



VARMEPUMPER I INDUSTRIELLE VASKEPROCESSER

PSO-projekt, j.nr.: 342-040

Juni 2012

*Lars Munk, Enervision A/S
Morten Juel Skovrup, IPU
Hyun Kristensen, Grundfos
Klaus E. Christensen, Grundfos
Henrik Larsen, KSN Industri A/S
Carsten Brødsgård, KSN Industri A/S
Bjarke Paaske, Teknologisk Institut*

Forord

Rapporten er udført i PSO-projektet 342-040 ”Varmepumper i industrielle vaskeprocesser”.

Projektet er gennemført fra 2010-2012.

Projektet har været et samarbejde mellem Enervision, IPU, Grundfos A/S, KSN Industri A/S og Teknologisk Institut, Køle- & Varmepumpeteknik, der har fungeret som projektleder.

Deltagerne i projektet var:

- Lars Munk, Enervision A/S
- Morten Juel Skovrup, IPU
- Hyun Kristensen, Grundfos A/S
- Klaus E. Christensen, Grundfos A/S
- Henning Christensen, Grundfos A/S
- Kenth D. Petersen, Grundfos A/S
- Henrik Larsen, KSN Industri A/S
- Carsten Brødsgård, KSN Industri A/S
- Kim Andersen, KSN Industri A/S
- Anders Blichfeldt, KSN Industri A/S
- Klaus Frederiksen, Teknologisk Institut
- Anders Mønsted, Teknologisk Institut
- Bjarke Paaske, Teknologisk Institut

Jeg vil gerne rette en stor tak til alle projektdeltagere for et godt samarbejde.

Juni 2012
Teknologisk Institut
Køle- og Varmepumpeteknik
Kongsvang Allé 29
8000 Aarhus C

Bjarke Paaske
Konsulent

Indholdsfortegnelse

1	Indledning.....	5
2	Formål	5
3	Beskrivelse af teknologien	7
3.1	Industrielle vaskeanlæg.....	7
3.2	Varmepumper.....	14
3.3	Implementering af varmepumper og mulighed for besparelser	15
3.3.1	Energikilder	15
3.3.2	Energibesparelser og økonomi	18
4	Kortlægning af anvendelsesmuligheder	21
4.1	Grundfos i Bjerringbro.....	21
4.1.1	Energiforbrug i vaskeanlæg.....	22
4.1.2	Varmepumpeløsninger til 10 egnede vaskeanlæg	24
4.1.3	Forskellige varmepumpekoncepter.....	26
1. års energi-besp.	27
4.2	Grundfos i Hvam.....	30
4.2.1	Centralvasker	30
4.2.2	Varmepumpe på centralvasker	33
4.2.3	Inddampningsanlæg til vaskeanlæg.....	33
4.3	Lego i Billund	34
4.3.1	Vaskeanlæg til plastiklåg.....	35
	35
4.3.2	Samlet energiforbrug	37
4.3.3	Varmepumpe til opvarmning af vandkarrene	38
4.3.4	Vaskeanlæg til plastikkasser i Ungarn.....	40
4.4	Sintex i Hobro	40
4.4.1	Energiforbrug på vaskeanlæg	41
4.4.2	Varmepumper til de 3 vaskeanlæg	42
4.5	Konklusion for anvendelsesmuligheder.....	43
5	Demonstration af varmepumpe på konkret vaskeanlæg.....	46
5.1	Beskrivelse af systemopbygning.....	46
5.2	Funktionstest af varmepumpe	51
5.3	Måling af energiforbrug	56
5.4	Konklusion på funktionstest.....	58
6	Beregningsprogram til vurdering af varmepumpeløsninger	59
7	Samlet konklusion	61

1 Indledning

KSN Industri har oplevet et stigende fokus fra kunderne omkring energioptimering af produktionsudstyr. KSN har været bevidst om, at specielt gennemløbsvaskemaskiner for metal-emner har et højt energiforbrug. Dette kan ikke specielt henføres til KSN's måde at bygge maskinerne på, men til det faktum, at der er tale om gennemløbsmaskiner, hvor det er nødvendigt at afblæse store mængder fugtig luft fra maskinen. For at undgå fugtproblemer i produktionsområdet holdes der hele tiden et svagt undertryk i maskinen, og derved fjernes store mængder energi.

I 2008 søgte KSN en Videnkupon gennem Forsknings- og Innovationsstyrelsen, og gennem den har Teknologisk Institut i samarbejde med KSN kortlagt energistrømmene for et typisk vaskeanlæg, som var installeret hos Grundfos. Igennem dette arbejde blev årsagen til det store varmebehov fundet, og det viste sig, at der er mulighed for genvinding af varmen ved implementering af en speciel varmepumpeløsning, som er tilpasset maskinens driftsforhold. Videnkuponen har vist, at der for industrielle vaskeprocesser som denne er et enormt besparelsespotential, men at det har været svært for producent og slutbruger at gennemskue de muligheder, der findes med varmepumper. Det forventes, at der findes mange lignende processer, der vil kunne drage fordel af varmepumpeteknikken. Men da det kræver et meget indgående køleteknisk kendskab, har både producent, energirådgiver og slutbruger svært ved at få øje på mulighederne.

2 Formål

Projektets formål er at fremme anvendelsen af varmepumper i energikrævende vaskeprocesser. KSN Industri ser et stort marked for denne type anlæg, men besidder ikke den køletekniske knowhow til egenhændigt at lancere varmepumpeløsninger til vaskeanlæg.

Fordi besparelsespotential er stort, men kan være vanskeligt at få øje på, er det yderst relevant at undersøge mulighederne ved forskellige industrielle vaskeprocesser. En vigtig parameter for anvendelse af varmepumper er adgang til en energikilde fx spildvarme. De fleste vaskeprocesser danner meget spildvarme i form af brugt vaskevand eller fugtig tørreluft, der bortledes fra anlægget. Derfor må det formodes, at det besparelsespotential, der tidligere er fundet ved et specifikt KSN-anlæg, også vil kunne opnås i andre vaskeprocesser.

Et af projektets delmål er at få afdækket potential i forskellige typer af vaskeprocesser. Dels vil der blive kigget på vaskeanlæg ved Grundfos i Bjerringbro, men vaskeprocesser i andre virksomheder skal ligeledes undersøges for at få et bredere perspektiv. Et vigtigt mål for projektet er, at denne viden bliver formidlet ud til producenter, energirådgivere og slutbrugere. Dette nås bl.a. via udviklingen af et software-værktøj, der kan påpege besparelsespotential for en given vaskeproces.

Projektet er delt op i 3 hovedfaser:

Fase 1: Kortlægning af anvendelsesmuligheder for varmepumper i vaskeprocesser

Igennem fase 1 er en række forskellige vaskeprocesser analyseret i forhold til implementering af varmepumper. Dette drejer sig om vaskeprocesser hos Grundfos i Bjerringbro, Grundfos i Hvam, Lego i Billund og Sintex i Hobro. Herudover er der kigget på potential ved nogle af KSN's internationale kunder, som har vist interesse for teknologien.

Der har været fokus på tekniske barrierer, energiudnyttelse, besparelspotentialer og økonomi samt ikke-tekniske barrierer. Vaskeprocesserne fungerer ofte ved temperatur-niveauer, som adskiller sig fra gængse varmepumpeinstallationer. Derfor vil standard-løsninger ikke kunne anvendes, og de tekniske problemstillinger der forekommer i forskellige vaskeprocesser, skal belyses.

Faktorer, der har stor indflydelse, er temperatur-ændring og sluttemperatur i vaskemediet, tilgængelighed af varmekilde og dennes temperatur, eksisterende opvarmningsform (el, gas m.m.), kemikalier/urenheder i vaskemedie/varmekilde m.m.

Der er både kigget på vaskeprocesser med el-opvarmning og øvrige opvarmningsformer.

Fase 2: Konstruktion og demonstration af varmepumpe i industrivaske maskine

I forlængelse af den gennemførte videnkupon installeres en varmepumpeløsning i et specifikt vaskeanlæg ved Grundfos i Bjerringbro. Formålet med denne fase er at demonstrere, at vaskelanlæggets samlede energiforbrug kan reduceres mellem 40 og 50 % ved anvendelse af en varmepumpe.

Varmepumpen udnytter varmen fra afkastluften til at opvarme selve vaskevandet. For at mindske dannelsen af kondensat på maskinernes ind- og afgang suges en stor luftmængde hele tiden ud, så der holdes undertryk i maskinen. Denne afblæsningsluft er i det konkrete tilfælde ca. 53 °C og med en relativ fugtighed på 95 % indeholder luften en meget stor energimængde. Ved at køle afblæsningsluften til omkring 25 °C, kondenserer en del af den vanddamp, som luften indeholder. Vanddampens faseskift (fra damp til væske) afgiver en stor energimængde, og ved den nævnte nedkøling af afblæsningsluften frigives varme, som varmepumpen kan genvinde og returnere til vaskevandet.

Prototypen er udviklet af Teknologisk Institut og KSN i fællesskab. Hovedudfordringerne ligger primært i at finde egnede komponenter, effektiv varmeveksling og et optimalt styringssystem.

En anden faldgrube er kølefladen til udkondensering af vanddamp, hvor problemer med væskefilm og tilsmudsning nedsætter kølefladens kapacitet og i værste fald stopper processen. Samtidig stiller et varierende effektbehov og tidsforskudte svingninger i varmebehov og energimængde i afblæsningsluften store krav til styringen.

På grund af de specielle driftsforhold er varmepumpen først testet i laboratoriet på Teknologisk Institut. Efter endt laboratorietest, er varmepumpen fieldtestet på en produktionslinje ved Grundfos. Denne fieldtest har dannet grundlag for yderligere fejlfinding og produktmodning af varmepumpesystemet. Igennem projektperioden har en lang række parametre i anlægget været overvåget, og vaskeanlæggets samlede energibesparelse kunne dokumenteres. Herved eftervises systemets besparelspotentiale i praksis.

Fase 3: Beregningsprogram, afrapportering og videnformidling

Med baggrund i resultaterne fra fase 1 og 2, er der udviklet et beregningsprogram, som kan give producenter, energirådgivere og slutbrugere overblik over anvendelsesmulighederne for varmepumper i specifikke applikationer. Programmet vil blive distribueret til relevante brugere, som herved får et håndgribeligt værktøj ud af projektet.

3 Beskrivelse af teknologien

Projektet fokuserer på vaskeanlæg ved produktionsvirksomheder, hvor vaskeanlæggene ofte bruges til rengøring af metal- eller plastikemner efter en bearbejdningsproces.

Vaskeanlæggene er typisk placeret i direkte forlængelse af bearbejdningsmaskiner som presse- eller stansemaskiner, hvor emnerne skal afvaskes for olierester og evt. skidt fra bearbejdningsprocessen. Efter vask, tørres emnerne så de er rene og tørre, når de forlader processen, og kan fortsætte direkte videre til yderligere bearbejdning eller montage i det endelige produkt.

Varmepumperne er tænkt som selvstændige enheder, der kan kobles på eksisterende anlæg eller leveres sammen med nye. Varmepumpen er placeret i sit eget kabinet og forbindes til vaskeanlægget via slanger eller rør, hvor det varme vand cirkuleres imellem varmepumpe og vaskeanlæg. Dette kræver kun minimale indgreb i vaskeanlægget, og samtidig kan varmepumpen placeres fleksibelt et egnet sted omkring vaskeanlægget.

Denne opbygning betyder, at flere af de problematikker, som kan opstå ved anvendelse af varmepumper, undgås. Det er ikke nødvendigt med tilgængeligt gulvareal lige ved siden af vaskeanlægget. Dels skal vaskeanlægget kun afbrydes kortvarigt ved installationen, og dels kan det eksisterende varmesystem bibeholdes, således at produktionen ikke må afbrydes, såfremt der opstår fejl på varmepumpen. Dette er en vigtig parameter, hvis anvendelsen skal udbredes på virksomheder, hvor man er i tvivl om varmepumpers driftssikkerhed. Fordi utilsigtede produktionsstop ofte er meget kostbare for virksomhederne, er det vigtigt, at anvendelsen af varmepumper ikke øger risikoen for stop.

3.1 Industrielle vaskeanlæg

Produktionsvirksomhederne anvender generelt to forskellige typer af vaskeanlæg: gennemløbsvaskere og kabinevaskere. Forskellen mellem de to principper er, at gennemløbsvaskerne fødes kontinuert med emner, hvor disse vaskes og tørres, mens de skubbes igennem maskinen. Maskinen fødes altså hele tiden med beskidte emner, som kommer rene ud i samme takt.

I kabinevaskere fyldes kabinen med emner. Lågen lukkes, og der vaskes og tørres med lukket låge. Herefter tages samtlige emner ud og maskinen kan på ny fyldes med beskidte emner. Fordi vaskeprocessen i kabinevaskere foregår i et lukket rum, kan varmen ikke så nemt undslippe som ved gennemløbsvaskere. Derfor er energiforbruget ved kabinevaskere mange gange lavere end for gennemløbsvaskere.

Gennemløbsvaskere placeres ofte i forbindelse med bearbejdningsmaskinerne, så emner ledes direkte igennem vaskeanlægget efter endt bearbejdning. Emnerne vaskes altså i samme takt, som de forlader bearbejdningsmaskinen. Emnerne transporteres igennem vaskeanlægget via et bånd eller en tromle. Maskinerne består typisk af en vaskezone med sæbevand, som rengør emnerne for olie og andet snavs, en skyllezone med rent vand, som rengør emnerne for sæbevand, og til sidst en tørrezone. Ved hjælp af bånd eller tromle skubbes emnerne langsomt igennem vaskezone med sæbevand, herefter skyllezone med rent vand og til sidst tørrezone.

I det følgende er der en mere detaljeret beskrivelse af en specifik KSN gennemløbsvasker med tromle (kaldet tromlevasker). Det konkrete vaskeanlæg har indgået i det forudgående videnskupon projekt. Anlægget er samtidig valgt til demonstrationsfasen i dette projekt, som er nærmere beskrevet i afsnit 5. Tromleanlæggene er de mest udbredte typer, og det konkrete anlægs energiforbrug svarer meget godt til gennemsnittet, hvor der både findes anlæg med større og mindre energiforbrug.

Figur 3.1 herunder viser den konkrete gennemløbsvasker med tromle, som er installeret ved Grundfos.

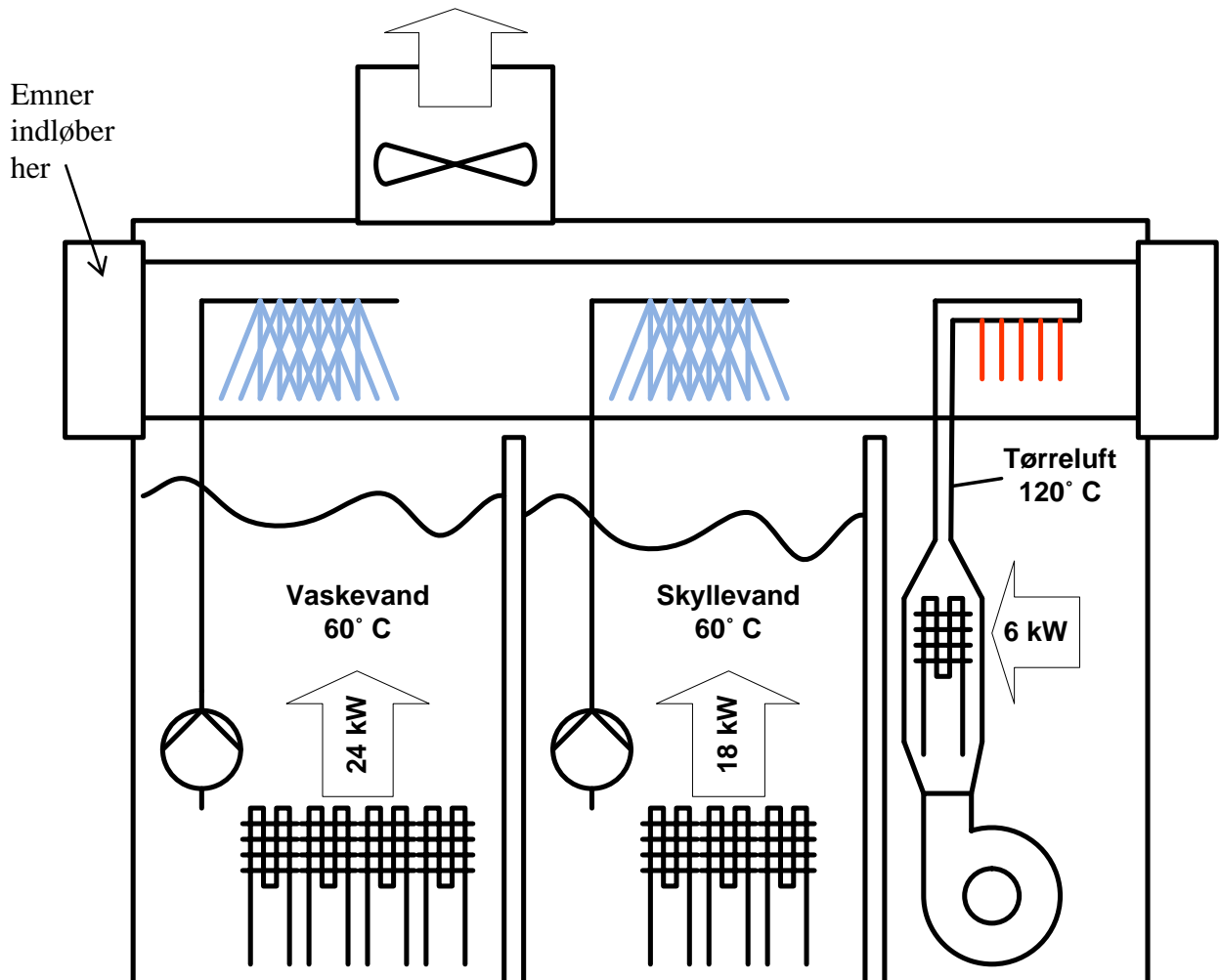


Figur 3.1: Gennemløbsvasker (tromle).

Den store hvide kasse bagest til højre er en stansemaskine, og metalemnerne fra denne proces sendes direkte videre til vaskeanlægget igennem den lille sliske, som ses til højre på billedet. Maskinen består af to vaskesektioner (én med sæbevand og én med rent vand), samt en tørresektion. Metalemnerne forlader maskinen i venstre side, hvor de falder ned i kassen med den blå bund – rene og tørre.

Øverst i højre side på vaskeanlægget er monteret et udsug, der fjerner den fugtige luft og holder et svagt undertryk i maskinen. Herved dannes der ikke uønsket kondens omkring maskinens til- og afgang.

Princippet er ligeledes illustreret på figur 3.2 herunder. Her er gennemløbsretningen dog spejlvendt i forhold til billederne. På figur 3.2 indløber de beskidte emner fra venstre side, imens de indløber fra højre side på billederne.



Figur 3.2: Principdiagram af gennemløbsvasker.

Vaske- og skyllevand er som nævnt adskilt i hver sit kar. Hvert kar er forsynet med en pumpe, som pumper vand fra karrene op til en række dysser inden i tromlen, hvor emnerne spules rene. Vaskeanlægget er forsynet med hhv. 4 og 3 stk. varmelegemer af 6 kW til vaske- og skyldevandet. Den samlede effekt er altså 24 kW for vaskevandet og 18 kW for skyllevandet. Temperaturen i begge kar skal holdes på 60° C. Herudover er anlægget forsynet med et enkelt 6 kW varmelegeme til opvarmning af tørreluft, som opvarmes til 120° C.

På figur 3.3 herunder ses vaskeanlægget fra figur 3.1 med åbne låger.



Figur 3.3: Tromle i gennemløbsvasker.

Emnerne kommer ind i tromlen længst væk i højre side af billedet. Tromlens inderside er forsynet med en snegl, som skubber emnerne frem igennem tromlen, når denne roterer. Som det kan anes på billedet, er tromlen inddelt i tre zoner. I de to første zoner længst væk sprøjtes der vaske- og skyllevand på emnerne via dysser indvendigt i tromlen. Vaskevandet er forsynet med et rengøringsmiddel (sæbe), som sikrer, at olierester forlader emnerne. Skyllevandet er helt rent og skyller emnerne rene for det beskidte vaskevand. Vandet i begge sektioner er demineraliseret vand. I den sidste tredjedel er der dysser, som blæser varm luft på emnerne, så vandet fordamper. De to vaskesektioner er forsynet med hver sit kar, som indeholder mellem 5-800 liter vand. Vandet pumpes fra disse kar op til dysserne, hvor emnerne spules, og vandet falder ned karrene igen. Efterhånden ophober der sig en stor mængde snavs i vaskevandet, og hver eller hver anden uge tømmes begge kar, hvorefter anlægget rengøres og fyldes med rent vand.

Figur 3.4 til højre viser tromlen, som er inden i tørresektionen. Den opvarmede tørreluft ledes frem igennem det tykke rør i midten af billedet, hvor dysserne ses på rørets underside i højre del af billedet.

Nederst ses metalemnerne, som vaskes, og her kan fremføringsneglen også anes.



Figur 3.4: Tørresektion i tromlevasker.

Energiforbrug i tromlevasker

Udover varmelegemerne er der effektoptag i de to pumper til vask- og skyllevand, en blæser til tørreluft, udsuget på toppen af anlægget, som også indeholder et dråbefang (kaldes også filtermist), samt en mindre elmotor til at dreje tromlen.

I tabel 3.1 herunder ses en oversigt over den installerede effekt i det konkrete vaskeanlæg.

Komponent	Installeret effekt [kW]
Varmelegemer vask	24
Varmelegemer skyl	18
Pumpe vask	1,5
Pumpe skyl	0,75
Blæser tørreluft	2,2
Varmelegeme luft	6
Motor	0,18
Dråbefang	1,5
Total	54,1

Tabel 3.1: Installeret effekt i vaskeanlægget.

Varmelegemerne til vand og luft er on/off regulerede, så de valgte temperaturer kan holdes konstante. Den gennemsnitlige effekt til opvarmning af vand og luft afhænger meget af vandets temperatur og indstillingen af et spjæld ved udsugningen. Jo mere luft, der suges igennem anlægget, jo mere energi tabes der, og derfor har det stor betydning, at spjældet er korrekt indstillet, så der kun lige akkurat ikke kommer fugtig luft ud af maskinens ind- og udgang.

I det forudgående analyseprojekt, blev vaskeanlæggets gennemsnitlige effektforbrug opgjort. Resultatet ses i tabel 3.2 herunder.

Komponent	Installeret effekt [kW]	Effekt gennemsnit [kW]
Varmelegemer, vask	24	7,6
Varmelegemer, skyl	18	16,7
Pumpe, vask	1,5	1,5
Pumpe, skyl	0,75	0,75
Blæser, tørreluft	2,2	2,2
Varmelegeme, luft	6	3,5
Motor	0,18	0,18
Dråbefang	1,5	1,5
Total	54,1	33,9

Tabel 3.2: Gennemsnitlig effekt i vaskeanlægget.

Som det fremgår af tabel 3.2, er det gennemsnitlige effektoptag i vaskevandet 7,6 kW, mens det er 16,7 kW i skyllevandet. Det ser lidt underligt ud i forhold til den installerede effekt, hvor vaskezone er forsynet med størst effekt. Dette skyldes, at man tidligere var overbevist om, at det var metalemnerne, der var årsag til det store energiforbrug, fordi opvarmningen af disse var meget energikrævende. Igennem analyseprojektet blev det dog hurtigt klart, at massestrømmen af metal trods alt er begrænset, og at opvarmningen af emnerne ville udgøre mindre end 300 watt. Årsagen til det høje forbrug skyldes, at en stor mængde varm tørreluft passerer skyllezone, og får en del af vandet til at fordampe. Fordampning af vand er meget energikrævende, og energien tages fra vaskevandet, som derfor køles og kræver en stor effekt fra varmelegemerne for at opretholde temperaturen.

Som det ses, udgør det gennemsnitlige el-forbrug knap 34 kW, hvor opvarmning af vandet kræver 24-25 kW. Opvarmning af luft kræver 3,5 kW. De resterende 6 kW udgøres af mekanisk energi til pumper, motor, ventilation og blæser.

Kabinevaskere anvendes ofte som centrale anlæg til at vaske emner fra flere bearbejdningmaskiner. Emnerne fra hver maskine samles i kurve som transporteres til kabinevaskeren, hvor de rengøres.

Princippet i kabinevaskerne minder om det, vi kender fra maskiner til tøjvask. Maskinen fyldes med emner som skal vaskes, lågen lukkes, der vaskes og tørres, og til slut tages alle emnerne ud rene og tørre. I kabinevaskerne samles emnerne ofte i en kurv, som indsættes i vaskeanlægget.

Figur 3.5 herunder viser en kabinevasker, som står hos Grundfos i Bjerringbro.



Figur 3.5: Kabinevasker.

Emnerne transporteres i kurve, som den der ses til højre i billedet. Kurve med beskidte emner sættes ind i vaskeanlægget, hvorefter lågen midt i billedet lukkes (er lukket på billedet). Herefter vaskes og tørres der, og når lågen åbnes, er emnerne rene og tørre.

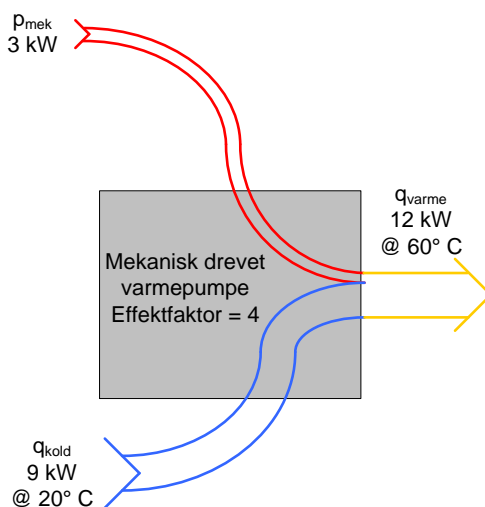
Ved de virksomheder, der har deltaget i projektet, har gennemløbsvaskerne været de mest udbredte. Dette skyldes, at gennemløbsvaskerne har en høj kapacitet i forhold til deres fysiske størrelse, og samtidig kræves der ikke ekstra håndtering af emnerne, når der vaskes direkte i forlængelse af bearbejdningsmaskinerne.

Vaskeanlæggenes funktion har en meget stor værdi for mange produktionsvirksomheder. Derfor har anlæggenes funktionalitet altid været mere interessant end et lavt energiforbrug, og det er først i løbet af de senere år, man har fået øjnene op for det høje energiforbrug. Mange gennemløbsvaskere har et gennemsnitligt effektoptag på 30-35 kW-el. Med mange driftstimer årligt er der derfor også et økonomisk incitament til at reducere energiforbruget. Det forventes, at der findes omkring 3000 anlæg i Danmark.

3.2 Varmepumper

En varmepumpe fungerer på samme måde som et køleskab, hvor der optages energi (varme) ved lav temperatur, hvorefter energien afleveres ved en højere temperatur. Varmepumper og køleskabe udnytter, at kogepunktet for rene stoffer ændres afhængigt af det aktuelle tryk. Ved at sænke trykket kan man således sænke kogepunkt og vice versa. Ved hjælp af en mekanisk kompressor skabes et højt og et lavt tryk, og samtidig flyttes fordampet kølemiddel fra den kolde side (lavt tryk) til den varme side (højt tryk). Her kondenserer gassen, så energien frigives, og kondensatet ledes tilbage til den kolde side, hvor det igen kan fordampe.

Varmepumper er meget anvendelige i processer med spildvarme, men i nogle processer er spildvarmens temperatur for lav til at kunne anvendes direkte. Her kan en varmepumpe flytte energien fra et lavt temperaturniveau til et højere og derved genvinde energien. Kompressorens elforbrug afhænger af forskellen mellem spildvarmens temperatur og temperaturen på det medie, som skal opvarmes. Forholdet mellem leveret varme og elforbrug kaldes effektfaktoren eller COP (af det engelske Coefficient of Performance). For de fleste varmepumpeapplikationer ligger effektfaktoren imellem 3 og 5. For hver kWh-el, som forbruges, vil varmepumpen altså kunne levere mellem 3 og 5 kWh varme. Varmen består dels af den forbrugte elektricitet og dels af den genvundne spildvarme. Energistrømmene for en varmepumpe med en effektfaktor på 4 er illustreret på figur 3.6 herunder:



Figur 3.6: Energistrømme i varmepumpe med effektfaktor på 4.

Varmepumpen i eksemplet herover har et elforbrug på 3 kW. Dette gør den i stand til at genvinde 9 kW spildvarme ved 20° C, og varmeoutputtet bliver derfor 12 kW, som leveres ved 60° C.

Der er i dag udviklet en lang række syntetiske kølemidler med forskellige fysiske egenskaber, og derudover findes der naturlige kølemidler. Kølemidlernes forskellige egenskaber kan have indflydelse på virkningsgrad og udvalget af komponenter. Derfor er det ikke ligegyldigt, hvilket kølemiddel der vælges, og samtidig er det også vigtigt at bemærke, at de syntetiske kølemidler udgør en stor miljømæssig belastning.

3.3 Implementering af varmepumper og mulighed for besparelser

Igennem den tidligere gennemførte videnkupon er det blevet klart, at opvarmning af vaskevand i gennemløbsvaskerne er meget energikrævende. Dette skyldes, som tidligere nævnt, at der sker en fordampning, som har en kølende effekt på vandbadene. Forholdene i maskinen er meget gunstige for denne problematik. Dels suges der store mængder tør luft igennem maskinen, og dels er der meget energi til stede pga. vandets høje temperatur. Jo varmere luften er - jo mere damp kan den indeholde. De høje temperaturer, der arbejdes med i maskinen, betyder, at luften kan indeholde rigtig megen damp. Samtidig er der megen turbulens, og meget af vandet bliver forstøvet under vaskeprocessen, hvilket betyder, at vandet nemmere fordamper og absorberes af tørreluften.

Hvis vaskeprocessen kunne foregå i et lukket rum, adskilt fra tørreprocessen, ville energiforbruget til opvarmning af vandet blive forsvindende lille. Her vil luften hurtigt blive mættet med vanddamp, og fordampningen vil stoppe. Da maskinen samtidig er godt isoleret, skal der stort set kun bruges energi på opvarmning af den mængde vand, der afsættes på emnerne. Det vurderes, at opvarmningen af vandet under disse forhold vil kræve en effekt på mindre end 300 W.

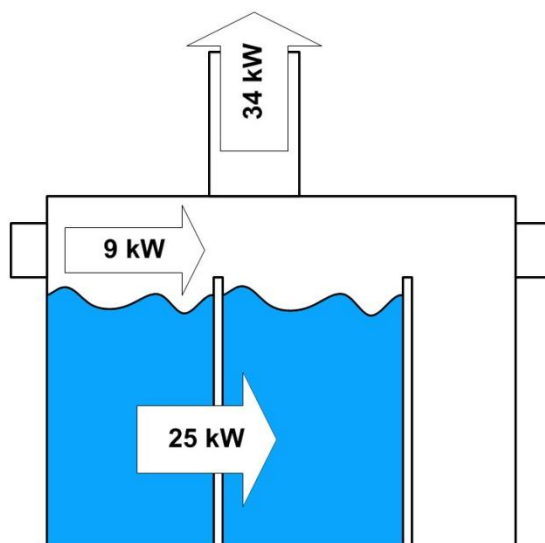
En oplagt mulighed for energioptimering vil derfor være at isolere området, hvor vaskeprocessen foregår, så meget som muligt. Hermed vil tilførslen af tør luft blive minimal, og vaskevandet vil ikke fordampe i samme grad. Denne mulighed for optimering er diskuteret i forbindelse med projektet. Men der er i forvejen gjort meget for at begrænse hullernes størrelse ved maskinens ind- og udgang, og en yderligere begrænsning af forbindelsen til omgivelserne vil kræve store konstruktive ændringer. Muligheden for at skille maskinen i to dele, så tørreprocessen bliver isoleret fra vaskeprocessen, har også været vendt. Hermed vil mindre tør luft blive tilført vaskeområdet, og dette vil reducere fordampningen. Der findes allerede maskiner uden tørresektion. Men erfaringen er, at der selv på disse maskiner kræves kraftig udsugning for at undgå vanddamp omkring maskinens ind- og afgang. Samtidig vil det gøre maskinerne mere pladskrævende, og det vurderes ikke, at denne løsning vil være særlig hensigtsmæssig.

3.3.1 Energikilder

I modsætning til traditionelle opvarmningsformer er varmepumper afhængige af en tilgængelig energikilde for at kunne producere varme. Dette faktum kan ofte være en hindring for udbredelsen af varmepumper. Dels gør det installationen mere omstændelig, og dels er man nødt til at sikre sig, at varmekilden altid er til rådighed, når der er et varmebehov. Derfor er det vigtigt, at systemet, hvor varmepumpen skal integreres, analyseres nøje, inden en eventuel varmepumpe installeres. I modsat fald risikerer man at investere i en varmepumpe, som er fejldimensioneret med dårlig funktion og virkningsgrad til følge.

Den mest oplagte mulighed er genvinding af varme på selve vaskeanlægget. Hvis alt den energi, som forlader anlægget, genvindes og ledes tilbage, vil man få et energioverskud fordi varmepumpens energiforbrug tilføres maskinen oveni den mængde, som genvindes. Med andre ord så er der altid energi nok til en varmepumpe.

Spørgsmålet er snarere, hvor let spildenergien er at genvinde, og hvor stort et varmebehov vaskeanlægget har ved de temperaturer, som kan frembringes af en varmepumpe. Dette er illustreret i eksemplet i figur 3.6 herunder:



Figur 3.6

Figur 3.6 viser en simpel skitse af en gennemløbsvasker. Vaskeanlægget har to kar med varmt vand, og luftoverskuddet ventileres bort igennem et sug i anlæggets overside. Anlægget har et effektoptag på 34 kW, hvoraf de 25 anvendes til opvarmning af vandet i to kar, og de resterende 9 kW anvendes til motor, pumper, blæser, opvarmning af tørreluft m.m. Der tilføres altså i alt 34 kW, og der må også være 34 kW, som forlader vaskeanlægget før energibalancen stemmer. Det er tidligere vist, at mere end 95 % af energien forlader gennemløbsvaskerne igennem ventilationen, og i eksemplet vil der derfor være tæt på 34 kW til rådighed, såfremt den fugtige luft bringes tilbage til udgangspunktet (20° C og 40-50 % RH).

Kigges der på anvendelsesmulighederne for en varmepumpe, er energikilden altså til rådighed ved at køle afblæsningsluften (op imod 34 kW). Af anlæggets samlede energiforbrug anvendes de 25 kW til opvarmning af vandkarrene. Temperaturen i karrene er omkring 60° C, og en eventuel varmepumpe skal således aflevere energien ved denne temperatur. Af de øvrige 9 kW er hovedparten mekanisk energi, som en varmepumpe ikke kan erstatte. En del er dog også opvarmning af tørreluft, men denne opvarmes til 120° C, som kræver en meget speciel varmepumpeløsning, hvis dette behov skal dækkes.

Samlet set er der altså tæt på 34 kW-varme tilgængeligt i afblæsningsluften, og der er et umiddelbart varmebehov på 25 kW. Såfremt en varmepumpe har en effektfaktor på 4 i denne situation, skal varmepumpen bruge 6,25 kW elektricitet til at producere de 25 kW varme. Samtidig har den behov for at genvinde 18,75 kW i ventilationsluften.

Der er altså kun behov for ca. 55 % af den energimængde, som er til rådighed, og varmepumpen reducerer det samlede energiforbrug med 18,75 kW eller 55 %.

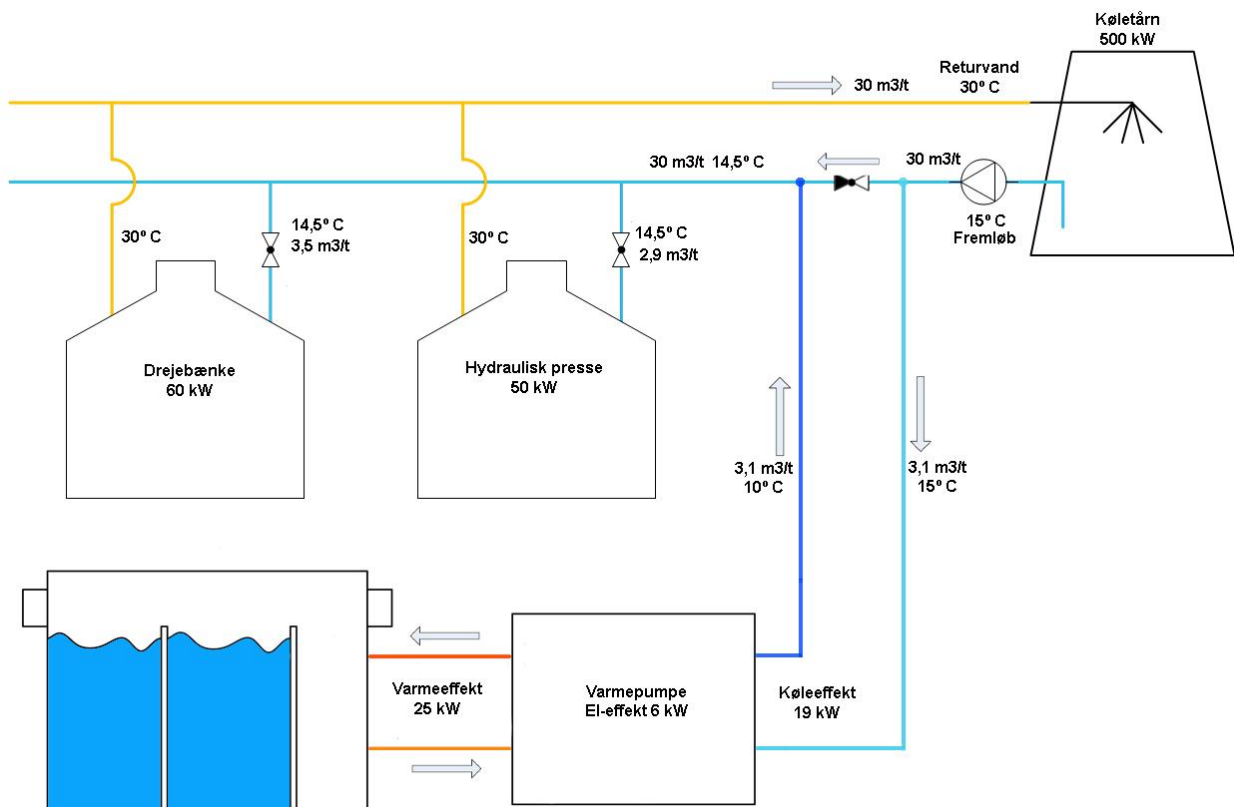
Med den skitserede løsning har man en varmekilde, som er tilgængelig, når der er drift på anlægget. Til gengæld er der ingen energi til rådighed ved opstart med kolde vandkar. Dette kan være situationen efter længere tids pause eller ved vandskift. Derfor er det fortsat nød-

vendigt med el-varmelegemer, som kan opvarme vandet, indtil varmepumpen kan tage over. Dette giver dog også ekstra sikkerhed i tilfælde af problemer med varmepumpen.

Frem for at genvinde energien direkte på vaskeanlægget er der også mulighed for at anvende eksterne energikilder til opvarmning af vaskevand. I de fleste produktionsvirksomheder er energiforbruget i produktionen langt højere end varmebehovet og derfor er man ofte nødt til at køle spildvarmen bort. Dette kan enten være ved frikøling eller mekanisk køling. Ved frikøling anvendes en væskekreds, der bringer varmen direkte fra produktionsanlæggene til udeluften vha. en frikøler eller et køletår. Afhængig af årstiden og behovet ligger væsketemperaturen i disse systemer ofte mellem 15 og 30° C. I systemer med mekanisk køling er væsketemperaturen ofte mellem 7 og 15° C. Ved mange af de større produktionsvirksomheder er der ringsystemer igennem fabrikkerne både med ”varmt” og ”koldt” kølevand. Det varme vand anvendes typisk til køling af smøremiddel i spåntagende processer eller hydraulikolie i presse- og stansmaskiner. Her omsættes meget af energien i olien, og varmen skal bortledes for at undgå overophedning. Det kolde vand anvendes typisk til lidt mere specielle svejse- eller støbeprocesser.

Der bortledes store energimængder igennem disse kølesystemer, og de fleste steder er der derfor udtømmelige energikilder til varmepumpeanlæg.

Ved at koble på kølevandet sparer man kølefladen til ventilationsluften, og samtidig kan varmepumpen levere varme, når vaskeanlæggene er kolde. En anden sidegevinst er, at man sparer energi på kølesystemerne, når en del af varmen fjernes af varmepumper. En simpel skitse af princippet ses i figur 3.7 herunder:



Figur 3.7: Varmepumpe til opvarmning af vaskevand, hvor energikilden er kølevand.

På figuren herover ses en virksomhed med et kølebehov på 500 kW. Dette dækkes af et frikølesystem forbundet til et køletårn og betjener bl.a. drejebænke og hydrauliske presser. Ved at koble en varmepumpe ind på fremløbsledningen køles vandet yderligere fra køletårnet, og varmepumpen bidrager således til en del af kølebehovet. I eksemplet fjerner varmepumpen 19 kW for at producere de 25 kW-varme, som vaskeanlægget har brug for. Det betyder, at kølesystemet nu kan levere 519 kW køl i stedet for 500 kW. Med samme effekt skal køletårnet yde lidt mindre, og samtidig betyder den større temperaturdifferens, at pumperne i kølesystemet kan reducere væskeflowet. Med et større antal varmepumper vil det få en stor betydning for kølesystemets energiforbrug. Er der tale om mekanisk køling er effekten endnu større, da energiforbruget til mekanisk køling typisk er 5-10 gange større end ved frikøling.

Varmepumpen kan også kobles på kølesystemets returledning. Fordi denne har en højere temperatur, vil varmepumpen få en bedre virkningsgrad, men her vil køletårnet til gengæld miste lidt effekt, fordi returvandet er koldere. Derfor bør denne løsning kun vælges, hvis kølesystemet har rigeligt med kapacitet.

Der er også mulighed for at koble en varmepumpe direkte på en bearbejdningsmaskine, som et vaskeanlæg er placeret i forlængelse af. Her vil varmekilden være til rådighed, når der er behov i vaskeanlægget.

Ved anvendelse af eksterne energikilder kan el-varmelegemerne i vaskeanlæggene undværes. Dette kan særligt have en værdi ved nye installationer, hvor en halvering af tilslutningseffekten kan gøre installationen væsentligt billigere. De virksomheder, der har været med i projektet, har dog udtrykt, at den ekstra sikkerhed, som varmelegemerne giver, retfærdiggør en større investering.

3.3.2 Energibesparelser og økonomi

Som nævnt i indledningen forventes det, at energiforbruget i gennemløbsvaskere kan reduceres med 40-50 %, såfremt der anvendes varmepumper til opvarmning af vaske- og skyllevand.

De fleste anlæg er i drift imellem 4.000 og 8.000 timer årligt, og når den optagede el-effekt i gennemsnit ligger på 34 kW, så udgør det årlige energiforbrug for et enkelt anlæg mellem 135 og 270 MWh. Såfremt dette forbrug kan halveres, er der også tale om betragtelige energibesparelser for et enkelt varmepumpeanlæg.

Vaskeanlæggene er enten opvarmede af el-varmelegemer direkte i vandkarrene eller via hedtvandssystemer, som overfører varmen til vaskevandet via varmevekslere. Varmen i hedtvandssystemer produceres ofte på olie eller gas.

El-opvarmning er mest udbredt, da det ofte er dyrt at installere hedtvandssystemer, særligt hvis det eksisterende system ikke løber i nærheden af vaskeren. Samtidig er et el-opvarmet vaskeanlæg langt nemmere at flytte, hvis det skulle blive aktuelt, og disse praktiske årsager gør, at elvarme de fleste steder er det foretrukne.

Der er dog stor forskel på energiprisen for hhv. elektricitet og naturgas. I dag betaler de fleste virksomheder omkring 80 øre/kWh-el, hvorimod et hedtvandssystem på naturgas kan producere varme for omkring 25 øre/kWh. I forbindelse med implementering af varmepumper er de el-opvarmede vaskeanlæg fra et økonomisk synspunkt de mest attraktive.

Udover en reduktion i de løbende udgifter til energi, udløser første års energibesparelse ofte et engangsbeløb på mellem 25 og 50 øre/kWh. Dette beløb udbetales af energiselskaberne og størrelsen afhænger ofte af, hvor stort behovet for besparelser er ved de enkelte energiselskaber. Dette engangsbeløb differentierer ikke imellem energiformerne. At lave en besparelse, hvor gas samtidig erstattes med elektricitet, er derfor lige så godt som at lave en besparelse i elektricitet alene.

Eksemplerne herunder viser økonomien ved typiske installationer. Det er dog vigtigt at understrege, at økonomien vil være forskellig i forskellige anlæg, og at energiforbruget i et givet vaskeanlæg derfor altid skal fastlægges, inden man kan regne på rentabiliteten.

Forudsætter vi, at det samlede energiforbrug kan halveres med en varmepumpeløsning, så kan et anlæg med 8.000 årlige driftstimer og et effektoptag på 34 kW reducere det årlige elforbrug fra 270 MWh til 135 MWh. Med en kWh-pris på 80 øre giver det en årlig besparelse på ca. 108.000 kr. Hertil skal værdien af 1. års energibesparelser tillægges, og regnes der med 35 øre/kWh, udløser dette altså et engangsbeløb på ca. 47.000 kr.

Udover investeringsstørrelsen er simpel tilbagebetalingstid ofte brugt, når en løsning skal vurderes i forhold til økonomien. Antages det, at en varmepumpeløsning i det pågældende tilfælde koster 250.000 kr. fås en simpel tilbagebetalingstid på:

$$STBT = \frac{250.000 - 47.000}{108.000} \approx 1,9 \text{ år}$$

Regnes samme tilfælde på et anlæg som opvarmes med gas, bliver regnestykket lidt mere kompliceret. Som tidligere nævnt udgør opvarmning af vandkarrene ca. 25 kW ud af det samlede effektoptag på 34 kW. Ud af det samlede energiforbrug på 270 MWh årligt, består de 198 MWh altså af gas, som erstattes af en varmepumpe. Varmepumpen har en effektfaktor på 3,5 og skal derfor bruge 57 MWh elektricitet pr. år. Værdien af første års energibesparelse er den samme, når gas erstattes af elektricitet. Gas koster 250 kr./MWh, og elektricitet koster 800 kr./MWh, og derfor bliver den simple tilbagebetalingstid som følger:

$$STBT = \frac{250.000 - 47.000}{(198 * 250) - (57 * 800)} \approx 52 \text{ år}$$

Som det ses af eksemplet, er der ikke økonomi i varmepumpeløsninger, i vaskeanlæg som opvarmes med naturgas. Det forventes, at naturgas vil stige lidt mere end elektricitet i fremtiden, men der skal ske meget, før løsningen bliver attraktiv.

Udover energibesparelsen kan der også være andre fordele ved varmepumper i vaskeanlæg, som ofte kan have en værdi for virksomhederne. Der kan være et ønske om en grønnere profil, hvor løsninger kan skære store lunser af energiforbruget og dermed CO₂-”footprintet”. I systemer, hvor energien tages fra afblæsningsluften, vil der kondenseres store mængder vanddamp, som derfor ikke skal erstattes af nyt demineraliseret vand. Dette har flere fordele. Dels opnås der et bedre indeklima i produktionsområdet, dels minimeres behovet for ventilation, og energiforbruget hertil kan reduceres samtidig med, at man undgår problemer med udkondensering af damp i ventilationssystemet. 1 m³ demineraliseret vand koster typisk omkring 45 kr., og i tilfældet med et varmebehov på 25 kW vil en varmepumpe udkondensere omkring 400 m³/år. Indregnes dette i regnestykket på forrige side, fås nu en endnu kortere tilbagebetalingstid:

$$STBT = \frac{250.000 - 47.000}{108.000 + (45 * 400)} \approx 1,6 \text{ år}$$

Samtidig styrkes den grønne profil, da virksomheden nu både bruger mindre vand og mindre elektricitet.

Kobles varmepumpen på et mekanisk kølesystem reduceres energiforbruget også på kølesystemet. Hvis energien skal hentes i 7° C kølevand, så bliver varmepumpens effektfaktor lidt ringere, og den skal derfor bruge lidt mere energi. Dette spares til gengæld på køleanlægget. Det koster typisk 30 øre at producere én kWh køling ved 7° C grader, og når varmepumpen kobles på et kølesystem, så er hele energibesparelsen på vaskeanlægget, dvs. energi som tages fra kølesystemet. Den lidt ringere effektfaktor betyder, at varmepumpen nu giver en reduktion i vaskeanlæggets energiforbrug på 47 % fremfor 50 % i det forrige eksempel. Energibesparelsen bliver derfor ca. 125 MWh/år fremfor 135, som giver en værdi af første års energibesparelse på 44.000 kr. og en årlig besparelse på 100.000 kr.. Når værdien af kølingen indregnes til 30 øre/kWh, så bliver regnestykket dog endnu bedre:

$$STBT = \frac{250.000 - 44.000}{100.000 + (300 * 125)} \approx 1,5 \text{ år}$$

For hedtvandssystemer kan der også være nogle praktiske fordele, som bør overvejes, selv om driftsøkonomien ikke umiddelbart er fordelagtig. Fordi vaskevandet ikke er under 60° C, må hedtvandssystemet enten have en meget høj fremløbstemperatur eller et meget stort vandflow for at komme af med energien. Dette betyder ofte, at man enten får et stort varmetab fra systemet, eller at der kræves store pumper med højt energiforbrug til følge. Derfor er vaskeanlæg som sådan ikke særlig gode til hedtvandsløsninger, og rent praktisk passer varmepumper langt bedre til denne type opvarmning.

Der er altså mange ting, som bør overvejes i forbindelse med varmepumpeløsninger. For at der skal være god økonomi i løsningen, er de vigtigste parametre, at vaskeanlægget er el-opvarmet og at der er mange driftstimer. Hvis disse betingelser er opfyldt, vil der som hovedregel altid være kort tilbagebetalingstid på en løsning. Tilbagebetalingstiden kan reduceres yderligere, hvis en reduktion i vandforbrug eller dækning af kølebehov samtidig har en værdi.

4 Kortlægning af anvendelsesmuligheder

Varmepumpers effektivitet og anvendelsesmuligheder er i høj grad afhængige af driftsforhold og behov i de enkelte applikationer. Der findes i dag mange fornuftige varmepumpe-løsninger til fx opvarmning af parcelhuse, men når det kommer til specielle vaskeprocesser, bliver forholdene mere specielle. Her kræver det et stykke analysearbejde og et større køleteknisk indblik, at vurdere om en varmepumpe-løsning er attraktiv. Det kan fx være viden om temperaturniveauer eller viden omkring komponentvalg for varmeafgiver og varmeoptager. Generelt er vaskeprocesser dog interessante, fordi de genererer en stor mængde spildvarme.

Én af projektets målsætninger er at danne generiske resultater, som kan bruges af andre på et senere tidspunkt. For at få et generelt billede af muligheder og retningslinjer for konceptet, er der kigget på forskellige vaskeanlæg ved Grundfos i Bjerringbro, Grundfos i Hvam, Sintex i Hobro og Lego i Billund. Ved Grundfos i Bjerringbro er der skabt et overblik over antallet og typer af anlæg i en del af produktionen. Samtidig er der kigget på konkret energiforbrug og muligheder i nogle udvalgte anlæg. Ved de øvrige virksomheder er der kigget mere indgående på enkelte anlæg.

I begyndelsen af projektet var det tanken, at der også skulle kigges på muligheder ved vaskerier. Det viste sig dog hurtigt, at vaskeprocesserne her adskiller sig væsentligt fra anlæg i produktionsvirksomheder. Derfor blev det besluttet, at projektet udelukkende omhandler produktionsvirksomheder. I de vaskerier, som var tiltænkt at indgå i projektet, er vaskeanlæggene væsentligt større og meget mere komplicerede, hvor varmekilden typisk er damp. De kræver derfor en helt anden tilgang end de mindre anlæg, som findes i produktionsvirksomhederne.

4.1 Grundfos i Bjerringbro

Den største del af analysearbejdet er gennemført ved Grundfos i Bjerringbro. Her findes et stort antal vaskeanlæg, og samtidig er Grundfos meget interesseret i forskellige varmepumpe-løsninger til vaskeanlæggene.

For at få mere viden om de forskellige vaskeanlæg blev der først fundet specifikationer for 26 anlæg i et produktionsområde med særligt mange vaskeanlæg. Samtidig blev det faktiske energiforbrug på 7 af anlæggene målt. Ved Grundfos har man kWh-målere på flere af vaskeanlæggene, men de øjeblikkelige effektværdier logges ikke, og derfor vides det ikke, om et højt elforbrug skyldes, at vaskevandet kræver meget effekt, eller om det skyldes noget helt andet. Grundfos har derfor ikke særlig god mulighed for at vurdere, hvilke anlæg er bedst egnede til varmepumpe-løsninger, og målet med en gennemgang af de 26 anlæg (sammenholdt med konkrete målinger på 7) er at finde en nogle generelle retningslinjer, så de anlæg, der er bedst egnede til varmepumpe-løsninger, kan findes uden detaljerede målinger.

Med baggrund i resultaterne fra gennemgangen blev det besluttet at udarbejde løsningsforslag og priser på varmepumper til de 10 bedst egnede vaskeanlæg. Der blev også kigget på fordele og ulemper ved enkeltstående varmepumper i forhold til større centrale varmepumpeanlæg, som kan opvarme flere vaskere. Til sidst blev mulighederne for at forvarme rent vand til efterfyldning ligeledes gennemgået.

4.1.1 Energiforbrug i vaskeanlæg

Et produktionsområde med 26 vaskeanlæg blev gennemgået, og de vigtigste data for anlæggene blev noteret. Det drejer sig bl.a. om type, mærkepladeeffekt og strøm, setpunkter og aktuelle temperaturer for vand og luft, arealet af ind- og afgang, relativ fugtighed og temperatur af afblæsningsluft m.m. Det gennemsnitlige effektoptag over 1-1,5 time blev samtidig fundet på syv af anlæggene. De vigtigste resultater er samlet i tabel 4.1 herunder:

ID	Placering	Type	P (mrk.pl.)	P målt	Vandtemp.	Lufttemp.
1	P10	T-5000	53 kW	26,7 kW	65/65° C	95° C
2	O10	T-3500	34 kW	15,6 kW	65/65° C	106° C
3	O10	T-3500	34 kW		65/65° C	100° C
4	N10	T-5000	54 kW	33,9 kW	60/60° C	120° C
5	Q9	2 x T-5000	82 kW	68,7 kW	67/65/60° C	120° C
6	O9	T-3500	39 kW	24,5 kW	70/70° C	120° C
7	P8	T-5000	57 kW	41,7 kW	65/65° C	120° C
8	Q7	T-3500	39 kW		65/65° C	120° C
9	P7	T-3500	41 kW		65/65° C	28° C
10	N7	T-3500	47 kW	34,1 kW	61/70° C	95° C
11	N9	T-3500	47 kW		55/65° C	120° C
12	O13	Alkajet	33 kW		45/50° C	110° C
13	P13	KSN - Bånd	92 kW		70/70° C	120° C
14	P13	T-5000	53 kW		70/70° C	120° C
15	P13	T-3500	34 kW			
16	K8	T-3500	35 kW			
17	J8	H. Twin-O-Matic	-		65/70° C	90° C
18	H10	KSN - Bånd	39 kW		60° C	85° C
19	J13	KSN - Bånd	-		71° C	
20	J13	T-2000	20 kW		60/60° C	90° C
21	K13	T-2000	20 kW		60/60° C	80° C
22	K13	T-2000	20 kW		60/60° C	90° C
23	K13	T-2000	20 kW		60/60° C	85° C
24	L13	S. Electro Bånd	67 kW		60° C	
25	M13	Tromle gl. type	-		68/65° C	103° C
26	I11	2 x T-5000	82 kW		60/60° C	120° C

Tabel 4.1: Data for 27 vaskeanlæg ved Grundfos i Bjerringbro.

Som det ses af tabellen er de fleste vaskeanlæg af typen T-xxxx. De er KSN-anlæg, hvor T'et står for tromlevasker, og det efterfølgende nummer er diameteren af tromlen i mm. Ud over 20 tromlevaskere, er der 4 båndvaskere og 2 kabinevaskere (ID 12 og 17). Vaskerne med ID 15 og 16 var ikke i drift ved gennemgangen, og setpunktet for tørreluften kunne ikke aflæses på vaskerne med ID 19 og 24.

Det gennemsnitlige effektoptag blev målt på anlæggene med ID 1, 2, 5, 6, 7 og 10. Data for anlægget med ID 4, var allerede kendt fra det tidligere udførte videnskupon projekt. For anlæggene med ID 2 og 7 var et eller flere el-varmelegemer ude af drift, og maskinen kunne ikke hæve temperaturen til den ønskede niveau. Derfor er effektoptaget lavere, end det ville have været, hvis alle varmelegemer havde været i orden, og disse målinger er ikke retvisende. Der er en mere detaljeret beskrivelse af målingerne i bilag 1. De 5 resterende målinger er sammenholdt med mærkepladeeffekten for at se, om der er en typisk sammenhæng imellem installeret effekt og det faktiske forbrug. Dette ses i tabel 4.2 herunder:

ID Nr.	Installeret effekt	Effekt gennemsnit	Forhold gns./inst.
1	53 kW	26,7 kW	50 %
4	54 kW	33,9 kW	63 %
5	82 kW	68,7 kW	84 %
6	39 kW	24,5 kW	63 %
10	47 kW	34,1 kW	73 %
Gns.	55 kW	37,6 kW	68 %

Tabel 4.2: Forhold imellem installeret effekt og gennemsnitlig optaget effekt.

Som det fremgår af tabellen, er der stor forskel på forholdet mellem installeret effekt og det gennemsnitlige effektoptag. Anlægget med det laveste forbrug i forhold til det installerede ligger på 50 % af den maksimale kapacitet, hvorimod det anlæg, der ligger tættest på 100%, ligger på 84 %.

For at finde en årsag til forskellen, er tallene sammenlignet med temperaturer på vand og luft samt arealer af ind- og afgang. Det har dog ikke været muligt at finde nogen entydig sammenhæng, og konklusionen er derfor, at der ikke kan laves en særlig præcis sammenhæng imellem det aktuelle elforbrug og den installerede effekt, vandtemperatur eller andet, som nemt kan registreres.

Årsagerne til forskellene har været diskuteret i projektgruppen, og der er enighed om, at den mest afgørende faktor for energiforbruget er mængden af ventilationsluft, som afsuges i toppen af anlæggene. Ventilatoren kører med konstant omdrejningstal, og luftmængden indstilles manuelt via et spjæld, som begrænser luftmængden. Igennem projektet er det blevet klart, at korrekt indstilling af dette spjæld har stor betydning for det samlede energiforbrug. Og det forventes ikke, at spjældet er indstillet optimalt på hovedparten af anlæggene, hvorfor der kan være store forskelle i energiforbruget på ellers sammenlignelige vaskeanlæg.

Skal der gives et skøn over det samlede potentiale for de 26 anlæg, kan det med rimelig sikkerhed antages, at det gennemsnitlige effektoptag for bånd- og tromlevaskerne er sammenligneligt med gennemsnittet for de fem anlæg, hvor det faktiske forbrug er registreret.

Ses der bort fra de to kabinevaskere samt de to anlæg, hvor mærkepladen ikke kunne aflæses, er den samlede installerede effekt for de resterende 22 anlæg:

$$P_{\text{installeret}} = 1.009 \text{ kW}$$

Med baggrund i de 5 målinger kan det antages, at effekten under drift i gennemsnit udgør 68 % af den installerede effekt. Det er oplyst, at anlæggene i dette område i gennemsnit er i drift 4.725 timer pr. år. Det årlige energiforbrug bliver således:

$$E = 1.009 \text{ kW} * 68 \% * 4.725 \frac{\text{timer}}{\text{år}} = 3.242 \text{ MWh/år}$$

Hvis energiforbruget reduceres med 50 %, så er der potentiale for en besparelse på 1.621 MWh/år. Med en gennemsnitlig CO₂-udledning på 440 g/kWh bliver den årlige reduktion på:

$$\text{Årlig CO}_2\text{-reduktion} = 1.621 \text{ MWh/år} * 440 \text{ kg/MWh} \approx \underline{713 \text{ tons/år}}$$

Den økonomiske besparelse ved reduceret vand- og elforbrug kan ligeledes beregnes. Vandbesparelsen udgør typisk 1,3 m³/MWh el, og 1 m³ har en værdi af 45 kr. Med en elpris på 800 kr./MWh bliver besparelsen:

$$\text{Årlig besparelse} = 1.621 \text{ MWh/år} * (1,3 \text{ M}^3/\text{MWh} * 45 \text{ kr./M}^3 + 800 \text{ kr./MWh}) \approx \underline{1,4 \text{ mio. kr.}}$$

Reduktionen i vandforbrug er på 2.100 m³/år, og der er altså tale om store potentielle besparelser ved installationen af varmepumper på samtlige 22 anlæg.

4.1.2 Varmepumpeløsninger til 10 egnede vaskeanlæg

Med baggrund i opgørelsen af de 26 anlæg blev det besluttet at kigge nærmere på 10 konkrete løsninger til de mest egnede vaskeanlæg. Ud over anlæggene, som er beskrevet i foregående afsnit, blev der kigget på anlæg i en anden afdeling af Grundfos. I denne afdeling udgør driften flere timer pr. år, og derfor virker de endnu mere interessante. Der blev fundet 3 interessante anlæg i denne afdeling. Disse er af et andet fabrikat kaldet Tinofix. Det ene anlæg er gasopvarmet, men fordi Grundfos længe har haft et ønske om en anden løsning til denne, er den alligevel taget med. Den har også et ekstremt stort energiforbrug, og derfor er økonomien heller ikke så dårlig, som man kunne tro. Ud over de tre Tinofix anlæg, blev de 7 mest interessante anlæg (ud af de 26) udvalgt.

KSN har regnet på budgetpriser for varmepumper, og de er kommet frem til 275.000 kr. for en varmepumpe med en varmekapacitet på 35 kW, og 300.000 kr. for en model med op til 55 kW varme. Der er desuden regnet på en løsning til et dobbelt vaskeanlæg. Her kræves der en ekstra varmeveksler, og den samlede pris for 55 kW modellen bliver derfor 325.000 kr. Energibesparelsen og den simple tilbagebetalingstid er vist i tabel 4.3 på næste side.

Type	Effekt i kW	Red. i energiforbrug	Drift-tid	Årligt forbrug kWh	Besp. kWh	Årlig besp. i kr.	Investering	SBTB
Tinofix	33	50%	79%	228.373	114.187	91.349	275.000	3,0
Tinofix	50	55%	70%	306.600	168.630	134.904	275.000	2,0
Tinofix Gas	50	73%	96%	420.480	306.950	28.540	300.000	10,5
KSN T5000	32	50%	54%	151.373	75.686	60.549	275.000	4,5
KSN 2xT5000	69	55%	54%	326.398	179.519	143.615	325.000	2,3
KSN T3500	32	50%	54%	151.373	75.686	60.549	275.000	4,5
KSN T5000	42	55%	54%	198.677	109.272	87.418	275.000	3,1
KSN T3500	32	50%	54%	151.373	75.686	60.549	275.000	4,5
KSN T3500	34	50%	54%	160.834	80.417	64.333	275.000	4,3
KSN T3500	32	50%	54%	151.373	75.686	60.549	275.000	4,5
Total	406			2.246.852	1.261.720	792.356	2.825.000	3,6

Tabel 4.3: Energibesparelser og simpel tilbagebetalingstid for 10 konkrete anlæg.

De tre Tinofix-anlæg er på de øverste 3 rækker i tabellen, og dernæst kommer 7 KSN-tromlevaskere. Anlæggenes gennemsnitlige el-effekt er beregnet, og multipliceres denne med driftstiden fås det årlige energiforbrug. Som det ses, er driftstiden for Tinofix-anlægene væsentligt højere end for de øvrige. Der er regnet med en reduktion på 50 % for de fleste anlæg, og 55 % for de lidt større anlæg. Her udgør opvarmningen en større del af den samlede el-effekt, og derfor vil besparelsen ved at installere varmepumper være større. For det gasopvarmede Tinofix er besparelsen 73 %, da varmeeffekten her er ekstrem høj. Der er desuden regnet med en virkningsgrad på 80 % for gasbrænderen, og dette tab elimineres ved at skifte til en varmepumpe.

Som det ses af tabellen, kræves der en investering på i alt 2,83 mio. kr., som giver en årlig energibesparelse på 1.261.720 kWh, som resulterer i en reduktion i energiomkostningerne på 792.356 kr. Kigger man på de enkelte anlæg, er der simple tilbagebetalingstider på mellem 2 og 10,5 år, hvor det gasopvarmede vaskeanlæg giver den laveste årlige besparelse. Tillægges værdien af vandbesparelser og 1. års energibesparelser ser regnestykket mere positivt ud. Dette fremgår af tabel 4.4 herunder:

Type	1. års energibesp.	SBTB inkl. energibesp.	Sparet vandmængde m ³ /år	Værdi af sparet vand i kr./år	STBT inkl. vand og energibesp.	Årlig CO ₂ -besp. i ton
Tinofix	39.965	2,6	148	6.680	2,4	50,2
Tinofix	59.021	1,6	219	9.865	1,5	74,2
Tinofix Gas	107.433	6,7	399	17.957	4,1	57,8
KSN T5000	26.490	4,1	98	4.428	3,8	33,3
KSN 2xT5000	62.832	1,8	233	10.502	1,7	79,0
KSN T3500	26.490	4,1	98	4.428	3,8	33,3
KSN T5000	38.245	2,7	142	6.392	2,5	48,1
KSN T3500	26.490	4,1	98	4.428	3,8	33,3
KSN T3500	28.146	3,8	105	4.704	3,6	35,4
KSN T3500	26.490	4,1	98	4.428	3,8	33,3
Total	441.602	3,0	1.640	73.811	2,8	478

Tabel 4.4: STBT inkl. 1. års energibesparelse og reduceret vandforbrug.

Som det fremgår af tabel 4.4, bliver tilbagebetalingstiden nu kortere. Den falder særligt drastisk for det gasopvarmede anlæg, hvor den store besparelse i energiforbrug og vand nu gør løsningen mere attraktiv. Den simple tilbagebetalingstid for de mest attraktive anlæg er nu nede på 1,5 og 1,7 år, mens gennemsnittet for alle 10 anlæg falder fra 3,6 til 2,8 år, når værdien af energi- og vandbesparelser indgår.

I beregningen er anvendt følgende forudsætninger:

- Elpris = 800 kr./MWh
- Gaspris = 250 kr./m³
- Virkningsgrad gas = 0,8
- Værdi 1. års energibesparelse = 35 øre/kWh
- Værdibesparelse af vand = 45 kr./m³

4.1.3 Forskellige varmepumpekoncepter

Ved gennemgangen af de konkrete anlæg blev der samtidig diskuteret muligheder for at koble varmepumperne på kølevandet, hvor centrale løsninger med en større varmepumpe opvarmer flere vaskeanlæg. Samtidig blev der også kigget på muligheden for at forvarme rent vaskevand i tanke, så man kan minimere driftsstoppene ved vandskift.

I forbindelse med vurderingen af hvorvidt de forskellige vaskeanlæg er egnede til varmepumpeløsninger blev muligheden for anlæg på kølevand samt større centrale varmepumper til opvarmning af flere vaskeanlæg også diskuteret.

Optimal løsning til 3 anlæg ved Grundfos

Der blev kigget nærmere på 3 forskellige forslag til varmepumpeløsninger på 3 vaskeanlæg, som er placeret tæt på hinanden. Løsningsmulighederne var derfor:

- 1) 3 enkeltstående enheder, som genvinder varme fra ventilationsluften
- 2) 3 enkeltstående enheder, som genvinder varme fra kølesystemet
- 3) 1 central enhed, der genvinder varme fra kølesystemet.

Alle tre muligheder har fordele og ulemper, og det forventes, at alle tre løsninger kan være relevante i en lang række tilfælde.

Løsning 1 er den mest fleksible, da den kun kræver indgreb i selve vaskeanlægget. Løsning 2 er stadig fleksibel og yder samtidig et kølebehov, hvorimod løsning 3 er den mest komplicerede. Til gengæld er et stort anlæg væsentligt billigere end 3 mindre anlæg. For Grundfos kan alle tre løsningsforslag anvendes, men i første omgang foretrækker man den første model pga. fleksibiliteten. Enkeltstående anlæg koblet på kølesystemet er også en attraktiv løsning, imens løsningen med centrale anlæg er den mindst attraktive. Dette kræver flere indviklede rørføringer, hvilket gør at man i højere grad bliver låst på løsningen, når den først er implementeret.

Hovedtallene for den økonomiske betragtning ved de tre løsninger er opgjort i tabel 4.5 herunder:

Type	Effekt i kW	Red. i %	Besp. kWh	Årlig besp. i kr.	Investering	1. års energi-besp.	Samlet SBTB
3 enheder, der udnytter ventilationsluft							
KSN T5000	32	50%	75.686	71.630	270.000	26.490	3,4
KSN 2xT5000	69	54%	176.255	166.809	316.500	61.689	1,5
5000 XL	69	54%	176.255	166.809	293.000	61.689	1,4
Total	169		428.196	405.248	879.500	149.868	1,8
3 enheder, der udnytter kølevand							
KSN T5000	32	50%	75.686	83.255	237.000	33.113	2,4
KSN 2xT5000	69	54%	176.255	193.880	278.500	77.111	1,0
5000 XL	69	54%	176.255	193.880	255.000	77.111	0,9
Total	169		428.196	471.015	770.500	187.336	1,2
1 enhed, der udnytter kølevand							
2 * 80 kW	169	53%	428.196	471.015	571.500	187.336	0,8

Tabel 4.5: Sammenligning af forskellige løsninger til 3 vaskeanlæg.

Alle tre løsninger giver korte tilbagebetalingstider, men som det ses af tabellen, er et centralt anlæg den mest økonomiske løsning. Fordi varmepumpen er billigere end 3 selvstændige enheder, bliver investeringen væsentlig mindre. Den årlige besparelse ved anlæggene på kølevand er størst, da kølingen er indregnet til en værdi af 30 øre/kWh.

Forvarmning af vaskevand

En anden løsning, som også kunne være interessant, er at forvarme rent vaskevand, så der kan efterfyldes med varmt vand frem for koldt ved den løbende udskiftning. Samtidig vil der være en hvis mængde til rådighed ved vandskift og rengøring, så dette kan gøres hurtigere. I dag er vandskift og rengøring en parameter, der kigges meget på, fordi dette giver anledning til længerevarende driftsstop, som er en stor omkostning i produktionen. Efter rengøring fyldes de to kar med koldt vand, og derefter tager det ca. 2 timer at hæve vandtemperaturen til 60° C, så produktionen kan starte igen. Det er ikke muligt at kombinere denne spildtid med øvrig servicering af anlæggene, og der er derfor store ønsker om at få den reduceret.

Man kunne forvarme vaskevandet enten ved mindre akkumuleringsstanke på de enkelte varmepumpeanlæg eller et større varmepumpeanlæg, der forsyner hele vandsystemet med varmt vand frem for koldt vand.

Når en varmepumpe anvendes til at vedligeholde temperaturen i et vandkar, afleveres al energien ved en temperatur lidt højere end vandets. Ved at udnytte energien i kølemidlets væskefase kan en varmepumpe yde lidt ekstra uden at bruge yderligere energi. Det kræver dog, at energien anvendes til at opvarme et medie fra en lav temperatur op til en temperatur tæt på den, hvor den øvrige varme leveres. I de konkrete tilfælde betyder det, at enkeltstående varmepumper helt gratis kan forvarme det kolde vand, som bruges til efterfyldning.

For de løsninger, der er undersøgt, kan ydelsen hæves med ca. 40 %, hvis en del af energien kan anvendes til opvarmning af vand fra 10 – 60° C. For en varmepumpe som yder 25 kW er det altså muligt at hæve ydelsen til 35 kW, uden at elforbruget stiger, hvis de 10 kW kan bruges til opvarmning af koldt vand. Dette svarer til opvarmning af 170 liter koldt vand pr. time.

Tromlevaskerne indeholder typisk 1.200 – 1.600 liter vand, og forvarmning af så store mængder vil kræve store tanke, som ikke er ønskede omkring vaskeanlægget. Mindre 300 liter beholdere kan dog godt accepteres, og selvom de ikke kan fylde hele anlægget med varmt vand ved skift, kan de levere varmt vand til rengøring og løbende efterfyldning, som også har en stor værdi. Ud over investering i en akkumuleringstank kræver løsningen, at varmepumpen forsynes med en ekstra varmeveksler.

Skal spildtiden i forbindelse med vandskift elimineres mest muligt, er der kigget på en løsning, hvor vandet i det centrale system til 17 vaskeanlæg opvarmes af en varmepumpe, som forvarmer vandet til en akkumuleringstank.

Vaskeanlæggene har et årligt vandforbrug på ca. 2.500 m³, og det kræver en effekt på ca. 17 kW at opvarme denne mængde på 8.000 timer. Der vælges en akkumuleringstank på 5 m³ da der ikke skiftes vand på flere vaskeanlæg på samme tid. Der vælges en varmepumpe med en varmeeffekt på 35 kW, så det sikres, at der er en vis overkapacitet. Med 35 kW kan varmepumpen opvarme de 5 m³ i akkumuleringstanken på omkring 8 timer, hvilket er acceptabelt.

Til denne løsning kan der anvendes en varmepumpe med CO₂ som kølemiddel, da dette er særligt egnet, når et medie skal opvarmes fra en lav temperatur til en højere. Varmepumpen kobles på kølesystemet til et antal drejebænke i nærheden. En sådan varmepumpe vil have en COP på 4,5-5 og vil således reducere energiforbruget med 75-80 % i forhold til el-opvarmning.

Ud over indkøb af varmepumpe og akkumuleringstank, skal der trækkes omkring 700 meter nye vandrør, og den samlede investering forventes at løbe op i 500.000 – 600.000 kr. Umiddelbart vurderer Grundfos dog, at dette vil have stor værdi for produktionen, og derfor virker løsningen meget attraktiv.

Prisliste

For at tage højde for de mange forskellige løsningsforslag, har KSN konstrueret en prisliste, hvor man selv kan sammensætte en løsning på varmepumper for enten 35, 55 eller 80 kW varmeeffekt. Prislisterne ses i tabel 4.6, 4.7 og 4.8 herunder:

Antal	Beskrivelse	Beløb
1	Energy Unit X35, 35kW afgiven effekt, 2 Veksler til opvarmning	224.000
1	Ekstra veksler til opvarmning	23.500
1	Energifanger til filtermist	24.000
1	Montage uden energifanger	13.000
1	Montage med energifanger	22.000
1	Varmtvandsbeholder 300L til forvarmning af brugsvand.	29.000
1	Filter til beskyttelse af veksler ved meget tilsmudset vand (Ved både vask og skyld skal der bruges 2 filtre)	6.500

Tabel 4.6: Prisliste 35 kW varmepumpe.

Antal	Beskrivelse	Beløb
1	Energy Unit X55, 55kW afgiven effekt, 2 Veksler til opvarmning	242.000
1	Ekstra veksler til opvarmning	23.500
1	Energifanger til filtermist	29.000
1	Montage uden energifanger	13.000
1	Montage med energifanger	22.000
1	Varmtvandsbeholder 300L til forvarmning af brugsvand.	29.000
1	Filter til beskyttelse af veksler ved meget tilsmudset vand (Ved både vask og skyld skal der bruges 2 filtre)	6.500

Tabel 4.7: Prisliste 55 kW varmepumpe.

Antal	Beskrivelse	Beløb
1	Energy Unit X80, 80kW afgiven effekt, 2 Veksler til opvarmning	261.000
1	Ekstra veksler til opvarmning	23.500
1	Energifanger til filtermist	32.000
1	Montage uden energifanger	13.000
1	Montage med energifanger	22.000
1	Varmtvandsbeholder 300L til forvarmning af brugsvand.	29.000
1	Filter til beskyttelse af veksler ved meget tilsmudset vand (Ved både vask og skyld skal der bruges 2 filtre)	6.500

Tabel 4.8: Prisliste 80 kW varmepumpe.

Prislisten indeholder selve varmepumpen, mulighed for ekstra veksler, hvis der er 3 vandkar eller et ønske om forvarmning af vand til akkumuleringstank, energifanger, hvis der bruges ventilationsluft, montage til hhv. ventilationsluft og kølevand, mulighed for 300 liter akkumuleringstank samt evt. filtre til vaskeanlæg med meget beskidt vand.

4.2 Grundfos i Hvam

Ved Grundfos i Hvam er der en antal tromlevaskere af samme type som i Bjerringbro, og samtidig er der et stort centralvaskanlæg af kabinetypen. Dette anlæg har længe været mistænkt for at have et meget stort energiforbrug, og derfor er der kigget på mulighederne for at implementere en varmepumpe.

4.2.1 Centralvasker

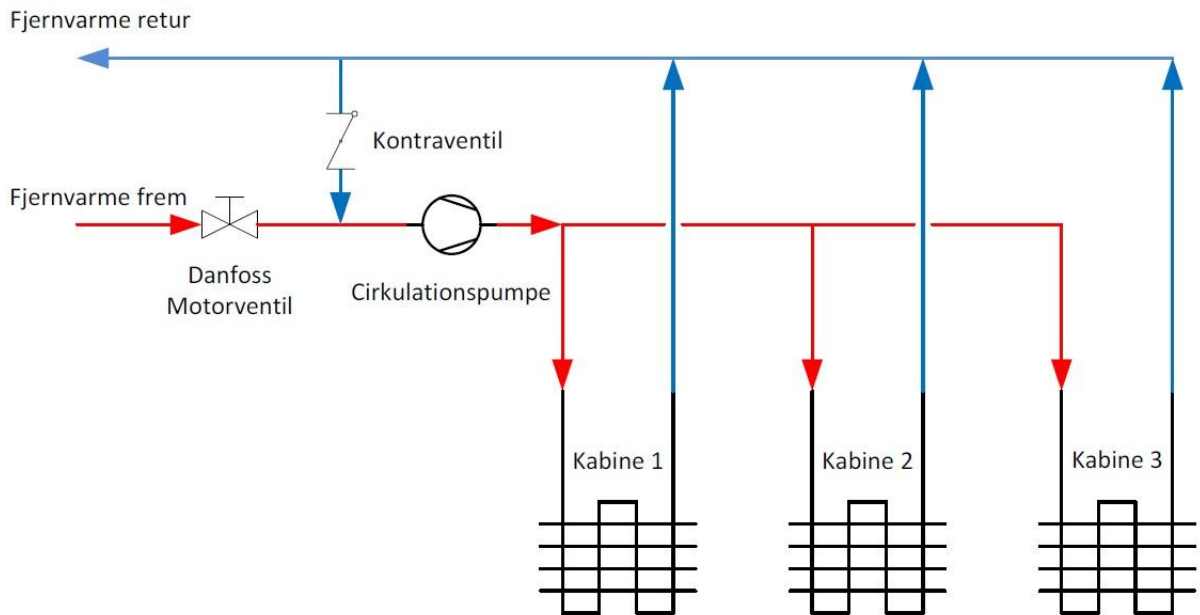
Centralvaskeren består af 4 kabiner, hvoraf der vaskes i 3 og tørres i den sidste. Emnerne ligger i kurve, som automatisk ledes igennem de 4 kabiner. Under vask og tørring er kabinerne lukkede, og de åbnes kun, når kurvene skal videre til næste kabine. Tidligere har der været el-varmelegemer til opvarmningen, men på et tidspunkt er man gået over til fjernvarme. Vaskevandets temperatur på 50-60° C gør det svært at opnå ordentlig afkøling på fjernvarmevandet. Grundfos har problemer med at imødekomme fjernvarmeværkets krav til afkøling, og man mener, det bl.a. skyldes vaskeanlægget.



Figur 4.1 - Centralvaskeren i Hvam.

For at vurdere om en varmepumpeløsning vil være egnet til anlægget, er vaskerens varmebehov blevet bestemt.

Fjernvarmevandet ledes til en blandesløjfe, som forsyner de tre vaskekabiner. Princippet er illustreret i figur 4.2 herunder:



Figur 4.2: Varmesystem i vaskeanlægget.

Varmeeffekten reguleres via en Danfoss-motorventil (se figur 4.3) på fjernvarmestrengen. Ved stort varmebehov åbner motorventilen helt, så der tilføres så meget varme som muligt. Ved mindre varmebehov begrænser motorventilen mængden af fjernvarmevand, og en del af vandet recirkuleres igennem kontraventilen, så vandet opnår en passende temperatur.



Figur 4.3: Danfoss-motorventil.

Varmebehovet er registreret ved at måle mængden af fjernvarmevand og dets afkøling over en periode på 1 time og 14 minutter. I perioden var der fuld produktion på maskinen.

Væskeflowet blev registreret ved ultralydsmåling på røret med fjernvarmevandets retur. Forskellen i fjernvarmevandets frem- og retur-temperatur blev registreret med alm. Temperaturfølere. Under målingerne regulerede motorventilen varmeeffekten ved at åbne helt i en periode for derefter at lukke helt. Der var ikke tidspunkter, hvor ventilen var delvist åben. Resultaterne kan ses i tabel 4.9 herunder:

Tidspunkt	Ventil	Flow [m ³ /t]	T-frem [° C]	T-retur [° C]	Mængde [Liter]	Energi [kWh]
11:40	Lukket	0	-	-	0	0
11:41	Åben	1,35 - 1,4	63,0	53,5	143	1,6
11:47	Lukket	0	-	-	0	0
11:49	Åben	1,35 - 1,4	62,5	53,8	136	1,4
11:55	Lukket	0	-	-	0	0
11:57	Åben	1,35 - 1,4	62,2	53,7	118	1,2
12:02	Lukket	0	-	-	0	0
12:04	Åben	1,35 - 1,4	62,3	53,6	124	1,3
12:10	Lukket	0	-	-	0	0
12:12	Åben	1,35 - 1,4	62,5	54,1	125	1,2
12:17	Lukket	0	-	-	0	0
12:19	Åben	1,35 - 1,4	62,6	54,0	123	1,2
12:25	Lukket	0	-	-	0	0
12:27	Åben	1,35 - 1,4	62,5	54,0	244	2,4
12:38	Lukket	0	-	-	0	0
12:39	Åben	1,35 - 1,4	62,6	53,9	166	1,7
12:47	Lukket	0	-	-	0	0
12:49	Åben	1,35 - 1,4	62,6	54,2	118	1,2
12:54	Lukket	0	-	-	0	0
Total					1.297	12,9

Tabel 4.9: Energiforbrug i vaskeanlæg.

I perioden åbner motorventilen 5-10 minutter ad gangen og lukker herefter i 1-2 minutter. Når ventilen er åben, er gennemstrømningen af fjernvarmevand 1,35-1,40 m³/time. Temperaturene ”T-frem” og ”T-retur” er gennemsnittet for frem- og returløb i perioden, hvor ventilen har været åben. Hver gang ventilen åbner, er vandet ca. 1 grad lavere end gennemsnittet og stiger ca. 2 grader for både frem og retur, inden ventilen lukker.

I løbet af perioden på 1 time og 14 minutter er energiforbruget målt til 12,9 kWh, som giver en gennemsnitlig varmeeffekt på 10,5 kW. Når ventilen er helt åben, er varmeeffekten maksimalt registreret til 15,5 kW.

4.2.2 Varmepumpe på centralvasker

Som det ses af målingerne, er varmeeffekten til opvarmning af vaskevandet kun 10,5 kW. Fordi der anvendes fjernvarme til opvarmning, vil besparelsen ved en varmepumpeløsning være begrænset og ikke retfærdiggøre investeringen.

Det lave energiforbrug skyldes de lukkede kabiner, der minimerer varmetabet til omgivelserne. Samtidig er vaskevandet ikke påvirket af tørreluften, fordi tørreprocessen er fysisk adskilt fra vaskekabinerne. Pumper og inddampningsanlæg tilfører også en vis mængde energi, som bidrager til opvarmningen, men det er sikkert, at varmebehovet er væsentlig mindre end ved tromlevaskerne pga. den lukkede konstruktion. Til sammenligning ligger de mindre tromlevaskere ofte med et varmeforbrug på 20 – 30 kW til opvarmning af vaskevand alene.

I forbindelse med målingerne var der tale om, at anlægget tidligere var udstyret med el-patroner til opvarmning, men at disse på et tidspunkt blev udskiftet til fjernvarmeløsningen pga. et højt energiforbrug. Det blev dog senere klart, at der var store driftsproblemer med el-patronerne, og at udskiftning til fjernvarme skyldes disse problemer og ikke energiforbruget. Omkring Grundfos' generelle problem med utilstrækkelig afkøling af fjernvarmevandet, kan skylden ikke tillægges vaskeren alene. Afkølingen ved vaskeren er meget begrænset med en returtemperatur helt oppe på 53-54° C, men da energiforbruget ikke er større, kan dette ikke påvirke den samlede afkøling af fjernvarmevand på matriklen nævneværdigt.

4.2.3 Inddampningsanlæg til vaskeanlæg

I forbindelse med måling på vaskeanlægget blev det besluttet at registrere energiforbruget for inddampningsanlægget, som er tilknyttet vaskeren. Her kunne en varmepumpeløsning evt. give mening afhængigt af inddamperens virkemåde. Visse typer inddampningsanlæg har et ekstremt stort energiforbrug, fordi kondenseringsvarmen ikke genbruges.

Ved en gennemgang af den tekniske beskrivelse for anlægget, blev det dog hurtigt klart, at inddamperen var konstrueret med udnyttelse af kondenseringsvarme. Derfor giver anlægstypen i sig selv ikke forventninger om et særligt stort energiforbrug. Fordi anlægget er af ældre dato, blev det alligevel besluttet at måle energiforbruget. Der er sket meget på området siden installationen, og nyere varmepumpeteknologi er væsentligt mere effektivt end de tidlige anlægstyper.

Ud over en varmepumpe, er inddamperen udstyret med en el-patron til forvarmning af vand efter driftsstop på maskinen. Så snart anlægget (og vandet) er driftsvarm, kan processen fungere uden el-patronen. Dette skyldes, at kondenseringsvarmen genanvendes og leverer tilstrækkelig energi til fordampningsprocessen. Energien overføres i en varmeveksler, og hvis denne fungerer optimalt, er el-patronen unødvendig, når først processen er i gang. Hvis veksleren er beskidt eller underdimensioneret, vil ydelsen falde og el-patronen vil spæde ekstra energi til. El-patronens driftsmønster giver derfor en god indikation om anlæggets effektivitet.

Energiforbruget blev målt over en periode på ca. 3 timer, hvor der den første halvanden time blev målt på el-patronen alene og herefter på det samlede forbrug for hele anlægget. Energi-forbruget blev sammenholdt med den producerede vandmængde, som blev registreret ved ultralydsmåling.

I løbet af den første halvanden time blev el-patronens energiforbrug målt til 9,8 kWh, imens den producerede vandmængde var 201 liter. Dette svarer til omkring 50 Wh/l. Den teoretiske energimængde til fordampning af én liter vand er ca. 630 Wh, og el-patronen tilfører altså mindre end 10 % af den krævede energi.

I perioden, hvor anlæggets samlede forbrug blev målt, blev forbruget registreret til 28,35 kWh med en vandproduktion på 206 liter. På baggrund af den tidligere måling må det forventes, at el-patronen udgør omkring 1/3 af energiforbruget. Det samlede energiforbrug på 28,35 kWh svarer til ca. 140 Wh/l.

Fordi el-patronen tilfører mindre end 10 % af fordampningsvarmen, vurderes det, at anlægget ikke kan energioptimeres i særlig høj grad. De nyeste inddampningsanlæg kan destillere vand med et energiforbrug på ca. 50 Wh/l afhængigt af mængden af snavs. Et nyt anlæg vil sandsynligvis kunne halvere energiforbruget, men da forbruget i forvejen er relativt lavt, vil investeringen muligvis ikke være rentabel. Med en elpris på 80 øre/kWh er produktionsprisen på det nuværende anlæg ca. 11 øre/l, og kan formentlig halveres ved investering i nyt udstyr. Prisen for nyt udstyr er ikke undersøgt, og det vides derfor ikke, om udskiftning af anlægget vil hænge sammen økonomisk.

4.3 Lego i Billund

Ved Lego i Billund findes i øjeblikket et enkelt vaskeanlæg til rensning af plastikkasser, som anvendes til transport af klodser internt, inden de bliver pakket i de velkendte papkasser. Det installerede anlæg anvendes til transportkassernes låg, og det er planlagt, at et yderligere anlæg skal installeres i løbet af 2012 til vask af selve kasserne.

Både det installerede og det projekterede anlæg er gennemløbsvaskere med mange driftstimer, og det forventes derfor, at energiforbruget er betydeligt. Da anlægget opvarmes via et centralvarmesystem på naturgas, forventes det ikke umiddelbart, at økonomien ved en varmepumpeløsning vil være lige så attraktiv, som hvis det var el-opvarmet. Centralvarme er væsentligt billigere, og derfor bliver besparelsen i driftsomkostninger kun reduceret marginalt ved en varmepumpeløsning. Det er dog alligevel besluttet at kigge nærmere på anlægget, da der kan være andre forhold end de rene energiomkostninger, som kan gøre en varmepumpeløsning interessant. Samtidig kan resultaterne anvendes generisk for nye eller andre anlæg på Legos fabrikker i verden.

4.3.1 Vaskeanlæg til plastiklåg

Det konkrete anlæg i Billund er en gennemløbsvasker, hvor emnerne vaskes med demineraliseret vand, som opvarmes via et centralvarmesystem.

Som ved andre gennemløbsvaskere holdes der undertryk i anlægget via et sug, som forhindrer damp i at forlade anlægget igennem åbninger ud til rummet. For at reducere standtiden ved vandskift er anlægget udstyret med en ekstern vandtank til forvarmning af vaskevand.



Figur 4.4: Vaskeanlæg ved Lego.

Energiforbrug

Anlæggets energiforbrug kan inddeles i 3 områder. Varme til vedligehold af vandtemperatur i vaskeren, varme til forvarmning af rent spædevand i buffertank samt elektricitet til maskinens mekaniske komponenter.

Anlægget er udstyret med to varmevekslere til opvarmning af vaske- og skyllevand via centralvarmesystemet. Vekslerne er dimensioneret til en varmeeffekt på hhv. 60 og 42 kW, ved et flow på centralvarmevandet på 1,8 m³/time og en afkøling på 20 – 30° C. Lego registrerer hele tiden energiforbruget til opvarmning på enheden, og der er kigget nærmere på det månedlige forbrug i perioden fra den 1. marts til den 24. oktober 2011, samt forbruget pr. døgn i hele september og frem til den 24. oktober 2011.

På baggrund af de månedlige energiforbrug kan den gennemsnitlige effekt for hver måned beregnes. Det forudsættes her, at vaskeanlægget har været i drift 23 timer pr. døgn alle månedens dage. Resultaterne ses af tabel 4.10 herunder:

Måned	Energiforbrug	Dage i måneden	Gns. effekt
Marts	16,2 MWh	31	22,7 kW
April	10,8 MWh	30	15,6 kW
Maj	14,2 MWh	31	19,9 kW
Juni	11,6 MWh	30	16,9 kW
Juli	12,2 MWh	31	17,1 kW
August	11,6 MWh	31	16,3 kW
September	17,0 MWh	30	24,7 kW
Oktober (indtil d. 24.)	21,6 MWh	24	39,2 kW
Total	115 MWh	238	21,1 kW

Tabel 4.10: Varmebehov for vaskeanlæg.

Som det ses er det gennemsnitlige effektbehov i perioden 21,1 kW. Der er dog store variationer imellem de forskellige måneder, hvor energiforbruget i oktober er væsentlig større end for de øvrige måneder.

Kigges der på energiforbruget over de enkelte døgn i september og oktober, er der også meget store variationer. Mindste energiforbrug er 150 kWh den 4. september, og det største forbrug var 1.490 kWh den 13. oktober. Fordelt over 23 timer svarer det til en varmeeffekt på hhv. 6,5 og 65 kW.

Opvarmning af spædevand i buffertanken foregår også med centralvarmeanlægget. Det løbende vandforbrug udgør ca. 2 m³ pr. døgn, og derudover skiftes hele vandmængden i vaskeanlægget hver 3. eller 4. uge.

Energiforbruget beregnes ud fra vandmængden på 2 m³ pr. døgn. Vaskevandet opvarmes til 55° C, og det forudsættes, at vandtemperaturen inden opvarmning er 10° C. Dette giver et energiforbrug på 105 kWh/døgn. Fordelt over 23 timer/døgn svarer det til en effekt på 4,5 kW. De to vandtanke indeholder hhv. 800 og 1.000 liter vand, og et komplet vandskift kræver en yderligere energimængde på omkring 95 kWh. Denne energimængde er relativ lille i forhold til det samlede forbrug og regnes derfor ikke med i det videre.

Det var ikke muligt at måle elforbruget ved besigtigelsen, men de forskellige komponenters nominelle effektforbrug er fundet i anlægsdokumentationen. Værdierne fremgår i tabel 4.11 herunder:

Komponent	Effekt kW
Gearmotor	0,25
Spulepumpe	1,5
Spulepumpe	0,75
Ringkammerblæser tørring	7,5
Pumpeskyl	0,75
Ventilatorudsugning	0,75
Pumpeskimmer	0,06
Gearmotor for paller	0,5
Gearmotor for tværoverføring	0,25
Gearmotor for paller fra palletering	0,5
I alt	12,81

Tabel 4.11: Elforbrug for vaskeanlæg.

Tidligere målinger udført på vaskeanlæg ved Grundfos har vist, at el-effekten typisk ligger på 70 % af den nominelle effekt under almindelig drift. På denne baggrund vurderes det, at elforbruget under alm. drift udgør 9 kW.

4.3.2 Samlet energiforbrug

Den gennemsnitlige effekt til opvarmning i perioden marts – september 2011 er opgjort til 21 kW. Dog med store udsving, hvor der på to forskellige døgn er målt gennemsnit på hhv. 6,5 og 65 kW. Regnes der med gennemsnittet for varmforsyningen på 21 kW og et el-optag på 9 kW, bliver den samlede effekt altså omkring 30 kW.

Erfaringerne fra Grundfos viser, at 95 % af energien, som tilføres vaskeanlæggene, havner i ventilationsluften. Ved det pågældende anlæg er der tidligere udført målinger på ventilationssystemet i februar 2011, og her kan energimængden estimeres. Luftmængden i ventilationskanalen blev målt til 1.530 m³/time med en temperatur på 36° C, og det estimeres, at luften er mættet med vanddamp.

Det antages, at luften suges ind i maskinen ved 20° C og 50 % RH. Med et luftflow på 1.530 m³/time skal der tilføres 46,7 kW for at bringe luften til tilstanden i ventilationskanalen ved 36° C og 100 % RH.

Ved luftmålingen var der altså væsentlig mere energi, end der i gennemsnit bliver tilført. Det skønnes, at grunden er, at der har været et større varmeforbrug end normalt, da luftmålingen blev foretaget. Det lyder heller ikke usandsynligt med de store udsving i varmeeffekten. Det er svært at konkludere entydigt på dette. Men det skønnes, at mere end 95 % af energiforbruget forlader anlægget igennem ventilationen, hvilket også er tilfældet for de øvrige anlæg. Derfor vil ventilationsluften være egnet som varmekilde, på samme måde som ved de øvrige gennemløbsvaskere.

Årsagen til de store udsving i varmebehov har været diskuteret, og da der ikke har været væsentlige ændringer i maskinens konstruktion eller driftstid, virker det underligt, at det gennemsnitlige varmebehov i et døgn kan være 6,5 kW og 65 kW på et andet tidspunkt. Igennem undersøgelserne ved Grundfos i Bjerringbro, har det vist sig, at det, der har størst indflydelse på varmebehovet, er mængden af ventilationsluft, som trækkes igennem maskinen. Luftmængden på ca. 1.500 m³/time, som blev registreret i februar 2011, er 3 gange større end den, som ellers er observeret på vaskere med samme varmebehov, og derfor er der mulighed for at trække rigtig meget energi ud af maskinen, som alt andet lige vil give et større varmebehov.

Det bedste bud på årsagen til det fluktuerende varmebehov er, at forholdene i ventilations-systemet varierer, således at den afsugede luftmængde og dermed varmetabet varierer. Hvis dette er årsagen, skal der dog være tale om ret store variationer, men der er ikke andre åbenlyse forklaringer, og det bør derfor undersøges, om det faktisk er tilfældet. Målingerne tyder dog på, at der er tale om udsving, som strækker sig over længere perioder, da der er store forskelle på energiforbruget over hele døgn.

Hvis ventilatoren kører med fast omdrejningstal, kan mindre variationer ofte forekomme pga. ændrede trykforhold over ventilatoren. Dette kan enten være, hvis forholdene i vaskeanlægget eller i selve afblæsningssystemet ændres. Hvis afblæsningen samles i en større central ventilationsskakt, hvor andre ventilationsenheder kan påvirke det samlede tryk i systemet, kan det give ændringer i luftmængden. Afhængigt af afblæsningens konstruktion udendørs, kan kraftig vind også have en hvis indflydelse og danne både over- og undertryk omkring afblæsningen, som enten sænker eller øger luftstrømmen. I det konkrete tilfælde må der dog være tale om store forskelle, og det vurderes ikke, at ændrede trykforhold hverken før eller efter ventilatoren kan skabe så store forskelle.

Det er ikke undersøgt, hvorvidt ventilatoren er omdrejningsreguleret og styrer luftmængden ud fra en fast trykforskel imellem indersiden af maskinen og omgivelserne. Hvis dette er tilfældet, vil det være nærliggende at tro, at denne styring ikke fungerer optimalt. Det kan tænkes, at trykfølerne er uheldigt placerede, eller at reguleringskurven er meget stejl, så ventilatoren hurtigt går i maksimal omdrejningstal ved mindre afvigelser fra setpunktet.

4.3.3 Varmepumpe til opvarmning af vandkarrene

Som nævnt i indledningen vil det formentlig ikke være rentabelt med en varmepumpeløsning til det pågældende vaskeanlæg, fordi der bruges gas til opvarmning. Der er alligevel lavet en beregning på en løsning, da der kan være andre årsager til at anvende varmepumper frem for gas. I gennemsnit afkøles centralvarmevandet kun 4,1° C igennem vaskeanlægget, og det viser med tydelighed, at løsningen ikke er optimal til vaskeanlæggene. Der skal cirkuleres meget store mængder vand for at levere den nødvendige kapacitet, og dette kan bevirke, at centralvarmesystemet ikke fungerer effektivt og være grund til at vælge en varmepumpeløsning i stedet.

Inden der tages stilling til en evt. varmepumpeløsning, bør årsagen til det fluktuerende varmebehov dog undersøges. Der tabes formentlig langt mere varme end nødvendigt i lange perioder, og der er derfor en forventning om, at det samlede varmeforbrug kan reduceres ved korrekt indregulering.

Antages det, at varmebehovet kan dækkes med en varmepumpe på 25 kW (gennemsnittet er 21 kW), skønnes investeringen at udgøre kr. 300.000. En standardløsning, som dem der regnes på ved Grundfos, vil være lidt billigere. Men fordi Lego har en politik om ikke at anvende syntetiske kølemidler, skal der her anvendes et anlæg med kulbrinter som kølemiddel. Som kølemiddel er kulbrinter mindst lige så effektive som syntetiske kølemidler, men pga. brandfaren er varmepumpe og installationen lidt dyrere. Varmepumpens kabinet skal være tættere og forsynet med en gasdetektor og en afblæsningskanal, som føres udenfor. I tilfælde af lækage, starter gasdetektoren en blæser, som suger luft og gas ud af varmepumpen, og dermed elimineres faren for antændelse.

Med en driftstid på 23 timer/døgn, 360 dage om året, bliver det årlige varmebehov:

$$\text{Varmebehov} = 21\text{kW} * \frac{23\text{t}}{\text{døgn}} * 360\text{døgn} = 173.880\text{kWh}$$

Med en gaspris på kr. 2,5/m³, en brændværdi på 11 kWh/m³ og en virkningsgrad på 0,8 koster opvarmningen årligt:

$$\text{Udgift til gas} = 173.880\text{ kWh} * \frac{2,5 \frac{\text{kr}}{\text{m}^3}}{11 \frac{\text{kWh}}{\text{m}^3} * 0,8} = 49.398\text{ kr.}$$

Anvendes i stedet en varmepumpe med en COP på 3,7, som anvender elektricitet til kr. 0,8/kWh, bliver omkostningen:

$$\text{Udgift til el} = \frac{173.880\text{ kWh}}{3,7} * 0,8\text{kr/kWh} = 37.596\text{ kr.}$$

Med et reduceret vandforbrug på 1,3 liter/kWh (á 45 kr./m³) bliver den samlede årlige besparelse:

$$\text{Årlig besp.} = 49.398\text{ kr.} - 37.596\text{ kr.} + 173.880\text{kWh} * \frac{1,3\text{L}}{\text{kWh}} * \frac{45\text{kr}}{\text{m}^3} = 21.974\text{ kr.}$$

Værdien af 1. års energibesparelse (35 øre/kWh) bliver:

$$1.\text{ års energibesparelse} = 173.880\text{kWh} * 0,35 \frac{\text{kr}}{\text{kWh}} = 60.858\text{ kr.}$$

Nettoinvesteringen bliver således **kr. 239.142 kr.**, og med en årlig besparelse på kr. 21.974,- bliver den simple tilbagebetalingstid knap **11 år**.

Såfremt forholdene ændre sig vil det dog være muligt med en kortere tilbagebetalingstid.

4.3.4 Vaskeanlæg til plastikkasser i Ungarn

På Lego's fabrik i Ungarn findes et lignende anlæg som vasker plastikkasser. Dette anlæg er el-opvarmet og fordi plastikkasserne er større end lågende, er energiforbruget samtidigt større. Det gennemsnitlige effektforbrug er målt til 96 kW, og andelen som bruges til opvarmning udgør 60 % svarende til 57,6 kW. I dette tilfælde er en varmepumpeløsning langt mere interessant. Under danske forhold og med 8.000 driftstimer årligt er udgifterne til energi:

$$\text{Udgift til el} = 96\text{kW} * 8000 \text{ timer} * 0,8 \frac{\text{kr}}{\text{kWh}} = 614.000 \text{ kr.}$$

En varmepumpeløsning med en COP på 3,7 vil kunne reducere effekten til opvarmning fra 57,6 kW til 15,5 kW. Reduktionen af det samlede energiforbrug bliver derved 44 %. Det vurderes, at KSN's varmepumpe på 55 kW er for lille til dette anlæg, da det ofte er fordelagtigt at have lidt overkapacitet. Derfor vælges modellen på 80 kW, som udgør en investering på kr. 275.000, såfremt den monteres på kølevand. Nøgletallene for denne løsning ses i tabel 4.12 herunder:

Type	Årligt forbrug kWh	Red. i energiforbrug	Årlig besp. kWh	Besp. i kr.	Værdi 1. års besp.	Investering	SBTB	Red. i CO ₂ udledn.
80 kW	768.000	44%	337.920	270.336	118.272	275.000	0,6	149 ton

Tabel 4.12: Økonomi ved varmepumpeløsning for stort vaskeanlæg.

Værdierne i tabellen er beregnet med følgende forudsætninger:

- Elpris = 800 kr./MWh
- Værdi 1. års energibesparelse = 35 øre/kWh
- Værdibesparelse af vand = 45 kr./m³
- CO₂-udledning pr. kWh el = 440 g/kWh

Som det ses af eksemplet, er økonomien særdeles god i denne type løsninger. Dette skyldes primært, at investeringen er forholdsvis lille for de større anlæg, hvorimod besparelsen er meget stor i forhold til mindre anlæg. De mindre varmepumper koster kun marginalt mindre end de større, og når energibesparelsen kun er 1/5 bliver tilbagebetalingstiden naturligvis hurtigt lang. Dette fremgår også tydeligt af det næste eksempel ved Sintex i Hobro.

4.4 Sintex i Hobro

Sintex er en mellemstor virksomhed, der producerer og bearbejder forskellige metal-komponenter, bl.a. sintermetal, magneter og overfladebelægninger.

Ved Sintex er der installeret 4 mindre gennemløbsvaskere, og mulighederne for anvendelse af varmepumper gennemgås i det følgende.

4.4.1 Energiforbrug på vaskeanlæg

For at undersøge mulighederne skulle vaskeanlæggenes strømforbrug først registreres. Der var desværre ikke mulighed for at anvende energiloggere, og derfor blev målingerne gennemført manuelt med et multimeter og et stopur.

Ved gennemgangen blev det klart, at det ene anlæg var meget lidt i drift, og derfor blev der udelukkende kigget på de tre øvrige anlæg. Den årlige driftstid anslås at være 3.000 timer. De installerede komponenter blev fundet i anlæggenes dokumentation, og de nominelle effektoptag kan ses i tabel 4.13 herunder:

Komponent	Effekt		
	1 (8197)	2 (11560)	3 (8947-33)
Pumper, motor osv.	4,3 kW	5,5 kW	5,8 kW
Varme til vaskevand	10 kW	15 kW	10 kW
Varme til skyllevand	10 kW	10 kW	10 kW
Varme til tørreluft	6 kW	4,5 kW	6 kW
I alt	30,3 kW	35 kW	31,8 kW

Tabel 4.13: Installerede el-forbrugere i vaskeanlæg.

For at tjekke, om energiforbruget passede med den installerede effekt, blev der lavet målinger på anlæggene, hvor de enkelte kredse blev tændt og slukket manuelt. Det viste sig, at flere af varmelegemerne på det 3. vaskeanlæg var ude af drift, og derfor blev der ikke målt på dette. For anlæg 1 og 2, var der fin overensstemmelse imellem de målte og installerede effekter. Herefter blev tidsintervallerne for indkoblingen af de forskellige komponenter registreret. Dette blev gjort over en periode på ca. 40 minutter for hvert vaskeanlæg. For at få repræsentative resultater blev det sikret, at intervallerne imellem ind- og udkobling af de forskellige varmelegemer var faste igennem forløbet. Resultaterne ses af tabel 4.14 herunder:

Komponent	1 (8197)		2 (11560)		3 (8947-33)	
	Driftstid	Gns. eff.	Driftstid	Gns. eff.	Driftstid	Gns. eff.
Pumper, motor osv.	100 %	4,3 kW	100 %	5,5 kW	-	-
Varme til vaskevand	59 %	5,9 kW	39 %	5,9 kW	-	-
Varme til skyllevand	42 %	4,2 kW	42 %	4,2 kW	-	-
Varme til tørreluft	37 %	2,2 kW	11 %	0,5 kW	-	-
I alt		16,6 kW		16,1 kW	-	-

Tabel 4.14: Driftstid og gennemsnitlig effektoptag.

Som det ses af tabellen, er effektoptaget til opvarmning af vandet helt identisk på 5,9 kW for vaskevand og 4,2 kW for skyllevandet. Samlet set bruger det første anlæg 16,6 kW i gennemsnit og det andet 16,1 kW.

Med en årlig driftstid på 3.000 timer betyder det, at energiforbruget bliver hhv. 49.800 kWh og 48.300 kWh for de to vaskeanlæg.

Installeres en varmepumpe med en COP på 3,7 vil energiforbruget til opvarmning af vaskevand reduceres fra 10,1 til 2,7 kW for hvert vaskeanlæg. Det samlede forbrug vil således være 9,2 kW for den første vasker, svarende til en reduktion på 44 %, og 8,7 kW for den anden vasker svarende til en reduktion på 46 %.

Det forventes, at besparelspotentialet for det 3. vaskeanlæg, er i samme størrelsesorden såfremt anlægget bliver bragt i orden.

4.4.2 Varmepumper til de 3 vaskeanlæg

KSN har ikke planer om at lave varmepumper med en effekt på bare 10 kW. KSN kan ikke producere varmepumper i denne størrelse, der er billige nok til, at investeringen kan betale sig for kunderne. Prisen for sådan et anlæg er ikke undersøgt, men det forventes at ville koste omkring kr. 200.000. En anden mulighed kunne være at bygge en 35 kW varmepumpe, som kobles på kølevand, og varetager alle tre vaskeanlæg. Denne løsning vil formentlig koste omkring kr. 320.000.

Data for to selvstændige varmepumper samt et samlet anlæg til tre vaskere er samlet i tabel 4.15 herunder:

Type	Årligt forbrug kWh	Red. i energiforbrug	Årlig besp. kWh	Værdi sparet vand i kr.	Samlet besp. i kr.	Værdi 1. års besp.	Investering	SBTB
Vask1 - 10 kW	49.800	44%	21.912	1.282	18.812	7.669	200.000	10,2
Vask2 - 10 kW	48.300	46%	22.218	1.300	19.074	7.776	200.000	10,1
3 x 10 kW	147.150	45%	66.218	-	52.974	23.176	320.000	5,6

Tabel 4.15: Økonomi ved varmepumpeløsninger ved Sintex.

Værdierne i tabellen er beregnet med følgende forudsætninger:

- Elpris = 800 kr./MWh
- Værdi 1. års energibesparelse = 35 øre/kWh
- Værdibesparelse af vand = 45 kr./m³

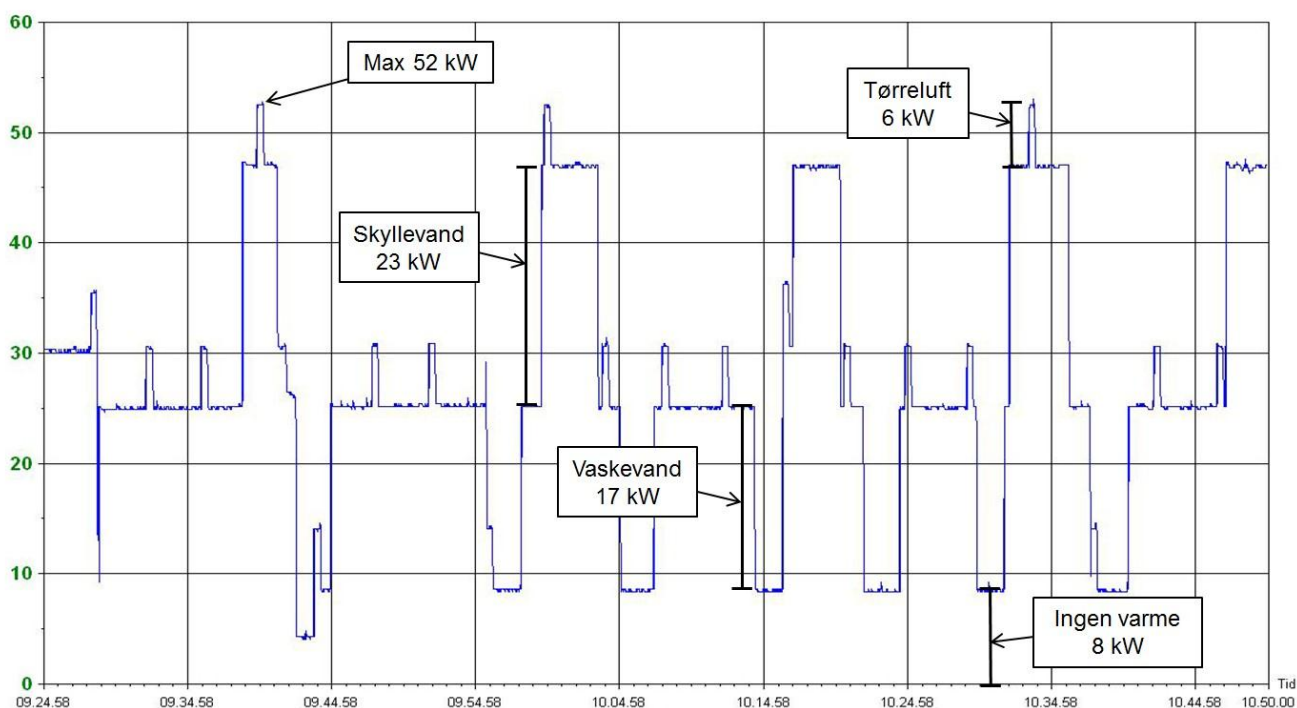
Som det ses, bliver tilbagebetalingstiden for de enkelte anlæg temmelig lang. For det samlede anlæg er det noget bedre, men formentlig fortsat for lang til, at virksomheden vil finde løsningen rigtig interessant. I det konkrete tilfælde var de 3 anlæg opstillet med stor afstand, og derfor vil det være meget krævende at lave en central enhed til 3 mindre anlæg her. Men eksemplet viser, at det kan være en god idé ved de mindre anlæg, hvor enkelte varmepumper er meget kostbare i forhold til besparelspotentialet.

4.5 Konklusion for anvendelsesmuligheder

De forskellige cases viser, at der for gennemløbsvaskerne ofte er mulighed for store reduktioner i energiforbruget ved at anvende varmepumper til opvarmning af vaskevand. Dette gør sig dog ikke gældende for kabinevaskerne, hvor energien til opvarmning af vaskevandet, selv for store anlæg, er meget beskedent.

For de anlæg, der er kigget nærmere på, har besparelspotentialet for alle anlæggene ligget imellem 44 og 55 % af det samlede energiforbrug. Det kan derfor med rimelig sikkerhed konkluderes, at energiforbruget i de fleste gennemløbsvaskere kan reduceres med omkring 50 %, såfremt de udstyres med varmepumper.

Gennemgangen af de mange anlæg ved Grundfos har dog også vist, at målinger på de konkrete anlæg er nødvendige, inden en varmepumpeløsning overvejes. En generel sammenhæng mellem anlæggenes størrelser og energiforbrug, der kan bruges direkte til at vurdere besparelspotentialet, har ikke vist sig. For at kunne dimensionere eventuelle varmepumper rigtigt og opnå den forventede besparelse, er det nødvendigt at måle det aktuelle forbrug på varmepumperne. Dette bør gøres med en energilogger, så de forskellige effektrin kan registreres, og det gennemsnitlige effektbehov for hhv. varme og øvrige komponenter kan beregnes. Figur 4.5 viser effektrinene over tid for et konkret vaskeanlæg:



Figur 4.5: Effektrin og varighed for forskellige komponenter i vaskeanlæg.

På figur 4.5 ses de forskellige effektrin over en periode på knap halvanden time for et typisk vaskeanlæg. Det ses, at det maksimale effektoptag udgør 52 kW. Dette er tilfældet, når alt udstyr i maskinen er aktiveret. De små kortvarige spidser øverst på kurven udgør 6 kW og skyldes elvarmen til opvarmning af tørreluften, som tænder i korte perioder for derefter at slukke 3-4 minutter.

Ud over de små stigninger på 6 kW er der 3 andre effekttrin på hhv. 8 kW, som er den laveste effekt, når alle varmelegemer er slukkede; et på 17 kW, som er varmelegemerne til vaskevandet, og et trin på 23 kW, som er varmelegemerne til skyllevandet. Ved at integrere de forskellige trin kan varmebehovet i de to kar beregnes, og på baggrund af dette kan besparelsespotentialt opgøres, og en varmepumpeløsning kan dimensioneres korrekt. Som det ses i eksemplet, afspejler den installerede effekt ikke det reelle behov, og derfor kan man ikke antage noget om en løsning ud fra maskinernes specifikationer.

Igennem projektet er det blevet tydeligt, at den bedste måde at vurdere et vaskeanlæg på er, at montere en logenhed, som kan registrere effekttrinene over en periode af ca. 1 time. Dette har fået KSN til at udvikle deres egen "Energikuffert" sammen med virksomheden DEIF A/S, som er førende inden for energimålere. KSN regner selv med at bruge kufferten til fremtidige analyser af vaskeanlæg, og samtidig håber de også at kunne sælge produktet til virksomheder med samme behov. Prisen er meget fornuftig, og samtidig er kufferten nem at anvende. Den er udstyret med SD-kort eller trådløs forbindelse, så data kan fjernaflæses. Energikufferten ses på figur 4.6 herunder:



Figur 4.6: KSN-energikuffert.

Imens analyserne var meget entydige om det mulige besparelsespotentialt for vaskeanlæg-gene, var der større forskel i den økonomiske gevinst i de forskellige tilfælde. For anlæg med gas er besparelsen minimal med det nuværende forhold på gas- og el-priser. Her skal der være andre fordele end udelukkende økonomi, før varmepumpeløsninger bliver interessante. Der kan dog ofte være nogle praktiske fordele, som alligevel gør varmepumper relevante og store energi- og vand-besparelser kan også vægtskålen mod varmepumpen.

For de el-opvarmede vaskeanlæg, er der meget god økonomi for de større anlæg med mange driftstimer. Her kan der være simple tilbagebetalingstider på helt ned til et år, hvor der for de mindre modeller ofte er tale om alt for lange tilbagebetalingstider. Dette skyldes at de mindre anlæg kræver en relativ stor investering i forhold til energibesparelsen, hvorimod store varmepumpeanlæg ikke er ret meget dyrere, men giver en langt større besparelse.

De parametre, der har betydning for en stor økonomisk gevinst, er uden tvivl el-opvarmning, store anlæg og mange driftstimer.

KSN estimerer at der findes omkring 3.000 vaskeanlæg i Danmark, som i gennemsnit modsvarer de 26 anlæg der er gennemgået ved Grundfos. Er dette korrekt vurderes det, at det samlede årlige elforbrug i disse anlæg udgør op imod 400 GWh, med et besparelspotentiale på 50 % eller 200 GWh årligt, ved anvendelsen af varmepumper. Det har dog ikke været muligt at bekræfte antallet, ligesom det heller ikke vides om driftstiderne ved Grundfos, svarer til gennemsnittet. Igennem projektet har der dog ikke været noget, som har afvist denne tese.

5 Demonstration af varmepumpe på konkret vaskeanlæg

For at sikre at konceptet fungerer under faktiske forhold, indeholder projektet en demonstrationsdel, hvor konceptet afprøves. Igennem det tidligere gennemførte videnskupon-projekt er der lavet et løsningsforslag til en varmepumpemodell. Det er med udgangspunkt i denne løsningsmodell, at teknologien demonstreres i dette projekt.

Vaskeanlægget, som varmepumpen demonstreres på, er identisk med det anlæg som er beskrevet i afsnit 3.1. Kort fortalt er der tale om en tromlevasker af typen T3500. Vaskeren er udstyret med 24 kW elvarme til vaskevandet og 18 kW til skyllevandet. Der er blevet lavet målinger, som har vist, at det reelle varmebehov kun er 7,6 kW i vaskevandet, og 16,7 kW i skyllevandet. I tabel 5.1 herunder er en oversigt over de installerede komponenter og deres gennemsnitlige el-effekt:

Komponent	Installeret effekt [kW]	Effekt gennemsnit [kW]
Varmelegemer, vask	24	7,6
Varmelegemer, skyl	18	16,7
Pumpe, vask	1,5	1,5
Pumpe, skyl	0,75	0,75
Blæser, tørreluft	2,2	2,2
Varmelegeme, luft	6	3,5
Motor	0,18	0,18
Dråbefang	1,5	1,5
Total	54,1	33,9

Tabel 5.1: Elforbrug i vaskeanlæg til demonstration.

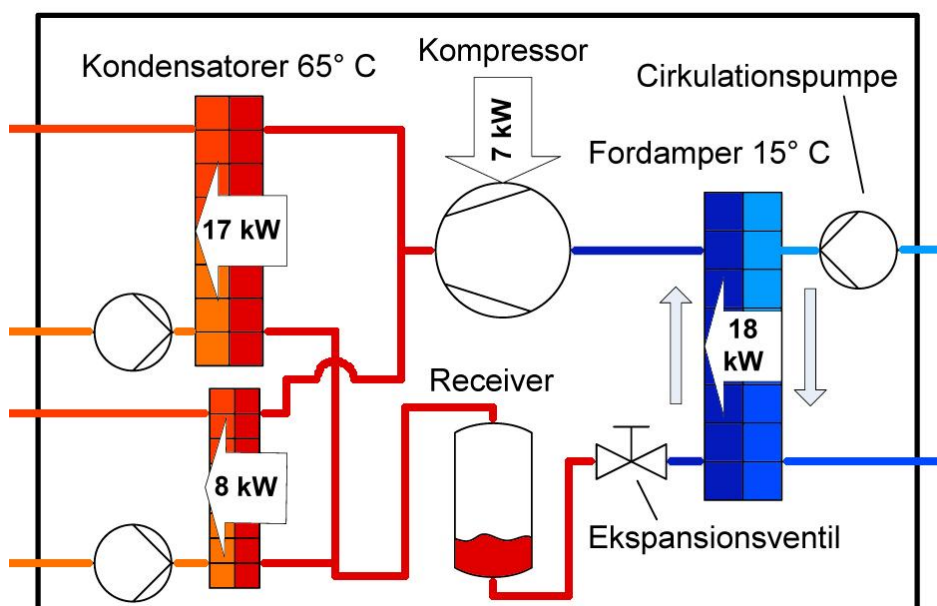
Vaskeanlæggets gennemsnitlige effektförbrug er knap 34 kW, hvoraf de 24,3 anvendes til opvarmning af de to vandkar. Det er vigtigt, at de to vandsystemer holdes adskilt, da vaskevandet er meget beskidt i forhold til skyllevandet. Derfor skal varmepumpen levere omkring 8 kW i det ene kar og 17 kW i det andet.

5.1 Beskrivelse af systemopbygning

Til demonstrationen er der valgt en løsning, hvor energien til varmepumpen hentes i vaskeanlæggets afblæsningsluft. Ud over de ydelsesmæssige krav har der været fokus på, at løsningen kan indbygges i allerede opstillede vaskeanlæg, samt at enheden kan installeres uden omfattende indgreb i vaskeanlæggene.

Inden projektet blev påbegyndt, var der forventninger om, at der kunne udvikles en varmepumpeløsning, hvor det anvendte kølemiddel er CO₂. Dette kølemiddel er naturligt forekommende og påvirker ikke miljøet ved lækager, som er tilfældet ved syntetiske kølemedier. CO₂'s fysiske egenskaber gør det særlig egnet i applikationer med store temperaturændringer på det opvarmede medie. I dette tilfælde skal vaskevandet holdes ved en konstant temperatur på 60 °C, og ved sådanne driftsforhold er CO₂ desværre ikke egnet. Der er derfor kigget nærmere på en løsning med HFC-kølemidlet R134a. Dette kølemiddel bidrager med en stor drivhuseffekt ved lækager, og mængden af kølemiddel i systemet bør derfor begrænses, og risikoen for lækager bør minimeres. Kølemidlet fungerer dog effektivt ved de krævede temperaturniveauer, og virkningsgraden for varmepumpen vil være god.

For at imødegå kravene om minimal kølemiddelfyldning og nem tilkobling til vaskeanlæggene er hele kølekredsen samlet i varmepumpens kabinet, således at der kun skal sluttes varmt og koldt vand til. Princippet ses på figur 5.1 herunder:



Figur 5.1: Principdiagram af varmepumpe.

Kølemidlet forlader kompressoren (øverst i midten af figuren) som overhedet gas ved høj temperatur. Når kølemidlet gennemløber kondensatorerne, til venstre, køles den overhedede gas hurtigt ned til kogepunktstemperaturen, som indfinder sig ved en temperatur, der er lidt højere end vandtemperaturen i vaskeren. Herefter kondenserer kølemidlet ved konstant temperatur, for til sidst at forlade kondensatorerne på væskeform. For at holde de to vandkredse adskilt består anlægget af to separate kondensatorer af pladevekslertypen. Ved kondenseringen frigives den energi, som er tilført kølemidlet, dels fra ventilationsluften og dels igennem kompressorens elforbrug. I det konkrete tilfælde er det beregnet, at varmepumpen henter 18 kW i ventilationsluften, og at el-effekten i kompressoren er 7 kW. Tilsammen kan der derfor afleveres 25 kW i kondensatorerne. Fordi der skal afleveres mest energi i skyllevandet, er kondensatoren her ca. dobbelt så stor, som den der anvendes til opvarmning af vaskevandet. Herved kommer varmekapaciteten til at passe med hhv. 18 og 7 kW for skylle- og vaskevand.

Dette forudsætter, at der køres med samme temperaturer i de to kredse. Hvis det ene kar skal have en højere temperatur end det andet, kan vandcirkulationen begrænses i det kar, som kræver mindst opvarmning via cirkulationspumperne, der kan variere omløbstallet. Så længe kredsene ikke begrænses, vil kølemidlet altid aflevere mest energi, hvor temperaturen er lavest. Dette betyder, at systemet automatisk vil udligne temperaturen i de to vandkar, medmindre cirkulationen begrænses via pumperne.

Når det kondenserede kølemiddel forlader pladevarmevekslerne, opsamles det i en væskebeholder. Væskebeholderen fungerer som buffertank og sørger for, at ekspansionsventilen altid fødes med kølemiddel på væskeform. Under varierende driftsforhold vil mængden af kondenseret kølemiddel, der forlader kondensatorerne, variere. En buffertank er vigtig, da den udligner variationerne og stabiliserer driftsforholdet. Når kølemiddelvæsken gennemløber ekspansionsventilen, falder trykket. Trykfaldet betyder, at kølemidlet får et lavere kogepunkt, og det fordamper i pladevarmeveksleren til højre på figuren. Fordampningen kræver energi, som hentes i vaskeanlæggets afblæsningsluft. Herefter suges det fordampede kølemiddel tilbage til kompressoren, hvor gassen komprimeres og processen starter forfra.

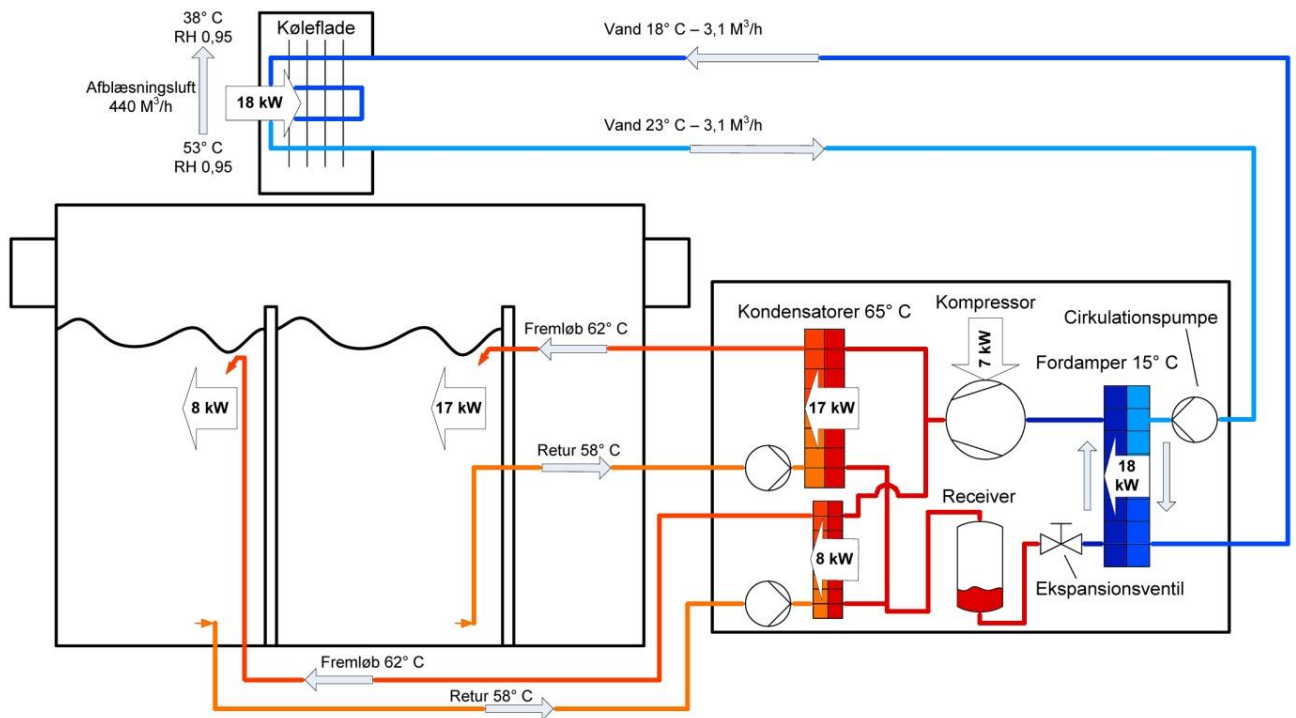
Konstruktionen med hele kølekredsen samlet i varmepumpens kabinet, og anvendelsen af pladevarmevekslere sikrer, at kølemiddelfyldningen bliver så lille som muligt. Fordi kølekredsen er indkapslet i kabinettet, er risikoen for fysiske påvirkninger af rør og dermed udslip af kølemiddel samtidig minimeret. Figur 5.2 herunder viser varmepumpens kabinet med hovedkomponenterne monteret:



Figur 5.2: Hovedkomponenter i kabinettet.

Den store cylinderformede komponent i midten af billedet er kompressoren. Herfra ledes den varme kølemiddelgas ind i de to pladevarmevekslere til venstre i billedet. Her overføres energien fra kølemidlet til vaskevandet i de to kar. Herfra forlader kølemidlet, nu på væskeform, de to kondensatorer og løber frem til buffertanken, som er den lille cylinder, der ses under kompressoren. Herfra løber væsken frem til ekspansionsventilen (kan ikke ses på billedet), hvor trykket sænkes, inden kølemidlet løber ind i pladevarmeveksleren nederst til højre i billedet. Her fordamper kølemidlet ved at opsamle energi fra en væskekreds, som er forbundet til ventilationsluften, hvorefter det suges tilbage til kompressoren, og processen gentages.

Figur 5.3 herunder viser en skitse af varmepumpen i kombination med vaskeanlægget:



Figur 5.3: Princip af varmepumpe i forbindelse med vaskeanlæg.

De to kondensatorer er forbundet med rør til hvert sit kar i vaskeanlægget. De to cirkulationspumper sørger for, at der cirkuleres tilstrækkeligt med vand til, at ydelsen kan oprettholdes. På denne måde kræver installationen kun to gennemføringer i hver vandtank til de 4 rør.

På den kolde side hentes energien fra ventilationsluften via en køleflade, som monteres på maskinens afblæsning. Fra varmepumpen cirkuleres der koldt vand frem til kølefladen, som optager energi fra afblæsningsluften. Vandet ledes herefter frem til varmepumpen, hvor det nedkøles og frigiver energien til kølemidlet.

Tilstanden for afblæsningsluften var tidligere målt til 53° C og 95 % relativ fugtighed. Luftstrømmen blev estimeret til ca. 440 m³/time. For at optage de nødvendige 18 kW skal luften blot køles til 38° C.

Valg af kompressor

Udgangspunktet for en egnet kompressor er en varmeeffekt på ca. 25 kW, og hvis den skal kunne anvendes bredt, skal der helst kunne opnås en vandtemperatur på 70° C.

Det mest problematiske kriterium var dog at finde en kompressor, som var bygget til høje fordampningstemperaturer. Fordi luften ikke skal køles længere ned end til 38° C, kan varmepumpens fordampningstemperatur godt ligge på omkring 25° C. Denne størrelse kompressor anvendes normalt aldrig til energikilder med så høj temperatur som i dette tilfælde, hvorfor det ikke var muligt at finde en kompressor, der kan tåle en fordampningstemperatur på 25° C.

Den bedst egnede var en Scroll-kompressor fra Copeland, som kunne gå op til en fordampningstemperatur på 15° C, og i øvrigt opfylder de andre krav. Fordampningstemperaturen kan holdes nede ved at begrænse cirkulationen af kølevand, og driftsteknisk er det derfor ikke et problem. Men energiforbruget påvirkes en smule, fordi varmepumper bruger mere energi, jo større temperaturforskellen er på varmekilde og varmeafgiver.

Kompressoren kan hastighedsreguleres imellem 45 og 65 Hz. Ved 55 Hz er ydelsen ca. 24 kW og med reguleringsområdet på ± 10 Hz kan varmeeffekten reguleres imellem ca. 20 og 28 kW.

Kølefladen

Fladen, der skal køle på afblæsningsluften, skal konstrueres, så den passer til afblæsningskanalen på maskinen. Ved fx Flexcoil kan der bestilles køleflader efter kundespecifikke mål. Afblæsningskanalen på vaskeanlægget er et standard ventilationsrør med lille diameter, og det er ikke muligt at konstruere en køleflade med en effekt på 18 kW til montage i sådan en afblæsningskanal.

Derfor blev der valgt en kvadratisk køleflade med et så lille areal som muligt. For at få fordelt luftmængden jævnt over kølefladen blev der konstrueret en slags emhætte, hvor kølefladen monteres. Løsningen ses på figur 5.4 til højre:

Kølefladen er monteret i den kvadratiske del lidt over midten på billedet. Den svage vinkel fra afblæsningsstudsens nederst på billedet og op til kølefladen er nødvendig for at sikre en jævn fordeling af luftstrømmen. Er indsnævringen for kraftig, er det kun den midterste del af kølefladen, som er aktiv, og dette vil give et stort fald i ydelsen.



Figur 5.4: Køleflade i "emhætte".

Styring af varmepumpe

Ekspansionsventilen er af termostat-typen, og de eneste ting, som kan reguleres, er derfor hastigheden på de 3 cirkulationspumper og kompressoren. Så længe der ønskes ens temperatur i de to vandkar, skal de to cirkulationspumper på kondensatorerne altid køre med størst muligt flow. Hermed er det kun cirkulationspumpen på fordamperen og kompressoren, der skal reguleres.

Fordi kompressoren ikke kan tåle en fordampningstemperatur på mere end 15° C, skal cirkulationspumpen hele tiden tilpasse hastigheden efter denne temperatur. Tilføres der mere energi, stiger fordampningstemperaturen, og pumpen skal nedsætte cirkulationen.

Falder fordampningstemperaturen kan der derimod godt tilføres mere energi, og pumpen skal øge cirkulationen. Cirkulationspumpen skal således udelukkende styres efter fordampningstemperaturen. Og der skal findes en passende reguleringsfunktion, der gør, at pumpen ikke ændrer hastigheder for hurtigt, da der nemt kan opstå uheldige svingninger, fordi energitilførslen på fordampningen i høj grad påvirker det øvrige system.

Kompressorens hastighed tilpasses efter det aktuelle behov i vandkarrene. Kondenserings-temperaturen hænger sammen med vandtemperaturene i vandkarrene. Når en ønsket temperatur på vandet indtastes, kan kompressoren beregne den tilsvarende kondenserings-temperatur. Er temperaturen lavere end det beregnede, øger kompressoren hastigheden og derved ydelsen. Er temperaturen for høj sænkes hastigheden. Hvis kompressoren kører på laveste hastighed og temperaturen stiger til et bestemt niveau over setpunktet, stopper kompressoren i 5 minutter. I dette tilfælde cirkulerer pumperne fortsat vand over kondensatorerne, så det kan registreres, hvornår temperaturen er faldet tilstrækkeligt, og kompressoren skal begynde igen.

I forhold til vaskeanlægget og den eksisterende elvarme i anlægget, indstilles temperaturen på vaskeanlægget 2 grader lavere end normalt. Herved tænder elvarmen først, hvis temperaturen af én eller anden grund falder pga. en fejl i varmpumpen. Her skal det sikres, at temperaturfølerne i varmpumpen og vaskeanlægget er enige. Der kan ofte være fejlvisning på et par grader for den slags udstyr.

5.2 Funktionstest af varmpumpe

Varmpumpen blev først funktionsafprøvet i laboratoriet ved Teknologisk Institut i Aarhus og blev installeret hos Grundfos i Bjerringbro i december 2010 af KSN. Efter opstart og indkøring blev der monteret datalogningsudstyr på anlægget i marts 2011. Figur 5.5 viser varmpumpen installeret hos Grundfos:



Figur 5.5: Varmepumpe ved siden af pressemaskine i Bjerringbro.

Varmepumpen er placeret op ad pressemaskinen, og den er forbundet til vaskeanlægget via rør. I figur 5.6 ses vaskeanlægget med køleflade på afblæsningsluften og de 6 rør til varmepumpen (4 til de to tanke og 2 til kølefladen). Varmepumpen kan svagt anes i baggrunden til højre for pressemaskinen.



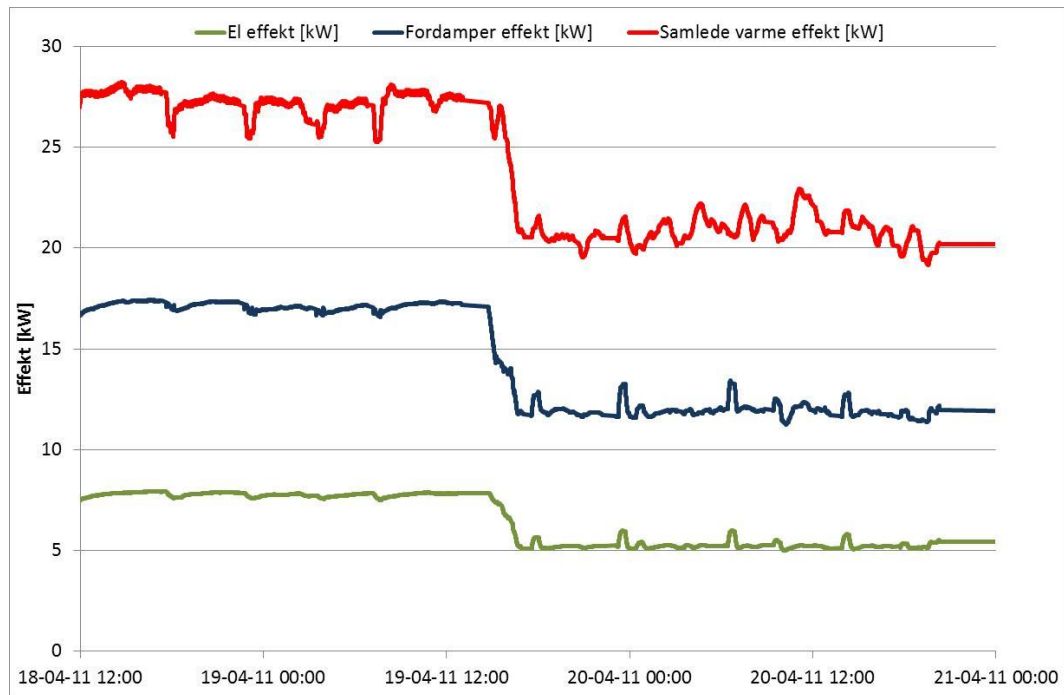
Figur 5.6: Vaskemaskine med indbygget varmeveksler.

I testperioden blev mængden af tilført rent vand til processen varieret meget, fordi der blev kørt forsøg med nye sæbetyper på maskinen. Der findes ikke målinger af mængden af tilført vand, men det ses af nedenstående, at den samlede varmeeffekt er faldet fra ca. 27 kW til 21 kW eller 22 %. Tilsvarende er effektforbruget faldet fra 7,7 kW til 5,0 kW svarende til 35 %, imens varmepumpens COP er steget fra 3,5 til 4,0.

Disse fluktuerende driftskonditioner har gjort det svært at få sammenlignelige data omkring energibesparelsen. Til gengæld er varmepumpens regulering og ydeevne blevet testet under meget varierende forhold.

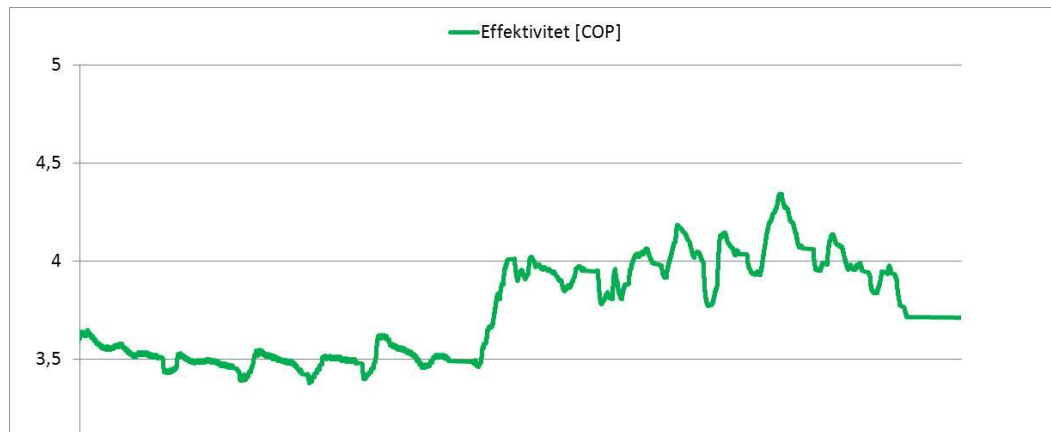
Under testperioden var varmepumpen forsynet med temperaturtransmittere på kølemiddel- og vandkredse, så alle temperaturniveauer kunne registreres. Vandkredsene var forsynet med flowmålere, så energistrømmene kunne beregnes og både varmepumpe og vaskeanlæg var forsynet med elmålere.

Figur 5.7 viser varmeeffekten, effekten i fordamperen og energiforbruget som funktion af tiden. Midt i tidsforløbet ændres vandudskiftningen, og det ses, at det har stor påvirkning på energiforbruget.



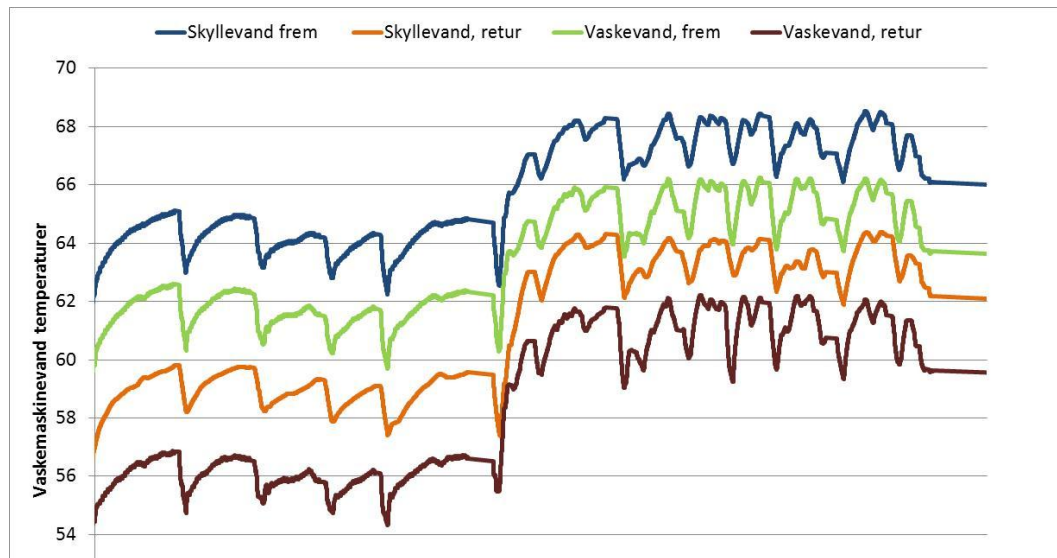
Figur 5.7: Energistrømmene i varmepumpen ved ændret vandtilførsel.

Varmebehovet falder fra omkring 27 kW til 21 kW. Samtidig falder kompressorens effekt-optag fra ca. 8 – 5 kW, og som det ses af figur 5.8, har det stor indflydelse på varmepumpens COP:



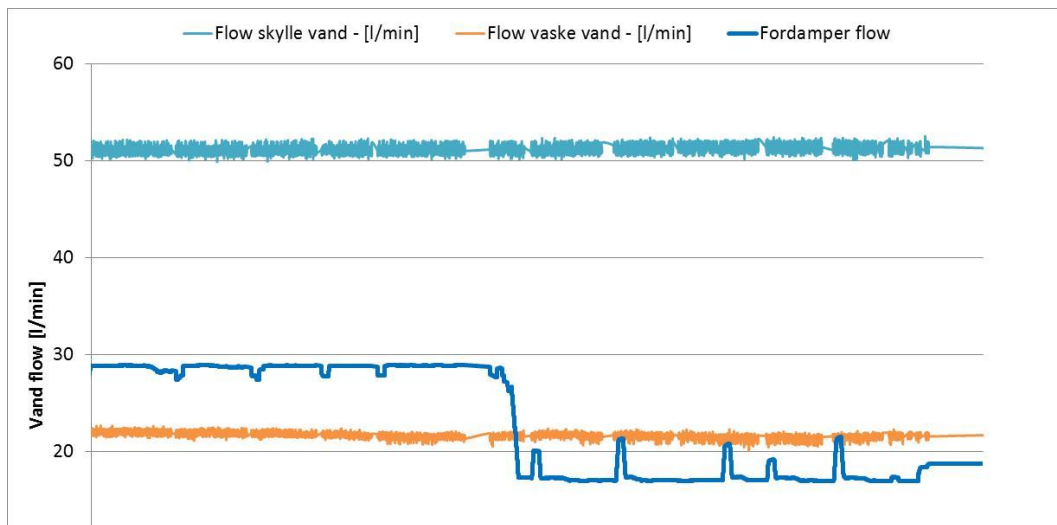
Figur 5.8: Varmepumpens effektivitet (COP) ved ændret vandtilførsel.

Temperaturene for samme tidsperiode fremgår af figur 5.9:



Figur 5.9: Temperaturniveauer for vandkarrene ved ændret vandtilførsel.

Som det ses af figur 5.9, stiger temperaturene, når varmepumpen kører på mindste kapacitetstrin. Figur 5.10 herunder viser vandcirkulationen.



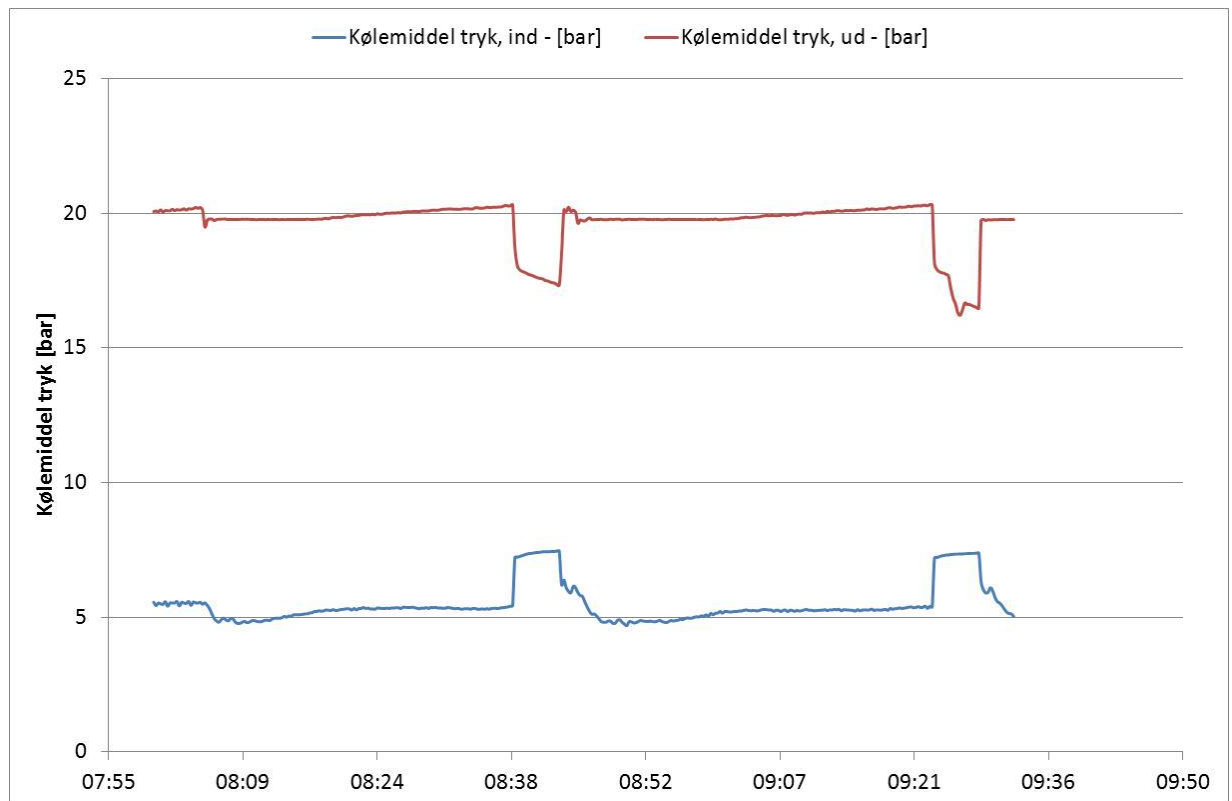
Figur 5.10: Vandcirkulation i varmepumpe.

Som forventet, holdes cirkulationen på kondensatorerne konstant, hvorimod gennemstrømning i fordamperen reduceres for at holde temperaturen nede ved lav ydelse.

Start/stop-sekvens

I løbet af testperioden blev forholdene i vaskemaskinen ændret, så det nødvendige varmebehov blev reduceret til 22 kW. Dette svarer til varmepumpens laveste kapacitet, når kompressoren kører på det mindst tilladelige omdrejningstal. For at undgå drift uden for arbejdsområdet er der lagt pausesekvens ind i kompressorstyringen, der stopper varmepumpen i 5 minutter, når trykket på afgangssiden overstiger 67° C svarende til 20,3 bar (a).

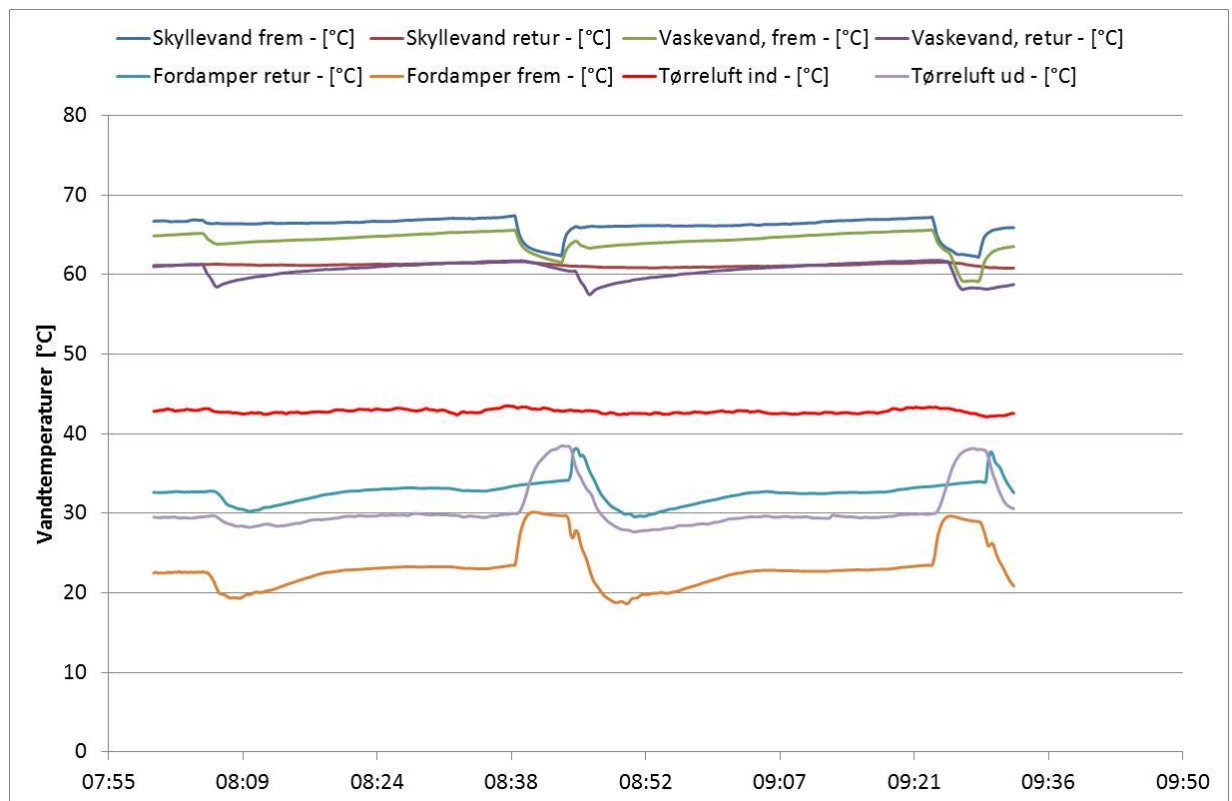
Pumperne til det varme vand i vaskeprocessen stoppes ikke under denne pause, som det normalt sker, hvis vaskeanlægget stopper. De to tryk i systemet er gengivet på figur 5.11 herunder:



Figur 5.11: Varmepumpens tryk som funktion af tid.

Som det ses af figuren, stiger trykket på kondenseringsiden langsomt mod 20,3 bar, hvorved varmepumpen stopper i fem minutter for derefter at starte igen.

For at se pausens indflydelse på temperaturen i vandkarrene er der kigget nærmere på vandtemperaturene, som fremgår af figur 5.12:



Figur 5.12: Temperaturforløb under pause.

De 4 øverste linjer på figuren viser temperaturen i de to vandkar. Som de ses, falder temperaturen i rørene ud af varmepumpen, fordi disse ikke længere tilføres varme. Der er dog kun minimal indflydelse på temperaturen i rørene frem til varmepumpen. Temperaturen falder ikke nok til, at el-varmelegemerne i vaskeanlægget aktiveres.

5.3 Måling af energiforbrug

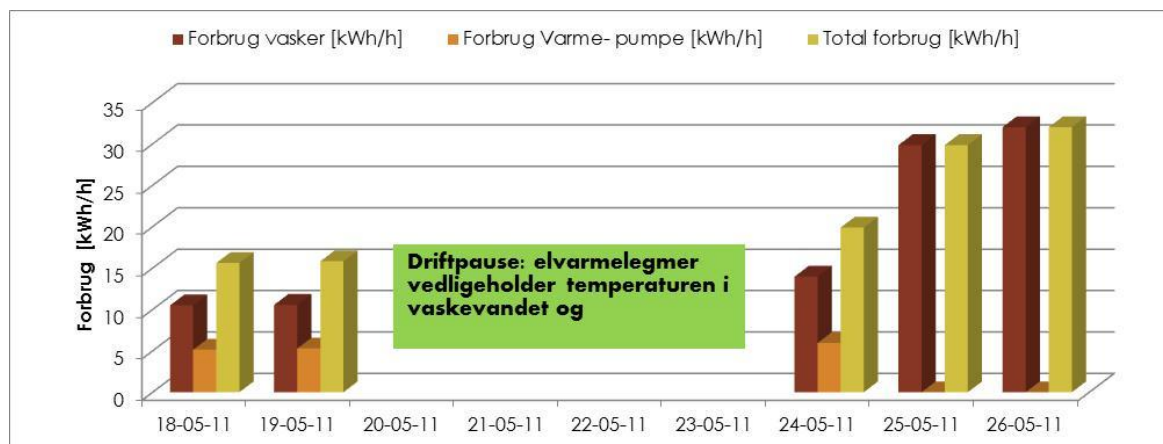
For at verificere energibesparelsen ved anvendelse af varmepumpeløsningen har der ved afslutning af indkøringsperioden været en periode, hvor energidataene til vaskeprocessen er registreret dagligt. Dette er sket i en periode, hvor der har været produktion af metalemner med en nogenlunde ensartet størrelse. Samtidig er det sikret, at der ikke har været justeret på vandtilførsel eller vandtemperaturer. Elforbruget og driftstimerne er registreret dagligt og bruges til at beregne det gennemsnitlige timeforbrug, som skal verificere besparelsen.

Vaskeanlægget blev først opvarmet via varmepumpe den 18. og 19. maj 2011, og herefter blev der målt i to døgn uden varmepumpe den 25. og 26. maj 2011. Resultaterne ses i tabel 5.2.

Aflæsning	Drifttid [timer]	Forbrug vasker [kWh/h]	Forbrug Varme-pumpe [kWh/h]	Total forbrug [kWh/h]	Vand-forbrug [m ³ /h]
17-05-11 11:22					
18-05-11 11:11	23,62	10,49	5,12	15,61	1,15
19-05-11 09:18	21,08	10,55	5,27	15,81	1,25
24-05-11 09:18	36,50	13,95	5,95	19,90	2,58
25-05-11 09:18	19,50	29,85	0,00	29,85	1,51
26-05-11 13:14	14,00	32,02	0,00	32,02	1,14

Tabel 5.2: Energiforbrug med eller uden varmepumpe.

Som det ses i 2. kolonne fra højre, er det samlede effektoptag omkring 15,7 kW med varmepumpe og ca. 31 kW uden. Søjlediagrammet herunder viser samme resultat:



Figur 5.13: Energiforbrug med og uden varmepumpe.

De gule søjler viser det samlede elforbrug, den røde vaskeanlæggets elforbrug, og den orange varmepumpens elforbrug. Tallene viser, at besparelsen, som er opnået i perioden, udgør 49 %.

5.4 Konklusion på funktionstest

Varmepumpen har været testet under meget fluktuerende forhold, og det har vist sig, at det valgte koncept og styring har fungeret efter hensigten. Samtidig er det blevet vist, at den forventede energibesparelse på ca. 50 % kan opnås.

Det eneste problem har været, at cirkulationspumpen på kølekredsen ikke har kunnet regulere tilstrækkelig langt ned i kapacitet. Derfor har fordampningstemperaturen i perioder ligget over de 15° C, som helst ikke skal overstiges. Problemet skyldes, at der er mere end rigeligt med energi til rådighed i ventilationsluften. Når pumpen sænker cirkulationen, stiger temperaturen i kredsen, og så tilføres der alligevel meget energi til fordamperen. Der bør derfor findes en pumpe, som kan regulere meget langt ned, eller alternativt laves en blandedsløjfe på kølekredsen.

Kølefladen har også vist sig meget effektiv. Der blev valgt en model, som var lidt større end beregnet, fordi der var stor usikkerhed på beregningen. Samtidig var der frygt for, at luften ikke ville fordele sig jævnt, og at kølefladen vil smudse til og miste kapacitet. Konceptet har dog vist sig at fungere fortrinligt, og en inspektion af kølefladen har vist, at den er helt ren. Den meget effektive og måske lidt for store køleflade betyder også, at der nemmere tilføres for meget energi til fordamperen. Til senere versioner kan der formentlig godt vælges en lidt mindre model. Figur 5.14 herunder viser indersiden af ”emhætten” efter flere måneders drift:



Figur 5.14: Inderside af vaskeanlæggets udsugning.

Som det ses, er fladerne helt rene og det samme var tilfældet for selve kølefladen. Dette var absolut ikke forventeligt, da kanalerne uden køleflade var meget fedtede og snavsede. Det tyder på, at de store mængder kondensat, som ledes tilbage i vandtankene, trækker snavset med tilbage, og på den måde holder systemet rent.

6 Beregningsprogram til vurdering af varmepumpeløsninger

Som en del af projektet er der udviklet et beregningsprogram, som kan give producenter af vaskeanlæg, energirådgivere, slutbrugere m.fl. hurtige beregninger på en varmepumpeløsning til et givet vaskeanlæg.

Programmet er meget simpelt og nemt at bruge, og ved indtastning af få relevante data kan det lynhurtigt beregne de vigtige resultater for en evt. løsning.

Programmet består af 3 faneblade. Man indtaster data i det første faneblad, ser resultaterne på det andet, og kan udskrive en rapport i det tredje. Figur 6.1 viser et skærmbillede af den første fane:

	Energi	Økonomi
Årligt varmebehov:	164.250 kWh	131.400 kr
Varmepumpes årlige energiforbrug:	45.043 kWh	36.035 kr
Årlig køling leveret af varmepumpe:	121.459 kWh	0 kr
Årlige besparelser:		95.365 kr
Årlig COP for varmepumpen:	3,65	

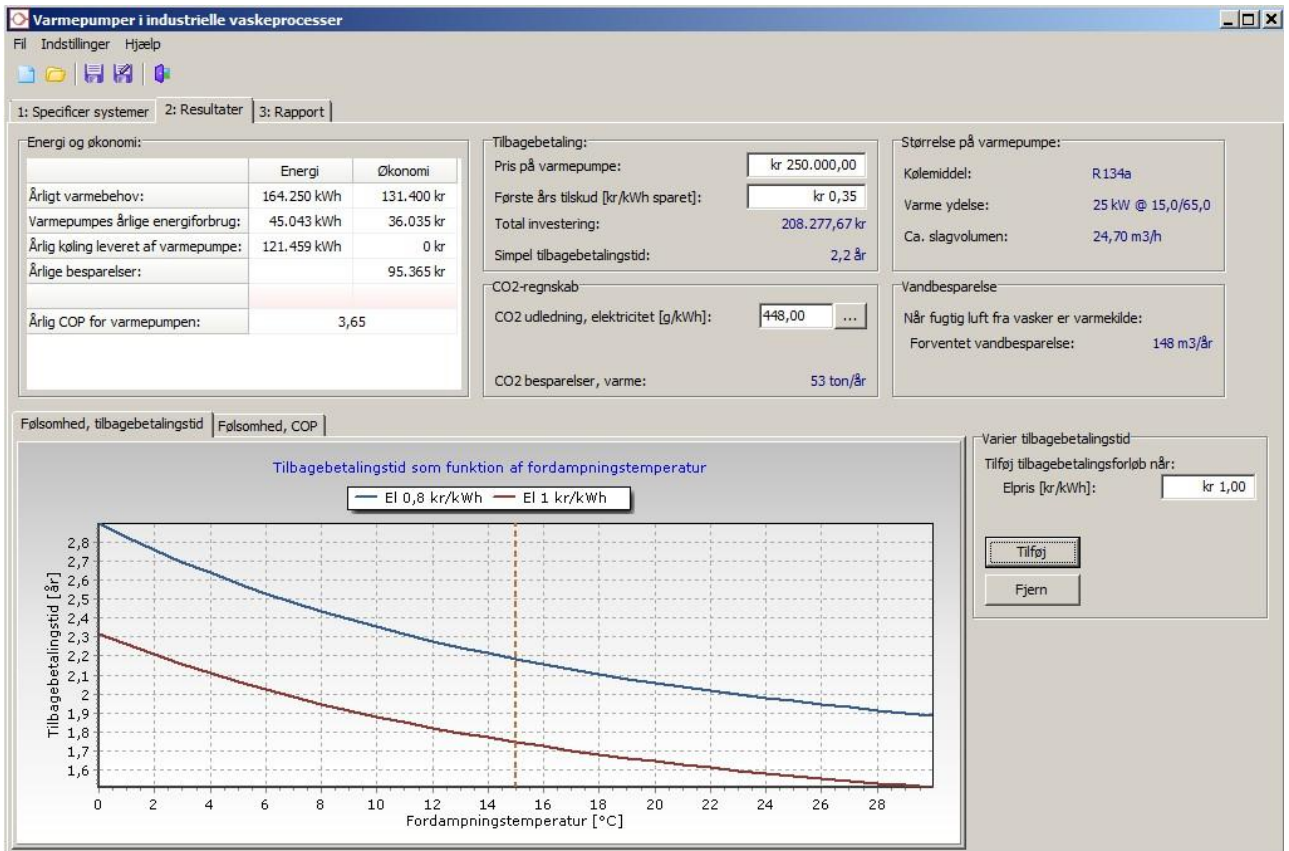
Tilbagebetaling:	
Pris på varmepumpe:	kr 250.000,00
Første års tilskud [kr/kWh sparet]:	kr 0,35
Total investering:	208.277,67 kr
Simpel tilbagebetalingstid:	2,2 år

Figur 6.1: Indtastning af data i beregningsprogram.

Øverst til venstre vælges el, gas eller olie som nuværende varmekilde. Herefter indtastes effektbehov, vandtemperatur og pris på enten el, gas eller olie. Øverst i midten vælges om der anvendes fugtig luft eller kølevand, hvor kølevandstemperaturen også indtastes. Samtidig kan der sættes værdi på køleydelsen.

Til venstre i midten vælges driftstiden, enten som procent, et antal timer, eller der kan vælges en detaljeret profil. Nederst til venstre regnes det årlige energiforbrug, en forventet COP-værdi og den økonomiske besparelse. Nederst i midten indtastes investeringsstørrelse og evt. værdi af 1. års energibesparelse, og heraf regnes nettoinvesteringen og den simple tilbagebetalingstid.

Fane 2 i programmet viser lidt flere resultater, bl.a. CO₂- og vandbesparelse. Skærbilledet ses på figuren herunder:



Figur 6.2: Resultater i beregningsprogram.

Fane 2 viser økonomien som på fane 1. Der kan indtastes en værdi for aktuell CO₂-udledning og den årlige reduktion i CO₂ beregnes. I højre side er der lidt data omkring varmepumpen og evt. besparelse i vandforbrug. Nederst kan følsomheden på tilbagebetalingsperioden i forhold til fordampertemperatur aflæses. Samtidig er der mulighed for at tilføje flere linjer med forskellige energipriser, hvis man ønsker at se følsomheden på disse.

På fane 3 kan der genereres en rapport i Word-format med alle de relevante resultater og forudsætninger i beregningerne. Rapporterne kan fremsendes sammen med tilbud eller som svar på forespørgsler.

I indstillinger kan sproget ændres til engelsk.

Programmet kan rekvireres igennem Morten Juel Skovrup, IPU ved henvendelse på E-mail: mjs@ipu.dk

7 Samlet konklusion

Konceptets egnethed er undersøgt ved 4 produktionsvirksomheder. For gennemløbsvaskere ligger besparelspotentialet for alle de undersøgte anlæg på mellem 44 og 55 %. Resultaterne viser, at den økonomiske gevinst er størst ved store anlæg, imens besparelsen ikke retfærdiggør investeringen ved anlæg med et varmebehov på mindre end 15 – 20 kW. Det kan konkluderes, at der er et enormt besparelspotentiale ved anvendelse af denne type løsninger. Forløbet har også vist, at målinger på vaskeanlæggene er nødvendige for at vælge de rigtige løsninger. Uden et klart billede af den krævede varmeeffekt er der en meget stor risiko for, at løsningerne vil blive fejldimensionerede. For at imødegå denne barriere har KSN udviklet en energilogger, som nemt og simpelt kan give svar på et konkret behov.

Teknologien er blevet demonstreret uden tekniske vanskeligheder, og forløbet har vist, at det er muligt at konstruere egnede varmepumper vha. tilgængelige standardkomponenter. Samtidig er det blevet klart, at løsningen, hvor der genvindes energi direkte på vaskeanlæggene, har fungeret efter hensigten. Hermed er der altid en egnet energikilde til rådighed, og der er også mulighed for at anvende en ekstern kilde, såfremt dette er mere hensigtsmæssigt. Konceptet, hvor varmepumpen tilsluttes vaskeanlæggene uden større indgreb og med eksisterende opvarmning som backup, betyder, at løsningen er helt risikofri for slutbrugeren. Samtidig kan varmepumpen lynhurtigt udskiftes i tilfælde af fejl eller service.

Alt i alt kan det konstateres, at der ikke er tekniske barrierer for udbredelse af teknologien. Det er samtidig vist, at demonstrationsanlægget har reduceret vaskerens samlede energiforbrug med 49 %. Anlægget har været i drift i mere end 1 år helt uden problemer. Det forventes, at eventuelle hindringer for udbredelse af teknologien vil være af ikke-teknisk karakter. For at gøre forundersøgelsen så nem som mulig, er der udviklet et beregningsprogram, der giver svar på den årlige kWh-besparelse, tilbagebetalingstid samt reduktion i CO₂ og vandforbrug. Samtidig har KSN udviklet energiloggeren, som gør brugere og rådgivere i stand til at måle de værdier som skal bruges i beregningsprogrammet.

Imod projektets afslutning har KSN tilbudt flere varmepumper til interesserede kunder. Selvom der er stor interesse for produktet, har der ikke været ordre på anlæggene. Tilbagebetalingstiden er kort, men investeringen er trods alt for stor til, at der kan træffes hurtige beslutninger. Det er tydeligt, at produktionsvirksomhedernes fokus er produktet, som produceres, og at det derfor kan være vanskeligt at investere mange penge i noget, som ikke vedrører produktet direkte. Varmepumper er ikke nødvendige, men et ”luxusprodukt”, som kan opfylde det samme behov, som langt simple teknologier også kan, og med de nuværende energipriser, kommer varmepumperne sjældent øverst på dagsordenen. Der kan dog findes applikationer, hvor varmepumper løser deciderede problemer som fx at dække kølebehov, forvarmning af vaskevand eller minimering af tilslutningseffekt på strømsiden.

Ved indkøb af nye vaskeanlæg, bliver energiforbruget ofte vægtet, og der vil være gode muligheder for at tilbyde løsninger. Merinvesteringen udgør kun en mindre del af den samlede pris, og kan det bedre forsvares at købe et lidt dyrere produkt, som er langt billigere over levetiden. En oplagt mulighed kunne også være en leasingordning, hvor slutbrugeren undgår investeringen, men alligevel opnår en reduktion i energiforbrug og CO₂-udledning.

En stor tak til hele projektgruppen