



IZS MSS-03/2020

SMERNICA

**OSKRBNA MESTA
ZA COVID-19 BOLNIKE
USMERITVE ZA UMEŠTITEV NAPELJAV
S PODROČJA STROJNIŠTVA**



IZS MSS-03/2020

SMERNICA

OSKRBNA MESTA ZA COVID-19 BOLNIKE USMERITVE ZA UMESTITEV NAPELJAV S PODROČJA STROJNIŠTVA

Pripravil:

PI Mitja Lenassi, univ.dipl.inž.str., CxA

Pregledal:

PI Damjan Zajc, mag.inž.str.

Oblikovanje:

Mirjam Pezdirc

Izdala:

**Inženirska zbornica Slovenije
Matična sekcija strojnih inženirjev,
Jarška cesta 10/b, Ljubljana**

Oblika izdaje:

Elektronska verzija, dostopno na www.izs.si

Ljubljana, november 2020



1. UVOD

Pričela se je gradnja tako imenovanih »oskrbnih mest za COVID-19 bolnike« in glede na razvoj epidemije ne samo pri nas je upravičeno pričakovati njihovo gradnjo tudi v prihodnje. V zvezi z boleznijo je še vse polno neznank, vendar je jasno naslednje, vsaka gradnja potrebuje projektante, nadzornike in izvajalce. MSS je pripravila pričujoč dokument, ki povzeto podaja tehnične usmeritve s področja strojništva, kot so jih v namen gradnje takšnih oskrbnih mest podale v svetu uveljavljene strokovne in druge organizacije. Dokument obravnava dve ključni področji strojništva za oskrbna mesta, prvega predstavlja področje HVAC (gretje, prezračevanje in obdelava zraka), drugega napeljava medicinskih plinov.

Na začetku je nujno pojasniti pomen pojma »oskrbno mesto za COVID-19 bolnike«. ASHE (American Society for Health care Engineering) opredeljuje na splošno »nadomestna oskrbna mesta« (ACS – Alternate Care Sites) z naslednjim: **Nadomestno oskrbno mesto (ACS)** je kateri koli objekt ali stavba, ki se trenutno ne uporablja v namen zdravstvene oskrbe in je začasno preurejena ali zgrajena za zdravstveno oskrbo v času nujne potrebe, da bi zagotovila dodatne zmogljivosti za prizadeto skupnost izven zdravstvenih objektov. Glede na potrebe zakonodaje lahko nadomestna oskrbna mesta (ACS) zagotavljajo tri oblike bolnišničnih obravnav (z dodatkom za potrebe COVID-19):

- 1. Neakutna oskrba:** Splošna oskrba na nizki ravni za simptomatske bolnike s COVID-19 z blago do zmerno obliko bolezni. Ti bolniki morda potrebujejo kisik (manj ali enak 2 l/min), vendar ne potrebujejo obsežne zdravstvene nege ali pomoči pri vsakodnevnih dejavnostih.
- 2. Bolnišnična oskrba:** Osrednja oskrba za simptomatske bolnike s COVID-19. Ti bolniki potrebujejo kisik (več kot 2 l/min), zdravstveno nego in pomoč pri vsakodnevnih dejavnostih.
- 3. Akutna oskrba:** Visoka stopnja oskrbe za bolnike s COVID-19. Ti bolniki potrebujejo znatno podporo pri dihanju, vključno z intenzivno uporabo ventilatorjev.

Povzeto, nadomestna oskrbna mesta (ACS) so tista, kjer lahko COVID-19 bolniki ostanejo in prejmejo zdravstveno oskrbo v času izolacije. Ta se običajno izvedejo v povsem neobičajnih okoljih, ki jih predstavljajo, ne omejeno samo na naštetu, preurejeni hoteli, telovadnice, sejmišča ali mobilne terenske zdravstvene enote.

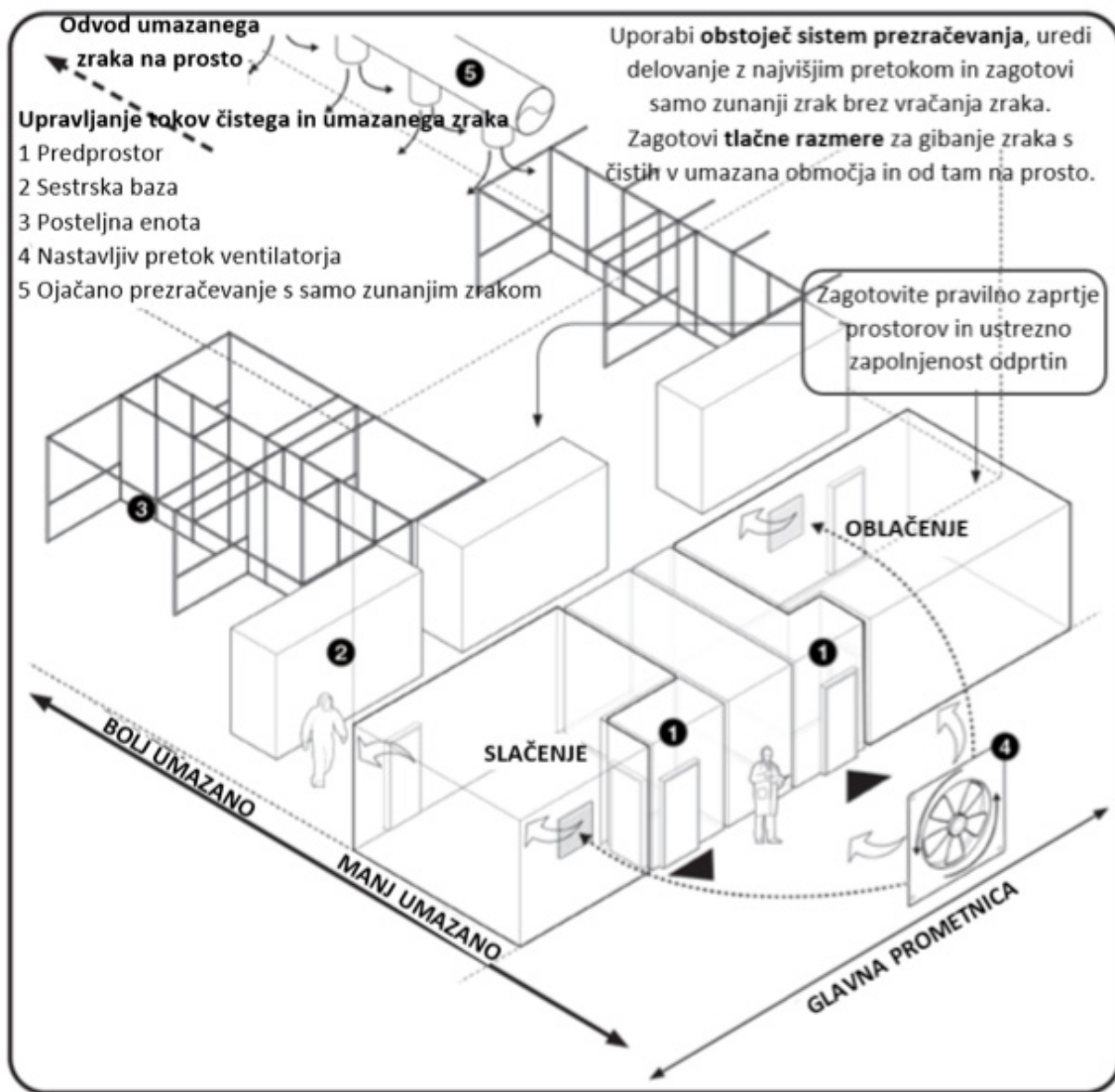
Dokument ne obravnava tako imenovanih »ustreznih sob za izolacijo bolnikov« (Expedient Patient Isolation Rooms), čeprav bi si zaradi njihove pomembnosti zaslužili strokovno obravnavo, vendar ti ne predstavljajo gradnje, ampak predvsem posege v obstoječe sisteme prezračevanja in obdelave zraka v bolnišnicah z namenom približanja zahtevam za sobe vrste All (Airborne Infection Isolation)¹, kot jih obravnava ANSI/ASHRAE/ASHE Standard 170-2017, pri čemer se ne ogroža drugih bolnikov v sosednjih sobah, oskrbovanih preko istih sistemov.

¹ Po opredelitvi standarda: Osamitev bolnikov, okuženih z organizmi, ki se širijo z zračnimi kapljičnimi jedri s premerom manjšim od 5 µm.

2. SISTEMI GRETJA, PREZRAČEVANJA IN OBDELAVE ZRAKA

Na področje HVAC vezana priporočila CDC (Centers for Disease and Prevention) za izvedbo »nadomestnih oskrbnih mest« Covid-19 bolnikov so naslednja:

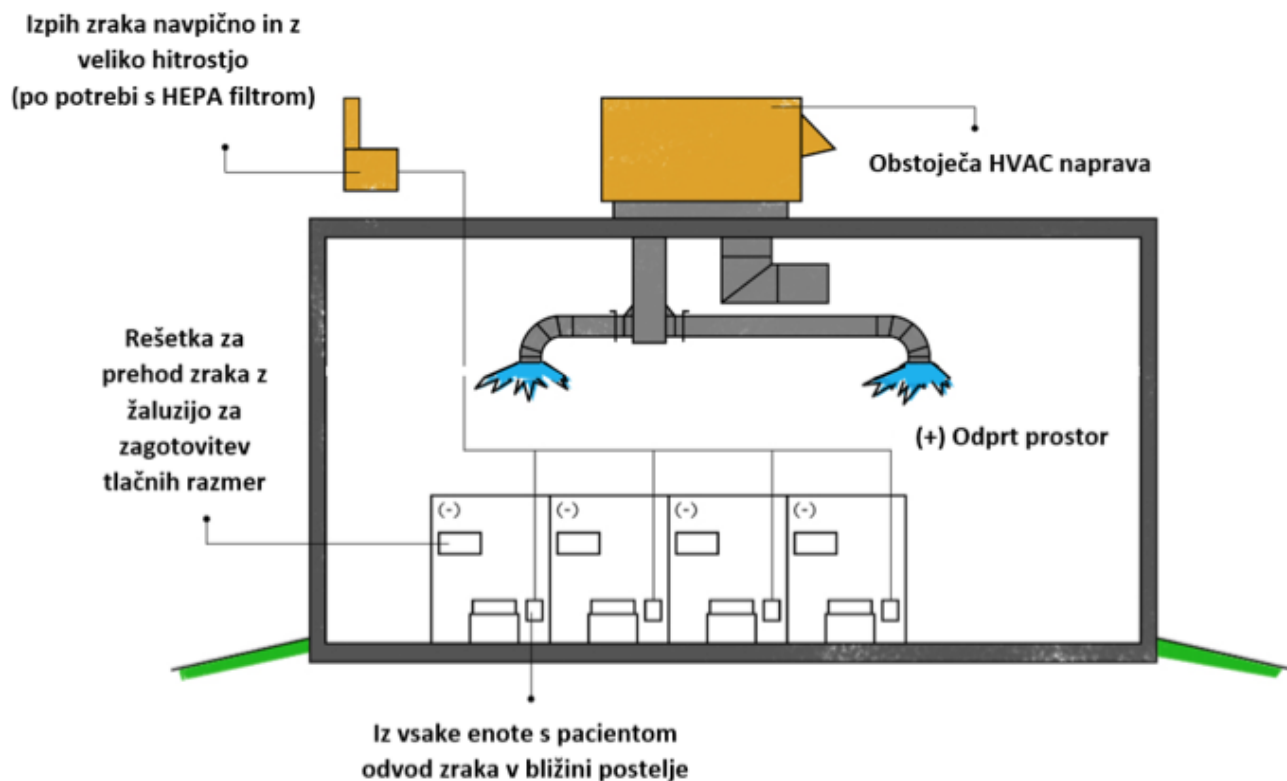
1. Nadomestna oskrbna mesta s posameznimi prostori za bolnike (npr. preureditev hotela): v ta namen idealen je objekt, katerega HVAC 100% obtočne (konvektorske) enote so nameščene ob zunanji steni in se lahko izvaja redčenje prostorskega zraka z dovajanjem zunanjega zraka.
2. Nadomestna oskrbna mesta z odprtim tlorisom: oskrba je zagotovljena na velikem prostoru brez predelitve. Idealen primer predstavlja HVAC sistem z dovodom zraka na enem koncu prostora in odvodom zraka na drugem koncu prostora. Če mogoče, je območje za počitek osebja potrebno ločiti od prostora za nego bolnikov, ki v nobenem primeru ne sme biti v bližini odvoda zraka.



Slika 1: Primer prezračevanja večjega odprtega prostora nadomestnega oskrbnega mesta z umestitvijo ključnih prostorov

Slika 2 prikazuje drug primer večjega odprtega prostora z zagotavljanjem prezračevanja, gretja in hlajenja preko obstoječe strešne naprave, pri čemer se toplotno obdelan in ustrezno očiščen zrak dovaja v večji odprt prostor in od tu v namensko izdelane manjše posamezne prostore z bolniki. V ta namen so v stenah vgrajene rešetke z žaluzijami. Ključno je, da imajo vsi ti prostori lastne odvo-de zraka, ti so vodeni na prosto, kar v njih zagotavlja podtlak. Odvod zavrženega zraka je urejen to namensko in na novo, pri čemer je ključno dvoje:

- Zavržen zrak se odvaja na prosto na najvišjem delu objekta, najmanj 3 m nad streho, usmerje-no navpično in z veliko hitrostjo (>12 m/s). Mesto izpiha mora biti oddaljeno od odprtih za zajem zunanjega zraka, oken z možnostjo odpiranja in prosto dostopnih javnih površin za naj-manj 7,6 m. V kolikor to ni mogoče doseči, ali so sosednji objekti višji, se v sistem vgradi HEPA filter.
- Celoten odvodni kanalski sistem zavrženega zraka mora biti znotraj stavbe v podtlaku.



Slika 2: Primer rešitve prezračevanja in obdelave zraka večjega odprtega prostora s posameznimi ločenimi prostori za Covid-19 bolnike

Pri slednji rešitvi, to je z izvedbo manjših prostorov znotraj večjega in posameznimi odvodi, je mogoče izpolniti (skorajda) vse zahteve ANSI/ASHRAE/ASHE Standarda 170-2017, ki so postavljene za prostore vrste All (Airborne Infection Isolation):

- Podtlak 2,5 Pa.
- Menjava količine zunanjega zraka najmanj 2-krat na uro.
- Menjava skupne količine zraka najmanj 12-krat na uro.
- Odvod iztrošenega zraka neposredno na prosto
- Uporaba naprav z obtočnim zrakom ni dovoljena, razen v izjemnih primerih, če te vključujejo HEPA filtre.
- Temperatura prostora med 21 do 24 °C
- Relativna vlažnost največ 60%

OPOMBA, VEZANA NA ZAHTEVO PO MENJAVI SKUPNE KOLIČINE ZRAKA:

Eden od načinov za zmanjšanje časa in/ali števila mikrobov, ki jim je oseba izpostavljena, je povečanje stopnje redčenja prostorskega zraka z dovajanjem **čistega** (ne nujno zunanjega) zraka. To skrajša čas izpostavljenosti mikroorganizmom, ki jih v prostoru ustvarjajo predmeti, osebje ali bolnik. Spodnja tabela prikazuje čas, ki je potreben za izpiranje prostora s filtriranim zrakom, pri čemer je predpostavljeno popolno mešanje. Splošni koncept redčenja in nadomeščanja s čistim zrakom je temeljni dejavnik zahtevanih skupnih izmenjav zraka v ANSI/ASHRAE/ASHE Standard 170.

Izmenjava zraka na uro	Čas, potreben za učinkovitost odstranitve 99% (min)	Čas, potreben za učinkovitost odstranitve 99,9% (min)
2	138	207
4	69	104
6	46	69
8	35	52
10	28	41
12	23	35
15	18	28
20	14	21
50	6	8

OPOMBA, VEZANA NA FILTRACIJO ZRAKA

Novejše poročilo površinskega vzorčenja znotraj sistemov HVAC z obtočnim zrakom v bolnišnici v Oregonu kaže na določeno učinkovitost osnovne filtracije. Količina virusa, zbrana na pred-filtrih, končnih filtrih in žaluzijah vtočnega zraka, omogoča primerjavo količine virusa v mešanem zraku pred in po pred-filtraciji (MERV 10 oz. F5) ter iztopu iz končne filtracije (MERV 15 oz. F9). Količina virusa, zbrana na površinah, se je po prehodu skozi pred-filtre zmanjšala za približno 70%, vendar se po prehodu skozi končne filtre ni več znižala.*

* Horve, P., L. Dietz, M. Fretz, et al. 2020. "Identification of SARS-CoV-2 RNA in Healthcare Heating, Air Conditioning Units." Preprint. medRxiv. <https://tinyurl.com/ybj3g4ya>.

Filtracija zunanega zraka za te prostore zadošča MERV 13 oz. MERV 14, kar odgovarja po opuščenu EN 779 stopnji F7 oz. F8 in po sedaj veljavnemu standardu ISO 16890 stopnji najmanj $ePM_{10} \geq 50$.

Iz spoznanja o nalezljivosti patogenov, med katere spada tudi korona virus, je potrebno v nadomestnih oskrbnih mestih poskrbeti za relativno vlažnost med 40 in 60%. Pomeni, potrebno je zagotoviti vlaženje in razvlaženje zraka². Slednje se prednostno izvede preko sistema priprave zunanjega zraka.

Slika 3 prikazuje pregrajene prostore z odvodom zraka v bližini postelj z namenom čim učinkovitejšega zajetja izdihanega zraka bolnikov, kot to v simulaciji prikazuje slika 4.



Slika 3: Odvod zraka v neposredni bližini postelj bolnikov

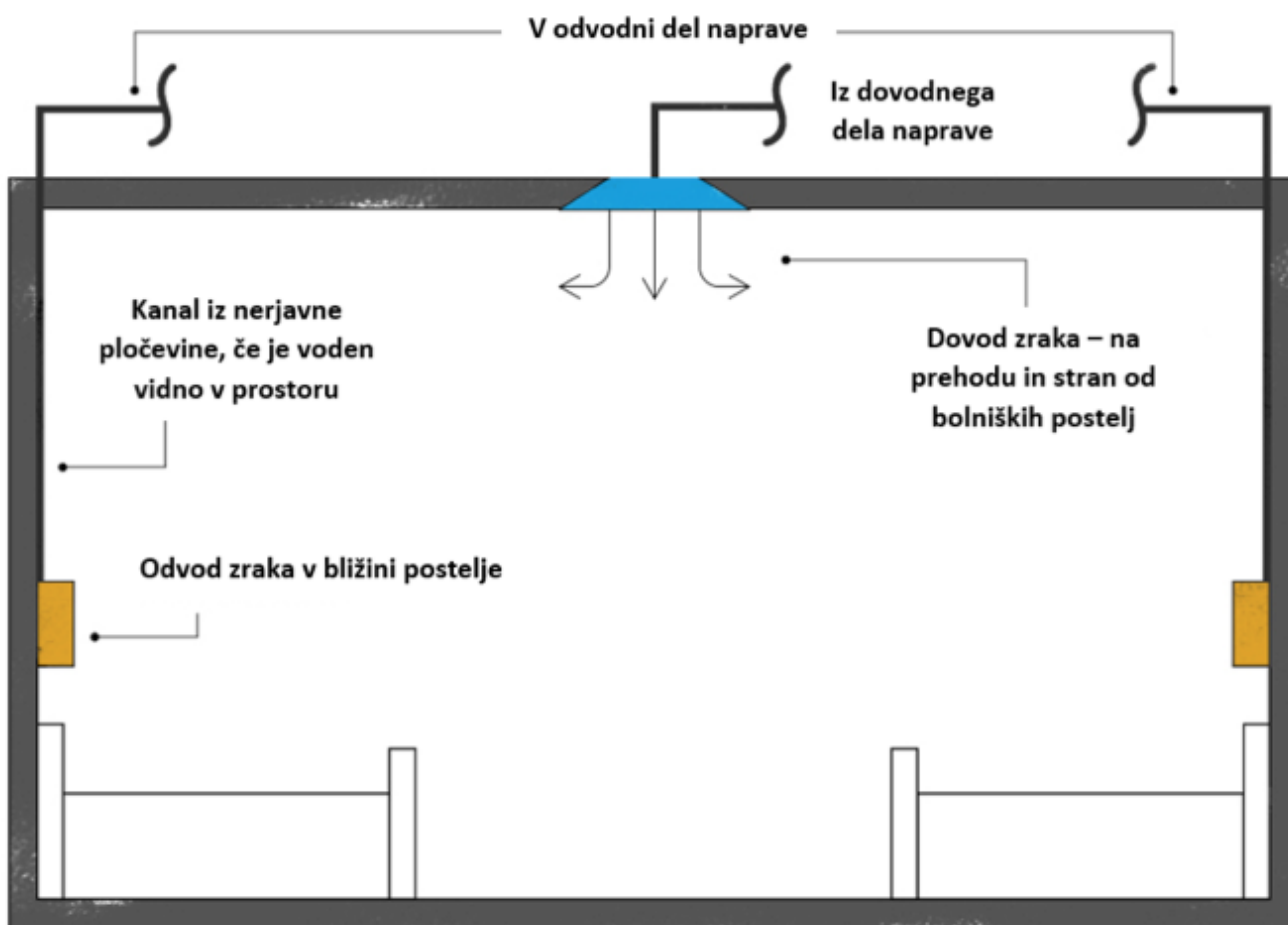


Slika 4: Simulacija zajema izdihanega zraka v neposredni bližini bolnikove postelje

² Glej smernico MSS: https://www.izs.si/assets/media/izsnovo/2020/MSS/IZS_Smernica_Visoko-zmogljive-stavbe-oktober-2020.pdf

Preprostejšo rešitev prikazuje slika 5, kjer so postelje bolnikov postavljene v odprtem prostoru brez vsakršnih delitev. Tu je mogoče upoštevati na začetku podana navodila CDC po usmerjenem pretoku zraka, to je z dovodom zraka na enem koncu prostora in odvodom zraka na drugem koncu prostora. Zrak se dovaja po dolžini v sredinskem prehodu prostora in odvaja še vedno po priporočilu na drugem koncu, v tem primeru obeh straneh v bližini postelj. Pri tem je posebna pomena izbor dovodnih elementov, da kar najmanj povzročajo indukcijo in s tem povečujejo kroženje zraka.

Pri skupnih prostorih je priporočilo CDC še naslednje: najmanjša razdalja med posteljami 1,8 m, če mogoče postavitev premičnih zaslonov in izmenična usmeritev vrst postelj »glava-peta«.



Slika 5: Prikaz odprtega prostora z dovodom zraka v sredini in odvodom na obeh straneh pri posteljah



Slika 6: Učinkovita rešitev začasnih izolacijskih sob na odgovor bolezni COVID-19 – Ventilacijsko vzglavje³

³ Prezeto z izobraževanja »Kako upravljati in uporabljati sisteme HVAC za preprečevanje širjenja bolezni (COVID-19), ki jo povzroča virus (SARS-CoV-2)«, ki ga je pripravil PI Damjan Zajca iz 6. oktobra 2020

3. SISTEM MEDICINSKIH PLINOV

Za oskrbo bolnikov s Covid-19 sta ključna medicinska plina kisik in zrak. Za opremo prostorov intenzivne nege (ICU – Intensive Care Units) veljajo glede teh dveh plinov naslednja izhodišča:

- **Kisik (O₂)**
 - Postelja običajno opremljena s tremi vtičnicami s skupnim pretokom približno 28 l/min + potrebna pretočnost ventilatorja.
 - Ventilatorji bolniku dovajajo plin na podlagi stopnje dihanja in pljučne kapacitete.
 - Ventilatorji lahko porabijo 100% medicinskega zraka (z 21 % kisika) in nič O₂ vse do 0% medicinskega zraka in 100% O₂, odvisno od sposobnosti pljuč za izmenjavo plinov v krvi.
 - Bruto potreba po O₂ znaša med 56 in 70 l/min.
- **Medicinski zrak**
 - Postelja običajno opremljena z eno vtičnico s skupnim pretokom približno 28 l/min + potrebna pretočnost ventilatorja.
 - Bruto potreba po zraku znaša 56 in 84 l/min.
- **Ventilatorji**
 - Zdravniki zaradi različnih razlogov ne priporočajo oskrbe večih bolnikov s skupnim ventilatorjem.

To predstavlja cilj, ki se ga stremi doseči tudi pri (ne samo) nadomestnih oskrbnih mestih z akutno oskrbo bolnikov.

Ključno za dimenzioniranje obeh sistemov predstavlja uporabljena terapija pri bolniku, saj se pri tem ta porabljata, z ročno nastavljivim mešanjem, obe vrsti plina. Spodnja tabela prikazuje vrsto terapije, pretok mešanice, kazalnik FiO₂ (ta je razložen v okvirju pod tabelo) in porabo posameznega plina.

Ocenjena poraba plinske mešanice				
Terapija	Skupni pretok plinske mešanice	FiO ₂	Poraba O ₂	Poraba zraka
Maske / standardne nosne kanile	8 l/min	30%	0,9 l/min	7,1 l/min
Maske z rezervoarjem in venturijeve maske	15 l/min	30-50%	1,7-5,5 l/min	13,3-9,4 l/min
Standardno invazivno ventiliranje (razen visokofrekvenčno oscilacijskega)	12 l/min	50%	4,4 l/min	7,6 l/min
Visoko-pretočno neinvazivno ventiliranje (Visoko-pretočne nosne kanile in CPAP ³ prekrivala)	50 l/min	60%	24,7 l/min	25,3 l/min
Visokofrekvenčni oscilacijski ventilatorji	80 l/min	50%	50,6 l/min	29,4 l/min
Druge neinvazivne priprave	120 l/min	60%	59,3 l/min	60,7 l/min

V namen mešanja obstaja kazalnik FiO₂ – Functional Inspired Oxygen Percent. FiO₂ predstavlja funkcionalno vdihan odstotek kisika, to je koncentracijo kisika v vdihanem plinu. Zrak vsebuje 20,9% kisika, zato velja, da je za običajni zrak FiO₂ 20,9%. Mešanje zraka s kisikom poviša FiO₂, vendar mešanica polovice zraka in polovice kisika seveda ne znaša 50% FiO₂, dejansko znaša 60,5%. Izračun je nekoliko zapleten, zato je spodaj podana okvirna tabela.

Razmerje medicinskega zraka in kisika	
FiO ₂	Zrak
20,9	1
30	7,7
40	3,2
50	1,7
60	1
70	0,62
80	0,35
90	0,15
100	0

3 CPAP - Continuous Positive Airway Pressure

Upoštevajoč objavi *MedGas Insights; Sizing Medical Gases for Covid 19*, številka 8, april 2020 in *Kaiser Permanente; White Paper Medical Air and Oxygen Capacity v3 – c19*, april 2020, obe podajata napotke za projektiranje za primer, da podrobnejši podatki glede vrste terapije niso vnaprej znani, ali je upravičeno pričakovati, da se bodo ti v prihodnje tudi spreminjali:

Prevzem skupne pretočne vrednosti 45 l/min na bolnika z zmerno ostrino obolelosti pri vrednosti 50% FiO₂ najprimernejša vrednost. To pomeni 28 l/min zraka in 16,5 l/min kisika na posameznega bolnika. Te številke so primerne za določanje velikosti vira in velikost glavnega cevne razvoda, kjer nastopa povprečenje vršne porabe.

Vendar se jih **NE** sme uporabljati za določanje velikosti cevi znotraj posamezne enote, saj je povsem mogoče, da se najbolj bolni nahajajo, s tem tudi nastopijo največje potrebe po plinu, ravno znotraj iste enote. Velikost cevi znotraj posamezne enote se določa na podlagi uporabe najbolj neugodnih vrednosti. Medtem ko je 120 l/min zagotovo pretirana vrednost, pa privzem vrednosti mešanice plina 50 l/min na bolnika ne predstavlja nerazumne vrednosti.

Omejitveni faktor, koliko ventilatorjev in drugih pripomočkov za pomoč pri dihanju je mogoče namestiti na enoto z bolniki, predstavlja velikost cevi. Za potrebe vnaprejšnjega določanja ali preverjanja premera obstoječih cevi v odvisnosti od števila naprav za pomoč pri dihanju velja upoštevati v nadaljevanju podane tabele za kisik in zrak, pripravljene s strani drugega od obeh navedenih virov. Pri teh je upoštevan nadtlak v ceveh 4 bar.

Kisik – Enota z bolniki					
Nazivna velikost odprtine	Velikost zunanega premera po EN 1057	Padec tlaka na dolžino pri 400 kPa nadtlaka	Pretočna vrednost	Sposobnost naprave: visok pretok O ₂ (40 l/min)	Sposobnost naprave: spremenljiv pretok O ₂ (30 l/min)
½"	φ 15 mm	240 Pa/m	260 l/min	7	9
¾"	φ 22 mm	240 Pa/m	660 l/min	17	22
1"	φ 28 mm	228 Pa/m	1400 l/min	35	47

Opomba: Vrednost izkazuje največje število ventilatorjev v enoti z bolniki, ki so napajane preko prikazane velikosti cevi. Običajna velikost priključne cevi za mesto posameznega bolnika znaša ¾" (φ 22 mm).

Kisik – Razvodni in dvižni vodi					
Nazivna velikost odprtine	Velikost zunanjskega premera po EN 1057	Padec tlaka na dolžino pri 400 kPa nadtlaka	Pretočna vrednost	Sposobnost naprave: visok pretok O ₂ (40 l/min)	Sposobnost naprave: spremenljiv pretok O ₂ (30 l/min)
1 ¼"	φ 35 mm	238 Pa/m	2600 l/min	65	87
1 ½"	φ 42 mm	224 Pa/m	4000 l/min	100	133
2"	φ 54 mm	204 Pa/m	8000 l/min	200	267
2 ½"	φ 63,5 mm	149 Pa/m	12000 l/min	300	400
3"	φ 76,1 mm	131 Pa/m	18000 l/min	450	600
4"	φ 101,6 mm	75 Pa/m	28000 l/min	700	933

Opomba: Vrednost izkazuje največje število ventilatorjev za določen del bolnišnice, ki ga oskrbuje prikazana velikost cevi.

Zrak – Enota z bolniki					
Nazivna velikost odprtine	Velikost zunanjskega premera po EN 1057	Padec tlaka na dolžino pri 400 kPa nadtlaka	Pretočna vrednost	Sposobnost naprave: visok pretok zraka (40 l/min)	Sposobnost naprave: spremenljiv pretok zraka (30 l/min)
½"	φ 15 mm	217 Pa/m	260 l/min	7	9
¾"	φ 22 mm	240 Pa/m	700 l/min	18	23
1"	φ 28 mm	235 Pa/m	1500 l/min	38	50

Opomba: Vrednost izkazuje največje število ventilatorjev v enoti z bolniki, ki so napajane preko prikazane velikosti cevi. Običajna velikost priključne cevi za mesto posameznega bolnika znaša ¾" (φ 22 mm).

Zrak – Razvodni in dvižni vodi					
Nazivna velikost odprtine	Velikost zunanjskega premera po EN 1057	Padec tlaka na dolžino pri 400 kPa nadtlaka	Pretočna vrednost	Sposobnost naprave: visok pretok O ₂ (40 l/min)	Sposobnost naprave: spremenljiv pretok O ₂ (30 l/min)
1 ¼"	φ 35 mm	231 Pa/m	2700 l/min	68	90
1 ½"	φ 42 mm	231 Pa/m	4300 l/min	108	143
2"	φ 54 mm	145 Pa/m	7000 l/min	175	233
2 ½"	φ 63,5 mm	136 Pa/m	12000 l/min	300	400
3"	φ 76,1 mm	120 Pa/m	18000 l/min	450	600

Opomba: Vrednost izkazuje največje število ventilatorjev za določen del bolnišnice, ki ga oskrbuje prikazana velikost cevi.

Pri tabelah za enote z bolniki velja ne spregledati opombi glede potrebne običajne velikosti priključne cevi do mesta posameznega bolnika – \varnothing 22 mm. Velja upoštevati tudi drugo opozorilo, da je uporaba zunanjih »Y kosov« in drugih cevnih delilnikov na vtičnicah zaradi potrebne velike pretočnosti praviloma slaba zamisel.

Dimenzioniranje cevododa mora temeljiti na dovoljenem 5% padcu tlaka iz naprave/vira dovoda do izmerjenega na izhodu priključne enote pri vnaprej določenih preskusnih oziroma tu privzetih pretokih. V izjemnih, nujnih primerih lahko tlak na izstopu pade tudi pod 345 kPa, vendar se je potrebno zavedati tehničnih omejitev. Kot primer, ventilator Hamilton G5 zahteva najnižji tlak 285 kPa za medicinski zrak in 200 kPa za kisik. Visoko-pretočna nosna kanila in neinvazivni ventilator ne zahtevata prav posebej visokega vstopnega tlaka.

Poleg določanja ali preverjanja premera cevododov je potrebno preveriti tudi sposobnost same proizvodnje enega in drugega plina. Kisik se mora količinsko zadostno uparjati v zalogovniku, ali kako drugače proizvajati, pomembna je tudi pretočna sposobnost kompresorja zraka v povezavi z vetrnikom.

Vežano na potrebno čistost kisika, iz navodil WHO (Svetovna Zdravstvena Organizacija) izhaja, da za kisikovo terapijo (oxygen therapy) znaša potrebna čistost najmanj 82%. Večja čistost ni nujno potrebna, saj se pri vseh načinih ventiliranja (z nosno kanilo, invazivno, neinvazivno) kisik meša z zrakom. Vendar tu lahko nastopi težava, saj imajo določene naprave kot mejno nastavljeno večjo čistost kisika, kar lahko povzroča alarmiranje.

4. ZAKLJUČEK

Dokument povzema najboljša razpoložljiva priporočila s področja strojništva na dan njegove izdaje. V kontekstu hitro razvijajočega se znanja o prenosu COVID-19 so pooblaščeni inženirji pri njejovi uporabi pozvani k razmisleku o rešitvah, ki vključujejo previdnostno načelo, in sprejmejo razumne ukrepe, ki zmanjšujejo tveganje, medtem ko čakajo na večjo znanstveno gotovost. Zato je treba to dokument upoštevati skupaj z ustreznimi vladnimi usmeritvami, navodili pristojnih institucij in razpoložljivimi rezultati raziskav.

V MSS se bomo trudili dokument posodabljati in dopolniti s praktičnimi izkušnjami izvedenih domaestnih oskrbnih mest pri nas.



Inženirska zbornica Slovenije

Jarška cesta 10/b, 1000 Ljubljana, Slovenija

T: +386 (0)1 547 33 40

E: izs@izs.si / **I:** www.izs.si