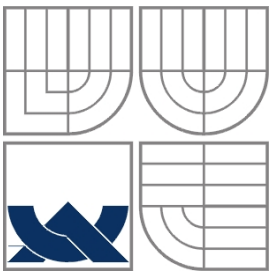


VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ
ÚSTAV STROJÍRENSKÉ TECHNOLOGIE

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING
INSTITUTE OF MANUFACTURING TECHNOLOGY

RACIONALIZACE VÝROBY A ROZVODU STLAČENÉHO VZDUCHU

RATIONALIZATION A PRODUCTION AND DISTRIBUTION OF COMPRESSED

DIPLOMOVÁ PRÁCE
DIPLOMA THESIS

AUTOR PRÁCE BC. PETER ŽILÁK
AUTHOR

VEDOUCÍ PRÁCE DOC. ING. JAROSLAV PROKOP, CSC
SUPERVISOR

BRNO 2009

Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství

Ústav strojírenské technologie
Akademický rok: 2008/2009

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

student(ka): Bc. Peter Žilák

který/která studuje v **magisterském navazujícím studijním programu**

obor: **Výrobní technologie a průmyslový management (2303T010)**

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 diplomové práce:

Racionalizace výroby a rozvodu stlačeného vzduchu

v anglickém jazyce:

Rationalization a production and distribution of compressed

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

1. Technologické podmínky výroby stlačeného vzduchu.
2. Požadavky na rozvod stlačeného vzduchu.
3. Ekonomické parametry výroby a rozvodu stlačeného vzduchu.
4. Racionalizační opatření ve výrobě a rozvodu stlačeného vzduchu v podmínkách strojírenského provozu.

Cíle diplomové práce:

Návrh racionalizačních opatření pro výrobu a rozvod stlačeného vzduchu v konkrétních provozních podmínkách.

ABSTRAKT

Popis stavu výroby stlačeného vzduchu v Motorpal a.s. Jihlava. Nástroj použitý pro zlepšení procesu a výstupu výroby, řešení kvalitativních problémů a zavádění zlepšení. Definování problému, měření, analýza, návrhy a realizace zlepšení, řízení procesu udržení a kontrola zlepšeného procesu pomocí nástroje Lean Six Sigma.

Klíčová slova

Stlačený vzduch, energie, úspora, Lean Six Sigma, DMAIC

ABSTRACT

Description of present state of compressed air production in Motorpal a.s. Jihlava. Toll used for production procedure and output improvement, quality problems solving and improvement implemantation. Problem define, measure, analyse, iprovement proposals and improvement implementation, improved process control via Lean Six Sigma methodics.

Key words

Compressed air, energy, economy, Lean Six Sigma, DMAIC

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

Žilák, Peter. Racionalizace výroby a rozvodu stlačeného vzduchu. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2009. 51 s., doc. Ing. Jaroslav Prokop, CSc.

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci na téma Racionalizace výroby a rozvodu stlačeného vzduchu vypracoval samostatně s použitím odborné literatury a pramenů, uvedených na seznamu, který tvoří přílohu této práce.

Datum 4. 5. 2009 …….

Jméno a příjmení diplomanta

Poděkování

Děkuji tímto Doc. Ing. Jaroslavovi Prokopovi, CSc., Ústav strojírenské technologie, FSI Brno, Ing. Janu Košnerovi, Ph.D., Energetický ústav FSI Brno a Ing. Pavlovi Novákovi, CSc., Ústav mechaniky tekutin a energetiky FS ČVUT Praha za cenné připomínky a rady při vypracování diplomové práce.

OBSAH

Abstrakt 3
Prohlášení 4
Poděkování 5
Obsah 6
Úvod 7
1 TECHNOLOGICKÉ PODMÍNKY VÝROBY STLAČENÉHO VZDUCHU 8
1.1 Výroba stlačeného vzduchu 8
1.1.1 Historie 8
1.1.2 Výroba a využití stlačeného vzduchu 9
1.2 Co je to vzduch 9
1.2.1 Vzduch 10
1.2.2 Parametry vzduchu 11
1.3 Kompresory 13
1.3.1 Rozdělení kompresorů (podle ČSN 10 5010) 13
1.3.2 Parametry kompresorů (podle ČSN 10 5010) 14
1.3.3 Kvalita a úprava stlačeného vzduchu 15
2 POŽADAVKY NA ROZVOD STLAČENÉHO VZDUCHU 16
2.1 Projektování rozvodů 17
2.2 Části potrubních rozvodů 18
3 EKONOMICKÉ PARAMETRY VÝROBY A ROZVODU STLAČENÉHO VZDUCHU 19
3.1 Výroba stlačeného vzduchu 19
3.1.1 Vlivy na výrobu stlačeného vzduchu 19
3.1.2 Využití odpadního tepla 20
3.2 Ztráty při výrobě stlačeného vzduchu 23
3.2.1 Objemové ztráty při výrobě stlačeného vzduchu 23
3.2.2 Tlakové ztráty při výrobě stlačeného vzduchu 25
3.3 Cena stlačeného vzduchu 26
4 RACIONALIZAČNÍ OPATŘENÍ VE VÝROBĚ A ROZVODU STLAČENÉHO VZDUCHU V PODMÍNKÁCH STROJÍRENSKÉHO PROVOZU 27
4.1 Zhodnocení stávajícího stavu výrobního procesu 27
4.1.1 Profil společnosti 27
4.1.2 Proces výroby a využití stlačeného vzduchu 28
4.2 Lean Six Sigma 29
4.2.1 Začínáme 29
4.2.2 Výběr projektu a jeho řízení 32
4.2.3 Six Sigma organizace a proces 33
4.2.4 DMAIC jako Six Sigma proces v projektu 34
4.2.5 Fáze definování (Define) 35
4.2.6 Fáze měření (Measure) 38
4.2.7 Fáze analýza (Analyse) 40
4.2.8 Fáze zlepšuj (Improve) 45
4.2.9 Fáze udržuj (Control) 47
Závěr 48
Seznam použitých zdrojů 49
Seznam použitých zkratek a symbolů 50
Seznam příloh 51

ÚVOD

Stlačený vzduch je v současné době „drahé, ale nenahraditelné médium“. S postupem automatizace ve výrobních procesech, která se stále neobejde bez pneumatických prvků, vznikají i nároky na prvopočátek cesty a výroby pracovního média, stlačeného vzduchu, rozvodů stlačeného vzduchu, kompresorů, sušících a vymrazovacích zařízení – v současné době již neodmyslitelná součást při výrobě stlačeného vzduchu pokud chceme dosáhnout odpovídající kvality.

Stlačený vzduch, využívaný k provádění cílové práce je jedna z nejdražších energií a to z důvodu trojí přeměny energie: z primární pohonné energie (elektrická) na mechanickou (pohon kompresoru), z mechanické na tlakovou (stlačení vzduchu) a z tlakové opět v mechanickou (např. pohon pneumatického nářadí).

Neustále se zdražující energie způsobují stále zřetelněji citelný tlak nákladů na řemeslné, živnostenské a průmyslové podniky. Spotřeba energie kompresorů činí ve strojírenství 20 až 30 % z celkové spotřeby elektrické energie a v celosvětovém měřítku výroba stlačeného vzduchu se pohybuje kolem 8 až 10 % z celkové výroby elektrické energie. Udává se, že objemové ztráty v rozvodech běžně dosahují 30 až 40 % a v starších provozech i více z výkonnosti kompresorových stanic. Objemové ztráty by však nesmí v moderních špičkových firmách překročit 10%.

Proto je cílem všech ekonomicky hospodařících uživatelů vyrábět stlačený vzduch co nejefektivněji, v optimálních parametrech, s minimálními ztrátami jej dopravit na místo spotřeby a maximálně tuto energii spotřebou využít.

Pro průmyslové podniky je životně důležité v rámci zachování konkurence-schopnosti, využívat moderní metody neustálého zlepšování jakosti vyrobeného produktu, zároveň snižování nákladů na jeho výrobu a samozřejmě zlepšování a zkvalitňování služeb pro zákazníka.

Cílem projektu je za pomocí moderní metody Lean Six Sigma, definovat problém, stanovit metriky pro analýzu a statistiku, vyhodnotit chyby, navrhnout a realizovat nápravná opatření k udržení chodu zlepšeného procesu v závodě MOTORPAL, a.s. Jihlava.

1 TECHNOLOGICKÉ PODMÍNKY VÝROBY STLAČENÉHO VZDUCHU

1.1 Výroba stlačeného vzduchu

Výroba stlačeného vzduchu má historický význam pro lidstvo a průmysl. Ve fázi vývoje se kladl hlavně důraz na vývoj strojů a zařízení, které stlačený vzduch vyráběly. V posledních dvaceti až třiceti letech nastává velká modernizace výroby stlačeného vzduchu, kde se neklade důraz jen na stroje a zařízení, ale i na samotné rozvody stlačeného vzduchu, kvalitu stlačeného vzduchu a jeho hospodárné využití. Dále mezi důležité aspekty při výrobě stlačeného vzduchu patří snížení hlučnosti na přípustné parametry, ekologická likvidace vodního a olejového hospodářství, čímž neustále zlepšujeme stav životního prostředí.

1.1.1 Historie

Lidstvo od svého počátku využívá svůj přirozený kompresor plíce (výkonnost plic je asi 6 až 10 m^3/h, dosahovaný přetlak 2 až 8 kPa). Postupným vývojem, kdy člověk objevoval čisté kovy (zlato, měď, olovo, zinek asi 3000 let před naším letopočtem), vznikla potřeba je zpracovávat, jako pomocník se nabídl vítr na návětrných stranách kopců.

Dále asi 1500 let před naším letopočtem lidé zhotovili první mechanický nástroj kovářský měch. Nejprve ho ovládali ručně, postupně vyvíjeli různé pohony větrem a vodou. Tento jednoduchý měch přežil téměř dvě tisíciletí našeho letopočtu.

Od 18. a 19. století do současnosti prodělal vývoj výroby stlačeného vzduchu obrovskou revoluci. Od kovových měchů, pístových kompresorů, turbokompresorů, dmychadel až po šroubové kompresory. Dále se vyvíjela přeprava stlačeného vzduchu. Z počátku vývoje přepravy docházelo k obrovským ztrátám a tím i nefunkčnosti zařízení. První úspěšné využití stlačeného vzduchu se datuje od r. 1860, při stavbě tunelu Cenis ve Švýcarských Alpách, kde délka potrubí dosáhla 7 km.

V současné době se nároky na množství a kvalitu dodávaného stlačeného vzduchu zvyšují. Zkušenost ukazuje, že zvyšování účinnosti strojů a také kompresorů je nákladné, proto se odborníci věnují zpracování projektů, zajištění hospodárných provozů a špičkové údržby dopravních rozvodů a samotných spotřebičů.

1.1.2 Výroba a využití stlačeného vzduchu

Výroba a využití stlačeného vzduchu nachází uplatnění v současné době ve všech oblastech strojírenské výroby, dřevařské, řemeslné, dopravní, zdravotnické. Provoz stlačeného vzduchu je relativně čistý, nekondenzuje, není hořlavý, jedovatý ani horký, je ho všude kolem nás dostatek, odpadá nebezpečí zkratu, požáru.

Nesmíme však zapomenout na to, co je pro výrobu stlačeného vzduchu potřeba. Elektrická energie, zařízení pro výrobu (kompresory), rozvody stlačeného vzduchu (tlakové nádoby, potrubí, ventily, redukční ventily, odlučovače olejů, odlučovače kondenzátů, manometry pro měření tlaku, měřidla spotřeby, teploměry). Všeobecně se konstatuje, že výroba stlačeného vzduchu je nákladná, ale díky dobrým vlastnostem (spolehlivost, provozní bezpečnost, náklady na údržbu, nízké pořizovací náklady) se firmy snaží jej v provozech využít.

Využití lze rozdělit do třech oblastí:

- přenos síly a pohybu (pneumatické motory),
- pohony strojů a zařízení, pneumatické prvky, ovládání strojů atd.,
- přímé použití (provzdušňování kapalin, spalování látek atd.).

V oblastech pohonů, ovládaní zařízení a přenosu sil je stlačený vzduch rovnocenným partnerem zařízením elektrickým a hydraulickým, kde konstruktéři strojů a zařízení často kombinují tyto pohony.

Úkolem všech uživatelů stlačeného vzduchu je co nejhospodárnější výroba a využití v požadované kvalitě.

1.2 Co je to vzduch

Naše planeta je obklopena atmosférou. Složení atmosféry tab. 1.1

Tab. 1.1 Atmosféra země (1)

Název vrstvy	Výška (km)	Teplota (^oC)	Charakteristické vlastnosti
Troposféra	0 až 10	20 až -80	66 % hmoty atmosféry, vítr, vlhkost
Stratosféra	11 až 50	-80 až 0	ozónová vrstva
Mezosféra	55 až 80	0 až -70	
Termosféra (ionosféra)	85 až 500	-70 až 1200	polární záře, bílé noci
Exosféra	500 až 3000		hustota: 1 částice na 1 cm^3
Magnetosféra	3000 až 20000		Van Allenovy radiační pásy
Kosmický prostor	nad 20000		

Díky složení atmosféry je na zemi možný život. Všude kolem nás je vzduch, který má různé využití. Živé organizmy využívají kyslík O_2 a dusík N_2 (slouží jen k ředění kyslíku). V technologickém odvětví se vzduch využívá při spalování, okysličování, stlačený vzduch pro různé pohony, přenosy sil atd. Atmosférický vzduch je bez chuti a bez zápachu a je složen z různých chemických prvků.

1.2.1 Vzduch

Vzduch, který se nachází kolem nás je mechanickou směsí, jednotlivé části je možné od sebe oddělit ochlazováním asi na teplotu 194°C. Ve vzduchu se nachází rovněž vodní pára (udávaná se jako vlhkost vzduchu), pevné částice (prach, saze, krystalky soli atd.) V tab. 1.2 je uvedeno složení vzduchu a v tab. 1.3 vlastnosti suchého vzduchu.

Tab. 1.2 Složení vzduchu (1)

Součást	Množství (objemová %)
dusík N_2	78
kyslík O_2	21
argon Ar	0,93
oxid uhličitý CO_2^+	0,03
neon Ne	0,0018
helium He	0,00052
methan CH_4	0,00015
krypton Kr	0,0001
oxid uhelnatý CO^+	0,00001
oxid dusný NO^+	0,00005
vodík H_2^+	0,00005
ozon O_3^+	0,00004
xenon Xe	0,000008
oxid dusičitý N_2O	0,0000001
jod I_2	2.10^{-11}
radon Rn	6.10^{-18}
proměnlivý obsah páry	-

Tab. 1.3 Vlastnosti suchého vzduchu (1)

molekulová hmotnost	29,96 kg/kmol
hustota při 100 kPa a 20 °C	1,188 kg/m^3
bod varu při 100 kPa	- 194,35 °C
bod tuhnutí při 100 kPa	- 216 až – 212 °C
plynová konstanta	287,1 J/(kg.K)
kritický tlak	3,78 MPa abs
kritická teplota	- 140,65 °C
$\kappa = c_p/c_v$	1,4
inverzní teplota	377 °C
měrná tepelná kapacita	1,0048 kJ/(kg.K)

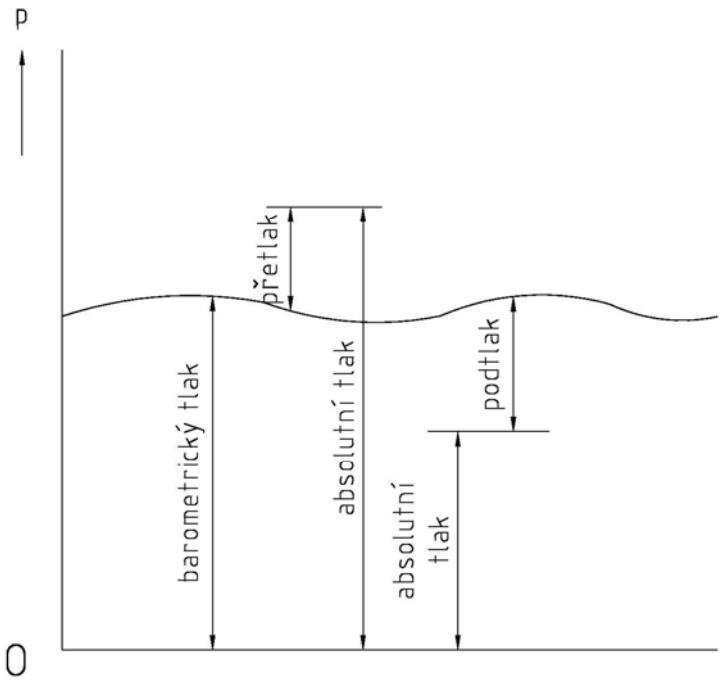
1.2.2 Parametry vzduchu

Vzduch je určen veličinami:

- tlak,
- teplota,
- měrný objem (hustota).

Tlak – jedná se o sílu působící kolmo na jednotku plochy. Atmosférický (barometrický) tlak je síla působící na jednotku plochy povrchu Země – jedná se o vzdušný obal. Zákonná jednotka pro tlak je pascal, označení Pa. V technické praxi se používá jednotky bar.

Pokud vzduch stlačujeme, rozlišujeme tlak absolutní a přetlak obr. 1.1.



Obr. 1.1 Tlak absolutní a přetlak - rozlišení (1)

Z výše uvedeného obrázku vyplývá:

Absolutní tlak – součet měrného přetlaku a barometrického tlaku (vztah 1.1)

$$p_{abs} = p_{př} + p_{bar} \qquad [1.1]$$

Přetlak – se měří tlakoměrem, rozdíl absolutního tlaku a barometrického tlaku (vztah 1.2)

$$p_{př} = p_{abs} - p_{bar} \qquad [1.2]$$

Pro technické výpočty používáme konstantní barometrický tlak o hodnotě 100 kPa. Na většině přístrojů používaných na měření tlaku, mimo barometrů odečítáme na stupnici přetlak nebo podtlak.

Přepočet jednotek tlaku:

100 kPa = 10^5 Pa = 0,1 MPa = 1000 hPa = 750 torr = 1 bar = 1000 mbar
1 MPa = 10^6 Pa = 1000 kPa = 10 bar
1 bar = 100 kPa = 0,1 MPa = 750 torr
1 mbar = 100 Pa = 0,75 torr = 1 hPa
1 mm v. sl. = 9,81 Pa
1 kp/cm^2 = 0,981 bar = 98,1 kPa
1 kp/m^2 = 1 mm v. sl. (vodního sloupce) = 9,81 Pa

Teplota – všeobecně charakterizuje tepelný stav hmoty. Je základní fyzikální veličinou. Udává se v jednotkách Kelvin (K) a vedlejší jednotka je stupeň Celsia (^{o}C).

absolutní teplota T (K) = t (^{o}C) + 273,15
pro technickou praxi T (K) = t + 273 (K)

teplota tání ledu 0 (^{o}C) = 273,15 K
teplota varu vody 100 (^{o}C) = 373,15 K

Měrný objem v, a hustota ρ – (vztah 1.3 a 1.4)

Měrný objem - v

$$v\ \left[\mathrm{m^3/kg}\right] = \frac{V\ (\mathrm{m^3})}{m\ (\mathrm{kg})} = \frac{1}{\rho} \qquad [1.3]$$

Hustota - ρ

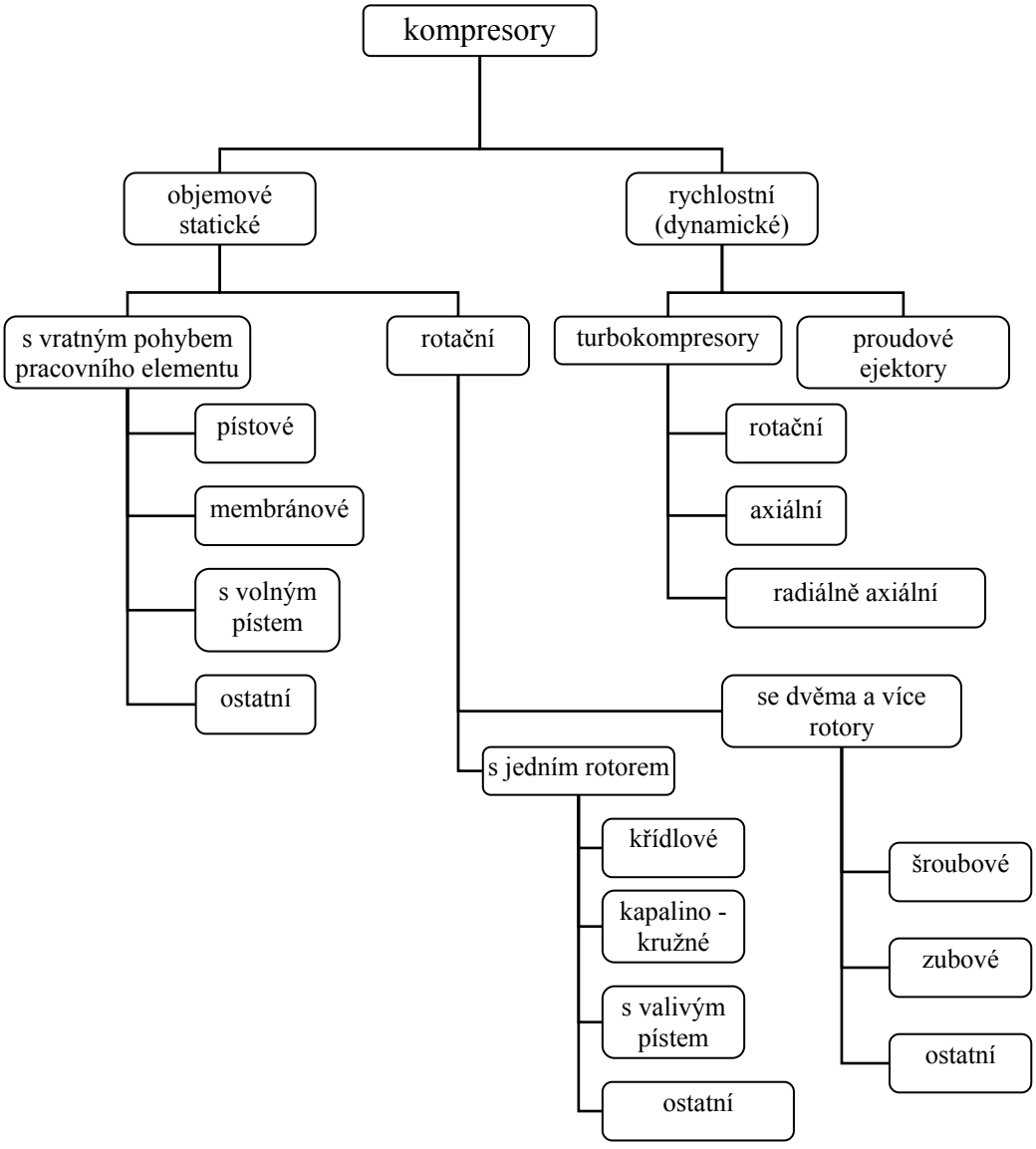
$$\rho\ \left[\mathrm{kg/m^3}\right] = \frac{m\ (\mathrm{kg})}{V\ (\mathrm{m^3})} = \frac{1}{v} \qquad [1.4]$$

1.3 Kompresory

Kompresor je zařízení, které slouží ke stlačování plynů a par. Při pracovním cyklu kompresorů nejčastěji dochází za pomoci mechanické energie k zvýšení tlakové energie nasávaného plynu. Ke svému pracovnímu cyklu potřebuje vnější energii, při stlačování se většina mechanické práce mění v teplo.

1.3.1 Rozdělení kompresorů (podle ČSN 10 5010)

a) Podle způsobu stlačování obr. 1.2



Obr. 1.2 Rozdělení kompresorů podle způsobu stlačování (1)

b) Podle způsobu stlačování:

vývěva - nasává vzduch o tlaku nižším než atmosférickém a stlačuje na tlak atmosférický,
dmychadlo - stlačuje atmosférický tlak do 2 barů,
kompresor - stlačuje plyn na přetlak vyšší než 2 bary,
booster - je zařazován do sání při příliš vysokém tlakovém poměru,
cirkulační kompresor – nasává plyn o vysokém tlaku, stlačuje ho malým tlakovým poměrem (1,1 až 1,2). Slouží pro udržování tlaku v dálkových potrubích nebo v chemických provozech.

1.3.2 Parametry kompresorů (podle ČSN 10 5010)

Pro jasné dorozumívání v technické praxi byly dohodnuty přesné definice důležitých pojmů.

Výkonnost kompresoru je průtok vzduchu výtlačným hrdlem kompresoru, naměřený při jmenovitém výtlačném tlaku a otáčkách. Nejčastěji se udává jako průtok objemový Q (m^3/s, … m^3/h).

Spotřeba vzduchu pneumatických strojů je průtok stlačeného vzduchu plnícím hrdlem do stroje. Udává se jako spotřeba hmotnostní m (kg/s, kg/h).

Měrný příkon kompresoru je příkon (efektivní) podělený výkonností; např. měrný efektivní příkon:

$$P_e' = \frac{P_e}{Q} \quad \left[W/(m^3.h^{-1}) \right] \qquad [1.5]$$

Tlakový poměr σ je poměr absolutního tlaku výtlačného p_2 a sacího p_1:

$$\sigma = \frac{p_2}{p_1} \qquad [1.6]$$

Výtlačný tlak se udává (ve shodě na tlakoměru) jako přetlak.

Kompresní teplota je teplota plynu na konci komprese.

Efektivní příkon P_e (kW) je příkon přiváděný na hřídel nebo spojku kompresoru.

Pracovní prostor kompresoru je prostor uvnitř kompresoru, v němž se pohybuje činná část stlačovacího mechanizmu (píst, rotor).

Škodlivý prostor objemového kompresoru je část pracovního prostoru, v němž po skončení výtlaku zůstává určité množství stlačeného plynu, který na začátku sání expanduje zpět do pracovního prostoru.

Charakteristika kompresoru je vzájemná závislost důležitých parametrů stroje, nejčastěji tlaku a výkonnosti.

Příklady (Technika stlačeného vzduchu):

Vycházíme ze skutečnosti, že na stlačení Q=1 m^3/h se při běžných přetlacích musí vynaložit příkon P_e ~ 0,1 kW, tj. měrný efektivní příkon, který je asi $P_e´$=0,1 kW/m^3h^{-1}

Například:
a) Jakou výkonnost má kompresor s 5 kW motorem?

$$P_e´ = \frac{P_e}{Q} \quad \left[W/(m^3.h^{-1})\right]; Q = \frac{P_e}{P_e´} = \frac{5}{0,1} = 50 m^3/h \qquad [1.7]$$

b) Výkonnost „100 kW kompresoru“ je asi:

$$P_e´ = \frac{P_e}{Q} \quad \left[W/(m^3.h^{-1})\right]; Q = \frac{P_e}{P_e´} = \frac{100}{0,1} = 1000 m^3/h \qquad [1.8]$$

c) Jaký motor potřebuje kompresor o výkonnosti 800 m^3/h?

$$P_e´ = \frac{P_e}{Q} \quad \left[W/(m^3.h^{-1})\right]; P_e = P_e´.Q = 0,1.800 = 80 kW \qquad [1.9]$$

Při přímém spojení kompresoru s motorem je zapotřebí motor o výkonu asi 80 kW.

1.3.3 Kvalita a úprava stlačeného vzduchu

V současné moderní době s rostoucími požadavky na zařízení (přesnost, spolehlivost, ekologie atd.) se klade důraz i na odpovídající kvalitu stlačeného vzduchu. Hlavní znečisťující částice stlačeného vzduchu jsou prach, voda, olej.

Prach odstraňujeme různými filtračními jednotkami. Při velkém obsahu prachu v rozvodech dochází k ucpání a zanášení ovládacích prvků a následným poruchám.

Vodu obsahuje atmosférický vzduch jako vodní páru. Při kondenzaci vodní páry rozvody korodují, zhoršuje se průtočnost potrubí, koroze vytváří mechanické nečistoty a kondenzát ovlivňuje výsledné produkty (barvy, pneumatickou dopravu, přesnost měření, atd.). Zde kondenzát odlučujeme filtračními jednotkami, sušícím zařízením.

Olej u mazaného kompresoru unáší stlačený vzduch v malém množství i do potrubí ve formě aerosolu, kapaliny nebo páry. S rostoucí teplotou se množství oleje zvětšuje. Filtrujeme jemnými vláknitými filtry a přiřazenými filtry s aktivním uhlím.

2 POŽADAVKY NA ROZVOD STLAČENÉHO VZDUCHU

Rozvod stlačeného vzduchu zajišťuje dopravu média k zařízením. Složitost a rozsah rozvodů stanovuje projekt v návaznosti na velikosti provozu, druhu výroby a spotřeby jednotlivých zařízení.

Při projektování rozvodů stlačeného vzduchu je nutné znát parametry:

- spotřeb na jednotlivých odběrných místech s předpokladem budoucího rozvoje výrobní technologie a je nutno brát v úvahu i rezervu (tato analýza určuje výkonnost budoucí kompresorové stanice),
- provozního tlaku k zajištění plynulé dodávky stlačeného vzduchu k zařízením bez tlakových a objemových ztrát (tato analýza určuje i výkonnost budoucí kompresorové stanice),
- požadované kvality stlačeného vzduchu pro danou výrobní technologii (suchý, bez oleje, bez mechanických nečistot, bez kondenzátu – do rozvodné sítě se vkládají sušící, vymrazovací zařízení, odkalovače, filtry atd.).

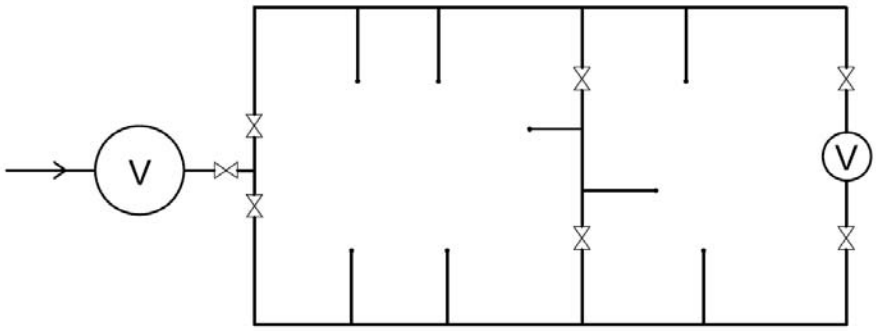
Vyhláškou o dokumentaci staveb se dodržuje níže uvedené dělení potrubní sítě, které je důležité jednak pro určení rozsahu jednotlivých dodávek při investiční výstavbě, jednak pro vymezení působnosti správy a údržby jednotlivých částí sítě při dokončení díla a uvedení do provozu.(1)

Rozvodná síť se skládá ze čtyř částí:
- potrubí v kompresorové stanici končí zpravidla 1 metr za stěnou budovy stanice nebo za vzdušníky, jsou-li mimo budovu, kde potrubí tvoří prvek technologického zařízení stanice,
- přípojné potrubí jsou to vnější (nebo venkovní) rozvody, navazující na kompresorovou stanici, ty zahrnují jak hlavní rozvody, tak přípojky k objektům nebo provozům a končí jeden metr před budovou provozu,
- provozní potrubí zahrnuje vnitřní rozvody v povozních budovách, které opět zahrnují jak rozvody hlavní, tak přípojky k jednotlivým spotřebičům,
- rozvody ke spotřebičům, které navazují na provozní potrubí a tvoří hranice mezi investorem a dodavatelem.

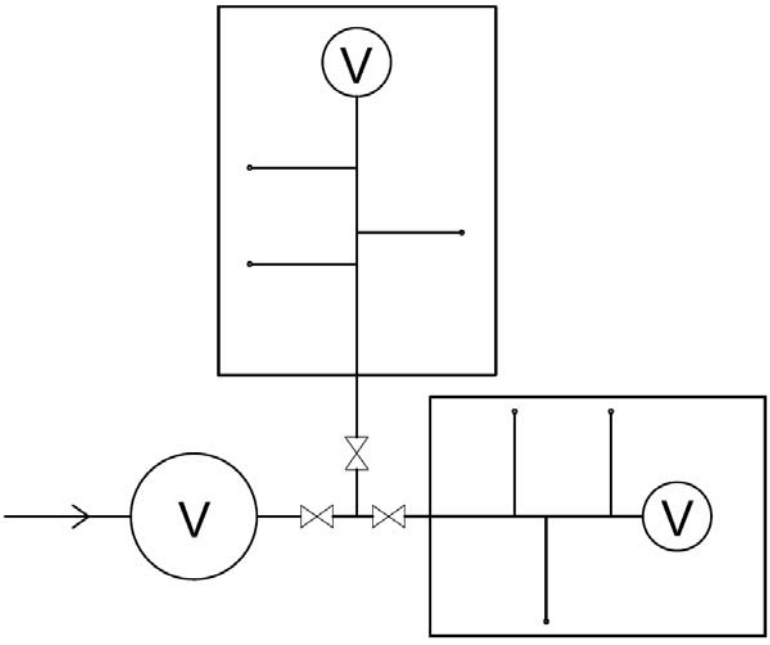
2.1 Projektování rozvodů

Výkonné, hospodárné, spolehlivé rozvody a spotřebiče stlačeného vzduchu musí splňovat následující požadavky:

- co nejmenší kolísání tlaku v rozvodech a ve spotřebičích,
- zařazení vzdušníků k velkokapacitním odběrům, okružní potrubí (viz obr. 2.1). Tam kde se počítá s nepravidelným rozložením zařízení a malým počtem odběrů se montáž rozvodů provádí do samostatných větví, na konci větve s dostatečně velkým vzdušníkem. Každá větev má samostatný ventil s možností uzavření (viz obr. 2.2).



Obr. 2.1 Schéma okružního rozvodu (1)



Obr. 2.2 Schéma samostatné větve (1)

- co nejmenší ztráty netěsnostmi spojů, ventilů a samotného zařízení
- účinné odvádění kondenzátu, montáž sušičů stlačeného vzduchu
- pevnost celého systému (ukotvení, spoje, potrubí, vzdušníky atd.)

2.2 Části potrubních rozvodů

Existuje množství různých součástí potrubních rozvodů. Mezi ně patří kovové trubky, kovové svařitelné, závitové, pozinkované ocelové trubky, nerezové trubky, měděné trubky, trubky z plastů. Rozvody do světlosti 40 mm se dělají z trubek závitových. Větší světlosti se dělají z trubek svařitelných a bezešvých hladkých. Výběr normalizovaných světlostí trubek je uveden v tab. 2.1.

Tab. 2. 1 Výběr normalizovaných světlostí trubek (1)

DN	DN	DN
6 = 1/8“	65 = 2 1/2“	500
8 = 1/4“	80 = 3“	600
10 = 3/8“	100 = 4“	700
15 = 1/2“	125 = 5“	800
20 = 3/4“	150 = 6“	1000
25 = 1“	200	1200
32 = 5/4“	250	1400
40 = 6/4“	300	1600
50 = 2“	350	1800
65 = 2 1/2“	400	2000

Pro pohyblivé nebo přenosné spoje s rozvodným potrubím se používají pryžové tlakové hadice. Tyto spoje se spojují kovovými svorkami (kovový pásek navíjený na podélně rozříznutý svorník, nebo kovová dvoudílná svorka), bajonetovými zásuvnými spojkami, hadicovými přípojkami, rychlospojkami (viz obr. 2.3).

Obr. 2.3 Součásti vzduchových rozvodů (1)

Ovládání množství stlačeného vzduchu, velikosti tlaku a odstavení jednotlivých větví z provozu se provádí pomocí uzavíracích a redukčních armatur (ventily, šoupátka, kohouty, zpětné ventily, zpětné klapky, redukční ventily).

Důležitý faktor, k zajištění co nejmenších ztrát je výběr vhodného těsnění. Těsnění musí být odolné vyšším teplotám a olejům.

3 EKONOMICKÉ PARAMETRY VÝROBY A ROZVODU STLAČENÉHO VZDUCHU

Hospodařit se stlačeným vzduchem znamená:
- předcházet nadměrné spotřebě, využívat stlačený vzduch pouze k určené technologii,
- zmenšit tlakovou ztrátu mezi zdrojem a spotřebičem,
- předcházet úniku stlačeného vzduchu netěsnostmi,
- udržovat kompresory a zařízení kompresorovny v optimálním provozním stavu,
- pravidelně prověřovat ekonomičnost jeho výroby, měřit výkonnost a příkon kompresorů, spotřebu pneumatických strojů, ztráty v rozvodu.

3.1 Výroba stlačeného vzduchu

„Obecně se uznává, že podíl energie na stlačování vzduchu v závodě roste téměř přímo úměrně s růstem spotřeby elektrické energie. Ve výrobních závodech činí tento podíl 20 až 30%, v dolech 40 až 50%, v hutích 5%, ve sklárnách až 75%.“ (2)

3.1.1 Vlivy na výrobu stlačeného vzduchu

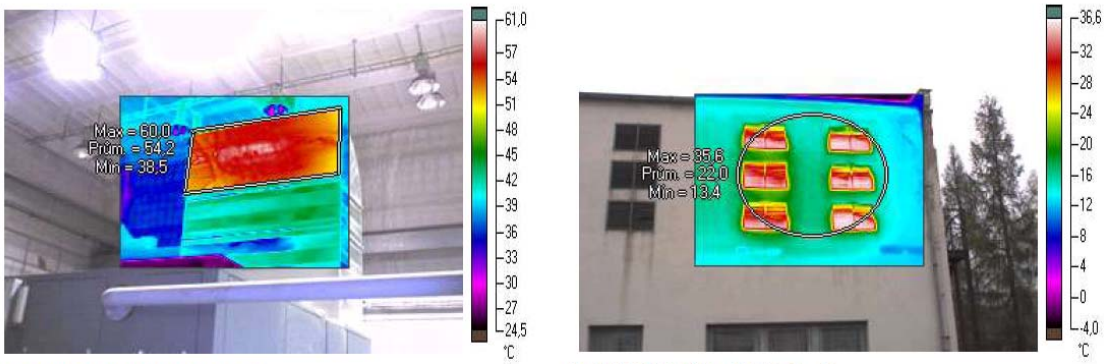
Na celkovou hospodárnost pneumatického zařízení má vliv:
- dokonalost projektu
- provozní stav kompresorů (preventivní údržba)
- způsob regulace kompresorů a přímých odběrných míst
- provozní stav rozvodné sítě (preventivní údržba)
- pečlivost obsluhy a údržby
- stupeň využití odpadního tepla

Jak je patrné z výše uvedených bodů je nutné věnovat velkou pozornost výrobě stlačeného vzduchu od samého počátku. Provozovat kompresory co nejefektivněji, zaznamenávat a vyhodnocovat data (spotřebu energií, sledovat výkonnost kompresorů atd.). Vkládat do soustavy výroby stlačeného vzduchu regulační stupně. Zamezí se tím zbytečné výrobě stlačeného vzduchu v době přestávek, v místech kde není potřeba. Určení velikosti tlaku do jednotlivých větví (systém se zbytečně netlakuje).

Obsluha a údržba výroby stlačeného vzduchu musí provádět pravidelně preventivní kontroly celé sítě výroby stlačeného vzduchu. Kontroly těsnosti spojů (zamezení objemových ztrát), odkalování odkalovačů, údržbu filtračních jednotek (dodávka stlačeného vzduchu v požadované kvalitě), kontroly chladících zařízení (chladící voda, vymrazovací agregáty, sušící agregáty atd.) „Závady v chladicím systému projevující se zvýšenou teplotou vytlačovaného vzduchu o 40°C než odpovídá normálnímu chodu kompresoru zvyšují spotřebu elektrické energie až o 15%.

3.1.2 Využití odpadního tepla

Při výrobě stlačeného vzduchu vzniká odpadní teplo, které se tvoří z přivedené energie nutné ke stlačování vzduchu. Z obrázků pořízených termokamerou typu Fluke TiR s technologií IR-fusion®, je vidět teplo odcházející do prostoru. Přímo nad strojem, při plném provozu kompresoru Atlas Copco, typové označení GA 200, rok výroby 2002, výkon 2171 m^3/hod, příkon 211 kW, je průměrná teplota odváděného vzduchu 54,2°C. Teplo se dále odvádí z prostoru kompresorovny větráky na zdech budovy. Průměrná teplota vystupujícího tepla je 29. 4. 2008 v 18:36 22°C (viz obr. 3.1).



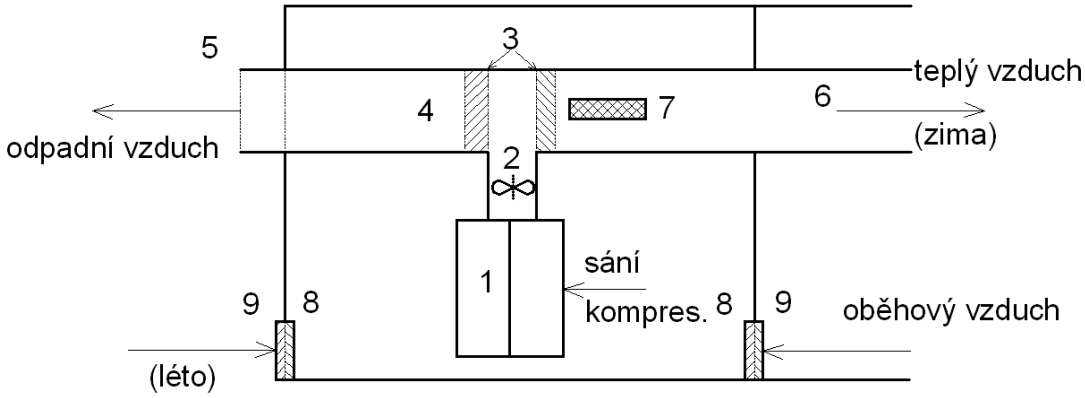
Obr. 3.1 Odpadní teplo z výdechu kompresoru a budovy (autor)

Toto teplo nyní bohužel bez užitku odchází do prostoru budovy kompresorovny odkud je odváděno čtyřmi ventilátory v plášti budovy. Pro využití odpadního tepla se nám nabízí dvě technická řešení.

První řešení využití odpadního tepla je montáž výdechu přímo z kompresoru, který se prodlouží až do odběrného místa. Zde je nutno počítat s montáží rozměrné vzduchotechniky, která se musí důkladně zateplit. Dále se v místě konečné spotřeby musí vyřešit vyrovnávání tlaku vzduchu na hale tak, aby nedocházelo k nerovnováze. (viz obr. 3.2).

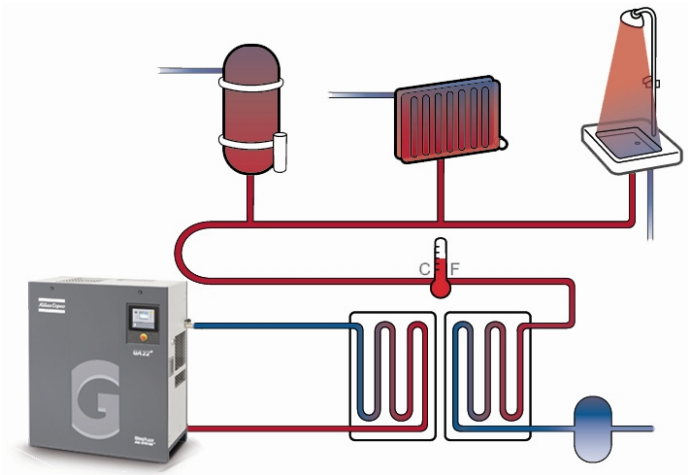
Systém je naznačen na obrázku 3.2 teplý chladící vzduch z kompresoru a motoru (1) je pomocným ventilátorem (2) dopravován přes termostatem ovládané klapky (3) buď do topného kanálu (6) – v zimě, nebo do výfukového kanálu (4) – v létě. V obrázku dále značí: 7 – průduchy do temperovaných místností, 9 – protidešťové žaluzie, 5 a 8 – termostatem ovládané klapky. (2)

Touto metodou využité odpadní teplo, je využito částečně a jen ve chladném období, kdy je potřebné temperovat například dílny, skladové prostory atd.



Obr. 3.2 Jednoduché schéma využití odpadního tepla první varianta (2)

Druhým řešením je odebírat teplo přímo ze segmentu kompresoru s využitím výměníku. Odpadní teplo se pak dá pomocí přenosového média dopravit až na samotné místo využití. Výhodou je možnost dopravy tepla i na poměrně větší vzdálenosti obdobně jako u dálkového vytápění (viz obr. 3.3).

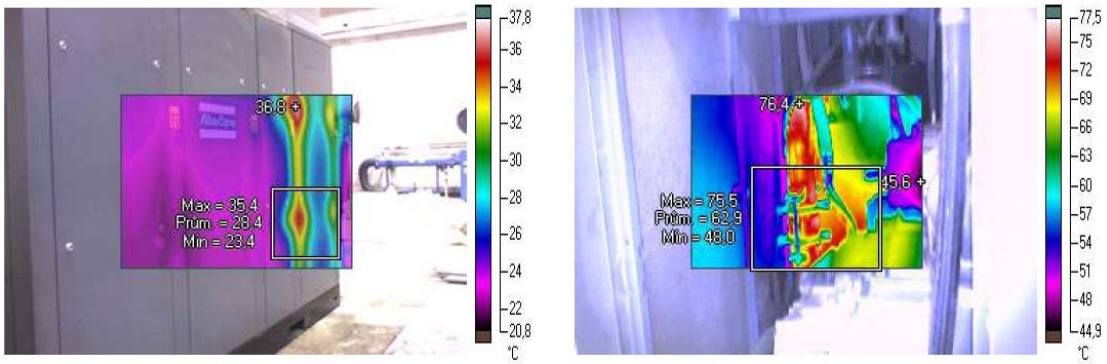


Obr. 3.3 Jednoduché schéma využití odpadního tepla druhá varianta (6)

Přímo na výměníku segmentu je teplota výrazně vyšší, než v ústí výdechu kompresoru. Maximální teplota zde dosahuje až 76°C (viz obr. 3.4).

Snímky jsou pořízené ve společnosti Motorpal, a.s., Jihlava. Jedná se o kompresor Atlas Copco, typové označení GA 200. Výrobce kompresorů Atlas Copco uvádí ve svých katalogových listech, že až 75% výkonu instalovaného elektromotoru v kompresoru se během procesu přemění v odpadní teplo. Proto nabízí svým zákazníkům zařízení Energy recovery, kterým lze tuto energii opět využít. Zde se nabízí významné úspory.

Výsledná teplota oběhové vody přímo závisí na těchto veličinách:
- výkon instalovaného elektromotoru
- doba práce elektromotoru
- průtok oběhové vody
- teplota oběhové vody na vstupu kompresoru (6)



IR20080429_0147.is2
29.4.2008 18:46:41

IR20080429_0144.is2
29.4.2008 18:44:16

Obr. 3.4 Odpadní teplo element (autor)

Zařízení *Energy recovery* se skládá z těchto komponentů:
- tepelný výměník olej/voda vyrobený z nerez oceli,
- automatický termostatický ventil,
- čidlo pro měření teploty na vstupu a výstupu oběhové vody,
- uzavírací ventily a veškeré potřebné propojovací potrubí.(6)

Instalace zařízení je jednoduchá a to propojením vstupního a přívodního potrubí. Samotný výměník je montován do skříně kompresoru, kde je rovněž napojeno potrubí z olejové skříně segmentu. Po spuštění kompresoru do doby zahřátí oleje, je ventil k výměníku uzavřen. Jakmile se začne olej zahřívat, ventil začne zásobovat výměník teplým olejem. Po zahřátí oleje na určitou teplotu se ventil otevře a veškerý olej je odváděn přes výměník. Ve výměníku se ohřívá okruhová voda pro další použití.

Ve společnosti Motorpal, a.s., Jihlava byla zpracována studie, kde se počítá s temperováním přístavku haly a ohřevem teplé užitkové vody. K realizaci však nedošlo z důvodu realizace úsporných opatření ve finančním plánu společnosti Motorpal, a.s., Jihlava, jako důsledek celosvětové hospodářské krize. Návrh byl spojen s projektem změny vytápění celé jedné haly, kde investiční náklady byly velké a tak oba projekty byly pozastaveny.

3.2 Ztráty při výrobě stlačeného vzduchu

V každém rozvodu stlačeného vzduchu se počítá se ztrátami. Ztráty ovlivňují celkovou hospodárnost systému a odráží se na ceně za veškeré energie, údržbu a provoz.

Rozdělení ztrát:

- objemové,
- tlakové.

Ve společnosti Motorpal, a.s., Jihlava jsou instalované dva druhy rozvodů tlakového vzduchu o tlaku 7,2 bar a 4 bar. Stlačený vzduch o velikosti 7,2 bar se používá zejména k pohonu strojů a zařízení a 4 bar k ofukování výrobků a míchání technologických kapalin. V níže uvedených propočtech lze zřetelně vidět, že rozdělení rozvodné sítě do dvou okruhů a co nejoptimálnější využití provozního tlaku pro jednotlivé technologické procesy je pro společnost finančně výhodné.

3.2.1 Objemové ztráty při výrobě stlačeného vzduchu

V odborné literatuře se uvádí, že optimální objemové ztráty by neměly přesahovat 10 až 15%, v moderních firmách dokonce 5 až 10%. Tyto hodnoty v dnešní době lze za pomoci moderních technologií dosáhnout hlavně u kvalitně provedených svařovaných a udržovaných spojů.

Podle měření bývalé Státní energetické inspekce běžně dosahuje ztráta v závodních rozvodech 30 i více procent. (2)

Objemové ztráty jsou jednak neodstranitelné, jednak odstranitelné. Ztráty neodstranitelné vznikají pórovitostí těsnícího materiálu a materiálu armatur. Např. porézností těsnění v jednom přírubovém spoji DN 100 unikne 5 až 6 m_n^3 vzduchu za měsíc. Z hospodářského hlediska jsou důležitější ztráty odstranitelné, vznikající volbou nevhodného materiálu, nesprávné montáže, špatného zacházení, nebo nedbalé obsluhy a údržby. Často se vyskytují tyto závady: nedostatečně utažené přírubové spoje, netěsné armatury, poškozené nebo vadně spojené pryžové hadice, nesouhlasné poloviny spojovacích šroubení, atd.

Objemové ztráty vznikající různými netěsnostmi lze vypočítat pomocí rovnice kontinuity pro kritický průtok otvorem (zde netěsností). Při poměru tlaků p_2 a p_0 před otvorem menším než 0,528, je rychlost proudění vzduchu otvorem nejvyšší, jaké lze dosáhnout, tj. rychlost kritická. Tyto poměry nastávají teoreticky už při přetlaku v potrubí asi 100 kPa, což je prakticky v provozu vždy. Odhadneme-li velikost výtokového součinitele asi 0,7, bude při kritické rychlosti

$$w_k = 18{,}3\sqrt{T_0} \quad [\mathrm{m/s}] \qquad [3.1]$$

a kritické hustotě

$$\rho_k = \rho_0 .0{,}528^{\frac{1}{\kappa}} = 0{,}634\rho_0 \quad [\mathrm{kg/m^3}] \qquad [3.2]$$

množství unikajícího vzduchu

$$m = 0{,}7m_k = 0{,}102S\frac{p_0}{\sqrt{T_0}} = 0{,}08\frac{d^2 p_0}{\sqrt{T_0}} \quad [\mathrm{kg}/h] \qquad [3.3]$$

V rovnicích značí:

T_0 (K), p_0 (KPa abs)	-	stav vzduchu v potrubí
S (mm^2)	-	plocha netěsnosti
d (mm)	-	průměr netěsnosti

Například při přetlaku 700 kPa a teplotě 30°C unikne dírou 20 mm^2 asi 93,7 kg/h vzduchu. Přepočteno na objem v sání kompresoru (hustota atmosférického tlaku vzduchu je asi ρ = 1,2 kg/m^3)

$$Q_z = \frac{m}{\rho_1} = \frac{93{,}7}{1{,}2} = 78{,}13 \quad [\mathrm{m^3}/h] \qquad [3.4]$$

Při ceně vzduchu asi 30 hal/m_n^3 je ztráta asi 23,44 Kč za hodinu. Při celoročním dvousměnném provozu (asi 3600 hodin) je to 84 380 Kč za rok. (2)

Po vytvoření tabulky v softwaru Microsoft Office Excel a dosazení hodnot dle výše uvedených vztahů vznikla informativní tabulka 3.1. Tabulka má informativní charakter a byla použita v podnikovém časopisu, aby si všichni pracovníci uvědomili, jak veliké ztráty vznikají netěsnostmi systému za 365 pracovních dnů.

Pro porovnání je uvažován přetlak 7 bar.

Průměr otvoru (mm)	Ztráta při přetlaku 7 bar (m^3/h)	Potřebný příkon kompresoru (kW)	Potřebný příkon kompresoru (kW / 365 dnů)	Výsledná roční ztráta (1 kW / 2,2 Kč)
1	3,22	0,4	3 504	**7 709 Kč**
3	29,5	4	35 040	**77 088 Kč**
5	80,6	10,8	94 608	**208 138 Kč**
10	322,3	43	376 680	**828 696 Kč**

Tab. 3.1 Orientační tabulka pro informaci „ ZTRÁTY „ (autor)

V literatuře lze najít tyto údaje:

- ztráta vztažená na 1 km potrubí je asi 80 až 100 m_n^3/h
- ztráta vztažená na 1 m^2 povrchu potrubí je asi 0,25 m_n^3/h
- objemové ztráty v hadicích jsou asi 4 krát větší než ztráty v potrubí (2)

3.2.2 Tlakové ztráty při výrobě stlačeného vzduchu

Pokles přetlaku vlivem tření v potrubí ze 600 kPa na 500 kPa při výkonnosti kompresorovny 6000 m^3/h představuje ztracený příkon asi 40 kW. Při dvousměnném provozu (asi 3600 h/rok) to obnáší energetickou ztrátu 144 MWh. Na druhé straně - podle údajů v literatuře - tlaková ztráta v síti „jen" 50 kPa (což bývá považováno za příznivou hodnotu), stojí ročně v SRN na mzdách 480 000 DM, chceme-li nahradit ztrátu na výkonu 200 kusů vysokovýkonných brusek při jejich nasazení 4 h denně. (2)

3.3 Cena stlačeného vzduchu

Cena 1 m_n^3 stlačeného vzduchu se stanoví z podílu ročních nákladů a roční produkce:

$$K = \frac{\text{celkové roč. náklady (Kč/rok)}}{\text{celková roč. produkce stlačeného vzduchu } (m_n^3 / rok)} = \frac{PN + O + U + R}{Q.H} \quad \left[\text{Kč}/m_n^3\right] \qquad [3.5]$$

Ve vzorci značí:

PN	(Kč/rok)	provozní náklady (elektrická energie, olej, voda),
O	(Kč/rok)	odpisy kompresorů, pomůcek pro údržbu a opravy,
Ú	(Kč/rok)	údržba a opravy (mzdy, pojištění, náhradní díly, materiál),
R	(Kč/rok)	režie provozu (světlo, větrání, topení),
Q	(m_n^3/h)	výkonnost kompresorů,
H	(h/rok)	počet provozních hodin za rok.

Cena stlačeného vzduchu při výrobě ve velkých hospodárnějších kompresorových stanicích a dobré údržbě zařízení vychází asi na 0,25 Kč/m_n^3. Ve výrobních závodech při použití menších jednotek, nebo při špatném stavu rozvodů a pneumatických zařízení, může stoupnout třeba až na 0,80 Kč/m n. Cena vysušeného vzduchu se podle druhu použitého vysoušecího zařízení zvýší o 10 až 25 %, ale náklady na údržbu a opravy rozvodné sítě i pneumatických zařízení klesnou přibližně o 50 %. Světový trend růstu cen paliv a energií přináší jednoznačný fakt trvalého růstu ceny stlačeného vzduchu. (2)

Příloha 6 „Propočet nákladů na výrobu stlačeného vzduchu“ obsahuje porovnání ceny za vyrobený 1 m^3 stlačeného vzduchu, ve společnosti Motorpal, a.s., Jihlava. Porovnání ceny za rok 2007 a rok 2008. Znázorňuje, že rychlé nápravné opatření (bude popsáno v následující kapitole), pomohlo udržet cenu i přes zdražení elektrické energie o 15,5 %. Cena v roce 2008 0,41 Kč/m^3, byla ovlivněna generální opravou a neplánovanými opravami.

4 RACIONALIZAČNÍ OPATŘENÍ VE VÝROBĚ A ROZVODU STLAČENÉHO VZDUCHU V PODMÍNKÁCH STROJÍRENSKÉHO PROVOZU

4.1 Zhodnocení stávajícího stavu výrobního procesu

4.1.1 Profil společnosti

Motorpal, a.s., Jihlava, je významným výrobcem vstřikovacích zařízení pro dieselové motory a jeho klíčovými produkty jsou vstřikovací čerpadla, vstřikovače a vstřikovací trysky pro vznětové motory a dále výrobky pro automobilový průmysl (vyvažovací hřídele, pístní čepy a zdvihátka).

Motorpal, a.s. tvoří čtyři výrobní závody umístěné v Jihlavě, Jemnici, Batelově a ve Velkém Meziříčí. Firma s téměř 1600 zaměstnanci je současně jedním z nejvýznamnějších zaměstnavatelů v kraji Vysočina.

Společnost Motorpal, a.s. má více než šedesátiletou historii. V říjnu roku 1946 byl založen národní podnik PAL Jihlava (pobočný závod PAL České Budějovice), který se později osamostatnil a v roce 1950 změnil název na Motorpal. Firma vyrostla v regionu se silnou průmyslovou tradicí, Jihlavsko dříve vynikalo zejména v těžbě stříbrné rudy, v papírenství a textilním průmyslu.

Od svého počátku se firma Motorpal zaměřuje na „výrobu vstřikovacích zařízení pro vznětové motory“. Za dobu od svého vzniku však firma ušla dlouhou cestu. Svým výrobním programem se řadí ve svém oboru ke špičce na globálním trhu a v tuzemsku patří k nejvýznamnějším exportérům.

Výrobky společnosti splňují ty nejpřísnější předpisy platné na vysoce vyspělých trzích. Zákazníky Motorpalu najdeme na čtyřech světových kontinentech – v Evropě, Asii, Americe i v Africe. Jsou mezi nimi zvučná jména i menší společnosti, což svědčí o flexibilitě, které je Motorpal, a.s. schopen dosáhnout. Motorpal, a.s. je kvalifikovaným OEM partnerem celé řady současných výrobců motorů, poskytuje zákazníkům komplexní službu přes vývoj, vzorkování a naladění vstřikovací soupravy na daný motor až po sériové dodávky. Společnost je certifikována podle normy ISO 9001, QS 9000 a podle automobilových standardů VDA 6.1. V současné době se připravujeme k přechodu na standardy ISO TS 16949.

V minulých letech prošel Motorpal, a.s. výraznou restrukturalizací, jejímž cílem bylo zefektivnit výrobu, logistiku a další procesy společnosti. Cílem bylo také koncentrovat veškerou energii na hlavní výrobní program – výrobu komponentů do dieselových motorů. Po těchto restrukturalizačních změnách se firma vyvíjí v prosperující podnik, který je silně zákaznicky orientovaný. Zlepšující se hospodaření umožní rovněž investovat více než v minulosti do moderních technologií a do vývoje. Společnost se rovněž intenzivně zaměřuje na perspektivní trhy, za něž považuje zejména Rusko, Čínu nebo Indii.

4.1.2 Proces výroby a využití stlačeného vzduchu

Ve všech výrobních závodech Motorpal, a.s. je výroba stlačeného vzduchu zabezpečována pomocí moderního vybavení a to šroubovými kompresory „ATLAS COPCO“. Dále se vyrobený vzduch suší ve vymrazovacích zařízeních, akumuluje se ve vzdušnících (zachování plynulé dodávky bez kolísání tlaku), následně je rozveden do výrobních hal, kde se pomocí rozvaděčů rozvádí do dvou rozvodů vysokotlaký rozvod stlačeného vzduchu 7,2 bar a nízkotlaký rozvod stlačeného vzduchu 4 bar. Rozvod upravený do dvou okruhů je jenom v závodě Jihlava, kde bude aplikován tento projekt. Po úspěšném zvládnutí a ukončení projektu bude dále rozšiřován i na ostatní pobočné závody.

Využití stlačeného vzduchu:

- zabezpečení výrobní technologie
- pohony strojů a zařízení, pneumatické prvky, ovládání atd.
- dodávka a prodej externím firmám sídlícím v areálu závodu

Nutno podotknout, že vyrobený vzduch musí být dodáván do procesu ve stanovené kvalitě a stanovených parametrech. To znamená, že stlačený vzduch musí být zbaven vodního kondenzátu, a tlak v systému musí být stabilní.

V době, kdy se všechny průmyslové podniky zabývají kvalitou a čistotou, zavádí i firma Motorpal, a.s. projekty směřující ke zvyšování hodnoty firmy. Patří sem - zlepšování firemních procesů, snižování nákladů na výrobu produktů, zvyšování konkurenceschopnosti, uspokojování potřeb zákazníků k dosažení co největšího zisku.

4.2 Lean Six Sigma

Program zlepšování *Lean Six Sigma* odstartoval prvním školením 11. února letošního roku. Tento projekt má podstatným způsobem urychlit práce na optimalizaci procesů, zvyšování kvality, produktivity a snižování nákladů.

4.2.1 Začínáme

- **co je to *SIX SIGMA*?**

Je to metoda, jak zvýšit hodnotu firmy a tudíž i zisk prostřednictvím zdokonalování firemních procesů.

- **Vize** – dosáhnout spokojenosti zákazníka, přitom dosahovat zisk, šetřit životní prostředí a rozvíjet mezilidské vztahy.
- **Filozofie** – aplikovat strukturovaný, systematický, disciplinovaný a na data orientovaný přístup, který vede ke zvyšování podnikatelských výkonů v každodenních činnostech.
- **Manažerský systém –** rozhodování na základě dat a faktů
- **Cíl –** 3 až 4 defektů na milion příležitostí.
- **Sada nástrojů –** systematické využití celé řady metod a nástrojů pro zlepšování procesů.
- **Řízení organizace dle potřeb zákazníka.**

- **co je to *Lean*?**

Je to metoda, která umožňuje maximalizování aktivit přidávajících hodnotu výrobku nebo služby a eliminování aktivit, které hodnotu nepřidávají. *Lean* znamená štíhlý, tedy odstraňování zbytečných činností, které nepřinášejí žádnou hodnotu. Veškeré procesy uvnitř firmy se musí zjednodušit a urychlit. Tím se dosáhne především snížení počtu příležitostí k chybám, zrychlí se průběžná doba, která uběhne od požadavku zákazníka po dodání produktu, respektive služby a sníží se náklad na realizaci a zásoby, s touto realizací spojené.

- **proč je v názvu právě *Six Sigma*?**

Metoda Six Sigma vychází z faktu, že během výroby produktu nebo poskytování služby dochází k chybám. Zákazník pak nevnímá tu část případů, kdy bylo vše v pořádku. Mnohem víc se ho dotýká, když k chybě dojde a jeho to postihne. Nyní se dostáváme ke slovu „sigma„. Chyba je odchylka od požadovaného stavu. Jako označení pro odchylku se používá řecké písmeno sigma. Metoda Six Sigma se zabývá právě těmito nechtěnými odchylkami, měří je, statisticky vyhodnocuje a na základě zjištěných dat pak zjišťuje příčiny chyb. Výsledkem jsou účinná opatření, prostřednictvím kterých se příčiny chyb odstraní. Cílem je dosáhnout minimalizace chyb, přičemž se odlišuje několik úrovní, kterých je možné dosáhnout. Šestá úroveň – Six Sigma – je stav, kdy proces generuje své produkty tak dokonale, že z jednoho milionu produktů může vzniknout jen 3-4 produktů, které nejsou ve shodě s požadavky zákazníka.

- **jak program *Lean Six Sigma* v Motorpalu probíhá?**

Pro program *Lean Six Sigma* jsme zvolili několik zadání projektů, které se uskuteční v rámci programu. Pro zjištění úspěšnosti těchto programů jsme vybrali i pracovníky, kteří budou v roli projekt manažerů s názvem „*Black Belt*„ tyto zmíněné projekty realizovat.

Jedním z charakteristických rysů metody je týmová práce, počínaje pracovníky na všech úrovních, až po generálního ředitele. Podpora projektů všemi zúčastněnými je jednou ze základních podmínek úspěšnosti projektů.

Projekt s názvem „Racionalizace výroby a rozvodu stlačeného vzduchu„

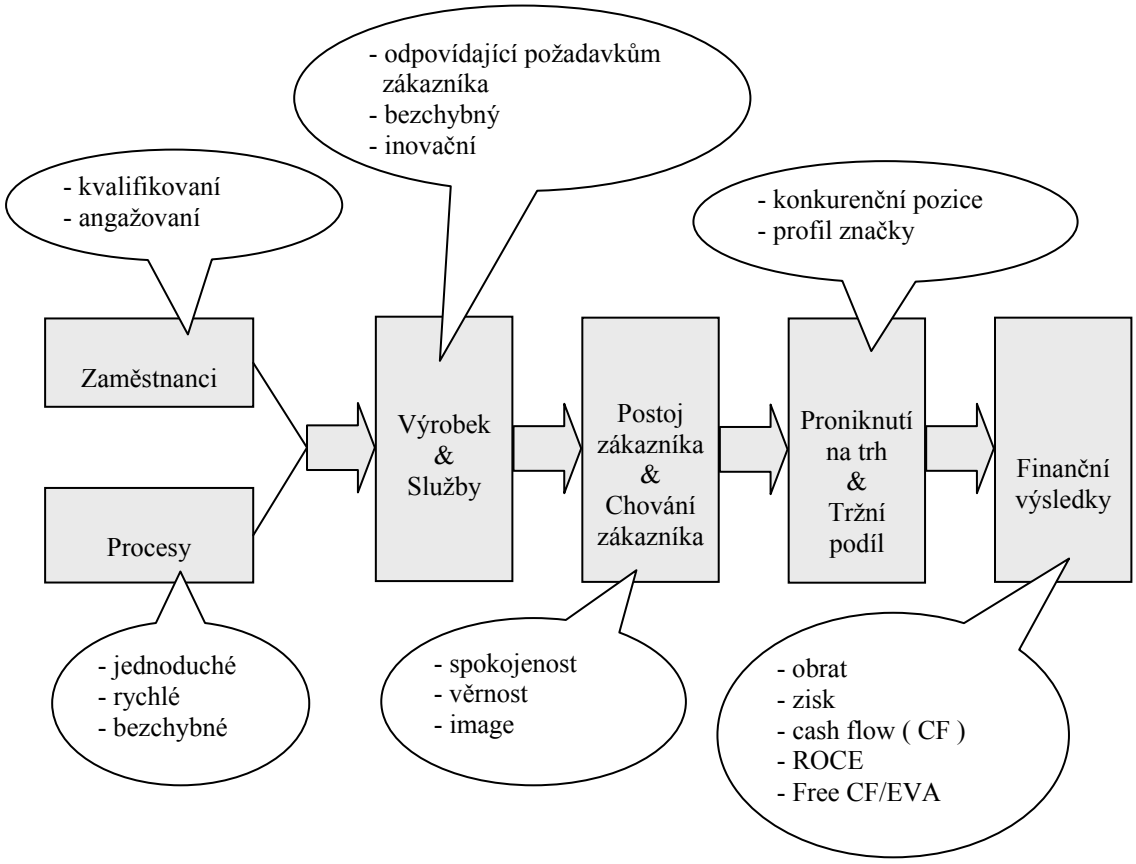
Nejdůležitější oblasti projektů jsou:

- snižování celkových výrobních nákladů bez omezení kvality dodávek,
- minimalizace ztrát z nekvalitní výroby,
- sledování a pravidelné vyhodnocování uvedených činností s následným vypracováním zlepšovacího programu,
- neustálé zvyšování vědomí kvality, angažovanosti pracovníků společnosti (školící programy) a pocitu odpovědnosti za výsledek práce.

SIX SIGMA poskytuje specifické metody k přetvoření procesu tak, aby neshody především nevznikali.

Pro úspěšné provádění projektů *Six Sigma* je třeba splnit celou řadu požadavků. Především jde o požadavky na výběr projektů, rozdělení rolí, standardizovaný prováděcí proces a vyhodnocení výsledků. Všechny *Six Sigma* projekty se v podstatě vztahují k procesům, tedy k určitým úsekům tvorby hodnot v podniku, materiálním výkonům ve formě fyzických výrobků nebo služeb jako souboru výkonů složených z hmotných a nehmotných výkonů k získání cíle.

Obrázek 4.1 znázorňuje tento vztah příčin-účinků ještě jednou a systematicky. Použití *Six Sigma* projektů je vylepšením procesů pro bezchybné a inovační zharmonizování tržních výkonů podle požadavků zákazníka. Vede to ke spokojeným a věrným zákazníkům, zlepšuje konkurenční pozici a zvyšuje finanční výsledky podniku. Základním předpokladem pro tyto účinky jsou kvalifikovaní a angažovaní zaměstnanci. (4)



Obr. 4.1 Vztah příčiny a účinky (4)

4.2.2 Výběr projektu a jeho řízení

V literatuře se uvádí různé názory na výběr projektu. Například na jedné straně mají spočívat ve strategických cílech podniku, na druhé straně mají být vybírány vzhledem k prognóze ekonomických výsledků. Další názor, kde jako kriterium se uvádějí:

- výsledky neboli kritéria obchodního úspěchu,
- kritéria proveditelnosti,
- kriteria organizačních účinků.

V následujícím textu představím několik kriterií pro výběr projektu, které našli uplatnění v praxi:

- prospěch pro externí nebo interní zákazníky,
- finanční prospěch pro podnik je doložitelný na základě výpočtu čistého zisku,
- všechny relevantní proměnné i veličiny vlivu jsou jednoznačně definovány, tudíž i změřitelné a proto analyzovatelné,
- je dána vysoká pravděpodobnost úspěchu pomocí monetárních nebo nemonetárních kriterií,
- lze formulovat jasné a jednoznačné vytýčení cílů a definice projektů,
- doba trvání uvedení projektu do praxe je relativně krátká, nečiní více než 3 měsíce, v podnikové praxi bývá doba trvání projektu delší přinejmenším v období zavádění *Six Sigma* projektů.

Způsoby výběru *Six Sigma* projektů mohou probíhat podle následujících čtyř fází podle zaměření procesu:

- zmapování procesu, představení průběhu a propojení různých obchodních procesů v podniku za pomoci vývojového diagramu (Proč existují určité procesy v podniku?),
- získání a shromáždění monetárních/nemonetárních dat/znaků k popsání kvalitativní úrovně jednotlivých obchodních procesů (počet neshod/míra neshod a náklady na neshody),
- *benchmarking* (interní/externí) kritických procesů a zdůraznění klíčových pravomocí stejně jako slabých a silných míst v podniku,
- portfolio-analýza pro cílený výběr úspěch slibujících a strategicky významných projektů.

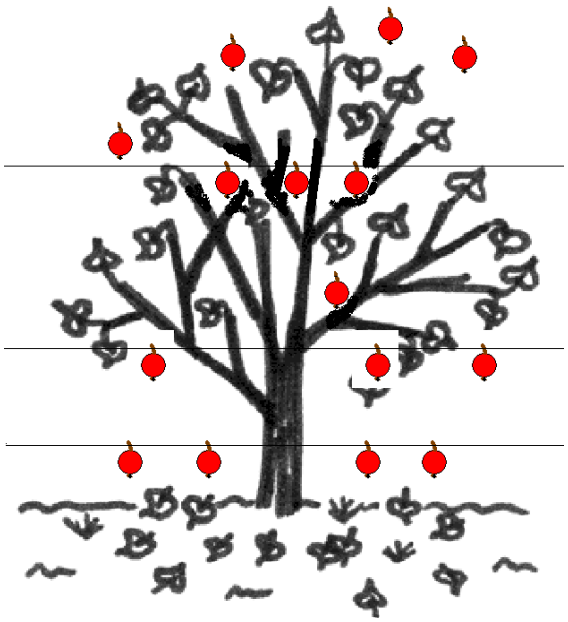
Cílem projektu je výroba stlačeného vzduchu, dodávka, jeho kvalita a zároveň náklady na jeho výrobu. I přes snahy a úsilí o maximálně efektivní využití, stále zůstávají skryté rezervy, které je nutné odhalit, pojmenovat a odstranit. Cestu jak dosáhnout úspor při výrobě stlačeného vzduchu, je nutno řešit od výroby stlačeného vzduchu přes rozvody až po koncová zařízení. Nyní začínáme s odstraňováním netěsností, optimalizujeme přístupová místa a upravíme rozvody stlačeného vzduchu pro dosažení minimálních ztrát tlaku.

Pracovníci, kteří potřebují ke své práci toto „drahé, ale nenahraditelné médium“ nám mohou pomoci k trvalému zlepšování za pomoci ankety. Naše spolupráce se spolupracovníky nekončí vytvořením ankety. Naopak to považujme za začátek vzájemné spolupráce, jež povede k prosperitě společnosti. Tato prosperita je založena na lidech, kteří ve společnosti pracují.

4.2.3 Six Sigma organizace a proces

Pro úspěšně zvládnutí projektů *Six Sigma* je vyčleněno a vyškoleno osm pracovníků *Black Beltů*, kteří jsou přímo podřízeni generálnímu řediteli a účastní se na realizaci projektů zadaných sponzorem. Sponzoři zadávají jednotlivé projekty dle strategických cílů podniku, spokojenosti zákazníků, nákladů, kapacit, růstu a zvyšování kultury podniku. Projektové cíle a výsledky jsou v podniku centrálně evidovány, předávány a publikovány.

Klasifikace projektů je znázorněna na obrázku 4.2. Jednoduchá zlepšení s využitím logiky a intuice nepotřebují poměrně nákladný instrumentář *Six Sigma*. „Nejsou namáhavá“ a tak na obrázku jsou označena jako „padané ovoce“. Projekty *Six Sigma* také zpravidla nezačínají již na nejnižší úrovni, jako „nejníže visící ovoce“. Spíše označují nedostatky mezi současnými a cílenými procesními výkony, které se dají zvládnout pomocí jednoduchých metod managementu jakosti a projektového managementu. (4)



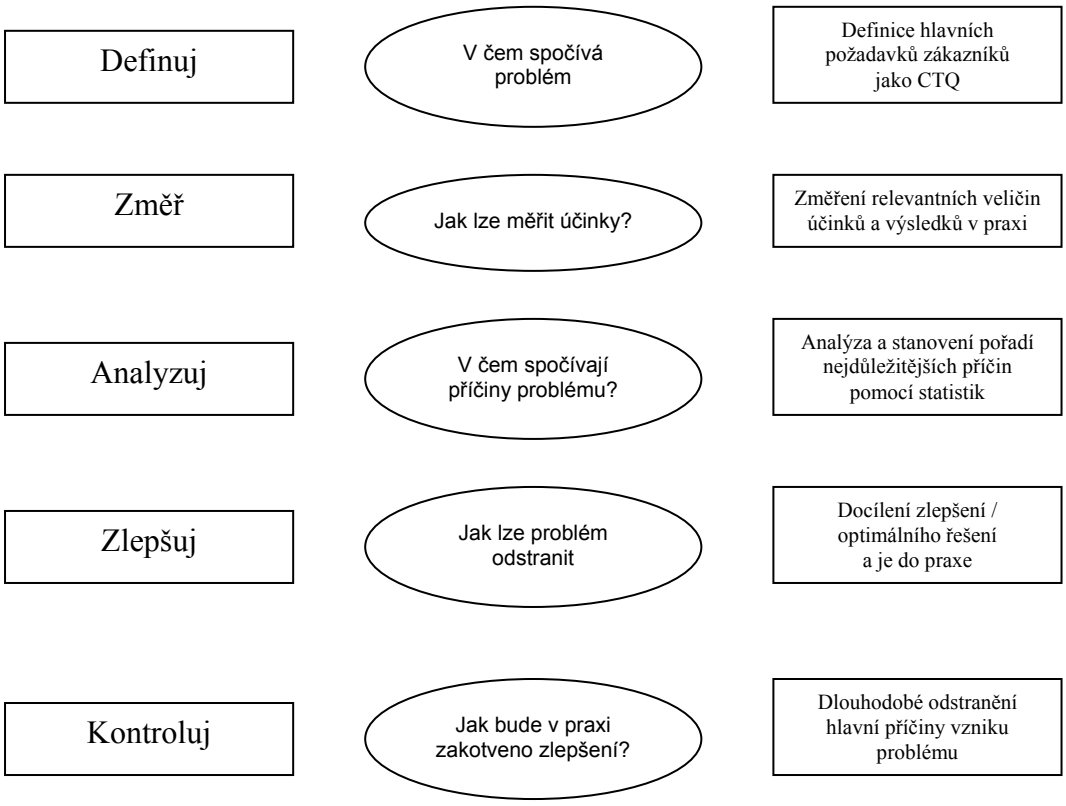
Obr. 4.2 Použití Six sigma (4)

Největší část projektů *Six Sigma* patří k nejnižší úrovni, je to tedy ta „větší část ovoce“, která je dosažitelná pomocí jasné analýzy a zlepšení procesů s úrovní 4 do 5 σ. „Sladké plody“ na „špičce stromu“ potřebují více úsilí, ale ovlivňují kvalitativní navýšení na úroveň 5 do 6 σ. Znamená to *redesign,* jako nové uspořádaní procesu, které přesahuje pouhé zlepšení. (4)

Vzhledem k významu procesu „výroba stlačeného vzduchu“ zde volíme úroveň 3 až 4 σ – přiměřeně k hornímu rozložení – také k podstatné úspoře nákladů a navýšení kvality

4.2.4 DMAIC jako Six Sigma proces v projektu

Všechny projekty *Six Sigma* sledují standardizovaný průběh, který je založený na klasickém Demingově cyklu PDCA (Plan, Do, Check, Act). Z toho odvozený cyklus *DMAIC* (*Define, Measure, Analyse, Improve, Kontrol*) pro provádění *Six Sigma* projektů se skládá z fází znázorněných na Obrázku 4.3.



Obr. 4.3 DMAIC jako Six Sigma proces v projektu (4)

Výše uvedené názvy jsou vlastně jednotlivé fáze zlepšování procesů. Jsou vzájemně propojeny a tvoří proces. Výstupy jedné fáze jsou totiž zároveň vstupy fáze následující.

4.2.5 Fáze definování (Define)

Poté, co byl projekt vybrán výše uvedeným způsobem, probíhá definice problémů na základě kritických požadavků zákazníka (CTQ). Vše je zapsáno v dokumentu PROJEKT CHARTER obrázek 4.4. Pozn. (všechny kontaktní údaje v P. CH. jsou vymyšlené).

PROJECT CHARTER					
Název projektu	**Stlačený vzduch**		**Oddělení**	**stř. 1805**	
Black Belt	**Peter Žilák**		**Tel./e-mail**	**72433881/pzilak@seznam.cz**	
Master Black Belt	**ing. Jiří Straka**		**Tel./e-mail**	**603456872/jiri.straka@gmail.cz**	
Sponzor	**ing. Petr Nový**		**Tel./e-mail**	**6045284555/nový@seznam.cz**	
Datum zahájení	**1.3.2008**		**Datum ukončení**	**31.8.2008**	
Popis projektu	**Snížení nákladů na výrobu stlačeného vzduchu a zvýšení kvality dodávaného vzduchu (čistota, tlak)**				
Obchodní případ	**Výroba vzduchu MOTORPAL, a.s.; závod Jihlava Náklady el. energie na výrobu stlačeného vzduchu rok 2007 - 3 625 000,- Kč Úspora cíl - neinvestičně min. 10%, investičně 25%**				
Formulace problému	**Vyřešit distribuci, optimalizovat a redukovat rozvody a omezit úniky stlačeného vzduchu.**				
Proces a vlastník	**Výrobní proces MOTORPAL, a.s.; závod Jihlava**				
Rozsah	**Start:**	**Kompresor**			
	Stop:	**Strojní zařízení**			
	Včetně:	**Vzduchové rozvody**			
	Mimo:				
Cíle projektu	**Metrika**	**Základní**	**Současná**	**Cílová**	**Nárok**
	m3				
	kWh/Nh				
	Kč				
Očekávané finanční výsledky	**Roční úspora v Jihlavě cca 1 mio**				
Přínos pro zákazníka	**Úspora nákladů**				
Členové týmu	**Josef Novák, Smrk Jan, ing. Josef Cvach, Josef Noha, Petr Šťastný, pracovníci Úpravny vody**				
Požadovaná podpora	**Facility, technologická příprava výroby, vedoucí a mistři výrobních středisek**				
Rizika a bariéry	**vícenáklady na realizaci, místní výpadky způsobené testováním systému (instalatéřské práce na optimalizaci, regulace kompresorů)**				

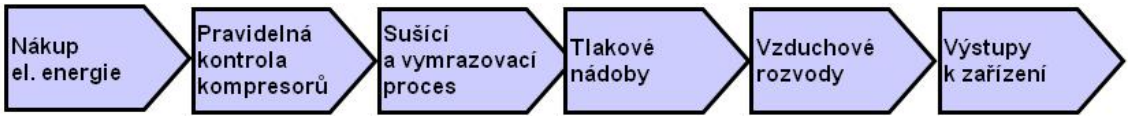
Obr. 4.4 Project charter (autor)

V *Project Charteru* jsou uvedeny základní informace o projektu. Název projektu, cíl projektu, předpokládanou úsporu, vlastníka procesu, rozsah projektu, sestavení členů týmu, požadovanou podporu, rizika a bariéry projektu.

Další upřesnění a formulace problémů jsou zaznamenány v analytickém nástroji *SIPOC* (*Supplier, Input, Process, Output, Customer*) pro identifikaci vícestupňového procesu.

V obr. 4.5 je zachycen proces jako takový a zároveň všichni dodavatelé spojeni s procesem, procesní kroky spojené se vstupem a výstupem a odběratelé. Tato mapa nám poslouží k dalšímu zmapovaní možných faktorů, které mohou způsobovat defekty a nestabilitu procesu.

Supplier (Dodavatel)	**Input** (Vstup)	**Process** (Proces)	**Output** (Výstup)	**Customer** (Zákazník)
Kompresory ATLAS COPCO	Plán výroby	Výroba stlačeného vzduchu	Stlačený vzduch 4-7,5 bar	Hlavní výroba produktů MOTORPAL, a.s.
EON	SERVIS PEMA		Teplo	Servis MOTORPAL, a.s.
BUDOVA (umístění)	PLYNOSERVIS DOBROVOLNÝ		Kondenzát (odpad)	Správní útvary MOTORPAL, a.s.
	Rozvody elektro		Hluk (zanedbatelné)	
	Elektorúdržba			Externí firmy :
	Rozvody potrubí			RUMPOLD Spalovna odpadů
	Nátěry potrubí			MF Product (FÜRST)
	Armatury			MIKROCHEM
	Tlakové nádoby			RHENUS
	Odkalovače			PLYNOSERVIS DOBROVOLNÝ
	Clazení prostoru kompresorovny			KRUTIŠ
	Obsluha kompresorů			
	Měření			



Slovo *SIPOC* je složenina počátečních písmen ze slov:

- Supplier (dodavatel)
- Input (vstup)
- Process (proces)
- Output (výstup)
- Customer (zákazník)

V rámci týmu byla zpracována mapa problémů v procesu výroby stlačeného vzduchu (viz. příloha 5) a vzápětí identifikace příležitosti pro okamžitá zlepšení.

- netěsnosti na nevyužívaných rozvodech,
- netěsnost starých kuželových ventilů,
- uzavírání přívodu vzduchu po ukončení práce (operátor),
- netěsnosti vně strojů a zařízení,
- hadicové spoje,
- nedostatečná pozornost k provozním únikům,
- optimalizace režimu provozu kompresorů,
- optimalizace nízkotlakého vzduchu 4 bar, zhodnocení technologické potřeby.

Okamžitá opatření

- prozkoumání potřeby vzduchu u externích firem (směny, víkendy)

- úniky stlačeného vzduchu B 29
  - světlíky
  - zavři / otevři
  - shromáždění podkladů oprava, jiná technologie

- úniky stlačeného vzduchu závod
  - mapa procesu
  - riziková místa

- opuštěné prostory areálu závodu i MPJ Kapitálová
  - mapa procesu
  - riziková místa

Plány výrobního procesu

Výrobní provoz podniku sestává ze tří hlavních výrobních hal. Do těchto hal je rozveden stlačený vzduch ve dvou větvích:

- vysokotlaký rozvod vzduchu 7,2 bar – pneumatická zařízení, ovládací prvky strojů, pohony.

- redukovaný rozvod vzduchu 4,2 bar – ofukový vzduch.

Všechny rozvody jsou zakresleny do software APERTURE – vizualizace závodu. Pomocí tohoto programu, po zadání délek a světlostí do databáze, je vypočítán objem jednotlivých rozvodů. Využijeme při další práci jako například výpočet ztrát.

Vše je názorně zobrazeno modrou plnou (vysokotlaký rozvod 7,2 bar) a přerušovanou (redukovaný rozvod 4,2 bar) čarou v příloze 2, 3, 4.

4.2.6 Fáze měření (Measure)

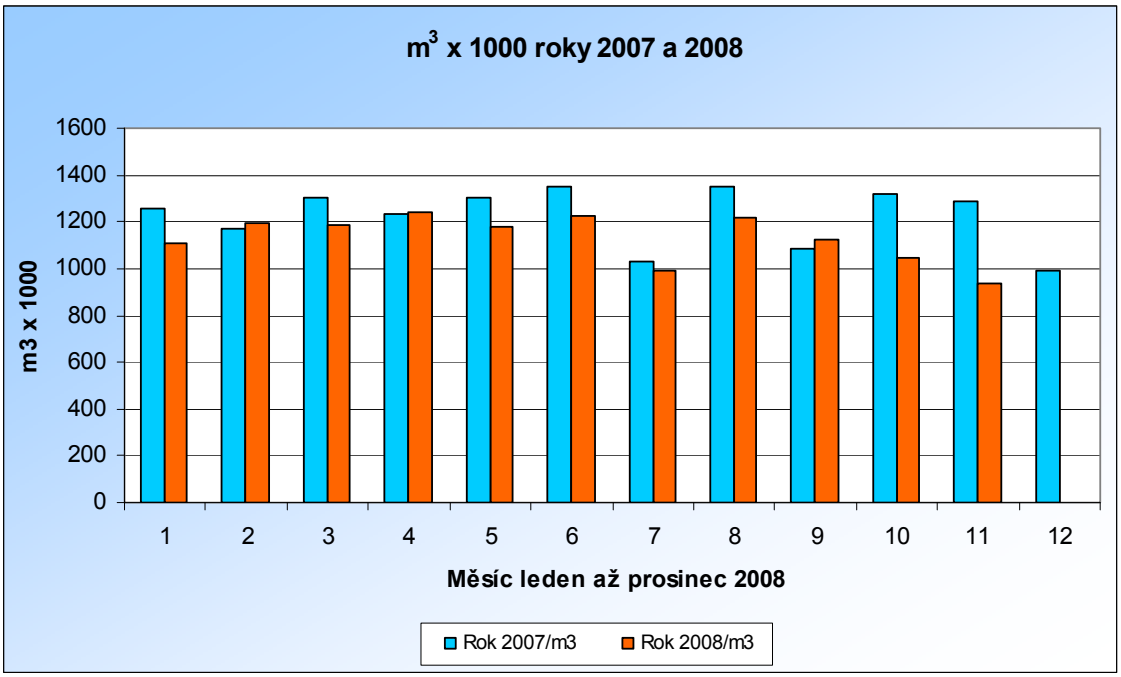
Cíl fáze měření:

- zaměřit se na sběr informací o současné situaci

Výstup:

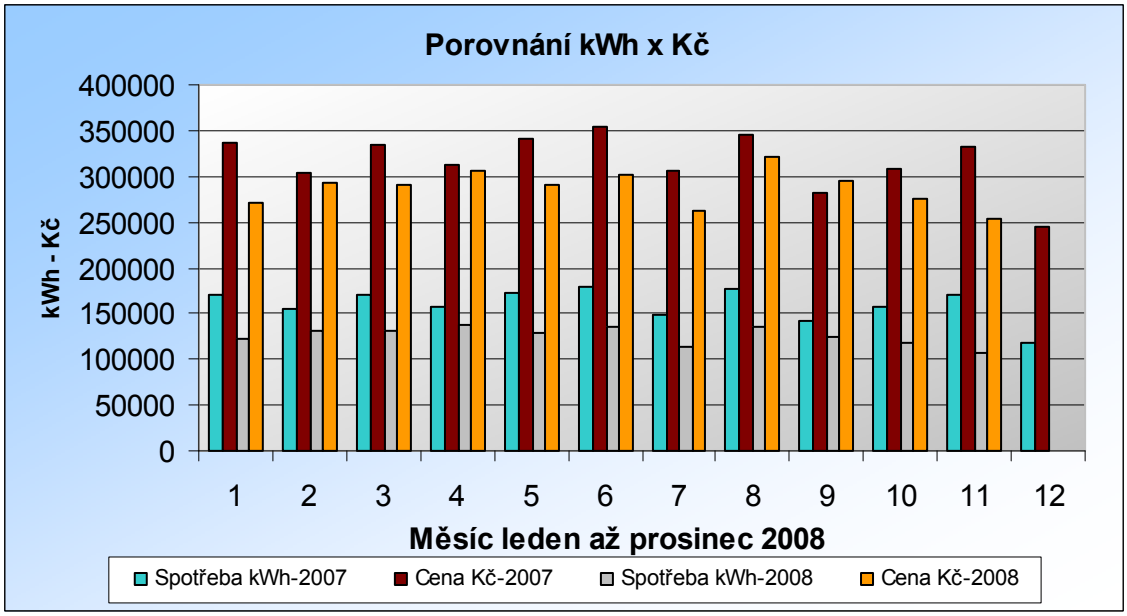
- základní data o současném výkonu,
- určit, zda je měřící systém správně nastaven,
- data, která přesně vymezují umístění problému či jeho výskyt,
- určení „sigma“ procesu nebo „způsobilost“ procesu.

Jako základní metriku pro fázi měření jsme zvolili množství vyrobeného vzduchu, kde je porovnaná výroba v roce 2007 a 2008 (viz obr. 4.6).



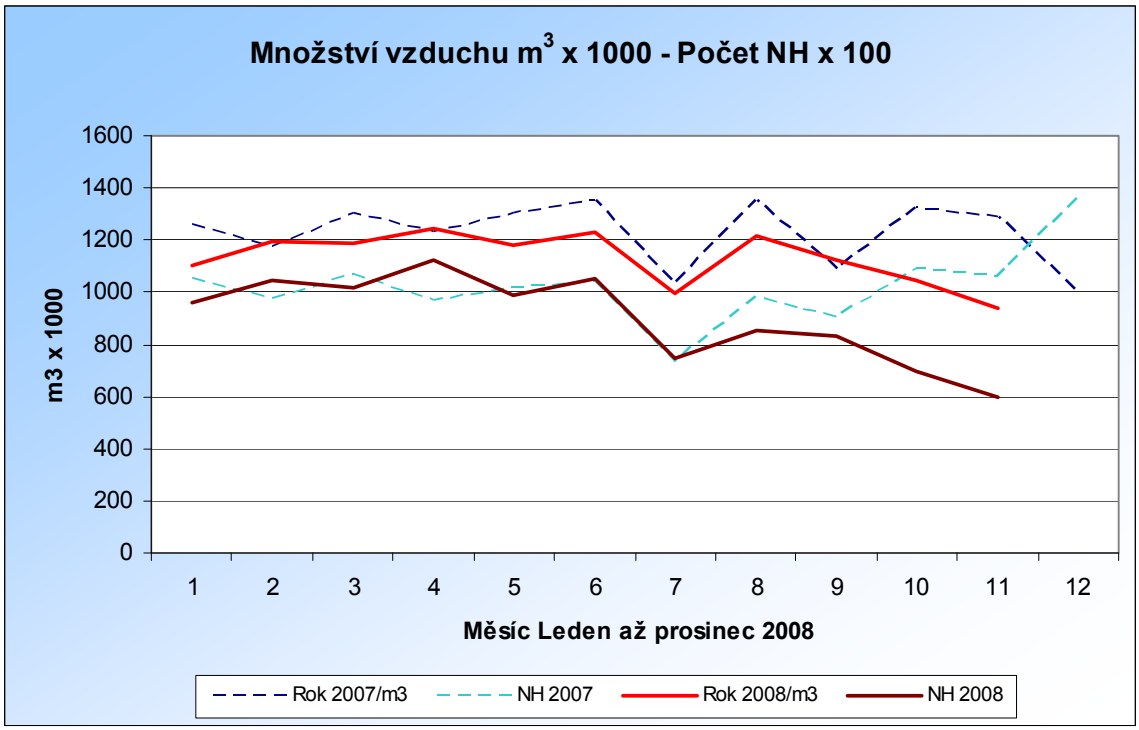
Obr. 4.5 Porovnání množství vyrobeného vzduchu 2007/2008 (autor)

dále porovnání spotřeby elektrické energie a ceny za spotřebovanou energii v roce 2007 a 2008 (viz obr. 4.7).



Obr. 4.6 Porovnání spotřeby elektrické energie a ceny za spotřebovanou energii (autor)

Jako hlavní metriku sledování výsledků zlepšování procesu jsme zvolili sledování množství vyrobeného stlačeného vzduchu v porovnání s normohodinami (viz obr. 4.8).



Obr. 4.7 Porovnání množství vyrobeného stlačeného vzduchu v porovnání s normohodinami (autor)

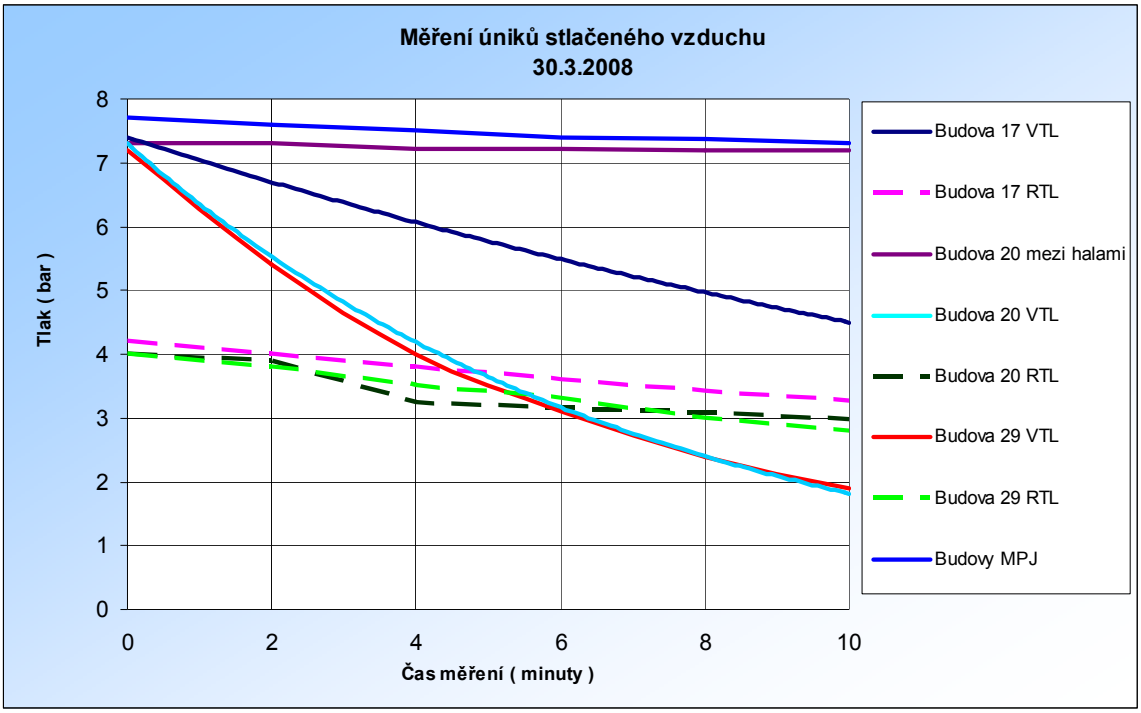
4.2.7 Fáze analýza (Analyse)

Výpočet ztrát:

a) Objem v (l)' vypočten ze světlostí a délek potrubí.

Pomocí software APERTURE po zadání délek a světlostí do databáze je spočten objem jednotlivých rozvodů. Hodnoty jsou zaznamenány v tab. 4.1 vysokotlaký rozvod stlačeného vzduchu 7,2 bar a v tab. 4.2 nízkotlaký rozvod stlačeného vzduchu 4 bar.

b) Provedena tlaková zkouška (výdrž 10 min. bez provozu při tlaku 7,2 bar u vysokotlakého rozvodu a 4 bar u nízkotlakého rozvodu (viz obr. 4.9). Zkouška provedena na každém rozvodu jednotlivě za ventilem do haly a otevřeném celém systému.



Obr. 4.8 Měření úniků stlačeného vzduchu (autor)

Hodnoty zaznamenány v tab. 4.1 vysokotlaký rozvod stlačeného vzduchu 7,2 bar a v tab. 4.2 nízkotlaký rozvod stlačeného vzduchu 4 bar.

c) Objem v ,, l'' po natlakování systému 7,2 bar a 4 bar.
Dle vztahu:

$$p_1.\mathrm{V}_1 = p_2.\mathrm{V}_2$$
$$1bar.\mathrm{V}_1 = 7,2.\mathrm{V}_2 \qquad [4.1]$$
$$1bar.\mathrm{V}_1 = 4.\mathrm{V}_2$$

p_1 (bar) = atmosférický tlak
V_1 (l) = objem prázdného potrubí
p_2 (bar) = tlak v potrubí po natlakování
V_2 (l) = objem potrubí

Hodnoty zaznamenány v tab. 4.1 vysokotlaký rozvod stlačeného vzduchu 7,2 bar a v tab. 4.2 nízkotlaký rozvod stlačeného vzduchu 4 bar.

d) Vypočtený únik stlačeného vzduchu celkem l/s při zanedbání vlivu teploty.
Dle vztahu:

$$V = \frac{V_B . (P_A . P_B)}{t} \qquad [4.2]$$

t (s) = čas měření
V ($l.s^{-1}$) = úniky ze systému stlačeného vzduchu
V_B (l) = objem potrubí
P_A (bar) = počáteční tlak v systému (7,2 a 4 bar)
P_B (bar) = konečný tlak v systému na konci měření

Hodnoty zaznamenány v tab. 4.1 vysokotlaký rozvod stlačeného vzduchu 7,2 bar a v tab. 4.2 nízkotlaký rozvod stlačeného vzduchu 4 bar.

Tab. 4.1 Záznam hodnot a výpočet (Autor)

	Budova 17	**Budova 20**	**Budova 29**
Objem (l)	2 840	1 247	7 149
Rozdíl poklesu tlaku za 600s (bar)	2,9	5,48	5,3
Objem v l po natlakování systému 7,2 (bar)	20 454	8 979,84	51 742
Vypočtený únik stlačeného vzduchu (l/s)	13,7	11,4	63,1
Vypočtený únik stlačeného vzduchu celkem (l/s)	88,3		

Tab. 4.2 Záznam hodnot a výpočet (Autor)

	Budova 17	**Budova 20**	**Budova 29**
Objem (l)	542	2 250	4 095
Rozdíl poklesu tlaku za 600s (bar)	0,93	1,02	1,2
Objem v l po natlakování systému 4 (bar)	2 169	9 001	16 382
Vypočtený únik stlačeného vzduchu (l/s)	0,84	3,83	8,19
Vypočtený únik stlačeného vzduchu celkem (l/s)	12,9		

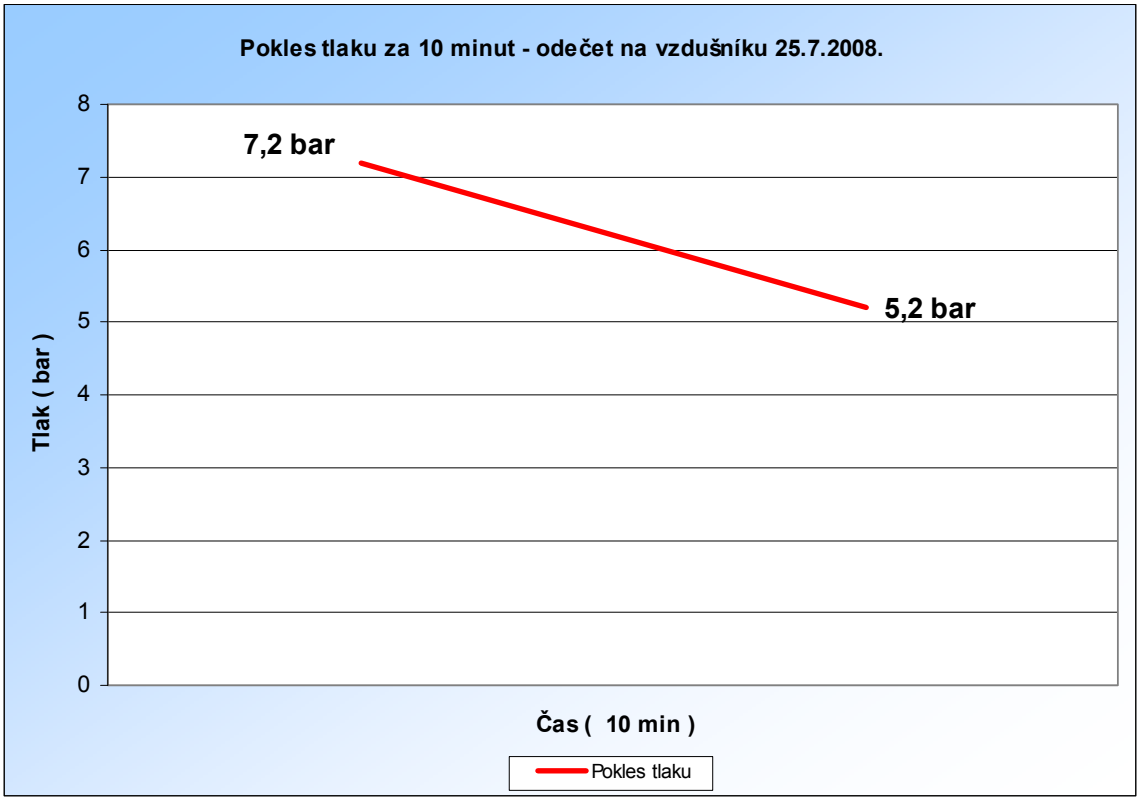
Celkový únik za 1s	101 $l.s^{-1}$
za 1den	8 737 505 l
Vyrobený vzduch za 1 den průměrně	40 000 000 l
Ztráty za den z vyrobeného vzduchu	22%

e) Druhá tlaková zkouška provedena v čase dovolené při otevřeném celém systému. Tlak měřen na vzdušníku. Hodnoty zaznamenány v tab. 4.3, zaznamenány do obrázku 4.10. V tlakové zkoušce je zahrnut vysokotlaký a nízkotlaký rozvod společně. Stroje odstaveny, všechny ventily otevřeny.

	Hodnoty	Jednotky		únik l/s	den	ztráta m^3/den
V2	19	m^3		0,163279	86400	
V1	30	m^3				
t	600	s				
p2	7,2	bar				
p1	5,2	bar				
to	24,9	°C				
t1	25	°C				**14107**
Průměrná výroba za den	50000	m^3				
Odečet na měřidle průtoku			43 m^3/600 s			6624
Přibližná netěsnost systému v %						**28%**

Tab. 4.3 Vyhodnocení úniků stlačeného vzduchu (autor)

Z naměřených hodnot a z jejich vyhodnocení je patrné, že při výrobě 50 000 m^3 a při otevřených ventilech při teplotě 25°C stlačeného vzduchu, budou přibližné ztráty 28%.



Obr. 4.9 Měření úniků stlačeného vzduchu (autor)

f) Optimalizace nízkotlakého vzduchu 4 bar, zhodnocení technologické potřeby. Výpočet pro přehled objemových ztrát tabulky 4.4, 4.5 a 4.6 z unikajících otvorů.

Průměr otvoru (mm)	Ztráta při přetlaku 7 bar (m^3/h)	Cena za 1 hod (Kč/hod)	Výsledná roční ztráta třísměnný provoz (225 dnů/5400 hod)
1	3	1,08	**5 844**
3	28	9,74	**52 599**
5	77	27,06	**146 107**
10	309	92,77	**500 940**

Tab. 4.4 Vyhodnocení úniků stlačeného vzduchu (autor)

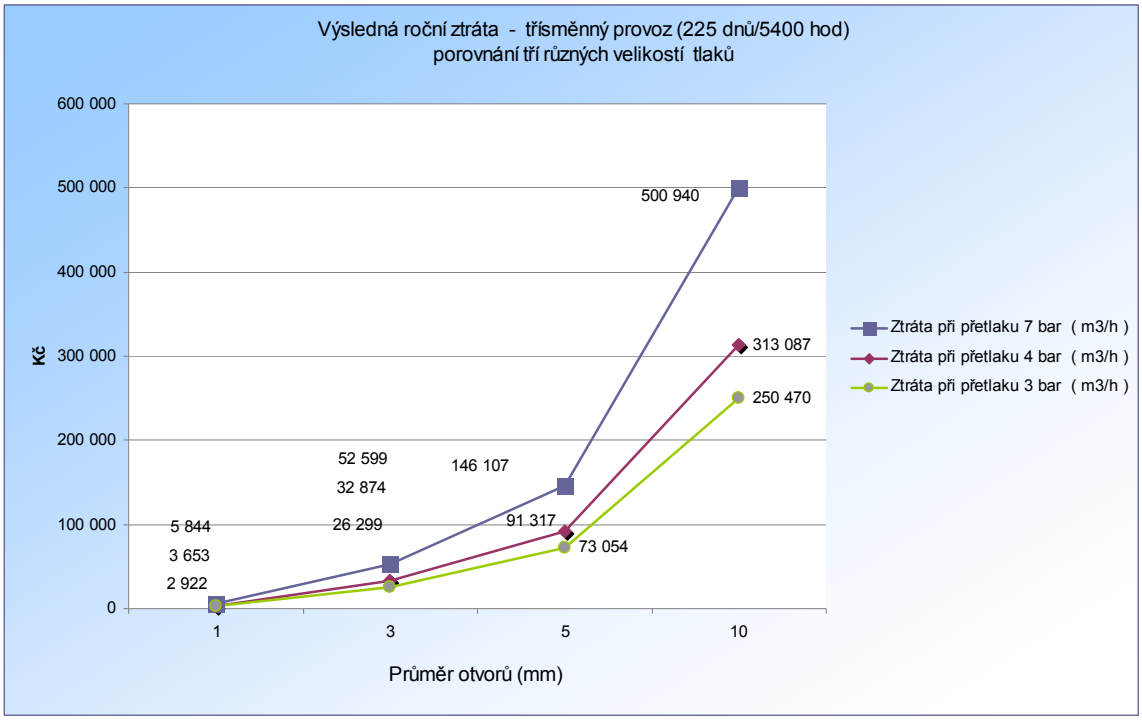
Průměr otvoru (mm)	Ztráta při přetlaku 4 bar (m^3/h)	Cena za 1 hod (Kč/hod)	Výsledná roční ztráta třísměnný provoz (225 dnů/5400 hod)
1	2	0,68	**3 653**
3	17	6,09	**32 874**
5	48	16,91	**91 317**
10	193	57,98	**313 087**

Tab. 4.5 Vyhodnocení úniků stlačeného vzduchu (autor)

Průměr otvoru (mm)	Ztráta při přetlaku 3 bar (m^3/h)	Cena za 1 hod (Kč/hod)	Výsledná roční ztráta třísměnný provoz (225 dnů/5400 hod)
1	2	0,54	**2 922**
3	14	4,87	**26 299**
5	39	13,53	**73 054**
10	155	46,38	**250 470**

Tab. 4.6 Vyhodnocení úniků stlačeného vzduchu (autor)

Z výpočtu a obrázku 4.11 je patrné, že při různé velikosti tlaku stlačeného vzduchu při stejných průměrech jsou různé ztráty. Při větším tlaku jsou větší objemové ztráty. Je nutno podotknou, že tyto hodnoty mají informativní charakter a závisí na teplotě, velikosti atmosférického tlaku, vlhkosti vzduchu, velikosti dodávaného tlaku, počtu odpracovaných hodin a ceně za energie.



Obr. 4.11 Roční ztráta stlačeného vzduchu (autor)

4.2.8 Fáze zlepšuj (Improve)

Po vyhodnocení naměřených hodnot ve fázi analýza následuje fáze zlepšování a návrhů. Jsou rozděleny na neinvestiční akce a investiční.

Neinvestiční akce:

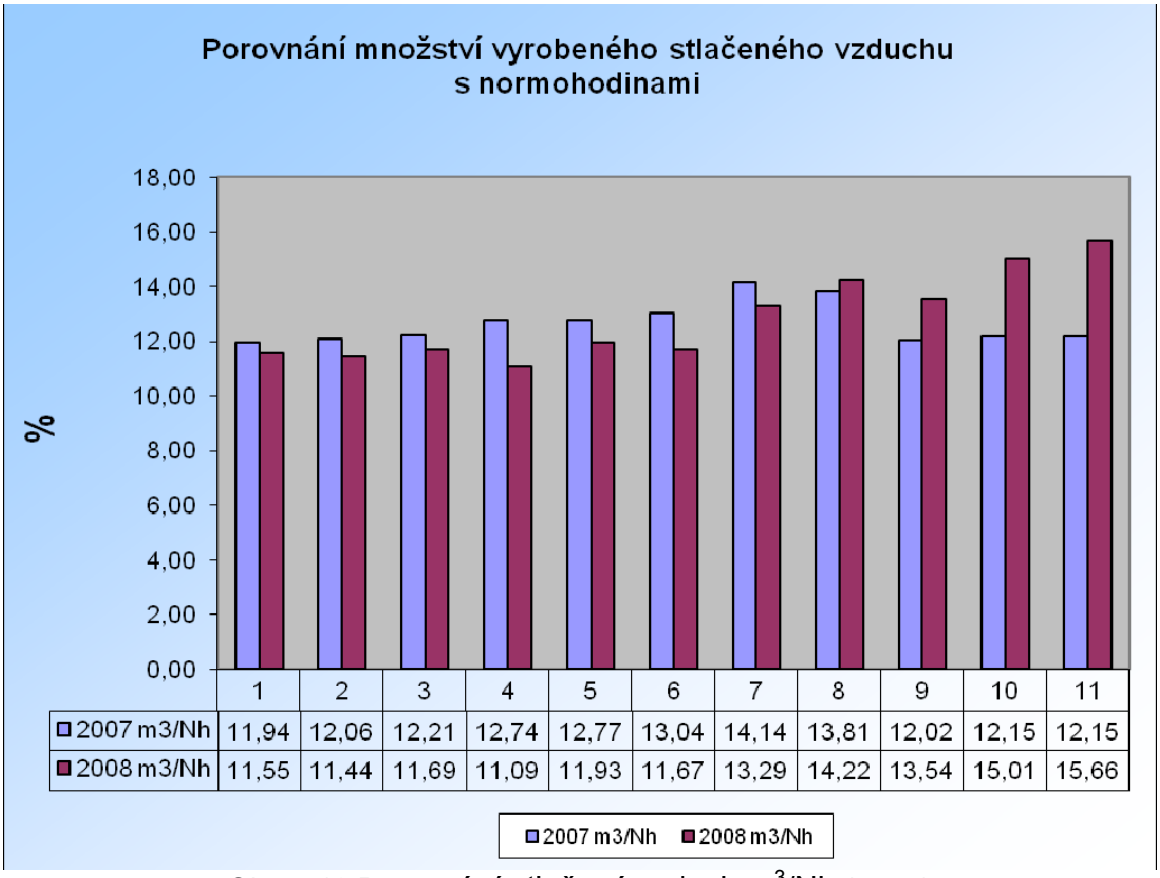
- provozní řád – aktualizace,
- krizový plán – zajištění bezporuchového chodu kompresorů, náhradní řešení,
- přetěsnění rozvodů,
- výměny kuželových ventilů za kulové,
- výměny vadných ofukových pistolí,
- snížení velikosti tlaku ze 4 bar na 3 bar,
- optimalizace rozvodů – zkrácení přívodních hadic, doplnění ofukových pistolí.

Neinvestiční akce provedeny v rámci správy majetku a interní údržby. Úspory z těchto akcí jsou vyznačeny na obrázcích 4.11, 4.12 a 4.13. Obrázek 4.11 porovnává vyrobené množství stlačeného vzduchu a elektrickou energii potřebnou k výrobě stlačeného vzduchu.

01 - 09 2007				
Spotřeba elektřiny/Kč		**Množství vyrobeného vzduchu m^3**		**Kč/m^3**
2 974 616,91		13 705 671		0,22
			Rozdíl v množství vyr. vzduchu m^3	
			1 246 333	
			Rozdíl v množství vyr. vzduchu %	
			9,1	
01 - 09 2008				
Spotřeba elektřiny/Kč		**Množství vyrobeného vzduchu m^3**		**Kč/m^3**
3 158 014,53		12 459 338		0,25
	Poč. měsíců	**Prům. cena**	**Zdražení elektřiny Kč v %**	
21,72	11	1,97		
25,15	11	2,29	**15,79**	
Při výrobě stejného množství vzduchu jako v roce 2007 bychom zaplatili o			**315 903**	**Kč více**

Obr. 4.11 Porovnání elektřina - stlačený vzduch (autor)

Obrázky 4.11 a 4.12 porovnávají vyrobené množství stlačeného vzduchu na počet normohodin odpracovaných ve výrobě.



	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
2007 m3/Nh	11,94	12,06	12,21	12,74	12,77	13,04	14,14	13,81	12,02	12,15	12,15
2008 m3/Nh	11,55	11,44	11,69	11,09	11,93	11,67	13,29	14,22	13,54	15,01	15,66

Obr. 4.12 Porovnání stlačený vzduch m^3/Nh (autor)

Cena za 1 m^3	Úspora Kč		Úspora Kč 03.-07.08
0,36			
I-08	-13470,99		
II-08	-23347,08		36 818,00
III-08	**-18986,16**	**III-08**	
IV-08	**-66677,90**	**IV-08**	
V-08	**-30167,14**	**V-08**	
VI-08	**-51998,20**	**VI-08**	
VII-08	**-22741,48**	**VII-08**	**-190 570,87**
VIII-08	12701,97		
IX-08	45346,54		
X-08	71435,45		
XI-08	75860,49		205 344,00
XII-08			

Obr. 4.13 Úspora po nápravných opatřeních
v měsících březen až červenec roku 2008 - 190 570,- Kč.

V období březen až červenec 2008 je na základě opatření z návrhů ke zlepšení úspora 190 570 Kč. Od srpna do listopadu 2008 měla vliv na úspory celosvětová hospodářská krize a pozastavení projektu z důvodu níže vypsaných investičních akcí, které byly pozastaveny a předány útvaru služeb k jejich budoucí realizaci.

Investiční akce:

- nákup kompresoru GA 315 VSD,
- rozšíření rozvodu ofukového stlačeného vzduchu (3bar) B 17, B 19,
- využití odpadního tepla – vytápění přístavku B 29,
- měření dodávek stlačeného vzduchu externím firmám, případně zrušení,
- montáž mobilního kompresoru – hutní sklad.

4.2.9 Fáze udržuj (Control)

V této fázi se jedná o udržení již zlepšeného procesu. Důležité kroky pro udržení jsou:

- pokračování v záznamech provozních dat do formulářů,
- průběžně vyhodnocovat a v případě závady realizovat nápravu,
- jednou čtvrtletně vyhodnocovat vývoj spotřeby stlačeného vzduchu, realizaci nápravných opatření na útvaru údržby,
- pravidelná servisní činnost,
- stanovení odpovědných pracovníků za provoz
- všechny opatření je nutno zveřejňovat a propojovat s týmem pracovníků odpovědných za provoz.

ZÁVĚR

V této práci popisuji moderní postup odstraňování chyb v procesu. Bylo navrženo racionalizační opatření pro výrobu a rozvod stlačeného vzduchu ve firmě Motorpal, a.s. Jihlava.

Projekt prošel pěti fázemi metody Lean Six Sigma, kde jsme zjistili měřením a výpočtem ztráty v rozvodech vzduchu 22 %. Tento propočet potvrdil i dodavatel kompresorů Atlas Copco autorizovaným měřením. V současné době se celosvětově konstatuje, že přípustné ztráty jsou 10–15 %.

Na základě analýz z měření a porovnáním se skutečným stavem byla navržena nápravná opatření. Projekt přinesl celkové úspory nákladů na výrobu stlačeného vzduchu v závislosti spotřeby množství stlačeného vzduchu na normohodinu, v celkové částce 190 570,- Kč (údaje za rok 2008). Na podzim kdy začala celosvětová hospodářská krize byly přehodnoceny investiční návrhy a projekt musel být pozastaven a předán na útvar údržby s návrhy, opatřeními, které je nutno v budoucnu realizovat. Protože se jedná o investiční akce a realizace oprav na jednotlivých zařízeních, které budou dlouhodobého charakteru, pokládáme tento projekt za uzavřený.

Předpokládáme, že po naplnění všech nápravných opatření bude úspora na výrobu stlačeného vzduchu v přepočtu na aktuální ceny za energie 500 000 Kč. Postupná realizace navržených energetických úspor tohoto projektu, přispěje k možnosti dalšího rozvoje firmy.

Pokud chceme hospodárně a efektivně využívat energetické zdroje, musíme znát jasný cíl, mít prostředky k dosažení cíle a všechny potřebné vědomosti pro odstranění neshod. Navíc je důležité mít kreativní myšlení, nebát se nových postupů a umět se vcítit do problému. Neustále sledovat novinky na trhu v oboru. Je nutné, abychom měli kolem sebe lidi s potřebnou odborností, lidí, na které se může vždy obrátit a spolehnout. Ale především musíme zjistit to, co potencionální zákazník (v našem případě výroba) žádá, jaká jsou jeho přání a potřeby a bezchybně ho uspokojit. Vždy si věřit, být přesvědčeni o svých názorech a požadavcích a především mít dobrý a technicky propracovaný cíl.

SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ

1. LIŠKA, A., NOVÁK, P. *Technika stlačeného vzduchu*., Praha: Vydavatelství ČVUT, 1999. 361 s.
2. LIŠKA, A., NOVÁK, P. *Úspory energie v technice stlačeného vzduchu*., Praha: Vydavatelství ČVUT, 2002. 361 s. ISBN 80-01-02564-0.
3. ČSN 01 5010 *Názvosloví kompresorů*., Praha: Vydavatelství UNM, 1985. 96 s.
4. A. Töpfer a kolektiv, *Six sigma*., Brno: Vydavatelství Computer Press, a.s., 2008. 508 s. ISBN 978-80-251-1766-8.
5. M. Lhoták, *Zavádíme metodu Six Sigma*., Brno: Vydavatelství TwinsCom, s.r.o., 2002. 416 s. ISBN 80-238-9289-4.
6. *Nabídka POB 51 – 20 - 08*. Atlas Copco. Česko. Duben 2008

SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK A SYMBOLŮ

kPa	kilopascal	jednotka tlaku
bar	Bar	jednotka tlaku
^{o}C	stupeň celsia	jednotka teploty
K	Kelvin	jednotka teploty
m^3	metr krychlový	jednotka objemu
kg	kilogram	jednotka hmotnosti
s	sekunda	jednotka času
l	litr	jednotka objemu

SEZNAM PŘÍLOH

Příloha 1 Mapa závodu
Příloha 2 Rozvod stlačeného vzduchu B 20
Příloha 3 Rozvod stlačeného vzduchu B 29
Příloha 4 Rozvod stlačeného vzduchu B 17
Příloha 5 Identifikace problémů
Příloha 6 Propočet nákladů na výrobu stlačeného vzduchu