



Magyar Agrár- és Élettudományi Egyetem  
KATONAI TÁBOR ELHELYEZÉSI KOMFORT  
OPTIMALIZÁLÁS

Doktori értekezés tézisei

Patonai Zoltán

Gödöllő  
2023

**A doktori iskola  
megnevezése:**

Műszaki Tudományi Doktori Iskola

**tudományága:**

Műszaki Tudományok

**vezetője:**

Prof. Dr. Kalácska Gábor  
egyetemi tanár, DSc  
Magyar Agrár és Élettudományi Egyetem,  
Műszaki Intézet

**témavezető:**

Dr. Géczi Gábor.  
habilitált egyetemi docens, PhD  
Magyar Agrár és Élettudományi Egyetem  
Környezettudományi Intézet

**társ-témavezető:**

Dr. Kicsiny Richárd  
habilitált egyetemi docens, PhD  
Magyar Agrár és Élettudományi Egyetem  
Matematika és Természettudományi alapok  
Intézet

.....  
Az iskolavezető jóváhagyása

.....  
A témavezető jóváhagyása

## TARTALOMJEGYZÉK

1 BEVEZETÉS	5
<b>1.1 A téma időszerűsége, jelentősége.....</b>	<b>5</b>
<b>1.2 Célkitűzések .....</b>	<b>6</b>
2 ANYAG ÉS MÓDSZER	7
<b>2.1 Tábori körülmények között végzett belső hőmérséklet mérések</b>	<b>7</b>
2.1.1 Kísérleti területek bemutatása .....	7
2.1.2 Kísérleti eszközök és mérési sorozat bemutatása .....	8
<b>2.2 Épületgépészeti laborban felállított különböző modellek .....</b>	<b>9</b>
2.2.1 ISO 20' konténer modell, BLM mérések .....	10
2.2.2 M63 mintájú egységátor, összehasonlító mérések.....	13
2.2.3 Fizikai-alapú matematikai modell.....	14
2.2.4 Konténer belső hőmérsékletének TLR modellje .....	16
2.2.5 BLM szén-dioxid koncentráció változás TLR modellje .....	18
<b>2.3 CO<sub>2</sub> terhelés hatásának mérése katonai képességre.....</b>	<b>20</b>
2.3.1 Kísérleti terület bemutatása .....	20
2.3.2 Mérési sorozat bemutatása .....	21
2.3.3 Eredmények kiértékelésének módszere .....	22
3 EREDMÉNYEK	25
<b>3.1 Tábori elhelyezési konténer belső levegő minőség vizsgálata...25</b>	<b>25</b>
<b>3.2 Tábori elhelyezési körlet belső környezet TLR modell.....28</b>	<b>28</b>
3.2.1 ISO 20' konténer identifikáció és validálás .....	28
3.2.2 M63 mintájú sátor belső hőmérséklet TLR modell validálása	33
3.2.3 Konténer BLM – CO <sub>2</sub> koncentráció TLR modell validálás ....	37
<b>3.3 Belső levegő emelkedett CO<sub>2</sub> hatása a katonai képességre .....</b>	<b>43</b>
3.3.1 KP- találati pontszám .....	43
3.3.2 SD- Középső találati ponttól való átlagos távolság.....	45
3.3.3 t - végrehajtási idő .....	46
3.3.4 Hatékonysági mutató.....	47

4 KÖVETKEZTETÉSEK ÉS A JAVASLATOK	49
4.1 Hőkomfort mérés .....	49
4.2 Tábori létesítmény belső hőmérséklet modellezés .....	50
4.3 BLM emelkedett CO <sub>2</sub> koncentráció hatásának mérése .....	52
4.4 Tábori létesítmény BLM, CO <sub>2</sub> koncentráció modellezés .....	53
5 ÚJ TUDOMÁNYOS EREDMÉNYEK	55
6 ÖSSZEFOGLALÁS	59
7 ÉRTEKEZÉSHEZ KAPCSOLÓDÓ KIEMELT PUBLIKÁCIÓK	61

## 1 BEVEZETÉS

Doktori disszertációmban elsősorban mérési eredményekre támaszkodva vizsgálok a katonai táborok belső levegő minőség egyes paramétereinek hatását az egyéni teljesítőképességre, valamint a külső környezeti tényezők hatását a tábori komfortterek, pihenőkörletek belső levegő minőség változására.

### 1.1 A téma időszerűsége, jelentősége

A tábori elhelyezés az egyik legfontosabb feladat a fegyveres erők - Magyarországon a Magyar Honvédség - alapvető rendeltetésének biztosításához. Békeidőben a katonák stacioner létesítményekben, laktanyákban vannak elhelyezve, ahol tervezhetik, szervezhetik alaprendeltetésük ellátásához szükséges feladataikat. Azonban könnyen belátható, hogy a létesített laktanyákból történő, közvetlenül az alaprendeltetésnek megfelelő, tényleges feladat végrehajtás, vagy a hatékony felkészülés, az életszerű körülmények közötti gyakorlás valóságosan nem kivitelezhető. Ennek okán alapvető kiszolgálási igény a katonai célra történő Ideiglenes Létesítmények alkalmazása.

Az ideiglenes létesítmények, mint katonai táborok elhelyezési biztosításához elsődlegesen sátor- és sátor berendezési szakanyagok jelenleg a Magyar Honvédségnél rendszeresített eszközök. Azonban a XXI. század igényeinek megfelelően egyre inkább a szabvány 20'-as konténerekben történő elhelyezés jelenik meg igényként. A nemzetközi együttműködésnek megfelelően az elmúlt 20 évben teljesített feladatok tapasztalatai alapján tendenciaként állapítható meg az az igény, hogy a tartós feladatellátás biztosításához tervezett sátorban történő elhelyezést felváltja a konténerek felhasználásával telepített táborok létesítése, mint Ideiglenes Létesítmények alkalmazása. Nyilvánvaló, hogy mindkét megoldásnak van előnye és hátránya, ami elsősorban az Ideiglenes Létesítmény tervezett alkalmazási idejétől – és a telepítésre, előkészítésre álló időtől függ, másodsorban a feladat jellegétől. A tábori üzemeltetés ésszerű és fenntartható energia szükséglet meghatározásához szükséges felmérni azokat a belső légállapotokat, amelyek mellett az elhelyezett állomány teljesítőképessége a legmagasabb értéken tartható.

Az elmúlt 20 év tapasztalatára figyelemmel, a kutatási eredményeim alapján újra kell gondolni az Ideiglenes létesítmények, mint katonai táborok fogalmát. Kiemelt figyelmet kell fordítani a táborok üzemeltetésének

megtervezésére. Azok a tervezési alapadatok és követelmények, amelyek segítenek az ideiglenes infrastruktúra kiépítéséhez, ez idáig általában csak tapasztalati adatok alapján voltak meghatározva, melyeket vizsgálva megállapítható, hogy ma már nem helytállóak. Ennek felismerése okán szükséges az ideiglenes létesítmények átfogó vizsgálata annak érdekében, hogy a mai kor elvárásainak megfelelő tervezési alapadatok megalapozottan kerüljenek meghatározásra. A XXI. század környezettudatos mérnöki gyakorlatának megfelelően az energiahatékonyság, az újrahasznosíthatóság fokozott követelmény a katonai célú létesítményeknél is.

## **1.2 Célkitűzések**

Célkitűzésem elsősorban, megfigyelni a katonai táborok ISO 20 lábas szabványkonténerek alkalmazásával kialakított (a továbbiakban ISO 20' konténer) elhelyezési körletek Belső Levegő Minőség (a továbbiakban: BLM), szubjektív hőérzet alapján szabályzott, hőmérséklet alakulását.

Másodsorban felmérni Magyarország időjárási körülményeknek megfelelő külső környezeti paraméterek hatását, nyugalmi állapotban lévő különböző tábori építőanyagok, belső levegő minőségének változását a hőkomfort- és a levegő összetevők/szennyezők vonatkozásában.

Végezetül célom megvizsgálni az elhelyezési körletek BLM emelkedett szén-dioxid koncentráció hatását a katona egyéni harci-, pontosabban szituációs lövészeti teljesítőképességére.

## 2 ANYAG ÉS MÓDSZER

Ebben a fejezetben a kísérleti területek és a kutatómunka során alkalmazott berendezések, mérőrendszerek működését, valamint a mérési sorozatok módszereit, összefüggéseit ismertetem. Tekintve, hogy munkám során több helyszínen végzett mérési sorozat, különböző módszerekkel történt, így azok felépítését, műszerezését és működését külön-külön mutatom be.

### 2.1 Tábori körülmények között végzett belső hőmérséklet mérések

A komfortvizsgálatokat működő létesítményben, a Magyarország déli határszakaszon, 4 helyszínen elhelyezett Határvédelmi Bázisok elhelyezési körleteinek belső levegőminőségi megfigyelésével hajtottam végre.

#### 2.1.1 Kísérleti területek bemutatása

A vizsgált létesítmény egy áttelepíthető épületkomplexum, amely összesen 150 fő elhelyezésére alkalmas. A konténerek méretei és előnyei megfelelnek a 20 lábas irodakonténerekre vonatkozó ISO szabványban rögzítetteknek, a Mobilbox Kft. (<http://mobilbox.hu>) típustervezése alapján tervezték és állították össze. Alapként a tömörített zúzott kőágy, 3 beton járdalap alkalmazásával van szintezve és alátámasztva, 6 ponton. A határvédelmi bázisok elhelyezési körletei egyenként 30 léghöbméter nagyságúak, amelyek 4 fő elhelyezését biztosítják. A felépítés stabil vázszerkezeten és kivehető panelrendszeren alapul, méretei az 1. táblázatban látható.

1. táblázat, ISO 20' lakókonténer méretei

konténer méretek (ISO Standard 1161)	Hosszúság	Szélesség	Magasság
<b>Külső méretek</b>	6.055 mm	2.435 mm	2.591 mm
	(+ 0,-6 mm)	(+ 0,-5 mm)	(+ 0,-5 mm)
<b>Belső méretek</b>	5.855 mm	2.231 mm	2.329 mm
	(+ 0,-6 mm)	(+ 0,-5 mm)	(+ 0,-5 mm)

A külső falelem 3 rétegű, amely az alábbi réteggrenddel került összeállításra:

1. Külső burkolat: Bordázott, horganyzott festett, 0,5 mm acéllemez,
2. Szigetelés: 60 mm vastag ásványgyapot, fa keretekben,
3. Belső burkolat: 10 mm vastag, fa erezetű (juhar színű) laminált faforgácslap, minőségi osztály: P2 (EN 312) E1 (EN 13986).

A hőhidak csökkentésére a sarokoszlopokat kőzetgyapottal szigetelik.

### *2.1.2 Kíséreti eszközök és mérési sorozat bemutatása*

A Határvédelmi Bázisokon történő hőmérséklet és páratartalom mérésére és adatgyűjtésre Ebro érzékelő és adattárolót használtam, ami egy EBI 300-TH mérő-adatgyűjtő eszközt kiegészítve THP 400 külső kapacitív páratartalom-érzékelővel (Ebro, Ingolstadt, Germany) tartalmazott. A műszer  $-30 / +60^{\circ}\text{C}$  közötti mérési tartományban tud adatot rögzíteni, pontossága  $\pm 0,5^{\circ}\text{C}$ . A gyártó igazolása alapján az eszközök megfelelnek a GMP-/HACCP-/IFS előírásoknak.

Kihelyezett EBI-300TH mérő-/ adatgyűjtő műszerek rögzítik a hálóban kialakuló páratartalmat és a körletben tartózkodó személyek által, a saját igényeiknek megfelelően szabályozott belső hőmérsékletet. A hőmérsékletek beállítása szubjektív érték, ami az elhelyezett egyén, illetve a körletben tartózkodó egyének hőérzetétől függ, ezért célunk volt minél szélesebb körben végezni az adatok rögzítését. A mérések végrehajtása a határvédelmi bázisokon 2019 nyári (meleg) és 2019-2020 téli (hideg) időszakban és 2022-ben téli és tavaszi időszakokban történt. Az adatgyűjtés széleskörűségét segíti, hogy 2 hetes rotációban történik a határvédelmi bázisokon szolgáló katonák váltása, így a rögzített adatok gyűjtése nagyobb felhasználói körben tudott megvalósulni. Ennek köszönhetően a téli méréseket 3 hálókörletben, 24 héten keresztül (12 váltás) rögzítve, 36 különböző pihenő körlet állománya – azaz külön személyekre lebontva; összességében egy század alegység katona – szubjektíven beállított különböző léghőmérsékleti beállítása volt rögzítve.

A mérések elsődlegesen a hálókörletekben a belső levegő páratartalmának és a katonák által beállított belső hőmérséklet adatait rögzítette, de párhuzamosan az irodahelyiségben elvárt belső hőkomfort adatait is rögzítettem. Az elhelyezési körletek és irodakonténerek belső hőmérsékleti adatok kiértékelésénél figyelemmel kell arra lenni, hogy alapvetően munkaidőben az irodakonténerben tartózkodnak a katonák, ami általában 07.00 óra és 17.00 óra közé esik.

A nyári mérés eredmények rögzítése 4 db hálókörletben történt a 2019. július 31-ig. A téli hónapokban folytattam a szubjektív beállított belső hőmérséklet mérését, kiegészítve külső hőmérséklet mérésével is. A külső hőmérséklet mérés eredményeit ugyancsak EBI-300TH mérő adatgyűjtő műszerrel rögzítettem. A rögzített külső hőmérsékleti adatok kiválóan használhatóak egy-egy vizsgált intervallum kiválasztásában és alapot ad a rögzített hetvenezer mérési adat szűréséhez. Az első téli időszakban az adatgyűjtők



2019- november 13-án kerültek kihelyezésre és átlagosan 2020 február közepéig rögzítették a belső hőmérséklet és relatív páratartalomra vonatkozó adatokat negyedórás mintavétellel. A mérési feladatok folytatását a COVID járvány elleni védekezés rendszabályai nem tették lehetővé, aminek megfelelően 2022 évben tudtam folytatni az adatok rögzítését. 2022 március 24-től június 01-ig további százhuszezer adatot rögzítettünk negyedórás mintavétellel.

A hálókörletekben külön végeztünk szén-dioxid koncentráció változás mérést, amelyekhez ALMEMO 2590 típusú mérő és tároló egységet és a hozzá csatlakoztatott érzékelőket alkalmaztam (Ahlborn, Illmenau, Germany). Továbbá Pyle PC02 MT05 és Wohler CDL 210 (Bad Wünnenberg, Germany) típusú beltéri levegőminőség mérő és adatrögzítő eszközöket használtam, amelyek bemutatását és gyártói adatait a 3.2 fejezetben részletesen ismertetem. A műszerek, egyedi kezelésének és használatának különbözősége okán ezeket a méréseket csak egy-egy napra vonatkozóan volt lehetőség elvégezni, heteken-, hónapokon át tartó adatgyűjtést nem volt lehetőség elvégezni. Azonban ahogy a szakirodalomban ismertetem, hasonlóan számos empirikus érték áll rendelkezésünkre a komfortszobákban élő emberek által okozott változások és a gyümölcstárolás során az emberre gyakorolt hatások vizsgálatában. Megfelelő mennyiségben elhelyezett gyümölcsök respirációja által egy vizsgált helyiségben okozott CO<sub>2</sub>-koncentráció növekedése hasonló az emberi légzés hatására bekövetkező változáshoz, így a belső levegő minőségi mutatókhoz alkalmazott egyenletek ezen a területen is használhatók, ha az adott zöldség/gyümölcs respirációja ismert vagy mérésekkel meghatározható. Kihasználva ezt a hasonlóságot, a határbázis élelmiszertárolójában 4-10 napra tervezett zöldségek és gyümölcsök tárolása történt, ahol figyelemmel a COVID rendszabályokra szintén folyamatosan volt lehetőség ellenőriznünk a tároló (ami szintén ISO 20' konténer) légterének hőmérsékletét, páratartalmát, valamint CO<sub>2</sub> koncentrációját folyamatos, valós üzemvitel mellett.

## **2.2 Épületgépészeti laborban felállított különböző modellek**

A Magyar Agrár- és Élettudományi Egyetem, Épületgépészet és Környezettechnika laboratórium területén több kísérleti teret állítottam fel a tábori elhelyezési körlet modellezésére.

A hőmérséklet, páratartalom, szén-dioxid koncentráció, továbbá a kültéri körülményeket reprezentáló napsugárzás intenzitás, szélereősség, szélirány és légköri nyomásértékek meghatározásához és a mért értékek tárolásához

ALMEMO 2590 típusú mérő és tároló egységet és a hozzá csatlakoztatott érzékelőket alkalmaztam (Ahlborn, Illmenau, Germany). Továbbá Pyle PC02 MT05 és Wohler CDL 210 (Bad Wünnenberg, Germany) típusú beltéri levegőminőség mérő és adatrögzítő eszközöket használtam, amelyek digitális szén-dioxid levegőszennyezés érzékelővel van ellátva. Az eszközök univerzális beltéri levegőminőség (IAQ) mérők, amelyek rögzítik a levegő szén-dioxid koncentrációt, a hőmérsékletet és a páratartalmat. Gázmérési technológiája nem diszperzív infravörös detektorral (NDIR) történik, részecske-mérés 2,5/ $\mu\text{m}$  részecskeméret-, a CO<sub>2</sub> mérési tartomány: 0 ~ 9999 ppm  $\pm$  70 ppm között. Hőmérséklet-mérési tartomány -10 ~ 70 °C között,  $\pm$  0,3 °C pontossággal. Páratartalom mérési tartomány: 0% ~ 99,9% (relatív páratartalom) között, melynek pontossága:  $\pm$  3%. A (globális) napsugárzást egy Theodor Friedrichs 6003.3000 BG érzékelővel mértem 30 W/m<sup>2</sup> pontossággal, a szélsébséget Thies Clima 4.3519.10.000 mérőműszerrel mértem 0,5 m/s pontossággal. Az eszköz tápegysége: 110/220 V AC / DC 5 V USB fali adapter. A különböző mérőműszerekkel rögzített adatok hiteles összehasonlításához kalibráló mérést végeztem a hitelesített ALMEMO típusú mérőműszerhez.

### 2.2.1 ISO 20' konténer modell, BLM mérések

A Magyarország déli határ védelmére kialakított bázisok építéséhez alkalmazott ISO 20' konténerekkel kapcsolatban, mint maga az építőanyagoknak a környezeti hatások okozta viselkedésének vizsgálatához, az épületgépészeti labor területén felállított ISO 10' konténerrel modelleztem (1. sz. ábra).



1. ábra, Tábori konténer épület modell, az egyetemi laboratóriumban

Az ISO 10' konténer szerkezeti elemeinek fizikai jellemzői teljesen megegyeznek a felállított katonai táborok ISO 20' konténerek szerkezeti elemeinek jellemzőivel, egyetlen eltérés, hogy az ISO 10' konténer hosszanti oldala csak 3 m, szemben az ISO 20' konténerrel, ahol 6 m. A konténer tájolása megegyezik az előzőekben írtakkal, annyi eltéréssel, hogy a konténer bejárati ajtaja ebben az esetben D-i irányba van állítva. A konténer tetejére szerelt napkollektor a mérések során egyáltalán nem működött, azaz nem melegítette a konténer belsejét sem közvetlenül (helyiségfűtés révén), sem közvetve (használati melegvíz előállításánál révén). A megfigyelt hőmérsékleteket K-típusú hőelemekkel mértem ( $u_T = 1$  °C átlagos bizonytalansággal). A (globális) napsugárzást egy Theodor Friedrichs 6003.3000 BG érzékelővel ( $u_I = 30$  W/m<sup>2</sup> átlagos bizonytalansággal) mértem a napkollektor síkjában, déli tájolásban, 40°-os dőlésszöggel. A szélességet Thies Clima 4.3519.10.000 mérőműszerrel mértem ( $u_v = 0,5$  m/s átlagos bizonytalansággal). A méréseket ( $I$ ,  $T_k$ ,  $v$  és  $T_b$ ) 30 másodpercenként vett mérési adattal végeztem el ( $\Delta t = 30$  s).

Második mérési sorozat 2021 évben, március 10. és 2021 október 10. között végeztem ISO 10' konténerrel felépített modellben. A belső hőmérséklet- és azt befolyásoló paraméterek mérését hajtottam végre, a kívánt BLM eléréséhez szükséges energiatranszport meghatározása érdekében.

2. táblázat, Laboratórium területén felállított modellen mért adatok:

Mért adat	jelölés	mértékegység
1 Belső hőmérséklet	$T_b$	[°C]
2 Sátor belső hőmérséklet	$T_s$	[°C]
3 Külső, környezeti hőmérséklet	$T_k$	[°C]
3 Globál sugárzási intenzitás	$I$	[W/m <sup>2</sup> ]
4 Szélesség	$v_{sz}$	[m/s]
5 Szél irány	WD	-
6 Konténer, belső légköri nyomás	$p_b$	[mb]
7 Külső, környezeti légköri nyomás	$p_k$	[mb]
8 Konténer belső tér levegő szén-dioxid koncentráció	$CO_2$	[ppm]

A 2. táblázatban bemutatott adatok mérése percenként kétszer történtek. A  $T_b$  mért értéke csak identifikálási és összehasonlítási célokat szolgál, azaz

ebben az esetben hőérzeti méréseket nem végeztem. A mért  $T_{b(0)}$  kezdeti értéket feltételként adom meg a modellekbe. A vizsgálatokat 24 órás egységekben ötszörös ismétléssel végeztem el.

Szén-dioxid változás az ISO 10' konténerben végzett mérési sorozatban, saját magam/magunk (kutató- és témavezetők) általi tesztalanyként szimuláltam/szimuláltuk tényleges bent tartózkodással és megfigyeltem több (2-3) személy esetében a szén-dioxid koncentráció felfutási idejét. Második mérési sorozatban elsődlegesen 1 fő és 2 fő által termelt szén-dioxid koncentráció felfutási idejét mértem annak érdekében, hogy későbbiekben a benttartózkodók létszámának modellezéséhez szükséges paramétert megfelelően tudjam beállítani, mint egy külső hozzáadagolással ( $\text{CO}_2$  palack alkalmazásával) beállítandó szennyező pontforrást. Harmadik mérési sorozatban a mesterségesen beállítandó szennyező pontforrást kalibráltam a  $\text{CO}_2$  palack reduktor különböző beállításával, összehasonlítva az előzőekben mért 1-, 2- és 3 fő által termelt szén-dioxid koncentráció kialakulása- és a felfutási idő mérésével. Ezeket a mérési eredményeket összehasonlítottam a szakirodalom, szén-dioxid élettani hatása fejezetben ismertetett emberi légzés által termelt szén-dioxid mennyiséggel, illetve a szakirodalom friss levegő igény fejezetben ismertetett matematikai modellel (7).

Kihasnálva azt a felismerést, hogy a gyümölcsök respirációja által okozott  $\text{CO}_2$ -koncentráció növekedése hasonló az emberi légzés hatására bekövetkező változáshoz, a határmenti bázis élelmiszertárolójában is végeztem méréseket, amely során megfigyeltem a légtér hőmérsékletének, páratartalmának és szén-dioxid-koncentrációjának változását.

Az elsődleges cél természetesen a  $\text{CO}_2$  koncentráció megfigyelése volt, amelynek változását a belső forrás (zöldség és gyümölcs utóérés és respiráció) mellett a konténerbe bejutó friss levegő (kitárolás-betárolás és filtráció) is befolyásolta. Már 1 óra elteltével megfigyelhető volt a megemelkedett  $\text{CO}_2$  koncentráció, ugyanakkor a nyitogatások nélkül sem emelkedett egy bizonyos szint fölé. A tábori konyha üzemeltetésével az élelmiszerraktár rendszeres és folyamatos kitárolás és betárolás, valamint a konténer természetes filtrációja miatt a várt szén-dioxid koncentráció növekedés nem következett be. Megállapítottam, hogy rövid idejű tárolás során a szén-dioxid koncentráció nem éri el az anyagcsere folyamatok lassításához szükséges értéket, viszont a szakirodalom szén-dioxid hatása technológiai létesítményekben fejezetben bemutatott, a tárggyal foglalkozó kutatások rendre hosszú idejű – 1 hétnél hosszabb – tárolás során bekövetkező változásokat vizsgálják, mint pl.: szőlő esetében 1 hónap

vizsgált időszakot regisztráltak, almával végzett kísérletek pedig több hónap, így akár fél éves tárolást is vizsgálnak. A kutatási munkám hasonló kutatásokkal történő összehasonlítás okán, modellezve a 24 órát meghaladó zárt tároló viselkedését a laboratóriumban folytattam megfigyeléseket. A laboratórium területén felállított konténerben, magyarországi őstermelőtől frissen beszerzett Idared (*Malus domestica*) almával végeztem vizsgálatokat annak érdekében, hogy adatokat kapjak a légtér CO<sub>2</sub> koncentrációjának a változásáról, mellőzve a tároló ajtajának napi szintű kinyitását.

A későbbiek során szén-dioxid terhelését élelmiszeripari tisztaságú szén-dioxid bevezetésével értem el. Ezek a mérések, tekintettel a pontforrás azonosíthatóságának egyezőségére, teljesen megegyeznek a komfortérben végrehajtott mérésekkel. Az előző fejezetben ismertetett reduktor beállítások kalibrálását használtam a gyümölcsök respirációjának modellezéséhez is. Azonban a szén-dioxid palackkal történt szimulációs megfigyelésekkel kinyert adatok, eredmények bemutatását a későbbiekben, jelen értekezés tárgyára tekintettel kizárólag az elhelyezési komfort optimum értékeléséhez hajtom végre.

### 2.2.2 M63 mintájú egységsátor, összehasonlító mérések

Sátor szakanyaggal épített tábor modellezéséhez az épületgépészeti laboratórium területén a Magyar Honvédség készletéből egy M63 mintájú sátor is felállításra került úgy, ahogy az 1. sz. ábra háttérében is már látható volt. Az M63 sátor méretei a 2. sz. ábra szerint jelölve a 3. táblázat mutatja be.

### 3. táblázat, 63M katonai sátor főbb méretei és súly adatai

29. számú ábrán jelölt méret	szerkezeti méret beazonosítása	mért távolság [cm]
1	Szélesség talaj szinten	500
2	Tető szélesség	400
3	Hosszúság (mélység)	414
-	Toldható hossz (további sátranként)	340
4	Csúcs (gerinc) magasság	268
5	Oldal magasság	172
6	Bejárat szélesség	140
-	Bejárat magasság	172

A sátor alapterülete 17 m<sup>2</sup>, előtér nélkül, a ponyva súlya 31 kg, sátorváz és kellékek súlya 55 kg.



2. ábra, 63M katonai sátor főbb méretei és súly adatai

A sátor felállítása során figyelemmel voltam arra, hogy a külső környezeti hatások megegyezően érijék a sátort és az ISO 10' konténert egyaránt. Hasonló, D-DNy fekvéssel helyeztem el, illetve annak ellenére, hogy az ablakok É-ÉK tájolásúak voltak, az ablakokon beáramló napfényt egyenlősége érdekében megegyező ablakfelületen állítottam be.

A méréseket 2021 március 10. és 2021 október 10 között hajtottam végre, az adatok regisztrálására szintén már a 3.2. fejeztemben ismertetett, az ISO 20' konténerben elhelyezett ALMEMO mérőeszközt használtam, 30 másodpercenként vett mérési adattal ( $\Delta t = 30 \text{ s}$ ). A sátorban lévő hőmérsékletet egy K-típusú hőelemmel mértem ( $u_T = 1 \text{ }^\circ\text{C}$  átlagos bizonytalansággal), ami egy hosszabbítón keresztül az ISO 10' konténerben elhelyezett ALMEMO 2590 típusú mérő és tároló egységhez volt csatlakoztatva, ezzel biztosítva a kalibrált műszerrel rögzített adatok kétséget kizáró összehasonlíthatóságát

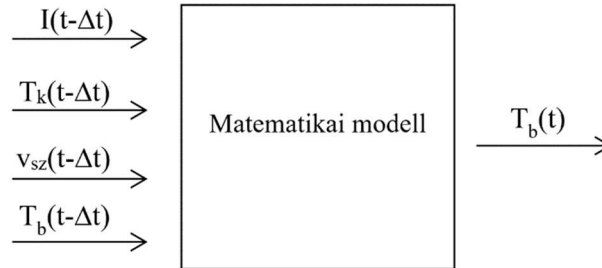
### 2.2.3 Fizikai-alapú matematikai modell

A belső hőmérséklet meghatározásához a matematikai modell megfelelő használatához azonosítani szükséges a belső hőmérsékletet, amit alapvetően befolyásol a környezeti külső hőmérséklet, a belső hőforrás, mint például a körletben lévők száma és általuk leadott hő, valamint külső tényezőként a szélesebbesség, ami fokozza a konténer konvekciós hőleadását, illetve a belső tér természetes filtrációját. Környezeti hatásként természetesen a napsugárzás intenzitása jár még a rendszerbe hőbevitellel.

Az elhelyezési körlet fizikailag megalapozott lineáris matematikai modellje, amelyet a továbbiakban fizika-alapú modellnek nevezünk, a következő:

$$T_b(t) = T_b(t-\Delta t) + k_I I(t-\Delta t) \Delta t + (a v_{sz}(t-\Delta t) + b) (T_k(t-\Delta t) - T_b(t-\Delta t)) \Delta t \quad (2)$$

$k_I$ ,  $a$  és  $b$  a modellben meghatározandó konstans paraméterek. A  $T_b$  modellezett értékét  $t = \Delta t, 2\Delta t, 3\Delta t, \dots$  időpontokban kell meghatározni a (2) egyenlet alapján. A  $t = 0$  időpontban a  $T_b$  mért értékét használjuk kezdeti feltételként.



3. ábra, Blokkdiagramm a bemenetek és kimenetek szempontjából

A 3. ábra a fizikai alapú modell blokkdiagramját mutatja a bemenetek ( $I(t-\Delta t)$ ,  $T_k(t-\Delta t)$ ,  $v_{sz}(t-\Delta t)$ ,  $T_b(t-\Delta t)$ ) és a kimenet ( $T_b(t)$ ) szempontjából. A  $k_I$ ,  $a$  és  $b$  paraméterek (31), amelyek identifikációját három lépésben végeztem el az alábbiak szerint:

Elsőként az identifikáció 6 napján azokat a mért adatokat válogattam ki, amikor a szélsébséget folyamatosan, legalább 5 percen keresztül nulla értéket mértem, és a napsugárzást  $10 \text{ W/m}^2$ -nél kisebb volt (azaz a következő fejezet, TLR modell - A1 eset). Ebben az esetben az  $a$  és a  $k_I$  hatása elhanyagolható (mivel  $v \approx 0 \text{ m/s}$  és  $I \approx 0 \text{ W/m}^2$ ). Ezen peremfeltételek mellett a  $b$  értékét  $b=0,0000206 \text{ [1/s]}$  értéknek identifikáltam, mivel a modellezett és a mért belső hőmérséklet közötti abszolút különbség időbeli átlaga, azaz az abszolút hiba átlaga minimális ezzel az értékkel ezekre az időszakokra.

A modellek (a fizikai-alapú- és TLR matematikai modellekre vonatkozóan egyaránt) identifikációjának ellenőrzéséhez és a validálás kiértékeléshez a méréstartományra vetített relatív hibát ( $h_T$ ) alkalmaztam (Kline és McClintock 1953, Kicsiny 2017, Kicsiny 2018, Géczi et al 2019).

$$h_T = \frac{\overline{H_T}}{T_{\text{mért\_max}} - T_{\text{mért\_min}}} [\%] \quad (3)$$

ahol:

- $\overline{H_T}$  – modellezett belső hőmérséklet átlag hiba,
- $T_{\text{mért}}$  – mért belső hőmérséklet,
- $T_{\text{mod}}$  – modellezett belső hőmérséklet,
- $n$  – mérések száma.

A modellezési átlag hibát ( $\overline{H_T}$ ) a mért hőmérséklet ( $T_{\text{mért}}$ ) értékek és a modellezett hőmérsékleti ( $T_{\text{mod}}$ ) értékek közötti különbségek átlagaként számítom ki:

$$\overline{H_T} = \frac{|T_{\text{mért}_1} - T_{\text{mod}_1}| + |T_{\text{mért}_2} - T_{\text{mod}_2}| + \dots + |T_{\text{mért}_n} - T_{\text{mod}_n}|}{n} \quad (4)$$

Megjegyzés: a 2.2.5. fejezetben a belső levegő szén-dioxid tartalom modellezett koncentráció hiba számításához ugyan ezt az eljárást alkalmazom, azonosítva a ( $\overline{H}$ ) átlagos abszolút hibát,  $T_{\text{mért}}$  helyett –  $K_{\text{mért}}$ , mint mért belső szén-dioxid koncentráció, és  $T_{\text{mod}}$  helyett –  $K_{\text{mod}}$ , mint modellezett belső széndioxid koncentráció jelölésekkel.

Második lépés a fizikai-alapú modell identifikációjában, hogy mivel az előzőekben már azokat az időszakokban mért adatokat kiválogattam az identifikációhoz meghatározott 6 napjából, amikor a szélsébséget folyamatosan, legalább 5 percig nulla értéken mértem (beleértve a fenti 1. lépés időszakokat is). Azaz ezekben az esetben a szél hatása elhanyagolható (mivel  $v \approx 0$ ), viszont most azt az időszakot vizsgálom, ahol a globál sugárzás érték  $I > 10 \text{ W/m}^2$  (azaz a TLR modell – 'B' esetével megegyező, amit a következő fejezetben bővebben ismertetek). Tehát, jelen esetben az  $a$  értéke még mindig elhanyagolható, mivel  $v \approx 0 \text{ m/s}$  és a már azonosított  $b$ -vel együtt számolva, a  $k_1$  értékét  $k_1 = 0,00000047 \text{ [m}^2\text{K/J]}$  értéknek identifikáltam, mivel az abszolút hiba átlaga minimális ezzel az értékkel ezekre az identifikációs időszakokra.

Végül, az  $a$  értéket az identifikáció teljes 6 napjára (beleértve a fenti 1. és 2. lépés időszakát) identifikáltam amely értéket  $a = 0,000028 \text{ [1/m]}$  értékre állítottam be, mivel az abszolút hiba átlaga minimális ezzel az értékkel, ezekre az időszakokra (a már azonosított  $b$  és  $k_1$  értékek mellett).

A  $\text{CO}_2$  koncentráció várható értékének számításával történő ellenőrzéséhez nem készítettem saját fizikai-alapú matematikai modellt úgy, ahogy a fent bemutatott belső hőmérséklet ellenőrzéséhez, hanem HERCZEG et al (2000) által bemutatott matematikai modellt használtam, amely megfelelő és elfogadott modell a különböző szennyező pontforrás hatása által a belső légtérben kialakuló koncentráció várható értékének számításához.

#### 2.2.4 Konténer belső hőmérsékletének TLR modellje

A belső hőmérséklet modellezéséhez kidolgozandó TLR-alapú modell bemenetei a következőkből származnak: az  $I$ ,  $T_k$  és  $V_{sz}$  megfelelően megválasztott értékei hasonlóan, mint a fizikai-alapú modellnél bemutatott

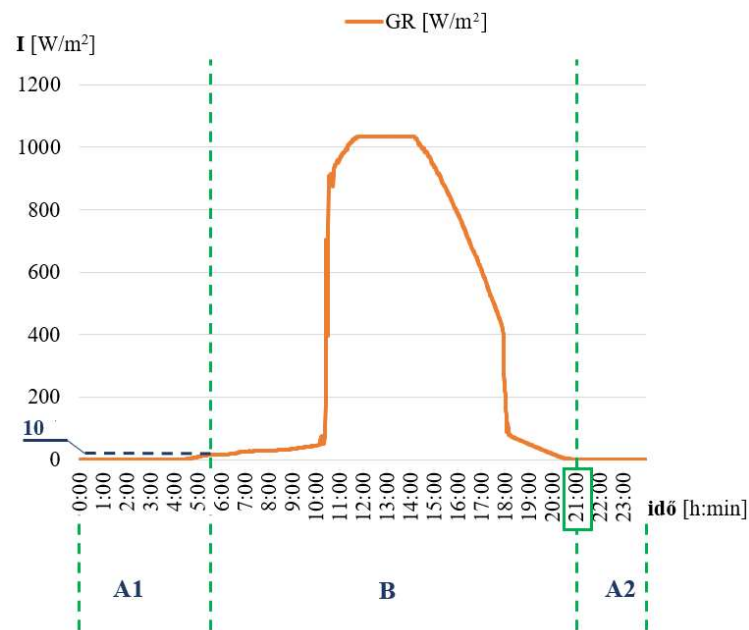


blokkábrán (3. sz. ábra). A kimenet szintén megegyezik, tehát a  $T_b$  megfelelően kiválasztott értékeiből származik.

Az elhelyezési konténer az TLR-alapú modellezésben fekete dobozként (Black-box modell) szerepel. Könnyen belátható, hogy az átfogó TLR-alapú modellen belül külön almodelleket kell létrehozni ahhoz, hogy a hőmérsékletet jól lehessen modellezni, jelentősen eltérő üzemi körülmények között. Alapvetően a belső hőmérsékletváltozás előjele és/vagy intenzitása más, ha a napsugárzás elhanyagolható, és más, ha a globál sugárzás hatása nem hanyagolható el.

Megfigyeléseink alapján egy nap alatt három alapvető működési esetet érdemes megkülönböztetni, ahogy a 4. számú ábrán látható:

- **A1 eset** a nap kezdetétől az első olyan időpontig tartó időszakot öleli fel, amikor a globál sugárzás mértéke meg nem haladja a  $10 \text{ W/m}^2$  -t.
- **B. eset** az A1. eset végétől 21:00 óráig tartó időszakot öleli fel (az év jelenleg vizsgált részében).
- **A2. eset** a 21:00 órától a nap végéig tartó időszakot foglalja magában.



4. ábra, Napsugárzás és üzemeltetési esetek

A 3. számú ábrán szemléltetett blokkdiagramm az TLR-alapú modellre is érvényes a bemenetek és a kimenet szempontjából. A fentiekkel összhangban, a jobb modellezési pontosság érdekében az egyes működési esetekre külön TLR-alapú almodelleket készítettünk. A (5)-(7) egyenletek az almodelleket lineáris összefüggéseként mutatják be:

$$A1 \text{ eset: } T_b(t) = c_{I,A1}I(t - \Delta t) + c_{k,A1}T_k(t - \Delta t) + c_{v,A1}v(t - \Delta t) + c_{b,A1}T_b(t - \Delta t) \quad (5)$$

$$B \text{ eset: } T_b(t) = c_{I,B}I(t - \Delta t) + c_{k,B}T_k(t - \Delta t) + c_{v,B}v(t - \Delta t) + c_{b,B}T_b(t - \Delta t) \quad (6)$$

$$A2 \text{ eset: } T_b(t) = c_{I,A2}I(t - \Delta t) + c_{k,A2}T_k(t - \Delta t) + c_{v,A2}v(t - \Delta t) + c_{b,A2}T_b(t - \Delta t) \quad (7)$$

$c_{I,A1}$ ,  $c_{k,A1}$ ,  $c_{v,A1}$ ,  $c_{b,A1}$ ,  $c_{I,B}$ ,  $c_{k,B}$ ,  $c_{v,B}$ ,  $c_{b,B}$ ,  $c_{I,A2}$ ,  $c_{k,A2}$ ,  $c_{v,A2}$ ,  $c_{b,A2}$  a modellben azonosítandó állandó paraméterek. A  $T_b$  modellezett értékét  $t=\Delta t, 2\Delta t, 3\Delta t, \dots$  időpontokban kell meghatározni a (5)-(7) egyenletek alapján. (A  $t=0$  időpontban a  $T_b$  mért értékét használjuk kezdeti feltételként.)

### 2.2.5 BLM szén-dioxid koncentráció változás TLR modellje

A szén-dioxid koncentráció modellezéséhez kidolgozandó TLR-alapú modell bemenetei a következőkből származnak: az  $\dot{K}$ ,  $\Delta T$  és  $V_{sz}$  megfelelően megválasztott értékei. A kimenet a  $K_b$  megfelelően kiválasztott értékeiből származik.

A fenti jelölések:

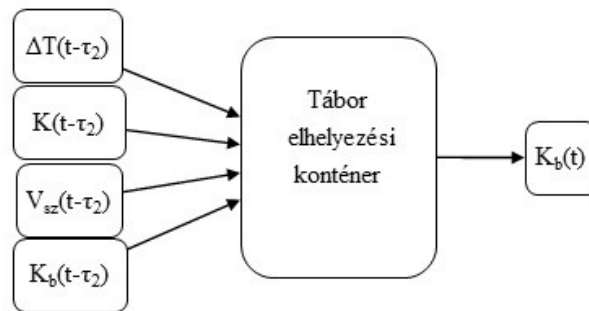
- $\dot{K}$  – szén-dioxid belső pontforrás,
- $\Delta T$  – a külső- és belső levegő hőmérsékletének különbsége,
- $V_{sz}$  – szélesség,
- $K_b$  – belső levegő szén-dioxid koncentráció.

Kezdeti megfigyelés  $\Delta p$ -re, azaz a külső- és belső térben lévő légköri nyomás különbség megfigyelésére vonatkozott, azonban a kutatási témához illeszkedve, a katonai felderítés-, mint éghajlat-, meteorológiai adatok, valamint a korábbi eredményhez, azaz a belső hőmérséklet modellhez igazodva választottam a  $\Delta T$ -t, a belső koncentráció változás TLR-alapú modell bemenetének. Feltételeztem, hogy a gáztörvények alapján állandó térfogat mellett  $p_1/p_2 = T_1/T_2$ . Feltételezésemet mérésekkel igazoltam, amit az eredmények, 3.2.3. fejezetben mutatom be (24.-, 26.-, 28.-, 30. ábrák).

A TLR-alapú modellben, hasonlóan az előző fejezetben írtakkal, ahol a belső hőmérsékletváltozást modelleztem, ebben az esetben is csak  $K_{b(t-\tau_1)}$  belső levegő koncentráció mértéke játszhat szerepet, ahol a pozitív  $\tau_1$  konstans egy időbeli késleltetést jelent. Hasonló megfontolások az  $\dot{K}$ -ra,  $V_{sz}$ -re és a  $\Delta T$ -re is a hatásuk korlátozott terjedési sebessége miatt, így a korábbi  $\dot{K}_{(t-\tau_1)}$ ,  $V_{sz(t-\tau_1)}$

és  $\Delta T_{(t-\tau_1)}$  értékek bemeneti szerepet játszhatnak a  $K_b(t)$  belső levegő koncentráció kialakításában. (Itt a  $\dot{K}$ ,  $V_{sz}$  és a  $\Delta T$  időkésltetését az egyszerűség kedvéért azonosnak ( $\tau_2$ ) feltételezzük). Természetesen a belső levegő koncentráció megfelelő korábbi értéke is befolyásolhatja a  $K_b$  értékét, és lényegében a TLR-alapú modell kezdeti értékeként vesz részt a  $(t-\tau_2)$  időpontban. A TLR-alapú modell identifikációja során, amikor a  $K_b$  mért értékei rendelkezésre állnak, a  $K_{b(t-\tau_2)}$  mért értékét (azaz  $K_{b,mért(t-\tau_2)}$ ) fogjuk használni e kezdeti értéként. Az TLR-alapú modell validálása során a  $K_{b(t-\tau_2)}$  korábban modellezett értékét (azaz  $K_{b,mod(t-\tau_2)}$ ) használjuk e kezdeti értéként a  $K_b - t$  időpontban (azaz  $K_b(t)$ ) történő modellezése során. A  $K_b(t-\tau_1)$ ,  $\dot{K}(t-\tau_2)$ ,  $V_{sz(t-\tau_2)}$  és  $\Delta T(t-\tau_2)$  bemenetek mért értékei mind az identifikálás, mind a validálás során rendelkezésre állnak.

A TLR-alapú almodell blokkdiagramja a 5. számú ábrán látható.



5. ábra, A TLR-alapú modell blokkdiagramja

Ha a modellt fekete dobozként tekintjük, akkor elismerhető, hogy a különböző almodellek, azaz a kidolgozandó TLR-alapú modell részeit kell identifikálni a jelentősen különböző üzemeltetési körülmények között. Például a konténer teljesen másképp viselkedik, ha a felületet érő, környezeti szélereősség megemelkedik ( $v > 2$  m/s) vagy alacsony ( $2 \text{ m/s} > v$ ). Ugyanazon körülmények között, beleértve a környezeti szélesebességet, a konténer belső levegőszennyezetttség koncentráció azaz a  $K_b$  sokkal intenzívebben mértékben nő, ha a belső pontforrás megjelenésének hatására kezd el emelkedni, és mindeközben lecsökken a helyiség filtrációja.

A TLR-alapú modell a következő lineáris matematikai egyenletekből áll:

$$K_{b,mod(t)} = c_K \cdot \dot{K}(t-\tau_2) + c_{\Delta T} \cdot \Delta T(t-\tau_2) + c_V \cdot V_{sz}(t-\tau_2) + c_{K_b} \cdot K_b(t-\tau_2) + c \quad (8)$$

Az identifikálendő állandó paraméterek  $c_K$ ,  $c_{\Delta T}$ ,  $c_V$ ,  $c_{K_b}$  és  $c$ . A  $\tau_2$  mérések időpontjai  $t = 0, \tau_2, 2\tau_2, 3\tau_2$ . A modellezett  $K_b$  értéke (azaz  $K_{b,mod}$ ) meghatározása  $t = \tau_1, 2\tau_1, 3\tau_1, \dots$  időpontokban történik a (8) egyenlet

alapján. (A  $t = 0$  időpontban a  $K_b$  mért értékét használom kezdeti feltételként.) A fentiekkel összhangban, a jobb modellezési pontosság érdekében az egyes működési esetekre a TLR-alapú almodellek külön identifikálандó aszerint, hogy a  $K_b$  értéke a friss levegővel megegyező értékről indul, folytonos monoton emelkedik amíg elsőként nem tapasztalható 3 perc mérési adatok szerint átlaga (a mérőműszer érzékenységétől függően meghatározandó) szerint 15 ppm szén-dioxid koncentráció visszaesés.

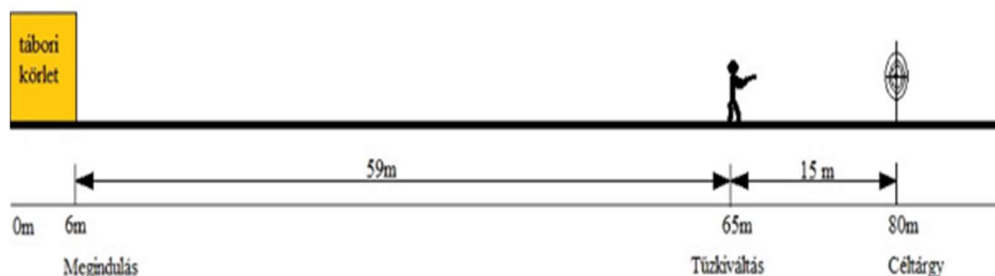
### 2.3 CO<sub>2</sub> terhelés hatásának mérése katonai képességre

A katonai képesség mérését alapvető szituációs teszttel mértem fel az MH Nagysándor József 51. Híradó- és Vezetésbiztosító Dandár laktanyájában, Székesfehérvárott. A szituációs gyakorlat a laktanya 4 állásos pisztolylőtéren került végrehajtásra, egy kísérlet sorozat; 1 nap / 3 csoport felmérésével.

A szén-dioxid hatásának mérésekor a modellezett elhelyezési körletben a CO<sub>2</sub> koncentráció mértékének regisztrálására a már a fentebb ismertetett ALMEMO mérőeszközt használtam, kiegészítve a Pyle PC02 MT05 és Wohler CDL 210 típusú mérő és adatrögzítő eszközökkel, biztosítva az élőalanyos kísérlethez alkalmazott protokoll szerint szükséges beltéri levegő CO<sub>2</sub> koncentráció folyamatos felügyeleti ellenőrzés műszerezettségét.

#### 2.3.1 Kísérleti terület bemutatása

A szituációs gyakorlat végrehajtásához – a lőtér adottságának és berendezésének megfelelően - 80 méter távolságot (6. sz. ábra) határoztam meg, amelyben a tűzkiváltásig 59 métert kell a katonának megtennie, illetve 15 méter távolságra kell 5 db célzott lövést leadnia körkörös mellalakra.



6. ábra, Szituációs lövészet végrehajtásának vázlata

A lőtéren felállított tábori körletet modellezéséhez használt konténer a Magyar Honvédség készletéből került biztosításra, ennek megfelelően teljesen megegyeznek a Magyarország déli határ védelmére kialakított bázisokon felállított ISO 20' konténernek szerkezeti elemeinek jellemzőivel.

### 2.3.2 Mérési sorozat bemutatása

A katonai képesség mérését egy alapvető szituációs teszttel mértem fel. A tesztelt szituációs gyakorlatban az alanyok egy tábori elhelyezési körletben töltik szabadidejüket (vagy végzik ülő tevékenységgel járó munkájukat), amikor a tábort támadás éri. Terrorista csoport a tábor falát egy bombával szerelt öngyilkos gépjárművel berobbantja, amely területen fegyveres támadók jutnak a tábor területére. A tábort ért támadáskor „Behatóló Riadó” kerül elrendelésre, aminek megfelelően az elhelyezési körletben lévő katonának a kijelölt bunkerbe kell rohannia.

Az elhelyezési körlet és a bunker között – a körlet ajtótól 59 méter megtétele után (6. sz. ábra) - a katona találkozik egy fegyveres terroristával, akit önvédelmi maroklófegyverével le kell küzdenie annak érdekében, hogy kijelölt bunkert a tábori riadónak megfelelően begyakorlott tevékenységét sikeresen teljesíteni tudja. A megsemmisítéshez 5 lövést kell leadnia, az utolsó lövés leadásának jelzésével került rögzítésre a végrehajtási idő. Az összes lőállásban rögzített végrehajtási idő után a lőlapokon lévő találatok elhelyezkedése pontosan rögzítésre kerültek.

A rendszabályok ismertetése, fegyverismeret és begyakorlás után a terheletlen lövészetet került végrehajtásra. A katona szabad levegőn tartózkodik minimum 70 percet, ahol a CO<sub>2</sub> koncentráció 400-450 ppm között van. Amikor a „behatóló riasztás” elhangzik, a vizsgált 4 fős csoport egyszerre önállóan megindult a tűzkiváltási terepszakasgra és önállóan 5 db célzott lövéssel leküzdötte a célt. A terheletlen lövészet végrehajtása után a katona visszavonul az előkészített tábori pihenő konténerbe, ahol a belső levegő CO<sub>2</sub> koncentrációját a terheléses állapotra be van állítva.

$$3000 \text{ ppm} < k_b < 4000 \text{ ppm} \quad (9)$$

A terheléses BLM állapot tartásánál különösen kell figyelemmel lenni a szakirodalomban bemutatottaknak megfelelően kidolgozott protokollra, ami szerint a munkahelyek levegő minőségére vonatkozó szén-dioxid szabványértékre (5000 ppm = MAC értéket) figyelemmel maximum 4500 ppm koncentráció elérése esetén meg kell szakítani a kísérletet.

A mérési sorozat következő fázisában a tábori körletben, terhelt állapotban a katona eltölt 70 percet, majd a „behatóló riasztásra” megismételte a szituációs lövészetet. Ezt követően ismételtén visszavonult az előkészített tábori körletbe, ahol újabb 70 perc beállított CO<sub>2</sub> koncentrációjában lévő terhelés után végrehajtotta a második terheléses lövészetet is.

A szén-dioxid szint zárt helyen történő beállítását a szakirodalomban ismertett (ALLEN 2015) protokoll betartásával végeztem a résztvevők biztonsága érdekében, miszerint a CO<sub>2</sub> értékét valós időben figyeltem a vizsgált helyiségekben, három különböző, kalibrált mérőműszerek segítségével. A CO<sub>2</sub> elzáró szelepek mellett ülő technikus a CO<sub>2</sub> koncentrációt a teljes vizsgálati időszak alatt figyelemmel kísérte, illetve a külső segítő által, kívülről az ablakon keresztül is folyamatosan figyelemmel kísért volt a mérőműszerek kijelzője. A protokoll szerint a vizsgálatot azonnal le kellett állítani, ha a CO<sub>2</sub> koncentráció meghaladta az előre meghatározott küszöbértékeket, amelyet 4500 ppm-nek, azaz a foglalkozás-egészségügyi határérték alatt, annak 90%-ának, határoztam meg. A kísérletet biztosította az MH EK állományából 2 fő EÜ altiszt (traumatológiai szakasszisztens és aneszteziológus szakasszisztens), valamint részt vett a kísérletben 1 fő biztonságtechnikai, munkaegészségügyi szakmérnök is.

### 2.3.3 *Eredmények kiértékelésének módszere*

A lövészet kiértékelése az egyes harcos által elért lövőeredmény regisztrálásával történik, ahol az alábbi pereméterek kerülnek rögzítése:

- elért találati pontszám [KP]
- találatok középső találati ponttól átlagos távolsága [SD]
- végrehajtáshoz szükséges idő [t]

Az elért találati pontszám számítása, az egyes szituációs lövészetben leadott 5 db lövés találati pontok összegét jelenti:

$$KP_{\text{össz}} = KP_1 + KP_2 + KP_3 + KP_4 + KP_5 \quad (10)$$

A találati pontszám kiértékelését a terhelt / terheletlen aránnyal végeztem, amely szerint akkor nem csökken a katona teljesítő képessége - azaz 100% - ha legalább annyi köregységet ér el a terhelt lövészet alkalmával, mint alap állapotban, terhelés nélkül végrehajtott feladata alatt. Ha CO<sub>2</sub>-val terhelt belső környezetből megindulva nem ér el értékelhető találatot, akkor 0%.

$$\eta_{KP} = \frac{KP_{(\text{terhelt})}}{KP_{(\text{terheletlen})}}, \quad (11)$$

A találatok középső találati ponttól lévő átlagos távolság számításához első lépésben magát a középső találati pontot [KTP] szükséges meghatározni. A középső találati pont meghatározásának első lépéseként az 5 db találatot sorszámoztam a lölap közepétől eső távolságoknak megfelelően és a lölapot koordináta rendszerbe helyezve az S<sub>n</sub> találati pontot (x<sub>n</sub>; y<sub>n</sub>) koordinátákkal azonosítottam, aminek megfelelően a találatokat sorban regisztráltam:

$$S1_{(x1;y1)}, S2_{(x2;y2)}, S3_{(x3;y3)}, S4_{(x4;y4)} \text{ és } S5_{(x5;y5)} \quad (12)$$

A sorrendben azonosított első két találatot összekötve, távolságát megfelezve a harmadik találatot kell összekötni, távolságát harmadolni amely ponttal a negyedik találatot összekötve, a távolságát negyedelve az ötödik találatot is összekötve és távolságát ötödölve kapom meg a Középső Találati Pontot [ $KTP(x_k;y_k)$ ].

A középső találati pont meghatározása után, ehhez az egyes lövések távolságát megmérve és átlagát számítva kapom meg a szórást az 5 találatra vonatkozóan.

$$SD = \frac{(KTP_{k-s_1})+(KTP_{k-s_2})+(KTP_{k-s_3})+(KTP_{k-s_4})+(KTP_{k-s_5})}{5} \quad (13)$$

Egy-egy szituáció után az egyes harcosok löeredmény találatainak a szórásközponttól lévő átlagos távolságot, azaz a szórást, hasonlóan a találati pontszám kiértékeléséhez, a terhelt / terheletlen aránnyal azonosítom. Ennek megfelelően akkor nem csökken a katona teljesítő képessége - azaz 100% - ha a szórás nem nagyobb a terhelt lövészet alkalmával, mint alap állapotban, azaz terhelés nélkül végrehajtott feladata alatt. Ha CO<sub>2</sub>-val terhelt belső környezetből megindulva nem ér el értékelhető találatot, akkor pedig 0%.

$$\eta_{SD} = \frac{SD_{(terhelt)}}{SD_{(terheletlen)}}, \quad (14)$$

A végrehajtáshoz szükséges időt [t] másodpercben (s) regisztráltam. A rögzített végrehajtási idő annak a tevékenységnek az időszükségletét mutatja, ami a „behatoló riadó” elhangzásakor kezdődik és a leadott 5 db célzott lövés leadásával és ezt követően a fegyver rejtésével ér véget, amely elvégzésekor a katona 1 lépést hátrálép a löállásból jelezve, hogy a célt leküzdötte.

A szituációs lövészet végrehajtási idejének változása adta a teljesítménymutatók változásának legpermanensebb mértékét, amely kiértékelését szintén a terhelt / terheletlen aránnyal azonosítom, amely szerint akkor nem csökken a katona teljesítő képessége - azaz 100% - ha minimum ugyanannyi idő alatt tudja a feladatát végrehajtani a terhelt lövészet alkalmával, mint alap állapotban, azaz a terhelés nélkül végrehajtott feladatát. Viszont ebben az esetben időben korlátot határoztam meg, miszerint akkor 0% a végrehajtási idő teljesítménye, ha CO<sub>2</sub>-val terhelt belső környezetből megindulva dupla idő szükséges a szituáció megoldásához.

$$\eta_t = 1 - \frac{t_{(terhelt)} - t_{(terheletle)}}{t_{(terheletlen)}}, \quad (15)$$

A bemutatott terhelt- és 70 perc 3000 ppm feletti szén-dioxid koncentrációban eltöltött terhelés után végrehajtott lövészet eredményeinek összehasonlításához, két mintás t-próbát hajtottam végre és ellenőriztem, hogy a szén-dioxid terheléstől függően végrehajtott lövészetek regisztrált eredményei között kimutatott eltérés szignifikáns.

$$t := (t_{n+m-2}) := \frac{\bar{x} - \bar{y}}{\sqrt{(n-1)\sigma_n^2 + (m-1)\sigma_m^2}} \sqrt{\frac{nm(n+m-2)}{n+m}} \quad (16)$$

A kísérleti szituációs lövészet során a katonai képesség teljesítményének mérésére regisztrált eredményeket a fent leírtak szerint kiértékeltem külön-külön a találati pontszám [KP], a szórásközepétől való átlagos távolsága [SD] és a végrehajtáshoz szükséges idő [t] tekintetében. Ahhoz, hogy általánosan reprodukálható legyen a harctéri képesség változása, egy egységbe foglalt hatékonysági jellemző szükséges  $[\eta_H]$ .

A szituációs lövészet egy egységbe foglalt hatékonysági jellemző meghatározását a terhelt / terheletlen aránnyal azonosítom. Egyszerre veszem figyelembe a koncentráció képességet, amit a lőeredmény középső találati ponttól lévő átlagos távolsággal - azaz a szórással -, valamint a találati pontszámmal azonosítom és a gyorsaságot, azaz a szituációs feladat végrehajtási időt. Ennek megfelelően akkor nem csökken a katona teljesítő képessége - azaz 100% - ha minimum ugyanannyi idő alatt, ugyanolyan pontossággal tudja a feladatát végrehajtani a terhelt lövészet alkalmával, mint alap állapotban, azaz a terhelés nélkül.

$$\eta_H = \frac{\eta_{(KP)} * \eta_{(t)} + \eta_{(SD)} * \eta_{(t)}}{2}, \quad (17)$$

Ebben az esetben is figyelembe kell venni egy időbeni korlátot, ami szerint 0% a katona szituációs lövészeti teljesítménye, ha CO<sub>2</sub>-val terhelt belső környezetből megindulva dupla idő szükséges a szituáció megoldásához.



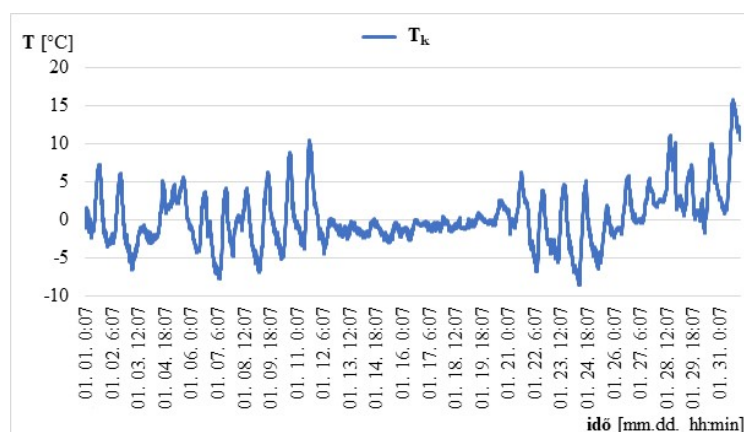
### 3 EREDMÉNYEK

Ebben a fejezetben ismertetem a különböző helyszíneken végzett mérési sorozatok eredményeit, továbbá bemutatom a többszörös lineáris regresszióval (a továbbiakban: TLR) létrehozott matematikai modelleket. A két különböző BLM paraméter vizsgálatára vonatkozó validálási eredményeket külön-külön alfejezetekben ismertetem.

#### 3.1 Tábori elhelyezési konténer belső levegő minőség vizsgálata

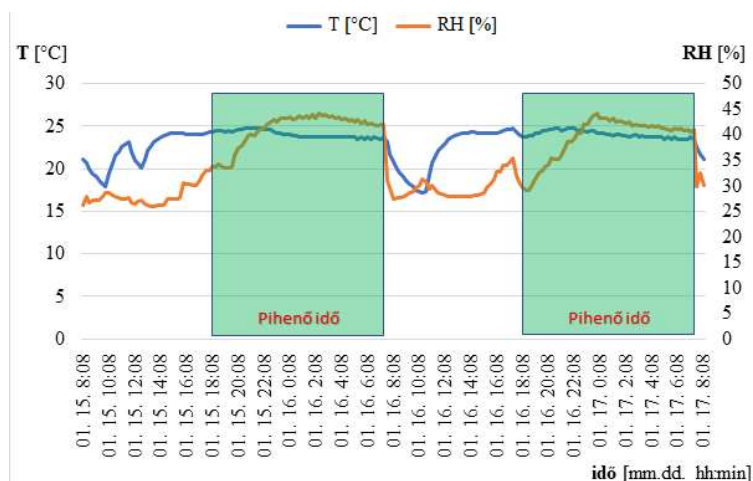
Jelen fejezetben bemutatom a Magyarország déli határ mentén felállított határvédelmi bázisokon végzett méréseimet. A katonák által a szubjektív hőérzetük alapján beállított belső hőmérséklet mérését – kiegészítve külső hőmérséklet mérésével – a 2019 - 2020 évi téli hónapokban kezdtem.

A mérési tartományból kiemelem a 2020 január hónapot, mint a leghidegebb időszakot. A mért leghidegebb hőmérséklet 2020. január 24-én reggel 8 órakor volt,  $-8,6\text{ °C}$ . A legmelegebb mért hőmérséklet 11-én 14.00 órakor  $10,5\text{ °C}$ , valamint a hónap végén, 31-én 15.00 órakor  $15,7\text{ °C}$ . Átlag külső hőmérséklet  $0,2\text{ °C}$  (7. sz. ábra). A lakóegységekben mért átlagos belső hőmérséklet értékek  $23\text{ °C}$  –  $28\text{ °C}$  közötti egyén által beállított, illetve szabályozott hőmérsékleti értékeket regisztráltam, aminek a teljes átlaga  $24,5\text{ °C}$  szubjektíven beállított-, illetve elvárt belső hőmérséklet. A belső levegő relatív páratartalom eredményeknek  $32\%$  -  $42\%$  közötti értékeket mértünk, aminek a teljes átlaga  $37\%$  volt, mint a kialakult belső páratartalom. Fontos figyelembe venni, hogy melyik mért időszakban vizsgálom meg az egyén általi szabályozott, kellemes hőkomfort eléréséhez beállított belső levegő hőmérsékletet.



7. ábra, Hercegszántó HVB, külső hőmérséklet 2020 január hónapban

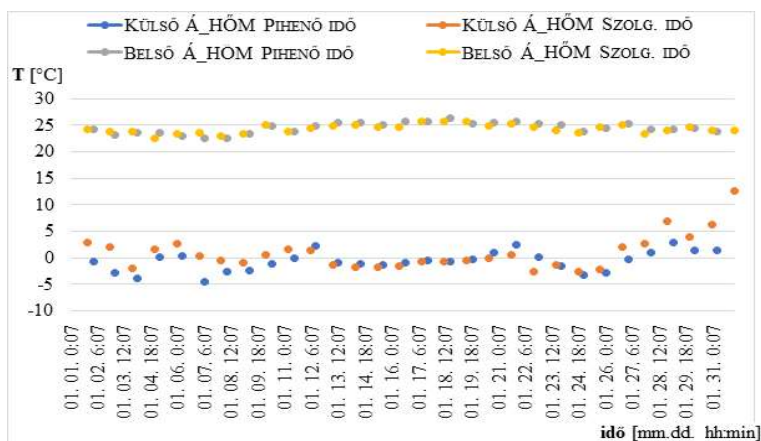
A Határvédelmi Bázisokon szolgálatot teljesítő katonák napirend szerint végzik feladataikat. Szálláskörletüket pihenő időszakban használják, munkavégzéskor pedig a felállított szolgálati helyeiken tartózkodnak. Az 5. számú körletben regisztrált adatok alapján (8. sz. ábra), a napirendnek megfelelően szét kell válogatni az adatokat mert így, kifejezetten a katonák egyéni hőérzete szerint beállított értékeket tudjuk regisztrálni.



8. ábra, Hercegszántó HVB, 5. számú pihenőkörlet napi használata

A fenti intervallumokat egy napon belül megfelelően jellemezhető, ha a 24 órás napi intervallumot 4 egyenlő részben, 6 - 6 óra arányában osztom szét:

- 1) 00:00 – 06:00 - Pihenő idő,
- 2) 06:00 – 12:00 – Szolgálati idő,
- 3) 12:00 – 18:00 – Szolgálati idő,
- 4) 18:00 – 24:00 – Pihenő idő.



9. ábra, Hercegszántó, 2020. januárban rögzített átlag hőmérsékleti adatok

A fenti osztásnak megfelelően a 2020. január hónapban a mért belső hőmérsékletet szétválogatva, mind a 6 mérőegység által egy időben rögzített értékek átlagából számolva az alábbi átlag hőmérsékleti értékeket tapasztaltam, a külső hőmérséklettel megjelenítve (9. sz. ábra).

Amikor a katonák a pihenő körletben tartózkodtak, saját szubjektív hőérzetükhöz állították be a belső hőmérsékletet. Az adatgyűjtők átlagosan 24,5 °C belső hőmérsékletet regisztráltak. A Szolgálati időben, mikor a körletet magára hagyták a katonák, annak ellenére, hogy a 8. sz. ábrán megfigyelhető volt az 5. számú körletben elhelyezett katonák egyfajta energiatudatos magatartása (lejjebb vették a fűtést, ha elhagyták a körletet), ez nem volt jellemző általánosan, így az adatgyűjtők a pihenő körletben átlagosan 24,3 °C belső hőmérsékletet regisztráltak szolgálati időben is, 2020 január hónapban. A külső hőmérséklet átlagos értéke a pihenő idő alatt -0,6 °C volt, míg a szolgálati idő alatt átlagosan másfél °C-val magasabb, 0,9 °C hőmérsékletet regisztráltak az adatgyűjtők.

Az érték általános jellemzéséhez nem csak a leghidegebb időszakot vizsgáltam meg, hanem a fűtési időszak kezdetét és végét is. A mért eredmények átlag számításából már bemutattam, hogy a teljes fűtési időben átlagosan 24,5 °C hőmérsékletet állítottak be a katonák a körletben tartózkodásuk alatt. Ha kisebb intervallumokban vizsgálva kimutatom, hogy a regisztrált 24,5 °C átlag érték permanensen van jelen, akkor a mért értékek átlagát általánosan elfogadhatónak tartom. Ezért a mért értékek fűtési idő elején vett mintát összevetve a fűtési időszak végén vett mintával is összehasonlítottam. A vizsgálat eredmény megmutatja, hogy a katonák ebben az időszakban átlagosan 24,4 °C értéket állítottak be a szubjektív hőérzetük alapján a pihenő körletekben (4. táblázat).

4. táblázat, Fűtési időszak elején és végén átlag belső hőmérsékleti értékek

	november első hete		március utolsó hete		Átlag értékek	
	Pihenő idő	Szolgálati idő	Pihenő idő	Szolgálati idő	Pihenő idő	Szolgálati idő
<b>1. nap</b>	24,1	23,9	23,7	24,1	23,9	24,0
<b>2. nap</b>	25,1	25,1	24,0	23,6	24,5	24,3
<b>3. nap</b>	25,8	25,7	23,2	24,3	24,5	25,0
<b>4. nap</b>	25,9	26,2	23,7	24,0	24,8	25,1
<b>5. nap</b>	25,1	25,0	24,0	23,5	24,5	24,2
<b>6. nap</b>	24,8	24,8	23,7	23,6	24,2	24,2
<b>7. nap</b>	24,7	24,5	23,5	22,3	24,1	23,4
	<b>Mért értékek átlaga:</b>				<b>24,4</b>	<b>24,3</b>

A 4. táblázatban lévő adatoknak megfelelően, a fűtési időszakot szimmetrikusan elosztva és mintát véve a szubjektívan beállított hőmérsékletek átlag értékeiből, a pihenő időszakban, a körletekben  $24,4\text{ }^{\circ}\text{C}$  volt a belső hőmérséklet átlag értéke.

Ebben a fejezetben bemutattam, hogy a valós tábori körülmények között végzett méréseim alapján, a tábor pihenő körleteiben a katonák szubjektív hőérzetéhez beállított belső hőmérséklet átlagosan  $24,5\text{ }^{\circ}\text{C}$  volt. Az adatokat több, teljes fűtési időszakban összességében egy század állományára (90-120 fő) vizsgáltam. A mért adatokat több időszakban – fűtési időszak elején, a fűtési időszak közepén és a fűtési időszak végén – vizsgálva megállapítom, hogy egyén által beállított  $24,5 \pm 1\text{ }^{\circ}\text{C}$  belső hőmérséklet permanensen jelent meg az ISO 20' konténerekből épített tábori pihenőkonténerekben.

### 3.2 Tábori elhelyezési körlet belső környezet TLR modell

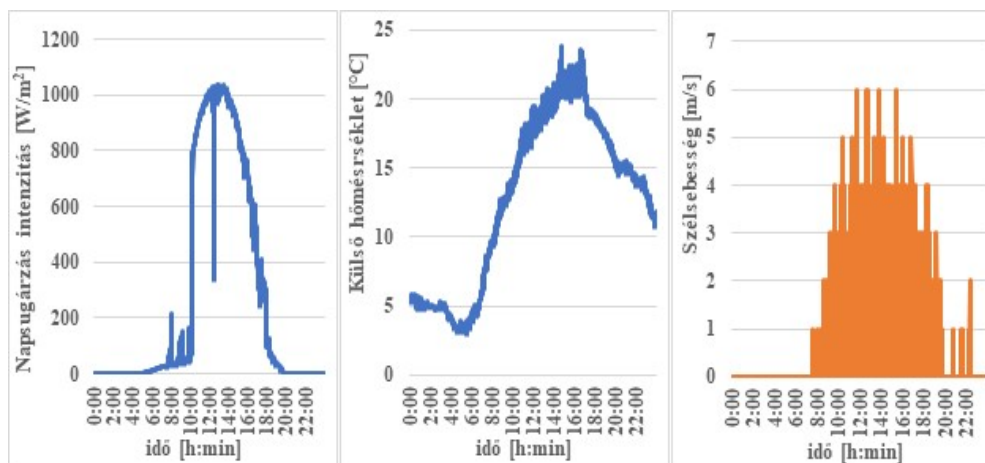
Az TLR modell vizsgálatot 2021. április 16. és 2021. június 19. között, összesen mért 45 nap (kisebb technikai szünetek miatt) bemeneteivel végeztem, amelyek természetesen tartalmazzák az identifikáció 6 napját és a validáció 39 napját.

#### 3.2.1 ISO 20' konténer identifikáció és validálás

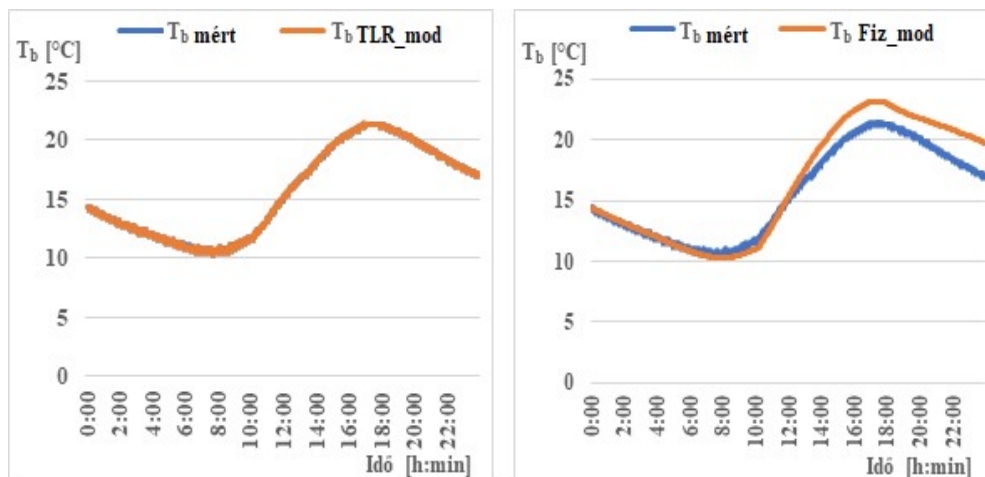
A TLR modell identifikációjához 6 mért napot úgy választottam ki, hogy azok a működési körülmények széles skáláját képviseljék a vizsgált két hónapos időszak tekintetében. Ezeket a napokat használtam a fizikai alapú matematikai modell identifikálásához is, amelyek a következők: 2021. május 4. (viszonylag szeles nap, magas és zavartalan/egyenletes napsugárzási intenzitással és magas környezeti hőmérséklettel), 2021. május 5. (szeles nap magas, de zavart napsugárzási intenzitással és magas környezeti hőmérséklettel), 2021. május 7. (szeles nap alacsony napsugárzási intenzitással és alacsony környezeti hőmérséklettel), 2021. május 23. (nem szeles nap alacsony napsugárzással és alacsony környezeti hőmérséklettel), 2021. június 1. (nem szeles nap magas és zavart napsugárzással és alacsony környezeti hőmérséklettel), 2021. június 16. (nem szeles nap magas és zavartalan napsugárzással és magas környezeti hőmérséklettel).

A TLR-alapú modellben azonosítandó paraméterek  $C_{I,A1}$ ,  $C_{k,A1}$ ,  $C_{v,A1}$ ,  $C_{b,A1}$ ,  $C_{I,B}$ ,  $C_{k,B}$ ,  $C_{v,B}$ ,  $C_{b,B}$ ,  $C_{I,A2}$ ,  $C_{k,A2}$ ,  $C_{v,A2}$ ,  $C_{b,A2}$  (34)-(36) egyenletek szerint. E paraméterek azonosítására három szabványos, független TLR rutint alkalmaztam a három különálló működési esetre (A1, B és A2 eset) a mért adatok alapján. A standard TLR rutint (a legkisebb négyzetek módszerének alkalmazása) itt nem részletezem, mivel az jól ismert és a legtöbb statisztikai

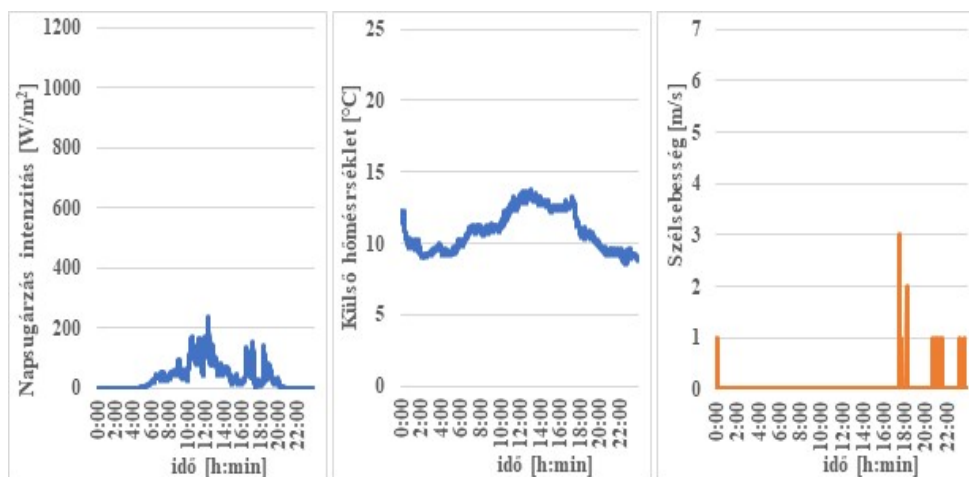
és/vagy táblázatkezelő programban (Excel, SPSS stb.) megtalálható. A 11. és 13. ábra bal oldala a tábori konténer modellezett (TLR) és mért belső hőmérsékletének összehasonlítását, a jobb oldalon pedig a fizikai-alapú matematikai modellel modellezett mutatja az identifikáció során két olyan napon, ami meglehetősen eltérőek a körülmények: 2021. május 04. (szeles nap magas és zavartalan napsugárzással és magas környezeti hőmérséklettel), 2021. május 23. (nem szeles nap alacsony napsugárzással és alacsony környezeti hőmérséklettel). A 10. és 12. ábra a mért napsugárzást, a környezeti hőmérsékletet és a szélsébséget mutatja be.



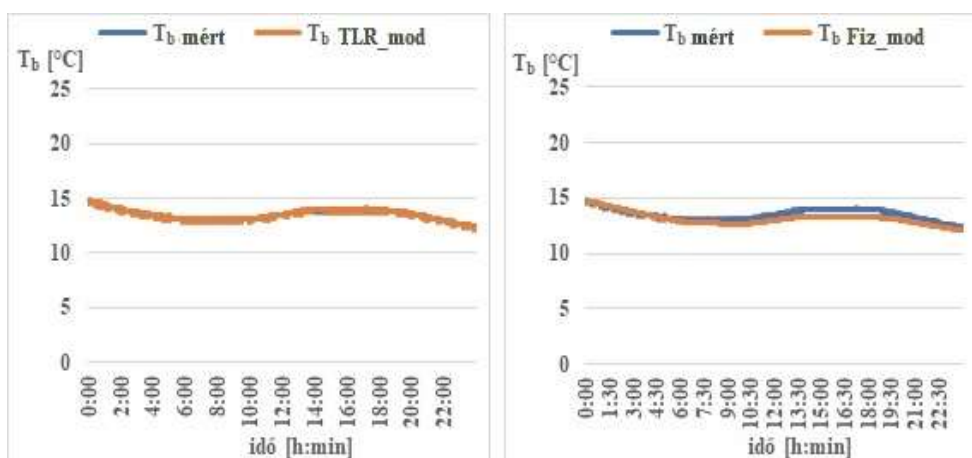
10. ábra, Mért környezeti hatások 2021.05.04-én



11. ábra, Modellezett és mért belső hőmérsékletek 2021.05.04-én.



12. ábra, Mért környezeti hatások 2021.05.23-án.



13. ábra, Modellezett és mért belső hőmérséklet 2021.05.23.-án.

Az 5. táblázatban került összefoglalásra azoknak a modellezési eltéréseknek – mint hibák – kimutatása, ami egyrészt a modellezett és a mért belső hőmérséklet közötti átlagos eltérésnek, különbségnek értékét, illetve másrészt a modellezési hiba abszolút értékének átlagát jelenti.

Az abszolút hiba átlaga a napi mért hőmérséklettartomány, a maximális és minimális mért belső hőmérséklet közötti különbséggel arányosan, [%]-ban került kimutatásra, a 2.2.3 fejezetben ismertetett hibaszámítási módszerrel (3).

Az 5. táblázat nem csak az átlag hibát és az abszolút hiba átlagát mutatja be az identifikáció két napjára vonatkozóan, hanem az átlagos relatív hiba

értékét a teljes, 6 napos identifikációra vonatkozóan is, ami a TLR modell esetében  $h_t = 0,7\%$ , fizikai alapú modell esetében  $h_t = 12,0\%$ .

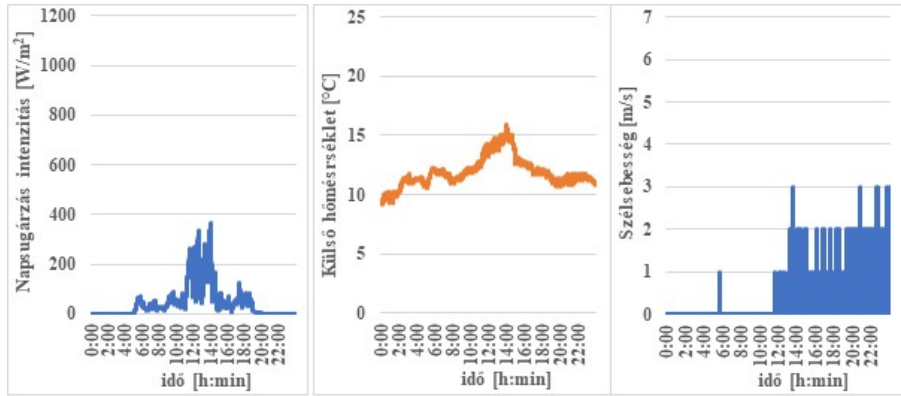
5. táblázat: A hiba és az abszolút hibaértékek átlaga

		<b>Fizikai alapú modell</b>	<b>TLR modell</b>
<b>Identifikáció</b>	2021. május 04-én átlag	0.79 °C	-0.0005 °C
	hiba és abszolút hiba átlag értékek	0.99 °C; 9.0%	0.007 °C; 0.6%
	2021. május 23-án átlag	-0.35 °C	0.0007 °C
	hiba és abszolút hiba átlag értékek	0.38 °C; 15.0%	0.04 °C; 1.5%
	Identifikáció átlagos relatív hiba értéke (6 nap)	<b>12.0%</b>	<b>0.7%</b>
<b>Validálás</b>	2021. május 17-én átlag	-0.28 °C	-0.23 °C
	hiba és abszolút hiba átlag értékek	0.54 °C; 22.6%	0.28 °C; 11.5%
	2021. június 17-én átlag	-0.95 °C	0.49 °C
	hiba és abszolút hiba átlag értékek	0.95 °C; 8.1%	0.49 °C; 4.2%
	Validálás átlagos relatív hiba értéke (39 nap)	14.8%	<b><u>7.1%</u></b>

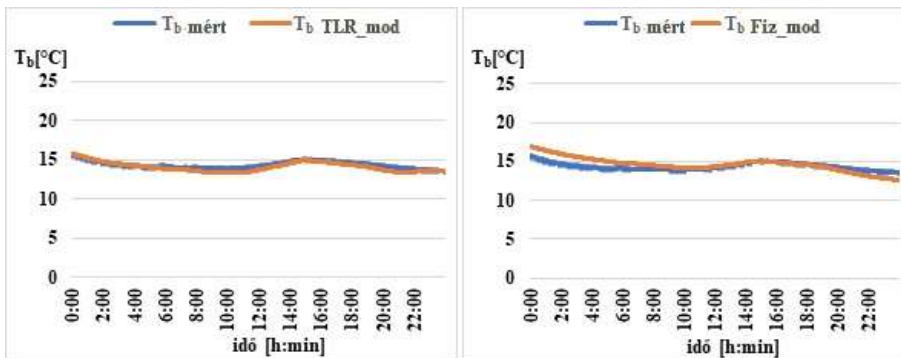
### Validálás

A TLR modell validálása során a már identifikált fizikai alapú és TLR-alapú modelleket használtam 2021. április 16. és 2021. június 19. között mért összesen 39 nap (kisebb technikai szünetek miatt) bemeneteivel, amelyek között természetesen nem szerepel az identifikálás 6 napja. A modellezett belső hőmérsékletet összehasonlítottam a mért hőmérséklettel, majd mindkét modell esetében kiértékeltem a különbséget, azaz a hibát.

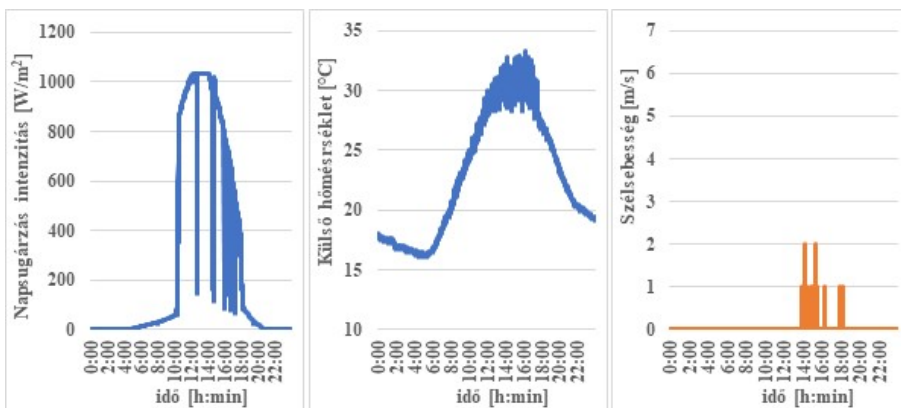
A 15. és 17. ábra a modellezett és a mért belső hőmérsékleteket mutatja be mindkét modell esetében a validálás két napján, ami egy szeles nap, alacsony napsugárzással és alacsony környezeti hőmérséklettel 2021. május 17-én és egy nem szeles nap, magas és zavart napsugárzással és magas környezeti hőmérséklettel 2021. június 17-én. A 14. és 16. ábrák a mért napsugárzást, külső hőmérsékletet és a szélesebbéget mutatja be ugyan ezen a két napon.



14. ábra, Napsugárzás, környezeti hőmérséklet és szélsebesség 2021. 05. 17.

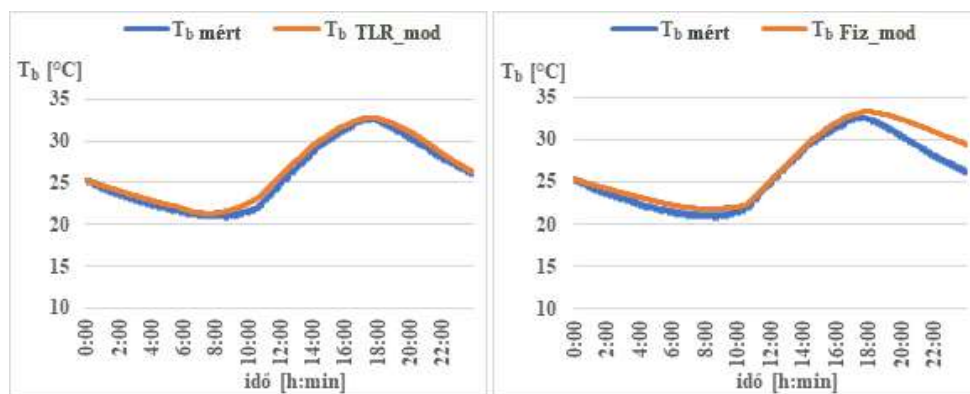


15. ábra, Modellezett T<sub>b</sub>\_mod és mért T<sub>b</sub>\_mért belső hőmérsékletek 2021. 05. 17.



16. ábra, Napsugárzás, környezeti hőmérséklet és szélsebesség 2021. 06. 17.





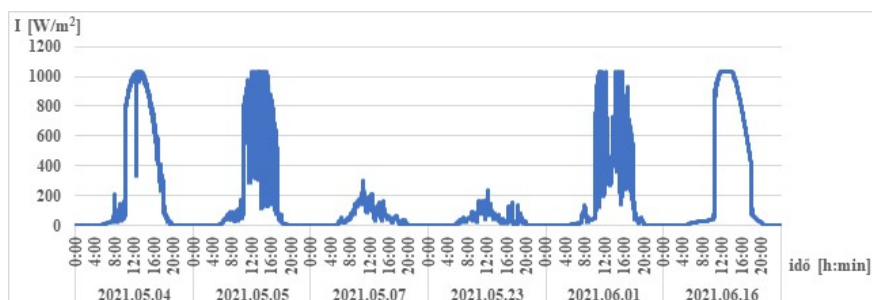
17. ábra, Modellezett  $T_{b,mod}$  és mért  $T_{b,mért}$  belső hőmérsékletek 2021. 06. 17.

A validálási eredményeket szintén az 5. táblázat foglalja össze, ami alapján a katonai táborok telepítéséhez is használt ISO szabványnak megfelelően gyártott konténer belső hőmérséklete meglehetősen pontosan leírható egy TLR-alapú modellel, jelen esetben pontosabban, mint a széles körben használt fizikai-alapú modellel. A validálás szerint a TLR-alapú modell modellezési hibája  $h_t = 7,1\%$ , szemben a fizikai-alapú modelnél tapasztalt  $h_t = 14,8\%$ -kal. A TLR-alapú modell pontossága jónak tekinthető az általános mérnöki célok, mint az ISO konténer belső hőmérséklet-változásának tanulmányozása és előrejelzése szempontjából. Ez az előrejelzés egyéb alkalmazások mellett a konténer belsejében a komfortos hőmérséklet, megfelelő hőérzethez szükséges fűtési/hűtési teljesítmény előzetes tervezésére is szolgálhat.

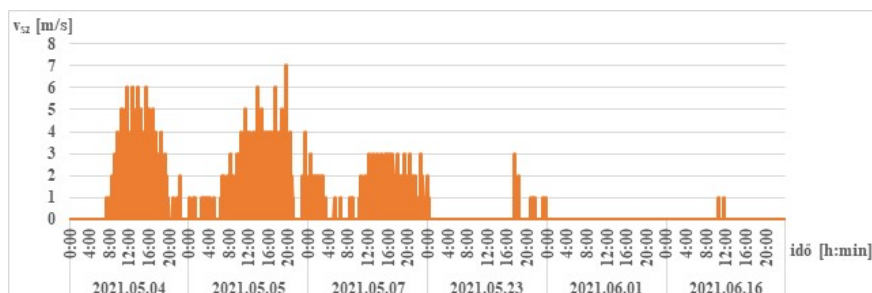
### 3.2.2 M63 mintájú sátor belső hőmérséklet TLR modell validálása

Katonai táborok építésének módját elsődlegesen az alkalmazás módja és ideje határozza meg. Azonban nincs éles határvonal meghúzva a konténerből épített tábor, illetve a sátor szakanyaggal felállított tábor alkalmazására. Hiánypótló munkaként szükségesnek láttam olyan kutatási eredmények elérését is, amely segít meghozni a döntést, hogy egy tervezett művelet végrehajtásának biztosításához mikor kerüljön alkalmazásra stabil építőanyaggal telepített tábor, illetve mikor kerüljön sátorszakanyag alkalmazásra. Ennek okán végeztem adatgyűjtést az M63 mintájú sátor belső hőmérsékletére vonatkozóan is.

A sátor modell identifikációhoz ugyanazt a 6 mért napot választottam ki, mint a konténer vizsgálatához, így az üzemi körülmények ugyanazt a skálát képviselték a vizsgált két hónapos időszakban, amelyek napsugárzás és szélereősség értékei a 18.- és 19. számú ábrán láthatók.

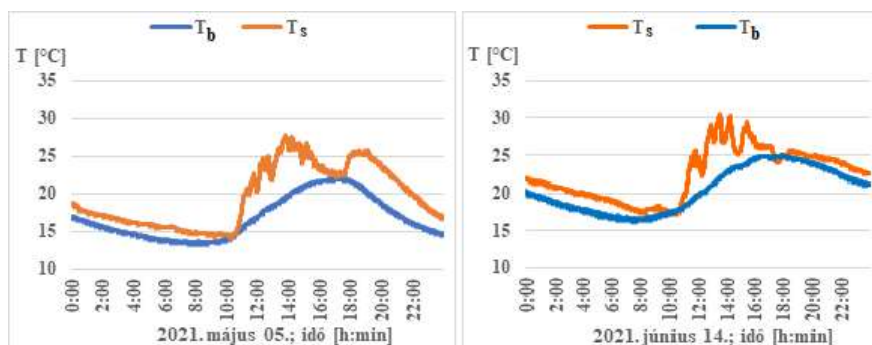


18. ábra, Identifikációhoz kiválasztott napok globális sugárzásértékei



19. ábra, Identifikációhoz kiválasztott napok szélesség értékei

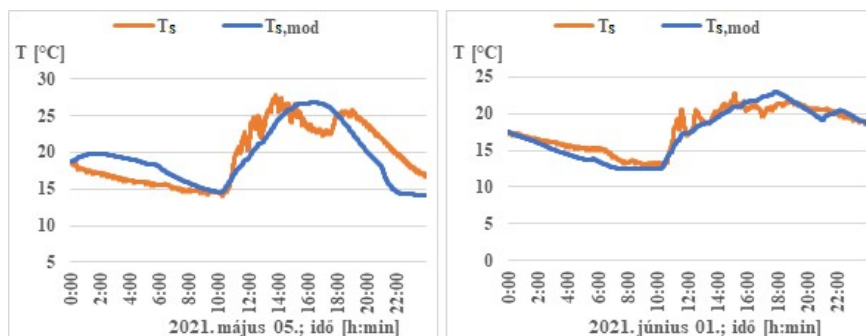
A mérések adataiból egyértelműen látható a két táborépítési szakanyag fizikai jellemzőinek különbsége, ami által a sátor belső hőmérséklete sokkal érzékenyebben reagál a külső környezeti hatásoknak. Ezt a különbséget szemlélteti az 20. sz. ábra egy az identifikációhoz kiválasztott 2021. május 05. és egy a validálásra kiválasztott 2021 június 14. napokon.



20. ábra, Konténer  $T_b$  és sátor  $T_s$  belső hőmérséklet

A TLR-alapú modell identifikációja során szintén megegyeznek a paraméterek  $C_{I,A1}$ ,  $C_{k,A1}$ ,  $C_{v,A1}$ ,  $C_{b,A1}$ ,  $C_{I,B}$ ,  $C_{k,B}$ ,  $C_{v,B}$ ,  $C_{b,B}$ ,  $C_{I,A2}$ ,  $C_{k,A2}$ ,  $C_{v,A2}$ ,  $C_{b,A2}$ , mint a konténer esetében (5)-(7) egyenletek szerint. E paraméterek

identifikációja szintén három szabványos, független TLR rutint alkalmaztam a három különálló működési eset (A1, B és A2 eset) mért adatok alapján.



21. ábra, Sátor modellezett és mért belső hőmérsékletek identifikáció során.

A 21. ábra az M63 mintájú sátor modellezett és mért belső hőmérsékletének összehasonlítását mutatja az identifikáció két különböző napján. Mindkét napon nagy intenzitású, de zavart napsütés volt jellemző, viszont szeles idő volt 2021. május 5-én és szél mentes nap volt 2021. június 01-én.

A 6. táblázat a hiba átlagát, mint a modellezett és a mért belső hőmérséklet közötti különbség mért eltérés átlagát mutatja, valamint az abszolút hiba átlagát mutatja be az identifikáció fenti két napjára vonatkozóan, ami a modellezett és a mért belső hőmérséklet közötti különbség átlaga, ami szintén megegyezik a korábban 2.2.3. fejezetben bemutatott bemutatott abszolút hiba számítási módszerrel (3), a napi maximális és minimális mért belső hőmérséklet közötti különbséggel arányosan [%]-ban szerepel.

6. táblázat, Az M63 sátor belső hőmérséklet TLR modell hibaértékek átlaga

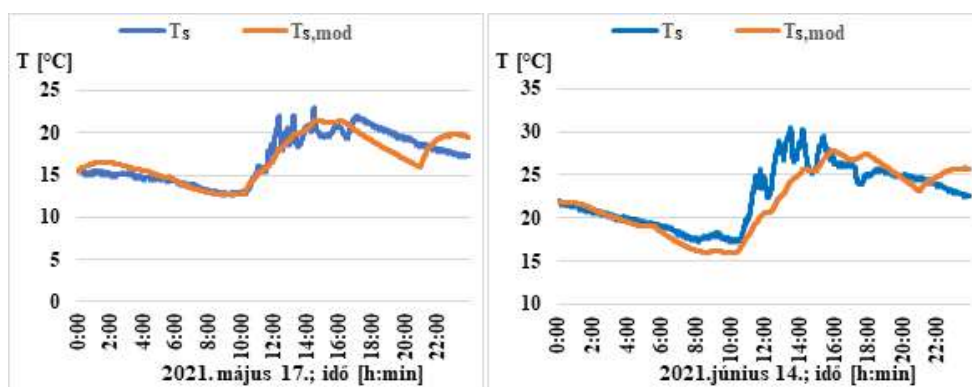
<b>Hiba és abszolút hiba átlag értékek</b>		<b>M63 TLR modell</b>
<b>Identifikáció</b>	2021. május 05.	-0.15 °C 2.41 °C; 17.7%
	2021. június 01.	-0.47 °C 0,87 °C; 8.9%
Identifikáció hiba átlag %-os értéke (6 nap)		10.2%
<b>Validálás</b>	2021. május 17.	-0.07 °C 1.07 °C; 10.7%
	2021. június 14.	-0.58 °C 1,45 °C; 11.0%
Validálás hiba átlag %-os értéke (39 nap)		<b>7.8%</b>

A 6. táblázat nem csak a hiba átlagát és az abszolút hiba átlagát mutatja be az identifikáció két napjára vonatkozóan, mint ahogy a konténer modell esetében is bemutattam. A hiba értékek átlaga az identifikáció mind a 6 napjára vonatkozóan alapvetően rosszabb értékekkel szerepel ( $h_t = 10,2\%$ ), mint a tábori elhelyezési konténer modellezésekor, azonban még így is jól használható a két táborépítő szakanyag összehasonlítására.

### Validálás

Az M63 sátor belső hőmérsékelt TLR modelljének validálása során a már identifikált modellt használtam szintén 2021. április 16. és 2021. június 19. között mért összesen 39 nap bemeneteivel, amelyek között természetesen itt sem szerepel az identifikálás 6 napja.

A modellezett belső hőmérsékletet összehasonlítottam a mért hőmérséklettel, majd kiértékeltem a két értékből adódó különbséget, azaz hibát. A 22. sz. ábra a modellezett és a mért belső hőmérsékleteket mutatja be a validálás két napján, meglehetősen eltérő üzemi körülmények között; egy szeles nap, alacsony napsugárzással és alacsony környezeti hőmérséklettel - 2021. május 17-én és egy nem szeles nap, magas és zavart napsugárzással és magas környezeti hőmérséklettel 2021. június 14-én.



22. ábra, Modellezett  $T_{s,mod}$  és mért  $T_s$  belső hőmérsékletek validálás során

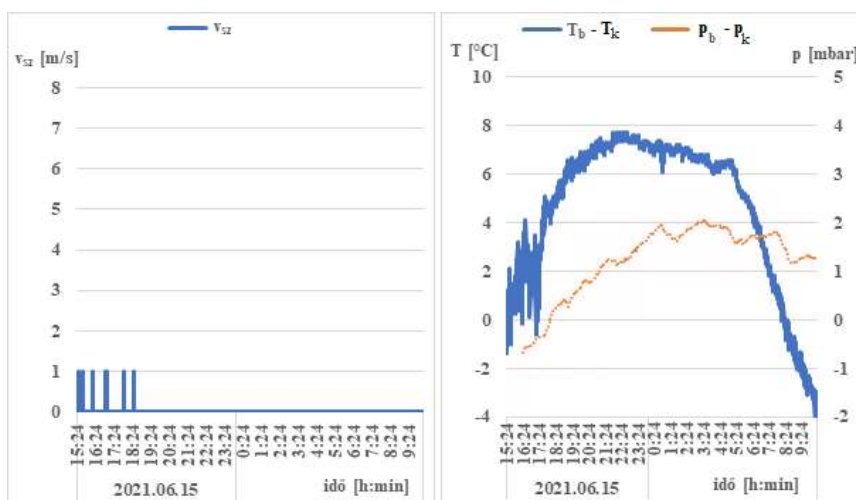
Az eredmények alapján megállapítom, hogy az M63 mintájú sátor belső hőmérséklete meglehetősen pontosan leírható a TLR-alapú modellel. A validálás szerint a TLR-alapú modell modellezési hibája  $h_t = 7,8\%$ . Habár jelenleg még tovább finomítható a sátor szakanyag TLR-alapú modell pontossága, viszont már így is megfelel az általános mérnöki és katonai célok, azaz a belső hőmérséklet-változásának tanulmányozása és előrejelzése szempontjából. Ez az előrejelzés egyéb alkalmazások mellett elsődlegesen a sátor szakanyag és konténer szakanyag alkalmazási időperiódus

meghatározására, másodsorban a sátor belsejében komfortos hőmérsékletszint fenntartásához szükséges fűtési/hűtési teljesítmény számítására, illetve tervezésére is szolgálhat.

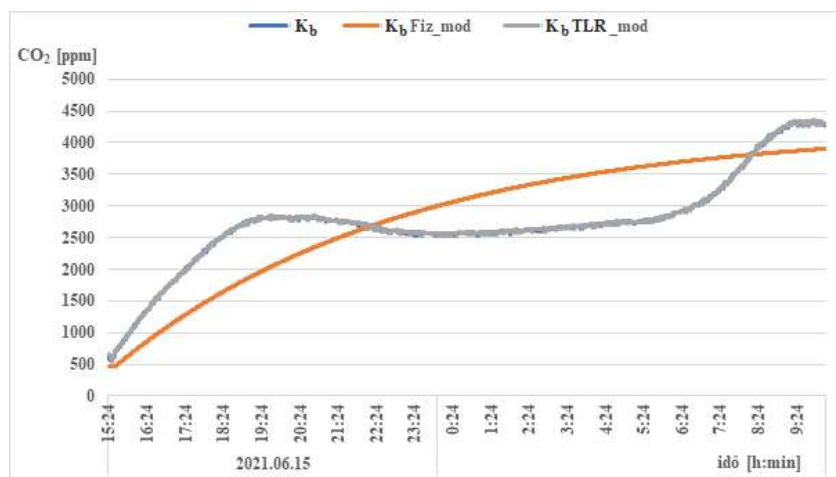
### 3.2.3 Konténer BLM – CO<sub>2</sub> koncentráció TLR modell validálás

A tábori elhelyezési konténernek TLR modell identifikációhoz 2+4 mért napot úgy választottam ki, hogy a lehetséges működési feltételeinek széles skáláját lefedjék. Elsőnek egy olyan mért napot választottam ki, amelyen nagy külső-belső hőmérséklet különbség párosul nagy széllel, állandósult belső koncentráció mellett (2021. április 05.). Továbbá egy olyan napokat választottam ki, amikor a külső-belső hőmérséklet nem nagy, de nagy széllel párosul, monoton emelkedő belső koncentráció mellett (2021. április 15- és 16.). Aztán olyan napot választottam ki, amikor nagy külső-belső hőmérséklet különbség párosul kis széllel, állandósult belső koncentráció mellett (2021. április 18.) és egy olyan napokat választottam ki, amelyen szintén nagy külső-belső hőmérséklet különbség párosul kis széllel, monoton emelkedő belső koncentráció mellett (2021. június 15-és 16.). A 2+4 nap elegendőnek bizonyult ahhoz, hogy egy meglehetősen jó pontossággal azonosított modellt kapjak. A gyakorlat kedvéért ezeket a napokat a tavasz utolsó- és a nyár első harmadából választottam ki, így az identifikált modell már a fennmaradó tavaszi, nyári és őszi hónapban is használható.

A 24. és 26. ábra a modellezett és a mért belső koncentrációt hasonlítja össze. Az ábrákon látható, hogy a TLR modell ( $K_b$ TLR\_mod) értékei szinte teljesen megegyeznek az ISO konténerben mért értékekkel ( $K_b$ ).

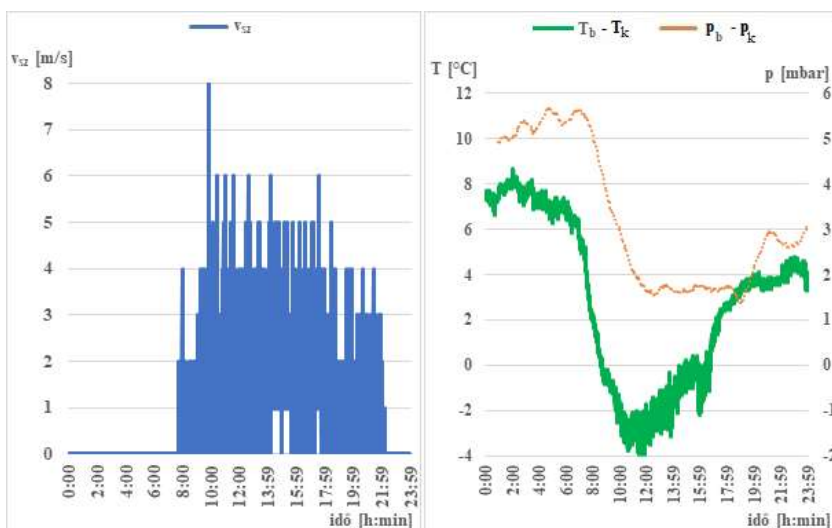


23. ábra, Környezeti hatások 2021.06.15- és 16-án



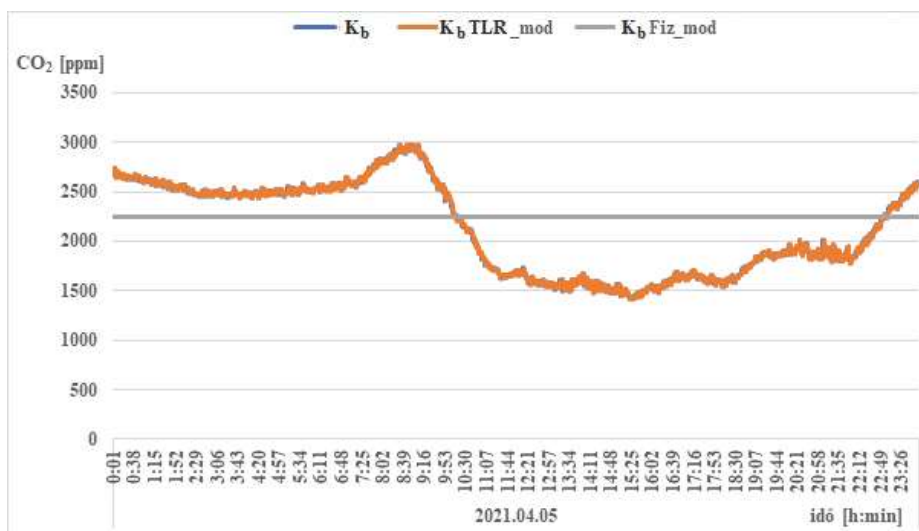
24. ábra, Modellezett és mért belső koncentráció 2022 június 15-16-án

A 23. és 25. ábra az ISO konténernél mért szélerősséget, külső- és belső hőmérséklet különbséget, valamint a külső- és belső légköri nyomás különbséget ugyanazon napon. Az ábrákon jól látható, hogy a külső- és belső hőmérséklet különbség, valamint a külső- és belső légköri nyomás különbség hasonló görbét ír le.



25. ábra, Környezeti hatások 2021.04.05-én

A 7. táblázatban került összefoglalásra azoknak a modellezési eltéréseknek – mint hibák – kimutatása, ami a modellezett és a mért belső szén-dioxid koncentráció közötti átlagos eltérésnek értékét, valamint a modellezési hiba abszolút értékének átlagát jelenti.



26. ábra, Modellezett és mért belső koncentráció értékek 2022 április 05-én.

Az abszolút hiba átlaga a napi mért koncentráció intervallum, azaz a maximális és minimális mért szén-dioxid koncentráció közötti különbséggel arányosan, [%]-ban került kimutatásra, a 2.2.3 fejezetben ismertett hibaszámítási módszernek megfelelően (3).

7. táblázat, Abszolút hibaértékek és %-os átlaga a modellek esetében

Mért abszolút átlagos hiba és előfordulási aránya	Fizikai-alapú modell	TLR modell
<b>Identifikáció</b> április 05.	429 ppm; 27 %	14,6 ppm; 0,9%
június 15. – 16.	500 ppm; 13 %	8,5 ppm; 0,2%
A teljes identifikáció (4+2 nap) átlagos hiba %-os érték	11.0%	<b>0.3%</b>
<b>Validálás</b> április 08. – 09.	652 ppm; 19.7 %	250 ppm; 7.7 %
április 30. – május 01.	421 ppm; 22.5 %	353 ppm; 18,8%
A teljes validált időszakban mért 31 nap átlagos hibaérték. (április 01. – június 26)	12.4 %	<b>9 %</b>

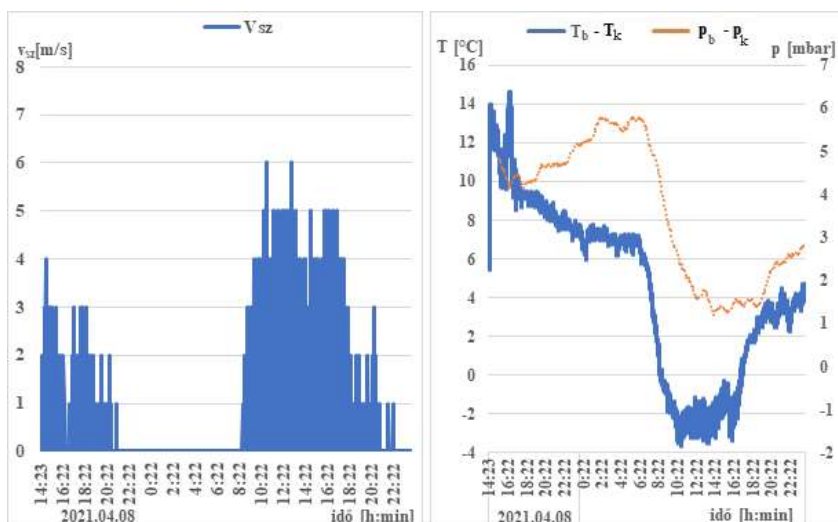
A TLR-alapú modell indentifikációja során standard TLR rutint alkalmaztam a mért adatok alapján a  $c_k$ ,  $c_{AT}$ ,  $c_v$ ,  $c_{k_b}$  és  $c$ , paraméterek meghatározására a (8) egyenletben. A standard TLR rutin (a legkisebb négyzetek módszerén alapuló) jól ismert és elérhető a legtöbb statisztikai és táblázatkezelő programban (SPSS, Excel stb.), ezért itt nem részletezem. Esetünkben a 14. táblázat mutatói fontosabbak és kifejezőbbek, különösen a fizikai alapú modellel való összehasonlítás szempontjából, mint egy a szakirodalomban már elfogadott modellel történő összehasonlításhoz. A 7. táblázat tartalmazza a hiba átlagát és az átlagos abszolút hibaértékek átlagát az eredményekben bemutatandó 1+2 napra (2021. április 5. és 2021. június 15-16.). Ezeknek a % értékeknek az átlaga a 2+4 mérési nap mindegyikére vonatkozóan, a TLR modell identifikálásra is bemutatja a 7. táblázat ( $h_t = 0,3\%$ ). A fizikai-alapú modell átlagos hiba %-os értéke a teljes identifikáció 2+4 napjára vonatkozóan szintén a 7. táblázatban szerepel ( $h_t = 11,0\%$ ).

A validálás során a már identifikált fizika-alapú és TLR-alapú modelleket a következőkkel alkalmazom a fennmaradó időszakban mért megfelelő bemeneteivel. Pontosabban, egy a TLR-alapú modell egyik bemenetét megváltoztatom az identifikáció bemeneteivel összehasonlítva, nevezetesen a modellezett értéket  $K_{b,mod}(t-\tau_2)$  és a  $K_b(t-\tau_2)$  értéket a TLR-alapú modellben (8) (nem pedig  $K_{b,mért}(t-\tau_2)$ ).

A modellezett napok 2021. április 1. és 2021. június 26. között vannak, ami összesen 31 mért napot jelent a validáláshoz a működésben bekövetkezett kisebb műszaki megszakítások miatt. A modellezett és a mért kimeneti széndioxid koncentrációt mindkét modell esetében összehasonlítottam és értékeltem. A 7. táblázat tartalmazza a hiba átlagát és az abszolút hibaértékek átlagát az értekezésben bemutatott két validálási napokon. Az abszolút hibaértékek átlagának számítása megegyezik az identifikációnál alkalmazott hiba érték számítással (%-ban). Ezeknek a % értékek 2021. április 01. és 2021. június 26. közötti teljes modellezett időszakra vonatkozóan is szerepel a 7. táblázatban.  $h_t = 12,4\%$  a fizikai alapú modell esetében és  $h_t = 9\%$  a TLR-alapú modell esetében.

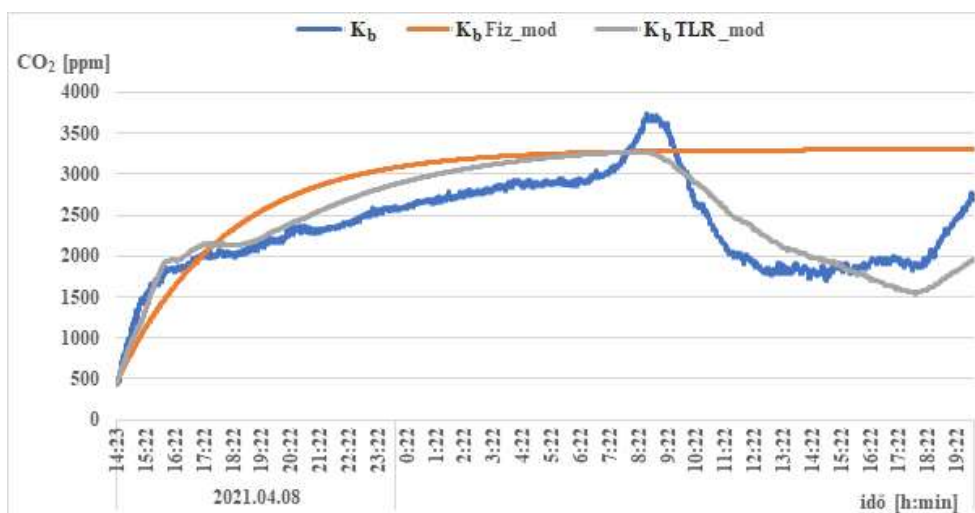
A 27. és 29. ábra a teljes konténer felületre ható szélnyomást/szélsebességet, valamint a környezeti hőmérséklet- és a belső hőmérséklet különbségét mutatja a belső- és külső mért légköri nyomással ugyanezen a napokon.



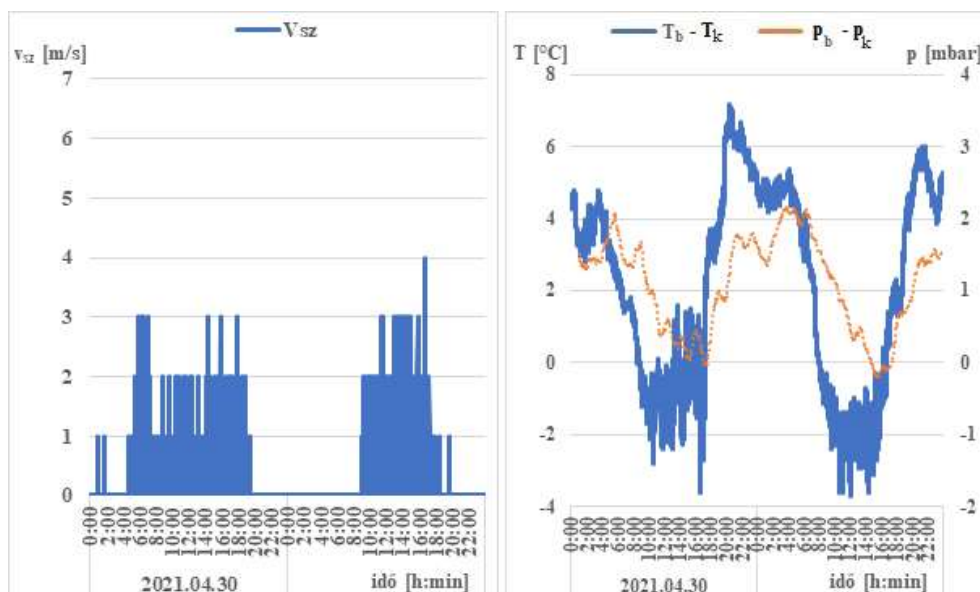


27. ábra, Környezeti hatások 2021, 04.08.- 09.

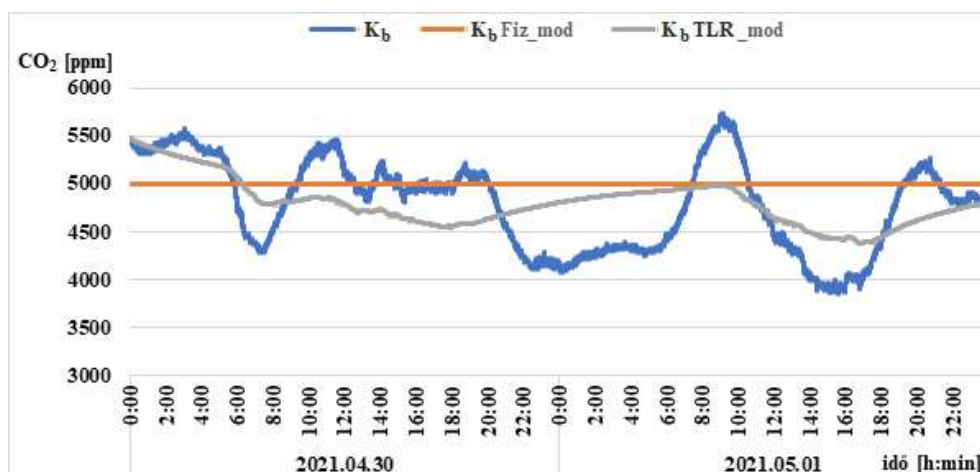
A 28. és 30. ábrák a modellezett és a mért kimeneti koncentrációt mutatja a két modell esetében egy a pontforrás megjelenése okán monoton növekvő (2021. április 08-09.) és egy elméletileg a belső pontforrásnak megfelelően beállt koncentráció, szeles (2021. április 30- május 01.) napra vonatkozóan.



28. ábra, Modellezett és mért belső koncentráció 2022 április 08-09.



29. ábra, Környezeti hatások 2021, 04.30 – 05.01.



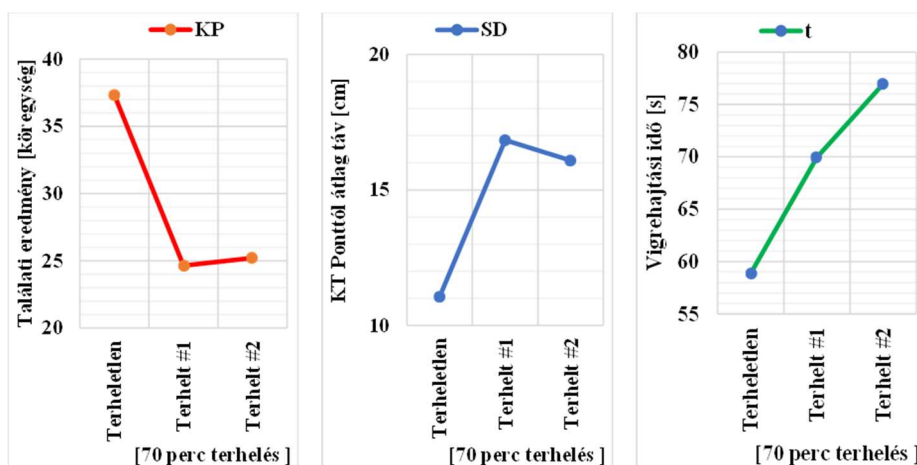
30. ábra, Modellezett és mért belső koncentráció 2022, 04.30. – 05.01.

Megállapítom, hogy a tábori elhelyezési konténer belső levegő minőség koncentrációja jól modellezhető a TLR-alapú modellel, illetve pontosabban, mint a fizikai alapú modellel. A validálás alapján az átlagos modellezési eltérés, mint hiba 10% alatt van ( $h_t = 9\%$ ) a TLR-alapú modellel, amely hiba a fizikai modell esetében  $h_t = 12,4\%$ . Megjegyzem, hogy a fizika alapú modell pontossága is megfelelő és összhangban van a korábbi szakirodalomban bemutatott értékekkel, ahol a konténer filtrációja konstans volt.

### 3.3 Belső levegő emelkedett CO<sub>2</sub> hatása a katonai képességre

A kísérleti szituációs lövészet során a katonai képesség teljesítményének mérésére regisztrált eredményeket az 5 lövés találati pontszáma [KP], a középső találati ponttól való átlagos távolság [SD] és a végrehajtáshoz szükséges idő [t] mérésével vizsgáltam.

A bemutatott eredmények alapján feltételezhető, ahogy az átlageredményeket bemutató grafikonon (31. sz. ábra) is szembeűnően szemlélteti, hogy a kísérletben végrehajtott szituációs lövészeti képesség hatékonysága csökken, amennyiben legalább 70 percig, CO<sub>2</sub>-val terhelt belső környezetből megindulva történik a feladat végrehajtása.

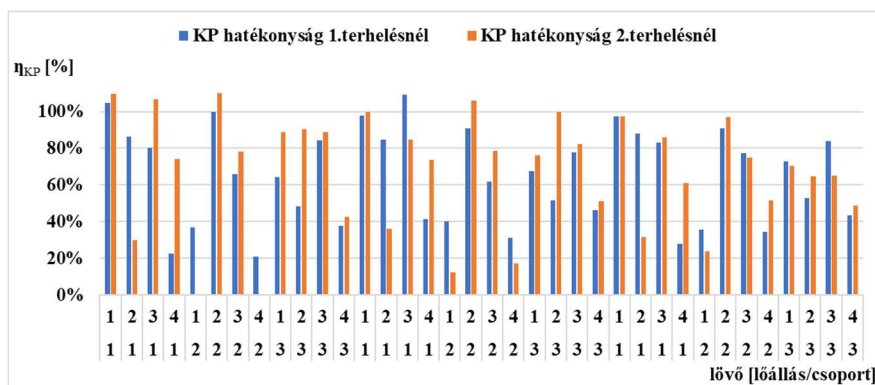


31. ábra, Kísérleti lövészet átlageredményei

A grafikonon jól látható, hogy a találati eredmény csökken, a lövedékek becsapódási szórása növekszik és a végrehajtási idő is határozott növekedést mutat, tehát a katona koncentráció készsége, pontossága, gyorsasága csökken, ezáltal alacsonyabb a harctéri teljesítőképessége. A következőkben egyes mutatók hatékonyságát külön-külön bemutatom.

#### 3.3.1 KP- találati pontszám

A 2.3.3 fejezetben bemutatott módszert alkalmazva (11) a találati pontszám hatékonyságát, illetve a CO<sub>2</sub>-val terhelt belső környezetből megindulva történő szituációs lövészetnek hatékonyságának változását, a terheletlen környezetből végrehajtott eredmények arányában, a 3 sorozatnak minden egyes résztvevőjére kimutatható az első terhelés lövészet-, illetve a második terheléses lövészet eredményeire, amelyek a 32. számú ábrán láthatóak.



32. ábra, KP hatékonyság kimutatása egyes harcosra vonatkozóan

A 32. számú ábrán bemutatott terheletlen- és 70 perc 3000 ppm feletti széndioxid koncentrációban eltöltött terhelés után végrehajtott lövészet eredményeinek összehasonlításához, két mintás t-próbát (16) hajtottam végre és ellenőriztem a kimutatott eltérés szignifikancia szintjét.

Elsőként a terheletlen és a 70 perc terhelés utáni löneredmények találati pontszám (KP) értékeket hasonlítottam össze. Egy csoport 4 lőállásban 3 váltással hajtotta végre a szituációs lövészetet, így 12 katona 5 lövés találati pontszámának átlagát számolva, 12 - 12 kiértékelendő KP, mint a leadott lövések száma terheletlen állapotban és 70 perc 3000 ppm feletti széndioxid koncentrációjú levegőben kapott terhelés után egyaránt. Az így kapott találati pontszám studenttáblázat szerinti 't' értékre:  $t_{KP}=3,257$

8. táblázat, t-próba szignifikancia szinthez tartozó kritikus értékhatárok

**Student-féle t-érték**

táblázat 'P' érték =	0,9995	0,995	0,99
$\alpha$ =	0,001	0,01	0,02
<b>Szignifikancia szint =</b>	<b>99,9%</b>	<b>99,0%</b>	<b>98,0%</b>

$$t_{\alpha} = \Phi_{n+m-2}^{-1} \left( 1 - \frac{\alpha}{2} \right) = \quad \mathbf{3,792} \quad \mathbf{2,819} \quad \mathbf{2,508}$$

Figyelemmel a 8. táblázatban látható, kritikus tartományon kívül eső találati pontszám t-értékre,  $2,819 < t_{KP} < 3,792$  a terheletlen és a 70 perc terhelés utáni löneredmények találati pontszám (KP) eltérése szignifikáns,  $p \leq 0,005$  szignifikancia szint mellett.

Elvégeztem a t-próbát az első- és második 70 perc terhelés után löneredmények eltéréseinek szignifikancia szintjének ellenőrzésére is. Az így megkapott érték  $t = -0,402$ , amelyre figyelemmel kijelenthető, hogy a két

találati eredmény eltérésének szignifikancia szintje mindössze 40 %, tehát az eredményekből nem lehet határozott következtetést levonni.

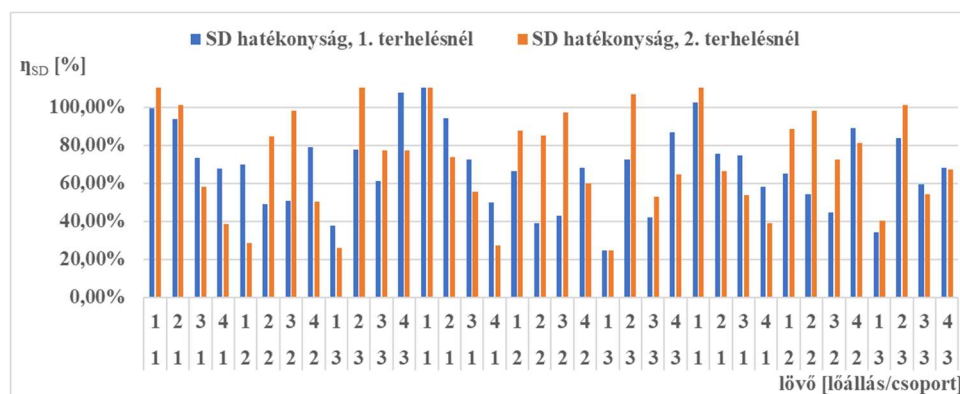
A terhelt és terheletlen szituációs lövészet KP eredményének értékelése alapján, mint katonai képesség egyik paraméterét átlagolva, a hatékonyságnak a teljes állományra vetített átlagolt érték kimutatását a 9. számú táblázat mutatja be, ami alapján megállapítható, hogy a találati pontosság a 2/3-ára esett vissza már az első 70 perc 3000 ppm szén-dioxid koncentráció feletti zárt térben tartózkodás után.

9. táblázat, Terhelt és terheletlen szituációs lövészet (KP) eredményének

Ssz	3000 ppm feletti CO <sub>2</sub> terhelés mennyisége	KP eredmény változás
1	0 perc – azaz Terheletlen	100%
2	1 x 70 perc terhelést után	65%
3	2 x 70 perc terhelés után	67,5%

### 3.3.2 SD- Középső találati ponttól való átlagos távolság

A 2.3.3 fejezetben bemutatott módszert alkalmazva (12) a középső találati ponttól való átlagos távolság, azaz a szórás alapján értékelhető hatékonyság, illetve a CO<sub>2</sub>-val terhelt belső környezetből megindulva történő szituációs lövészetnek hatékonyságának változását a terheletlen környezetből végrehajtott arányában hasonlóan, mint a találati pontszám esetében.



33. ábra, SD hatékonyság kimutatása egyes harcosra vonatkozóan

A 3 sorozatnak minden egyes harcosra kimutatható az első terhelés lövészet, illetve a második terhelés lövészet eredményei (33. sz. ábra). A 33. számú ábrán bemutatott terheletlen - és 70 perc 3000 ppm feletti szén-dioxid koncentrációban eltöltött terhelés után végrehajtott lövészet eredményeinek összehasonlításához, két mintás t-próbát (16) hajtottam végre és ellenőriztem

a kimutatott eltérés szignifikancia szintjét. A student féle táblázat szerint a 9. táblázatban bemutatott értékeket figyelembe véve a kritikus tartományon kívül eső szórás  $t$  - értéke,  $-2,819 > t_{SD} > -2,508$  igazolja, hogy a terheletlen és a 70 perc terhelés utáni lövéseredmények SD eredmény eltérése szignifikáns,  $p \leq 0,01$  szignifikancia szint mellett. A szórás studenttáblázat szerinti 't' értéke  $t_{SD} = -2,591$ .

Elvégeztem a t-próbát az első- és második 70 perc terhelés utáni lövéseredmények szórás szignifikancia szintjének ellenőrzésére is. Az így megkapott érték  $t = -0,553$ , amelyre figyelemmel kijelenthető, hogy a két szórás eltérésének szignifikancia szintje mindössze 50 %, tehát az eredmények eltéréséből nem lehet határozott következtetést levonni.

A terhelt és terheletlen szituációs lövészet SD eredményének értékelése alapján, mint katonai képesség egyik paraméterét átlagolva hasonlóan, mint a találati pontszám esetében tettem, a hatékonyságnak a teljes állományra vetített átlagolt értékét kimutattam a 10. számú táblázatban. Megállapítom, hogy a szórás több, mint a 3/4-ére esett vissza már az első 70 perc 3000 ppm szén-dioxid koncentráció feletti zárt térben tartózkodás után.

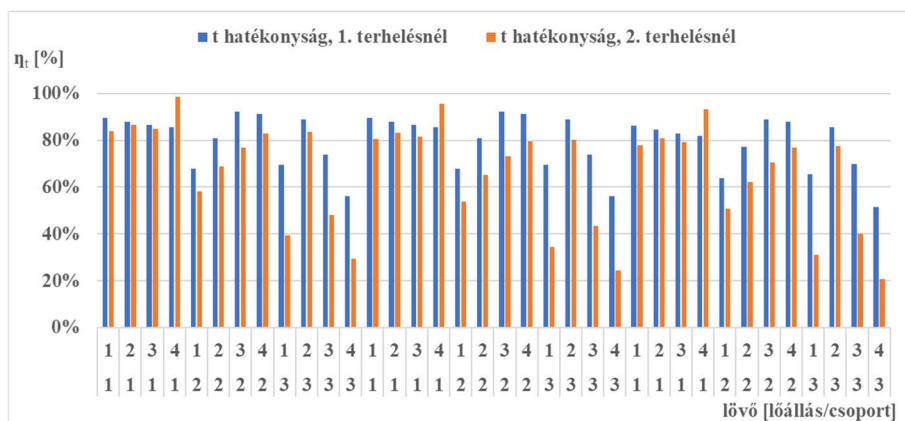
10. táblázat, Terhelt és terheletlen szituációs lövészet (SD) eredmények

Ssz	3000 ppm feletti CO <sub>2</sub> terhelés mennyisége	SD eredmény változás
1	0 perc – azaz Terheletlen	100%
2	1 x 70 perc terhelést után	70%
3	2 x 70 perc terhelés után	76%

### 3.3.3 t - végrehajtási idő

A 2.3.3 fejezetben bemutatott módszert alkalmazva (13) a végrehajtási idő hatékonyságát, illetve a CO<sub>2</sub>-vel terhelt belső környezetből megindulva történő szituációs lövészet hatékonyság változását a terheletlen környezetből végrehajtott arányában, a 3 sorozatnak minden egyes végrehajtóra kimutatható az első terheléses lövészet-, illetve a második terheléses lövészet eredményeire vonatkozóan (34. sz. ábra).

A 34. számú ábrán bemutatott terheletlen - és 70 perc 3000 ppm feletti szén-dioxid koncentrációban eltöltött terhelés után végrehajtott lövészet eredményeinek összehasonlításához, két mintás t-próbát (16) hajtottam végre és ellenőriztem a kimutatott eltérés szignifikancia szintjét



34. ábra, (t) hatékonyság kimutatása egyes harcosra vonatkozóan

A kritikus tartományon (9. táblázat szerint) kívül eső végrehajtási idő  $t$ -értéke ( $t_t = -3,245$ ),  $-2,819 > t_t > -3,792$ , igazolja, hogy a terheletlen és a 70 perc terhelés utáni lövészet végrehajtási idő eredmény ( $t$ ) eltérése szignifikáns,  $p \leq 0,005$  szignifikancia szint mellett.

Elvégeztem a  $t$ -próbát az első- és második 70 perc terhelés utáni lövészet végrehajtási idő szignifikancia szintjének ellenőrzésére is. Az így megkapott érték  $t = -2,105$ , amelyre figyelemmel kijelenthető, hogy a 70 perc- és a 2x70 perc terhelés utáni löveredmények ( $t$ ) idő eredmény eltérése is szignifikáns,  $p \leq 0,025$  szignifikancia szint mellett.

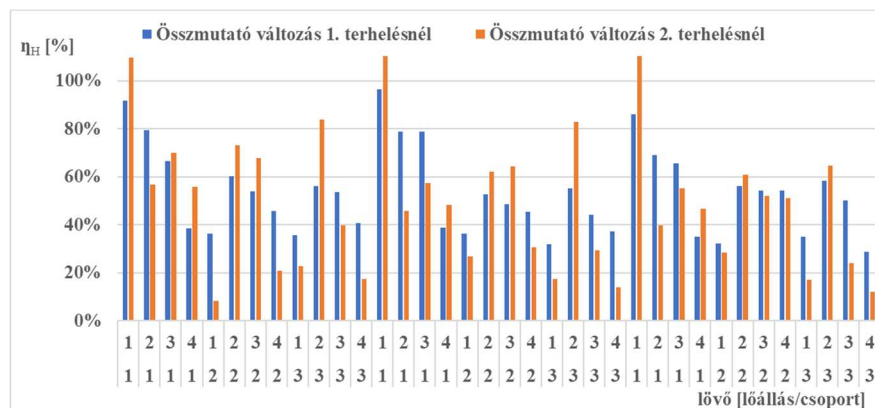
A szituációs lövészet végrehajtási idő eredményének ( $t$ ) értékelése alapján, kimutattam (11. táblázatban), hogy a szituációs lövészet megoldásához szükséges idő átlagosan az 1/5-ével emelkedett már az első 70 perc- és 1/3-val a második 70 perc 3000 ppm szén-dioxid koncentráció feletti zárt térben tartózkodás után.

Ssz	3000 ppm feletti CO <sub>2</sub> terhelés mennyisége	t eredmény változás
1	0 perc – azaz Terheletlen	100%
2	1x70 perc terhelést után	80%
3	2x70 perc terhelés után	67%

### 3.3.4 Hatékonysági mutató

Az anyag és módszer fejezetben bemutatott számítási módszert (17) alkalmazva a CO<sub>2</sub>-val terhelt belső környezetből megindulva történő szituációs lövészetnek hatékonyságának változását, a 3 kísérleti sorozatnak

minden egyes harcosára kimutatható az első terhelés lövészet- és a második terhelés lövészet eredményeire vonatkozóan is. (35. sz. ábra).



35. ábra, Harctéri képesség hatékonyság változása

A szituációs lövészet végrehajtásával rögzített eredményének alapján felmértem a harctéri képesség mutatóját, átlagolva a hatékonysági eredményt (17) kimutattam (12. számú táblázat), hogy a meghatározott szituáció megoldásához a katonák lövészet- és a felére csökkent már az első 70 perc 3000 ppm szén-dioxid koncentráció feletti zárt térben tartózkodás után. A második 70 perc 3000 ppm szén-dioxid koncentráció feletti zárt térben tartózkodás után a hatékonyság csökkenése tovább fokozódott.

12. táblázat, Terhelt és terheletlen szituációs lövészet hatékonysága (ηH).

Ssz	3000 ppm feletti CO <sub>2</sub> terhelés mennyisége	η <sub>H</sub> eredmény változás
1	0 perc – azaz Terheletlen	100%
2	1x70 perc terhelést után	54%
3	2x70 perc terhelés után	49%

A szituációs lövészet végrehajtásával vizsgáltam a szén-dioxid koncentráció hatását katonákra. Megállapítottam, hogy hasonló kutatásokkal megegyezően 3000 ppm koncentráció felett jelentősen romlik a katonák teljesítőképessége. Azonban új eredmény, hogy az irodai dolgozókkal ellentétben, a katonai képességre gyakorolt, nagy mértékű romlása hatás nem 3x70 perc után következik be, hanem már az első 70 perc terhelés után.

70 perc terhelés után a katonai képességnek hatékonysága a bemutatott értékelés alapján közel a felére csökkent. A 2 x 70 perc terhelést követően a teljesítmény csökkenés tovább már nem volt kiugróan kimutatható. Az első terhelés utáni eredményeknek függvényében értékelve a második terhelést követő feladatvégrehajtás hatékonysága már csak 10%-kal romlott.



## 4 KÖVETKEZTETÉSEK ÉS A JAVASLATOK

Kétségtelen, hogy fontos a gyakorlatiasabb és / vagy pontosabb matematikai modellek kidolgozása a beltéri hőmérséklet, vagy légszennyező koncentráció leírására az épületek belső levegő minőségének meghatározására, mivel ez a létesítmények belső terének legfontosabb változója, amely meghatározza az emberi komfortérzetet. Az értekezésemben egyrészt felmértem az egyéni katona szubjektív hőérzetét, valamint emelkedett szén-dioxid koncentráció hatását továbbá, egy új, könnyen használható, fekete doboz típusú modellt dolgoztam ki, amely alacsony számításigényű egyrészt az emberi tartózkodásra használt ISO 20' konténerek beltéri hőmérsékletének, másrészt szén-dioxid koncentráció várható kialakulásának meghatározására.

### 4.1 Hőkomfort mérés

A szubjektív hőérzethez köthető belső hőmérsékleti követelményeket szabványok rögzítik, ahogy a szakirodalmi áttekintésben is bemutattam, az ún. kellemes hőérzet az a tudati állapot, amely a termikus környezettel kapcsolatos elégedettséget fejezi ki. Ha az egyén egy adott tevékenység mellett úgy tudja leadni a hőt a környezetének, hogy kialakul a 36-37 °C maghőmérséklet, és a bőrhőmérséklet is megfelelő értéken marad, akkor a környezetét kellemesnek értékeli hőérzeti szempontból. Hőérzeti számítások és hőegyensúlyi számításokat több vizsgált állapotra is el lehet végezni. Korábbi kutatások az egyéni termikus komfortot vizsgálták, később a beltéri hőmérséklet előrejelzésére nemlineáris autoregresszív hálózati modellt dolgoztak ki. Jelenlegi szabvány szerint a különböző rendeltetésű épületek, illetve terek tervezési alapértékeiben, lakó-, illetve irodaépületekre, téli tervezési alapértéknek  $22 \pm 1$  °C belső hőmérséklet van jelölve.

A tábori létesítmények fűtése, az ISO 20' konténer felszerelt elektromos konvekciós fűtőtesttel történik, így az előírt belső hőmérséklet méretezése - konvekciós fűtések esetében - a belső levegő hőmérsékletére végzendő. Ezért a kutatómunkám célja, hogy a katona, mint egyénnek az ISO 20' konténerben kialakított pihenő körletében a szubjektív hőérzethez beállított levegő hőmérséklet átlag értékét mérjem meg, fűtési időszakban.

A valós tábori körülmények között végzett méréseim alapján, a tábor pihenő körleteiben a katonák szubjektív hőérzetéhez beállított belső hőmérséklet átlagosan 24,5 °C volt. Az adatokat több, teljes fűtési időszakban összességében egy század állományára (90-120 fő) vizsgáltam. A mért adatokat több időszakban – fűtési időszak elején, fűtési időszak leghidegebb

hónapjában és a fűtési időszak végén – vizsgálva megállapítom, hogy az átlagosan beállított 24,5 °C belső hőmérséklet permanensen jelent meg a pihenőkonténerekben.

A déli határszélen telepített 160 fős határvédelmi bázis(ok) fűtési hőszükséglet ellenőrző számítását az üzemeltetésre történő átvételkor (2017-ben) elvégeztem, ami szerint a fűtési teljesítményt, konténerenként 911 W fűtési hőszükségletnek határoztam meg. A jelenlegi szabványok ideiglenes létesítményt nem különböztetnek meg, ezért a fűtési hőmérsékleti méretezést az épített környezetre rendelkezésre álló tervezési alapértékre figyelemmel  $22 \pm 1$  °C minimum hőmérsékletére végeztem, aminek megfelelően a teljes létesítmény külső transzmissziós hőveszteségét 24,5 kW, filtrációs hőveszteségét 25,8 kW értékben határoztam meg.

Az értekezésemben bemutatott szubjektív hőérzethez beállított levegő hőmérséklet értékre figyelemmel felismertem azt a tényt, hogy a korábbi tervezési számításom hibás volt. 24,5 °C belső hőmérséklet tervezési adatok szerint újra számolva a külső transzmissziós hőveszteség 27 kW, a filtrációs hővesztesége a létesítménynek 29,7 kW. Így a konténerekben 1031 W fűtési hőteljesítményt nyújtó berendezés elhelyezése szükséges.

Az elmúlt időszakban az energiapiac jelentős változásával a pontosabb energiaigény számítás kiemelt figyelembe került. A két számított fűtési hőteljesítmény eredmény 13,2 %-kal tér el egymástól, ami a műszaki mérnöki gyakorlatban már releváns eltérés, ezért általános mérnöki gyakorlatban kiemelt jelentőségűnek tartom, hogy a különböző létesítmények tervezési alapadatai folyamatosan megfigyelt és pontosított legyen.

#### **4.2 Tábori létesítmény belső hőmérséklet modellezés**

A szakirodalomban bemutatott épület energetikai modellezésekkel ellentétben a tanulmányomban javasolt TLR-alapú modell a beltéri hőmérsékletet egy adott modellezett időpontban a környezeti hőmérséklet, valamint a napsugárzás és a szélesebbesség függvényében – és az előző időpontnak megfelelő modellezett beltéri hőmérsékletet, mint bizonyos kezdeti feltételt – jósolja meg. A modell időben részletes, azaz félpercenként (nem csak naponta vagy több óránként), előre megadja a kimeneti értéket.

Az ISO 20' konténer – mint táborépítő egységépület – belső hőmérséklet modellezését bemutató eredmények alapján megállapítom, hogy az ISO 20' konténer belső hőmérséklete pontosan leírható a TLR-alapú modellel, és sokkal pontosabban, mint a széles körben használt fizikai alapú modellel. A

validálás szerint a TLR-alapú modell 7,1%, a fizikai alapú modell modellezési hibája 14,8%. Ezért a TLR-alapú modell pontossága nagyon jónak tekinthető az általános mérnöki célokat tekintve, azaz alkalmas a beltéri hőmérséklet változásának tanulmányozása és előrejelzése céljából a katonai tábori elhelyezési konténerekben. Ez az előrejelzés – más alkalmazások mellett – szolgálhat a szükséges fűtési/hűtési teljesítmény hozzávetőleges becslésére, hogy fenntartsuk a konténer belsejében a kellemes hőmérsékletet.

A validáláshoz meghatároztam a korrelációs együttható  $R^2$  értékét is, amely a modellezett és a mért eredmények közötti különbséget jellemzi, amely 0,9738 a fizikai alapú modell validálásához, és 0,9885 a TLR alapú modell validálásához. Ezek az értékek megerősítik, hogy a TLR-alapú modell nagyobb pontossággal rendelkezik, mint a fizikai alapú modell.

A TLR-alapú modell (relatív) modellezési hibája 7,1% a teljes validálás időszakára számolva. Mivel a napi maximális és minimális mért beltéri hőmérséklet közötti különbség legnagyobb regisztrált értéke 13,5 °C a validálás során (2021. május 9-én), ez legfeljebb  $13,5 * 0,07 = 0,9$  °C (átlagos) abszolút hibát jelent bármelyik napra. Az átlagos érték (a validálás összes napjára vonatkozóan) sokkal jobb, körülbelül 0,5 °C. Ez elfogadható pontosság az olyan általános mérnöki célokhoz, mint a beltéri hőmérséklet (előzetes) előrejelzése vagy kalkulált szinten tartása, hiszen egy fűtési rendszert vezérlő termosztát is hasonló tartományban dolgozik.

A beltéri hőmérsékletre vonatkozó egyszerű lineáris, explicit összefüggések miatt a TLR-alapú modellnek nagyon alacsony a berendezési/eszköz igénye. Ennek megfelelően csak a legalapvetőbb számítástechnikai eszközökre van szükség (például Excel vagy hasonló szoftver), ami nagy előny a gyakorlatban.

A TLR-alapú modell gyors és olcsó előrejelzésre használható a katonai táborok, vagy más ISO 20' konténerrel tervezetten telepítendő létesítmények belső hőkomfortra vonatkozóan. Előzetesen megvizsgálható, hogy egy tervezett tábor ISO 20' konténer(ek) felhasználásával telepítendő létesítményben, adott földrajzi környezetben, szükséges-e javítani egy konténer hőkomfort fokozatát, avagy sem (költséges berendezésekkel), még mielőtt a tábor fizikai telepítése megkezdődne. Ez egy nagyon hasznos lehetőség a gyakorlat számára.

A javasolt TLR-alapú modell alapvető környezeti paramétereket használ a belső hőmérséklet előrejelzésére, ami illeszkedik a katonai felderítési – katonai meteorológia – adatokhoz, ami a katonai táborok tervezéséhez a

használhatóságot megkönnyíti, esetleg kifejezetten egy erre vonatkozó tervezési modulba illeszthető.

A TLR modell 7,1 % modellezési hibája kizárólag az ISO szabvány szerint összeállított konténer épültre érvényes. Mint Black-boksz modell a külső környezeti hatások empirikus kapcsolatával modellezi a konténer belső hőmérsékletét anélkül, hogy az építmény paramétereit, szerkezetinek jellemzőit a modell bemeneti oldalán megadtam volna. Szükséges minden relevánsan eltérő tulajdonságú, illetve szerkezetű táborépítő anyagra vonatkozóan a vizsgálatot elvégezni.

Az M63 mintájú sátor, mint táborépítő szakanyaggal felállított körlet belső hőmérséklet modellezését bemutató eredmények alapján megállapítható, hogy az M63 mintájú sátor belső hőmérséklete is pontosan leírható a TLR-alapú modellel. Az előzetes feltételezésem igazolta a validálás is, miszerint a TLR-alapú modell modellezési hibája 7,8%, ami rosszabb értéket mutat, mint az ISO 20' konténer esetében kimutatott 7,1 %, viszont még mindig jobb, mint az előző összehasonlításban kimutatott 14,8% hiba a fizikai alapú modell esetében. Ezért a TLR-alapú modell pontossága az M63 mintájú sátor esetében is nagyon jónak tekinthető az általános mérnöki célokat tekintve, azaz alkalmas a katonai tábori elhelyezési egységsátrakban a beltéri hőmérséklet változásának tanulmányozása és előrejelzése céljára.

#### **4.3 BLM emelkedett CO<sub>2</sub> koncentráció hatásának mérése**

A belső zárt térben a jó minőségű friss levegő 1000 ppm CO<sub>2</sub> koncentráció határértékkel jelölt, illetve a magyar- és nemzetközi szabványok által megengedett maximális 5000 ppm CO<sub>2</sub> határérték a zárt komfortterekben. Bemutattam továbbá HERCZEG (2008) munkáját, amely az irodatermek belső levegő minőségének értékelésével foglalkozik és amelyben megállapítja, hogy 2x70 perc 3000 ppm szén-dioxid koncentráció feletti zárt térben tartózkodás után az egészséges, fiatal emberek közérzete, illetve 3x70 perc 3000 ppm szén-dioxid koncentráció feletti zárt térben tartózkodás után kezd el jelentősen csökkenni szellemi munkájuk teljesítménye és minősége.

A kutatási munkámban rögzített eredmények kiértékelésével megállapítom, hogy a szakirodalomban elérhető kutatásokkal megegyezően 3000 ppm koncentráció felett jelentősen romlik a katonák teljesítőképessége is. Azonban új eredményként azonosítom, hogy az irodai dolgozókkal ellentétben, a katonai képességre gyakorolt hatás releváns, nagy mértékű romlása nem 3x70 perc után következik be, hanem már az első 70 perc terhelés után, mert ekkor a katonai szituációs lövészeti képesség hatékonysága az értékelési rendszerünk szerint közel felére csökkent. A

második 70 perc terhelést követően azonban a teljesítmény csökkenés tovább már nem volt kiugróan magas mértékű, mert a második 70 perc terheléssel további 5% hatékonyság romlását tudunk kimutatni, ami a végrehajtási idő romlásával következett be.

Figyelemmel előzetes mérési eredményeimre, miszerint ISO 20' konténerben a CO<sub>2</sub> koncentráció másfél óra után elérheti és meghaladhatja a 3000 ppm szintet minden olyan katonai létesítményben kiemelt figyelemmel kell friss levegőellátásról gondoskodni, ami 3 órát (felfutási idő + 70 perc terhelés) elérő-, vagy meghaladó a katonák benttartózkodása. Ilyen például az ISO 20' pihenő konténer, ahol átlagosan, műveleti területen 6 óra alvási időt tölt el az állomány.

A kutatási munka eredménye és tematikája felhasználható és kiterjeszthető különleges műveleti kiképzésre is. Nem feltétlenül csak ISO 20' konténer lehet olyan belső tér, ahol 3-4 fő összezártan várakozik viszonylag kis térben. A kutatási munkám során például felmerült a járművek belső tere, illetve mesterlövész feladat is, amelyek vonatkozásában kiterjeszthető a kutatómunkámban bemutatott módszer az emelkedett CO<sub>2</sub> koncentráció hatásának mérése.

#### **4.4 Tábori létesítmény BLM, CO<sub>2</sub> koncentráció modellezés**

ISO 20' konténer telepítésével kialakított katonai tábor pihenő körleteiben a bent tartózkodók légzése folytán kialakult CO<sub>2</sub> koncentrációt a környezeti paraméterek (nyomáskülönbség, szélesség) nagymértékben befolyásolják. Jelenleg nem állnak rendelkezésre általános érvényű matematikai modellek, amelyek az ISO 20' konténer mérete, a konténerre jellemző filtráció, a külső befolyásoló paraméterek és a belső térben tartózkodók légzésintenzitásából származó pontforrás alapján megbízható becslést adnának a légtér állapotát illetően.

Kutató munkámban egy új black-box modellt javasoltam és validáltam, hogy betöltssem az ilyen TLR-alapú modellek kutatási hiányosságait, amelyek közvetlen empirikus kapcsolatokat képviselnek a létesítmény bemeneti és kimeneti változói között.

A javasolt TLR-alapú modell valószínűleg a lehető legegyszerűbb fekete doboz típusú modell, amely nagyon jó pontossággal, az eredmények részben bemutatottak szerint átlagosan 10%-nál jobb eltérési (relatív) hiba aránya rendelkezik.

A különböző környezeti- és belső hőmérséklet viszonyal, valamint szélereősséggel jellemezhető időszakos működésből kiválasztott 4+2 különböző nap elegendőnek bizonyult az identifikáció során ahhoz, hogy pontos TLR-alapú modellt kapjak egy kiválasztott évszakra. (Ha a modellt az egész évre szeretnénk alkalmazni, az identifikáció a pontosság kedvéért könnyen elvégezhető minden egyes évszakra külön-külön is). Az eredmények alátámasztják a fizika alapú modell megfelelő pontosságát, abban az esetben, ha a belső tér filtrációja állandó, ezekre az esetekre a szakirodalomban már a kutatási eredmények elfogadtak és sikeresen alkalmazottak. A fizikai és TLR modellt összehasonlítottam. A kísérletek azt mutatták, hogy a TLR-alapú modell 25%-kal kisebb hibával jelzi előre a tábori ISO konténer belső levegő CO<sub>2</sub> koncentrációját, mint a fizikailag alapú modell. A javasolt TLR-alapú modell az eredményekben leírt eljárás alapján könnyen identifikálható bármely adott tábori elhelyezési konténerépületre, így a modell általános, könnyen alkalmazható bármely tábori létesítményre az anyag- és módszerben leírt bemeneti és kimeneti változók azonosításával.

Ahogy az előzőekben is ismertettem, a javasolt TLR-alapú modellnek nagyon alacsony a berendezési/eszköz igénye. Ennek megfelelően csak a legalapvetőbb számítástechnikai eszközökre van szükség (például Excel vagy hasonló szoftver), ami nagy előny a gyakorlatban. Ugyanakkor gyors és olcsó előrejelzésre használható a katonai táborok, vagy más ISO 20' konténerrel tervezetten telepítendő létesítmények belső levegő CO<sub>2</sub> koncentráció változás előzetes vizsgálatához mint például, hogy egy tervezett tábor ISO 20' konténer(ek) felhasználásával telepítendő létesítményben, adott földrajzi környezetben, szükséges-e javítani egy konténer légellátását, avagy sem (költséges berendezésekkel), még mielőtt a tábor fizikai telepítése megkezdődne. Ez egy nagyon hasznos lehetőség a gyakorlat számára.

További jövőbeli kutatások foglalkozhatnak a TLR-alapú modell finomításával egy nap több működési esetre való felosztásával és/vagy a modell több osztályozott nap alapján történő identifikációval.

A TLR modell nem csak a komfortterekre, hanem technikai területekre is alkalmazható. Más kutatások foglalkozhatnak zöldség- és gyümölcstárolók belső légállapotának modellezésével, akár ötvözve a csomagolóanyagokkal és szubszuperkritikus CO<sub>2</sub>-feldolgozással foglalkozó kutatásokat, amely tervezhetővé tenné az élelmiszerbeszerzést, biztonságosabbá tenné az élelmiszerellátást.

## 5 ÚJ TUDOMÁNYOS EREDMÉNYEK

1. *Megállapítom, hogy katonai célra alkalmazott, 20' ISO konténerrel kialakított tábori körülmények elhelyezési körleteiben, Magyarországi földrajzi környezetben, fűtési időszakban az elvárt belső hőmérséklet – egyben javasolt méretezési belsőhőmérséklet – magasabb  $T_b = 24,5 \pm 1 \text{ }^\circ\text{C}$ , mint az épített lakóépületekben, ami  $22 \pm 1 \text{ }^\circ\text{C}$ .*

Méréseim szerint a 4 határmenti bázison kétéves folyamatos monitorozás alapján jellemzően 25-55 év közötti férfiak esetében a szubjektívan, egyéni hőérzethez beállított magasabb belső hőmérséklet volt tapasztalható.

A mért eredmények alapján, a tábor pihenő körletekben a katonák szubjektív hőérzetéhez beállított belső hőmérséklet átlagosan  $24,5 \text{ }^\circ\text{C}$  volt. Az adatokat több, a teljes fűtési időszakban, összességében egy század állomány szubjektív hőérzeti beállítással (90-120 fő) vizsgáltam. A mért adatokat a fűtési időszak egészére vizsgálva, valamint több részére is bontva – fűtési időszak elején, fűtési időszak leghidegebb hónapjában és a fűtési időszak végén – külön-külön is értékelve megállapítom, hogy a beállított  $24,5 \pm 1 \text{ }^\circ\text{C}$  belső hőmérséklet nem csak egy átlagos érték az ISO 20' konténerekből épített tábori pihenőkoténerekben, hanem elő- és utófűtési szezonban külön-külön mérve és értékleve is általánosan a  $24,5 \pm 1 \text{ }^\circ\text{C}$  belső hőmérséklet volt kimutatható.

A magasabb elvárt hőmérséklet oka a ISO szabvány szerinti kialakítás alapvető tulajdonságából ered. A pihenő körlet fizikai mérete és ezáltal elérhető - 6 cm-es - hőszigetelés vastagsága, valamint a körletet határoló lehűlő felületek közelsége diszkomfort érzetet kelt, ami hideg időben a magasabb belső levegő hőmérséklet beállítást eredményezi.

2. *Megállapítom, hogy a tábori konténer belső hőmérséklet változását, a külső környezeti paraméterek (hőmérséklet, szélsébség és napsugárzás) függvényében egy TLR alapú modell kisebb,  $h_t = 7.1\%$  méréstartományra vonatkoztatott relatív hibával írja le, szemben egy fizikai alapú modellel, ahol  $h_t = 14.5\%$ . A vizsgált időszakban, külső paraméterek, hőmérséklet  $0-35 \text{ }^\circ\text{C}$ , sugárzási intenzitás  $0-1000 \text{ W/m}^2$ , valamint szélsébség  $0-7 \text{ m/s}$  intervallumban vizsgálva.*

A javasolt 'Black-box' modell a külső környezeti hatások empirikus kapcsolatával modellezi a konténer belső hőmérsékletét anélkül, hogy az építmény paramétereit, szerkezetinek jellemzőit a modell bemeneti oldalán megadtam volna. Egyszerű lineáris, explicit összefüggések miatt a TLR-alapú modellnek nagyon alacsony a berendezési/eszköz igénye. Ennek megfelelően csak a legalapvetőbb számítástechnikai eszközökre van szükség (például Excel vagy hasonló szoftver), ami nagy előny a gyakorlatban. Gyors és olcsó előrejelzésre használható az ISO 20' konténerrel tervezetten telepítendő létesítmények belső hőkomfortra vonatkozóan így előzetesen megvizsgálható, hogy egy tervezett tábor létesítményben, adott földrajzi környezetben, szükséges-e javítani egy ISO 20' konténer hőkomfort fokozatát, avagy sem (költséges berendezésekkel), még mielőtt a tábor fizikai telepítése megkezdődne. A kutatási munkában bemutatott és javasolt TLR-alapú modell paraméterértékei a 13. táblázatban találhatók.

13. táblázat, ISO 20' konténer belső hőmérséklet modell paraméterértéke

$c_{I,A1}$ , m <sup>2</sup> K/W	0.000153	$c_{v,B}$ , Km/s	-0.000429
$c_{k,A1}$ , -	0.001046	$c_{b,B}$ , -	0.998349
$c_{v,A1}$ , Km/s	0.000983	$c_{I,A2}$ , m <sup>2</sup> K/W	0.014592
$c_{b,A1}$ , -	0.999045	$c_{k,A2}$ , -	0.00178
$c_{I,B}$ , m <sup>2</sup> K/W	0.000007	$c_{v,A2}$ , Km/s	0.000076
$c_{k,B}$ , -	0.001804	$c_{b,A2}$ , -	0.998158

3. *Megállapítom, hogy a tábori M63 mintájú sátor belső hőmérséklet változását, a külső környezeti paraméterek (hőmérséklet, szélesség és napsugárzás) függvényében a TLR alapú modell  $h_t = 7.8\%$  méréstartományra vonatkoztatott relatív hibával írja le. A vizsgált időszakban, külső paraméterek, hőmérséklet 0 - 35 °C, sugárzási intenzitás 0 - 1000 W/m<sup>2</sup>, valamint szélesség 0-7 m/s intervallumban vizsgálva.*

Az M63 mintájú sátor, mint táborépítő szakanyag szintén fontos a Magyar Honvédség kitelepüléseihez felállítandó ideiglenes létesítmények kialakításában. Gyorsan telepíthető, könnyen szállítható, ezért kifejezetten rövid idejű kitelepülésekkor kedvezőbb alkalmazni, mint az ISO 20' konténereket. Könnyű belátni, hogy a sátor anyaga nagyban eltér egy ISO 20' konténer szerkezeti anyagától, ezért épületfizikai jellemzői is nagyban különböznek.



Tehát nem volt triviális feltételezés, hogy az ISO 20' konténer belső hőmérséklet modellezésére javasolt TLR modell megfelelően alkalmas az M63 mintájú sátor belső hőmérséklet modellezésére is. Azonban a bemutatott eredmények alapján megállapítható, hogy az M63 mintájú sátor belső hőmérséklete is pontosan leírható a TLR-alapú modellel. Feltételezéseimnek megfelelően, ahogy a validálás eredményei is igazolják, a javasolt TLR-alapú modell modellezési hibája rosszabb értéket mutat, mint az ISO 20' konténer esetében kimutatott  $h_t = 7,1 \%$ , viszont még mindig jobb, mint az előző összehasonlításban kimutatott 14,8% hiba a fizikai alapú modell esetében. Ezért a TLR-alapú modell pontossága az M63 mintájú sátor esetében is nagyon jónak tekinthető. A kutatási munkában bemutatott és javasolt TLR-alapú modell paraméter értékei a 14. táblázatban találhatóak.

14. táblázat, Az M63 mintájú sátor hőmérséklet modell paraméterértékei

$c_{I,A1}, \text{ m}^2\text{K/W}$	0,000622	$c_{v,B}, \text{ Km/s}$	-0,001815
$c_{k,A1}, -$	0,005992	$c_{b,B}, -$	0,998772
$c_{v,A1}, \text{ Km/s}$	-0,013343	$c_{I,A2}, \text{ m}^2\text{K/W}$	0,103399
$c_{b,A1}, -$	0,996645	$c_{k,A2}, -$	0,017401
$c_{I,B}, \text{ m}^2\text{K/W}$	0,000038	$c_{v,A2}, \text{ Km/s}$	-0,001037
$c_{k,B}, -$	0,000925	$c_{b,A2}, -$	0,987627

4. *Megállapítom, hogy 70 perc 3000 ppm CO<sub>2</sub> feletti belső levegő koncentráció terhelés után a katonai képesség szituációs lövészeti hatékonyságának találati pontszám eredménye csökkent és a végrehajtási idő megnőtt szignifikánsan,  $p \leq 0,005$  szignifikancia szint mellett. Méréseinket 20- és 60 éves közötti vizsgált személyek életkorával, háromszoros ismétlés mellett végeztem el.*

A kutatási munkában rögzített eredmények kiértékelésével megállapítom, hogy a szakirodalomban elérhető kutatásokkal megegyezően 3000 ppm koncentráció felett jelentősen romlik a katonák teljesítőképessége is. Azonban új eredményként azonosítható, hogy az irodai dolgozókkal ellentétben, a katonai képességre gyakorolt hatás okán bekövetkezendő nagy mértékű romlás nem 3x70 perc után következik be, hanem már az első 70 perc terhelés után.

A második 70 perc terhelést követően azonban a teljesítmény csökkenés tovább már nem volt szignifikánsan kimutatható a találati

pont és a találatok szórása tekintetében (40% szignifikancia szint), viszont a végrehajtási idő 70 perc- és 2x70 perc terhelés után rögzített eredmények eltérése is szignifikáns volt,  $p \leq 0,025$  szignifikancia szint (95%) mellett.

5. *Megállapítom, hogy a tábori konténer belső terhelésből adódó CO<sub>2</sub> koncentráció változását, a külső környezeti paraméterek (hőmérséklet, szélesség), valamint belső hőmérséklet és pontforrás függvényében egy – a filtráció változását is figyelembe vevő – TLR alapú modell  $h_t = 9$  %-os méréstartományra vonatkoztatott relatív hibával írja le. A vizsgált időszakban 430-5730 ppm közötti szén-dioxid koncentráció, 0-35°C külsőhőmérséklet tartományban és 0-7 m/s szélesség paraméterek intervallumában volt vizsgálva.*

Kutatási munkámban egy új black-box modellt javasoltam és validáltam, hogy betöltsen a TLR-alapú modellek kutatási hiányosságait, amelyek közvetlen empirikus kapcsolatokat képviselnek a létesítmény bemenetén lévő külső környezeti paraméterek és a kimenetén lévő változó, belső levegő szén-dioxid koncentráció között. A javasolt TLR-alapú modell valószínűleg a lehető legegyszerűbb fekete doboz típusú modell, amely a bemutatott eredmények alapján nagyon jó pontossággal (90%-nál jobb) rendelkezik. Egyszerű lineáris, explicit összefüggések miatt nagyon alacsony a berendezési/eszköz igénye. Ennek megfelelően csak a legalapvetőbb számítástechnikai eszközökre van szükség (például Excel vagy hasonló szoftver), így az eredményekben leírt eljárás alapján könnyen identifikálható bármely adott tábori elhelyezési konténerépületre, akár alkalmazva a zöldség-gyümölcs tárolásra vonatkozó kutatásokkal, aminek megfelelően nem csak az emberi komforttér válna tervezhetőbbé, hanem biztonságosabbá tenné a katonai tábor élelmiszerellátását is. A kutatási munkában javasolt TLR-alapú modell paraméter értékei a 15. táblázatban találhatóak.

15. táblázat, CO<sub>2</sub> koncentráció modell paraméterértékei

$C_{KA1}$ , -	0,99659	$C_{KA2}$ , -	0,99847
$C_{\Delta T,A1}$ , ppm/°C	-0,80482	$C_{\Delta T,A2}$ , ppm/°C	-0,03351
$C_{V,A1}$ , ppm s/m	-2,42805	$C_{V,A2}$ , ppm s/m	-1,91863
$C_{Kb,A1}$ , -	0,00445	$C_{Kb,A2}$ , -	0,00142

## 6 ÖSSZEFOGLALÁS

Kutatásom kezdeti szakaszában több részterületre vonatkozóan végeztem irodalomkutatást, az ideiglenes létesítmények alkalmazásának és telepítéséhez szükséges alapadatok meghatározása- és a belső levegőminőség tárgykörben. Az irodalomkutatás során számos hasznos információ mellett hiányosságokat is találtam, például nem, vagy nem kifejezetten ideiglenesen létesítmények komfortparamétereire, energetikai követelményeire találtam kielégítő válaszokat. Ugyancsak nem vizsgálták, hogy milyen paraméterek alapján lehet meghatározni egy ideiglenes létesítmény katonai alkalmazásának műszaki követelményeit, a katonai tábor építés- és a kapcsolódó infrastruktúra kiépítési szintjeire vonatkozóan. Nem találtam példát arra, hogy a katonai tábor tervezésének követelményeit, peremfeltételeit milyen komfortelméleti szempontok alapján szükséges vizsgálni.

Munkám során megállapítottam, hogy a tábori elhelyezés pihenő körleteiben eltérő belső levegő minőség elvárt a levegő hőmérsékletére vonatkozóan, mint az épített környezetnél meghatározott. Az eltérő követelmények meghatározása szükséges a tartósan igénybevételekre tervezett táborok közmű hálózatának tervezéséhez. Megállapítottam továbbá, hogy a belső levegő minőség romlása fokozottabb hatással van a katonai képességre, mint az átlagos épített környezetben dolgozó civil munkásokkal szemben támasztott elvárások szerinti teljesítményre. A belső levegő minőségre vonatkozó felmérést hosszú távon kihelyezett többszörös adatrögzítéssel, a katonákra gyakorolt hatás kísérletét háromszoros ismétléssel végeztem el.

Fontos megállapítása a kutatásnak, hogy a katonai alkalmazásra tervezett táborok üzemeltetési tervezése, üzemeltetési modellek felállításához olyan paraméterek legyenek meghatározva, ami közvetlenül tud illeszkedni a katonai felderítési (katona meteorológia) adatokhoz. A műveletek tervezése során a különböző támogatási- és biztosítási rendszerek együttműködéséhez fontos a közös adatbázis használata, tekintettel arra, hogy az adatok mennyisége valóban a feltétlenül szükséges és elégséges adatokra legyen korlátozva. Ennek megfelelően kerestem olyan legegyszerűbb modellezési eljárásokat, amelyek megfelelnek a gyakorlati elvárásoknak is és a műszaki tudományok területén is elfogadható hatékonysággal alkalmazható.

Belső környezeti hatások kutatása során nem csak komforttereket vizsgáltam, hanem logisztikai építményeket, tárolókat is. Ennek a részfeladatnak - bár első közelítésben úgy tűnhet, nem kapcsolódik szervesen a disszertáció címében jelzett témakörhöz - számos hozadéka volt a kutatás

során. Ilyen volt a gyümölcsök respirációja során keletkező szén-dioxid mennyiség következtében kialakuló koncentráció a tábori friss élelmiszer (zöldség-gyümölcs) tárolóban, aminek emelkedett értéke az emberre káros is lehet, viszont a zöldségek-gyümölcsök eltarthatóságára pozitív hatással tud lenni. A belső levegőminőség szén-dioxid koncentrációra vonatkozó méréseket több kísérleti pontforrás (ember, gyümölcs és beállított élelmezési szén-dioxid palack) alkalmazásával, eltérő kibocsátási értékekkel, több ismétléssel végeztem.

A kutatási eredményeim alapján kijelentem egyrészt, hogy az ISO 20' konténer felhasználásával épített katonai táborokban  $24,5 \pm 1$  °C belső levegő hőmérsékletre szükséges a fűtés tervezésekor számolni. Másrészt egy olyan TLR-alapú modellt javaslok, ami gyors és olcsó előrejelzésre használható a katonai táborok, vagy más ISO 20' konténerrel tervezetten telepítendő létesítmények belső hőkomfortra vonatkozóan. Harmadrészt igazolom, hogy a javasolt TLR fekete-doboz modell, alkalmazható az M63 sátor belső hőmérséklet modellezésére is. Továbbá igazolom, hogy 70 perc 3000 ppm feletti belső levegő CO<sub>2</sub> koncentráció terhelés után a katonai/harcéri képesség hatékonysága szignifikánsan csökken, végül egy TLR-alapú modellt javaslok, ami valószínűleg a lehető legegyszerűbb fekete doboz típusú modell, amely nagyon jó pontossággal írja le az ISO 20' konténerben lévő levegő CO<sub>2</sub> koncentráció változását a külső környezeti hatások függvényében.

MTMT: <https://m2.mtmt.hu/gui2/?type=authors&mode=browse&sel=10074018>

*Lektorált cikk idegen nyelven:*

1. **Patonai Z.**, Kicsiny R., Géczi G. (2022) Multiple linear regression based model for the indoor temperature of mobile containers, HELIYON, <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2022.e12098>;
2. **Patonai Z.**, Géczi G. (2021) Research of the internal environment of the military camp buildings, Science, Technology and Innovation, 12 (1): 35–40 doi: 10.5604, ISSN 2544-9125;

*Lektorált cikk magyar nyelven:*

3. **Patonai Z.**, Géczi G., (2021) Katonai Tábor Élelmiszertárolójának Belső Levegőminőség Vizsgálata, Acta Agronomica Óváriensis Vol. 62. Különszám I.: 97–109, Mosonmagyaróvár
4. **Patonai Z.**, Géczi G., Kicsiny R., Baráth I. (2020) Katonai tábori elhelyezés, belső környezet Katonai Logisztika 2020. évi 3. szám, DOI: 10.30583/2020.3.045, e-ISSN 1789-6398, ISSN 1588-4228 (<https://www.mkle.net/products/a2020-3-szam/>)
5. **Patonai Z.**, Géczi G. (2018) Tábori elhelyezésnél alkalmazott konyhatechnológiák bemutatása, Katonai Logisztika 2018. évi 3-4. szám, DOI: 10.30583/2018/3-4/123, e-ISSN 1789-6398, ISSN 1588-4228 (<https://www.mkle.net/products/a2018-evi-3-4-szam/>)
6. **Patonai Z.**, (2018) Tábori elhelyezésnél alkalmazott fűtési rendszerek, Haditechnika folyóirat - 2018/3. szám - HU ISSN 0230-6891 (<https://haditechnikaiintezet.hu/magazin/haditechnika-20183>)

*Idegen nyelvű konferencia kiadvány*

7. **Patonai Z.**, Géczi G., (2021): Research of the internal environment of the military camp buildings, Risk factors of food chain, XXI<sup>st</sup> International Scientific Conference, Poland, Iwonicz, 06-08, of September 2021, p. 40-41., ISBN 978-963-269-775-8
8. **Patonai Z.**, Kicsiny R., Géczi G. (2021): Research of the internal environment of the military camp buildings, Book of Abstracts: Efficiency, solar and thermal energy for the human comfort. Hungarian University of Agriculture and Life Science, Gödöllő. ISBN 978-963-269-958-5