

# **Den Tryckluftslösa Fabriken**

ER [Klicka och skriv ER-nummer här - ER-nummer erhålls från förlaget]

Böcker och rapporter utgivna av Statens  
energimyndighet kan beställas från  
Energimyndighetens förlag.  
Orderfax: 016-544 22 59  
e-post: [forlaget@stem.se](mailto:forlaget@stem.se)

© Statens energimyndighet  
Upplaga: [konsultera förlaget] ex

ER [erhålls från förlaget]

ISSN [erhålls från förlaget]

# Förord

Denna rapport utgör en av två slutrapporter för ett projekt benämnt ”Elenergi-besparande åtgärder för Volvo Personvagnar AB:s anläggningar i Torslanda och Olofström”. Denna slutrapport avhandlar delprojektet ”Den tryckluftslösa fabriken”, vid Volvo Cars Body Components, Olofström. I en separat rapport avrapporteras de andra två delprojekten, ”Klimatanpassad ventilation i monteringsfabriken” samt ”Klimatanpassad ventilation i karosfabriken” vid Volvo Cars, Torslanda.

Projektet som drivits av Celero Support AB har delfinansierats av Energimyndigheten. Förutom Celero Support har parter från Volvo Cars, ABB Body-in-White, Linköpings Universitet och Energy@Optimum AB deltagit.

Linköping 2003-06-03

Bertil Magnusson, Celero Support AB

Bertil Åberg, Volvo Cars

Klas Gralén, Linköpings Universitet

Curt Björk, Energy@Optimum AB

Oskar Räftegård, Energy@Optimum AB

# Sammanfattning

Tryckluft är vida använd som bärare av energi inom industrin. Från den elenergi som matas in till tryckluftskompressorn fram till det arbete som tryckluften utför på det enskilda arbetsstället förloras emellertid ofta upp till 96 % av den inmatade energin – p.g.a. värmeförluster, tryckfall i ledningar, läckage och dålig verkningsgrad i verktyg. De arbetsuppgifter som tryckluften rutin- eller slentrianmässigt används till kan alternativt utföras med elektricitet som direkt drivkälla med betydligt högre verkningsgrad. Denna användning av tryckluft bör därför elimineras. Föreliggande rapport beskriver förutsättningarna för hur detta ska kunna ske.

Allmänt kan sägas att ju mer kvalificerad arbetsuppgiften är, desto självklarare blir det att den utförs med elektrisk drivning i stället för med tryckluft. Med eldrift fås generellt en exaktare och mer kontrollerad rörelse vilket ger en bättre reglerbarhet och flexibilitet. Pneumatiska skruv- och mutterdragare ersätts allt mer med elektriska, från mycket kvalificerade apparater med programmerbar åtdragningsrörelse till sladdlösa handhållna verktyg. Eldrivna verktyg används också för slipning, borrar och andra operationer.

Skälen till att man i många fall inte övergår till elektriskt drivna verktyg är främst ekonomiska och tradition. Framför allt är inköpskostnaden för elektrisk utrustning högre än för det pneumatiska alternativet. Den totala livscykelkostnaden, inkl. tyngre investeringar i t.ex. kompressorer, underhåll av maskinpark, driftkostnader och arbetseffektivitet talar många gånger istället för det elektriska alternativet.

Ett fall då tryckluften kan vara fördelaktig är enkla pneumatiska cylindrar vars elektriska motsvarighet med linjärmotor eller skruv är betydligt dyrare. I vissa fall, t.ex. spännen, vinner ändå det elektriska alternativet marknadsandelar. Andra hinder för övergång till elektrisk drift, så som snabbhet, utrymmeskrav och vikt, finns visserligen, men kan överkommas.

Volvo Personvagnars fabrik i Olofström har studerats med avseende på användningen av tryckluft, och i rapporten har ett antal olika operationer som kan ersättas med direkt eldrift angivits. I fabriken utnyttjas tryckluften för att bland annat driva ett stort antal linjära rörelser, t.ex. i svetstätter, för att skapa vakuum i sugkoppar, till vibratorer och i balanscylindrar, kopplingar och bromsar i pressarna. I samtliga fall finns det elektriska (alternativt lokala hydrauliska) alternativ att tillgå redan idag, men ekonomiska skäl och/eller tradition gör att dessa inte utnyttjas. Notera att de ekonomiska argumenten till stor del faller om även kostnader för tryckluftsnät, kompressorinstallering, etc. räknas in i jämförelsen.

En tidig åtgärd vid översynen av tryckluftsdrivna operationer i en fabrik är att göra en översyn av tryckluftssystemet självt. Ofta finns läckor och brister som gör att upp till 50 % av den inmatade tryckluftens energi försvinner på vägen fram till förbrukningsställena. Att åtgärda läckor kan alltså leda till att en eller flera kompressorer kan tas ur drift.

## **The factory without a pneumatic power system**

Compressed air is a widely used carrier of energy in industrial applications. The energy losses from the electrical input to the compressor to the output of the specific work operation could however be as high as 96 %, due to heat losses, pressure drops, leakage and low-performance tools. In applications where compressed air is used to by tradition or in a routine fashion alternative methods using electricity for direct drive give in almost all applications significantly higher system efficiency and lower total cost. These pneumatic applications should therefore be eliminated. The present report describes ways for achieving this.

From a general point of view you could say that the use of direct electrical drives in operations increases with the quality demands on the operation. Electric drives give a higher control (and are more lenient to both tool and work-piece) than pneumatic systems. Pneumatic drives benefit from cheaper tools/hardware. Pneumatic screwdrivers are nowadays often replaced by electrical ones, both in relatively simple tools (e.g. cordless handheld screwdrivers) and in qualified equipment with programmable movements. Electric high-frequency driven tools are also used in grinding and polishing, drilling and other operations.

The reasons for not switching to electrical tools are often given as economical or tradition. The investment cost is generally higher for the electrical equipment than for the pneumatic one. But to do a more righteous comparison you should include other costs such as compressor investments, maintenance, operational cost, work efficiency, etc in an economic assessment.

A linear electric movement – with a linear motor or a screw – is still more expensive than the use of a simple pneumatic cylinder. Other obstacles for converting to electric drives, like speed, space requirements and weight, are also there, but these problems are possible to solve. An electric clamp is e.g. one of the components gaining ground today.

Volvo Cars Body Components site in Olofström has been studied with reference to the use of compressed air. The plant uses compressed air in several operations for linear motion (clamps, spot welding guns, etc.), to create vacuum, in vibrators, in clutches and brakes in the presses and much more. For all applications, electric (or hydraulic) solutions are already available on the market, but have not yet been installed because of tradition or economic arguments. Several of the economic arguments become however invalid if life cycle costs, the costs of compressors and leakage etc. are included in the analysis.

A first measure in reviewing the operations driven by compressed air in a factory is to make a revision of the compressed air system itself. You will often find that up to 50 % of the air from the compressor leaks away. Eliminating the leaks will then result in the possible elimination of one or more compressors.

An English translation is available trough the Swedish Energy Agency.

# Innehållsförteckning

<b>1. Bakgrund och mål med projektet.....</b>	<b>1</b>
1.1 Bakgrund.....	1
1.2 Problemställning, Syfte och Mål.....	2
1.3 Genomförande av projektet.....	2
1.3.1 Tidsplan.....	2
1.3.2 Diskussion av gjorda erfarenheter.....	3
1.3.3 Förstudie och inledande mätning vid Olofström.....	3
1.3.4 Projektgruppen.....	4
<b>2. Arbetsmetod för effektivisering.....</b>	<b>5</b>
2.1 metodik vid utvärdering av befintligt system.....	5
2.2 Prioritera åtgärderna i rätt ordning.....	6
2.2.1 Vilka alternativa metoder finns?.....	6
2.2.2 Läckage: Sök, täta, analysera, sätt upp mål.....	6
2.2.3 Kvarvarande behov efter ersättning och tätning.....	9
2.2.4 Styrning av kompressorer mot verkligt behov / energioptimerat.....	9
2.2.5 Eventuell värme att återvinna.....	10
<b>3. Att jämföra tryckluft.....</b>	<b>11</b>
3.1 Verkningsgrader.....	11
3.2 Ekonomisk jämförelse.....	11
3.2.1 Systemjämförelse.....	12
<b>4. Automatiseringsleverantörer.....</b>	<b>14</b>
4.1 Systembyggare.....	14
4.2 Komponentleverantörer.....	14
<b>5. Om pneumatiska drivmetoder.....</b>	<b>15</b>
5.1 Produktion av tryckluft.....	15
5.2 Roterande rörelse med tryckluft.....	16
5.3 Effektivisering av tryckluftssystem.....	16
<b>6. Om hydrauliska drivmetoder.....</b>	<b>18</b>
6.1 Egenskaper hos hydraulsystem.....	18
6.2 Linjär rörelse med hydrauliska cylindrar.....	18
6.3 Roterande rörelse med hydraulmotor.....	18
6.4 Jämförelse med pneumatik.....	18
6.5 Jämförelse med elektromekanik.....	19

<b>7.</b>	<b>Om elektriska drivmetoder.....</b>	<b>20</b>
7.1	Olika typer av elmotorer .....	20
7.1.1	Likströmsmotorer .....	20
7.1.2	Växelströmsmotorer.....	21
7.1.3	Permanentmagnetiserade motorer .....	21
7.2	Användningsområden för de olika elmotortyperna.....	23
7.2.1	Varvtalsstyrd synkronmaskin och borstlös likströmsmaskin .....	23
7.2.2	Högfrekvensmatade maskiner .....	23
7.2.3	Motorer för handhållna verktyg.....	23
7.3	Marknadsutveckling för pneumatiska kontra elverktyg .....	24
7.4	Verkningsgrad hos elektriska motorer .....	24
7.4.1	Verkningsgrad hos stora växelströmsmotorer .....	24
7.4.2	Verkningsgrad hos små växelströmsmotorer .....	24
<b>8.</b>	<b>Alternativa drivmetoder .....</b>	<b>26</b>
8.1	Förflyttning .....	27
8.1.1	Linjär rörelse.....	27
8.2	Förflyttning/Transport.....	27
8.2.1	Vibratormatning .....	27
8.2.2	Transport med luft.....	27
8.2.3	Andra transportmetoder .....	27
8.3	Positionering och indexering .....	28
8.3.1	Linjär positionering .....	28
8.3.2	Roterande positionering .....	28
8.3.3	Roterande indexering .....	28
8.4	Gripning/Fasthållning .....	28
8.4.1	Elektriska spännen.....	28
8.4.2	Sugkoppar .....	29
8.4.3	Magneter .....	30
8.5	Koppling och bromsning .....	31
8.6	Montering.....	31
8.6.1	Skruvdragning .....	31
8.6.2	Punktsvetsning.....	32
8.6.3	Pressinpassning.....	32
8.7	Viktbalansering och dämpning.....	32
8.8	Bearbetning.....	32
8.8.1	Slipning .....	32
8.8.2	Stansning, pressning, etc.....	33
8.9	Rengöring och torkning .....	33
8.9.1	Rengöring.....	33
8.9.2	Torkprocesser .....	33
8.10	Dosering med pumpar .....	34
8.11	Ventilmanövrering .....	34
<b>9.</b>	<b>Volvo PVs fabrik i Olofström .....</b>	<b>35</b>
9.1	Pneumatiska operationer i Olofström .....	35
9.1.1	Presslinje.....	35
9.1.2	Sammansättningslinje .....	36
9.1.3	Övrigt .....	36

<b>10.</b>	<b>Ersättningsalternativ i Olofström .....</b>	<b>37</b>
10.1	Presslinje .....	37
10.1.1	Balanscylindrar .....	37
10.1.2	Kuddar .....	37
10.1.3	Manövrering av koppling .....	37
10.1.4	Manövrering av broms .....	37
10.1.5	Utkastare (vibratorer) .....	37
10.1.6	Muttermatare .....	38
10.1.7	Matare för arbetsstycken (sugkoppar).....	38
10.2	Sammansättningslinjer .....	38
10.2.1	Svetstänger robotar .....	38
10.2.2	Svetstänger i svetsautomater .....	38
10.2.3	Gripdon (matare – sugkoppar).....	38
10.2.4	Spännen.....	38
10.2.5	Formerare .....	38
10.2.6	Muttermatare .....	39
10.3	Övrig utrustning .....	39
10.3.1	Handslipmaskiner .....	39
10.3.2	Mätjigggar .....	39
10.3.3	Torkning.....	39
<b>11.</b>	<b>Resultat och Diskussion .....</b>	<b>40</b>
<b>12.</b>	<b>Litteraturförteckning.....</b>	<b>43</b>
12.1	Böcker och rapporter .....	43
12.2	Kataloger .....	43
<b>Appendix A.</b>	<b>Mätningar vid övre fabriken.....</b>	<b>44</b>
A.1.	Tryckluftssystemet vid övre fabriken .....	44
A.2.	Mätningar vid övre fabriken, monteringslinje .....	44
<b>Appendix B.</b>	<b>Mätningar vid nedre fabriken .....</b>	<b>45</b>
B.1	Loggning hösten 2000.....	45
B.2.	Flödesmätning vid södra fabriken presslinjer .....	46
B.3.	Stilleståndsförluster vid presslinjer .....	46
B.4.	Tillverkningsrelaterad förbrukning vid presslinjer .....	47

# Läsanvisning

De inledande kapitlen innehåller bakgrundsbeskrivning till projektet och diskussion av förstudien.

Kapitel 2 ”Arbetsmetod för effektivisering” rekommenderas för den som vill komma igång och arbeta med förbättringar av det egna systemet. Kapitlet innehåller en rekommenderad arbetsgång för att komma tillrätta med onödig och ekonomiskt icke försvarbar användning och produktion av tryckluft.

Allmänna beskrivningar av pneumatiska, elektriska och hydrauliska system, hur de kan jämföras med varandra och vilka skillnader som finns beskrivs i kapitel 3 till 7.

Förslag på alternativa drivmetoder till tryckluft finns i kapitel 8, notera att detta till viss del bygger på tidigare kapitel.

Fallstudien, Volvo Cars pressverk i Olofström beskrivs i kapitel 9 och 10.

Resultat och diskussion återfinns i kapitel 11.

# Kapitel 1. Bakgrund och mål

Denna rapport utgör en av två slutrapporter för ett projekt benämnt ”Energibesparande åtgärder för Volvo Cars anläggningar i Torslanda och Olofström”. Denna slutrapport avhandlar delprojektet ”Den tryckluftslösa fabriken”, vid Volvo Cars Body Components, Olofström. I en separat rapport avrapporteras de andra två delprojekten, ”Klimatanpassad ventilation i monteringsfabriken” samt ”Klimatanpassad ventilation i karosfabriken” vid Volvo Cars, Torslanda. Studieobjekten för projektet valdes så att man skulle få rikhaltigt material för en ordentlig belysning av respektive problemställning. I denna rapport behandlas tryckluftprojektet.

Med ”den tryckluftslösa fabriken” avses produktion utan generell användning av tryckluft. Det ultimata målet är att uppnå den helt tryckluftslösa fabriken.

Rapporten beskriver hur generell användning av tryckluft kan ersättas. Hur olika typer av funktioner kan ersättas, liksom de alternativa kraftkällor som kan används istället för tryckluft. Dessutom behandlas hur ett befintligt tryckluftssystem skall förbättras och i vilken följd olika åtgärder skall genomföras så att maximal nytta erhålls.

## 1.1 Bakgrund

Svensk industri använder betydligt mer elenergi än vad motsvarande industrier inom EU gör. Detta beror delvis på det låga elpriset som rått och råder på den nordiska elmarknaden, jämfört med till exempel Tyskland, Belgien, med flera. Den nordiska marknaden håller på att ersättas av en gemensam europeisk elmarknad, vilket medför att elpriset i Norden kommer att likna det inom övriga unionen. Idag domineras Europa av kolkondens på marginalen, vilket innebär ett elpris kring 40 öre/kWh. Ett högre elpris betyder att det inte längre kommer att vara ekonomiskt optimalt att använda lika stora mängder el som idag. Ett exempel på detta är att använda elektricitet till uppvärmning, använda tryckluft till torkning eller att inte investera i energibesparande utrustning, som frekvensstyrda pumpar, direkt drivna fläktar (istället för remdrivna), och så vidare.

Tryckluft är ett väldigt praktiskt media för användaren, är enkelt att tillgå och använda. Utrustningen som drivs med tryckluft är ofta billig och väl beprövad. Baksidan är de stora verkningsgradsförluster som systemen har. Om förluster i komprimering, distributionsförluster (läckage) och dålig verkningsgrad i den tryckluftsdrivna utrustningen slås samman nås en totalverkningsgrad under 10 %, vilket gör systemet dyrt i drift. Värmeåtervinning gör att en del av driftkostnaden kan återfås, om behov av värmen finns. En annan fråga är om värme från produktion av ”läckage-luft” är att betrakta som återvinning då någon nytta aldrig har funnits.

## **1.2 Problemställning, Syfte och Mål**

Kan det generella tryckluftssystemet elimineras (Volvo Car Body Components, Olofström)?

Syftet med projektet är att påvisa att tryckluft används allt för generellt i tillämpningar där det inte är ekonomiskt eller tekniskt försvarbart och visa att det finns andra bättre tekniker för dessa tillämpningar.

Målsättningen är att skapa en helt tryckluftslös fabrik, d.v.s. hitta alternativa lösningar till samtliga applikationer som använder tryckluft.

## **1.3 Genomförande av projektet**

### **1.3.1 Tidsplan**

Under hösten 1999 och våren 2000 utfördes en förstudie av möjligheten att ersätta tryckluftsdrevning med andra alternativ (främst el) vid Volvofabriken i Olofström. Förstudien bekostades av Volvo och utfördes under Vattenfalls ledning i väntan på att projektanslag skulle beviljas från Energimyndigheten. Deltagare i förstudien var förutom Vattenfall också Celero Support (ansvariga för Volvos fastigheter), Volvo Cars Body Components (VCBC), Linköpings Tekniska Högskola och ABB Body-in-White (BiW).

Förstudierapporten, daterad 2000-06-29, konstaterar att förutsättningarna för att hitta ersättare till tryckluft är realistiska både ur ett tekniskt och ett ekonomiskt perspektiv.

I början av hösten 2000 kom besked om beviljade projektpengar från Energimyndigheten till Celero Support, och arbetet återupptogs, denna gång med deltagande parter förutom Celero Support, även ABB BiW, VCBC, Energy@Optimum och Linköpings Tekniska Högskola.

Energimyndigheten har totalt bidragit med 2,35 miljoner kronor, till samtliga delprojekt inom ramen för ”Elenergiesparande åtgärder för Volvo Cars anläggningar i Torslanda och Olofström”. Projekten har drivits av Celero Support.

Under hösten 2000 utfördes ett antal mätningar på tryckluftsförbrukningen för att ytterligare klarlägga vilka de stora förbrukarna är. Ett antal ytterligare fakta har därvidlag framkommit om de olika utrustningarna utöver vad förstudien gav.

Förutom mätningarna har ett antal intervjuer med leverantörer utförts.

I april 2001 gjordes en studieresa till Bosch i Murrhardt, Tyskland, för att ta del av deras erfarenheter när det gäller alternativ till tryckluft.

### **1.3.2 Diskussion av gjorda erfarenheter**

Från förstudien stod det klart att eldrivna alternativ för alla de studerade operationerna är teoretiskt möjliga. Arbetet med att hitta sådana alternativ har sedan bland annat inneburit kontakter med leverantörer av automatiseringsutrustning för att hitta kommersiellt tillgängliga lösningar.

När det gäller vissa typer av operationer (skruv- och mutterdragning, slipning och borring) finns sedan länge beprövade elektriska utrustningar (generellt sett dyrare komponenter, men lättare att styra än motsvarande tryckluftsdrivna sådana).

Det är däremot svårare att få grepp om elektriska drivenheter ("elektriska cylindrar") när det gäller enklare rörelser (klämmor, linjärflyttningar i allmänhet). I början av 2000 ryktades det om sådana möjligheter, men man var av kommersiella skäl mycket förtegen om mer precisa detaljer. År 2002 finns mer konkreta uppgifter att tillgå (el-spännen, el-cylindrar), och det verkar som om ett genombrott på området kommer inom något år. Det är framförallt priset som verkat hindrande för marknadsföringen hittills, och utvecklingen har därmed inte betonats. Nu står det alltmera klart att även om inköpspriset är högre än för motsvarande tryckluftsdrivna utrustning så blir total LCC (life cycle cost) lägre och flexibiliteten i bl.a. styrbarhet större.

### **1.3.3 Förstudie och inledande mätning vid Olofström**

Vid förstudien konstaterades att den sidobalkslinje som var föremål för studien enbart förbrukade en liten del av den totalt levererade tryckluftsmängden. När även övriga monteringslinjer togs med i beräkningen återstod fortfarande cirka 75% av förbrukningen, och denna kunde främst hänföras till presslinjerna.

Det fortsatta arbetet koncentrerades därför till mätning av en presslinje, där en effektivisering skulle kunna ge ett större resultat. Ett förväntat resultat från mätningarna var att hitta ställen där förbättringar i tryckluftssystemet och anslutna produktionsutrustningar skulle kunna ge rejäla besparingar, även om slutmålet för studien var att hitta alternativ som helt eliminerar behovet av tryckluft.

I kapitel 9.1 och kapitel 10 nedan finns en detaljdiskussion av de olika tryckluftsförbrukarna tillsammans med förslag till alternativa lösningar.

### **1.3.4 Projektgruppen**

I projektgruppen har följande personer har ingått:

Bertil Åberg, Volvo Cars Body Components

Bertil Magnusson, Celero support AB

Karl Nordlund, Celero support AB

Klas Gralén, Linköpings Universitet, Energisystem

Björn Karlsson, Linköpings Universitet, Energisystem

Curt Björk, Energy@Optimum AB

Oskar Räftegård, Energy@Optimum AB

Peter Åberg, ABB Body-in-White

Fredrik Edlind, ABB Body-in-White

## Kapitel 2. Arbetsmetod

Detta kapitel beskriver ett strukturerat tillvägagångssätt för att effektivisera och helst helt eliminera tryckluftens behov i en industriell anläggning. I detta arbete bör resultaten avseende teknikval och alternativ till tryckluft som presenteras i denna rapport vara till hjälp.

Vid start med en genomgång av tryckluftsanvändningen i den egna anläggningen kan ambitionsnivån läggas på att helt eliminera tryckluften. Det är dock inte helt självklart att man kommer att lyckas såväl tekniskt som ekonomiskt med att helt ta bort all tryckluftanvändning. Detta projekt och de resultat som återfinns i rapporten, visar att alternativ finns i stort sett inom alla användningsområden. Av skilda anledningar kan dock kompromisser krävas, t.ex. innebärande att det av kostnadsskäl inte går att bygga bort pneumatik inne i maskiner, att någon tryckluftanvändare blir kvar i ett hörn av fabriken, etc. Nedanstående metodik hjälper även till i dessa fall, så att den besparingspotential som finns hämtas hem så långt som möjligt.

Utgående från erfarenhet, börjar åtgärderna ofta i fel ände, och symptomen åtgärdas snarare än sjukdomen i sig. Tydligt exempel på detta är när värmeåtervinning från tryckluftkompressorer hamnar först på en åtgärdslista. Detta bör hamna sist. Varför investera i värmeåtervinning innan förbrukning och läckage minimerats, eller ännu bättre, tryckluften tagits bort helt och hållet. Ett annat exempel är investering i ytterligare kompressorkapacitet när förbrukningen ökat drastiskt, istället för att först läcksöka.

### 2.1 Metodik vid utvärdering av befintligt system

Ett tryckluftssystem i en fabrik har ofta en lång historia bakom sig. Ombyggnation och tillbyggnation har inte nödvändigtvis skett med en minimering av luftförbrukningen i åtanke. Att addera kompressorkapacitet till ett gammalt läckande system för att ge försörjning till nya utrustningar är vanligt, istället för att se över det gamla systemet och täcka läckorna och på detta sätt få tillräcklig kapacitet. Stora driftkostnadsbesparingar kan fås genom att renovera befintligt system. Att tätat läckor och se till att produktionsutrustning inte förbrukar tryckluft när den inte är i drift är åtgärder förknippade med kort pay-offtid.

## 2.2 Prioritera åtgärderna i rätt ordning

Gör inte misstaget att börja längst ner i prioritetsordningen, det vill säga med värmeåtervinning. De flesta börjar där idag. Varför skall du investera i värmeåtervinning från en anläggning som inte skall finnas kvar särskilt länge till?

### 2.2.1 Vilka alternativa metoder finns?

Ersätt så mycket som möjligt av tryckluftanvändningen!

För vilka operationer kan inte acceptabla alternativ till tryckluft hittas, det vill säga: var skall tryckluften vara kvar? Teknisk och ekonomisk analys avgör detta. Vilka nuvarande system skall ersättas på kort sikt med andra alternativ? Vilka skall ersättas på längre sikt? Hur kommer teknikutveckling gällande komponenter att bli? När skall mina nuvarande tryckluftanslutna maskiner bytas ut? När så skall ske: Se då till att ha kravspecifikationen klar, med krav på att maskinen / anläggningen ej kan anslutas till tryckluft. Att undvika tryckluftsdriven utrustning vid re-investeringar eller utbyggnation innebär också att kompressorparken inte behöver förnyas i samma omfattning, även om dessa investeringar inte sammanfaller i tiden. Detta kräver ett policybeslut som syftar till att helt bygga bort all tryckluft och då skall naturligtvis inte nya utrustningar som kommer in kräva tryckluft.

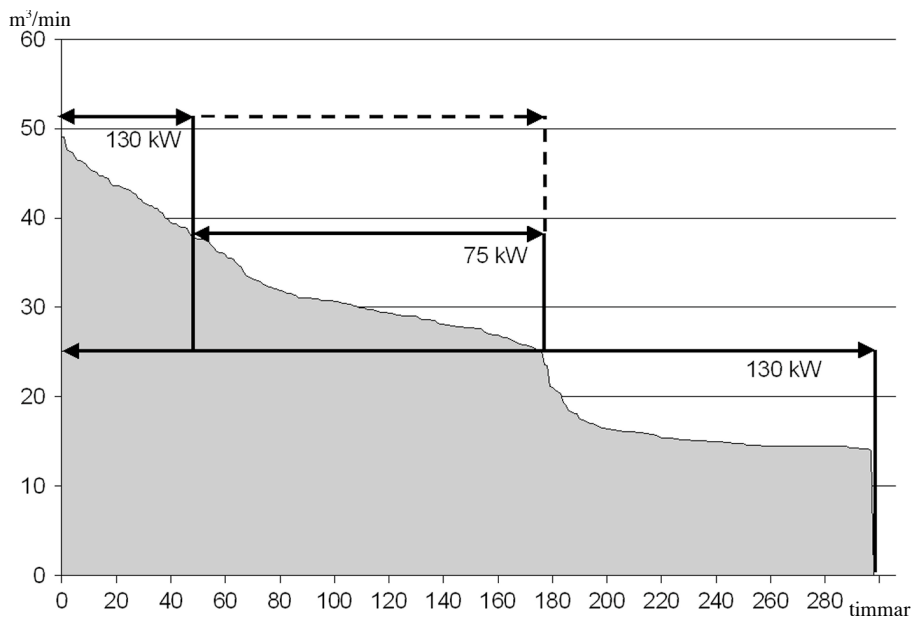
Om det mot förmodan skulle finnas någon tryckluftanvändning kvar efter att alternativa metoder och utrustningar införts så finns det mycket att göra med de anläggningar man har kvar för tryckluftproduktion och -distribution:

### 2.2.2 Läckage: Sök, täta, analysera, sätt upp mål

Till att börja med bör man skaffa sig en allmän uppfattning om systemets status. Utöver att ha koll på att kompressorerna fungerar rent mekaniskt bör mätningar genomföras. Dessa ger ett betyg på hur väl anläggningen motsvarar det tryckluft-behov som finns.

Att mäta är att veta

Det är svårt att exakt mäta tryckluftsflöden och mobila mätare som inte kräver ingrepp i rörledning existerar knappt. Finns det inte redan en mätare installerad, är det både besvärligt och dyrt att montera in en. Ett lätt sätt att kringgå detta är att mäta hur mycket kompressorerna utnyttjas istället. Genom att mäta tider för av- och pålastad drift på kompressorerna kan en detaljerad analys av systemet göras. Bland annat går det att se utnyttjandegrad, läckagenivåer, om kompressorerna är rätt dimensionerade, om de rätta kompressorerna går för olika driftfall etc. Dessutom går det att uppskatta ekonomiska konsekvenser till följd av dessa brister i systemet. Moderna kompressorer med variabel produktion är vanligen försedda med en analog utgång (t.ex. 4-20 mA) vilken kan loggas.



**Figur 3.1** Varaktighetsdiagram för en mätperiod på knappt 300 timmar. Helg (stillestånd) utgör de sista 100 timmarna. Pilarna markerar produktionskapacitet och drifttider för kompressorerna

Förbrukningen i figuren ovan har beräknats genom att logga tider för av- och pålast för kompressorerna i systemet. Ur figuren kan läckagenivån bestämmas till ca  $14 \text{ m}^3/\text{h}$ , eller knappt 30 % av maximal förbrukning. Det är också möjligt att finna en lämplig driftstrategi för befintliga kompressorer, eller avgöra lämplig kapacitet för en nyinvestering med hjälp av figuren.

En kompressor med för stor kapacitet är ineffektiv i flera aspekter. Figuren ovan visar ett förslag på att investera i en 75 kW-kompressor som komplement till dagens två 130 kW-kompressorer. Om läckaget kan minskas något, räcker dessutom 75 kW-kompressorn till för att täcka behovet under helgerna.

### Stilleståndsvandring

Gå runt i fabriken när produktionen står still (på natten eller söndag morgon) och lyssna efter pysljud. Örat duger för att hitta de flesta läckage och ”såpvatten” kan användas för att exakt bestämma vart läckaget sker. Glöm inte att många större maskiner har anslutning nere i källaren. Att investera i en ultraljudssond för läckagesökning är därutöver en snabbt återbetald åtgärd.

Det är inte bara dåliga slangkopplingar som är att betrakta som läckage. Det är vanligt att funktioner som går kontinuerligt under produktionstid, även går under stillestånd, eftersom de saknar avstängningsfunktion som är relaterad till produktionsflödet. Dysor för renblåsning eller torkning och omrörning i kärl med luftinblåsning, är synnerligen ineffektiv användning. Dessa funktioner skall absolut inte vara i drift under stillestånd.

En generell iakttagelse är att läckagenivåerna är lägre i lokaler med mindre bullrande verksamhet. I sådana lokaler hörs läckaget bättre, det stör ofta musiken från radion som står på etc. Detta medför att man är mer benägen att täta uppkomna läckage i en sådan miljö. I bullriga lokaler hör man inte läckaget på samma sätt.

Efter att ”operation tätning” genomförts görs en ny mätning eller stilleståndsavläsning. Har läckagenivåerna minskat? Behövs en andra läcksökning? Se till att mätningar av läckagenivåerna görs regelbundet och att läcksökning med uppföljning sker då det behövs. Större delen av läckaget är lätt att åtgärda, har en låg åtgärdskostnad och snabb återbetalningstid.

### Acceptabel läckagenivå

Vad som kan accepteras gällande läckage beror på ett antal faktorer, t ex vilka kostnader läckaget förorsakar, vad kostar det att ha personal som arbetar med läckagesökning och tätning etc. En alltför lågt satt högsta läckagenivå kostar mer att nå ner till än det ger i intäkt att bli av med och innebär således en dålig total ekonomi. Acceptabelt kan vara 10 – 20 % läckage uttryckt i andel av tryckluftbehov vid full produktion. När man överskrider denna nivå är det dags att sätta in läckagesökning och efterföljande underhållsåtgärder för att nå ner under acceptabel nivå igen.

### Trycknivåer

En trycksänkning från 7 till 6 bar, det vill säga med 14 %, sänker kompressorns energibehov med ca 8 % och läckaget med ca 14 %, vilket beroende på läckagenivå, ytterligare minskar energianvändningen. En liten trycksänkning kan alltså ge en betydande kostnadssänkning. Ta därför reda på vilket tryck som egentligen behövs, vilken/vilka komponenter är kritiska? Kom ihåg att de flesta utrustningar är överdimensionerade gentemot faktiskt behov. Kan trycket sänkas ytterligare under stillestånd då ”kritisk” produktionsutrustning är frånslagen?

### **2.2.3 Kvarvarande behov efter ersättning och tätning**

#### Centralt eller decentraliserat

Om bara några få pneumatiska utrustningar finns kvar är det dags att ifrågasätta om man verkligen skall försörja detta behov från en centralt placerad kompressorcentral och då också hålla tryck i ett omfattande (och läckande) distributionssystem. Ett mycket energieffektivare val innebär att man försörjer dessa kvarvarande behov lokalt, med mindre kompressorer på plats intill utrustningen.

#### Sektionering av lokaler/maskiner/liner

Sektionering kan vara ett bra sätt att förhindra läckage vid stillestånd. Särskilt effektivt blir detta om de olika sektionerna har skilda drifttider. Sektioneringen kan även användas för att finna de avdelningar där läckaget är som störst, genom att jämföra stilleståndsförbrukningen med olika delar av nätet bortkopplat.

#### Kontrollera hur kompressorerna går

Går rätt kompressor (fungerar styrningen) och finns rätt kompressor. Att kompressorer är överdimensionerade är vanligt. En stor kompressor är en större investering och har ett kostsammare underhåll än en mindre rätt dimensionerad kompressor. Kompressorers driftkostnader är också högre eftersom den förbrukar 20-50 % av pålastad effekt då den går avlastad, d.v.s. utan att tillverka tryckluft. En rätt dimensionerad kompressor går också skonsammare då den gör färre på- och avlastar. Dessutom släpps en mindre mängd komprimerad luft ut varje gång kompressorn avlastar. Med många av- och pålastar blir denna förlust betydande. Även för andra typer av reglering än av/pålast, t.ex. frekvensstyrda kompressorer, tappar i verkningsgrad när kompressorn går på dellast.

Det kan alltså vara lönsamt att köpa in en rätt dimensionerad kompressor, fast det redan finns gott om kapacitet och kompressorer.

### **2.2.4 Styrning av kompressorer mot verkligt behov / energioptimerat**

Med grund i vad som ovan sagts om tryckluftkompressorers drift och energibehov vid avlastat respektive pålastat läge inses att tiden i avlastad position skall minimeras. Tyvärr är det inte så vanligt att de styrsystem som finns på marknaden fokuserar just energianvändningen och att minimera denna. Fokus ligger istället oftast på att hålla ett så snävt tryckband att reglera inom samt att se till att samtliga kompressorer får ungefär samma drifttid.

Ett optimalt sätt att styra tryckluftkompressorer bör istället gå ut på att alltid möta aktuellt tryckluftbehov med rätt kombination av kompressorer och att minimera tiden i avlastad drift. Detta säkerställs med hjälp av matematisk optimerande algoritmer och ett ökat reglerband inom vilket trycket kan regleras.

### **2.2.5 Eventuell värme att återvinna**

I sista hand kan värme återvinnas för att minimera skadorna, om man nu verkligen måste ha tryckluften kvar. Dyrare värmepanna finns dock ej, om häsyn tas till drift och underhållskostnader, för att inte tala om investeringskostnad.

#### Underlag för värmeåtervinning

Utgå från att 70 % av tillförd elenergi kyls bort i oljekylaren (om oljekyld kompressor) som kyler oljan till 70 – 80°C och att 25 % hamnar i luften som skall kylas minst till ca 30°C. Det är möjligt att tillvarata upp till 90 % av elenergin som hetvatten om temperaturdifferenser och behov av värmeenergi är rätt både till storlek och i tiden.

# Kapitel 3. Att jämföra tryckluft

## 3.1 Verkningsgrader

Till att börja med är luft ett kompressibelt medium som är omöjligt att komprimera på ett idealt sätt. Behovsvariationer gör att kompressorerna inte går optimalt. Dessutom måste luften torkas och filtreras innan den distribueras. Distributions-systemet (rörledningarna) ger upphov till ytterligare förluster (strömningsförluster och läckage). Väl framme vid förbrukaren kan verkningsgraden vara svårberäknad. Hur jämför man en borste med en luftpust som blåser bort hyvelspån?

Både Atlas Copco och Kaeser anger att 94 % av tillförd energi går att ta tillvara för andra ändamål (lokaluppvärmning, hetvatten, etc.) och att 2 % är strålningsvärme från maskinerna. De sista 4 % anges som värmeenergi i den komprimerade luften. När den komprimerade luften expanderar (uträttar arbete), kylvärmen den omgivningen.

Hur mycket energi innehåller då 1 Nm<sup>3</sup> tryckluft komprimerad till 7,5 bar(g)? En större skruvkompressor som jobbar optimalt använder ca 0,10 kWh/m<sup>3</sup>. Mindre kompressorer har något högre användning. Glöm inte att typ av tork påverkar, liksom övriga driftförhållanden, så som luftens temperatur, fukthalt och tryck.

Mer intressant är egentligen kostnaden per kubikmeter i det aktuella systemet. Större delen av den totala kostnaden ligger är vanligen energikostnaden. Att räkna ut hur mycket energi det åtgår att producera en viss mängd tryckluft i det aktuella systemet, är inte så svårt. Mät energiåtgång och drifttider (för av- och pålast) på kompressorerna under en vecka så kan en uppskattning göras. Glöm inte bort ev. externa torkar. Underhållskostnader kan beräknas från fakturor och uppskattad arbetstid. Kompressorernas investeringskostnad delas lämpligen upp per år med en antagen livslängd för kompressorn.

## 3.2 Ekonomisk jämförelse

De flesta ekonomiska jämförelser som görs mellan tryckluftsdreven och annan utrustning berör endast skillnaderna i produktionsutrustning. Detta innebär att investerings-, underhålls- och driftkostnader samt arbetseffektiviteten hos enbart produktionsutrustning tas med i den ekonomiska jämförelsen.

Men för att ge en rättvisande ekonomisk jämförelse mellan två olika system är det viktigt att systemgränserna dras på ett korrekt sätt så att alla kostnader under den tekniska livslängden tas med i jämförelsen. Förutom investerings- och förbrukningskostnader för produktionsutrustningen bör även kostnader för distributionsystem tas med, det vill säga tryckluftskompressorer, kyltorkar, tryckluftsnät, alternativ elektrisk kringutrustning och så vidare. Även läckage bör räknas med, då detta är ofrånkomligt i ett pneumatiskt system.

### 3.2.1 Systemjämförelse

Nedan räknas ett antal systemkomponenter upp och vilken typ av kostnader de främst är förknippade med.

#### *Ett pneumatiskt system*

- Kompressorcentral internhyra, byggnation
- Kompressorer investerings-, drift- och underhållskostnader
- Trycktank(ar) investering, inspektion
- Filter (insugsfilter, dammfilter, etc.) investering och underhåll
- Oljeavskiljare investering och underhåll
- Torkutrustning (efterkylare, kyltork, adsorptionstork, etc.) investering, drift och underhåll
- Styr och reglersystem (övergripande styrsystem, frekvensomvandlare, etc.) investering och övervakning
- Kompressorkylsystem (värmeväxlare, ventilationssystem, rörsystem, pumpar, etc.) investering, drift och återvinning
- Distributionsnät (manometrar, ventiler, rör, slang) investering, läckagesökning, slangbyten, fogtätning, läckage, etc.
- Produktionsutrustning inköp, drift, underhåll och arbetseffektivitet
- Skruvdragare
- Slipmaskiner
- Sprutpistoler
- Renblåsningsmunstycken
- Pneumatiska cylindrar
- etc.

Förutom investerings-, underhåll-, och driftkostnader bör följande saker beaktas i det tryckluftsdrivna systemet.

Kompressorer är vanligen överdimensionerade, vilket leder till att de går avlastade stor del av tiden eller på del-last. Detta medför att verkningsgraden sjunker. Överdimensionering med mer än 100 % är inte ovanligt. Ofta finns extra kompressorer utifall någon kompressor faller bort, vilket även det ökar investeringskostnaderna.

Läckage, inklusive produktionsutrustning som förbrukar tryckluft utan att något produceras, utgör ofta en stor andel av normal förbrukning. Erfarenheten från ett antal loggningar på ett brett spektrum av företag av olika storlek och inom olika branscher är att läckagets andel vanligen uppgår till 30-50 % av högsta produktionsuttag. Tryckluft förbrukas således i betydande omfattning som läckage och utan att produktion sker. Läckaget bidrar också till ytterligare överdimensionering av kompressorer, gentemot faktiskt behov.

#### *Ett elektriskt system*

- Extra elsystem (kablage, apparatskåp, etc.) *investeringskostnad*
- Högfrequensnät (300 Hz) *investeringskostnad*
- Utökat trefas elnät (400 V) *investeringskostnad*
- Laststyrningssystem *investering och övervakning*
- Ackumulatorladdare *investerings-, drift- och underhållskostnader*
- Ackumulatörer *investerings- och underhållskostnader*
- Produktionsutrustning *inköp, drift, underhåll och arbetseffektivitet*
- Verktyg (skruvdragare, slipmaskiner, etc) *investerings-, drift- och underhållskostnader*
- Elektriska cylindrar *investerings-, drift- och underhållskostnader*
- Elektromagneter *investerings-, drift- och underhållskostnader*
- Avancerade frekvensomriktare som klarar att momentstyra anslutna elmotorer *investerings- och driftkostnad*

Vad som behövs beror på vilka aktiviteter som skall ersätta tryckluften. Ett avskärmat 300 Hz elnät kan vara en lösning, en annan att ha maskiner med små separata omriktare i. Trefas är utmärkt även för små motorer under 100 Watt, vilket kräver ett utökat nät. Avancerade frekvensomriktare som inte skapar störningar och som kan momentstyra elmotorer kan ersätta ett otal tillämpningar på ett enkelt sätt.

När produktionen står stilla i det tryckluftslösa systemet bör elförbrukningen vara obefintlig, så när som på eventuell ackumulatorladdning. Tryckluftsläckaget, närmaste elektriska motsvarighet: kortslutningen, är inte tillåten och elektriska system är dessutom enkla stänga av då de ej används.

Det finns risk för effektspikar vid en exakt samtidig inkoppling av många komponenter i ett elektriskt system, men denna torde i praktiken inte vara särskilt hög, jämför även med effektuttaget från motsvarande tryckluftssystem. En liten pneumatisk skruvdragare drar som mest kring 5,5 l/s, vilket motsvarar ca 2 000 W i kompressoreffekt<sup>1</sup> (utan läckage, lufttork, etc.). En liten elektrisk skruvdragares effektuttag rör sig om mindre än 100 watt.

---

<sup>1</sup> Antag: 0,1 kWh/m<sup>3</sup>

## **Kapitel 4. Automatiseringsleverantörer**

Automatiseringsutrustningen i en fabrik kan ha flera ursprung. Ett vanligt förfarande är att man beställer en helt ny linje från en systembyggare, som i sin egen fabrik bygger upp linjen och testar den innan den flyttas till den fabrik där den ska användas. Systemleverantören utnyttjar i sin tur komponentleverantörer för de olika delarna i en sådan linje.

Kompletteringar till en befintlig linje i en fabrik kan sedan byggas av fabriken egen personal där stor kompetens finns samlad när det gäller underhåll och drift av de olika linjerna. Det finns dock i regel ett fortsatt samarbete mellan systemleverantören och produktionsansvariga även långt efter det en linje tagits i drift.

### **4.1 Systembyggare**

En byggare av automatiseringssystem har stor samlad erfarenhet av hur olika linjer fungerar med alla sina ingående detaljer. Man har också egna lokaler där nya linjer kan byggas och trimmas in innan de skickas till den mottagande fabriken för idrifttagande.

Exempel på systemleverantörer är ABB BiW, Bosch, COMAU, Electrolux, KUKA, SKF, med flera.

### **4.2 Komponentleverantörer**

Många systemleverantörer har utvecklat egna standardiserade komponenter för automatiseringslinjer (transportbanor, linjära rörelser, aluminiumprofiler för linjebyggnaden etc.). En del av dessa komponenter säljs också separat, medan andra leverantörer mera koncentrerar sig på komponentleverans.

Exempel på komponentleverantörer är Atlas Copco, Bosch, Festo, LINAK, Rexroth-Mecman, SMC etc.

# Kapitel 5. Om pneumatiska drivmetoder

## 5.1 Produktion av tryckluft

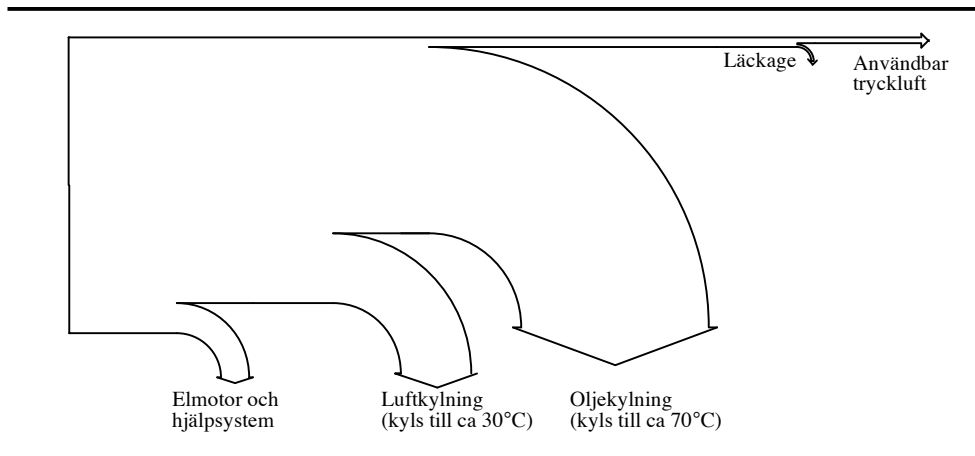
Tryckluften produceras vanligen av kolv- eller skruvkompressorer. Dessa brukar i större anläggningar placeras i en gemensam tryckluftscentral, tillsammans med filter, lufttorkar, etc., varifrån all tryckluft distribueras. Liksom många andra typer av utrustning tappar även kompressorer i verkningsgrad när de inte nyttjas full ut. En on/off-reglerad kompressor förbrukar vanligen 20-30 % av full effekt då den går avlastad (d.v.s. utan att producera något), vissa maskiner upp mot 50 %. Kompressorer med olika typer av steglös reglering brukar kunna regleras ned till ca 50-60 % av full effekt med någorlunda väl bibehållen verkningsgrad. Varvtalsreglerade skruvkompressorer kan även tappa i verkningsgrad vid hög utnytningsgrad.

Tryckluft är ett kompressibelt medium, vilket får till följd att det tekniska arbetet för att komprimera luft ökar kraftigt med stigande tryck. Normalt arbetstryck är ca 7 bar, men upp till 15 bar förekommer. Högre tryck än så är sällsynta dels på grund av minskande energiutbyte dels på grund av temperaturfenomen vid höga tryck och riskfaktorer med komprimerad gas.

Tryckluft betraktas inom industrimiljöer ofta som en "fri praktisk nyttighet". Tryckluft kostar inte något. Detta får som resultat att tryckluft överutnyttjas, då den dels "är gratis", dels används av gammal vana och dessutom har billiga komponenter vilket uppskattas vid inköp. Tryckluft är en mycket ineffektiv energibärare. Kompressionen innebär kraftig värmeutveckling. Värmen går till större delen att ta vara på, cirka 90 % går att få ut som 90°C varmvatten under rätt betingelser. Detta förutsätter dock att det finns ett behov av varmvatten.

Elektricitet	30 öre/kWh
Värme	25 öre/kWh
Bensin	98 öre/kWh (10 kr/l)
Tryckluft	750 öre/kWh (0 % läckage, ingen värmeåtervinning)
	500 öre/kWh (0 % läckage, värmeåtervinning 6 mån/år)

Att kompressorer går avlastade och att läckagen i systemen ofta är upp till 50 % förbättrar inte ekonomin.



**Figur 5.1.** Sankeydiagram som visar förhållandet mellan tillförd elenergi och utgående energi. En liten minskning av läckaget får ett stort genomslag på ingående elbehov.

I livscykelkostnaden för en tryckluftskompressor utgör kapitalkostnad och underhåll ungefär en fjärdedel av kostnaden. Resterande del utgörs av energikostnaden. Denna kan dock minskas med värmeåtervinning, om det finns behov av värmen.

## 5.2 Linjär rörelse med tryckluft

Den vanligaste tryckluftskomponenten för automation är cylindern för linjär rörelse. Tryckluftscylindrar är billiga och har lång livslängd varför alternativa lösningar idag främst konkurrerar med bättre prestanda (noggrannhet i styrningen, tystare och mjukare gång). Tryckluftscylindrar har slaglängder från några centimeter upp till flera meter och kraft på över 30 kN. Cylindrarna tillverkas i standardiserad storlekar av ett antal leverantörer och är därmed enkelt utbytbara.

## 5.3 Roterande rörelse med tryckluft

Tryckluftsmotorer används bl.a. i handverktyg, doseringspumpar och omrörare. Liksom för cylindrar finns det varianter som kräver oljeinblandning i luften respektive kan använda oljefri luft. I det senare fallet blir dock serviceintervallen kortare, eftersom lamellerna i motorns rotor slits fortare.

## 5.4 Effektivisering av tryckluftssystem

Ett projekt inom EU har undersökt de möjliga vinsterna av effektivisering av befintliga tryckluftssystem: Compressed air systems, market transformation study XVII/4.1031/Z/98-266. Man pekar på att de största energibesparingsmöjligheterna ligger i optimering av anslutna apparater, reducering av läckor i systemen samt återvinning av värme för andra funktioner.

Som ett exempel på optimering av anslutna apparater kan nämnas den cylinder som tagits fram av företaget POS-LINE. Man rapporterar för denna cylinder besparingar i tryckluftsåtgången med upp till 50 %.

Trots att de ansvariga ofta är medvetna om att läckaget är stort i ett tryckluftssystem är detta sällan föremål för åtgärder. Här finns en stor potential till besparingar. Problemet ligger egentligen i organisationen. Ge ansvarig både ansvaret, resurserna och kunskapen att läcksöka och åtgärda regelbundet.

Återvinning av värme är mycket sällan motiverat av uppvärmningsbehov av industrilokaler. En fabrik genererar typiskt så mycket värme från övriga processer att en aktiv uppvärmning av lokalerna endast är aktuell ett fåtal timmar per år.

Se kapitel 3 för utförlig beskrivning av arbetsmetod för effektivisering.

# Kapitel 6. Om hydrauliska drivmetoder

## 6.1 Egenskaper hos hydraulsystem

Hydraulpumpar och hydraulmotorer har en hög verkningsgrad, upp till 95 %, vilket får till följd att totalverkningsgrad på 80 % är fullt möjligt att erhålla. Systemen är mycket energitäta och används främst där effektkraven är höga, mer än 5 kW, och volymen begränsad. Exempel på industriella tillämpningar är omrörare, valsreglering, pressar, saxar, etc. Hydraulsystem arbetar normalt inte över 45 MPa (450 bar), men vissa fall upp till 1500 MPa. De senaste åren har olika typer av biologiskt nedbrytbara hydraulvätskor utvecklats, liksom vattenhydrauliken, på grund av ökad miljöhänsyn.

## 6.2 Linjär rörelse med hydrauliska cylindrar

Hydrauliska cylindrar används inom industrin till applikationer med krav på höga krafter och exakt reglering. Cylindrar finns i varierande utförande, dimension och längd. Större cylindrar inom industrin har krafter på över 400 kN. Mindre hydrauliska cylindrar används till exempel i bromssystemen på personbilar, ännu mindre finns som bromscylinder på exklusiva mountainbikes.

## 6.3 Roterande rörelse med hydraulmotor

Hydraulmotorer har lika bra verkningsgrader som hydraulpumpar, d.v.s. upp mot 95 %. De karakteriseras, liksom all hydraulik av hög effekttäthet. Detta gör dem lämpliga för applikationer med höga krav på vikt, volym, effekt, vridmoment och styrning. Effektmässigt finns de från några hundra watt till flera hundra kilowatt och vridmoment på tusentals Nm.

## 6.4 Jämförelse med pneumatik

Hydrauliska system har högre energitäthet, vilket ger betydligt mindre komponenter. De är även snabbare och har högre reglernoggrannhet. Hydraulsystem måste dock ha återledning av det energibärande mediet. Hydraulik och pneumatik har normalt olika applikationsområden, främst beroende på tryckdifferensen och därmed uppkomna skillnader i effekttäthet. Det finns dock små billiga hydrauliska system, exempelvis små integrerade cylindersystem.

## 6.5 Jämförelse med elektromekanik

I en jämförelse mellan elmotor och hydraulmotor är tröghetsmomentet i elmotorn 50 gånger högre, volymen 20 gånger större och vikten en faktor 10 högre. Hydraulmotorn är alltså betydligt mindre, lättare och accelerationsnabbare. Till skillnad från elmotorn behöver hydraulmotorn dock en hydraulpump som i sin tur drivs av t.ex. en elmotor för att fungera. Detta medför att hydraulik främst används i trånga utrymmen och när kraven på snabba och höga krafter är stora.

# Kapitel 7. Om elektriska drivmetoder

Elektrisk drivning sker i flertalet fall via roterande rörelse (elektriska motorer), även om det finns exempel på direkt överföring från elektrisk energi till linjär rörelse (linjära asynkronmotorer, dragmagneter). Rotationen omsätts sedan till linjär rörelse via en skruv, en kulskruv, en kuggstång eller en kuggrem.

Möjligheten till variation av varvtalet tillgodosågs länge enbart genom att man använde likströmsmotorer med variabel spänningsmatning. Gamla tiders järnvägslok och spårvagnar utnyttjade denna teknik. Med dagens teknik kan variabel likspänning genereras via styrda halvledarutrustningar (tyristorströmriktare), varvid även återföring av bromsenergi till elnätet blev möjlig. Från att man enbart kunde styra mindre motorer på detta sätt har man idag nått en utveckling där även stora maskiner kan styras via halvledare.

Halvledartekniken har även gett möjligheten att variera varvtalet på växelströmsmotorer (via frekvensomriktare). Frekvensomriktarna är generellt sett mer komplicerade utrustningar än tyristorströmriktarna, och det dröjde ganska länge innan större maskiner kunde varvtalsregleras på detta sätt. Men idag kan man nu i många fall utnyttja den här tekniken när det gäller varvtalsstyrning, och får då fördelarna av betydligt enklare och billigare motorer som kräver mycket litet underhåll.

## 7.1 Olika typer av elmotorer

Man kan grovt dela in elmotorerna i likströmsmaskiner och växelströmsmaskiner. Alla elektriska maskiner kan i princip köras antingen som motor eller generator (i fallet asynkronmotorn gäller dock speciella villkor).

### 7.1.1 Likströmsmotorer

De traditionella likströmsmaskinerna är utrustade med en mekanisk likriktare, kommutator, för att kunna omsätta den pålagda likspänningen till en roterande rörelse i motorn. Kommutatorn kräver underhåll, eftersom den slits både mekaniskt och elektriskt (gnistbildning), och det finns därför en generell önskan att ersätta likströmsmotorerna med växelströmsmotorer om det är tekniskt möjligt. Ett ytterligare skäl till att inte använda likströmsmotorer är att de på grund av gnistbildningen inte kan användas i explosionsfarliga miljöer.

### 7.1.2 Växelströmsmotorer

Växelströmsmotorerna finns huvudsakligen i två varianter – asynkronmotorn (induktionsmotorn) och synkronmotorn. I båda fallen alstras det vridande momentet av ett roterande elektromagnetiskt fält, och den utan jämförelse bästa lösningen att generera detta fält är att använda sig av trefas växelspanning.

För asynkronmotorn gäller att rotationshastigheten aldrig når upp till rotationshastigheten hos det elektromagnetiska fältet – maskinens varvtal ligger några procent under detta (eftersläpningen). Motorerna har ingen elektrisk förbindelse mellan stator (den fasta delen, höljet) och rotor, och är därmed billiga och kräver litet underhåll. Asynkronmotorn används företrädesvis i utrustningar där ett ungefär konstant varvtal önskas, men kan idag också dessa varvtalsstyras via frekvensomriktare.

Synkronmotorn roterar å andra sidan lika fort som det elektromagnetiska fältet. Större motorer har i regel en matning till rotorn (fältlindningen) via släpningar. Släpningarna kräver betydligt mindre underhåll än en kommutator.

#### *Linjära motorer*

En specialvariant av asynkronmotorn är den linjära motorn. I stället för att ha en roterande rörelse har man här ”skurit upp och brett ut” maskinen för att få en linjär rörelse. Statorn består av ett antal lindningar i en rät linje och i denna glider rotorn i form av en rak, lång aluminiumska som sticker ut på bägge sidor om statorn. Inne under statorn fungerar motorn med god approximation likvärdigt med sin roterande motsvarighet, men vid statorns ändar uppträder randfenomen som sänker verkningsgraden.

### 7.1.3 Permanentmagnetiserade motorer

Magnetlindningen i en likströmsmotor har som uppgift att alstra ett statiskt magnetfält, en uppgift som lika gärna kan skötas av en permanent magnet. Permanentmagneter kan idag användas för likströmsmotorer upp till åtskilliga kW i storlek, och har den fördelen att inga förluster sker i magnetiseringen.

I arbetet på att komma ifrån den underhållskrävande kommutatorn konstruerade man ganska tidigt den borstlösa likströmsmotorn (BLDC). I en BLDC har man flyttat magnetiseringen till rotorn (permanentmagneter) och har följaktligen ankarlindningen (den lindning som för den stora strömmen i maskinen) i statorn. Tricket är att ta reda på när man ska vända polariteten på strömmatningen så att rotationen fortsätter åt samma håll som tidigare, något som kommutatorn automatiskt sköter om i och med att borstarna har ett fast läge relativt statorn medan strömmen genom rotorn successivt växlas över till nya delar av lindningen. För avkänning av rotorns magnetfält i en BLDC använder man Hall-element, och med informationen från dessa kan den matande strömmen polvändas i rätt ögonblick. En lindning i en BLDC skall matas med en (i tiden) trapetsformad ström. Ju fler härvor i lindningen en BLDC har, desto mindre varierar momentet med rotorns vinkeläge (jämför en kommutator som i regel har ett stort antal lameller för detta ändamål).

En annan variant av borstlös maskin är den permanentmagnetiserade synkronmaskinen (PMSM). Här är lindningarna gjorda för sinusformad strömmatning, och för att styrningen skall fungera måste man ha en noggrann avkänning av rotorläget. Detta sker i regel med en resolver (en liten 2-fas-generator som ger som utsignal en sinussignal med en fasförskjutning som följer rotorns vinkelläge). En PMSM kräver mindre magnetmaterial än en BLDC och är därmed fördelaktigare än denna (trots den mer kostnadskrävande styrningen) när det gäller större maskiner eller där vikten är kritisk.

### *Stegmotorer*

Om man stoppar den roterande flödesvägen i en permanentmagnetiserad synkronmotor stannar rotorn i ett bestämt läge. Genom att låta flödet rotera stegvis i stället för kontinuerligt får man en motor som flyttar sig ett steg i vinkelläge för varje nu förflyttning av flödet en poldelning. Med en sådan drivning av flödet erhåller man en stegmotor, och man har med denna motortyp uppnått att vinkelläget kan bestämmas genom att ange antalet steg som man förflyttar flödet.

Antalet faser i stegmotorns lindning bestämmer hur många steg det är mellan rotorns stabila lägen – om man applicerar ett yttre moment som är större än motorns hållmoment kan man tvångsvis vrida rotorn detta antal steg till nästa läge där samma matning av flödet ger ett nytt stabilt läge.

En stegmotor måste styras noga för att undvika att den ”kuggar ur” om man försöker starta eller köra den för fort. Detta är speciellt kritiskt om motorns belastning har ett jämförelsevis stort tröghetsmoment då svängningar lätt kan uppstå.

Stegmotorer kan med fördel användas när man med digital styrning vill uppnå lägen som direkt kan anges i från styrutrustningen utmatat antal pulser.

## 7.2 Användningsområden för de olika elmotortyperna

### 7.2.1 Varvtalsstyrd synkronmaskin och borstlös likströmsmaskin

För dessa maskiner används en frekvensomriktare, och styrutrustningen blir jämförelsevis dyr. Maskinerna motiveras dock av den kvalitet man kan uppnå vid operationerna. Styrningen går att programmera och göra mycket precis samtidigt som data om de utförda operationerna kan lagras. Som jämförelse kan nämnas att en installation av en handhållen mutterdragare enligt detta koncept kostar c:a 100 kkr.

Maskinerna finns som skruv- och mutterdragare inom momentområdet 1 – 1000 Nm.

### 7.2.2 Högfrekvensmatade maskiner

Maskinerna matas i regel med 300 Hz växelström (optimalt med tanke på vikt och prestanda) och behöver därför en omformare från nätfrekvensen 50 Hz till 300 Hz. Maskinerna började användas redan under första hälften av 30-talet, och frekvensmatas via en roterande omformare. Idag finns dock halvledarbestyckade frekvensomriktare för detta ändamål, och dessa kommer att ersätta de roterande omformarna.

Maskinerna används som bormaskiner och slipmaskiner.

### 7.2.3 Motorer för handhållna verktyg

Handhållna verktyg har idag nått en stor grad av fulländning. Verktygen är utförda så att ett utbyte av slitdelar (exempelvis själva motorn) kan ske mycket enkelt. Den dominerande batteritypen är NiCd, och motorerna är av BLDC-typ. Stöldrisken är fortfarande ett problem, men kan åtgärdas genom elektronisk märkning av verktygen och sensorer vid in- och utpassage från fabriken eller genom exempelvis speciella laddningsaggregat.

#### *Vanliga elverktyg*

Vanliga elverktyg med elektriska universalmotorer för 50 Hz har den fördelen att de inte behöver någon speciell installation för kraftmatningen. De är dock tyngre än motsvarande HF-maskiner, och dessutom stöldbegärliga.

#### *Sladdlösa verktyg*

Drivs av borstlösa DC-motorer (BLDC). Är något tyngre än motsvarande tryckluftsdrivna verktyg, men har fördelen att inte behöva någon anslutning till arbetsstället (sladd eller slang som kan repa lack etc.). Stöldbegärligheten motverkas av att man tar fram speciella mekaniska anslutningar till batterierna av NiCd-typ och också av större laddningsaggregat, avsedda för flera batterier åt gången.

Används främst för skruvdragning. Inom bilindustrin täcker momentområdet 0 – 15 Nm 80 % av alla tillämpningar.

Laddningen medför vissa förluster, men även fördelar eftersom laddning i viss mån går att styra över till natt (lägre eltaxa).

### 7.3 Marknadsutveckling för pneumatiska kontra elverktyg

Enligt Bosch är marknaden år 2000 för några olika verktyg uppdelad enligt nedanstående uppställning. Där finns också en uppskattning av tillväxttakten för respektive verktygstyp.

Tabell 7.1: Uppskattning av marknadsandel och tillväxt för handverktyg. Källa: Bosch

Verktyg	Drivmetod	Andel	Tillväxt/år
Skruvdragare	Luftdrivna	70 %	≤ 0 %
	Momentstyrda (el)	15 %	10 %
	Eldrivna	10 %	5 %
Slipmaskiner	Sladdlösa	5 %	20 %
	HF-verktyg	5 %	15 %
	Tryckluftsdrivna	95 %	2 %

### 7.4 Verkningsgrad hos elektriska motorer

Allmänt gäller här att större motorer kan utföras med betydligt bättre verkningsgrad än mindre. 50 % verkningsgrad kan vara ett bra riktmärke för elmotorer som kan sättas in i stället för tryckluftsdrevningar.

#### 7.4.1 Verkningsgrad hos stora växelströmsmotorer

Tabell 7.2: Typiska värden för relativt stora asynkronmaskiner. Källa: ABB

Märkeffekt:	5,5 kW	18,5 kW	90 kW	250 kW
Verkningsgrad:	85 %	90 %	92 %	94 %

#### 7.4.2 Verkningsgrad hos små växelströmsmotorer

Nedan följer ett utdrag ur Dunkermotorens växelströmsmotorprogram:

Tabell 7.3: Verkningsgraden hos några småmotorer (Dunkermotoren).

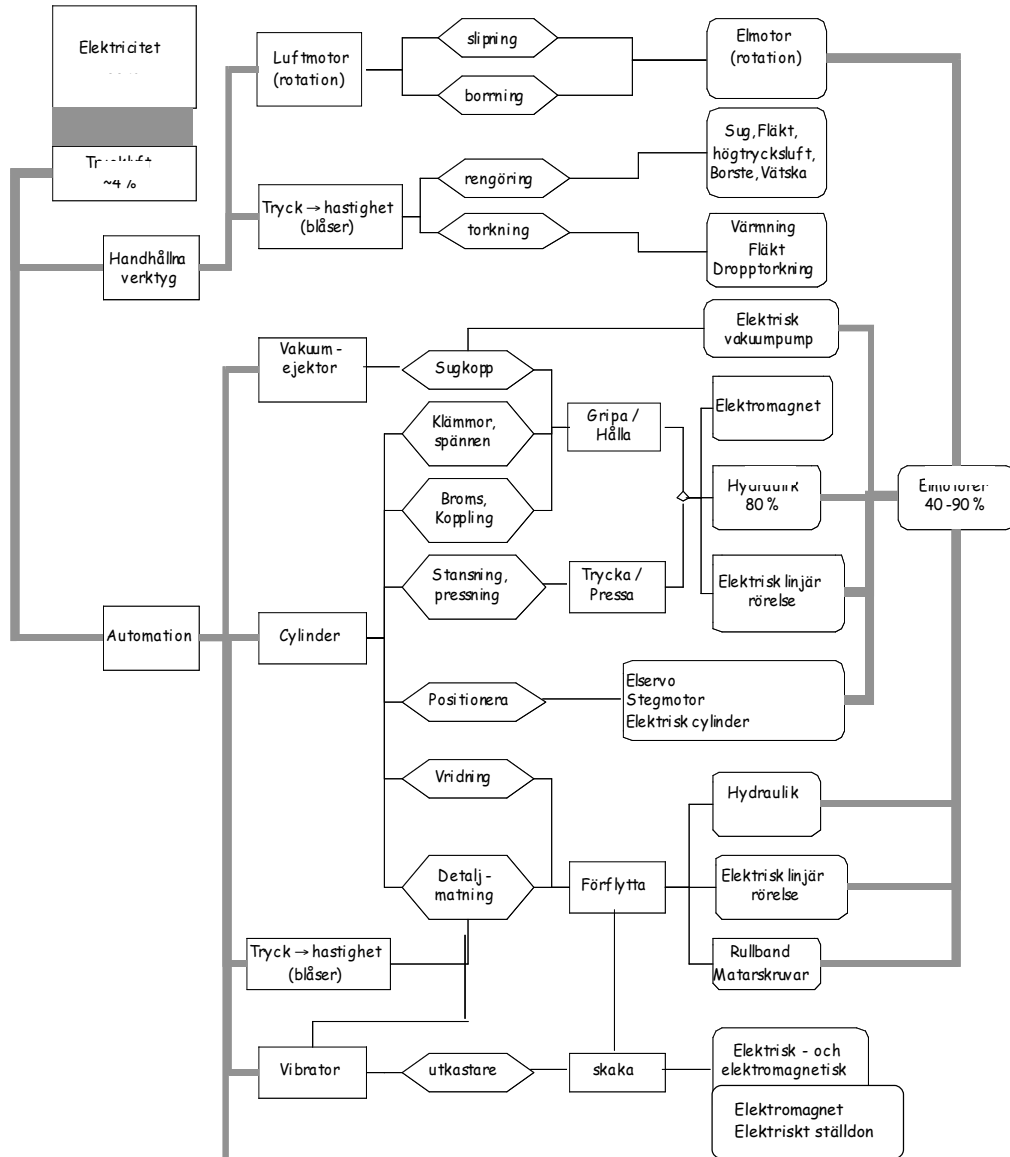
Motortyp:	Enfas kondensatormotor		Trefasmotor	
	KD62.1*60-4	KD52.0*40-2	DR52.0*60-2	DR62.0*80-2
Benämning:				
Ineffekt (W):	35	54	73	154
Uteffekt (W):	11	19	33	86
Verkningsgrad	31 %	35 %	45 %	56 %
:				

Verkningsgraden för en pneumatisk motor beror på systemet den ingår i. Utgå från att en liten tryckluftsdreven lamellmotor, 80-140 W, förbrukar 0,27-

0,33 Nm<sup>3</sup>/min 6,2 bar tryckluft. Åtgår 0,10 kWh/m<sup>3</sup> blir verkningsgraden i storleksordning ca 5 % exkl. kyltork, icke-optimal kompressordrift, läckage, etc. Medtaget detta sjunker verkningsgraden till under 3 % för ett normalt system. Att säga faktor 10 är därför inte överdrivet.

# Kapitel 8. Alternativa drivmetoder

Detta kapitel innehåller en diskussion av alternativ till drivning med tryckluft. De olika tryckluftsdrivna operationerna har klassats i några större grupper. En översikt över olika operationer som idag drivs med tryckluft och tänkbara alternativ visas i figur 8.1 nedan.



Figur 8.1 Schematisk beskrivning av alternativ till tryckluftsdrivna operationer

## 8.1 Förflyttning

### 8.1.1 Linjär rörelse

#### *Linjär rörelse med hydraulisk cylinder*

Hydrauliska cylindrar används inom industrin till applikationer med krav på höga krafter och exakt reglering. Cylindrar finns varierande utförande, dimension och längd. Större cylindrar inom industrin har krafter på över 400 kN. Mindre hydrauliska cylindrar används till exempel i bromssystemen på personbilar, ännu mindre finns som bromscylinder på exklusiva mountainbikes.

#### *Linjär rörelse med elektriska cylindrar*

Elektriska cylindrar tas fram när marknaden så kräver. Flera leverantörer, Festo, Tüncers etc., uppger att man har erforderlig kunskap om området och är beredda att med kort varsel ta fram sådana enheter i större skala. Elektriska cylindrar har mycket god precision och använder inte mer energi än vad aktuell last kräver. En pneumatisk cylinder som överdimensionerats med en faktor två och har en obelastad återrörelse, förbrukar fyra gånger mer luft än nödvändigt. En elektrisk cylinder behöver inte mer än erforderlig energi för själva rörelsen på framrörelsen och har tomgångsförbrukning på återrörelsen.

#### *Linjär rörelse med magnetisk drivning*

En dragmagnet kan vara ett alternativ vid mycket korta förflyttningar.

## 8.2 Förflyttning/Transport

### 8.2.1 Vibratormatning

Tryckluftsdrivna vibratorer är billiga i inköp men förbrukar mycket luft ("det blåser rätt igenom"). De kan också bli en dålig investering, speciellt vid intermittent drift, på grund av läckage i koppling, slang eller ventil. Elektriska vibratorer bör användas.

#### *Muttermatare*

Vanliga muttermatare finns i eldrivet utförande.

### 8.2.2 Transport med luft

Att blåsa och suga fram material bör undvikas ur energisynpunkt. Alternativa metoder kan utnyttja eldrivna vibratorer eller eldrivna mekaniska rörelser.

### 8.2.3 Andra transportmetoder

Matarskruvar, rullband, traverser, etc. är exempel på effektiva transportmetoder.

## **8.3 Positionering och indexering**

### **8.3.1 Linjär positionering**

Kan ske med elektriska cylindrar. Dessa konstrueras mått- och prestandamässigt så att de direkt kan sättas in i stället för befintliga tryckluftscylindrar. Problemet är att en elcylinder med erforderlig styrning kan kosta upp till 10 ggr mer än en tryckluftscylinder. Det finns därmed hittills ett ringa intresse att satsa på en elektrisk lösning, även om man därmed vinner mycket i styrbarhet och därmed i flexibilitet.

### **8.3.2 Roterande positionering**

En elmotor kräver i regel en mekanisk växel, vilket ger en kostnadsnackdel för lösningen i princip. Det finns möjligheter att med en mer påkostad styrning få erforderlig vinkelinställningsmöjlighet även för en PMSM (se 7.1.3) – något som exempelvis utnyttjas i industrirobotar.

### **8.3.3 Roterande indexering**

En elektrisk motor som är direkt lämpad att sätta in för detta ändamål är stegmotorn. Denna måste dock vara tillräckligt kraftig för att inte kugga ur om belastningens moment är stort. Ett annat alternativ är en servomotor med lägesåterkoppling.

## **8.4 Gripning/Fasthållning**

En vanlig automatiseringskomponent är tryckluftsdrivna spännen. De består av en cylinder som manövrerar en klämma. Självlösning är vanligt.

### **8.4.1 Elektriska spännen**

Elspännen finns redan idag och testas bl.a. i en linje med 100 spännen hos Daimler-Chrysler (Tüncers). Produkten finns alltså redan på marknaden, och man arbetar på att få den accepterad i större omfattning. Ett eldrivet spänne är idag fördelaktigt ur teknisk och ur ekonomisk synpunkt. Ett pneumatiskt spänne är garanterat en livstid av 3 millioner cykler, medan de elektriska på senare tid uppgraderats till 2 millioner cykler. Man räknar med att nå samma livstidsgaranti som för de pneumatiska inom kort.

Spännena drivs med 42 V 3-fas växelström, och trots den mer komplicerade installationen går det idag att räkna hem en anläggning med enbart elektriska spännen. Ett tryckluftsdrivet spänne kostar typiskt 350 € medan motsvarande eldrivna spänne kostar det dubbla, 700 €. Ännu nyare spännen introduceras nu som drivs direkt med standard 400 V 3-fas växelström, varvid installationen blir betydligt billigare.

Mindre spännen väger idag något mer än motsvarande tryckluftsdreven, medan de större modellerna väger betydligt mindre än sina tryckluftsdreven motsvarigheter. Elspännen konstrueras med samma mekaniska mått som de tryckluftsdreven, varför direkt utbytbarhet är möjlig. Elspännen arbetar dessutom mjukare än de tryckluftsdreven vilket medför mindre oväsen, mindre slitage och är skonsammare mot arbetsstycket. Det sista medför att spännen kan användas på detaljer som är för ömtåliga för pneumatiska spännen.

#### **8.4.2 Sugkoppar**

Sugkoppar är användbara för att gripa skivor, plåtar och andra föremål med stor yta, liksom föremål med välvda och bukliga ytor. Även stenblock och liknande tunga föremål lyfts utan problem med sugkoppar.

Sugkoppar repar inte ytan, eller lämnar andra märken efter sig vilket även gör dem lämpade för till exempel lackade detaljer eller glasrutor. Elspännen skulle i vissa fall kunna vara tänkbara alternativ då dessa är mjukare och skonsammare i gången än pneumatiska spännen.

Sugkopparna kräver vakuum, ofta 40-70 %. Vakuomet genereras för ett flertal tillämpningar med tryckluftsdreven vakuumejektorer. Alternativt kan vakuomet genereras med vakuumpumpar vilket är vanligare då det är högre krav på vakuomet, både tryck och flödesmässigt, än för enklare lyftoperationer.

Ibland används en liten portion tryckluft för att snabbt lossa sugkoppen. Detta gäller speciellt operationer med höga cykeltider där de extra tiondelarna det tar att lossa utan en ”pust” är kritiska. Utan tryckluft får andra metoder tillgripas om släppkraven är höga, till exempel någon form av mothåll som hindrar föremålet att följa med tillbaka, eller fjäder. Det är också tveksamt om ”pusten” verkligen behöver vara 6 bar för att fungera.

##### *Vakuumejektorer*

Vakuumejektorn saknar rörliga delar, är liten, billig och underhållsfri. En ejektor förbrukar typiskt 100-200 liter tryckluft per minut och det tar dubbelt så lång tid att nå 70 % vakuum som för att nå 50 % vakuum, vilka är vanliga arbetsintervall. En grov jämförelse mellan olika alternativ görs i tabell 8.2. Med automatik kan ejektorn slå ifrån då tillräckligt vakuum erhållits och på så sätt radikalt minska tryckluftsförbrukningen. I annat fall förbrukas tryckluft under hela lyftet.

### Vakuumpumpar

Vakuumpumpen är stor, dyr, kräver underhåll och ett vakuumnät. Energiförbrukningen är en 1/20 till 1/50 av ejektorns per evakuerad volym luft. Vakuumpumpen behöver inte någon del i tryckluftskompressor, underhåll av kompressor eller del i tryckluftsnät.

Ett problem kan vara att finna en liten och effektiv pump, gjord för det svaga vakuum (40-70 %) och låga flöde som behövs för mindre lyftoperationer med sugkopp. Vid större behov finns gott om pumpar på marknaden och i princip är det möjligt att vända på en vanlig tryckluftskompressor för lågt vakuum och högt flöde.

### 8.4.3 Magneter

Magnetism kan användas för fastspänning, fixering, lyftoperationer, etc. Kapitlet nedan koncentreras kring de applikationer där magnetismen arbetar med arbetsstycket, vilket kräver att det är ferromagnetiskt.

#### Lyft

För lyftoperationer finns det ett otal lösningar, beroende vad som skall lyftas. En magnet lyfter på djupet och inte över ytan som en sugkopp, vilket gör att de tappar effekt om godstjockleken underskrider 4 mm. Många utvecklade lyftsystem riktar sig mot tyngre lyft, från några hundra kilo och uppåt.

Det finns flera olika typer av magneter med olika egenskaper. En bipolsmagnet ger till exempel bra kraft även då det är dålig anläggningsyta eller ett icke-magnetiskt skikt på ytan. Dessa är däremot inte så energieffektiva, för att vara magneter. Permanentmagneter är också starka, en permanentmagnet på 6 kg lyfter 750 kg och släppfunktionen går att automatisera.

Tabell 8.1: En grov jämförelse av energiåtgången för några olika lyftalternativ

Lyftkraft v (4 s)	Sugkopp, 70% vakuum ejektor <sup>2</sup>			bipols- magnet	permanent magnet, med elektromagnet för släppfunktion
	utan automatik	med automatik <sup>4</sup>	vakum- pump <sup>3</sup>		
10 kg	4320 Ws	70 (-700) Ws	1,5-15 Ws	16 Ws	~2 Ws
50 kg	4470 Ws	220 (-2200) Ws	4-40 Ws	30 Ws	~4 Ws

<sup>2</sup> Tryckluft antas kräva 0,1 kWh el per m<sup>3</sup> och ejektor förbrukar 3 l/s

<sup>3</sup> Antagande: 0,02 kWh el per m<sup>3</sup> evakuerad luft. Minvärde anger optimalt (läckfritt) driftfall

<sup>4</sup> Optimal funktion, helt utan läckage. Verkligheten är för det mesta betydligt sämre. Att en ejektor jobbar en till ett par gånger i sekunden är normalt

### *Fastspänning och fixering*

Magneters höga styrka gör dem utomordentliga för fastspänning. Det finns färdigutvecklade system för fastspänning på t.ex. slipbord, i fräsar, system för runda föremål i svarvar och för verktygsbyten i pressar. Magnetisk fastspänning är snabbare än traditionell och detaljen blir automatiskt avmagnetiserad när den lossas.

## **8.5 Koppling och bromsning**

Kopplingar och bromsar manövreras av tradition med tryckluft. Det finns hydrauliska alternativ till dessa, men ett byte är behäftat med stora kostnader och sker därför endast i undantagsfall. Den hydrauliska lösningen ger större tillförlitlighet och tillgänglighet än den pneumatiska och kräver mindre service.

Vid liten användning, till exempel för att hålla tryck i ett nödbromssystem, kan en trycktank ersätta en anslutning till ett tryckluftsnät. När läckaget blivit så stort att tanken ideligen måste fyllas på ger detta också det incitament som behövs för att tätat systemet.

## **8.6 Montering**

### **8.6.1 Skruvdragning**

#### *Skruvdragning allmänt*

När en noga kontrollerad och dokumenterad åtdragningsprocess krävs finns programmerbara eldrivna skruv- och mutterdragare att tillgå (exempelvis Atlas Copcos Tensor och Boschs intelligenta skruvdragare). Dessa utrustningar har frekvensomriktarstyrda asynkronmotorer. De är en faktor 10 dyrare än motsvarande tryckluftsdrivna utrustningar (som dock inte alls lever upp till kraven på dokumenterade och noggrant dragna förband). Se 7.1.2 och 7.2.1.

#### *Handhållna maskiner*

Handhållna verktyg har idag nått en stor grad av fulländning. Stöldrisken är fortfarande ett problem, men kan motverkas exempelvis genom elektronisk märkning av verktygen och sensorer vid in- och utpassage från fabriken.

#### *Sladdlösa verktyg*

Som handverktyg finns idag lätta sladdlösa verktyg (som krävs exempelvis när man tar med sig ett verktyg in i en halvfärdig bil och inte får skada lacken med en sladd eller en tryckluftsslang). Här används BLDC<sup>5</sup>, och själva motorerna kan göras lätt utbytbara vilket gör underhållsarbetet mycket effektivt.. Se 7.1.3. Genom att ha speciella kontakter för batterierna eller speciella laddningsaggregat kan stöldrisken nedbringas.

---

<sup>5</sup> Se kapitel 6 som ger en genomgående beskrivning av olika typer av elmotorer, deras för och nackdelar.

Moderna verktyg utförs så att operatören inte kan påverka verktygets funktion eller utföra service på det. Så ställs t.ex. åtdragningsmomentet på Boschs nya sladdlösa skruvdragare in med en speciell nyckel som enbart produktionsberedaren skall ha tillgång till. Service skall ske enligt förutbestämda serviceintervall eller när verktyget utfört ett specificerat antal operationer.

#### *Fast utrustning*

Uppbyggda monteringsstationer – som exempelvis topplocksmontering – bestyrkas med intelligenta mutterdragare. Se 7.2.1.

### **8.6.2 Punktsvetsning**

Manövrering av punktsvetstänger (robotburna eller fasta) sker traditionellt med tryckluft.

Elektriska alternativ finns framtagna. En svårighet är här att de blir något tyngre än motsvarande pneumatiska tänger, och att roboten eventuellt inte orkar bära den ökade vikten. Intensiv utvecklingen av eltänger pågår.

### **8.6.3 Pressinpassning**

Linjära elektriska rörelser som till exempel drivs av en BLDC.

## **8.7 Viktbalansering och dämpning**

Balanscylindrar med tryckluft behöver inte anslutas till ett centralt tryckluftssystem utan kan fyllas på lokalt.

Som alternativ till luftkuddar för dämpning i mekaniska pressar används hydrauliska kuddar i allt större utsträckning.

## **8.8 Bearbetning**

### **8.8.1 Slipning**

För mindre åtgång av slipmaterial och snabbare slipning används lämpligen elektriska HF-verktyg. De elektriska verktygen har en mycket bättre varvtalshållning än de tryckluftsdrivna verktygen vilket ger snabbare slipoperation och lägre slitage på slipskivorna.

Högfrekvensdrift i handhållna slipmaskiner började användas redan på 1930-talet. Optimal frekvens är 300 Hz, varför en omformare behövs. Dessa har hittills utförts som roterande omformare, men nu finns också halvledarbetstyckade frekvensomformare att tillgå. Jämfört med tryckluftsdrivna slipmaskiner ger de högfrekvensdrivna ett varvtal som är nästa oberoende av belastningen, vilket medför en effektivare slipprocess.

Även mindre slipmaskiner finns att tillgå liksom handverktyg anslutna till 230 V. Moderna maskiner närmar sig alltmer sina tryckluftsdrivna motsvarigheter när det gäller vikten. Det finns även metoder för att möta den ökade stöldrisken hos elverktyg (speciella laddningskontakter och laddare, märkning med halvledarchip etc.).

### **8.8.2 Stansning, pressning, etc.**

För pressning finns såväl mekaniska som hydrauliska lösningar. För stansning av hål finns hydrauliska drivalternativ, men även elektriska linjära rörelser kan användas.

## **8.9 Rengöring och torkning**

### **8.9.1 Rengöring**

#### *Sugning*

Olika former av sug, till exempel centraldamsugare, spånsug eller punktutsug är att föredra om partiklar eller gaser ska avlägsnas från ett område.

#### *Renblåsning*

Att blåsa rent är inte att göra rent, eftersom smutsen yr upp och sprids i omgivningen. Fläktar är betydligt energieffektivare än tryckluft om man behöver blåsa av en yta. Blåsmaskiner är inte särdeles energieffektiva, men betydligt bättre än tryckluft om högre lufthastigheter behövs. Att använda rätt munstycke för avblåsningen ökar verkningsgraden.

#### *Borstning*

En borste för bort smutsen mekaniskt och är en gammal väl beprövad lösning som kan drivas med en elektriskmotor, som i en biltvätt till exempel.

#### *Tvättning och sköljning*

En vätska kan användas både för att lösa upp smuts och för att mekaniskt spola bort den. Problem kan vara eventuella kemikalier och rening av tvättvätskan. Ur energiperspektiv kan torkprocessen förbruka mycket energi.

### **8.9.2 Torkprocesser**

Torkprocesser kan vara mycket energikrävande. Tryckluft är alltid mycket dåligt för detta ändamål.

Elektriska vibratorer kan användas för att mekaniskt skaka bort vätska. Fläktar alternativt blåsmaskiner kan blåsa bort vätska. Absorptionstorkar och liknande kan användas för att torka fuktig luft. Varmluft går utmärkt att recirkulera.

## **8.10 Dosering med pumpar**

Det förekommer att tryckluft används för att driva doseringspumpar. Doseringspumpar finns i ett otal utföranden och kapaciteter, drivna med olika typer av elmotorer och elektromagneter. Dessa alternativ är fullgoda för de allra flesta applikationer. I dessa fall är för det mesta energianvändningen minimal, och blir även för den pneumatiska utrustningen obetydlig. Istället är det läckage och distributionssystem (rör och slangar) som står för betydande kostnader.

## **8.11 Ventilmanövrering**

Ventiler som manövreras/drivs med pneumatik har ofta problem med hysteres, vilket är en tidsfördröjning från signal till ändrat ventilläge. Är hysteresen tillräckligt stor fås i princip on/off-reglering. Detta innebär att extra kostnader uppstår i det system ventilen reglerar, exempelvis ökade uppvärmningskostnader på grund av reglerfel. Därtill kommer tryckluftskostnader för drivning, läckage, etc. Elektriska ventilställdon är dag helt dominant inom fastighetssystem.

# Kapitel 9. Volvo PVs fabrik i Olofström

Vid Volvo Personvagnars fabrik i Olofström tillverkas karosseridetaler till olika personbilsmodeller. Tillverkningsutrustningen består av ett antal plåtpressar, stationer för punktsvetsning (robotar och fasta svetsautomater), hanteringsutrustning, mätstationer etc.

Fabriken är uppdelad i flera enheter, varav förstudien utfördes i den övre fabriken (den nyaste fabriksbyggnaden, uppförd på ett område någon kilometer från de övriga enheterna). De fortsatta studierna har sedan främst utförts vid södra fabriken (en del av det gamla området benämnt nedre fabriken). Vid båda studieobjekten utförs både pressning av plåtdetaljer och efterföljande sammanfogning med punktsvetsning.

För en sidobalkslinje i den övre fabriken gäller att man producerar ungefär 200 000 enheter per år. I den övre fabriken förbrukades under år 1999 totalt 49 miljoner m<sup>3</sup> tryckluft, och till detta åtgick 7 200 MWh el. Mätning per kompressor, görs ej. Mängd producerad tryckluft och använd elektricitet är beräknade uppgifter och således ej uppmätta värden.

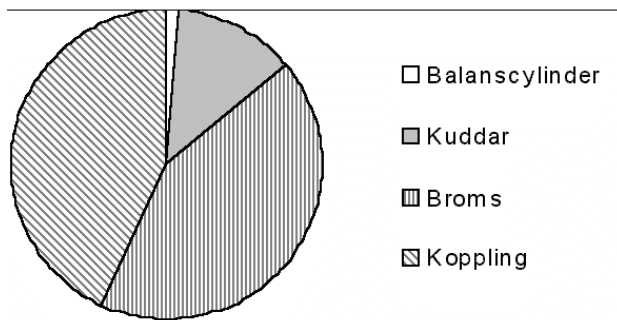
## 9.1 Pneumatiska operationer i Olofström

### 9.1.1 Presslinje

En presslinje består som regel av 5-6 mekaniska pressar. Robotar med sugkoppar och pneumatiska spännen används för att förflytta plåtar och för att mata in och ut plåtar ur pressarna. I en presslinje finns följande utrustning som drivs med tryckluft:

- Luftcylindrar för utbalansering av pressverktygets vikt (balanscylindrar). Dessa förbrukar ingen tryckluft utom när man vid omställning (verktygsbyte) behöver balansera om pressen.
- Luftkuddar i pressbordet (och eventuellt i verktyget). Förbrukar ingen tryckluft utom vid omställning (verktygsbyte).
- Kopplingar i pressarna manövreras med pneumatik. Kopplingarna slås normalt till en gång per slag. Om pressen utrustad med låg- och högfartskoppling, görs upp till fem stycken till- och frånslag.
- Pressbromsar, manövreras till och från vid varje operation (slag).
- Utmatrare, det vill säga vibratorer som skakar ut loss klippt/stansat material.
- Muttermatrare. Dessa är antingen av typ eldrivna vibratormatrare med tryckluftsframmatning (om varje plåt skall förses med 1-2 instansade muttrar) eller tryckluftsdrivna magasin (slang med 1500 muttrar).
- In- och utmatrare för plåtar. Robotarmar och grimmor försedda med sugkoppar där vakuumet genereras med tryckluftsdrivna ejektorer.

Enligt en uppskattning från Celero fördelas tryckluftsförbrukningen i en press enligt figur 9.1.



•  
**Figur 9.1** Fördelning av tryckluftsanvändningen för en press under ett normalt skift (Celero).

### 9.1.2 Sammansättningslinje

Typisk utrustning för en sammansättningslinje är:

- Tryckluftsmånövrerade svetstätänger (till- och frånslag av greppet) i robotar. I robotarna används oftast tryckluft med 7 bars tryck
- Tryckluftsmånövrerade svetstätänger (till- och frånslag av greppet) i svetsautomater. I dessa används ofta 10 bars tryck ( när det behövs större kraft i svetsoperationen, tjockare material).
- Gripdon. Dessa är i regel grimmor med sugkoppar, där vakuomet genereras av tryckluft via ejektorer.
- Mätfixturer. Här fixeras plåten med tryckluftsdrevena klämmor.
- Formerare. Svetselktrodena behöver ”vässas” efter ett visst antal operationer, och till detta används tryckluftsdrevena formerare (tryckluftsmotor + renblåsning).
- Muttermatare. Själva utskjutningen av muttern sker med tryckluft, medan matarens gryta drivs elektriskt.

### 9.1.3 Övrigt

En del andra operationer som är tryckluftsdrevena förekommer också i fabriken:

- I sammansättningsfabriken finns stationer med manuella slipverktyg.
- En del utrustning har tryckluftsdreven positionering.
- I måleriet blåses (torkas) vatten från detaljer med tryckluft.

Andra operationer såsom slipning i större skala, borrar och skruvdragning, förekommer inte i den här fabriken.

# Kapitel 10. Alternativ i Olofström

## 10.1 Presslinje

Samtliga presslinjer i den studerade hallen består av mekaniska pressar med pneumatiska hjälpsystem.

### 10.1.1 Balanscylindrar

Här bör ett lokalt system räcka eftersom förbrukningen endast består av påfyllnad vid verktygsbyte (jämför robotarnas balanscylindrar – fylls på via flaska). Ett ytterligare skäl är att tryckbehovet kan vara så stort som 12 bar.

### 10.1.2 Kuddar

Numera används hydrauliska kuddar allt mer frekvent på grund av att större krafter krävs. Om tryckluften behålls bör ett lokalt system räcka till.

### 10.1.3 Manövrering av koppling

Kopplingar vid mekaniska pressar manövreras av tradition med tryckluft. Det finns hydrauliska alternativ till dessa, men ett byte är behäftat med stora kostnader och sker därför endast i undantagsfall. Utrymmesmässigt är det inga problem, eftersom man får plats med både hydraulcylinder, pump och koppling på det utrymme den pneumatiskt manövrerade kopplingen upptar. Den hydrauliska kopplingen har större tillförlitlighet, högre tillgänglighet och kräver mindre service än den pneumatiska, något som delvis uppväger investeringskostnaden.

### 10.1.4 Manövrering av broms

I några av presslinjerna använder man sig av hydrauldrivna transferpressar, och här används inte tryckluft för detta ändamål.

För mekaniska pressar, se kapitlet manövrering av koppling ovan.

Vid liten användning, till exempel för att hålla tryck i ett nödbromssystem, kan en trycktank ersätta en anslutning till ett tryckluftsnät. När läckaget blivit så stort att tanken måste fyllas på ideligen, ger detta också det incitament som behövs för att tätat systemet.

### 10.1.5 Utkastare (vibratorer)

Tryckluftsförbrukningen hos en pneumatisk vibrator är relativt stor. Det finns elektriska vibratorer att tillgå.

### **10.1.6 Muttermatare**

Att tryckluft används till muttermatning beror på att det är en enkel lösning. Det finns däremot inga hinder för att konstruera magasin med någon form av elektrisk matning.

### **10.1.7 Matare för arbetsstycken (sugkoppar)**

Att generera vakuüm via vakuumpump är 10 – 20 gånger mer energisnålt som med tryckluft. Ett problem är här att släppfunktionen idag utnyttjar en tryckluftsstöt. En tänkbar lösning är exempelvis att utnyttja en mot-fjäder. De flesta av operationerna skulle dessutom kunna ersättas med spännen/klämmor. Endast vid in- och urlyftning ur press saknas nämligen möjlighet att gripa underifrån.

## **10.2 Sammansättningslinjer**

### **10.2.1 Svetstänger robotar**

Elektriska svetstänger finns redan framme (ABB BiW). Dessa är bland annat aktuella för Volvo i Torslanda. Man har ännu inte testat dessa tänger fullt ut i produktion, och de är ännu inte prissatta.

### **10.2.2 Svetstänger i svetsautomater**

Här krävs stora krafter (svetsning av tjockare material). Bör kunna gå att lösa med en elmotor med kulskruv.

### **10.2.3 Gripdon (matare – sugkoppar)**

Grimmorna med sugkoppar som tar tag i en plåt och för den till nästa operation får vakuüm via tryckluftsejektorer. Dessa stängs av så fort erforderligt vakuüm uppnåtts. Det är energimässigt avsevärt mycket effektivare att generera vakuümet med en vakuumpump, möjligtvis måste man se över släppfunktionen när ingen tryckluft finns tillgänglig. Sugkopparna motiveras bland annat av skonsamhet mot plåtytan, annars bör elklämmor vara ett bra alternativ då plåtarna kan gripas underifrån.

### **10.2.4 Spännen**

Elspännen används redan idag till viss del i Volvo Torslanda. Tüncers har levererat spännen till ABB BiW för testning men dessa levde tyvärr inte fullt upp till tillförlitlighetskraven (kärvade i ändlägena). Man provar nu en ny uppsättning.

### **10.2.5 Formerare**

Man har redan tidigare övergått till elektriska formerare vid Volvo Torslanda. Dessa ger förutom energibesparingen också en bättre funktion.

### **10.2.6 Muttermatare**

En muttermatavare vibreras elektriskt (en stor gryta är utrustad med en 5 kW motor). Själva framskjutningen av en mutter i taget bör kunna gå att ordna med exempelvis en fjäder som sedan spänns igen med en elmotor.

## **10.3 Övrig utrustning**

### **10.3.1 Handslipmaskiner**

Både vanliga elektriska handverktyg och högfrekvensdrivna handhållna slipmaskiner finns att tillgå.

### **10.3.2 Mätjigg**

Här låses plåtarna fast med tryckluftsdrevena spänndon, och dessa bör direkt kunna ersättas med eldrivna klämmor (ger bl.a. mer skonsamhet mot plåtytan).

### **10.3.3 Torkning**

Bör företrädesvis ske med ett torrt och varmt luftflöde. Använd t.ex. absorptions-tork. Alternativt kan exempelvis vibratorer, fläktar, blåsmaskin, etc. användas för att avlägsna vätska.

# Kapitel 11. Resultat och Diskussion

Generell användning av tryckluft går att ersätta med andra alternativ. I många fall är den alternativa utrustningen konkurrenskraftig ekonomiskt och/eller tekniskt, även om man bortser från investerings och underhållskostnader för tryckluften.

All generell användning av tryckluft kan ersättas i Olofström. Några ekonomiska kalkyler för varje exempel går av naturliga skäl inte att göra, då omfattningen av den här studien inte inbegriper någon förstudie för ombyggnation av de automatiserade press- och monteringslinjerna. För enskilda handverktyg, cylindrar, klämmor etc. finns beräkningar och jämförelser gjorda av tillverkarna (som ofta även utvecklar tryckluftsdriven utrustning). Dessa ger hänvisning om att de elektriska alternativen är fördelaktiga då många operationer utförs per dygn. Vid få operationer är tryckluft att föredra eftersom investeringskostnaden för det enskilda handverktyget, klämman, etc. är väsentligt lägre. Fast vad händer om anslutningen läcker, även om verktyget sällan används? Är det fortfarande att föredra? Om alternativet till en ny kompressor är att den nya avdelningen får elektriska verktyg? Hur ska läckage vägas in? Dessa frågor går det inte att ge ett enskilt svar på, utan hela systemet måste beaktas. Många kostnader för tryckluften är invägda i totala systemkostnaden.

Svårast att hitta bra alternativa lösningar till tryckluft har det varit för små och mycket enkla funktioner, som små, snabba, linjära rörelser. En elektrisk styrning av en liten elektrisk motor med en kulskruv (eller motsvarande alternativ lösning), kan inte konkurrera pris- eller funktionsmässigt med en liten pneumatisk cylinder. Det är först om andra faktorer blir avgörande som lösningen blir acceptabelt, t.ex. precision, programmerbarhet, etc. Klämmor i automatiseringsutrustning är ett typiskt exempel på detta. Det är först när större krafter behövs som det elektriska alternativet är konkurrenskraftigt, både ekonomiskt och tekniskt.

Slutsatsen är att tryckluft ska användas först när andra lösningar visar sig undermåliga. Det är tryckluften som är alldeles för exklusiv för att användas generellt och inte tvärt om.

Orsaken till att tryckluften inte betraktas som något exklusivt kan man bara spekulera i. En trolig förklaring är att ”man gör som man gjorde förra gången” och förra gången var inte de andra alternativen konkurrenskraftiga, eller ens tekniskt möjliga. En annan anledning kan ligga i organisationen. Produktionsutrustning köps / beställs av produktionsavdelningen, medan tryckluften sköts av media / fastighetsavdelningen. Typiskt för tryckluftsdriven utrustning är just att den är billig och enkel, vilket är dess största styrka. Kostnaderna uppstår i kompressorcentralen.

Målet att hitta förutsättningar för ”den tryckluftsfria fabriken” är uppfyllt så till vida att alternativ för all generell användning av tryckluft har hittats. I nästan samtliga fall är alternativen direkt konkurrenskraftiga mot tryckluftsalternativet vid en reinvestering. För vissa speciella användningsområden, så som matning av muttrar ur magasin har ingen ny lösning tagits fram, men matning med fjädrar, gummitrissor, remmar etc. har varit på tal som möjliga lösningar. Ska tryckluften bort, är detta inte ett särskilt stort hinder i sammanhanget.

Tryckluft kan alltså generellt avskaffas, men för vissa fall är luft det bästa alternativet, både tekniskt och ekonomiskt.



# Kapitel 12. Litteraturförteckning

## 12.1 Böcker och rapporter

Basic Theory for Pneumatic System Design. Karl-Erik Rydberg, LiU 1997.  
Compressed Air Systems in the European Union.  
[www.isi.fhg.de/e/publikation/c-air/compressed-air.thm](http://www.isi.fhg.de/e/publikation/c-air/compressed-air.thm)  
Electrical Machines, C.Sadarangani. KTH 2000.  
Den tryckluftslösa fabriken. Förstudie, Vattenfall 2000.  
Metal Forming Handbook, Schuler. Springer 1998.  
Pocket guide to grinding. Atlas Copco 1999.  
Programkrav tryckluft. Statens energimyndighet 1999:11.  
Robust technology for long-term heavy-duty use. Bosch 1996.  
Trycklufthandboken. Atlas Copco 1998.  
Verktygsergonomi. Atlas Copco 1998.

## 12.2 Kataloger

Atlas Copco: Verktyskatalogen 1998-99.

Bosch: High Frequency Power Tools for Industry, 1996.  
Robust technology for long-term heavy duty use, 1996.  
High frequency power tools for industry (1996):  
drills; grinders; screwdrivers and impact wrenches, tappers,  
measuring instruments, balancers.  
Industrial cordless screwdriver EXACT, 2001.  
Product catalogue press-fit systems, 1999.  
Product catalogue tightening technology, 1998.  
Transfer System, 2000.  
MGE Examples of Application, 1997.

Bosch-Rexroth: <http://www.boschrexroth.com/>

DE-STA-CO: Clamping, gripping and moving automatically, 1999.

Festo: Innovations 2001.

Flexlink: Linear drive units catalogue, 2000.  
Flexlinks linjärenheter, 2000.

LINAK: faktamaterial från [www.linak.se](http://www.linak.se).

Linköpings Universitet, Fluida och Mekaniska System: <http://hydra.ikp.liu.se/Hydrex/>

POS-LINE Energisparscylinder, katalog 2001.

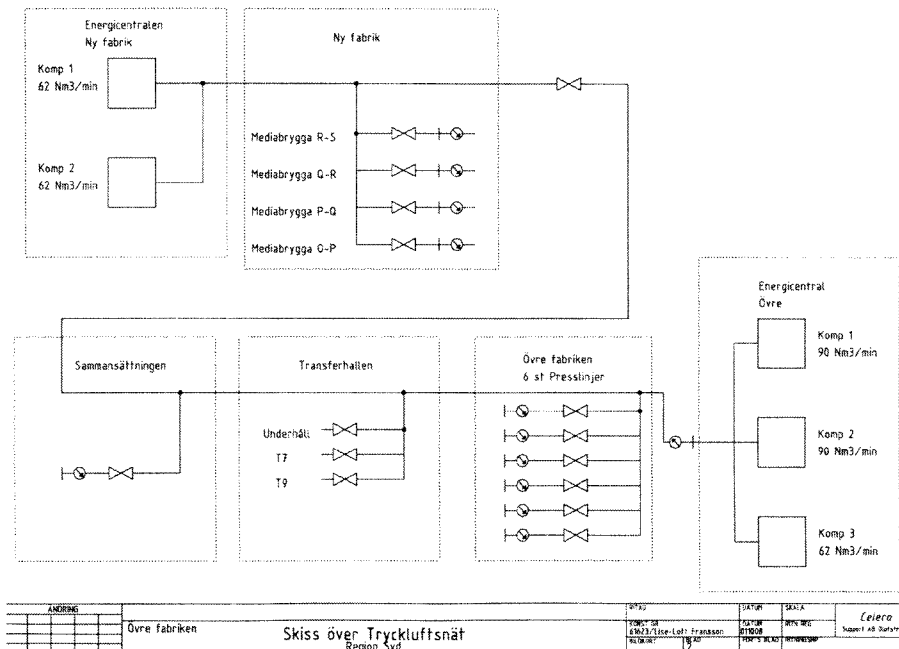
Rexroth- Mecman: se Bosch-Rexroth

SMC Pneumatics: Elektriska linjärenheter i kompaktutförande, 2000.  
Uniaxial Electric Actuator, 1998.  
Linjärmotordrivna ställdon, 1998.

Tünkens: Power Clamps, Handling Systems and Forming Technology, 2001.

# Appendix A. Mätningar vid övre fabriken

## A.1. Tryckluftssystemet vid övre fabriken



Figur A.1. Skiss över tryckluftsnätet vid övre fabriken.

Data om övre fabriken samlades in under förstudien 1999.

Celero beräknar övre fabriken förbrukning till 49 miljoner  $m^3$  per år, varav 42 miljoner  $m^3$  hänför sig till 7-barssystemet och resten till 10-barssystemet. Elförbrukningen för detta beräknas till ca 7200 MWh per år. Detta innebär att det åtgår i storleksordning  $0,15 \text{ kWh}/m^3$  och därmed en elkostnad av ca 9 öre/ $m^3$ . Motsvarande siffror för ett optimalt system uppskattas till ca  $0,12 \text{ kWh}/m^3$  och 7 öre/ $m^3$ .

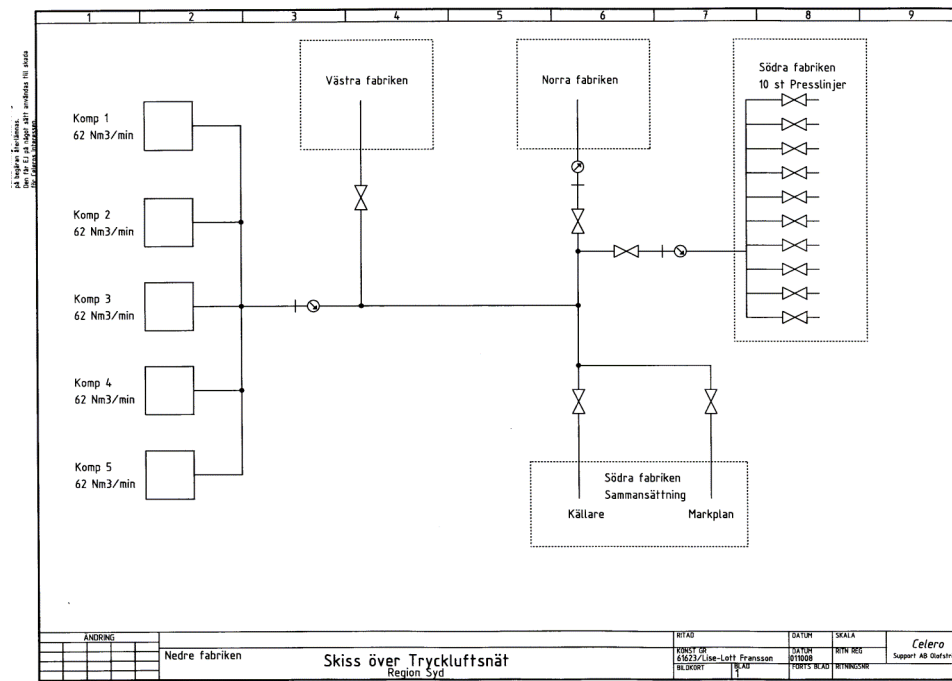
## A.2. Mätningar vid övre fabriken, monteringslinje

En av monteringslinjerna valdes ut; ”svetsning av en sidobalk”, för att få en uppfattning om tryckluftsförbrukningen i monteringen. Övriga monteringslinjer bör ha ungefär samma storleksordning på förbrukning. Vid mätningen konstaterades att sidobalkslinjen förbrukade ungefär  $700\,000 \text{ m}^3/\text{år}$ , vilket utgör 1,5 % av den totala beräknade tryckluftsförbrukningen för övre fabriken ( $49 \text{ miljoner } m^3/\text{år}$ ).

# Appendix B. Mätningar vid nedre fabriken

## B.1 Loggning hösten 2000

Loggning av tryckluftproduktionen vid nedre fabriken, som har ett gemensamt 7-bars nät, genomfördes under en tiodagarsperiod hösten 2000. Figur B.1 nedan, visar tryckluftsnätet schematiskt.



Figur B 1. Tryckluftssystemet i nedre fabriken.

Från loggningen framkom att tryckluftsförbrukningen är 130-140 m<sup>3</sup>/min under produktionstid och ca 50 m<sup>3</sup>/min vid stillestånd (exklusive södra press). Enligt Celero fördelas sig förbrukningen enligt tabell B.1, nedan. Förbrukningen per objekt är framräknad från ovan nämnda förbrukning (~135 m<sup>3</sup>/h).

Tabell B.1. Loggning vid nedre fabriken hösten 2000.

Nedre fabriken	Procentuell fördelning	Förbrukning (m <sup>3</sup> /min)
Norra fabriken	34 %	46
Södra fabriken, pressavdelning	47 %	63
Södra fabriken, sammansättning	15 %	20
Västra fabriken	4 %	5
<b>Totalt</b>	<b>100 %</b>	<b>135</b>

## **B.2. Flödesmätning vid södra fabriken presslinjer**

Vid mätning hösten 2000 avlästes flödet  $75 \text{ m}^3/\text{min}$  på flödesmätaren för presshallen vid full produktion och då pressarna stod stilla  $50 \text{ m}^3/\text{min}$ . Efter att sektionsventilerna stängdes avlästes  $12 \text{ m}^3/\text{min}$ . Detta innebär att stilleståndsförbrukningen för pressarna är  $38 \text{ m}^3/\text{min}$ .

Från avläsningarna fås den produktions-specifika förbrukningen till  $25 \text{ m}^3/\text{min}$  och ytterligare  $38 \text{ m}^3/\text{min}$  tillkommer oavsett om produktion sker eller ej. Flödesmätarens tillförlitlighet är inte allt för god, så resultatet kan vara något missvisande.

## **B.3. Stillestånds-förluster vid presslinjer**

I det fortsatta arbetet eftersöktes anledningen till den höga stillestånds-förbrukningen. Eftersom pysljud hördes i princip överallt och en ultraljudläcksökare gav utslag kontinuerligt antogs läckage vara en huvudorsak. Inledningsvis misstänktes även vakuumejektorerna, men dessa förbrukar nästan ingen tryckluft utom i själva sugögonblicken. Läckagesökning gjordes efter att detta framkom och ett antal "små läckor" tätades, en ventil byttes. Detta gav endast marginell skillnad vid avläsning på flödesmätaren. Variationerna mellan olika avläsningstillfällen är stora, vilket tyder på att andra förbrukare än presslinerna finns.

Muttermatare och tillhörande magasin har visat sig vara en storförbrukare med kontinuerlig användning under produktion. Under stillestånd skall dessa vara urkopplade enligt personalen. Detta stämmer ej med verkligheten.

Vid en andra nattvandring januari 2002 framkom att matningsledningarna, förlagda i kulvertar under pressarna, till samtliga presslinjer hade kraftiga läckage. När samtliga linjeventiler var öppna avlästes c:a  $40 \text{ m}^3/\text{min}$ , vilket innebär en ökning från det att läcksökningen skedde. Vid detta tillfälle hängde plåtar "i luften" på några ställen vilket innebär att vakuumejektorerna jobbade, inga muttermagasin var dock inkopplade. En linjeventil stod öppen hela tiden, då denna ej var ansluten till någon styrning.

## B.4. Tillverkningsrelaterad förbrukning vid presslinjer

(Se avsnitt 9.1.1 för en systembeskrivning)

Presshallens tryckluftsförbrukning har uppmäts till 75 m<sup>3</sup>/min (enl. ovan). Förbrukningen har också uppskattats från komponent nivå och uppåt.

Pressarnas förbrukning (koppling, broms och balanseringscylinder, kudde) är enligt uppskattningar från Celero 97 l/slag och press. Vibratorerna förbrukar 225 l/min och används i ca 4 s/slag. Uppskattningsvis är en vibrator i drift för var tredje press och i snitt stansas en mutter per press. Stansmuttermatarna drivs kontinuerligt om de är inkopplade (10 l/s). Det finns ungefär 1,2 vakuumejektorer per press. Ejektorn förbrukar 180 l/min och används ungefär 0,3 s/slag.

**Tabell B 2. Komponentförbrukning per slag och press<sup>6</sup>**

Komponent	Förbrukning (l/min)	Gångtid / slag (s/slag)	Antal / press	Förbrukning (l/slag,press s)	Förbrukning (m <sup>3</sup> /min, 10 slag/min)
Press	-	-	-	97	58
Vibrator	225	4	1/3	5	3
Muttermatare	4-600	hela slaget (6)	1		0,5
Vakuumejektore r	180	0,3	1,2	1,1	0,7
<b>Totalt</b>					<b>62</b>

Med en antagen hastighet på 10 slag per minut, 6 pressar per linje och 10 linjer blir förbrukningen 62 m<sup>3</sup>/min. Störst förbrukning står presskopplingen för.

<sup>6</sup> Notera att ingen inventering av hela presshallen gjorts, utan uppgifterna är skattningar med utgångspunkt från två liner



Statens energimyndighet • Box 310 • 631 04 Eskilstuna  
Besöksadress Kungsgatan 43  
Telefon 016-544 20 00 • Telefax 016-544 20 99  
stem@stem.se • www.stem.se