



Center for Energieffektivisering og Ventilation

Brugervejledning til Værktøj til systemoptimering

- PSO-projekt 348-011

Maj 2019

Forord

Denne brugervejledning benyttes ved anvendelse af edb-værktøjet til systemoptimering, som er udviklet i forbindelse med forskningsprojektet bevilget under PSO 2016 administreret af Dansk Energi: 348-011 – Værktøj til systemoptimering.

Udviklingen af værktøjet er sket i tæt samarbejde med tre leverandører af elmotorer og frekvensomformere, et elforsyningselskab samt to industrivirksomheder repræsenteret ved:

AURA Rådgivning A/S – Michael Olsen og Ole Ernst Wandall-Frostholm

ABB A/S – Bjarne Tvede

Danfoss Power Electronics A/S - Norbert Hanigovszki

Nidec Industrial Automation Denmark A/S – John Mønsted

Pressalit A/S - Preben Jensen

LEGO System A/S - Torben Andersen

Claus M. Hvenegaard

Teknologisk Institut

Maj 2019

Indholdsfortegnelse

Forord	1
1 Værktøj til systemoptimering	4
1.1 Opbygning af brugervejledningen.....	4
2 Formål med Værktøj til systemoptimering	5
3 Installation af programmet	6
Programmet hentes på websiden www.motorsystems.org	6
3.1 Hardware og software krav	6
3.2 Installation af programmet.....	6
4 Introduktion til brug	11
4.1 Samlet system	11
4.1.1 Belastning	13
4.1.2 Transmission.....	14
4.1.3 Motor.....	17
4.1.4 Asynkronmotor.....	17
4.1.5 Styling (Motor forbindelse)	18
4.1.6 PM-motor	19
4.1.7 Synkron reluktansmotor	20
4.1.8 Arbejdspunkt	20
4.1.9 Output	22
4.1.10 Ventilation	23
4.1.11 Vandpumpe	26
4.1.12 Hydraulikpumpe	27
4.1.13 Trykluft	29
4.1.14 Kølekompresor.....	30
4.1.15 Anden motordrift	31
5 Eksempler på brug af værktøjet - ventilationssystem	38
5.1 Data for ventilationssystemet	38
5.1.1 Ventilator	38
5.1.2 Remtransmission	38
5.1.3 Motor	38
5.1.4 Styling.....	38
5.2 Målinger og registreringer på ventilationssystemet	39
5.3 Inddatering i programmet.....	39
5.4 Output fra programmet	42

5.5	Udskiftning af komponenter i ventilationssystemet	43
6	Eksempler på brug af værktøjet - trykluftssystem.....	51
6.1	Data for trykluftssystemet	51
6.1.1	Kompressor	51
6.1.2	Motor	51
6.1.3	Styring	51
6.2	Målinger og registreringer på trykluftssystemet	52
6.3	Inddatering i programmet.....	53
6.4	Output fra programmet	55
7	Eksempler på brug af værktøjet - kølesystem	58
7.1	Data for kølesystemet	58
7.1.1	Kølekompressor.....	58
7.1.2	Motor	59
7.1.3	Styring.....	59
7.2	Målinger og registreringer på kølesystemet	59
7.3	Inddatering i programmet.....	63
7.4	Output fra programmet	63
8	Eksempler på brug af værktøjet - hydrauliksystem	65
8.1	Data for hydrauliksystemet	65
8.1.1	Hydraulikpumpe	65
8.1.2	Motor	65
8.1.3	Styring	65
8.2	Målinger og registreringer på hydrauliksystemet	66
8.3	Inddatering i programmet.....	68
8.4	Output fra programmet	68
9	Ecodesign regulativerne for ventilatorer og vandpumper	71
9.1	Ecodesign for ventilatorer	71
9.2	Ecodesign for vandpumper	73
10	Beregning af besparelspotentiale	75
11	Udskrifts funktionaliteter	76

1 Værktøj til systemoptimering

Dette beregningsværktøj er tænkt for alle, der arbejder med at energieffektivisere maskinsystemer:

- Maskinbyggeren
- Leverandøren af komponenterne til maskinsystemet
- Elselskabernes energirådgivere
- Rådgivende ingeniører
- Den energiansvarlige/indkøberen i virksomheder

Et energieffektivt system, hvor enkeltkomponenterne hver især er energieffektive, og hvor de er tilpasset hinanden i forhold til behovet, betyder besparelser på virksomhedens elregning og er med til at nedbringe CO₂-udslippet til gavn for miljøet. Meget ofte vil det optimale system også reducere omkostningerne til drift og vedligehold.

Dette program er udviklet af Teknologisk Institut for midler fra Dansk Energis forsknings- og udviklingsprogram ELFORSK.

1.1 Opbygning af brugervejledningen

Brugervejledningen er opbygget i 4 sektioner:

- Kapitel 2, formål med værktøjet
- Kapitel 3, installation og programopbygning
- Kapitel 4, introduktion til brug
- Kapitel 5, eksempler på brug

Kapitel 2 beskriver formålet med værktøjet til systemoptimering.

Kapitel 3 beskriver hvorledes programmet installeres, herunder hvilke krav der stilles til hardware. Kapitlet beskriver endvidere hvorledes programmet er opbygget.

Kapitel 4 beskriver brugen af programmet. Her ses hvilke værdier der skal tastes ind og hvorfor (hvad de skal bruges til) og hvad der evt. kan udelades.

Forklaringer til de enkelte skærbilleder, underskærbilleder, bokse, muligheder, begrænsninger m.m. beskrives nærmere.

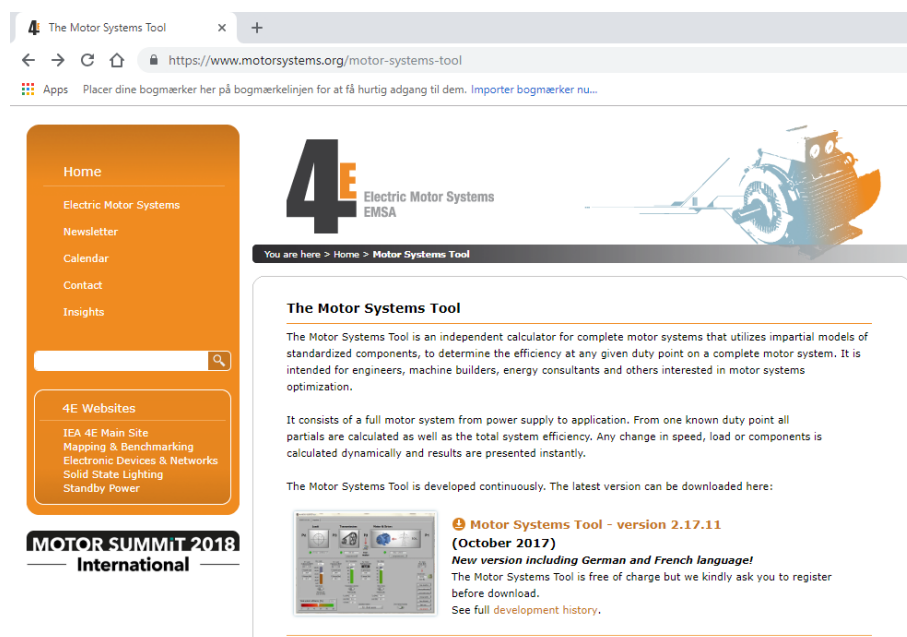
Kapitel 5 - 8 viser detaljerede eksempler på anvendelse af programmet.

2 Formål med Værktøj til systemoptimering

Formålet med værktøjet til systemoptimering er, at gøre det muligt for maskinbyggere, leverandører af komponenter til maskinsystemer, energirådgivere, rådgivende ingeniører og energiansvarlige indkøbere i virksomheder, at designe energieffektive systemer, hvor enkeltkomponenterne hver især er energieffektive, og hvor de er tilpasset hinanden i forhold til behovet. Dette betyder besparelser på virksomhedens elregning og er med til at nedbringe CO₂ udslippet til gavn for miljøet. Meget ofte vil det optimale system reducere omkostningerne til drift og vedligehold.

3 Installation af programmet

Programmet hentes på websiden www.motorsystems.org.



Figur 3.1. Motor Systems Tool

3.1 Hardware og software krav

- Hardware krav: Standard pc med 1 GB ram.
- Softwarekrav: Styresystem - Windows 7 eller nyere.

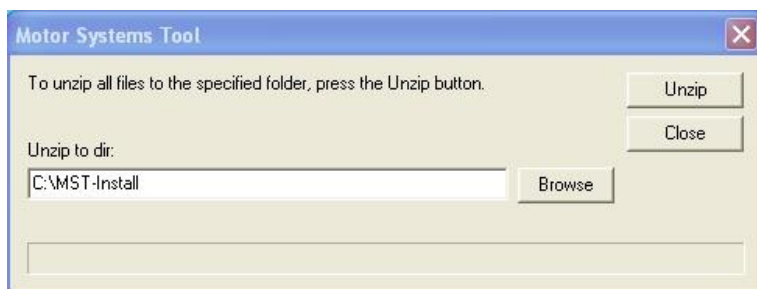
3.2 Installation af programmet

Der klikkes på installationsfilen "MST-installer.exe", hvorefter billedet i Figur 3.2 kommer frem. Herefter klikkes på krappen "Kør".



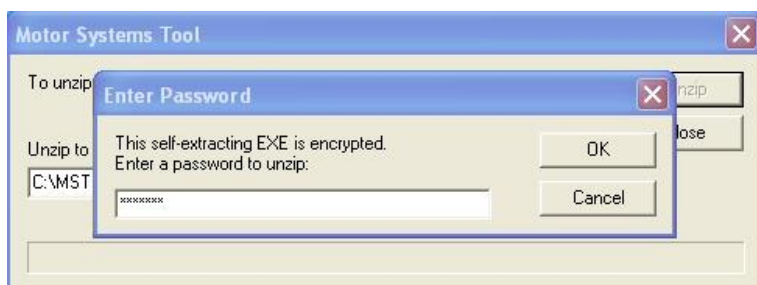
Figur 3.2. Installationsfil – MST-installer.exe

Når der klikkes på "Kør" kommer billedet i Figur 3.3 frem. Herefter vælges hvor det selv-udpakende installationsfil skal placeres. Der afsluttes ved at klikke på "Unzip".



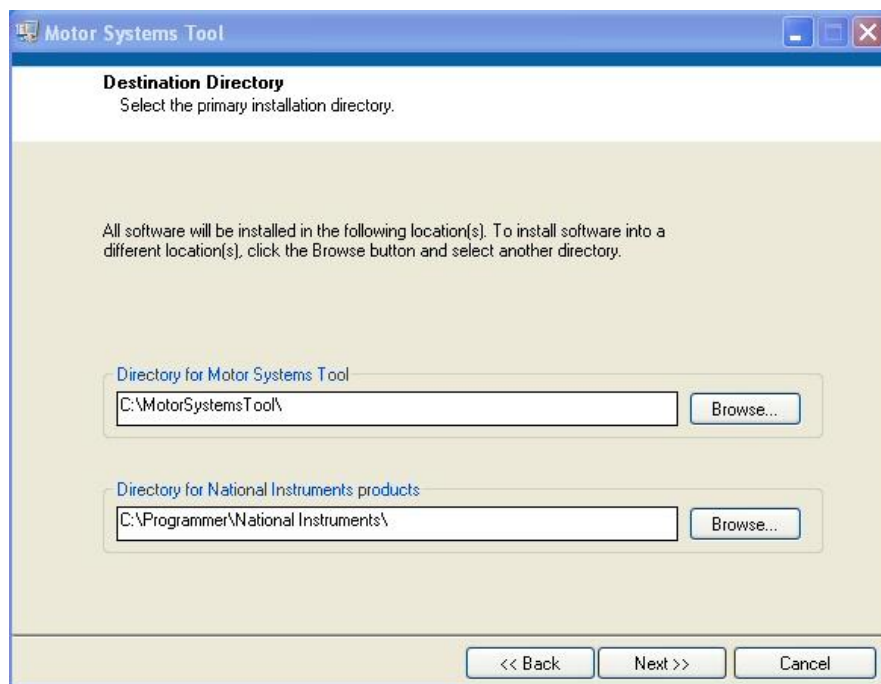
Figur 3.3. Udpakning af filer til ønsket bibliotek

Når der klikkes på "Unzip" kommer billedet i Figur 3.4 frem. Der angives kodeordet "msttool" og klikkes "Ok".



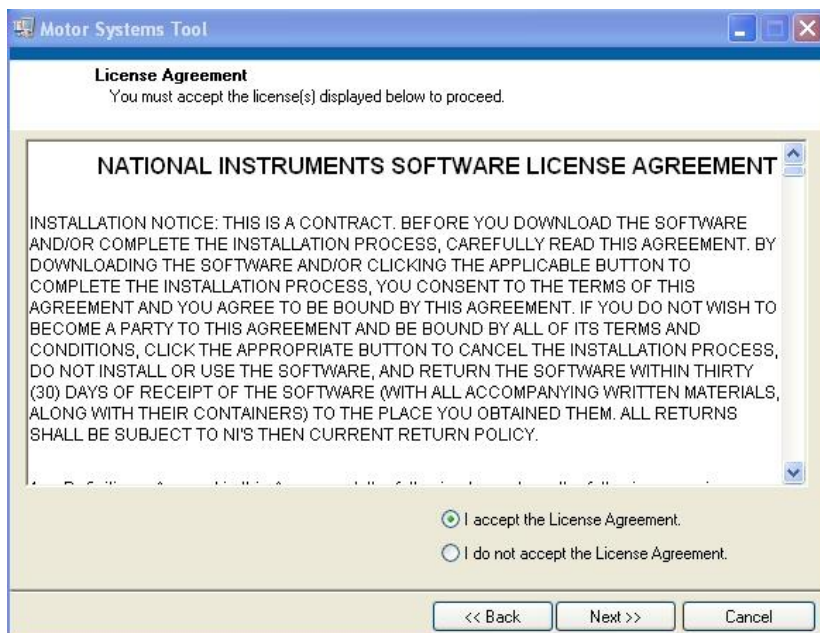
Figur 3.4. Angivelse af password

Når der klikkes på "Ok" kommer billedet i Figur 3.5 frem. Herefter vælges hvor selve systemoptimeringsværktøjet "MotorSystemsTool" og hvor software fra National Instruments skal placeres. Når dette er valgt klikkes der på "Next".



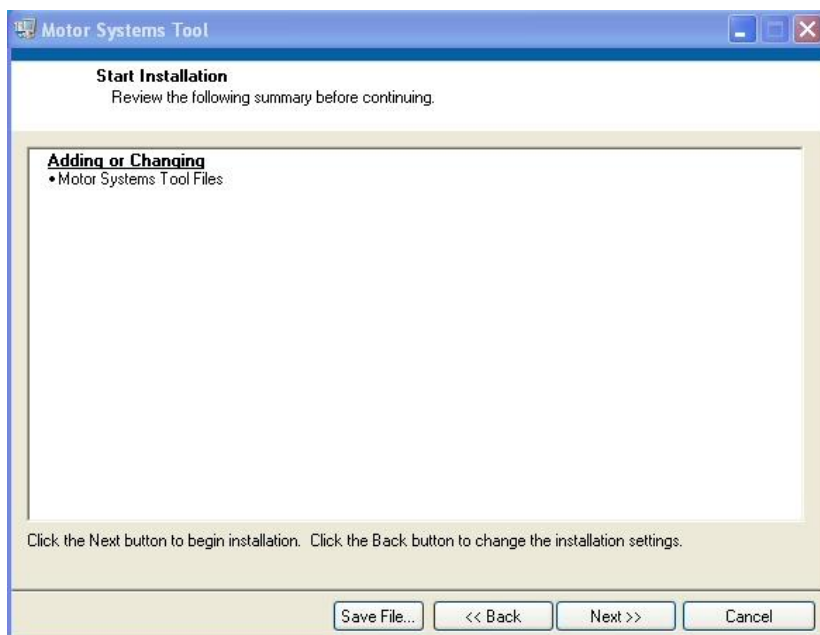
Figur 3.5. Installation af software i to biblioteker

Når der klikkes på "Next" kommer billedet i Figur 3.6 frem. Herefter vælges "I accept the License Agreement" og der klikkes herefter på "Next".



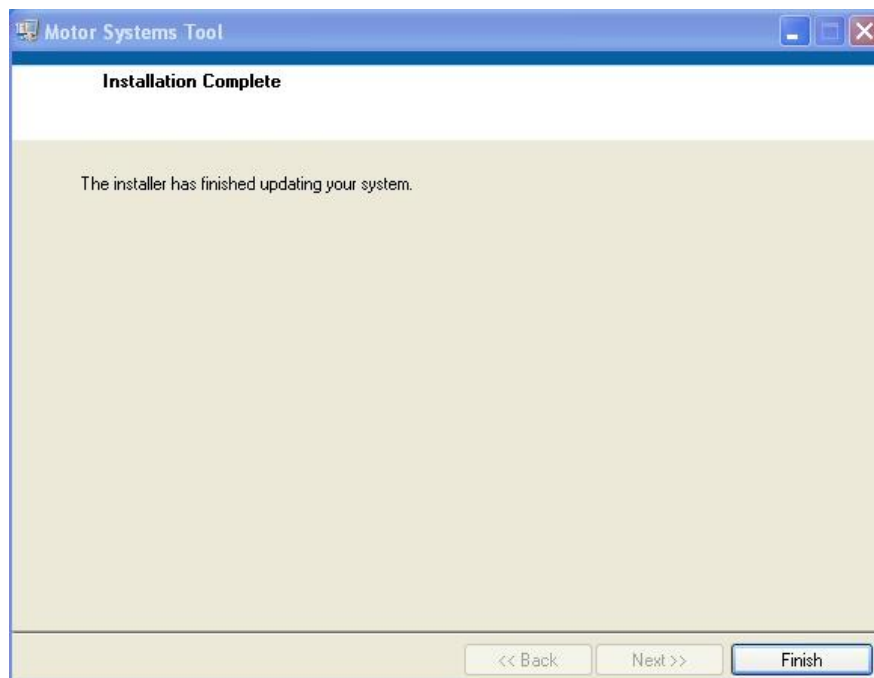
Figur 3.6. Accept af licensaftale

Når der klikkes på "Next" kommer billedet i Figur 3.7 frem. Her ses hvilken software der installeres på pc'en. I dette tilfælde er det kun systemoptimeringsværktøjet og de tilhørende filer der installeres. Software fra National Instruments er i dette tilfælde allerede installeret på pc'en. Der klikkes herefter på "Next".



Figur 3.7. Start på installationen

Når der klikkes på "Next" installeres systemoptimeringsværktøjet. Når dette er sket afsluttes der ved at klikke på "Finish".



Figur 3.8. Installering af værktøjet udført

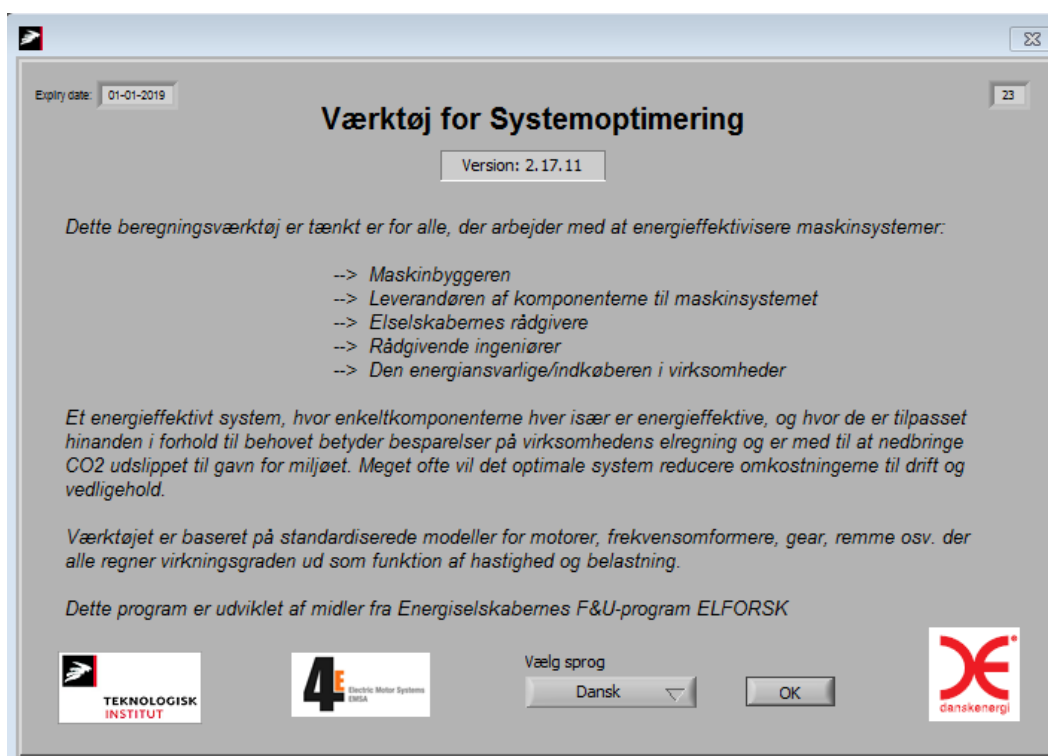
4 Introduktion til brug

Nedenfor ses en beskrivelse af brugen af programmet. Her ses hvilke værdier der skal testes ind og hvorfor (hvad de skal bruges til) samt hvad der evt. kan udelades.

Forklaringer til de enkelte skærbilleder, underskærbilleder, bokse, muligheder, begrænsninger m.m. beskrives nærmere.

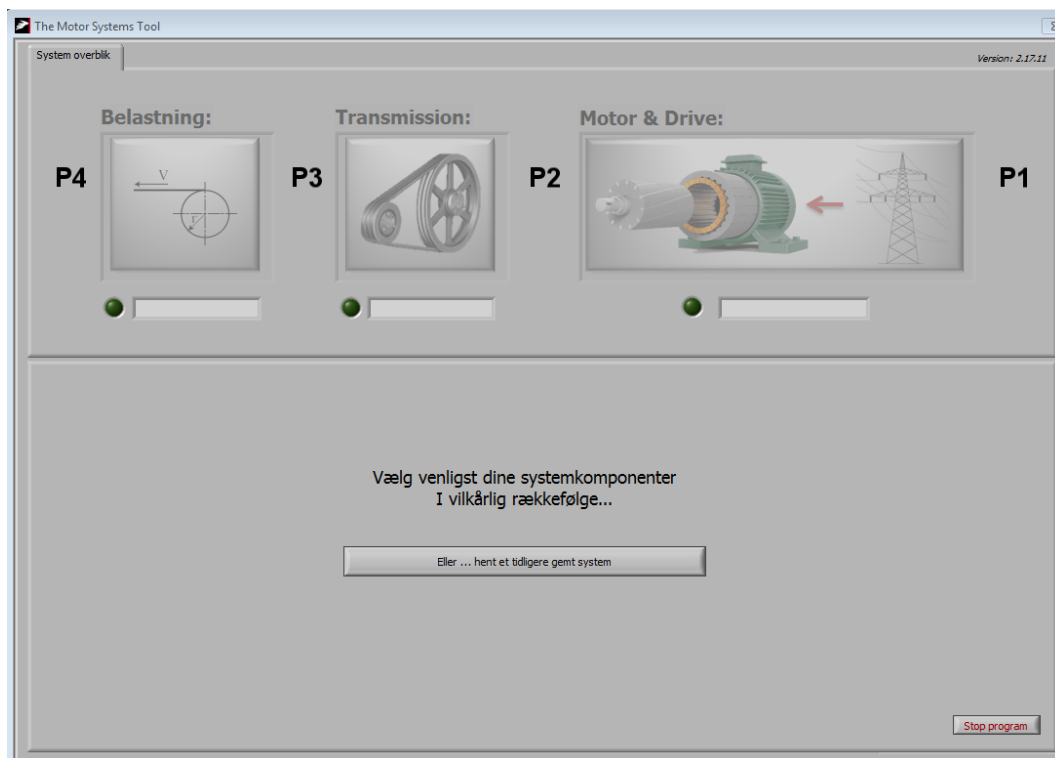
4.1 Samlet system

Når programmet startes, kommer skærbilledet vist i Figur 4.1 frem.



Figur 4.1. Startbillede

Når der klikkes på "Ok" kommer skærbilledet i Figur 4.2 frem.



Figur 4.2. Systemoverblik

I skærbilledet skal der klikkes på de fire komponenter der indgår i et motordrevent maskinsystem. Det drejer sig om belastningen eller applikationen, transmissionen, motoren og styringsenheden (her kaldet "Motor & Drive").

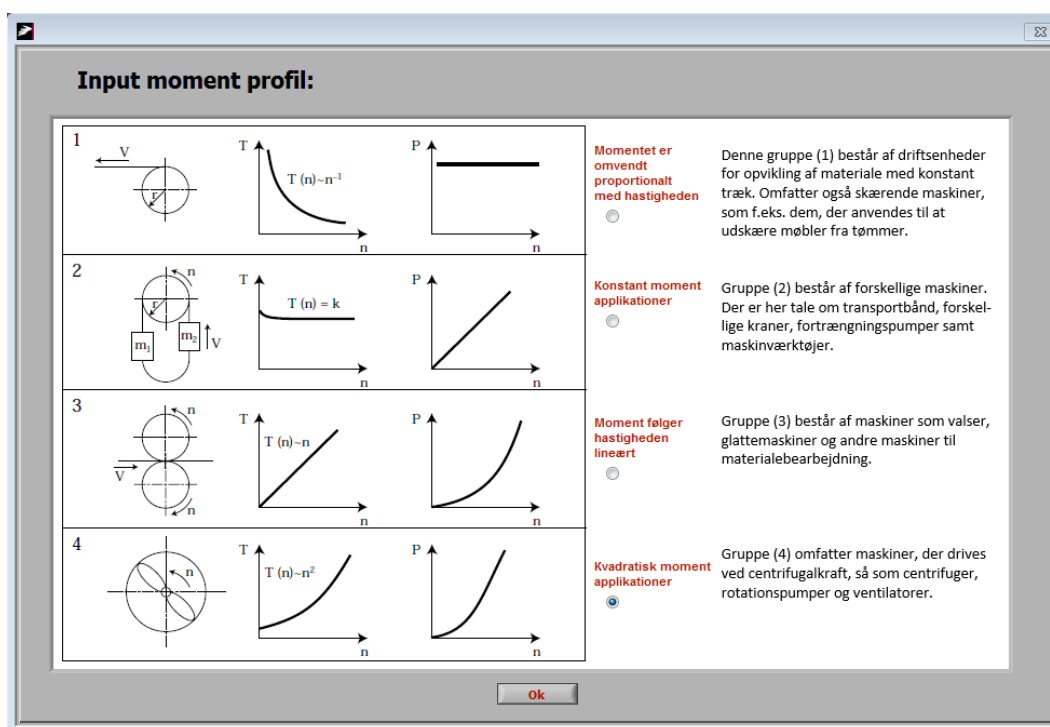
Ved at klikke på belastningen/applikationen fremkommer skærbilledet vist i Figur 4.3.

4.1.1 Belastning

I skærbilledet skal der tages stilling til hvilken type belastning/applikation der er installeret i maskinsystemet.

Der er, som det ses i Figur 4.3, mulighed for at vælge mellem fire typer belastninger/applikationer, som hver har deres særegne belastningsprofil, dvs. sammenhæng mellem moment og omdrejningstal.

Angivelsen af belastningsprofilen bliver anvendt til beregning af det nødvendigt tilførte moment, når der foretages ændringer af belastningens omdrejningstal (se senere).



Figur 4.3. Belastning/applikation

Når typen af belastning er valgt, skal der vælges en transmission mellem belastningen og motoren. I Figur 4.3 ses det skærbillede der fremkommer når man klikker på "Transmission".

4.1.2 Transmission

Som det ses, kan der vælges mellem remtransmission, geartransmission eller ingen transmission.

Remtransmission

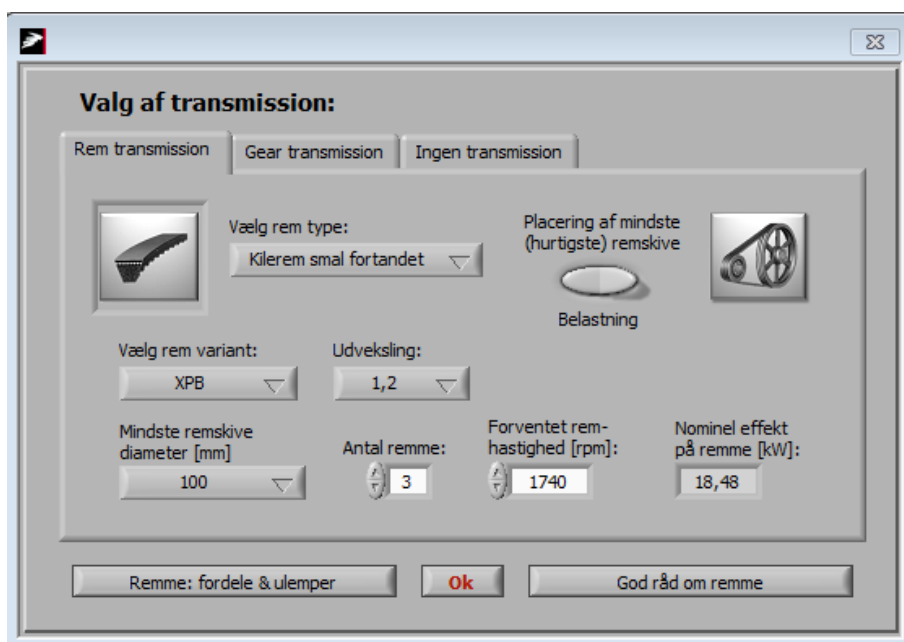
Hvis der vælges remtransmission, skal der, som det ses i Figur 4.3, foretages en række valg.

Først skal der foretages et valg af remtypen. Der er mulighed for at vælge mellem kilerem (smal dækket, smal fortandet, klassisk dækket og klassisk fortandet), Poly V rem, fladrem og tandrem.

I sammenhæng med valget af remtypen vælges også remmens navn, eksempelvis XPB som vist i Figur 4.3. XPB betyder at det er en fortandet smalkilerem med B profil.

Der foretages et valg af udvekslingsforholdet. Der kan vælges mellem fem forskellige udvekslingsforhold, som også er dem der typisk angives i remproducenternes kataloger (1,0 – 1,05 – 1,2 – 1,5 – 3,0).

Der foretages et valg af hvor den mindste (hurtigste) remskive er placeret. Der kan vælges mellem belastningen eller motoren. Denne angivelse benyttes til at beregne henholdsvis motorens og belastningens omdrejningstal.



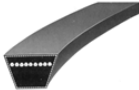



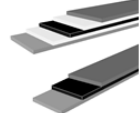
Figur 4.4. Remtransmission

Den mindste remskives diameter skal indtastes. Denne information bruges sammen med udvekslingsforholdet og den forventede remhastighed til at bestemme den valgte remtypes nominelle effekt.

Når man har angivet antallet af remme, foretages en beregning af nominelle effekt på hele remtransmissionen.

Alle indtastningerne afsluttes med at klikke på "Ok".

Som det ses i Figur 4.3 er der mulighed for at få informationer om fordele og ulemper ved anvendelse af remme samt gode råd om remme. I Figur 4.3 og Figur 4.3 ses de skærmbilleder der fremkommer, når man klikker på knapperne "Remme: fordele og ulemper" og "Gode råd om remme".

Remtype	Fordele	Ulemper
 <p>Klassisk kilerem dækket</p> <p>Profil: Z, A, B, C, D, E</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Billig i indkøb • Let tilgængelig • Modstandsdygtig 	<ul style="list-style-type: none"> • Stort bøjningstab ved små skivediametre • Ikke egnet til store udvekslingsforhold (max. 7:1)
 <p>Smalkilerem dækket</p> <p>Profil: SPZ, SPA, SPB, SPC</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Billig i indkøb • Let tilgængelig • Modstandsdygtig • Høj effekt pr. breddeenhed 	<ul style="list-style-type: none"> • Stort bøjningstab ved små skivediametre (større end for den klassiske kilerem) • Ikke egnet til store udvekslingsforhold (max. 7:1)
 <p>Klassisk kilerem fortandet</p> <p>Profil: ZX, AX, BX, CX</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Billig i indkøb • Høj fleksibilitet • Lang levetid • Modstandsdygtig 	<ul style="list-style-type: none"> • Relativt stort bøjningstab ved små skivediametre • Ikke egnet til store udvekslingsforhold (max. 8:1).
 <p>Smalkilerem fortandet</p> <p>Profil: XPZ, XPA, XPB, XPC</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Billig i indkøb • Høj fleksibilitet • Lang levetid • Modstandsdygtig • Høj effekt pr. breddeenhed 	<ul style="list-style-type: none"> • Stort bøjningstab ved små skivediametre (gælder ved store profilhøjder) • Ikke egnet til store udvekslingsforhold (max. 8:1)
 <p>Fladrem</p> <p>Profil: Tykkelse fra 1,1 – 6,8 mm</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Egnede til små skivediametre og bagsidetræk • Egnede til store udvekslingsforhold (max. 20:1) • Egnede til transmissioner med høje hastigheder • Høj virkningsgrad 	<ul style="list-style-type: none"> • Stor akselbelastning pga. hård opspænding • Ikke så tilgængelig • Dyr i indkøb

Figur 4.5. Remme – fordele og ulemper

Valgkriterier for remme

Valgkriterier i relation til industrielle remtransmissioner



No	Valgkriterie	Mål	KKD	SKD	KKK	SKX	FR	PVR	HTDR	PGGT	PCGT
1.	Effekt P kW pr. breddeenhed	Maksimere	4	3	4	3	4	3	3	2	1
2.	Hastighed m/sec.	Maksimere	3	2	2	2	1	2	1	1	1
3.	Max udvekslingsforhold	Anbefalet	7:1	7:1	8:1	8:1	20:1	15:1	15:1	15:1	15:1
4.	Fysisk plads	Minimere	3	3	2	2	3	2	2	1	1
5.	Akselbelastning	Minimere	2	2	2	2	4	3	1	1	1
6.	Fast centerafstand (stramrulle)		3	4	3	4	1	1	3	3	4
7.	Skriddegenskaber (koblingseffekt)	Maksimere	2	2	4	4	2	4	5	5	5
8.	Positionering-Synkron	Maksimere	5	5	5	5	5	5	Synkron	Synkron	Synkron
9.	Pulserende eller stødende last	Minimere	2	2	3	2	2	3	4	4	4
10.	Multitræk	> 2 remskiver	5	5	5	5	2	1	5	5	5
11.	Montering/opretning venlighed	Maksimere	2	2	2	2	3	4	4	4	4

OK

Figur 4.6. Gode råd om remme

Geartransmission


Hvis der vælges en geartransmission, skal der, som det ses i Figur 4.3, foretages en række valg.

Først skal der foretages et valg af geartypen. Der er mulighed for at vælge mellem snekkegear, keglehjulsgear og tandhjulsgear.

Valg af transmission:

Rem transmission Gear transmission Ingen transmission

Vælg gear type:
Tandhjulsgear



Nominel eta gear: Auto 95,38

Nominelt aksel moment [Nm]: 149,2

Nominel aksel hastighed [rpm]: 96,0

Udveksling: 14,67

Driftsfaktor fb: 1,00

Dimensionerende akseleffekt [kW]: 1,50

Nominel gear Input effekt [kW]: 1,57

Beregnet motor hastighed [rpm]: 1408

Ok

Figur 4.7. Geartransmission

Når geartypen er valgt, skal der vælges en virkningsgrad for gearet. Som udgangspunkt vælger programmet en typisk virkningsgrad for den valgte gearstype. Den af programmet valgte virkningsgrad kan overskrives med en værdi fundet i eksempelvis et gearkatalog. I gearleverandørernes kataloger angives altid gearets virkningsgrader i forhold til motorens mærkeeffekt. Derfor vil katalogvirkningsgraderne være lavere end målte virkningsgrader for specielt snekegear. Gearets angivne virkningsgrad i Figur 4.7 vil af den grund afvige fra den virkningsgrad der beregnes i output fra programmet ("System overblik").

Der foretages et valg af nominelt akselmoment, dvs. det moment gearet skal afgive til applikationen. Der vælges endvidere en hastighed på gearets udgangsaksel. Der vælges et udvekslingsforhold samt en f-faktor, som bestemmer gearets dimensionerende akseffekt. På baggrund af gearets dimensionerende akseffekt og gearets virkningsgrad beregnes gearets nominelle input effekt, som er den effekt gearet skal tilføres fra motoren. Motorens hastighed beregnes på baggrund af den nominelle akselhastighed og udvekslingsforholdet.

Når transmissionen er valgt, klikkes der på "Ok" og der vælges herefter en motor.

4.1.3 Motor

Når der klikkes på "Motor & drive" i "Systemoverblik" (Figur 4.2) fremkommer skærbilledet vist i Figur 4.8. Der kan vælges mellem en asynkronmotor og drev eller en PM-motor, som altid er inkl. drev.

I værktøjet er det også muligt at få beregnet virkningsgrader for 2- og 4-polede IE2 motorer i området 0,12 kW til 1.000 kW i henhold til IEC-standard nr. 61800-9-2, Annex D og A. Dette er udarbejdet som en service for dem der deltager i arbejdet med den pågældende standard. En bruger af værktøjet skal ikke benytte disse beregningsmuligheder.

4.1.4 Asynkronmotor

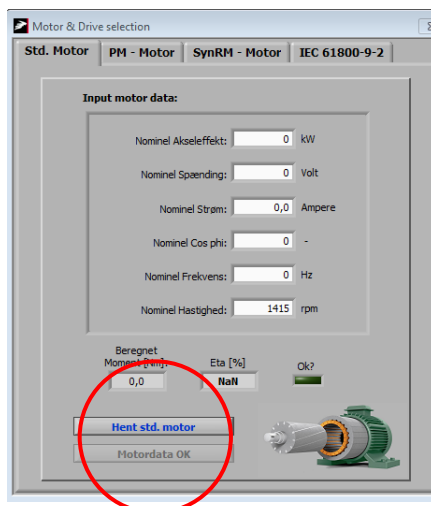
Først klikkes på knappen "Hent std. standard motor".

Herefter kan der vælges en motor. Motorens størrelse (nominelle akseffekt) skal først vælges. Der kan vælges motorer fra 0,12 kW til motorer større en 1.000 kW.

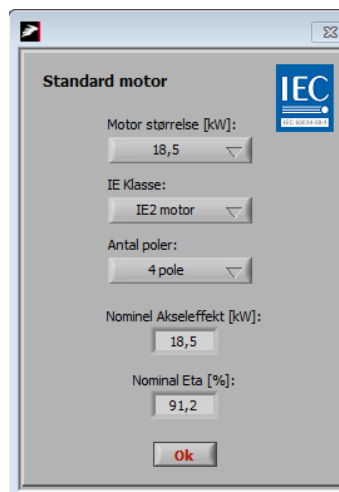
Herefter vælges der mellem motorklasserne IE1, IE2, IE3 og IE4, hvor IE4 er de mest effektive (Premium efficiency/sparemotorer).

Endelig vælges antallet af poler. Her kan vælges mellem 2-polet (3.000 rpm), 4-polet (1.500 rpm) og 6-polet (750 rpm).

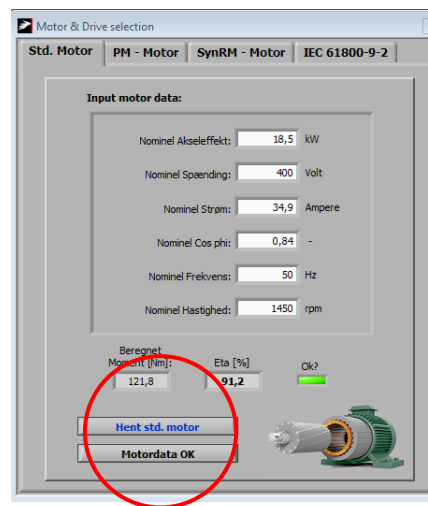
Der afsluttes med at klikke på knappen "Motordata OK".



Figur 4.8 – Indtast data for motor



Figur 4.9 – Tabelopslag for motor



Figur 4.10 – Data for valgte motor

Der er også mulighed for selv at indlæse data for en motor. I felterne under "Input motor" indlæses data for motoren. Der skal som det ses i Figur 4.8 indtastes nominelle data for akseleffekt, spænding, strøm, cos phi, frekvens og hastighed.

Når motoren er valgt, skal der vælges en styring. I Figur 4.3 ses det skærmbillede der fremkommer når man har klikket på knappen "Motordata OK".

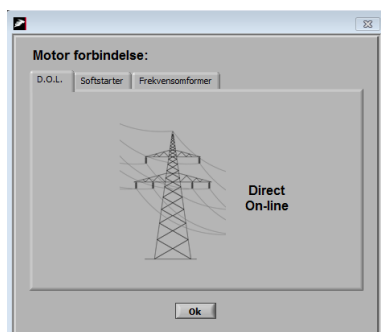
4.1.5 Styring (Motor forbindelse)

Som udgangspunkt (default) forudsættes det, at der ikke er nogen frekvensomformer, dvs. motoren startes direkte (Direct On Line – D.O.L).

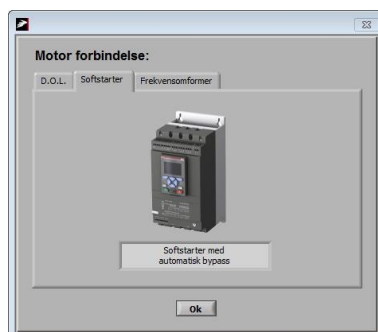
Hvis der er installeret en softstarter i det motordrevne maskinsystem, klikkes der på knappen "Softstarter". Herefter benytter programmet en softstarter med automatisk bypass.

Hvis der er installeret en frekvensomformer i det motordrevne maskinsystem, klikkes der på knappen "Frekvensomformer".

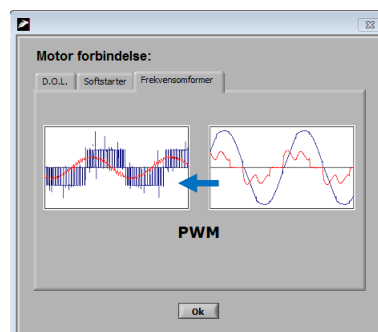
Når dette er valgt, klikkes der på knappen "OK".



Figur 4.11 – Ingen styring (D.O.L)



Figur 4.12 – Softstarter med automatisk bypass



Figur 4.13 – Frekvensomformer

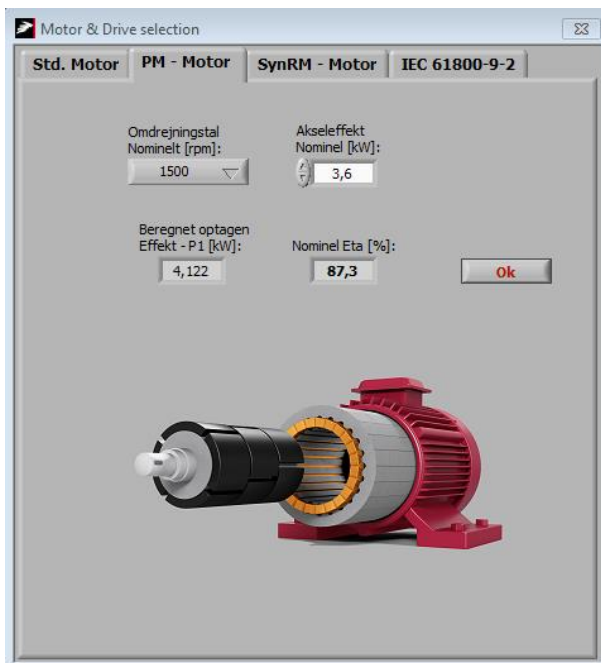
Nu er alle data vedr. det motordrevne maskinsystem valgt. Der skal nu vælges et arbejds punkt, der skal beregnes ud fra (se afsnit 4.1.5 "Arbejds punkt").

4.1.6 PM-motor

Hvis der vælges en PM-motor, skal der, som det ses i Figur 4.14, vælges en nominel akseffekt og et nominelt omdrejningstal.

På baggrund af disse valg beregnes den optagne effekt P1, den nominelle virkningsgrad og det beregnede nominelle moment.

Når dette er valgt, klikkes der på knappen "OK".



Figur 4.14. Indtast data for PM-motor

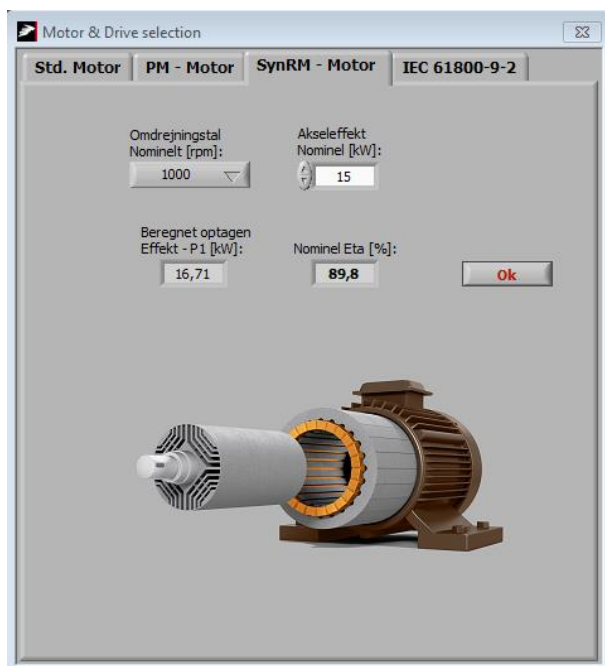
Nu er alle data vedr. det motordrevne maskinsystem valgt. Der skal nu vælges et arbejds punkt, der skal beregnes ud fra (se afsnit 4.1.5 "Arbejds punkt").

4.1.7 Synkron reluktansmotor

Hvis der vælges en synkron reluktansmotor skal der, som det ses i Figur 4.15, vælges en nominal akseffekt og et nominelt omdrejningstal.

På baggrund af disse valg beregnes den optagne effekt P1, den nominelle virkningsgrad og det beregnede nominelle moment.

Når dette er valgt klikkes der på knappen "OK".



Figur 4.15. Indtast data for PM-motor

Nu er alle data vedr. det motordrevne maskinsystem valgt. Der skal nu vælges et arbejds punkt, der skal beregnes ud fra (se afsnit 4.1.5 "Arbejds punkt").

4.1.8 Arbejds punkt

I skærbilledet "Indtast kendt arbejds punkt" skal man vælge hvilken en af komponenterne i det motordrevne maskinsystem og på hvilken side (af komponenten) effektmæssigt man ønsker at foretage beregninger for. Mellem komponenterne kan der foretages en markering.

Herefter skal man indtaste det aktuelle arbejds punkt i kW. Hvis belastningen P₄ ("Load") er valgt, skal der typisk indtastes en hydraulisk effekt, det vil sige den effekt belastningen skal kunne yde. For en ventilator er det produktet af volumenstrømmen og den totale trykstigning over ventilatoren.

Derudover skal der indtastes omdrejningstallet for belastningen, f.eks. ventilatorens omdrejningstal.

Når dette er valgt, klikkes der på knappen "OK".

The screenshot shows a software window titled "Indtast kendt arbejdspunkt:" (Enter known operating point). It contains a schematic diagram with four points: P₄, P₃, P₂, and P₁. Between P₄ and P₃ is a box labeled "Last" (Load). Between P₃ and P₂ is a box labeled "Transmission". Between P₂ and P₁ is a box labeled "Motor & Omformer" (Motor & Inverter). Below the diagram, there are input fields: "Hastighed P3:" with value 1740, "Hastighed P2:" with value 1450, "Arbejdspunkt Effekt [kW]:" with value 8,80, "Arbejdspunkt Hastighed [rpm]:" with value 1740, and "Beregnet moment [Nm]:" with value 48,30. There is also a "Calc. master:" button with the text "P4 - Belastning ud" and an "Ok" button.

Figur 4.16. Indtastning af kendt arbejdspunkt

4.1.9 Output

I Figur 4.17 ses output fra programmet.

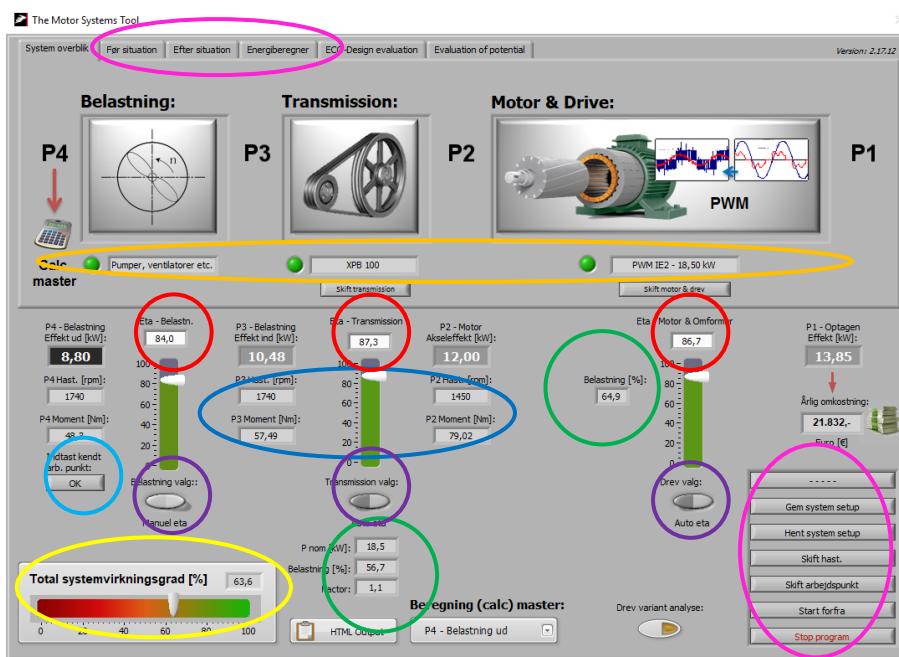
I figuren (til venstre) ses den hydrauliske effekt P_4 på de 8,8 kW og belastningens omdrejnings-tal på 1.740 rpm. Som udgangspunkt angives belastningens virkningsgrad til 65 % ("Eta - Belastn."). Hvis belastningens virkningsgrad kendes, klikkes på knappen "Belastning valg". Herefter skiftes til "Manual Eta". Det betyder, at der nu kan indtastes en virkningsgrad for belastningen. I Figur 4.18 ses billedet for output men med en virkningsgrad på 84 % for belastningen.



Figur 4.17 – Output fra programmet

I Figur 4.18 ses betydningen af at ændre belastningens virkningsgrad:

- P_3 - Last indgangseffekt, som er den tilførte effekt til belastningen, er nu faldet fra 13,54 kW til 10,48 kW
- P_2 - Motor akseleffekt, som er motorens afgivne (aksel) effekt, er nu faldet fra 15,49 kW til 12,0 kW
- P_1 - Tilført effekt, som er motorens (og evt. frekvensomformerens) optagne effekt, er nu faldet fra 17,78 kW til 13,85 kW

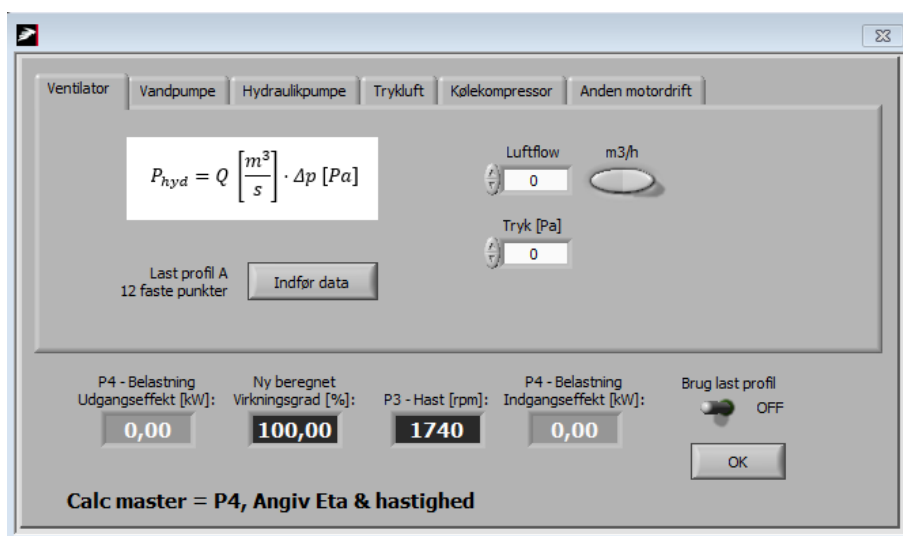


Figur 4.18 - Output fra programmet efter ændring af belastningens virkningsgrad

Som det ses i Figur 4.18 er det også muligt at klikke på knappen "Indtast kendt arb. Punkt". Klikkes der på denne knap kommer der inputfelter til beregning af den hydrauliske ydelse P_4 frem. Som det ses, er der også inputfelter til angivelse af applikationens virkningsgrad og hastighed.

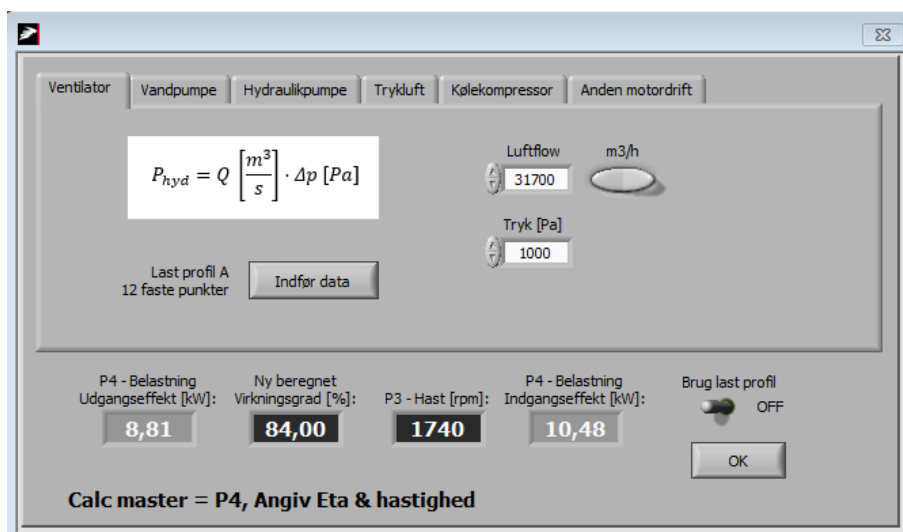
4.1.10 Ventilation

I Figur 4.19 ses inputfelter for en ventilator, men der kan også vælges en vandpumpe, en hydraulikpumpe, en trykluftkompressor, en kølekompressor og en applikation som hører under anden motordrift. Der skal nu indtastes en volumenstrøm, en total trykstigning, en virkningsgrad og evt. en hastighed.



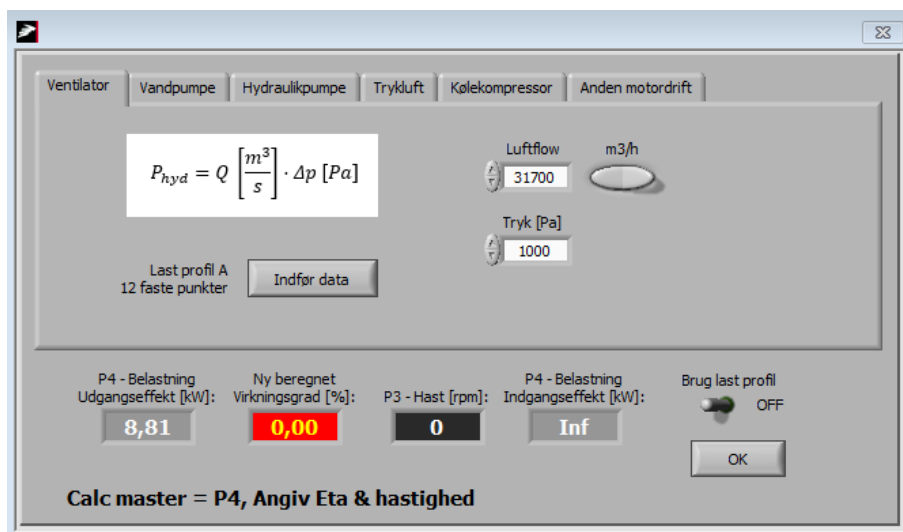
Figur 4.19. Indtast kendt arbejds punkt for en ventilator

I Figur 4.20 ses indtastningen af data for ventilatoren.



Figur 4.20. Indtast kendt arbejds punkt - ventilator

Der er, som det ses i Figur 4.20, også mulighed for at indtaste en række arbejds punkter for en applikation. Dette gøres ved først at klikke på knappen "Indfør data".



Figur 4.21. Knap til aktivering af skema til indtastning af arbejds punkter for applikation

Når der klikkes på knappen "Indfør data" fremkommer billedet vist i Figur 4.22. Her skal der indtastes 12 arbejds punkter for applikationen. Det er nødvendigt med 12 datasæt for at danne valide matematiske udtryk for virkningsgraden. Der indtastes samhörørende værdier for luftflow, trykstigning, hastighed og virkningsgrad.

Når de 12 arbejds punkter er indtastet klikkes på der på "Ok".

	Par. A	Par. B	Hast.	Eta
01	25200	500	930	78
02	25200	1000	1190	82
03	25200	1500	1420	80
04	36000	500	1130	65
05	36000	1000	1340	77
06	36000	1500	1535	82
07	46800	500	1330	57
08	46800	1000	1515	69
09	46800	1500	1680	76
10	54000	500	1475	54
11	54000	1000	1645	62
12	54000	1500	1800	72

Figur 4.22. Indtastning af 12 arbejdspunkter for applikation

Herefter kan man, som det ses i Figur 4.23, få foretaget en beregning af den hydraulisk effekt, virkningsgrad, hastighed og tilført effekt til applikationen baseret på indtastning af luftflow og trykstigning.

$$P_{hyd} = Q \left[\frac{m^3}{s} \right] \cdot \Delta p [Pa]$$

Luftflow: 31700 m³/h

Tryk [Pa]: 1000

Last profil A
12 faste punkter

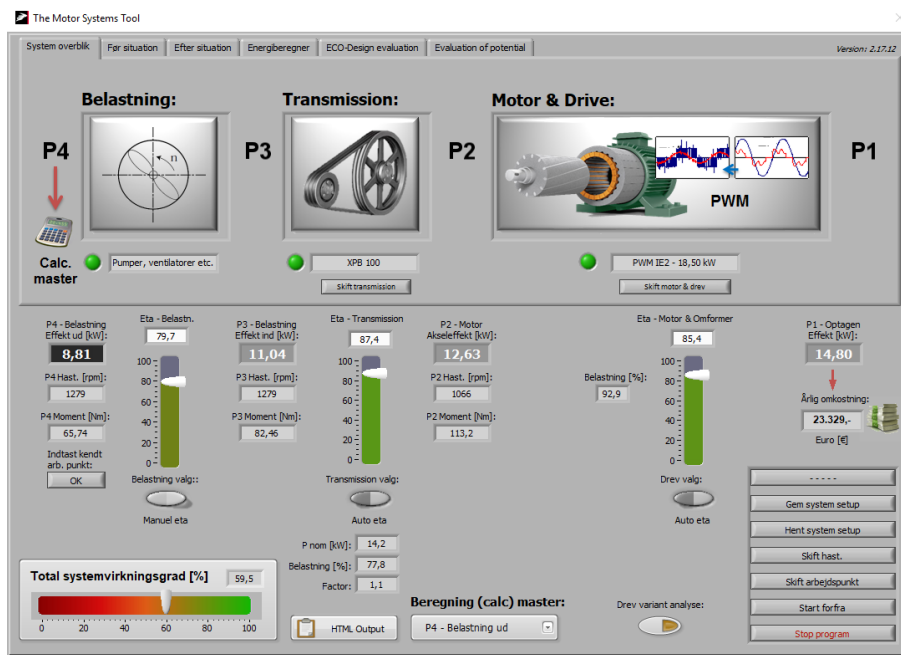
P4 - Belastning Udgangseffekt [kW]: 8,81
 Ny beregnet Virkningsgrad [%]: 79,73
 P3 - Hast [rpm]: 1279
 P4 - Belastning Indgangseffekt [kW]: 11,04

Brug last profil: ON

Eta & hastighed beregnes fra last profil

Figur 4.23. Beregning af hydraulisk effekt, virkningsgrad, hastighed og tilført effekt til applikationen baseret på indtastning af volumenstrøm og total trykstigning

Når der klikkes "Ok" overføres data, som det ses i Figur 4.24, til "System overblik".

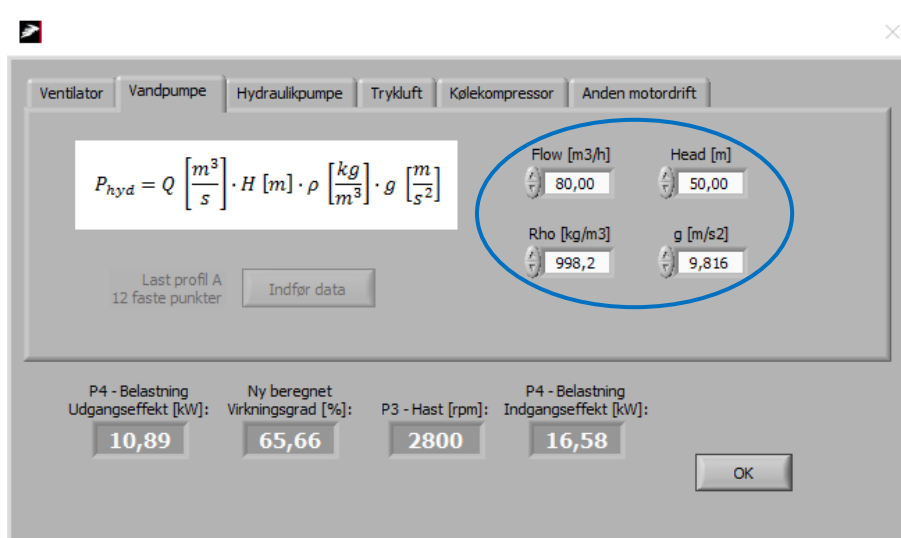


Figur 4.24. System overview baseret på det indtastede driftspunkt

Som nævnt tidligere kan der også vælges en pumpe og en applikation som hører under anden motordrift. Indtastningsfelterne til disse applikationer ses i Figur 4.25 og Figur 4.32.

4.1.11 Vandpumpe

For pumper skal der, som det ses i Figur 4.25, indtastes data for flow, løftehøjde mens densitet (Rho for væsken) og tyngdeaccelerationen default er indtastet. Disse værdier kan dog ændres. Der skal endvidere indtastes data for virkningsgrad og hastighed.



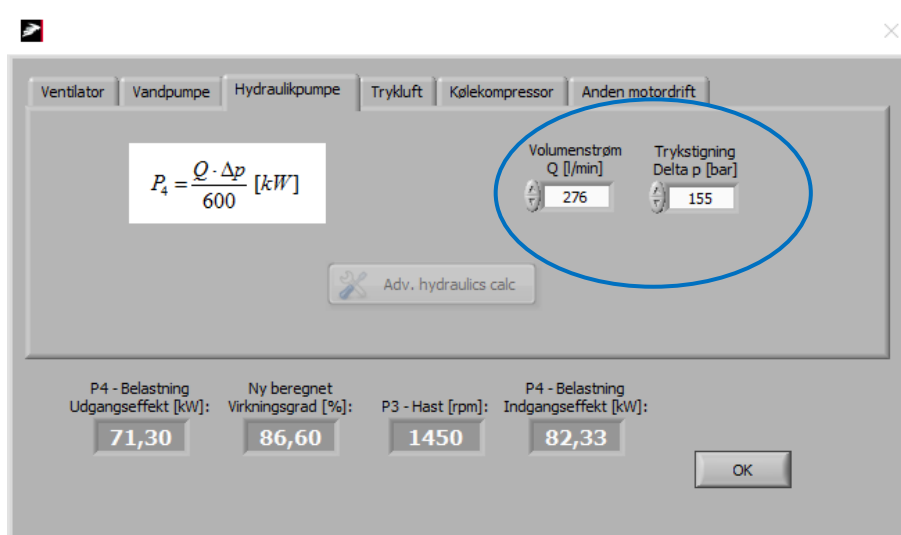
Figur 4.25. Indtast kendt arbejds punkt for en pumpe

Når der klikkes på knappen "Indfør data" fremkommer et billede som vist i Figur 4.22. Her skal der indtastes 12 arbejds punkter for applikationen. Det er nødvendigt med 12 datasæt for at

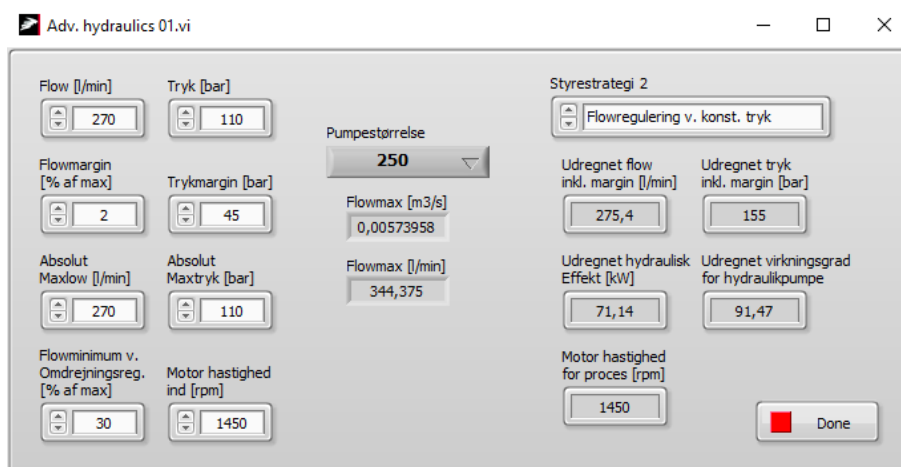
danne valide matematiske udtryk for virkningsgraden. Der indtastes samhørende værdier for flow, løftehøjde, hastighed og virkningsgrad.

4.1.12 Hydraulikpumpe

For pumper skal der, som det ses i Figur 4.26, indtastes data for volumenstrøm og trykstigning. Der skal endvidere indtastes data for virkningsgrad og hastighed.



Figur 4.26. Indtast kendt arbejds punkt for en hydraulikpumpe



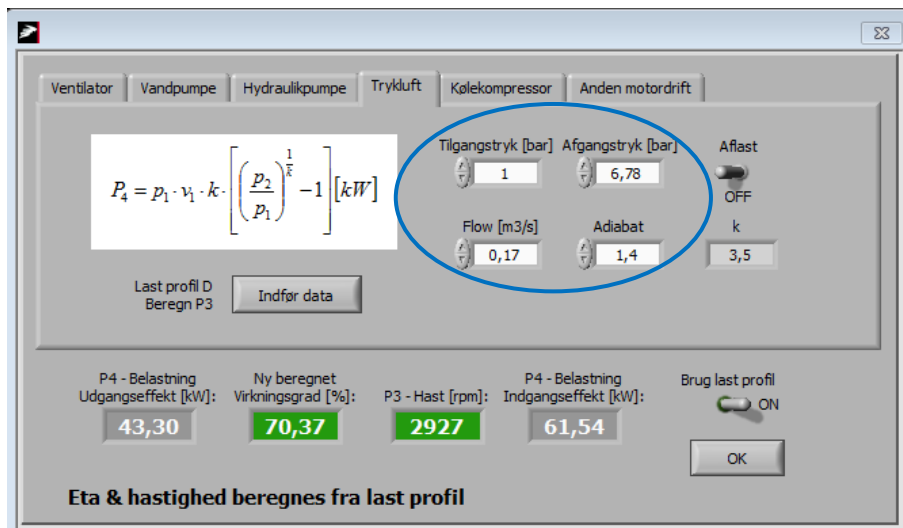
Figur 4.27. Indtastning af arbejds punkt for applikation

Når der klikkes på knappen "Adv. hydraulics calc" fremkommer et billede som vist i Figur 4.27. Her skal der indtastes følgende for applikationen:

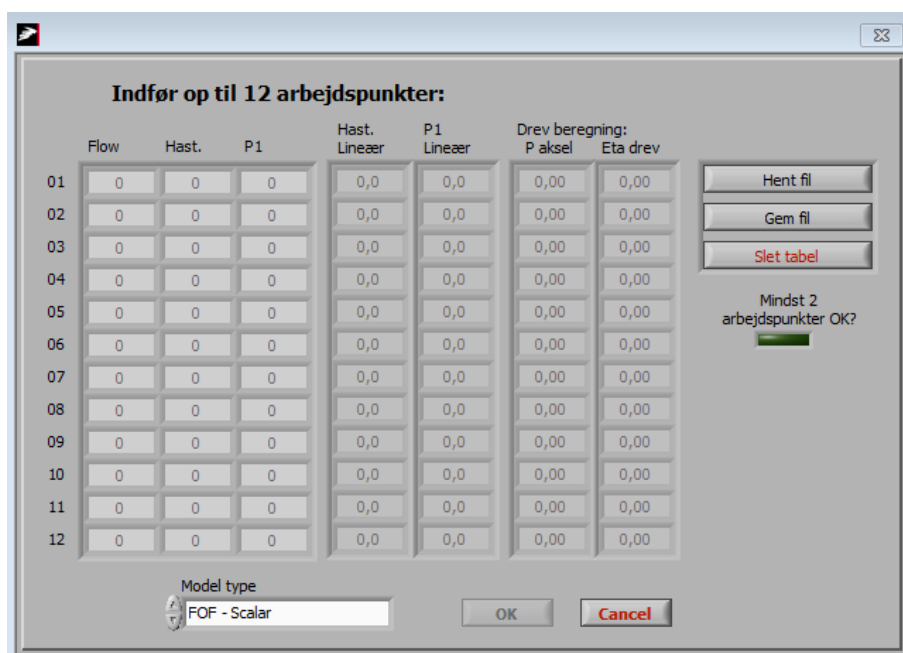
- Flow (aktuelt)
Her indtastes flowet til en proces
- Flowmargin
Her indtastes det flow pumpen skal kunne yde yderligere ud over det processen kræver. Flowmargin repræsenterer at flere typer af styre- og reguleringsventiler kræver et lille overløb.
- Maks. flow
Her indtastes det maksimale flow der kan forekomme og som pumpen skal kunne yde
- Flow minimum ved omdrejningstalregulering
Her indtastes det minimale flow pumpen kan yde ved omdrejningstalregulering
- Tryk (aktuelt)
Her indtastes trykbehovet for en proces
- Trykmargin
Her indtastes det tryk pumpen skal kunne yde yderligere ud over det processen kræver. Trykmargin repræsenterer tryktab i retningsventiler og eventuelt tryktab i bypass'ventiler.
- Maks. tryk
Her indtastes det maksimale tryk der kan forekomme i en proces
- Pumpestørrelsen i et rullegardin
Her vælges en pumpe i størrelsen fra 28 til 250 cm³ pr. omdrejning
- Reguleringsform i et rullegardin
Her vælges reguleringsformen for pumpen

4.1.13 Trykluft

For trykluftkompressorer skal der, som det ses i Figur 4.28, indtastes data for tilgangstryk, afgangstryk, flow og adiabatkonstant. Der skal endvidere indtastes data for virkningsgrad og hastighed.



Figur 4.28. Indtast kendt arbejds punkt for en trykluftkompressor



Figur 4.29. Indtastning af 12 arbejds punkter for applikation

Når der klikkes på knappen "Indfør data" fremkommer et billede som vist i Figur 4.29. Her skal der indtastes 12 arbejds punkter for applikationen. Der indtastes sam hørende værdier for flow, kompressorens hastighed og optagen effekt for motoren (P1).

4.1.14 Kølekompresor

For kølekompresorer skal der, som det ses i Figur 4.30, indtastes data for fordampningstemperatur, kondenseringstemperatur og kølekapacitet. Der skal endvidere indtastes data for virkningsgrad og hastighed.

The screenshot shows a software window titled 'Kølekompresor'. At the top, there are tabs for 'Ventilator', 'Vandpumpe', 'Hydraulikpumpe', 'Trykluft', 'Kølekompresor', and 'Anden motordrift'. The 'Kølekompresor' tab is active. On the left, there are two equations: $COP_{Carnot} = \frac{T_0 + 273,15}{T_k - T_0}$ and $P_{Carnot} = \frac{Q_0}{COP_{Carnot}}$. Below these is a button 'Indfør data'. On the right, there are four input fields: 'Fordampnings temperatur [°C]' (2), 'Kølekapacitet Q0 [kW]' (878), 'Kondenserings temperatur [°C]' (27), and 'COP carnot' (11,006). Below the input fields, there are four calculated values: 'P4 - Belastning Udgangseffekt [kW]' (79,77), 'Ny beregnet Virkningsgrad [%]' (40,67), 'P3 - Hast [rpm]' (1450), and 'P4 - Belastning Indgangseffekt [kW]' (196,16). An 'OK' button is at the bottom right.

Figur 4.30. Indtast kendt arbejds punkt for en kølekompresor

The screenshot shows a software window titled 'Indfør op til 12 arbejds punkter:'. It contains a table with 12 rows and 6 columns: Flow, Hast., P3, Hast. Lineær, and P3 Lineær. All cells contain '0'. To the right of the table are three buttons: 'Hent fil', 'Gem fil', and 'Slet tabel'. Below these buttons is a progress bar and the text 'Mindst 2 arbejds punkter OK?'. At the bottom are 'OK' and 'Cancel' buttons.

Figur 4.31. Indtastning af 12 arbejds punkter for applikation

Når der klikkes på knappen "Indfør data" fremkommer et billede som vist i Figur 4.31. Her skal der indtastes 12 arbejds punkter for applikationen. Der indtastes sam hørende værdier for køle ydelse, kompressorens hastighed og virkningsgrad.

4.1.15 Anden motordrift

For anden motordrift kan der, som det ses i Figur 4.32, indtastes data for en parameter A og en parameter B, som er karakteristisk for applikationen. Endvidere skal den hydrauliske effekt indtastes direkte. Der skal endvidere indtastes data for virkningsgrad og hastighed for applikationen.

Hvis virkningsgraden ikke kendes, kan værdierne angivet i Figur 4.33 anvendes som overslagsværdier.

The screenshot shows a software window titled 'Anden motordrift' with a tabbed interface. The 'Anden motordrift' tab is active. It contains three input fields: 'Parameter - A' with the value 40,00, 'Parameter - B' with the value 80,00, and 'Kendt P4 [kW]' with the value 8,80. Below these is a button labeled 'Forslag til virkningsgrader'. At the bottom, there are four output fields: 'P4 - Belastning Udgangseffekt [kW]' with the value 8,80, 'Ny beregnet Virkningsgrad [%]' with the value 52,35, 'P3 - Hast [rpm]' with the value 1450, and 'P4 - Belastning Indgangseffekt [kW]' with the value 16,81. An 'OK' button is located at the bottom right.

Figur 4.32. Indtast kendt arbejds punkt for anden motordrift

The screenshot shows a software window titled 'Gode bud på virkningsgrader:'. It contains a table with two columns: 'Applikation' and 'Eta - Anslået'. The table lists various applications and their corresponding efficiency ranges. An 'OK' button is located at the bottom center.

Applikation	Eta - Anslået
Transportbånd	40 - 50 %
Omrører	70 - 80 %
Homogenisator	95 - 97 %
Centrifuge	96 - 98 %
Hammermølle	70 - 80 %
Knuser	90 - 95 %
Bukkemaskine	90 - 95 %
Pressemaskine	90 - 95 %
Frøsemaskine	90 - 95 %
Boremaskine	90 - 95 %
Høblemaskine	90 - 95 %
Pudsemaskine	90 - 95 %

Figur 4.33. Bud på virkningsgrader for applikationer til anden motordrift

I Figur 4.18 ses, at programmet giver en række oplysninger om de fire komponenter i det motordrevne maskinsystem:

- For belastningen, transmissionen og motoren (markeret med rødt) angives, som det ses i Figur 4.18, virkningsgraden
- For transmissionen og motoren (markeret med blå) angives foruden effekten også omdrejningstallene og momentet
- For transmissionen og motoren (markeret med grønt) angives den nominelle effekt og belastningsgraden. For motoren angives dog kun belastningsgraden.

For både transmissionen og motoren kan der komme advarsler (røde blink), hvis belastningsgraderne bliver enten for høje eller for lave.

- For hele det motordrevne maskinsystem (markeret med gult) angives totalvirkningsgraden.
- For belastningen, transmissionen og motoren (markeret med lilla) er det muligt at klikke på knapperne "Last valg", "Transmissions valg" og "Drive valg". Herved er det muligt, manuelt, at indtaste virkningsgrader for de tre komponenter.

Som nævnt tidligere angives belastningens virkningsgrad som udgangspunkt til 65 % ("Auto beregn"). Virkningsgraden bør ændres manuelt til en skønnet eller målt virkningsgrad. I Figur 4.18 er valgt en virkningsgrad for belastningen på 84 %.

Når man har indtastet data vedr. remtrækket (se under punkt 4.1.2) og man efterfølgende vælger at angive virkningsgraden for remtrækket manuelt, skal man være meget varsom. Det skyldes, at man tidligere har fået beregnet den nominelle effekt på hele remtransmissionen. Vælger man herefter selv at angive remtransmissionens virkningsgrad og vælger man denne for lav, vil der ikke være sammenhæng mellem det remmen kan afgive og det som belastningen skal have tilført.

Vælger man eksempelvis at angive virkningsgraden til 50 %, vil belastningsgraden være ca. 10 %. Et remtræk som vist i Figur 4.13 med en nominel effekt på 18,5 kW, vil således kun kunne overføre 10 % af den nominelle effekt svarende til 1,85 kW. Det er langt fra de 10,48 kW som belastningen, iflg. Figur 4.18, skal have tilført.

I dette tilfælde må man ændre inddataene vedr. remtransmissionen eller belastningens arbejds punkt (se de næste pinde), da man ellers risikerer at det beregnede tab i remtransmissionen, bliver urealistisk højt.

- For belastningen, transmissionen samt motoren og styringen (markeret med orange) er det muligt at ændre de indtastninger der blev foretaget i forbindelse med de indledende indtastninger (se Figur 4.2).
- Belastningens arbejds punkt ændres ved at klikke på "Skift arbejds punkt" (markeret med lyserød). Klikker man på kappen fremkommer billedet vist i Figur 4.16. Her er det bl.a. muligt at ændre det aktuelle arbejds punkt i kW samt omdrejningstallet for belastningen.

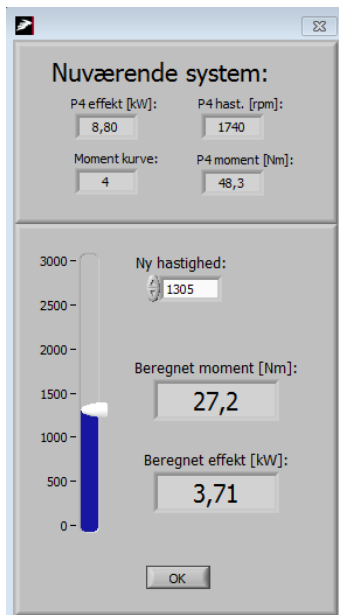
Foruden "Skift arbejds punkt" er der yderligere otte knapper markeret med lyserød. Disse knapper beskrives nedenfor:

- Gem system setup

Klikker man på knappen "Gem system setup" kan man gemme alle de data man har indtastet for et pågældende system. Det er systemet med det sidst indtastede driftspunkt der gemmes.

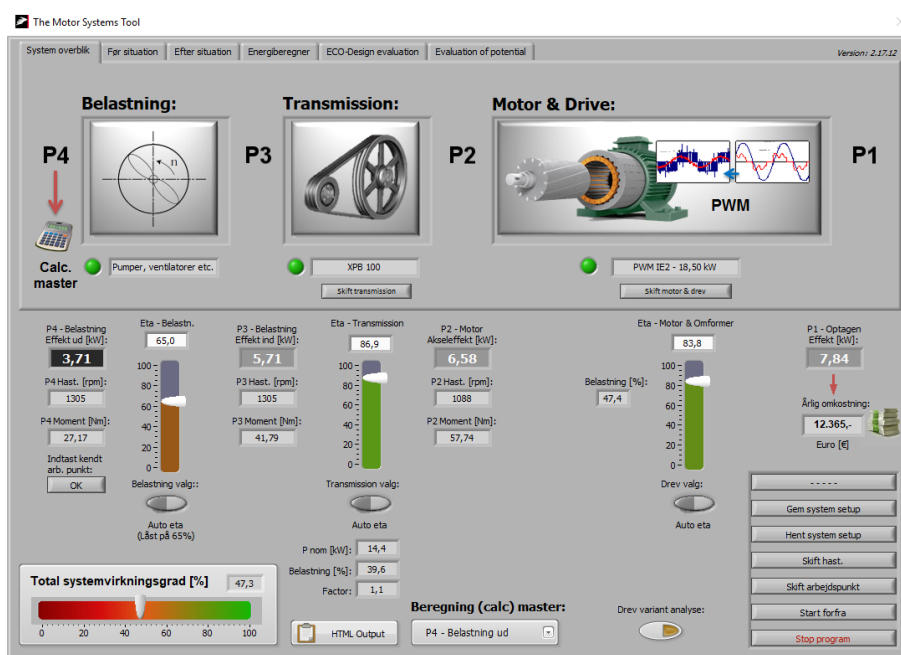
- Hent system setup
Klikker man på knappen " Hent system setup" kan man hente alle de data man tidligere har indtastet for et pågældende system. Som nævnt før, er det systemet med det sidst indtastede driftspunkt der gemmes.
- Skift hastighed
Her er implementeret en kalkule, således at man kan ændre hastigheden i forhold til nuværende arbejds punkt, og der udregnes nye effekter i hele kæden baseret på den valgte momentkurve. Der tages udgangspunkt i P_4 men med ny hastighed.

Når man klikker på knappen "Skift hastighed" fremkommer skærbilledet i Figur 4.34.



Figur 4.34 – Skift hastighed

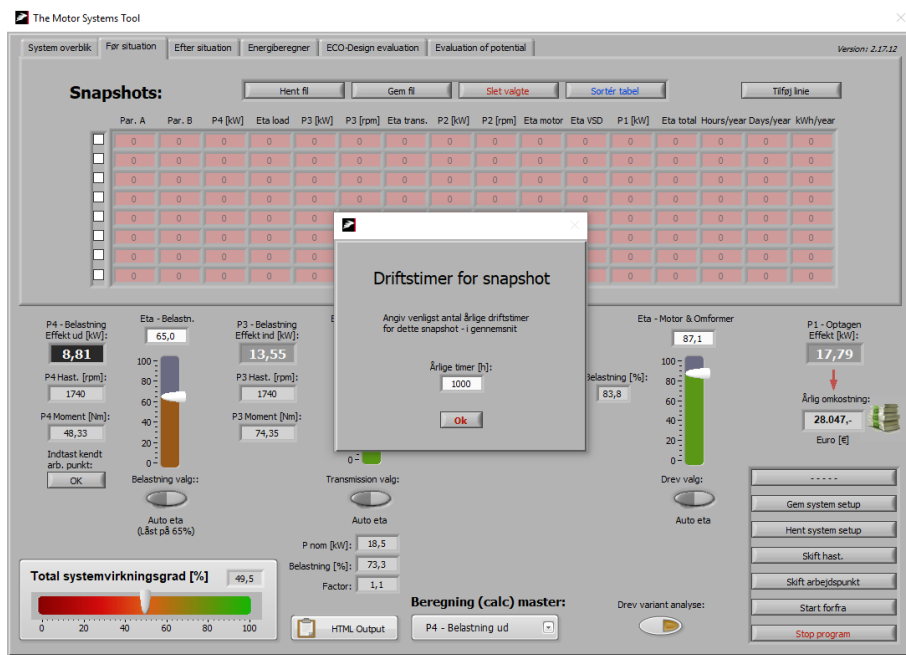
I Figur 4.35 ses data for systemet med den nye hastighed på 1.305 rpm.



Figur 4.35 – System med ændret hastighed

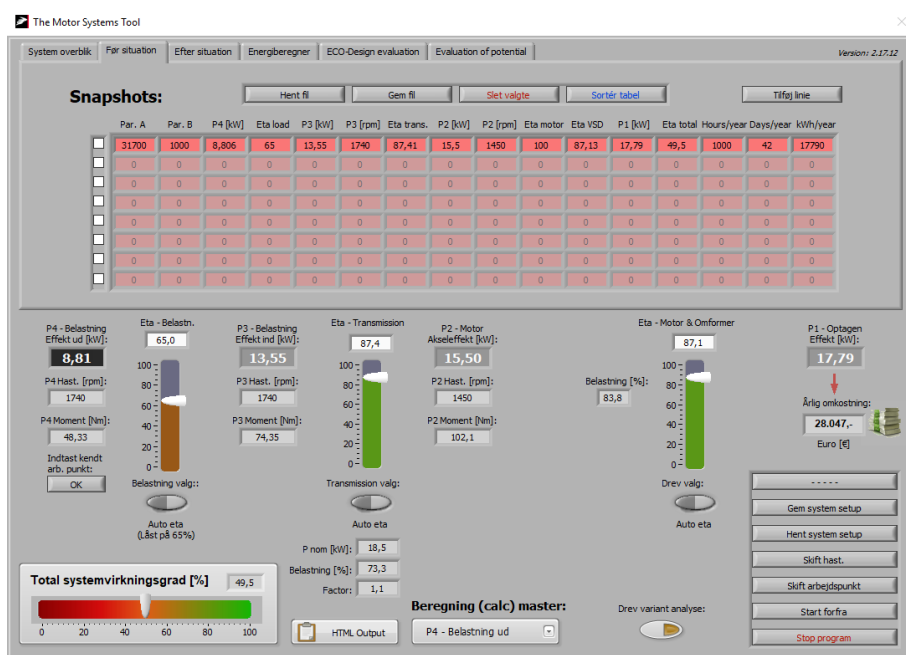
- **Start forfra**
Klikker man på knappen "Start forfra" slettes alt og man kan fortage nye indtastninger.
- **Stop program**
Klikker man på knappen "Stop program" lukkes programmet ned.
- **Før situation**
Når man klikker på knappen "Før situation" er det muligt at foretage beregninger af elforbruget til det motordrevne maskinsystem i forskellige driftspunkter.

Når man har markeret en linje med et flueben og klikker på knappen "Tilføj linje" fremkommer et lille billede "Driftstimer for snapshot" (se Figur 4.36) med et indtastningsfelt, hvor man kan angive et årligt driftstimetale for et givent driftspunkt og få beregnet elforbruget. Der er mulighed for at få beregnet elforbruget i otte driftspunkter.



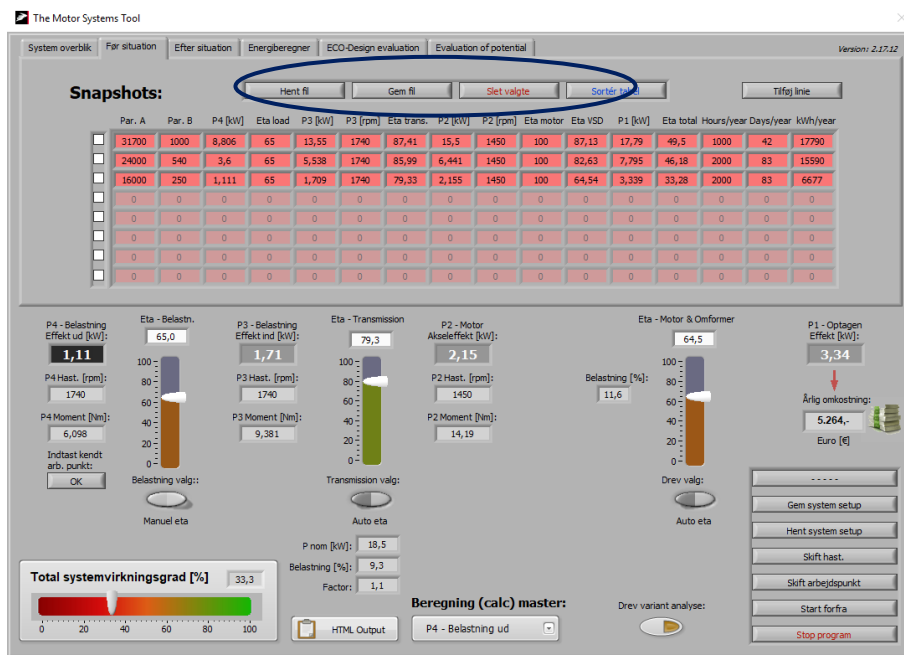
Figur 4.36. Før situation – angivelse af driftstimer

I Figur 4.37 ses data for systemet, når brugeren har klikket på "Ok" i billedet i Figur 4.36.



Figur 4.37. Før situation – tilføjelse af linje med data for system

I Figur 4.38 ses data for systemet i tre driftssituationer.



Figur 4.38. Før situation – tre driftspunkter (driftsprofil)

Som det ses i Figur 4.38 (markeret med mørkeblå) kan man hente og gemme en fil med driftspunkter ("Hent fil" og "Gem fil").

Det er endvidere muligt at slette data ("Slet valgte") og sortere data i tabellen ("Sorter tabel")

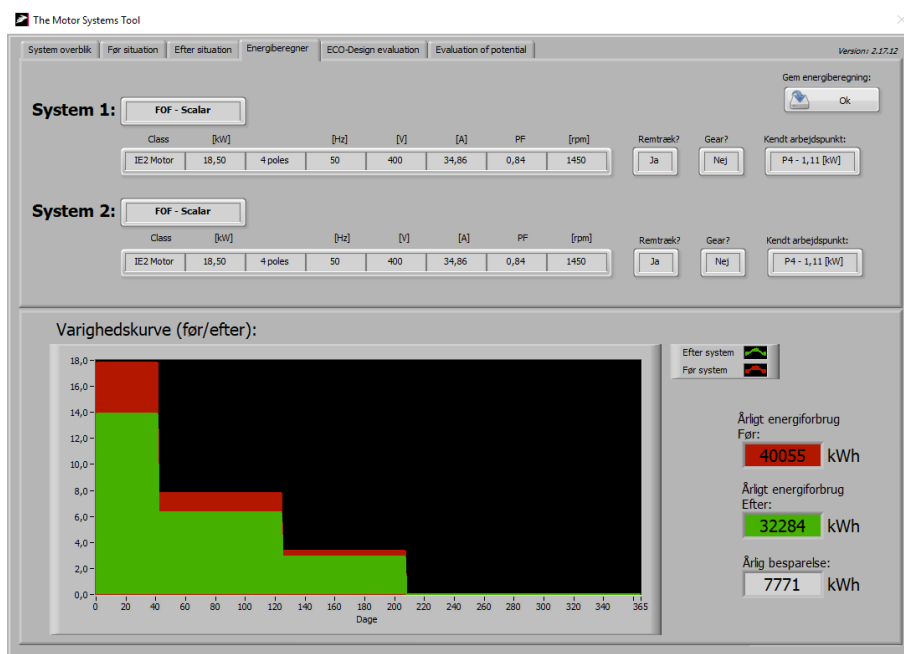
- Efter situation
Når man klikker på knappen "Efter situation" er det muligt at foretage beregninger af elforbrug til det motordrevne maskinsystem i forskellige driftspunkter (se Figur 4.39).

Fremgangsmåden er nøjagtig magen til den der benyttes i før situationen.



Figur 4.39. Efter situation – tre driftspunkter

- Energiberegner
Når man klikker på knappen "Energiberegner" (se Figur 4.40) er det muligt at få et overblik over elforbruget til det motordrevne maskinsystem i før og efter situationen.



Figur 4.40. Energiberegner

5 Eksempler på brug af værktøjet - ventilationssystem

Nedenfor ses et eksempel på brug af værktøjet. Eksemplet omhandler optimering af et ventilationsystem foretaget af en energirådgiver.

Anlægget er et VAV-anlæg, dvs. med variabel volumenstrøm. Der vises et eksempel på optimering af systemet i tre driftspunkt, hvor ventilatoren normalt kører.

Energirådgiveren har målt og registreret følgende:

- Volumenstrøm
- Total trykstigning over ventilatoren
- Effektoptag for motoren
- Motorens omdrejningstal (registreret via den angivne frekvens på frekvensomformereren)

5.1 Data for ventilationssystemet

Nedenfor ses energirådgiverens beskrivelse af de komponenter der indgår i ventilationssystemet. Foruden ventilatoren indgår der en transmission, en motor og en styringsenhed.

5.1.1 Ventilator

Ventilatoren er af ældre data og er med fremadkrummede skovle. Det har ikke været muligt for energirådgiveren at fremskaffe en ventilatorkurve.

5.1.2 Remtransmission

Remtransmissionen består af 3 stk. XPB-remme (fortandede smalkileremme). Diameteren på den lille remskive er 112 mm og udvekslingsforholdet er 1,5. Den forventede remhastighed svarer i dette tilfælde til motorens.

5.1.3 Motor

Motoren er en 4-polet 18,5 kW IE1 motor.

5.1.4 Styring

Der benyttes en frekvensomformer til ændring af motorens og ventilatorens omdrejningstal.

5.2 Målinger og registreringer på ventilationssystemet

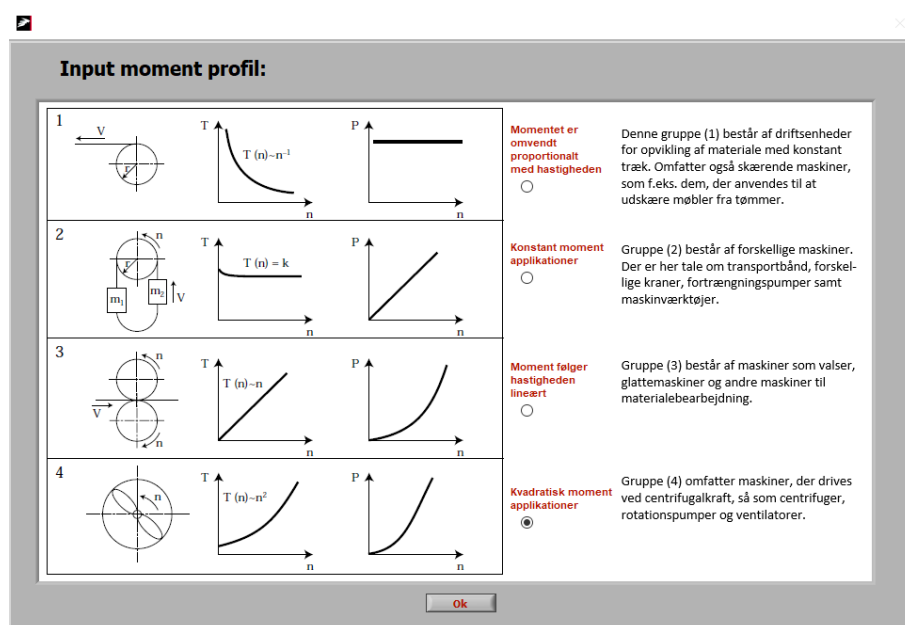
I tabel 5.1 ses målinger og registreringer på ventilationssystemet

Driftspunkt	Volumenstrøm [m ³ /h]	Total trykstigning [Pa]	Effektoptag [kW]	Omdrejningstal [rpm]
1	32.000	1.000	18,5	1.260
2	24.000	540	7,7	930
3	16.000	250	3,0	638

Tabel 5.1. Målinger og registreringer på ventilationssystemet

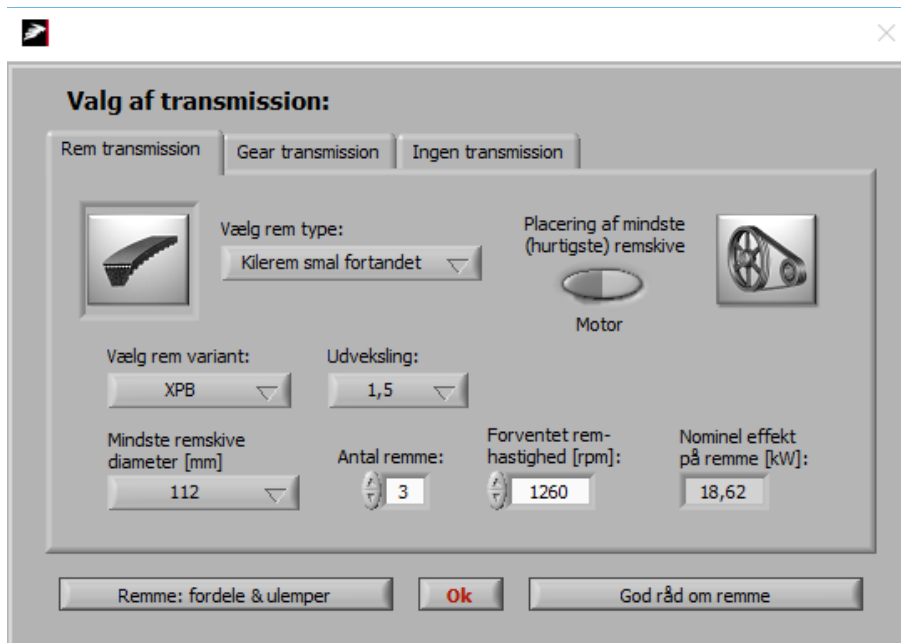
5.3 Inddatering i programmet

I Figur 5.1 vælges først et momentprofil. Da der er tale om en ventilator vælges en applikation med kvadratisk moment



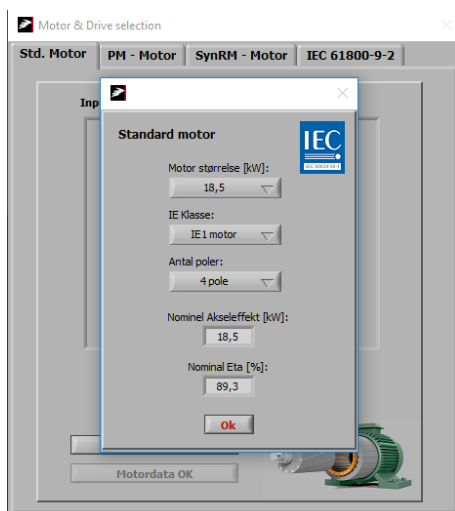
Figur 5.1. Valg af momentprofil

Herefter indtastes, som det ses i Figur 5.2, data for transmissionen.

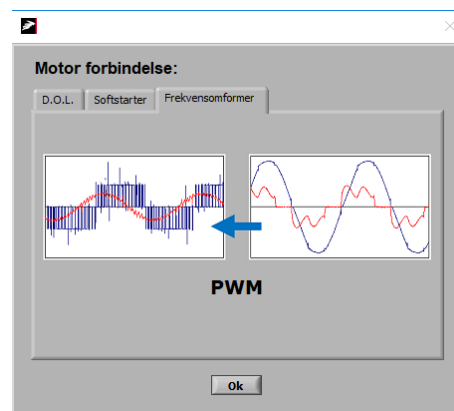


Figur 5.2. Indtastning af data for transmission

Endelig indtastes der, som det ses i Figur 5.3 og Figur 5.4, data for motoren og styringen.



Figur 5.3. Data for motor



Figur 5.4. Data for styring

I figur 5.5 indtastes et kendt arbejds punkt som er effektoptaget og omdrejningstallet i drifts punkt 1.

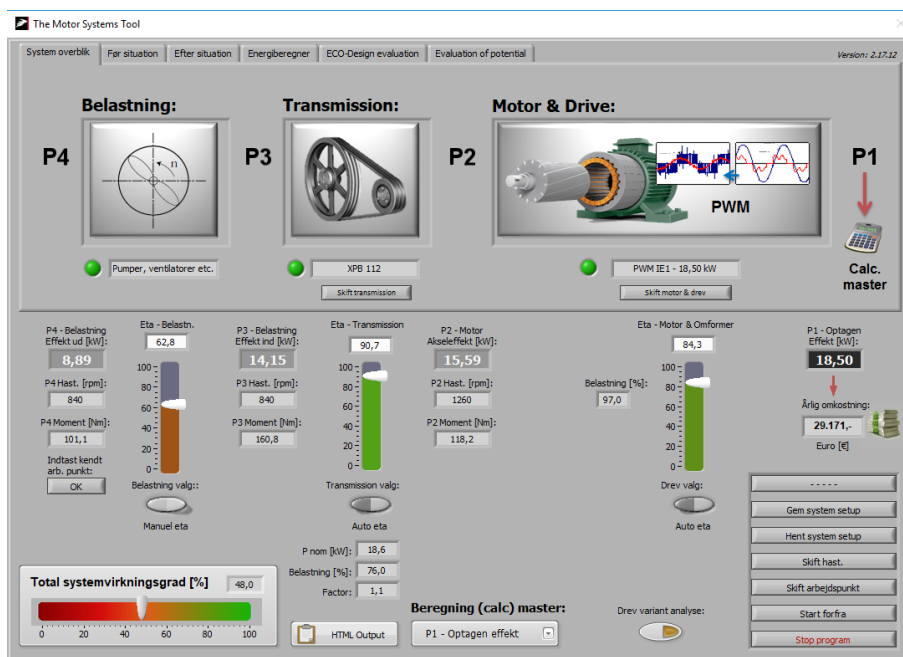
Figur 5.5. Indtastning af kendt arbejds punkt

Til slut indtastes, som det ses i Figur 5.6, data for ventilatoren.

Figur 5.6. Indtastning af data for ventilator

5.4 Output fra programmet

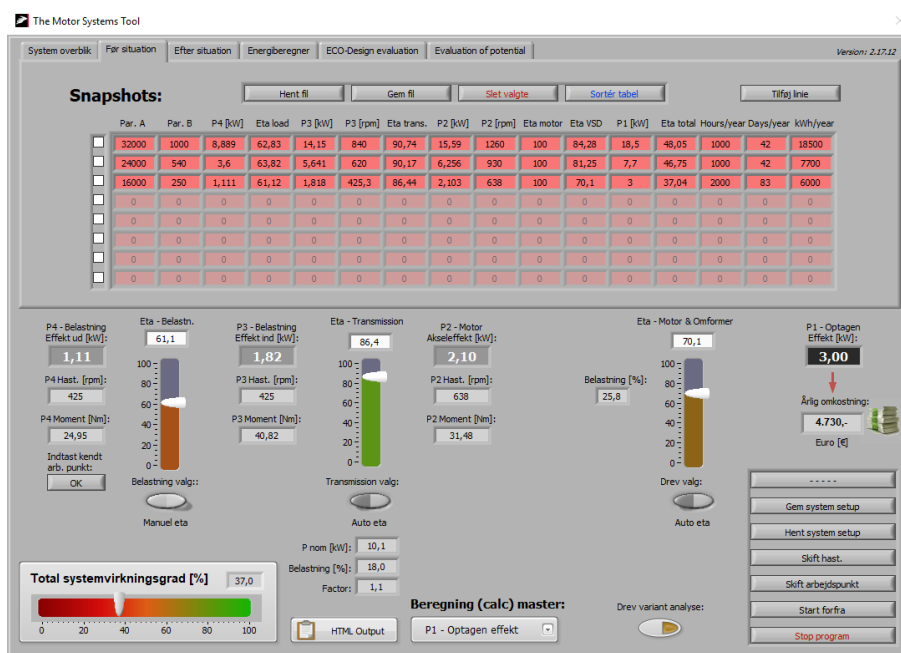
I Figur 5.7 ses output fra programmet. Virkningsgraden for ventilatoren er beregnet til 62,8 %.



Figur 5.7 – Output fra programmet – før gennemførelse af tiltag

De tre andre driftspunkter kan derefter indtastes. Det sker ved at klikke på "Skift arbejds punkt". Her indtastes nye værdier for effektoptag og omdrejningstal. Endvidere indtastes de tilhørende værdier for volumenstrøm og total trykstigning. Det sker ved at klikke på knappen "Indtast kendt arb. punkt".

Data overføres til skemaet for før situationen som det ses i Figur 5.8.

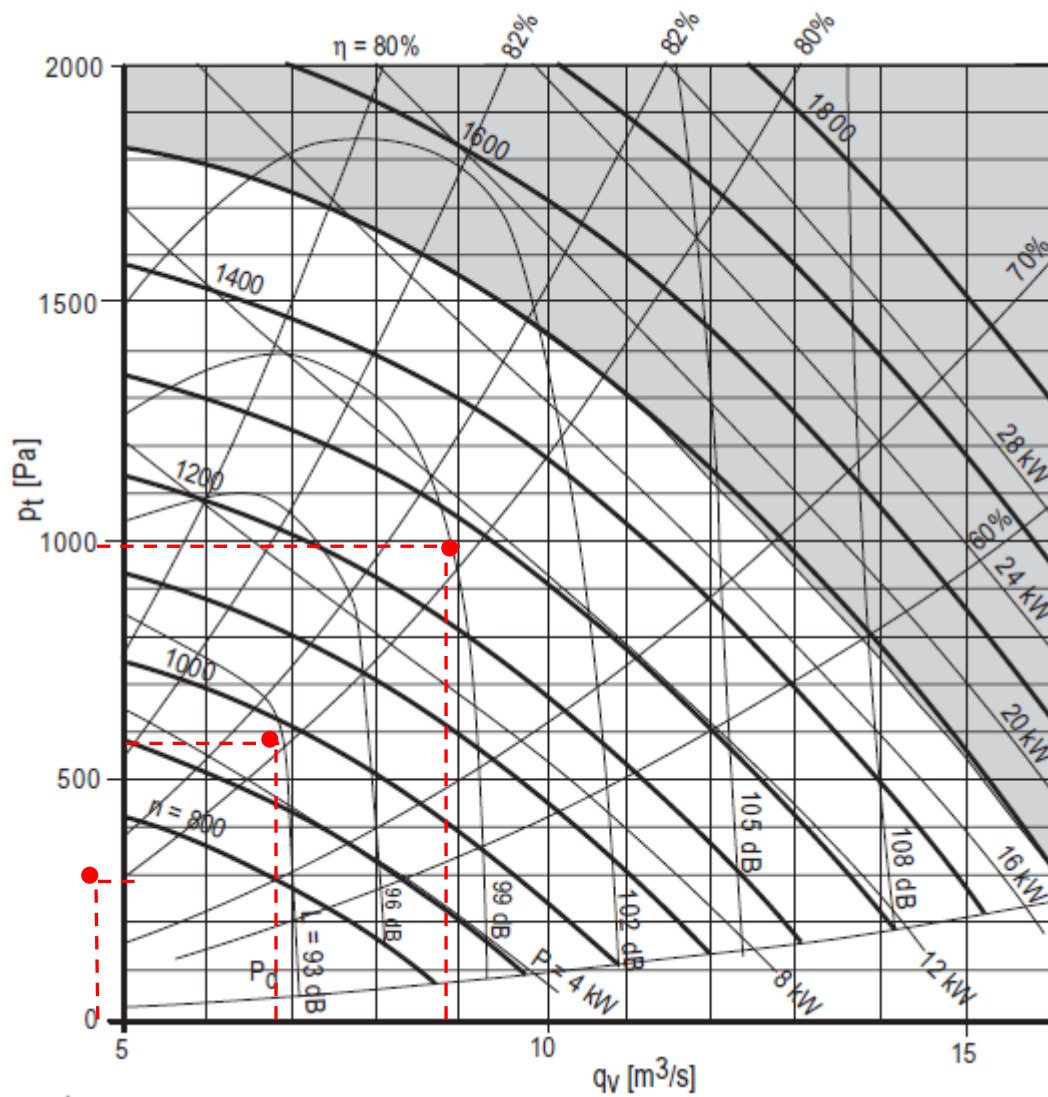


Figur 5.8. Før situation - ventilationssystem

5.5 Udskiftning af komponenter i ventilationssystemet

Virkningsgraden for ventilatoren ligger, som det ses i Figur 5.8, på 61 - 63 %. Energirådgiveren beslutter derfor at undersøge hvor stor elbesparelse der kan opnås ved udskiftning af ventilatoren. I forbindelse med udskiftning af ventilatoren er det også oplagt at udskifte IE1 motoren til en IE3 motor. Det vil også være nødvendigt at foretage en ændring vedr. transmissionen, da ventilatorens omdrejningstal ved de forskellige driftspunkter er højere end den eksisterende ventilators. Dette ses senere i afsnittet.

Energirådgiveren har fundet en ventilatorkurve for en ny og effektiv ventilator der vil kunne erstatte den eksisterende. Ventilatorkurven ses i Figur 5.9. I figuren er indtegnet de nuværende driftspunkter, som i eftersituationen er uændrede,



Figur 5.9. Ventilatorcurve for ny ventilator med angivelse af tre driftspunkter

I Figur 5.10 ses data for transmissionen i efter situationen. Der benyttes stadig den samme remtype, men udvekslingsforholdet er ændret fra 1,5 til 1,2 og den mindste remskive diameter er ændret fra 112 mm til 100 mm.

Figur 5.10. Indtastning af data for transmission

I Figur 5.11 ses data for den nye motor. Der benyttes nu en 15 kW IE3 motor, hvor der før ændringen blev benyttet en 18,5 kW IE1 motor.

Figur 5.11. Data for motor

I Figur 5.12 ses indtastning af et kendt arbejds punkt. Arbejds punktet er fundet i ventilatorkurven vist i Figur 5.9.

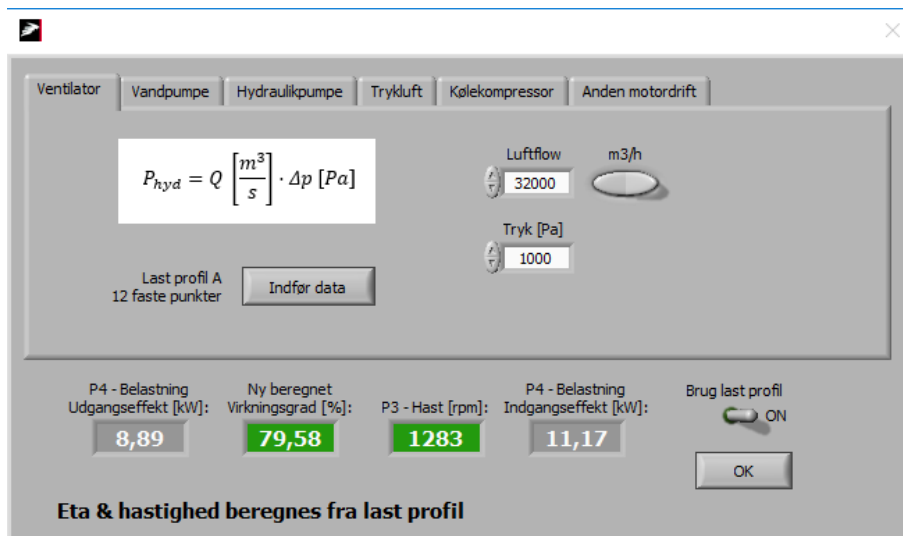
Figur 5.12. Indtastning af kendt arbejds punkt

I Figur 5.13 ses tolv arbejds punkter for den nye ventilator. Arbejds punkterne er hentet fra ventilatorkurven vist i Figur 5.9.

	Flow	Tryk	Hast.	Eta
01	25200	500	930	78
02	25200	1000	1190	82
03	25200	1500	1420	80
04	36000	500	1130	65
05	36000	1000	1340	77
06	36000	1500	1535	82
07	46800	500	1330	57
08	46800	1000	1515	69
09	46800	1500	1680	76
10	54000	500	1475	54
11	54000	1000	1645	62
12	54000	1500	1800	72

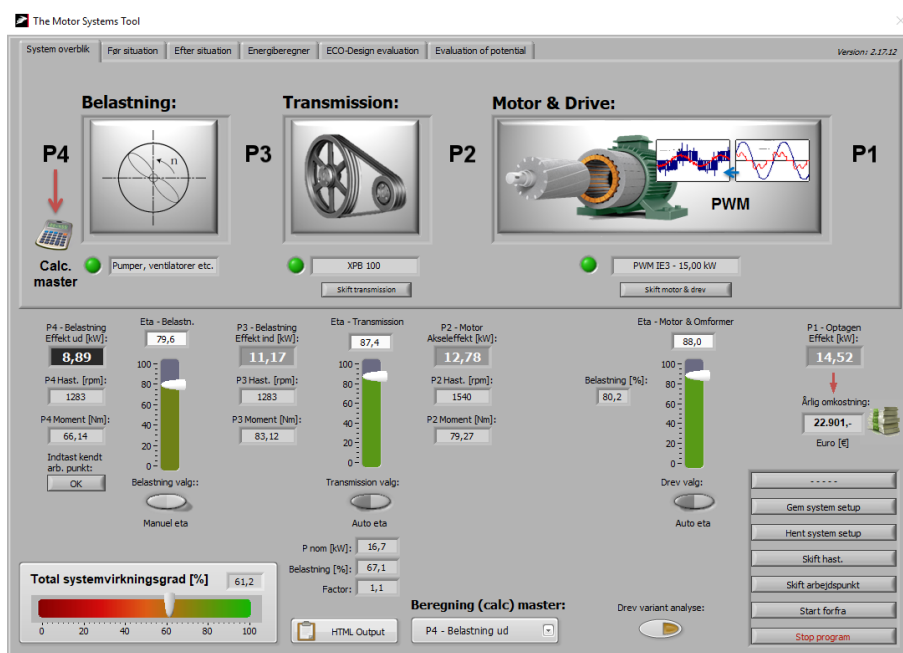
Figur 5.13. Arbejds punkter for ventilator

I Figur 5.14 ses beregnede data for ventilatoren baseret på indtastning af volumenstrøm og total trykstigning.



Figur 5.14. Data for ventilator

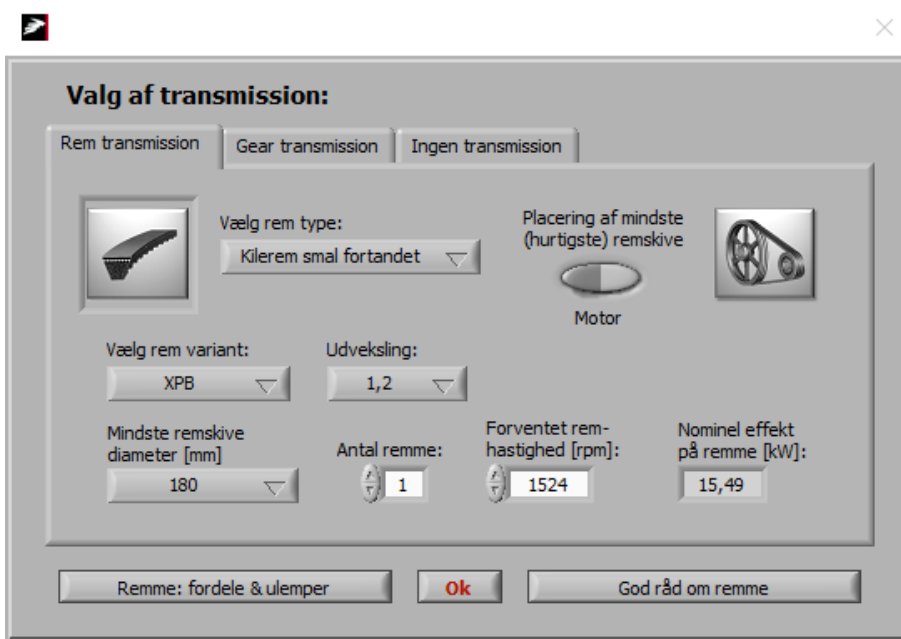
I Figur 5.15 ses output fra programmet eller systemoverblik baseret på indtastningen af volumenstrøm og total trykstigning over ventilatoren. Som det ses, har værktøjet foretaget beregninger for de andre komponenter i systemet.



Figur 5.15 - Output fra programmet – efter gennemførelse af tiltag

Som det ses i Figur 5.15 er virkningsgraden for remtransmissionen 87,4 %, hvilket er relativt lavt. Energirådgiveren beslutter sig for at undersøge besparelspotentialet ved udskiftning af remskiverne. De eksisterende remskiver erstattes med remskiver på henholdsvis 180 mm og 220 mm med kun et spor, dvs. der benyttes kun en rem. Som det ses i Figur 5.16 kan en rem i en transmission med en mindste remskive på 180 mm ikke overføre den samme effekt som tre

remme i en transmission med en mindste remskive på 100 mm, men forskellen er ikke større end at det vil kunne fungere.



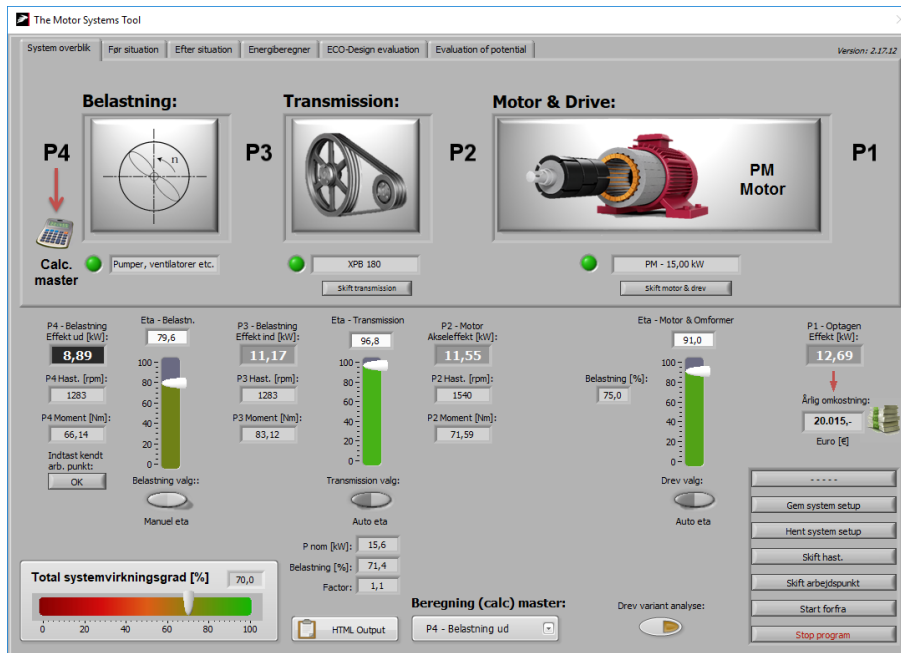
Figur 5.16. Valg af større remskiver

Som det ses Figur 5.17 forbedres virkningsgraden for remtransmissionen fra 87,4 % til 96,7 % ved gennemførelse af tiltaget



Figur 5.17. Output fra programmet efter udskiftning af remskiver

Energirådgiveren beslutter sig til sidst for at undersøge besparelspotentialet ved at benytte en 15 kW PM motor i stedet for 15 kW IE3 motoren.



Figur 5.18. Udskiftning til 12,3 kW PM motor

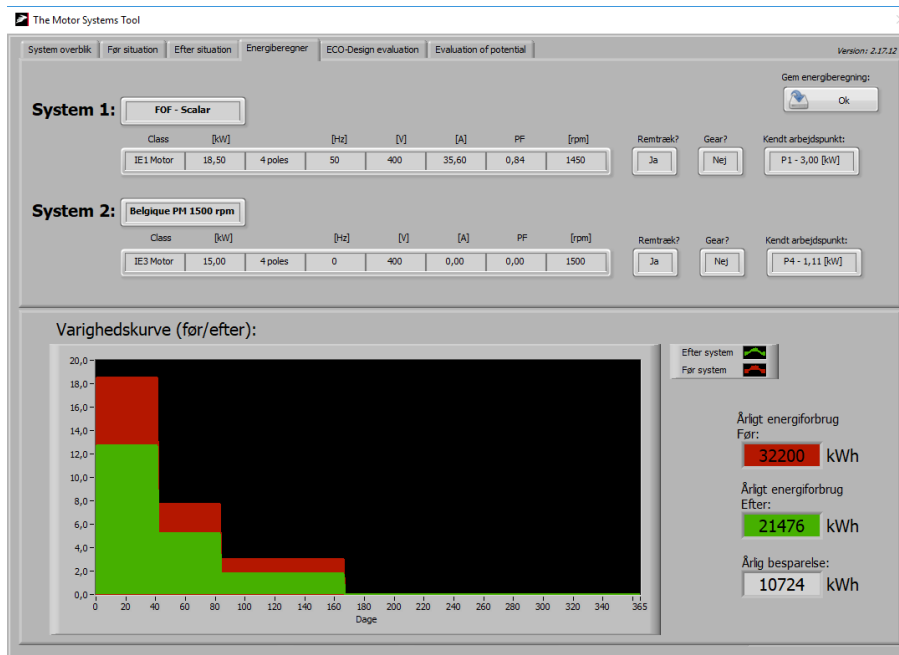
Som det ses i Figur 5.18 bliver effektoptaget for motoren i det dimensionerende driftspunkt 12,69 kW, når systemet er optimeret med de nye komponenter. Før systemoptimeringen var effektoptaget 18,5 kW. Det svarer til en reduktion på ca. 31 %.

I Figur 5.19 ses hvorledes tre driftstilstande er overført til skemaet for efter situationen.



Figur 5.19. Efter situation - ventilationssystem

I Figur 5.20 ses beregninger af elforbrug før og efter optimeringen af ventilationssystemet.



Figur 5.20. Beregninger af elforbrug før og efter

Som det ses, reduceres elforbruget fra 32.200 kWh/år til 21.451 kWh/år ved optimering af maskinsystemet. Besparelsen udgør, som det ses, 10.749 kWh/år, svarende til en reduktion på ca. 33 %.

I Figur 5.20 ses endvidere en række oplysninger om de to alternative systemer. Det ses endvidere at energiberegningen kan gemmes.

6 Eksempler på brug af værktøjet - trykluftssystem

Nedenfor ses et eksempel på brug af værktøjet. Eksemplet omhandler optimering af et trykluftssystem foretaget af en energirådgiver.

Energirådgiveren har målt og registreret følgende:

- Flow
- Leveret tryk
- Effektoptag for motoren
- Motorens omdrejningstal (registreret via den angivne frekvens på frekvensomformereren)

6.1 Data for trykluftsystemet

Nedenfor ses energirådgiverens beskrivelse af de komponenter der indgår i trykluftsystemet. Foruden kompressoren indgår der en motor og en styringsenhed.

6.1.1 Kompressor

Kompressoren er en Ingersoll Rand Nirvana N55 – 55 kW frekvensreguleret kompressor.



Figur 6.1. Trykluftkompressor

6.1.2 Motor

Motoren er en 2-polet 55 kW IE3 motor.

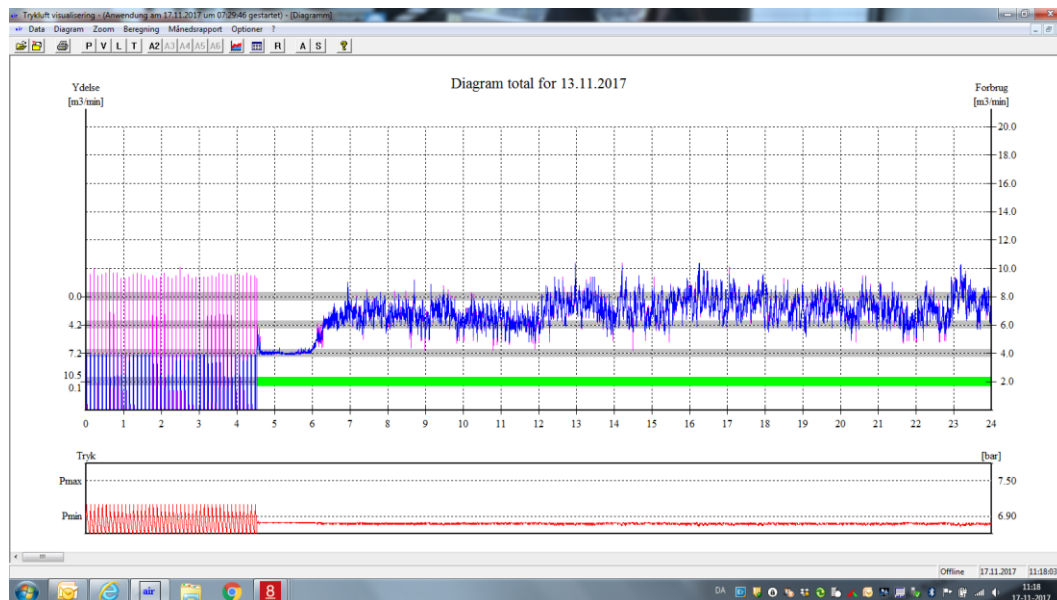
6.1.3 Styring

Der benyttes en frekvensomformer til ændring af motorens og kompressorens omdrejningstal.

6.2 Målinger og registreringer på trykluftsystemet

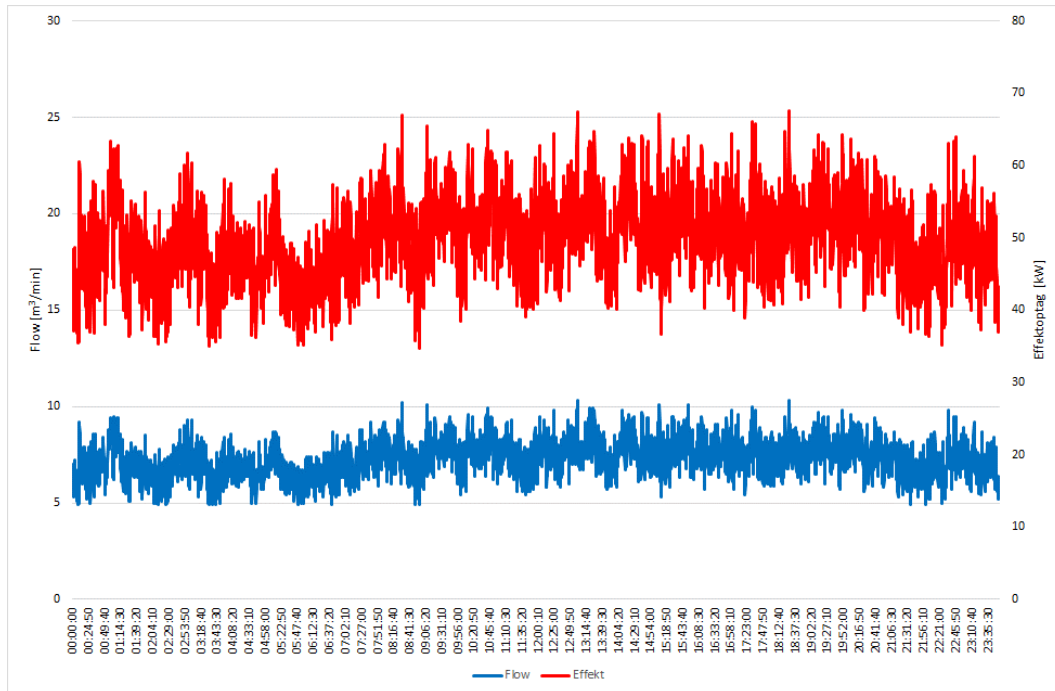
Kompressoren er tilkoblet en styring, hvor der opsamles data for trykluftforbrug/produktion og tryk. I figur 6.2 ses skærmbvisninger fra styringen fra den 13. november 2017.

Som det ses varierer flowet mellem ca. 4 og 10,2 m³/min mens trykket stort set ligger konstant på 6,8 bar.



Figur 6.2. Skærmbvisning fra styrings-pc

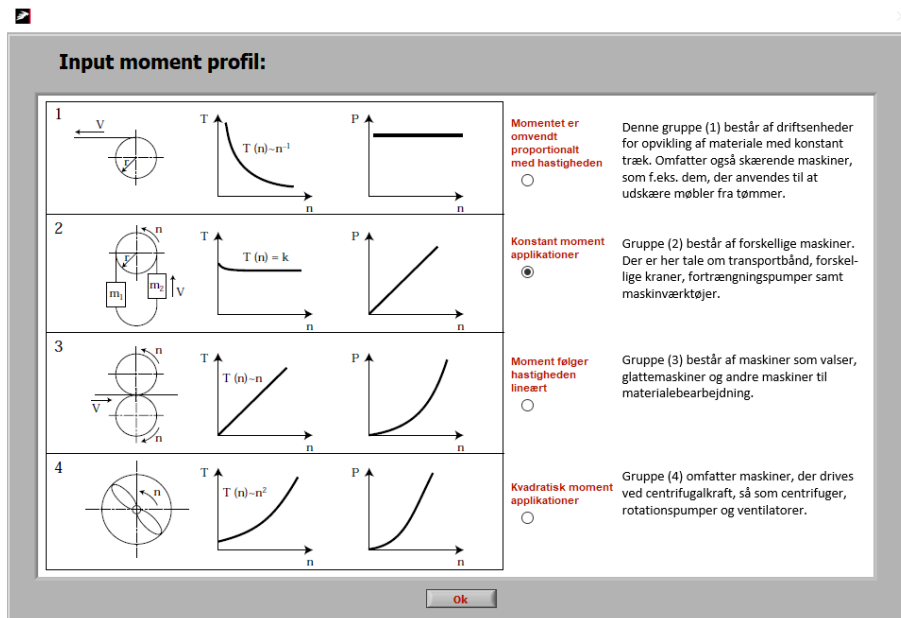
Data for flow og tryk er hentet ud styringssystemet. I figur 6.3 ses sammenhængen mellem flow og effektoptaget for kompressoren.



Figur 6.3. Sammenhængen mellem flow og effektoptaget for kompressoren

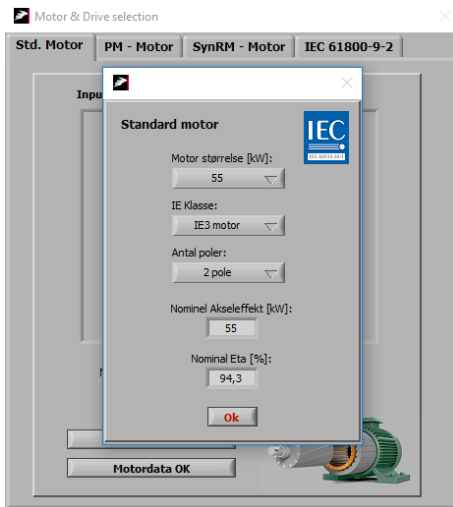
6.3 Inddatering i programmet

I Figur 6.4 vælges først et momentprofil. Da der er tale om en trykluftkompressor vælges en applikation med konstant moment.

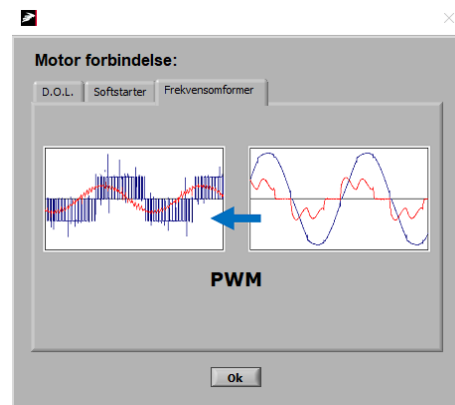


Figur 6.4. Valg af momentprofil

Herefter indtastes der, som det ses i Figur 6.5 og Figur 6.6, data for motoren og styringen.

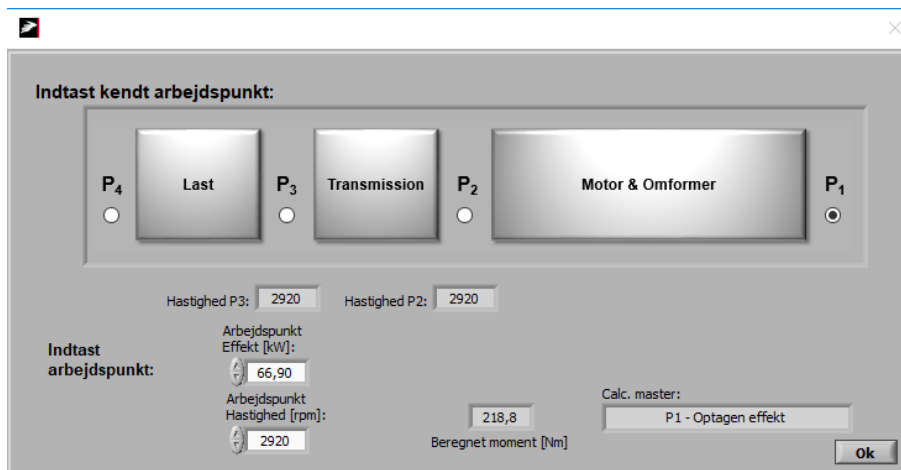


Figur 6.5. Data for motor



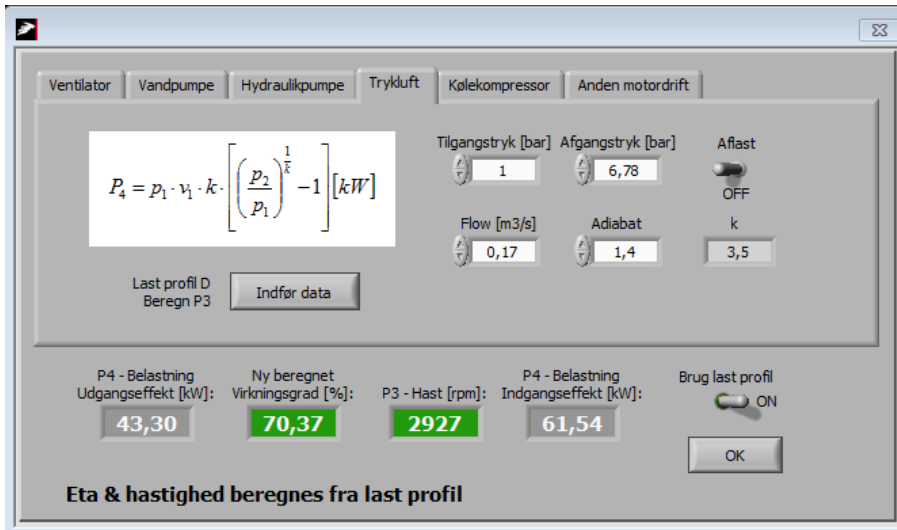
Figur 6.6. Data for styring

I Figur 6.7 indtastes et kendt arbejds punkt som er effektoptaget og omdrejningstallet.



Figur 6.7. Indtastning af kendt arbejds punkt

Til slut indtastes, som det ses i Figur 6.8, data for kompressoren.



Figur 6.8. Indtastning af data for kompressor i applikationsberegner

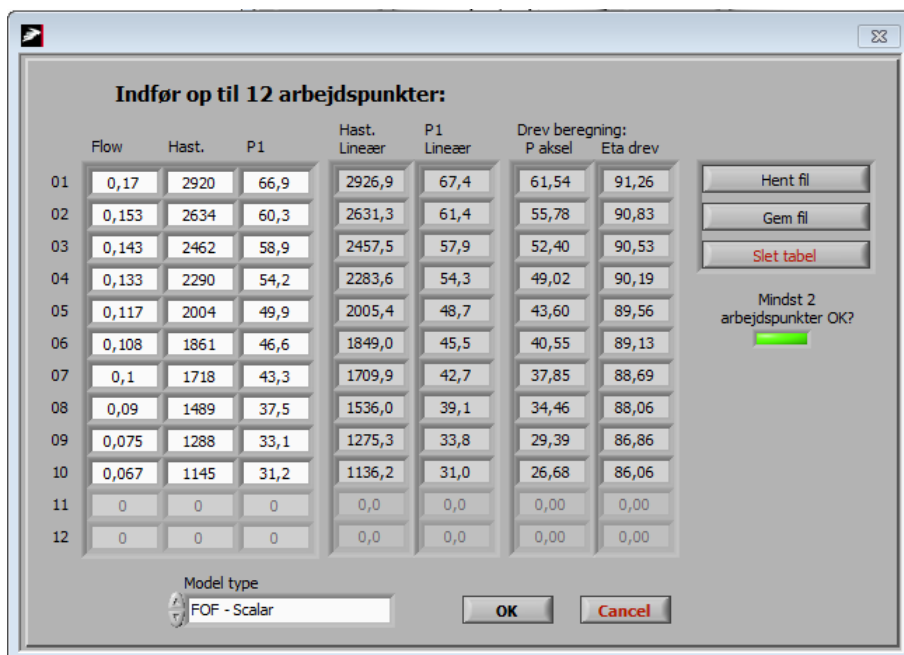
6.4 Output fra programmet

I Figur 6.9 ses output fra programmet. Virkningsgraden for kompressoren er beregnet til 70,4 %.



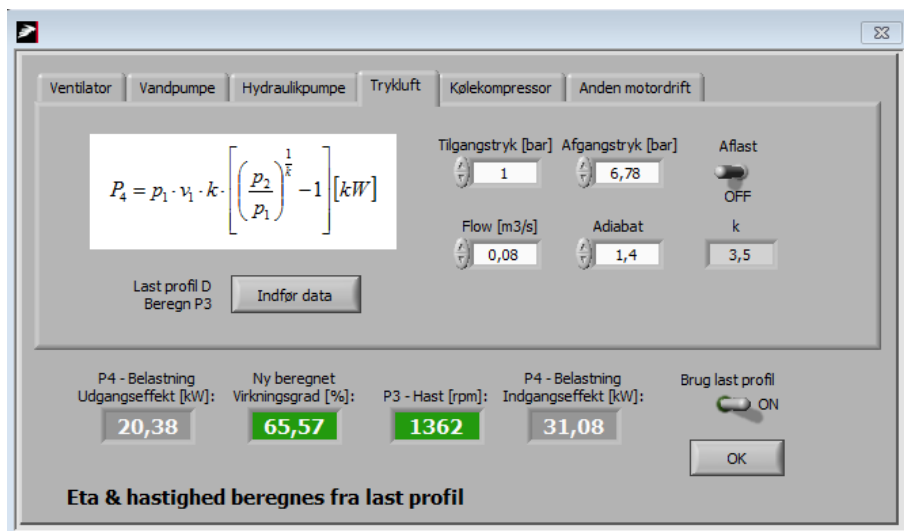
Figur 6.9 – Output fra programmet – før gennemførelse af tiltag

Der er, som det ses i Figur 6.10, indtastet et lastprofil for kompressoren.



Figur 6.10. Lastprofil for kompressor

Hvis flowet herefter ændres fra 0,17 m³/s til 0,08 m³/s falder kompressorens virkningsgrad, som det ses i Figur 6.11, til ca. 65,6 %.



Figur 6.11. Ændring af flow for kompressoren

Systemets totalvirkningsgrad er, som det ses i Figur 6.12 faldet til 57,2 %.



Figur 6.12. Systemets totalvirkningsgrad efter reduktion af flowet

Med applikationsberegneren er det muligt at få beregnet kompressorens virkningsgrad ved forskellige belastningsgrader.

Ved fuldlast er kompressorens virkningsgrad ca. 70,4 %. Dette vurderes at være noget lavere end hvad der kunne forventes. En kompressor i den størrelse burde havde en virkningsgrad på 77 – 78 %.

Besparelsespotentialiet ved at udskifte kompressoren står dog ikke mål med den nødvendige investering.

7 Eksempler på brug af værktøjet - kølesystem

Nedenfor ses et eksempel på brug af værktøjet. Eksemplet omhandler optimering af et kølesystem foretaget af en energirådgiver.

Energirådgiveren har målt og registreret følgende:

- Fordampningstemperatur
- Kondenseringstemperatur
- Køleydelse
- Effektoptag for motoren

7.1 Data for kølesystemet

Nedenfor ses energirådgiverens beskrivelse af de komponenter der indgår i kølesystemet. Foruden kompressoren indgår der en motor og en styringsenhed.

7.1.1 Kølekompessor

Køleanlægget er opstillet i et kølekompessorrum i kælderen. Køleanlægget KK01 er en SABROE ChillPac112L, der er udrustet med en SMC112L stempelkompressor samt en vandkølet fordampner og kondensator. Uniten har en nominel kølekapacitet på 878 kW ved $T_{o,i}/T_{o,u}$: 12/7°C og $T_{k,i}/T_{k,u}$: 30/35°C.



Figur 7.1. Trykluftkompressor

7.1.2 Motor

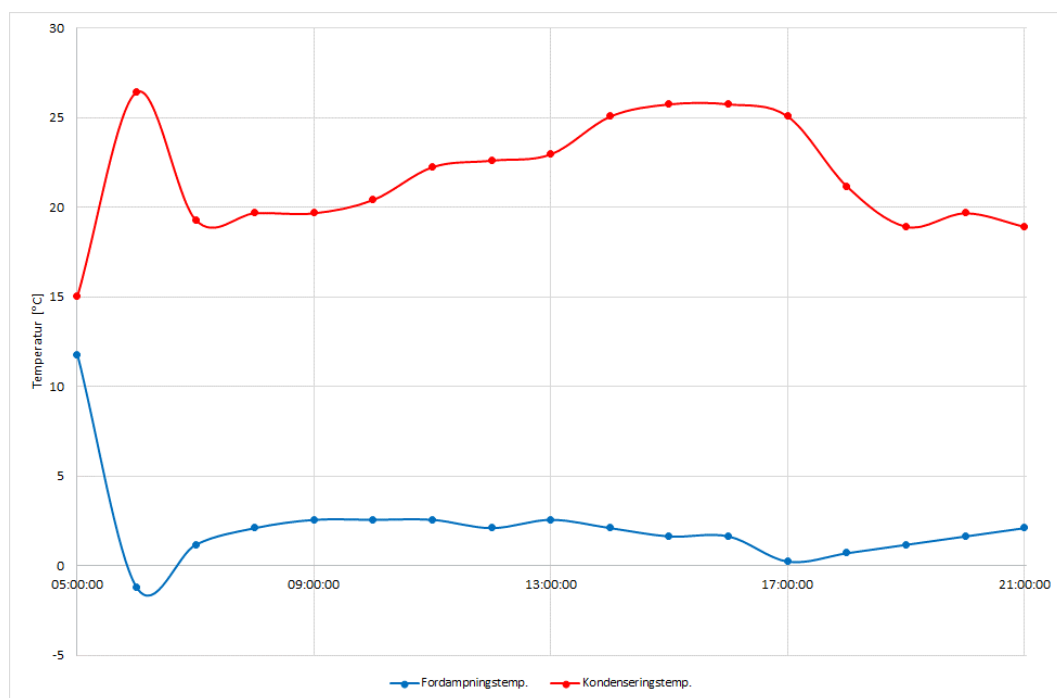
Motoren er en 4-polet 200 kW IE2 motor.

7.1.3 Styring

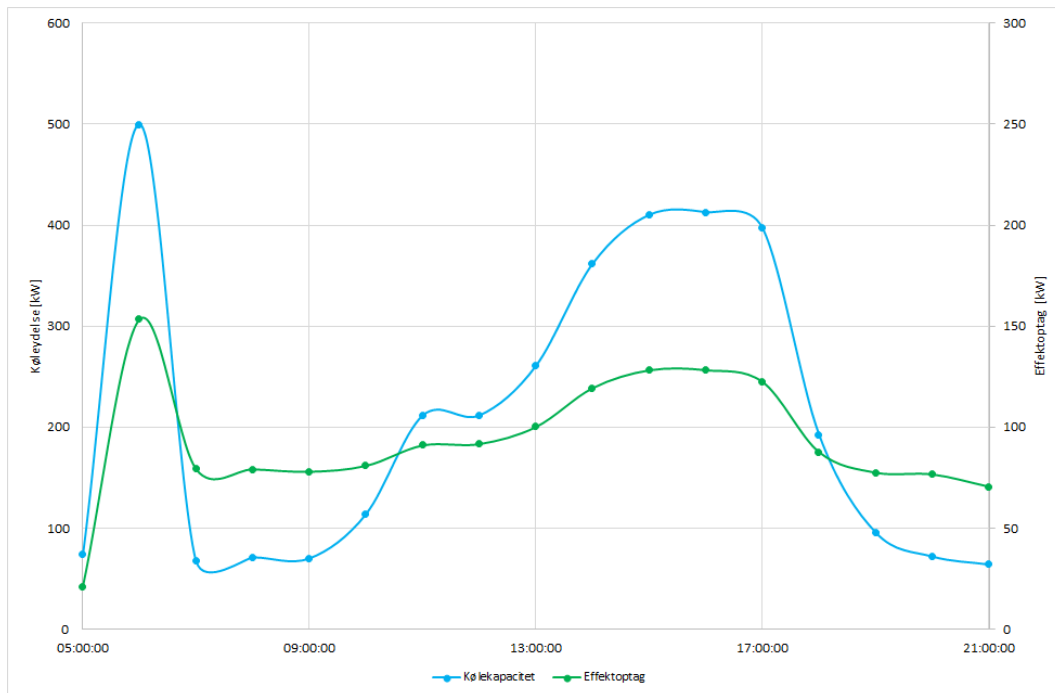
Der benyttes cylinderudkobling til ændring af kompressorens køleydelse.

7.2 Målinger og registreringer på kølesystemet

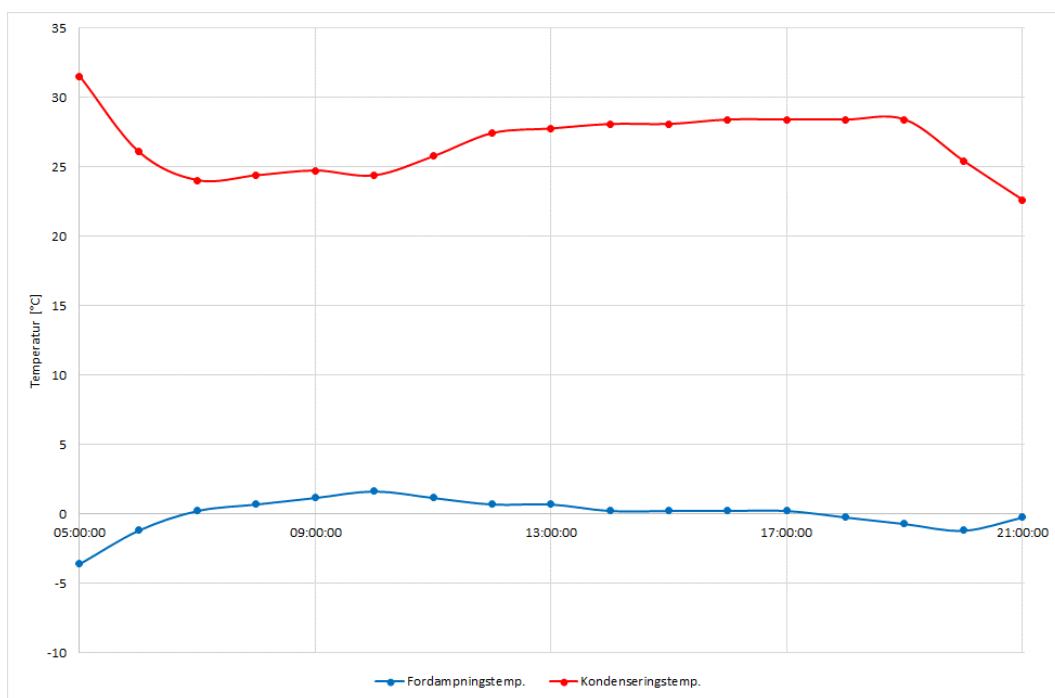
Kompressoren er tilkøbet et CTS-anlæg, hvor der opsamles data for fordampnings- og kondenseringstemperaturer samt køleydelse og effektoptag for motoren. I figur 7.2 og 7.3 samt figur 7.4 og 7.5 ses opsamlede i CTS-anlægget.



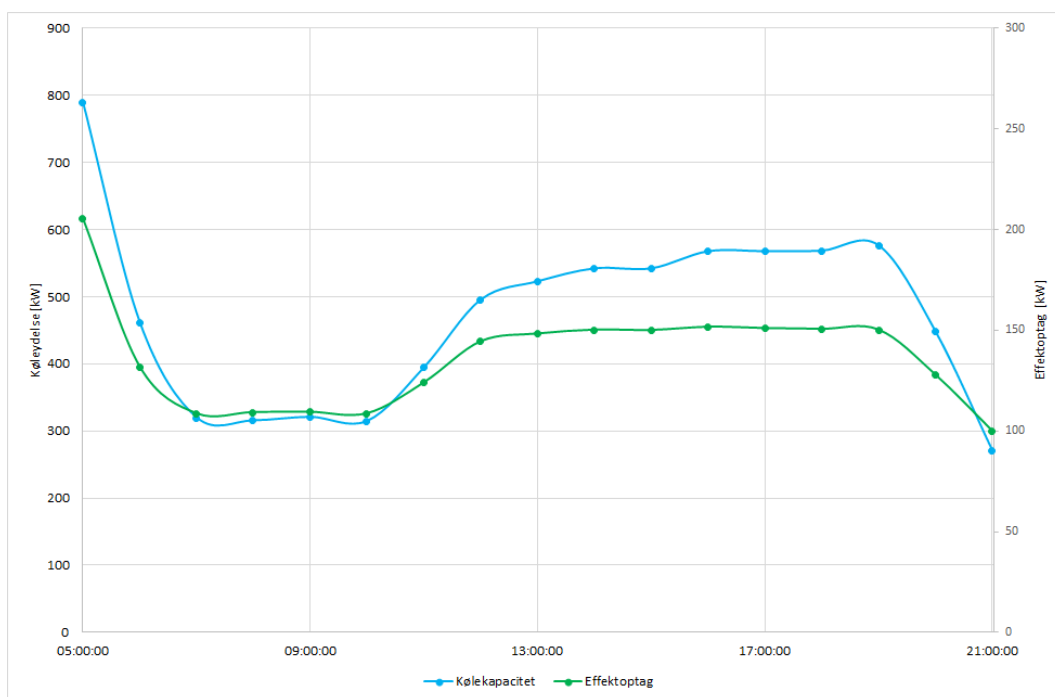
Figur 7.2. Fordampnings- og kondenseringstemperatur den 5. september 2017



Figur 7.3. Køleydelse og effektforbrug for kompressor den 5. september 2017

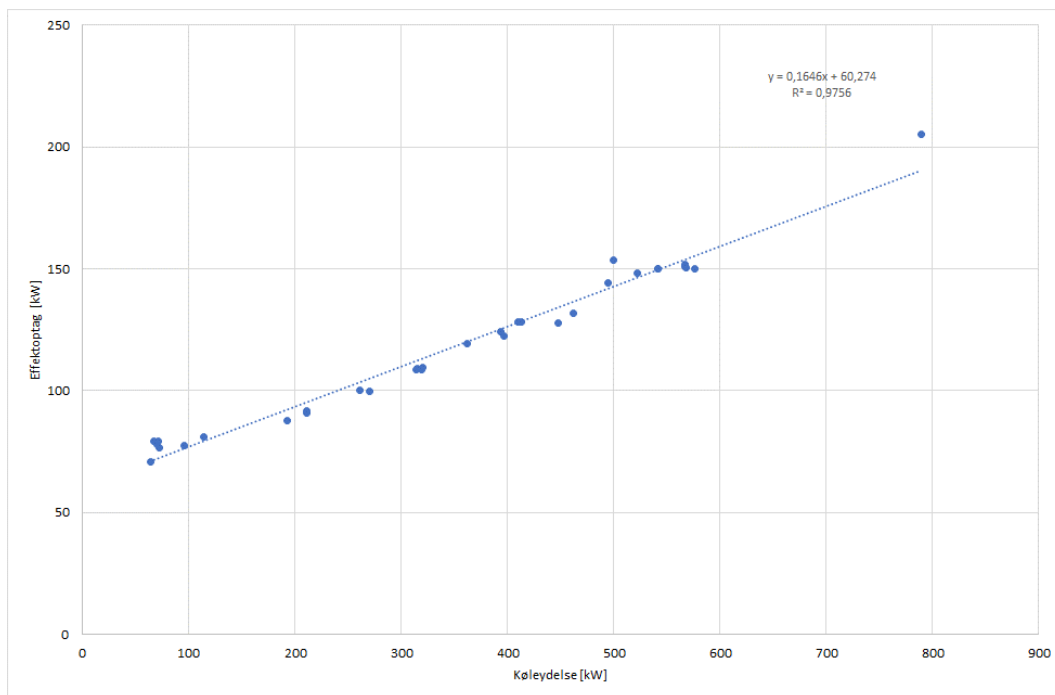


Figur 7.4. Fordampnings- og kondenseringstemperatur den 9. september 2017



Figur 7.5. Køleydelse og effektøptag for kompressor den 9. september 2017

I figur 7.6 er samhørende værdier for kompressorens køleydelse og effektoptag indtegnet. Der er som det ses en lineær sammenhæng mellem disse.



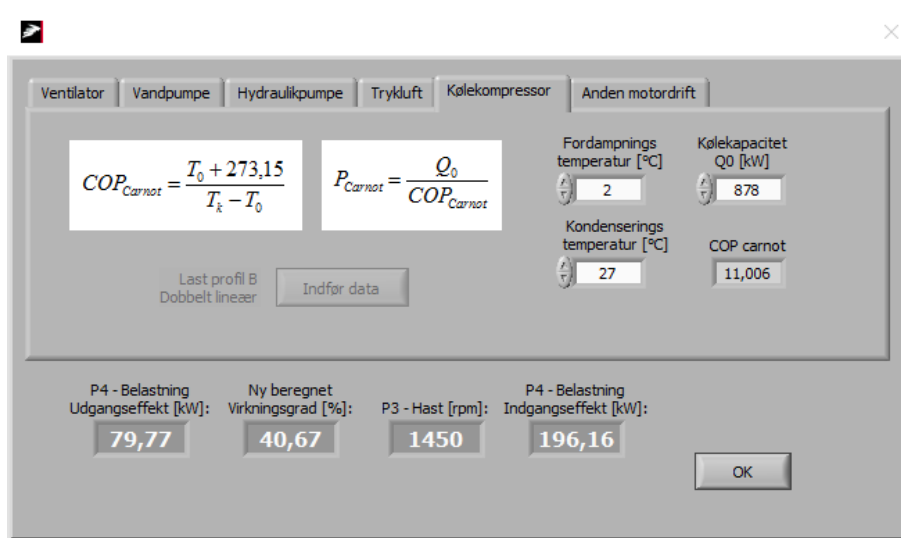
Figur 7.6. Effektoptag som funktion af køleydelse for kompressor

Der findes ikke målinger ved den nominelle køleydelse, men ved hjælp af figur 7.6 kan effektoptaget ved en køleydelse på 878 kW beregnes til ca. 205 kW.

Fordampningstemperaturen ligger et sted mellem 0 og 2 °C mens kondenseringstemperaturen ligger et sted mellem 25 og 27 °C.

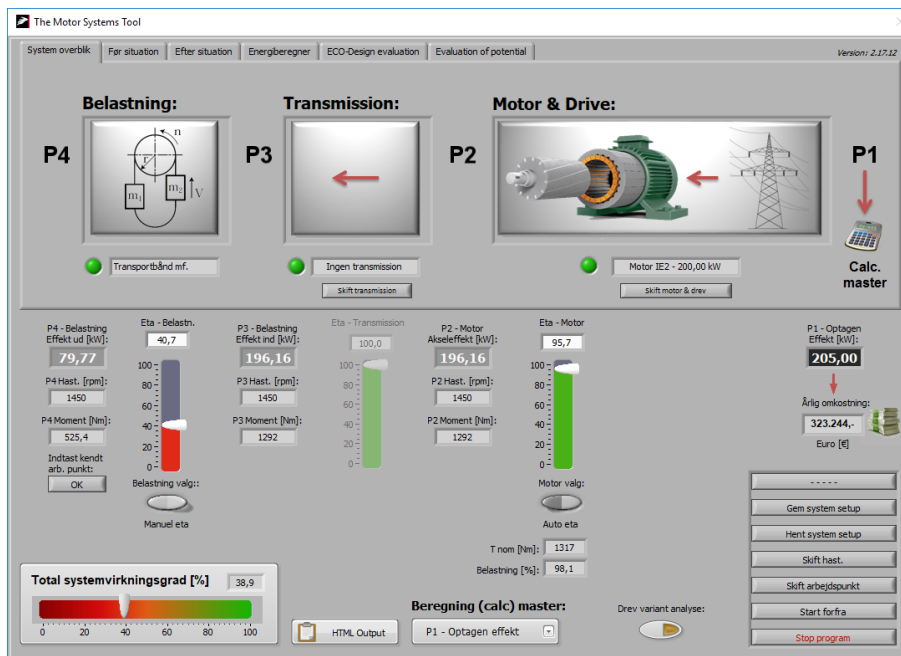
7.3 Indtastning i programmet

Data for kølekompresoren er indtastet i applikationsberegneren for kølekompresorer.



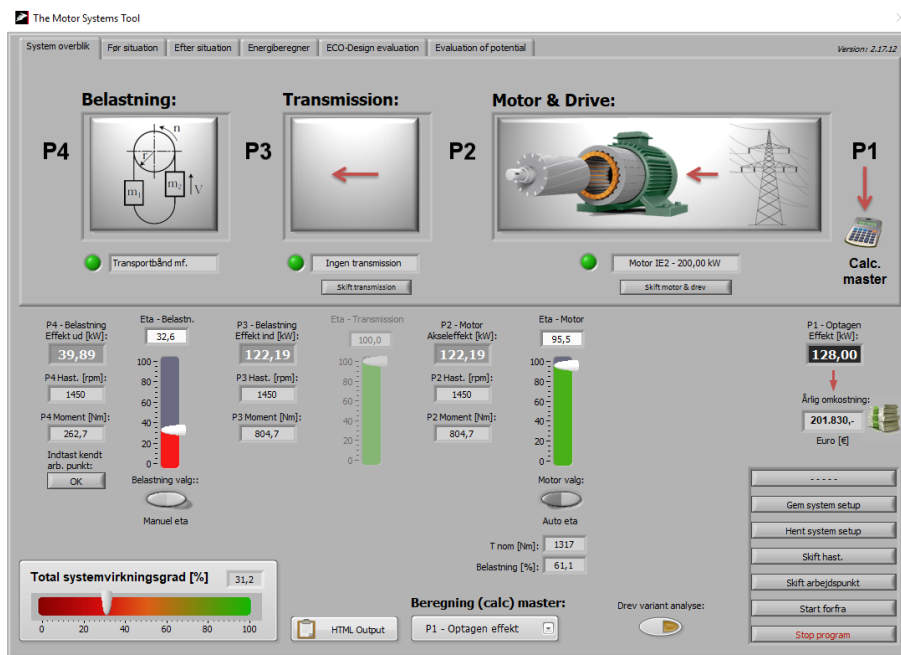
Figur 7.7. Indtastning af data for kølekompresor i applikationsberegner

7.4 Output fra programmet



Figur 7.8. Systemvirkningsgrad for kølekompresor ved nominal køleydelse

Som det ses i figur 7.8, er totalvirkningsgraden for systemet kun 38,9 %.



Figur 7.9. Systemvirkningsgrad for kølekompressor ved 50 % af nominal køleydelse

8 Eksempler på brug af værktøjet - hydrauliksystem

Nedenfor ses et eksempel på brug af værktøjet. Eksemplet omhandler optimering af et hydrauliksystem foretaget af en energirådgiver.

Energirådgiveren har målt og registreret følgende:

- Flow
- Tryk
- Effektoptag for motoren

8.1 Data for hydrauliksystemet

Nedenfor ses energirådgiverens beskrivelse af de komponenter der indgår i hydrauliksystemet. Foruden pumpen indgår der en motor og en styringsenhed.

8.1.1 Hydraulikpumpe

Pumpen er en Bosch Rexroth A4VS0-250 DR aksialstempelpumper med variabelt displacement.



Figur 8.1. Trykluftkompressor

8.1.2 Motor

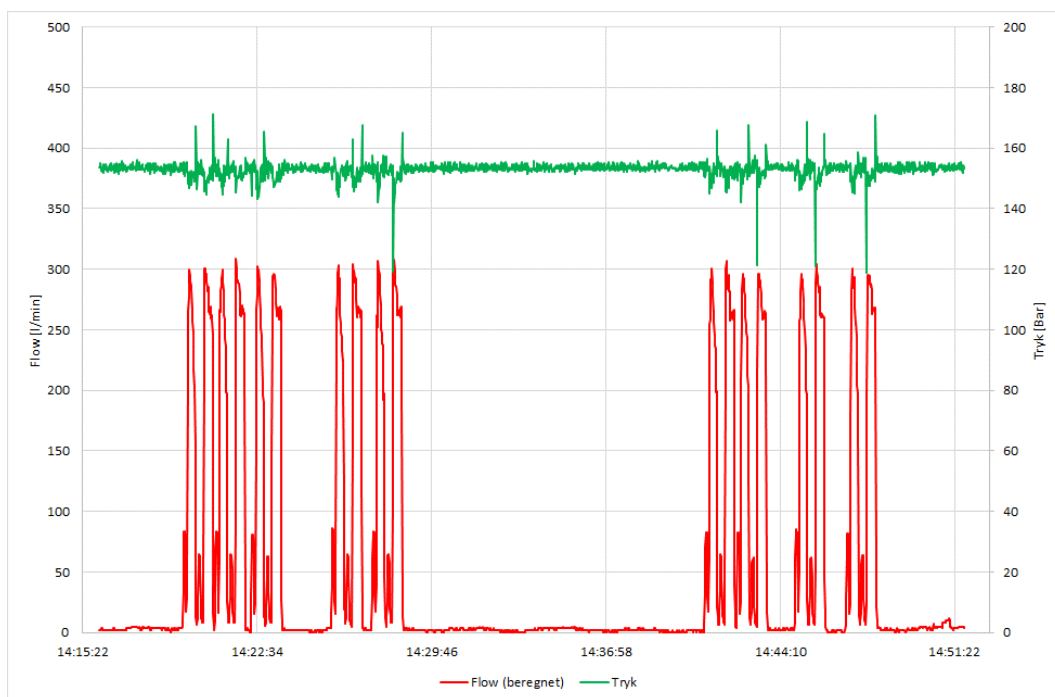
Motoren er en 4-polet 110 kW IE2 motor.

8.1.3 Styring

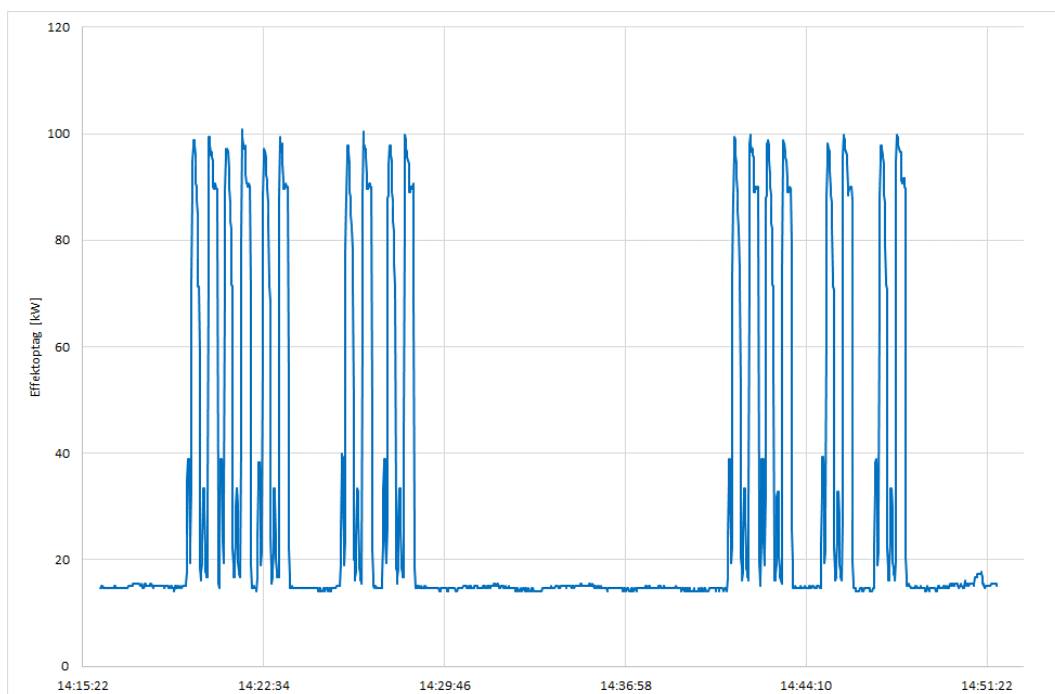
Der benyttes variabelt displacement til ændring af pumpens flow.

8.2 Målinger og registreringer på hydrauliksystemet

I figur 8.2 og 8.3 ses beregnet flow samt målinger af tryk og effektoptag på pumpen.



Figur 8.2. Beregnet flow og målt tryk



Figur 8.3. Målt effektoptag

På figur 8.2 ses, at flowet varierer mellem 0 og 300 l/min. (maks.), mens trykket stor set er konstant på 155 bar.

På figur 8.3 ses, at effektoptaget varierer mellem 14 og 100 kW. De 14 kW er en grundbelastning, som er til stede selv ved et flow på 0 l/min.

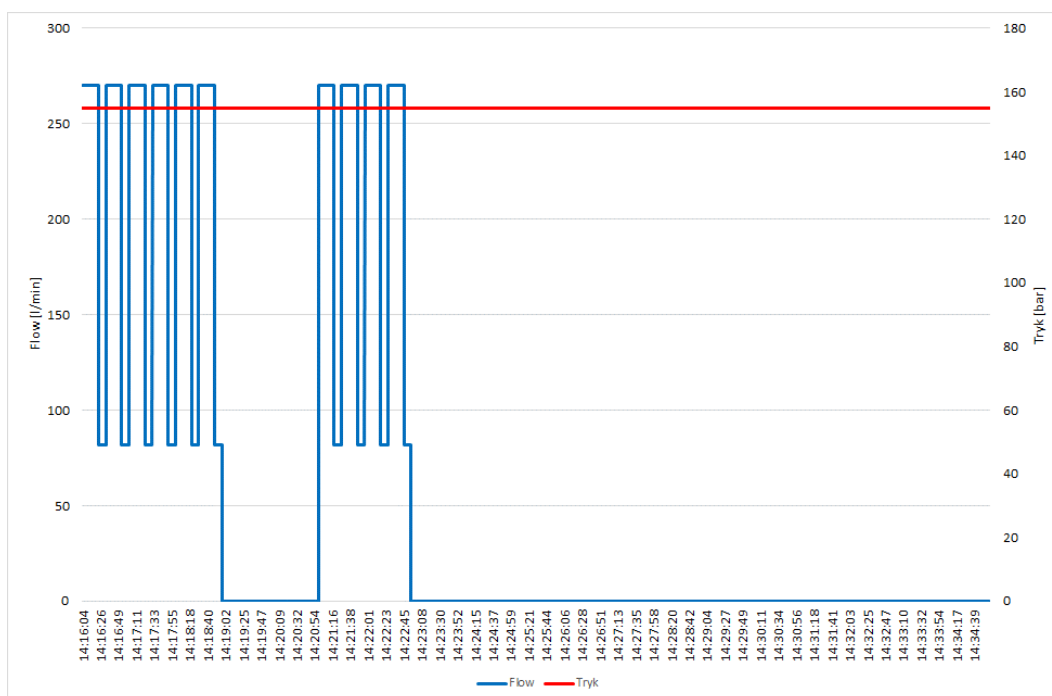
I figur 8.4 ses driftsprofilen for hydraulikpumpen.

Pumpen har 6 cykler á 20 sekunder hvor den leverer ca. 276 l/min ved et tryk på 155 bar og 6 cykler á 9 sekunder hvor den leverer ca. 82 l/min ved et tryk på 155 bar.

Herefter kører den i 120 sekunder med et flow på 0 l/min ved et tryk på 155 bar.

Pumpen har derefter 4 cykler á 20 sekunder hvor den leverer ca. 276 l/min ved et tryk på 155 bar og 4 cykler á 9 sekunder hvor den leverer ca. 82 l/min ved et tryk på 155 bar.

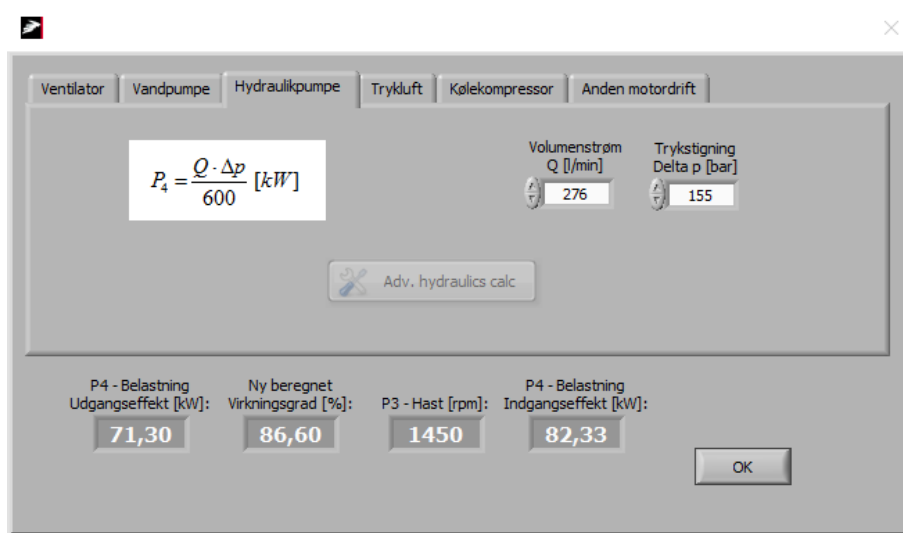
Herefter kører den i 720 sekunder med et flow på 0 l/min ved et tryk på 155 bar.



Figur 8.4. Driftsprofil for hydraulikpumpe

8.3 Inddatering i programmet

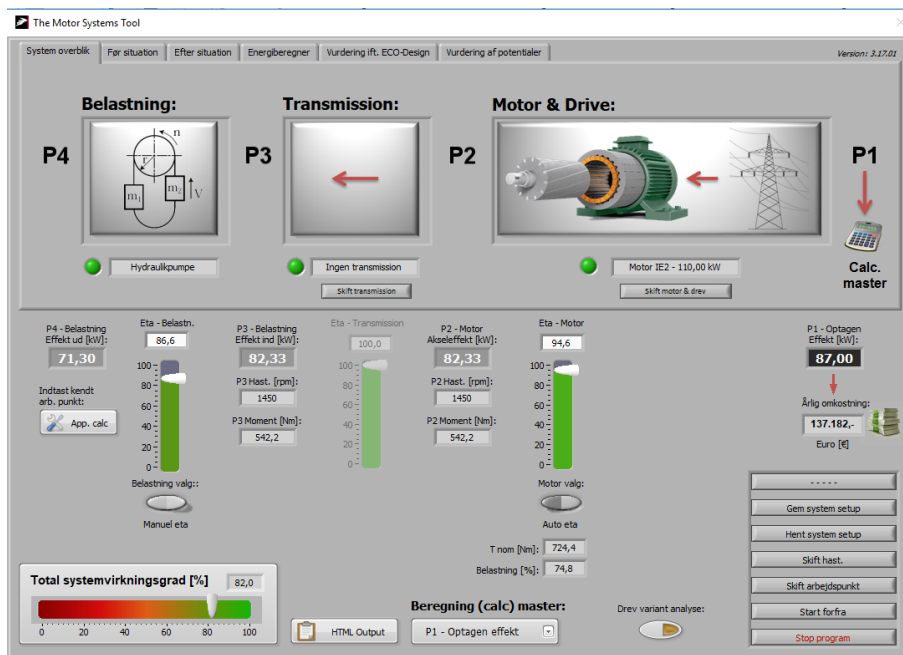
Der er, som det ses i figur 8.5, indtastet et arbejds punkt for pumpen i applikationsberegneren vedr. hydraulik. Ved det angivne flow (276 l/min) og tryk (155) er virkningsgraden for pumpen beregnet til ca. 87 %.



Figur 8.5. Indtastning af data for hydraulikpumpe i applikationsberegner

8.4 Output fra programmet

Systemets totalvirkningsgrad er, som det ses i figur 8.32, beregnet til 82 %.



Figur 8.6. Systemvirkningsgrad for hydraulikpumpe ved nominal ydelse

Avanceret beregning

Det er også muligt at foretage en mere avanceret beregning på hydraulikpumpen. Det kræver en beregning fra P4 mod P1.

Adv. hydraulics 01.vi

Flow [l/min]	Tryk [bar]	Pumpestørrelse 250	Styrestrategi 2 Flowregulering v. konst. tryk	
Flowmargin [% af max]	Trykmargin [bar]		Udregnet flow inkl. margin [l/min]	Udregnet tryk inkl. margin [bar]
Absolut Maxflow [l/min]	Absolut Maxtryk [bar]	Flowmax [m3/s]	Udregnet hydraulisk Effekt [kW]	Udregnet virkningsgrad for hydraulikpumpe
Flowminimum v. Omdrejningsreg. [% af max]	Motor hastighed ind [rpm]	Flowmax [l/min]	Motor hastighed for proces [rpm]	Done

Figur 8.7. Indtastning af deltaljerede data for hydraulikpumpe

Adv. hydraulics calc

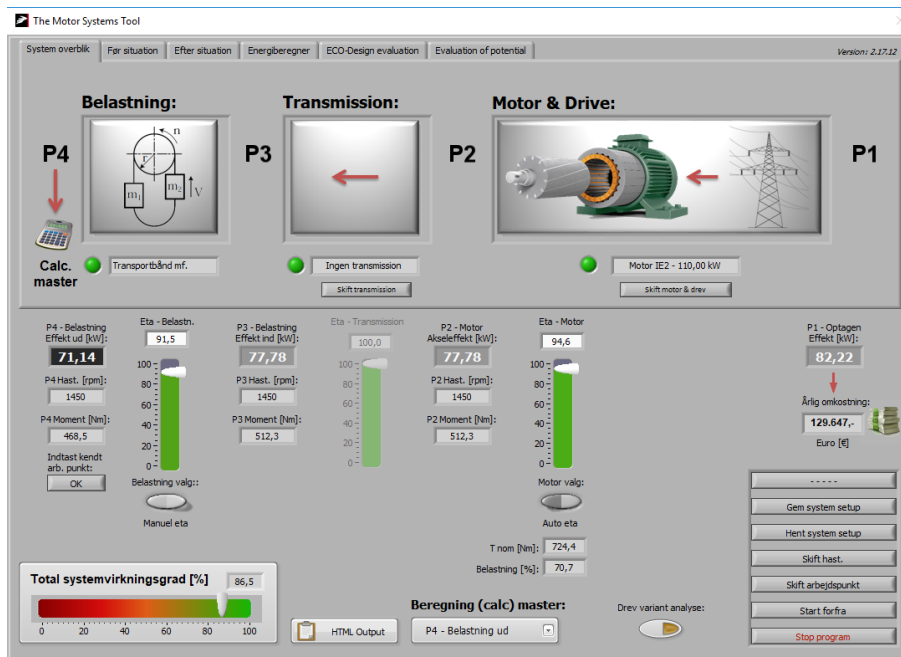
$$P_4 = \frac{Q \cdot \Delta p}{600} [kW]$$

Volumenstrøm Q [l/min]	Trykstigning Delta p [bar]
275,4	155

P4 - Belastning Udgangseffekt [kW]:	Ny beregnet Virkningsgrad [%]:	P3 - Hast [rpm]:	P4 - Belastning Indgangseffekt [kW]:	Brug last profil
71,14	91,47	1450	77,78	OFF

Calc master = P4, Angiv Eta & hastighed

Figur 8.8. Beregning af virkningsgrad for hydraulikpumpe



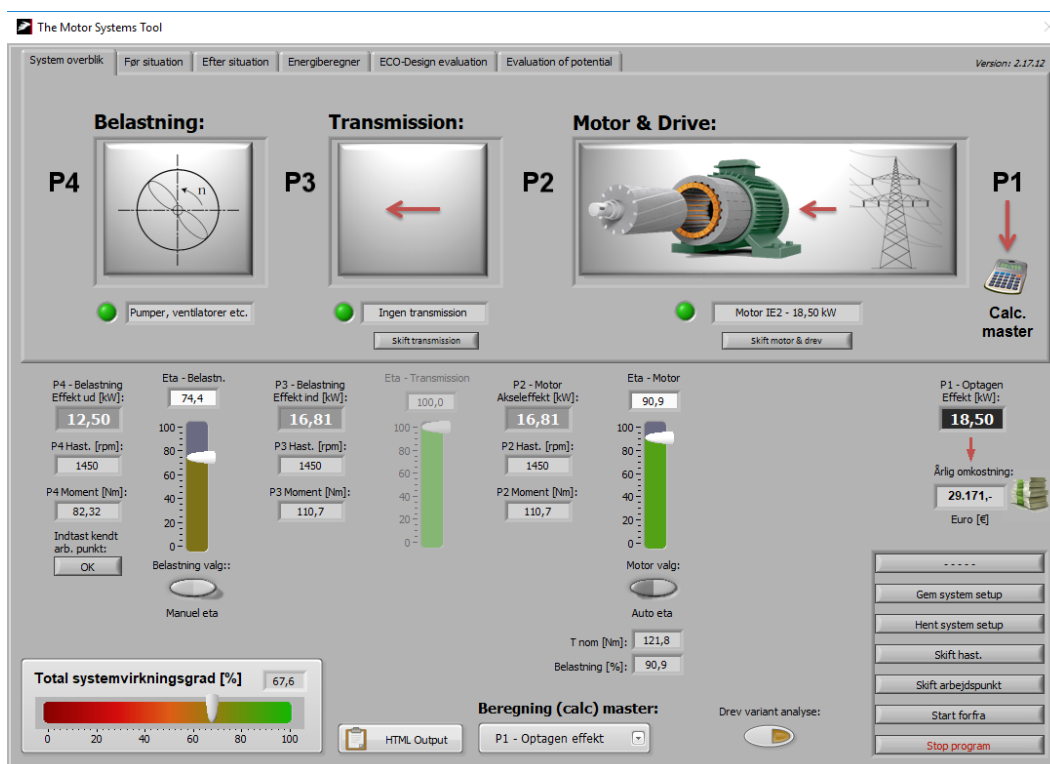
Figur 8.9. Systemoverblik

9 Ecodesign regulativerne for ventilatorer og vandpumper

Værktøjet er tilpasset til den eksisterende regulering af Ecodesign for ventilatorer og vandpumper således at brugeren bliver notificeret om overholdelse af krav er opfyldt.

9.1 Ecodesign for ventilatorer

I figur 9.1 ses, at der er indtastet data for en ventilator og en motor. Der er som det ses valgt en 4-polet 18,5 kW IE2 motor.



Figur 9.1. Systemoverblik

I figur 9.2 ses, at der er indtastet et driftspunkt for ventilatoren. Ventilatorens virkningsgrad er beregnet til 74,4 %, mens systemvirkningsgraden er beregnet 67,6 % (se figur 5.1).

Ventilator Vandpumpe Hydraulikpumpe Trykluft Kølekompresor Anden motordrift

$$P_{hyd} = Q \left[\frac{m^3}{s} \right] \cdot \Delta p [Pa]$$

Luftflow m³/h: 30000

Tryk [Pa]: 1500

Last profil A
12 faste punkter Indfør data

P4 - Belastning Udgangseffekt [kW]: 12,50

Ny beregnet Virkningsgrad [%]: 74,36

P3 - Hast [rpm]: 1450

P4 - Belastning Indgangseffekt [kW]: 16,81

OK

Figur 9.2. Indtast kendt arbejds punkt for ventilator

I fanebladet "ECO-Design evaluation, er der valgt en centrifugalventilator med B-hjul og ventilatorhus og det er valgt, at trykket angivet i figur 9.2 er den totale trykstigning.

Ecodesign kravet til ventilatoren er, som det ses i figur 9.3, beregnet til 64,6 %, så den lever op til kravet.

The Motor Systems Tool

System overblik Før situation Efter situation Energiberegner ECO-Design evaluation Evaluation of potential Version: 2.17.12

Eco-design no. 327/2011 : Fans

Fan within scope?

BEP demand from Eco no. 327/2011: 64,6

Fan passes Eco-design?

C factor: 1,00

Corrected Eta [-]: 67,6

Eta type: Total

Fan type: Centrifugal backward curved fan with housing

Eco-design requirements for fans driven by motors are as follows:
From 1 January 2015, fans driven by motors shall have:
a minimum efficiency at the best efficiency point (BEP) as calculated here
For market surveillance a 10% tolerance on the figure above are allowed
The MST-Tool eco-design evaluation are not conclusive!
It is only ment as an indicator for a given situation - for compliance check, a certified laboratory test is necessary.

P4 - Belastning Effekt ud [kW]: 12,50

Eta - Belastn.: 74,4

P3 - Belastning Effekt ind [kW]: 16,81

Eta - Transmission: 100,0

P2 - Motor Akseleffekt [kW]: 16,81

Eta - Motor: 90,9

P1 - Optagen Effekt [kW]: 18,50

P4 Hast. [rpm]: 100-80

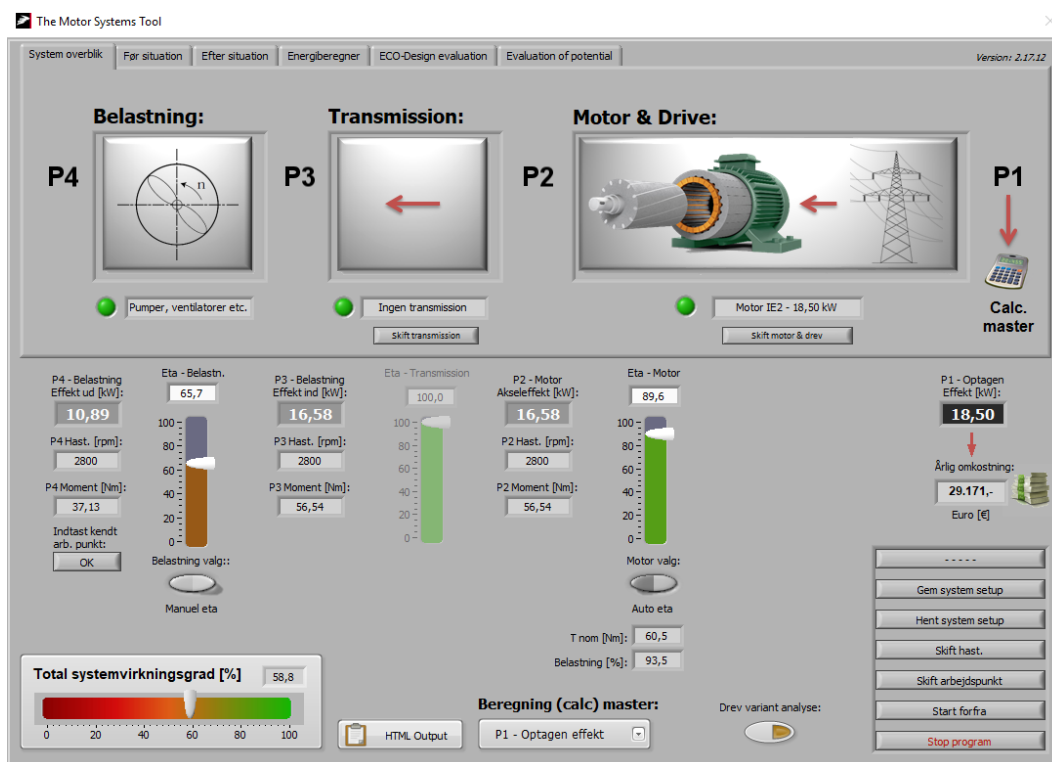
P3 Hast. [rpm]: 100-80

P2 Hast. [rpm]: 100-80

Figur 9.3. Ecodesign krav til ventilatorer

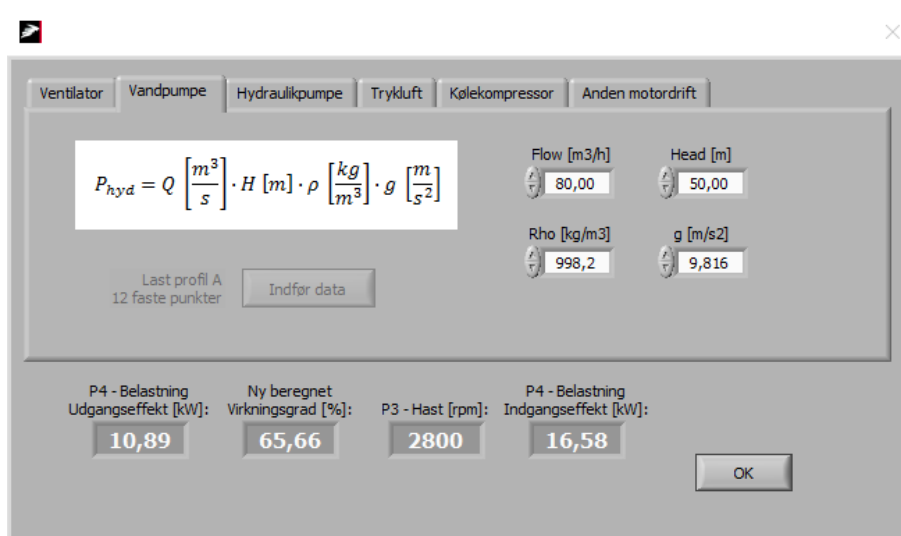
9.2 Ecodesign for vandpumper

I figur 9.4 ses, at der er indtastet data for en vandpumpe og en motor. Der er som det ses valgt en 4-polet 18,5 kW IE2 motor.



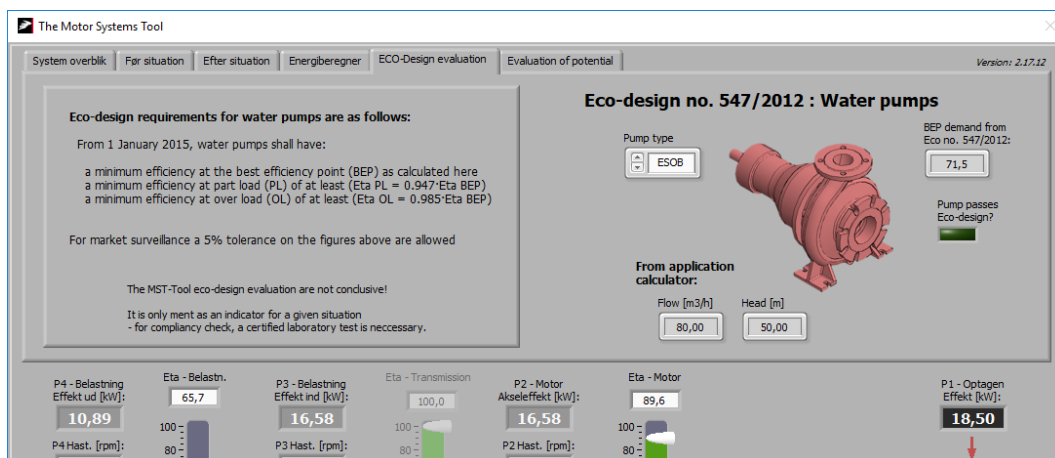
Figur 9.4. Systemoverblik

I figur 9.5 ses, at der er indtastet et driftspunkt for vandpumpen. Vandpumpens virkningsgrad er beregnet til 65,7 %, mens systemvirkningsgraden er beregnet 58,8 % (se figur 9.4).



Figur 9.5. Indtast kendt arbejds punkt for vandpumpe I fanebladet "ECO-Design evaluation", er der valgt en ESOB-vandpumpe.

Ecodesign kravet til vandpumpen er, som det ses i figur 9.6, beregnet til 71,5 %, så den lever ikke op til kravet.

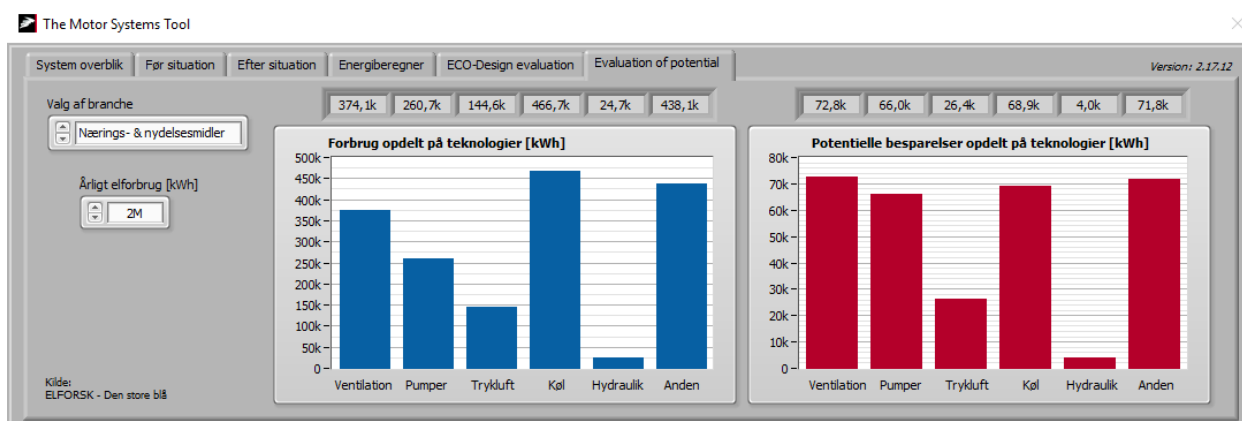


Figur 9.6. Ecodesign krav til vandpumper

10 Beregning af besparelspotentiale

Det er gjort muligt at udarbejde en baseline i form af en lille database, hvor det allerede udviklede tabelopslag om elforbrug og besparelser i maskinsystemer opgjort for udvalgte teknologier og brancher bliver overført til. Rådgiveren kan anvende det til en indledende kortlægning af en virksomhed og ved hjælp af systemoptimeringsværktøjet indlednings foretage et estimat over besparelspotentialet i virksomheden. Herefter kan en grundigere måling af forbrug foregå på de steder det var vurderet at der var noget at komme efter. Værktøjet kan herefter igen anvendes for en mere nøjagtig beregning af potentialet på den enkelte applikation.

I værktøjet ser det således ud:



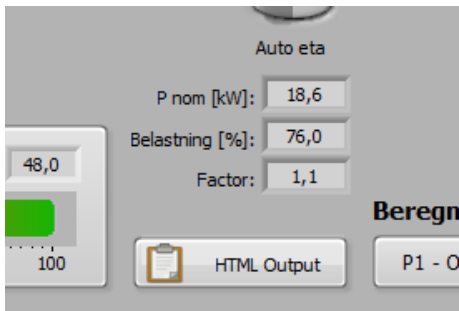
Figur 10.1. Opdeling af elforbrug på teknologier og besparelspotentialer

11 Udskrifts funktionaliteter

Der er endvidere foretaget en generel forbedring af værktøjets funktionaliteter, herunder:

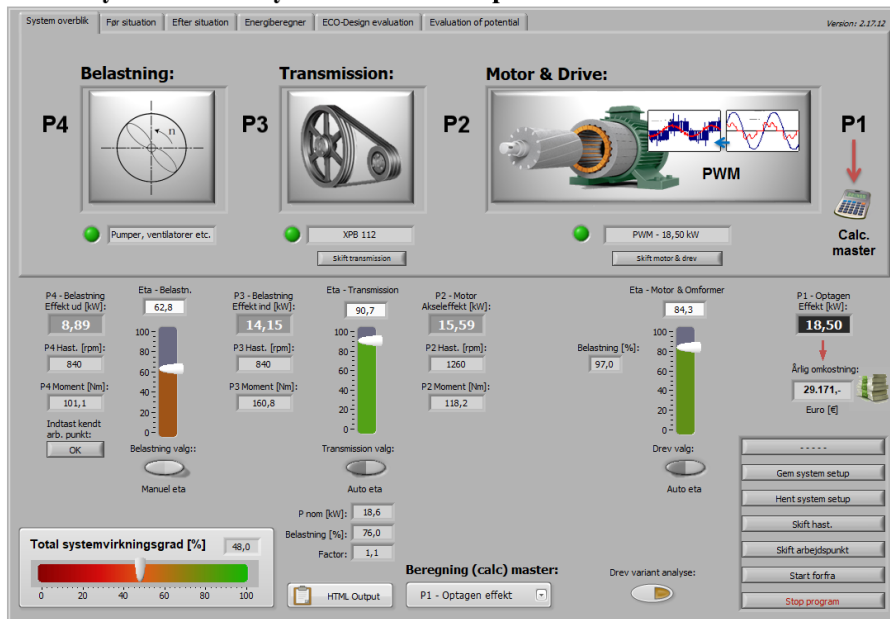
- Mulighed for udskrift til printer
- Mulighed for at man kan gemme og indlæse tidligere beregninger
- Definition af en standardiseret slutrapport – inkl. data fra energiberegneren
- Mulighed for "gem som" pdf, standardiseret slutrapport

Når man klikker på knappen "HTML Output", kan man generere en række rapporter, som ses i figurene 11.2 til 11.7.



Figur 11.1. HTML output

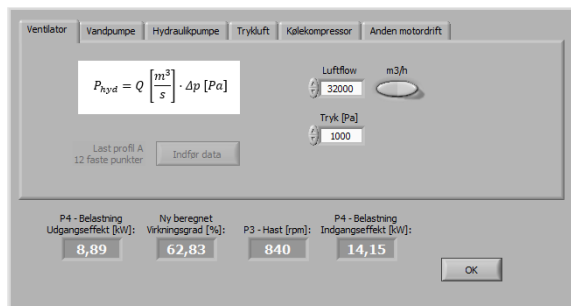
Motor Systems Tool - System Overview Report



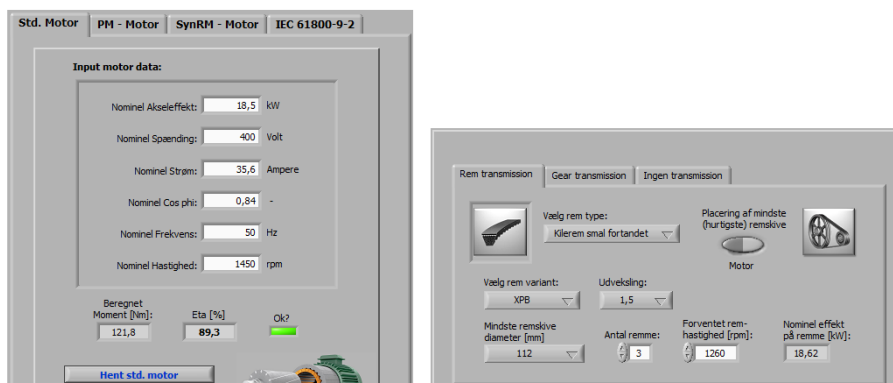
MST-Tool main window

Figur 11.2. Systemoverblik

Application data:



Motor & Transmission:



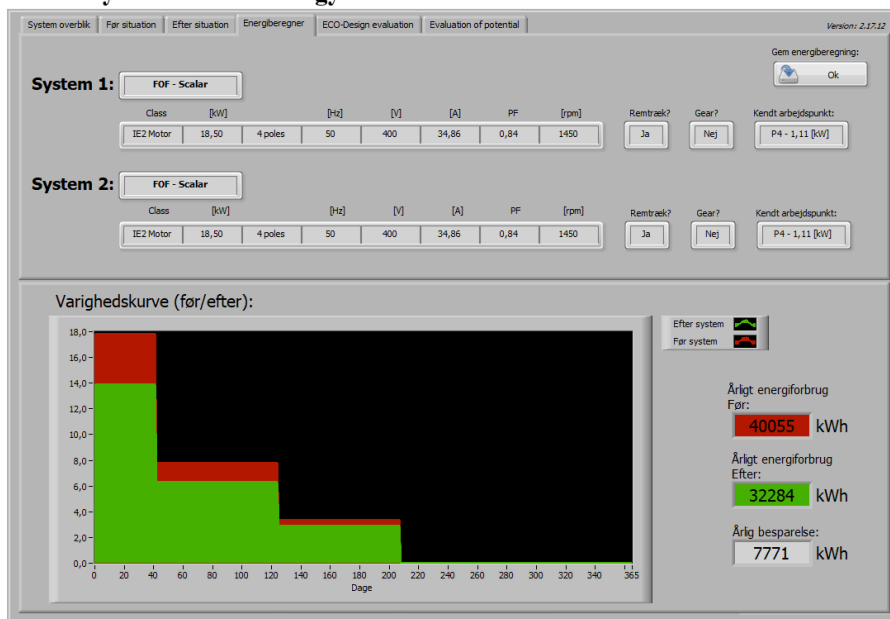
Figur 11.3. Data for applikation samt motor og transmission

Duty point data:

System setup		MST Version:	2.17.12	Date of data:	08-04-2019		
Kendt punkt plads	Aktuelt arbejds punkt Effekt [kW]	Hastighed P3 [rpm]	Udveksling	Hastighed P2 [rpm]	Momentkurve	Load txt info	Effekt P3 [kW]
P1	18,50	840	1,500	1260	4	Pumper, ventilatorer etc.	14,15

Figur 11.4. Driftspunkt

Motor Systems Tool - Energy calculation



MST-Tool Energy calculation

Figur 11.5. Energiberegning

Before situation:

Version & date:

MST Version:	2.17.12	Date of data:	04-04-2019															
--------------	---------	---------------	------------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--

Motor setup info:

Connection	Class	Nom. power [kW]	Poles [-]	Frequency [Hz]	[V]	[A]	PF	[rpm]										
FOF - Scalar	IE2 Motor	18,50	4 poles	50	400	34,86	0,84	1450										
Calc master	P4	1,11																

Transmission info:

Er der transmission?	Rem ID	Mindste remskivediameter [mm]	Udvekslingsforhold	Vælg rem type	Antal remme	Placering af mindste remskive	Indtast mindste remskivediameter [mm]	Transmission info:	Gear present?	Select type of gear	Gear nominal shaft speed [rpm]	Gear nominal shaft power [kW]	Gear udveksling	Gear f faktor	Gear Eta nominal
Ja	XPB	100,000	1,2	Kilerem smal fortandet	3,000	P3	63	XPB 100	Nej						

Duty points:

Before situation:		FOF - Scalar	IE2 Motor	18,50	4 poles	50	400	34,86	0,84	1450							
Par. A	Par. B	P4 [kW]	Eta load	P3 [kW]	P3 [rpm]	Eta transmission	P2 [kW]	P2 [rpm]	Eta motor	Eta VSD	P1 [kW]	Eta total	Hours/year	Days/year	kWh/year		
31700,000	1000,000	8,806	65,000	13,547	1740,000	87,410	15,498	1450,000	100,000	87,131	17,787	49,504	1000,000	42,000	17787,425		
24000,000	540,000	3,600	65,000	5,338	1740,000	85,986	6,441	1450,000	100,000	82,629	7,795	46,182	2000,000	83,000	15590,427		
16000,000	250,000	1,111	65,000	1,709	1740,000	79,329	2,155	1450,000	100,000	64,541	3,339	33,280	2000,000	83,000	6677,383		

Figur 11.6. Før situation

After situation:

Version & date:

MST Version:	2.17.12	Date of data:	04-04-2019																
--------------	---------	---------------	------------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--

Motor setup info:

Connection	Class	Nom. power [kW]	Poles [-]	Frequency [Hz]	[V]	[A]	PF	[rpm]											
FOF - Scalar	IE2 Motor	18,50	4 poles	50	400	34,86	0,84	1450											
Calc master	P4	1,11																	

Transmission info:

Er der transmission?	Rem ID	Mindste remskivediameter [mm]	Udvekslingsforhold	Vælg rem type	Antal remme	Placering af mindste remskive	Indtast mindste remskivediameter [mm]	Transmission info.	Gear present?	Select type of gear	Gear nominal shaft speed [rpm]	Gear nominal shaft power [kW]	Gear udveksling	Gear f faktor	Gear Eta nominal
Ja	XPB	100,000	1,2	Kilerem smal fortundet	3,000	P3	63	XPB 100	Nej						

Duty points:

After situation:	FOF - Scalar	IE2 Motor	18,50	4 poles	50	400	34,86	0,84	1450										
Par. A	Par. B	P4 [kW]	Eta load	P3 [kW]	P3 [rpm]	Eta transmission	P2 [kW]	P2 [rpm]	Eta motor	Eta VSD	P1 [kW]	Eta total	Hours/year	Days/year	kWh/year				
31700,000	1000,000	8,806	84,000	10,483	1740,000	87,309	12,007	1450,000	100,000	86,663	13,854	63,558	1000,000	42,000	13854,288				
24000,000	540,000	3,600	84,000	4,286	1740,000	84,760	5,056	1450,000	100,000	79,877	6,330	56,871	2000,000	83,000	12660,202				
16000,000	250,000	1,111	84,000	1,323	1740,000	78,015	1,696	1450,000	100,000	58,775	2,885	38,517	2000,000	83,000	5769,496				

Figur 11.7. Efter situation