



Magyar Agrár- és Élettudományi Egyetem

KATONAI TÁBOR ELHELYEZÉSI KOMFORT
OPTIMALIZÁLÁS

DOI: 10.54598/003690

Doktori (PhD) értekezés

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. Géczy 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
1.1	A téma időszerűsége, jelentősége	5
1.2	Célkitűzések.....	5
2	SZAKIRODALMI ÁTTEKINTÉS	6
2.1	Ideiglenes létesítmény – katonai tábor	6
2.1.1	Katonai alkalmazás	7
2.1.2	Telepítés tervezés katonai alkalmazáshoz.....	9
2.1.3	Tábori konyha, élelmiszer tárolás	14
2.2	Belső levegő minőség.....	17
2.2.1	Levegő minőség szennyezői.....	17
2.2.2	Szén-dioxid élettani hatásai.....	19
2.2.3	Szén-dioxid hatása technológiai létesítményekben.....	24
2.2.4	Friss levegő igény.....	26
2.2.5	Hőkomfort	31
2.3	Matematikai modell, többszörös lineáris regresszió (TLR) alkalmazása.....	40
2.4	A szakirodalmi áttekintés összefoglaló értékelése	43
3	ANYAG ÉS MÓDSZER.....	45
3.1	Valós tábori körülmények között végzett belső hőmérséklet mérések.....	45
3.1.1	Kísérleti területek bemutatása	45
3.1.2	Kísérleti eszközök és mérési sorozat bemutatása.....	46
3.2	Épületgépészeti laboratóriumban felállított különböző tábori létesítmények modelljei	47
3.2.1	Összecsukható konténer, összehasonlító mérések	48
3.2.2	ISO 20' konténer modell, BLM mérések.....	49
3.2.3	M63 mintájú egységátor, összehasonlító mérések.....	52
3.2.4	A mérések összehasonlításához alkalmazott fizikai-alapú matematikai modell.....	53
3.2.5	Konténer belső hőmérsékletének TLR modellje	56
3.2.6	Konténer BLM szén-dioxid koncentráció változás TLR modellje	57
3.3	CO ₂ terhelés hatásának mérése katonai képességre	58
3.3.1	Kísérleti terület bemutatása	59
3.3.2	Mérési sorozat bemutatása	59
3.3.3	Eredmények kiértékelésének módszere	60
4	EREDMÉNYEK ÉS AZOK MEGBESZÉLÉSEI.....	63
4.1	Tábori elhelyezési konténer belső levegő minőség vizsgálata	63
4.1.1	Valós tábori körülmények között végzett belső környezeti mérések.....	63

4.1.2	Continest konténerrel végzett belső környezeti mérések	67
4.2	Tábori elhelyezési körlet belső környezet TLR modell	69
4.2.1	ISO 20' konténer identifikáció és validálás	69
4.2.2	M63 mintájú sátor belső hőmérséklet TLR modell validálása	73
4.2.3	ISO Konténer belső levegő minőség – CO ₂ koncentráció MLR modell validálás ..	76
4.3	Belső levegő minőség emelkedett CO ₂ tartalom hatása a katonai képességre.....	82
4.3.1	KP- találati pontszám	83
4.3.2	SD- Középső találati ponttól való átlagos távolság	85
4.3.3	t - végrehajtási idő.....	87
4.3.4	Hatékonysági mutató.....	89
5	KÖVETKEZTETÉSEK ÉS A JAVASLATOK	90
5.1	Hőkomfort mérés.....	90
5.2	Tábori létesítmény belső hőmérséklet modellezés.....	91
5.3	Belső levegő minőség emelkedett CO ₂ koncentráció hatásának mérése	92
5.4	Tábori létesítmény belső levegő minőség, CO ₂ koncentráció modellezés.....	93
6	ÚJ TUDOMÁNYOS EREDMÉNYEK	94
7	ÖSSZEFOGLALÁS.....	97
8	SUMMARY	98
9	MELLÉKLETEK.....	99

1 BEVEZETÉS

Doktori disszertációmban elsősorban mérési eredményekre támaszkodva vizsgálom 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 lábás 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 célokom megvizsgálni az elhelyezési körletek BLM emelkedett szén-dioxid koncentráció hatását a katona egyéni harci-, pontosabban szituációs lövészeti teljesítőképességére.

2 SZAKIRODALMI ÁTTEKINTÉS

A szakirodalmi áttekintésben elsőként bemutatom, hogy a kutatási munkámban mi felel meg Ideiglenes Létesítménynek és Katonai Tábornak. A táborok tervezési szempontból, céljának és tervezett alkalmazási időre tekintettel, három csoportra osztható: rövid-, hosszú- és tartós alkalmazási időre tervezett. A katonák teljesítménye és motiváltsága az idő múlásának függvényében egyre érzékenyebben reagál a katonákat érő közvetlen ingerekre, amelyek között a komfort paraméterek jelentős hatással bírnak „*Az a hadvezér a szerencsés (...), aki kásával és lapáttal hadakozik, aki makacs és óvatos... Ha a katona hisz a vezérében és ha a katona jóllakott: bátran hadakozik.*” (A. Ny. TOLSZTOJ: Első Péter).

2.1 Ideiglenes létesítmény – katonai tábor

Ideiglenes létesítmények alkalmazását általában egy kényszerű szükségesség indokolja. Első hallásra rendezvények végrehajtásához, vagy gyakrabban építési feladatok teljesítéséhez szükséges felvonulási épületekre gondolunk. Ez nem meglepő, hiszen az építési kivitelezés első gyakorlati munkafázisa a helyszínre történő felvonulás, mely lényegében az építési helyszín üzemmé alakítását jelenti (BENKŐ 2016), aminek a célja az építési munkákhoz alkalmazott technológiáknak megfelelő munkaterület kialakítása, berendezése és a működtetési feltételek biztosítása. Az építési tevékenység valóban teljeskörű kiszolgáltatást igényel és a feladat volumenétől függően az ideiglenes létesítménynek akár tartós idejű alkalmazására kerülhet sor.

A katonai táborokhoz hasonlóan a felvonulási létesítmények körébe tartoznak a helyszínen folyó munka irányításához és a dolgozók szociális ellátásához szükséges létesítmények, az ideiglenes közműhálózatok kiépítésével a víz- és energia szükséglet kielégítése, segédüzemek, raktárak, tároló helyek kialakítása, valamint az ideiglenes úthálózat létesítése.

Ideiglenes létesítmény kialakításának szabályait is a fentieknek megfelelően értelmezve tudjuk meghatározni. Az épületek energetikai jellemzőinek tanúsításáról szóló 176/2008. (VI. 30.) Korm. rendelet, annak alkalmazási körét, az 1. § (1) szerint határozza meg: „*E rendeletet a (3) bekezdésben meghatározott esetekben – a (2) bekezdés szerinti kivételekkel – épületek és az épület önálló rendeltetési egységei energetikai jellemzőinek tanúsítási eljárására kell alkalmazni....*”

(2) *A rendelet hatálya nem terjed ki:*

- *az önálló, más épülethez nem csatlakozó, 50 m²-nél kisebb hasznos alapterületű épületre;*
- *(...)*
- *...a legfeljebb 2 évi használatra szánt felvonulási épületre, fólia- vagy sátorszerkezetre”*

A fenti jogszabálynak megfelelően energetikailag vizsgálendő ideiglenes épületet csak akkor kötelező megvizsgálni, ha 2 évet meghaladja a tervezett használata. Amennyiben egy létesítmény fő jellemzőjének az üzemeltetési energiaszükségletét, fenntarthatóságát tekintjük, akkor az idézett szabályozás alapján kijelenthető, hogy hazánkban akkor ideiglenes jellegű a létesítmény, ha tervezett folytonos használata nem haladja meg a 2 évet, függetlenül a létesítmény áttelepíthetőségétől, mobilizálhatóságától.

Ugyanakkor katonai alkalmazásnak megfelelően, jellemzően nemzetközi szerepvállalás teljesítése során, a katonai „hot spots” feladatokra alkalmazott táborok, a feladatok volumenére tekintettel, jóval nagyobb időintervallumra is tervezettek. Például a NATO vezetésű nemzetközi stabilizációs haderő Afganisztánban - ISAF (International Security Assistance Force) - műveletei 2003-ban kezdődtek, majd 2021 augusztus 31-én hagyta el az utolsó katona Afganisztánt.

2.1.1 Katonai alkalmazás

Mielőtt a katonai táborokat vizsgáljuk, fontos megemlíteni, hogy minden munkáltató felelős a munkavállalójának biztosítani a munkavégzéshez szükséges feltételeket. Ennek megfelelően az állandó munkahelyek ellátása, elhelyezési feltételek biztosítása alapvető szükséglete a Honvédelmi Minisztérium- és a Magyar Honvédség személyi állományának is. A Honvédelmi Minisztérium a vagyonkezelésében lévő ingatlanok felelős üzemeltetésével eleget tesz ezen kötelezettségének, mint az elvárt minőségű elhelyezési feltételek biztosítása, amit jelenleg Outsourcing szolgáltatás beszerzés alapján megkötött Szolgáltatási Szerződéssel valósít meg.

Abban az esetben, ha a személyi állomány olyan területen hajt végre feladatot, ahol nincs állandó kiépített, üzemeltetett létesítmény, elhelyezési körlet, objektum, akkor kap jelentőséget a katonai alkalmazású „Ideiglenes Létesítmények üzemeltetése”. Katonai alkalmazás céljának megfelelően, általában az alábbi esetekben van szükség ideiglenes létesítményüzemeltetésre:

- Gyakorlatok-, kiképzési rendezvények végrehajtásakor,
- Külföldi szerepvállalás, nemzetközi missziós feladatok, béketámogató műveletek esetén, a tábori elhelyezés biztosításakor,
- Minden olyan alapvető hazai feladat végrehajtásában résztvevő állomány elhelyezésének biztosításakor, amikor a feladat ellátását nem lehet végrehajtani az állomány napi kiszállítással, mint például az árvízi védekezés, vagy a jelenleg is még kiemelten kezelendő határvédelmi feladatok segítése.

A Magyar Honvédség alaprendeltetéséhez szükséges feladatok ellátásához nélkülözhetetlen az ideiglenes létesítményüzemeltetés. Mivel a fent említett 3 különböző feladat mára szinte állandósulva vannak jelen a Magyar Honvédség életében, ezért legalább akkora felelősséggel bír az ideiglenes létesítmények üzemeltetése, mint a stacioner objektumok ellátása, üzemeltetésének biztosítása. Különösen azért, mert ezekben az esetekben kiemelten fontos a személyi állomány munkafeltételeihez és pihentetéséhez szükséges professzionális, kiemelkedő szintű ellátás, hiszen fokozott-, sok esetben veszélyes igénybevételnek van kitéve a katona, így alapvetően a biztonságos feladat végrehajtáshoz a napi szintű felkészülés feltételeinek megteremtése a cél.

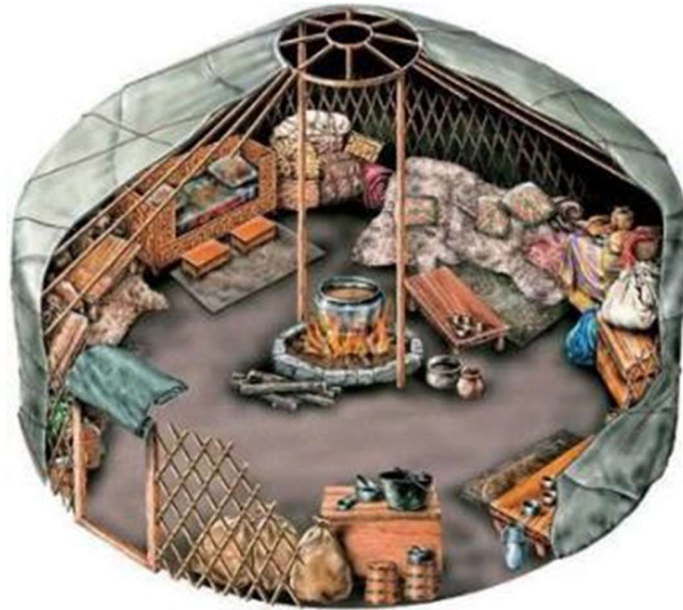
Polgári objektumok igénybevétele:

A polgári objektumok igénybevételét, illetve az elszállásolásra vonatkozó előírásokat az Ált/23. Szolgálati Szabályzat szabályozza. Alapvetően az elszállásolandó katonák parancsnokának a felelőssége és nem az Elhelyezési szakszolgálat feladata, ami két alapvető módon biztosítható, az ingatlan tulajdoni viszonya alapján. Egyrészt történhet a polgári objektum igénybevételével (2007 évi LXXX tv), ha a tárgyi objektum állami-, vagy önkormányzati tulajdonban, illetve állami-, vagy önkormányzati alapítású, többségi tulajdonú cég tulajdonában van. Másrészt, ha a tárgyi ingatlan magántulajdonú, akkor az ingatlan bérletével. Érdekességként említem meg, hogy az elszállásolás nem mindig kizárólag azért szükséges, mert az alakulatok nem rendelkeznek alkalmas tábori létesítéséhez szükséges eszközökkel és anyagokkal, hanem a történelemben más indokok miatt is szükséges volt, ahogy Solymár helytörténetében is olvasható (SERES, 2002): „A beszállásolásokra ezért került sor, mert a trianoni békeszerződésben előírt létszámú hadseregnek volt csak hely a laktanyákban. Amikor a katonák számát megszorították, nem volt elegendő laktanya, s így azokat vidéki házakban szállásolták be. Az ilyen elszállásolások rendszeres katonai gyakorlattal voltak egybekötve.”

Tábori elhelyezés:

A tábori elhelyezés történetét őseink életmódjára is visszavezethetnénk, amikor jurtában laktak és vándorló életük szükségének megfelelően tábort bontottak és tovább települtek. A jurta jelentősége abban állt, hogy szétszerelve könnyen tovább lehetett vele vándorolni. Az 1. számú ábrán látható

a jurta kör alakban felállított rácsos fala, a „kerege” tartotta a körülbelül tetőléc keresztmetszetű lécekkal középre igazított kör alakú úgynevezett „tündököt”, amit építéskor az „istenfának” nevezett villás alakú rúd tartott. A „kerege” köré szorosra feszített kötél biztosította, hogy a jurta az „istenfa” kivétele után nem rogyott össze.



1. ábra Jurta berendezése (forrás: <http://printerest.com>)

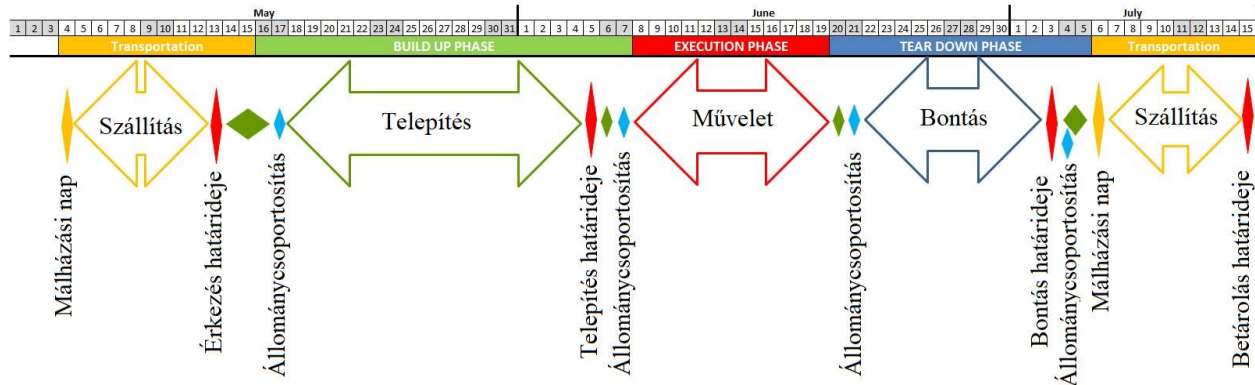
A középkori hadjáratok táborát vert hadseregeinek a szállása is vagy elszállásoláson alapult, ha találtak arra alkalmas várat (hazai, elfoglalt, vagy szövetséges), vagy sátoortáborban történt, amivel közel a csata, vagy az ostromlott vár helyéhez tudtak települni. A mai napig a sátor szolgál a katonai táborok alapvető anyagaként. Jelenleg a Magyar Honvédségben az M63 mintájú katonai sátor van rendszeresítve a személyi állomány elhelyezésére.



2. ábra, NSPA 200 fős tábori képesség (forrás: NSPA – szerző: Eugenia Mattenet)

A 2. számú ábrán látható a hazánkban a Capable Logistician 2015 (a továbbiakban: CL'15) gyakorlaton bemutatkozott NATO Support and Procurement Agency (a továbbiakban: NSPA) fejlesztésű tábori képessége, ami 200 fő elhelyezésére és munkahelyeik kiszolgálására alkalmas.

A tábori elhelyezési anyagok alkalmazásánál fontos tényező az időszükséglet, ennek megfelelően rövid idő alatt készletezhető és szállítható az NSPA tábori képessége is. A CL'15 gyakorlatra tervezett igénybevétel időszámvetését az 3. ábra mutatja be.



3. ábra, NSPA tábori képesség igénybevételi időszámvetés (forrás: NSPA CL'15 organizáció)

Az időszámvetés alapján 3 hét telepítés- és 2 hét bontás volt tervezve, ami magába foglalta a tábor telepítő/üzemeltető állomány önbiztosítási feladatait is. A tervezett időintervallumok kényelmes feladatvégrehajtást biztosított, véleményem szerint sürgős esetben, 'éles helyzetben' jóval kisebb idő is elegendő lett volna. Az NSPA tábori képessége magában foglalja az elhelyezési körleteket és irodákat, a HVAC (Heating, Venting & Air Conditioning) fűtő- és légkondicionáló eszközöket, az önálló elektromos áram termelő- és elosztó rendszert, egy étel melegen tartó- és kiosztó pontot, valamint egy fürdető-, illetve vízkezelő rendszert.

Részletezve a 200 fős tábori készlet adatait:

- Food Warming Station - Étél melegítő pont 1 x 200 főre
- Elektromos áram - 3 x 300 KVA
- 4 Zuhanyzó szaniter helyiséggel, összesen 24 zuhanyállással
- Mosdó 4 x 4 mosdókagylóval a 4 szaniterhelyiségben
- 4 WC szaniter helyiség, összesen 24 WC kagylóval
- Piszóár 4 x 4 férfi piszoárral a 4 szaniterhelyiségben
- Vízközmű ellátás 30 m³/nap, kezeletlenvíz tároló 2 x 20 m³, ivóvíz tároló 60 m³

A felsorolásban részletezett ellátási készlet adatok komfortosan biztosítják 200 fő ellátását, a Magyar Honvédség ellátási normájához, meghatározott tervezési adatokhoz mérten, amit a következő fejezetben mutatok be, túltervezett.

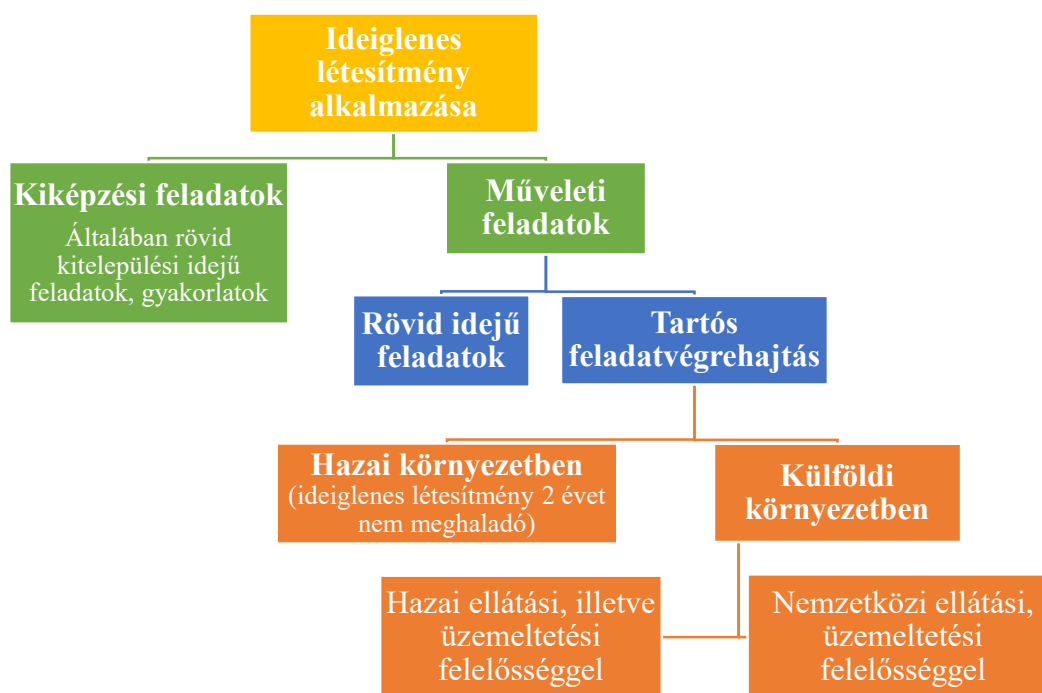
2.1.2 Telepítés tervezés katonai alkalmazáshoz

Összefoglalva az előző fejezetekben tárgyaltakat megállapítom, hogy ha a személyi állomány olyan területen hajt végre feladatot, ahol nincs állandó kiépített, üzemeltetett létesítmény, ideiglenes létesítményben történő elhelyezéssel kell a feladatokat biztosítani.

A katonai célú ideiglenes létesítmények tervezésénél figyelembe kell venni a jogszabályi előírásokat, amelyek lehetnek szervezeti belső-, nemzeti-, illetve nemzetközi előírások. Nem hagyható figyelmen kívül a feladatot végrehajtó szervezet saját igényei sem. A honvédelemről és

a Magyar Honvédségről szóló 2004. évi CV. törvény 110. § (1) bekezdés alapján a hazai és nemzetközi kiképzési rendezvények, gyakorlatok infrastrukturális feltételeinek biztosítási rendjéről a 24/2018 HM utasítás (továbbiakban: az utasítás) került kiadásra. Az utasítás szabályozza a gyakorlatok, kiképzési rendezvények kiszolgálási feladatainak tervezésének-, szolgáltatások igénylésének rendjét, valamint a végrehajtás során felmerülő sarkalatos feladatokat.

Az ideiglenes létesítmény, mint katonai tábori telepítésének feladatait meghatározza a tervezési alapadatként rögzített alkalmazás idejének mértéke, naptári időszaka, földrajzi környezete és az elhelyezési szükségleti egység mértéke. (4 ábra)



4. ábra, Ideiglenes létesítmények katonai alkalmazása (saját szerkesztés 24/2018 HM ut. alapján)

Külföldi Missziók teljesítés során a sátor elhelyezésen túl XXI. századi igényeket kielégítő tábori elhelyezési tapasztalatokat is szereztek Magyarország katonái. Ennek tükrében érthető parancsnoki elvárás, hogy hazai környezetben is a nemzetközi tapasztalatoknak megfelelő ellátást kapjanak a katonák egy adott feladat végrehajtása során. A katonák elvárásainak legjobban megfelelő, egyben az európai rendszerekkel kompatibilis, szállítható és a termelői piacon elérhető, az ISO szabvány 20 lábas konténerek alkalmazásával kialakítható táborok, létesítmények. Az elmúlt időszak alapján kézzelfoghatóan érzékelhető volt a déli határ védelmének kiszolgálásakor, hogy a Haza védelme, mint a legfontosabb feladata a Honvédelmi Minisztériumnak és a Magyar Honvédségnek, milyen valós problémákat állít a feladatra vezényelt állomány elhelyezési körülményeinek, pihentetési feltételeinek megtervezése, szervezése folyamatában, a végrehajtásának és végrehajthatóságának függvényében.

Telepítési követelmények

A telepítés alapvető követelményeit jogszabályok, hatósági előírások rögzítik, amelyek betartását a Honvédelmi Minisztérium saját szervezetei felügyelik, mint például a közegészség- és járványügyi, valamint munkaegészségi előírásokat a MH Egészségügyi Központ Közegészségügyi Járványügyi Szolgálat (MH EK KJSZ), a munkavédelmi, tűzvédelmi és építési hatósági előírásokat a HM Hatósági Főosztály, vagy a Környezetvédelmi előírásokat a HM VGH BBEFKI Környezetvédelmi Osztály.

A gyakorlatok tervezéséhez segítséget nyújt a hazai gyakorlatok, kiképzési rendezvények ellátásához szükséges igények tartalmi követelményeit szabályzó 24/2018 HM utasítás, amelyek a következő adatok megadása szükséges az ellátási igény kielégítéséhez:

- a) a gyakorlat helyszíne, helyszínei;
- b) a gyakorlat időpontja, időtartama;
- c) létszámadatok: az előkészítő állomány, főerők, illetve a táborbontást végző állomány létszámainak, a helyszínre érkezésüknek és eltávozásuknak időbeni ütemezése;
- d) a mobil WC-k száma, ürítési gyakorisága;
- e) települési szilárd hulladéktárolók száma, térfogata;
- f) a kitelepítendő mosdó, fürdő, WC, kazánkonténerek száma, telepítési helye;
- g) a használati melegvíz-termelő konténerek mennyisége, helyének megjelölése;
- h) fűtési időszakban az üzemeltetni tervezett sátorfűtő olajkályhák, hőlégbefúvók mennyisége;
- i) tűzifaigény (tonna mértékegységgel);
- j) az ideiglenes jelleggel kiépítendő elektromos energia, víz, szennyvíz vezetékek kiépítési helyét, illetve a csatlakozási pontok megjelölése (térvilágító reflektorok, oszlopok, stb.);
- k) sátortartozékok igényelt mennyisége (sátorpadozat, világító készlet);
- l) települési körlet területének kaszálása (négyzetméter mértékegységgel);
- m) PB-gázpalack igény;
- n) egyéb igények (pl. homok biztosítása, olajkályha bevizsgálás, stb.);

Közegészség- és Járványügyi előírások betartásához segítséget nyújt a 1436.2007. (HK 2.2008) MH HEK intézkedésébe foglalt módszertani útmutató a tábori körülmények és rendezvények közegészségügyi ellenőrzéséről. Az Útmutató alapvetően az egészségügyi szolgálatok számára készült, de hasznos segítséget jelent az élelmezési szolgálatok és logisztikai alegységek részére is, mivel a MH EK KJSZ szakemberei is ezen Útmutató pontjai szerint végzik ellenőrzéseiket. A személyi állomány elhelyezése sátrakban, konténerekben vagy épületekben történik, amely körletek ellenőrzésekor a Módszertani Útmutató a közegészségügyi ellenőrzésről általános részében leírtakat kell figyelembe venni. Az Útmutatóban írtaknak megfelelően a sátrak helyének kijelölése sima, enyhén lejtős, száraz talajra történik. A sátor körül ásott vízelvezető árok van, a sátrak esővédelme megoldott, a sátrak rovarirtó porral körbeszórtak. A fekhelyek kialakítása ledöngölt talajon vagy pallón történik. A körletben zsúfoltság nincs, alapterülete a maximális befogadóképességének megfelelően 3-4 m²/fő. A sátor fűtése szükség esetén megoldott. Amennyiben sátorban olajkályhával fűtenek, megfelelő résmentes kémény biztosított, a tűzvédelmi rendszabályokat betartásával.

A mobil WC-re vonatkozó szabályok alapján a Mobil WC-k mennyiség: 5-6 db/100 fő, kétnaponta, vagy szükség esetén naponta ürítik. Megfelelő mennyiségű fertőtlenítőszerrel fel vannak töltve, WC-papír elegendő mennyiségben áll rendelkezésre. Használat előtti/utáni kézmosás vagy kézfertőtlenítés biztosított, a mobil WC-ket megfelelő rendszerességgel fertőtlenítő szerrel takarítják. Hulladékkezelésre vonatkozó szabályoknál figyelemmel kell lenni a hulladék gyűjtésére, elszállítására, amelynek biztosítottnak kell lennie, ennek megfelelően a szerződéseknél hozzáférhetőnek kell lennie. Rovarok, rágcsálók elleni védekezéssel kapcsolatban követelmény, hogy a tábor területén az aljnövényzetet eltávolítsák. A veszélyeztetett területet az ingatlan üzemeltetéséért felelős Szolgáltató permetezze le, ennek dokumentációja elérhető legyen. Az egészségügyi szolgálat rendelkezzen a kitelepülő állomány létszáma számolt mennyiségű rovarriasztó sprayvel, megkülönböztetett figyelmet fordítva a 24 órás szolgálatot adó személyi állományra. A hulladékgyűjtő konténerek és környékük rovar- és rágcsálóirtására kiemelt figyelemmel kell lenni. A takarítások tervezéséhez szükséges közegészségügyi előírások számbavételénél figyelemmel kell lenni a 18/1998. (VI. 3.) NM rendeletre, amely a fertőző

gyakorlat során a teljesítés igazolással megbízott személy adatait (név, anyja neve, szül. éve) aláírás mintáját. Tervezési alapadatok azok az elhelyezési normák, amelyek segítségével a tervezés folyamatakor (6. számú ábra) a kialakítandó tábor követelményeit meghatározhatjuk.



6. ábra, Katonai ideiglenes létesítmény elhelyezési terv készítés folyamata (saját szerkesztés 24/2018 HM ut. alapján)

Tervezéskor figyelemmel kell lenni az infrastruktúra területén a víz, –szennyvíz, elektromos energia csatlakozási lehetőségek távolságaira, teljesítmény- és kapacitás adataira. A tervezett területen meglévő épület, építmény állományt figyelembe kell venni. A berendezési anyagellátás területén a meglévő norma szerinti tábori elhelyezési anyagokkal kell alapvetően számolni.

A tábori Infrastruktúra kiépítését a 24/2018 HM utasítás szabályozza. Szolgáltatás területén számvetni szükséges a Mobil WC számát, ürítésének gyakoriságát, aminek megfelelően, 20 fő ellátására 1 fülke biztosítása elegendő (nem kell külön női-férfi fülkét kijelölni), ürítés gyakorisága pedig 2 naponként (téli időszakban, vagy kisebb igénybevétel esetén 3 naponta). A hulladék és szemét szállítás gyakoriságát és az elszállítandó szemét, illetve hulladék mennyiségét pontosan meg kell határozni. Ideiglenes közműhálózat kiépítéséhez számvetni kell az elektromos energia szükségletet, víz, –szennyvíz szükségletet, amihez norma szerinti fürdés, mosdás szükségletet kell számolni. A zuhanyzás – általános gyakorlat 2,5 órás fürdési idővel számolva – fejenként 12 perces zuhanyzási időszükségletet figyelembe véve, 5 fő/zuhanyállás. A zuhanyzási időszükséglet módosításával a norma a következőképpen módosul:

- 6 fő/zuhany: zuhanyzási idő 10 perc
- 7 fő/zuhany: zuhanyzási idő 8,5 perc
- 8 fő/zuhany: zuhanyzási idő 7,5 perc
- 9 fő/zuhany: zuhanyzási idő 6,5 perc

A mosdás 1,5 órás mosdási idővel számolva 1 főre a normatíva 7 fő/mosdó, 8 perces mosdási időtartamot biztosít 1 fő részére.

- Vízfelhasználás: 95 l/nap/fő
- Szennyvíz mennyiség: 70 l/nap/fő
- Villamos energiafelhasználás: 1,5 kW/nap/fő
- Elnyújtandó szemét mennyisége: 50 l/nap/fő
- Elnyújtandó konyhai szemét (nem ételmaradék) mennyisége 10 l/nap/fő.

Tervezéskor helyszínrajzon meg kell jelölni a terv adatait, részletes helyszínrajzon a meglévő elektromos, víz, szennyvíz, csatlakozási helyeket, jelölni kell az ideiglenesen kiépítendő elektromos, víz, szennyvíz vezetékeket, ill. csatlakozási pontokat. A rajzon a mértékegységeket, ill. mennyiségeket fel kell tüntetni. A személyi állomány elhelyezésére szolgáló

sátraknál/konténereknél (szállás, iroda, étkező, kultúr stb.) a létszámot meg kell határozni. Jelölni kell a WC-k helyét, mennyiségét, a mosdók, fürdők helyét. Ha víz vagy villany nem biztosítható hálózatról, akkor meg kell adni a várható fogyasztást (m^3 , kW), amennyiben nem az alakulat biztosítja a szolgáltatást (aggregátor vízszállítás). Saját vízszállítás esetén a teljesítésigazolást vezetni kell. Meg kell jelölni minden olyan pontot, amelynek valamilyen ideiglenes szerkezet vagy kiépítési vonzata van. Továbbá meg kell jelölni az ellátó pontokat (konyha, étkező stb.), a kommunális szemét- hulladéktárolókat és nagyságát, szeméttárolók, ill. konyhai hulladéktárolók helyét, mennyiségét.

2.1.3 Táborigény, ételkészítés tárolás

Habár a kutatómunka a katonai tábor elhelyezési komfort kutatásával foglalkozik, külön vizsgáltam a tábori konyhakomplexumot is. Egyrészt katonai tábor pihenőhelyei mellett, mint például külföldi misszióban, a katonák tábori komfortját, "jóléti" érzését befolyásoló főbb tábori létesítmények számbavételekor kiemelt figyelmet kell fordítanunk a konyhakomplexumra, ezzel együtt a konyhai személyzet munkakörnyezetére. Másrészt, a tábori konyhakomplexum másik, igencsak fontos része az ételkészítés-tárolás, ahol az ellátáshoz szükséges nyersanyagokat tárolják. A tárolás nagyon fontos, amikor fel kell készülni arra, hogy távol az otthontól az ellátási vagy beszerzési problémák léphetnek fel. Az ételkészítés-nyersanyagok biztosításának különösen fontos feladata az úgynevezett "friss" tárolás.

Ahogy Mojzer László ny.á. hadbiztos tábornok és Gottl Jenő ny.á. hadbiztos tábornok írta, az anyagi ellátás legfontosabb ágazata az ételkészítés; ételre mindennap szükség van. Mivel a helyszíni beszerzésekre számítani nem mindenkor és mindenhol lehet, az utanszállítási szervezeteknek egy megszakítás nélküli láncolatot kell képeznie. A doberdói harctéren közvetlenül az első vonalak mögött települt a tábori konyha az állásokban. Az ételt az első vonalak mögött készítették, és innen szállították előre napi rendszerességgel a harcolóknak. A mozgókonyhát először az orosz cári hadsereg rendszeresítette a 20. század eleji orosz-japán háborúban. Az Osztrák-Magyar Monarchiában a Katonai Műszaki Bizottság kezdeményezésére megindultak a próbálkozások, 1905-ben. 1910-ben a Bizottság elfogadta az 1909M mozgókonyha rendszerbe állítását, amelyet Magyarországon elsősorban a csepeli Weiss Manfréd gyár gyártott. A mozgókonyha alapvetően két részből áll: a mozdonysekrénnyel ellátott mozdonyból és a tűzhelysekrénnyel ellátott hátsókocsiból. A mozdonysekrénnyel a hús és más ételkészítési tárgyak őrzésére használták, a húst a benne elhelyezett húskampókra akasztották. A konyhát az Osztrák-Magyar hadsereg előírásainak megfelelően terepszürkére festették, mozgásuk fogatolt volt (FARKAS és HEGEDŰS 2016). Eltelt 100 évben nem volt sok változás a tábori mozgókonyhák tekintetében. A jelenleg rendszeresített 69M mozgókonyha a II világháborúban használatos lóvontatású mozgókonyhák fejlesztését követően rendszeresített fa- illetve széntüzelésű 52M mozgókonyha továbbfejlesztett változata. A 69M tábori konyha alternatívájaként került bemutatásra a 2016M mozgókonyha. A tábori konyha és az étkező kialakítható a már említett 63M sátor alkalmazásával, melynek alapterülete 3m x 5m. 200 fő ellátásához 24 klt sátor alkalmazásával egy változatban kivitelezhető a konyha-, tároló-, étkező- és előkészítő helyiségek (PATONAI és GÉCZI 2018). Azonban számolni kell még az ételkészítőtároló és a személyzet öltöző- és szaniterhelyiségeivel.

A konyhai elektromos eszközök egyik szűk keresztmetszetét jelenti a tábori körülmények közötti energiaellátásnak. Egy 10 tálcás kombinált toronysütő energiaigénye megközelítőleg 12 kW eszközönként. Ebben az esetben, ha nagyobb létszám ellátását kell tervezni, akár 6-7 toronysütő alkalmazása válik szükségessé (72-86 kW), ezért ajánlott a konyha energiaellátását önállóan a tábori energiaellátástól külön megvalósítani, külön aggregátor alkalmazását tervezni. A gázzsámoly egyszerűen gyorsan telepíthető. Azonban, ha nem hazai területen történik alkalmazása (Pl.: Közel-Kelet), el kell gondolkodni az üzemeltetési lehetőségén, pontosabban az

energiaellátásának lehetőségén, mert a helyszínen nem feltétlenül könnyű a gázpalackok pótlása, illetve töltése. Továbbá a műveleti területen problémát jelenthet a robbanásveszélyes gázpalackok tárolása. 200 fő ellátásához 3 fő szakács és 4 fő konyhai kisegítő munkás személyzetet lehet számvetni. Ennek megfelelően szükséges kialakítani a munkahelyeket, konyha-, előkészítő- és tárolóhelyeket. A fenti létszám számvetésével kell tervezni, 2 váltásnak megfelelően (6+8=14 fő) az öltözőhelyiségeket és a szanitereket. A konyha állománya női- és férfi személyzetből is állhat. Mindezek figyelembevételével és az MH norma alkalmazásával (1 szaniter / 20 fő) meghatározható, hogy egy osztott nő- férfi szaniter konténer alkalmas lehet a konyhai személyzet számára telepítendő szaniter funkció ellátására, WC-vel, mosdóval, zuhanyzóval és a férfi szaniter piszoárral felszerelve. Az öltözők kialakítását is egységesen meg lehet oldani osztott konténerekkel, így a női dolgozók öltözője könnyen szeparálható a férfi öltözőtől. ebben az esetben 6 konyhai dolgozó öltözője könnyen kialakítható 1 konténerben. A konyha vezetőjének öltözője pedig szintén lehet osztott kialakítású, ahol a konténer kettéosztott részében az egyik oldal szintén öltöző tervezhető 2 főre kialakítva (a két váltás vezetőinek), a másik részét pedig irodának lehet berendezni. A fenti osztott konténerek alkalmazásával 2 öltöző-, 1 szaniter- és 1 osztott iroda konténerben megvalósítható a konyhai dolgozók elhelyezési feltételeinek megteremtése a mai kornak megfelelő színvonal biztosításával. Összesen 2-2 konténer egymással szemben elhelyezve kapcsolódhat közvetlenül a konyhatérhez.

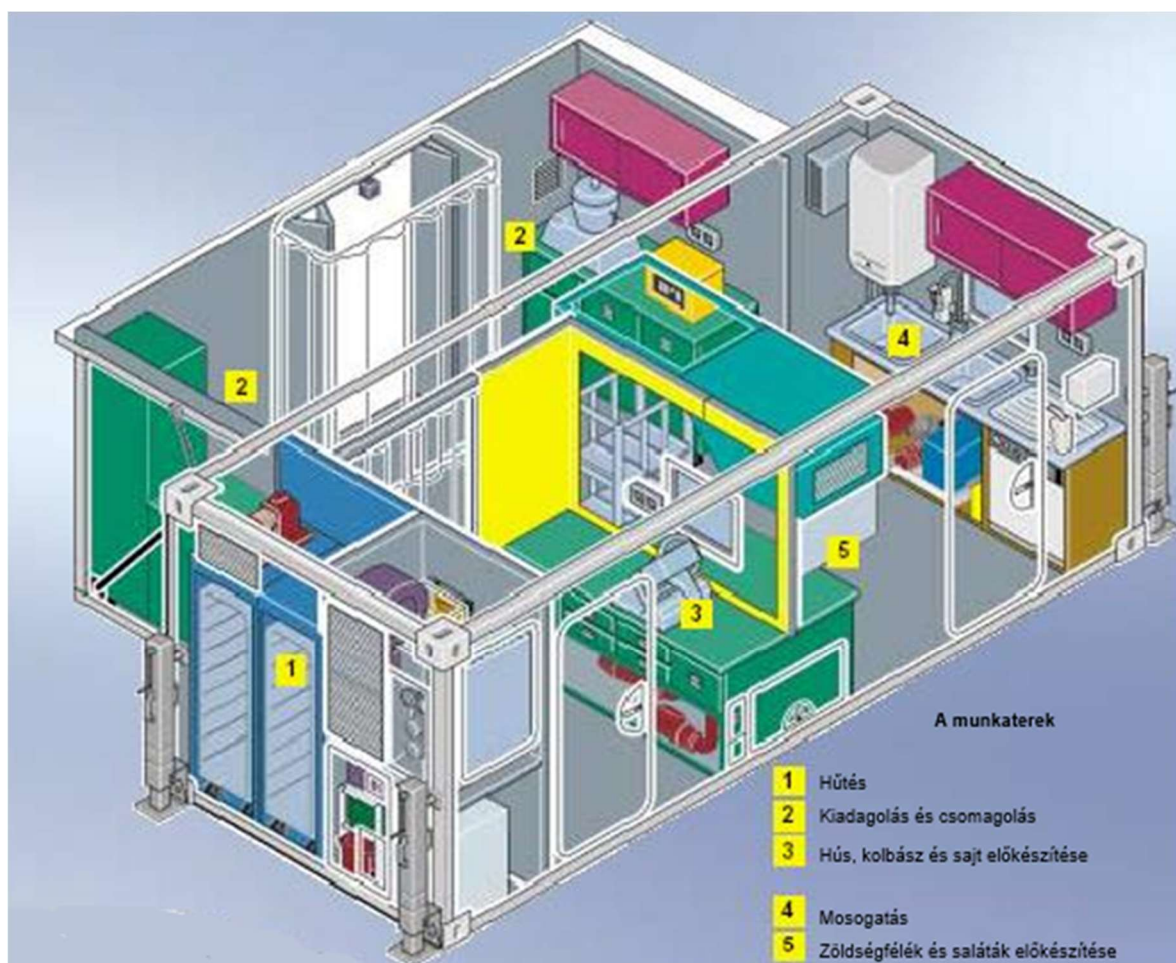
Németországban a Bundeswehr által rendszeresített technológia Kärcher gyártmány, ami Magyarországon a GAMMA Műszaki Zrt. kizárólagos forgalmazásában érhető el (VÉG 2018). A tábori konyhát az időjárás ellen védő (sátor-) rendszer védi a nap, a szél, az eső, a hó és a homok hatásától. A négy oldalszekció önállóan is telepíthető. A Moduláris tábori konyha (MFK) könnyű működtetésű- félautomata változata átalakítható konyhasátorrá (7. számú ábra), amely fényvédett (a téli éjszakai üzemeltetés, s különösen az álcázás érdekében). A higiénikus üzemeltetés érdekében mosható, pára- és zsírfelfogó nemezlemez van függesztve a vízhatlan ponyva alá. Az MFK legfőbb előnye, hogy lehetővé teszi a megfelelő egységek választásával az egyéni követelmények megfelelő konyha kialakítását. Az MFK moduljaiból kialakítható teljesen felszerelt utánfutó, konténerbe beépített konyha vagy tehergépkocsin elhelyezett berendezés.



7. ábra, GTMM16 Gamma Tábori Moduláris Mozgókonyha (forrás: respirátor.hu)

A HMCK mobil konténerkonyha 350 fő ellátására képes, ami klimatizált ISO 20 lábás konténerben van telepítve. A konténerkonyha felületei és falai rozsdamentes acélból (CrNi18/10) készülnek. Ez gyors tisztítást és fertőtlenítést tesz lehetővé az azonnali rendelkezésre állás és az előírt higiénia

feltételek biztosítása érdekében. Kärcher által kifejlesztett 150 literes, túlnyomásos Gastronorm főzőmodul van beépítve, mint a TFK 250 mozgókonyhában. A VorCon konyhai előkészítő konténer (8. számú ábra) az üzemeltetéséhez a szállítási méretének (ISO 20') háromszorosára bővíthető.



8. ábra, VorCon előkészítő konyhakonténer (forrás: respirátor.hu)

A HMCK-val együtt nagyméretű mobil konyhát képvisel. A konténer valamennyi felszerelésével és tartozékával együtt közúton, vasúton, hajón (CSC minősítésű) vagy repülőn szállítható. A konyhakonténer és az előkészítő között, illetve az előkészítő konténerben a kialakított helyiségek között automata ajtó biztosítja a közlekedést.

A tábori konyha kialakításánál figyelembe kell venni, hogy zárt rendszerű blokkot kell kialakítani, mind a személyi állomány megközelítése, a nyersanyag ellátási és feldolgozásának megfelelő technológiai út és az elkészített étel kiadás, valamint a maradék, mint konyhai hulladék kezelése tekintetében. A személyzeti bejáratot, illetve beléptetést a munkaterületre úgy kell kialakítani, hogy kizárólag az öltöző blokkon keresztül kell, hogy a konyha területének megközelítése megtörténhessen. A beérkező nyersanyag az átvevőből közvetlenül a szakosított raktárba kell, hogy kerüljön, ahonnan tovább az előkészítő helyiségből közvetlenül a konyhatérbe kell kerülnie. A készétel kiadása a konyhatérből közvetlenül az étkezde kijelölt bejáratánál elérhető tálaló helyiségen keresztül kell megvalósítani, ahonnan a maradék az étkező kijáratánál kialakítandó veszélyes tárolóba kerül.

Egy konyhablokk kialakításánál a központi részen magának a konyhai helyiségnek kell lennie, ahova közvetlen kell becsatlakozni az öltözőblokknak, az előkészítő helyiségeknek az átvevővel

és az élelmiszer-, illetve frissárú tárolóval, a tálaló helyiségnek az étkezővel és külön csatlakozik a konyhához a fekete mosogató. Az élelmiszer raktár, frissárú (zöldség-gyümölcs) tároló Belső Levegő Minőség követelményeit a következő fejezetben külön ismertetem

2.2 Belső levegő minőség

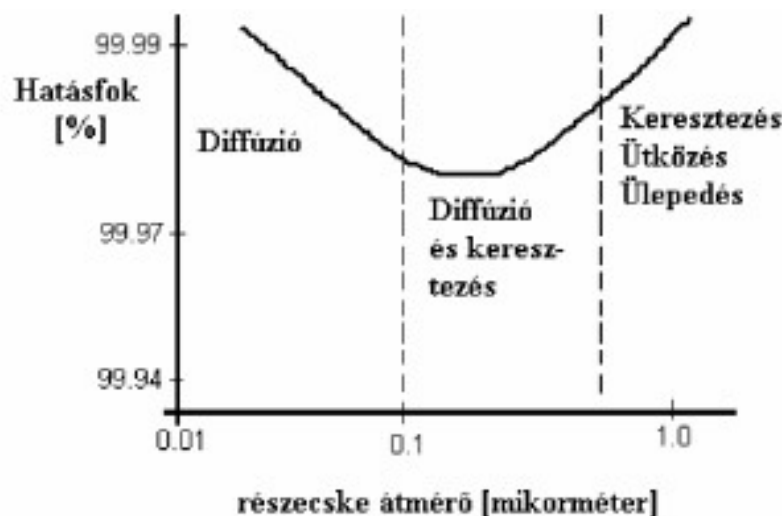
Az előző fejezetben áttanulmányoztam, hogy a katonai alkalmazásnak megfelelő, jelenlegi szabályzás szerint milyen követelményeknek kell megfelelnie a katonai táboroknak. Sajnos az elhelyezési komfort, a belső terek levegőminőségi szempontjai a mai napig nem szerepel a tervezési követelmények között. „Az emberek általában sajnos nagyon keveset foglalkoznak a beltéri levegő minőségével, pedig az ember élelem nélkül több napot kibír, még folyadék nélkül is egy-két napot, viszont levegő nélkül csak perceket.” (KALMÁR 2013) A tárgyi kutatómunkám egyik célja, hogy a katonai infrastruktúra - katonai táborok tervezési feladatai között az elhelyezési körletek belső levegőminőség követelménye kiemelt figyelmet kapjon. A következőkben ennek fontosságát, létjogosultságát kívánom alátámasztani.

A belső terek minősége függ a hőmérséklettől, a belső levegő minőségétől, a tartózkodási zóna akusztikai jellemzőitől és a vizuális komforttól, vagyis a természetes és a mesterséges világítástól.

2.2.1 Levegő minőség szennyezői

A BLM alatt a komfort terek levegőjének minden olyan nem termikus jellemzőjét értjük, amely az ember közérzetét befolyásolja. A BLM minőségét befolyásoló szennyezőanyagok lehetnek (BÁNHIDI és KAJTÁR 2000) gázok és gőzök (CO, CO₂, SO₂, NO_x, O₃, Radon), szaganyagok (szerves anyagok; emberi-, állati- és növényi szaganyagok), valamint aeroszolok (porok, lebegő anyagok, pollen, stb...). Lehetnek továbbá vírusok, baktériumok és spórák, illetve gombák.

A gázokban jelenlévő szilárd anyagok elválasztására különböző szűrők használatosak. Elsőként említtem meg a mechanikai leválasztókat (porkamrák, porleválasztó ciklonok, multiciklonok). A porkamrákban a tehetetlenségi erő okozza a porszemcsék leválasztását, míg a porleválasztó ciklonokban a centrifugális erő. A porkamra berendezés működésének elvi lényege, hogy a keresztmetszetenövekedés miatt a berendezésben az áramlási sebesség csökken, ami által a részecskék a kamra aljára hullanak. A szűrési hatásokra a részecske átmérő hatással van (9. számú ábra).



9. ábra, A részecskeátmérő hatása a szűrési hatásokra (KALMÁR 2013)

Az elmúlt időszak rávilágított a belső terek levegő minőség fontosságára. A COVID-19 járvány elleni védekezés alapja a zárt terekben az egyéni védőeszközök használata, míg friss levegőn, kellő távolságtartás mellett ezek a védőeszközök elhagyhatóak voltak. Azonban az aeroszol az egyik azonosított szennyezőanyag, amely a vírus mobilitáshoz és a mortalitáshoz kapcsolódik (DUTHEIL et al. 2020 ; HUMBAL et al. 2019). A levegőminőség koronavírusos szennyezett állapota átmeneti lehet, de egyben nagyon jól rávilágított arra, hogy megtanuljuk/megértsük, hogyan lehet hosszú távon minimalizálni a légszennyező anyagok koncentrációját (GAUTAM, 2020).

Aeroszolak a gáznemű közegben finoman eloszlott szilárd vagy folyadékrészecskék együttes rendszere. Az aeroszol viselkedésének leírásakor a részecskeméret a legfontosabb. A folyadékrészecskék általában gömb alakúak, de szilárd részecskék formája változatos. Az aeroszolak viselkedését leíró elméletek általában gömb alakra vonatkoznak, ezért szükséges volt bevezetni egy idealizált méretet. Az idealizált méret egy ekvivalens aerodinamikai átmérő, ami nem más, mint egy olyan egységnyi – a vízzel azonosítható - sűrűségű gömb alakú részecske átmérő, amely aerodinamikai tulajdonságai megegyezik a vizsgált részecske tulajdonságaival, értéke: $D / \sqrt{\rho}$. Nagy átmérőjű részecske mérete $D > 2,5 \mu\text{m}$ -nek határozható meg, a kis átmérőjű részecske $D < 2,5 \mu\text{m}$. A gáznemű közeg egységnyi térfogatában mért aeroszolak tömege a tömegkoncentráció, mértékegysége $[\text{g}/\text{m}^3]$.

Levegőszennyező anyagnak tekinthető, bizonyos peremfeltételeken túl, a vízgőz is a komforttérben. A vízgőz ideális jelenléte a levegő páratartalma szerint 40 - 60 %-nak határozható meg. A túl száraz levegőtől kiszáradnak a légutak, köhögés léphet fel, légúti fertőzések keletkezhetnek. A túl nedves levegőben megnő a páralecsapódás kockázata, ami kifejezetten gombásodást, penészedést eredményezhet. A túl nedves levegő a poratkák elszaporodásának veszélyét jelentheti.

Szaganyagok keletkeznek különböző légszennyező forrásokból kikerülő gázok és gőzök által, amelyek lehetnek különböző aldehidek, kis molekulájú zsírsavak, szerves savak, vagy kén tartalmú vegyületek. A szaganyagokat a szaglási küszöbérték, vagy szaglási határérték fölött, az olyan szaganyag-koncentráció által számítható, amelyet egy átlagos ember érzékelt tud. Különböző vegyületek különböző tipikusan jellemzett szaganyagokat tárolnak, min például záptojás szagú a kén-hidrogén-, szúrós szagú az ammónia, vagy orrfacsaró a klór-formaldehid vegyületek. A szaganyagok különböző élettani hatások kiváltására képesek úgy, mint az: allergiás reakciók, köhögés, kábultság, fejfájás, vagy hányinger.

A nem megfelelő levegőminőség hatására alakul ki a Beteg Ház Szindróma, amit a továbbiakban az angol „Sick Building Syndrome” megnevezésből SBS rövidítéssel használunk. A megbetegedéseket okozó tényezők lehetnek bármilyen diszkomfort tényezők. Károsanyag szennyezés, kis-, vagy nagy páratartalom, esetleg melegefelület és így tovább sorolhatnánk. Megelőzése érdekében kiemelt figyelmet kell fordítani a Komfortelméletet figyelembe vevő, körültekintő tervezésre, illetve a megfelelő légtechnikai rendszer alkalmazására.

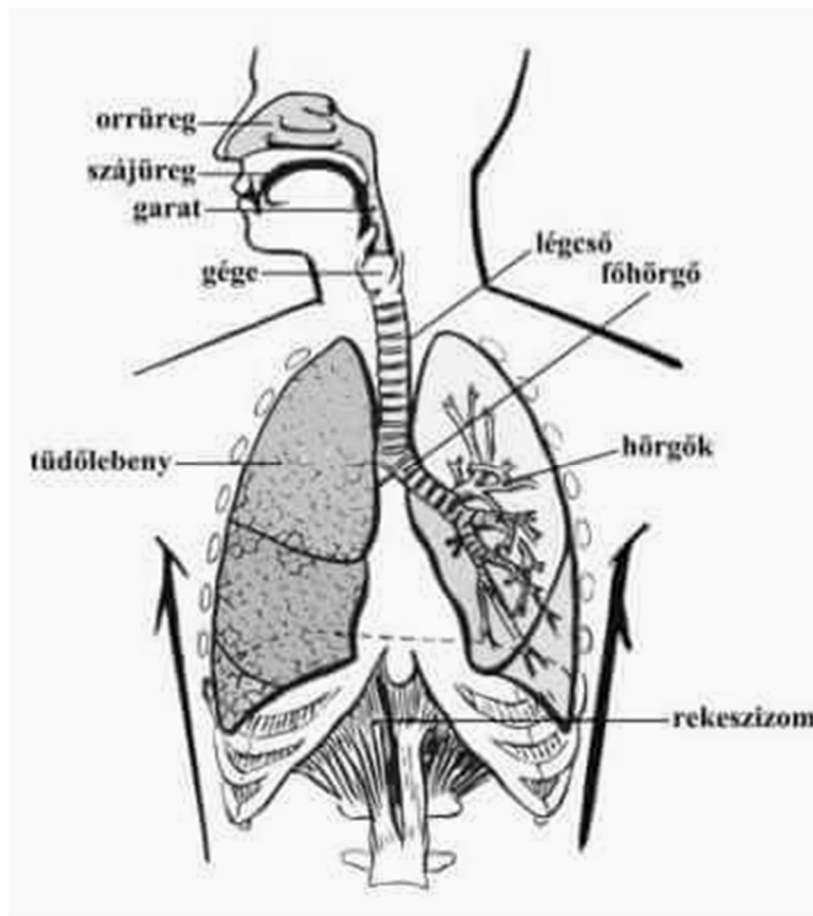
A kutatási munkám egyik feladata felmérni a jelenlegi elhelyezési körülmények között a katonai táborok pihenőkörleteiben jelenlevő szén-dioxid (CO_2) szennyeződést, valamint felmérni a CO_2 élettani hatását a katonai táborokban elszállásolt személyi állományra és ezáltal a katonai teljesítő képességre gyakorolt hatást.

2.2.2 Szén-dioxid élettani hatásai

A szén-dioxid (CO_2) légköri nyomáson légnemű, gázhalmazállapotú vegyület. A tiszta levegő mintegy 0,039 % (térfogatszázalék) szén-dioxidot (390 ppm) tartalmaz, színtelen szagtalan, levegőnél nagyobb sűrűségű, gyengén savanykás ízű gáz. Fajsúlya nehezebb a levegőnél, kb. 1,5 kg/l, de 165 °C-on már könnyebb a levegőnél. Normál hőmérsékleten 55 bar nyomáson már cseppfolyósítható és a vízben jól oldódik. A GWP a gázok üvegházhatásának számszerűsítésére használt érték, ami azonos tömegű CO_2 -hoz van meghatározva, értéke a CO_2 -re vonatkoztatottan $\text{GWP} = 1$.

Kémiai tulajdonságaihoz lehet sorolni, hogy 2000 °C felett bomlik oxigénre és szénmonoxidra, nem korrodáló, nem mérgező, de 20 tf% felett koncentrációban halálos lehet. Szilárd halmazállapotban – szénsavhó néven ismeretes szárazjég (- 78 °C). Nagy hőelvonó képessége miatt 1 kg cseppfolyós CO_2 párolgásakor 572 kJ hőt von el.

Az ember és általában minden aerob élőlény anyagcseréjének feltétele a szervezet oxigén felvétele és szén-dioxid leadása. Ezáltal a kilélegzett levegőben a szén-dioxid tartalom nagyobb, mint a környezetből belélegzett levegőben. Ennek köszönhetően növekszik a szén-dioxid koncentráció, ha nincs megfelelő természetes-, vagy kényszerített szellőztetés környezetünkben. Az ember lélegzése során a tüdőbe jut a levegő a légutakon keresztül. A tüdő két félből áll, a jobb oldalon három-, a bal oldalon kettő tüdőlebeny található. A felső légút részei az orr- és melléküregei, száj, garat és gége. Alsó légutak a légcső, tüdők és hörgők (10. számú ábra).



10. ábra, A légzőrendszer felépítése (<https://gyermekapolas.hu>)

A felső légutak a belélegzett levegőt megszűrik, a nagyobb szennyeződések az orrlyuk szőrszálain rakódnak le, a kisebbek ($d > 10 \mu\text{m}$) az orr nyálkahártyájában tapadnak meg, a még kisebb részecskéket ($2 \mu\text{m} < d < 10 \mu\text{m}$) a garat, gége és a tracheák nyálkahártyája köti meg (BÁNHIDI és KAJTÁR, 2000). A felső légút áttereszi a levegőt az alsó légutakba, tisztítja és nedvesíti, majd a gázcsera a légőlyagocskák falát alkotó hártván keresztül, a tüdő hajszálérhálózatával történik. A tüdők a szén-dioxid átalakításával a sav-bázis egyensúly fenntartásában is szerepet játszanak. A légőlyagocskák száma és mérete kb. 8 éves korig növekszik. A felső légutak további feladata a belélegzett levegő megfelelő hőmérsékletének és nedvességtartalmának biztosítása. A légzési folyamat során a rekeszizmok által a mellkas térfogata megváltozik, amit a tüdő is passzívan követ. Az oxigén felvétel a tüdőben történik. Nyugodt légzés esetén a légzési levegő térfogata $\sim \frac{1}{2}$ l. Az ember átlagos légzésszáma 14-18 [l/perc]. Az előzőekből számítható, hogy egy átlagos ember nyugodt légzési térfogata 7-9 l percnként.

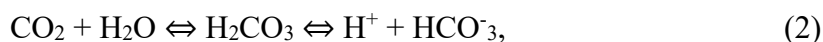
Az oxigén felvétele és szállítása két módon történik. Egyrészt a vérben oldódással, másrészt a hemoglobin oxigénfelvétellel. A tüdőből a vér szállítja az oxigént a szövetekbe, illetve a szén-dioxidot vissza. Az oxigén a parciális nyomáskülönbségnek megfelelően a tüdő kapillárisokban áramló vénás jellegű vérbe diffundál. A tüdő oxigéndiffúziós konstansa 167 ml/min., erős izommunka esetén a fokozott oxigén-szállítást a diffúziós konstans emelkedése (600 ml/min.) teszi lehetővé. A szövetekhez jutó artériás vérben a parciális oxigén nyomás 12,6 kPa. (BÁNHIDI 1994) A vér lényegesen több oxigént tartalmaz, mint a parciális nyomások alapján számolható. Ennek oka a hemoglobin. A hemoglobin (Hb) molekulásúlya 68 000 mol. Egy Hb-molekula négy atom vasat tartalmaz és négy molekula oxigént képes megkötni. A hemoglobin egyedülálló tulajdonsága, hogy reverzibilis módon képes oxigént felvenni és leadni, aminek leíró egyenlete:



1. táblázat: Parciális oxigénnyomás a vérben és a vér oxigén-tartalma:

	Artériás vér	Vénás vér
P_{O_2} ; kPa	12,6	5,3
O₂ tartalom, tf%		
teljes	20	15
fizikailag oldott	0,3	0,15
Telítettség tf%	97	70

Az 1. táblázat adatai jól szemléltetik, hogy a vérben oldott oxigén részaránya mindössze $\sim 10\%$. (BÁNHIDI és KAJTÁR 2000) A szén-dioxid felvétele és szállítása szintén két módon történik: 1) oldódás a vérben, valamint 2) kémiai kötással. A tüdőbe érkező vérben a szén-dioxid parciális nyomása 6,1 kPa, a légőlyagocskák gázterében a szén-dioxid parciális nyomása 5,3 kPa (2. táblázat). A diffúziós állandó értéke 3000 ml/min kPa. A vérben a szén-dioxid részaránya szintén nagyobb, mint a diffúzió folyamat alapján számolható. Ennek oka, hogy az izommunka során a szövetekben keletkezett szén-dioxid a vörös véresejtekbe diffundál. Ennek a folyamatnak a leíró egyenlete:



2. táblázat: CO₂ tartalom és parciális nyomásértékek a vérben (BÁNHIDI és KAJTÁR 2000):

	Artériás vér	Vénás vér
P_{CO₂}; kPa	5,3	6,1
CO₂ tartalom, tf%		
teljes	48	52
fizikailag oldott	2,6	3,0

A vörös vérsejtekben szénsav keletkezik szén-dioxidból és vízből, aminek megnő a HCO₃ koncentráció. A tüdőben az ellenkező irányú folyamatok játszódnak le. Az ember CO₂ kibocsátására vonatkozó adatokat a 3. táblázat tartalmazza.

3. táblázat: Az ember szén-dioxid termelése (KAJTÁR és SZEKERES 2011)

Tevékenység	ΣQ [W/fő]	légzési V̇ [m ³ /h]	K _{CO₂} [l/h]	O ₂ fogy. [l/h]
Nyugalmi állapot		0,3	12	14
I. ül, olvas	120	0,375	15	18
II. nagyon könnyű munka	150	0,575	23	27
III. könnyű munka	190	0,75	30	35
IV nehéz munka	>270	>0,75	>30	>35

Max von Pettenkofer a XIX. század közepén vizsgálta a komfortterek levegőjét, ami alapján a belső levegő minőségét annak CO₂ tartalma alapján minősítette az 1858-ban megjelent publikációjában. Kimutatta, hogy a belső terek (lakások, iskolák, előadótermek) levegő minősége eltér a külső levegőjétől, miszerint a külső levegő a szén-dioxid koncentrációja 0,03-0,04 tf % (300-400 ppm), a lakásokban 0,09 tf %, míg az előadóterekben ettől is lényegesen magasabb értékeket mutatott ki. Ennek megfelelően megállapította, hogy a levegőben 0,1 tf % (1000 ppm) maximális CO₂ a "jó levegő" kritériuma. Ezt az értéket a szakma Pettenkofer számnak nevezett el (PETTENKOFER 1858).

További vizsgálatok alapján a levegő CO₂ koncentrációjának a hatását az emberre az alábbiak szerint jellemezhetőek (KAJTÁR és SZEKERES 2011):

- 1 000 ppm (0,1 tf %) Pettenkofer szám,
- 25 000 ppm (2,5 %) nincs még hatás,
- 30 000 ppm (3 %) erős mély légzés,
- 40 000 ppm (4 %) órákon át fejfájást, fülzúgást, szívdobogást, szédülésérzetet, pszichikai izgalmat okoz,
- 50 000 ppm (5 %) 0,5-1 órán át halált okozhat,
- 80 000-100 000 ppm (8-10 %) azonnali halál.

A munkahelyeken megengedett CO₂ koncentráció értékek:

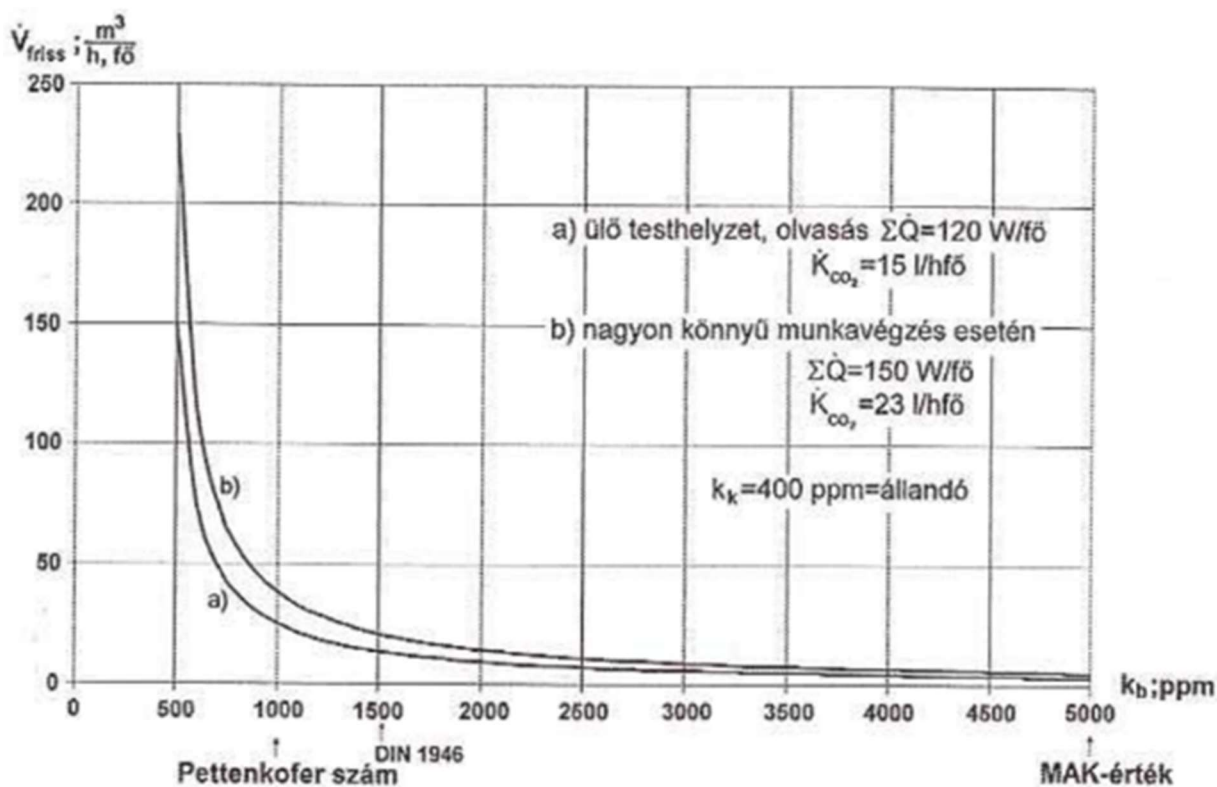
- 5 000 ppm MAK (Maximale Arbeitsplatz-Konzentration) érték,
- 9 000 mg/m³ 25/2000 EüM-SzCsM r. (ÁK koncentráció).

A CO₂ koncentráció hatását a légzési folyamatra a 4. táblázat tartalmazza.

4. táblázat A CO₂ koncentráció hatása a légzési folyamatra (BÁNHIDI és KAJTÁR, 2000)

Belélegzett levegő CO ₂ [tf%]	levegő respiráció [cm ³]	Légzésszám [1/min]	Légzési térfogat [L]
0,03	440	16	7
1	500	16	8
2	560	16	9
5	1300	20	26
10,4	2500	35	76

A belső tér CO₂ koncentrációjának függvényében a szükséges friss levegő igény változását a 11. ábra szemlélteti. Az ábrán két eset van kimutatva, aminek megfelelően be lettek jelölve a befolyásoló tényezők úgy, mint az ember adott tevékenységhez tartozó CO₂ termelése és a külső (szellőző) levegő CO₂ tartalma és jelölésre került a munkahelyeken megengedett CO₂ koncentráció tervezési értéke.



11. ábra, Friss levegő igény változás CO₂ függvényében (BÁNHIDI és KAJTÁR 2000)

A szén-dioxid koncentráció hatása az ember közérzetére tárgyban HERCZEG (2008) vizsgálta az irodatermek belső levegő minőségének-, valamint az irodai munka teljesítményének kapcsolatát. A kutatómunkája során a szén-dioxid emberre gyakorolt hatása szubjektív komfortparaméterek és embereken mért objektív paraméterek vizsgálata került végrehajtásra, mérőalanyos kísérletek elvégzésével. A kísérletek helyszíne a BME Épületgépészeti- és Gépészet Eljárás technikai Tanszék Levegőminőségi Laboratórium, alacsony emisszió szintű mérőszoba volt. Ebben a

helyiségben biztosítható volt, hogy a mérőalanyok a vizsgálatok során teljes hő- és levegőminőségi komfortban tartózkodjanak, és hogy más levegőszennyező anyag ne befolyásolja a mérési eredményeket. Ez után került meghatározásra egy maximális szén-dioxid koncentráció, mely alatt nem jelentkezik kimutatható változás az ember közérzetében, továbbá a szellemi munkavégzés minőségében és mennyiségében.

A laboratóriumi vizsgálat eredményeképpen meg lett vizsgálva és számszerűsítve a szén-dioxid koncentráció hatása az ember közérzetére. Megállapításra került, hogy 2x70 perc 3000 ppm szén-dioxid koncentráció feletti zárt térben tartózkodás után az egészséges, fiatal emberek közérzete rohamosan romlik. Továbbá meg lett vizsgálva és számszerűsítve, hogy az objektív fiziológiai jellemzők igazolják az emberi szervezet terhelésének nem megengedhető növekedését 2x70 perc 3000 ppm szén-dioxid koncentráció feletti zárt térben tartózkodás után az egészséges, fiatal emberek esetében, ahol a szignifikancia vizsgálatnál alkalmazott feltétel $p \leq 0,05$. A laboratóriumi vizsgálatok eredménye alapján megállapította, hogy az ISAX rendszer és a szívperiódus variancia, mint a CO₂ hatásának a közérzetre és az irodai munka teljesítményére vizsgálatánál még nem alkalmazott műszer és módszer a belső levegő minőség vonatkozó területén is sikeresen alkalmazható. A laboratóriumi vizsgálatok eredménye alapján az irodai munka teljesítményét és minőségét is vizsgálta. Kimutatta, hogy 3000 ppm szén-dioxid koncentrációig a szén-dioxid koncentráció változása kisebb mértékű eltérést eredményez a szellemi munka mennyiségében és minőségében, mint a vizsgált alanyok közötti különbség. Megállapította továbbá, hogy 3x70 perc 3000 ppm szén-dioxid koncentráció feletti zárt térben tartózkodás után kezd el jelentősen csökkenni az egészséges, fiatal emberek szellemi munkájának teljesítménye és minősége.

Zöld- és hagyományos irodai környezetek vizsgálatában, ahol a belső környezet minőségi (IEQ) feltételek "zöld" és "hagyományos" épületek szimulálásával végezték, megfigyelték az emberi teljesítményre és magasabb rendű kognitív funkciókra gyakorolt hatásokat, irodai dolgozóknál. Kimutatták, hogy átlagosan a kognitív funkció eredményei 61%-kal magasabbak voltak a zöld épületben, és 101 %-kal magasabbak voltak a zöld épületben töltött több nap után, mint a hagyományos épületben ($p < 0,0001$). A VOCs (illékony szerves vegyületek) és a CO₂ független összefüggést mutatott a kognitív funkció felmérési pontszámokkal (ALLEN 2015).

Az első vizsgálati CO₂ koncentráció célérték 550 ppm volt (Zöld+, 1. és 6. nap). A második célértéket, 945 ppm-et úgy választották ki, hogy az tükrözze az ASHRAE szabványnak megfelelően javasolt külső levegő szellőzési mennyiség mellett várható terhelést. A harmadik célértéket, 1400 ppm-et úgy választották ki, hogy a beltéri környezetben előforduló magasabb, de nem szokatlan CO₂-koncentrációt képviselje. A 2. és 3. napon, amikor a CO₂ független hatásait vizsgálták, a vizsgált helyiség táplevegőjéhez olyan mennyiségű CO₂-t adtak egy palackból, hogy a CO₂ koncentrációja 945 ppm és 1400 ppm állandósult állapotban maradjon. Mivel a CO₂ koncentrációra hatással van az épület filtrációja és a gáz keveredése a légtérben, ezért egy technikus valós időben figyelte a CO₂ koncentrációt, és annak megfelelően állította be a befecskendezési mennyiséget, hogy a CO₂ koncentráció állandó maradjon. Protokoll készült a résztvevők biztonsága érdekében, miszerint a CO₂ értékét valós időben figyelték a vizsgált helyiségekben, három különböző és egymástól függetlenül kalibrált mérőműszerek segítségével. A CO₂ elzáró szelepek mellett ülő technikus a CO₂ koncentrációt a teljes vizsgálati időszak alatt figyelemmel kísérte. A protokoll szerint a vizsgálatot azonnal le kellett állítani, ha a CO₂ koncentráció meghaladta az előre meghatározott küszöbértékeket, amelyet a foglalkozás-

egészségügyi határértékek alatt állapítottak meg (Amerikai Kormányzati Ipari Higiénikusok Konferenciája által meghatározott küszöbérték 5000 ppm (ACGIH 2015)).

HURSTINSZKY (2012) kutatásai alapján a mérési és értékelési módszert dolgozott ki a hazai adottságokhoz illeszkedően a belső levegőminőség mérésére, ill. a belsőépítészeti anyagok hatásának vizsgálatára szubjektív nem tréningelt mérőcsoportok segítségével. Elvégezte a szubjektív érzékelés mérési eredmények matematikai eloszlásának vizsgálatát és megállapította a mérőcsoport létszámának hatását a mérés pontosságára, valamint bemutatta az optimális létszám meghatározásának lehetőségeit. Vizsgálatait nem tréningelt mérőalanyokkal végezte, és a belsőépítészeti anyagok érzékelhető szennyezőanyag kibocsátásának szubjektív mérését olf-decipol rendszerben Fanger és Hedonic skálával hajtotta végre hazai viszonyok között (az olf és decipol mértékegység meghatározását részletesebben a 2.2.4. *Frisslevegő igény* fejezetben mutatom be).

Magyarországon a hazai környezetben az acetone gázzal olf-box laboratóriumi mérőálláson végzett vizsgálatok, szubjektív emberi szagérzékelési eredményei megfelelnek a normál eloszlásnak, illetve vizsgálatainak eredmények azt igazolták, hogy a nem tréningelt legalább 40 fős csoportból kiválasztott legjobb 10 fővel, el lehet végezni ugyanolyan pontossággal a méréseket, mint a teljes csoporttal. Az összehasonlításnál 0,01 szignifikanciaszintet alapul véve az elfogadott tesztek aránya 95%; 0,1 szignifikancia-szintnél pedig 60% volt. A mérőalanyok 12 decipol szagintenzitás alatt fölül értékelik, 12 decipol fölött alul értékelik a levegőminőségi etalont. Az eltérés regressziós függvénye egyenest ad, egyenlete (HURSTINSZKY, 2012):

$$y = -0,3499x + 4,1345 \quad (R^2=0,6529) \quad (4)$$

Mindezek alapján hazai viszonyok között mérési eljárást dolgozott ki a belsőépítészeti anyagok szagmissziójának meghatározásához az olf- decipol rendszerben.

Kutatómunkám során megvizsgálom a katonai táborok elhelyezési körletének Belső Levegő Minőség hatását szituációs lövészeti feladattal, a katona harctéri teljesítőképességére. A fentebb ismertetett kutatások eredményei alapján a mérések ugyan olyan pontossággal elvégezhető, mint négyszer nagyobb csoport esetében, ezért kontrolcsoportnak 1 szakasz - azaz 3-4 csoport, csoportonként 4-4 fő, összesen 12-16 fő, kijelölése elegendő.

A katonai tábor ISO 20' konténerből létesített pihenő körletben, mérni szükséges az ember anyagcseréje által kibocsátott levegő hatására a CO₂ koncentráció változását a belső térben. A mérések alapján számíthatóan lehetséges belső levegő CO₂ koncentráció hatását meg kell vizsgálni a katona harctéri teljesítményére.

2.2.3 Szén-dioxid hatása technológiai létesítményekben

Katonai tábori körletek kialakítása során egyértelműen meghatározóak a beltéri levegőminőségre vonatkozó követelmények. A katonai tábor technológiai épületek, a tábori konyhakomplexum, élelmiszer tárolók belső levegő minőségét azonban a komfortterektől eltérően szükséges vizsgálni. A friss élelmiszer (zöldség-gyümölcs) tároló beltéri levegőminőség vizsgálata a szén-dioxid koncentrációra fókuszálva kifejezetten fontos, mert a CO₂ emelkedett értéke az emberre káros is lehet, viszont a zöldségek-gyümölcsök eltarthatóságára pozitív hatással tud lenni.

A gyümölcsök respirációja hasonlóan befolyásolja a zárt terek levegő állapotát, mint az emberi légzés. A gyümölcsök tárolása során a fajtától függően számítanunk kell az utóérési és respirációs folyamatok okozta oxigén csökkenésre, szén-dioxid és etilén növekedésre. Mivel a respiráció

során CO₂ képződik, ha a légtérben magas a CO₂ parciális nyomása (koncentrációja), az egyensúlyi folyamat eltolódik, vagyis csökken a légzés intenzitása, ami a termék hosszabb tárolását teszi lehetővé. Alacsony költségű technológiát fejlesztettek ki az alma termésének tárolására egy elszigetelt "closed loop" (VARIVODA et al. 2022), ami lehetővé teszi a szabályozott légköri technológia megvalósítását tipikus környezetben (7-8% CO₂) és (13-14% O₂), valamint szubnormális környezetben (3% O₂ és 5% CO₂). Az oxigénszint csökkenése a CO₂ koncentráció növeléséhez hasonló módon befolyásolja a légzési folyamatok egyensúlyát (RZHEPAKOVSKY et al. 2022): csökkenti a légzés intenzitását. Azonban az oxigénkoncentráció csökkentése nem választható el a CO₂ koncentráció emelésétől. A normál légtérhez (~21% O₂) képest az oxigénszint felére csökkentésével mintegy 10 %-os légzésintenzitás csökkenés érhető el (HO et al. 2008). A túl alacsony oxigénkoncentráció <1% már káros, lassulnak a metabolikus folyamatok, a terminális oxidáció megáll, ezáltal anaerob folyamatok indulnak meg: alkoholos vagy tejsavas erjedés (BARABANOV et al. 2018). A tárolás során folyamatosan keletkező etilén is káros hatású, mivel fokozza a légzésintenzitást, ezáltal növeli a tárolási veszteségeket, ezért célszerű a légtérből eltávolítani vagy a termelődést blokkolni (DIÓSPATONYI 2012). KUSTYAWATI és társai (2020) tanulmányában ismertette, hogy 10 percig végzett szubszuperkritikus CO₂-feldolgozás megnövelte a tempéh eltarthatóságát 30 °C-os tárolási hőmérsékleten, mert a tempéh-ben lévő baktériumok, élesztőgombák és penészgombák száma csökkent. Ugyanis a penészgomba növekedése során olyan enzimeket termelnek, amelyek a különböző vegyületek fermentáció során történő hidrolízise miatt a bab megpuhulását okozzák (WATI et al. 2020). Viszont az is igaz, hogy egyébként a penészgombák együttes tenyésztése szójajerjesztésben kellemes 'élesztő' aromát eredményezett (PLEVA et al. 2018).

Hasonlóan az komfortterekben élő emberek okozta változások és az emberekre gyakorolt hatások vizsgálatához a gyümölcs tárolás során is számos tapasztalati érték áll rendelkezésünkre. FAGUNDES et al. (2013) megállapították, hogy 1 kilogramm frissen vágott alma 7 °C-on történő tárolása során óránként 25-30 ml CO₂ légzésintenzitással számolhatunk. Kísérleteik alapján ezen a hőmérsékleten az O₂ szint 21 %-ról 10 % alá csökken és a CO₂ koncentráció 0,05 %-ról eléri a 10%-t. KÁDAS és FRENÝÓ (1984) megállapították, hogy 20 °C-on történő tárolás során a citromok légzésük 14 mg kg⁻¹ h⁻¹ szén-dioxidot termel. BHANDE et al. (2008) banánra mutatták ki, hogy 10 °C-os tárolás során ~15 ml kg⁻¹h⁻¹, de ez az érték 30 °C-on meghaladja a 40 ml kg⁻¹h⁻¹ respirációs intenzitást.

A gyümölcsök hosszútávú (hónapokra nyúló) tárolásának technológiai megoldása a szabályozott légterű (CA) tárolók alkalmazása. Ezt kétféleképpen is elérhető napjainkban. Az egyik módszer, hogy a tárolóban a környezeti feltételeket úgy alakítják ki, hogy a gyümölcsök utóérési folyamata a lehető leglassúbb legyen, de ne álljon le teljesen (WEBER et al. 2017), (RAMÍREZ-ACOSTA et al. 2018) és (WOOD et al. 2022). Ehhez korszerű műszaki és informatikai eszközrendszert használnak, amivel folyamatosan ellenőrzi és szabályozza a tároló légterének paramétereit, ezáltal a gyümölcsökben zajló folyamatokat is. Ez az ún. dinamikus szabályozott légterű tárolás (Dynamic Controlled Atmosphere (DCA) storage). A másik módszer, hogy a gyümölcs tárolóba történő betárolás után a tároló légterét olyan kémiai anyaggal (például 1-metil-ciklopropén, 1-MCP) árasztják el, ami leállítja a gyümölcsökben az etilén képződését, így az utóérést is (BUTKEVICIUTE et al. 2021, THEWES et al. 2017, MDITSHWA 2018). Mindkét esetben tökéletesen záródó, minimális filtrációval rendelkező tárolók alkalmazására van szükség. Az ideiglenes létesítmények – tároló konténerok – esetén azonban számolni kell a filtráció okozta

hatásokkal, amelyek általában csökkentik a gyümölcsök éréséből és légzéséből légtérbe kerülő anyagok koncentrációját és nem vezetnek drasztikus oxigén szint csökkenéshez.

A gyümölcsök respirációja okozta CO₂ koncentráció növekedés hasonló, mint az emberek légzése következtében történő változás. A méretezés szempontjából alkalmazott egyenletek ezen a téren is használhatók, amennyiben ismerjük vagy kísérletekkel meghatározzuk az adott zöldség/gyümölcs respirációs rátáját.

A tárgyval foglalkozó kutatások rendre hosszú idejű – 1 hétnél hosszabb – tárolás során bekövetkező változásokat vizsgálják, mint pl.: 10 napos tárolást vizsgálva megállapították, hogy a mikroperforált csomagolóanyaggal csomagolt friss szeletelt gomba eltarthatósági ideje 8 nap volt, míg a nem mikroperforált csomagolóanyaggal csomagoltaké 7 napnál kevesebb (ÖZLEM et al. 2021). Szőlő esetében 1 hónap vizsgált időszakot (JONES et al. 1965) regisztráltak, almával végzett kísérletek pedig több hónap, így akár fél éves tárolást is vizsgálnak (ROMERO et al. 2019).

Az élelmiszer tároláshoz modellek alkalmazását széles körben használják a respiráció előre jelzésére (FINNEGAN et al. 2013) vagy (FONSECA et al. 2002). Azonban jelenleg nem állnak rendelkezésre általános érvényű matematikai modellek, amelyek a katonai tábor építéshez elterjedten használt ISO 20' konténer méret, a konténerre jellemző filtráció, a külső befolyásoló paraméterek és a betárolt zöldség és gyümölcs mennyisége alapján megbízható adatot adnának a légtér állapotát illetően. A katonai feladatok esetén, az anyaországtól távoli művelési területen kiemelt jelentőségű a friss élelmiszer tárolásának kiszámíthatósága, élelmiszer ellátás biztonsága.

2.2.4 Friss levegő igény

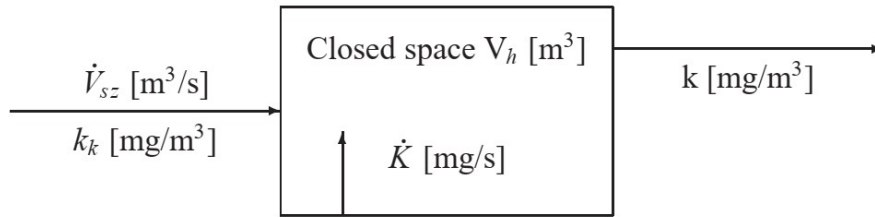
A friss levegő igény meghatározásakor figyelemmel kell lenni a szennyezőanyag koncentráció alakulására állandó kibocsátás mellett, valamint a szennyezőanyag koncentráció alakulására egyszeri kibocsátás mellett. Szükséges meghatározni a szennyezőanyag forráserősségét és a szennyezés kontaminációs fokát.

A szennyezőanyag forráserősségének a mértékegysége 1 olf. Ezt a szennyezőanyag mennyiséget egy átlagos ember, ülő helyzetben, nyugalmi fizikai állapotban, kellemes termikus környezetben, átlagos tisztálkodási feltételek mellett termeli. Az értékelhető levegőminőség mértékegysége 1 decipol, aminek megfelelően a levegő minősége tökéletes, ha a szellőző levegő térfogatárama 10 l/s és keveredés esetén a komforttében 1 olf a szennyezőanyag koncentráció.

A szennyezőanyag-koncentráció mértékegységeit különböző módon összevetve az alábbiak szerint határozhatjuk meg:

- térfogat - térfogatra vonatkoztatva: $k_{t,t}$ [m^3/m^3] vagy ppm (Parts pro millionen)
1 ppm = 1 cm^3/m^3
- tömeg - térfogatra vonatkoztatva: $k_{s,t}$ [kg/m^3]
- tömeg - tömegre vonatkoztatva: $k_{s,s}$ [kg/kg] megkapjuk, ha a $k_{t,t}$ -t osztjuk a sűrűséggel.
- darab-térfogatra vonatkoztatva: $k_{db,t}$ [db/m^3], használatos a por, aeroszolrészecske - koncentráció értékelésre.

A koncentráció változásának vizsgálatát, időben állandó kibocsátású szennyezőanyag-forrás esetén – nevezzük 1. beállításnak - a 12. ábra szemlélteti.



12. ábra, Zárt tér (Closed space) koncentráció vizsgálat, 1. beállítás (HERCZEG et al. 2000)

ahol: \dot{K} - szennyező pontforrás

V_h - helyiség térfogatára [m³]

k – koncentráció,

k_k – külső levegő szennyező koncentráció,

V_{sz} – szellőző levegő térfogatára.

A 12. számú ábrán bemutatott hatás vizsgálatának peremfeltételei, hogy a szellőzés folytonos, a koncentráció állandó és a tér homogén.

$$\dot{K} \cdot d\tau + \dot{V}_{sz} \cdot k_k \cdot d\tau - \dot{V}_{sz} \cdot k \cdot d\tau = V_h \cdot dk_b \quad (5)$$

1. tag: szennyezőanyag forrásból származó mennyiség [mg]
2. tag: a külső friss levegővel a helyiségbe jutó szennyezőanyag mennyiség [mg]
3. tag: a helyiségből távozó szennyezőanyag mennyiség [mg]
4. tag: belső levegőben lévő szennyezőanyag változás [mg]

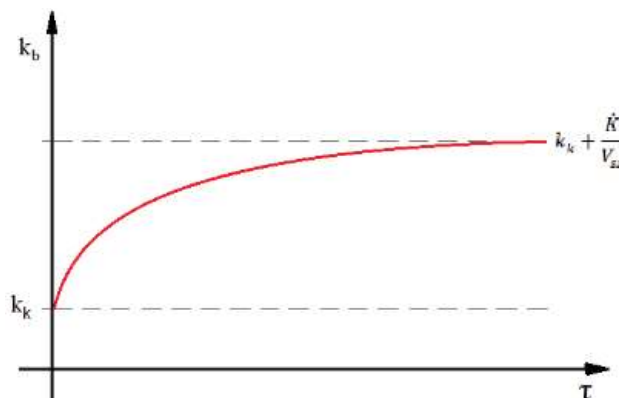
Ha osztunk a szellőző levegő mennyiségével [V_{sz}], akkor a jobboldalon megjelenik a légcsereszám [n]:

$$\left(\frac{\dot{K}}{V_{sz}} + k_k - k \right) d\tau = \frac{1}{n} \cdot dk_b \quad (6)$$

Az egyenlet rendezése után, integrálással megkapjuk a belső téri levegőben lévő koncentrációt:

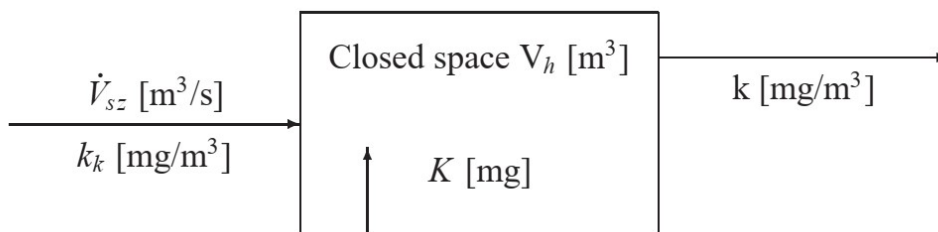
$$k_b = k_k + \frac{\dot{K}}{V_{sz}} \cdot (1 - e^{-n\tau}) \quad (7)$$

A fentiek szerint megállapíthatjuk, hogy zárt térben állandó kibocsátás mellett, folyamatos szellőztetéssel, ha $\tau \rightarrow \infty$, akkor a belső térben lévő koncentráció $k_b = k_k + \frac{\dot{K}}{V_{sz}}$; ha viszont $\tau \rightarrow 0$, akkor $k_b = k_k$, a 13. számú ábrán látható.



13. ábra, Szennyezőanyag koncentráció alakulása belső térben (BÁNHIDI és KAJTÁR 2000)

A következő – 2. beállítás szerinti - koncentráció változásának vizsgálatát adott mennyiségű szennyező anyag, egyszeri kibocsátása esetén a 14. ábra szemlélteti. A vizsgálat peremfeltételeként meghatározzuk, hogy a szellőzés folytonos, a külső levegőben nincs a vizsgált anyagból és a tér homogén, valamint nincs kényszerített elszívás.



14. ábra, Zárt tér (Closed space) koncentráció vizsgálat, 2. beállítás (HERCZEG et al. 2000)

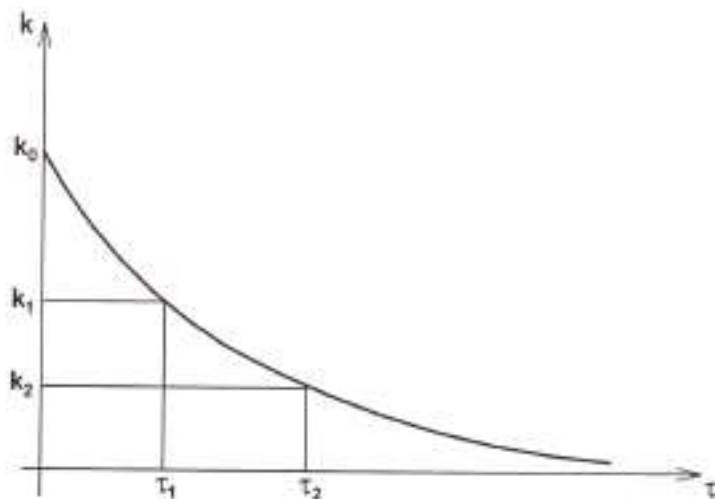
Az 1. beállításban írt egyenletet (5), a 2. beállítás szerint meghatározott peremfeltételek felhasználásával, átalakítva megállapíthatjuk, hogy

$$V_{sz} \cdot k \cdot d\tau = V_h \cdot dk, \quad (8)$$

ahol $k = k_0 e^{-n}$,

A k_0 értéke a kezdeti szennyezőanyag koncentráció. Így ha $\tau \rightarrow 0$, akkor $k = k_0$, tehát: $k_0 = \frac{K}{V_h}$ kezdeti koncentráció értéke.

A 2. beállításban vizsgált szennyezőanyag koncentráció időbeni változását a 15. ábra mutatja be, egyszeri kibocsátás és állandó térfogatáramú folyamatos szellőztetés mellett.



15. ábra, a szennyezőanyag-koncentráció alakulása 2. beállítás (BÁNHIDI és KAJTÁR 2000)

Két eltelt időpont között meghatározható a légcsereszám is az alábbiaknak megfelelően:

$$n = \frac{\ln k_1 - \ln k_2}{\tau_2 - \tau_1} \quad (9)$$

A fentiekben meghatároztuk a szellőző levegő és a távozó levegő szennyezőanyag koncentrációjának alakulását. Ezt a jelenséget megfigyelve egy a helyiség adott pontjában lévő szennyeződött levegő légcseréjét, a szellőző és a távozó levegő szennyezettségét figyelembe véve,

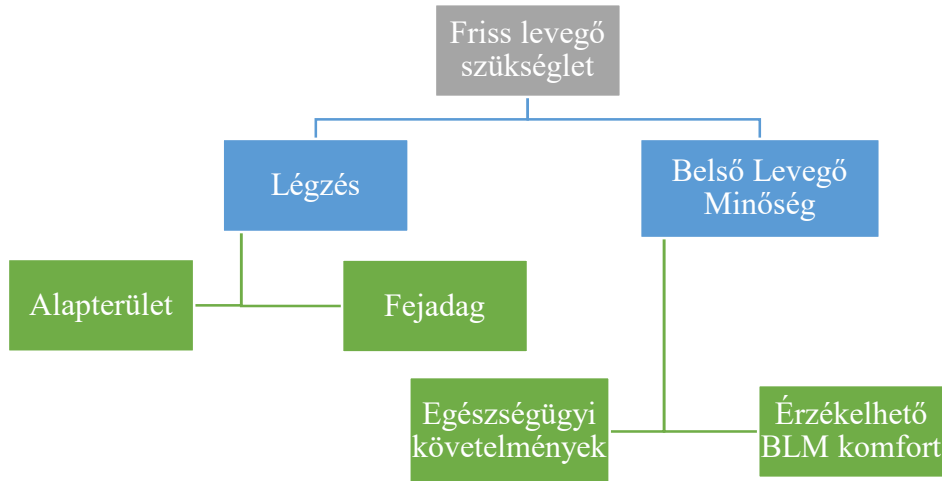
az üzemelő légtechnikai (elárasztásos, vagy hígításos) rendszert a kontaminációs fokkal tudjuk jellemezni. A kontaminációs fok (μ) számítása (MAGYAR 2007):

$$\mu = \frac{c_b - c_{sz}}{c_t - c_{sz}} = \frac{k_b - k_{sz}}{k_t - k_{sz}} \quad (10)$$

Ahol c -vel jelöljük a belső levegő minőségét és k -val jelöljük a szennyezőanyag koncentrációját. A kontaminációs fok reciproka a szellőztetés hatásossága (ε):

$$\varepsilon = \frac{1}{\mu} \quad (11)$$

A friss levegő mennyiség meghatározását több (16. számú ábra) szempont alapján lehet elvégezni.



16. ábra, Frisslevegő szükséglet meghatározása (saját szerkesztés, KALMÁR 2013 alapján)

A friss levegő szükséglet egyik szempontja a léghzéshez szükséges friss levegő mennyisége, a második pedig a tanulmányunkban eddig bemutatott BLM. A friss levegő mennyiség meghatározásakor figyelemmel kell lenni a belső levegő minőségével elégedetlenek arányára. A friss levegő szükséglet meghatározása egészségügyi érték alapján a fentebb már ismertetett szennyezőanyag koncentráció alapján szükséges számolni, ahol a belső- és külső levegő szennyezettségét is szükséges figyelembe venni.

$$\dot{V} = \frac{\dot{K}}{(k_b - k_k) \cdot \varepsilon} \quad (12)$$

A méretezést adott szennyezőanyag-fajtára vonatkozóan végezzük el. Vegyük észre, hogy a fenti egyenlet figyelembe veszi a szellőztetés hatásosságát (ε) is.

Fejadag [V_F] alapján történő számításakor egy fő részére élettanilag szükséges szellőző levegő mennyiségét határozzuk meg. Tervezési adatként meghatározható, hogy 1 fő felnőtt személy részére átlagosan 20 m^3 friss levegő szükséges óránként, ha dohányzással nem számolunk. Dohányzás esetében ez az érték $30 \text{ m}^3/\text{h}$ -nak számvethető.

$$V_F = \frac{K_{CO_2}}{(k_{meg} - k_k) \varepsilon} n_{fő} \quad (13)$$

A fenti egyenletben a K_{CO_2} az ember által kibocsátott CO_2 szennyeződés, a k_{meg} pedig a belső térben megengedett szennyező anyag, jelen esetben a CO_2 koncentráció értéke a komforttérben.

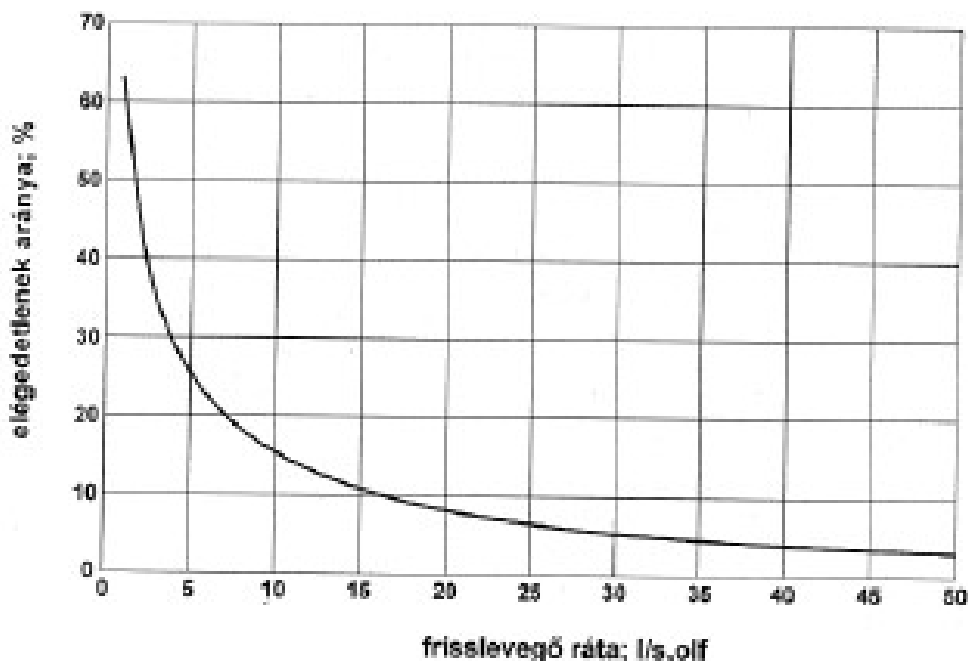
Alapterület szerinti számításnál is meg kell határozni az adott belső komforttérben arányos fejadagot.

$$V_F = V_A \left[\frac{m^3}{h \cdot m^2} \right] \cdot A_{padló} [m^2] \quad (14)$$

Friss levegő igény meghatározását az érezhető BLM biztosításához az alábbiak alapján végezhetjük el:

$$V_F = 10 \frac{G_{összes}}{(c_b - c_k)\epsilon} \quad (15)$$

A fenti egyenletben G-vel van jelölve a szennyezők forráserőssége (olf), c_b és c_k a belső és a külső levegő minőségét jelöli (decipol). A V_F számítása a következő lépésekben végezhető el. Elsőként a helyiség komfortigénye alapján – a várható elégedetlenek százalékos arányát figyelembe véve – rögzíteni szükséges a komfortkategóriát. A helyiség kategóriája alapján felvehető a belső levegő minősége, valamint a külső levegő minőségének megállapítása az épület elhelyezkedése, környezete alapján történik. A személyek szennyezőanyag-kibocsátásának meghatározása a tevékenységi szint alapján végezhető el, ahol figyelemmel kell lenni a dohányosok arányára is. Az épület, bútor, burkolat és a légtechnikai rendszer okozta szennyező anyag kibocsátásának meghatározásakor figyelemmel kell lenni arra, hogy az „üzemelő” épületek esetében 0,3 – 0,5 olf / m^2 padló értékkel lehet számolni. Legtöbb esetben (ahol van) ott a klímarendszer „termeli” a legtöbb szennyező anyagot (0,2 – 0,3 olf / m^2). A linóleum által kibocsátott szennyezés: 1,6 olf / m^2 , PVC padlóanyag 1,4 olf / m^2 , gumi 4,6 olf / m^2 . A következő lépésként a belső szennyezőanyag - források együttes emissziójának a meghatározását kell elvégezni, amelyet követően a szellőztetés hatásosságának a meghatározása elvégezhető. Ezt követően tudjuk elvégezni a frisslevegő-igény számítását.



17. ábra, Elégedetlenek aránya frisslevegő szükséglettel (BÁNHIDI és KAJTÁR 2000)

Az olf - decipol rendszer bevezetése után az elégedetlenek %-os aránya kifejezhető a fajlagos frisslevegő-ráta és az érzékelhető BLM függvényében. A fajlagos frisslevegő-ráta miatt

elégedetlenek %-os arányát KALMÁR (2013) szerint az alábbi összefüggéssel határozhatjuk meg; $PD = 395 \exp.(-1,83 V^{0,25})$, ahol a V a fajlagos friss levegő ráta (17. számú ábra).

A fentieknek megfelelően ha $V < 0,23$ l/s olf, akkor az elégedetlenek száma a komfortelmélet szerint $PD = 100\%$ -nak tekinthető. Az érzékelhető levegőminőség miatt elégedetlenek aránya; $PD = 395 \exp.(-3,25 c^{0,25})$, ahol c-vel van jelölve az érzékelhető levegő minőség. Szintén a komfortelméletnek megfelelően ha $c > 31,3$ dp, akkor az elégedetlenek száma, $PD=100\%$ -nak tekinthető. A szén-dioxid koncentráció miatt elégedetlenek aránya:

$$PD = 395 e^{(-15,15 k_{CO_2}^{-0,25})} \quad (16)$$

HERCZEG (2011) vizsgálatainak eredményei alapján meghatározta, hogy irodai munkavégzés esetén az emberek közérzete és teljesítménye $7,7 \frac{m^3}{h \cdot f\ddot{o}}$ -nél kevesebb frisslevegő bevezetés esetén jelentősen romlik. A kapott eredményt irodai munkavégzés, $k_b = 3000$ ppm és $k_k = 400$ ppm szén-dioxid koncentráció alkalmazásával határozta meg. A szignifikancia vizsgálatnál alkalmazott feltétel $p \leq 0,05$.

Célkitűzésem megfigyelni az ISO 20' egységkonténer, mint építőanyag, belső terében kialakuló CO₂ koncentrációt (k_b), az átlagos belső pontforrás és külső környezeti paraméterek alkalmazásával, a bevezetendő friss levegő meghatározáshoz, ami szükséges az elhelyezési körlet ellátásához annak érdekében, hogy a katonák teljesítő képessége a műveleti területen az elvárt határfok alá ne csökkenjen. Az elhelyezési egységkonténer belső légtere 30 m^3 , amely tábori körülmények között, a telepítési követelményeknek megfelelően berendezve 4 fő elhelyezésére ad lehetőséget huzamosabb szolgálati-, akár fél éves időszakra. Figyelemmel ezekre a tervezési adatokra, BLM szempontjából kiemelt feladat a friss levegő értékének meghatározása.

2.2.5 Hőkomfort

A hőkomfort tényezők megismerésekor fontos tisztázni azokat a különböző hőmérsékleti értékeket, illetve hatásokat, amelyek által minősíthetők és értékelhetők az emberre ható hőterhelések. Ennek megfelelően megkülönböztetünk ambiens-, közepes sugárzási- és operatív hőmérsékletet.

Az ambiens hőmérséklet a környezet azon hőmérséklete, amikor a levegő és a határolófelületek hőmérséklete azonos, az értéke árnyékkolt hőmérővel mérhető. A közepes sugárzási hőmérséklet a környező felületek hőmérséklete alapján határozható meg. Az operatív hőmérséklet a levegő és a környezet közepes sugárzási hőmérsékletét egyaránt figyelembe veszi.

Az ember hőegyensúlya

A hőérzetet, mint szubjektív érzés kialakulását döntően a következő hat paraméter befolyásolja:

- 1) a levegő hőmérséklete, annak térbeli, időbeli eloszlása, változása,
- 2) a környező felületek közepes sugárzási hőmérséklete,
- 3) a levegő relatív nedvességtartalma, illetve a levegőben lévő vízgőz parciális nyomása,
- 4) a levegő sebessége,
- 5) az emberi test hőtermelése, hőleadása, hőszabályozása,
- 6) a ruházat hőszigetelő képessége, párolgást befolyásoló hatása.

Az első négy fizikai paraméter, míg az utóbbi kettő az emberi szervezet alkalmazkodó képességével függ össze; a hőháztartás egyensúlyának fenntartása érdekében fontos.

Az emberi szervezet hőegyensúlya szempontjából alapvető tényezők:

- az emberi test hőtermelése, amely elsősorban a végzett tevékenység függvénye, de belejátszik bizonyos fokig az egyén kora, neme stb.; tehát ez műszakilag nem változtatható,
- az emberi test hőleadása, amely viszont nagymértékben függ a ruházkodástól, valamint az előzőekben említett műszaki paraméterek hatásától.

Az emberi testben égési folyamat megy végbe, és az ennek során átalakuló energia részben hő formájában szabadul fel, részben fizikai értelemben vett hasznos, illetve izommunka végzésére fordítódik. Ehhez az égéshez az emberi testnek oxigént kell felvennie, mely felvétel mértéke egyben meghatározza a végzett munka intenzitását. Nyugalmi állapotban lévő felnőtt ember oxigénfogyasztása az ún. alapanyagcsere $0,25 \text{ l/min}$ ($4,2 \cdot 10^{-6} \text{ m}^3/\text{s}$). Ennek elégekor felszabaduló hő 88 W . Az anyagcsere során, az ún. hasznos munka hatásfoka BÁLINT (1975), valamint WINSLOW és HARRINGTON (1949) szerint 20% . Tehát az emberi szervezet jobb hatásfokkal dolgozik, mint az átlagos gőzgép (14%). Emellett az anyagcsere állandó hőmérsékleten $37 \pm 0,5 \text{ }^\circ\text{C}$ -on megy végbe.

Az emberi testben végbemenő oxidációs folyamat során keletkező ún. metabolikus hő FANGER és KRIEGER (1982) elmélete szerint két részből tevődik össze: a külső mechanikai munkából (W) és a belső hőszükségletből (H). A külső mechanikai munka, itt úgy értendő, hogy az ember által végzett mechanikai munkához szükséges hőmennyiséget ugyancsak az emberi testben végbemenő oxidációs folyamat fedezi. (W) pozitív akkor, ha a fizikai munkához az energiát az (M) értékből kell fedezni (pl. lépcső megmászása), viszont (W) negatív, ha lejtőn sétálunk lefelé. A metabolikus hő tehát két részre osztható:

$$M = H + W \text{ [W]} \quad (17)$$

A mechanikai munka hatásfoka ezek szerint kifejezhető az $\eta = \frac{W}{M}$ összefüggésből. Ezt a kifejezést visszahelyettesítve az egyenletbe:

$$H = M (1 - \eta), \text{ [W]} \quad (18)$$

vagy egységnyi testfelszínre kifejezve:

$$\frac{H}{F_{Du}} = \frac{M}{F_{Du}} (1 - \eta) \quad [\text{W}/\text{m}^2] \quad (19)$$

Az F_{Du} az emberi test ún. Du Bois felülete, amely figyelembe veszi egyéni legfontosabb „metrikus” adottságokat, így az:

$$F_{Du} = 0,203 G^{0,425} L^{0,725} \quad [\text{m}^2] \quad (20)$$

összefüggésből határozható meg, ahol

G - az egyén tömege (kg),

L - az egyén magassága (m).

Végül fontos megjegyezni, hogy a különböző munkavégzés számszerű hőegyenértékének meghatározására a nemzetközi gyakorlatban a [met] egységet használják, ahol

$$1 \text{ met} = 58 \text{ W}/\text{m}^2.$$

5. táblázat, Különböző tevékenységek metabolikus értékei (BÁNHIDI és KAJTÁR 2000):

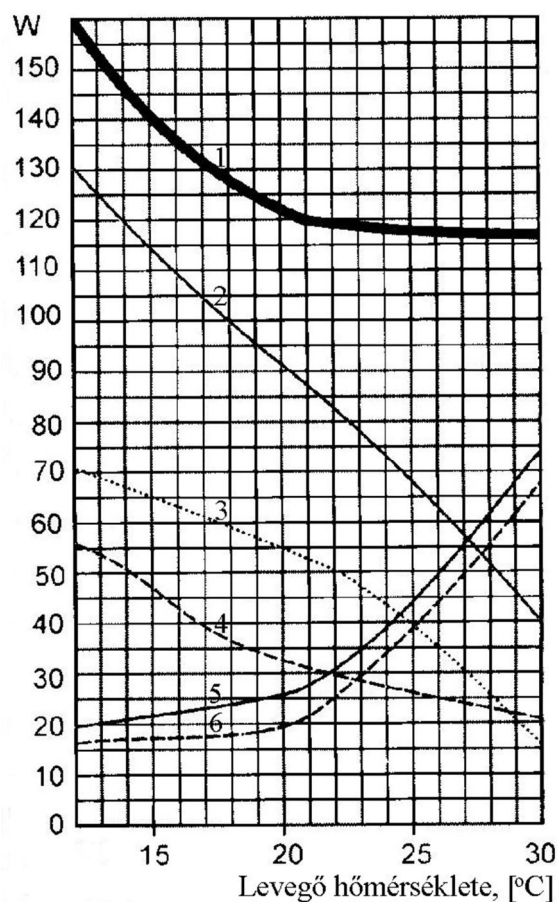
Tevékenység	M/F _{Du}		η	V _{rel} [m/s]
	[W/m ²]	[met]		
Alvás	41	0,7	0	0
Séta sík terepen 8,0 km/h	338	3,2	0	2,2
Takarítás	116 - 198	2,0 - 3,4	0 - 0,1	0,1 - 0,3

Az emberi test a benne fejlődő hőt négy módon tudja leadni (18. számú ábra):

- konvekcióval;
- sugárzással;
- vezetéssel;
- párolgással.

A gyakorlatban a vezetéssel (2,4%) és a konvekciós hőleadás értékét együttesen kezelik. Az első három hőleadási módot száraz, utóbbit nedves hőleadásnak is nevezik. A műszaki gyakorlatban, illetve a számítások során a komfortparaméterek tartományában az összes hőleadásnak.

- a sugárzásos hőleadás a 42–44%-a,
- a konvekciós hőleadás a 32–35%-a,
- a párolgásos hőleadás a 21–26%-a.



18. ábra, Az emberi test hőleadása (BÁNHIDI 1976)

A 18. számú ábrán az alábbi vonaljelölések láthatóak:

- 1 összes hőleadás;
- 2 száraz hőleadás;
- 3 sugárzásos hőleadás;
- 4 konvekciós hőleadás;
- 5 nedves (párolgás + légzés) hőleadás;
- 6 párolgásos hőleadás (könnyű munka, normál ruházat, nyugvó levegő)

Míg a sugárzás és a konvekció lehet pozitív és negatív, azaz hőfelvétel és hőleadás is, a párolgás csak negatív, azaz csak hőleadás lehet. A verejtékezés 28 – 29 °C környezeti hőmérséklet felett kezdődik, és 34 °C értéke felett a párolgás, illetve a verejtékezés a szervezet egyetlen hőleadási lehetősége.

A határoló felületek hőmérsékletének csökkenésével a sugárzásos hőcsere törvényének megfelelően nő a sugárzásos hőleadás, viszont a levegő nedvesebb a test sugárzásából ez viszonylag többet nyel el. A párolgásos hőleadás mértéke a relatív nedvességtartalomtól függ.

A test összes nedves hőleadása, (E) a testsúlyvesztéséből is meghatározható:

$$E = \frac{60\lambda \Delta m}{F_{Du} \Delta \theta} \quad (21)$$

ahol: λ a víz látens hője ($\lambda = 0,68 \left[\frac{Wh}{g} \right]$, 36 °C bőrhőmérséklet mellett);

Δm – testsúly változása, [kg];

$\Delta \theta$ – időtartam, amely alatt a testsúlyváltozás végbemegy, [min].

A légzés hővesztesége két részből áll: egy nedves hőveszteségből és egy száraz hőveszteségből. Ez utóbbi a be- és kilélegzett száraz levegő hőmérséklet különbségéből, míg a nedves hőveszteség a be- és kilélegzett levegő nedvességtartalmának különbségéből adódik

A légzés száraz hővesztesége:

$$C_{res} = 0,00152M(25,56 + 0,885t_a + 0,641p_a) \quad (22)$$

A légzés nedves hővesztesége:

$$E_{res} = 0,00127M(59,34 + 0,53t_a - 11,63p_a) \quad (23)$$

Mindkét összefüggésben az M [W]-ban, a t_a [°C]-ban, a p_a [kPa]-ban helyettesítendőek be.

A bőr nedves hőleadása két részből tevődik össze: a diffúz hőveszteségből és a verejtékezés esetén fellépő párolgásos hőveszteségből. A diffúz hőveszteség a bőr azon felületein lép fel, amelyeket nem borít be a nedvességfilm. Előfordulhat tehát, hogy mindkét hőveszteség jelen van, de az is megtörténhet, hogy csak az egyik (pl. abban az esetben, amikor egyáltalán nincs verejtékezés). Ha a testet teljes egészében beborítja a verejték, akkor a párolgásos hőleadás értéke maximális

$$E_{max} = 16,7h_c F_{Du} (p_{sk} - p_{dp}) F_{pcl} \quad (24)$$

ahol: p_{sk} a bőrfelület hőmérsékletének megfelelő telítési vízgőznyomás, [kPa];

F_{pcl} – ruházat permeabilitási hatékonysága. Mezítelen test esetén $F_{pcl} = 1$

Ha nem áll fenn a verejtékezés, akkor a bőr nedves hővesztesége kizárólag a diffúziós hőveszteségből áll, amelyet a következő összefüggéssel számíthatunk:

$$E_{\text{diff}} = 0,06 E_{\text{max}} \quad (25)$$

Ha az egyén egy adott tevékenység mellett úgy tudja leadni a hőt (6. táblázat) a környezetének, hogy kialakul a 36 - 37 °C maghőmérséklet, és a bőrhőmérséklet is megfelelő értéken marad, akkor a környezetét kellemesnek értékeli hőérzeti szempontból.

6. táblázat, Metabolikus hő különböző munkák esetén (KALMÁR 2013):

Tevékenység	Metabolikus hő, M/F_{Du} [W/m ²]	Hőegyenérték, [met]	Mechanikai munka hatásfoka, [%]	Rel. légseb., [m/s]
Serfőzdei munkás	70-140	1,2-2,4	0-0,2	0-0,2
Tanár	93	1,6	0	0
Rajzolás	70	1,2	0	0-0,1
Gépelés 30 szó/perc	52	0,9	0	0,05

A hőegyensúlyi egyenlet FANGER (1970) szerint a következőképpen írható:

$$H - C - S - C_{\text{res}} - E_{\text{res}} - E_{\text{rsw}} - E_{\text{diff}} = 0 \quad (26)$$

ahol:

- H – a testben felszabaduló hőmennyiség
- C – a konvekcióval leadott hő
- S – a sugárzással leadott hő
- C_{res} – a légzés száraz hővesztesége
- E_{res} – a légzés nedves hővesztesége
- E_{rsw} – a párolgási hőveszteség
- E_{diff} – a diffúziós hőveszteség

A hőegyensúlyi egyenlet alapján a várható hőérzeti érték (PMV: Predicted Mean Vote) és a hőérzettel várhatóan elégedetlenek százalékos arányára (PPD: Predicted Percentage of Dissatisfied). Az emberi test hőleadásakor figyelembe kell venni azt a felületi szigetelő hatást, amelyet az öltözködéssel helyezünk el a testünkön, illetve burkoljuk le a hőleadó testfelületünket. A ruházat hőszigetelő képességének mértékegysége: 1 [clo] = 0,155 [m²K/W].

Termikus környezet tulajdonságai

A termikus környezet a környezetnek azt a tulajdonságát jelenti, amely befolyásolja az emberi test és a környezet közötti hőcserét. MAGYAR (2011) szerint a termikus környezet az alábbi tényezőkkel jellemezhető:

- relatív nedvességtartalom.
- helyi diszkomfort tényezők (felületi hőmérséklet, függőleges levegőhőmérséklet különbség, sugárzási hőmérséklet aszimmetria, huzat);
- operatív hőmérséklet;
- általános hőkomfort jellemzők (PMV-PPD);

A relatív nedvességtartalomnak közvetlen és közvetett hatása is van az emberre. Hőérzetünket közvetlenül befolyásolja a levegőben lévő vízgőz parciális nyomása, vagyis a levegő relatív nedvességtartalma. A relatív nedvességtartalomnak a nem termikus aspektusa, vagyis közvetett hatása a belső levegő minőségén keresztül jelentkezik. A magas nedvességtartalom elősegíti a gombák és egyéb baktériumok szaporodását, valamint növeli a bútorokból és egyéb berendezési tárgyakkól a kémiai összetevők, pl. a formaldehid emisszióját.

A helyi diszkomfort tényezők vizsgálatára korábban már történtek kutatások (CANDAS 1999, MAGYAR et al. 1997, VAJDÁNÉ 2006). Helyi diszkomfort tényezők vizsgálata szükséges, mivel a belső terekben gyakran előfordul, hogy az adott helyiség összességében kielégíti az általános hőkomfort kritériumait, mégis a tér egyes pontjain helyi diszkomfort érzés alakulhat ki (FANGER et al. 1980, Madsen 1980). Ezen diszkomfort érzést okozhat a hideg- és a meleg padló-, fal-, vagy egyéb felületek hőmérséklete (MACSKÁSY et al. 1985), a belső tér függőlegesen eltérő léghőmérséklet különbsége, vagy a sugárzás aszimmetrikus hőhatása, illetve még a huzathatás. Huzathatásra méretezéskor három ténytet kell figyelembe venni. 1) mennyire érzékeny a huzatra általában az ember, 2) melyek az ember huzatra érzékeny testrészei, 3) mi a hatása a légáramlás jellegének (turbulencia).

A szabványok szerint (MSZ EN ISO 7730:2006, Ashrae 55:2010) az emberek a meleg mennyezet és a hideg fal, ill. ablak okozta sugárzási hőmérséklet egyenletlenségre a legérzékenyebbek. Az aszimmetrikus sugárzáson azt a jelenséget értjük, amikor a zárt térben tartózkodó ember egyes testrészei és a környező eltérő hőmérsékletű felületek között sugárzásos hőcsere jön létre.

A diszkomfort tényezőkkel az ISO 7730 foglalkozik. A szabvány az egyén általános komfortérzete és az elégedetlenség százalékos aránya alapján az épületeket három komfortkategóriába sorolja. A három kategória szerint az egyes diszkomfort tényezők elfogadható értékének tűréshatárai változnak. Helyi diszkomfort tényezők, tehát a tér csak egyes pontjaiban érvényesülők, nem egészben, illetve hatásuk nem az egész testre csak egyes részeire vonatkozik.

A hőérzeti mutatószám, olyan jelzőszám, amellyel a hőérzeti vizsgálatoknál egyes országokban az éghajlattól függően alkalmaznak a térbeli hőérzeti viszonyok érzékeltetésére. Ezek közül néhány mérhető, néhány csak empirikus összefüggésekkel határozható meg. Ilyen például az effektív huzathőmérséklet, amely a diszkomfort mértékére nyújt információt.

$$t_d = t_p - t_a - 7,66 (v - 0,15), \quad (27)$$

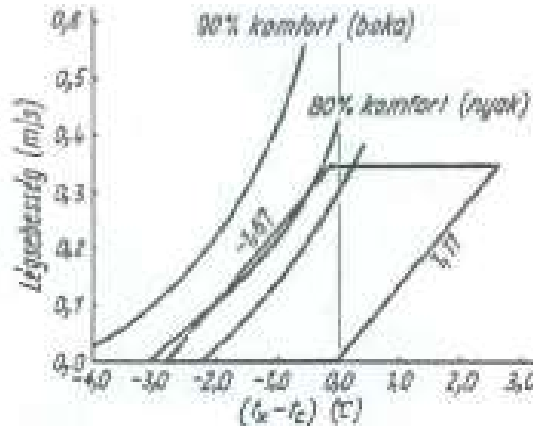
ahol:

- t_p – a léghőmérséklet a vizsgálati pontban, [°C];
- t_a – a levegő átlaghőmérséklete a belső térben, [°C];
- v – a levegő sebessége a vizsgálati pontban. [m/s]

A levegő diffúziós hatékonysági indexe (ADPI) a tér pontjainak olyan százalékos aránya, ahol az effektív hőmérséklet határait elértük (19. számú ábra). A nedves- és gömbhőmérsékleti index (a továbbiakban: WBGT-index; Wet Bulb Globe Temperature) a nedves hőmérséklet, a száraz hőmérséklet és a gömbhőmérséklet súlyozott átlaga:

$$WBGT = 0,7 t_n + 0,2 t_g + 0,1 t_{sz}. \quad (28)$$

Ez az index magában foglalja a kis és nagy hőmérsékletű sugárzás és a légmozgás hatásait is.



19. ábra, A t_a és az ADPI összefüggése (NEVINS és MILLER 1966)

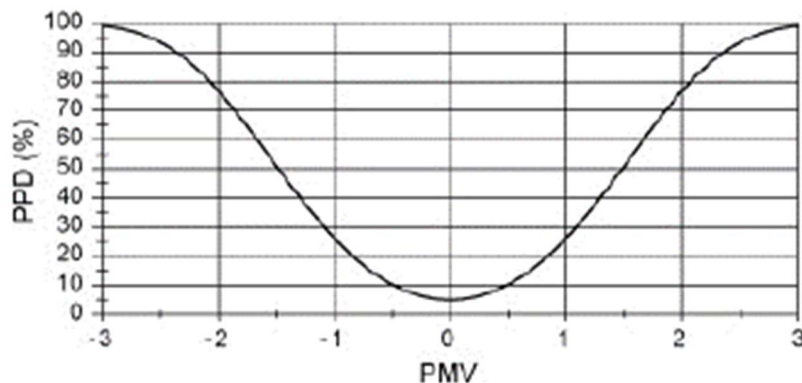
A belső tér állapotát legjobban az operatív hőmérséklettel lehet jellemezni. Az operatív hőmérséklet a levegő hőmérsékletének és a környező felületek átlagos sugárzási hőmérsékletének a hőtadási tényezőkkel súlyozott átlaga.

$$t_0 = \frac{\alpha_s t_{ks} + \alpha_c \alpha_a}{\alpha_s + \alpha_c} \quad (29)$$

ahol:

t_0 : operatív hőmérséklet	[°C],
t_{ks} : közepes sugárzási hőmérséklet	[°C],
t_a : levegő hőmérséklete	[°C],
α_c : konvekciós hőtadási tényező	[W/m ² °C],
α_s : sugárzási hőtadási tényező	[W/m ² °C]

A belső tér légállapotát az operatív hőmérséklettel jellemzi a többi szabvány is (MSZ EN 15251:2008). Az általános hőkomfort a PMV-PPD értékekkel jellemezhető (MSZ EN ISO 7730:2006, MSZ EN 15251:2008). FANGER (1970) széles körben végzett kutatással személyek szubjektív hőérzeti adatát összegyűjtve dolgozta ki elméletét. Az ún. Fanger diagramok használatosak a belső terek méretezéséhez, melyek segítségével törekedhetünk a PMV=0 biztosítására.



20. ábra, A PMV és a PPD elméleti kapcsolata (FANGER 1982)

FANGER a hőegyensúlyi egyenlet alapján dolgozta ki a komfortdiagramokat, amelyek alkalmazhatók a belső környezet méretezésére hőérzeti szempontból. A diagramok kidolgozásánál a megadott környezeti paraméterek PMV=0 (PPD=5%) értékre vonatkoznak (20. számú ábra). A diagramok általánosan érvényesek (a kor, nem, stb... nincs figyelembe véve).

Az épület belső környezetének minősítésére az MSZ EN 15251:2008 angol nyelvű magyar szabvány 4 kategóriát különböztet meg:

- I. kategória: magas szintű elvárás (pl. kórházak);
- II. kategória: normál szintű elvárás (pl. új és felújítandó épületek);
- III. kategória: mérséklet szintű elvárás (pl. meglévő épületek);
- IV. kategória: az előző három kategórián kívül eső épületek (pl. idényjellegű használat).

Hőérzet - hőkomfort mérés

Az emberi hőérzet szubjektív érzés, amely magában foglalja az emberi pszichológia és az emberi környezet kölcsönhatását (FANGER 1970). Az emberi hőkomfort állapotának megfigyelése az elmúlt évtizedekben, a technikai fejlődés lehetőségei és az energiahatékonyság előtérbe kerülése okán kiemelt jelentőséggel és széles területen megjelenő részévé vált a műszaki tudományoknak. Például az érintkezés nélküli hőkomfort mérése is megjelent, a bőr vérátáramlásának vizuális, kamerával történő diagnosztikája és a légzés számszerűsítésével (JUNG és JAZIZADEH 2018) (JAZIZADEH és JUNG 2018). A vérerek összeszűkülése és a test hőleadó felületének csökkenése történik, amikor az ember fázik. Ha az ember melegen érzi magát értágulás és a pózok változtatása, mint önmaga legyezése és az izzadság letörlése történik (ARENS és ZHANG 2006). A hasonló pózok megfigyelésére a hőérzethez kapcsolódóan 'Kinect' használatát is vizsgálták (MEIER et al. 2017).

A hőkomfort egyéni, szubjektív érzés, amely folyamatosan változik, ahogy a személy interakcióba lép a környező hőkönyezettel (WANG et al. 2018). Az emberi hőkomfort állapotát a hőkönyezeti paraméterek objektív mérésével, vagy a lakók szavazási rendszereinek (OVS pl. webalapú vagy okostelefon alkalmazás alapú felmérésekkel) használatával lehet megállapítani, (RUPP et al. 2015) (JUNG és JAZIZADEH 2019).

A kérdőíves felmérés egy hasznos és emberközpontú módszer, a lakók szubjektív értékelésének vizsgálatára a termikus környezetre vonatkozóan. (ZHAO et al. 2014). A lakók, mint vizsgált alanyok számára azonban nem mindig kényelmes, hogy megadja a valós idejű visszajelzést a hagyományos nyomtatott kérdőívek segítségével (GHAHRAMANI et al. 2015). Mai fejlett környezetben webalapú, vagy okostelefon alkalmazás alapú felmérések is megvalósíthatóak, azonban ezek is személyes részvételt igényelnek. Az elfogadható termikus környezet fenntartásának gyakorlati céljának eléréséhez az épületrész a környezeti paraméterek mérésére, beleértve a beltéri száraz hőmérsékletet is, a következőkre támaszkodik:

- hőmérséklet,
- relatív páratartalom,
- a levegő sebessége és
- a sugárzási hőmérséklet.

Az állandó beltéri paraméterek szempontjából a hőkomfort környezetét kell meghatározni úgy, hogy az épületben tartózkodók legalább 80%-a pszichológiailag elégedett a belső tér hőmérséklet tartományával, környezetével (ANSI/ASHRAE standard 55-2013 és ISO 7730). Más kutatások az egyéni termikus komfortot vizsgálták és felépítettek egy neurális hálózat alapú modellt (LIU et al. 2007). Később a beltéri hőmérséklet előrejelzésére nemlineáris autoregresszív hálózati modellt dolgoztak ki, ahol a hálózat méretét a hatékonyság javítása érdekében hangolták be (AFROZ et al. 2018). Azonban nagy az inter- és intraindividuális különbségek az emberi hőkomfortban:

különböző emberek, különböző szubjektív érzések azonos beltéri környezetben (WANG et al. 2018). Ezért további kutatások a fiziológiai mérési módszereket vizsgálták, többek között invazív, félig invazív mérési módszer és érintés nélküli mérési módszer.

A bőrhőmérséklet az emberi hőkomfort becsléséhez általában használt köztes paraméter, így vizsgálható az emberi hőérzet és a felső végtagok bőrhőmérséklete közötti kapcsolat (WANG, 2007). Az emberi hőérzet a perifériás bőrhőmérséklet alapján is számítható, ezért más kutatások szubjektív kísérletet végeztek a perifériás bőrhőmérséklet és a szubjektív érzékelés közötti kapcsolat elemzésére (NAKAYAMA et al. 2009). A kísérletek és megfigyelések alapján, több módszer is javasolt a hőkomfort előrejelzésére a bőrhőmérséklet alapján. (LIU et al. 2011, TAKADA et al. 2013, WU et al. 2017, CHAUDHURI et al. 2018). A szívfrekvencia-változást (HRV) és az elektroencefalogramot (EEG) is vizsgálták a hőkomfort becslésére (YAO et al. 2019). Az eredmények azt mutatják, hogy a HRV és az EEG olyan tényezők lehetnek, amelyek tükrözik az emberi hőkomfortot. Fiziológiai mérések invazív módszerébe gépi tanulási módszert vezettek be, miszerint adatvezérelt módszerhez három termikus komfortfokozatot határoztak meg: hűvös diszkomfort, komfort és meleg diszkomfort. Ezen szintek alapján osztályozókat építettek fel, amelyek a tartó vektor gépen (magyar rövidítés híján az SVM angol rövidítést használjuk Support Vector Machine), mesterséges neurális hálózaton (ANN) és logisztikus regresszió (LR) alapultak (CHAUDHURI et al. 2017). További kutatás kombinálta a gépi tanulást a bőrhőmérséklettel, ami egy SVM-en alapuló intelligens szabályozási módszert javasolt. A validálási eredmények azt mutatják, hogy három bőrmintavételi pont elegendő információt tud szolgáltatni a termikus komfort becsléséhez (DAI et al. 2017). A lineáris kernellel rendelkező SVM osztályozó jobb, mint a Gauss kernellel rendelkező, ami alapján személyes komfortmodell javasolt a lakók hőérzetének előrejelzésére (KIM et al. 2018)

Fél-invazív mérési módszereket is vizsgáltak (GHAHRAMANI et al. 2016) ami alapján az emberi szem körül három mintavételi ponton gyűjtötték a bőr hőmérsékletét. Az infravörös érzékelőket szemüvegbe építették be, és alanyokon így végeztek szubjektív kísérleteket (GHAHRAMANI et al. 2018). Az invazív- és a félinvazív mérési módszer hátrányai nyilvánvalóak, a fiziológiai paraméterek gyűjtéséhez szorosan illeszkedő érzékelőre van szükség, ami akadályozza a széleskörű alkalmazást. Megoldásként normál számítógépeket és mobiltelefon-kamerákat használata is megvalósítható az emberi hőkomfort előrejelzésére (CHENG et al. 2017).

Az elmúlt években Deep learning (mély tanulási) technikák alkalmazását is bevezették erre a problémára (LeCUN et al. 2015). A tanulmány mellett, ahogy fentebb is említettem, számos más kutatás is foglalkozott a gépi tanulás és a hőkomfort-előrejelzés kombinálására, ahol elsősorban SVM-et használtak és a módszer validálásához nyilvános adathalmazt alkalmaztak (FARHAN et al. 2015, MEGRI et al. 2016, PENG és HSIEH 2017). Erre alkalmas igényvezérelt módszer is bemutatásra került, amelyet egy kereskedelmi épület tizenegy helyiségében validáltak, felügyelet nélküli és felügyelt tanulást használva a lakók viselkedésének előrejelzésére (PENG et al. 2018).

Kutatómunkám további célja, hogy új tudományos eredményem alapján illeszthető eljárás kialakítható legyen a katonai felderítés környezeti értékek adataival, a katonai táborok tervezési eljárásába a katonai tábor építésére alkalmas, modulárisan telepíthető, masszívabb konténerek több fajtái, valamint a könnyen és gyorsan telepíthető sátor, mint telepítési anyagok kiválasztásához, az alkalmazási időtartam általános kijelöléséhez.

2.3 Matematikai modell, többszörös lineáris regresszió (TLR) alkalmazása

Az épületfizika ábrázolása mindig is nehéz volt, ezért minden modellnek feltételezéseket kell használnia. Például a dinamikus termikus modellekben az épület filtrációt állandó háttérszellőzési sebességként parametrizálják. Míg a valóságban az épület filtrációja egy pillanatnyi jelenség az épület légtömörségétől, a pillanatnyi szélviszonyoktól, valamint a belső tér és a külső környezet hőmérséklet-különbségétől függően. Az épület légtömörsége nyomás alatti vagy nyomásmentes körülmények között végzett kísérletekkel becsülhető meg, azonban az így kapott filtrációs légsebesség egy átlagos sebesség, nem pedig az, ami valós időben jellemzi az épületet. Az épülethomlokzatok termikus tulajdonságaira vonatkozó standard feltételezések, azaz a szimulációs eszközökhöz használata, meglehetősen eltérőek lehetnek a gyakorlatban mért valós hőteljesítményekhez képest (FRANCIS et al. 2015, LUCCHI 2017) Amikor dinamikus hőszimulációs eszközökkel hoznak létre épületmodellt, előfordulhat, hogy az épület szerkezetek paraméterei nem tükrözik teljesen a valóságot, az érintett épület adatainak hiánya miatt.

Általában kétféle matematikai modell létezik egy fizikai tulajdonság, mint például a hőmérséklet, leírására. A fehér dobozos, vagy fizikai alapú modellek, amelyek pontos fizikai/termodinamikai törvényszerűségeket írnak le, illetve a fekete dobozos modellek, amelyek a hőmérsékletet a rendszer bemenetei és kimenetei közötti empirikus korrelációkat írnak le (megfigyelések vagy mérések alapján). A szürke-doboz modellek egy bizonyos keverékét jelentik a fekete- és fehér dobozos modelleknek. A legalapvetőbb fizikai alapú modellezési megközelítés a hőátadás (és az energiamérleg) klasszikus elméletére épül (INCROPERA 2010). A black-box típusú modell leírás empirikus, ami támogatja a modellezés egyszerűségét, de hátrányként - a fizikailag megalapozott modellekkel ellentétben - elrejt a valós fizikai összefüggéseket.

Több tanulmány (COAKLEY et al. 2014, HARISH és KUMAR 2016), számos fizikai alapú, fekete dobozos és szürke dobozos modellt mutatnak be, különböző épületekben a beltéri hőmérséklet vagy más komfortot meghatározó változók leírására. Például, a hőmérséklet és a szennyezőanyag (CO₂) koncentráció függőleges eloszlásának leírására egy blokkmodellel szolgál (KOBAYASHI és UMEMIYA 2022), ahol a helyiséget kontrolltérfogatként blokkokra osztják. Más kutatások (KONSTANTINOU 2022) lineáris vegyes hatású modelleket használnak a beltéri (például a beltéri hőmérséklet) és a kültéri környezeti paraméterek közötti kapcsolatok feltárására. A legrészletesebb modellezési megközelítések a magas számítási igényük miatt numerikus eszközöket és speciális szoftverplatformokat igényelnek a beltéri hőmérséklet szimulálásához (általában nemcsak az idő, hanem a tér függvényében is). Ilyen eszközök a CFD (Computational Fluid Dynamics) modellek (MULLEN et al. 2015, YAN et al. 2015) és a BES (Building Energy Simulation) modellek. A BES modellek közé tartozik - többek között - a DOE-2 (WINKELMANN 1993), az EnergyPlus (CRAWLEY et al. 2001) és a TRNSYS (KLEIN 2022). Elérhető kutatások, amelyek a TRNSYS, az EnergyPlus és az IDA ICE - mint népszerű BES-eszközök - előrejelzési pontosságát értékeli a szimulált eredmények és a valós üzemeltetési körülmények között gyűjtött mérések összehasonlításával (MAZZEO et al. 2020).

Más tanulmány az üvegház belső hőmérsékletét a TRNSYS és az EnergyPlus programmal is modellezi. Ez a kutatás kibővíti a TRNSYS-t, hogy képes legyen modellezni az összetett és speciális termodinamikai jelenségeket az üvegházakban (BAGLIVO et al. 2020). A BES-modellek összetettségük miatt sok bemeneti adatot igényelnek, ami növelik a kimenetek bizonytalanságát (beltéri hőmérséklet, levegő páratartalma, hőmérséklet- és légnedvesség-értékek stb.). Ennek megfelelően megbízható és nagyon pontos mért bemeneti adatokra van szükség. Létfontosságúak az érvényes modell létrehozásához (KARLSSON et al. 2007, BHANDARI et al. 2012), azonban ezeket a nagy mennyiségű a mérési adatokat általában nem könnyű összegyűjteni.

A fekete dobozos modellezési technikák közé tartoznak többek között az autoregresszív modellek külső bemenetekkel (ARX-modellek), a mesterséges neurális hálózat (ANN), a genetikai algoritmus és a többszörös lineáris regresszió (TLR) modellek. Az ARX, az autoregresszív mozgóátlag külső bemenetekkel (ARMAX), a Box-Jenkins és a kimeneti hiba modelleket, mint black-box modelleket mutatják be egy kereskedelmi épületben lévő iroda beltéri hőmérsékletének és relatív páratartalmának előrejelzésére (MUSTAFARAJ et al. 2010). A modellek viszonylag összetettek, ismert szerkezetű és ismeretlen paraméterekkel rendelkező átviteli függvényeket, magasabb rendű polinomokat tartalmaznak az átviteli függvények számlálójában és nevezőjében, valamint a zajok/zavarok kifejezésére szolgáló kifejezéseket. Egy (részben) fizikai alapú ARMAX modellt és annak többlépcsős változatát a mutatnak be (WU és SUN 2012), amelyet úgy terveztek meg, hogy a modell együtthatóinak az építészeti paraméterek függvényében történő TLR-reprezentációjával szolgálnak.

Hasonlóképpen, az építészeti paraméterek beépülnek az épületek termikus komfortjának értékelésére szolgáló empirikus ASHRAE PMV (Predicted Mean Vote) modell kétlépcsős regressziós reprezentációjába (WU és SUN 2012). A modell identifikálásához és validálásához kiterjedt mért adatokat használnak fel, amit hasonlóan a 21. számú ábrán látható műszerezettséget kívánt meg.



21. ábra, Hőáram- és hőmérséklet- érzékelők és elrendezésük (forrás: YINGCHUN et al. 2019)

Továbbá egy lineáris parametrikus ARX-modellt és annak nemlineáris javítását dolgozzák ki (MUSTAFARAJ et al. 2011) egy nyitott iroda száraz hőmérsékletének és relatív páratartalmának előrejelzésére egy modern épületben. Az identifikáláshoz és a validáláshoz külső- és belső környezeti adatokat használnak.

Hasonlóképpen, nemlineáris ARX és ANN modelleket javasolnak (THILKER et al. 2022) egy iskolaépület egyes helyiségeinek hőmérsékletének leírására. A modellek célja a prediktív szobaszintű szabályozás támogatása. Ebben a tanulmányban is megemlítik, hogy az ANN-modellek az alapvetően lineáris ARX-modellek (nagyon nagy dimenziójú) nemlineáris változatainak tekinthetők, és könnyen képesek a nemlineáris hatások kezelésére. A mesterséges intelligencia alkalmazásán belül a genetikai algoritmusok (FERREIRA et al. 2012) és az ANN-ek gyakran használt eszközök az épületrendszerek szimulációjában. Ezek azonban nagy számítási igényűek. Általában pontos modelleket szolgáltatnak, de használatuk meglehetősen problematikus a képzési/tanulási folyamatuk miatt, amely gyakran nagy mennyiségű különböző mért adatot és sok időt igényel a konvergenciához. Továbbá a képzési algoritmus és a modell felépítésének megfelelő kiválasztása gyakran nagy szakértelmet igényel a felhasználótól. Például egy speciális metszési algoritmust alkalmaznak (MUSTAFARAJ et al. 2011) az ANN-ben a rejtett neuronok pontos számának meghatározására. Általánosságban elmondható, hogy a TLR modellek praktikusabb (könnyen és gyorsan használható) fekete doboz modellező eszközök, bár egyszerűségük miatt általában kevésbé pontosan képesek leírni a komplex termikus jelenségeket.

A TLR-modellek valójában egyszerű lineáris kapcsolatokat ábrázolnak a bemeneti és kimeneti változók között (RENCHER és SCHAALJE, 2008). A modellek állandó paramétereit mérések alapján kell azonosítani. Egy tanulmány bemutatja (GIVONI és VECCHIA, 2001), hogy TLR-alapú modellt alkalmaznak a napi átlagos beltéri hőmérséklet, valamint a napi minimális és maximális beltéri hőmérséklet leírására lakott házakban (Brazíliában). Megállapították, hogy ezek a hőmérsékletek jól megjósolhatók az átlagos, a minimális és a maximális környezeti hőmérsékletből. Hasonlóképpen, a napi átlagos beltéri hőmérsékletet TLR segítségével modellezték (MORETTI et al. 2021). A modellben 8 bemeneti adat van, mint például a napi maximális környezeti hőmérséklet, a napi átlagos környezeti hőmérséklet, a napi átlagos napsugárzás stb.

Egy tanulmány (MOON et al. 2021) ANN-alapú termikus vezérlést mutat be a kettős homlokzatburkolattal rendelkező épületek számára. Kiegészítő segítségként az ANN-modell létrehozásához TLR-t használnak, validálás nélkül, a kimeneti beltéri hőmérséklet és a következő bemeneti adatok közötti kapcsolat tanulmányozására: a függőleges napsugárzás (a homlokzatra érkező), a környezeti hőmérséklet és a homlokzati burkolatok közötti hőmérséklet. Más tanulmány (FENG et al. 2022) bemutatja, hogy TLR- és véletlen erdő alapú regressziós modelleket építettek a beltéri hőmérséklet leírására különböző időjárási változók (a napsugárzás nem szerepel), térbeli tervezési paraméterek (például ablak - fal arányok) és használati paraméterek (például az épület napi foglaltsági aránya) függvényében.

PAPST (2004) modelljét és egy ún. egyszerű eszközök modelljét hasonlítják össze egy másik tanulmányban (KRÜGER et al. 2017). Mindkét modellt egy tesztcellában a beltéri hőmérséklet óránkénti előrejelzésére használják. Az adott órai beltéri hőmérsékletet a modellekben az előző órai beltéri hőmérséklet és/vagy az adott órai és/vagy az előző óra(i) környezeti hőmérséklet függvényeként fejezik ki. A PAPST-modell két állandó paraméterét lineáris regresszióval azonosítják. A kísérletekhez használt tesztcella egyetlen, körülbelül 5 m² -es és 12 m³ -es helyiségből áll és hagyományos építőanyagokból készült (például betonból, téglából és csempe).

Többszörös másodrendű (nem lineáris) regressziós modelleket dolgoztak ki az ún. termikus hosszskálához (HU et al. 2021), mint a befűjt levegő paraméteréhez, egy helyiség szellőztető rendszerhez viszonyítva, a helyiségen belüli termikus rétegződés leírására. A rétegződést különböző dimenziótlan hőmérsékleti változókkal jellemzik.

TLR alapú vagy akár egyszerű (nem többszörös) lineáris regresszió alapuló modelleket már sikeresen (meglehetősen jó pontossággal) alkalmaztak másfajta változók előrejelzésére, nevezetesen szellőztetett vagy légkondicionált helyiségek légnedvességére és hőterhelésére (THIANGCHANTA és CHAICHANA 2020), víztárolók belső hőmérsékletére (KICSINY 2018), hőcserélők kimeneti hőmérsékletére (GÉCZI et al. 2019), csövek hőmérsékletére (KICSINY 2017) stb.

A mérések bizonytalansági értékeinek ismeretében a bizonytalansági értékek a modellezett belső hőmérséklet [T_b] meghatározható mind a fizikai-alapú matematikai modellre, mind pedig a TLR alapú modell esetében is. Az alkalmazott relatív hiba, abszolút hiba, átlagos abszolút relatív számítási módszernek megfelelő összefüggés (KLINE és McCLINTOCK 1953) jól ismert és széles körben használt (SZÉKELY et al. 2021), amelyet az anyag és módszer ismertetésekor részletesebben bemutatok.

2.4 A szakirodalmi áttekintés összefoglaló értékelése

A szakirodalom feldolgozás első részében bemutattam, hogy miként értelmezem a kutatási témám szerint vizsgált ideiglenes létesítményeket, ideiglenes táborokat. A katonai táborok telepítéséhez a Magyar Honvédségnél az M63 mintájú egységsátor rendszeresített, azonban parancsnoki felelősségnek megfelelően a katonákról való gondoskodás, magasabb szintű ellátás megvalósításához az ISO 20' konténer alkalmazásával telepített táborok kialakítása elvárt. Megállapítottam, hogy a táborok tervezésében a belső terek levegőminőségi szempontjai jelenleg még nem szerepel a követelmények között, ezért eltökélt szándékom megvalósítani, hogy a katonai infrastruktúra szakágnál, a katonai táborok tervezéséhez az elhelyezési körletek belső levegőminőség (BLM) követelménye kiemelt figyelmet kapjon.

A kutatómunkám kiemelt részeként áttekintettem a Belső Levegő Minőség (BLM) általános követelményeit, ahol a hőkomfort méretezés szempontjából a katonai elhelyezési körletek belső tervezési alapadatai a vonatkozó szabványoknak megfelelően 22 ± 1 °C. Figyelemmel az ISO 20' konténer fizikai jellemzőire (méretei, szigetelés, stb.) feltételezem, hogy a sugárzási aszimmetria nagyobb hatással lehet az elhelyezett állományra. Ezt a diszkomfort érzetet a körlet magasabb léghőmérsékletre állításával tudja kompenzálni a katona. A szakirodalom különböző mérési (invazív, fél-invazív és érintés nélküli) módszereket mutattam be, azonban figyelemmel arra, hogy táborépítő készletben a fűtési berendezés általában elektromos konvekciós fűtőtest, a belső levegő hőmérséklete kiemelt tervezési érték a körlet belső hőmérsékletéhez. Ezért kifejezett célom megvizsgálni és megmérni, hogy aktív katonai táborban az egyéni katona milyen belső levegőhőmérsékletet állít be saját maga megfelelő komfortérzetéhez.

A katonai táborok elhelyezési körleteinek belső komfort biztosításának, energiaáramának megfigyelése céljából terveztem végre hajtani a kísérleti helyszínen felállított tábori építőanyagok (ISO 20' konténer és M63 mintájú sátor) mikroklimatikus jellemzését. A szakirodalmi áttekintésben széles körűen bemutatom a hasonló épület belső jellemzőjének, illetve energetikai modellezésre alkalmazott eszközöket. A szakirodalmi áttekintés alapján elfogadott modellekkel ellentétben TLR-alapú modell javaslok a beltéri hőmérséklet modellezéséhez egy adott időpontban, a környezeti hőmérséklet, a napsugárzás és a szélesebbesség, valamint az előző időpontban mért beltéri hőmérséklet függvényében. Ennek megfelelően identifikált TLR modell a szakirodalmi áttekintés alapján a lehető legegyszerűbb, így nagyon könnyen illeszthető a katonai felderítési adatokhoz. Javaslatom igazolására megvizsgálom a TLR modell alkalmazhatóságát.

Szakirodalmi áttekintésben érintettem a katonai tábor tervezés- és a hadművelleti feladat időszükséglet- azaz időintervallumának problémáját. Jelenleg nem meghatározott, hogy mit tekint a Katonai Infrastruktúra rövid-, vagy hosszú alkalmazási időnek, illetve tartós katonai feladatnak. Ennek meghatározása hiánypótló lenne, amit a Létesítmények telepítési-, üzemeltetési- és bontási feladatainak erőforrásszükséglete, gazdaságossága alapján végezhető. A Katonai Infrastruktúra felelősségébe illeszkedő feladat a sátorszakanyag-, és az elhelyezési ISO 20' egységkonténer, mint tábor építő anyagok esetében az üzemeltetési energia szükségletének összehasonlítása. Két különböző létesítményt, üzemeltetési energia különbségével, a megfelelő hőérzethez szükséges fűtési- és hűtési energia meghatározásával kiválóan lehet az üzemeltetési gazdaságosságot jellemezni, figyelemmel a két különböző táborépítő anyag eltérő fizikai jellemzőire, mint a légtömorség és a hőátbocsátási tényező. Nagyban megkönnyítené a katonai tábor tervezési feladatokat, ha a teljes tábori komplexum fűtési- és hűtési rendszerek matematikai modelljeibe való beépítéséhez, mint munkakomponens, a belső hőmérséklet modellezéshez egy egyszerűen alkalmazható, katonai felderítési adatokkal kompetens eljárás lenne illeszthető. Ezen törekvés elősegítése érdekében megvizsgálom, hogy az előzőekben javasolt, valószínűleg a legegyszerűbb fekete doboz - TLR modell, a sátrak belső hőmérsékletének modellezésére is megfelelően alkalmazható-e.

A kutatási munkám másik kiemelt feladata felmérni a CO₂ élettani hatását a katonai táborokban elszállásolt személyi állományra. Az elhelyezési egységkonténer belső légtere 30 lm³, amely tábori körülmények között, a telepítési követelményeknek megfelelően berendezve 4 fő elhelyezésére ad lehetőséget huzamosabb szolgálati-, akár fél éves időszakra. Figyelemmel az emberi légzéssel kibocsátott CO₂ mennyiségre, nyugalmi állapotban átlagosan 12 l/h (4 fő esetében 50l/h, azaz 0,05m³/h) pontforrásra feltételezem, hogy a tábori ISO 20' konténerekben alvási időszakban kialakul a szakirodalomban ismertetett 3000 ppm CO₂ fölötti érték, amely az irodai munkásokkal végzett kísérletek alapján megállapított, hogy 3x70 perc terhelés után romlott a munkájuk teljesítménye. Feltételezésem szerint a katonai műveletek során komplexebb az egyénre ható terhelés, mint egy irodai feladat végrehajtásakor, ezért az egyén koncentrációjának csökkenése fokozottabb hatással van az egyéni teljesítményre. Ennek igazolására és mérésére elvégzem 3000 ppm CO₂ koncentráció feletti belső levegő minőség által gyakorolt hatásának vizsgálatát a katonai feladatvégrehajtásra.

A tárgykörben áttekintett szakirodalom szerint ismertettem, hogyan szükséges meghatározni azt a friss levegő értéket, ami az elhelyezési körlet ellátásához elvárt annak érdekében, hogy a katonák teljesítő képessége megfelelő legyen a műveletek során. A szakirodalomban bemutatom a belső levegő minőség összetétele, mint például a szén-dioxid tartalom változásának modellezésére vonatkozó kutatásokat. Ennek átfogó ismertetéséhez külön megvizsgáltam, hogy a nem komfort területek körébe tartozó zöldség-gyümölcsök esetében milyen kutatási eredmények, módszerek érhetőek el. Egyrészt maga az eljárás megegyező, csak a kutatási cél különbözik, mert a CO₂ emelkedett értéke az emberre káros is lehet, viszont a zöldségek-gyümölcsök eltarthatóságára pozitív hatással tud lenni, tehát a gyümölcs respirációjából adódó CO₂ pontforrás használatával helyettesíthető az emberkísérlet. Másrészt ezen területek kutatási eredményei is hasznosnak bizonyultak a katonai tábori építmények (konyhakomplexum) tervezéséhez, mert művelési területen kiemelt figyelemmel kell lenni az ételmezési ellátás biztonságára, a friss árú minőségének megőrzésére. A szakirodalmi áttekintés alapján elfogadott matematikai modellekkel ellentétben TLR-alapú modell javaslok a beltéri levegő szén-dioxid koncentrációt modellezni egy adott időpontban, a belső pontforrás, a külső- és belső légköri nyomáskülönbség, a környezeti szélesebbég, valamint az előző időpontban lévő szén-dioxid koncentráció függvényében. Ennek megfelelően identifikált TLR modell a szakirodalmi áttekintés alapján a lehető legegyszerűbb, így nagyon könnyen illeszthető a katonai felderítési adatokhoz. Javaslatom igazolására megvizsgálom a TLR modell alkalmazhatóságát.

A szakirodalmi áttekintés eredményeként arra a következtetésre jutottam, hogy elsődlegesen megvizsgálom valós körülmények között, aktív katonai táborban, hogy az egyéni katona milyen belső levegőhőmérsékletet állít be saját maga megfelelő komfortérzetéhez. Másodsorban laboratóriumi körülmények között megfigyelem a környezeti hatások függvényében a katonai tábor építéséhez használt különböző anyagok viselkedését, kifejezetten a belső levegő minőségének változását. Megfigyeléseim alapján megvizsgálom a különböző táborépítő anyagokra vonatkozóan fekete doboz modellek alkalmazhatóságát a belső levegőminőség modellezésére. Végezetül elvégzem a belső levegő 3000-4000 ppm közötti CO₂ koncentráció által gyakorolt hatás vizsgálatát a katonai feladatvégrehajtásra egy szituációs lögyakorlat során.

3 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.

3.1 Valós tábori körülmények között végzett belső hőmérséklet mérések

A komfortvizsgálatokat működő, üzemeltetett létesítményben, a Magyarország déli határszakaszon, 4 helyszínen elhelyezett Határvédelmi Bázisok elhelyezési körleteinek (22. számú ábra) belső levegőminőségi megfigyelésével hajtottam végre.



22. ábra, Déli határszélen telepített katonai tábor elhelyezési épülete

3.1.1 Kísérleti területek bemutatása

A vizsgált létesítmény egy áttelepíthető épületkomplexum, amely összesen 150 fő elhelyezésére alkalmas. A konténerek méretei és előnyei megfelelnek a 20 lábás irodakonténerekre vonatkozó ISO szabványban rögzítetteknek. A felépítés stabil vázszerkezeten és kivehető panelrendszeren alapul, amelynek méretei az 7. táblázatban látható.

7. táblázat, ISO 20' lakókonténer méretei

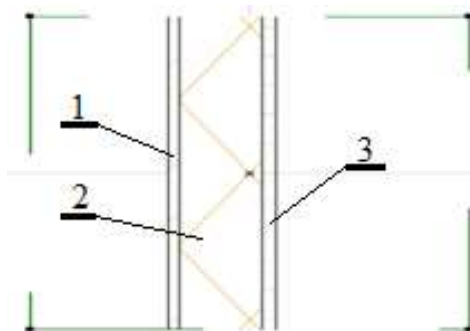
konténer méretek (ISO Standard 1161)	Hosszúság	Szélesség	Magasság
Külső méretek	6.055 mm	2.435 mm	2.591 mm
	(+ 0,-6 mm)	(+ 0,-5 mm)	(+ 0,-5 mm)
Belső méretek	5.855 mm	2.231 mm	2.329 mm
	(+ 0,-6 mm)	(+ 0,-5 mm)	(+ 0,-5 mm)

A konténerszállító rendszert 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 külső falelem 3 rétegű, amely az alábbi rétegrendnek megfelelően került összeállításra (23. számú ábra):

1. Külső burkolat: Bordázott, horganyzott (140 g/m²) festett, 0,5 mm acéllemez (EN 10326).
2. Szigetelés: 60 mm vastag ásványgyapot. (EN 13162; EN 13501-1/A1) fa keretekben.
3. Belső burkolat: 10 mm vastag, fa erezetű (juhar színű) laminált faforgácslap, minőségi osztály: P2 (EN 312) E1 (EN 13986), B2 (DIN 4102).



23. ábra, ISO 20' konténer falelem rétegrend

A hőhidak csökkentése érdekében a sarokoszlopokat is kőzetgyapottal szigetelik.

- Panelszélesség: 1.145 mm,
- Hőátbocsátási tényező: $U = 0,56 \frac{W}{m^2 K}$

A határvédelmi bázis elhelyezési konténer épületének energetikai számításait elvégeztem, ami alapján a határoló felületek számított hőátbocsátási értékeit határoztam meg a konténer anyagjellemzőinek segítségével, A beépített szerkezetek jellemzői a 3. számú mellékletben láthatók.

3.1.2 Kísérleti 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°C közötti mérési tartományban tud adatot rögzíteni, pontossága ±0,5 °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 katoná – 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 irodakonténernek 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 feladatokat 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 gyümölcs tárolás során az emberre gyakorolt hatások vizsgálatában. Megfelelő mennyiségben elhelyezett gyümölcsök respirációja által egy vizsgált helyiségben okozott CO₂-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. Kihhasználva ezt a hasonlóságot, a határbaázis 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 CO₂ koncentrációját folyamatos, valós üzemvitel mellett.

3.2 Épületgépészeti laboratóriumban felállított különböző tábori létesítmények modelljei

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

Az egyetemi laboratórium területén felállított fizikai modellben 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_2 mérési tartomány: $0 \sim 9999$ ppm ± 70 ppm között. Hőmérséklet-mérési tartomány $-10 \sim 70$ °C között, $\pm 0,3$ °C pontossággal. Páratartalom mérési tartomány: $0\% \sim 99,9\%$ (relatív páratartalom) között, melynek pontossága: $\pm 3\%$. A (globális) napsugárzást egy Theodor Friedrichs 6003.3000 BG érzékelővel mértem 30 W/m^2 pontossággal, a szélességet Thies Clima 4.3519.10.000 mérőműszerrel mértem $0,5 \text{ m/s}$ pontossággal. Az eszköz tápegysége: $110/220 \text{ V AC} / \text{DC } 5 \text{ V USB}$ fali adapter. A különböző mérőműszerekkel rögzített adatok hiteles összehasonlításához kalibráló mérést végeztem a hitelesített ALMEMO típusú mérőműszerhez.

3.2.1 Összehasonlítható konténer, összehasonlító mérések

Első méréseinket 2019. december és 2020. március között végeztem a Continest cég által biztosított elhelyezési konténereken. A konténer méretei, szerkezeteinek fizikai jellemzői (épületszerkezet kialakításához használt anyagok anyagjellemzői, beépített anyagvastagság, nyílászárók stb.) a falak belső burkolata kivételével megegyeznek az ISO 20' konténerek méretével. A felállított konténer hőtechnikai viselkedésében eltérés, hogy az összehasonlítható szerkezetek csukló- és illesztési síkok zárása, tömítésénél nem megfelelően zár, így légtömörsege rosszabb, ami utólagos ragasztással kiküszöbölhető. A mérések elvégzéséhez az illeszkedő síkok utólagos ragasztással történő szigetelését elvégeztem. Azonban megjegyzendő, hogy a nyíló-csukló síkokban megszakított szigetelés és az illesztési síkokban – mint a szerkezeti síkváltó elemhez a telepítés utolsó fázisaként elhelyezendő szigetelő párnák és fém tartószerkezet illesztési síkjaiban – kialakuló hőhidakat kompenzálni a szerkezet jelentős átalakítása nélkül nem lehet.

A berendezett Continest konténerek telepítése É-D tájolással (É-i irányban a konténerek bejárati ajtaja) 2019. november hónapban megtörtént, belső elektromos ellátása biztosított (24. számú ábra). A felállított elhelyezési modellek, a konténerek ajtószíneinek megfelelően a méréseknél „**Green**” és „**White**” néven kerülnek megkülönböztetésre, az összehasonlító mérések eredmények ismertetésénél is ezt a jelölést használom a továbbiakban.



24. ábra, Épületgépészeti labor területén elhelyezett Continest konténerek

A felépített modellben kihelyezése kerültek a belső hőmérséklet adatait gyűjtő mérőműszerek. A konténer tetején, a bejárat fölött található mérőegység vezeték kivezetési lehetőség. A külső hőmérséklet mérő kihelyezése napsütéstől védett, a konténer É-i oldalán történt, a napsugárzás intenzitás mérő kihelyezése a konténer tetején vízszintes síkban, annak Ny-i sarkára került, így zavaró árnyékoló hatás nincs a környező terepen.

A mérések (25. számú ábra) megtervezéséhez szükséges belső hőmérséklet meghatározásához az alábbi matematikai modellt vettem figyelembe:

$$T_b = f(T_k, n, I_{\text{nap}}) \quad (30)$$

ahol,

- T_b – belső hőmérséklet,
- T_k – külső hőmérséklet,
- n – a körletben lévők száma és
- I_{nap} – a napsugárzás intenzitása.



25. ábra, Continest konténer belső levegő minőség mérés, műszerezettség

Szén-dioxid változás első mérési sorozatban saját magam/magunk általi tesztalanyként szimuláltam/szimuláltuk tényleges bentlávással, illetve megfigyeltem a több (2-3-4 és 5) személy esetében a szén-dioxid koncentráció felfutási idejét.

A COVID járvány elleni védekezés egyetemi rendszabályai a 2019-2020 II. félévben nem tették lehetővé az épületgépészeti laboratóriumban személyes jelenléttel végezett kutatást, így 2 hónap után az első méréssorozatnak vége lett.

3.2.2 ISO 20' konténer modell, BLM mérések

A Magyarország déli határ védelmére kialakított bázisok építéséhez alkalmazott ISO 20' konténerekkel kapcsolatban, mint maga az építőanyag a környezeti hatások okozta viselkedésének vizsgálatához, az egyetem épületgépészeti laboratórium területén felállított ISO 10' konténerrel modelleztem.

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 3m, szemben az ISO 20' konténerrel, ahol 6m. A konténer tájolása megegyezik az előzőekben írtakkal, annyi eltéréssel, hogy a konténer bejárati ajtaja ebben az esetben D-i irányba van állítva (26. számú ábra). 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 előállítás révén). A megfigyelt hőmérsékleteket K-típusú hőelemekkel mértem ($u_T = 1 \text{ } ^\circ\text{C}$ átlagos bizonytalansággal).



26. ábra, Katonai tábori épület modell az egyetemi épületgépészeti laboratórium területén

A (globális) napsugárzást egy Theodor Friedrichs 6003.3000 BG érzékelővel ($u_l = 30 \text{ W/m}^2$ átlagos bizonytalansággal) mértem a napkollektor síkjában, déli tájolásban, 40° -os dőlésszöggel. A szélességet Thies Clima 4.3519.10.000 mérőműszerrel mértem ($u_v = 0,5 \text{ m/s}$ átlagos bizonytalansággal). A méréseket (I , T_k , v és T_b) 30 másodpercenként vett mérési adattal végeztem el ($\Delta t = 30 \text{ s}$).

Második mérési sorozatot 2021 évben tudtam folytatni, a laboratórium területén 10' ISO konténerrel felépített modellben, ahol a belső hőmérséklet- és azt befolyásoló paraméterek mérését hajtottam végre, a kívánt BLM eléréséhez szükséges energiatranszport meghatározása érdekében. A méréseket 2021 március 10. és 2021 október 10. között hajtottam végre.

8. 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 ²]
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 8. 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 (CO_2 palack alkalmazásával) beállítandó szennyező pontforrást. Harmadik mérési sorozatban a mesterségesen beállítandó szennyező pontforrást kalibráltam a 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).

Kihhasználva azt a felismerést, hogy a gyümölcsök respirációja által okozott 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 (27. számú ábra).



27. ábra, Betárolt Idared alma a laboratóriumban felállított konténerben

Az elsődleges cél természetesen a CO₂ 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 CO₂ 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 CO₂ 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.

3.2.3 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 a 26. számú ábra háttérben is már látható volt. Az M63 mintájú sátor méretei a 28. számú ábra szerint jelölve a 9. táblázat mutatja be.

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

28. 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 m², előtér nélkül, a ponyva súlya 31 kg, sátorváz és kellékek súlya 55 kg.



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

Az M63 mintájú sátorban végzett mérési sorozatot 2021 I. félévben hajtottam végre, a laboratórium területén felépített modellben, ahol a belső hőmérséklet- és azt befolyásoló külső környezeti paraméterek mérését és adatainak rögzítését végeztem, a kívánt BLM eléréséhez szükséges energiatranszport meghatározása érdekében. A sátor felállítása során figyelemmel voltam arra, hogy a külső környezeti hatások megegyezően ériék a sátor 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 az árnyékolókat is (29. számú ábra).



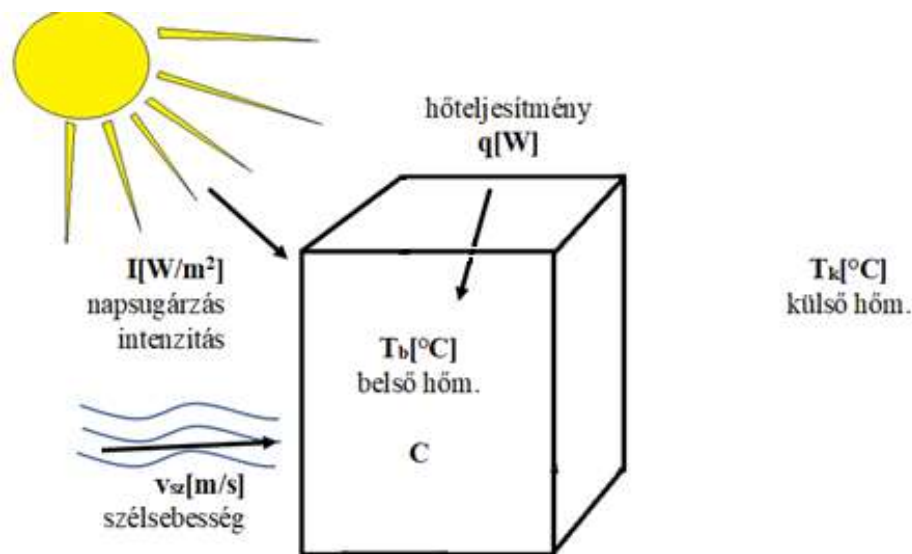
29. ábra, sátor és konténer beállításának összehangolása

A méréseket 2021 március 10. és 2021 október 10 között hajtottam végre, az adatok regisztrálására szintén már a 3.2. fejezetben ismertett, az ISO 20' konténerben elhelyezett ALMEMO mérőeszközt használtam, 30 másodpercenként vett mérési adattal ($\Delta t = 30$ s). A sátorban lévő hőmérsékletet egy K-típusú hőelemmel mértem ($u_T = 1$ °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.

3.2.4 A mérések összehasonlításához alkalmazott 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 szélsébség, ami fokozza a konténer konvekciós hőleadását, illetve a belső tér természetes filtrációját. Környezeti hatásként természetesen a napsugárzás intenzitása jár még a rendszerbe hőbevitellel. A vizsgált elhelyezési konténer körlet sémája a 30. számú ábrán látható.

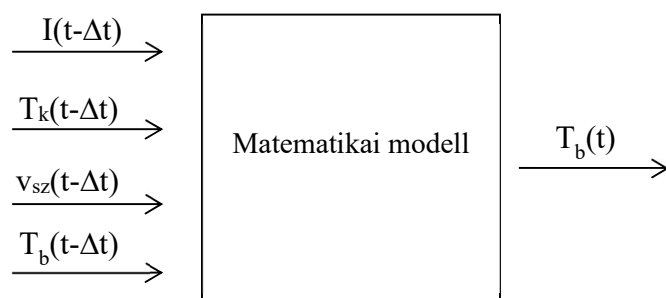


30. ábra, Tábori elhelyezési konténer környezeti hatásai

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

$$T_b(t) = T_b(t-\Delta t) + k_I I(t-\Delta t) \Delta t + (a v_{sz}(t-\Delta t) + b) (T_k(t-\Delta t) - T_b(t-\Delta t)) \Delta t \quad (31)$$

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 (31) egyenlet alapján. A $t = 0$ időpontban a **T_b** mért értékét használjuk kezdeti feltételként.



31. ábra, A modellek blokkdiagramja a bemenetek és kimenetek szempontjából

A 31. 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 azonosítását három lépésben végeztem el az alábbiak szerint:

Elsőként az azonosítás 6 napján azokat a mért adatokat válogattam ki, amikor a szélsébséget folyamatosan, legalább 5 percen keresztül nulla értéket mértem, és a napsugárzást 10 W/m^2 -nél kisebb volt (azaz a következő fejezet, TLR modell - A1 eset). Ebben az esetben az **a** és **k_I** hatása elhanyagolható (mivel $v \approx 0 \text{ m/s}$ és $I \approx 0 \text{ W/m}^2$). Ezen perifériák mellett a **b** értékét $b=0,0000206 \text{ [1/s]}$ értéknek azonosítottam, 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 kiértékeléséhez a mérésstartományra vetített relatív hibát (h_T) alkalmaztam (Kline és McClintock 1953, Kicsiny 2017, Kicsiny 2018, Géczi et al 2019).

$$h_T = \frac{\overline{H_T}}{T_{\text{mért_max}} - T_{\text{mért_min}}} [\%] \quad (32)$$

ahol:

- $\overline{H_T}$ – modellezett belső hőmérséklet átlag hiba,
- $T_{\text{mért}}$ – mért belső hőmérséklet,
- T_{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_{mod}) értékek közötti különbségek átlagaként számítom ki:

$$\overline{H_T} = \frac{|T_{\text{mért}_1} - T_{\text{mod}_1}| + |T_{\text{mért}_2} - T_{\text{mod}_2}| + \dots + |T_{\text{mért}_n} - T_{\text{mod}_n}|}{n} \quad (33)$$

Megjegyzés: a 3.2.6. fejezetben a belső levegő szén-dioxid tartalom modellezett koncentráció hiba számításához ugyan ezt az eljárást alkalmazom, azonosítva a ($\overline{H_T}$) átlagos abszolút hibát, $T_{\text{mért}}$ helyett – $K_{\text{mért}}$, mint mért belső szén-dioxid koncentráció, és T_{mod} helyett – K_{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_I értékét $k_I = 0,00000047 \text{ [m}^2\text{K/J]}$ értéknek azonosítottam, 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) azonosítottam 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_I értékek mellett).

A 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 a szakirodalmi áttekintésben bemutatott matematikai modellt használtam (7), amely megfelelő és elfogadott modell a különböző szennyező pontforrás hatása által a belső légtérben kialakuló koncentráció várható értékének számításához.

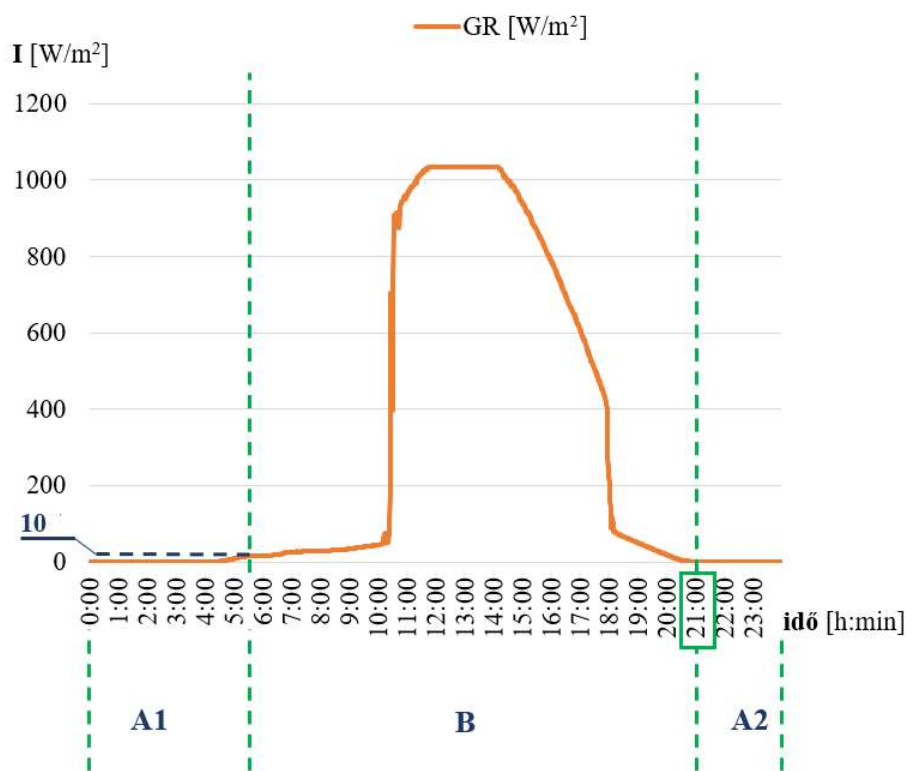
3.2.5 Konténer belső hőmérsékletének TLR modellje

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 (32. számú 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 32. 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 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.



32. ábra, Napsugárzás és üzemeltetési esetek

A 32. 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 (34)-(36) egyenletek az almodelleket lineáris összefüggésként mutatják be:

$$A1 \text{ eset: } T_b(t) = c_{I,A1}I(t - \Delta t) + c_{k,A1}T_k(t - \Delta t) + c_{v,A1}v(t - \Delta t) + c_{b,A1}T_b(t - \Delta t) \quad (34)$$

$$B \text{ eset: } T_b(t) = c_{I,B}I(t - \Delta t) + c_{k,B}T_k(t - \Delta t) + c_{v,B}v(t - \Delta t) + c_{b,B}T_b(t - \Delta t) \quad (35)$$

$$A2 \text{ eset: } T_b(t) = c_{I,A2}I(t - \Delta t) + c_{k,A2}T_k(t - \Delta t) + c_{v,A2}v(t - \Delta t) + c_{b,A2}T_b(t - \Delta t) \quad (36)$$

$c_{I,A1}$, $c_{k,A1}$, $c_{v,A1}$, $c_{b,A1}$, $c_{I,B}$, $c_{k,B}$, $c_{v,B}$, $c_{b,B}$, $c_{I,A2}$, $c_{k,A2}$, $c_{v,A2}$, $c_{b,A2}$ a modellben azonosítandó állandó paraméterek. A T_b modellezett értékét $t=\Delta t$, $2\Delta t$, $3\Delta t$,... időpontokban kell meghatározni a (34)-(36) egyenletek alapján. (A $t=0$ időpontban a T_b mért értékét használjuk kezdeti feltételként.)

3.2.6 Konténer BLM szén-dioxid koncentráció változás TLR modellje

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

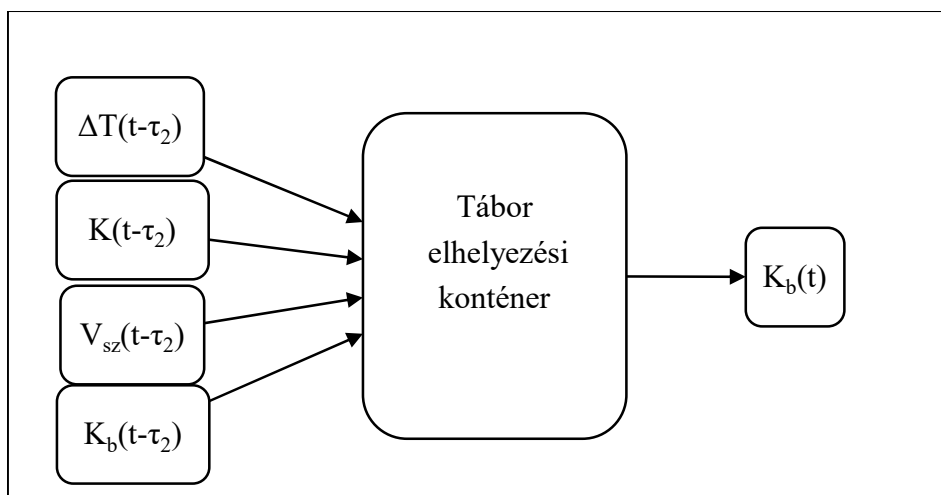
A fenti jelölések:

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

Kezdeti megfigyelés Δp -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 ΔT -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, 4.2.3. fejezetben mutatom be (58.-, 60.-, 62.-, 64. 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 τ_1 konstans egy időbeli késleltetést jelent. Hasonló megfontolások az \dot{K} -ra, V_{sz} -re és a ΔT -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 ΔT időkésleltetését az egyszerűség kedvéért azonosnak (τ_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 33. számú ábrán látható.



33. ábra, Az TLR-alapú modell blokkdiagramja

Ha a modellt fekete dobozként tekintjük, akkor elismerhető, hogy a különböző almodellek, mint részek, 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 szélsébséget, a konténer belső levegőszennyezettség koncentráció azaz a K_b sokkal intenzívebben mértékben nő, ha a belső pontforrás megjelenésének hatására kezd el emelkedni, és mindeközben lecsökken a helyiség természetes filtrációja.

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

$$K_{b,mod}(t) = c_K \cdot \dot{K}(t-\tau_2) + c_{\Delta T} \cdot \Delta T(t-\tau_2) + c_V \cdot V_{sz}(t-\tau_2) + c_{K_b} \cdot K_b(t-\tau_2) + c \quad (37)$$

Az identifikálendő állandó paraméterek c_K , $c_{\Delta T}$, c_V , c_{K_b} és c . A τ_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 (37) egyenlet alapján. (A $t = 0$ időpontban a K_b mért értékét használok kezdeti feltételként.) A fentiekkel összhangban, a jobb modellezési pontosság érdekében az egyes működési esetekre a TLR-alapú almodellek külön identifikálendő 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 érzékenységtől függően meghatározandó) szerint 15 ppm szén-dioxid koncentráció visszaesés.

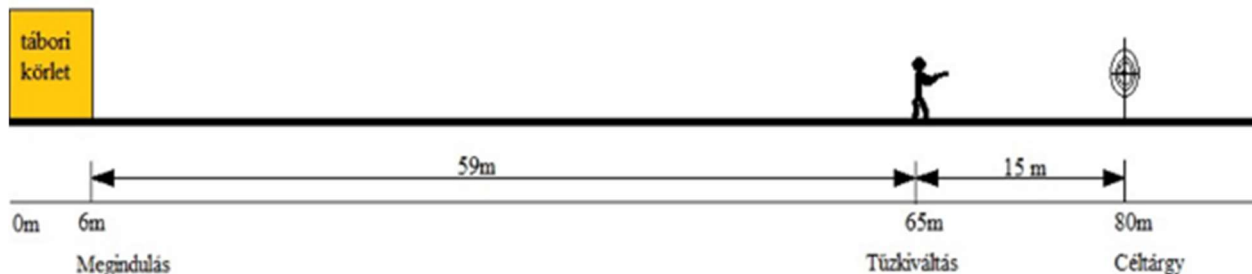
3.3 CO₂ terhelés hatásának mérése katonai képességre

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, ahol egy kísérlet sorozat – 1 nap - 3 csoport felmérésére volt lehetőség.

A szén-dioxid hatásának mérésekor a modellezett elhelyezési körletben tartott CO₂ koncentráció mértékének regisztrálására szintén már a fentebb ismertett 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 CO₂ koncentráció folyamatos felügyeleti ellenőrzés műszerezettségét.

3.3.1 Kísérleti terület bemutatása

A szituációs gyakorlat végrehajtásához – a lőtér adottságának és berendezésének megfelelően - 80 méter távolságot (34. számú ábra) határoztam meg, amelyben a tűzkiváltásig 59 métert kell a katonának megtennie, illetve 15 méter távolságra kell 5 db célzott lövést leadnia körkörös mellalakra.



34. ábra, Szituációs lövészet végrehajtásának vázlatja

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' konténerek szerkezeti elemeinek jellemzőivel.

3.3.2 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 - a katona találkozik egy fegyveres terroristával, akit önvédelmi maroklőfegyverével 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 szituációs gyakorlat a fentebb bemutatott 4 állásos pisztolylőtéren került végrehajtásra, ahol egy kísérlet sorozat – 1 nap - 3 csoport felmérésére volt lehetőség. Egy sorozat kísérlet végrehajtási terve a következő:

1. lövészet előkészítése, eszköz / anyagbiztosítás ('60)
2. elméleti foglalkozás, biztonsági rendszabályok ismertetése ('30),
3. begyakorlás ('60),
4. szünet ('15),
5. terheletlen lövészet ('30),
6. 1# - 70 perc terhelés ('70),
7. 1# - terheléses lövészet végrehajtása 3 csoport lépcsőzve, ('10),
8. 2# - 70 perc terhelés ('70),
9. 2# - terheléses lövészet végrehajtása ('30),
10. fegyverkarbantartás ('30).
11. bontás, anyagok leadása ('60)

A fenti terv alapján 1 sorozat (3 csoport) kísérlet végrehajtásának időszükséglete 8 óra, az időrend fegyelmezett betartásával. Kísérlet időrendjének megfelelően 3 csoport, csoportonként 4 fő hajtotta végre a szituációs lövészetet. Elsőként a terheletlen lövészetet került végrehajtásra, aminek megfelelően a katona szabad levegőn tartózkodik minimum 70 percet, ahol a CO₂ koncentráció 400-450 ppm között van. Amikor a „behatoló 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 CO₂ koncentrációját a terheléses állapotra be van állítva.

$$3000 \text{ ppm} < k_b < 4000 \text{ ppm} \quad (38)$$

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 „behatoló riasztásra” megismételte az előzőekben leírt szituációs lövészetet. Ezt követően ismételten visszavonult az előkészített tábori körletbe, ahol újabb 70 perc beállított CO₂ koncentrációjában lévő terhelés után végrehajtotta a második terheléses lövészetet is.

A szén-dioxid szint zárt helyen történő beállítását a szakirodalomban ismertetett (ALLEN 2015) protokoll betartásával végeztem a résztvevők biztonsága érdekében, miszerint a CO₂ értékét valós időben figyeltem a vizsgált helyiségekben, három különböző, kalibrált mérőműszerek segítségével. A CO₂ elzáró szelepek mellett ülő technikus a CO₂ 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 CO₂ 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 megfigyelte és részt vett a kísérletben 1 fő biztonságtechnikai, munkaegészségügyi szakmérnök is.

3.3.3 *Eredmények kiértékelésének módszere*

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

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

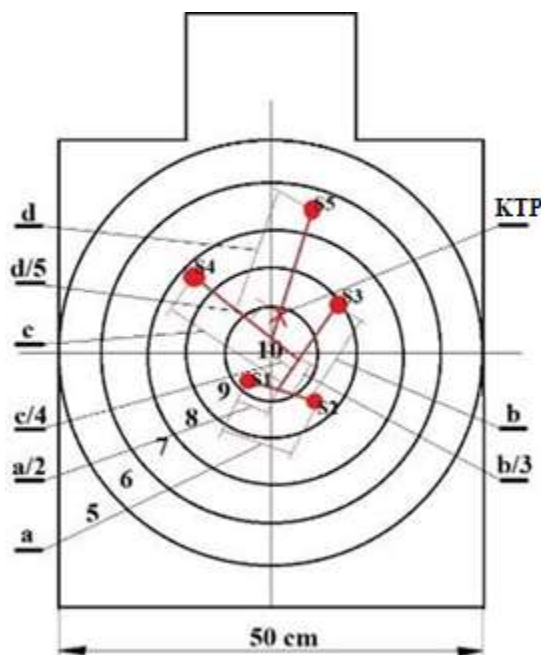
Az elért találati pontszám számítása, az egyes szituációs lövészetben leadott 5 db lövés találati pontok összegét jelenti:

$$KP_{\text{össz}} = KP_1 + KP_2 + KP_3 + KP_4 + KP_5 \quad (39)$$

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, azaz terhelés nélkül végrehajtott feladata alatt. Ha CO₂-val terhelt belső környezetből megindulva nem ér el értékelhető találatot, akkor 0%.

$$\eta_{KP} = \frac{KP_{(\text{terhelt})}}{KP_{(\text{terheletlen})}}, \quad (40)$$

A találatok középső találati ponttól lévő átlagos távolság számításához első lépésben magát a középső találati pontot [KTP] szükséges meghatározni (35. számú ábra).



35. ábra, Középső találati pont számítása

A középső találati pont meghatározásának első lépéseként az 5 db találatot sorszámoztam a lőlap közepétől eső távolságoknak megfelelően és a lőlapot koordináta rendszerbe helyezve az S_n találati pontot $(x_n; y_n)$ koordinátákkal azonosítottam, aminek megfelelően a találatokat sorban regisztráltam:

$$S1_{(x1;y1)}, S2_{(x2;y2)}, S3_{(x3;y3)}, S4_{(x4;y4)} \text{ és } S5_{(x5;y5)} \quad (41)$$

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 ötödölvé 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.

$$SD = \frac{(KTP_k - s_1) + (KTP_k - s_2) + (KTP_k - s_3) + (KTP_k - s_4) + (KTP_k - s_5)}{5} \quad (42)$$

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 CO₂-val terhelt belső környezetből megindulva nem ér el értékelhető találatot, akkor pedig 0%.

$$\eta_{SD} = \frac{SD_{(terhelt)}}{SD_{(terheletl)}} \quad (43)$$

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 hátralép a lőállásból 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 CO₂-val terhelt belső környezetből megindulva dupla idő szükséges a szituáció megoldásához.

$$\eta_t = 1 - \frac{t_{(terhelt)} - t_{(terheletlen)}}{t_{(terheletle)}}, \quad (44)$$

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.

$$t := (t_{n+m-2}) := \frac{\bar{x} - \bar{y}}{\sqrt{(n-1)\sigma_n^{*2} + (m-1)\sigma_m^{*2}}} \sqrt{\frac{nm(n+m-2)}{n+m}} \quad (45)$$

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 [η_H].

A szituációs lövészet egy egységbe foglalt hatékonysági jellemző meghatározását szintén a terhelt / terheletlen aránnyal azonosítom, amely egyszerre veszi figyelembe a koncentráció képességet, amit az egyes harcosok löeredmény találatának a közepső találati ponttól lévő átlagos távolsággal - azaz a szórással -, valamint a találati pontszámmal azonosítom, valamint a gyorsaságot, vagyis a szituációs feladat megoldásához szükséges 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 végrehajtott feladatát.

$$\eta_H = \frac{\eta_{(KP)} * \eta_{(t)} + \eta_{(SD)} * \eta_{(t)}}{2}, \quad (46)$$

Viszont ebben az esetben is figyelembe kell venni egy adott időbeni korlátot, miszerint akkor 0% a katona szituációs lövészeti teljesítménye, ha CO₂-val terhelt belső környezetből megindulva dupla idő szükséges a szituáció megoldásához.

4 EREDMÉNYEK ÉS AZOK MEGBESZÉLÉSEI

Ebben a fejezetben ismertetem a különböző helyszíneken végzett mérési sorozatok eredményeit (4. melléklet szerint dokumentált), 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.

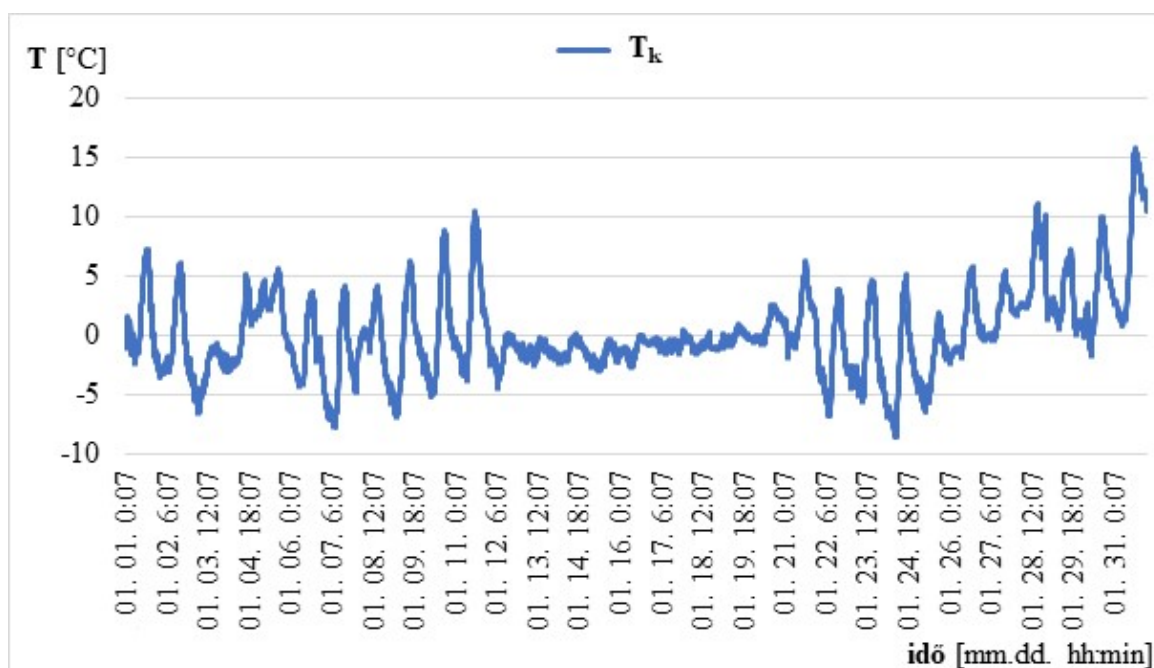
4.1 Tábori elhelyezési konténer belső levegő minőség vizsgálata

Az elhelyezési konténer belső tér levegő hőmérsékletét a Magyarország déli határa mentén felállított Határvédelmi bázisokon elhelyezett katonák szubjektív hőérzeti adatát összegyűjtve mértem fel, ami használható a továbbiakban katonai tábor belső terek méretezéséhez. Elsőként nyári mérés eredményeket rögzítettünk, amelyek 2 iroda- és 4 db hálókörletben történt a 2019. április 04. és augusztus 06. között, ezt követően 2019. novemberétől folytattam a méréseket a téli belső hőmérséklet vonatkozásában, 3 db hálókörletben. Az egyetemi Laboratóriumi mérések elsőként a Continest cégtől kapott mobil konténerek alkalmazásával kerültek végrehajtásra, modellezve a katonai tábori szálláskörleteket.

4.1.1 Valós tábori körülmények között végzett belső környezeti mérések

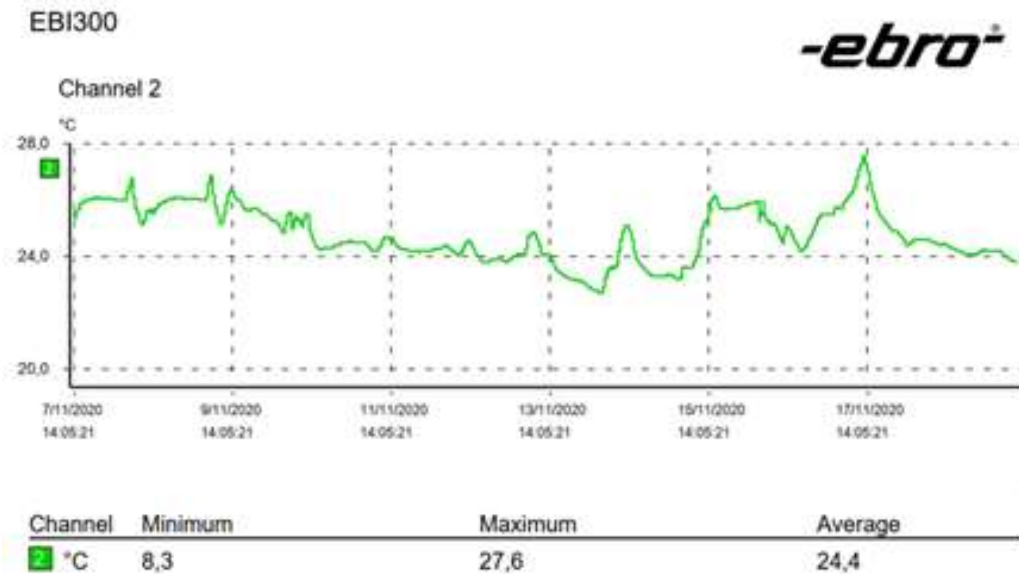
Jelen fejezetben bemutatom a Magyarország déli határ mentén felállított határvédelmi bázisokon végzett, belső levegő minőségre vonatkozó méréseinket. A katonák által a szubjektív hőérzetük alapján beállított belső hőmérséklet mérését – kiegészítve külső hőmérséklet mérésével – a 2019 - 2020 évi téli 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 $0,2\text{ °C}$ (36. számú ábra).

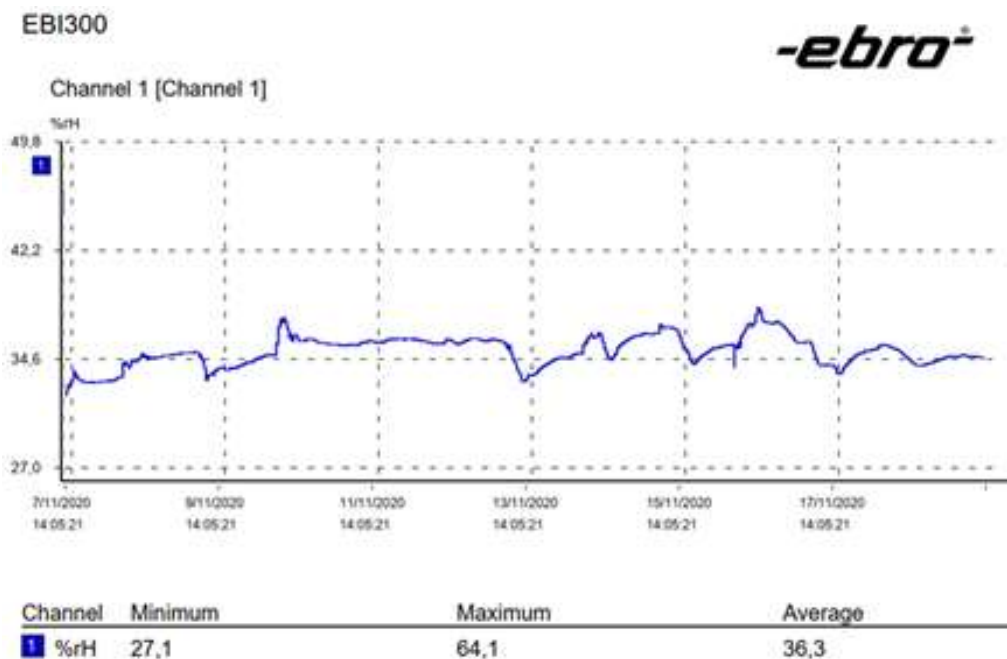


36. ábra, Hercegszántó HVB területén mért külső hőmérséklet 2020 január hónapban

A lakóegységekben mért átlagos belső hőmérséklet értékek 23 °C – 28 °C közötti egyén által beállított, illetve szabályozott hőmérsékleti értékeket regisztráltam, aminek a teljes átlaga $24,5\text{ °C}$ szubjektíven beállított-, illetve elvárt belső hőmérséklet (37. számú ábra).



37. ábra, Hercegszántó - HVB (1.körlet/1) mért belső hőmérséklet 2020 november hónapban



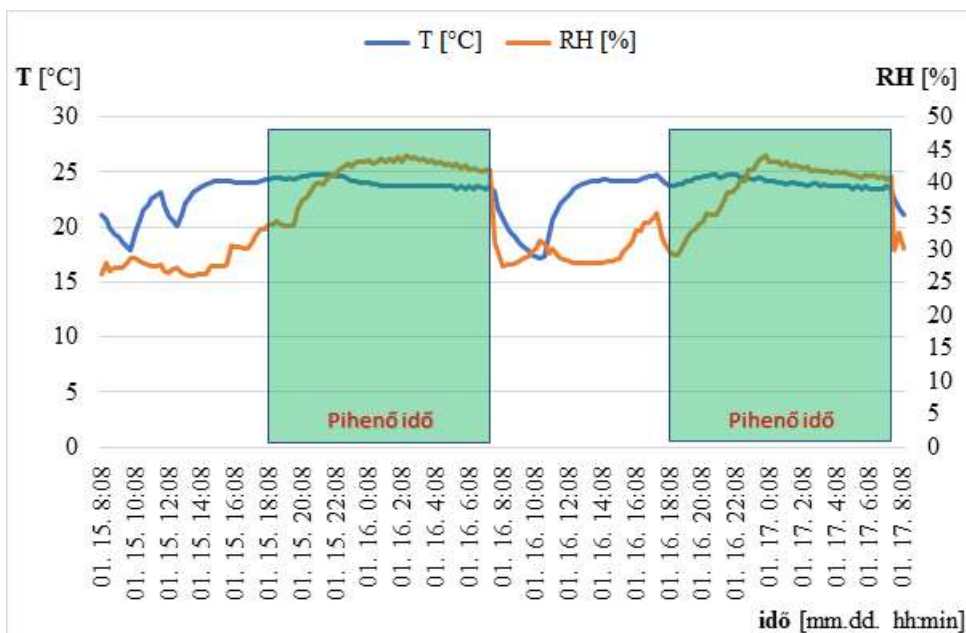
38. ábra, Hercegszántó - HVB (1.körlet/1) mért belső páratartalom 2020 november hónapban

A belső levegő relatív páratartalom eredményeknek 32 % - 42 % közötti értékeket mértünk (38. számú ábra), aminek a teljes átlaga 37 % volt, mint a kialakult belső páratartalom.

Az adatok kiértékelésénél fontos figyelembe venni, hogy melyik mért időszakban vizsgálom meg az egyén általi szabályozott, szubjektív hőérzete megfelelő értéket, azaz az egyén kellemes hőkomfort eléréséhez beállított belső levegő hőmérsékletet.

A Határvédelmi Bázisokon szolgálatot teljesítő katonák napirend szerint végzik feladataikat. Szálláskörletüket pihenő időszakban használják, munkavégzéskor pedig a felállított szolgálati helyeiken tartózkodnak. Ahogy az 5. számú körletben regisztrált adatok mutatják (39. számú ábra),

a napirendnek megfelelően szükséges leválogatni az adatokat annak érdekében, hogy kifejezetten a katonák egyéni hőérzete szerint beállított értékeket tudjuk regisztrálni.

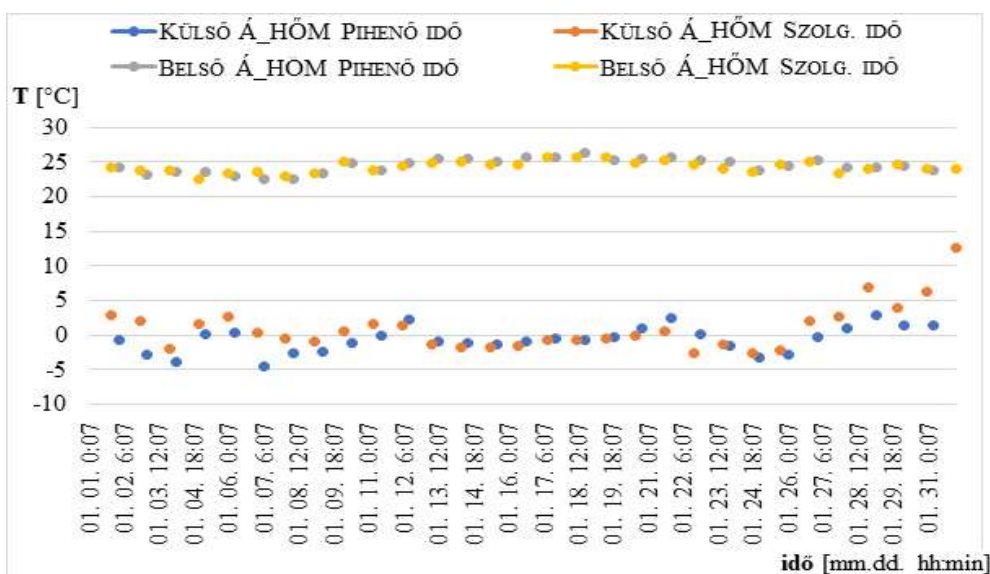


39. ábra, Hercegszántó HVB, 5. számú pihenőkörlet napi használata, munkaidő függvényében

Ezeket az intervallumokat egy napon belül megfelelően tudom jellemezni, 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.

A fenti osztásnak megfelelően a 2020 év januári hónapban a kihelyezett EBRO® műszerek által 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 (40. számú ábra).



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

A mért adatok szerint, amikor a katonák a pihenő körletben tartózkodtak, saját szubjektív hőérzetükhöz állították be a belső hőmérsékletet, aminek megfelelően az adatgyűjtők átlagosan 24,5 °C belső hőmérsékletet regisztráltak. A Szolgálati időben, mikor a körletet magára hagyták a katonák, annak ellenére, hogy a 40. számú 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.

A fűtési időszakban a katonák egyéni hőérzetük alapján beállított 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 belső hőmérsékletet állítottak be a katonák maguknak a körletben tartózkodásuk alatt. Annak a feltevésnek igazolására, hogy ha a fűtési időszakot 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 (10. táblázat).

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

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

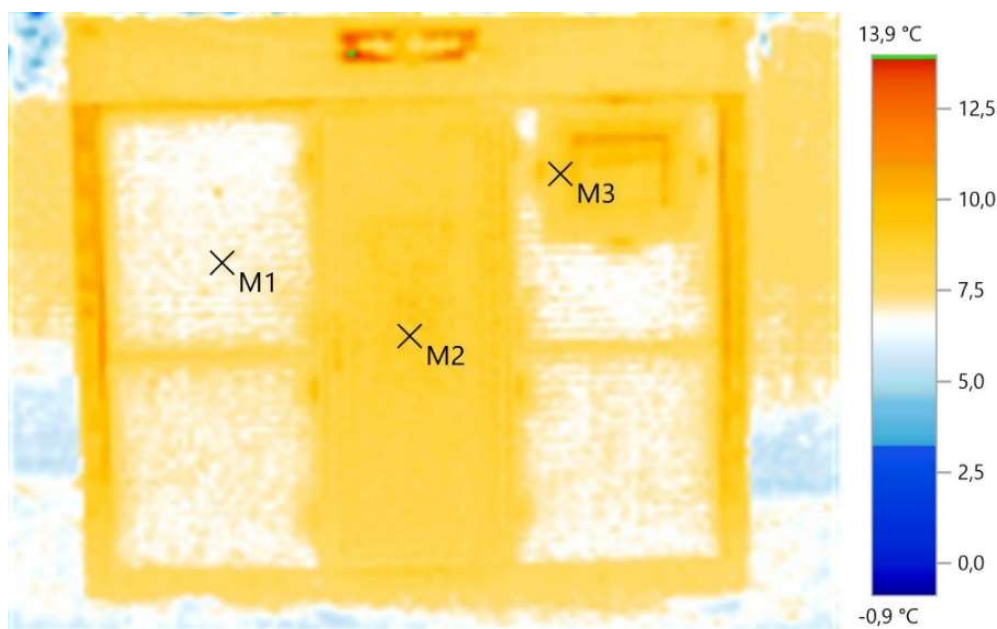
A 11. táblázatban lévő adatoknak megfelelően, a fűtési időszakot szimmetrikusan elosztva és mintát véve a szubjektívan beállított hőmérsékletek átlag értékeiből, a pihenő időszakban, a körletekben 24,4 °C volt a belső hőmérséklet átlag értéke.

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 °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 ± 1 °C belső hőmérséklet permanensen jelent meg az ISO 20' konténerekből épített tábori pihenőkonténerekben.

Belső hőmérsékleti méréseket 2019 év nyári időszakban is végeztünk. Ebből a mérési sorozatból július hónapot emelem ki, mint a mért időszak legmelegebb hónapját. A rögzített eredmények alapján az tapasztaltam, hogy a hálókörletben az alvási időszakok kezdetén magasabb értéket mutatnak a hőmérők és a reggeli órákra a hálókörletben is csökkenő hőmérséklet volt tapasztalható, a külső környezeti alacsonyabb hőmérséklet hatása okán. A déli határszélen ezekben a napokon 11 °C volt az átlagos külső éjszakai hőmérséklet. A katonák szubjektív hőérzetéhez beállított belső hőmérsékleti átlag érték, ebben az időszakban 23 ± 1 °C fok. A katonai tábori létesítmények belső, nyári hőmérsékleti értékek általános meghatározásához azonban még további mérések szükségesek.

4.1.2 Continest konténerrel végzett belső környezeti mérések

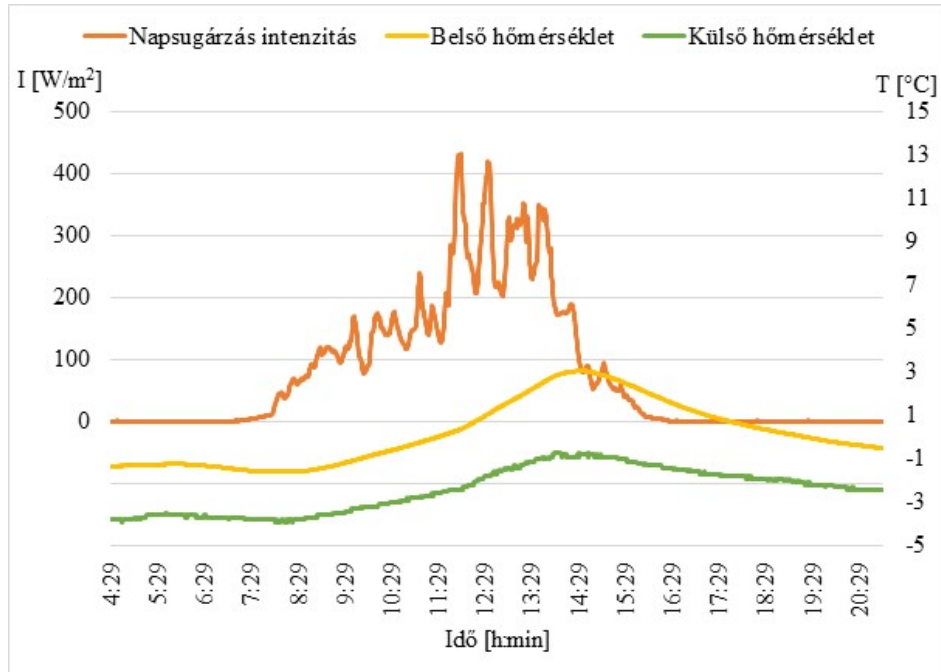
A Continest konténerek nagy előnye, hogy összecsucskható és könnyen mozgathatók katonai járművekkel. Lehetőség van 6-8 (750 kg-os) konténer szállítása egy szállító gépjárművel. További előny, hogy egy hagyományos elhelyezési konténerhez szükséges még konténeremelő képesség is, ami a hagyományos konténer esetében a szállítóeszközök használatát korlátozza.



41. ábra, Összecsucskható konténer hőkamerás vizsgálata (saját kép)

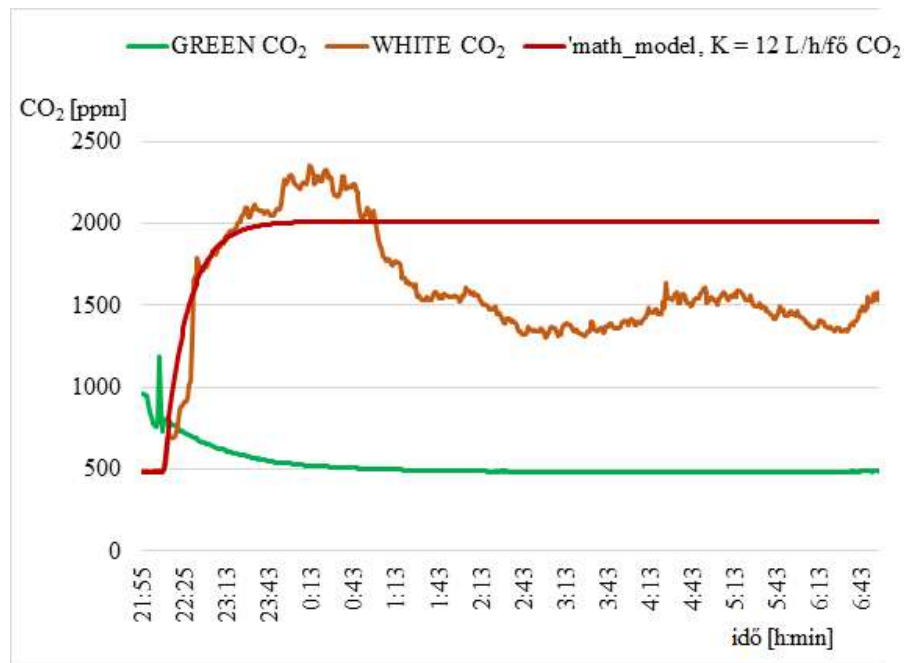
Hátránya a normál konténerekhez képest, hogy felállításkor a csatlakozó élek tömítő szigetelési betétek elhelyezésére kifejezetten oda kell figyelni. Az élek rossz szigetelése nagy fokú vonalmenti hőhidakat (41. számú ábra) alakít ki. További megfigyelés, hogy 10 °C külső hőmérsékleteken az ablakokat és a falakat vízpára borítja. A belső falakon történő páralecsapódás jelenségét, a Finn hadsereghez kiszállított és csapatpróbán tesztelt konténerekben is problémaként regisztrálták.

A laboratóriumban történő mérések eltérő típusú műszerek alkalmazása okán szükséges kalibrációt az anyag és módszer fejezetben írtaknak megfelelően elvégeztem. Az első mérésorozatban jól látható a külső- és belső hőmérséklet változása a napsugárzás intenzitásának hatására (42. számú ábra), amit értékelve megállapítható, hogy a belső hőmérséklet 30%-kal magasabbra emelkedett a kiinduló hőmérsékletről, mint a külső környezeti hőmérséklet ($\Delta T_b = 4,6$ °C; $\Delta T_k = 3,2$ °C).



42. ábra, A napsugárzási intenzitás hatása a külső-, belső hőmérséklet változásra

Az összehasonlító mérésekkel ellenőriztem, hogy ahol egyrészt nincs belső pontforrás a 'White' konténerben a belső levegő minőség szén-dioxid koncentrációja a külső levegő 490 ppm körüli értéket vesz fel, másrészt a 'Green' belső komforttér változását megfigyeltem dinamikus terhelésnél, belső pontforrás elhelyezésével. Nem regisztrált, kezdeti megfigyelés volt, hogy a mérőműszerek elhelyezésekor, a belső légtérben 2 fő terheléssel a szén-dioxid koncentráció néhány perc alatt elérte és túlhaladta az 1500 ppm értéket. Várható eredménynek írtam fel, ha 4 fő folyamatosan a belső térben tartózkodik, 8 óra alvás során, ahol nincs kényszerüzemű filtráció, a szén-dioxid koncentráció megközelíti az 5000 ppm értéket. A CO₂ koncentráció várható értékének számítással történő igazolására, elvégeztem matematikai modellel (7) szimulálva 2 fő bent alvását a laborban felállított Continest konténerre vonatkozóan, amit összehasonlítottam a mért adatokkal (43. számú ábra).



43. ábra, Belső levegő minőség szén-dioxid koncentráció változás mérés és szimuláció

A mért értékeken jól látható, hogy a szén-dioxid koncentráció kezdetben gyorsan emelkedik 2000 ppm érték eléréséhez, majd lassan közelít 2500 ppm CO₂ érték eléréséhez. A vizsgálatot befolyásoló tényező, hogy hajnali 01.00 órakor vihar támadt, aminek következtében a viharos szél nyomásának hatására a természetes filtráció fokozódott nagy mértékben, aminek megfelelően a szén-dioxid koncentráció csökkenni kezdett a konténerben. A modellezett érték, hasonlóan a mért értéknél gyorsan elérte a 2000 ppm értéket, a mért érték e fölé is emelkedett, amiből valószínűsíthető, hogy a méréskor bent alvó személyek kibocsátási értéke magasabb volt 12 l/h/fő értéktől. Azonban feltevésem matematikai modellel igazoltam, hogy 2 fő esetén, a konténer természetes filtrációja mellett 2000 ppm értéket meghaladóan emelkedik a CO₂ koncentráció egy tábori háló konténerben. A matematikai modellben a szellőző levegő mennyiségének és konténer légcsereszám beállításához több mérést végeztem el, miszerint 2 - 4 személy rövid idejű benn tartózkodásával ellenőriztem 2 óra idő alatt a konténerben kialakuló szén-dioxid koncentrációt. A matematikai modellel végzett vizsgálat alapján már kijelenthető volt, hogy a katona alvás közbeni szén-dioxid termelésének hatására, 4 fős hálókonténer belső környezetében, a 3000 - 5000 ppm közötti CO₂ koncentráció várható értéke kialakulhat, függően a konténer természetes filtrációjától.

A rögzített adatokkal kapcsolatban, az előző fejezetben bemutatott valós tábor hőérzeti adatokkal történő összehasonlításhoz megjegyzem, hogy a fűtőtest beállítással itt is 25 °C közeli érték volt mérhető a természetes filtráció megnövekedéséig, aminek hatására 22 – 23 °C hőmérsékleti értéken maradt a belső hőmérséklet, viszont a HVB-n mért adatokkal ellentétben, jelen esetben a belső relatív páratartalom 50% körüli értéket vett fel.

4.2 Tábori elhelyezési körlet belső környezet TLR modell

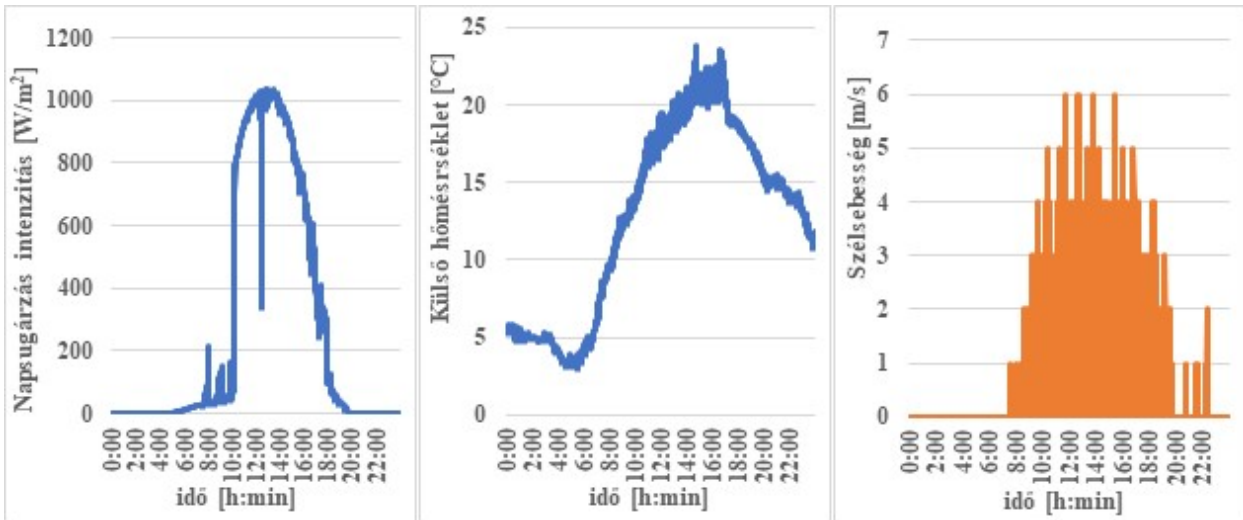
Az TLR modell vizsgálatot 2021. április 16. és 2021. június 19. között, összesen mért 45 nap (kisebb technikai szünetek miatt) bemeneteivel végeztem, amelyek természetesen tartalmazzák az azonosítási 6 napját és a validációs 39 napját.

4.2.1 ISO 20' konténer azonosítás és validálás

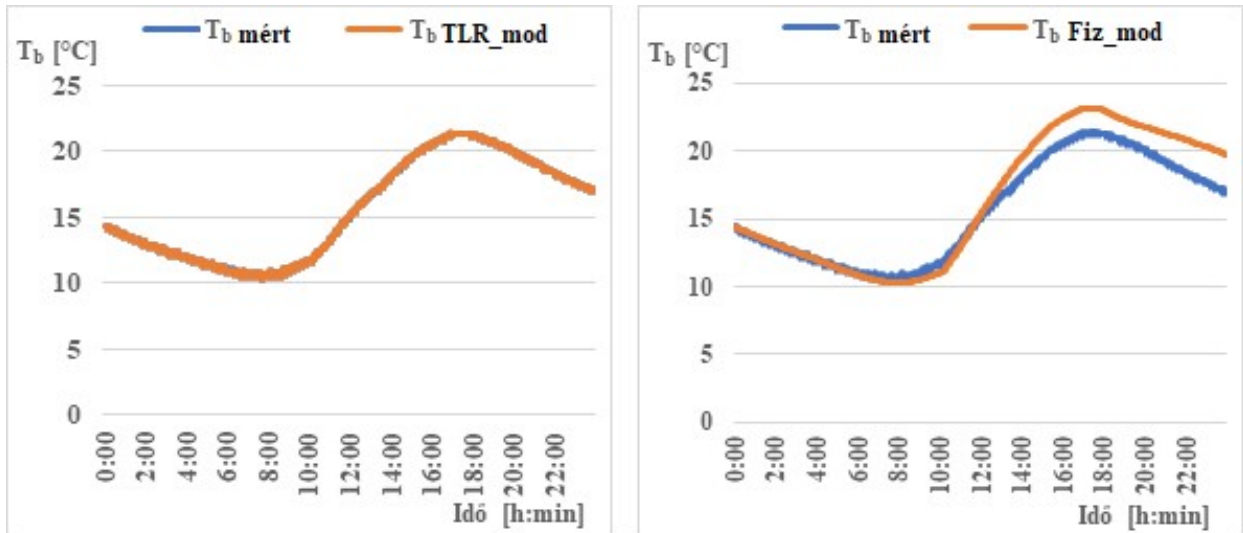
A TLR modell azonosításához 6 mért napot úgy választottam ki, hogy azok a működési körülmények széles skáláját képviseljék a vizsgált két hónapos időszak tekintetében. Ezeket a napokat használtam a fizikai alapú matematikai modell azonosításához is, amelyek a következők: 2021. május 4. (viszonylag szeles 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 45. és 47. 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 azonosítás 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

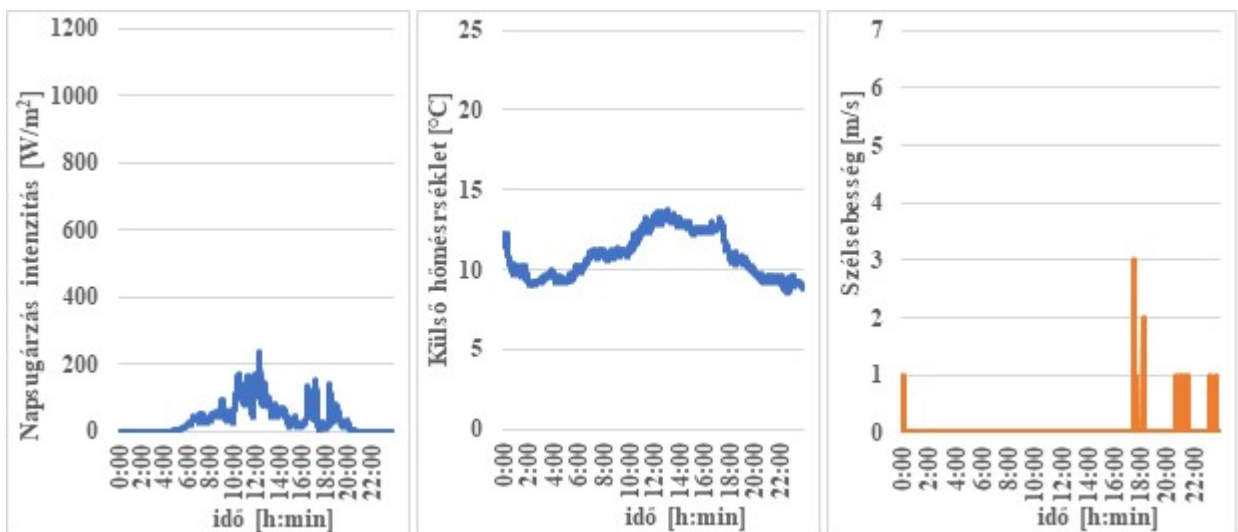
környezeti hőmérséklettel). További információként az 44. és 46. ábra a mért napsugárzást, a környezeti hőmérsékletet és a szélsébséget mutatja be ugyan ezen a két napon.



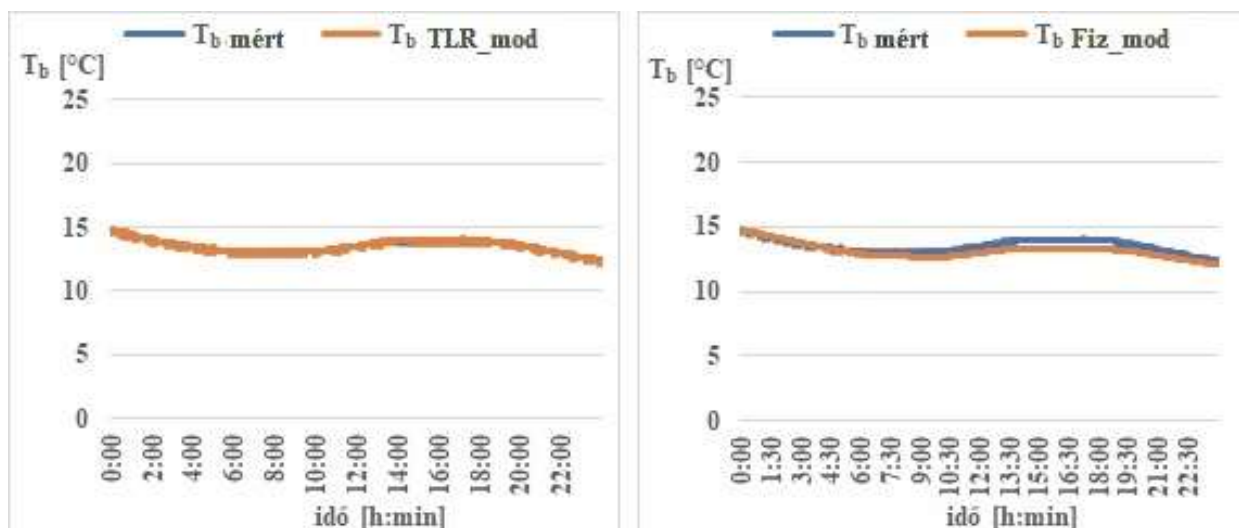
44. ábra, A konténernél mért napsugárzás, környezeti hőmérséklet és szélsébség 2021.05.04-én



45. ábra, Modellezett $T_{b(mod)}$ és mért $T_{b(mért)}$ belső hőmérséklet összehasonlítása 2021.05.04-én.



46. ábra, Konténernél mért napsugárzás, környezeti hőmérséklet és szélsébség 2021.05.23-án.



47. ábra, Modellezett T_{b_mod} és mért $T_{b_mért}$ belső hőmérséklet összehasonlítása 2021.05.23.-án.

A 11. 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, azaz a maximális és minimális mért belső hőmérséklet közötti különbséggel arányosan, [%]-ban került kimutatásra, a 3.2.4 fejezetben ismertetett hibaszámítási módnak megfelelően (32).

11. táblázat: A hiba és az abszolút hibaértékek átlaga a fizikai alapú- és TLR modellek esetében

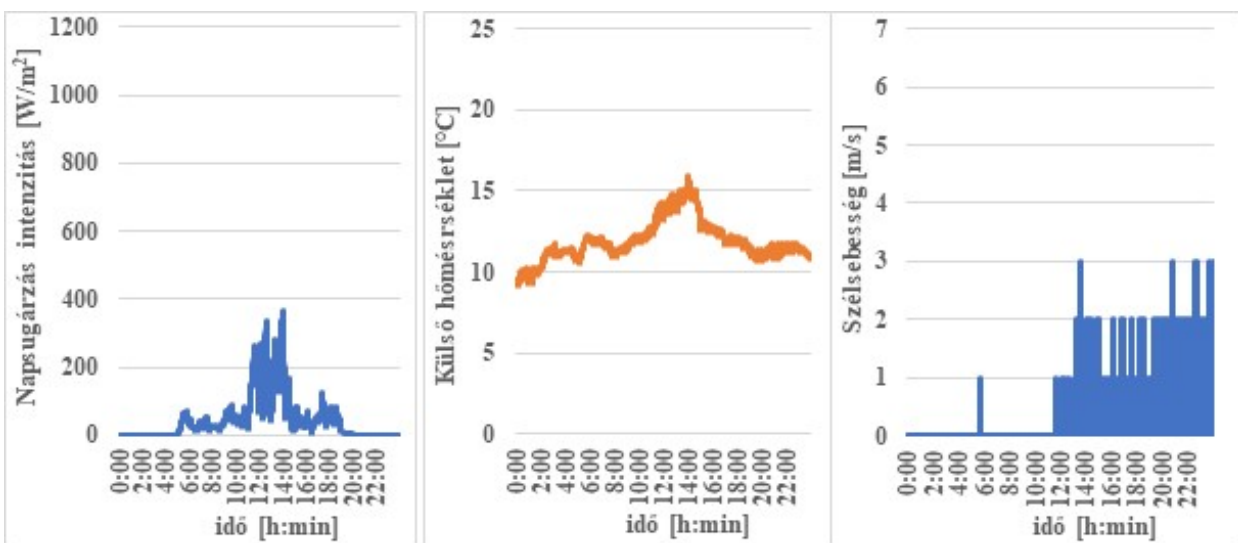
		Fizikai alapú modell	TLR modell
Identifikáció	2021. május 04-én átlag hiba és abszolút hiba átlag értékek	0.79 °C 0.99 °C; 9.0%	-0.0005 °C 0.007 °C; 0.6%
	2021. május 23-án átlag hiba és abszolút hiba átlag értékek	-0.35 °C 0.38 °C; 15.0%	0.0007 °C 0.04 °C; 1.5%
	Identifikáció átlagos relatív hiba értéke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

A 12. 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 $h_t = 12,0 \%$.

Validálás

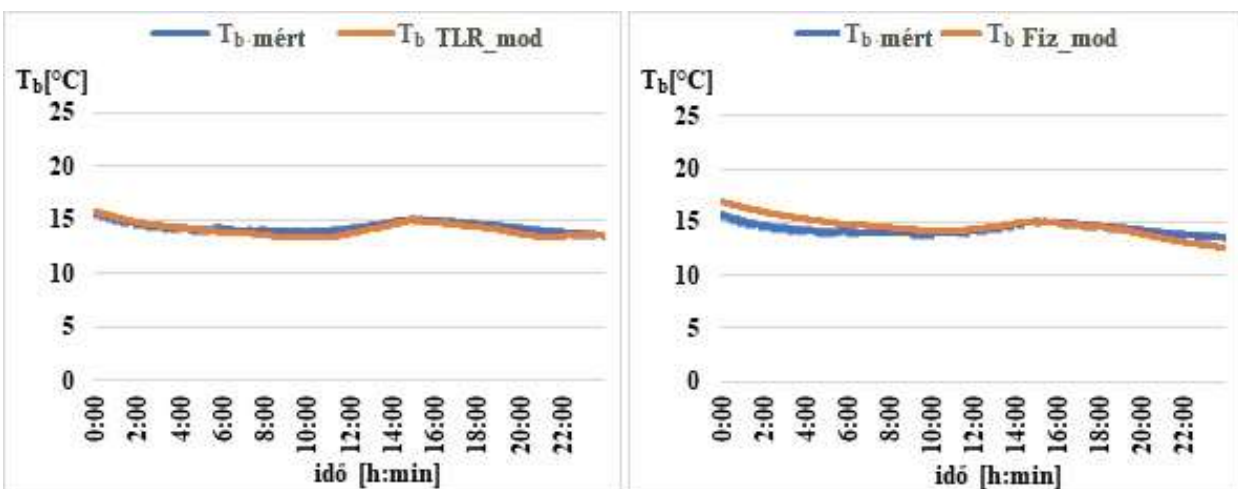
A TLR modell validálása során a már identifikált fizikai alapú és TLR-alapú modelleket használtam 2021. április 16. és 2021. június 19. között mért összesen 39 nap (kisebb technikai szünetek miatt) bemeneteivel, amelyek között természetesen nem szerepel az identifikálás 6 napja. A modellezett belső hőmérsékletet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

A 49. és 51. ábra a modellezett és a mért belső hőmérsékleteket mutatja be mindkét modell esetében a validálás két napján, meglehetősen eltérő üzemi körülmények között; egy szeles nap, alacsony napsugárzással és alacsony környezeti hőmérséklettel - 2021. május 17., valamint egy nem szeles nap, magas és zavart napsugárzással és magas környezeti hőmérséklettel - 2021. június 17.

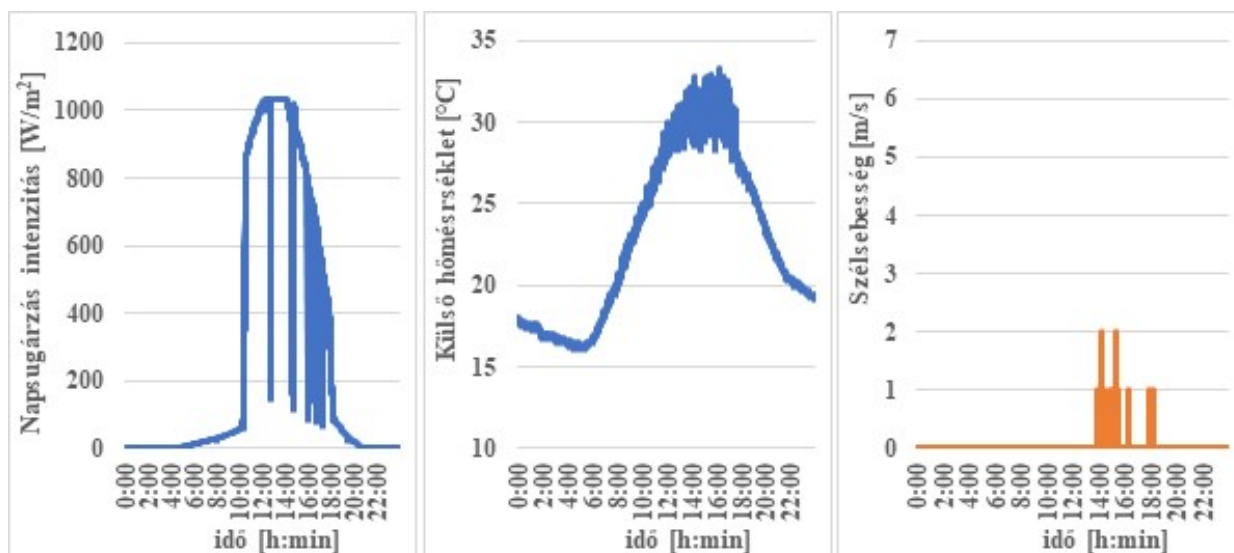


48. ábra, Napsugárzás, környezeti hőmérséklet és szélsébség 2021. 05. 17-én.

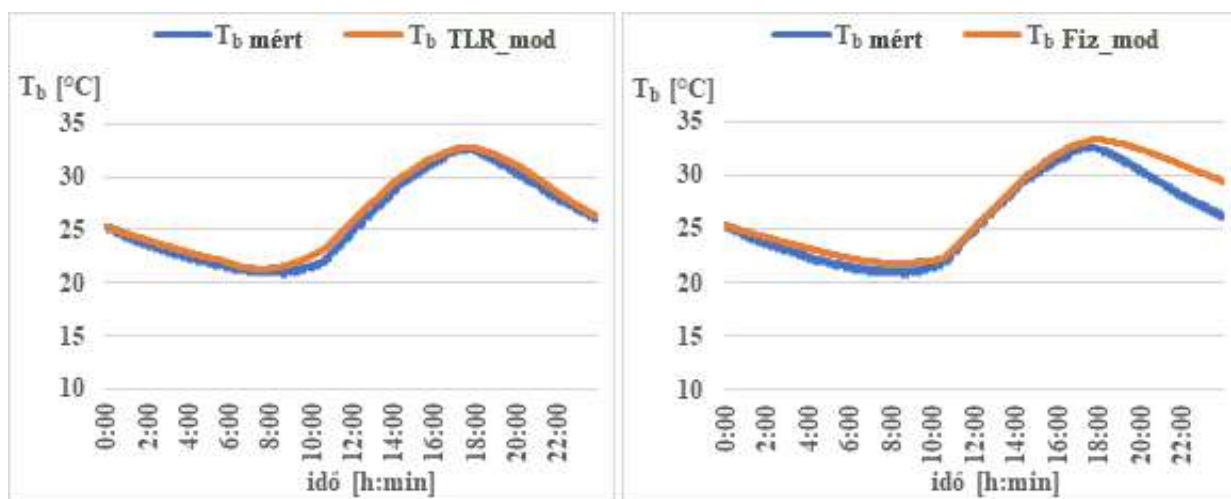
További információként a 48. és az 50. ábra az elhelyezési konténernél mért globális napsugárzást, a környezeti hőmérsékletet és a szélsébséget mutatja be ugyan ezen a két napon.



49. ábra, Modellezett T_b_mod és mért T_b_mért belső hőmérsékletek 2021. 05. 17-én.



50. ábra, A napsugárzás, környezeti hőmérséklet és szélsébség 2021. 06. 17-én

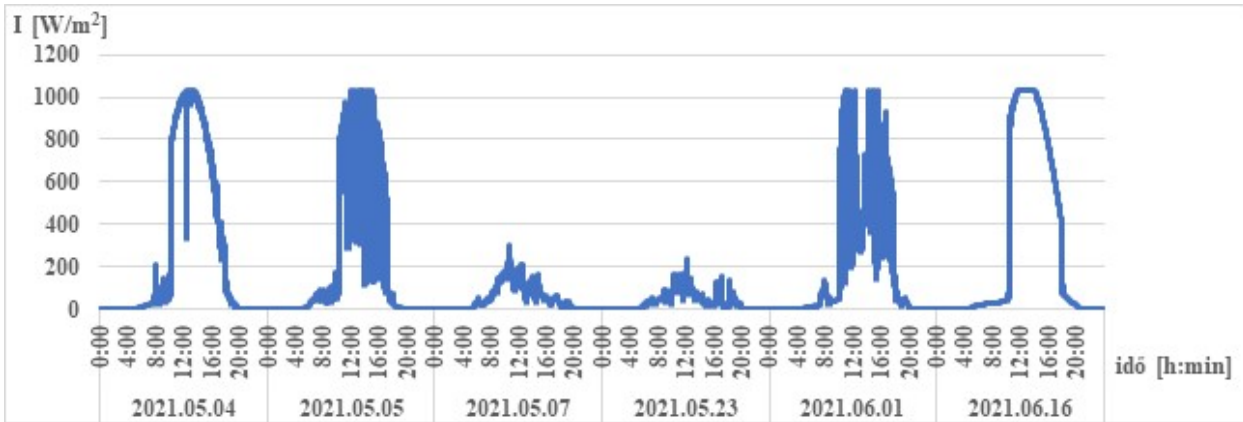
51. ábra, Modellezett $T_{b,mod}$ és mért $T_{b,mért}$ belső hőmérsékletek 2021. 06. 17-én.

A validálási eredményeket szintén a 12. 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 modellnél 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.

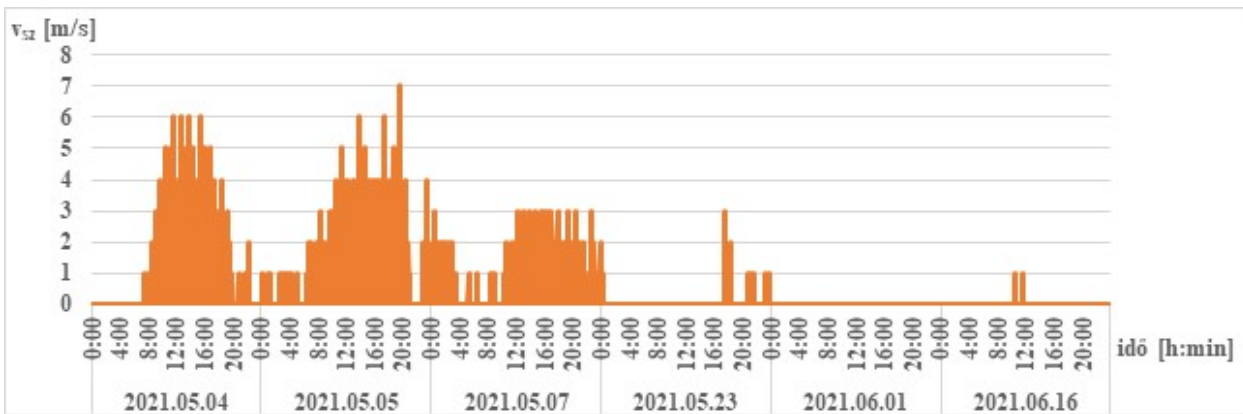
4.2.2 M63 mintájú sátor belső hőmérséklet TLR modell validálása

Katonai táborok építésének módját elsődlegesen az alkalmazás módja és időintervalluma határozza meg. Egzakt, éles határvonal azonban nincs meghúzva a konténerből épített tábor, illetve a sátor szakanyaggal felállított tábor alkalmazására. Ennek okán szükséges volt olyan kutatási eredmények elérése 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 az 52.- és 53. számú ábrán láthatók.

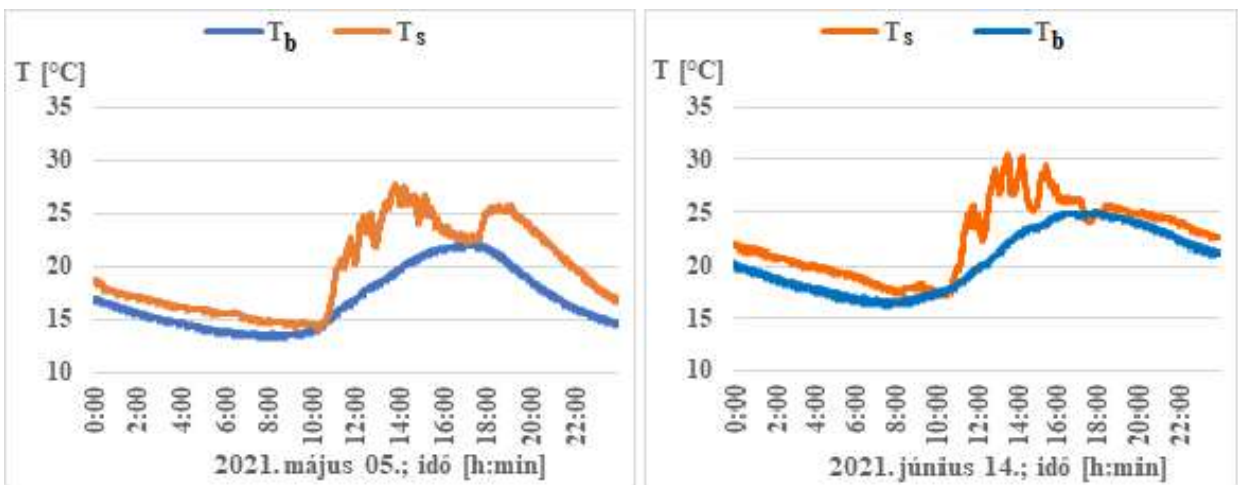


52. ábra, Identifikációhoz kiválasztott napok globális sugárzásértékei



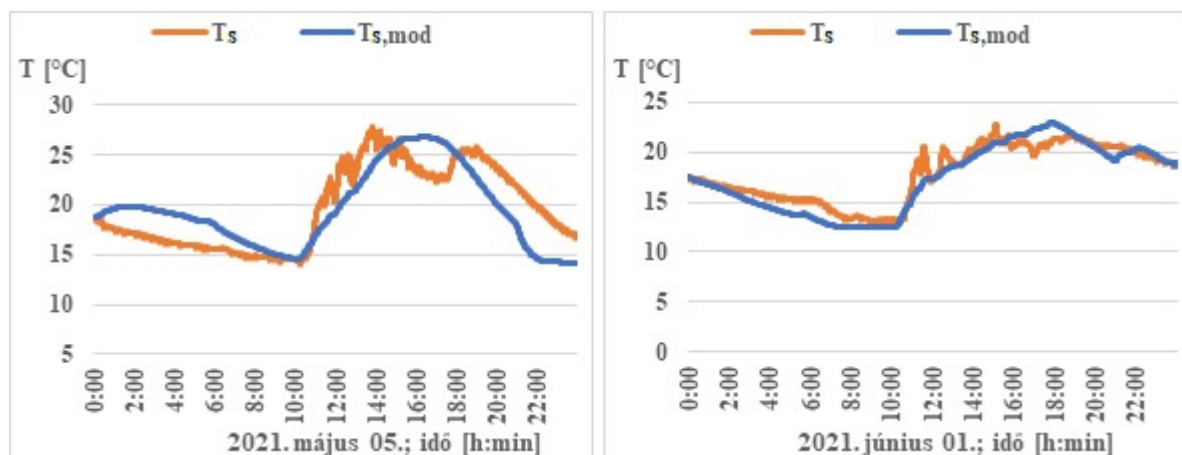
53. ábra, Identifikációhoz kiválasztott napok széleseesség értékei

A mérések során jól látható volt a két táborépítési szakanyagok fizikai jellemzőinek különbsége, ami által a sátor belső hőmérséklete sokkal érzékenyebben reagál a külső környezeti hatásoknak. Ezt a különbséget szemlélteti az 54. számú ábra egy az identifikációhoz kiválasztott 2021. május 05. és egy a validálás bemutatására kiválasztott 2021 június 14. napokon.



54. ábra, Konténer T_b és sátor T_s belső hőmérséklet alakulása külső környezet hatására

A TLR-alapú modell identifikációja során szintén megegyeznek a paraméterek $c_{l,A1}$, $c_{k,A1}$, $c_{v,A1}$, $c_{b,A1}$, $c_{l,B}$, $c_{k,B}$, $c_{v,B}$, $c_{b,B}$, $c_{l,A2}$, $c_{k,A2}$, $c_{v,A2}$, $c_{b,A2}$, mint a konténer esetében (34)-(36) 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.



55. ábra, Sátor modellezett $T_{s,mod}$ és mért T_s belső hőmérsékletek identifikáció során.

Az 55. számú 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 12. 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 3.2.4. fejezetben bemutatott abszolút hiba számítási módszerrel (32), a napi maximális és minimális mért belső hőmérséklet közötti különbséggel arányosan [%]-ban szerepel.

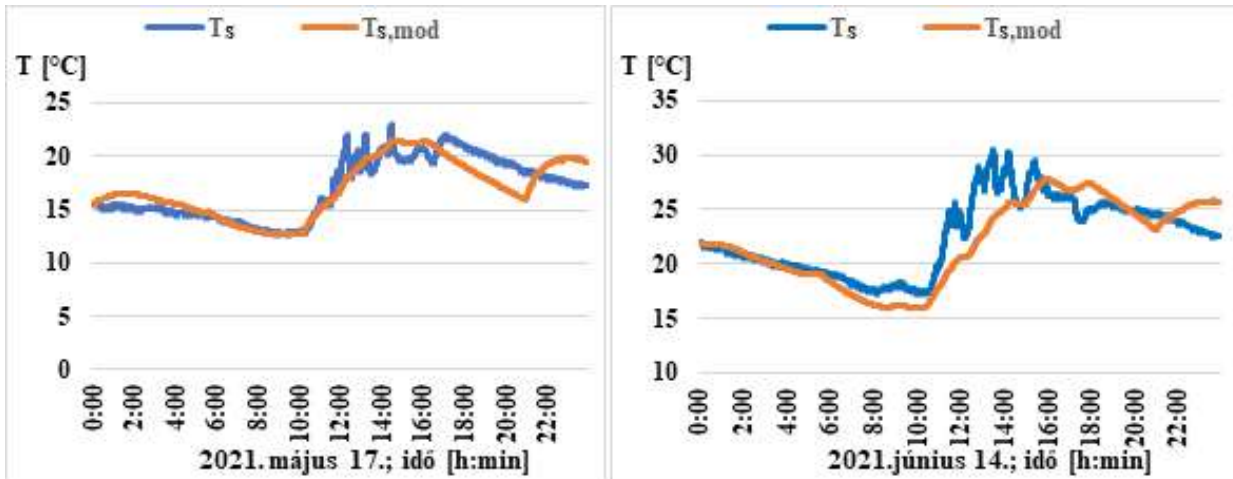
12. táblázat, A hibaértékek átlaga az M63 sátor belső hőmérséklet TLR modell esetében

Hiba és abszolút hiba átlag értékek		M63 TLR modell
Identifikáció	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%
Validálás	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)	7.8%

A 13. 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 bemutatam. A hiba értékek átlaga az identifikáció mind a 6 napjára vonatkozóan alapvetően rosszabb értékekkel szerepel ($h_t = 10,2\%$), mint a táborigényes 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.



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

A modellezett belső hőmérsékletet összehasonlítottam a mért hőmérséklettel, majd kiértékeltem a két értékből adódó különbséget, azaz hibát. Az 56. számú 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.

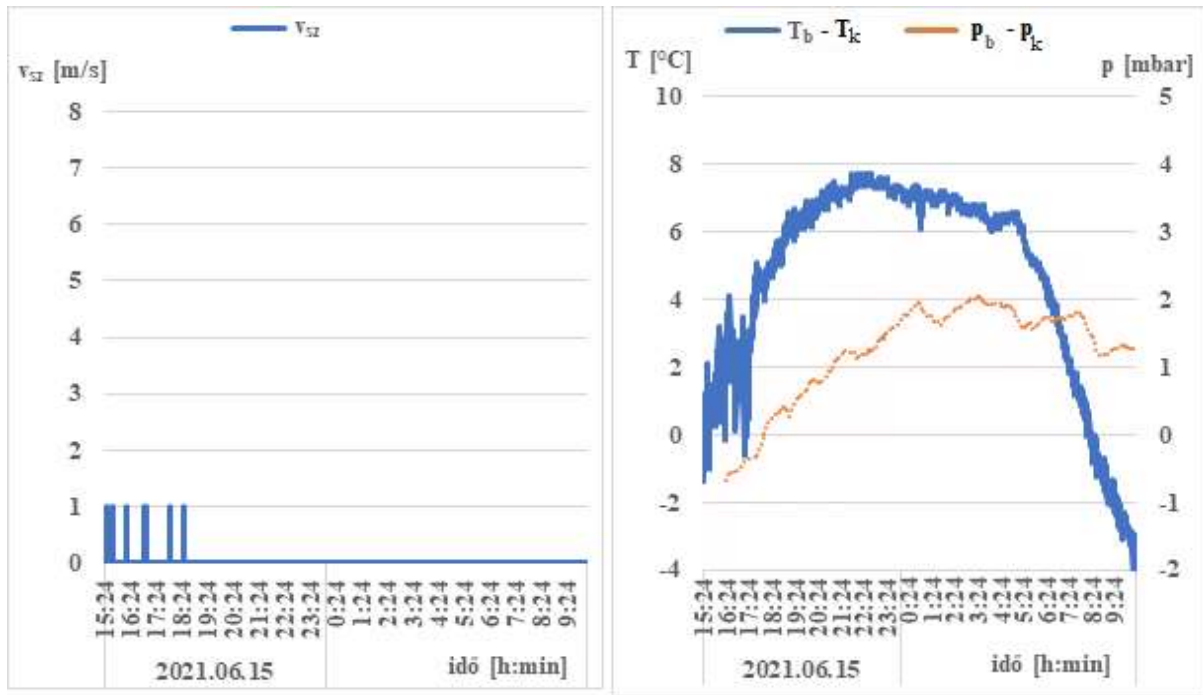
Az eredmények alapján megállapítom, hogy az M63 mintájú sátor belső hőmérséklete meglehetősen pontosan leírható a TLR-alapú modellel. A validálás szerint a TLR-alapú modell modellezési hibája $h_t = 7,8\%$. Habár jelenleg még tovább finomítható a sátor szakanyag TLR-alapú modell pontossága, viszont már 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.

4.2.3 ISO Konténer belső levegő minőség – CO_2 koncentráció MLR modell validálás

A tábori elhelyezési konténer TLR modell identifikációhoz 2+4 mért napot úgy választottam ki, hogy a lehetséges működési feltételeinek széles skáláját lefedjék, ahol az üzemeltetési feltételek jól jellemezhetők a környezeti hatásokkal. 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 mért napokat választottam ki, amikor a külső-belső hőmérséklet nem nagy, de szintén nagy széllel párosul, monoton emelkedő belső koncentráció mellett (2021. április 15- és 16.). Másrészt olyan mért napot választottam ki, amikor nagy külső-belső hőmérséklet különbség párosul kis széllel, állandósult belső koncentráció mellett (2021. április 18.) és egy olyan mért napokat választottam ki, amelyen szintén nagy külső-belső hőmérséklet különbség párosul kis széllel, monoton emelkedő belső koncentráció mellett (2021. június 15-és 16.).

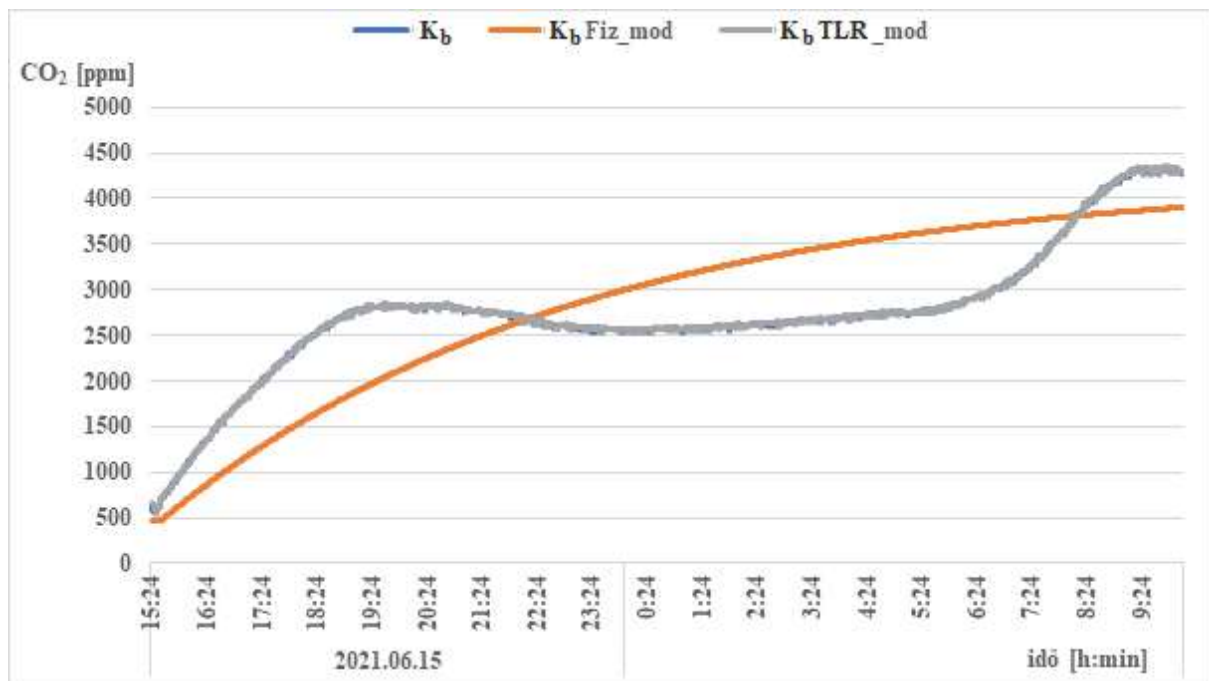
A 2+4 nap számos, itt nem részletezett számítógépes kísérlet alapján elegendőnek bizonyult ahhoz, hogy egy meglehetősen jó pontossággal azonosított modellt kapjak. A gyakorlat kedvéért ezeket

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. (Ha a modellt az egész évre szeretnénk alkalmazni, az identifikáció pontossága kedvéért könnyen elvégezhető minden évszakra külön-külön). Az 57. és az 59. ábra mutatja az ISO konténer környezetében mért szélereősséget, a környezeti- és belső hőmérséklet különbséget, valamint a külső- és belső légköri nyomás különbséget ugyanazon napon.



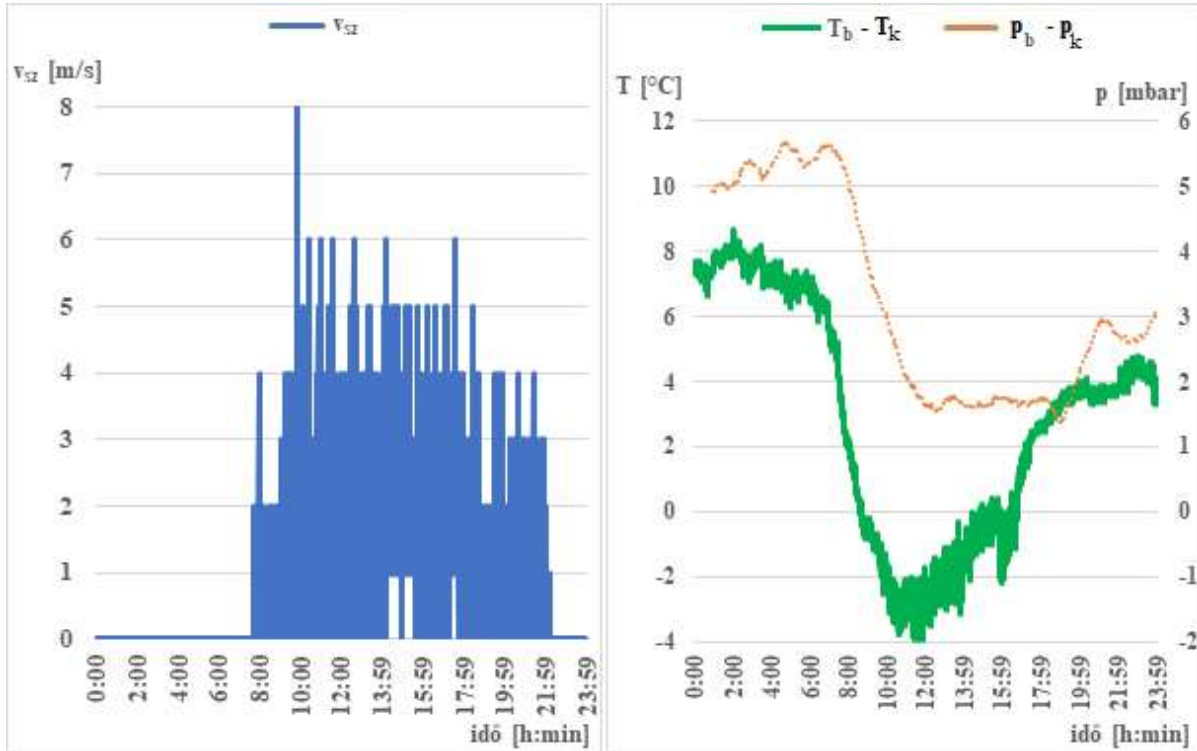
57. ábra, Szélereősség, külső-belső hőmérséklet- és légköri nyomás különbség 2021.06.15-16-án

Az ábrákon jól látható, hogy a külső- és belső hőmérséklet különbség, valamint a külső- és belső légköri nyomás különbség hasonló görbét ír le.

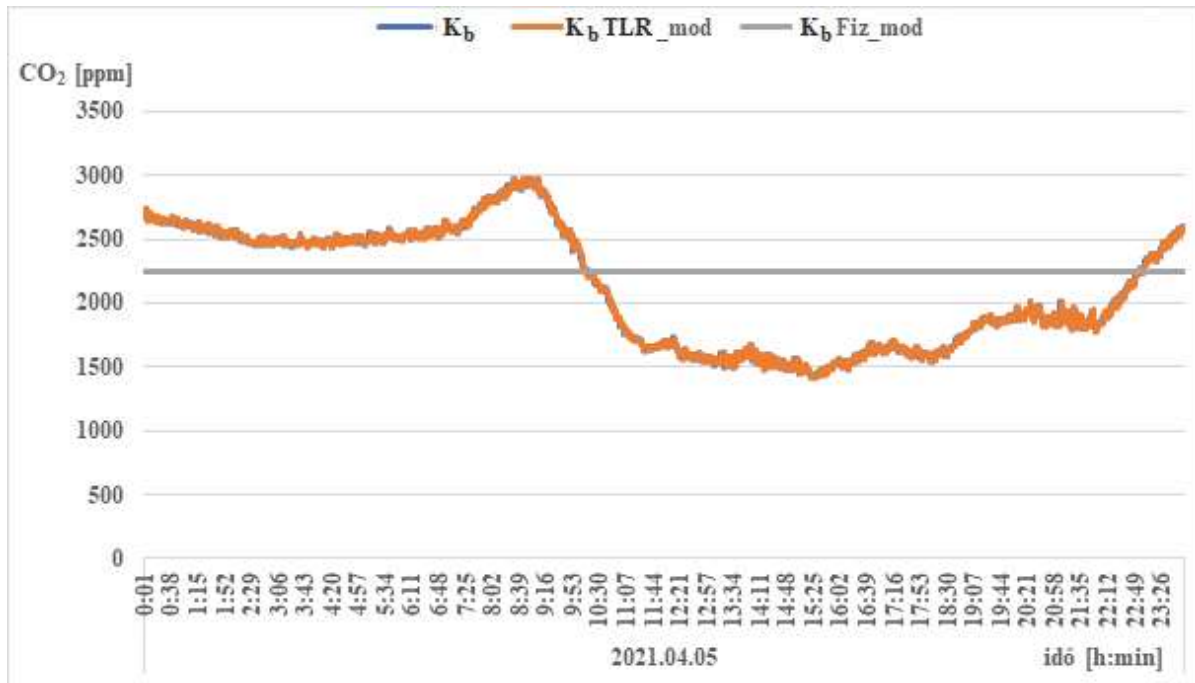


58. ábra, Modellezett K_b _mod és mért K_b belső koncentráció értékek 2022 június 15-16-án

Az 58. és a 60. ábra a modellezett és a mért belső koncentrációt hasonlítja össze. Az ábrákon látható, hogy az identifikáció során kirajzolt TLR modell (K_b TLR_mod) értékei szinte teljesen megegyeznek az ISO konténerben mért értékekkel (K_b).



59. ábra, Szélerősség, külső-belső hőmérséklet- és légköri nyomás különbség 2021.04.05-én



60. ábra, Modellezett K_b _mod és mért K_b belső koncentráció értékek 2022 április 05-én.

A 13. 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. 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 3.2.4 fejezetben ismertett hibaszámítási módszerek megfelelően (32).

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

Mért abszolút átlagos hiba és előfordulási aránya	Fizikai- alapú modell	TLR modell
Identifikáció 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%	0,3%
Validálás 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 %	9 %

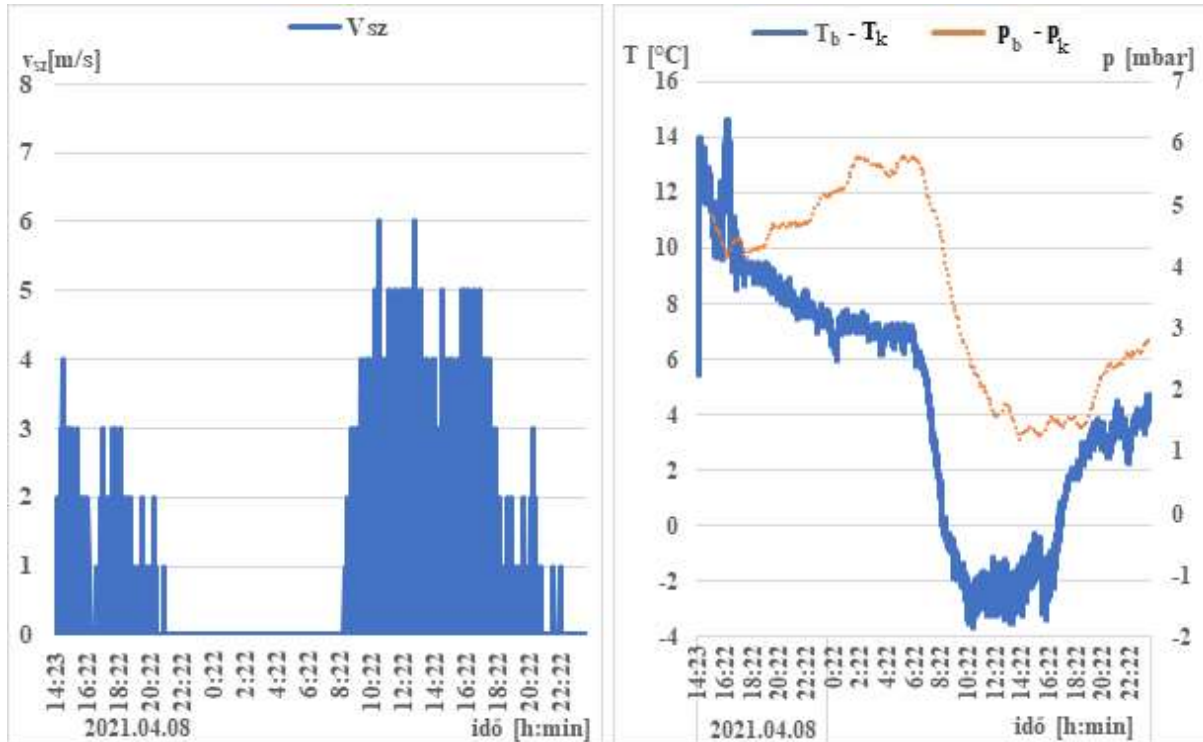
A TLR-alapú modell indentifikációja során standard TLR rutint alkalmaztam a mért adatok alapján a c_k , c_{AT} , c_v , c_k és $c_{..}$, paraméterek meghatározására a (37) egyenletben. A standard TLR rutin (a legkisebb négyzetek módszerén alapuló) jól ismert és elérhető a legtöbb statisztikai és táblázatkezelő 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 14. 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 14. táblázat ($h_t = 0,3 \%$). A fizikai-alapú modellel átlagos hiba %-os értéke a teljes identifikáció mind a 2+4 napjára vonatkozóan szintén a 14. 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 (37) (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 szén-dioxid koncentrációt mindkét modell esetében összehasonlítottam és értékeltem. A 14. 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

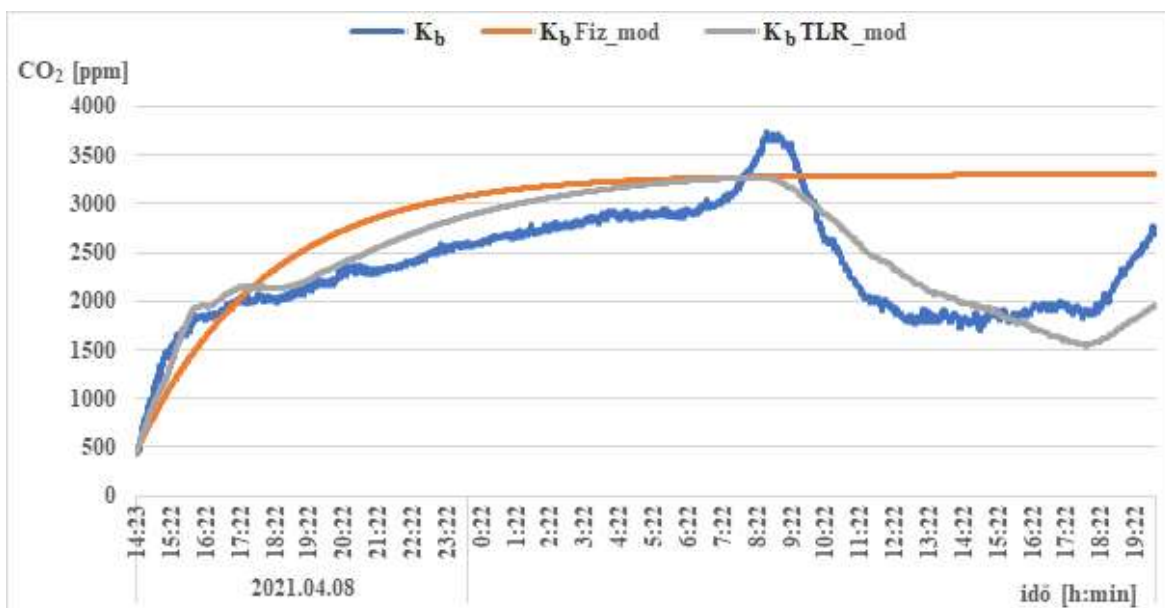
vonatkozóan is szerepel a 14. táblázatban. $h_t = 12,4\%$ a fizikai alapú modell esetében és $h_t = 9\%$ a TLR-alapú modell esetében.

A 62. és 64. 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.

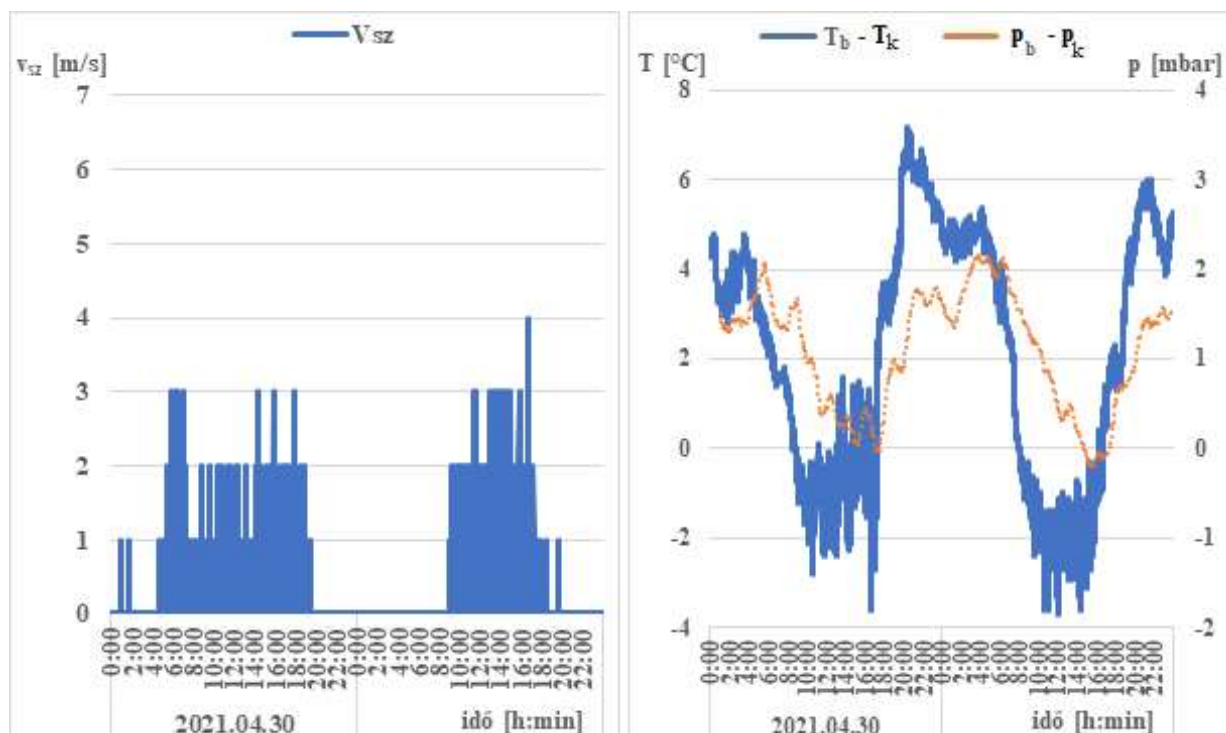


61. ábra, Szélerősség, külső-belső hőmérséklet- és légköri nyomás különbség 2021, 04.08.- 09.

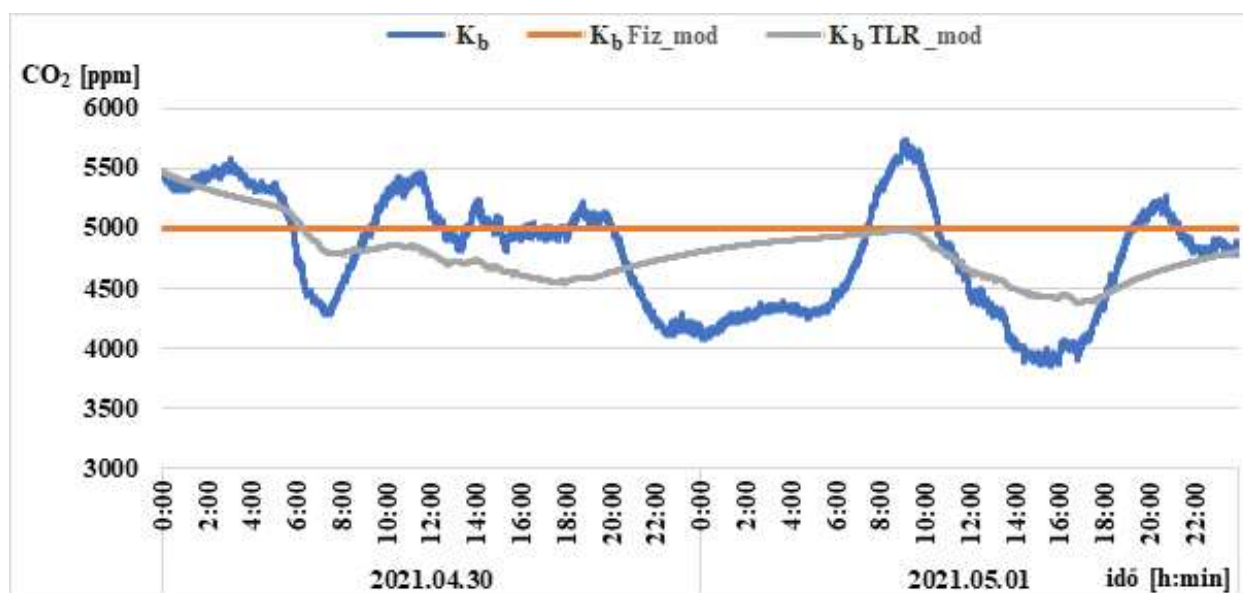
További információként a 61. és a 63. ábra a teljes konténer felületre ható szélnyomást/szélsebességet, valamint a környezeti hőmérséklet- és a belső hőmérséklet különbségét mutatja a belső- és külső mért légköri nyomással ugyanezen a napokon.



62. ábra, Modellezett K_{b_mod} és mért K_b belső koncentráció értékek 2022 április 08-09-én.



63. ábra, Szélerősség, külső-belső hőmérséklet- és légköri nyomás különbség 2021, 04.30 – 05.01.



64. ábra, Modellezett K_{b_mod} és mért K_b belső koncentráció értékek 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.

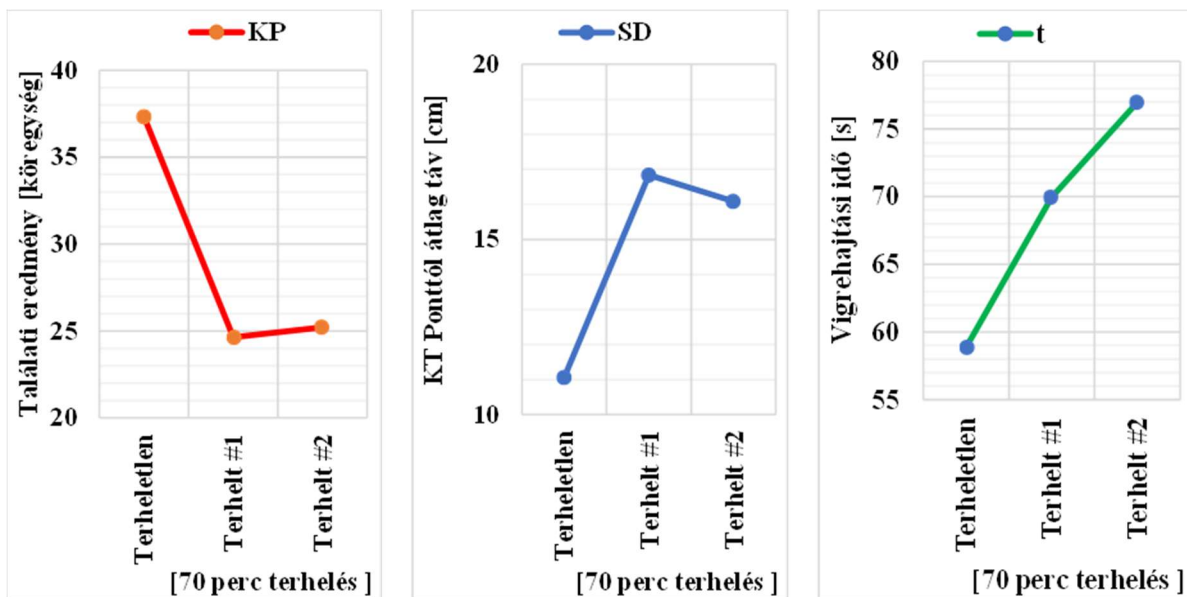
4.3 Belső levegő minőség emelkedett CO₂ tartalom hatása a katonai képességre

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. Elsőként az eredmények átlagértékeit táblázatban összefoglalva mutatom be (14. táblázat), amelyeket a következőben kiértékelünk.

14. táblázat, CO₂ terhelt és terheletlen lövészet átlageredmények

	Terheletlen			1# terhelt			2# terhelt		
	KP [pont]	SD [cm]	t [s]	KP [pont]	SD [cm]	t [s]	KP [pont]	SD [cm]	t [s]
1. sorozat	36	10	59	23	15	70	25	16	75
2. sorozat	38	10	60	26	15	71	26	15	79
3. sorozat	38	13	57	25	19	70	24	18	77
Összátlag	37	11	59	25	17	70	25	16	77

A bemutatott eredmények alapján feltételezhető, ahogy az átlageredményeket bemutató grafikon (65. számú ábra) is szemtűnően szemlélteti, hogy a kísérletben végrehajtott szituációs lövészet képesség hatékonysága csökken, amennyiben legalább 70 perc, CO₂-val terhelt belső környezetből megindulva történik a feladat végrehajtása.

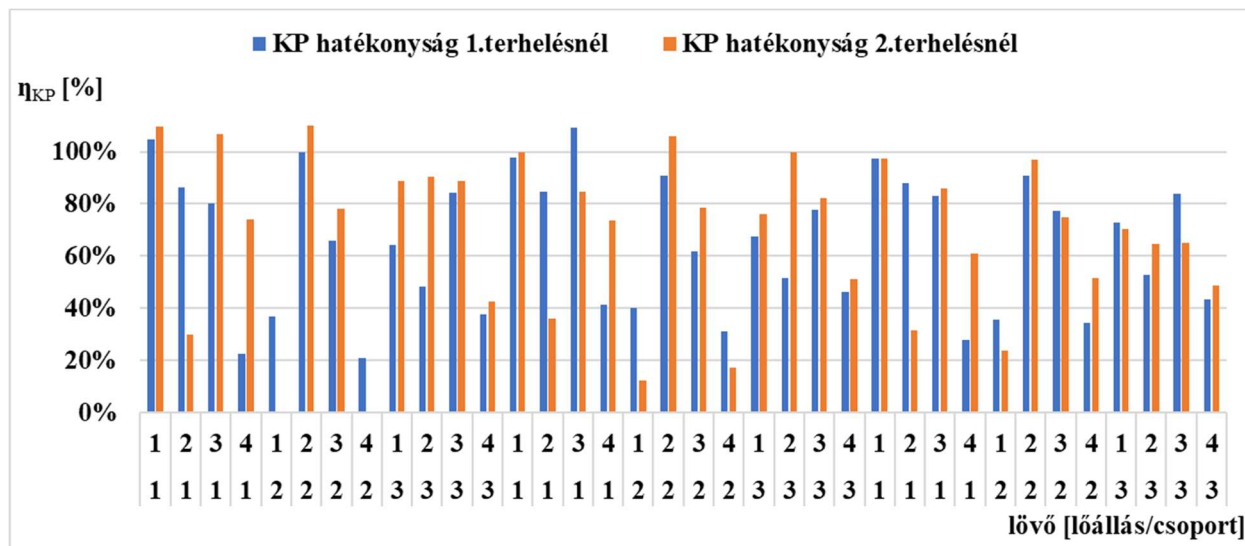


65. ábra, Kísérleti lövészet átlageredményei

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

4.3.1 KP- találati pontszám

A 3.3.3 fejezetben bemutatott módszert alkalmazva (40) a találati pontszám hatékonyságát, illetve a CO₂-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 66. számú ábrán láthatóak.



66. ábra, KP hatékonyság kimutatása egyes harcosra vonatkozóan (3 sorozat: csoport/lőállás)

A 66. számú ábrán bemutatott terheletlen- és 70 perc 3000 ppm feletti szén-dioxid koncentrációban eltöltött terhelés után végrehajtott lövészet eredményeinek összehasonlításához, két mintás t-próbát (45) hajtottam végre és ellenőriztem a kimutatott eltérés szignifikancia szintjét.

ahol,

- $n = 12$ - Terheletlen állapotban leadott lövések száma,
- $m = 12$ - Terhelt állapotban leadott lövések száma,
- $\bar{x} = 35,92$ - A 12 lövő össz-találati pontszámának átlaga terheletlen lövésekkor,
- $\bar{y} = 23,08$ - A 12 lövő össz-találati pontszámának átlaga 70 perc terhelés után,
- $\sigma_n^* = 6,707639245$ – Korrigált empirikus szórás terheletlen lövészetnél,
- $\sigma_m^* = 11,88932549$ - Korrigált empirikus szórás terhelt lövészetnél.

Elsőként a fenti adatonak megfelelően a terheletlen és a 70 perc terhelés utáni lőeredmények találati pontszám (KP) értékeket hasonlítottam össze. Egy csoport 4 lőállásban 3 váltással hajtott végre a szituációs lövészetet. 12 katona 5 lövés találati pontszámának átlagát számolva, 12 - 12 kiértékelendő KP, mint leadott lövések száma terheletlen állapotban és 70 perc 3000 ppm feletti szén-dioxid koncentrációjú levegőben kapott terhelés után egyaránt. A két mintás t - próba számításához használta adatokat a 15. táblázat foglalja össze.

15. táblázat, Szituációs lövészet találati pontszám (KP) t-próba

Lövő Katona sorszám	Lőeredmény		$(x_i - \bar{x})^2$	$(y_i - \bar{y})^2$
	Terheletlen	Terhelt (70 perc után)		
1	41	43	25,84028	396,6736
2	37	32	1,173611	79,50694
3	30	24	35,00694	0,840278
4	31	7	24,17361	258,6736
5	38	14	4,340278	82,50694
6	29	29	47,84028	35,00694
7	41	27	25,84028	15,34028
8	24	5	142,0069	327,0069
9	45	29	82,50694	35,00694
10	31	15	24,17361	65,34028
11	44	37	65,34028	193,6736
12	40	15	16,67361	65,34028
Átlag:			494,9167	1554,917
Átlag/(n-1):			44,99242	141,3561

A találati pontszám t-értékre: $t_{KP}=3,257$

16. táblázat, t-próba szignifikancia szinthez tartozó kritikus értékhatárok
Student-féle t-érték

táblázat 'P' érték =	0,9995	0,995	0,99
α =	0,001	0,01	0,02
Szignifikancia szint =	99,9%	99,0%	98,0%
$t_{\alpha} = \Phi_{n+m-2}^{-1} \left(1 - \frac{\alpha}{2} \right) =$	3,792	2,819	2,508

Figyelemmel a 16. táblázatban látható, kritikus tartományon kívül eső találati pontszám t-értékre, $2,819 < t_{KP} < 3,792$ a terheletlen és a 70 perc terhelés utáni lőeredmények találati pontszám (KP) eltérése szignifikáns, $p \leq 0,005$ szignifikancia szint mellett.

Elvégeztem a t-próbát az első- és második 70 perc terhelés után lőeredmények eltérésének 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.

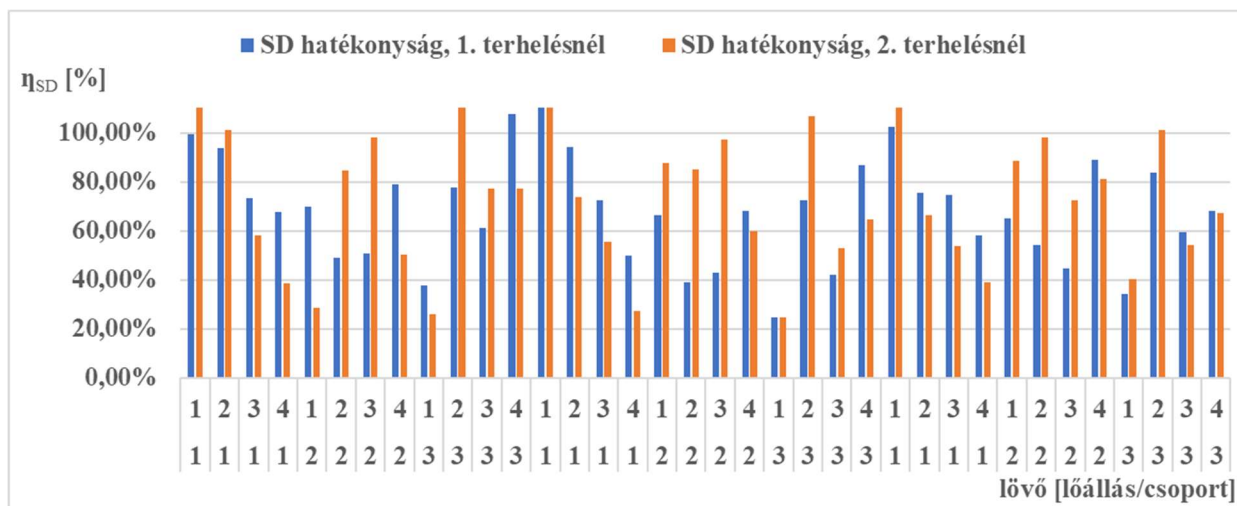
A terhelt és terheletlen szituációs lövészet KP eredményének értékelése alapján, mint katonai képesség egyik paraméterét átlagolva, a hatékonyságnak a teljes állományra vetített átlagolt érték kimutatását a 18. számú táblázat mutatja be, ami alapján megállapítható, hogy a találati pontosság a 2/3-ára esett vissza már az első 70 perc 3000 ppm szén-dioxid koncentráció feletti zárt térben tartózkodás után.

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

Ssz	3000 ppm feletti CO ₂ 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%

4.3.2 SD- Középső találati ponttól való átlagos távolság

A 3.3.3 fejezetben bemutatott módszert alkalmazva (43) a középső találati ponttól való átlagos távolság, azaz a szórás alapján értékelhető hatékonyság, illetve a CO₂-val terhelt belső környezetből megindulva történő szituációs lövészetnek hatékonyságának változását a terheletlen környezetből végrehajtott arányában hasonlóan, mint a találati pontszám esetében, a 3 sorozatnak minden egyes harcosra kimutatható az első terhelés lövészet-, illetve a második terheléses lövészet eredményeire vonatkozóan (67. számú ábra).



67. ábra, SD hatékonyság kimutatása egyes harcosra vonatkozóan (3 sorozat: csoport/lőállás)

A 67. számú ábrán bemutatott terheletlen - és 70 perc 3000 ppm feletti szén-dioxid koncentrációban eltöltött terhelés után végrehajtott lövészet eredményeinek összehasonlításához, két mintás t-próbát (45) hajtottam végre és ellenőriztem a kimutatott eltérés szignifikancia szintjét. A (45) egyenletben a 18. táblázatban lévő adatokkal számolva, a szórás t értéke $t_{SD} = -2,591$, ahol:

- $n = 12$, - Terheletlen állapotban leadott lövések száma,
- $m = 12$, - Terhelt állapotban leadott lövések száma,
- $\bar{x} = 10$, - A 12 lövő szórás átlaga terheletlen lövésekkor,
- $\bar{y} = 15$, - A 12 lövő szórás átlaga 70 perc terhelés után,
- $\sigma_n^* = 3,37$, - Korrigált empirikus szórás terheletlen lövészetnél,
- $\sigma_m^* = 4,68$, - Korrigált empirikus szórás terhelt lövészetnél.

18. táblázat, Szituációs lövészet szórás (SD) t-próba

Lövő Katona sorszám	Lőeredmény		$(x_i - \bar{x})^2$	$(y_i - \bar{y})^2$
	Terheletlen	Terhelt (70 perc után)		
1	10	10	0,000259	18,30647
2	15	16	20,09056	1,342968
3	7	10	8,687495	20,57205
4	7	10	14,50986	24,47702
5	12	17	3,093886	7,592015
6	9	19	1,696295	15,1584
7	13	25	4,859847	103,6768
8	13	16	5,845281	2,386997
9	3	9	50,87641	36,03585
10	13	17	6,984964	4,189419
11	9	15	0,935714	0,553406
12	13	12	7,123188	6,557877
	Átlag:		124,7038	240,8493
	Átlag/(n-1):		11,3367	21,89539

A student féle táblázat szerint a 16. 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 löeredmények SD eredmény eltérése szignifikáns, $p \leq 0,01$ szignifikancia szint mellett.

Elvégeztem a t-próbát az első- és második 70 perc terhelés utáni löeredmények 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.

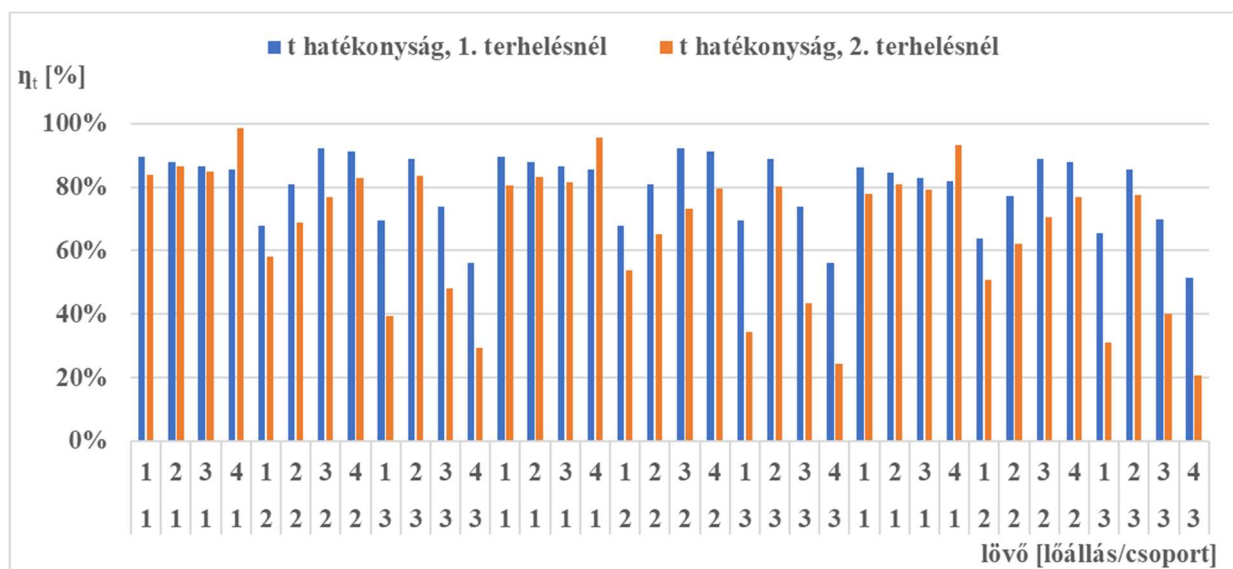
A terhelt és terheletlen szituációs lövészet **SD** eredményének értékelése alapján, mint katonai képesség egyik paraméterét átlagolva hasonlóan, mint a találati pontszám esetében tettem, a hatékonyságnak a teljes állományra vetített átlagolt értékét kimutattam a 20. számú táblázatban. A 19. táblázatba foglalt értékek alapján megállapítható, 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 utáni terheléssel.

19. táblázat, Terhelt és terheletlen szituációs lövészet (SD) eredményének átlaga

Ssz	3000 ppm feletti CO ₂ 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%

4.3.3 t - végrehajtási idő

A 3.3.3 fejezetben bemutatott módszert alkalmazva (44) a végrehajtási idő hatékonyságát, illetve a CO₂-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 (68. számú ábra).



68. ábra, (t) hatékonyság kimutatása egyes harcosra vonatkozóan (3 sorozat: csoport/lőállás)

A 68. számú ábrán bemutatott terheletlen - és 70 perc 3000 ppm feletti szén-dioxid koncentrációban eltöltött terhelés után végrehajtott lövészet eredményeinek összehasonlításához, két mintás t-próbát (45) hajtottam végre és ellenőriztem a kimutatott eltérés szignifikancia szintjét, az alábbi végrehajtási idő (t) eredményeivel (20. táblázat) számolva, a végrehajtási idő t értéke $t_t = - 3,245$,

ahol:

- $n = 12$, - Terheletlen állapotban leadott lövések száma,
- $m = 12$, - Terhelt állapotban leadott lövések száma,
- $\bar{x} = 59$, - A 12 lövő végrehajtási idő átlaga terheletlen lövésekkor,
- $\bar{y} = 70$, - A 12 lövő végrehajtási idő átlaga 70 perc terhelés után,
- $\sigma_n^* = 9,12$, - - Korrigált empirikus szórás terheletlen lövészetnél,
- $\sigma_m^* = 6,36$, - - Korrigált empirikus szórás terhelt lövészetnél.

20. táblázat, Szituációs lövészet végrehajtási idő t-próba

Lőeredmény				
Lövő Katona sorszáma	Terheletlen	Terhelt (70 perc után)	$(x_i - \bar{x})^2$	$(y_i - \bar{y})^2$
1	68	75	79,50694	30,25
2	67	75	62,67361	30,25
3	60	68	0,840278	2,25
4	69	79	98,34028	90,25
5	50	66	82,50694	12,25
6	58	69	1,173611	0,25
7	65	70	35,00694	0,25
8	70	76	119,1736	42,25
9	56	73	9,506944	12,25
10	55	61	16,67361	72,25
11	50	63	82,50694	42,25
12	41	59	327,0069	110,25
Átlag:			914,9167	445
Átlag/(n-1):			83,17424	40,45455

A 16. táblázat értékeit figyelembe véve a kritikus tartományon kívül eső végrehajtási idő t-értéke, $-2,819 > t_t > -3,792$, igazolja, hogy a terheletlen és a 70 perc terhelés utáni lőeredmények (t) idő eredmény 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 lőeredmények (t) idő eredmény eltérése is szignifikáns, $p \leq 0,025$ szignifikancia szint mellett.

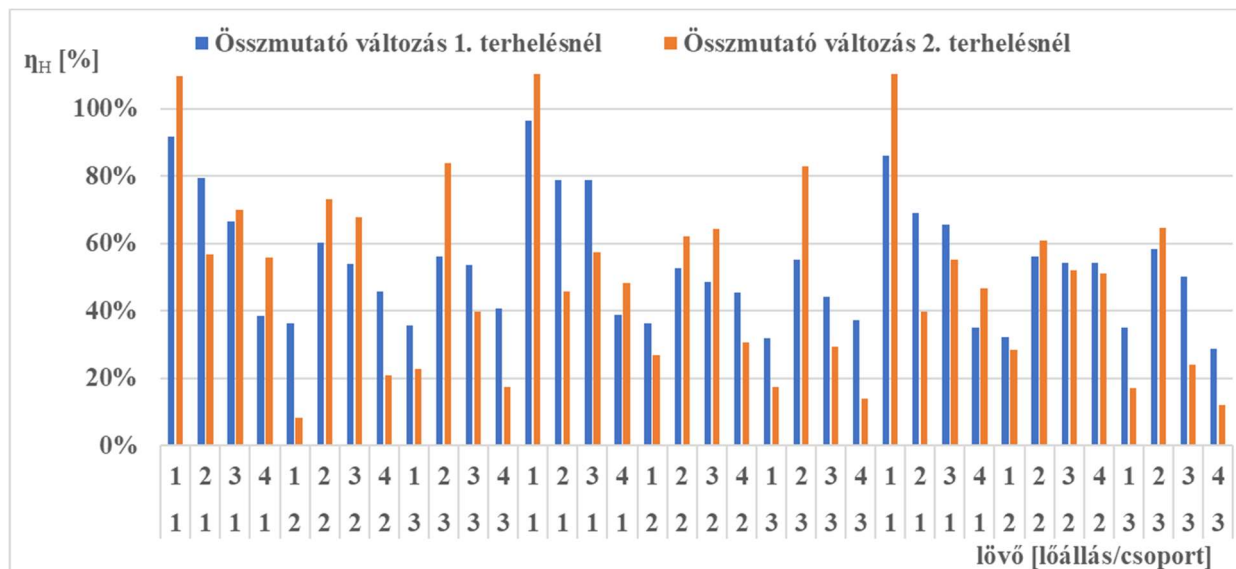
A terhelt és terheletlen szituációs lövészet (t) idő eredményének értékelése alapján, mint a katonai képesség egyik paraméterét, átlagolva a hatékonyságnak a teljes állományra vetített értékét, kimutattam a 21. számú táblázatban, ami alapján megállapítható, hogy a szituáció megoldásához szükséges idő 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

21. táblázat, Terhelt és terheletlen szituációs lövészet (t) eredményének átlaga

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

4.3.4 Hatékonysági mutató

Az anyag és módszer fejezetben bemutatott számítási módszert (46) alkalmazva a CO₂-val terhelt belső környezetből megindulva történő szituációs lövészetnek hatékonyságának változását, mint a harctéri képesség hatékonyságának változását, a terheletlen környezetből végrehajtott arányában, a 3 kísérleti sorozatnak minden egyes harcosára kimutatható az első terhelés lövészet- és a második terheléses lövészet eredményeire vonatkozóan is. (69. számú ábra).



69. ábra, Harctéri képesség változás hatékonyság kimutatása egyes harcosra vonatkozóan

A terhelt és terheletlen szituációs lövészet végrehajtásával rögzített eredményének értékelése alapján felmért a harctéri képesség mutatóját, átlagolva a hatékonyságnak a teljes állományra vetített értékét kimutattam a 22. számú táblázatban. A harctéri hatékonyság számítása alapján megállapítom, hogy a meghatározott szituáció megoldásához a katonák hatékonysága 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.

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

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

A szituációs lövészet végrehajtásával megvizsgáltam a szén-dioxid koncentráció hatását. Megállapítottam, hogy a szakirodalomban elérhető kutatásokkal megegyezően 3000 ppm koncentráció felett jelentősen romlik a katonák teljesítőképessége. Azonban új eredmények, 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.

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.

5 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.

5.1 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 (28)-(31). 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 ± 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 ± 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.

5.2 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 épületre érvényes. Mint Black-borsz 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 estében 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.

5.3 Belső levegő minőség emelkedett CO₂ koncentráció hatásának mérése

A belső zárt térben a jó minőségű friss levegő 1000 ppm CO₂ koncentráció határértékkel jelölt, illetve a magyar- és nemzetközi szabványok által megengedett maximális 5000 ppm CO₂ 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 koncentrációt 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 CO₂ 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 benntartózkodása. 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 kiterjeszhető 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 kiterjeszhető a kutatómunkámban bemutatott módszer az emelkedett CO₂ koncentráció hatásának mérése.

5.4 Tábori létesítmény belső levegő minőség, CO₂ koncentráció modellezés

ISO 20' konténer telepítésével kialakított katonai tábor pihenő körleteiben a bent tartózkodók légzése folytán kialakult CO₂ koncentrációt a környezeti paraméterek (nyomáskülönbség, szélsébség) 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 viszonytal, 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 CO₂ 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 ismerttettem, 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 CO₂ 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 CO₂-feldolgozással foglalkozó kutatásokat, amely tervezhetővé tenné az élelmiszerbeszerzést, biztonságosabbá tenné az élelmiszerellátást.

6 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 értékelve 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, szélsebesség 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 szélsebesség $0-7 \text{ m/s}$ 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 23. táblázatban található.

23. táblázat, Az ISO 20' konténer belső hőmérséklet modell paraméterértékei

$c_{I,A1}$, m ² 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 ² K/W	0.014592
$c_{b,A1}$, -	0.999045	$c_{k,A2}$, -	0.00178
$c_{I,B}$, m ² 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, szélesebbesség 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/m², valamint szélesebbesség 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 24. táblázatban találhatóak.

24. táblázat, Az M63 mintájú sátor belső hőmérséklet modell paraméterértékei

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

4. Megállapítom, hogy 70 perc 3000 ppm CO₂ 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 munkámban rögzített eredmények kiértékelésével megállapítom, hogy a szakirodalomban elérhető kutatásokkal megegyezően 3000 ppm koncentrációt 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 CO₂ 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 bemutatott és javasolt TLR-alapú modell paraméter értékei a 25. táblázatban találhatóak.

25. táblázat, Az ISO 20' konténer CO₂ koncentráció modell paraméterértékei

$c_{K,A1}$, -	0,99659	$c_{K,A2}$, -	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

7 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 ételmezési 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 CO₂ koncentráció terhelés után a katonai/harctéri 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 CO₂ koncentráció változását a külső környezeti hatások függvényében.

8 SUMMARY

In the initial phase of my research, I conducted a literature review on several sub-areas, on the definition of baseline data for the application and installation of temporary facilities and on indoor air quality. During the literature search, I found gaps in addition to a lot of useful information, for example, unsatisfactory answers on comfort parameters and energy requirements for non-temporary or not specifically temporary installations. Also not examined were the parameters for determining the technical requirements for the military use of a temporary facility, the construction of a military camp and the level of construction of the associated infrastructure. I could not find any examples of the comfort criteria to be applied to the design requirements and boundary conditions of a military camp.

In my work, I found that the indoor air quality in the rest areas of the campsite is expected to be different in terms of air temperature than that in the built environment. Determining these different requirements is necessary for the design of the utility network of camps designed for long-term occupancy. I have also found that degradation of indoor air quality has a greater impact on military capability than on the performance expected of civilian workers in the average built environment. I conducted the indoor air quality survey using long term outsourced multiple data recordings, and the impact on soldiers was tested using three replicates.

An important finding of the research is that the operational planning of camps designed for military use, to set up operational models, should be defined with parameters that can be directly matched with military reconnaissance (military meteorology) data. In planning operations, it is important to use a common database for the cooperation of the various support and insurance systems, with a view to limiting the amount of data to what is strictly necessary and sufficient. Accordingly, I have sought to find the simplest modelling procedures that meet practical requirements and can be applied with acceptable efficiency in engineering.

In my research on indoor environmental impacts, I not only looked at comfort spaces, but also at logistics buildings and storage facilities. This sub-task, although at first glance it may not seem to be intrinsically related to the topic indicated in the title of the dissertation, had several implications for the research. One of these was the concentration of carbon dioxide in the fresh food (fruit and vegetable) storage at the campsite due to the amount of carbon dioxide produced during fruit respiration, the elevated value of which can be harmful to humans, but can have a positive effect on the shelf life of fruit and vegetables. Measurements of indoor air quality carbon dioxide concentrations were carried out using several experimental point sources (human, fruit and adjusted food carbon dioxide bottle) with different emission values and several replicates.

On the basis of my research results, I conclude that military camps built using ISO 20' containers should be designed for an internal air temperature of 24.5 ± 1 °C. On the other hand, I propose a MLR-based (Multiple Linear Regression) model that can be used to quickly and inexpensively predict the indoor thermal comfort of military camps or other facilities to be designed and installed with ISO 20' containers. Third, I demonstrate that the proposed MLR black-box model, can be applied to model the internal temperature of the M63 tent. Furthermore, I prove that after 70 minutes of indoor air CO₂ concentration load above 3000 ppm, the efficiency of military capability is significantly reduced, finally, I propose an MLR-based model, which is probably the simplest possible black-box type model that describes with very good accuracy the change of CO₂ concentration inside an ISO 20' container as a function of external environmental influences.

9 MELLÉKLETEK

M1. Irodalomjegyzék

1. 18/1998. (VI. 3.) NM rendelet, a fertőző betegségek és a járványok megelőzése érdekében szükséges járványügyi intézkedésekről
2. 4/2001.(II. 23.) KöM rendelet a hulladékolajok kezelésének részletes szabályairól
3. 13/2001. (V.9.) KöM rendelet az Európai Közösségben természetvédelmi szempontból jelentős növény- és állatfajok közzétételéről
4. 98/2001. (VI. 15.) Korm. rendelet, a veszélyes hulladékkal kapcsolatos tevékenységek végzésének feltételeiről
5. 1/2002. (I. 11.) EüM rendelet az egészségügyi intézményekben keletkező hulladék kezeléséről
6. 275/2004. (X.8.) Korm. rendelet, az európai közösségi jelentőségű természetvédelmi rendeltetésű területekről
7. 852/2004/EK rendelet az élelmiszerhigiénéről
8. 1436.2007. (HK 2.2008) MH HEK intézkedés, módszertani útmutató a tábori körülmények és rendezvények közegészségügyi ellenőrzéséről
9. 2007. évi LXXX. törvény. a menedékgögről
10. 62/2011. (VI. 30.) VM rendelet a vendéglátó-ipari termékek előállításának és forgalomba hozatalának élelmiszerbiztonsági feltételeiről
11. 2012. évi CLXXXV. törvény a hulladékról
12. 24/2015 HM rendelet – ÁLT/23 Magyar Honvédség, Szolgálati Szabályzat
13. 24/2018 HM utasítás A honvédelmi szervezetek békeidőszakban történő elhelyezéséhez szükséges objektumok kialakításának elveiről és követelményeiről, valamint a honvédelmi feladatok ellátásához szükséges ingatlanok, gyakorlatok és rendezvények infrastrukturális és élőerős őrzés-védelmi biztosításáról
14. ACGIH. 2015: Guide to Occupational Exposure Values. American Conference of Governmental Industrial Hygienists (ACGIH). Cincinnati, OH.
15. AFROZ Z., URMEE T., SHAFIULLAH G.M., HIGGINS G. (2018): Real-time prediction model for indoor temperature in a commercial building, Appl. Energy 231, 29–53.
16. ALLEN (2015): Associations of Cognitive Function Scores with Carbon Dioxide, Ventilation, and Volatile Organic Compound Exposures in Office Workers: A Controlled Exposure Study of Green and Conventional Office Environments, Environ Health Perspect, <http://dx.doi.org/10.1289/ehp.1510037>
17. ANSI/ASHRAE (2013): Thermal Environmental Conditions for Human Occupancy. Atlanta. GA: American Society of Heating, Refrigeration and Air-Conditioning Engineers, (ANSI/ASHRAE standard 55-2013).
18. ARENS E.A., ZHANG H. (2006): The skin's role in human thermoregulation and comfort, From Thermal and Moisture Transport in Fibrous Materials, Center for the Built Environment, UC Berkeley,
19. ASHRAE Standard (2009): Handbook of Fundamentals, Atlanta
20. ASHRAE Standard (1985): Handbook of Fundamentals, New York
21. BAGLIVO C., MAZZEO D., PANICO S., BONUSO S., MATERA N., CONGEDO P.M., OLIVETI G. (2020): Complete greenhouse dynamic simulation tool to assess the crop thermal well-being and energy needs, Appl. Therm. Eng. 179 115698.
22. BARABÁSI A. L. (2006): A hálózatok tudománya: a társadalomtól a webig. Magyar Tudomány
23. BARABANOV P. V., GERASIMOV A. V., BLINOV A. V., KRAVTSOV A. A., KRAVTSOV V. A. (2018): Influence of nanosilver on the efficiency of Pisum sativum crops

- germination. In *Ecotoxicology and Environmental Safety* (Vol. 147, pp. 715–719). Elsevier BV. <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2017.09.024>
24. BARÓTFI I. (1991): *Környezettechnika kézikönyv.I. szerk.*, Budapest
 25. BARÓTFI I. (2000): *Környezettechnika*, Mezőgazda Kiadó
 26. BÁLINT P. (1975): *Orvosi élettan. Medicina*, Budapest
 27. BÁNHIDI L. (1994): *Ember, épület, energia. Akadémiai Kiadó*. Budapest
 28. BÁNHIDI L., KAJTÁR L. (2000): *Komfortelmélet*. Tankönyvkiadó, Budapest
 29. BENKŐ GY. (2016): *Felvonulási létesítmények*, Tankönyv SzT-027-10
 30. BHANDARI M., SHRESTHA S., NEW J. (2012): Evaluation of weather datasets for building energy simulation, *Energy Build.* 49, pp. 109–118.
 31. BHANDE S.D., RAVINDRA M.R., GOSWAMI T.K. (2008): Respiration rate of banana fruit under aerobic conditions at different storage temperatures, *Journal of Food Engineering* 87 (2008) 116–123
<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0260877407005912>
 32. BUTKEVICIUTE A., VISKELIS J., LIAUDANSKAS M., VISKELIS P., BOBINAS C., JANULIS V. (2021): Variation of Triterpenes in Apples Stored in a Controlled Atmosphere. In *Molecules* (Vol. 26, Issue 12, p. 3639). MDPI AG.
<https://doi.org/10.3390/molecules26123639>
 33. CANDAS V. (1999): Use of a thermal manikin for prediction of local effects of thermal asymmetry and consequent discomfort risks. *Proceedings of the Third International Meeting on Thermal Manikin (3IMM)*. National Institute for working life, Stockholm, Sweden,
 34. CHAUDHURI T., ZHAI D., SOH Y.C., LI H., XIE L. (2018): Thermal comfort prediction using normalized skin temperature in a uniform built environment, *Energy Build.* 159, pp. 426–440.
 35. CHENG X., YANG B., OLOFSSON T., LIU G., LI H. (2017): A pilot study of online non-invasive measuring technology based on video magnification to determine skin temperature, *Build. Environ.* 121 pp. 1–10.
 36. COAKLEY D., RAFTERY P., KEANE M. (2014): A review of methods to match building energy simulation models to measured data, *Renew. Sust. Energ. Rev.* 37, pp. 123–141.
 37. CRAWLEY D.B., LAWRIE L.K., WINKELMANN F.C., BUHL W.F., HUANG Y.J., PEDERSEN C.O., STRAND R.K., LIESEN R.J., FISHER D.E., WITTE M.J., GLAZER J. (2001): EnergyPlus: creating a new-generation building energy simulation program, *Energy Build.* 33 (4) pp. 319–331.
 38. DAI C., ZHANG H., ARENS E., LIAN Z. (2017): Machine learning approaches to predict thermal demands using skin temperatures: steady-state conditions, *Build. Environ.* 114, pp. 1–10.
 39. DIÓSPATONYI I. (n.a.): A zöldség- és gyümölcsfeldolgozás technológiái.
<https://www.kfki.hu/~cheminfo/hun/food/technol/zoldseg/zoldseg.html>
 40. DUTHEIL F, BAKER SJ, NAVEL V. (2020): COVID-19 as a factor influencing air pollution? *Environ Pollut.* <https://doi.org/10.1016/j.envpo.2020.114466>
 41. FANGER P. O. (1970): *Thermal Comfort. Analysis and Applications in Environmental Engineering*, Danish technical Press, Copenhagen
 42. FANGER P.O., BÁNHIDI L., OLESEN B.W., LANGKILDE G. (1980): Comfort limits for heated ceilings. *ASHRAE Transactions*,
 43. FANGER P. O, KRIEGER R. E. (1982): *Thermal Comfort*; Malabar, Florida
 44. FANGUEDES C., CARCIOFI B.A.M., MONTEIRO A.R. (2013): Estimate of respiration rate and physicochemical changes of fresh-cut apples stored under different temperatures, *Food Sci. Technol*, Campinas, 33(1): 60-67, Jan.-Mar. 2013 DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/S0101-20612013005000023>

45. FARHAN A.A., PATTIPATI K., WANG B., LUH P.B. (2015): Predicting individual thermal comfort using machine learning algorithms, Proceedings of the IEEE International Conference on Automation Science and Engineering (CASE), vols. 24–28, August 2015, pp. 708–713 Gothenburg, Sweden.
46. FARKAS Z., HEGEDŰS E. (2016): Fogatolt szállító eszközök alkalmazásának történeti áttekintése a napóleoni háborúktól a II. világháborúig, *Katonai Logisztika* 2016. évi 2. sz. pp. 115.
47. FENG J., ZHOU Z., LI, W. (2022): Associating indoor air temperature with building spatial design and occupancy features: a statistical analysis on university classrooms, *Build. Environ.* 216, 109009.
48. FERREIRA P.M., RUANO A.E., SILVA S., CONCEIÇÃO E.Z.E. (2012): Neural networks based predictive control for thermal comfort and energy savings in public buildings, *Energy Build.* 55 pp. 238–251.
49. FINNEGAN E., MAHAJAN P. V., O’CONNELL M., FRANCIS G. A., O’BEIRNE D. (2013): Modelling respiration in fresh-cut pineapple and prediction of gas permeability needs for optimal modified atmosphere packaging. In *Postharvest Biology and Technology* (Vol. 79, pp. 47–53). Elsevier BV. <https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2012.12.015>
50. FONSECA S. C., OLIVEIRA F. A., BRECHT J. K. (2002): Modelling respiration rate of fresh fruits and vegetables for modified atmosphere packages: a review. *Journal of Food Engineering*, vol. 52, no. 2, p. 99-119. [https://doi.org/10.1016/S0260-8774\(01\)00106-6](https://doi.org/10.1016/S0260-8774(01)00106-6)
51. FRANCIS G.N., LI A.Z.P., SMITH P.B., IAN G., HAMILTON R.L., ANNA M., OIKONOMOU E., RASLAN R., STAMP S., STONE A., SUMMERFIELD A.J., VEITCH D., GORI V., ORESZCZYN T. (2015): Solid-wall U-values: heat flux measurements compared with standard assumptions, *Build. Res. Inf.* 43 (2) 238–252, doi:10.1080/09613218.2014.967977
52. GAUTAM S. (2020): The Influence of COVID-19 on Air Quality in India: A Boon or Inutile Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology 104:724–726 <https://doi.org/10.1007/s00128-020-02877-y>
53. GÉCZI G., KICSINY R., KORZENSZKY P. (2019): Modified effectiveness and linear regression based models for heat exchangers under heat gain/loss to the environment, *Heat Mass Transf.* 55 (4) 1167–1179.
54. GHAHRAMANI A., TANG C., BECERIK-GERBER B. (2015): An online learning approach for quantifying personalized thermal comfort via adaptive stochastic modeling, *Build. Environ.* 92, 86–96.
55. GHAHRAMANI A., CASTRO G., BECERIK-GERBER B., YU X. (2016): Infrared thermography of human face for monitoring thermoregulation performance and estimating personal thermal comfort, *Build. Environ.* 109, 1–11.
56. GHAHRAMANI A., CASTRO G., KARVIGH S.A., BECERIK-GERBER B. (2018): Towards unsupervised learning of thermal comfort using infrared thermography, *Appl. Energy* 211 41–49.
57. GIVONI B., VECCHIA F. (2001): Predicting thermal performance of occupied houses, In: *passive and low energy architecture*, Proceedings of the PLEA, Florianopolis, p. 6.
58. HARISH V.S.K.V., KUMAR A. (2016): A review on modeling and simulation of building energysystems, *Renew. Sust. Energ. Rev.* 56 1272–1292.
59. HERCZEG L. (2008): Irodaterék belső levegő minőségének értékelése a szén-dioxid koncentráció hatása az ember közérzetére és az irodai munka teljesítményére, *Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem Gépészmérnöki Kar Épületgépészeti és Gépészeti Eljárás-technika Tanszék, Doktori értekezés*
60. HO Q. T., VERBOVEN P., VERLINDEN B. E., LAMMERTYN J., VANDEWALLE S., NICOLAÏ B. M. (2008): A Continuum Model for Metabolic Gas Exchange in Pear Fruit. In

- J. Banga (Ed.), PLoS Computational Biology (Vol. 4, Issue 3, p. e1000023). Public Library of Science (PLoS). <https://doi.org/10.1371/journal.pcbi.1000023>
61. HU J., KANG Y., LU Y., YU J., ZHONG K. (2021): Simplified models for predicting thermal stratification in impinging jet ventilation rooms using multiple regression analysis, *Build. Environ.* 206, 108311.
 62. HURSTINSZKY T. (2012): Komfortterek belső levegőminőség emisszióforrásainak vizsgálata, Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem Gépészmérnöki Kar Épületgépészeti és Gépészeti Eljárás technika Tanszék, Doktori értekezés
 63. HUMBAL C, GAUTAM S et al (2019): Evaluating the colonization and distribution of fungal and bacterial bioaerosol in Rajkot, western India using multi-proxy approach. *Air Qual Atmos Health* 12(6) pp. 693–704
 64. INCROPERA F.P., DeWITT D.P., BERGMAN T.L., LAVINE A.S. (2010): *Fundamentals of Heat and Mass Transfer*, sixth ed., John Wiley & Sons, Chichester, pp. 912
 65. ISO 7730 (2005): *Moderate Thermal Environment-Determination of the PMV and PPD Indices and Specification of the Conditions for Thermal Comfort*, International Organization for Standardization, Geneva.
 66. JAZIZADEH F., JUNG W., (2018): Personalized thermal comfort inference using RGB video images for distributed HVAC control, *Appl. Energy* 220, pp. 829–841.
 67. JONES J. D., HULME A. C., WOOLTORTON L. S. C. (1965): The respiration climacteric in apple fruits. biochemical changes occurring during the development of the climacteric in fruit detached from the tree. In *New Phytologist* (Vol. 64, Issue 1, pp. 158–167). Wiley. <https://doi.org/10.1111/j.1469-8137.1965.tb05384.x>
 68. JUNG W., JAZIZADEH F. (2018): Vision-based thermal comfort quantification for HVAC control, *Build. Environ.* 142, 513–523.
 69. JUNG W., JAZIZADEH F. (2019): Human-in-the-loop HVAC operations: a quantitative review on occupancy, comfort, and energy-efficiency dimensions, *Appl. Energy* 239, 1471–1508.
 70. KAJTÁR L. SZEKERES J. (2011): Tantermek szellőztetése, frisslevegő-ellátása, *Magyar Installateur*, 64-67. pp.
 71. KALMÁR F. (2013): *A belső környezet minősége*, TERC Kiadó, Budapest
 72. KARLSSON F., ROHDIN P., PERSSON M.-L. (2007): Measured and predicted energy demand of a low energy building: important aspects when using Building Energy Simulation, *Build. Serv. Eng. Res. Technol.* 28 (3) 223–235.
 73. KÁDAS L., FRENYÓ V. (1985): Citrusfélék vizsgálata II (Anyagcsere vizsgálata légzésméréssel) *Élelmiszervizsgáló közlemények* 31, p. 11 — 19. <https://www.eoq.hu/evik/eviktart.pdf>
 74. KERTAI P. (1982): *Közegészségtan*, Medicina, Budapest
 75. KICSINY R., (2017): Grey-box model for pipe temperature based on linear regression, *Int. J. Heat Mass Transf.* 107, 13–20.
 76. KICSINY R., (2018): Black-box model for solar storage tanks based on multiple linear regression, *Renew. Energy* 125, 857–865.
 77. KIM J., ZHOU Y., SCHIAVON S., RAFTERY P., BRAGER G. (2018): Personal comfort models: predicting individuals' thermal preference using occupant heating and cooling behavior and machine learning, *Build. Environ.* 129, 96–106.
 78. KLEIN S.A., BECKMAN W.A., MITCHELL J.W., DUFFIE J.A., DUFFIE N.A., FREEMAN T.L. (2022): TRNSYS 16-A, transient system simulation program. Madison, WI, USA: university of Wisconsin, 1979. <http://sel.me.wisc.edu/trnsys>. (Accessed 15 July 2022).
 79. KLINE S.J., McCLINTOCK F.A. (1953): Describing uncertainties in single sample experiments, *Mech. Eng.* 75, 3-8.

80. KOBAYASHI T., UMEMIYA N. (2022): Simplified prediction using block model for vertical profile of temperature and contaminant concentration in a room with impinging jet ventilation, *Build. Environ.* 209 108643.
81. KONSTANTINOUC., KONSTANTINOUC., KLEOVOULOU E.G., KYRIACOU A., KAKOULLI C., MILIS G., MICHAELIDES M., MAKRIS K.C. (2022): Assessment of indoor and outdoor air quality in primary schools of Cyprus during the COVID-19 pandemic measures in May-July 2021, *Heliyon* 8, e09354.
82. KREIDER J. F., CURTISS P. S., RABL A. (2009): *Heating and Cooling of Buildings. Design for Efficiency, Revised Second Edition (Mechanical and Aerospace Engineering Series)*, CRC Press,
83. KRÜGER E.L., FERNANDES L., CARDOSO G.T., KAVAMURA E.E. (2017): Proposition of a simplified method for predicting hourly indoor temperatures in test cells, *Ambiente Construído, Porto Alegre* 17 (3) 57–70.
84. KUSTYAWATI M. E., PRATAMA F., SAPUTRA D., WIJAYA A. (2020): Shelf life of tempeh processed with sub-supercritical carbon dioxides *Potravinárstvo Slovak Journal of Food Sciences* vol. 14, 2020, p. 351-357 <https://doi.org/10.5219/1247>
85. LeCUN Y., BENGIO Y., HINTON G., (2015): Deep learning, *Nature* 521, 436–444.
86. LIU W., LIAN Z., ZHAO B., (2007): A neural network evaluation model for individual thermal comfort, *Energy Build.* 39, 1115–1122.
87. LIU W., LIAN Z., DENG Q., LIU Y. (2011): Evaluation of calculation methods of mean skin temperature for use in thermal comfort study, *Build. Environ.* 46 (2011) 478–488.
88. LUCCHI E. (2017): Thermal transmittance of historical brick masonries: a comparison among standard data, analytical calculation procedures, and in situ heat flow meter measurements, *Energy Build.* 134 171–184. ISSN 0378-7788, doi:10.1016/j.enbuild.2016.10.045.
89. MACSKÁSY Á., BÁNHIDI L. (1985): *Sugárzó fűtések*, Akadémiai Könyvkiadó, Budapest
90. MADSEN T. L. (1980): Definition and measurement of local thermal discomfort parameters. *ASHRAE Transactions*
91. MAGYAR T. (2007): A helyiség-átöblítés szerepe a légtechnika energiatudatos tervezésében. *Magyar Épületgépészet*
92. MAGYAR Z. (2011): Termikus műember alkalmazása hőkomfort vizsgálatokhoz. *Nemzetközi Építéstudományi Konferencia, Csíksomlyó*
93. MAGYAR Z., MOTTI G., NYITRAI Gy. (1997): Thermal Comfort Investigation for Wall and Ceiling Heating. *Healthy Building/IAQ'97 Conference. Washington DC*
94. MAZZEO D., MATERA N., CORNARO C., OLIVETI G., ROMAGNONI P., De SANTOLI L. (2020): EnergyPlus, IDA ICE and TRNSYS predictive simulation accuracy for building thermal behaviour evaluation by using an experimental campaign in solar test boxes with and without a PCM module, *Energy Build.* 212 109812.
95. MEIER A., DYER W., GRAHAM C. (2017): Using human gestures to control a building's heating and cooling system, *Proceedings of the 9th International Conference on Energy Efficiency in Domestic Appliances and Lighting (EEDAL)*, 13-15 September, 2017 (Irvine, California, USA)
96. MDITSHWA, A., FAWOLE, O. A., OPARA, U. L. (2018): Recent developments on dynamic controlled atmosphere storage of apples—A review. In *Food Packaging and Shelf Life* (Vol. 16, pp. 59–68). Elsevier BV. <https://doi.org/10.1016/j.fpsl.2018.01.011>
97. MEGRI A.C., NAQA I.E. (2016): Prediction of the thermal comfort indices using improved support vector machine classifiers and nonlinear kernel functions, *Indoor Built Environ.* 25, 6–16.

98. MOON J.W., CHIN K.-I., KIM S. (2013): Optimum application of thermal factors to artificial neural network models for improvement of control performance in double skinenveloped buildings, *Energies* 6, 4223–4245.
99. MORETTI E., PROIETTI M.G., STAMPONI E. (2021): A multiple Linear Regression Model to predict indoor temperature trend in historic buildings for book conservation: the case study of “Sala del Dottorato” in Palazzo Murena, Italy, *J. Phys.: Conf. Ser.* 2069 12142.
100. MSZ CR 1752:2000: Épületek szellőztetése. Épületek belső környezetének tervezési alapjai. Budapest: Magyar Szabványügyi Testület.
101. MSZ EN ISO 7730:2006: A hőmérsékleti környezet ergonómiája. A hőkomfort analitikus meghatározása és megadása a PMV- és a PPD-index kiszámításával, valamint a helyi hőkomfort kritériumai. Budapest: Magyar Szabványügyi Testület
102. MSZ EN 15251:2008: Épületek energia-teljesítőképességének tervezésére és becslésére, levegőminőségére, hőmérsékletére, fény- és akusztikai viszonyaira vonatkozó beltéri bemeneti paraméterei, Magyar Szabványügyi Testület
103. MULLEN D.T., KEANE M.M., GERON M., MONAGHAN R.F.D. (2015): Automatic extraction of reduced-order models from CFD simulations for building energy modelling, *Energy Build.* 99 313–326.
104. MUNK S. (2010): Hálózatok fogalma, alapjai, *Hadmérnök V./3*, Budapest
105. MUSTAFARAJ G., CHEN J., LOWRY G. (2010): Development of room temperature and relative humidity linear parametric models for an open office using BMS data, *Energy Build.* 42 348–356.
106. MUSTAFARAJ G., LOWRY G., CHEN J. (2011): Prediction of room temperature and relative humidity by autoregressive linear and nonlinear neural network models for an open office, *Energy Build.* 43 1452–1460.
107. NAKAYAMA K., SUZUKI T., KAMEYAMA K. (2009): Estimation of thermal sensation using human peripheral skin temperature, *Proceedings of the IEEE International Conference on Systems, Man and Cybernetics (SMC 2009)*, 11-14 October, 2009 San Antonio, Texas, USA, 11004064: 2872-2877.
108. NEVINS, R.G. - MILLER, P.L. (1973): Air Distribution and Thermal Comfort. *Build International*, Vol. 6. pp. 111-126.
109. ÖZLEM K.E., KOÇAK E., ŞAHINER A., TÜRKSEVER C., AKIN P., ACAR A., NIL D. A. (2021): The microperforated packing design and evaluation of shelf life of fresh-sliced mushrooms, *Potravinarstvo Slovak Journal of Food Sciences* vol. 15, 2021, p. 83-94 <https://doi.org/10.5219/1530>
110. PAPST A.L. (2004): Metodo Estimativo da Temperatura Interna de Edificações Residenciais ~ em Uso, PhD Thesis (Programa de Pos-Graduação em Engenharia Civil), Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, p. 179
111. PENG B., HSIEH S.J. (2017): Data-driven thermal comfort prediction with support vector machine, *Proceedings of the ASME 2017 12th International Manufacturing Science and Engineering Conference (MSEC)*, 4-8 June, 2017, pp. 1–8 Los Angeles, California, USA.
112. PENG Y., RYSANEK A., NAGY Z. (2018): Schlüter, Using machine learning techniques for occupancy-prediction-based cooling control in office buildings, *Appl. Energy* 211, 1343–1358.
113. PETTENKOFER, M. (1858): Über den Luftweschel in Wohngebäuden. LiterarischArtistische Anstalt der J.G. Gottaschen Buchhandlung. München
114. PLEVA, P., CABÁKOVÁ V., BUTOR I., PACHLOVÁ V., BUŇKOVÁ L. (2018): Biogenic amines content in the fermented asian food in the Czech Republic. *Potravinarstvo Slovak Journal of Food Sciences*, vol. 12, no. 1, p. 292-298. <https://doi.org/10.5219/896>
115. RAMÍREZ-ACOSTA S., ARIAS-BORREGO A., GÓMEZ-ARIZA J. L., GARCÍA-BARRERA T. (2018): Metabolomic study of bioactive compounds in strawberries preserved

- under controlled atmosphere based on GC-MS and DIESI-QqQ-TOF-MS. In *Phytochemical Analysis* (Vol. 30, Issue 2, pp. 198–207). Wiley. <https://doi.org/10.1002/pca.2805>
116. RENCHER A.C., SCHAALJE G.B. (2008): *Linear Models in Statistics*, John Wiley & Sons. 180 p
 117. ROMERO I., DOMÍNGUEZ I., DOMÉNECH-CARBÓ A., GAVARA R., ESCRIBANO M. I., MERODIO C., SANCHEZ-BALLESTA M. T. (2019): Effect of high levels of CO₂ on the electrochemical behavior and the enzymatic and non-enzymatic antioxidant systems in black and white table grapes stored at 0 °C. In *Journal of the Science of Food and Agriculture* (Vol. 99, Issue 15, pp. 6859–6867). Wiley. <https://doi.org/10.1002/jsfa.9971>
 118. RUPP R.F., VÁSQUEZ N.G., LAMBERT R. (2015): A review of human thermal comfort in the built environment, *Energy Build.* 105, 178–205.
 119. RZHEPAKOVSKY, I. V., ARESHIDZE, D. A., AVANESYAN, S. S., GRIMM, W. D., FILATOVA, N. V., KALININ, A. V., KOCHERGIN, S. G., KOZLOVA, M. A., KURCHENKO, V. P., SIZONENKO, M. N., TERENTIEV, A. A., TIMCHENKO, L. D., TRIGUB, M. M., NAGDALIAN, A. A., & PISKOV, S. I. (2022): Phytochemical Characterization, Antioxidant Activity, and Cytotoxicity of Methanolic Leaf Extract of *Chlorophytum Comosum* (Green Type) (Thunb.) Jacq. In *Molecules* (Vol. 27, Issue 3, p. 762). MDPI AG. <https://doi.org/10.3390/molecules27030762>
 120. SERES I. (2002): Adalékok és emlékiratok Solymár történetéhez, Solymár
 121. SIM S.Y., KOH M.J., JOO K.M., NOH S., PARK S., KIM Y.H., PARK K.S. (2016): Estimation of thermal sensation based on wrist skin temperatures, *Sensors* 16, 420.
 122. SZÉKELY L., KICSINY R., HERMANUCZ P., GÉCZI G. (2021): Explicit analytical solution of a differential equation model for solar heating systems, *Sol. Energy* 222, 219–229. <https://doi.org/10.1016/j.solener.2021.05.007>.
 123. TAKADA S., MATSUMOTO S., MATSUSHITA T. (2013): Prediction of whole-body thermal sensation in the non-steady state based on skin temperature, *Build. Environ.* 68, 123–133.
 124. THEWES F. R., BRACKMANN A., BOTH V., WEBER A., ANESE R. O., FERRÃO T. S., WAGNER R. (2017): The different impacts of dynamic controlled atmosphere and controlled atmosphere storage in the quality attributes of ‘Fuji Suprema’ apples. In *Postharvest Biology and Technology* (Vol. 130, pp. 7–20). Elsevier BV. <https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2017.04.003>
 125. THIANGCHANTA S., CHAICHANA C. (2020): The multiple linear regression models of heat load for air-conditioned room, *Energy Rep.* 6 972–977.
 126. THILKER C.A., BACHER P., CALI D., MADSEN H. (2022): Identification of non-linear autoregressive models with exogenous inputs for room air temperature modelling, *Energy and AI* 9 100165.
 127. VAJDÁNÉ F. I. (2006): A sugárzási hőmérséklet aszimmetria emberre gyakorolt hatásának vizsgálata. : BME Épületgépészeti Tanszék, Doktori értekezés, Budapest
 128. VARIVODA A. A., SVETLAKOVA E. V., ZIRUK I. V., KIRICHENKO I. S., KOLOSOVA O. Y., POVETKIN S. N., IVAKHNENKO B. O. (2022): Development of a scientific concept of industrial storage systems forenvironmentally safe apples. *Potravinarstvo Slovak Journal of Food Sciences* (vol. 16, 2022, p. 622–635) <https://doi.org/10.5219/1785>
 129. WANG D., ZHANG H., ARENS E., HUIZENGA C. (2007): Observations of upper-extremity skin temperature and corresponding overall-body thermal sensations and comfort, *Build. Environ.* 42, 3933–3943.
 130. WANG Z., DEAR R., LUO M., LIN B., HE Y., GHAHRAMANI A., ZHU Y. (2018): Individual difference in thermal comfort: a literature review, *Build. Environ.* 138, 181–193.

131. WATI D. A., NADIA F. S., ISNAWATI M., SULCHAN M., AFIFAH D. N. (2020): The effect of processed Tempeh gembus to high sensitivity c-reactive protein (hsCRP) and high-density lipoprotein (HDL) levels in women with obesity. *Potravinarstvo Slovak Journal of Food Sciences*, vol. 14, no. 1, p. 8-16. <https://doi.org/10.5219/1236>
132. WEBER A., THEWES F. R., ANESE R. O., BOTH V., PAVANELLO E. P., BRACKMANN A. (2017): Dynamic controlled atmosphere (DCA): interaction between DCA methods and 1-methylcyclopropene on 'Fuji Suprema' apple quality. In *Food Chemistry* (Vol. 235, pp. 136–144). Elsevier BV. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2017.05.047>
133. VÉG R. L. (2018): *Logisztikai szaktechnikai eszközök I.* Budapest: Dialóg Campus Kiadó, 206 p.
134. WINKELMANN F., BIRDSALL B., BUHL W. (1993): DOE-2 Supplement, Calif Lawrence Berkeley Lab., Berkeley, 1993 version 2.1 e. LBL-34947.
135. WINSLOW C.E., HARRINGTON, L.P. (1949): *Temperature and human life*. Princeton Univ. Press, Princeton.
136. WOOD R. M., THEWES F. R., REYNAUD M., KITTEMANN D., SAUTTER C. K., WÜNSCHE J. N., NEUWALD D. A. (2022): Apple fruit recovery from anoxia under controlled atmosphere storage. In *Food Chemistry* (Vol. 371, p. 131152). Elsevier BV. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2021.131152>
137. WU S., SUN J.-Q. (2012): Multi-stage regression linear parametric models of room temperature in office buildings, *Build. Environ.* 56, 69–77.
138. WU S., SUN J.-Q. (2012): Two-stage regression model of thermal comfort in office buildings, *Build. Environ.* 57, 88–96.
139. WU Z., LI N., CUI H., PENG J., CHEN H., LIU P. (2017): Using upper extremity skin temperatures to assess thermal comfort in office buildings in Changsha, China, *Int. J. Environ. Res. Public Health* 14, 1–17.
140. YAN C., WANG S., XIAO F., GAO D. (2015): A multi-level energy performance diagnosis method for energy information poor buildings, *Energy* 83 189–203.
141. YAO Y., LIAN Z., LIU W., JIANG C., LIU Y., LU H. (2009): Heart rate variation and electroencephalograph-the potential physiological factors for thermal comfort study, *Indoor Air* 19, 93–101.
142. YINGCHUN J., LEE A., SWAN W. (2019): Building dynamic thermal model calibration using the Energy House facility at Salford, *Energy & Buildings* 191, 224–234, <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2019.03.001>
143. ZHAO Q., ZHAO Y., WANG F., WANG J., JIANG Y., ZHANG F. (2014): A Data-driven method to describe the personalized dynamic thermal comfort in ordinary office environment: from model to application, *Build. Environ.* 72, 309–318.
144. <http://gyermekapolas.hu>
145. <https://kockazatos.hu/>
146. <http://mobilbox.hu>
147. <http://printerest.com>
148. <http://pureco.hu>
149. <http://respirator.hu>
150. [https:// Wordpress.com](https://Wordpress.com)

M2. Az értekezés témaköréhez kapcsolódó publikációk

Patonai Zoltán MTMT link: <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, XXIst 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
9. **Patonai Z.**, Kicsiny R., Géczi G. (2019): Research the comfort optimum in the Military Camp, CD_ROM Proceedings of the 6th Synergy and Technical Development International Conference, November 4-6, 2019, Gödöllő, Hungary, pp. 1-6., ISBN: 978-963-269-681-2 (https://synergy2019.hu/wp-content/uploads/2019/10/Synergy2019_Final_Program.pdf)
10. **Patonai Z.**, Kicsiny R., Géczi G., (2019): Research the comfort optimum in the Military Camp, Book of Abstracts, 25th Workshop on Energy and Environment, Gödöllő, Hungary, p. 28., ISBN 978-963-269-787-1 (http://fft.szie.hu/EE%202019_Program.pdf)
11. **Patonai Z.**, Géczi G. (2018): Waste management of temporary facility, International Conference on Science, Technology, Engineering and Economy, Szeged, Hungary, October 25., p.54., ISBN 978-963-306-620-1 (<http://mk.u-szeged.hu/download.php?docID=82616>)

12. **Patonai Z.**, Géczi G., (2018): Waste management of temporary facility, Book of Abstracts, 24th Workshop on Energy and Environment, Gödöllő, Hungary, November 30-December 1, p. 28., ISBN 978-963-269-787-1 (http://fft.szie.hu/EE%202018_Book_printed.pdf#page=29)

Egyéb

13. **Patonai Z.**, Géczi G., (2019): Research the comfort optimum in the Military Camp, Risk factors of food chain, HOF Foundation, Slovakia, Osrblie, 09-11, of September, p. 13-14., ISBN 978-963-269-775-8 (<https://sites.google.com/site/riskfactorsfoodchain/book-of-abstracts?authuser=0>)
14. **Patonai Z.**, Géczi G., (2019): Hulladékkezelés vizsgálata katonai táborokban, Műszaki, technológiai és gazdasági kihívások a 21. században nemzetközi magyar nyelvű tudományos konferencia, Szeged, 2019. május 31. ISBN: 978-963-306-654-6 (http://publicatio.bibl.u-szeged.hu/15684/1/MuTeGaKi2019_Osszefoglalok.pdf)
15. **Patonai Z.**, Géczi G., (2018): Field Kitchen – Handling of the hazard waste, Risk factors of food chain, HOF Foundation, Gödöllő, September 26-28., p. 13-14., ISBN 978-963-269-775-8 (<https://sites.google.com/site/riskfactorsfoodchain/book-of-abstracts?authuser=0>)
16. **Patonai Z.** (2017): Magyarország határának védelme, mai kor elvárásainak megfelelő elhelyezési körülmények biztosításával, Budapest, Mérleg magazin - HM VGH informatív lapja
17. **Patonai Z.** (2016) Ideiglenes létesítményüzemeltetés, KPSZ – XVII/1. szám (52-59 o.) 2016 – HU ISSN 1789-3062
18. **Patonai Z.** (2016) A teljesítés igazolás rendszere a Szolgáltatási Szerződés végrehajtásához. KPSZ – XVII/2. szám 2016 – HU ISSN 1789-3062
19. **Patonai Z.** (2016) Gazdaságos vízközmű üzemeltetés - Vízhálózat üzemeltetés és diagnosztika, KPSZ – XIX/1. szám 2016 – HU ISSN 1789-3062

M3. HVB konténerépület szerkezeteinek számított hőátbocsátási tényezői

Fal			
hőátbocsátási tényező		gyártói érték: 0,56	
[W/m ² K]		U= 0,5343	
Belső		h _i = 8	1/α = 0,125
Külső		h _e = 24	1/α = 0,041666667
Külső lemez	[m]	d= 0,0005	d/λ = 0,00001
	[W/mK]	λ= 50	
Szigetelés	[m]	d= 0,06	d/λ = 1,621621622
	[W/mK]	λ= 0,037	
Belső burkolat	[m]	d= 0,01	d/λ = 0,083333333
	[W/mK]	λ= 0,12	

Födém (tető)			
hőátbocsátási tényező		gyári érték: 0,33	
[W/m ² K]		U= 0,3159	
Belső		h _i = 10	1/α = 0,1
Külső		h _e = 24	1/α = 0,041667
Külső lemez	[m]	d= 0,0006	d/λ = 0,000012
	[W/mK]	λ= 50	
Szigetelés	[m]	d= 0,1	d/λ = 2,857143
	[W/mK]	λ= 0,035	
Belső burkolat	[m]	d= 0,02	d/λ = 0,166667
	[W/mK]	λ= 0,12	

Padló			
hőátbocsátási tényező		gyári érték: 0,34	
[W/m ² K]		U= 0,3086	
Belső		h _i = 6	1/α = 0,166667
Külső		h _e = 20	1/α = 0,05
Külső lemez	[m]	d= 0,0006	d/λ = 0,000012
	[W/mK]	λ= 50	
Szigetelés	[m]	d= 0,1	d/λ = 2,857143
	[W/mK]	λ= 0,035	
Belső burkolat	[m]	d= 0,02	d/λ = 0,166667
	[W/mK]	λ= 0,12	

Ablak			
hőátbocsátási tényező		U=	1,1
			[W/m ² K]
méret	[m]	a=	0,885
	[m]	b=	1,372
kerület	[m]	K=	4,514
felület	[m ²]	A=	1,21422
parapet magasság	[m]	h=	0,81

Ajtó			
hőátbocsátási tényező		U=	1,9
			[W/m ² K]
méret	[m]	a=	0,85
	[m]	b=	2
kerület	[m]	K=	5,7
felület	[m ²]	A=	1,7

Szaniter ablak			
hőátbocsátási tényező		U=	1,1
			[W/m ² K]
méret	[m]	a=	0,674
	[m]	b=	0,574
kerület	[m]	K=	2,496
felület	[m ²]	A=	0,387
parapet magasság	[m]	h=	1,61

M4. A mérési sorozatok eredményeinek dokumentálása

A kutatómunka során mért eredmények CD mellékletben kerültek rögzítésre, amely a kutatási helyszínek szerint csoportosítva a következőket tartalmazza:

Mappa / Almappa	Fájl név	Fájl típusa	
HVB	190410_1	Microsoft Excel-munkalap	
	190410_2	Microsoft Excel-munkalap	
	190410_3	Microsoft Excel-munkalap	
	190410_4	Microsoft Excel-munkalap	
	190410_5	Microsoft Excel-munkalap	
	190410_6	Microsoft Excel-munkalap	
	191001_1	Microsoft Excel-munkalap	
	191001_2	Microsoft Excel-munkalap	
	191001_3 és Külső	Microsoft Excel-munkalap	
	191001_4	Microsoft Excel-munkalap	
	191001_5	Microsoft Excel-munkalap	
	191001_6	Microsoft Excel-munkalap	
	200827_CO	Microsoft Excel-munkalap	
	220324_1	Microsoft Excel-munkalap	
	220324_2	Microsoft Excel-munkalap	
	220324_3	Microsoft Excel-munkalap	
	220324_4	Microsoft Excel-munkalap	
	220324_5	Microsoft Excel-munkalap	
	220324_6	Microsoft Excel-munkalap	
	EBI_5590 kontener_5	Microsoft Excel-munkalap	
	EBI_5601 kontener_1	Microsoft Excel-munkalap	
	EBI_5601 kontener_200522_10096	Microsoft Excel-munkalap	
	EBI_5602 kontener_6	Microsoft Excel-munkalap	
	EBI_7174_vezetékes konténerből	Microsoft Excel-munkalap	
	EBI_7178 kontener_2	Microsoft Excel-munkalap	
	Zöldség- tároló	EBI_1_Tároló	Microsoft Excel-munkalap

Mellékletek

	EBI_3_Tároló	Microsoft Excel-munkalap
	EBI_4_Tároló	Microsoft Excel-munkalap
LABOR összehasonlító mérések CONTINEST		
Almemo	White container 200110	Microsoft Excel-munkalap
	White container 200131	Microsoft Excel-munkalap
	White container 200131_2	Microsoft Excel-munkalap
	White container 200201	Microsoft Excel-munkalap
	White container 200201_0203	Microsoft Excel-munkalap
	White container 200202	Microsoft Excel-munkalap
	White container 200203	Microsoft Excel-munkalap
	White container 200207	Microsoft Excel-munkalap
	White container 200214	Microsoft Excel-munkalap
	White container 200221	Microsoft Excel-munkalap
	White container 200228	Microsoft Excel-munkalap
	White container 200306	Microsoft Excel-munkalap
	White container 200616	Microsoft Excel-munkalap
	White container 200626	Microsoft Excel-munkalap
	White container 200714	Microsoft Excel-munkalap
	White container 200718_0804	Microsoft Excel-munkalap
	White container 200804	Microsoft Excel-munkalap
	White container 200824	Microsoft Excel-munkalap
EBI	EBI_8709 Green_4_RH_T0325	Microsoft Excel-munkalap
	EBI_8709 Green210110felsőszint_4	Microsoft Excel-munkalap
	EBI_8738 White200110_asztalszint_6	Microsoft Excel-munkalap
	EBI_8741 White belső hőmérséklet 0325	Microsoft Excel-munkalap
	EBI_8741 White2000110_padlószint	Microsoft Excel-munkalap
	EBI_8745 White_1_RH_T0325	Microsoft Excel-munkalap
	EBI_8745 White200110_középszint	Microsoft Excel-munkalap

Mellékletek

	EBI_8748 White_2RH__T0325	Microsoft Excel-munkalap
	EBI_8748 White2000110_felsőszint_2	Microsoft Excel-munkalap
	EBI_8749 Green kint hátul 0325	Microsoft Excel-munkalap
	EBI_8749 Green200110külső az út felé	Microsoft Excel-munkalap
	EBI_8768 Green_3_RHT0325	Microsoft Excel-munkalap
	EBI_8768 Green200110középszint_3	Microsoft Excel-munkalap
	EBI_8776 White kint elől 0325	Microsoft Excel-munkalap
	EBI_8776 White200110_külső	Microsoft Excel-munkalap
	EBI_8835 Green belső hőmérséklet 0325	Microsoft Excel-munkalap
	EBI_8835 Green200110padlószint	Microsoft Excel-munkalap
	EBI_8839 Green kint elől 0325	Microsoft Excel-munkalap
	EBI_8839 Green200110külső	Microsoft Excel-munkalap
	Labor_EBI_all_winter_date	Microsoft Excel-munkalap
Pyle	Green_febr02_febr07.HTRec	HTREC fájl
	Green_febr02_febr07	Microsoft Excel-munkalap
	Green_febr07_febr14.HTRec	HTREC fájl
	Green_febr07_febr14	Microsoft Excel-munkalap
	Green_febr14_febr21.HTRec	HTREC fájl
	Green_febr14_febr21	Microsoft Excel-munkalap
	Green_febr21_febr28.HTRec	HTREC fájl
	Green_febr21_febr28	Microsoft Excel-munkalap
	green_febr28_marc02.HTRec	HTREC fájl
	GREEN_jan17_jan24.HTRec	HTREC fájl
	GREEN_jan17_jan24	Microsoft Excel-munkalap
	GREEN_jan24_febr01.HTRec	HTREC fájl
	GREEN_jan24_febr01	Microsoft Excel-munkalap
	green_marc02_marc06.HTRec	HTREC fájl
	Green_marc06_marc09.HTRec	HTREC fájl

Mellékletek

	WHITE_febr02_febr07.HTRec	HTREC fájl
	White_febr14_febr21.HTRec	HTREC fájl
	White_febr14_febr21	Microsoft Excel-munkalap
	White_febr21_febr28.HTRec	HTREC fájl
	White_febr21_febr28	Microsoft Excel-munkalap
	White_febr28_marc02.HTRec	HTREC fájl
	WHITE_jan17_jan24.HTRec	HTREC fájl
	WHITE_jan17_jan24	Microsoft Excel-munkalap
	WHITE_jan24_febr01.HTRec	HTREC fájl
	WHITE_jan24_febr01	Microsoft Excel-munkalap
	WHITE_jan24_febr02.HTRec	HTREC fájl
	WHITE_marc02_marc06.HTRec	HTREC fájl
	WHITE_marc06_marc09.HTRec	HTREC fájl
Szendioxid terhelés mérés	20220726_1605	Microsoft Excel-munkalap
	Lőeredmények	Microsoft Excel-munkalap
TLR modell	210412_A	Szöveges dokumentum (.txt)
	210412_A	WinRAR ZIP archive (.zip)
	210415_A	Szöveges dokumentum (.txt)
	210419_A	Szöveges dokumentum (.txt)
	210424_A	Szöveges dokumentum (.txt)
	210429_1000	Szöveges dokumentum (.txt)
	210503_1138	Szöveges dokumentum (.txt)
	210506_1035	Szöveges dokumentum (.txt)
	210510_1325	Szöveges dokumentum (.txt)
	210520_1627	Szöveges dokumentum (.txt)
	210525_1531	Szöveges dokumentum (.txt)
	210531	Szöveges dokumentum (.txt)
	210605	Szöveges dokumentum (.txt)
	210609	Szöveges dokumentum (.txt)
	210615	Szöveges dokumentum (.txt)
	210621	Szöveges dokumentum (.txt)
	210708	Szöveges dokumentum (.txt)

Mellékletek

210718	Szöveges dokumentum (.txt)
210807_GG	Szöveges dokumentum (.txt)
210813	Szöveges dokumentum (.txt)
210823	Szöveges dokumentum (.txt)
210831	Szöveges dokumentum (.txt)
210904	Szöveges dokumentum (.txt)
210914	Szöveges dokumentum (.txt)
210922	Szöveges dokumentum (.txt)
210928	Szöveges dokumentum (.txt)
211005	Szöveges dokumentum (.txt)
211010	Szöveges dokumentum (.txt)
211022	Szöveges dokumentum (.txt)

KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

Szeretném megköszönni Dr. Géczy Gábor témavezetőmnek és Dr. Kicsiny Richárd társ-témavezetőmnek az éveken át nyújtott segítséget és motivációt a munkához, nem kevésbé a szakmai és adminisztratív támogatást.

Ugyancsak köszönet illeti előljáróimat, dr. Ruszin-Szendi Romulusz altábornagy urat a Honvéd Vezérkar főnökét, engedélyével vált elérhetővé valós körülmények közötti adatgyűjtés, valamint Ballainé Krikker Zsuzsanna dandártábornok asszonyt és Cseppentő József ezredes urat, akik támogattak és kitartó erőt adtak a haza szolgálata mellett a kutatómunkám végzéséhez.

Külön köszönöm Molnár Zsolt ezredes úrnak a támogatását és az MH Kinizsi Pál 30. Páncélozott Gyalogdandár állományának tevékeny részvételét a katonák körében végzett felmérés megvalósításáért.

A kísérleti lövészet nem jött volna létre a HVK LOGCSF és az MH Nagysándor József 51. Híradó- és Vezetéstámogató Dandár munkája nélkül, ezért nagy tisztelettel köszönöm, Vagyon László ezredes úrnak, Vokla János ezredes úrnak, Balogh Rezső ezredes úrnak, Koronczi Tibor ezredes úrnak, Domine János alezredes úrnak, Peres Attila őrnagy úrnak, Joó Árpád százados úrnak végül, de nem utolsó sorban Fehér István százados úrnak, valamint a székesfehérvári Bázisüzembentartó Alosztály teljes személyi állományának a kísérlet támogatását.

Köszönetem fejezem ki a CONTINEST-nek, a kezdeti kísérletekhez telepített konténerekben folytatott mérések nagyban meghatározták tudományos kutatómunkám irányát.

Végül, de nem utolsó sorban köszönöm a családomnak, hogy kitartóan támogattak kutatómunkám végzésében.