

## Prikrite nevarnosti v simulacijskem centru

Hidden dangers in a simulation centre

Miljenko Križmarić in Aleksander Manohin

<sup>1</sup> Medicinska fakulteta  
Univerze v Mariboru,  
Slomškov trg 15,  
SI-2000 Maribor

<sup>2</sup> UKC Ljubljana,  
Klinični oddelek za  
anesteziologijo in  
intenzivno terapijo  
operativnih strok,  
Zaloška cesta 7,  
SI-1000 Ljubljana

### Korespondenca/ Correspondence:

doc. dr. Miljenko  
Križmarić, univ. dipl. inž.  
el., Medicinska fakulteta  
Univerze v Mariboru,  
Slomškov trg 15, SI-  
2000 Maribor, miljenko.  
krizmaric@uni-mb.si

### Ključne besede:

simulacijski center,  
oprema, varnost, zapleti

### Key words:

simulation centre,  
equipment, safety,  
complications

### Citirajte kot/Cite as:

Zdrav Vestn 2011;  
80: 516–522

Prispelo: 18. nov. 2010,  
Sprejeto: 5. apr. 2011

### Izvleček

V prispevku poudarjamo pomembnost neoprečnosti vseh naprav v simulacijskih centrih in prikazujemo primer uhajanja dušikovega oksidula ( $N_2O$ ) skozi poškodovan urejevalnik tlaka. Nepravilnost delovanja urejevalnika tlaka (reducirnega ventila) je bila prikrita dalj časa, zato je dušikov oksidul uhajal počasi ter neopazno. Podrobnejši pregled z milnico je odkril uhajanje plina skozi majhno šobo na zadnji strani urejevalnika tlaka. Uhajanje je bilo sicer neslišno, vendar ga je bilo mogoče občutiti že s pritiskom prsta na šobo ventila. Predlagamo pazljivost pri uporabi reducirnih ventilov in obvezni tlačni preskus celotne plinske napeljave, tudi če ni zelo dolga. Priporočamo, da uhajanje plina enostavno preverjamo s pritiskom prsta na morebitnih odprtinah ventilov ali spojih ceveh, in sicer tako na simulatorjih kot tudi v stvarnih razmerah.

### Abstract

In the article, we emphasize the need for all equipment in a simulation centre to be maintained in excellent working condition, and present a case of nitrous oxide ( $N_2O$ ) leakage through a damaged pressure regulator. For a considerable time faulty operation of the pressure-reducing valve went unnoticed, resulting in slow, imperceptible leakage of gas from the cylinder. A careful soap test revealed that gas was escaping through a small nozzle on the back of the pressure regulator. The leakage was inaudible but could be felt by placing a finger on the valve nozzle. Great care must be exercised when using reduction valves, and pressure testing of the entire circuit is mandatory even if the system is small. We recommend a simple test for gas leakage, performed by placing a finger on possible openings in valves or connecting tubes, which is suitable for use both in a simulation centre and in real circumstances.

### Uvod

V novejšem času pri poučevanju študentov in zdravstvenih delavcev vse bolj uporabljamo lutke in naprave, ki natančno posnemajo resnično dogajanje,<sup>1,2</sup> saj s takim pristopom poučevanja ne obremenjujemo bolnikov. Izdelani so natančni postopki za preverjanje uporabnosti takšnih simulatorjev.<sup>2,3</sup> Skrbno moramo preskusiti tudi tesnjenje sistemov za dovajanje medicin-

skih plinov, in sicer tako kot pri delu z bolnikom,<sup>4,5,6</sup> saj morajo biti varnostni ukrepi primerljivi z bolnišničnimi varnostnimi ukrepi. Simulacijski centri imajo skupne značilnosti glede napeljav in opreme. Njihovo osnovno poznavanje je pomembno za lažje preverjanje brezhibnosti naprav in njihovega delovanja.

Delo je nastalo v Simulacijskem centru Visoke zdravstvene šole Univerze v Mariboru.



**Slika 1:** Učno okolje s simulatorji in z medicinskimi napravami.

## Predstavitev simulacijskega centra

Simulacijski center ima za potrebe simulacij vzpostavljene napeljave medicinskih plinov kisika, dušikovega oksidula, zraka in vakuumu. Za učenje in urjenje študentov ter že zaposlenih zdravstvenih delavcev so na voljo simulatorji fizioloških funkcij in različne vrste medicinskih naprav ter instrumentov (Slika 1).

Medicinske pline potrebujemo predvsem za delovanje anestezijskega aparata in pljučnega ventilatorja.

Plinske napeljave, dobavo in priklop jeklenk ter reducirnih ventilov (regulatorjev tlaka) izvaja za to pooblaščen podjetje. Kisik in dušikov oksidul sta uskladiščena v tlačnih posodah v kontrolnem prostoru (Slika 2) in simulirata osrednjo preskrbovalno enoto.

Plinski spojki sta na Sliki 2 označeni s puščicama in spajata izhode regulatorjev tlaka s cevmi plinske napeljave. Slika 3 prikazuje ti dve spojki bolj podrobno. Spojki imata enake dimenzije in navoje, kar povečuje nevarnost zamenjave, saj se razlikujeta samo po barvi: modra cev je priključena na

kisikovo jeklenko, siva cev pa je priključena na jeklenko dušikovega oksidula.

## Regulator tlaka (reducirni ventil)

Reducirni ventil zmanjša visok tlak v tlačnih posodah na vrednost, ki je potrebna za delovanje medicinskih naprav in za bolnikovo varnost, saj tlak v nobenem primeru ne sme presegati 5 barov. Funkcija reducirnega ventila ni samo zmanjšanje tlaka, ampak tudi urejanje tlaka. Pri urejanju tlaka mora biti na izhodu regulatorja vedno enaka vrednost tlaka, ne glede na tlak in temperaturo v jeklenki, ki se s porabo zmanjšujeta. Uravnavanje tlaka tako omogoča, da ima pretok plina, ki izhaja iz regulatorja, vedno stalno vrednost.

Na Sliki 4 prikazujemo osnovni način delovanja regulatorja tlaka. Plin najprej priteče v komoro z visokim tlakom, od tam pa skozi ozko šobo v komoro z nizkim tlakom. Če se tlak v jeklenki zmanjšuje, je sila na opno manjša, kar povzroči odpiranje šobe, ki ločuje visokotlačno in nizkotlačno komoro. Zaradi bolj odprte šobe v nizkotlačno

**Slika 2:** Osrednja preskrbovalna enota kisika in dušikovega oksidula. Puščici prikazujeta plinski spojki, ki povezujeta jeklenki s cevmi plinske napeljave.



komoro priteče večja količina plina; na ta način uravnavamo tlak na izhodu.

Napeljava iz osrednje preskrbovalne enote vodi na hodnik do kontrolno-zaporne plinske omarice. Kontrolno-zaporno omarico, ki je sicer zaklenjena, lahko z udarcem na gumb zasilno odpremo, če je to nujno potrebno, npr. v primeru požara. V njej so nameščeni kontrolno-zaporni varnostni ventili (Slika 5), ki v primeru požara zaprejo dovod oksidantov (kisik, zrak) v operacijsko sobo.

Na ta način lahko požar omejimo in preprečimo njegovo širjenje na sosednje prostore. Zaporno-kontrolna omarica ureja tudi velikost ustreznih tlakov: če se tlak zmanjša pod delovno vrednost 5 barov, se sproži alarm. Od zaporne omarice je napeljanih nadaljnjih 5 metrov napeljave v simulacijski prostor, kjer se priključi na parapetni kanal dolžine 6 metrov z dvema skupinama končnih plinskih vtičnic.

## Prikaz primera

Primarna vira medicinskih plinov simulacijskega centra sta torej kisik in dušikov oksidul, ki sta shranjena v jeklenkah s prostornino 10 litrov. Manometra na reducirnih

ventilih kažeta vrednosti tlakov v jeklenkah. Če obe jeklenki zapremo, ostaja v plinski napeljavi manjša količina kisika in dušikovega oksidula. Plina sta pod delovnim tlakom 5 barov, kar lahko odčitamo na manometrih v kontrolno-zaporni omarici. V našem primeru je bil delovni tlak v napeljavi kisika ohranjen tudi po enem dnevu, medtem ko se je v instalaciji dušikovega oksidula zmanjšal za nekaj barov. Proizvajalec je menil, da gre za normalno uhajanje plina na vtičnicah parapetnega kanala. V resnici je šlo za prikrito napako na reducirnem ventilu dušikovega oksidula, kjer je plin počasi in neslišno uhajal.

Po več kot letu dni delovanja je nastopila večja napaka na membrani regulatorja in oksidul je začel glasno uhajati skozi šobo. Šoba, ki se nahaja na zadnji strani reducirnega ventila, je označena s puščico na Sliki 6. Namenjena je umerjanju manometra z zračnim tlakom in služi tudi kot varnostni ventil. Regulator tlaka so poslali v popravilo, kjer so napako odpravili. Po popravilu regulatorja smo se lotili podrobnejšega pregleda vseh spojk in delov napeljave z milnico. Odkrili smo ponovno uhajanje dušikovega oksidula na isti šobi na zadnji strani reducirnega ventila. Uhajanje smo čutili že, če



**Slika 3:** Plinski spojki za priklop regulatorjev tlaka na cevi plinske napeljave.

smo s prstom šobo skušali zapreti. Reducirni ventil smo vrnili v popravilo in tokrat so napako tudi odpravili.

## Razpravljanje

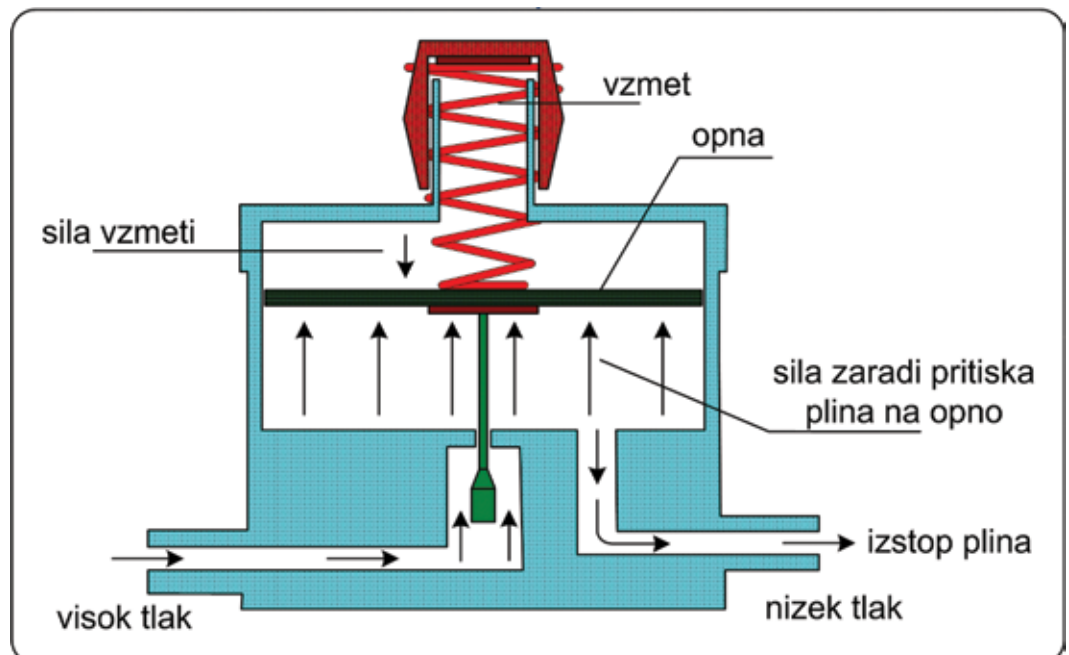
V nekaterih primerih so specifične simulacije celo bolj nevarne kot v pravem kliničnem okolju (npr. defibrilacija ali elektrokonverzija). Simulator je za razliko od človeškega telesa sestavljen iz umetnih plastičnih materialov, ki so bolj dovzetni za požar. Električne napetosti pri defibrilaciji so v razredu visokih vrednosti (več 1.000 voltov),

prav tako vrednost električnega toka (nekaj 10 amperov). V primeru neustrezne defibrilacije simulatorja se lahko pojavi iskra, ki lahko povzroči celo požar. Če je blizu simulatorja vir kisika ali kateri drugi oksidant, smo samo korak od požara. Da preprečimo takšno tveganje, morajo biti sistemi za dovajanje kisika oddaljeni vsaj 1 meter od mesta defibrilacije.

Plinske instalacije morajo biti seveda brezhibne in plini ne smejo nikjer uhajati. Kisik in dušikov oksidul sicer ne gorita, sta pa oksidanta, zato pospešujeta gorenje. Pri izpostavljenosti zdravstvenega osebja manjšim koncentracijam dušikovega oksidula lahko nastanejo narkotični učinki, kot so manjša izguba motoričnih sposobnosti, počasni refleksi, mentalna nezbranost ter utrujenost. Izpostavljenost velikim koncentracijam dušikovega oksidula pa lahko zaradi pomanjkanja kisika v zmesi privede tudi do zadušitve.

Pri ravnanju z reducirnimi ventili moramo paziti, da deli ventila ne pridejo v stik z olji in mastjo, ki so vnetljivi. Ventil odpiramo počasi, da preprečimo tlačni udar. Tlačne posode moramo zavarovati pred padcem.

Slika 3 prikazuje, da sta spojki za napeljavo kisika in dušikovega oksidula enakih dimenzij in enakih navojev. Varnost tukaj torej ni upoštevana, zato zlahka pride do zamenjav cevi za kisik in dušikov oksidul.



**Slika 4:** Shematski prikaz regulatorja tlaka.



**Slika 5:** Omarica s kontrolno-zapornimi ventili za zasilno zaporo oksidantov (zgoraj – odprta, spodaj – zaprta).

Praviloma za takšne vrste priklpov uporabljamo sistem z različnimi navoji (*angl.* non-interchangeable screw thread, NIST) ali pa sisteme z različnimi premeri spojk (*angl.* diameter-index safety system, DISS). Z omenjenimi sistemi bi bilo poskrbljeno za varnost in zamenjava cevi ne bi bila mogoča. Zamenjava cevi je še bolj verjetna pri uporabi jeklenke dušikovega oksidula, po-barvane v skladu s pravili novega standarda. Trenutna jeklenka dušikovega oksidula, ki je prikazana na Sliki 1, je sive barve in ustreza staremu standardu.

Novi standard določa, da mora biti vrat in telo jeklenke modre barve. Takšna nova jeklenka dušikovega oksidula z modro barvo omogoča, da jo lahko priklopimo na modro cev in v instalacijo kisika spustimo dušikov oksidul. Slika 7 prikazuje barve jeklenk pri starem in pri novem standardu barvnega kodiranja tlačnih posod (SIST EN 1089–3:

2004, Plinske jeklenke, označevanje jeklenk, barvno označevanje; *angl.* Transportable gas cylinders, Gas cylinder identification, Colour coding).

## Zaključek

Kisik in dušikov oksidul sta nepogrešljiva plina v vsakem operacijskem prostoru. Bolniku ju dovajamo med splošno anestezijo z anestezijskim aparatom, ki je praviloma priključen na napeljavo osrednje preskrbovalne enote medicinskih plinov. Kisik je v večjih zdravstvenih institucijah utekočinjen in uskladiščen v velikih rezervoarjih. Ko utekočinjeni plin uplinimo, se njegova prostornina poveča za 860-krat. Manjši centralni plinski razvodi, kot je primer v simulacijskem centru, se lahko izvedejo s pomočjo tlačnih posod, kjer so medicinski plini uskladiščeni pod visokim tlakom. Za zmanjšanje tlaka plinov iz jeklenk na delovni tlak 5 barov uporabljamo reducirne ventile oziroma regulatorje tlaka.

Pri rokovanju z regulatorji tlaka moramo biti skrajno pazljivi, da preprečimo morebitne resne neželene škodljive učinke. Uhajanje kisika pomeni veliko nevarnost za požar, še posebej če so blizu viri toplote ali iskre. Uhajanje dušikovega oksidula je prav tako nevarno zaradi požara, še bolj pa zaradi škodljivih učinkov, ki jih povzroča vdihovanje tega plina. Uhajanje plina je lahko neslišno, vendar lahko uhajanje v posebnih primerih tudi občutimo s prstom, če plin uhaja skozi odprtine manjšega premera. Hitrost plina se pri prehodu skozi ozko šobo poveča na račun zmanjšanja tlaka po Bernoullijevem principu. Zaradi povečane hitrosti uhajanja čutimo plin z dotikom prsta na šobo.

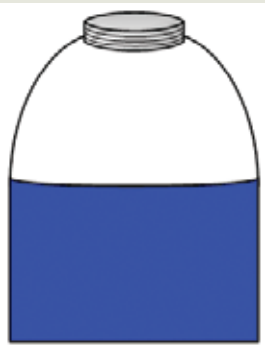
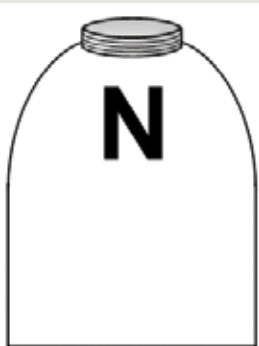
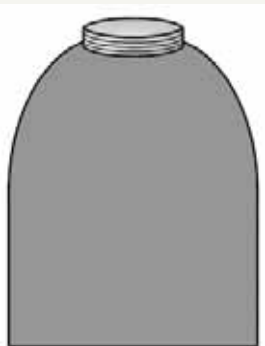
Tudi pri izdelavi manjših plinskih napeljav se moramo držati varnostnih pravil, kot da bi šlo za velike instalacijske sisteme. Manjše tlačne posode se priključijo na reducirni ventil preko sistema zatičev (*angl.* Pin Index Safety System, PISS), večje pa preko različnih navojev. Izhodi reducirnih ventilov bi prav tako morali biti povezani na cevi preko različnih spojk (NIST, DISS). Plastične cevi, po katerih teče kisik, bi morale biti bele in ne modre barve. Modra barva cevi pa bi morala zamenjati trenutne sive cevi, po

**Slika 6:** Regulator tlaka dušikovega oksidula in označeno mesto njegovega uhajanja.



katerih teče dušikov oksidul. Končne plinske spojke na parepetnih kanalih morajo biti bele barve za kisik in modre barve za dušikov oksidul. Kljub temu, da gre za simulacijsko izobraževalno okolje, bi zamenjava cevi dušikovega oksidula in kisika povzročila, da se študent nevarno izpostavlja dušikovemu oksidulu, poleg tega pa seveda ni dopustno, da so simulatorji drugače opremljeni, kot je predpisano za delo z bolniki. Glede na naše izkušnje predlagamo, da tudi v resničnih

operacijskih dvoranh poleg obveznega pregledovanja vseh naprav, preden nanje priključimo bolnika, na opisani način pregle- damo tudi tesnost plinskih napeljav.

| Barvno označevanje tlačnih posod<br>Standard EN 1089-3:2004                         |       |                                                                                      |       |
|-------------------------------------------------------------------------------------|-------|--------------------------------------------------------------------------------------|-------|
| stare oznake                                                                        |       | nove oznake                                                                          |       |
|  | bela  |  | bela  |
|                                                                                     | modra |                                                                                      | bela  |
| medicinski kisik                                                                    |       | medicinski kisik                                                                     |       |
|  | siva  |  | modra |
|                                                                                     | siva  |                                                                                      | modra |
| dušikov oksidul                                                                     |       | dušikov oksidul                                                                      |       |

**Slika 7:** Barvno označevanje tlačnih posod.

## Literatura

1. Rosenstock C, Ostergaard D, Kristensen MS, Lippert A, Ruhnau B, Rasmussen LS. Residents lack knowledge and practical skills in handling the difficult airway. *Acta Anaesthesiol Scand* 2004; 48: 1014-8.
2. Tsai TC, Harasym PH, Nijssen-Jordan C, Jennett P, Powell G. The quality of a simulation examination using a high-fidelity child manikin. *Med Educ* 2003; 37 Suppl 1: 72-8.
3. Myers JA, Good ML, Andrews JJ. Comparison of tests for detecting leaks in the low-pressure system of anesthesia gas machines. *Anesth Analg* 1997; 84: 179-84.
4. Reinhart DJ, Friz R. Undetected leak in corrugated circuit tubing in compressed configuration. *Anesthesiology* 1993; 78: 218.
5. Leuenberger M, Feigenwinter P, Zbinden AM. Gas leakage in eight anaesthesia circle systems. *Eur J Anaesthesiol* 1992; 9: 121-7.
6. Wang JS, Hung WT, Lin CY. Leakage of disposable breathing circuits. *J Clin Anesth* 1992; 4: 111-5.