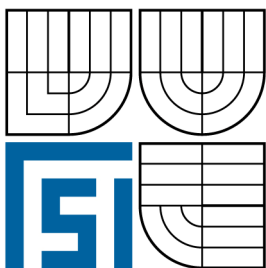


VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ
ÚSTAV STROJÍRENSKÉ TECHNOLOGIE

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING
INSTITUTE OF MANUFACTURING TECHNOLOGY

VÝROBA STLAČENÉHO VZDUCHU V TRW DAČICE, ANALÝZA ZTRÁT A NÁVRH OPATŘENÍ VEDOUcí K OMEZENÍ ZTRÁT.

COMPRESSED AIR IN TRW DAČICE, LOSSES RESTRICTION IN COMPRESSED AIR DISTRIBUTION

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE
BACHELOR THESIS

AUTOR PRÁCE
AUTHOR

BOHUSLAV KOLMAN

VEDOUcí PRÁCE
SUPERVISOR

PROF. ING. JOSEF KOHOUTEK, CSC

Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství

Ústav strojírenské technologie

Akademický rok: 2008/2009

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

student(ka): Bohuslav Kolman

který/která studuje v **bakalářském studijním programu**

obor: **Strojírenská technologie (2303R002)**

Ředitel ústavu Vám v souladu se zákonem č.111/1998 o vysokých školách a se Studijním a zkušebním řádem VUT v Brně určuje následující téma bakalářské práce:

**Výroba stlačeného vzduchu v TRW Dačice, analýza ztrát a návrh
opatření
vedoucí k omezení ztrát.**

v anglickém jazyce:

**Compressed air in TRW Dačice, losses restriction in compressed
air
distribution**

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

V uvažovaném strojírenském podniku provést analýzu rozvodu stlačeného vzduchu s cílem omezení ztrát a celkové spotřeby.

Cíle bakalářské práce:

Analýza hospodaření s tlakovým vzduchem v uvažovaném podniku s cílem minimalizace ztrát stlačeného vzduchu.

Seznam odborné literatury:

1. HUMÁR, A. Trendy vývoje materiálů pro řezné nástroje. In Sborník odborné konference Frézování III. FSI VUT v Brně, Ústav strojírenské technologie ve spolupráci s PRAMET TOOLS, s.r.o. Šumperk a ZPS - Frézovací nástroje, a.s., Zlín. Brno, 2003, ISBN 80-214-2436-2, s. 5-14.
2. KOČMAN, K., PROKOP, J. Technologie obrábění. 1. vydání, CERM, s.r.o., Brno, 278 s., ISBN 80-214-1996-2.
3. Základní literatura z oboru procesního inženýrství - poskytné vedoucí práce.

Vedoucí bakalářské práce: prof. Ing. Josef Kohoutek, CSc.

Termín odevzdání bakalářské práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2008/2009.

V Brně, dne 10.11.2008

L.S.

doc. Ing. Miroslav Píška, CSc.
Ředitel ústavu

doc. RNDr. Miroslav Doupovec, CSc.
Děkan fakulty

ABSTRAKT

Bakalářská práce se zabývá analýzou vzniku a detekce ztrát stlačeného vzduchu se zaměřením na ztráty vzniklé nevhodným a zbytečným použitím stlačeného vzduchu ve firmě TRW Dačice. Navržená opatření jsou primárně určena k implementaci ve firmě TRW, ale jejich principy jsou použitelné v kterékoli firmě využívající stlačený vzduch.

Klíčová slova

Stlačený vzduch, úspory, ztráty, TRW Dačice

ABSTRACT

This bachelor's thesis analyses origin and detection of compressed air in TRW Dačice, with focusing on losses generated by improper and unnecessary use of compressed air. All presented actions are primary dedicated for implementation in TRW Dačice. However, these principles are generally useful for every industrial company using compressed air.

Key words

Compressed air, cost economies, losses, TRW Dačice

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

KOLMAN, Bohuslav. *Výroba stlačeného vzduchu v TRW Dačice, analýza ztrát a návrh opatření vedoucí k omezení ztrát*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2009. 25 s., 1 příloh. Vedoucí bakalářské práce prof. Ing. Josef Kohoutek, CSc.

PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci na téma „Výroba stlačeného vzduchu v TRW Dačice, analýza ztrát a návrh opatření vedoucí k omezení ztrát“ vypracoval samostatně s použitím odborné literatury a pramenů, uvedených na seznamu, který tvoří přílohu této práce.

Datum:

.....

Bohuslav Kolman

PODĚKOVÁNÍ

Děkuji tímto prof. Ing. Josefu Kohoutkovi, CSc. za cenné připomínky a rady při vypracování bakalářské práce.

Děkuji tímto firmě TRW Dačice za pomoc a podporu při vypracování bakalářské práce.

OBSAH

Abstrakt	4
Prohlášení	5
Poděkování	6
Obsah	7
Úvod	8
1 Vzduch	9
1.1 Atmosférický vzduch	9
1.2 Stav suchého vzduchu	9
1.3 Stlačený vzduch	10
2 Ztráty stlačeného vzduchu	11
2.1 Ztráty první skupiny	11
2.2 Ztráty druhé skupiny	12
2.3 Ztráty třetí skupiny	13
3 Vyhodnocení ztrát	14
3.1 Pracoviště SW A400-2	14
3.2 Pracoviště kulostroj TOS Kuřim	16
3.3 Pracoviště soustrojí TOS Kuřim	17
3.4 Netěsnosti rozvodů	19
3.5 Celkové ekonomické zhodnocení	20
4 Měření stlačeného vzduchu	21
Závěr	21
Seznam literatury	23
Seznam použitých zkratk a symbolů	24
Seznam příloh	25

ÚVOD

Stlačený vzduch je, po elektrické energii a plynu, nejpoužívanějším energetickým médiem. Historie výroby a používání stlačeného vzduchu je spojena s rozvojem techniky a především s rozvojem zpracování kovů. Stlačený vzduch je médium snadno získatelné, které není zvláště náročné na způsob distribuce a je možné ho dopravovat na poměrně velké vzdálenosti bez výraznějšího poklesu kvality. Při úniku do okolního prostředí nevzniká žádná ekologická zátěž, na rozdíl od hydraulické olejové soustavy. Po použití se stlačený vzduch vypouští do atmosféry a odpadá potřeba speciální likvidace. Dokonce vzduch vypuštěný z tlakového rozvodu je čistší než okolní atmosféra, protože při výrobě je vzduch čištěn od prachových částic a vody.

Protože vzduchu je kolem nás všude hodně, máme tendenci považovat jej za něco co je zadarmo. A tento přístup používáme i při pohledu na stlačený vzduch a málokdy si uvědomujeme, že výroba stlačeného vzduchu je velmi energeticky náročná a drahá a to především z důvodu trojí přeměny energie - z primární pohonné energie (nejčastěji elektrická) na mechanickou (pohon kompresoru), poté z mechanické na tlakovou (stlačení vzduchu) a nakonec při použití z tlakové opět v mechanickou (např. pohon pneumatického nářadí). V závislosti na ztrátách v rozvodu a vzhledem k účinnosti všech zařízení je využito jen 14 – 25 % energie vynaložené na stlačení vzduchu. Přesto je jeho užití efektivní zejména z důvodu bezpečnosti jeho použití a jednoduchosti, a tedy i nízké ceny, pneumatického nářadí ve srovnání s elektrickým nářadím stejného výkonu.

Cílem této bakalářské práce je zaměření pozornosti technických a vedoucích pracovníků na oblast ztrát vznikajících únikem stlačeného vzduchu a poskytnout návod na identifikaci jednotlivých druhů ztrát, jejich ekonomické vyhodnocení a nastínit některé metody a možnosti pro zavedení úsporných opatření. Pro konkrétní nastínění problematiky a předvedení potenciálních možností jsem využil zájmu firmy TRW Dačice o spolupráci při provedení takovéto analýzy.



Obr. 1.1 TRW Dačice [4]

1 VZDUCH

1.1 Atmosférický vzduch

Atmosférický vzduch je směs plynů tvořící plynný obal Země - atmosféru. Je to bezbarvý plyn bez chuti a zápachu. Hlavními složkami je dusík a kyslík. Vzduch obsahuje velké množství dalších plynných složek (tab.1.1). Uvedené plyny jsou stálé a jejich koncentrace se nemění, s výjimkou CO₂. Atmosférický vzduch dále obsahuje proměnlivé množství vodní páry a pevných částic (prach, písek, pyl ...).

Tab.1.1 Složení vzduchu [2]

plyn	objem %	hmotnost %
dusík	78,08	75,51
kyslík	20,95	23,15
argon	0,93	1,28
oxid uhličitý	0,03	0,046
neon	0,0018	0,0125
helium	0,000524	0,000072
metan	0,00015	0,000094
krypton	0,00011	0,0003
vodík	0,00005	0,0000035
xenon	0,0000087	0,00004

1.2 Stav suchého vzduchu

Fyzikální stav suchého vzduchu můžeme popsat stavovými veličinami, tlakem, teplotou a hustotou. Nejdůležitější fyzikální vlastnosti suchého vzduchu jsou popsány v tab.1.2.

Tlak **p** – je síla působící kolmo na jednotku plochy. Zákonnou jednotkou je Pascal (Pa) a násobnými jednotkami jsou hPa, kPa, Mpa. Barometrický tlak je síla, kterou působí vzdušný obal Země na jednotku její plochy. Rozlišujeme absolutní tlak, přetlak a podtlak.

Teplota – popisuje termodynamický stav látky. Označuje se značkou **t** a jednotkou je °C (Celsiova stupnice) nebo značkou **T** a jednotkou je K (Kelvin) a pak mluvíme o absolutní teplotě.

Hustota ρ – vyjadřuje poměr mezi hmotností látky a jejím objemem. Zákonnou jednotkou je $\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$.

Při technických výpočtech většinou zanedbáváme změny teploty a atmosférického tlaku a používáme konstantní hodnoty. Pro použití v této práci jsou označeny indexem n a mají tyto hodnoty: $p_n = 100\,000\text{ Pa}$, $T_n = 293,15\text{ K}$, $\rho_n = 1,2\text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$.

Tab.1.2 Vlastnosti suchého vzduchu [2]

Vlastnost	Rozměr	Hodnota
Molekulová hmotnost	kg mol^{-1}	28,96
hustota při $+20\text{ °C}$ a 100 kPa	kg m^{-3}	1,188
bod varu při 100 kPa	K	78,8
bod varu při 100 kPa	°C	-194,35
bod tuhnutí při 100 kPa	K	57 až 61
bod tuhnutí při 100 kPa	°C	-216 až -212
plynová konstanta	$\text{J kg}^{-1}\text{ K}^{-1}$	287,1
kritický tlak	MPa	3,78
kritická teplota	K	132,5
kritická teplota	°C	-140,65
poměr měrných tepelných kapacit c_p/c_v		1,4
inverzní teplota	°C	329

1.3 Stlačený vzduch

Pro technické využití nelze použít atmosférický vzduch v běžně dostupné formě, protože jeho jednotkový energetický obsah je velmi nízký a jeho využití je možné pouze větrnými elektrárnami. Pro využití vzduchu v technické praxi je nezbytné zvýšit jeho energetický obsah. Nejjednodušším způsobem zvýšení energie vzduchu je jeho stlačení a následné využití tlakové síly stlačeného vzduchu. V současné době je rozšířeno používání stlačeného vzduchu o přetlaku $600 - 700\text{ kPa}$. Stlačený vzduch se vyrábí v kompresorové stanici a vzduchovými rozvody se dopravuje k odběrným místům.

Ve firmě TRW Dačice jsou instalovány dvě kompresorové stanice, přibližně na opačných koncích areálu závodu. Kompresorovna umístěná v budově plynové kotleny je osazena dvěma kompresory Atlas Copco GA 90-VSD a doplněna externí sušičkou stlačeného vzduchu. Kompresory typu GA 90-VSD jsou šroubové, vzduchem chlazené kompresory se vstřikováním oleje a plynulou regulací výkonu. Pohon je řešen elektromotorem a celý kompresor je uzavřen ve zvukotěsné skříni. Ke každému kompresoru je nainstalován systém pro využití odpadního tepla. Odpadní teplo z kompresorů je využito k ohřevu TUV. Sušení

stlačeného vzduchu probíhá v samostatně stojící sušičce vzduchu a separovaný kondenzát je likvidován v ultrafiltrační stanici.

Druhá kompresorová stanice je osazena třemi kompresory Atlas Copco GA 132-FF. Jde o šroubové, vzduchem chlazené kompresory se vstřikováním oleje a plynulou regulací výkonu. Kompresory mají integrovanou sušičku vzduchu. Výhodou takového řešení je snížení prostorových požadavků pro instalaci kompresorů a úspora nákladů na instalační potrubí. Pohon kompresoru je řešen elektromotorem a celý kompresor je uzavřen ve zvukotěsné skříni. Separovaný kondenzát ze sušičky je likvidován v ultrafiltrační stanici. Tato kompresorová stanice zatím nemá nainstalovaný systém pro využití odpadního tepla.

Rozvody stlačeného vzduchu po areálu závodu jsou provedeny ocelovým svařovaným potrubím a doplněny čtyřmi vzdušnicí. Kompresorové stanice jsou navzájem propojeny potrubím $\phi 250$ mm (bývalý rozvod parovodu) a přes regulační ventily jsou připojeny jednotlivé větve rozvodů po výrobních halách.

V TRW Dačice se stlačený vzduch používá především k pohonu pneumatických systémů v automatizovaných montážních linkách. V menší míře jako chladicí médium při třískovém obrábění a jako pomocný prostředek (např. čištění přípravků, nástrojů, pohon pneumatických nástrojů ...).

2 ZTRÁTY STLAČENÉHO VZDUCHU

Objemové ztráty stlačeného vzduchu můžeme rozdělit do třech hlavních skupin. První skupinou jsou ztráty neodstranitelné vznikající např. pórovitostí materiálu použitého na konstrukci rozvodu stlačeného vzduchu. Druhou skupinou jsou ztráty odstranitelné vzniklé netěsností spojů nebo poškozením rozvodů. Při pravidelné kontrole a údržbě rozvodů lze takovéto ztráty výrazně omezit. Třetí skupinou jsou ztráty odstranitelné vzniklé nevhodným či zbytečným používáním stlačeného vzduchu. Identifikování a odstranění takovýchto závad je velice složité a náročné, protože do procesu vstupuje lidský faktor se zažitým přístupem typu „takhle se to dělalo vždycky a šlo to“ a „vždyť je to jenom vzduch“. Hledání a aplikace řešení úspor vyžaduje od technického pracovníka jiný úhel pohledu na problematiku a velkou přesvědčovací schopnost při zavádění změn do praxe. Od výrobního dělníka je vyžadována důvěra v navrhované řešení a přizpůsobení se novým standardům.

2.1 Ztráty první skupiny

Vznik ztrát stlačeného vzduchu první skupiny můžeme zjednodušit na část hlavních rozvodů stlačeného vzduchu. Konstrukce hlavních rozvodů stlačeného vzduchu je nejčastěji provedena ocelovým svařovaným potrubím s vloženými dilatačními prvky a vzdušnicí. Konce jednotlivých větví hlavního rozvodu jsou opatřeny kohouty a ventily pro připojení spotřebičů. Úniky stlačeného vzduchu nastávají průsakem pórovitostí konstrukčního materiálu a těsnících materiálů.

Určit množství ztrát první skupiny je relativně jednoduché. Vyžaduje však odstavení výroby od dodávky stlačeného vzduchu. Tuto zkoušku je tedy možné provádět pouze o víkendech či v době dovolené.

Uzavřeme veškeré výstupy z hlavního rozvodu stlačeného vzduchu, natlačujeme systém, o objemu O , na maximální hodnotu tlaku a odpojíme kompresorovou stanici. Sledováním poklesu tlaku $\Delta p = 100 \text{ kPa}$ v síti v časovém úseku τ můžeme podle vztahu:

$$Q_z = \frac{O}{\tau} \cdot \frac{\Delta p}{p_n} \cdot \frac{T_n}{T_1} \quad [\text{m}^3 \cdot \text{min}^{-1}] \quad (2.1)$$

určit objemovou ztrátu stlačeného vzduchu. Pokud konstrukce sítě rozvodů umožňuje, lze takto zkontrolovat i jednotlivé větve rozvodů.

Jiný způsob určení objemových ztrát v rozvodu stlačeného vzduchu spočívá ve využití známé hodnoty výkonu kompresoru Q_k . Po dobu jedné hodiny sledujeme a zaznamenáváme dobu chodu kompresoru, který udržuje rovnoměrný tlak v síti rozvodu stlačeného vzduchu. Pak podle vztahu:

$$Q_z = Q_k \cdot \frac{\tau}{60} \quad [\text{m}^3 \cdot \text{hod}^{-1}] \quad (2.2)$$

určíme objemovou ztrátu stlačeného vzduchu. Zásadní podmínkou je odstranění ztrát spadajících do druhé skupiny ztrát, tj. úniků otvorem. Pokud zjištěné ztráty jsou příliš vysoké, je nutné navrhnout a provést kompletní rekonstrukci rozvodů stlačeného vzduchu.

2.2 Ztráty druhé skupiny

Ztráty stlačeného vzduchu druhé skupiny vznikají úniky různými netěsnostmi rozvodů a připojení k zařízení, prasklinami rozvodů a nekontrolovanými výtoky vzduchu. Další oblastí ztrát jsou netěsnosti samotných zařízení, které jsou stlačeným vzduchem poháněné. K určení celkového objemu ztrát lze použít metodu popsanou v kapitole 2.1, kdy však nyní zjišťujeme kombinované ztráty. Metodou určíme pouze velikost celkové ztráty, avšak pro odstranění závad potřebujeme znát jednotlivá místa závad. K lokalizaci netěsností je možné použít několik postupů, které se odlišují cenou, přesností, rozlišovací schopností a komfortem práce.

Metoda hledání úniků stlačeného vzduchu poslechem je nejjednodušší a lze ji použít pouze pro vyhledání závady většího rozměru. Teprve proud vzduchu proudící z velkého otvoru je schopen vytvořit dostatečně hlasitý zvuk, který lidské ucho dokáže lokalizovat. Realizovat tuto metodu je vhodné ve dnech pracovního klidu, kdy kontrolní pracovník není rušen hlukem výroby.

Metoda indikace úniku stlačeného vzduchu pěnou je vhodná pro lokální kontrolu těsnosti tlakového rozvodu, např. kontrola těsnosti přírub, kohoutů, závitových spojení. Provádí se nanesením indikačního prostředku (např. mýdlové vody) na kontrolované místo. V případě netěsnosti unikající vzduch vytváří zřetelně viditelné bubliny.

Elektronické digitální senzory pracují na principu detekce ultrazvuku, který vzniká při proudění stlačeného vzduchu přes hranu otvoru netěsnosti. Tyto přístroje umožňují lokalizovat i nepatrné úniky stlačeného vzduchu. Práce s přístrojem není omezená okolním hlukem a kontrola vzduchového rozvodu může probíhat bez omezení výroby. Přístroj je ideální pro pravidelnou preventivní kontrolu rozvodů stlačeného vzduchu pracovníkem údržby. Vhodný přístroj nabízí např. firma Sonotec.

2.3 Ztráty třetí skupiny

Ztráty třetí skupiny jsou v nevhodném či zbytečném použití stlačeného vzduchu. Prakticky každé pracoviště třískového obrábění, a často i montážní pracoviště, je vybaveno vývodem stlačeného vzduchu. Udávaným důvodem je nutnost použití stlačeného vzduchu při čištění nástrojů a upínačů při výměně řezných destiček, čištění upínacích přípravků nebo pro čištění stroje. Ve většině případů tyto nutné důvody vycházejí ze setrvačnosti myšlení a ze zvyku. Častým nešvarem obsluhy stroje je používání stlačeného vzduchu jako koštěte při úklidu podlahy v okolí stroje. Snad, jako jediný z uvedených důvodů použití stlačeného vzduchu, má své opodstatnění při čištění dosedacích ploch vyměnitelných břitových destiček a držáků nástrojů ve stroji. Přesto i při tomto způsobu použití stlačeného vzduchu je vhodnější snížit tlak, čímž dosáhneme snížení spotřeby stlačeného vzduchu o 30% a snížení kinetické energie vytékajícího vzduchu o 30%. Omezíme tímto opatřením nebezpečí vzniku úrazu od odlétající třísky.

Ve strojích, kde obrobky jsou upínány v přípravcích, je obvykle potřeba odstraňovat třísky z dosedacích ploch přípravku. Při čištění ofukem stlačeným vzduchem dochází k nebezpečnému odletování třísek do okolí, vzniká nebezpečí úrazu a celé pracoviště a okolí je znečištěné. Drobné třísky proud stlačeného vzduchu zatlačí do mezer a dutin stroje a přípravku, kde působí na pohybující se součásti abrazivním způsobem a dochází k nadměrnému opotřebení s následkem poškození a havárie.

V současné době, kdy je tlak na snižování ekologické zátěže životního prostředí, se dostává do popředí zájmu metoda obrábění bez použití chladicí kapaliny nebo s minimálním chlazením, tzv. chlazení mlhou. Přes všechny pokroky ve vývoji břitových destiček, je obvykle výhodné použít alternativní způsob chlazení. Jednoduchá náhrada chladicí kapaliny spočívá v použití stlačeného vzduchu jako chladicího média. Mnohé starší stroje nejsou uzpůsobeny zařízeními pro použití stlačeného vzduchu k chlazení. Při úpravách stroje se často postupovalo cestou nejjednoduššího a provizorního řešení na vyzkoušení. Do trysky chlazení se stlačený vzduch přivedl přímo z hlavního rozvodu stlačeného vzduchu bez jakékoli možnosti regulace a řízení průtoku. Takto zapojený systém chlazení stlačeným vzduchem „chladí“ trvale i v době kdy stroj neobrabí.

3 VYHODNOCENÍ ZTRÁT

Cílem této bakalářské práce je zaměřením pozornosti technických a vedoucích pracovníků na oblast ztrát třetí skupiny a poskytnout návod na identifikaci jednotlivých druhů ztrát, jejich ekonomické vyhodnocení a nastínit některé důležité metody a možnosti pro zavedení úsporných opatření. Tyto skryté ztráty představují poměrně velikou položku z nákladů na výrobu stlačeného vzduchu. Pro prezentaci ekonomických ztrát, které vznikají úniky stlačeného vzduchu v TRW Dačice, jsem zvolil typická pracoviště, kde představím stávající stav, návrhy na zlepšení a ekonomické vyhodnocení.

Aby vyhodnocení spotřeby stlačeného vzduchu mělo dostatečnou vypovídací hodnotu, je nejvhodnější použít, jako výchozí časovou měrnou jednotku, délku jedné pracovní směny; tj. 7,5 hod. (plus 30 min přestávky). Závěrečné zhodnocení procesu je výhodné převést na roční vyhodnocení, zvláště s ohledem na použití dat v další ekonomické analýze finančního oddělení.

3.1 Pracoviště SW A400-2

Popis stroje – SW A400-2 je dvouvrátenové obráběcí centrum se dvěma upínacími stoly. Jeden upínací stůl je v pracovním prostoru, kde probíhá obrábění součástí a na druhém operátor provádí výměnu obrobků. Při obrábění se používá chladicí kapalina. Před vložením polotovaru na upínací stůl je nutné očistit dosedací plochy od třísek. V současné době se k čištění používá ofouknutí stlačeným vzduchem. Mezi nejzávažnější problémy vznikající použitím stlačeného vzduchu je odlétávání třísek do okolí pracoviště a vznik aerosolu ze zbytků chladicí kapaliny na přípravku. Vzhledem k odletujícím třískám je pracoviště zařazeno do rizikové bezpečnostní třídy a obsluha stroje je povinná používat ochranné brýle. Pracoviště a okolí stroje je znečištěno třískami a usazujícími se zbytky aerosolu z chladicí kapaliny.

Při stanovení skutečné spotřeby stlačeného vzduchu na pracovišti jsem vycházel z naměřených hodnot délky ofukování přípravku ve vztahu k délce pracovního cyklu stroje. Poměr průměrné délky ofuku a délky cyklu je 0:3,8“ ofuku k 3:22,6“ pracovního cyklu z čehož vyplývá celková délka ofuku ve směně

$$t_{\text{ofuku ve směně}} = t_{\text{směny}} \cdot \frac{t_{\text{ofuku}}}{t_{\text{cyklu}}} = 450 \cdot \frac{0,063}{3,367} = 8,42 \quad [\text{min}]. \quad (3.1)$$

Spotřeba stlačeného vzduchu za minutu ofuku tryskou 3 mm je

$$\begin{aligned} Q_{\min} &= \mu \cdot 0,03174 \cdot \frac{d^2 \cdot p_0}{\sqrt{T_0} \cdot \rho_n} \cdot 60 = \\ &= 0,7 \cdot 0,03174 \cdot \frac{0,003^2 \cdot 7 \cdot 10^5}{\sqrt{293,15} \cdot 1,2} \cdot 60 = 0,409 \quad [\text{m}^3] \end{aligned} \quad (3.2)$$

a za celou směnu

$$Q_{smena} = Q_{min} \cdot t_{ofukovesmene} = 0,409 \cdot 8,42 = 3,44 \text{ [m}^3\text{]} \quad (3.3)$$

Náklady na stlačený vzduch za směnu

$$N_{smena} = Q_{smena} \cdot 0,32 = 3,44 \cdot 0,32 = 1,10 \text{ [Kč]} \quad (3.4)$$

a za rok

$$N_{rok} = N_{smena} \cdot 3 \cdot 251 = 1,10 \cdot 3 \cdot 251 = 829 \text{ [Kč]} \quad (3.5)$$

Celková bilance spotřeby stlačeného vzduchu použitého pro čištění upínacího stolu na stroji SW A400-2 je v tabulce 3.1.

Tab.3.1 Bilance spotřeby stlačeného vzduchu

Počet minut ve směně	Počet minut ofukování ve směně	Spotřeba vzduchu ve směně	Náklady na vzduch za směnu	Náklady na vzduch za rok (251 dní / 3směny)
t_{smeny}	$t_{ofukovesmene}$	Q_{smena}	N_{smena}	N_{rok}
min	min	m ³	Kč	Kč
450	8,42	3,44	1,10	829,-

Pro řešení stávající situace byly navrženy dvě varianty náhrady stlačeného vzduchu. První varianta spočívá v nahrazení ofuku stlačeným vzduchem ometením štětcem. Po analýze čistící schopnosti štětce v průběhu jeho životnosti, provedené na základě zkušeností z obdobných výrob, byla tato varianta zamítnuta. Největším problémem štětců je jejich schopnost vázat třísky, které velmi rychle snižují jejich čistící schopnost a životnost. Druhá varianta využívá dostupnosti chladicí kapaliny na stroji. Jelikož stroj má dva pracovní stoly, při výměně obrobků na jednom stole probíhá obráběcí operace na druhém stole a tudíž máme trvale k dispozici průtok chladicí kapaliny. Přivedením hadice s chladicí kapalinou do místa výměny obrobků můžeme snadno nahradit čištění stlačeným vzduchem oplachem chladicí kapalinou. Celkové náklady na instalaci oplachu chladicí kapalinou dosahují cca 2000.- Kč.

Navržená změna technologie čištění upínacího stolu nemá výrazný ekonomický přínos, protože návratnost investice je 2,4 roku. Zásadnějším důvodem pro zavedení změny je přímý vliv na bezpečnost práce a kvalitu pracovního prostředí. Odstraněním rizikového používání stlačeného vzduchu, můžeme přeradit stroj do nižší rizikové skupiny a obsluha nebude muset nosit ochranné brýle (což je další úspora v nákladech firmy). Takovéto doplňkové efekty mívají při rozhodování mnohdy větší váhu než je pouhá finanční úspora navrhovaného řešení.

3.2 Pracoviště kulostroj TOS Kuřim

Popis stroje – je jednoúčelový stroj určený k obrábění koule tyčky axiálního kloubu. Obrobek je upnut ve vřetenu v kleštině. Na rotačním suportu jsou obráběcí nástroje, soustružnický nůž a válečkovací kladka. Při soustružení koule se používá chlazení stlačeným vzduchem. Úprava stroje pro chlazení stlačeným vzduchem se provedla dodatečně, jako reakce na problémy s kvalitou obrobene plochy a byla provedena provizorním způsobem. Na hlavním rozvodu stlačeného vzduchu ve stroji byla namontována odbočka a přímo propojena s tryskou chlazení. Výsledkem zapojení je trvalé 'chlazení' nástroje bez možnosti regulace. Jedná se o typický příklad ztrát třetí skupiny. Spotřeba stlačeného vzduchu za minutu je

$$Q_{\min} = \mu \cdot 0,03174 \cdot \frac{d^2 \cdot p_0}{\sqrt{T_0 \cdot \rho_n}} \cdot 60 =$$

$$= 0,7 \cdot 0,03174 \cdot \frac{0,003^2 \cdot 7 \cdot 10^5}{\sqrt{293,15 \cdot 1,2}} \cdot 60 = 0,409 \quad [\text{m}^3] \quad (3.6)$$

a za celou směnu (8 hod.)

$$Q_{\text{smena}} = Q_{\min} \cdot t_{\text{ofukovesmene}} = 0,409 \cdot 480 = 196,32 \quad [\text{m}^3] \quad (3.7)$$

Náklady na stlačený vzduch za směnu

$$N_{\text{smena}} = Q_{\text{smena}} \cdot 0,32 = 196,32 \cdot 0,32 = 62,82 \quad [\text{Kč}] \quad (3.8)$$

a za rok (kalendářní, protože vzduch tryskou protéká nepřetržitě)

$$N_{\text{rok}} = N_{\text{smena}} \cdot 3 \cdot 365 = 62,82 \cdot 3 \cdot 365 = 68791 \quad [\text{Kč}] \quad (3.9)$$

Při stanovení potřebného množství stlačeného vzduchu na pracovišti jsem vycházel z naměřených hodnot potřebné délky chlazení ofukem ve vztahu k délce pracovního cyklu stroje. Poměr délky chlazení a délky cyklu je 0:2,83" chlazení k 0:19,42" pracovního cyklu a z toho vyplývá celková potřebná délka chlazení ofukem ve směně

$$t_{\text{ofukovesmene}} = t_{\text{smeny}} \cdot \frac{t_{\text{ofuku}}}{t_{\text{cyklu}}} = 450 \cdot \frac{0,047}{0,322} = 65,67 \quad [\text{min}]. \quad (3.10)$$

a potřebné množství stlačeného vzduchu za celou směnu

$$Q_{\text{smena}} = Q_{\min} \cdot t_{\text{ofukovesmene}} = 0,409 \cdot 65,67 = 26,86 \quad [\text{m}^3] \quad (3.11)$$

Náklady na stlačený vzduch za směnu

$$N_{\text{smena}} = Q_{\text{smena}} \cdot 0,32 = 26,86 \cdot 0,32 = 8,59 \quad [\text{Kč}] \quad (3.12)$$

a za rok

$$N_{\text{rok}} = N_{\text{smena}} \cdot 3 \cdot 251 = 8,59 \cdot 3 \cdot 251 = 6472 \quad [\text{Kč}] \quad (3.13)$$

Namontování elektromagnetického ventilu v ceně cca 1000 Kč, úprava PLC systému stroje a doplnění řídicích příkazů do obráběcích programů zabere méně než jednu pracovní směnu času. Vyhodnocení ekonomických ukazatelů porovnávající náklady před a po zavedení změny je zřetelně vidět v tabulce 3.2.

Tab.3.2 Bilance spotřeby stlačeného vzduchu

	Počet minut ve směně	Počet minut ofukování ve směně	Spotřeba vzduchu ve směně	Náklady na vzduch za směnu	Náklady na vzduch za rok
	t_{smeny}	$t_{\text{ofukuvesmene}}$	Q_{smena}	N_{smena}	N_{rok}
	min	min	m^3	Kč	Kč
Náklady před úpra- vou	450	480,00	196,32	62,82	68 791,00
Náklady po úpravě	450	65,67	26,86	8,59	6 472,00
Úspory			169,46	54,23	62 319,00

Na tomto příkladu je vidět k jakým ekonomickým ztrátám vede aplikace provizorních řešení a nedotažení pokusů do konečného stavu. Velice jednoduchou úpravou stávajícího stavu dosáhneme úspor, které nám vložené prostředky vrátí násobně. Vždy při zkouškách a zavádění zlepšovacích návrhů je potřeba řešit, kromě primárního námětu, také návaznosti na jiné systémy provozu.

3.3 Pracoviště soustrojí TOS Kuřim

Popis stroje – je jednoúčelová linka CNC soustruhu a kulostroje určená k obrábění kulového čepu kloubu. Obrobek je při soustružení upnut ve vřetenu v kleštině a podepřen otočným hrotem. Dva soustružnické nože zároveň obrábí potřebné funkční plochy. Obrábění probíhá bez chlazení. Při obrábění koule je obrobek upnut ve vřetenu v kleštině. Na rotačním suportu jsou obráběcí nástroje, soustružnický nůž a válečkovací kladka. Obrábění probíhá bez chlazení. K čištění držáků při výměně nástrojů je ke stroji přivedena hadice se stlačeným vzduchem. Celkově můžeme odhadnout, že na tomto (a obdobných) pracovišti pracovník používá stlačený vzduch 10 min za směnu. Spotřeba stlačeného vzduchu za celou směnu je tedy

$$Q_{\text{smena}} = Q_{\text{min}} \cdot t_{\text{ofukuvesmene}} = 0,409 \cdot 10 = 4,09 \quad [\text{m}^3] \quad (3.14)$$

Náklady na stlačený vzduch za směnu

$$N_{\text{smena}} = Q_{\text{smena}} \cdot 0,32 = 4,09 \cdot 0,32 = 1,31 \quad [\text{Kč}] \quad (3.15)$$

a za rok

$$N_{rok} = N_{smena} \cdot 3 \cdot 251 = 1,31 \cdot 3 \cdot 251 = 986 \quad [\text{Kč}] \quad (3.16)$$

Prvotní návrh úplného zrušení přívodu vzduchu k pracovišti byl zamítnut. Vzhledem k obrábění bez použití chladicí kapaliny je pracovní prostor stroje silně znečištěn prachem, který vzniká při obrábění. Při výměně břitové destičky je potřeba vyjmout celý nožový držák a všechny dosedací plochy pečlivě očistit. Jiná technologie čištění, než ofuk stlačeným vzduchem, neposkytne v krátkém čase dostatečně kvalitně očištěné dosedací plochy.

Vhodnější varianta je instalace redukčního ventilu a používání stlačeného vzduchu o přetlaku sníženém na 400 kPa. Spotřeba stlačeného vzduchu za minutu při sníženém přetlaku je

$$\begin{aligned} Q_{\min} &= \mu \cdot 0,03174 \cdot \frac{d^2 \cdot p_0}{\sqrt{T_0} \cdot \rho_n} \cdot 60 = \\ &= 0,7 \cdot 0,03174 \cdot \frac{0,003^2 \cdot 5 \cdot 10^5}{\sqrt{293,15} \cdot 1,2} \cdot 60 = 0,292 \quad [\text{m}^3] \end{aligned} \quad (3.17)$$

a za celou směnu (10 min ofuku)

$$Q_{smena} = Q_{\min} \cdot t_{ofukovesmene} = 0,292 \cdot 10 = 2,92 \quad [\text{m}^3] \quad (3.18)$$

Náklady na stlačený vzduch za směnu

$$N_{smena} = Q_{smena} \cdot 0,32 = 2,92 \cdot 0,32 = 0,93 \quad [\text{Kč}] \quad (3.19)$$

a za rok

$$N_{rok} = N_{smena} \cdot 3 \cdot 251 = 0,93 \cdot 3 \cdot 251 = 704 \quad [\text{Kč}] \quad (3.20)$$

Vyhodnocení spotřeby stlačeného vzduchu při plném a při sníženém tlaku je v tabulce 3.3.

Z porovnání nákladů na spotřebovaný vzduch lze prohlásit, že z hlediska ekonomické návratnosti je investice do takovéto úpravy nerentabilní. Důležitým argumentem pro zavedení používání sníženého tlaku vzduchu je bezpečnostní riziko. Při použití sníženého tlaku vzduchu se sníží kinetická energie vytékajícího vzduchu o 30 %. V důsledku to znamená, že každá odfouknutá či odražená tříška nebo nečistota získá mnohem menší kinetickou energii a nadělá méně škody a nepůsobí tak vážné zranění.

Tab.3.3 Spotřeba stlačeného vzduchu při snížení tlaku

Tlak	Počet minut ofukování ve směně	Spotřeba vzduchu ve směně	Náklady na vzduch za směnu	Náklady na vzduch za rok
p_0	t_{smeny}	Q_{smena}	N_{smena}	N_{rok}
kPa	min	m^3	Kč	Kč
600	10,00	4,09	1,31	986,00
400	10,00	2,92	0,93	704,00
Úspory		1,17	0,37	282,00

3.4 Netěsnosti rozvodů

Častou závadou na rozvodech stlačeného vzduchu v TRW Dačice je netěsnost ve spojích připevnění hadic mezi hlavním rozvodem stlačeného vzduchu a spotřebičem. Z množství těchto drobných úniků je zřejmé, že preventivní kontrola a údržba systému není prováděna v potřebném rozsahu. Pro snadnější a účinnější detekci netěsností je výhodné koupit ultrazvukový detektor netěsností. Ačkoli je cena zařízení poměrně vysoká, návratnost investice je velice rychlá. Najdeme-li tímto přístrojem jeden otvor o průměru 1 mm, v prvním roce se nám vrátí třetina investované částky v nákladech na výrobu unikajícího vzduchu. V grafu v příloze 1 je zřetelně patrná závislost množství ztrát na velikosti otvoru. V rozsáhlém provozu, jako je TRW Dačice, se skutečná doba návratnosti bude počítat na měsíce.

Některé firmy zabývající se prodejem pneumatických systémů nabízejí audity zaměřené na kontrolu rozvodů stlačeného vzduchu a jeho spotřebu. Výstupem je ekonomické a technické zhodnocení stavu rozvodné soustavy a doporučení k snížení stávajících ztrát. Oblasti auditu se dotýkají tří částí vzduchového systému. První je kontrola seřízení kompresorové stanice a vyhodnocení její účinnosti. Druhou oblastí je kontrola vlastních rozvodů stlačeného vzduchu až po vstup do spotřebičů a třetím místem kontroly jsou spotřebiče stlačeného vzduchu, zejména ventily, pneumatické válce a rozvody v rámci stroje.

3.5 Celkové ekonomické zhodnocení

V tabulce 3.4 jsou shrnuty náklady na optimalizaci spotřeby stlačeného vzduchu na hale řízení a jejich ekonomický přínos. Nejztrátovějšími místy jsou pracoviště, kde není regulována a řízena spotřeba stlačeného vzduchu (kulostroj a soustruh TOS Kuřim). Zdaleka nejmenší ekonomický přínos je v zavedení sníženého tlaku vzduchu na jednotlivých pracovištích. Je to dáno nutností vysoké investice k pořízení redukčních ventilů a krátké doby, kdy je stlačený vzduch skutečně používán. Přesto tato investice má smysl z důvodů snížení bezpečnostního rizika při používání stlačeného vzduchu. Pokud vezmeme tento projekt jako celek, můžeme prohlásit, že kompletní investice do opatření ke snížení ztrát stlačeného vzduchu se firmě vrátí za čtyři a půl měsíce.

Tab.3.4 Ekonomické zhodnocení

pracoviště		SW A400-2	kulostroj TOS Kuřim	soustruh TOS Kuřim	snížení tlaku vzduchu	celkem
počet pracovišť		6	2	4	50	
spotřeba vzduchu jednoho praco- viště	před	Kč	829	68 791	68 791	986
	po	Kč	0	6 472	23 037	704
úspora na pracovišti	Kč	829	62 319	45 753	282	
	%	100,0	90,6	66,5	28,6	
úspora celkem	Kč	4 974	124 638	183 012	14 100	326 724
náklady na úpravu jednoho pra- coviště	Kč	2 000	1 000	1 000	1 500	
náklady celkem	Kč	12 000	2 000	4 000	75 000	93 000
návratnost	rok	2,413	0,016	0,022	5,319	0,285

4 MĚŘENÍ STLAČENÉHO VZDUCHU

Důležitou součástí při sledování stavu hospodaření se stlačeným vzduchem je monitorování nejen kvality ale především spotřeby. Jediné měřidlo umístěné na výstupu z kompresorové stanice je nedostačující. Pro správné a úplné vyhodnocení průběhu spotřeby stlačeného vzduchu v závodě je nutné sledovat spotřebu jednotlivých výrobních úseků po celý den. Na základě měření je výhodné upravit rozmístění spotřebičů nebo rozvodů stlačeného vzduchu tak, aby spotřeba v jednotlivých větvích systému byla rovnoměrná. Při zjištění jakékoli odchylky je potřeba okamžitě začít zjišťovat kde nastal problém se zvýšenou spotřebou stlačeného vzduchu. Vhodné přístroje pro trvalé monitorování spotřeby stlačeného vzduchu jsou termické hmotnostní průtokoměry nebo přístroje využívající principu měření tlakové ztráty na škrtící cloně.

K povinnostem pracovníků údržby by měla patřit pravidelná měsíční kontrola těsnosti rozvodů stlačeného vzduchu, všech ventilů a přípojných míst. Nejjednodušším způsobem je poslech, ale při plném provozu výrobní dílny je tato metoda nepoužitelná. Na trhu kontrolních a snímacích zařízení jsou přístroje, které dokáží detekovat unikající vzduch za plného provozu i z nepatrných otvorů. Přístroje využívají vlastnosti vzduchu vytékajícího otvorem, kdy při turbulentním proudění vzniká ultrazvukové vlnění v rozsahu 30 až 50 kHz. Když přístroj zachytí ultrazvukové vlnění, převede je do slyšitelného spektra a na displeji zobrazí jeho intenzitu. Tato hodnota je přímo úměrná velikosti úniku stlačeného vzduchu.

ZÁVĚR

Firma TRW Dačice se zabývá výrobou kulových kloubů řízení převážně pro osobní automobily. Veškeré montážní operace se provádějí na automatických a poloautomatických montážních linkách, které jsou sestaveny z pneumatických řídicích a manipulačních prvků. Jde o systémy s vysokými nároky na kvalitu a množství stlačeného vzduchu. Další zařízení s velkou spotřebou stlačeného vzduchu je pracoviště povrchové úpravy – lakovací linka. Ostatní místa spotřeby (obráběcí stroje a linky) mají jen malý vliv na celkovou spotřebu stlačeného vzduchu.

Původním požadavkem bylo vytipování pracovišť na obráběcích a montážních dílnách, kde by bylo možné odstranit přívody stlačeného vzduchu nebo redukovat tlak na výstupu z pistole. V průběhu kontroly pracovišť byly objeveny jiné, původně nepředpokládané, závady při distribuci a používání stlačeného vzduchu. Další častou závadou byly zjištěny netěsnosti v místech připojení hadic ručních ofuků a spotřebičů k hlavnímu rozvodu stlačeného vzduchu.

Bylo vybráno padesát pracovišť, kde je možné snížit pracovní tlak stlačeného vzduchu. Cena navržených redukčních ventilů je 1500 Kč za jeden kus. Předpokládaná dosažitelná úspora je 14 100 Kč za rok na všech padesáti pracovištích dohromady. Ačkoli ekonomická úspora není příliš velká, doporučuji

provést tuto úpravu, protože se velmi sníží riziko pracovního úrazu odletujícími třískami.

Na skupině strojů SW A400-2 je navržena změna technologie čištění upínacího přípravku na oplach přípravku chladicí kapalinou. Čistě ekonomická návratnost je 2,4 roku, ale je potřeba si uvědomit další výhody zavedení oplachu. Při používání stlačeného vzduchu dochází k znečištění pracoviště a okolí třískami a aerosolem ze zbytků chladicí kapaliny. Obsluha stroje vdechuje rozprášený aerosol (nebezpečí vzniku nemoci z povolání) a je nutné aby pracovník používal ochranné brýle. Při oplachování přípravku jsou tyto bezpečnostní rizika odstraněna a sníží se náklady na pořízení osobních ochranných pomůcek.

Nejzávažnějším problémem s únikem stlačeného vzduchu byl zjištěn na strojích TOS Kuřim, kde se obrábějí tyčky pro axiální kulové klouby. Nevhodným připojením chlazení stlačeným vzduchem k hlavnímu rozvodu vzniká finanční ztráta ve výši téměř 200 Kč denně a 365 dní v roce. Instalací řízeného ventilu v ceně cca 1000 Kč získáme úsporu 62 000 Kč ročně.

Častou závadou na rozvodech stlačeného vzduchu v TRW Dačice je netěsnost ve spojích připevnění hadic k hlavnímu rozvodu stlačeného vzduchu a ke spotřebičům. Z množství těchto drobných úniků je zřejmé, že preventivní kontrola a údržba není prováděna v potřebném rozsahu. V grafu v příloze 1 je zřetelně patrná závislost množství ztrát na velikosti otvoru.

SEZNAM LITERATURY

1. KOLARČÍK, Kamil, VRTEK, Mojmír. *Možnosti úspor energie při výrobě, rozvodu a spotřebě stlačeného vzduchu*. 1. vyd. Praha : [s.n.], 2002. 30 s. ISBN 80-902689-4-3.
2. LIŠKA, Antonín. *Technika stlačeného vzduchu : Výroba a rozvod*. 1. vyd. Praha : SNTL/ALFA, 1988. 336 s.
3. LIŠKA, Antonín, NOVÁK, Pavel. *Technika stlačeného vzduchu*. 1. vyd. Praha : ČVUT, 1999. 361 s. ISBN 80-01-01947-0.
4. TRW Dačice, Interní dokumenty TRW Dačice
5. ATLAS, Copco. *Atlas Copco Stacionární vzduchové kompresory : Návod k obsluze*. [s.l.] : [s.n.], 2005. 126 s.
6. Náklady na zásobování tlakovým vzduchem pod kontrolou. *Technický týdeník*. 21.4.2009, roč. 57, č. 8, s. 29.
7. TSI SYSTEM S.R.O., www.tsisystem.cz. Tlakový vzduch je drahý! : Ultrazvuková diagnostika úniků se vyplatí!. *Technický týdeník*. 21.4.2009, roč. 57, č. 8, s. 35.
8. JIROUT, Ivan, SÁDOVSKÝ, Josef. *Tlak info: oborový portál* [online]. 2005 [cit. 2009-05-04]. Dostupný z WWW: <<http://www.tlakinfo.cz/t.py?t=2&i=1062>>.
9. Sonotec. *Detekce netěsností kontrola armatur : Pro rozvody tlakového vzduchu*. [s.l.] : [s.n.], [200-?]. 2 s.

SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK A SYMBOLŮ

Zkratka/Symbol	Jednotka	Popis
d	m	průměr trysky
N_{rok}	Kč	náklady na výrobu stlačeného vzduchu za rok
N_{smena}	Kč	náklady na výrobu stlačeného vzduchu za směnu
O	m^3	objem rozvodů stlačeného vzduchu
p	Pa, kPa	tlak vzduchu
p_0	Pa	tlak vzduchu v rozvodu
p_n	Pa	tlak vzduchu volného vzduchu
Δp	kPa	změna tlaku
Q_k	$\text{m}^3 \text{ hod}^{-1}$	objemový výkon kompresoru
Q_{min}	m^3	minutový průtok tryskou
Q_{smena}	m^3	směnový průtok tryskou
Q_z	$\text{m}^3 \text{ min}^{-1}$ ($\text{m}^3 \text{ hod}^{-1}$)	objemové ztráty
t	°C	teplota
T	K	absolutní teplota
T_0	K	teplota vzduchu v rozvodu
T_n	K	teplota volného vzduchu
t_{cyklu}	min	čas – délka cyklu
t_{ofuku}	min	čas – délka ofuku
$t_{\text{ofukovesmene}}$	min	čas ofukování ve směně
t_{smeny}	min	čas – délka směny
μ		součinitel kontrakce
ρ	kg m^{-3}	hustota
ρ_n	kg m^{-3}	hustota volného vzduchu
τ	min	časový úsek

SEZNAM PŘÍLOH

Příloha 1 Nomogram – závislost průtoku vzduchu na tlaku a průměru otvoru

PŘÍLOHA 1

Závislost průtoku vzduchu na tlaku a průměru otvoru

