

SZABÓ SÁNDOR ANDRÁS

# BAROKAMRA MINT TECHNIKAI LÉTESÍTMÉNY ÉS REPÜLÉSÉLETTANI KIKÉPZŐESZKÖZ

## II. RÉSZ

1. ÁBRA. A barokamra az MH Egészségügyi Központ Kecskeméti Repülőorvosi, Alkalmasságvizsgáló és Gyógyító Intézetében  
(Fotó: HM Zrínyi Nkft. / Rácz Tünde)

A barokamra (alacsony nyomású kamra) mint magasság-élettani kiképzőeszköz egy komplex létesítmény, amely a repüléssel együtt járó élettani kihívások (nyomásváltozás okozta barotraumák, oxigénhiány, magassági keszon) földi körülmények között, orvosbiológiailag jól monitorizálható szimulációját biztosítja, és lehetővé teszi a fenti tényezők elleni védekezés technikai és élettani módszereinek vizsgálatát is. A cikk első része bemutatta a barokamra szükségességét megalapozó repüléstörténeti fejlődést és a technikai lehetőségek bővülését.

A cikk második része a katonai célú barokamrai vizsgálatok eszközét, a kecskeméti TBK-70 barokamra felépítését mutatja be, rámutatva, hogy a barokamra katonai repülőorvosi-repülésélettani céllal történő alkalmazása változatlanul időszerű, és mint vizsgálóeszköz, a NATO-n belül is megtartotta prioritását.

### KATONAI CÉLÚ BAROKAMRAI VIZSGÁLATOK

A honi repülőorvosi vizsgálatok katonai és polgári rendszerének szétválása az 1960-as években odavezetett, hogy 1963-ban a katonai alakulatok elhelyezésének és az igényeknek job-

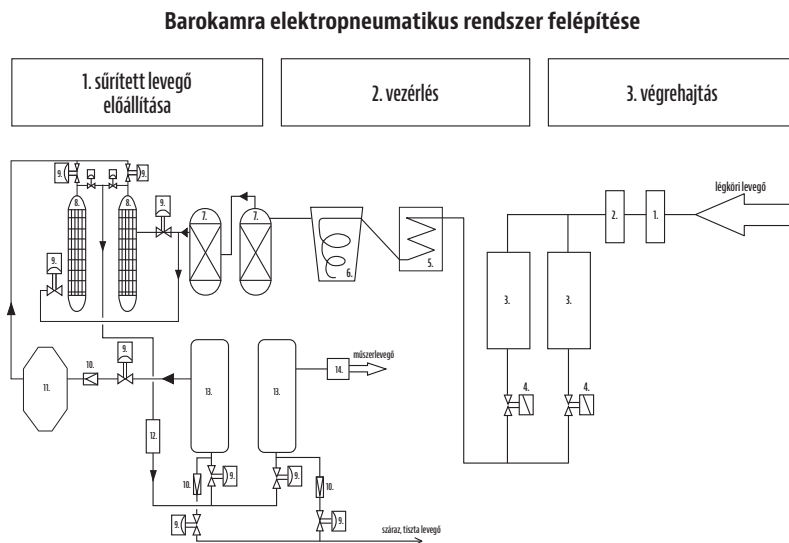
ban megfelelő helyszínen, Kecskeméten alakították ki a Magyar Néphadsereg Repülőorvosi Vizsgáló és Kutató Intézetét (ROVKI)<sup>1</sup>. A klinikai vizsgálati rendszer felépítése mellett mind a katonai kiválogatás és minősítés, mind a hamarosan aktuálissá váló Interkozmosz<sup>2</sup> emberes űrkutatási program, így a Magyarországot, mint résztvevő partnert érintő űrhajósjelölt-kiválogatási program feladatai miatt szükségessé vált a magasság-élettani profil fejlesztése. Új, nagy teljesítményű többrekeszes, különböző nyomásprofilokra optimalizált kamrarészekkel rendelkező barokamrai komplexumot építettek, és

<sup>1</sup> Mai megnevezése: MH Egészségügyi Központ, Védelem-egészségügyi Igazgatóság, Repülőorvosi-, Alkalmasságvizsgáló és Gyógyító Intézet (RAVGYI).

<sup>2</sup> A nemzetközi Interkozmosz megállapodáshoz Magyarország 1967-ben kapcsolódott. „A szocialista országok együttműködése a világűr békés célú kutatásában és felhasználásában” elnevezésű programot 1970-től nevezték Interkozmosznak, amelynek keretében 14 emberes űrrepülést hajtottak végre Szovjet űrhajókkal a Szaljut-6 űrállomásra. 25 Interkozmosz-műhold pedig a Föld környezetét és légkörét kutatta. A program a Szovjetunió és számos szocialista berendezkedésű ország (Bulgária, Csehszlovákia, Kuba, Lengyelország, Magyarország, Mongólia, Német Demokratikus Köztársaság, Románia, Vietnám) részvételével 1967–1991 között zajlott.

\* Ezredes, PhD, MH repülő főszakorvos, Szegedi Tudományegyetem Repülő és űr-orvosi Tanszék tanszékvezető docens, Nemzeti Közszolgálati Egyetem egyetemi magántanár. ORCID: 0000-0002-1362-4723

2. ÁBRA A barokamra elektropneumatikus vezérlésének és lépellátó rendszerének blokkismája (A szerző szerkesztése saját archívuma felhasználásával)



3. ÁBRA. Lépellátó rendszer: hűtőtornyok és kompresszorok a gépteremben (háttérben a bányászvattyúk) (A szerző archívumából)



kidolgozták az üzemeltetési szabályzatot, meghatározták az életvédelem és -mentés előírásait. [1]

A termobarokamra-rendszer négy, egymástól és a külvilágtól hermetikusan elzárt kompartmentből áll: a kamrarendszer tartalmaz egy alacsony nyomású (hypobáriás), a magasságfüggő légköri változás komplex szimulációjára képes kompartmentet, egy zsilibkamrát, egy túlnyomásos

kamrarészt (5 atm, 100 °C-ig a száraz túlnyomást képes imitálni<sup>3</sup> a bűvárkodás során észlelhető víz alatti nyomásmegnövekedéshez hasonlóan), illetve egy akár 30 km-es magasságig a nyomásváltozás hirtelen kialakuló (akár expozív jellegű, a vadászpilóta repülőgép pilótafülkéjében a kabintető elvesztését modellező) profilját szimuláló kamrarészt; e két utóbbit technikai okok, amortizáció miatt már nem használjuk. [2]

A TBK-70 barokamra – ahogy arra a típusszám is utal – az 1970-es években épült, a magyar Chemimas Vegyigép Tervező és Fővállalkozó Vállalat cég közreműködésével.

*Főbb funkcionális egységei:*

- maga a kamrarendszer (3 kompartment: alacsony légnyomású [hypobáriás] kamrarész 20 km-ig, extrém alacsony légnyomás [30 km] elérésére alkalmas expozív dekompressziós kamra, ill. túlnyomásos [hyperbáriás] kamra);
- vízellátó rendszer;
- vákuumrendszer;
- oxigénrendszer;
- irányítástechnikai rendszer (erősáramú villamosenergia-ellátás, műszerezés, vezérlés, hírközlés, vészvilágítás);
- orvosműszer-rendszer (a kinti őrzőpult, a benti orvosbiológiai modulok adatainak kijelzésére).

A vezérlést a kor műszaki színvonalán álló elektropneumatikus rendszer biztosította kanalas szelepek beépí-

tésével, amelyekkel a sűrített levegő áramlása gyorsan, hatékonyan változtatható volt. (1. ábra)

A pneumatikus műszerek és szelepek megfelelő nyomású és tisztaságú száraz sűrített levegővel történő ellátása, illetve a vizsgálókamrák száraz levegővel történő átöblítésének biztosítása a lépellátó rendszer feladata. A kompresszorból kikerülő, majd lehűtött, szárított és szűrt levegőt nagy nyomásállóságú tartályokban tárolják. Ez azért fontos, mert lehűlés után a nedvességgel túltelített levegő eléri a harmatpontot, és kiválik belőle a víz, amely a rendszerbe kerülve károkat okozhat. A megfelelő nyomású levegő előállítása és kezelése után történik az elosztás és az alkalmazás.

A 2. ábrán látható lépellátó blokk két légszűrőből (1., 2.), két darab két fokozatú légkompresszorból (3.), egy csökkiyós utóhűtőből (5.), egy cseppleválasztó ciklonból (6.), valamint két sorbakapcsolt raschig töltéses előszárító toronyból (7.), továbbá két szilikagéles légszárító toronyból (8.), két finomszűrőből (12., 14.), két légtartályból (13.), egy elektromos léghevítőből (11.) és a működtetéshez szükséges szerelvényekből, automatikákból és csővezetésekből áll. A gépteremben elhelyezett egységek ma is megbízhatóan üzemeltethetők. (3. ábra)

*Az előállított táplevegő specifikációi:*

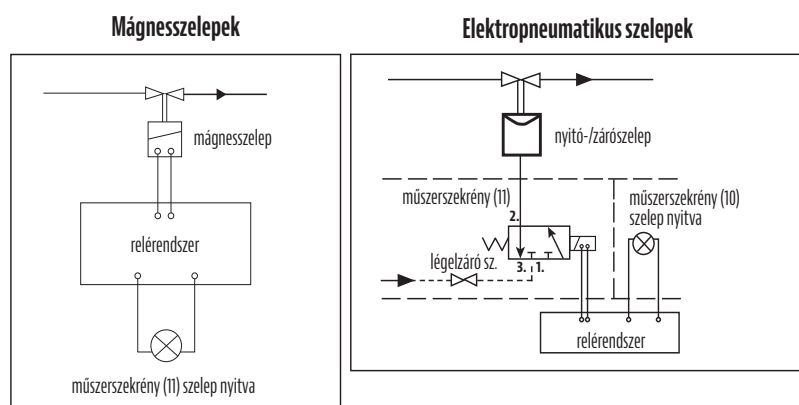
- az előállított táplevegő mennyisége: 150 Nm<sup>3</sup>/h;<sup>4</sup>
- az előállított táplevegő nyomása a tartályokban: 6–8 bar;
- a belépő/kilépő levegő hőfoka: -30 °C – +40 °C;
- a táplevegő harmatpontja: -40 °C;
- az egyidejűleg tárolt levegő tartályonként: 20 m<sup>3</sup>;
- a rendszer feltöltési ideje: kb. 2 óra.

A mágnes- és elektropneumatikus szelepek működtetése a vezérléshez alapvető, így a műszerlevegővel szemben támasztott minőségi kritériumok is elsődleges fontosságúak.

*Követelmények a pneumatikus műszereinkhez használt műszerlevegő minőségére:*

<sup>3</sup> Technikai képességhatár, a termobarokamra megnevezéssel jelezve a potenciális hőterhelésre (hőakklímizációra) való elvi képességet.

<sup>4</sup> A normál köbméter az a gázmennyiség, amely 288,15 K hőmérsékleten és 101 325 Pa nyomáson 1 m<sup>3</sup> térfogatot foglal el.



4. ÁBRA. A mágnes- és elektropneumatikus szelepek működtetése és a műszerlevegő minőségi követelményei (A szerző szerkesztése saját archívuma felhasználásával)

1. A tisztított levegő maximális portartalma nem haladhatja meg a  $2 \text{ mg/m}^3$ -t, a levegő 6 mikronnál nagyobb porszemcséket egyáltalán nem, 6-3 mikron közöttit pedig csak nyomokban tartalmazhat.
2. Az olajszennyeződés megengedhető max. mértéke  $2-4 \text{ mg/m}^3$  lehet.
3. A műszerlevegő nedvességtartalmának megfelelő harmatpont legyen  $10^\circ\text{C}$ -kal kisebb, mint a levegőt felhasználó műszerek beépítési helyén mérhető legkisebb környezeti hőmérséklet. (4. ábra)

A vákuumrendszer fő elemei az akár folyamatos működtetésre tervezett bányászati (vízgyűrés vákuumszivattyúk), amelyek 30 km-es magasságnak megfelelő légkritikát elérésére is képesek. (5. ábra)

A barokamrai szimulált felszállások elektropneumatikus vezérlése történhet kézi szabályozással, fix programadóval és változtatható

programú programadóval (kvázi automatikusan). A fel- és leszállás ütemének szabályozásában, a magasság tartásában központi szerepet tölt be a technikuspultról működtethető, Schlumberger gyártmányú servo-szabályozó. (6., 7. ábra)

A technikuspult és a kamrában elhelyezett műszertáblán a szimulált felszállást vezető mérnök és technikus visszajelzést kapnak a rendszer állapotáról, így értelmezhetik az esetleges hibajelzéseket. (8. ábra)

Az alsó vezérlőszinten (a barokamra alatti félemeleten) található rendszerekkel és szabályozó szelepekkel vészhelyzetben (pl. áramszünet) akár a kamra kézi vezérlése is megoldható. (9. ábra)

A szivattyúk és kompresszorok működtetéséhez szükséges energiát a villamos kapcsolóteremben kiépített nagyfeszültségű rendszer biztosítja, miközben a humán vizsgálatokra

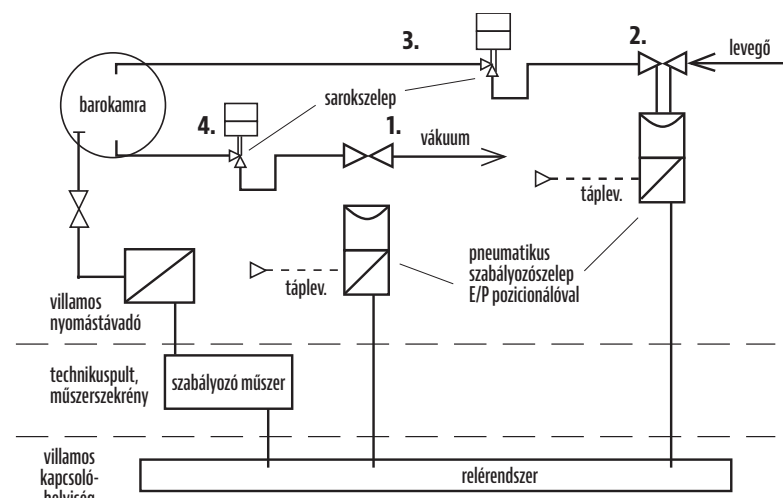


5. ÁBRA. A vákuumrendszer szivattyúi (A szerző archívumából)

szolgáló belső kamrai kompartmentekben csak 24 V a megengedett feszültség az alkalmazott oxigénrendszerek tűz- és robbanásvesélyessége miatt.

## A BAROKAMRA JÖVŐJE

A barokamra mint komplex repülőműszaki létesítmény ma is az egyik legfontosabb repülés-élettani kiképzőberendezés, amely mind a katonai, mind (várhatóan visszatérő jelleggel) a polgári repülésben az egyik legalattomosabban jelentkező és akut cselekvőképzetlenséghez vezető, magassági környezeti stresszor-tényezőt, a hypobariát (alacsony nyomást) és következményes hypoxiát (oxigénhiányt) tudja szimulálni, egyébként biztonságos, földi körülmények között. Felújítása költséghatékonyan megoldható, és tovább üzemeltethető, hasonlóan a brit Királyi Légerő (Royal Air Force – RAF) Farnbo-

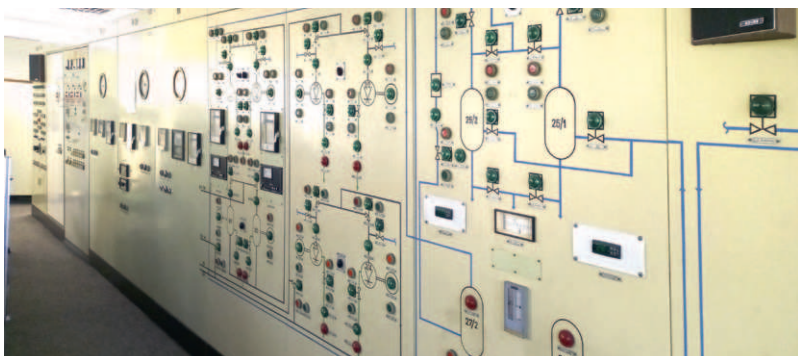
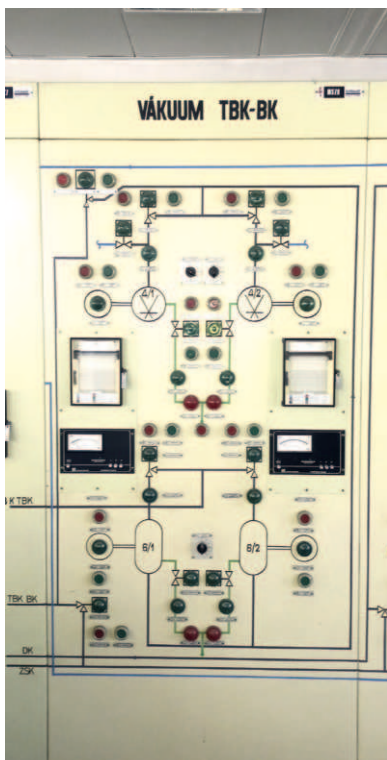


6. ÁBRA. Az elektropneumatikus vezérlés elvi felépítése (A szerző szerkesztése saját archívuma felhasználásával)



7. ÁBRA. Felső vezérlőszint: technikuspult és -szekrény (Schlumberger műszerek) (A szerző archívumából)

8. ÁBRA.  
Nagy méretű  
műsertáblák  
kapcsolószekrényei  
és rendszertáblái a  
barokamra terében  
(A szerző archívumából)



rough-ból Henlow-ba költöztetett, a német légierő (Luftwaffe) königsbrücki és a lengyel légierő varsói társintézeteihez. (10., 11., 12. ábra)

9. ÁBRA.  
A barokamra-szellőztést  
és a szimulált fel- és  
leszállást szabályozó  
szelepek az alsó  
vezérlőszinten, a  
barokamra alatt  
(A szerző archívumából)

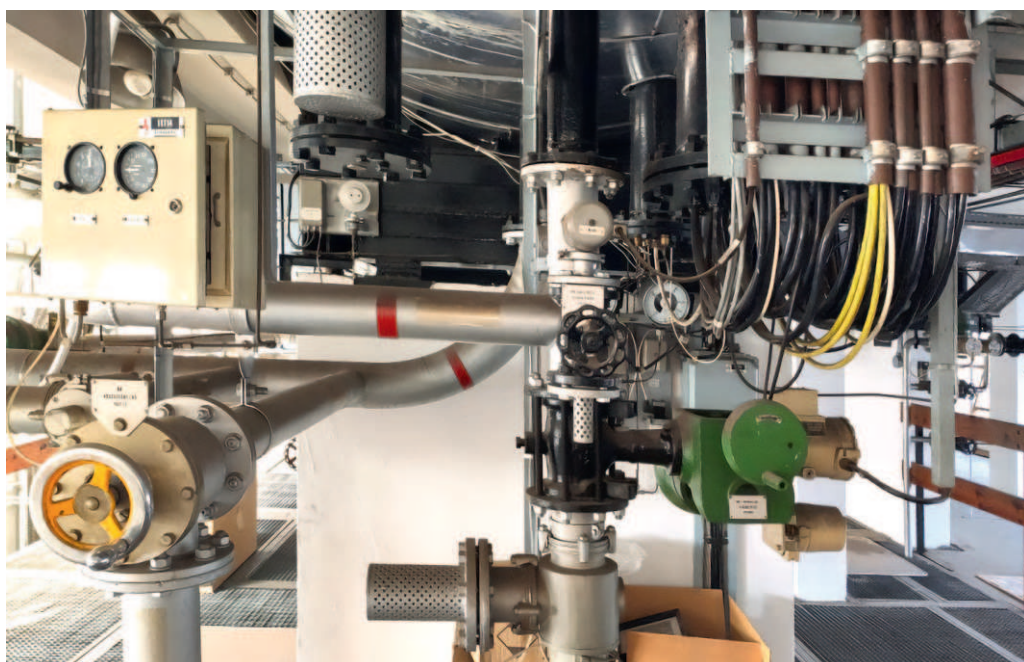
A magyar barokamra komplex rekonstrukciója elkezdődött, ehhez a mai kor technikai fejlettségi szintjének megfelelő, nagy pontosságot biztosító, felhasználóbarát, modern kezelőrendszerrel rendelkező, hosszú távon megbízható Programozható Logikai Egység (PLC) vezérlésének

kiépítése szükséges egy folyamatban lévő közbeszerzési eljárás keretében. A régi szelepek, távadók, érzékelők kiválthatók modern eszközökkel. A vákuumrendszer ökológiai lábnyoma is csökkenthető a nagy fogyasztású vákuumszivattyúk lecserélésével (az elvárt szivattyúteljesítmény a felszállási profilok racionalizálásával, az expozív dekompresziós profil elhagyásával jelentősen csökkenthető: 50 kW-ról 20 kW-ra). A jelenlegi

rendszerben a 4 db vízgűrűs szivattyú működési feltételei miatt vízellátó rendszert is üzemeltetnünk kell, amely az új energiatakarékos rendszer kiépítése után megszüntethető lesz, olajos csavarszivattyúk beépítésével.

A légellátó rendszerben a nagytisztaságú műszerlevegő előállítására jelenleg egy igen bonyolult, soklépcsős, sok elemet tartalmazó rendszeren keresztül valósul meg, a kompresszorok cseréjével ez a technológia folyamat szintén leegyszerűsíthető lesz. Az ipari körülmények között jellemzően használt csavarkompresszorok, adszorpciós szárítók – hasonlóan a vákuumrendszerhez – energiahatékonyságot, kedvezőbb üzemeltetési feltételeket, nagyobb üzembiztonságot teremtenének.

A komplett kamrarendszerről jelenleg csak az alacsony nyomású kamrarészt (kamranyomás maximális magasság:  $P=140$  mbar) és a zsílipkamrát alkalmazzuk (utóbit esetleges mentési műveletek végrehajtására, a gyors beavatkozás lehetőségével, sürgősség esetén menekítési süllyedésebesség-minimum 100 m/s). Vezérlés szempontjából a letisztult profil legyen képes: szabályozott vákuum előállítására (fel- és leszállás végrehajtása, megadott emelkedési és súly-



lyedési sebességgel, meghatározott magasságra), adott magasság megtartására, automata magasságtartásra, vészleszállás végrehajtására, kézi leszállás végrehajtására (kamrából mentésre) és a kamra szellőztetésének biztosítására.

## ÖSSZEFOGLALÁS

A barokamra segítségével ellenőrzött körülmények között hozható létre a magassági repüléseknél megfigyelhető légnyomásváltozás (és az oxigén parciális nyomásának csökkenése), standardizált módon monitorizálható a magassági repülések emberi szervezetre gyakorolt hatása, minősíthető a hajózállomány magassággal, nyomásvaltozással, oxigénhiánnyal szembeni ellenálló képessége, emellett különböző, a nagy magasságban történő üzemeltetésre készített berendezések műszaki vizsgálata és ellenőrzése is végrehajtható. Nemzetközi kitekintésben a barokamra katonai repülőorvosi-repülésélettani céllal történő alkalmazása változatlanul időszerű, mint vizsgálóeszköz a NATO-n belül is megtartotta prioritását. Nincs más módszer, amely a pilóta vészhelyzetben (kabinnyomás elvesztésekor vagy hajtómű-oxigénrendszer meghibásodásakor) bekövetkező drámai oxigénhiánnyal szembeni tűrőképességéről, élettani stabilitásáról, kognitív teljesítményéről információt adna. (13. ábra) [3]

A NATO NSO AMDWG (Standardizációs Szervezet, Repülőorvosi munkacsoport) az elsőszámú repülőorvosi problémának tekinti a „mask on” (maszk feltéve) helyzetben (elvileg megfelelően adagolt oxigén mellett) hirtelen kialakuló hypoxiás rosszullétet, amely hibás adaptáción, önsorsrontó élettani mechanizmuson keresztül az oxigén hasznosítását rontja az agyi sejtekben. A katonai repülésben fenntartják a barokamrai vizsgálatok rendszerét, amelyet az UPE (Unexplained Physiological Events – megmagyarázatlan élettani események) magas száma indokol: 2002 óta négy F/A-18 Hornet az amerikai haditengerészetnél, egy F-22 Raptor az amerikai légierőnél zuhant le a pilóta nem tisztázott rosszulléte miatt, de a repülésbiztonság szempontjából fontos incidensek száma már meghaladja a 600 esetet (a pilóta ilyenkor megszakítja a bevetést). A repülési vészhelyzetben változatlanul előforduló alattomos vagy expozív jellegű hypoxiás szekvencia, az éjszakai látás NVG (Night Vision Goggles – éjjellátó készülék) alkalmazásával megnövelt, de oxigénhiányra fokozottan érzékeny éjszakai operatív látás speciális hypoxiás demonstrációja bővíti a NATO-országokban alkalmazott barokamrai felszállási profilok számát, a kognitív teljesítményromlás biztonságos szemléltetésével, kutatási programban akár virtuális valósággal (VR)



szimulált repülési feladat végrehajtásával, célfüggően 12 000/18 000/25 000/30 000/40 000 láb magasságon (1 láb = 0,3 méter). [4] [5] [6] (14. ábra)

Az USA FAA (Federal Aviation Authority – Szövetségi Légügyi Hivatal) az Oklahoma City-ben lévő Polgári Repü-

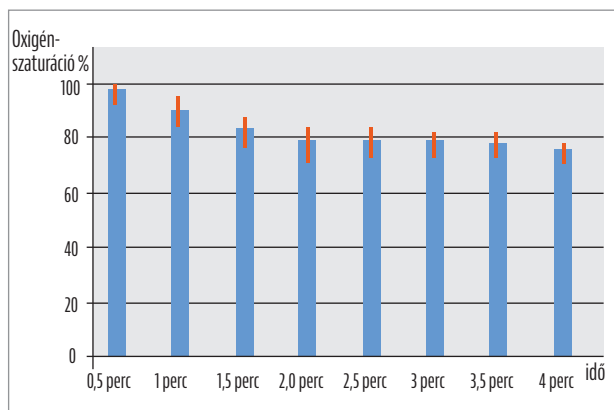
10. ÁBRA. A varsói Repülőorvosi Intézet barokamrájának vizsgálószéke (A szerző felvétele a 2016-os hivatalos látogatás során)



11. ÁBRA. A német légierő Repülőorvosi Intézet (Königsbrück) felújított barokamrájának műszaki és (a háttérben) orvosi pultja (A szerző felvétele az osztrák gyártócég AMST, Ranshofen engedélyével)



12. ÁBRA. A Német Légierő Repülőorvosi Intézet (Königsbrück) oxigénrendszerrel és pszichológiai tesztkészülékkel (Schufried), valamint LCD-kijelzővel felszerelt barokamrájának belső tere (A szerző felvétele az osztrák gyártócég AMST Ranshofen engedélyével)



13. ÁBRA. Oxigénszaturáció alakulása 7600 méteres magasságon (NATO profil) MH EK RAVGYI barokamrában (n: 18 fő, átlagéletkor: 37,1 év) [3]

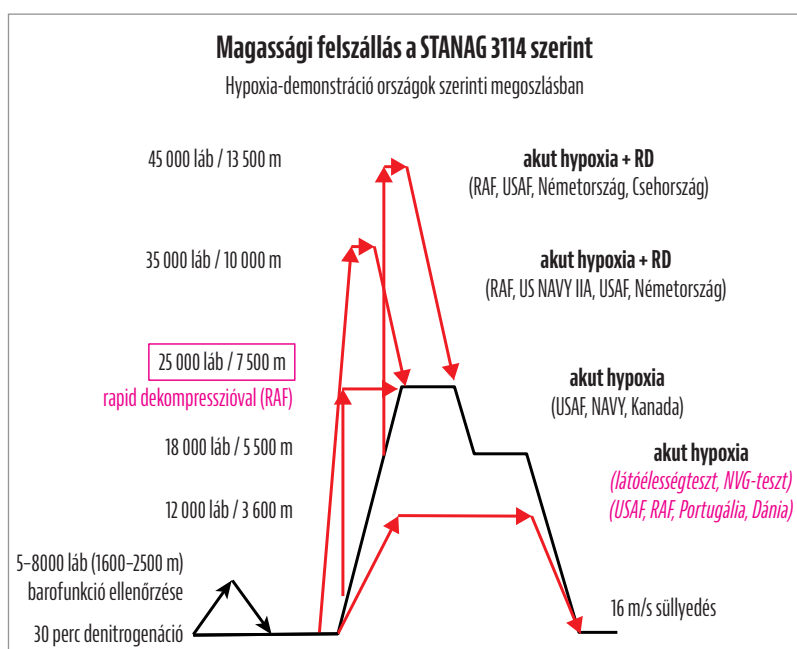
lőorvosi Intézetében (CAMI – Civil Aviation Medicine Institute) szintén jogszabályi keretek között előírja a nagy magasságban repülő polgári légiszemélyzet földi élettani képzését. [7]

Súlyosabb betegségen (például légúti Covid-fertőzésen) átesett repülőhajózó állománynál vagy

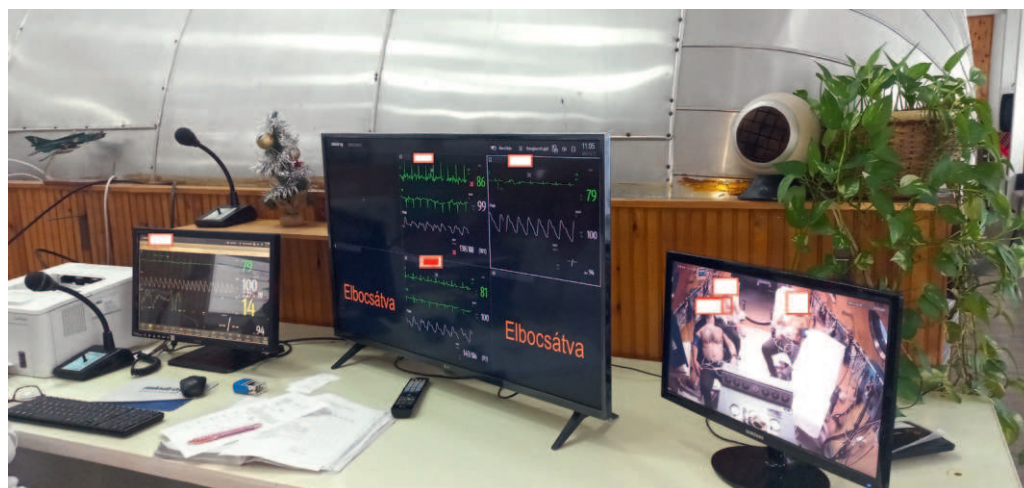
gyógyszerbeállítás után a visszanyert hypoxia-tűrőképességet és a speciális munkavégző képességet lehet biztonsággal újraminósíteni barokamrában, amelyről repülőorvosi szakmai cikkekben számoltunk be. [8]

A szerző köszönetét fejezi ki Dr. Melles Imre főorvosnak, az RHTEK Gyáli úti Repülőorvosi Központ vezetőjének, Szilvási Zoltán oktatópilótának és heliport-menedzsernek az archív és friss képek rendelkezésre bocsátásáért, valamint az MH EK RAVGYI kecskeméti barokamra műszaki szakállományának: Zámbo-Kerekes Anikó főmérnök, Varga Levente mérnök asszisztens, Szabó Szilveszter vezető technikus kollégának, a rendelkezésre bocsátott műszaki dokumentációért és annak értelmezéséért. ■

14. ÁBRA. Hypoxiás edzőmódszerek profiljai különböző NATO-országokban (A szerző szerkesztése [4] alapján)



15. ÁBRA. Mindray őrzőpult, a barokamrai felszállások alatti orvosi monitorizálás központi egysége és egyéni monitora (A szerző felvétele)



## HIVATKOZÁSOK

- [1] Remes, P., Grósz, A., Szabó, J. A magyar repülő- és űrorvostan története” – V. Fejezet: A repülő-egészségügyi szolgálat tevékenysége, 1981-1985. Az új barokamrendszer átadása ISBN 978 963 327 586 3 Zrínyi kiadó, Bp. pp. 192–201.
- [2] Mészáros J. A Repülőkórház <https://honvedelem.hu/hirek/a-repulokorhaz-1.html> 2021. március 12. (Letöltve: 2024.6.5.);
- [3] Szabó S. A., Németh L., Tótká Zs., Grósz A. Pitvarfibrilláció értékelése a repülőorvosi döntéshozatalban Honvéddorvos 2016. (68) 3–4. szám <https://doi.org/10.29068/HO.2016.3-4.13-33>;
- [4] Szabó S. A., Tótká Zs., Domján K., Dunai P., Vada G. Az oxigéndeficit repülésbiztonsági jelentősége és lehetséges magyarázata agyi pulzoximetria NIRS eredményei alapján, szimulált repülési stresszhelyzetben Repüléstudományi tanulmányok in Repüléstudományi szemelvények 2020, Szerkesztette: Szilvási László, Békési Bertold, Ludovika Budapest 2021. pp. 15–16.;
- [5] Domján K., Vada G. Katonai pilóták élettani paramétereinek monitorozása szimulált repülési körülmények között. Haditechnika, 54. (2020) 3. pp. 2–7. <https://doi.org/10.23713/HT.54.3.01>;
- [6] Szabó S. A. A NATO repülőorvosi harmonizációs törekvései a hadművelleti tapasztalatok és a repülésbiztonsági adatok tükrében. Repüléstudományi Közlemények (különszám) 2010. április 16. 2010/2. p. 21. [http://www.repulestudomany.hu/kulonszamok/2010\\_cikkek/Szabo\\_Sandor.pdf](http://www.repulestudomany.hu/kulonszamok/2010_cikkek/Szabo_Sandor.pdf);
- [7] Legel Information Institut: Electronic Code Of Federal Regulations (E-CFR) Title 14 – Aeronautics And Space, Chapter I – Federal Aviation Administration, Department Of Transportation, Subchapter D –Airmen Part 61 – Certification: Pilots, Flight Instructors, And Ground Instructors Subpart A – General 14 CFR § 61.31 – Type rating requirements, additional training, and authorization requirements <https://www.law.cornell.edu/cfr/text/14/61.31>;
- [8] Guth-Orji Á. J. A poszt-covid szindróma repülésbiztonsági jelentősége Honvéddorvos LXXIII. évfolyam 2021/1–2 szám pp. 5–19. <https://doi.org/10.29068/HO.2021.1-2.5-19>