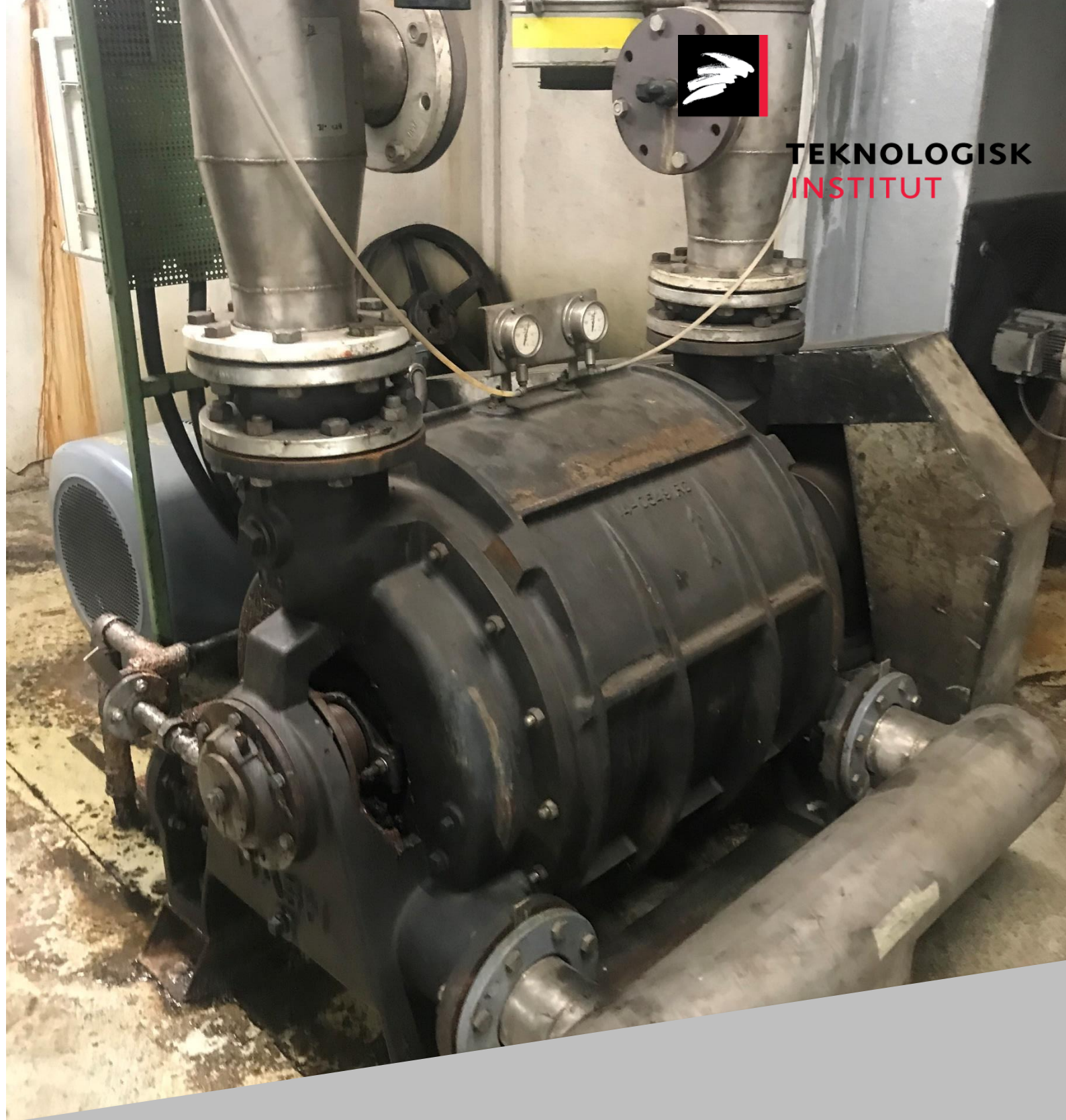


TEKNOLOGISK  
INSTITUT



# OPTIMERING AF VAKUUM- OG OVERTRYKSSY- STEMER

Hovedrapport

December 2022

## Indholdsfortegnelse

	<b>Side</b>
1 Sammenfatning	2
2 Summary	3
3 Baggrund	4
4 Formål	4
5 Potentiale vurdering	5
6 Projektets opnåede resultater	8
6.1 Optimeringsværktøj	8
6.2 Designvejledning	8
7 Effekten af resultaterne	9
8 Perspektivering og den videre anvendelse af resultaterne	9
9 Oversigt over udbredelsen af resultaterne	9

## 1 Sammenfatning

Der findes betragtelige muligheder for energieffektivisering af vakuum- og overtrykssystemer. Disse muligheder kan realiseres gennem behovstilpassede tilgange til systemerne samt anvendelse af energieffektive komponenter og reguleringsmetoder. Erfaringer fra undersøgelser på området viser, at der i mange tilfælde kan realiseres et potentiale på 40 – 50 % set i forhold til konventionelle systemer.

For at kunne realisere dette store energibesparelspotentiale er det nødvendigt at have et velegnet optimeringsværktøj og en vejledning for energibevidst design af vakuum- og overtrykssystemer, hvor der tages udgangspunkt de konkrete behov i det enkelte tilfælde og som understøttes af optimeringsværktøjet.

I projektet er der udviklet et værktøj til behovsoptimering af vakuumsystemer baseret på nyeste viden om drift af vakuumpumper, reguleringsformer m.m.

Ved udviklingen af værktøjet er der opstillet matematiske udtryk for vakuumpumper på baggrund af data fra datablade eller ydelseskurver.

Der er udviklet en avanceret energiberegnerdel, der kan håndtere de forskellige reguleringsformer, der benyttes i før og efter situationen, og på baggrund heraf beregnes optimeringsmulighederne.

I projektet er der udviklet en vejledning for energibevidst design af vakuum- og overtrykssystemer, der understøttes af ovennævnte optimeringsværktøj, hvor der tages udgangspunkt i hvordan virksomhedernes behov for en driftssikker og energioptimal vakuum- og overtryksforsyning tilgodeses.

Designvejledningen giver retningslinjer for valg af vakuumpumper, højtryksblæsere, motorer, regulering m.m.

Desuden beskrives hvordan eksisterende vakuum- og overtrykssystemer undersøges med det formål at tilvejebringe data til designværktøjet, så det er muligt at anvende værktøjet til estimering af energibesparelsen ved energioptimering.

Projektet er finansieret af ELFORSK programmet med projektnummer. 352-059, og er udført af følgende projektdeltagere i perioden 1. maj 2020 til 31. december 2022.

- Teknologisk Institut
- Skjern Paper A/S
- Berry Superfos A/S
- Busch Vakuumteknik A/S
- AURA A/S

## 2 Summary

There are considerable opportunities for energy efficiency in vacuum and overpressure systems. These possibilities can be realized through needs-adapted approaches to the systems as well as the use of energy-efficient components and regulation methods. Experience from studies in the field shows that in many cases a potential of 40 – 50% can be realized compared to conventional systems.

In order to realize this great energy saving potential, it is necessary to have a well-suited optimization tool and a guide for energy-conscious design of vacuum and positive pressure systems, where the specific needs in the individual case are taken as a starting point and which are supported by the optimization tool.

In the project, a tool has been developed for need-based optimization of vacuum systems based on the latest knowledge about the operation of vacuum pumps, control methods, etc.

During the development of the tool, mathematical expressions for vacuum pumps have been drawn up on the basis of data from data sheets or performance curves.

An advanced energy calculator part has been developed that can handle the various forms of regulation that are used in the before and after situation, and on the basis of this, the optimization options are calculated.

In the project, a guide has been developed for the energy-conscious design of vacuum and overpressure systems, which is supported by the above-mentioned optimization tool, where the starting point is how companies' needs for a reliable and energy-optimal vacuum and overpressure supply are met.

The design guide provides guidelines for choosing vacuum pumps, high-pressure blowers, motors, regulation, etc.

In addition, it describes how existing vacuum and overpressure systems are examined with the aim of providing data for the design tool, so that it is possible to use the tool for estimating the energy savings through energy optimisation.

The project is financed by the ELFORSK program with project no. 352-059 and was carried out by the following project participants in the period 1 May 2020 to 31 December 2022.

- Teknologisk Institut
- Skjern Paper A/S
- Berry Superfos A/S
- Busch Vakuumtechnik A/S
- AURA A/S

### 3 Baggrund

Udviklingen af komponenter og systemkoncepter har de seneste årtier haft fokus på energieffektivitet og driftssikkerhed. Med dagens komponenter såsom højeffektive elmotorer, frekvensomformere for trinløs kapacitetstilpasning og elektroniske styresystemer er fleksibiliteten af tekniske systemer øget samtidig med at det er muligt at konstruere systemer med høj energieffektivitet og god styrbarhed. Indførelsen af energieffektive systemer er dog ikke enkel, da der kræves indgående kendskab til krav til drivtryk og -mængde. For at opnå det størst mulige energieffektivitet kræves det, at samtlige tab, dvs. flow, tryk- og mekaniske tab, minimeres. Det er desuden en forudsætning, at vakuum- og overtrykssystemerne er nøje tilpasset arbejdsopgaven. Endelig opnås den maksimale energieffektivitet ikke blot ved at anvende den mest energieffektive komponenter, men også at selve konceptet for vakuumsystemet er optimalt.

Der findes betragtelige muligheder for energieffektivisering af vakuumsystemer. Disse muligheder kan realiseres gennem behovstilpassede tilgange til systemerne samt anvendelse af energieffektive komponenter og reguleringsmetoder. Erfaringer fra undersøgelser på området viser, at der i mange tilfælde kan realiseres et potentiale på 40 - 50% set i forhold til konventionelle systemer.

Overtrykssystemer minder om de tilsvarende vakuumsystemer, men fungerer ved hjælp af overtryk (typisk 0,5 - 1,5 bar). Overtrykssystemer kan i mange tilfælde substituere trykluftsystemer med f.eks. blæse- eller forstøvningsdyser. Erfaringer fra undersøgelser på området viser, at der i mange tilfælde kan realiseres et potentiale på op til 80% set i forhold til konventionelle trykluftsystemer med dyser.

I dette projekt er der bl.a. undersøgt en række vakuumsystemer på to industrivirksomheder med det formål at afdække konkrete muligheder for energieffektivisering.

Målgruppen for projektet er primært til industrivirksomheder og disses rådgivere. Desuden er leverandører af vakuumsystemer og energirådgivere en væsentlig del af målgruppen.

### 4 Formål

Det har været projektets formål at udvikle et koncept for behovsdrevet optimering af vakuum- og overtrykssystemer, hvor der tages udgangspunkt de konkrete behov i det enkelte tilfælde. Til det formål er der udviklet et koncept for optimering af vakuum- og overtrykssystemer baseret på anvendelse af nyeste teknologi indenfor komponenter (pumper, blæsere, motorer m.m.) samt styring og regulering baseret på en behovsdrevet tilgang. Den behovsdrevne tilgang til systemoptimering og metoderne hertil inklusiv nødvendige registreringer er overført til et beregningsværktøj til energioptimering af eksisterende og design af nye vakuum- og overtrykssystemer, der er udviklet i projektet.

Desuden er der udviklet en designvejledning, - illustreret med eksempler fra eksisterende vakuum- og overtryksanlæg hos de deltagende virksomheder, der beskriver hvorledes vakuum- og overtryksanlæg opbygges. Vejledningen tager udgangspunkt i hvilke driftsparametre m.v., der skal bestemmes for at have et korrekt grundlag for at kunne opbygge et energieffektivt anlæg.

En væsentlig del af industriens elforbrug til elmotordrevne maskinsystemer<sup>1</sup> (30%) anvendes til trykluft, køling og hydraulik samt vakuum- og overtrykssystemer. Det vurderes ud fra de data der er tilgængelige<sup>1</sup>, at ca. 3% af elforbruget i industrien anvendes til vakuum- og overtryksanlæg. Erfaringer fra undersøgelser på området viser, at der i mange tilfælde kan realiseres et potentiale på op til ca. 50% set i forhold til konventionelle systemer.

## 5 Potentiale vurdering

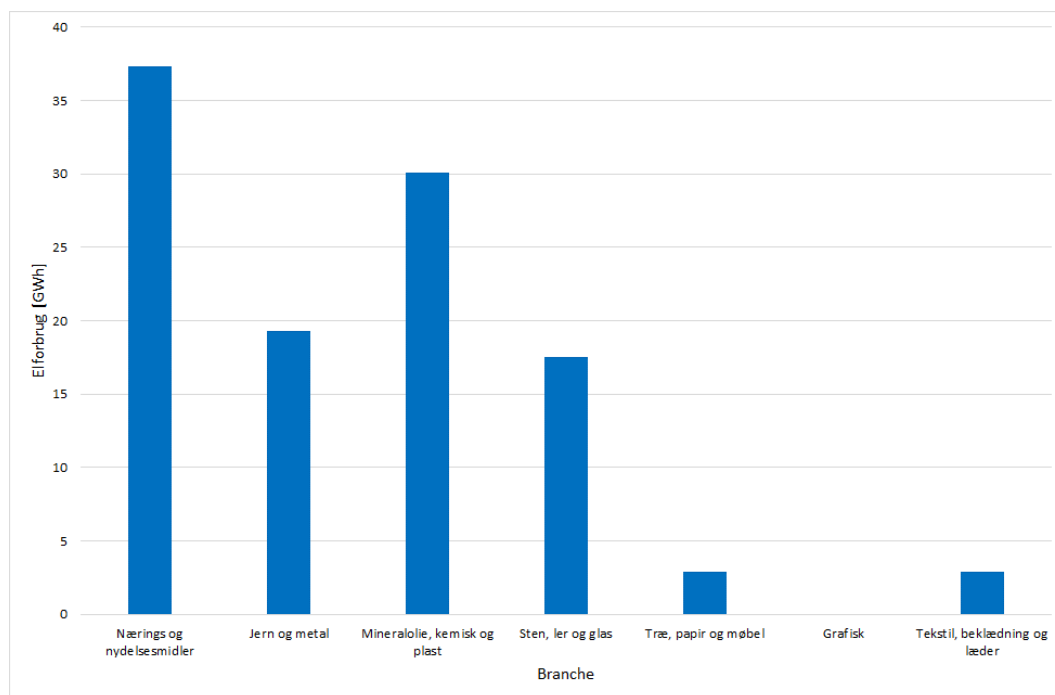
Af den senest offentliggjort energikortlægning<sup>1</sup> for erhvervslivet samt data fra Danmarks Statistik (2020) fremgår, at det samlede elforbrug er 8.486 GWh, hvoraf 815 GWh anvendes til blæsere. Med baggrund i erfaringer fra dansk industri vurderes det, at ca. 12–15% af dette elforbrug anvendes til vakuumsystemer og højtryksblæsere, svarende til et årligt elforbrug på ca. 110 GWh.

Industriens årlige energiforbrug til trykluft udgør 842 GWh. Det vurderes, at ca. halvdelen af dette forbrug, svarende til 421 GWh, anvendes til dyser.

Det samlede mulige besparelspotentiale til vakuumsystemer forventes at udgøre 25% af forbruget, svarende til ca. 28 GWh. Det vurderes desuden at ca. 19% af trykluftforbruget til dyser vil kunne spares ved anvendelse af højtryksblæsere svarende til 80 GWh.

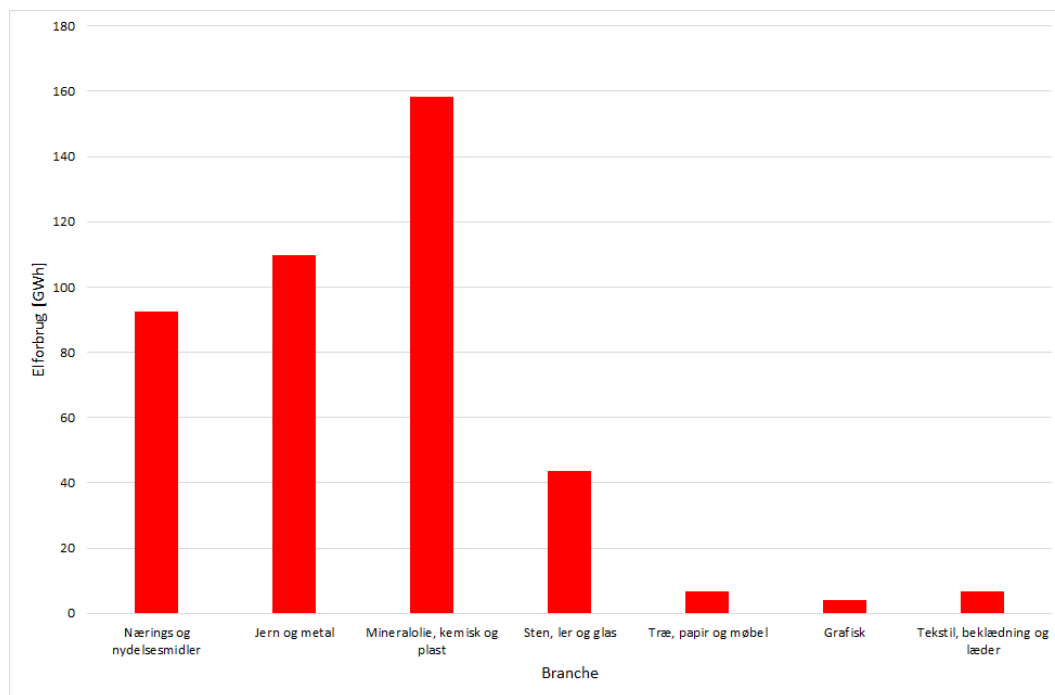
Det samlede besparelspotentiale ved optimering af vakuum- og overtrykssystemer udgør derfor ca. 108 GWh.

I figur 5.1 ses elforbrug til vakuum- og overtrykssystemer i syv hovedbrancher i dansk industri.



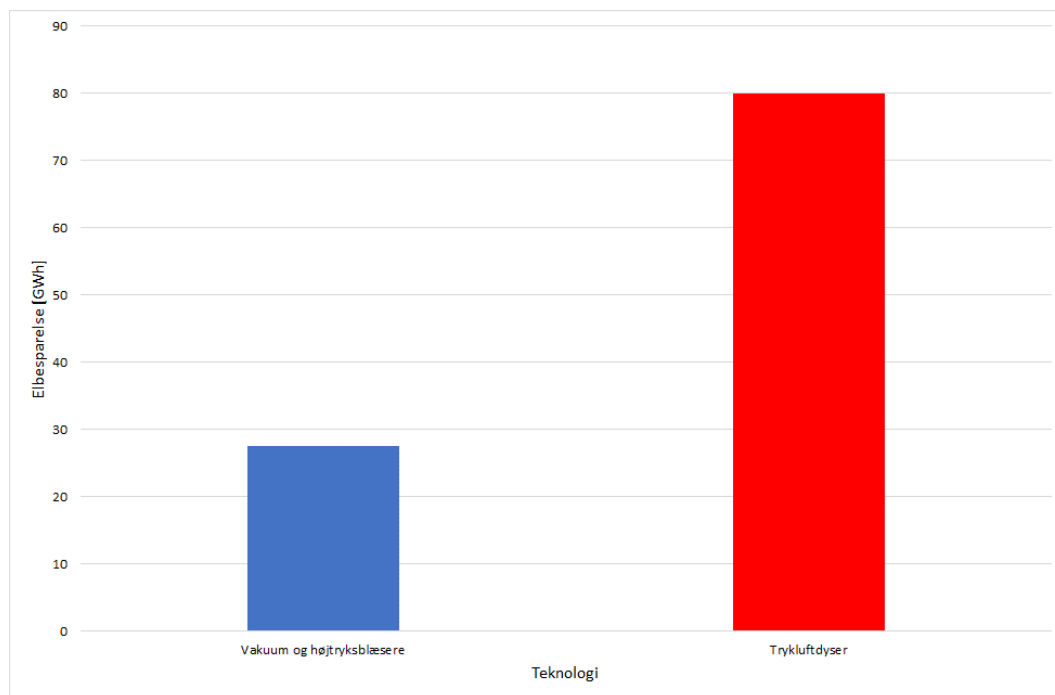
Figur 5.1. Elforbrug til vakuum- og overtrykssystemer i forskellige brancher

I figur 5.2 ses elforbrug til trykluftdyser i syv hovedbrancher i dansk industri.



Figur 5.2. Elforbrug til trykluftdyser i forskellige brancher

I figur 5.3 ses elbesparelser til vakuum- og overtrykssystemer samt trykluftdyser.



Figur 5.3. Elbesparelser til vakuum- og overtrykssystemer samt trykluftsystemer

For Energistyrelsen har Viegand Maagøe i samarbejde med Teknologisk Institut, DTU samt Byggeri & Teknik I/S har i 2022 foretaget en kortlægning af energiforbrug og opgørelse af energisparepotentialer i produktionserhvervene. Denne kortlægning er endnu ikke offentliggjort og tallene kan derfor ikke vises i denne rapport. Det vurderes, at den opdaterede kortlægning kun vil få begrænset indflydelse på ovenstående potentialer.



## 6 Projektets opnåede resultater

Hovedresultaterne af projektet er:

- Optimeringsværktøj for vakuum- og overtrykssystemer
- Designvejledning for vakuum- og overtrykssystemer

Dette beskrives nærmere nedenfor.

### 6.1 Optimeringsværktøj

I projektet er der udviklet et værktøj til behovsoptimering af vakuum- og overtrykssystemer baseret på nyeste viden om drift af vakuum- og overtrykpumper, reguleringsformer m.m.

Ved udviklingen af værktøjet er der opstillet matematiske udtryk for vakuumpumper og højtryksblæsere på baggrund af data fra datablade eller ydelseskurver.

Der er udviklet en avanceret energiberegnerdel, der kan håndtere de forskellige reguleringsformer, der benyttes i før og efter situationen, og på baggrund heraf beregnes optimeringsmulighederne. I beregningsværktøjet inddrages energieffektiviseringsmulighederne for både vakuumpumpe eller højtryksblæser, forbrugsstederne og det øvrige vakuum eller overtrykssystem, således at der foretages en samlet, komplet energioptimering.

Der er foretaget tests af beregningsværktøjet på vakuumsystemerne hos de deltagende industrivirksomheder med det formål at kunne tilrette og optimere værktøjet inden den endelige version udarbejdes.

### 6.2 Designvejledning

I projektet er der udviklet en vejledning for energibevidst design af vakuum- og overtrykssystemer, der understøttes af ovennævnte optimeringsværktøj, hvor der tages udgangspunkt i hvordan virksomhedernes behov for en driftssikker og energioptimal vakuum- og overtryksforsyning tilgodeses.

Designvejledningen giver retningslinjer for valg af vakuumpumper, højtryksblæsere, motorer, regulering m.m.

Desuden beskrives hvordan eksisterende vakuum- og overtrykssystemer undersøges med det formål at tilvejebringe data til designværktøjet, så det er muligt at anvende værktøjet til estimering af energibesparelsen ved energioptimering.

## 7 Effekten af resultaterne

I projektet er der udviklet både en designvejledning og et optimeringsværktøj, der begge gør det langt nemmere at sammensætte det rette, energioptimale vakuum- eller overtrykssystem i hvert enkelt tilfælde. Desuden er det nemt og hurtigt at dokumentere energiforbruget for ved anvendelse af forskellige, alternative konfigurationer, så det bliver muligt at vælge den totaløkonomisk optimale løsning ud fra et dokumenteret grundlag.

På den baggrund antages det, at projektet vil afstedkomme implementering af energibesparende tiltag på eksisterende anlæg, og at det vil sikre betydelig højere energieffektivitet i fremtidige vakuum- og overtrykssystemer, og dermed en betydelig reduktion af energiforbruget og den tilhørende miljøbelastning.

## 8 Perspektivering og den videre anvendelse af resultaterne

Der er et stort behov for at få udbredt kendskabet til de energieffektive løsninger, der findes på området vedr. vakuum- og overtrykssystemer og i særdeleshed at sætte leverandører og brugere af disse systemer i stand til at opbygge nye og ændre eksisterende installationer, så de er energioptimale. Projektets resultater vil primært blive forankret hos leverandører af disse anlæg og udstyr. Desuden vil projektet blive forankret hos energirådgivere, energisynskonsulenter, energiteknologer og andre, der arbejder med energioptimering.

Projektet vil føre til at det bliver langt nemmere at sammensætte det rette, energioptimale vakuum- eller overtrykssystem i det enkelte tilfælde. Desuden bliver det nemt og hurtigt at dokumentere energiforbruget for ved anvendelse af forskellige, alternative konfigurationer, således at det bliver muligt at vælge den totaløkonomisk optimale løsning ud fra et dokumenteret grundlag.

På den baggrund antages det, at projektet vil afstedkomme implementering af energibesparende tiltag på eksisterende anlæg, og at det vil sikre betydelig højere energieffektivitet i fremtidige vakuum- og overtrykssystemer, og dermed en betydelig reduktion af energiforbruget og den tilhørende miljøbelastning. Desuden vil teknologien øge driftssikkerheden af de industrielle installationer, hvilket er af meget stor værdi for slutbrugerne.

## 9 Oversigt over udbredelsen af resultaterne

Resultaterne, dvs. konceptet for systemoptimering og design af energieffektive vakuum- og overtrykssystemer, formidles primært af Teknologisk Institut til virksomhedernes teknisk ansvarlige, leverandører til branchen samt de rådgivende ingeniører og energiselskabernes energirådgivere.

Projektets resultat gøres tilgængeligt fra Teknologisk Institut's hjemmeside, og der inviteres til et møde, hvor interesserede kan få værktøjet demonstreret og udleveret.

Der er publiceret tre artikler i ELFORSK Nyt om projektet gennem projektperioden, hvor resultaterne er præsenteret.

Værktøjet er oversat til engelsk og lagt til fri download på hjemmesiden for 4E EMSA som Teknologisk Institut er en del af. Her ligger i forvejen værktøjet til systemoptimering og værktøjet til optimering af hydrauliksystemer.

Projektet vil endelig blive præsenteret på den 12. internationale konference vedr. energieffektivisering af motordrevne maskinsystemer EEMODS 2024, som finder sted i Lucern, Schweiz i september 2024.