figur 2, ved at indtaste start- og stoptid, flow og tryk. Efter hver delproces klikkes på "Tilføj proces".

Figur 3 Indlæsning af cyklostid, tryk- og flowmargen for den første delproces.

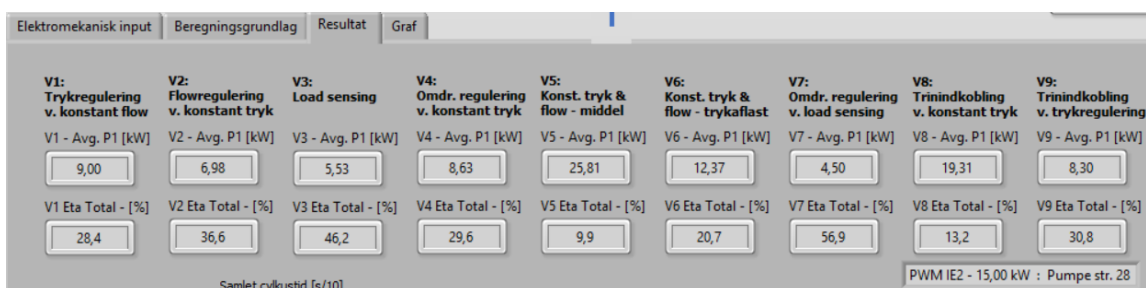
3. Når alle delprocesserne er tastet ind trykkes på knappen "Beregn". I fanen "Resultat" der kommer efter der er trykket "Beregn" står der NaN i felterne for optagen eleffekt og



Figur 4 NaN kommer når der ikke er valgt en pumpe og motor, men de hydrauliske data er beregnet. X - akser er i tiendedele sekunder.

virkningsgrad. Dette skyldes at der ikke er valgt en pumpe og en motor endnu. I fanen "Elektromekanisk input" er der nu beregnet et estimat for motorstørrelse på baggrund af de indlæste processer. Feltet med den beregnede, teoretiske motorstørrelse blikker indtil der er valgt en tilstrækkelig stor motor.

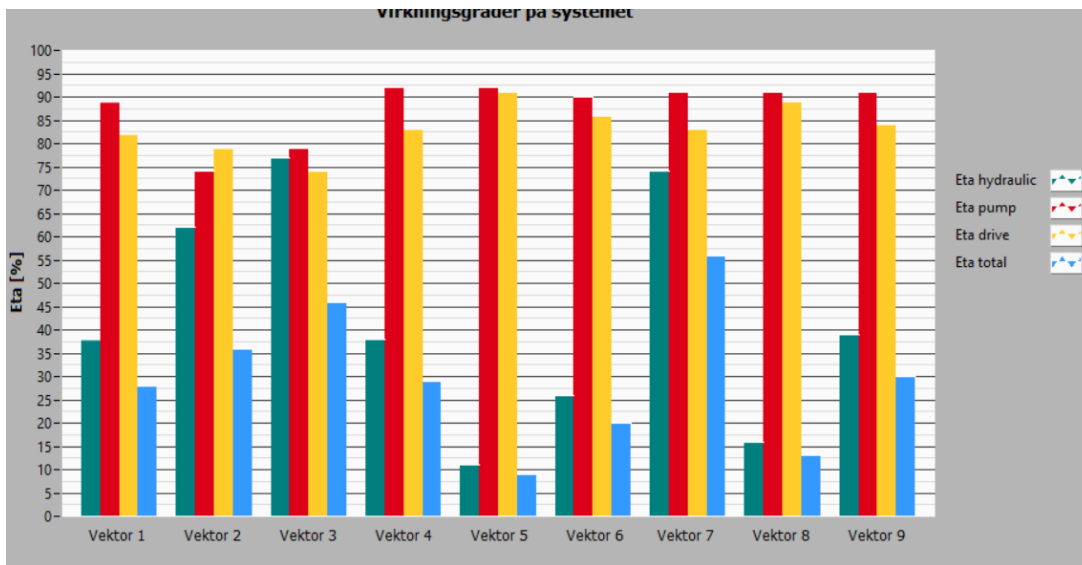
- Nu skal der vælges motor og pumpe under fanen "Elektromekanisk input". Som det første vælges der en motor med tilhørende omdrejningstal. Det gøres ved at klikke på knappen "Tilføj motor & Drive". I pop up menuen klikkes der på knappen "Hent standardmotor" og der vælges den motor der er i nærmeste overstørrelse i rullemenuen. I eksemplet er der valgt en 4-polet motor. Herefter trykke på "Motordata OK". Nu skal der vælges om motoren kører med fast omdrejningstal (D.O.I) eller om den er frekvensregulerbar (Frekvensomformer). Herefter tages OK. Hvis der ikke vælges frekvensomformer blinker de strategier i "Resultat" fanen, der kræver omdrejningsregulering. I eksemplet vælges en 4-polet 30 kW motor med frekvensomformer.
- Herefter skal der vælges størrelse af hydraulikpumpen. Dette gøres ud fra tabellen i højre hjørne sammenholdt med feltet "Max.flow inkl. margen" øverst i billedet. Hvis der ønskes en beregning på et system med flere, ens kaskadekoblede pumper tages antallet af pumper ind i feltet "Kaskade motorer Antal" i venstre nedre hjørne. Størrelsen af kaskadekoblede pumper vælges automatisk af applikationen. I eksemplet vælges en pumpe i størrelse 45. Herefter trykkes der på "Beregn".
- Resultaterne vises nu på fanen "Resultat". Hvis det ønskes at se detaljerede beregningsresultater klikkes på "kontakten" i nedre venstre hjørne, hvorefter der kommer en fane "Resultat adv."
- Det er muligt at tilføje processer og ændre på trykmargen, flowmargen og minimumsomedrejningstal, så længe man holder sig inden for den samlede cyklostid. For hver ændring kvitteres med "Beregn".
- I nedenstående figur 5 ses resultaterne af beregningen. Det ses, at den mest simple og ineffektive løsning V5, som er en konstant kørende pumpe, har et gennemsnitligt effektoptag på 25,8 kW, mens den mest effektive løsning V7 der er en omdrejningsregulerbar pumpe med load sensing har et gennemsnitligt effektoptag på 4,5 kW.
- Under fanen "Beregningsgrundlag" kan den indtastede hydrauliske proces gemmes ved at trykke på knappen "Gem som". Dataene gemmes i en tekstfil og kan hentes igen senere ved at trykke på knappen "Hent data".
- I nedre venstre hjørne i fanen "Resultat" er der en knap der hedder "Generer rapport". Ved at trykke på knappen oprettes en rapport med beregningsresultaterne. Der kan udskrives ved at trykke Ctrl P og gemmes med Ctrl S.



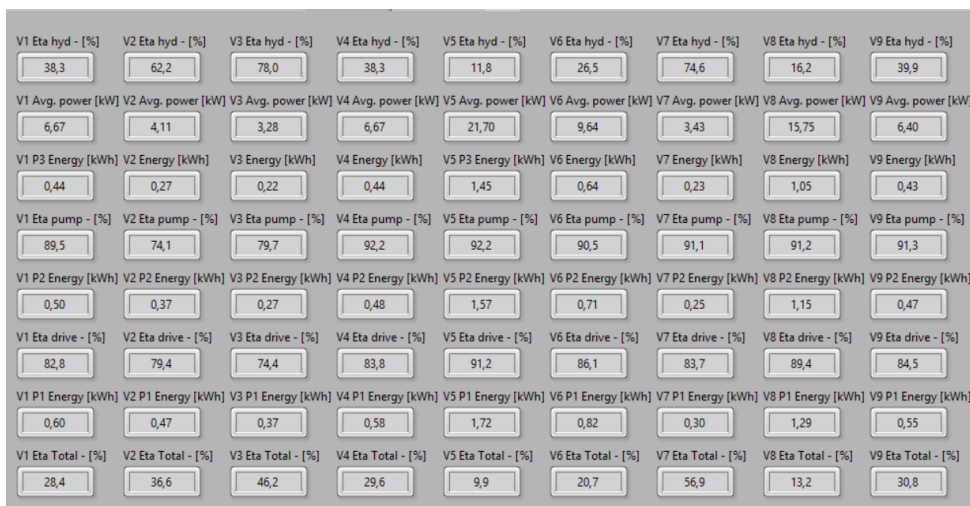
Figur 5 Fanen "Resultat".

Virkningsgraderne for henholdsvis pumpe og motor inklusiv eventuel frekvensomformer kan aflæses grafisk på fanen "Graf". Her ses ligeledes den hydrauliske virkningsgrad, der er et udtryk

for hvor godt systemet tilpasser sig til behovet. Endelig ses den totale virkningsgrad for systemet.



Figur 6 Virkningsgrader.



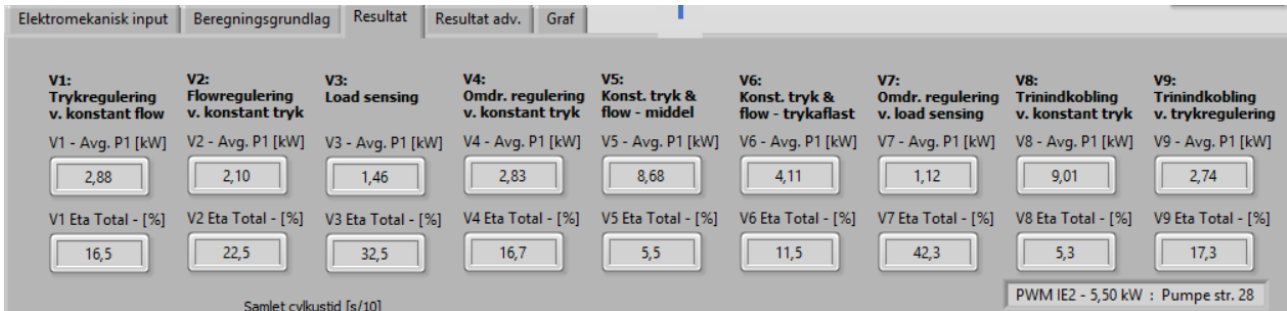
Figur 7 Detaljerede resultater ses på fanen "Resultat adv." For V5, konstant flow og tryk ses at det er den hydrauliske virkningsgrad, der er lav, mens motor og drev kører med høj virkningsgrad. Videre ses, at load sensing V3 har den højeste hydrauliske virkningsgrad, men en lavere gennemsnitlig pumpevirkningsgrad end den omdrejningstalregulerbare pumpe V5.

4 Eksempel

Med udgangspunkt i de fire delprocesser i figur 2 foretages en analyse, hvor der sammenlignes mellem et system hvor alle fire delprocesser forsynes af én pumpe, og et system hvor de to første delprocesser forsynes fra en lavtrykspumpe og de to næste delprocesser forsynes fra en højtrykspumpe. I begge systemer er pumperne forsynet med load sensing.

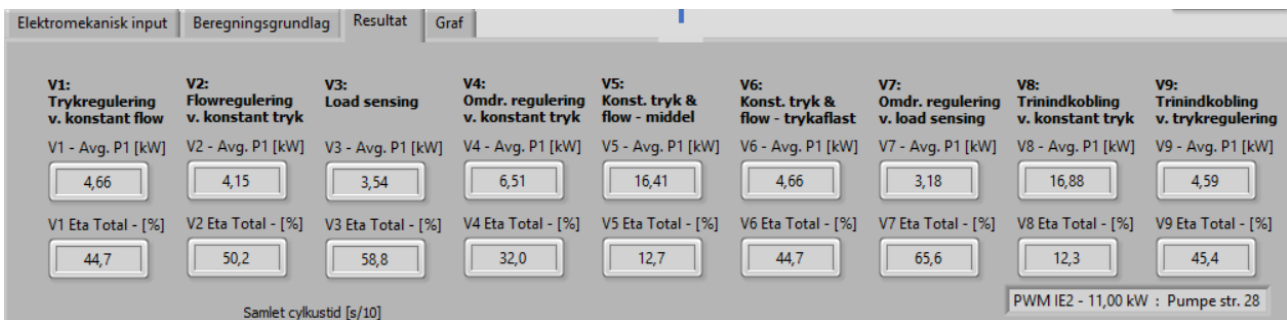
Det er nødvendigt at foretage to beregninger (to komplette indtastninger), - én for lavtrykssystemet og én for højtrykssystemet. I begge tilfælde anvendes den samlede cyklustid fra hele processer (delproces 1-4) samt samme tryk- og flowmargen. I den første beregning foretages indtastninger for de to første delprocesser, og i den næste beregning indtastes de to

delprocesser. Beregningsresultatet for beregningen med lavtrykspumpen er vist med figur 8. Det ses, at det gennemsnitlige effektoptag er 1,46 kW.



Figur 8 Beregningsresultatet for de to første processer.

Det tilsvarende beregningsresultat for højtrykspumpen er vist med figur 9. Det ses, at det gennemsnitlige effektoptag i dette tilfælde er 3,54 kW.



Figur 9 Beregningsresultatet for delproces 3 og 4.

Det samlede gennemsnitlige effektoptag ved et system med både en lavtryks- og en højtrykspumpe er da i alt 5,0 kW.

I et system med én pumpe (med load sensing) er det tilsvarende gennemsnitlige effektoptag 5,53 kW, hvilket ses i figur 5. Et system med to pumper giver da i dette tilfælde en besparelse på ca. 10%.

Bilag 1

Pumpemodel

Der er udviklet en pumpemodel baseret på Kawazaki's K3VL serie. Denne modelrække går fra 28 - 200 cm³/min og kan give tryk op til 350 bar.

Input til modellen er flow og tryk og output er virkningsgraden. Pumperne har variabel fortrængning, så grundlæggende er omdrejningstallet konstant og kapaciteten varieres ved at variere fortrængningen. Imidlertid er fysikken bag virkningsgraden den samme for pumpetyper med fast fortrængning, så som et kompromis anvendes den samme model også for fast fortrængning og variabelt omdrejningstal.

- Den grundlæggende antagelse er den volumetriske virkningsgrad kun afhænger af trykket og fortrængningen (og størrelsen af pumpen)
- Det antages, at den *ikke transporterede væskemængde*, der udtrykkes ved den volumetriske virkningsgrad også er tryksat til pumpens udgangstryk
- Desuden antages at den mekaniske virkningsgrad kan udtrykkes ved et konstant friktionsmoment, der kun afhænger af pumpens størrelse og af trykket. Dette er en tilnærmelse, idet noget af momentet vil afhænge af omdrejningstallet.

Sammenlagt konstateres der afvigelser mellem den udviklede pumpemodel og de kurver der ligger til grund for modellen på op til 4% ved lave tryk og lille fortrængning, og 1 - 2% ved høj tryk og flow.

Når ønsket tryk p og flow Q_v kendes beregnes den hydrauliske effekt af:

$P_{hyd} = p \cdot Q_v$ [W], hvor p er trykket [Pa] og Q_v er flowet [m³/s]

Momentet, der svarer til det hydrauliske arbejde er da:

$M_{hyd} = P_{hyd} / \omega$, hvor ω er vinkelhastigheden [s⁻¹]

Akseleffekten er nu:

$P_{aksel} = (M_0 + M_{hyd}) \cdot \omega$

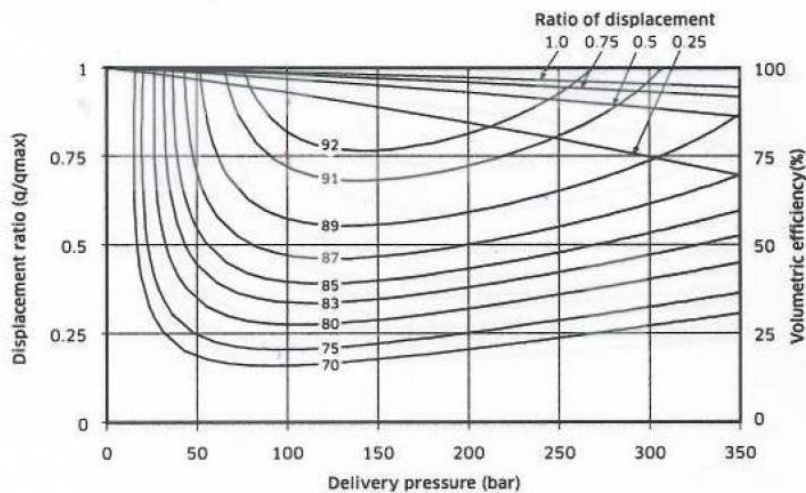
Og virkningsgraden:

$\eta = P_{hyd} / P_{aksel}$

Sammenhængen mellem pumpestørrelsen, trykket og den volumetriske virkningsgrad er fundet ved lineær regression, idet dog displacement ratio (fortrængningen) indgår med sin reciprokke værdi

K3VL80

Pump Efficiency (%)



Figur 10 Virkningsgradsdiagram for den Kawasaki pumpe der er baggrund for pumpemodellen.