

# Energijska učinkovitost pnevmatičnih sistemov – poraba energije in stroški

Dragica NOE

**Izvleček:** Pnevmatični sistemi in komponente se v avtomatizaciji kljub nizkemu energijskemu izkoristku pogosto uporabljajo in so še vedno alternativa električnim pogonom. Kljub pogosti uporabi pnevmatičnih sistemov v praksi se večkrat pokaže pomanjkljivo poznavanje tematike. Izboljšanje poznavanja in razumevanja pnevmatičnih sistemov in komponent zato predstavlja pomembno potencialno možnost za prihranke energije v industrijskem okolju. Prispevek je namenjen predstavitvi ukrepov za povečanje energijske učinkovitosti pnevmatičnih sistemov. Ukrepi morajo vključevati jasno opredelitev porabe energije za pridobivanje komprimiranega zraka, porabe zraka v pogonskem sistemu ter izgub in potencialnih možnosti za zmanjšanje porabe komprimiranega zraka in s tem energije.

**Ključne besede:** pnevmatika, energijska učinkovitost, izgube energije, poraba komprimiranega zraka, stroški komprimiranega zraka, izgube komprimiranega zraka

## ■ 1 Uvod

Evropska unija v svojih dokumentih posveča veliko pozornosti in spodbud, da bi do leta 2020 dosegla povečanje energijske učinkovitosti in s tem do 20 % zmanjšanja porabe energije, kar je bistvo strategije EU z naslovom »Evropa 2020 – Strategija za pametno, trajnostno in vključujočo rast« [1]. Po ocenah Eurostata iz leta 2010 industrija v Evropi porabi okrog 20 % primarne energije. Kljub dosedanjim prihrankom, ki jih je zaznala statistika, obstajajo v industriji še dragocene možnosti za prihrankov energije. V ta namen je treba opredeliti področja največjih porabnikov, podpirati tehnološke inovacije, kot so razvoj, testiranje in razširjanje novih energijsko učinkovitih tehnologij in sistemov, izobraževati in osveščati

ti zaposlene v industriji, pripraviti ustrezne finančne spodbude, omogočiti izmenjavo najboljših praks na področju energijske učinkovitosti tako v majhnih kot velikih podjetjih.

Z energijsko učinkovitostjo v pnevmatiki je opredeljen vložek energije za pridobivanje komprimiranega zraka in njegovo uporabo oziroma, v splošnem, razmerje med doseženim učinkom pnevmatičnih naprav in sistemov ter vloženo energijo. Pnevmatični sistemi in komponente so predvsem zaradi razširjenosti in dokaj slabega energijskega izkoristka velika potencialna možnost za prihranke energije, če jih oblikujemo sistematično in pri tem upoštevamo ustrezne ukrepe [1].

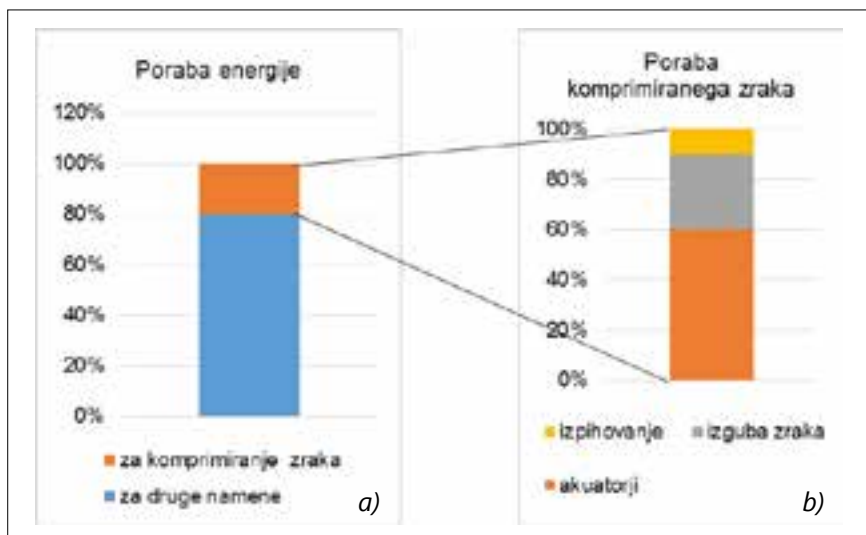
Možnosti za povečanje energijske učinkovitosti pnevmatičnih sistemov je mogoče iskati v jasni opredelitvi dejanske porabe komprimiranega zraka oziroma energije za njegovo pridobivanje in uporabo v proizvodnih podjetjih ter s tem povezanimi stroški.

## ■ 2 Poraba energije in zraka

Pnevmatični pogoni so alternativa električnim in hidravličnim pogonom v številnih proizvodnih podjetjih. Zaradi specifičnih značilnosti se in se bo kljub večjim stroškom pnevmatika uporabljala v avtomatizaciji in mehanizaciji proizvodnje tudi v prihodnosti [2]. Uporabo pnevmatike v pogonih in krmiljih je treba vedno kritično ovrednotiti, stroške zmanjšati, kolikor je le mogoče, ter hkrati izbrati najprimernejši medij glede na postavljene kriterije.

Številni statistični podatki kažejo stanje porabe pnevmatične energije v proizvodnji (slika 1). Pri porabi energije za komprimiranje zraka v industrijskih podjetjih so ocene strokovnjakov v splošnem enake. Približno 20 % energije porabijo industrijska podjetja za komprimiranje zraka, ostalo za druge namene, kot so ogrevanje in hlajenje, pogon strojev, osvetlitev, napajanje računalnikov in podobno. Avtorji v analizah porabe komprimiranega zraka niso

Izr. prof. dr. Dragica Noe, univ. dipl. inž., Univerza v Ljubljani, Fakulteta za strojništvo – LA-SIM



**Slika 1.** Poraba energije v proizvodnji: a) za pridobivanje zraka, b) za porabo zraka

povsem enotni. Okrog 30 % zraka, odvisno od procesov in stopnje avtomatizacije, porabijo različna orodja z izpihovanjem. Mnogo manj so avtorji enotni o porabi zraka za akuatorje – pogonske enote. Po nekaterih razpoložljivih virih je poraba le 10 %, po drugih pa do 60 % [1, 4].

V skladu s poročilom EU o porabi zraka in oceni stroškov se kljub številnim ukrepom okrog 18 do 20 % komprimiranega zraka izgubi zaradi nenadzorovanega iztekanja – lekaže, kar je relativno veliko. Pri pogonski moči kompresorja 220 kW, ki je vgrajen v kompresorski postaji povprečno velikega podjetja, je izgube za okrog 75.000 €/leto [4]. Te ugotovitve potrjujejo tudi druga poročila o raziskavah porabe zraka v podjetjih [5, 6].

### ■ 3 Izgube energije

Analiza porabe komprimiranega zraka in opredelitev porabljene energije za njegovo pridobivanje sta osnova za možne prihranke energije in s tem povečanje energijske učinkovitosti v proizvodnji. Energijska učinkovitost pnevmatičnih sistemov je poleg zagotavljanja izvajanja zahtevanih operacij ter varnosti osnovna zahteva, ki jo je treba upoštevati v zgodnji fazi načrtovanja pnevmatičnih komponent in sistemov. Je neposredno povezana tako s stroški investicije kot s kasnejšimi stroški delovanja in vzdrževanja.

Prizadevanja za večjo učinkovitost pnevmatičnih industrijskih sistemov so usmerjena v:

- energijsko učinkovitejše pridobivanje in pripravo zraka,
- zmanjšanje izgub zraka in tlaka v razvodni mreži,
- ustrezno izkoriščanje energije pri uporabi komprimiranega zraka (slika 2).

Učinkovitost posameznih podsistemov je mogoče prikazati z energijsko bilanco (slika 3, 4, 5), v kateri so podana razmerja med skupno porabljeno, koristno porabljeno in izgubljeno energijo.

### ■ 3.1 Pridobivanje in priprava zraka

Podsistem za pridobivanje in pripravo zraka dobavlja določeno količino komprimiranega zraka

$V$  in tlaka  $p_d$ , ki je ustrezno očiščen in pripravljen (suh). Za pripravo (komprimiranje, čiščenje in sušenje) se porabi koristna (potrebna) energija  $E_k$ , ki je manjša od dovedene energije  $E_d$  za delež izgubljene energije  $E_i$  (potrate). Energijsko bilanco pa je mogoče izboljšati s ponovno uporabo odpadne toplote ( $E_u$ ) (slika 3 in enačba 1).

$$E_d = E_k + E_i - E_u \quad (1)$$

Energijski izkoristek pridobivanja in priprave zraka je tako razmerje med koristno in dejansko porabljeno energijo (2):

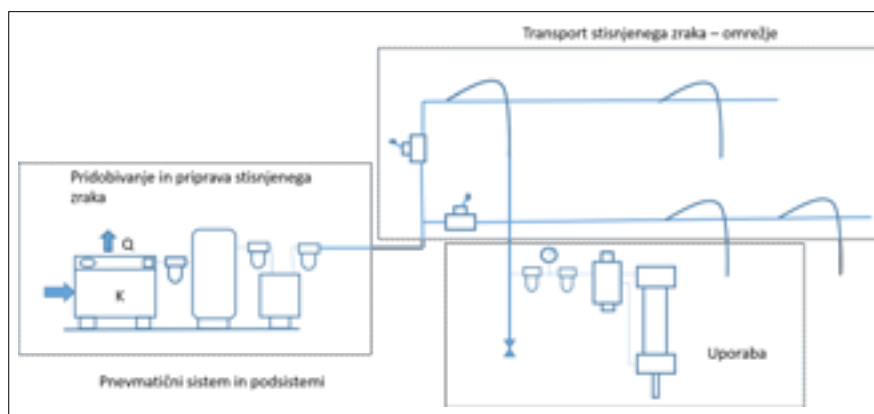
$$\eta_{\text{epp}} = E_k / E_d \quad (2)$$

in bo tem večji, čim manjše bodo izgube in čim več odpadne toplote bo koristno uporabljene.

Izgube energije pri pridobivanju in pripravi zraka nastanejo zaradi:

- nastajanja toplote pri kompresiji,
- uporih v hladilnem sistemu, filterih, ventilih,
- previsokem izhodnem tlaku,
- izgub v filterih na vstopu,
- višine temperature vstopnega zraka,
- izkoristka elektromotorja,
- neustreznega krmiljenja kompresorjev in
- puščanja v kompresorski postaji.

V posameznih postavkah je mogoče iskati prihranke energije in po podatkih nekaterih proizvajalcev kompresorjev z ustreznimi ukrepi prihraniti do 30 % energije [7].



**Slika 2.** Pnevmatični industrijski sistem in podsistemi



Slika 3. Energijska bilanca podsistema za pridobivanje zraka

### 3.2 Prenos komprimiranega zraka do porabnikov in energetska učinkovitost

Pripravljeni zrak iz kompresorske postaje potuje po transportnem podsistemu – omrežju – do porabnikov (slika 4), pri čemer se izgubi energija  $E_{iz}$ .

Pri transportu teče zrak od kompresorske postaje do porabnikov po ceveh, ki prispevajo k padcem tlaka. Nanje v omrežju vplivajo tudi različni ventili, vgrajeni v cevovode, ter enota za pripravo zraka. Drugi del izgub energije predstavlja nenadzorovano iztekanje zraka (lekaža). To pomeni neposredno izgubo, saj je bilo za izgubljeni zrak opravljeno delo oziroma porabljena energija. Izguba zraka ima tudi negativen vpliv na delovanje porabnikov komprimiranega zraka [3, 5].

Izgube energije v razvodni mreži je mogoče zmanjšati z ustreznim dimenzioniranjem in zgradbo omrežja, ki zagotavlja ustrezen tlak in količino zraka posameznim porabnikom, kakor tudi z zmanjšanjem nekontroliranega iztekanja – lekaže, tlačnih padcev v cevovodih, z odklapanjem posameznih vej omrežja, ki niso v pogonu, in z zmanjšanjem izgub v izločevalnikih kondenzata. Našteti ukrepi omogočijo prihranek energije med 5 in 40 % celotne porabljene energije v pnevmatičnem omrežju.

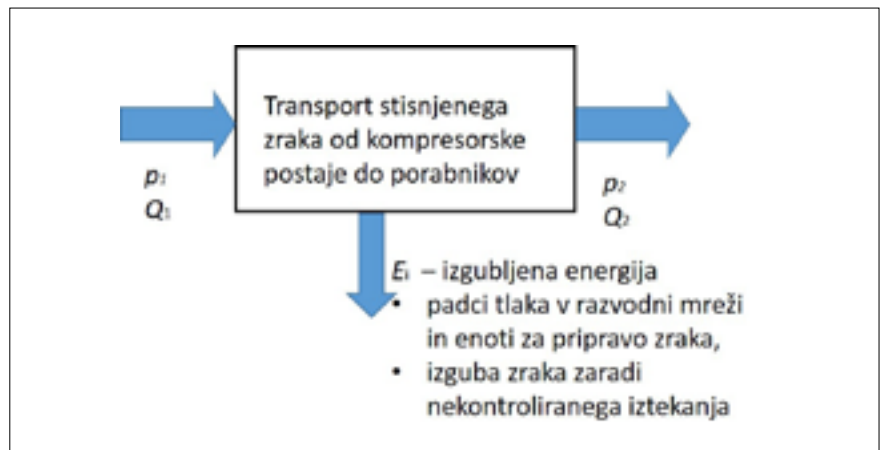
### 3.3 Energijske izgube pri porabnikih

Porabniki komprimiranega zraka so različni pogoni – valji in motorji, orodja – privijalniki, kladiva, orodja za nanašanje barve, šobe za izpihovanje, vakuumski prijemalniki in drugo. Komprimirani zrak se uporablja tudi pri transportu prašnih delcev, v procesni industriji in za hlajenje. Za krmiljenje in regulacijo

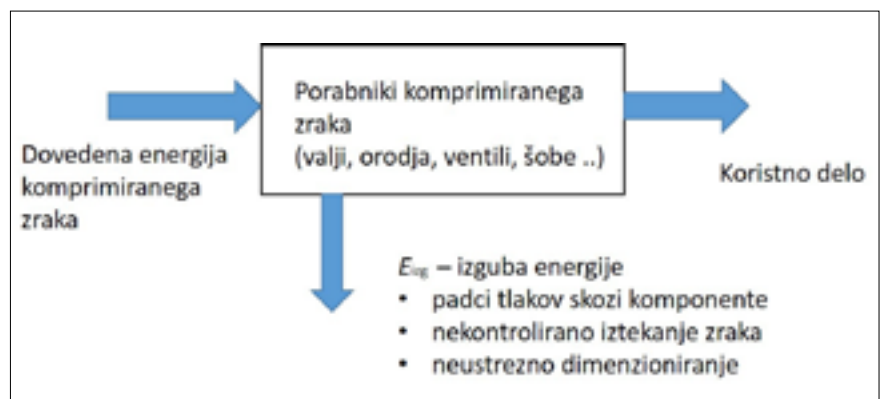
pa se uporabljajo številni in raznovrstni ventili.

Izgube energije so pogojene s padci tlakov skozi ventile in cevi, trenjem v komponentah, njihovim neustreznim dimenzioniranjem – sile in momenti na aktuatorjih znatno presegajo zahtevane. Zaradi nepoznavanja procesov se pogosto izbirajo komponente z večjim varnostnim faktorjem. Izgube povzročajo tako prazni volumni kakor tudi slabo vzdrževanje.

Ukrepi za optimalno uporabo komprimiranega zraka so povezani z ustreznim dimenzioniranjem komponent. Predimenzioniranje vodi k večji porabi stisnjene zraka, poddimenzioniranje pa k nepravilnemu delovanju pnevmatičnih sistemov. Zato sta potrebna razvoj in uporaba energijsko učinkovitih komponent – zmanjšanje trenja v komponentah, manjše vklopne in krmilne sile, krmilja z manjšo porabo zraka, varčna krmilja, miniaturizacija in podobno.



Slika 4. Prenos komprimiranega zraka do porabnikov



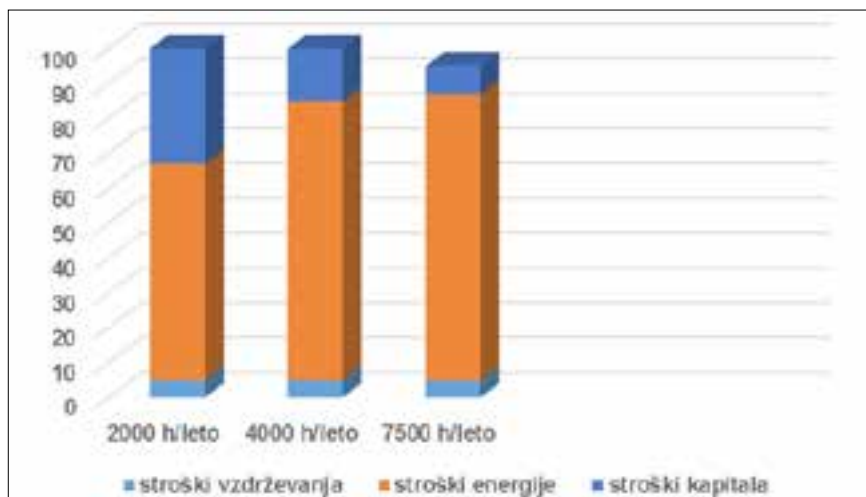
Slika 5. Energijska bilanca porabnikov komprimiranega zraka

## ■ 4 Stroški komprimiranega zraka

Kompresorji in kompresorske postaje so načrtovani na osnovi podatkov o dejanskih potrebah z upoštevanjem časovno bližjih povečanj porabe zraka in zahtevanih tlakov. Modifikacije omrežij in priključevanje ter odklapanje porabnikov pogosto zamegljijo dejanske potrebe in porabo, zato vprašanje, koliko podjetje pravzaprav staneta pridobivanje in priprava komprimiranega zraka, pogosto ostane neodgovorjeno. V splošnem podjetja računajo z 0,10 do 0,20 €/kWh za pogon kompresorjev ali pa strošek izračunajo kar na osnovi porabljene energije v prejšnjem obračunskem obdobju. Podatki o skupnem času delovanja kompresorjev so pogosto negotovi in kompresorji delujejo, ne da bi se komprimirani zrak uporabljal, ampak se ta nekje izgubi.

Strošek za komprimirani zrak vključuje stroške energije za pogon kompresorja z upoštevanjem potreb in izgub, stroške vzdrževanja in stroške investicije (slika 3) [8]:

- stroški za vzdrževanje so vsota stroškov za delo vzdrževalcev, rezervnih delov, materiala, kot so mazalna sredstva, hladilno olje, oljni filtri, filtri za zrak;
- stroški energije za pogon kompresorjev so v splošnem stroški elektrike oziroma pogonskega medija;
- stroški kapitala vključujejo tako



Slika 6. Stroški komprimiranega zraka

stroške obresti kot obrokov v investicijo (kompresor, priprava zraka in omrežje) vloženega kapitala.

Odvisno od števila ur delovanja na leto je delež posameznih stroškov različno velik (slika 6). Jasno je mogoče ugotoviti, da je strošek energije največji. Delež stroškov vzdrževanja in stroški kapitala so dolgoročno minimalni. Glavni kriterij pri nakupu in izbiri kompresorskih postrojenj je in mora biti poraba energije oziroma so stroški energije. Energijska učinkovitost pnevmatičnih sistemov je tako neposredno povezana z zmanjševanjem stroškov energije za pridobivanje komprimiranega zraka.

V pomoč pri investiciji in pozneje za izračun stroškov obratovanja naj bo izračun, ki upošteva naslednje veli-

čine in vključuje primerjavo dveh ali več kompresorjev:

- dobavno količino na uro  $V$  – v  $m^3/h$ ,
- električno moč  $P_m$  – v kW,
- izkoristek pogonskega motorja  $\eta_m$ ,
- ceno energije  $c_e$  – v €/kWh,
- dodatne stroške  $s_d$  – v €.

Pri izgubi 10 % količine zraka zaradi nenadzorovanega iztekanja so skupni stroški  $s_{leto} = 7524$  €/leto. Pogosto je delež izgubljenega zraka celo višji.

## ■ 5 Vpliv višine tlaka na stroške

Tlak komprimiranega zraka na izhodu iz kompresorja je določen s porabniki (aktuatorji), padci tlaka v omrežju in padci tlaka v komponentah za pripravo zraka, ki večajo višino tlaka komprimiranega zraka na izstopu iz kompresorja ( $pt$ ). Razlika med zahtevanim delovnim tlakom pri porabnikih ( $pp$ ) in na izstopu iz kompresorja ( $pt$ ) naj bo čim manjša ( $\Delta p = pt - pp = \min$ ) (slika 7).

Ker sta potrebno delo in s tem energija za komprimiranje zraka neposredno povezana z višino tlaka, naj bo ta v sistemu najnižji, kolikor je le mogoče. Številni avtorji navajajo, da vsako povišanje tlaka za  $p = 1$  bar povzroči za 6 do 7 %-no povečanje stroškov energije [9].

V splošnem velja, da je zahtevani delovni tlak za različne pištole za

Primer [8]:

Za vijačni kompresor z dobavno količino  $V = 303$   $m^3/h$ , pri delovnem tlaku 8 bar, s pogonskim elektromotorjem moči  $P_m = 31,9$  kW, izkoristkom  $\eta_m = 92,5$  % je dejansko odvzeta energija iz omrežja

$$P = P_m \cdot 100 / \eta_m \text{ (kW)} = 34,47 \text{ kW,}$$

pri ceni energije  $c_e = 0,10$  €/kWh je strošek energije na uro delovanja kompresorja

$$s_e = P \cdot c_e \text{ (€/h)} \quad s_e = 3,45 \text{ €/h,}$$

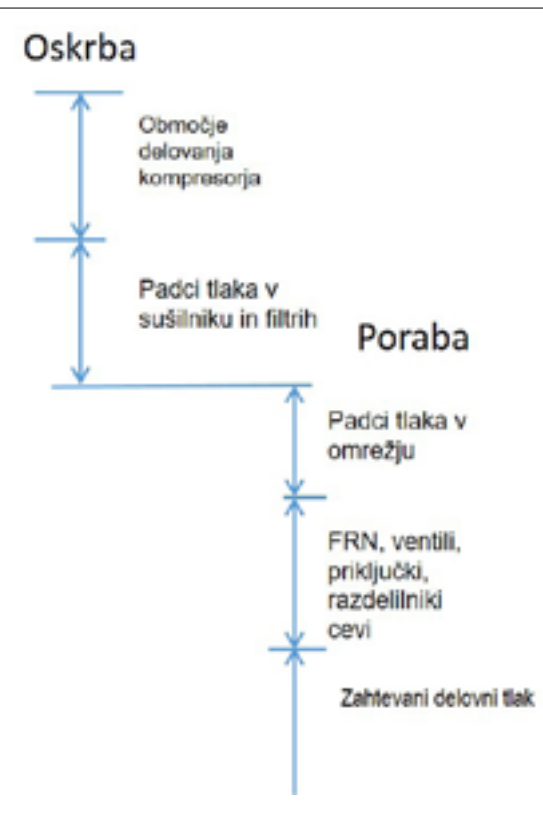
strošek na  $m^3$  dobavljenega zraka

$$s_z = s_e / V \text{ (€/m}^3\text{)} = 0,0114 \text{ €/m}^3,$$

pri skupnem neprekinjenem času delovanja na leto  $T_{leto} = 2000$  ur (v času enega delovnika) je strošek energije na leto za podano dobavno količino zraka

$$s_{zleto} = V_{leto} \cdot s_z = T_{leto} \cdot V \cdot s_z \text{ (€/leto)} \quad s_{zleto}$$

$$s_{zleto} = 6840 \text{ €/leto.}$$



**Slika 7.** Ponazoritev padcev tlaka od kompresorja do aktuatorja morda

barvanje do 4,5 bar, za napajanje pnevmatičnih valjev in motorjev do 6 bar izjemoma 7 bar, za različna dvigala pa so tlaki tudi do 12 bar.

Na višino tlaka, ki jo mora zagotavljati kompresorska postaja, vplivajo padci tlaka v sami kompresorski postaji, omrežju, cevovodih, različnih krmilnih komponentah ter izgube tlaka zaradi nekontroliranega iztekanja zraka. Tako je na primer padec tlaka na hladilniku zraka 0,25 bar, skozi filter na začetku uporabe 0,1 bar, pred zamenjavo filtrirnega telesa pa tudi do 0,5 bar. Padci tlaka skozi ventile so med 0,5 in 3 bar, padec tlaka v cevi notranjega premera 6 mm in dolžine 10 m je tudi do 2,5 bar, za isti tok zraka in dolžino pri premeru cevi 9 mm je padec tlaka 0,8 bar in tako naprej [10].

Ukrepi za znižanje padcev tlaka so: ustrezna sanacija omrežja, uporaba ventilov z manjšimi padci tlakov, skrajševanje cevi, znižanje tlaka v sistemu, pri aktuatorjih, ki zahtevajo višje tlake, pa uporaba mehanskih in hidravličnih ojačevalnikov sil.

## 6 Poraba komprimiranega zraka

Porabo zraka za posamezne aktuatorje – valji, motorji, šobe za izpihovanje, pištole za barvanje, vakuum-ska prijemala in druge – je mogoče določiti na osnovi podatkov, ki jih podajajo njihovi proizvajalci v svojih katalogih in tehniški dokumentaciji.

Poraba zraka  $V$  v valjih je približno:

$$V = ((\pi \cdot d^2) / 4) \cdot h \cdot n \cdot b \text{ [m}^3/\text{h]}$$

Pri tem je  $V$  – tok zraka [m<sup>3</sup>/h],  $d$  – premer bata valja v m,  $h$  – gib valja v m,  $n$  – število gibov na minuto 1/ min,  $b$  je 1 pri enosmernem valju in 2 pri dvosmernem valju.

Primer [3]:

Dvosmerni valj dviga maso 12 kg 8 ur na dan, 2000 dni na leto, z gibom 250 mm, 60 gibov na minuto. Za podane zahteve se lahko izbere valj s premerom 32 mm ali valj s premerom 40 mm. Poraba zraka pri premeru valja 32 mm je 23 150 m<sup>3</sup>/leto in strošek 333 €/leto, pri valju premera 40 mm je poraba 36 172 m<sup>3</sup>/leto in strošek 520 €/leto. Predimenzioniranje aktuatorjev stane!

Ukrepi za zmanjšanje porabe komprimiranega zraka so povezani s poznavanjem procesov, za katere se pogoni dimenzionirajo, in natančno opredelitvijo parametrov za izbiro pogonov. Vsako predimenzioniranje vodi k povečanju porabe zraka, poddimenzioniranje pa k motnjam v delovanju pnevmatičnega sistema. Zamenjava dvosmerno delujočih valjev z enosmernimi ali uporaba varčnih krmilij je prav tako ukrep za povečanje učinkovitosti.

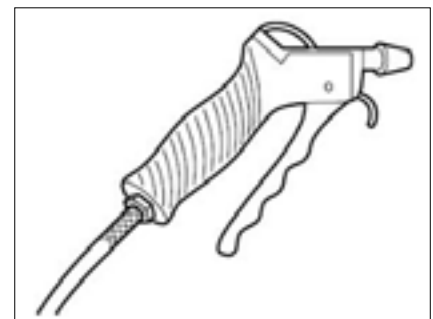
Zrak doteka v valje in odteka v ozračje skozi potne ventile in cevi, ki so nameščeni na razdalji  $l$  od valjev.

$$V = ((\pi \cdot d^2) / 4) \cdot l \cdot n \cdot b \text{ [m}^3/\text{h]}$$

Pri tem so  $d$  – notranji premer cevi v m,  $l$  – dolžina cevi v m in  $n$  – število gibov na min,  $b$  – 1 pri enosmernem valju in 2 pri dvosmernem valju.

Vsako nepotrebno polnjenje cevi kjerkoli v pnevmatičnem sistemu pomeni izgubo komprimiranega zraka in stroške. Ukrepi so: skrajšanje cevi, optimizacija premerov cevi ter uporaba varčnih krmilij. Tudi polnjenja cevi v omrežju, ki ne vodijo k porabnikom, se je treba izogibati.

Veliki porabniki zraka so različne šobe. Poraba zraka pri šobah je odvisna od premera, delovnega tlaka, oblike šobe, stanja površine in namena uporabe. Primer uporabe je ilustriran s porabo zraka pri šobi za izpihovanje s cilindrično odprtino (slika 8).



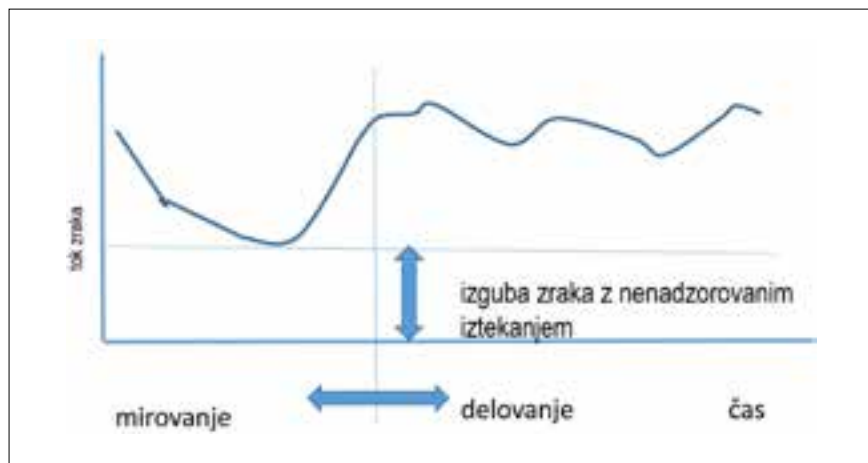
Premer šobe [mm]	Delovni tlak v [bar]						
	2	3	4	5	6	7	8
0,5	8	10	12	15	18	22	28
1,0	25	35	45	55	65	75	85
1,5	60	75	95	110	130	150	170
2,0	105	145	180	220	250	290	330
2,5	175	225	280	325	380	430	480
3,0	230	370	400	465	540	710	790

**Slika 8.** Poraba zraka (l/min) močno naraste pri pištolah za barvanje in za transport izdelkov [10].

Časovno porazdelitev porabe zraka pri večjem številu porabnikov je v splošnem mogoče izračunati na osnovi podatkov o istočasnosti delovanja posameznih porabnikov, vendar je bolj zanesljivo sliko mogoče dobiti z meritvami toka zraka v daljšem časovnem obdobju. Z meritvami se dovolj jasno pokažejo največji skoki porabe kakor tudi povprečna poraba [7].

Ukrepi so: optimizacija premera šobe in izbira višine tlaka ter pravilne konstrukcijske rešitve za povečanje učinka zračnih curkov.

Puščanje komprimiranega zraka oziroma lekaža v pnevmatičnih sistemih oziroma komponentah je dejstvo. Vzroki za puščanje so številni in zelo različni. Želja uporabnikov pnevmatičnih sistemov je, da so izgube zraka zaradi nenadzorovanega iztekanja čim manjše oziroma da so s tem povezani stroški energije v razumnih mejah. Posledica izgub – lekaže – je delovanje kompresorja in potreba po dovajanju zraka v omrežje tudi takrat, ko porabniki ne delujejo (slika 9).



Slika 9. Kompresor dovaja zrak v omrežje tudi takrat, ko porabniki ne delujejo

Pri omrežnem tlaku 8 bar in reži netesnosti premera 1 mm izteče okrog 75 l/min oziroma 4,5 m<sup>3</sup>/h. Za ta volumski tok se porabi 0,6 kW energije in pri ceni 0,10 €/kWh pomeni pri celoletnem delovanju 8000 delovnih ur 480 €/leto dodatnih stroškov (tabela 1).

Na osnovi raziskave v številnih podjetjih v ZDA so ugotovili, da se v industrijskih obratih izgubi do 20 % komprimiranega zraka z nenadzorovanim iztekanjem. V 175 primerih v realnem industrijskem okolju je bilo ugotovljeno, da prispevajo največji delež priključki, enote za pripravo zraka in izpihvalne šobe (slika 10) [4].

Avtorji številnih študij navajajo, da je smiselno usmeriti prizadevanja za zmanjšanje izgub zraka na tri področja [2, 3, 5]:

- zmanjšanje izgub pri pridobivanju in pripravi zraka – vzroki

netesnost, premer [mm]	Iztekajoči zrak pri nadtlatku 8 bar [l/min]	Izguba energije [kW]	Izgube [€/leto]
1	75	0,6	480
1,5	150	1,3	1080
2	260	2,0	1600
3	600	4,4	3520
4	1100	8,8	7040
5	1700	13,2	10580

Tabela 1. Izgube zraka in energije, odvisne od velikosti odprtine [11]

- zanje so lahko način regulacije kompresorjev, puščanje na filterih, regulatorju toka, na odvjalniku vode, priključkih, sušilnikih in varnostnih ventilih;
- preprečevanje in odpravljanje izgub v razdelilni mreži – poškodovane cevi, počeni zvarjeni spoji, puščanje na plastičnih ceveh zaradi staranja, odvjalnikov vode, enotah za pripravo zraka, priključkih ter ventilih med po-

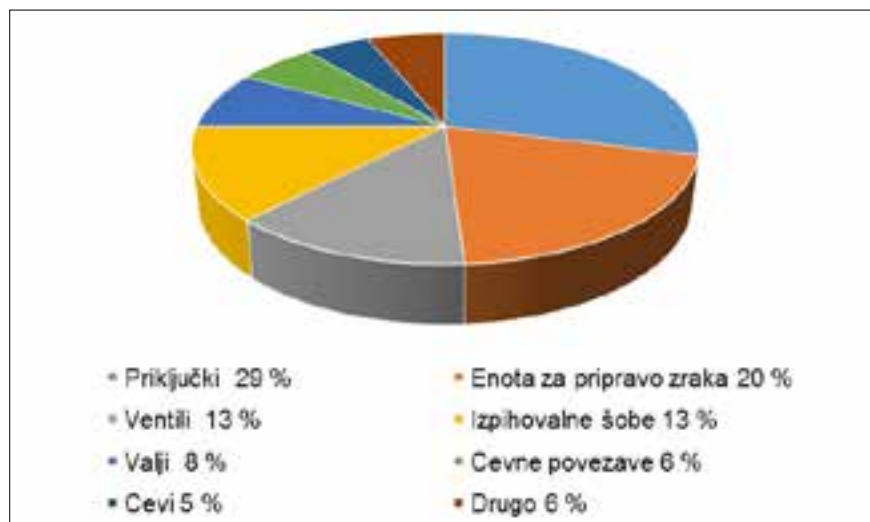
sameznimi odseki mreže;

- zmanjšanje porabe zraka v delovnih in krmilnih komponentah – puščanje ventilov, puščanje na hitrih spojkah, netesnost v valjih, na priključkih za cevi, prevelika poraba komprimiranega zraka zaradi neustreznega dimenzioniranja – te porabe zraka je najtežje zaznati.

Po nekaterih podatkih je mogoče opravičiti izgube zraka največ za [9,10]:

- 5 % pri majhnih omrežjih,
- 7 % pri srednjih,
- 10 % pri obsežnih omrežjih,
- 13–15 % pri zelo velikih porabnikih, kot so livarne, železarne, v ladjedelništvu.

Pri preseganju predpisane vrednosti izgube zraka je treba tlačno omrežje sanirati. Pri sanaciji se običajno uvedejo številni ukrepi zatesnitve, zamenjave delov cevi ali ventilov, ki puščajo, posodobitve pridobivanja in priprave komprimiranega zraka, izključevanje posameznih tlačnih omrežij, vgraditev merilnikov toka in podobno.



Slika 10. Mesta in deleži izgube zraka zaradi iztekanja [4]

## 7 Sklep

Številne objave o porabi komprimiranega zraka in ukrepah za njegovo učinkovito rabo poudarjajo, da večina porabnikov ne ve, da so njihovi sistemi energijsko slabo izkoriščeni in bi bilo mogoče z izboljšanjem izkoriščenosti pnevmatičnih naprav in sistemov v podjetju prihraniti od 5 do 50 % stroškov za energijo.

Dejanski podatki o porabi komprimiranega zraka v podjetjih, ki morajo biti osnova za ukrepe pri izboljšanju energijske učinkovitosti pnevmatičnih sistemov, pogosto žal niso na voljo. Podjetja prav tako nimajo natančno opredeljenih stroškov uporabe pnevmatičnih komponent in sistemov. To otežuje izdelavo strategij in uvajanje izboljšav za povečanje energijske učinkovitosti pnevmatičnih sistemov oziroma podjetij. Natančnejšo oceno porabe zraka in energije je mogoče pridobiti le na osnovi celovite analize posameznih porabnikov. Le tako pridobljeni podatki so osnova za pripravo predlogov za zmanjšanje porabe zraka oziroma porabe

energije za komprimiranje zraka in povečanje energijske učinkovitosti pnevmatičnih sistemov.

### Literatura

- [1] Direktiva 2012/27/eu evropskega parlamenta in sveta z dne 25. oktobra 2012 (<http://eurlex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:2012:315:0001:0056:SL:PDF>) (2014)).
- [2] Sator, A.: Energy saving; FESTO, International Conference Fluid power, Conference Proceedings, Maribor 2013 P. 17–25.
- [3] Festo: Energy efficiency@Festo – solutions for a profitable and sustainable Future ([www.festo.com/net/supportportal/files/17414/energieeffizienz\\_2012\\_v10\\_en\\_neu\\_m.pdf](http://www.festo.com/net/supportportal/files/17414/energieeffizienz_2012_v10_en_neu_m.pdf)) (2014)).
- [4] Energy Conservation, Ecologically Conscious Pneumatic Systems, SMC ([www.nfpa.com/events/pdf/2012\\_eehpc/13\\_energy%20saving%20course%20outline.pdf](http://www.nfpa.com/events/pdf/2012_eehpc/13_energy%20saving%20course%20outline.pdf)) (2014)).
- [5] Energiekosten und Leckagen, (<http://www.druckluft-effizient.de/downloads/dokumente/druckluft-leckage.pdf>) (2015)).
- [6] Partnering to Reduce Costs, Fluid Power Systems Conference (<http://www.nfpa.com/events/pdf/2013-fpsc/003-2013-fpsc-presentation.pdf>) (2014)).
- [7] Druckluft efficient erzeugen ([http://eor.de/fileadmin/eor/docs/aktivitaeten\\_Veranstaltungsreihe/20101108\\_Kaeser\\_Hr\\_Manthey\\_Vortrag\\_KL.pdf](http://eor.de/fileadmin/eor/docs/aktivitaeten_Veranstaltungsreihe/20101108_Kaeser_Hr_Manthey_Vortrag_KL.pdf)) (2010)).
- [8] Kosten der Druckluft ([http://www.drucklufttechnik.de/www/temp/Dlrepos.nsf/LookupHTML/KompendiumPDF\\_d/\\$File/Kapitel13.pdf](http://www.drucklufttechnik.de/www/temp/Dlrepos.nsf/LookupHTML/KompendiumPDF_d/$File/Kapitel13.pdf)) (2014)).
- [9] Kožuh, M., M. Špendal: Varčno z energijo pri rabi komprimiranega zraka, Center za energetsko učinkovitost IJS Ljubljana (<http://lab.fs.uni-lj.si/ldsta/vaje/kv/V1-kompzrak.pdf>) (1997, 2014)).
- [10] Das Druckluft-Kompendium (6. bearbeitete Auflage 2004), Hoppenstedt-Verlag ([www.drucklufttechnik.de](http://www.drucklufttechnik.de)) (2015)).
- [11] Odkrivanje puščanja: OHPE ([www.omega-air.si](http://www.omega-air.si)) (2014)).

### Energy efficiency of pneumatic systems – energy consumption and costs

**Abstract:** Pneumatic systems and components are very often used in automation and are still an alternative to electric drives, in spite of their low energy efficiency. Because of the high energy losses, pneumatic systems introduce the possibility of energy savings in the industrial plant. The measurements for increasing pneumatic system energy efficiency have to involve a clear definition of how much energy is consumed to produce compressed air, how much compressed air is used in the system, how much compressed air is wasted, and what are the possibilities to decrease the consumption of compressed air and energy.

**Keywords:** pneumatics, energy efficiency, energy loss, compressed air consumption, compressed air costs, compressed air leakage



# NEPOGREŠLJIV VIR INFORMACIJ ZA STROKO

VSAKA DVA MESECA  
NA VEČ KOT  
140 STRANEH



Vodnik skozi množico informacij

- proizvodnja in logistika • obdelava nekovin • orodjarstvo in strojogradnja
- vzdrževanje in tehnična diagnostika • varjenje in rezanje • napredne tehnologije