

Doktori (PhD) értekezés (tervezet)

Marlok Tamás

2025.

NEMZETI KÖZSZOLGÁLATI EGYETEM

Katonai Műszaki Doktori Iskola

Marlok Tamás

Korszerű elektronikai, informatikai és mesterséges intelligencia technológiák felhasználásának lehetőségei a katonai és rendvédelmi állomány kiképzésének fejlesztésében

(VR harcszimulátorral szemben támasztott követelményrendszer meghatározásának,
gyakorlati megvalósításának és hatékonyságmérésnek lehetőségei)

Doktori (PhD) értekezés

Témavezető:

Dr. Németh András alezredes (PhD.)

.....

Budapest, 2025.

TARTALOMJEGYZÉK

1	BEVEZETÉS	6
1.1	A TUDOMÁNYOS PROBLÉMA MEGFOGALMAZÁSA	7
1.2	KUTATÁSI HIPOTÉZISEK.....	8
1.3	A TÉMA KUTATÁSÁNAK CÉLKITŰZÉSEI	9
1.4	A KUTATÁS LEHATÁROLÁSA.....	11
1.4.1	<i>Technológiai lehatárolás:</i>	11
1.4.2	<i>Területi lehatárolás:</i>	11
1.4.3	<i>Kiképzési terület lehatárolás</i>	11
1.4.4	<i>Időbeni lehatárolások:</i>	12
1.5	KUTATÁSI MÓDSZEREK	12
1.6	AZ ÉRTEKEZÉS FELÉPÍTÉSE.....	14
1.7	RELEVÁNS SZAKIRODALOM	16
2	LÖVÉSZETI- ÉS HARCÁSZATI KIKÉPZÉS TECHNOLÓGIAI ALAPÚ TÁMOGATÁSÁNAK LEHETŐSÉGEI 20	
2.1	A KORSZERŰ GYALOGSÁGI KIKÉPZÉS ÚJ KÖVETELMÉNYEINEK ÁTTEKINTÉSE	20
2.1.1	<i>A gyalogsági kiképzés változási igénye napjainkban</i>	20
2.1.2	<i>Kiképzési igények változása állománykategóriák alapján</i>	24
2.1.3	<i>A kiképzés humán faktorai: A digitális kor szülöttei a hadseregben</i>	29
2.1.4	<i>Részkövetkeztetés</i>	31
2.2	KIKÉPZÉSSEL SZEMBEN TÁMASZTOTT ÁLTALÁNOS KÖVETELMÉNYEK	33
2.2.1	<i>A tanulás katonai értelmezése: Készség, Jártasság, Képesség</i>	34
2.2.2	<i>Kiképzési környezet és annak követelményei</i>	35
2.2.3	<i>Részkövetkeztetés</i>	39
2.3	KIKÉPZÉSI KÖVETELMÉNYEK ÖSSZEFOGLALÁSA	41
3	A SZIMULÁTOR TECHNOLÓGIÁK ELEMZÉSE A KÖVETELMÉNYEK TÜKRÉBEN	44
3.1	LÖVÉSZETI ÉS HARCÁSZATI KIKÉPZÉSBEN HASZNÁLHATÓ KORSZERŰ TECHNOLÓGIÁK	45
3.1.1	<i>Lézeres lövészeti képességfejlesztés</i>	45
3.1.2	<i>Lézeres gyakorlás humán ellenérővel</i>	46
3.1.3	<i>Interaktív, éleslövészet támogató célanyagok és rendszerek</i>	47
3.1.4	<i>xR Technológiájú rendszerek</i>	49
3.1.5	<i>Összegzés</i>	51
3.2	SZIMULÁCIÓS RENDSZEREK KÖVETELMÉNYEINEK SZINTETIZÁLÁSA ÉS SZŰKÍTÉSE	51
3.2.1	<i>Tudásszint szerinti követelmények</i>	52
3.2.2	<i>Valóságghűség</i>	52
3.2.3	<i>Visszacsatolási követelmények (hatékonyság)</i>	53
3.2.4	<i>Kiképzési volumen és skálázhatóság</i>	54
3.2.5	<i>Képzési kötelék mérete</i>	55

3.2.6	<i>Kiképzés helyszükséglete</i>	55
3.2.7	<i>Gyakorlat költségei</i>	55
3.2.8	<i>Interoperabilitás</i>	56
3.2.9	<i>Tanulási görbe és ergonómia</i>	56
3.2.10	<i>Továbbfejleszthetőség</i>	57
3.2.11	<i>Egyéni teljesítménymérés és adaptív gyakorlatok</i>	57
3.2.12	<i>Gamifikáció, versengés támogatása</i>	58
3.2.13	<i>Önképzési, önfejlesztési lehetőség</i>	58
3.2.14	<i>Értékelés összegzése</i>	58
3.3	ÖSSZEGZÉS, KONKLÚZIÓ	62
4	A VR TECHNOLÓGIA KIKÉPZÉSI SZEMPONTÚ ANALÍZISE	64
4.1	AZ XR TECHNOLÓGIÁK ÖSSZEHASONLÍTÁSA KIKÉPZÉSI SZEMPONTBÓL	64
4.1.1	<i>Általánosan az xR technológiáról</i>	64
4.1.2	<i>Kiterjesztett valóság – Augmented Reality (AR)</i>	66
4.1.3	<i>Kevert valóság – Mixed Reality (MR)</i>	67
4.1.4	<i>Virtuális valóság – Virtual Reality (VR)</i>	69
4.1.5	<i>Összefoglalás</i>	70
4.2	KÖVETKEZTETÉSEK	71
4.3	A VR TECHNOLÓGIA TECHNIKAI ELEMZÉSE A KIKÉPZÉS SZEMPONTJÁBÓL	73
4.3.1	<i>Az immerzivitás fontossága és alapjai</i>	73
4.3.2	<i>Az immerzivitást biztosító technikai paraméterek és történetük</i>	77
4.3.3	<i>Fegyverek, eszközök a virtuális térben</i>	88
4.3.4	<i>Szoftver és adatok</i>	92
4.3.5	<i>Mesterséges intelligencia</i>	95
4.3.6	<i>Összegzés</i>	96
5	VR TAKTIKAI KIKÉPZŐRENDSZER	99
5.1	A TAKTIKAI KIKÉPZŐRENDSZER FOGALMA	99
5.2	ÁLTALÁNOS KÉRDÉSEK ÉS KÖVETELMÉNYEK	101
5.2.1	<i>Harcászati képzés követelmények gyalogos katonára vetítve</i>	102
5.2.2	<i>Immerzivitás és indikátorai</i>	103
5.2.3	<i>Adatrögzítés, modularitás, interoperabilitás</i>	104
5.2.4	<i>Nagy képzési volumen és moduláris rugalmasság</i>	107
5.3	RENDSZER FELÉPÍTÉSE ÉS FUNCKIÓI	107
5.3.1	<i>Az instruktori munkaállomás</i>	107
5.3.2	<i>Személyi felszerelés és funkciói</i>	110
5.4	BIZTONSÁGI KÉRDÉSEK	114
5.4.1	<i>A kereskedelmi forgalomban kapható (COTS) komponensek kockázatai</i>	114
5.4.2	<i>Hardver biztonsági kérdések</i>	115

5.4.3	A szoftverek biztonsági kérdései.....	117
5.5	A FEJLESZTÉS MÓDSZERTANI ÉS KOMPETENCIA KÉRDÉSEI.....	118
5.5.1	Az agilis fejlesztés alkalmazása védelmi környezetben.....	119
5.5.2	A Hazai tudományos és ipari Kompetenciák.....	120
5.6	ÖSSZEGZÉS, KONKLÚZIÓ.....	124
6	MÉRÉSEK ELŐKÉSZÍTÉSE VR TAKTIKAI KIKÉPZŐRENDSZERREL.....	128
6.1	TERVEZETT FELADATOK ÉS CÉLJAİK.....	128
6.1.1	A vizsgálat résztvevői és a csoportok kialakítása	129
6.1.2	A vizsgált feladat: tűzpár előremozgása a tűz és mozgás összhangjával	129
6.1.3	Mért készségek és képességek.....	130
6.2	ELŐZETES MÉRÉS LEFOLYTATÁSA ÉS TAPASZTALATAI	132
6.2.1	A VR-kiképzés szubjektív értékelése a kísérleti csoport körében	132
6.3	MÉRÉSI EREDMÉNYEK FELDOLGOZÁSA ÉS A HIPOTÉZIS VIZSGÁLATA.....	134
6.3.1	Kvantitatív teljesítményadatok összehasonlító elemzése	134
6.3.2	Az eredmények értelmezése: A procedurális készségek transzferének bizonyítéka	135
6.3.3	A hipotézis értékelése és a kutatás tágabb következtetései	136
7	BEFEJEZÉS, KONKLÚZIÓ	138
7.1	KIINDULÁS	138
7.2	A KUTATÁSI EREDMÉNYEK SZINTÉZISE, VR KIKÉPZÉS VALIDÁLÁSA.....	139
7.2.1	A modern kiképzési követelményrendszer lefektetése (H1)	140
7.2.2	Technológiai válasz a kiképzés megváltozott igényeire (H2, H3)	140
7.2.3	Hazai megvalósíthatóság keretrendszere (H4)	141
7.2.4	Tudástranszfer hatékonyságának kísérleti igazolása (részleges) (H5).....	142
7.3	ÚJ TUDOMÁNYOS EREDMÉNYEK	143
7.3.1	Hozzájárulás a hadtudományhoz és a kiképzésmódszertanhoz.....	144
7.3.2	Hozzájárulás a katonai műszaki tudományokhoz és innovációhoz.....	145
7.4	A KUTATÁS KORLÁTAI ÉS ÚJABB KUTATÁSI IRÁNYOK.....	146
7.4.1	Korlátok	146
7.4.2	Új kutatási irányok lehetőségei	146
7.5	ZÁRÓGONDOLAT	147
7.6	KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS	148
8	FELHASZNÁLT IRODALOM	149
9	A SZERZŐ TÉMAKÖRBE KÉSZÜLT PUBLIKÁCIÓI	156
10	MELLÉKLETEK	158
10.1	FOGALMAK ÉS RÖVIDÍTÉSEK JEGYZÉKE	158
10.2	ÁBRÁK ÉS TÁBLÁZATOK JEGYZÉKE.....	167
10.3	KOHÉZIÓS TÁBLÁZAT.....	170
10.4	MÉRÉSI TÁJÉKOZTATÓ VR RÉSZTVEVŐK RÉSZÉRE	171

1 BEVEZETÉS

Értekezésem megírása során még mindig tart a konfliktus Ukrajna és Oroszország között, amely a gyalogsági kiképzés szempontjából több okból is figyelemre és elemzésre méltó. A közelmúltban megfigyelhető háborúkhöz, konfliktusokhoz képest ezt a háborút egy hazánkhoz közeli hadszíntéren vívják, hatalmas anyagi ráfordításokkal, olyan eszközökkel és módszerekkel, amelyek jellemzőek lehetnek egy esetleges hazai háború esetén is. Jól látható, hogy nagy szerepet kapott a tűzértség és gyalogság alkalmazása. Egy ilyen jellegű, „*near-peer*”¹, területszerző háborúban még mindig az egyik legfontosabb tényező a szárazföldi hadviselés, amin belül a lövészkatonák és alegységek kiképzettségének színvonala és harci tapasztalata ütközeteket dönthet el [1]. Nyilvános forrásokból tájékozódva azt láthatjuk, hogy a hadseregekben egyre fejlettebb technológiák tesztelése és bevezetése folyik számos területen, viszont a lövészkatonák kiképzése csak lassan változik, mind vezetői, mind legénységi szinten. Az új eszközök rendszeresítése, az azok kezelésének oktatása megtörténik, de a jelen kutatás során összegyűjtött információk alapján a kézifegyverekkel megvívott harchoz szükséges készségek fejlesztésére még lenne hatékony, modern technológiákkal támogatott lehetőség. Az új hadviselési formák, mint például a drón hadviselés, az öngyilkos drónok tömeges megjelenése gyors reakciót kívánnak a kiképzési terület szakembereitől is. Sajnálatos módon napjainkban legtöbbször a harctérről jönnek azok az új ötletek, amelyek jól működnek, tömegesen alkalmazhatók és megfelelő hatást érnek el.[2]

A fentiek alapján elmondhatjuk, hogy fontos feladat a harctéri tapasztalatok, az ott megszerzett tudás mielőbbi externalizálása és integrálása a kiképzés rendszerébe. A gyalogság képzésére és akár az összhaderőnemi kötelek kiképzésre vonatkoztatva az utóbbi évtizedekben számos jól használható kiképzést támogató eszköz és szimulátor jelent meg. Ezek nagyjából lefedik a lövész katonák és vezetők tudásfejlesztésének szakaszait, az alap lövészeti feleadatoktól (lézeres, elsütést, célzást oktató rendszerek), az alegység szintű képzési eszközökön keresztül (pl. MILES 2000), a harcászati szintekig (konstruktív szimulációs rendszerek), de használatuk még mindig korlátozott és van lehetőség fejlődésre. Kutatásom során mindenképpen olyan

¹ a „*near-peer*” (közel egyenrangú) kifejezés ebben az esetben a szembenálló felek képességeire vonatkozik az adott hadviselési kontextusban.

technológiát kerestem, amely képes a gyalogos katonák harcértékének fejlesztésére, az egyéni készségektől indulva a csoportos/alegységszintű tevékenységek hatásfokának növeléséig annak érdekében, hogy harc helyzetben túlélési esélyeik és hatékonyságuk növekedhessen. A Virtuális Valóság (*VR – Virtual Reality*) alapú kiképzőrendszerek nagy potenciált hordoznak, elsősorban szinergikus előnyeik, elérhetőségük és költséghatékonyságuk miatt.[3] Egy ilyen rendszer bevezethetősége és hatékonysága számos tényezőtől függ, ezek feltárása és tudományos igényű vizsgálata jelen értekezés tárgya.

1.1 A TUDOMÁNYOS PROBLÉMA MEGFOGALMAZÁSA

A háború megvívása igen költséges, de békeidőben a katonák felkészítése is idő- és anyagigényes, valamint nagy összegeket emészt fel. A kiképzés minden esetben egy valóságban előforduló helyzetre való felkészítést célozza, ideértve a fizikai felkészítést is, mivel a fizikai állapot a képességek, készségek harctéren történő megtartását befolyásolhatja. A felkészítés célja lehet egy technikai eszköz működtetésének elsajátítása, vagy lövészek esetén egy mozzanat, mint például egyéni lövészeti feladatok, vagy akár összetett gyakorlat, ahol egy kisalegységben, vagy alegységek között kell megteremteni a koordinációt. A háború megvívása, ezen belül is a lövészs alegységek munkája önmagában komplex feladat, amely az egyénektől, legyen az parancsnok, vagy legénységi állomány, széles körű elméleti és gyakorlati tudást igényel.

A továbbiakban az olyan gyalogos katonákra fogok fókuszálni, mint például a lövészek, vagy különleges erők katonái, amelyek tevékenysége döntő fontosságú egy fegyveres küzdelem megvívása során. Közös követelmény velük szemben, hogy erős alapkészségekkel kell rendelkezniük egyénileg és kisalegység szinten egyaránt. Az is belátható, hogy ezekre az alapkészségekre alapozva, az összetett és nagyobb léptékű, feladathoz szükséges kombinált képességek elsajátítása is cél kell, hogy legyen. A lövészek, vagy gyalogos katonák esetén egy olyan képzési spektrum lefedése szükséges, amely sok harcászati gyakorlatot, éleslövészetet és éleslövészettel egybekötött harcászati gyakorlatot foglal magában annak érdekében, hogy az egyéni készségek és az alegység szintű képességek is megfelelőek legyenek egy tényleges harc hatékony megvívásához. Ezen felül belátható, hogy a hatékonyság függ a kiképzést vezető parancsnoki állomány elkötelezettségétől és tudásától. Ha a kiképzők

által adott visszajelzés érthető és pontos, az gyorsabb fejlődést tesz lehetővé a kiképzettek számára.

A katonai kiképzésben a szimulátorok létjogosultságát többek között nyomatékosan vetíti előre, hogy a hagyományos képzések költsége (kiképzési anyag, üzemanyag, élelmezés, egyéb költségek) arányosan növekszik [4]:

- a képzésben résztvevők számával;
- a képzés során egyidejűleg szükséges feladatkörök számával;
- az elsajátítandó készség és kombinált készségek komplexitásával;
- teljes életszerűséghez való konvergenciával;
- a visszajelzés minőségi jellemzőivel, részletességével és pontosságával, valamint azzal, hogy a kiképzendő mennyire a saját szellemi állapotához, felfogóképességéhez igazítva kapja a visszajelzést (ezáltal a visszajelzés hatékonyságával és az arra fordított idővel);
- az igénybe vett kiképzéstechnikai- és haditechnikai eszközök számával, értékével, üzemeltetésük költségével.

Az ukrainai tapasztalatok alapján, a kiképzésre fordítható idő egy ilyen konfliktusban nagyon kevés, előfordulhat, hogy nem is elégséges a harc hatékony megvívásához.

Röviden összefoglalva tehát a fő kérdés az, hogyan lehet nagy volumenben, költségeket optimalizálva képezni lövész katonákat, úgy, hogy harci képességeik jobbak legyenek, mint az a hagyományos (jelenlegi) képzéssel elérhető.

1.2 KUTATÁSI HIPOTÉZISEK

Hipotéziseim arra épülnek, hogy az általam kutatott virtuális valóság technológia fejlesztése és alkalmazása területén szerzett gyakorlati tapasztalataim alapján, az hatékonyan alkalmazható a lövészet és harcászati kiképzési ciklusok rövidítése és minőségének javítása érdekében. A továbbiakban a lövészet és harcászati kiképzés alatt azt az elméleti és gyakorlati tudást értem, amely a fegyveres konfliktusokban legfőképp jellemző, gyalogsági hadviselés során kisalegységekben megvívott harcokhoz szükséges.

H1. Feltételezem, hogy a megváltozott biztonságpolitikai környezetben az országvédelmi-, illetve a haderő műveleti képességének hosszú távon történő

megőrzése, a korszerű hadviselés jellege és dinamikája, valamint békeidőszakban a felkészülés eredményességének növelése szükségessé teszi a gyalogos katonai állomány gyorsabb és hatékonyabb kiképzését, a Magyar Honvédség állandó állománya, de kiváltképp a tartalékos erők, hadiállapot esetén pedig a mozgósított személyi állomány esetében.

H2. Feltételezem, hogy a tudományos alapokon kidolgozott követelményrendszer mentén fejlesztett alternatív valóság technológiákon alapuló kiképzőrendszerek biztosítani tudják az egyének és kisalegységek harc megvívásához szükséges kompetenciák gyors és hatékony fejlesztését.

H3. Feltételezem, hogy az alternatív valóság technológián belül is a VR technológia érte el napjainkra azt a fejlettségi szintet, illetve képes biztosítani azokat a körülményeket, melyek között a gyalogos katonai egyéni kompetenciáinak fejlesztését és kisalegység szintű tevékenységekre való felkészülést, harcászati kiképzést egyaránt hatékonyan képes támogatni.

H4. Feltételezem, hogy a VR alapú kiképzés technikai feltételeit nemzeti szinten, kizárólag hazai fejlesztési potenciállal és szakmai kompetenciákkal meg lehet teremteni olyan rugalmas konstrukcióban, hogy az a Magyar Honvédség kiképzési rendszerének sajátosságaihoz, és a dinamikusan változó katonai követelményrendszerhez, és elöljárói elvárásokhoz adaptív módon illeszkedve eredményezzen gyors képességnövekedést.

H5. Feltételezem, hogy a VR alapú harckiképző rendszerek a hagyományos, gyakorlótéren, valós eszközök felhasználásával végrehajtott kiképzési módszerekkel komplexen alkalmazva nagy létszámú állomány esetében is hatékonyan alkalmazhatók, és eredményesen járulnak hozzá a felkészítés és kiképzés biztonságának, dinamikájának és költséghatékonyságának növeléséhez.

1.3 A TÉMA KUTATÁSÁNAK CÉLKITŰZÉSEI

Kutatásom során arra vállalkoztam, hogy a NATO, illetve a Magyar Honvédség érvényben lévő doktrínáit, kiképzési módszereit, adottságait és sajátosságait is figyelembe véve, a korszerű technológiai lehetőségek, valamint az alkalmazott humán tudományok eredményeinek felhasználásával meghatározzam, hogyan lehet a kiképzés bizonyos területeit fejlett technológiai megoldásokkal támogatni úgy, hogy

az költséghatékonyan, az állomány képességfejlesztésén keresztül növelje a katonák műveleti hatékonyságát és túlélési esélyeit valós harci körülmények között.

KC1 – A jelenkori kiképzési igények feltárása

A kutatás célja annak feltárása, hogy a korszerű hadviselés és a közelmúlt tapasztalatai miként alakították át a gyalogos katonai kiképzés követelményrendszerét, különös tekintettel a kiképzési ciklusok gyorsaságára, tartalmára és intenzitására. Az elemzéshez elsősorban szakirodalmi forrásokat és korábbi konfliktusok vizsgálatának eredményeit használok fel.

KC2 – Technológiai lehetőségek azonosítása és összehasonlítása

A kutatás célja az egyéni és kisalegység szintű gyalogos katonai kiképzés hatékonyságát és gyorsaságát támogató alternatív technológiák azonosítása, összehasonlítása és értékelése a megváltozott követelmények tükrében.

KC3 – A VR technológia kiképzési potenciáljának értékelése

A kutatás célja a virtuális valóság (VR) technológia kiképzési alkalmazhatóságának elemzése, különös tekintettel annak funkcionalitására, technológiai érettségére, valamint azokra a korlátokra és lehetőségekre, amelyek a gyalogos katonai kompetenciák fejlesztése szempontjából relevánsak. Az értékelés gyakorlati tapasztalatokon, technikai elemzéseken és követelményrendszer-illesztésen alapul.

KC4 – A VR rendszer hazai fejlesztési lehetőségének validálása

A kutatás célja annak bizonyítása, hogy a Magyar Honvédség számára, hazai szakmai és ipari kompetenciák bevonásával, előrelátó tervezéssel és alaposan kidolgozott, reális követelményrendszer mentén kialakítható egy biztonságosan működtethető, többcélú VR-alapú harcászati kiképzőrendszer. A vizsgálat célja annak értékelése, hogy a szakmai vezetésemmel, doktori kutatási időszakom alatt, kutatási eredményeim felhasználásával fejlesztett harcszimulátor prototípus² milyen mértékben felel meg a követelményeknek.

KC5 – A VR-alapú tömeges kiképzés hatékonyságának értékelése

² Az Infinit Simulation Kft által fejlesztett és a TKP keretén belül testreszabott és továbbfejlesztett Gun Tactical Simulator rendszer.

A kutatás célja annak vizsgálata, hogy a virtuális valóság alapú kiképzőrendszerek milyen mértékben járulnak hozzá a nagy létszámú katonai állomány gyors, biztonságos és költséghatékony felkészítéséhez, különösen a hagyományos és VR képzési formák komplex alkalmazása esetén. Hogyan befolyásolja a VR-technológia alkalmazása a kiképzési hatékonyságot, a túlélőképességet és az erőforrás-felhasználás optimalizálását nagy létszámú állomány esetén.

1.4 A KUTATÁS LEHATÁROLÁSA

1.4.1 TECHNOLÓGIAI LEHATÁROLÁS:

A VR, azaz virtuális valóság eszközök egy nagyobb eszközcsalád tagjai, amelyet itthon alternatív valóságnak (xR – Extended Reality) hívunk. A család többi technológiája (kiterjesztett és kevert valóság) is alkalmazható a vizsgált kiképzési területeken, de kutatásom során hamar kiderült, hogy a lehetőségeket és korlátokat figyelembe véve a VR rendszereket érdemes mélyebben vizsgálni. A kutatás tehát a VR eszközök irányába mélyül el, de értekezésemben a jobb megértés érdekében több szimulációs technológiát is áttekintek.

A tárgyalt technológiai eszközök folyamatosan fejlődnek, évente több új, jobb vagy eltérő műszaki paraméterekkel rendelkező készülék kerül piacra és vizsgálható meg. Jelen értekezésben nem célom a teljes spektrumot feltérképezni³, csak a releváns, az elvárt minimális alkalmazhatósági szintet már elérő eszközök és rendszerek bemutatása a cél. A technológia fejlettségével kapcsolatos megállapítások egy része ezért a kutatásom első szakaszából származik.

1.4.2 TERÜLETI LEHATÁROLÁS:

Értekezésem magyarországi felhasználást feltételez, de az elemzéshez külföldi tapasztalatok is felhasználásra kerülnek.

1.4.3 KIKÉPZÉSI TERÜLET LEHATÁROLÁS

A megcélzott kiképzési terület a katonai gyakorlatban integráltan jelenik meg, de a képességek szempontjából jól leválasztható. Kutatásom fókusza a katonák fegyveres harcának harcmezőn történő megvívásához szükséges tudását fejlesztő kiképzési

³ Kovács Gergely, az NKE Katonai Műszaki Doktori Iskolájának egy másik doktorandusza, a VR technológia mindenre kiterjedő elemzését és összehasonlítását végzi kutatásában és értekezésében.

formákra helyeződik. Kötelék méretének szempontjából az egyesharcostól a szakasz szintű harcászati kiképzési feladatok képezik vizsgálatom fő tárgyát, de példaként, illetve főleg a követelményrendszer kialakításával összefüggésben magasabb szintek is megemlítésre kerülnek.

Mivel a téma részleges átfedésben van a rendészeti terület lökiképzés és intézkedéstaktika területeivel, a kutatási idő alatt a rendészeti alkalmazhatóságot is igyekeztem feltárni, ugyanakkor ez nem képezi jelen értekezésem témáját.

1.4.4 IDŐBENI LEHATÁROLÁSOK:

Az értekezés egy 5 éves kutatási periódus eredményeit foglalja össze, az ez idő alatt fellelhető technológiai megoldásokról és hasonló célú termékekről nyilvános forrásokból elérhető információk kerültek feldolgozásra. A VR technológia elemzését a kutatás korábbi szakaszában rendelkezésre álló források alapján végeztem, ügyelve arra, hogy a következtetések már a modern eszközökre is alkalmazhatók legyenek.

1.5 KUTATÁSI MÓDSZEREK

A jelen kutatásom transzdiszciplináris jelleggel bír, mivel a katonai műszaki és informatikai tudományok mellett az emberi tényező komplex vizsgálatát, a pszichológiai és tanulásméleti megközelítéseket is prioritással kezeli. A kutatási probléma összetettsége, amely a technológiai megvalósíthatóságtól az emberi tanulási folyamatokon át a stratégiai implementációig terjed, módszertani pluralizmust, azaz kvalitatív és kvantitatív eszközök együttes, egymást kiegészítő alkalmazását tette szükségessé. Hipotéziseim validálása egy szisztematikus, egymásra épülő módszertani láncolaton keresztül valósult meg, amely biztosította a kutatás holisztikus és érvényes megközelítését. Kutatásom módszerei szakaszonként elkülöníthetők.

A kiképzési igények feltérképezése során az első hipotézisem validálása és a modern hadviselés megváltozott követelményeinek feltárása kiterjedt szakirodalom-kutatáson alapult. E kvalitatív módszer keretében nemzetközi és hazai hadtudományi publikációk, katonai doktrínák (pl. NATO, U.S. Army), valamint a közelmúlt fegyveres konfliktusainak (különösen az orosz-ukrán háború) tanulságait feldolgozó esettanulmányok szisztematikus elemzése történt. Ez a módszer tette lehetővé a modern hadviselés komplex, nehezen számszerűsíthető jelenségeinek (pl. a „stratégiai

tizedes” koncepciója, multitér hadműveletek) és a különböző állománykategóriákra gyakorolt hatásainak mélyreható megértését és szintetizálását.

A következőkben a gyalogos kiképzést támogató technológiai alternatívákat azonosítottam és hasonlítottam össze kvalitatív, többkritériumos elemzéssel. A 3. fejezetben szintetizált követelményrendszerem (pl. immerzivitás, költséghatékonyság, skálázhatóság, visszacsatolás minősége) alapján strukturált összehasonlítás készült a különböző szimulációs technológiákról (lézeres rendszerek, interaktív célanyagok, xR technológiák), amely elvezetett a virtuális valóság (VR), mint legígéretesebb technológia azonosításához.

Az út kijelölése után a VR technológia mélyreható technikai és funkcionális elemzését végeztem el vegyes módszertani megközelítéssel. Ez egyrészt technikai dokumentációk, termékleírások és tudományos publikációk szisztematikus feldolgozását, másrészt a piacon elérhető COTS (*Commercial Off-The-Shelf*) eszközök és létező katonai célú VR rendszerek képességeinek gyakorlati elemzését foglalta magában. Az elemzésbe beépítettem a disszertációhoz kapcsolódó prototípus-fejlesztés során szerzett empirikus tapasztalatokat is, amelyek a technológiai érettség és a kiképzési követelményekhez való illeszkedés robusztus validálását tették lehetővé.

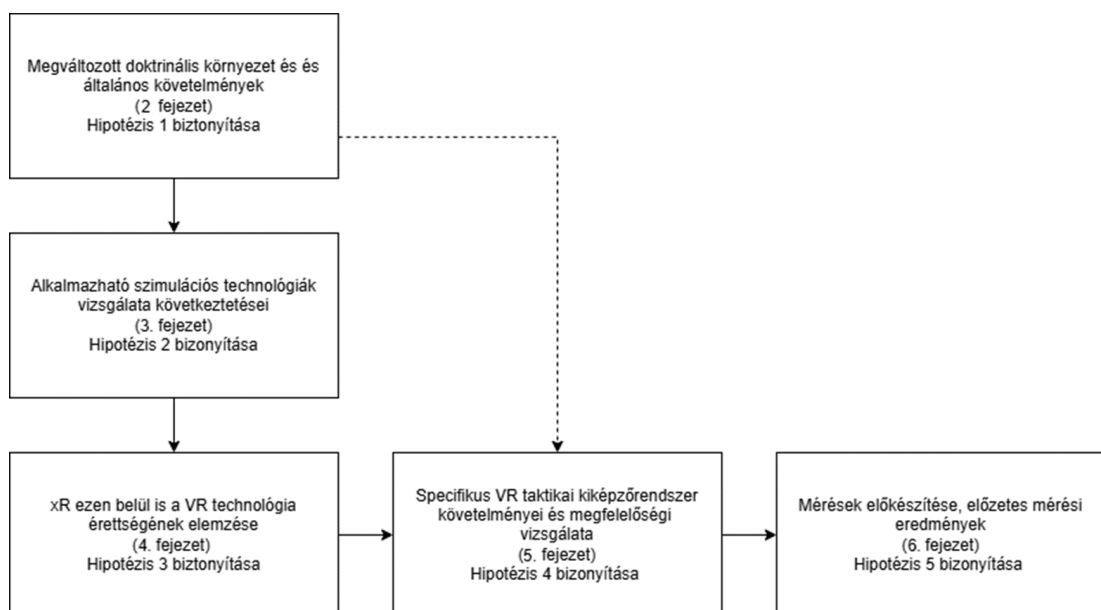
A negyedik hipotézis komplex természetének vizsgálata több kutatási módszer integrált alkalmazását tette szükségessé. A COTS komponensek kockázatainak, az agilis módszertanok kormányzati környezetben való alkalmazásának, az adatbiztonsági és adatvédelmi elveknek, valamint a védelmi innovációs modelleknek a nemzetközi tudományos és szakmai irodalmát dolgoztam fel és szintetizáltam. Ezt követte a hazai védelmi innovációs ökoszisztéma feltérképezése és elemzése nyílt forrású hírszerzés (OSINT) és a rendelkezésre álló nyilvános vállalati és kutatási anyagok alapján, amely esettanulmány-jellegű elemzésnek tekinthető. Az érvelésbe beépítettem továbbá a dolgozatban említett, az NKE-n működő „*VR taktikai harcszimulátor prototípus fejlesztése és tesztelése projekt*” során szerzett implicit, gyakorlati tapasztalatokat is.

Ötödik hipotézisem validálása egy kvázi-kísérleti elrendezés keretében történt, amelynek során egy VR-szimulátorban előképzett kísérleti csoport és egy kizárólag hagyományos módszerekkel felkészített kontrollcsoport teljesítményét hasonlítottuk

össze egy komplex, éleslövészettel egybekötött harcászati feladat során. Az adatgyűjtés vegyes módszertannal történt: a kvantitatív teljesítményadatok (pontszámok) mellett a résztvevők szubjektív tapasztalatait rögzítő kvalitatív kérdőíves felmérés is a vizsgálat részét képezte. Ez az empirikus validáció szolgáltatta a végső bizonyítékot disszertációm központi tézisének alátámasztására.

1.6 AZ ÉRTEKEZÉS FELÉPÍTÉSE

Értekezésem tematikus felépítése szorosan illeszkedik a kutatási célkitűzéseimhez (KC1–KC5) és a hozzájuk rendelt öt hipotézishez (H1–H5). A szerkezet kialakításának alapelve az volt, hogy az elméleti megalapozástól a technológiai lehetőségek feltárásán át a hazai megvalósíthatóság kérdéséig, majd a konkrét mérési és értékelési folyamatokig egy logikailag egymásra épülő, koherens struktúra jöjjön létre. Dolgozatom szerkezete a klasszikus elméleti-megalapozó – technológiaértékelő – implementációs – empirikus modellépítő ívet követi, amely biztosítja, hogy a hipotézisek tesztelése ne csak elméleti úton, hanem gyakorlati validáción keresztül is megtörténjen. Az egyes fejezetek a kutatás fázisainak megfelelően követik egymást, így támogatják az értekezés végső célját: egy adaptív, VR-alapú kiképzőrendszer elméleti és gyakorlati megalapozását a Magyar Honvédség számára. Az értekezés felépítését az 1. ábra szemlélteti.



1. ábra Az értekezés felépítése (Készítette: a szerző)

A 2. fejezet adja a kutatás elméleti és gyakorlati kiindulópontját. Ebben a fejezetben a modern hadviselés kihívásainak kontextusában vizsgálom a gyalogos katonai kiképzés megváltozott követelményrendszerét, különös tekintettel a dinamikára, a modularitásra, a kognitív képességek fejlesztésére és a különböző állománykategóriák specifikus igényeire. Ezzel a fejezettel igyekszem lefektetni a kutatás stratégiai alapjait és validálom az első hipotézist (H1).

A 3. fejezetben a már 2. fejezetben definiált követelményrendszerem alapján szisztematikus, többkritériumos összehasonlító elemzésnek vetem alá a gyalogos kiképzést támogató különböző szimulációs technológiákat. Ez a fejezet egyfajta technológiai tölcserként funkcionál, amely a lehetséges megoldások közül, objektív kritériumok mentén azonosítja a legígéretesebb irányt, alátámasztva a második hipotézist (H2).

Az előző fejezet következtetéseire építve az 4. fejezetben mélyreható technikai és funkcionális elemzésnek vetem alá a virtuális valóság technológiát. Részletesen vizsgálom az immerzivitást meghatározó hardveres és szoftveres komponenseket, a fegyverreplikák integrációját, valamint az adatgyűjtés és a mesterséges intelligencia szerepét. A fejezetben főleg korábbi kutatásom eredményeit veszem alapul. Célom annak bizonyítása volt, hogy a VR technológia elérte a komplex harcászati kiképzés támogatásához szükséges érettségi szintet, ezzel validálva a harmadik hipotézist (H3).

Miután a technológiai érettség igazolást nyert, az 5. fejezetben a hazai megvalósítás stratégiai és gyakorlati kérdéseit tárgyalom. Ebben a fejezetben amellet érvelek, hogy egy szuverén, magyar fejlesztésű rendszer létrehozása nem csupán lehetséges, de a biztonsági, gazdasági és hadműveleti szempontok miatt elengedhetetlen. Feltérképezem a hazai innovációs ökoszisztémát, a fejlesztés módszertani kérdéseit és a COTS komponensek használatából fakadó kockázatok kezelésének lehetőségeit is számba veszem, ezzel alátámasztva a negyedik hipotézist (H4).

A 6. fejezetben a korábbi elméleti és technikai érvelést gyakorlati bizonyítékokkal igyekszem alátámasztani. Bemutatom egy kísérleti mérés kereteit, lefolyását és eredményeit, amelynek során egy „VR-előgyakorlason” átesett, és egy ezen részt nem vevő kontrollcsoport teljesítményét hasonlítottam össze egy éleslövészeti harcászati feladatban. Az eredmények részlegesen használhatók kvantitatív és kvalitatív

elemzésre. Az eredmények validálják a VR technológia alkalmazhatóságát, igazolva a VR-kiképzés hatékonyságát és a pozitív tudástranszfert (H5).

1.7 RELEVÁNS SZAKIRODALOM

A kutatás transzdiszciplináris jellege szükségessé tette több tudományterület – köztük a hadtudomány, a katonai műszaki tudományok, az informatikai rendszerek, a tanuláselmélet, valamint a humán teljesítménypsichológia – tudományos eredményeinek szintetizált vizsgálatát. Az irodalomkutatás struktúráját és fókuszát a kutatási hipotézisek és célkitűzések határozzák meg. Ennek megfelelően az irodalomkutatás három, egymással szorosan összefüggő pillérre épül, amelyek együttesen teremtik meg a disszertáció elméleti és gyakorlati alapjait. Kutatásom során, de főleg a kutatás indulásakor, több személy és mű is inspirált, illetve korábbi feldolgozásuk segített témáim kibontásában. Ezeket a műveket is feltüntettem egy külön szakaszban

A modern hadviselés kihívásai és az új kiképzési paradigma

Ez az irodalmi pillér adja a kutatás stratégiai kontextusát, feltárva azokat a doktrinális és szervezeti változásokat, amelyek a gyalogos katonával szemben támasztott követelmények átalakulásához vezettek. A modern hadtudományi szakirodalom egy koherens ívet rajzol fel a katonai vezetés és az egyéni harcos szerepének evolúciójáról. Ennek doktrinális alapját az amerikai haderő *ADP 6-0* kiadványában [5] kodifikált küldetésorientált vezetés (*Mission Command*) koncepciója adja, amely a parancsnoki szándéokra épülő, de a végrehajtás módját az alárendeltek kezdeményezésére és helyzetfelismerésére bízó decentralizált filozófiát képviseli. Ezt a doktrinális alapot helyezi valós, 21. századi hadviselési kontextusba Stanley McChrystal tábornok „*Team of Teams*” című műve [6], amely gyakorlati példákon keresztül mutatja be, hogy a komplex, hálózati szerveződésű ellenfelekkel szemben a hagyományos hierarchia elégtelen. McChrystal modellje egy információmegosztáson alapuló, felhatalmazással rendelkező kis alegységekből álló „csapatok csapatát” vázolja fel, amely elengedhetetlen a gyors és adaptív döntéshozatalhoz. Ez a szervezeti átalakulás pedig egészen az egyesharcos szintjéig gyűrűzik le, akinek megváltozott felelősségét Charles C. Krulak tábornok a „stratégiai tizedes” (*strategic corporal*) fogalmával írta le [7]. Krulak rávilágít, hogy a modern, mediatizált hadszíntéren egy alacsony

beosztású katona helyi döntéseinek is stratégiai következményei lehetnek, ezért az egyénnek már nem csupán végrehajtónak, hanem a parancsnoki szándékot megértő, autonóm és felelős döntéshozó „operátornak” kell lennie. Ezt a gondolatmenetet viszi tovább a magyar kontextusba Dr. Porkoláb Imre tábornok úr munkája [8], amely a küldetésalapú vezetés 2.0 koncepcióját vázolja fel a digitális transzformáció korában. E művek egymást kiegészítve, a doktrinális alapoktól a szervezeti alkalmazáson át az egyéni követelményekig tökéletesen támasztják alá a modern harcos felé megfogalmazott, megváltozott képzési és autonómiaigényt.

Technológiai válaszok: A szimuláció és a virtuális valóság

A második irodalmi fókusz az alternatív valóság technológiák katonai alkalmazásaira, különösen a VR, AR és MR rendszerek fejlettségi szintjeire és validált eredményeire irányul. A szimuláció alapú képzés (*Simulation-Based Training – SBT*) nemzetközi szakirodalma rendkívül gazdag, amelynek kiemelkedő fóruma az évente megrendezett I/ITSEC konferencia. Az itt bemutatott kutatások, mint például Nina Rothstein áttekintő tanulmánya [9] a döntéshozatalt támogató szimulációkról, vagy Dr. Amela Sadagic és Maj Floy A. Yates Jr. munkája [10] a szimulátorok széleskörű bevezetésének kihívásairól, alapvető kiindulópontot jelentenek. A VR technológia alapjait olyan klasszikus művek tárgyalják, mint Grigore C. Burdea és Philippe Coiffet „Virtual Reality Technology” című könyve [11]. A magyar szakirodalomban Dr. Négyesi Imre cikke ad átfogó képet a VR katonai készségfejlesztésben betöltött szerepéről és potenciáljáról [12]. Noha ez a cikk a virtuális valóság hálózatos, elosztott mivoltára koncentrál, alapelvei alátámasztják jelen dolgozatban is tárgyalt elosztott és integrált rendszer koncepcióját. A tudástranszfer és a képzési hatékonyság empirikus vizsgálatára fókuszál Gregory P. Krätzig és munkatársainak a pisztolylövészeti készségek szintetikus környezetből a valóságba történő átvitelét vizsgáló kutatása [13]. Ez a lövészeti kiképzés támogatását kutató tanulmány egy sorozat része, amely a Kanadai Királyi Rendőrség kadétjainak szimulátoros képzési hatékonyságát vizsgálja mérésekkel és statisztikai elemzésekkel alátámasztva. A fő szerző Gregory P. Krätzig a felelőse a kanadai rendvédelmi szervek szimulátoros kiképzések hatékonyságának kiértékeléséért, a szimulátoros és hagyományos kiképzési módszerek tudományos igényű összehasonlításáért. A helyi sajátosságnak megfelelő éleslövészeti kiképzési feladatokat és szintetikus (szimulátoros) megfelelőjük eredményességét méri,

statisztikai eszközöket alkalmazva elemzi. Az eredmények és az összefoglaló szerint belátta, hogy a szimulátoros képzés költséghatékonyan segíti az éleslövészeti tesztek sikeres végrehajtását, valamint éleslövészet kiképzés alternatívája lehet. Ez volt az első olyan kutatás, amely látókörömbé került a kutatási témám alátámasztása kapcsán. Ezt a kutatást tovább is vitte, ahol a tudásmegtartást is vizsgálja hosszútávon. Rodney Long és kollégáinak az xAPI alkalmazásával megvalósított adaptív lövészeti kiképzésről szóló cikke, konkrét bizonyítékokkal szolgál az adaptív képzés gyakorlati értékére [14]. A cikkben leírják, hogy az amerikai szárazföldi haderő (Army) Kiképzési és Doktrinális Parancsnokságának (TRADOC) törekvése, hogy a katonák egyénre szabott kiképzést kapjanak, amely adottságaikhoz igazodik karrierjük során. A cikk elmagyarázza, hogy ehhez viszonylag pontosan kell mérni és követni a katona egyéni teljesítményét, ami a szimulátoros kiképzésben már könnyen megtehető. A cikk célja, hogy az xAPI („*Experience Application Programming Interface*”) – amely olyan mechanizmusokat kínál, amelyek az eredményre (egyéni teljesítmény) vonatkozó adatokat megosztható, interoperábilis formába hozza –, és egy mozgó platformú lövész szimulátor (*Unstabilized Gunnery Trainer – Crew (UGT-C)*) összekapcsolásával kialakított olyan adaptív (a katona teljesítményétől függően változó) képzési algoritmust készítését mutassa be, amely hatékonyabb, mint sztenderd kiképzési terv végrehajtása. A cikk elénk tárja a sztenderd és az adaptív képzési program összeállításának tervét és eredményét, illetve mérésekkel alátámasztva, statisztikai alapon is bizonyítja a hatékonyság növekedést. Értekezésemben ki fogok térni a szimulátorok alkalmazásából adódó további olyan előnyökre, mint például a jelen írásból is látható, képzési és egyéb elektronikusan tárolt adatokból levont következtetések visszacsatolási lehetőségére, amely által további hatékonyság növekedés érhető el. A hazai harcászati és lövészeti szimulátoros eszközök megismeréséhez Szűcs Endre alezredes doktori értekezése nyújtott segítséget [15], ami a helység-harc-képzés módszertani és technikai kérdéseit vizsgálja, amely közvetlenül kapcsolódik a disszertáció tárgyához. Elemzése során, amely főleg irodalomkutatáson és interjúkon alapul, olyan kiképzéstechnikai eszközöket is bemutat, amelyek közvetlenül kapcsolódnak a kutatási témámhoz. Ezen számvetés a 2000-es évek elejét fedi le, de jól felhasználhatóan elemzi az akkori csúcstechnológiának számító magyar eszközökkel kapcsolatos kutatások eredményeit, használatuk szükséges feltételeit, valamint kiképzésbe való integrálhatóságuk lehetőségeit. Az értekezés a helység-harc-kiképzés helyét keresi a tiszti és

tiszthelyettesi képzésben, aminek eredményeit támasztja alá a tudományos kutatás módszereivel az akkori környezetben.

A hazai megvalósítás keretrendszere: Innováció és kutatás-fejlesztés

A harmadik pillér azokat a hazai szakirodalmakat foglalja össze, amelyek a VR rendszer magyarországi fejlesztési lehetőségét és a kapcsolódó innovációs ökoszisztémát vizsgálják. Dr. Kende György és Dr. Seres György egyetemi jegyzete [16] a haditechnikai kutatás-fejlesztés folyamataiba nyújt betekintést. Kézikönyvszerűen jól használható tájékozódásra, illetve nagyon jó áttekintést ad a haditechnikai fejlesztés történeti háttéréről, a kultúra, infrastruktúra és folyamatok kialakulásának, átalakulásainak környezetéről és okairól. Noha a könyvet már 15 éve adták ki, a haditechnikai kutatás fejlesztési környezet megértését, a minőségbiztosítás fontosságát, annak elemeinek példán keresztüli megismerését még mindig jól támogatja, és a NATO aktuális irányelveivel, szabályozóival együtt értelmezve hatalmas segítséget nyújt a területen belüli eligazodásban. A légierő korábbi példáját és annak eszközeit végig követve a mostani helyzetünkben is iránymutatást tud adni. A szerzők a szabályozók (NATO és korábbi MH) feldolgozásával, korábbi tapasztalatok esettanulmány formában történő ismertetésével, politikai és műszaki elemzésekkel teszik teljessé a képet. Értekezésemben részcel egy egyszerű kiképzéstechnikai eszköz fejlesztése és azzal mérések végzése, amelyre ugyan nem teljesen mértékben vonatkoznak a könyvben feldolgozott szabványok, de mindenképpen iránymutatásként kell használnom az abban megfogalmazott elemzési eredményeket. Gyulai Gábor cikkei [17,18] a K+F komplex megközelítését és szerepét elemzik a haditechnikai eszközök életútja során, amely a később nemzetközi szabályozókban talált irányokkal egyeztek. Fonyó Attila, Hausz Frigyes és Dr. Kardon Béla közigazgatási tanulmánya tankönyvszerűen foglalja össze az akkori hazai innovációs és kutatás-fejlesztési ökoszisztéma helyzetét [19], beleértve az akkori jogi és finanszírozási kereteket. Az ökoszisztéma azóta sokat változott, de jó tagolása és időszakoktól független részletei miatt most is jó támpontot nyújt.

A felsorolt szakirodalom együttesen biztosítja a kutatás elméleti megalapozását, a technológiai lehetőségek áttekintését és a hazai megvalósíthatóság kontextusának megértését, alátámasztva a disszertációban felvázolt hipotéziseket és célkitűzéseket.

2 LÖVÉSZETI- ÉS HARCÁSZATI KIKÉPZÉS TECHNOLÓGIAI ALAPÚ TÁMOGATÁSÁNAK LEHETŐSÉGEI

Jelen fejezetben az első kutatási hipotézisemet (H1.) kívánom igazolni, ehhez először a kiképzés, ezen belül is a gyalogsági kiképzés főbb követelményeit igyekszem feltárni. Kapcsolódó kutatási célom annak vizsgálata, hogy a korszerű hadviselés és a közelmúlt tapasztalatai miként alakították át a gyalogos katonai kiképzés követelményrendszerét, különös tekintettel a kiképzési ciklusok gyorsaságára, tartalmára és intenzitására. Emellett áttekintem a magasabb szintű NATO és Egyesült Államok által használt általános követelményrendszert, amelyet a következő fejezetben már alapvetésként használok fel.

2.1 A KORSZERŰ GYALOGSÁGI KIKÉPZÉS ÚJ KÖVETELMÉNYEINEK ÁTTEKINTÉSE

Az általános követelmények vizsgálata előtt, a kontextusba helyezés érdekében először a jelenkor kihívásai mentén vizsgálom a kiképzési rendszerekkel és módszerekkel szemben támasztott igényeket, azok változását. Ezt az elemzést három dimenzió mentén végeztem:

- napjainkra hogyan változott a gyalogos katona szerepe, milyen új elvárásoknak kell megfelelnie;
- milyen új igények merülnek fel a kiképzés sebességével és modularitásával kapcsolatban állománykategóriák alapján, a felmerült igényekre válaszként milyen módszerek fordulnak elő;
- milyen humán faktorok befolyásolják napjaink katonai kiképzését.

2.1.1 A GYALOGSÁGI KIKÉPZÉS VÁLTOZÁSI IGÉNYE NAPJAINKBAN

A biztonsági környezet egyre növekvő komplexitása, aszimmetriája és a többdimenziós kihívások alapvetően átalakították a gyalogsági katonákkal szemben támasztott követelményeket. A hagyományos, lineáris harcterek helyét egyre inkább felaprózódott, urbanizált környezetek veszik át, ahol a nem állami szereplők és a hibrid fenyegetések elterjedése új kihívásokat jelent. Ez a változás alapos átgondolást tesz szükségessé a gyalogsági kiképzési paradigmákban. A hangsúly már nem csupán a

nagyszabású hagyományos műveleteken van, hanem a rendkívül alkalmazkodóképes, kritikusan gondolkodó egyének fejlesztésén, akik képesek a gyors döntéshozatalra extrém nyomás alatt. [5]

A gyalogsági katonák képzési igényeinek megváltozása, az autonóm „operátor”⁴

A modern hadviselés megköveteli az egyes katonáktól és a kis alegységektől, hogy gyorsan és autonóm módon hozzanak kritikus döntéseket. Ez a paradigmaváltás eltávolodik a szigorúan centralizált parancsnoki struktúráktól, felhatalmazva az alacsonyabb beosztású állományt, hogy dinamikus, gyakran kétértelmű helyzetekben is határozottan cselekedjenek. A közelmúlt háborús tapasztalatai ezt a tendenciát világosan alátámasztják. Jól látható példa, a mariupoli, bahmuti, avgyijivkai csaták, ahol az orosz és ukrán felek egyaránt mélyen városi térben, a civil infrastruktúra közé ágyazva folytatták harcaikat. A műveletek során mindkét fél gyalogsági alegységei a harctér átszegdeltsége miatt kénytelenek voltak szétaprózódva, egymástól akár teljes elszigeteltségben harcolni, demonstrálva az aszimmetrikus, adaptív műveleti képességek nélkülözhetetlenségét.[6]

Ez azt jelenti, hogy a gyalogsági katona nemcsak végrehajtó elem, hanem olyan rendszerbe illeszkedő autonóm operátor, aki pillanatnyi döntésekkel befolyásolhatja a harcászati sikert.

Elmozdulás a decentralizált döntéshozatal felé

A „stratégiai tizedes” koncepciója, amely különösen a tengerészgyalogságnál hangsúlyos, kiemeli az altisztek, vagy akár tisztesek, például a tizedesek kritikus szerepét. Ők kis alegységeket (3-9 katonát) vezetnek, és gyakran olyan döntéseket kell hozniuk, amelyek jelentős, akár stratégiai következményekkel járhatnak. A parancsnokok egyre inkább a parancsnoki szándék kommunikálására összpontosítanak, ezáltal felhatalmazva a tizedeseket és őrmestereket az önálló működésre, elősegítve a gyors döntéshozatalt és az alkalmazkodóképességet a harctéren. [7] A kortárs hadműveleti környezet növekvő komplexitása és nem-linearitása teszi szükségessé ezt a decentralizációt. Ahogy a NATO Multitér Műveletek

⁴ az „operátor” (*operator*) eredetileg az Egyesült Államok különböző különleges műveleti erőinek olyan katonáira használták, amelyek nem támogató, hanem speciális harcfeleladatot láttak el (lövészek, mesterlövészek). Manapság már általánosan, a harcoló lövészatonákra is elfogadott fogalom.

(MDO) koncepciója is sugallja, a hadviselés már nem korlátozódik a hagyományos légi, szárazföldi és tengeri területekre, hanem kiterjed az ürbe, a kiber- és az információs környezetbe is, agilitást és magas szintű alkalmazkodóképességet követelve meg. Ez a döntések delegálását igényli a „legalacsonyabb hadműveletileg illetékes szintre”. A hagyományos katonai hierarchia központosított parancsnoki és irányítási rendszere egyszerűen túl lassú ahhoz, hogy hatékonyan reagáljon a 21. századi gyors, felaprózódott és többdimenziós városi harcerekre.[20] Az ilyen környezetekben a hatalmas információmennyiség és az események sebessége lehetetlenné teszi a magasabb vezetői szintek számára a valós idejű helyzetfelismerést és minden egyes cselekedet központi meghatározását. Ezért az alacsonyabb beosztású személyzet, például altisztek vagy akár tisztesek felhatalmazása a kritikus, azonnali döntések meghozatalára, stratégiai szükségszerűséggé válik a taktikai siker szempontjából, nem csupán egy kívánatos vezetői tulajdonsággá. Ez a decentralizáció közvetlenül enyhíti a „háború kódét” taktikai szinten, lehetővé téve az egységek számára, hogy gyorsabban alkalmazkodjanak, mint az ellenfél.

Az aszimmetrikus és multitér harcterek követelményei

Napjaink konfliktusai egyre ritkábban zajlanak hagyományos, nyílt harcerekben. A szenzorokkal telített harcmező létrejötte miatt a lakott településeken kívüli harcérintkezések is gyakran megerősített körletek birtokbavételéért zajlanak.[21] Az ilyen területek kiterjedése a változatos környezet miatt hadműveleti szempontból sokszorosan nagyobb lehet, mint hasonló méretű nyílt terepek esetén. A közelmúltbeli konfliktusok, mint az ukrajnai háború, a gázai konfliktus és pl. Moszul visszafoglalása Irakban, aláhúzzák a városi harc növekvő fontosságát és egyedi kihívásait. Ezek a környezetek bonyolítják a döntéshozatalt, mivel mérlegelni kell a saját veszteségeket a masszív tűzerővel szemben, ami gyakran kevésbé precíz tűztámogatáshoz vezet, ha kevésbé képzett csapatokat alkalmaznak. A *Canadian Army Journal* (21. kötet, 1. szám, 2024) [22] részletesen tárgyalja a városi hadviselés bonyolultságát, hangsúlyozva a haderők képességeik és felkészültségük sűrűn lakott területeken való harcra való adaptálásának szükségességét. A „három háztömbös háború” koncepciója jól szemlélteti a katonákkal szemben támasztott egyidejű követelményeket városi környezetben: humanitárius segítségnyújtás, békefenntartó műveletek végzése és halálos, közepes intenzitású harc vívása, mindezt ugyanazon a napon, néhány

háztömbön belül. Ez megköveteli a katonáktól, hogy sokoldalúak legyenek, és képesek legyenek a gyors átállásra a különböző műveleti szerepek között. A városi hadviselés azt jelenti, hogy a gyalogsági katonák olyan környezetben tevékenykednek, ahol magas a civil jelenlét, és elmosódik a harcolók és a nem harcolók közötti korábban éles határvonal. Ez jelentősen növeli az egyéni katonákra nehezedő kognitív terhelést és etikai dilemmákat. A „három háztömbös háború” koncepciója tehát rávilágít a humanitárius, békefenntartó és harci szerepek közötti gyors váltások szükségességére. [7] Ez arra utal, hogy a kiképzésnek nemcsak a fizikai és fegyveres készségeket kell előtérbe helyeznie, hanem legalább annyira, ha nem jobban, a kognitív készségeket is, mint például a kritikus gondolkodás, a stressz alatti etikus döntéshozatal és a gyors helyzetfelismerés, a civil áldozatok minimalizálása, a küldetés céljainak elérése érdekében emberileg komplex körülmények között. Ez különösen igaz a békefenntartó műveletekre, ahol a harcérintkezés szabályait (ROE⁵) stresszes körülmények között kell alkalmazni, hatékonyan megkülönböztetve a világos fenyegetéseket, a csalikat és civileket is magában foglaló komplex helyzetektől. A kiképzésnek ezért a kognitív agilitás, a nyomás alatti kritikus gondolkodás és a komplex információk gyors feldolgozása képességének fejlesztésére kell összpontosítania, hogy hatékony, etikus döntéseket lehessen hozni, amelyek befolyásolják a taktikai eredményességet.

Következtetés a katonákkal szembeni elvárások változásáról

A fentiekből láthatjuk, hogy a katonákkal szemben támasztott követelmények már a legénység szinten is megváltoztak. A modern harc dinamikus jellege azt jelenti, hogy a taktikai siker a gyalogsági katonák által másodpercek alatt hozott döntéseken múlhat. A modern kiképzési módszerek megválasztása során tehát a következő tényezőket kell figyelembe venni a korábbiak mellett:

- Támogatni kell a decentralizált döntéshozatalt, azaz a kiképzés során ki kell alakítani, hogy az egyesharcosok és kis alegységek megfelelő képességekkel rendelkezzenek a kritikus döntések gyors és önálló meghozatalára.
- A katonákkal meg kell értetni
 - o a multitér harcterek jellegét, azaz azt, hogy bonyolult a városi, földalatti és egyéb komplex környezetek kiegészülve a nem hagyományos térben

⁵ Rules of Engagement – harcérintkezés szabályai

- zajló katonai műveletekkel, sokszorosan nagyobb hadműveleti teret jelentenek,
- valamint azt, hogy a nem állami szereplők és a hibrid hadviselés kiszámíthatatlanabbá és komplexebbé teszi a harcot.
 - A katonákat arra is kell képezni, hogy képesek legyenek a helyzetek gyors kognitív feldolgozására és etikus döntések meghozatalára, főleg civil jelenlét esetén.

2.1.2 KIKÉPZÉSI IGÉNYEK VÁLTOZÁSA ÁLLOMÁNYKATEGÓRIÁK ALAPJÁN

Az előbbiekben megvizsgáltam a hadszíntér és a műveletek jellegének, illetve környezetének megváltozása miatt vizsgálni szükséges képzési tényezőket, ugyanakkor a modern hadviselés komplexitása és a biztonsági környezet dinamikus változása megköveteli a katonai kiképzési rendszerek differenciált megközelítését. A haderők nem tekinthetők homogén emberi közegnek, a különböző állománykategóriák – hivatásos és szerződéses katonák, tartalékosok, valamint a mozgósított személyi állomány – eltérő előképzettséggel, motivációval, rendelkezésre álló időkerettel és kiképzési igénnyel rendelkeznek. Ezen kategóriák szerinti vizsgálat azért elengedhetetlen, mert a hatékony felkészítés kulcsa a célzott, optimalizált és erőforrás-hatékony képzési programok kidolgozása. Egy hivatásos katona esetében a folyamatos, mélyreható képességfejlesztés a cél, míg egy mozgósított állampolgár esetében az alapvető tudásszint lehető leggyorsabban történő elérése a prioritás. Az orosz-ukrán háború tanulságai drámaian rávilágítottak arra, hogy a békeidőszaki kiképzési modellek különböző szintű válsághelyzetben elégtelennek bizonyulhatnak, és a siker azon múlik, hogy egy nemzet mennyire képes gyorsan és hatékonyan felkészíteni a rendelkezésre álló katonai potenciálját a rá váró feladatokra. E fejezet célja, hogy feltárja az egyes állománykategóriákra jellemző specifikus kiképzési kihívásokat és az azokra adható modern válaszokat.

Az aktív állomány kiképzésének változó paradigmái és módszerei

Az aktív állomány felkészítése, amely a haderő gerincét képezi, folyamatos, így kiképzésük evolúciója, a módszerek és ismeretanyagok időszakos változása jól megfigyelhető. Az előző fejezetben is tárgyaltak szerint, a hagyományos, ismétlésen

alapuló kiképzési modelleket, képzési szinttől függően felváltják, vagy kiegészítik azok a módszerek, amelyek a katonák kognitív képességeit és alkalmazkodóképességét helyezik előtérbe. Ezt különböző országok példáin keresztül megvizsgálva láthatjuk, hogy a cél már nem csak a tökéletesen begyakorolt mozdulatsorok elsajátítása, hanem olyan mentális rugalmasság kialakítása, amely lehetővé teszi a váratlan helyzetekben való hatékony cselekvést. Az előzőekben megállapított, katonákkal szemben támasztott elvárások változásának bemutatásához több országban megvalósult példákat vizsgáltam és elemeztem, amely alapján próbálok rámutatni azokra a módszerekre, amelyek bevezetése igazolja az új elvárások megalapozottságát.

Az Amerikai Egyesült Államok hadserege (U.S. Army) a multitér műveletek (*Multi-Domain Operations*) doktrínájának bevezetésével párhuzamosan alakította át kiképzési rendszerét. A hangsúly az összhaderőnemi műveletek gyakorlására helyeződött, ahol a gyalogság, a páncélos erők, a tüzérség, a légierő és a kiber erők szoros együttműködésben hajtják végre a feladatokat. A kiképzés központi elemévé váltak a nagyszabású, valóság-hű, forgatókönyv-alapú gyakorlatok (*scenario-based training*), amelyek során a katonáknak komplex, több rétegű problémákat kell megoldaniuk nyomás alatt. Ezen gyakorlatok célja a kritikus gondolkodás és a decentralizált döntéshozatal ösztönzése, ahol a parancsnokok szándékát (*commander's intent*) megértő alegységek önállóan is képesek a helyzetnek megfelelő döntéseket hozni [6].

Az **Egyesült Királyság** hadereje a „*Future Soldier*” program keretében modernizálja kiképzési elveit. Felismerték, hogy a jövő katonájának nemcsak harcosnak, hanem gondolkodónak is kell lennie („*thinking soldier*”). Ennek érdekében a képzésbe integrálták a kulturális tudatosság, az információs hadviselés és a pszichológiai ellenállóképesség (*resilience*) fejlesztését. A brit megközelítés nagy hangsúlyt fektet a „*Mission Command*” elvére, amely bizalmon alapuló, decentralizált parancsnoklási filozófia. A képzés során a katonákat arra ösztönzik, hogy megértsék a „miértet” a kapott parancsok mögött, ezzel növelve kezdeményezőkézségüket és problémamegoldó képességüket komplex és kétértelmű helyzetekben [23].

Németország a Bundeswehrben az *Innere Führung* (belső vezetés) koncepciójára épít, amely az „állampolgár egyenruhában” (*Staatsbürger in Uniform*) eszményét valósítja meg. Ez a filozófia a katonák etikai és morális nevelését helyezi a középpontba, ami a modern, aszimmetrikus konfliktusokban, ahol a civil lakosság védelme kiemelt

fontosságú, felértékelődik. A gyakorlati képzésben ez a komplex, etikai dilemmákat is tartalmazó forgatókönyvek alkalmazását jelenti, amelyek felkészítik a katonákat a nehéz döntések meghozatalára a harctéren [24].

Összefoglalva, az aktív állomány képzésében már gyakorlatban is egyértelmű elmozdulás figyelhető meg a fizikai feladatok végrehajtásától a kognitív képességek fejlesztése felé. A modern konfliktusok dinamikus és kiszámíthatatlan jellegét felismerve a NATO-szövetségesek egyre nagyobb hangsúlyt fektetnek az alkalmazkodóképesség, a kritikus gondolkodás és az integrált, többdimenziós hadviselési képességek fejlesztésére.

A tartalékos erők képzésének megújítási kényszere

A tartalékos erők szerepe a 21. században jelentősen felértékelődött. Míg korábban elsősorban a haderő békeidős létszámának kiegészítésére és akár félkatonai feladatok végrehajtására szolgáltak, mára a nemzeti védelem és elrettentés kulcsfontosságú elemévé váltak. Az orosz–ukrán konfliktus rávilágított arra, hogy a tartalékosok gyors és hatékony mozgósítása, valamint harctéri alkalmazhatósága döntő lehet egy elhúzódó, magas intenzitású háborúban. Ukrajna esetében a tartalékosok és a területvédelmi erők mozgósítása alapvető volt a kezdeti orosz offenzíva megállításában, ugyanakkor a kiképzésük hiányosságai és a felszerelésük elégtelensége komoly kihívások elé állította a védelmet [5, 22].

Más, nagy tartalékos haderővel rendelkező országok modelljei is fontos tanulságokkal szolgálnak.

- **Finnország:** A finn védelmi rendszer a totális védelem elvére és a kötelező sorkatonai szolgálatra épül, amely után a polgárok évtizedekig a tartalékos állományban maradnak. A finn modell sikere a rendszeres, kötelező ismétlő kiképzéseken (*refresher training*) alapul, amelyek során a tartalékosok fenntartják és frissítik katonai tudásukat, valamint gyakorolják az együttműködést azokkal az egységekkel, amelyekhez háborús beosztásuk szerint tartoznak. A képzés modularitása lehetővé teszi, hogy a tartalékosok a civil életben szerzett szaktudásukat (pl. IT, mérnöki, egészségügyi ismeretek) is kamatoztassák a védelemben [25].

- **Svájc:** A svájci haderő a milícia elvén alapul, ahol szinte a teljes hadsereg tartalékosokból áll. A rendszer kulcsa a katonák személyes felelősségvállalása: a sorkatonai szolgálat után hazaviszik személyes fegyverzetüket és felszerelésüket, és évente ismétlő tanfolyamokon (*Wiederholungskurs*) vesznek részt. Bár ez a modell szoros integrációt igényel a civil társadalommal, biztosítja a gyors mozgósíthatóságot és a magas szintű egyéni felkészültséget.
- **Izrael:** Az Izraeli Védelmi Erők (IDF) esetében a tartalékos szolgálat (*Miluim*) a nemzeti biztonság alappillére. A sorkatonai szolgálatot követően a legtöbb katona évente több hétre, vagy akár egy hónapra is bevonul, hogy részt vegyen kiképzéseken és hadgyakorlatokon. Ezek a gyakorlatok rendkívül intenzívek és valóságosak, céljuk az egységek kohéziójának és harckészültségének fenntartása. Az IDF folyamatosan elemzi a műveleti tapasztalatokat, és ezeket gyorsan beépíti a tartalékosok képzési programjába is.

Ezek a példák azt mutatják, hogy a hatékony tartalékos rendszer nem merülhet ki a nyilvántartásban. Folyamatos, releváns és motiváló kiképzést igényel, amely fenntartja a harci készségeket és integrálja a tartalékosokat a haderő aktív struktúrájába.

A mozgósított személyi állomány kiképzésének kritikus kérdései

A mozgósított katonák jelentik a legnagyobb kiképzési kihívást háború idején. Ők azok a civilek, akiket egy fegyveres konfliktus kitörésekor hívnak be, gyakran minimális, vagy régen szerzett katonai tapasztalattal. Kiképzésükre rendkívül kevés idő áll rendelkezésre, miközben a velük szemben támasztott elvárás az, hogy a lehető leghamarabb bevethetővé váljanak a modern harctéren. Az ukrajnai háború rámutatott, hogy a kiképzési ciklusokat a korábbi hónapokról hetekre kell radikálisan lerövidíteni. A gyors és hatékony képzés érdekében a fókusz az alapvető túlélési és harci készségekre helyeződik:

- Fegyverkezelési biztonság és lövészet alapismeretek: a katonának biztonsággal kell kezelnie a fegyverét.
- Egyéni harcászati mozgásformák: mozgás fedezéktől fedezékig, a tűz és mozgás alapelvei.
- Harctéri elsősegélynyújtás (*Tactical Combat Casualty Care – TCCC*): az ön- és kölcsönös elsősegélynyújtás képessége drámaian növeli a túlélési esélyeket.
- Kisalegység-szintű harcászat: a raj- és szakaszszintű együttműködés alapjai.

Ezen képességek gyors átadásának kulcsa a modularitás és az intenzitás. A képzést logikusan egymásra épülő, rövid modulokra bontják, amelyeket a katonák gyorsan elsajátíthatnak és azonnal gyakorolhatnak. A finn sorkatonai rendszer például eleve moduláris felépítésű, ami lehetővé teszi, hogy mozgósítás esetén a katonák a már meglévő alapképzsükre építve kapjanak célzott, beosztás-specifikus felkészítést [25]. Az ukrán fegyveres erők – külföldi partnerek, például az Egyesült Királyság (Operation Interflex) segítségével – olyan intenzív, néhány hetes programokat dolgoztak ki, amelyek kizárólag a legszükségesebb harctéri készségekre fókuszálnak [26]. E programok sikere azon múlik, hogy képesek-e rövid idő alatt a lehető legtöbb gyakorlati, valóság-hű szituációt teremteni, minimalizálva az elméleti oktatást.

Az állománykategóriák szerinti kiképzési igények összegzése

Az állománykategóriák vizsgálata alapján egyértelműen látszik, hogy az „egy méret mindenkinek” elvű kiképzés a modern korban tarthatatlan. A hatékony felkészítéshez differenciált, az adott kategória sajátosságaira szabott programokra van szükség, amelyek a következő elveken alapulnak:

- Aktív állomány: a kiképzésnek a folyamatos kognitív fejlesztésre, a komplex problémamegoldásra, a többdimenziós hadviselésre és a decentralizált döntéshozatalra kell fókuszálnia. A cél a „gondolkodó katona” kinevelése.
- Tartalékos állomány: a kulcs a modularitás, a rendszeresség és a motiváció fenntartása. A kiképzésnek rugalmasnak kell lennie, lehetővé téve a civil tudás hasznosítását, és rendszeres, rövid, de intenzív gyakorlatokkal kell szinten tartania a katonai készségeket.
- Mozsósított állomány: a legfőbb prioritás a sebesség és a hatékonyság. A képzésnek kizárólag a legszükségesebb túlélési és harci készségekre kell koncentrálnia, intenzív, gyakorlat-orientált modulok formájában.

Ezen eltérő igények kielégítése hatalmas terhet ró a kiképzési rendszerekre, és egyértelműen a modern technológiák, köztük az olyan szimulációk alkalmazása felé orientálják a gondolkodást, amelyek lehetővé teszik a testreszabott, költség-hatékony és gyors felkészítést.

2.1.3 A KIKÉPZÉS HUMÁN FAKTORAI: A DIGITÁLIS KOR SZÜLÖTTEI A HADSEREGBEN

A katonai kiképzés hatékonysága nem csupán a tananyagon, a módszertanon vagy a technikai felszereltségen múlik, hanem alapvetően meghatározza azt a kiképzendő állomány, azaz a fiatal generációk kognitív és szociális jellemzői. A ma hadseregbe lépő fiatalok, a Z generáció (kb. 1997-2012 között születettek) és az Alfa generáció küszöbén állók egy olyan világban nőttek fel, amelyet a mindenütt jelenlévő digitális technológia, az információkhoz való azonnali hozzáférés és az állandó online kapcsolódás jellemez. Ezek a tényezők alapvetően formálták át gondolkodásmódjukat, tanulási szokásaikat és figyelemfenntartási korlátjaikat, ami új kihívások elé állítja a hagyományos, hierarchikus katonai kiképzési rendszereket [27]. Ezen humán faktorok figyelmen kívül hagyása a kiképzés hatékonyságának csökkenéséhez, a motiváció elvesztéséhez és végső soron a haderő harcértékének gyengüléséhez vezethet.

A „digitális bennszülöttek” tanulási sajátosságai

A Z generáció tagjait gyakran „digitális bennszülötteknek” (*digital natives*) nevezik, mivel születésüktől fogva a digitális környezet természetes közegük. Ez számos, a tanulás szempontjából releváns tulajdonságot eredményezett:

- Vizuális és interaktív preferenciák: Míg a korábbi generációk a szövegalapú, lineáris információfeldolgozáshoz szoktak (könyvek, előadások), a fiatalok a vizuális, dinamikus és interaktív tartalmakat részesítik előnyben (videók, infografikák, játékok). Számukra egy hosszú, egyirányú előadás (frontális oktatás) nehezen követhető és demotiváló lehet [28]. A tanulási folyamatban aktív részvételt, azonnali visszajelzést és a „csinálva tanulás” (*learning by doing*) lehetőségét igénylik.
- Rövidülő figyelmi periódus és párhuzamos feladatvégzés: A folyamatos információáramlás és a közösségi média állandó ingerei hozzászoktatták a fiatalokat a gyors információváltáshoz és a párhuzamos feladatvégzéshez (*multitasking*). Ennek következtében a mély, hosszan tartó koncentrációt igénylő feladatok kihívást jelenthetnek számukra. Egy tanulmány szerint a Z generáció átlagos figyelmi periódusa mindössze 8 másodperc, ami jelentős csökkenés a korábbi generációkéhoz képest [29]. Ez nem azt jelenti, hogy képtelenek a fókuszálásra, hanem azt, hogy a figyelmüket lekötő tartalomnak rendkívül vonzónak, relevánsnak és változatosnak kell lennie.

- Gamifikáció és azonnali visszajelzés iránti igény: Mivel a videójátékok kultúrájában nőttek fel, a Z generáció megszokta a világosan definiált célokat, a mérhető előrehaladást (pontszámok, szintek), a folyamatos visszajelzést és a jutalmazást. Ez az elvárás a tanulási környezetben is megjelenik. A gamifikált, azaz játékelemeket (pl. pontrendszer, ranglisták, kihívások) alkalmazó képzési módszerek jelentősen növelhetik a motivációjukat és elköteleződésüket [30].

A hagyományos katonai pedagógia kihívásai

A fent vázolt jellemzők közvetlenül ütköznek a katonai kiképzés hagyományos pedagógiai modelljével, amely gyakran a következő elemekre épül:

- Hierarchikus, egyirányú információátadás: a kiképző autoriter személy, aki megkérdőjelezhetetlen tudást ad át a passzív befogadóknak.
- Ismétlésen alapuló készségfejlesztés (Drill): a mozdulatok és eljárások memorizálása hosszas, monoton ismétléssel.
- Késleltetett és gyakran negatív visszajelzés: a hibákra való fókuszálás, a pozitív megerősítés hiánya.

Ez a modell egy korábbi generáció számára hatékony lehetett, de a digitális korban kontraproduktívvá válhat. A Z generációs katona számára a monotonitás, az interaktivitás hiánya és a célok tisztázatlansága a figyelem elvesztéséhez és a tanultak gyors elfelejtéséhez vezet. A kognitív terhelés elmélete (*Cognitive Load Theory*) szerint az agy munkamemóriája korlátozott kapacitású. Ha a tananyag bemutatása (az ún. *extrinzikus kognitív terhelés*) túlságosan bonyolult vagy érdektelen, az elveszi a mentális erőforrásokat a tényleges tartalom feldolgozásától (az *intrinzikus és germán terheléstől*), így a tanulás hatékonysága csökken [29]. A hagyományos előadások magas extrinzikus terhelést jelenthetnek egy olyan agy számára, amely a gyors, vizuális ingerekhez szokott.

A figyelem és koncentráció fenntartásának modern módszerei a kiképzésben

A katonai szervezetek világszerte kezdik felismerni, hogy a kiképzési módszereket a célközönséghez kell igazítani. A figyelem és a koncentráció fenntartása a modern kiképzés egyik kulcstényezőjévé vált. Ennek érdekében számos innovatív módszer terjedt el:

- Mikrotanulás (Microlearning): A tananyagot rövid, 3-5 perces, könnyen emészthető egységekre (pl. rövid videók, interaktív kvízek, infografikák) bontják. Ez illeszkedik a rövidülő figyelmi periódushoz, és lehetővé teszi a tanulást akár mobil eszközökön is, a katona saját tempójában [30].
- Gamifikált kiképzési platformok: Olyan szoftveres megoldások, amelyek játékelemekkel teszik vonzóbbá a tanulást. Például egy lövészeti elméleti vizsgát lehet egy pontgyűjtő kihívás formájában megvalósítani, ahol a katonák versenyezhetnek egymással. Ez nemcsak a motivációt növeli, hanem a tudás mélyebb rögzülését is elősegíti [31].
- Immerzív technológiák (VR/AR): A virtuális (VR) és kiterjesztett valóság (AR) alkalmazása lehetővé teszi a katonák számára, hogy biztonságos, de rendkívül valósághű környezetben gyakoroljanak komplex eljárásokat. Egy VR szimuláció, ahol egy harctéri sebesültet kell ellátni, sokkal hatékonyabban köti le a figyelmet és mélyíti el a tudást, mint egy könyv elolvasása a témában. Ezek a technológiák maximális interaktivitást és azonnali visszajelzést biztosítanak [30].

A cél tehát nem a kiképzés „felhígítása”, hanem annak hatékonyabbá tétele azáltal, hogy a pedagógiai módszereket hozzáigazítják a 21. századi katonák kognitív működéséhez. A figyelem megragadása és fenntartása nem csupán didaktikai kérdés, hanem a harctéri siker előfeltétele, hiszen a dekoncentrált, figyelmetlen katona veszélyt jelent önmagára és társaira is.

2.1.4 RÉSZKÖVETKEZTETÉS

A gyors és hatékony gyalogsági kiképzés nem csupán taktikai szükséglet, hanem stratégiai és doktrinális követelmény a modern hadviselésben. Az orosz-ukrán konfliktus élesen emlékeztetett arra, hogy a katonai kiképzési módszerek folyamatos alkalmazkodásra és innovációra szorulnak. A hadviselés jellegének folyamatos változásával a katonai szervezeteknek rugalmasnak és reagálóképesnek kell maradniuk, és folyamatosan finomítaniuk kell képzési programjaikat, hogy megfeleljenek az új fenyegetéseknek és kihívásoknak.

A modern harctérre a gyors technológiai fejlődés, a komplex geopolitikai dinamika és a multitér (*multidomain*) hadviselés jellemző. Ez a dinamikus környezet olyan katonákat igényel, akik nemcsak magasan képzettek és fizikailag felkészültek, hanem

alkalmazkodóképesek, ellenálló és kritikus gondolkodásra képesek is. A közelmúlt háborús tapasztalatai alátámasztják, hogy a sikeres műveletek kulcsa nem kizárólag a technológiai fölényben rejlik, hanem abban, hogy mennyire felkészült, rugalmas és döntésképes az a katona, aki a fegyver mögött áll.

Ez a fejezet három dimenzió mentén világított rá a kiképzéssel szemben támasztott új követelményekre. Először, a gyalogos katona szerepe átalakult: a pusztá végrehajtóból autonóm, döntésképes operátorrá vált, akinek komplex, többdimenziós környezetben kell helytállnia. Másodszor, az állománykategóriák szerinti differenciált megközelítés elkerülhetetlenné vált: más képzési sebességet és modularitást igényel egy hivatásos, egy tartalékos és egy frissen mozgósított katona. Harmadszor pedig, a kiképzés humán faktora, különösen a digitális korban szocializálódott generációk megváltozott tanulási szokásai és figyelmi kapacitása, alapjaiban kérdőjelezi meg a hagyományos pedagógiai módszerek hatékonyságát.

A modern hadviselés komplexitása és a gyorsan változó fenyegetések szükségessé teszik a katonai felkészítés hatékonyságának és sebességének növelését. A hagyományos kiképzési módszerek gyakran időigényesek, költségesek és korlátozott lehetőségeket kínálnak a valósághű harci szituációk gyakorlására. A mai biztonsági környezet megköveteli a katonáktól a gyors alkalmazkodást és a komplex döntéshozatalt extrém nyomás alatt. A felkészítésnek ezért nem csak a katonai doktrínák és eljárások elsajátítására kell fókuszálnia, hanem a kognitív képességek, mint például a szituációs tudatosság, a kritikus gondolkodás és a stressz alatti döntéshozatal fejlesztésére is, figyelembe véve a kiképzendő generációk sajátosságait.

A gyorsabb felkészítés nem csupán a kiképzési idő lerövidítését jelenti, hanem a tanulási folyamat optimalizálását is. Ez magában foglalja a modern technológiák, például a szimulációk és a virtuális valóság alkalmazását, a személyre szabott, gamifikált tanulási módszerek bevezetését, valamint a hatékony visszajelzési mechanizmusok kialakítását. Ezen képességek gyors, költséghatékony és adaptív fejlesztésének egyik legfontosabb eszköze a jól strukturált, korszerű technológiával, szimulációval támogatott gyalogsági kiképzés. A szimulációs technológiák kiképzésben történő alkalmazhatóságának vizsgálatához viszont érdemes elemezni a

kiképzés általános követelményeit is, mivel ezek együttesen befolyásolják az elvárt (optimális) tanulás folyamatát és szintjeit.

2.2 KIKÉPZÉSEL SZEMBEN TÁMASZTOTT ÁLTALÁNOS KÖVETELMÉNYEK

Az előzőekben tárgyalt változó doktrinális követelményrendszer mellett érdemes áttekinteni azokat az általánosnak tekinthető követelményeket, amelyek a katonai kiképzés szerkezetéből adódnak. Az általános követelmények esetén már módszertani kérdéseket is érdemes vizsgálni, amelyek a tanulási elmélettel és az ahhoz felállított környezettel foglalkoznak. Ez az alfejezet ezen összefüggések mélyebb feltárására vállalkozik, felismerve, hogy a katonai doktrínák folyamatos fejlődése mellett léteznek olyan, a kiképzés szerkezetéből fakadó általános érvényű követelmények, amelyek alapvetően meghatározzák a felkészítés kereteit.

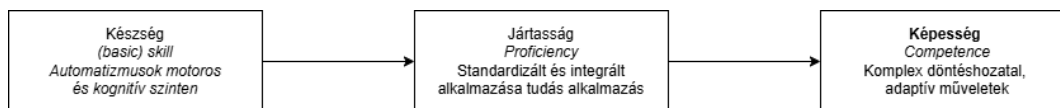
A változó doktrinális követelményrendszer és az általánosnak tekinthető követelmények közötti dinamika rávilágít egy alapvető kettősségre. A kiképzési rendszereknek egyrészt stabil, időtálló alapokon kell nyugodniuk, másrészt rugalmasan kell alkalmazkodniuk a hadviselés természetéből fakadó, folyamatosan változó kihívásokhoz. A doktrínák, mint a hadviselés aktuális értelmezésének és elveinek összessége, természetüknél fogva változnak, reagálva az új technológiai fejlesztésekre, a geopolitikai környezet átalakulására és az új típusú fenyegetések megjelenésére. Ezzel szemben bizonyos kiképzési alapelvek, mint például a tanulás fázisai, a hatékony visszacsatolás mechanizmusai, vagy a kiképzési környezet alapvető jellemzői, kevésbé változékonyak, mivel ezek az emberi tanulás pszichológiai törvényszerűségeiből és a katonai szervezet működésének alapvető strukturális jellemzőiből fakadnak. A hatékony kiképzési rendszernek ezt a két aspektust kell ötvöznie: meg kell őriznie az időtálló alapelveket, miközben módszereit és tartalmait adaptálja a változó doktrinális elvárásokhoz. Ez a felismerés hangsúlyozza, hogy a kiképzésmódszertan nem tekinthető statikus diszciplínának, hanem folyamatosan reflektálnia kell a környezeti és koncepcionális változásokra, egyfajta állandó innovációs kényszert és lehetőséget teremtve.

2.2.1 A TANULÁS KATONAI ÉRTELMEZÉSE: KÉSZSÉG, JÁRTASSÁG, KÉPESSÉG

A katonai kiképzés alapvető célja az egyének katonává formálása és harckész alegységekké történő összekovácsolása. A folyamat során az egyének, alegységek és törzsek képességeinek, jártasságainak és készségeinek kifejlesztése és fenntartása a cél. E fogalmak egy hierarchikusan építkező tanulási folyamat központi elemei, melyek a modern katonai pedagógiában szorosan kapcsolódnak a kognitív tudományok modelljeihez [32].

- Készség (Skill): a tanulás alapja; egy tanult, ismétléssel automatizált motoros, vagy kognitív folyamat, amely egy specifikus, jól körülhatárolható művelet végrehajtását teszi lehetővé. Ilyen a fegyver biztonságos kezelése vagy az elsősegélynyújtás alapfogásai. Az amerikai hadsereg doktrínái szerint az ismételt gyakorlással elsajátított alapvető készségek képezik a fejlettebb műveleti teljesítmény fundamentumát [33].
- Jártasság (Proficiency): a készségek magasabb szintű integrációja, amely a begyakorolt eljárások hatékony végrehajtását jelenti komplexebb, de még standardizált helyzetekben. A jártasság a készségek mesteri szintű alkalmazását jelenti egy adott feladatkörnyezetben, például összetett lögyakorlatok vagy begyakorolt harcászati szituációk során. A hangsúly a gyors és pontos végrehajtáson van, a tanultak alkalmazásával [33]
- Képesség (Competence): a tudáselsajátítás legmagasabb szintje, amely a készségek és jártasságok alkalmazásán túl magában foglalja a változó, kiszámíthatatlan és komplex környezetben történő önálló döntéshozatalt és problémamegoldást. A kompetencia a kognitív, fizikai és interperszonális aspektusok összehangolt működése, amely olyan meta-képességeket is felölel, mint az adaptivitás, a kritikai gondolkodás és a vezetői tulajdonságok [34]. Ideális példa erre a parancsnoki munka, amely magában foglalja a helyzetértékelést, a döntéshozatalt és a parancsok kiadását.

A gyalogsági képzésben e három szint együttes fejlesztése szükséges. A kiképzési rendszernek biztosítania kell a hierarchikus fejlődést az alapvető készségek automatizálásától a komplex, adaptív képességek kifejlesztéséig.



2. ábra A képzési folyamat céljai (Készítette: a szerző)

2.2.2 KIKÉPZÉSI KÖRNYEZET ÉS ANNAK KÖVETELMÉNYEI

A képességek fejlesztésének keretét a kiképzési környezet adja, amely egy komplex, többdimenziós rendszer. Ez egy fontos tényező, ezért elengedhetetlen megvizsgálni annak követelményeit is. A katonai kiképzési környezetek alapvető követelményei olyan doktrinális elveken és bevált gyakorlatokon nyugszanak, amelyek célja a harci hatékonyság és a műveleti készenlét biztosítása. Ezen követelmények magukban foglalják a kiképzés céljainak és alapelveinek világos meghatározását, a kiképzési környezet összetevőinek és struktúrájának kialakítását, a megfelelő oktatástervezési modellek alkalmazását, valamint a hatékony értékelési és visszajelzési mechanizmusok működtetését.

A kiképzési környezetet meghatározó alapelvek

NATO és tagállamai, köztük az Egyesült Államok, régóta kiforrott alapelvek mentén szervezik katonai kiképzési rendszereiket. A NATO oktatási és kiképzési (E&T) megközelítése holisztikus, és elsődleges célja a multinacionális erők kohéziójának, hatékonyságának és készenlétének növelése. Ennek érdekében az E&T tevékenységek négy alapvető dimenzióra összpontosítanak:

- Oktatási programok: céljuk az egyéni tudás és készségek fejlesztése, valamint a különböző kihívások kezeléséhez szükséges kompetenciák kialakítása.
- Egyéni kiképzés: specifikus feladatok és beosztások ellátásához szükséges készségek fejlesztésére irányul.
- Kollektív (kötelék) kiképzés: az egyéni kiképzés során megszerzett tudás gyakorlati alkalmazását és továbbfejlesztését szolgálja csapatszinten.
- Gyakorlatok: forgatókönyv-alapú élő, vagy számítógéppel segített szimulációk (Live or Computer-Assisted Simulations), amelyek gyakran többnemzeti részvétellel tesztelik a megszerzett tudást, és elengedhetetlenek a készenlét és az interoperabilitás fenntartásához és értékeléséhez.

Az Egyesült Államok Hadserege hasonló alapelvekre építi kiképzési doktrínáit, amelyeket elsősorban az ADP 7-0 [33] és FM 7-0 szabályzatok [35] rögzítenek. E

doktrínák értelmében a parancsnokok felelősek az egységeik kiképzéséért és a vezetők fejlesztéséért. A kiképzés három fő területre oszlik:

- Intézményi kiképzés: katonai iskolákban és kiképző központokban zajló alap- és szakmai katonai képzés.
- Műveleti kiképzés: az egységek honi bázisokon, harcászati kiképző központokban, közös gyakorlatokon és műveleti bevetések során végzett kiképzése.
- Önfejlesztés: célorientált tanulás, amely kiegészíti az intézményi és műveleti képzést, és hozzájárul a szakmai kompetencia növeléséhez.

Az amerikai hadsereg egyik központi kiképzési elve a „*Train as you will fight*” (Úgy képezz, ahogy harcolni fogsz), amely a várható műveleti környezetben és körülmények között történő kiképzés fontosságát hangsúlyozza. A kiképzési folyamatot a kiképzési menedzsment ciklus (tervezés, előkészítés, végrehajtás, értékelés) strukturálja. Kiemelt szerepet kapnak az altiszti kar (*Non-Commissioned Officers - NCOs*) tagjai, akik a katonák, kezelőszemélyzetek és kiscsoportok elsődleges kiképzői.

A parancsnoki felelősség és a kiképzés központi szerepe a katonai képességek fejlesztésében szintén hangsúlyos elem. Ezen alapelvek komplexitása megköveteli, hogy a kiképzési környezetek támogassák a különböző szinteken és területeken történő képzést, biztosítva a szükséges erőforrásokat és módszertanokat. Az interoperabilitás hangsúlyozása előrevetíti a modern követelmények között tárgyalandó multinacionális gyakorlatok és közös szabványok fontosságát.

A kiképzési környezet definíciója és összetevői

Az Egyesült Államok Hadseregének FM 7-0 [35] szabályzata szerint a kiképzési környezet olyan körülményekből, támogató erőforrásokból és időből álló környezet, amely lehetővé teszi a kiképzési feladatok jártasságig történő begyakorlását. A „körülmények” magukban foglalják a műveleti változók (politikai, katonai, gazdasági, szociális, információs, infrastrukturális, fizikai környezet és idő – PMESII-PT) azon aspektusait, amelyek a kiképzés végrehajtása során relevánsak lehetnek. Az „erőforrások” – mint például a gyakorlóterek, lőszer, alájátszók (jelölők) és a rendelkezésre álló idő – alapvetően befolyásolják, hogy a vezetők milyen típusú kiképzési környezetet választanak a tervezés során.

A modern katonai kiképzés egyik sarokköve az Élő, Virtuális és Konstruktív (Live-Virtual-Constructive – LVC) tartományok integrált alkalmazása. Az LVC-integráció célja, hogy valósághű, komplex és egyre nagyobb kihívást jelentő kiképzési forgatókönyveket hozzon létre, amelyek hatékonyan készítik fel a katonákat a modern hadviselés összetett követelményeire.

- Élő (Live) kiképzés: Valós katonák valós felszereléssel, valós fizikai környezetben hajtják végre a feladatokat. Ez a forma biztosítja a legnagyobb bizalmat a saját felszerelésben, a taktikai tudásban és a vezetési képességekben.
- Virtuális (Virtual) kiképzés: Valós katonák szimulált környezetben, szimulátorok segítségével gyakorolnak. A virtuális kiképzés lehetővé teszi a készségek biztonságos és költséghatékony fejlesztését, mielőtt azokat élő gyakorlatokon alkalmaznák.
- Konstruktív (Constructive) kiképzés: Számítógéppel generált erők és entitások (pl. ellenséges vagy baráti egységek) működnek egy szimulált környezetben, amelyeket valós katonák – jellemzően parancsnokok és törzsek – irányítanak és felügyelnek. Ez a módszer különösen alkalmas a parancsnoki- és törzsgyakorlások végrehajtására.

A különböző kiképzési segédeszközök, eszközök, szimulátorok és szimulációk (*Training Aids, Devices, Simulators, and Simulations – TADSS*) kulcsfontosságúak az LVC környezetek megvalósításában. Az LVC-IA (*LVC-Integrating Architecture*) egy olyan hálózatközpontú architektúra, amely lehetővé teszi az adatok gyűjtését, visszakeresését és cseréjét a különböző TADSS-ek, valamint a harcászati vezetési rendszerek (*Joint and Army Mission Command Systems*) között. Az LVC-IA határozza meg, hogy az információcsere hogyan történik, biztosítva a közös protokollokat, specifikációkat, szabványokat és interfészeket, amelyek elengedhetetlenek az LVC komponensek interoperabilitásához. Ezáltal a kiképzésben résztvevők közös műveleti képet láthatnak és a saját szervezeti, parancsnoki és irányítási eszközeiket használhatják a kommunikációra.

Az LVC paradigma alapvető fontosságúvá vált a modern kiképzésben, mivel lehetővé teszi a valósághűség, a komplexitás és a költséghatékonyság optimális egyensúlyának megteremtését. A különböző LVC elemek kombinálása lehetővé teszi olyan komplex,

többdimenziós kiképzési környezetek létrehozását, amelyek felkészítik a katonákat a jövőbeni multitér műveletek (MDO) kihívásaira.

Értékelési és visszajelzési mechanizmusok, mint alapvető követelmény

A katonai kiképzés hatékonyságának biztosítása és a folyamatos fejlődés elősegítése érdekében a kiképzési környezetben elengedhetetlenek a robusztus értékelési és visszajelzési mechanizmusok. Ezek közül kiemelkedik a Művelet Utáni Értékelés (*After-Action Review – AAR*), amely a katonai szervezetek értékelési folyamatának sarokköve. Az AAR egy olyan irányított elemzés, amelyet egy szervezet teljesítményéről folytatnak le megfelelő időpontokban egy kiképzési esemény, vagy művelet alatt és után azzal a céllal, hogy javítsák a jövőbeli teljesítményt. Magában foglalja a facilitátort (szinttől függően ez a kiképzésért felelős személy is lehet), az esemény résztvevőit és más megfigyelőket. Az AAR célja nem a hibák keresése vagy a felelősségre vonás, hanem a közös tanulás és a teljesítmény javítása. Összehasonlítja a szándékolt kimenetelt a ténylegesen elért eredménnyel, azonosítja a fenntartandó jó gyakorlatokat és a fejlesztendő területeket.[36]

Az AAR-oknak két fő típusa van:

- Formális AAR: erőforrás-igényes, és magában foglalja a támogató kiképzési segédeszközök, az AAR helyszínének és a támogató személyzetnek a tervezését, koordinálását és előkészítését.[37]
- Informális AAR: kevesebb erőforrást igényel, és azonnali visszajelzést biztosít a katonáknak, vezetőknak és egységeknek a kiképzés során.

Az AAR folyamata jellemzően négy fő lépésből áll.[38]

1. Mi volt a terv? A parancsnoki szándék, a kiképzési célok és a feladat standardjainak áttekintése.
2. Mi történt valójában? Az események tényszerű, részletes feltárása minden résztvevő bevonásával.
3. Miért történt úgy? Mik voltak az erősségek és gyengeségek? Az eltérések okainak elemzése, az erősségek és gyengeségek azonosítása.
4. Mit teszünk másképp legközelebb? Konkrét javító intézkedések és felelősök meghatározása a jövőbeli teljesítmény javítása érdekében.

Az AAR alapvető jellemzői közé tartozik, hogy a parancsnoki szándékra, a kiképzési célokra és a standardokra összpontosít; minden résztvevőt bevon a megbeszélésbe; nyílt végű kérdéseket használ; ösztönzi a kezdeményezést és az innovációt a standardok elérésének hatékonyabb módjainak megtalálásában; azonosítja az erősségeket és gyengeségeket; és összekapcsolja a teljesítményt a későbbi kiképzéssel. Az AAR tervezésének és végrehajtásának négy fő szakasza van: tervezés, előkészítés, vezetés és utókövetés (az eredmények felhasználása).

2.2.3 RÉSZKÖVETKEZTETÉS

A katonai kiképzéssel szemben támasztott általános követelmények biztosítják azt a szilárd alapot, amelyre a modern hadviselés kihívásainak megfelelő, adaptív és hatékony felkészítési rendszerek épülhetnek. E követelmények a tanuláselmélet és a kiképzési környezet kialakításának alapvető szempontjait ölelik fel.

A tanulási követelmények középpontjában az egyének és alegységek képességeinek szisztematikus, hierarchikus fejlesztése áll, amely a készségek (alapvető, automatizált műveletek), a jártasság (készségek integrált, hatékony alkalmazása standardizált helyzetekben) és végül a képesség (önálló döntéshozatal és problémamegoldás komplex, változó környezetben) szintjein keresztül valósul meg. Az alapvető készségek ismétlésen alapuló automatizálása és magasabb szintű integrációja elengedhetetlen a jártasság eléréséhez, míg a legmagasabb szintű kompetenciafejlesztés az adaptivitást, kritikai gondolkodást, problémamegoldó képességet és vezetői tulajdonságokat célozza, különös tekintettel a kiszámíthatatlan műveleti környezetekre. Mindezen folyamatok tervezésekor és végrehajtásakor a kognitív tudományok releváns modelljeinek és elveinek figyelembevétele alapvető.

A kiképzési környezet alapelvei és céljai tekintetében elengedhetetlen ezek egyértelmű, világos meghatározása. Fontos a holisztikus kiképzési megközelítés alkalmazása, amely kiterjed az oktatási programokra, az egyéni és kollektív kiképzésre, valamint a komplex gyakorlatokra, és átfogó kiképzési tartományokat biztosít, mint az intézményi, műveleti és önfejlesztési képzés. A „*Train as you will fight*” elv következetes érvényesítése, a lehető legrealisztikusabb kiképzési feltételek – beleértve a műveleti környezet releváns változóit – megteremtésével alapvető. A parancsnoki felelősség a kiképzés tervezésében, végrehajtásában és a vezetők fejlesztésében, valamint az altisztek elsődleges kiképzői szerepének elismerése és

támogatása szintén központi elem, csakúgy, mint az interoperabilitás fejlesztése, különösen multinacionális műveletekre való felkészülés esetén.

A kiképzési környezet struktúráját és összetevőit illetően a körülmények – beleértve a műveleti változókat –, a támogató erőforrások (kiképzési területek, eszközök, idő) és az időtényező gondos megtervezése szükséges. Az Élő-Virtuális-Konstruktív (LVC) kiképzési tartományok integrált és kiegyensúlyozott alkalmazása a realizmus, komplexitás és költséghatékonyság optimalizálását szolgálja, amit megfelelő Kiképzési Segédeszközök, Eszközök, Szimulátorok és Szimulációk (TADSS) biztosítása és hatékony felhasználása támogat. Egy robusztus LVC-Integráló Architektúra (LVC-IA) létrehozása és működtetése elengedhetetlen az LVC komponensek közötti interoperabilitás, adatcsere és közös műveleti kép biztosításához. A környezetnek továbbá képesnek kell lennie olyan komplex, többdimenziós kiképzési forgatókönyvek kidolgozására és végrehajtására, amelyek felkészítenek a jelen és jövőbeli műveleti kihívásokra.

Végül, az értékelési és visszacsatolási mechanizmusok hatékony és rendszeres alkalmazása alapvető követelmény. Ebben központi szerepet játszik a Művelet Utáni Értékelés (AAR), mind formális, mind informális formában, amelynek a közös tanulásra és a teljesítményjavításra kell összpontosítania, nem pedig a hibakeresésre vagy felelősségre vonásra. Az AAR-ok strukturált lebonyolítása – a terv, a valóság, az okok, erősségek-gyengeségek, és a javító intézkedések azonosítása – és a folyamat minden szakaszára (tervezés, előkészítés, vezetés, utókövetés) kiterjedő figyelem szükséges. Mindezekhez elengedhetetlen egy olyan szervezeti kultúra kialakítása és fenntartása, amely ösztönzi az őszinteséget, a nyílt kommunikációt és a pszichológiai biztonságot az AAR-ok során, lehetővé téve a „valós történések” feltárását és a mélyreható tanulást.

Ezek az általános követelmények képezik azt a stabil, ám dinamikusan alkalmazkodó keretrendszert, amely nélkülözhetetlen a katonai szervezetek számára, hogy sikeresen nézzenek szembe a jelen és a jövő komplex biztonsági kihívásaival.

2.3 KIKÉPZÉSI KÖVETELMÉNYEK ÖSSZEFOGLALÁSA

A gyalogsági kiképzés adaptációs kényszere a modern hadviselésben

A 21. század biztonsági környezetének radikális átalakulása, amelyet a multitér hadműveletek (MDO) és az aszimmetrikus, hibrid fenyegetések jellemeznek, alapvetően újraértelmezi a gyalogsági kiképzéssel szemben támasztott követelményeket. A hagyományos, lineáris harcterek helyett a komplex, urbanizált környezetek és a gyorsan változó műveleti feltételek kerültek előtérbe, ami a kiképzési paradigmák mélyreható újragondolását teszi szükségessé. Ez a változás, ahogyan azt az első hipotézisem is feltételezi, a korszerű hadviselés megváltozott környezeti és műveleti feltételei szükségessé teszik a gyalogos katonai állomány gyorsabb és hatékonyabb kiképzését, különösen a tartalékos erők és mozgósított személyi állomány esetében. A kiképzési rendszereknek nem csupán reagálniuk kell ezen kihívásokra, hanem proaktívan kell alkalmazkodniuk, felkészítve a katonákat a jelen és a jövő komplex fenyegetéseire.

A modern harctér és a gyalogos katona átformálódó szerepe

Napjaink műveleti környezete, amelyet a városi hadviselés, a többdimenziós műveletek (szárazföld, levegő, tenger, űr, kibertér, információs tér) és az „átlátszó harctér”, avagy a „szenzorokkal telített harcmező” jellemez, újfajta képességeket követel meg [21]. Az egyéni gyalogos katona szerepe a szigorúan hierarchikus végrehajtóból egy autonóm, kritikusan gondolkodó, gyors és önálló döntéshozatalra képes „operátorrá” alakul át. A „stratégiai tizedes” koncepciója és a „Mission Command” elve a decentralizált döntéshozatalt és a parancsnoki szándék megértésén alapuló önálló cselekvést helyezi előtérbe. Ennek megfelelően a kognitív képességek – kritikus gondolkodás, adaptivitás, stressz alatti etikus döntéshozatal – fejlesztése kiemelt fontosságúvá válik. A „*Train as you will fight*” elvének ki kell terjednie ezen kognitív és etikai dimenziókra is, nem csupán a fizikai környezet realisztikus szimulálására. Ezen megváltozott elvárások közvetlenül alátámasztják az első hipotézis azon részét, amely a „szükséges tudás elemzésének” fontosságát hangsúlyozza.

Gyorsított és differenciált kiképzési igények

A modern hadviselés dinamikája és a közelmúltbeli konfliktusok (pl. orosz-ukrán háború) tapasztalatai egyértelműen jelzik a katonai kiképzés sebességének és hatékonyságának növelése iránti sürgető igényt. A hagyományos, hosszadalmas kiképzési ciklusok válsághelyzetben elégtelennek bizonyulnak.

A különböző állománykategóriák – aktív, tartalékos, mozgósított – eltérő előképzettséggel és felkészítéshez szükséges időkerettel rendelkeznek, ami differenciált megközelítést tesz szükségessé.

- Aktív állomány: folyamatos kognitív fejlesztés, komplex problémamegoldás, MDO-képességek és decentralizált döntéshozatal gyakorlása a cél („gondolkodó katona”).
- Tartalékos állomány: gyors mozgósítás lehetősége és harctéri alkalmazhatóság a kulcs. A finn, svájci és izraeli modellek a rendszeres, moduláris és motiváló kiképzés fontosságát mutatják.
- Mozgósított állomány: a legnagyobb kihívás a minimális katonai tapasztalattal rendelkezők gyors felkészítése. A fókusz az alapvető túlélési és harci készségekre (fegyverkezelés, lövészet, TCCC, kisalegység-harcászat) helyeződik, intenzív, gyakorlat-orientált modulokban.

Ezek az igények, különösen a tartalékos és mozgósított állomány esetében a „kiképzési idők elemzésének” szükségességét és a gyors, hatékony módszerek iránti igényt támasztják alá, megerősítve az első hipotézisem. A rövidebb idő alatt komplexebb tudás átadásának paradoxona csak új, hatékonyabb technológiákkal oldható fel.

Alkalmazkodás a modern tanulóhoz, alapvető kiképzési elvek

A mai fiatal generációk („digitális bennszülöttek”) tanulási sajátosságai (vizuális és interaktív preferenciák, rövidebb figyelmi periódus, gamifikáció iránti igény) kihívást jelentenek a hagyományos katonai pedagógia számára. A kognitív terhelés elmélete is alátámasztja, hogy a tananyag átadását a célközönség befogadóképességéhez kell igazítani. Modern módszerek, mint a mikrotanulás, gamifikáció és immerzív technológiák (VR/AR) segíthetnek a figyelem fenntartásában és a hatékonyság növelésében.

A katonai tanulás hierarchikus modellje – Készség (automatizált műveletek), Jártasság (készségek integrált alkalmazása standardizált helyzetekben), Képesség (önálló döntéshozatal komplex, változó környezetben) – továbbra is alapvető. A kiképzési környezetnek támogatnia kell ezt a fejlődést, biztosítva a NATO és az USA hadereje által is alkalmazott alapelveket (pl. parancsnoki felelősség, „*Train as you will fight*”, LVC integráció, AAR). Az Élő-Virtuális-Konstruktív (LVC) környezet és a Művelet Utáni Értékelés (AAR) kulcsfontosságúak a valósághűség és a folyamatos fejlődés biztosításában.

Technológiai válaszok a modern kiképzési kihívásokra

A modern hadviselés és a kiképzendő állomány megváltozott igényei egyértelműen rámutatnak a hagyományos kiképzési módszerek korlátaira. A komplex kognitív képességek fejlesztése, a gyorsított és differenciált felkészítés, valamint a „digitális bennszülöttek” hatékony megszólítása olyan kihívások, amelyekre a jelenlegi eszközökkel csak részben lehet választ adni. Ez a felismerés, amely az első hipotézis központi eleme, egyenesen vezet a második hipotézishez, amely szerint feltételezem, hogy az alternatív valóság technológiákon alapuló, a megfelelő követelményrendszer mellett fejlesztett kiképzőrendszerek, biztosítani tudják az egyének és kislegrészek gyors és hatékony, a harc megvívásához szükséges képességeinek fejlesztését.

A következő fejezetben célom jelen eredményeim szintetizálásával, gyakorlati oldalról is jobban kezelhető technikai követelményrendszer felállítása, amely alapján különböző technológiákra és elvekre alapuló szimulációs kiképzőrendszereket hasonlítok majd össze.

3 A SZIMULÁTOR TECHNOLÓGIÁK ELEMZÉSE A KÖVETELMÉNYEK TÜKRÉBEN

Az előző fejezetben leírt eredmények már megjelöltek egy irányt, a szimulációs technológiák irányát. Általánosan és magas szinten foglalkoztam a kiképzés és a gyalogos kiképzés követelményeivel, amelyek egy dinamikusan változtatható, hatékony, moduláris jellemzőkkel rendelkező megoldásért kiáltanak. Előljáróban bátran kijelenthetjük, hogy mai világunkban a szoftver alapú szimulációs rendszerek, tervezési elveiktől és paramétereiktől függően ezeknek az elveknek meg tudnak felelni, az ilyen igényű kiképzési környezetet létre tudják hozni.

Ebből a feltételrendszerből egy olyan követelménylistát alakítok ki, amelyeket leszűkítve gyalogos kisaegységek szintjére, azok alapján a különböző, már elérhető szimulációs rendszerek értékelését el tudom végezni. Az értékelés előtt bemutatom azokat a szimulációs rendszer csoportokat, amelyek különböző technológiai alapokra épülnek, de alapvetően egyéni és kisaegység tudásfejlesztésre (is) fókuszálnak.

Célom tehát egy képzési technológiákra és azokat képviselő szimulátor rendszerekre alkalmazható értékelőrendszer felállítása. Ez az értékelőrendszer egy teljes szimulátor ökoszisztémára, mint például a Bohemia Simulations VBS rendszere, nem alkalmazható és nem is célom alkalmazni. Kivételt képeznek az elemzésből továbbá azok rendszerek, amelyek nem szoftveres technológiákat használnak, azaz nem igazán nevezhetők szimulátornak, mint például a Simunion jellegű kiképzőeszközök. Az olyan jellegű követelményeket, amelyek implicit a kiképzőeszköz céljából származnak, illetve amelyek nem értelmezhetők minden összehasonlított eszközcsoporthoz, szintén nem vettem bele az összehasonlítási értékelőrendszerbe.

Ahhoz, hogy szintetizálni és szűkíteni tudjuk a követelményeket egy értékelőrendszerre, muszáj megismerni a kiválasztott technológiákat és az azokat gyakorlati szinten is képviselő rendszereket.

3.1 LÖVÉSZETI ÉS HARCÁSZATI KIKÉPZÉSBEN HASZNÁLHATÓ KORSZERŰ TECHNOLOGIÁK

Ebben az alfejezetben a gyalogsági kiképzésben alkalmazható eltérő technológiai alapú eszközcsoportokat tekintem át, azzal a céllal, hogy későbbiekben értékelhessem őket a kiképzési követelmények szempontjából. Ezeket az információkat saját tapasztalat, dokumentációk alapján állítottam össze. Nem célom az eszközök pontos leírása, csak olyan mértékben, hogy az olvasó érzékeln tudja a későbbi értékelésem alátámasztását.

Olyan szimulátor rendszereket választottam, amelyek a gyalogsági kisleveles képzését (főleg lövészeti és harc megvívásához szükséges) egyéni alapkészségektől és a felett tudják különböző szinteken biztosítani. Ez az a terület, amely legkevésbé van támogatva a Magyar Honvédség keretein belül is szimulátorokkal, de a többi országban sem jellemző.

3.1.1 LÉZERES LÖVÉSZETI KÉPESSÉGFEJLESZTÉS

A szárazgyakorlás⁶ és célzási technikák fejlesztése a lövészség alapvető eleme. A lézeres lövsimulátorok, mint például a LaserAmmo vagy LaserShoot rendszerei, lehetővé teszik a katonák számára, hogy saját fegyverüket használva, azok módosítása nélkül gyakorolják a célzást és a tüzelést, miközben költségghatékonny és biztonságos módon fejlesztik lövészeti képességeiket. Ezek a rendszerek főleg az célzási, elsütési alapokat tanítják meg. Technikailag ezek az eszközök egy csőbe rögzíthető, a fegyver elsütésekor lézert kibocsájtó modulból és valamilyen lézer megvilágítási pontját mérő berendezésből áll. A gyakorlás történhet kivetített mozgóképen, vagy egyszerű statikus célanyagon, amelyet ért lézeres „találatok” milliméter pontosággal rögzítésre kerülnek és számítógépes programmal kiértékelhetőek.

Az ilyen rendszerek gyakorlati előnyei

- éleslövészet nélküli gyakorlás, költségmegtakarítás;
- biztonságos és bármilyen környezetben alkalmazható modulokkal is rendelkezik;

⁶ Szárazgyakorlás, amikor fegyverhasználat fogásai lőszer nélkül történnek, alapvető kezelői készségek kialakítása, gyakorlása céljából

- az elsütés szempontjából valós fegyverhasználati élmény biztosítása, azaz pontos célzási és elsütési (találati) visszajelzést ad;
- különböző szimulátorok alapját adhatja (pl. toronylövész).

Előre megállapítható gyakorlati hátrányok:

- nem kiépített környezetben korlátozódik az alapkészségek elsajátítására;
- specializált kialakítás szükséges különböző helyzetek gyakorlására;
- nagyon korlátozottan interaktív, mivel előre felvett, kivetített képet, vagy mozgóképet használ, korlátozott számú kimenettel.

Példák: LaserAmmo, LaserShot, SIRT Training Pistols



3. ábra Laser Shot rendszer⁷

3.1.2 LÉZERES GYAKORLÁS HUMÁN ELLENERŐVEL

Az ilyen rendszerek céljaikban merőben másak, mint az előzőleg vizsgált rendszer, de az általunk vizsgált képzési területet is jól lefedi, ezért érdemes bevonni az értékelésbe. Ebbe a kategóriába MILES2000, IMILES, és SAAB rendszerek tartoznak, amelyek a lézeres találatregisztráció segítségével teszik lehetővé a valósághű szituációs harcászati gyakorlást, úgy, hogy a katonák egymással szemben, élő ellenféllel gyakorolhatják a harcászati mozgásokat és a taktikai döntéshozatalt. Az ilyen rendszerek elvükben hasonlóak az egyszerű lézeres lőszimulátorokhoz, azaz a fegyverre rögzített lézert kibocsájtó eszközt alkalmaznak és a célon a lézer megvilágítását érzékelik. Ezeknél a rendszereknél viszont a találat érzékelő a katonákon helyezkedik el és a találat regisztráláshoz és értékeléshez vezeték nélküli

⁷ forrás: lasershot.com

hálózatot és központi modulokat is alkalmaznak. A technológia adottságaiból és gyakorlatok méretéből adódóan pontatlanabb a találat regisztráció.

Előnyök:

- valós harcászati szituációk szimulálása, ezzel a tudási modell több szintjét tudja lefedni;
- bevethető nagyobb léptékű alegységszintű gyakorlatok során;
- nem csak személyi fegyvereket lehet szimulálni;
- objektív találatregisztráció és kiértékelés.

Hátrányok:

- magas költségek és jelentős logisztikai igények;
- a technológiai jellegből és az érzékelők elhelyezéséből adódóan pontatlanabb találatregisztráció;
- magas szintű műszerezettség szükséges.



4. ábra Miles 2000 rendszer használat közben⁸

3.1.3 INTERAKTÍV, ÉLESLÖVÉSZET TÁMOGATÓ CÉLANYAGOK ÉS RENDSZEREK

Az éleslövészet esetén az egyik legnagyobb kihívás az interaktivitás és életszerűség biztosítása. Mivel az éleslövészetben a biztonság a legfontosabb tényező a lehetőségek nagyon erősen behatárolódnak. Több megoldás létezik az interaktivitás fokozására, ebből az egyik, az úgynevezett videólőtér, amely vetített képen, videóanyagban jeleníti

⁸ forrás: [MILES 2000 User Guide](#)

meg célokat, amely videóanyag interaktívan vagy véletlenszerűsítve változik. Ezt a technológiát nem vizsgálom, mert belátható, hogy nagyon hasonló képzési lehetőségrendszert biztosít, mint a korábban tárgyalt lézeres lövészeti képességfejlesztő rendszerek, csak költségesebben és a lehetőségek leszűkítése mellett. Szintén a képzési lehetőségek szűkössége miatt a lőtéri célmozgató rendszereket sem tárgyalom részletesebben. Amit viszont értékelésemben kiválasztottam, az az éleslövészet életszerűségét növelő szabadon mozgó célanyagok és autonóm célrendszerek, mint például a Marathon Targets mozgó célrobotjai, lehetővé teszik a dinamikus és szituációfüggő céllelküzdési gyakorlatokat. Ezek a rendszerek az éleslövészet interaktivitását növelik azzal, hogy a célok mozognak, illetve reagálnak a különböző behatásokra. Ezek technikailag távvezérelt, vagy autonóm mozgatású, illetve statikus célanyagok, amelyek különböző szenzorokkal és aktuátorokkal vannak felszerelve. Önállóan vagy programozottan mozoghatnak, reagálhatnak a zajra, találat esetén ledőlhetnek. A mozgatási és interakciós lehetőségek miatt ezért érdemes ezt a rendszert is megvizsgálni.



5. ábra Marathon Targets célanyagok⁹

Előnyök:

- ellenséges mozgások szabad szimulációja;
- éleslőszerrel, saját fegyverrel történő gyakorlás;
- helyzetfelismerési és döntéshozatali képességek fejlesztése.

Hátrányok:

⁹ forrás: [MARATHON – Autonomous Robotic Targets for Live Fire Tactical Training](#)

- magas beszerzési és üzemeltetési költségek;
- speciális lőtérkörnyezetet igényel;
- korlátozott interaktivitás.

Példa: Marathon Targets, SMART Range Solutions

3.1.4 XR TECHNOLÓGIÁJÚ RENDSZEREK

Elérkeztünk kutatásom fő fókuszomhoz az xR technológiákhoz. Jelen fejezetben egy nagyon rövid az értékelés megértéséhez szükséges áttekintést adok csak a jellemzőiről, mivel a későbbiekben a technológiát mélyebben is tárgyalom.

Előjáróban le kell szögezni, hogy az xR több rokon technológiai megoldást ölel fel, ezeket összefoglaló néven alternatív valóságnak (*xR - extended reality*) hívják. Ezen belül három jól elkülöníthető megközelítést ismerünk [39], amelyek a korábban említett:

- kiterjesztett valóság azaz AR (Augmented Reality);
- a virtuális valóság, azaz VR (Virtual Reality);
- valamint a kevert valóság, azaz az MR (Mixed Reality).

A szakirodalomban ezt a technológiai csoportot xR eszközök gyűjtőnéven említik, ahol az „x” változóként szerepel, amelyet a megfelelő betű helyettesít (xR, ahol az x lehet V, A, vagy M, tehát: VR, AR, MR stb.). Ezeket az eszközöket alternatív valóságot biztosító rendszerekként is ismerjük. Bár felhasználásuk célja eltérő lehet, a működésük közös technológiai alapokon nyugszik, és az interakció módja is hasonló. A virtuális valóság rendszereknek többféle klasszifikációját is megtalálhatjuk a szakirodalomban [12], de én most és a későbbiekben az e szerint a felosztás szerint osztályozom és vizsgálom őket.

Legfontosabb jellemzőjük, hogy az előző kiképzőrendszerekhez képest teljesen szoftveralapú környezetben végezhető a gyakorlás, mivel a rendszer kimeneti csatornái (kép és hang) közvetlenül az érzékszervekre hatnak, és háromdimenziós (sztereoszkópikus) képet és térhatású hangot biztosítanak.

Az xR alapú szimulációs rendszerek teljesen vagy részlegesen át tudják alakítani a gyakorló által érzékelt környezetet, így olyan háromdimenziós taktikai szituációkat tudnak szimulálni, amelyet más rendszerek nem képesek. Megfelelő tervezés és a technológia korlátainak figyelembevétele mellett széleskörűen és számos előnnyel

alkalmazható a vizsgált képzési területen [40]. Mint ahogy előrevetítettem a későbbiekben mélyebb vizsgálat alá vetjük ezt a területet, de addig is az értékelés szempontjából érdemes áttekinteni előnyeit és hátrányait.



6. ábra Magyar fejlesztésű GTS rendszer¹⁰

Előnyök:

- Teljes harctéri környezet szimulálható;
- Gyorsan telepíthető, alacsony logisztikai igényekkel;
- Költséghatékony;
- Könnyen bővíthető és testre szabható;
- Immerzív és interaktív.

Hátrányok:

- Korlátozott lökiképzési lehetőségek;
- A feladathoz szabott méretű üres fizikai térre van szüksége.

Példák katonai rendszerekre:

¹⁰forrás: Infinit Simulation Kft., Pápai Joci Photo

- DSTS (Dismounted Soldier Training System) – Egyéni és alegységszintű VR-alapú harcászati képzés, nagyon korai VR technológia;
- VIRTSIM – Kötött helyszínű teljes testkövetéses VR harci szimuláció, kifejezetten beavatkozó egységek számára;
- GTS (Gun Tactical Simulator) – Több platformmal integrálható XR rendszer, amely élethű szituációs képzést biztosít.

3.1.5 ÖSSZEGZÉS

Vizsgálatomhoz a tapasztalatok alapján négy különböző technológiájú gyalogos lövészeti és harcászati kiképzésre alkalmas rendszert választottam, amelyek közül az xR rendszerek, mutathatnak olyan rugalmasságot, amely a kiképzési követelményrendszereknek a legnagyobb mértékben megfelel. A későbbiekben ezen rendszertípusok értékelésén keresztül kívánok eljutni az xR ezen belül is a VR rendszerekig, mint jól alkalmazandó megoldásokig a gyalogsági képzés mereformálására.

3.2 SZIMULÁCIÓS RENDSZEREK KÖVETELMÉNYEINEK SZINTETIZÁLÁSA ÉS SZÚKÍTÉSE

A gyalogsági kiképzés egyedi kihívásokat rejt magában, amelyeket a szimuláció segíthet leküzdeni: az éleslövészet biztonsági korlátai, a lőszer- és lőtér-idő költségei, a változatos műveleti környezetek reprodukálásának nehézsége, valamint a komplex forgatókönyvekben, stresszhelyzetben történő döntéshozatal gyakorlásának szükségessége.

Ebben az alfejezetben, főleg, de nem kizárólag az eddig feldolgozott irodalmak alapján kívánom feltárni a szimulációs rendszerekkel szemben támasztott elvárásokat. Ezeket, ahol lehet, értelmezem az egyéni és kislegeység szintű lövészeti és harcászati képzés szintjén is. Ezen értelmezés alapján pedig már meghatározom a rendszerek értékelési szempontjait is. Az lebontást úgy végeztem, hogy a követelmények alapján a szükséges elvárásokat már gyakorlati szintre hoztam, hogy a vizsgálandó kiképzőeszköz technológiákra vonatkoztathatóak legyenek. Nem sikerült teljes egyértelmű lebontást alkalmaznom, mivel a korábbiakban feltárt követelmények sok esetben túl általánosak, valamikor pedig nem pont illeszthetőek gyakorlati oldalra. Emiatt azt a megközelítést választottam, hogy a rendszerekkel szemben támasztott

értékelési szempontokként tagoltam az írásomat és azokhoz igyekeztem csatolni a korábban feltárt követelményeket. Az minden alfejezet végén leírom az értékelési szempontot, az értékelés módját és skáláját.

3.2.1 TUDÁSSZINT SZERINTI KÖVETELMÉNYEK

A szimulációk tudásszint szerinti alkalmazhatósága a gyalogsági kiképzés alsóbb és felsőbb szintjein is értelmezhető, ezeket az kiképzéssel és szimulátorokkal szembeni elvárások minden szintjén megfigyelhettük. A megváltozott követelmények között láthattuk, hogy a kognitív képességek fejlesztése már az egyesharcos képzésben is fontos lett, így a szimulátoroknak előnyös a teljes spektrumot lefednie. Noha a vizsgált eszközök adott célfeladatra lettek tervezve, ez az értékelési szempont mindenképpen releváns. A vizsgált területen tehát fellelhetjük a tanulási modell mindhárom szintjét:

- Egyéni készségek fejlesztése, amely jelen esetben a lövészet, fegyverkezelési, vagy harctéri sebesültellátási (TCCC) készségeket jelenti.[41]
- Kisalegység-harcászati képességek gyakorlása, mint raj- és szakaszszintű manőverek, kommunikáció, koordináció. [42]
- Döntéshozatali képességek fejlesztése, amely a korábban tárgyalt dinamikus környezettel való boldogulást segíti, ilyen lehet a reagálás gyakorlása lesállításokra, improvizált robbanószerkezetekre (*IED*), civilek jelenlétére, harci szituáció drasztikus megváltozására.

A technológiákat értékelni fogom aszerint, hogy a fentiek szerinti készség, jártasság, képesség hármából melyeket támogatják, támogathatják.

3.2.2 VALÓSÁGHŰSÉG

A szimulációk alapvető célja a valóság modellezése, a valóság érzetének megteremtése emiatt a rendszernek képesnek kell lennie élethűen modellezni a harcászati, környezeti és technikai tényezőket (pl. terep, időjárás, ellenség viselkedése)¹¹. Itt az értékelési szempontokat két részre bontanám, amelyek valamelyest kapcsolódnak, de a technológiai különbségek miatt érdemes külön vizsgálni őket:

- az interaktivitás szintje milyen, azaz a gyakorlatot végrehajtó katonák döntései, cselekedetei teljesítménye mennyire befolyásolhatják a gyakorlat menetét.

¹¹ TRADOC 350-70-13 TP350-70-13.pdf ; NATO MSG-085 Final Report, 2013.

- a rendszer mennyire képes immerzív kiképzést nyújtani, azaz egy átlagos felhasználó mennyire éli bele magát a gyakorlatba, mennyire érzi magát a valós hadszíntéren, mennyire indukál a technológia harctéri stresszt. Ez a tényező természetesen kapcsolatban van az interaktivitás szintjével is.

Ez a két tényező nemcsak a harctéri tapasztalás miatt fontos, hanem a humán faktorok vizsgálatánál feltárt követelmények miatt is. A két szempontot három szintű skálán értékelem főleg egymáshoz viszonyítva.

3.2.3 VISSZACSATOLÁSI KÖVETELMÉNYEK (HATÉKONYSÁG)

A visszacsatolást, mint követelményt az általános követelmények között tárgyaltuk részletesebben. A szimulációs rendszerekben a formális AAR támogatása már alapkövetelménynek számít és mind a négy kategóriában valamilyen szinten jelen van. Ezért azt értékelem, hogy az AAR-t a rendszer milyen szinten képes támogatni és részben automatizálni. Ennek a funkciónak kiterjedt követelményrendszere van a lefolytatással és a technikai támogatással kapcsolatban és erősen támaszkodik a kiképzők, kiképzést vezetők munkájára, szaktudására. Ez a szükséglet továbbra is meg kell, hogy maradjon, de belátható az is, hogy a humán faktor torzíthatja a visszacsatolás hatékonyságát. Egy egész napos gyakorlat során nem csak a kiképzés alanyai, hanem a kiképző is fárad, a visszajelzések hiába adatalapúak, a részletesség és következtetések levonásának pontossága csökkenhet. A rendszereket tehát úgy vizsgálom, hogy milyen számosságú adatot gyűjt, mennyire tudja azt rendszerbe foglalni, milyen szinteken képes automatizáltan feltárni a végrehajtó hibáit, a hibák javítására tud-e sablonszerű javaslatokat adni. Ez önmagában is egy összetett vizsgálatot igényel ezért a vizsgált rendszereket egymáshoz viszonyítva a három szintű skálán helyezem el őket.

Historikus adatrögzítés lehetősége

A historikus adatrögzítés bármilyen szoftver alapú rendszerhez kapcsolható viszont vizsgálni érdemes, hogy a rendszer önmagában képes-e ezt elvégezni, illetve elégséges adatot gyűjt-e hosszútávú következtetések levonásához. Az összehasonlító skálám ezért nincs, korlátozottan és „igen” (azaz „van”) lett. Magasabb szinten vizsgálva az adatgyűjtés és AAR funkcionalitást, a szimulációs rendszerek bevezetése katalizátorként hathat a gyalogság doktrinális fejlődésére és a „Harcászati fogások”, Technikák és Eljárások (*Tactics, Techniques, and Procedures* – TTP) fejlesztésére már

raj szinttől kezdve. Azáltal, hogy rugalmas és pontosan ismételhető környezetet biztosítanak új megközelítésekkel való kísérletezéshez, a szimulációk segíthetnek finomítani, hogyan harcolnak a gyalogos egységek.

3.2.4 KIKÉPZÉSI VOLUMEN ÉS SKÁLÁZHATÓSÁG

Alapkövetelmények közé tartozik, hogy a rendszernek rugalmasan kell kezelnie a résztvevők számát és a gyakorlat összetettségét [43]. Ezt a két külön dimenziót ezt három külön értékelés szempontként írtam fel.

- Nagy kiképzési volumen kezelése: képesnek kell lennie egyéni vagy csoportos képzések végrehajtására, akár párhuzamosan is, a lekevesebb átkonfigurálási idővel, illetve különböző kiképzendő csoportok között eltelt idővel. Ennek fontos része az is, hogy a rendszert lehet-e használni a külső körülményektől, időjárástól, napszaktól függetlenül. Ezek alapján a paraméterek alapján megmondható, hogy technikailag a kiképzőeszköz milyen arányban használható ki a rendelkezésre álló képzési időben. Ezt az értéket is egymáshoz viszonyítva egy három szintű skálán vizsgálom, azaz ahol egy gyakorlat előkészítéséhez, a rendszer telepítéséhez, vagy átkonfigurálásához sok idő szükséges, ami miatt egy kiképzési nap során nem lehet többféle gyakorlatot végrehajtani, ott a kiképzési volument alacsonyra értékelem. Annak ellenére, hogy a MILES rendszer beüzemelési és átállási ideje viszonylag magas, vizsgálata során közepesre értékeltem, mert egyszerre nagyobb kötelékek képzését végzi.
- Modularitás: a rendszer támogatja-e, azaz az alrendszerek (pl. fegyveres interakció, kommunikáció, berendezések szimulációja) külön-külön vagy együttesen is használhatók-e.
- Elosztott (disztributált) szimulációs képesség: vizsgálom, hogy a rendszereket lehet-e nagyobb szimulációba fűzni azonos rendszerekkel. Ez lehetővé teszi a kötelékek közötti versengést, a *force-on-force* gyakorlatokat, illetve adott feladatra nagyobb volumenű képzést tesz lehetővé. A rendszer tehát alkalmas-e földrajzilag eltérő helyszíneken történő egyidejű gyakorlatokra hálózaton keresztül (*Distributed Training Environment*).

3.2.5 KÉPZÉSI KÖTELÉK MÉRETE

Az általános igények között is felmerült, hogy a különböző méretű kötelékekben végzett gyakorlatok értelemszerűen más számú és szintű ismeret elsajátítást igényelnek, így minél nagyobb a kötelék, annál komplexebb a tudásátadás. Értékelem, hogy mekkora kötelék egyidejű képzésére ad egyidejűleg lehetőséget a rendszerekkel végzett gyakorlat a rendszer alapkiépítésében és esetleges összekapcsolása esetén. Az értékelés az egyéntől zászlóalj szintig terjedhet.

3.2.6 KIKÉPZÉS HELYSZÜKSÉGLETE

Ez egy olyan gyakorlati értékelési szempont, amely nagyban függ a kiképzési eszköz céljaitól. Alapvetően a már alegység szinten is alkalmazható MILES2000 rendszer egy teljes gyakorlóteret igényel, míg a raj szinten optimálisan felhasználható rendszerek kisebb helyet is beérik. Mivel ez nem számosítható, az értékelés során azt vizsgáltam három szintű skálán, hogy mennyire van szükség kiépített gyakorlóterre, speciálisan kialakított területre.

3.2.7 GYAKORLAT KÖLTSÉGEI

Nem vizsgálom a rendszer egyszeri bekerülési árát, hanem az üzemeltetési, illetve egy gyakorlat levezényléséhez szükséges befektetett energiát értékelem, ami tartalmazza az anyag, idő és kiképzési anyag szükségletét. Több korábban tárgyalt jól belátható alapkövetelményből származik az értékelés rendszerem felbontása:

- Alacsony karbantartási igény: azaz rendszer alacsony fenntartási igényű, gyorsan javítható és frissíthető (szoftver esetén). Ebbe beletartozik a helyszíni javítás, tartalom-újrafelhasználhatóság: azaz a scenáriók és tananyagok újrahasználhatók és testreszabhatók-e.
- Eszközigényt és logisztikát csökkenti-e a hagyományos képzéshez képest: A legtöbb szimulátor előnye, hogy nem igényel fizikai lőteret, járművet, lőszert – ezek költségmegtakarítást eredményeznek, a költségcsökkenés mérete, mint pár, előbbi esetben is megfigyelhettük, természetesen függ a rendszer alapvető céljától.

Ez az értékelés nem pontos számításon alapul, csupán egy összehasonlító képet ad a rendszerek használatának költségeiről, amit két szintű skálán értékelek: alacsony vagy magas. Az alacsony költség alatt értem, hogy nincs szükség (vak)lőszerre, utazásra

vagy biztosító lőtérbiztosító személyzetre, döntnökökre, logisztikára, illetve hosszadalmas, vagy költséges karbantartásra.

3.2.8 INTEROPERABILITÁS

Az interoperabilitás és szabványosítás vizsgálata rávilágít a NATO STANAG 4603 (*High Level Architecture* – HLA) [44] megfeleléség szükségességére. Az HLA nem csupán egy technikai szabvány, hanem komplex, többszintű és potenciálisan multinacionális elosztott szimulációk – mint amilyeneket az STE (*Synthetic Training Environment*) is vizionál – alapvető lehetővé tévője. Az HLA a szimulációk föderációjának szabványa, ami kulcsfontosságú a jövőálló rendszerek számára, amelyek képesek nagyobb, közös kiképzési környezetekben való részvételre. Egy Közös Szintetikus Környezet (*Common Synthetic Environment* – CSE) fontosságát is hangsúlyozni kell, amelyet az STE Kiképzési Szimulációs Szoftvere (*Training Simulation Software* – TSS) és az Egy Világ Terep (*One World Terrain* – OWT) tesz lehetővé. Ez biztosítja, hogy minden résztvevő egy konzisztens és korrelált virtuális világban működjön. A TSS a CSE alapvető szoftvere, az OWT pedig a globális terepet biztosítja, ami a realizmus és a kollektív kiképzés során a közös helyzetértékelés kulcsfontosságú követelménye. Ez esetünkben azt jelenti, hogy fejlesztéssel, vagy a „dobozból kivéve” részt tud-e venni ilyen ökoszisztémában. Ez a vizsgálati jellemző nem összetévesztendő az azonos rendszerek összekapcsolása által kiépített elosztott kiképzéssel.

3.2.9 TANULÁSI GÖRBE ÉS ERGONÓMIA

A kiképzőrendszer tanulási görbéje meghatározza, hogy az azt kezelőknek és használóknak milyen elméleti és gyakorlati tudást kell elsajátítaniuk, ezért a kiemelt figyelmet érdemes fordítani az egyszerű, intuitív használhatóságra. Ez is egy olyan alapelv, amely szerint a katonának nem a szimulátor kezelésére, hanem a feladatra kell koncentrálnia, a kiképzőket a szimulátor pedig segíti, és nem annak kiszolgálására kell fordítaniuk energiájukat. A cél a "zero-learning-curve", azaz a rendszer használatának elsajátítása egyáltalán ne vonjon el figyelmet és energiát a résztvevőktől, ami a „*train as you will fight*” alapelvet is alátámasztja, miszerint nem lesznek olyan beidegződések, amelyek a szimulátor használata során alakulhatnak ki. Értékelésemben vizsgálom, hogy a rendszer telepítése, használata, a kiértékelés

használata mennyire intuitív, ergonomikus, energiaigényes. Az értékelési skálám itt is egymáshoz viszonyított, három szintű.

3.2.10 TOVÁBBFEJLESZTHETŐSÉG

A szimulációs rendszerek fejlesztési folyamatának kritikus követelményét jelzi: felhasználóközpontúnak és agilishoz kell lenniük annak érdekében, hogy hatékonyan megfeleljenek a harcosok igényeinek, és képesek legyenek alkalmazkodni a gyorsan fejlődő technológiához és taktikához. Az STP¹²-k, MVP¹³-k és agilis módszerek alkalmazása az STE fejlesztésében nem a szimulátor közvetlen funkcionális követelménye, hanem egy metakövetelmény arra vonatkozóan, hogyan kell ilyen komplex rendszereket fejleszteni annak biztosítása érdekében, hogy azok megfeleljenek a célnak. Ez azt jelenti, hogy a szimulátorok mögött álló beszerzési és tervezési filozófia ugyanolyan fontos, mint azok technikai specifikációi. Az értékelésem során ezért azt vizsgáltam, hogy mennyire nehézkes egy újabb funkcionalitást kifejlesztését kezdeményezni felhasználói oldalról. Természetesen erre a például vett, később tárgyalt, magyar fejlesztésű rendszer esetében nyilvánvalóan sokkal nagyobb esély van, ezért azt is vizsgáltam, hogy elméletben mennyire csatolható vissza a Magyar Honvédség saját igénye a fejlesztésbe, bármilyen nemzetiségű gyártó esetén.

3.2.11 EGYÉNI TELJESÍTMÉNYMÉRÉS ÉS ADAPTÍV GYAKORLATOK

A kiképzés humán faktorának elemzése során egyértelmű követelmény, hogy az adott rendszer képes-e objektív módon mérni, visszakereshetően rögzíteni és kiértékelni az egyéni eredményeket, hogy azt fel tudja használni arra, hogy adaptív képzési terveket készítsen egyénre szabottan. A *learner centric approach*, azaz a tanuló központú oktatás még a szimulátorok esetében sem terjedt el széleskörűen, pedig az adaptív képzések a gyorsabb fejlődés alapjai. A rendszereket ebből a szempontból a visszacsatolási értékeléshez hasonlóan vizsgálom, tehát gyűjtenek-e elegendő és elég

¹² STP (Soldier Touch Points), Katona érintési pontok: A katonai beszerzési és fejlesztési folyamatba integrált, strukturált eseménysorozat, amelynek célja a végfelhasználó katonák általi korai és folyamatos gyakorlati visszajelzés gyűjtése az új haditechnikai eszközökről.

¹³ MVP (Minimum Viable Product), Minimálisan életképes termék: Egy új termék vagy szoftver azon legkorábbi verziója, amely már rendelkezik az alapvető funkciókkal ahhoz, hogy a korai felhasználók számára értéket nyújtson és visszajelzést gyűjtson a további fejlesztéshez.

részletes egyéni és kötelék végrehajtási adatot ahhoz, hogy az adaptív képzést megvalósítsák.

3.2.12 GAMIFIKÁCIÓ, VERSENGÉS TÁMOGATÁSA

A gamifikáció a megváltozott humán faktor miatti képzési kihívások által indukált követelmény. A figyelem lekötése, a motiváció megtartása napjainkban fontos kihívás. Azt vizsgálom, hogy a rendszerek gyakorlati szinten közvetlenül tudják-e támogatni a katonák közötti versengést. Ez alatt azt értem, hogy a hagyományos gyakorlatokban alkalmazott három-négyszintű skálákon túl képes-e olyan adatokat szolgáltatni amelyek megfelelően granuláltak és objektíven összehasonlíthatóak, ami versengésre és egyéni fejlődésre motiválja a kiképzendőket. Értékelésemhez három szintet állapítottam meg: igen, nem, kiépítéstől függő.

3.2.13 ÖNKÉPZÉSI, ÖNFEJLESZTÉSI LEHETŐSÉG

A gamifikációból is adódóan a katonák képzési időben vagy azon túl, tudják-e úgy működtetni a kiképzési rendszert, hogy úgy hajthassanak végre gyakorlatokat, hogy a kiképző jelenléte nélkül se legyen rossz tudásátadás. Ezt már korábbiakban is vizsgált paramétereken keresztül tudom értékelni, azaz rendelkezik-e automatikus kiértékeléssel (kiképző jelenléte nélküli hibafeltárás és visszacsatolás), és nem okozza a készségek, képességek rossz tanulását.

3.2.14 ÉRTÉKELÉS ÖSSZEGZÉSE

Az előző fejezetekben tárgyalt követelményeket kiegészítettem, szintetizáltam és ráillesztettem a jelen fejezet elején tárgyalt technológiára épülő kiképzőrendszer megoldásokra.

Táblázatos összefoglalás

Ezen értékelő rendszer alapján, az áttekinthetőség kedvéért színekkel jelöltem a minőségi szinteket, ahol a zöld előnyöst jelent, sötétzöld jelzi a nagyon előnyös tulajdonságokat, a sárga pedig a negatív tulajdonságokat. Ahol pontos tapasztalatok és adatok nem álltak rendelkezésre a következtetéseket korábbi tapasztalataimból, nyílt forrásokból és felhasználók tapasztalataiból végrehajtott kutatásom alapján vontam le. A követelményeknek való megfelelést összeolvasztva, a következőképpen határoztam meg:

Rendszer technológia	Lézeres lősimulátor	Lézeres kötélék gyakoroltatás	Interaktív éleslövészeti	xR szimulátorok
Vizsgált rendszer	<i>LaserShot</i>	<i>MILES2000</i>	<i>Marathon Targets</i>	<i>GTS</i>
Tudásszint fejlesztése	készség	készség, jártasság, képesség	készség, jártasság	készség, jártasság, képesség
Valóság-hűség				
Interaktivitás	alacsony	magas	közepes	magas
Immerzivitás	közepes	magas	alacsony	magas
Visszacsatolás minősége	közepes	közepes	alacsony	magas
Historikus adatrögzítés	korlátozottan	korlátozottan	nincs	igen
Kiképzési volumen	magas	közepes	alacsony	magas
Modularitás	nem	igen	igen	igen
Hálózatos alkalmazás lehetősége	nem	igen*	nem	igen
Kötél méret	raj	zászlóalj*	raj	raj, szakasz, század**
Helyszükséglet	alacsony	magas***	közepes	közepes***
Gyakorlat költségek	alacsony	magas	magas	alacsony
Interoperabilitás	nem	igen	nem	igen
Tanulási görbe, ergonómia	lapos, magas	közepes, közepes	alacsony	lapos, magas
Könnyű továbbfejlesztettség	igen	nem	nem	igen
Egyéni teljesítménymérés, adaptivitás	korlátozott	korlátozott	nem	támogatott
Gamifikáció támogatása	kiépítéstől függő	nem	nem	igen
Önképzési lehetőség	igen	nem	nem	igen

Színkódok:

előnyös
közepes
hátrányos

Megjegyzések: * verzió és eszköz kérdés

**hálózatos kiépítésben

*** jellegéből adódóan

1. táblázat Szimulációs technológiák összehasonlítása (Készítette: a szerző)

Az 1. táblázatból látszik, hogy a különböző technológiai megoldások más-más területen emelkednek ki hatékonyságukkal. A legígéretesebb technológia a gyalogos harcászati képzés modernizálására az xR, ezen belül is a VR technológia.

xR szimulátor példa elemzése

A későbbi fejezetekben az xR rendszerek technológiai elemzése lesz a célom, amelyben jelen megállapításaimat megalapozottságát erősítem, de addig is összefoglalásképp érdemes a fenti vizsgálatot részletesebben kifejteni a példaként

említett GTS rendszerre vonatkoztatva. A GTS egy teljesen magyar fejlesztésű VR technológiára alapuló harcászati kiképző rendszer, amellyel a katonák többek között személyi fegyver használatát, taktikai döntéshozatalt, és a gyalogos raj szintű harcászati feladatokat tudnak gyakorolni valóság-hű környezetben. A fenti elemzésből látszik, hogy minden követelménynek közepesen, vagy jól meg tud felelni egy ilyen technológiára épülő rendszer. A rendszer fő része egy saját fejlesztésű szoftver, amely moduláris és azt a kiképzési igények szerint bármilyen irányba tovább lehet fejleszteni, ami nagy rugalmasságot ad a legtöbb vizsgált követelménnyel kapcsolatban. A fejlesztési és tesztelési tapasztalatok alapján a következő megállapításokat tehetjük.

A GTS széleskörű képességfejlesztést tesz lehetővé, a személyi fegyverhasználatról kezdve a komplex taktikai döntéshozatalig és a parancsnoki feladatok gyakorlásáig. A virtuális környezetben a katonák gyakorolhatják a célzást, a fedezékhasználatot, a mozgást, a kommunikációt és az együttműködést különböző scénáriókban. A rendszer lehetőséget ad a hibákból való tanulásra kockázatmentes környezetben, ami hozzájárul a gyorsabb és hatékonyabb tanulási folyamathoz. A szimulált környezetek változatossága és a nehézségi szint beállíthatósága lehetővé teszi a képzés személyre szabását és az egyéni fejlődés nyomon követését.

A rendszer skálázható, alapvetően 4-8-12 fős szettek elérhetők vagy lesznek elérhetők a közeljövőben. Nagyobb méretű kötelékek egyidejű képzését is támogatja, ha a rendszerek hálózaton keresztül (pl. internet + VPN) összekapcsolásra kerülnek.

A rendszer működéséhez csak elektromos áram szükséges, a megfelelő karbantartás mellett ez az egyetlen költsége. Nincs szükség lőszerre, célanyagokra, üzemanyagra, lőtérhasználatra és egyéb kapcsolódó logisztikai költségekre. Virtuális környezetben a kiképzés bármikor és bárhol végrehajtható, ami minimalizálja az utazási költségeket is.

Egy 2-4 fős GTS rendszer 30 perc alatt üzembe helyezhető és a virtuális környezetek, az előre beépített feladatok könnyen konfigurálhatók, indíthatók. Nincs szükség bonyolult előkészületekre, mint például a lőtér berendezése, vagy a célanyagok elhelyezése. Ez jelentősen lerövidíti az előkészítési időt és lehetővé teszi a kiképzés rugalmasabb tervezését.

A GTS rendszerhez szükséges műszerezettség viszonylag egyszerű. A katonáknak VR szemüvegre, egy instrumentált fegyverre, valamint a rendszer fő egységére

(számítógépek) van szüksége. Ez lényegesen kevesebb berendezést igényel, mint a hagyományos kiképzéshez szükséges eszközök.

A gyakorlatok lefolyását a rendszer rögzíti, valamint valós időben értékeli. Az értékelésbe automatikusan bekerül a biztonsági rendszabályok megsértésétől (tüzelési szektorok), a lövészeti hatékonyságon át (találatok száma, helye), a harcászati fogások kivitelezéséig minden olyan adat, amely objektíven mérhető. Ezeket a kiképző összegezve vagy eseményenként, idővonalon meg tudja jeleníteni, át tudja tekinteni. Az egész végrehajtást is szabadon, bármilyen szögből vissza lehet nézni, meg lehet állítani, így a hibák tényyszerű feltárására, azok okainak elmagyarázására jó lehetőséget ad.

A rendszer lehetőséget ad az önálló gyakorlásra a kiképzési időn kívül is. A katonák szabadon gyakorolhatják a különböző harcászati feladatokat és fejleszthetik képességeiket a virtuális környezetben. Ilyenkor ugyanazon a felületen, amelyet a kiképző is használ, minden adatot, hibát, eseményt át tud tekinteni, visszanézni, azokat akár önállóan is tudja javítani.

A rendszer támogatja a „gamification” elemeket, ami növeli a motivációt és a katonák elkötelezettségét. A feladatvégrehajtások mindig objektíven kerülnek értékelésre, így önképzési időben a katonák versenyezhetnek egymással, ami ösztönzi őket a jobb teljesítményre és a folyamatos fejlődésre. A rendszer erre biztosít kiképzési értékkel is bíró külön feladatokat, de a kiképzési feladatok is jól használhatók erre a célra.

A GTS rendszer részletes adatokat rögzít adatbázisba a katonák teljesítményéről, amelyek objektíven összehasonlíthatók, illetve egyéni fejlődésük követhető.

A rendszer folyamatosan képes üzemelni, a gyakorlatok közötti, illetve a gyakorlók közötti váltás legfeljebb percekot vesz igénybe, ezért nagy létszámban eltérő szintű és feladatú katonák folyamatos képzése is lehetséges. A rendszerhez tartozó akkumulátoros eszközök 4-8 órán keresztül tudnak üzemelni, de a tartalék akkumulátorok forgatásával ez 4 óránként 2 perc akkumulátor csere miatti leállást jelent.

A célok, környezet folyamatosan változhat a feladatban résztvevő egyén döntései és teljesítménye alapján. Ezen felül a kiképző részére további funkciók állnak rendelkezésére, hogy nehezítsék, vagy könnyítsék a végrehajtó feladatát. Ilyen lehet

például, újabb célok vagy támadók megjelenése, füst vagy villanógránát robbanása, illetve akár fegyvertelen civilek harcmezőn történő megjelenése.

A VR technológia miatt a katonák mélyen beleélhetik magukat a virtuális környezetbe. A technológia alaposabb vizsgálata során erre kitérek, de a Nemzeti Közszerolálati Egyetemen végzett tesztek is alátámasztották ezt a felvetést.

A rendszerhez sík padlójú hálózati áramszolgáltatással rendelkező terem vagy csarnok elégséges. Semmilyen más eszköz vagy szolgáltatás nem szükséges az üzemeltetéséhez.

3.3 ÖSSZEGZÉS, KONKLÚZIÓ

Mint láthattuk, a katonai lövészeti és harcászati kiképzés hatékonyságának növelése napjainkban kulcsfontosságú. Mind a hagyományos kiképzési módszerek, mind a modern technológiával támogatott rendszerek számos korláttal rendelkeznek a költségek, a logisztika, a biztonság és a rugalmasság tekintetében. Az alternatív valóság (xR), ezen belül is a példaként használt virtuális valóság (VR) technológia viszont a fenti követelményrendszer tükrében vizsgálva képes lehet áthidalni ezeket a korlátokat. Hatékonyabb, költségkímélőbb és rugalmasabb kiképzési lehetőséget kínál az egyének és a kislegrységek számára. A VR technológia fejlődése az elmúlt évtizedben elérte azt a szintet, amely lehetővé teszi a célzott harcászati képzés támogatását, miközben minimalizálja a kiképzőkre, a kiképzés alanyaira és az üzemeltetőkre nehezedő terheket. Ez a szakasz egyértelműen amelltt érvel, hogy az előző elemzések és az összehasonlító táblázat alapján az xR technológiák (és különösen a VR) tűnnek a legokoldalúbbnak és legígéretesebbnek a modern gyalogsági kiképzés sokrétű igényeinek kielégítésére.

Nincs egyetlen „csodaszer” technológia; inkább egy optimális kiképzési stratégia valószínűleg e technológiák *keverékét* foglalja magában, mindegyiket arra a célra használva, amelyre a leginkább alkalmas (pl. lézeres kiképzőeszközök az alap lövészethez, VR a komplex taktikai döntéshozatalhoz, éleslövészet a végső validáláshoz nyújt segítséget). A kihívás az integrációban és a sorrendiségben rejlik, de látszik, hogy a követelményekre vetítve VR technológia kiképzési értéke a legnagyobb ebben a láncban. Azt is láthatjuk, hogy a bemutatott technológiáknak megvannak a maga előnyei és hátrányai, amint azt táblázatban is összefoglalom. A

lézerek rendszerek költséghatékonyak az alapokhoz, de hiányzik belőlük a taktikai kontextus. A MILES rendszer erő-erő elleni gyakorlást kínál, de korlátozott hűséggel. Az éleslövészet elengedhetetlen, de költséges és kockázatos. Az xR immerzív taktikai forgatókönyveket kínál, de a tiszta lövészeti hűség terén korlátai lehetnek a specializált éleslövészeti vagy lézerek eszközökhöz képest. Ez egy holisztikus megközelítés szükségességét jelzi, nem pedig egy „vagy-vagy” döntést.

A táblázatban szereplő „gyakorlatonkénti költség” kritériumot egy tágabb „teljes birtoklási költség” és „kiképzési érték” keretrendszerben kell figyelembe venni. Egy magasabb kezdeti költségű rendszer (mint néhány xR rendszer) jelentősen nagyobb kiképzési értéket és hosszú távú megtakarítást (pl. csökkentett lőszer-, utazási, lőtérfenntartási költségek) kínálhat, mint egy olcsóbb, de kevésbé alkalmas rendszer. Például az STE program jelentős beruházást igényel, ami arra utal, hogy a Védelmi Minisztérium hosszú távú értéket lát a kezdeti költségek ellenére is. Fontos elismerni, hogy az egyszerű gyakorlatonkénti költség nem ragadja meg a teljes gazdasági képet, vagy a felkészültség növelésének potenciálját.

Az xR technológiák növekvő kifinomultsága (amint az az STE komponensekben is látható) elmosza a határokat a „virtuális” és „konstruktív” elemek között, sőt, még az „éles” adatokkal is integrálódik. Ez az LVC (Live-Virtual-Constructive – Élő-Virtuális-Konstruktív) integráció felé mutató tendencia egy erőteljes irányvonal, amely az xR-t a jövőbeni kiképzési ökoszisztémák középpontjába helyezi. Az LVC koncepcióját a dokumentum korábban bemutatta. Az STE kifejezetten az L, V és C környezetek egyesítésére lett tervezve. Az xR rendszerek elsősorban „virtuálisak”, de kölcsönhatásba léphetnek „konstruktív” MI entitásokkal, és potenciálisan összekapcsolhatók „éles” kiképzési adatokkal vagy vezetési rendszerekkel. Ez teszi az xR-t kulcsfontosságú technológiává az átfogó LVC kiképzés eléréséhez.

A VR technológia immerzív jellege és a részletes teljesítménymérés lehetősége hozzájárul a gyorsabb és hatékonyabb tanulási folyamathoz, és felkészíti a katonákat a modern harctér kihívásaira. A folyamatos technológiai fejlődéssel a VR alapú kiképzés várhatóan még nagyobb szerepet fog játszani a jövő katonai kiképzésében. Nem az a kérdés, hogy használni fogják-e, hanem csak az, hogy mikor.

4 A VR TECHNOLÓGIA KIKÉPZÉSI SZEMPONTÚ ANALÍZISE

A negyedik fejezet következtetései rámutattak arra, hogy az alternatív valóság (xR) technológiák, különösen a virtuális valóság (VR), ígéretes lehetőségeket hordoznak a katonai kiképzés modernizálásában. Jelen fejezet célja ezen technológiák, ezen belül is a VR mélyrehatóbb vizsgálata. Törekvése a harmadik kutatási hipotézis (H3) – miszerint az alternatív valóság technológián belül a VR technológia elérte azt a fejlettségi szintet, hogy a gyalogsági egyéni és kislevegység szintű harcászati képzést is támogassa – alátámasztása, valamint a harmadik kutatási cél (KC3) megvalósítása.

4.1 AZ XR TECHNOLÓGIÁK ÖSSZEHASONLÍTÁSA KIKÉPZÉSI SZEMPONTBÓL

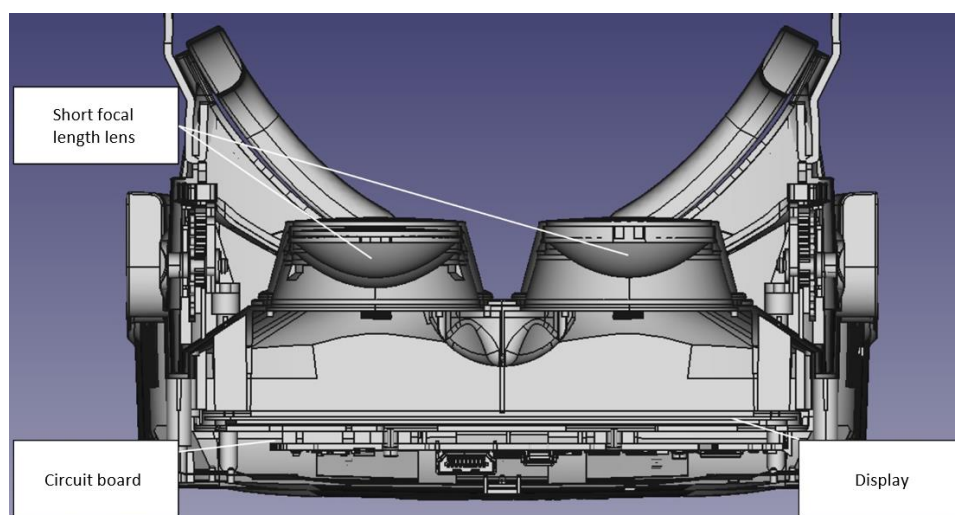
Ebben az alfejezetben még mindig a kutatási terület szűkítése a cél, azaz rá szeretnék mutatni arra, hogy az xR technológián belül a VR adja azt a technikailag legrugalmasabb környezetet, amely a vizsgált kiképzési célokat leghatékonyabban támogatja. Ehhez magas szinten áttekintem és technikai lehetőségek és korlátok oldalról összehasonlítom a különböző altechnológiákat, úgy, hogy közben szélesebb kiképzési igényeket szerint értékelem azokat.

4.1.1 ÁLTALÁNOSAN AZ XR TECHNOLÓGIÁRÓL

A többféle klasszifikációs lehetőség ellenére a jelen felosztásban azokat az eszközcsoporthoz vizsgálom, amely a viselhető technológiát jelenti. Az xR rendszerek alapját a fejre rögzíthető kijelzők (Head Mounted Display – HMD) képezik, melyeket magyarul VR-szemüvegnek vagy VR-sisaknak is nevezünk. Ezek az eszközök a felhasználó fejére rögzítve működnek, beépített kijelzőkkel és hangszórókkal (vagy fejhallgatókkal) vannak ellátva. Elsődleges céljuk, hogy a számítógép által generált információkat az emberi érzékszervek számára közvetlenül, közelről közvetítsék. Az xR technológiák közös jellemzője a „természetes inputok” használata, azaz olyan ember-gép interfésszel rendelkeznek, amely képes a kezelő testmozgását (például fej, végtagok, kezek mozgása) feldolgozni és értelmezni. Az inputcsatornák száma az eszköz típusától és piaci célcsoportjától függően változhat; egyes rendszerek kizárólag

a fej mozgását követik, míg mások kiegészítő szenzorokat és hardvereket használnak a kéz és az ujjak pozíciójának pontos érzékelésére is.

A technológiák jobb megértése érdekében érdemes Milgram és Kishino „valóság-virtualitás kontinuum” koncepcióját segítségül hívni[45], amely egy spektrumon helyezi el a teljesen valós környezettől a teljesen virtuális környezetig terjedő állapotokat, közte az AR és MR különböző formáival. Az xR technológiák közös célja az emberi érzékelés kiterjesztése vagy helyettesítése digitális információval, a hatékonyabb interakció és tapasztalatszerzés érdekében. A „természetes inputok” jelentősége a kiképzésben abban rejlik, hogy intuitívabbá teszik például a fegyverkezelést vagy a mozgás szimulációját, csökkentve a felhasználó kognitív terhelését és növelve az immerziót.



7. ábra Oculus Rift DK2 VR HMD metszeti képe¹⁴

Az xR technológiák fejlődése egy evolúciós ívet mutat. A korai rendszerek drágák és korlátozott képességűek voltak. A HMD-k, szenzorok és feldolgozó egységek technológiai fejlődése – mint például a jobb felbontás, kisebb késleltetés, pontosabb követés – és árának csökkenése, különösen a kereskedelemben kapható komponensek (COTS – *Commercial Off-The-Shelf*) elterjedése révén, kulcsfontosságú volt. Ez a fejlődés tette lehetővé, hogy az xR ne csupán kutatási kuriózum legyen, hanem gyakorlati alkalmazások, mint a katonai kiképzés, számára is reális opcióvá váljon. Ez a technológiai érettség és költséghatékonyság javulása alapozza meg a VR funkcionalitásának és technológiai érettségének későbbi, KC3 kutatási cél szerinti

¹⁴ Forrás: open-source Oculus Rift DK2 blueprints Online: <https://github.com/facebookarchive/riftdk2>, szerkesztve a szerző által FreeCad 0.19 szoftverben

részletesebb elemzését. Az 7. ábra egy korai, de a fejlődés szempontjából fontos HMD metszeti képét mutatja.

A továbbiakban bemutatom a különböző rokon technológiák közötti különbségeket és magas szinten vizsgálom alkalmazhatóságukat.

4.1.2 KITERJESZTETT VALÓSÁG – *AUGMENTED REALITY (AR)*

Az AR, vagy kiterjesztett valóság, eszközök célja, hogy a felhasználó által látott valós teret számítógép által generált és kivetített információkkal egészítsék ki, lehetőleg a viselője fejének mozgásával szinkronban. Ez az információ lehet egyszerű kétdimenziós iránytű vagy komplex, három dimenzióban vetített tárgy is. Két fő technikai megközelítés létezik: az átlátszó lencserendszer (*optical see-through*), ahol a felhasználó közvetlenül a valós világot látja a lencséken keresztül, amelyekre a digitális információ kivetítésre kerül (ilyen például a Microsoft HoloLens technológiáját használó Integrated Visual Augmentation System – IVAS), valamint az olyan megoldások is, ahol előre néző kamerák rögzítik a valós környezetet, és ezt a képet egészítik ki a digitális elemekkel a HMD kijelzőjén („*video see-through*”).

Az átlátszó lencsés AR HMD-k esetében a késleltetés minimális, mivel a valós világ fotonjai közvetlenül éri el a felhasználó szemét, azonban a digitálisan vetíthető látótér (FoV) gyakran korlátozott, és a virtuális elemek integrációja a valós környezetbe (pl. fényviszonyokhoz való igazodás, kitakarás) kihívást jelenthet. A videó átengedő rendszerek jobb integrációt és szélesebb látóteret kínálhatnak, de a kamerák és a feldolgozás miatt némi késleltetéssel kell számolni, ami befolyásolhatja a felhasználói élményt és csökkenti a kiképzésben való használhatóságot.

Korábbi kutatások és gyakorlati tapasztalatok, mint például az IVAS program (8. ábra IVAS rendszer) kezdeti nehézségei (pl. hányinger, fejfájás, korlátozott látótér bizonyos körülmények között), rávilágítottak az AR technológia fiziológiai korlátaira, különösen dinamikus, mozgással járó feladatoknál. Az ilyen rendszerek elsősorban olyan helyzetekben alkalmazhatók hatékonyan, ahol a tevékenység a valós világban történik, és az eszköz vizuális jelzéseket, kiegészítő információkat nyújt (pl. műszaki karbantartás során ellenőrző listák megjelenítése, helyzetfelismerést támogató adatok harci helyzetben, pl felülnézeti harcászati szituáció kivetítése).

A gyalogos harcászati kiképzés szempontjából az AR bár hasznos lehet információkiegészítésre (pl. navigációs adatok, barát-ellenség azonosítás szimbólumai, célzási segédletek), de a valós környezet dominanciája korlátozza az immerzív, komplex harctéri szituációk teljes körű szimulálásának lehetőségét. A hatékony harcászati kiképzés magas fokú immerziót, a környezettel való komplex interakciót és a stresszhelyzetek valósághű szimulációját igényli. Mivel az AR definíció szerint a valós világot egészíti ki, nem pedig helyettesíti, ez korlátozza a teljesen kontrollált, szintetikus környezetek létrehozását. Az említett IVAS problémák is jelzik a technológia érettségének kihívásait, különösen a gyalogság számára releváns, mozgással járó feladatoknál. Ezért, bár az AR-nek van helye a katonai alkalmazások között, a H3 hipotézisben megcélzott képzési forma (gyalogos egyéni és kislevegység szintű harcászati képzés) számára a VR egyelőre megfelelőbbnek tűnik. Az AR korlátainak elemzése így hozzájárul a VR potenciáljának jobb megértéséhez és a KC3 kutatási cél szerinti értékeléséhez.



8. ábra IVAS rendszer

4.1.3 KEVERT VALÓSÁG – MIXED REALITY (MR)

A kevert valóság (MR) eszközök az AR és a VR között helyezkednek el a valóság-virtualitás kontinuumon. Nagyon hasonlóak az AR rendszerekhez, mivel valós és

virtuális objektumokat egyaránt megjelenítenek, azonban a kulcsfontosságú különbség az, hogy a generált képet mélyebben integrálják a valós környezetbe: a valós objektumok kitakarhatják a virtuális elemeket és fordítva (kölsönös kitakadás, *occlusion*), valamint a felhasználók közvetlenül interakcióba léphetnek a virtuális tárgyakkal, mintha azok a valós tér részei lennének.

Az MR rendszerek jellemzően magasabb technológiai szintet képviselnek, a korábbiakban tárgyalt kamerás „*video see-through*” megközelítést alkalmazva, ahol előre tekintő, nagy felbontású kamerák és mélységérzékelők (pl. LiDAR) segítségével térképezik fel a környezet geometriáját, és ennek megfelelően helyezik el a virtuális elemeket a valós térben. Ez a technológiai komplexitás általában magasabb költséggel is jár a tömegpiacra szánt VR eszközökhöz képest.

Az MR eszközök kiválóan alkalmasak olyan kiképzési formákra, ahol a valós tárgyakkal való fizikai interakció és a virtuális környezet egyaránt fontos. Tipikus példa erre a repülőgép- és járműszimulációk, ahol a pilótafülke vagy a vezetőfülke fizikai elemei (pl. botkormány, gázkarok, kapcsolók, multifunkciós kijelzők) valósak és kézzel foghatóak, míg a külső vizuális tér (pl. a táj, más járművek, időjárási viszonyok) virtuálisan generált. A Varjo XR-3 Focal Edition egy olyan kereskedelmi forgalomban kapható MR headset, amely már képzési célokra is alkalmas minőséget képvisel. Fontos megjegyezni, hogy a legtöbb modern MR eszköz, technológiai felépítéséből adódóan, teljes értékű VR rendszerként is használható, egyszerűen a valós környezetet megjelenítő kamerák képének letiltásával. A 9. ábra egy F/A-18C szimulátort mutat be Varjo XR-3 MR rendszerrel.

Bár az MR technológia rendkívül fejlett és sokoldalú, specifikus előnyei leginkább azokban a kiképzési forgatókönyvekben domborodnak ki, ahol a valós fizikai objektumokkal való interakció kritikus. A gyalogos harcászatban, ahol a környezet teljes szimulációja, a változatos és gyakran ismeretlen terepek megjelenítése, valamint a költséghatékonyság is fontos szempont, a dedikált VR rendszerek előnyösebbek lehetnek. A teljesen szintetikus környezetet igénylő gyalogos harcászati forgatókönyvekhez, ahol a valós környezet elemei nem relevánsak vagy akár zavaróak is lehetnek, a VR tisztább és célravezetőbb megoldást kínálhat. Az MR összehasonlítása tehát segít pozicionálni a VR-t mint a gyalogos kiképzéshez optimális

technológiát, kiemelve annak relatív egyszerűségét és célzott alkalmazhatóságát, ami összhangban van a H3 hipotézis és a KC3 kutatási cél vizsgálatával.



9. ábra F/A-18C szimulátor Varjo XR 3 MR rendszerrel

4.1.4 VIRTUÁLIS VALÓSÁG – VIRTUAL REALITY (VR)

A virtuális valóság (VR) eszközök lényege, hogy a felhasználó teljes látómezejét lefedik, és a valós vizuális információkat teljes egészében egy számítógép által szintetikusán létrehozott, sztereoszkópikus háromdimenziós képpel helyettesítik. Ez a módszer lehetővé teszi gyakorlatilag bármilyen jelenet vagy audiovizuális környezet szimulálását, függetlenül a felhasználó fizikai tartózkodási helyétől. Mivel a felhasználó nem érzékeli a külső, valós teret, a VR eszközök használata – különösen mozgással járó alkalmazások esetén – speciális biztonsági intézkedéseket és körülményeket igényelhet a balesetek elkerülése érdekében.

A VR definiáló jellemzője a felhasználó teljes immerziója egy mesterségesen generált környezetbe, elszigetelve őt a valós világ ingereitől. Ez a teljes immerzió teszi a VR-t különösen alkalmassá komplex, veszélyes, költséges vagy logisztikailag nehezen reprodukálható harcászati forgatókönyvek biztonságos és költséghatékony gyakorlására. A VR azon képessége, hogy a felhasználót teljesen egy másik, kontrollált környezetbe „helyezze át”, alapvető fontosságú a gyalogos harcászati kiképzés szempontjából, mivel lehetővé teszi a legmagasabb szintű immerziót és a szimulált forgatókönyvek feletti teljes kontrollt. Ez a tulajdonság teszi a VR-t a H3 hipotézis központi elemévé: a technológia érettsége ezen immerzív képességek hatékony és megbízható biztosításában rejlik. A VR technológia érettségének növekedése, amelyet a későbbi, 4.3. alfejezet részletesen kifejt, tovább erősíti ezt a potenciált. Ebben az alfejezetben tehát közvetlenül elkezdem építeni az érvelést a VR technológia fejlettségi szintje (H3) és kiképzési potenciálja (KC3) mellett.

4.1.5 ÖSSZEFOGLALÁS

Az AR, MR és VR technológiák mindegyike rendelkezik olyan tulajdonságokkal, amelyek alkalmassá tehetik őket a katonai képzés egyes aspektusainak támogatására. Azonban alkalmazhatóságuk és hatékonyságuk nagymértékben függ a specifikus képzési céloktól és az operatív követelményektől. Az eddigi elemzések alapján a következőképpen foglalhatók össze a főbb jellemzők és alkalmazási területek a gyalogos harcászati kiképzés kontextusában:

- Kiterjesztett Valóság (AR): Technológiai kihívásai miatt elsősorban a valós környezetben végzett lassabb ütemű (statikusabb) feladatok támogatására optimális, kiegészítő információk megjelenítésével (pl. karbantartási útmutatók, céladatok, helyzetkép). Gyalogos harcászati kiképzésben korlátozottan alkalmazható a teljes immerziót igénylő, komplex forgatókönyvek szimulálására.
- Kevert Valóság (MR): Ott kínálja a legnagyobb előnyöket, ahol a valós fizikai objektumokkal (pl. járművek kezelőszervei) való interakció és a virtuális környezet együttes megjelenítése kritikus. Bár VR-ként is használható, technológiai komplexitása és költsége magasabb lehet. Gyalogos harcászati kiképzésben, ahol a környezet teljes szimulációja a cél, a dedikált VR rendszerek célravezetőbbek lehetnek.

- Virtuális Valóság (VR): A legmagasabb szintű immerziót és a szimulált környezet feletti teljes kontrollt biztosítja. Ezáltal kiválóan alkalmas komplex, veszélyes vagy nehezen reprodukálható gyalogos harcászati forgatókönyvek (pl. városi harc, kisalegység-műveletek) biztonságos, költséghatékony és ismételhető gyakorlására.

Az alábbi, 2. táblázat összefoglalja az xR technológiák összehasonlítását a gyalogos harcászati kiképzés szempontjából:

Jellemző	Kiterjesztett Valóság (AR)	Kevert Valóság (MR)	Virtuális Valóság (VR)
Immerzió Mértéke	Alacsony-közepes (valós világ dominál)	Közepes-magas (valós és virtuális elemek keverednek)	Magas-teljes (felhasználó teljesen a virtuális környezetben)
Interakció Típusa	Valós környezettel, kiegészített digitális információkkal	Valós és virtuális objektumokkal egyaránt	Elsősorban virtuális objektumokkal és környezettel
Környezet Kontrollja	Alacsony (valós környezet adott)	Közepes (valós környezet befolyásolja, de virtuális elemek kontrollálhatók)	Magas (teljesen szintetikus, kontrollált környezet)
Fő Alkalmazási Területek (Gyalogos Kiképzés)	Információmegjelölés (navigáció, adatok), karbantartás	Olyan feladatok, ahol valós eszközökkel kell interakcióba lépni virtuális környezetben	Komplex harcászati forgatókönyvek, döntéshozatal, kisalegység-műveletek, készségfejlesztés
Technológiai Érettség/Költség (Gyalogos Kiképzési Kontextusban)	Fejlődő, specifikus eszközök drágák lehetnek (pl. IVAS)	Fejlett, de jellemzően magasabb költségű és komplexitású	Érett, COTS eszközök révén egyre költséghatékonyabb
Fő Korlátok (Gyalogos Kiképzésben)	Korlátozott immerzió, látótér, fiziológiai hatások	Magasabb költség, komplexitás; nem mindig szükséges a valós elemek integrációja	Valós világtól való elszigeteltség, egészségbiztonság

2. táblázat xR technológiák összehasonlítása (Készítette: a szerző)

4.2 KÖVETKEZTETÉSEK

Az xR technológiák (AR, MR, VR) előzőekben bemutatott összehasonlító elemzése alapján egyértelmű következtetéseket vonhatunk le a gyalogos harcászati kiképzés szempontjából leginkább releváns technológiai irányról. Ez a szakasz áthidaló szerepet

tölt be az xR technológiák általános áttekintése és a VR technológia mélyreható technikai elemzése között, explicit módon megfogalmazva az 4.1. alfejezetből fakadó legfontosabb megállapításokat.

Elsődleges következtetés, hogy a virtuális valóság (VR) technológia rendelkezik azokkal az alapvető tulajdonságokkal, amelyek a leginkább megfelelnek a modern gyalogos harcászati kiképzés komplex igényeinek. Ezen tulajdonságok közé tartozik a felhasználó magas fokú immerziójának lehetősége, a szimulált környezet feletti teljes kontroll, valamint a változatos és veszélyes forgatókönyvek biztonságos és költséghatékony gyakorlásának képessége. Míg a kiterjesztett valóság (AR) és a kevert valóság (MR) értékes eszközök lehetnek más katonai (pl. karbantartás, járművezetés) alkalmazásokban, a gyalogos katonák egyéni és kisalegység szintű harcászati felkészítéséhez – ahol a környezet teljes és valósághű szimulációja, valamint a komplex interakciók gyakorlása a cél – a VR kínálja a legnagyobb potenciált.

Az AR technológia, bár ígéretes az információk valós idejű megjelenítésére, jelenlegi formájában korlátozott immerziót biztosít, és a valós világ dominanciája miatt kevésbé alkalmas teljesen szintetikus, komplex harctéri környezetek létrehozására. Az MR technológia, amely a valós és virtuális világok integrációjában jeleskedik, elsősorban olyan területeken kiemelkedő, ahol a fizikai objektumokkal való interakció elengedhetetlen. A gyalogos kiképzés során azonban gyakran éppen a valós környezettől való elszakadás és egy teljesen új, ismeretlen vagy veszélyes terep szimulációja a cél, amire a VR nyújt optimális megoldást.

Ezen megfontolások alapján a kutatás további fókusza a VR technológia részletes technikai elemzésére és kiképzési alkalmazhatóságának mélyreható vizsgálatára irányul. Ez a döntés összhangban van a H3 hipotézissel, amely a VR technológia fejlettségi szintjét vizsgálja a gyalogos harcászati képzés támogatása szempontjából, valamint a KC3 kutatási céllal, amely a VR kiképzési potenciáljának, funkcionalitásának, technológiai érettségének, korlátainak és lehetőségeinek értékelését tűzte ki célul. A következtetések tehát nem csupán technológiai preferenciát tükröznek, hanem a gyalogos harcászati kiképzés specifikus követelményeire való illeszkedés logikus eredményei. A VR technológia érettségének vizsgálata, amely a H3 hipotézisem központi kérdése, ezen az alapon folytatódik a következő alfejezetekben.

4.3 A VR TECHNOLÓGIA TECHNIKAI ELEMZÉSE A KIKÉPZÉS SZEMPONTJÁBÓL

A virtuális valóság technológia érettségének és kiképzési potenciáljának megítélése elképzelhetetlen a kulcsfontosságú műszaki paraméterek és azok kiképzésre gyakorolt hatásának részletes vizsgálata nélkül. Ez az alfejezet arra vállalkozik, hogy bemutassa a VR technológia azon hardveres és szoftveres jellemzőit, amelyek meghatározzák annak alkalmazhatóságát és fejlettségi szintjét a katonai kiképzés kontextusában. Az elemzés kiterjed mind a hardveres aspektusokra (HMD-k, szenzorok, kontrollerek), mind a szoftveres megoldásokra (grafikus motorok, immerziót támogató algoritmusok), közvetlenül alátámasztva a H3 hipotézist és megvalósítva a KC3 kutatási cél műszaki elemzési részét. A cél annak feltárása, hogy a jelenleg elérhető VR technológia milyen mértékben képes megfelelni a hatékony és valósághű gyalogos harcászati kiképzés követelményeinek.

4.3.1 AZ IMMERZIVITÁS FONTOSSÁGA ÉS ALAPJAI

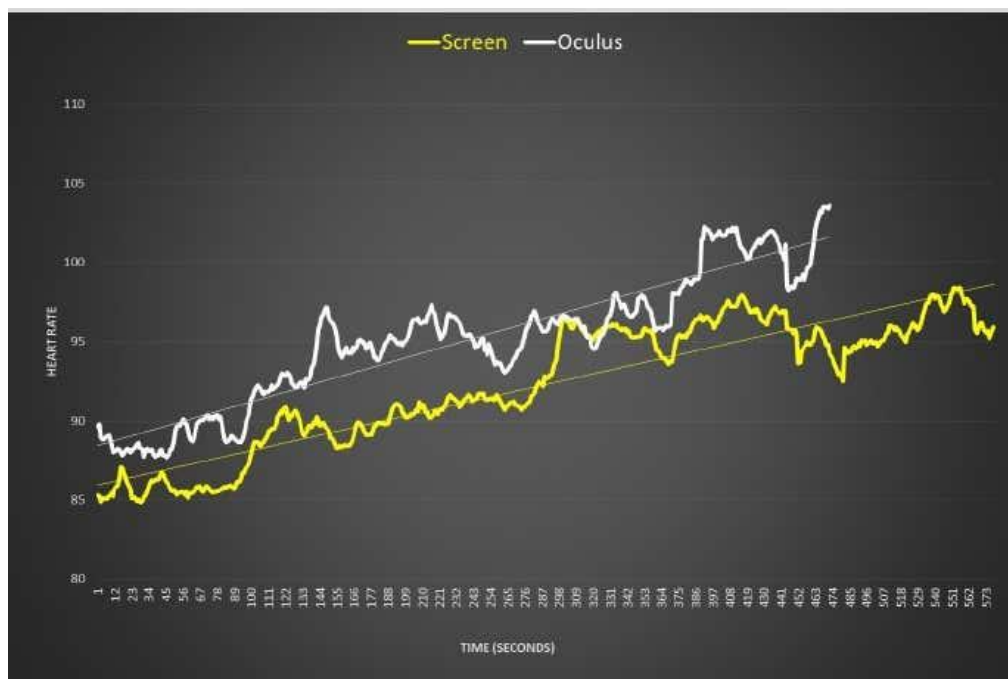
Az immerzivitás, vagyis a beleélhetőség és a virtuális környezetben való jelenlét (*presence*) érzete, a VR technológia egyik legmeghatározóbb jellemzője és egyben a szimulációs rendszerek egyik legfontosabb minőségi paramétere. Az immerzió kulcsfontosságú szerepet játszik a VR-alapú kiképzőrendszerek hatékonyságában, mivel közvetlen befolyással van a tudástranszferre, azaz arra, hogy a szimulációban elsajátított ismeretek és készségek milyen mértékben alkalmazhatók a valós környezetben. A magasabb fokú immerzivitás mélyebb pszichológiai és fiziológiai bevonódást eredményez, amely fokozza a szimulációs élmény realitását és ezen keresztül a tanulási eredményességet [46,47] Az immerzió pszichológiai dimenziói közé tartozik a "hely-jelenlét" (*place illusion*), azaz annak érzete, hogy a felhasználó valóban a virtuális helyszínen tartózkodik, és a "hihetőség" (*plausibility illusion*), vagyis annak elfogadása, hogy a virtuális események valóságosan történnek meg vele. Ezen tényezők együttesen alakítják ki a jelenlét teljes élményét. A 10. ábra egy magas immerzivitást biztosító rendőrségi taktikai (intézkedéstaktikai) kiképzőeszközt mutat be.



10. ábra V-Armed taktikai kiképzőeszköze, egyik legnagyobb beleélést biztosító (immerzív) eszköz, igaz rendészeti célokra készült¹⁵

Az immerzivitás mértékének és hatásainak tudományos vizsgálata már számos kutatás tárgyát képezte. Egy, a Bournemouth Egyetem *School of Design, Engineering and Computing* intézetében 2013-ban végzett, és Freeman és munkatársai által 2014-ben publikált kutatás [48] például egy labirintusban játszódó, félelemérzet kiváltására tervezett *first-person shooter* (FPS) típusú játékot használt. A kísérlet során a résztvevőknek először hagyományos, sík képernyőn, majd Oculus Rift VR-rendszeren kellett végigjátszaniuk a játékot, miközben folyamatosan monitorozták pulzusszámukat. A fiziológiai adatok elemzése (11. ábra) rámutatott, hogy míg a sík képernyőn való játék is kiváltott bizonyos szintű kezdeti fiziológiai reakciót (emelkedő pulzusszám), a játékosok viszonylag hamar (kb. öt perc után) hozzászoktak az élményhez, és a pulzusgörbe ellaposodott. Ezzel szemben a VR-eszköz alkalmazása során a pulzusszám folyamatosan magasabb maradt, és a játék teljes időtartama alatt szignifikáns különbséget mutatott a hagyományos képernyős változathoz képest, annak ellenére, hogy a résztvevők a VR-környezetben már ismerték a játék eseményeit.

¹⁵ Forrás: T. Waitt: „V-ARMED: Experience Next-Gen Simulation”, American Security Today [Online] Elérhető: <https://americansecuritytoday.com/v-armed-experience-next-gen-simulation-learn-multi-video/> (Letöltve: 2020.06.28.)



11. ábra A pulzusszám alakulása ugyanazzal a játékkal játszva, képernyőn (sárga) és VR eszközön (fehér) [feliratok: Screen: képernyő vagy monitor; Hearth rate: pulzusszám; Time (Seconds): idő (másodpercben)]¹⁶

Ez az eredmény alátámasztja, hogy a VR-eszközök által generált immerzív élmény mélyebb és tartósabb pszichofiziológiai hatást képes kiváltani. Ez különösen fontos a katonai kiképzésben, ahol a cél nem csupán a technikai készségek elsajátítása, hanem a stresszhelyzetekhez való alkalmazkodóképesség növelése is. Az immerzív VR-tréning lehetővé teszi a harctéri helyzetekre jellemző fiziológiai és kognitív stresszreakciók biztonságos környezetben történő előidézését. Ennek során a kiképzendő személy olyan mentális állapotba kerülhet, amely egy valós veszélyhelyzetben is bekövetkezhet, így realisabb és hatékonyabb módon készülhet fel az életveszélyes döntések meghozatalára, ahol a kognitív terhelés alatt történő helyes reakciók életbevágóak lehetnek.

Az immerzió minőségét több tényező befolyásolja. A szintetikus, de életszerű környezet megteremtése alapvető igény. A VR eszközök vagy külső, vagy az eszközbe épített számítógép által generált háromdimenziós környezetet vetítenek a felhasználó szeme elé. A vizuális élmény nagyban függ a számítógép kapacitásától, az azon futó szoftver (grafikus motor, pl. Unreal Engine, Unity) minőségétől és a háromdimenziós

¹⁶ Forrás: [48]

modellek¹⁷ részletgazdagságától. A 12. ábra az Unreal Engine képességeit szemlélteti. A vizuális életszerűség azonban nem merül ki a fotórealizmusban; fontos a környezet fizikai tulajdonságainak (pl. anyagok textúrája, fényvisszaverő képessége, sűrűlódás), a fényviszonyoknak (pl. vakító napfény, árnyékok dinamikus változása) és a ballisztikai modelleknek (pl. lövedékek viselkedése különböző felületeken) a valósághű szimulációja is. A vizuális tényezők különösen fontosak lehetnek olyan szituációkban, amikor egy fenyegetést kell azonosítani nehéz látási körülmények között, vagy amikor fedezéket kell választani a fényviszonyokat is figyelembe véve.



12. ábra Unreal Engine 3D keretrendszerrel készült program képe megjelenítési minősége taktikai szimulációban, másodpercenként 90 képkockafrissítési frekvencia mellett¹⁸

A természetes ember-gép interfész szintén kulcsfontosságú. Az immerzivitás mértéke nagymértékben függ attól, hogy a felhasználó milyen természetességgel tud interakcióba lépni a virtuális térrel. A hagyományos számítógépes vezérlési módszerek (pl. billentyűzet, egér) indirekt interakciót követelnek meg, ami csökkenti a jelenlét érzetét. Ezzel szemben a VR rendszerek szenzorok segítségével követik a felhasználó természetes mozgását (pl. fejfordítás, testhelyzet-változtatás, kézmozdulatok), és

¹⁷ A háromdimenziós modellek lehetnek műtárgyak, járművek, növények, illetve bármi, ami egy valósághű környezet virtuális felépítéséhez szükséges. Ha ezek a modellek egy valós tárgyat másolnak, azt digitális ikerpárnak hívjuk.

¹⁸ Forrás: Lozé, S.: „Efficient police virtual training environment in VR by V-Armed” [Online] Elérhető: <https://www.unrealengine.com/en-US/spotlights/efficient-police-virtual-training-environment-in-vr-by-v-armed> (Letöltve: 2020.05.20.)

ezeket viszik be a szimulációba. A fejmozgás pontos és alacsony késleltetésű követése elengedhetetlen ahhoz, hogy a felhasználó a virtuális térben ugyanúgy nézhessen körül, mint a valóságban. Az ember-gép interfész nem csupán a bemeneti eszközök funkcionalitásán múlik, hanem azon is, hogy azok milyen pontosan vannak összehangolva a kimeneti csatornákkal (kép, hang), azaz mennyire pontosan adják vissza a térbeli információkat a felhasználó mozdulatai során.

További immerzivitást befolyásoló tényezők közé tartozik a realisztikus hanghatások (pl. térhatású hang, amelyből a hangforrás iránya és távolsága is érzékelhető), a haptikus visszajelzések (pl. fegyver visszarúgásának, találatoknak vagy a környezettel való érintkezésnek a fizikai érzékeltetése), valamint a virtuális környezet objektumainak és karaktereinek (NPC-k) valósághű viselkedése. Ez utóbbi már nem kizárólag technológiai kérdés, hanem a szimuláció tervezésének és programozásának minőségén is múlik. Az AI-alapú rendszerek egyre nagyobb szerepet kapnak a dinamikus és interaktív virtuális környezetek létrehozásában, amelyek tovább növelhetik az immerzív élményt és a kiképzés hatékonyságát. [49,50].

Az immerzió tehát nem egyetlen technikai paraméter eredménye, hanem a hardveres és szoftveres komponensek, valamint a szimuláció tervezési filozófiájának komplex összjátéka. A katonai kiképzésben az immerzió célja nem önmagában a "beleélés", hanem a hatékonyabb tanulás, a jobb döntéshozatal és a valós helyzetekre való felkészültebb reakciók elősegítése. A H3 hipotézis a VR technológia fejlettségi szintjére vonatkozik, és az immerzió minősége ennek a fejlettségnek egyik legfontosabb mutatója. Az immerzió mélysége és minősége közvetlenül befolyásolja a VR kiképzési potenciálját (KC3), és annak vizsgálata módszerem szerinti technikai és felhasználói szempontú értékelés központi eleme.

4.3.2 AZ IMMERZIVITÁST BIZTOSÍTÓ TECHNIKAI PARAMÉTEREK ÉS TÖRTÉNETÜK

A virtuális valóság technológia, szemben a kiterjesztett (AR) és kevert valóság (MR) technológiákkal, olyan fejen viselhető rendszert (HMD) alkalmaz, amely kijelzőkből, lencséből és hangszórókból áll, és célja a valós környezet audiovizuális ingereinek teljes kizárása. Míg az AR és MR rendszerek a valós környezet képét egészítik ki vagy integrálják szintetikus elemekkel, addig a VR eszközök egy teljesen számítógép által generált háromdimenziós térbe helyezik a felhasználót. A kijelző képe a látótér nagy

részét lefedi, a maradékot pedig kitakarja, így teremtve meg a teljes immerzió illúzióját. Jelen elemzés nem a teljességre törekszik a VR eszközök körének áttekintésében, hanem a technológia hozzáférhetőségét és a katonai kiképzés szempontjából releváns jellemzőit tartja szem előtt. Ezért elsősorban a Magyar Honvédség keretein belül, például a szolnoki szimulátorközpontban már alkalmazott HTC Vive Pro (13. ábra), valamint a hasonló technikai képességekkel rendelkező, korábban elterjedt Oculus Rift S, illetve az újabb generációs, széles körben elérhető Meta Quest, valamint a Vive Business Pro és Vision Pro eszközök paramétereit vizsgáljuk.



13. ábra HTC Vive Pro, kereskedelmi forgalomban is kapható VR-sisak az MH 86. Szolnok Helikopterbázis szimulátorközpontjában, helikopteres ajtólövész fején.¹⁹

Ezek az eszközök a kereskedelmi forgalomban is könnyen beszerezhetők, ami lehetővé teszi prototípusok fejlesztését és a technológiai képességek felmérését. A kereskedelmi termékek licenzelési (felhasználás jogi) és kiberbiztonsági oldalról fontos megvizsgálni, mert nem minden esetben használhatók közvetlenül katonai célú saját fejlesztések során, de a technológiai érettség demonstrálására kiválóan alkalmasak.

¹⁹ Trautmann Balázs: *Képzelt repülés*. 2019. Elérhető: [https://regi.honvedelem.hu/cikk/115528_kepzelt_repules_\(A_letoltés_dátuma:_2020._05._20.\)](https://regi.honvedelem.hu/cikk/115528_kepzelt_repules_(A_letoltés_dátuma:_2020._05._20.))

A technológiai fejlődés, mint az elterjedés kulcsa

A VR technológia nem új keletű, már az 1990-es évek végén is léteztek kezdetleges VR sisakok, azonban ezek használati értéke és immerzivitása messze elmaradt a maiétól²⁰. A kijelzők alacsony felbontásúak voltak, a látótér szűkös, a képfrissítési ráta alacsony (bőven 20 képkocka/másodperc alatti²¹), ami mozgás közben elmosódáshoz (motion blur) vezetett, a fejkövetés pedig lassú és pontatlan volt, gyakran okozva szimulációs betegséget.

A 2010-es évek végére több kulcsfontosságú technológiai áttörés tette lehetővé, hogy a mai, kereskedelmi forgalomban megfizethető áron kapható rendszerek olyan szintű virtuális élményt nyújtsanak, amely már kiképzésre is alkalmassá teszi őket.

Lencsék

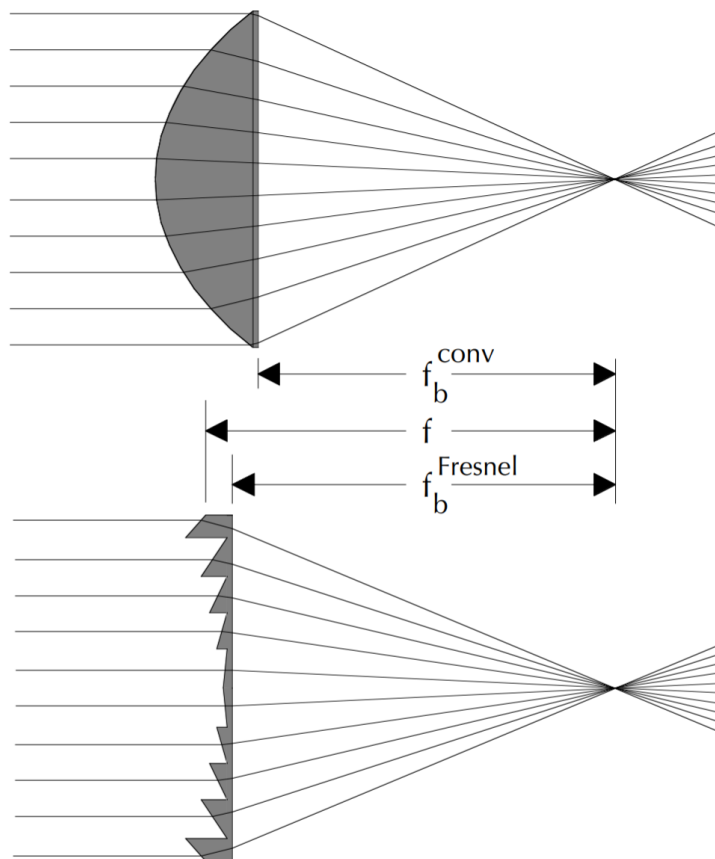
Az egyik sarkalatos pont az „olcsó”, de jó minőségű lencsék kérdése volt. Az Oculus cég úttörő szerepet játszott abban, hogy a drága, precíziós üveglencsét speciális műanyag lencsékkel helyettesítették. Mivel a lencsék közel (kb. 5 cm-re) helyezkednek el a szemtől, a kijelző képének fókuszálásához nagy görbületű, vastag lencsére lenne szükség, amelyek nehezek lennének. Ezért szinte minden modern VR HMD-ben Fresnel-lencsét alkalmaznak (14. ábra). Ezek a szegmentált lencsék könnyebbek és vékonyabbak, mint hagyományos társaik, és bár vannak optikai hátrányaik (pl. koncentrikus körök látszódnak erős kontraszt esetén, ún. "god rays"), ezeket szoftveres korrekcióval jelentősen csökkentik, és összességében csak minimálisan rontják az élményt, főleg a perifériás látómezőben. Egyes fejlettebb rendszerek, mint a HTC Vive Pro Eye, szemkövetést is alkalmaznak, ami lehetővé teszi az úgynevezett dinamikus „foveated renderinget”²² és a képminőség további javítását digitális algoritmusokkal²³.

²⁰ 1990-es évek végén főiskolás koromban egy budapesti informatikai vásáron hosszas várakozás után szerencsém volt kipróbálni egy ilyen eszközt a Descent nevű videójátékkal összekötve. A mai napig emlékszem az élményre, és a kb. 5-10 képkocka per másodperces frissítésére.

²¹ Az általánosan elfogadott mozgókép érzékelés határa a 20 képkocka/másodperc)

²² Foveated rendering: a számítási kapacitás optimalizálása érdekében a generált képnek azt a részét, ahova a látómezőn belül (FoV – field of view) a felhasználó néz, jó minőségben hozzák létre (rendering), míg a többi részt elnagyolt minőségben renderelik.

²³ ProEye Unity Plugin. Almalence Inc. Elérhető: <https://almalence.com/proeye2x/> (A letöltés dátuma: 2020. 05. 20.)



14. ábra Azonos, pozitív fókusz távolságú hagyományos és Fresnel kollektorlencse szerkezete.²⁴

Kijelző panelek

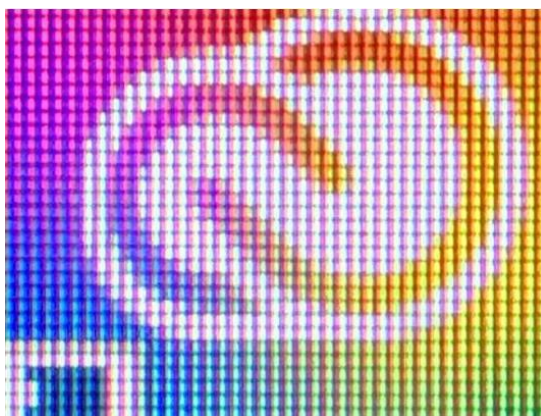
A kijelzőtechnológia (elsősorban OLED és LCD panelek) fejlődése lehetővé tette a magas pixelsűrűségű (*PPD – pixels per degree*)²⁵, nagy felbontású és gyors képfrissítésű (jellemzően 90 Hz vagy afeletti) panelek miniaturizálását.

A Pimax Vision 8K PLUS/X termékek például szemenként közel 4K felbontású képet biztosítanak. A magas felbontás csökkenti az ún. "screen-door effect"-et (a pixelek közötti rácsszerkezet láthatóságát, 15. ábra), a gyors képfrissítés pedig a mozgás folyamatosságát és a szimulációs betegség minimalizálását szolgálja.

²⁴ Forrás: Fresnel Lens Brochure. Elérhető:

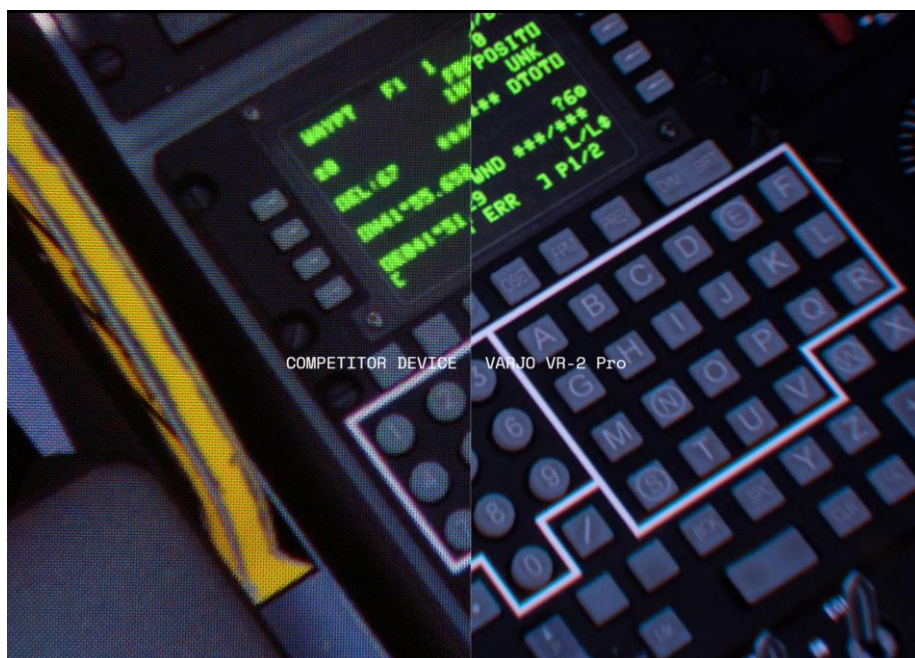
www.fresneltech.com/hubfs/Spec%20Sheets/Fresnel%20Lens%20Brochure.pdf (A letöltés dátuma: 2020. 05. 20.)

²⁵ A VR rendszerek fontos paramétere a látószög (FoV), ezért nem inchenkénti pixelszámmal, hanem a látószög-fokonkénti pixelszámmal mérik a felbontást.



15. ábra Screen door effect: A korszerű monitorok kinagyított pixelrácsa, amelyen jól látható a képpontok közötti üres fekete rész. (A szerző saját felvétele)

A látótér (Field of View – FoV) is jelentősen nőtt, a kereskedelmi termékekénél jellemzően 100-110 fok, vagy annál nagyobb vízszintes látószöget biztosítanak, de vannak ennél szélesebb FoV-val rendelkező modellek is (pl. Pimax akár 200 fok). Az ipari és professzionális célra fejlesztett Varjo VR/XR headsetek egyedi megoldásokat alkalmaznak, mint például a "bionikus kijelző", ahol a *foveated rendering*-nek köszönhetően a fókuszt területen extrém magas felbontást (emberi szemével összemérhető) kombinálnak egy szélesebb, de alacsonyabb felbontású perifériás kijelzővel.

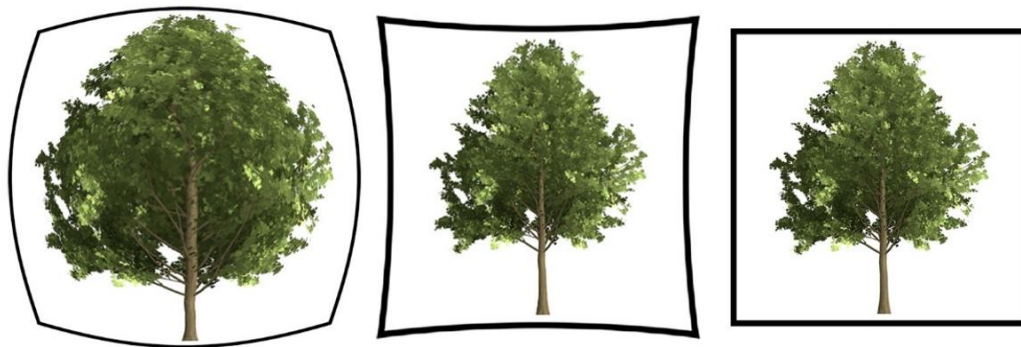


16. ábra A Varjo VR2 Pro felbontásának szemléltetése az első generációs VR HMD-k kijelzőihez viszonyítva²⁶

²⁶ Forrás: A Varjo VR-2 Pro gyártói oldala Elérhető volt: <https://varjo.com/products/vr-2-pro/> (Letöltve: 2020.05.25)

További vizuális megjelenítéssel kapcsolatos kérdések

A lencsék további optikai aberrációkat is okozhatnak. Ezek egy részét, mint például a geometriai torzítást (lásd 17. ábra) vagy a kromatikus aberrációt (a színek szétesését), szoftveres úton, valós idejű képkorrekcióval kompenzálják. Más anomáliák, úgymint a szellemképek (ghost rays), a belső tükröződések vagy a fényerő csökkenése, elsősorban a lencsék minőségének növelésével és speciális optikai bevonatok alkalmazásával mérsékelhetők. Ezen hatások a kiképzési kontextusban jellemzően csekély jelentőséggel bírnak, mivel a torzítások többnyire a látómező periferiáján lépnek fel. A gyakorlati alkalmazások tervezése során azonban a virtuális környezet és a feladatok modellezésekor kiemelt figyelmet kell fordítani a fényviszonyok és kontrasztarányok gondos beállítására az optimális vizuális teljesítmény érdekében.



17.ábra Lencse torzításának szoftveres javítása: középső kép: a lencse torzítása; bal oldali kép: alkalmazott szoftveres inverz torzítás; jobb oldali kép: a látott kép²⁷

Az egyik legfontosabb követelmény a HMD precíz, anatómiailag pontos pozicionálása. A vizuális élesség maximalizálása érdekében a felhasználó pupillájának a lencse optikai középpontjában kell elhelyezkednie, a lencse síkjának pedig merőlegesnek kell lennie a szem optikai tengelyére. E feltételek be nem tartása esetén az érzékelt kép élessége jelentősen csökken, a látvány homályossá válik. Következésképpen az eszköz stabil rögzítése elengedhetetlen, mivel a dinamikusabb mozgások során bekövetkező, akár kismértékű elmozdulás is a képminőség romlásához vezethet. Bár a gyártók a rögzítőmechanizmusokat nagy gondossággal, folyamatosan fejlesztik, a felhasználó megfelelő tájékoztatása a helyes viselésről kritikus fontosságú. A pontos optikai illesztés érdekében a minden modern HMD már

²⁷ Forrás: S. Thompson: „VR Lens Basics: Present And Future. Tom’s Hardware”. (2018) [Online] Elérhető: <https://www.tomshardware.com/news/virtual-reality-lens-basics-vr,36182.html> (Letöltve:2020.05.15)

el van látva pupillatávolság állítóval, ami biztosítja, hogy a különböző szemtávolságú felhasználóknak is megfeleljenek a rendszerek. A HTC Vision Pro rendszerében például automatikus szemtávolság (IPD – interpupillary distance) állítás van.

Fejkövetés (*head tracking*)

A nagy precizitású, alacsony késleltetésű fejkövetés elengedhetetlen az immerzióhoz és a szimulációs betegség elkerüléséhez. A HMD-k szemenként külön képet vetítenek, amit az agy háromdimenziós képként érzékel. Ezt a képet a rendszer másodpercenként minimum 72-szer, de ideálisan 90-szer vagy többször frissíti (*render*), szinkronban a felhasználó fejének valós mozgásával és pozíciójával. A fej és más input eszközök (pl. kontrollerek) mozgásának és pozíciójának optikai követése szenzorfüziós elven alapszik, de a pontosság alappillére az optikai követés.

A modern HMD-kben mikroelektronikai mozgásérzékelők (MEMS) – giroszkópok, gyorsulásmérők, magnetométerek – adatait kombinálják szenzorfüzió által külső vagy belső optikai követési adatokkal. Korábban a pontos fejkövetés nehézkes volt, elcsúszások/elkúszások (*drift*) történhettek, amelyeket mára fejlett algoritmusokkal, sőt mesterséges intelligenciával támogatott adat és képfeldolgozással szinte teljesen kiküszöböltek. Az alacsony költségű MEMS rendszerek még mindig rendelkeznek hosszú időre vetített elkúszással de mintavételi sebességük nagyon gyors, míg az optikai rendszerek nagyon pontos pozícionálást tesznek lehetővé, de jóval kisebb mintavételi sebesség mellett. Ezt felismerve a gyors mozgásokat a MEMS követi, de azokat folyamatosan pontosítja az optikai alapú pozíciószámítás adataival.

Történelmi szempontból érdemes megjegyezni, hogy műszakilag két megoldás létezik: az „outside-in” (kintről befelé) és az „inside-out” (belülről kifelé) követés. Az „outside-in” rendszereknél (pl. korai Oculus Rift, HTC Vive eredeti Lighthouse rendszere) külső bázisállomások (kamerák vagy lézeres pásztázók) figyelik a HMD-n és a kontrollereken elhelyezett aktív vagy passzív markereket. Ennek technológiai különbségeibe mélyebben nem mennék bele. Ezek általában nagyon pontos követést tettek lehetővé egy dedikált térben, de a telepítése külső bázisállomásokat előre telepíteni kellett és több telepítési paraméternek meg kellett felelniük. Az újabb „inside-out” rendszereknél (pl. Meta Quest sorozat, Windows Mixed Reality headsetek, HTC Vive Focus és Vision Pro) a HMD-re szerelt kamerák figyelik a környezetet, és a képeken azonosított jellegzetes pontok (features) alapján, SLAM

HMD ergonómiája

[illegible]

www.ifixit.com/Teardown/HTC+Vive+Pro+Teardown/106064 (A letöltés dátuma: 2020. 05. 20.)

„Kéz beviteli” eszközök (Kontrollerek)

A virtuális térrel való interakcióhoz a kéz mozgásának digitalizálása kulcsfontosságú. Erre a legelterjedtebb megoldás a kézben tartott kontrollerek használata, amelyek követik a kéz pozícióját és orientációját, valamint gombok, billentyűk, karok (joystick, thumbstick) vagy érintőfelületek segítségével teszik lehetővé az ujjak mozgásának szimulációját és a virtuális objektumokkal való interakciót. A modern kontrollerek (19. ábra) gombokkal, joystickekkel, érintőfelületekkel és haptikus visszajelzést (rezgést) adó vibramotorokkal vannak ellátva az immerzivitás érdekében. Kiképzés szempontjából viszont már előre vetíthetjük, hogy az ilyen kontrollerek használata, annak ellenére, hogy hatékonyságuk és pontosságuk megkérdőjelezhetetlen, a felhasználótól tanulást és gyakorlást igényelnek.



19. ábra A HTC Vive Pro Controller – a kéz mozgásait digitalizáló eszköz. A gömbölyített fejrészen megfigyelhetők az optikai követést lehetővé tévő infravörös LED-ek bemélyedései, illetve a száron lévő érintőfelület (touchpad)³⁰

Régebbi természetes bevitel megoldások a speciális „adatkesztyűk” (*data gloves*), amelyek már az egyes ujjak hajlását is képesek voltak érzékelni voltak, amellyel párhuzamosan megjelentek a külön felszerelhető kamerákon és infravörös érzékelőkön alapuló kézkövetési technológiák (pl. Ultraleap), amelyek controller nélküli, természetesebb kézinterakciót tettek lehetővé. Ezek pontossága és megbízhatósága még nem minden esetben érte el a kontrollerekét, különösen gyors mozgások vagy részleges kitakarás esetén. A kiegészítő kesztyűkkel történő kísérletezés még nem szűnt meg, de a kutatás iránya a pozíciókövetésből az realisztikus érzékelési visszahatás irányába tolódott el.

³⁰ Forrás: HTC Vive Pro Series. Elérhető: www.vive.com/eu/product/#pro%20series (A letöltés dátuma: 2020. 05. 20.)

Az immerzivitás érdekében az új rendszerek, mint a Meta Quest 2, vagy a HTC Buisness Pro után megjelent változatok már beépített érzékelők segítségével teljes kéz és ujjkövetést tesznek lehetővé. A virtuális térben a kéz és ujjak pozíciókövetése ma már olyan pontos, hogy a felhasználó a virtuális képet használva, akár „vakon” is képes precíz műveleteket végrehajtani velük. Ez a saját test proprioceptív ³¹ érzékelésének és a virtuális tér leképezésének összhangját jelzi, magas szintű immerzivitást biztosítva.

Mozgás szimulációja (*Locomotion*) és a fizikai tér

A felhasználó virtuális térben történő helyváltoztatásának szimulációja komoly kihívás. A legegyszerűbb megoldás a „room-scale” VR, ahol a felhasználó a fizikai terében szabadon mozoghat, de ez általában néhány méteres (pl. 5m x 5m) területre korlátozódik. Nagyobb virtuális terek bejárására szoftveres megoldásokat alkalmaznak, mint a teleportáció (pontra ugrás) vagy a joystick/gomb segítségével történő folyamatos mozgás. Ezek azonban csökkenthetik az immerziót és szimulációs betegséget okozhatnak. Természetesebb mozgásérzetet kelthetnek a többirányú taposómalmok (omni-directional treadmill – ODT), amelyek lehetővé teszik a helyben járást és futást (20. ábra), viszont ezek a rendszerek sem bizonyulnak hatékonynak a szimulációs betegséggel szemben.



20. ábra Virtuális „taposómalom” (ODT) a helyváltoztatás digitalizálásához alkalmazható³²

³¹ A propriocepció (vagy más néven ízületi helyzetérzés) az a képesség, hogy érzékeljük a testünk különböző részeit, különösen az ízületeket, az izmokat és a testtartást a térben. Ez a képesség lehetővé teszi, hogy tudatosan és tudattalanul is értsük, hol van a testünk egyes részei, és hogyan mozgunk. (forrás: Microsoft CoPilot AI overview: propriocepció)

³² Forrás: KatVR gyártói oldal. Elérhető: www.kat-vr.com/products/kat-walk-premium-vr-treadmill (A letöltés dátuma: 2020. 06. 28.)

A legoptimálisabb megoldás még mindig a valós tér és a virtuális tér közötti 1:1 arány. A mai rendszerek, mint a HTC Vive és Vision sorozatai szimulációs PC-ről tudják vezeték nélkül ellátni a rendszert, azaz a kábelek hossza nem, csak a hatékony WiFi elérés hatótávolsága szabhat határt a bejárható területnek.

Az Asterion VR ModulMaze rendszere (21. ábra) fizikai, átrendezhető panelekkel egészíti ki a virtuális teret, ami különösen CQB (Close Quarters Battle) forgatókönyvek gyakorlásánál lehet hasznos, mivel tapintható visszajelzést ad a falakról.



21. ábra Asterion VR-cég ModulMaze™ CQB rendszerének képe. A virtuális falakat fizikai falakkal egyeztetik a szimuláció során³³

Az alábbi 3. táblázat összefoglalja a kulcsfontosságú VR technikai paramétereket és azok hatását a gyalogos harcászati kiképzésre:

<u>Technikai Paraméter</u>	Jelenlegi Technológiai Szint (Példákkal)	Közvetlen Hatás a Kiképzésre	Kihívások/ Kompromisszumok
Kijelző Felbontás (PPD)	15-35+ PPD (pl. Meta Quest 3, Varjo Aero, Pimax Crystal)	Célfelismerés pontossága, szövegolvasás, "screen-door effect" csökkentése, általános vizuális élethűség.	Magasabb PPD nagyobb számítási teljesítményt igényel.
Látószög (FoV)	100-110° (átlagos), 140°+ (széles FoV, pl. Pimax)	Perifériás látás, helyzetfelismerés javítása, immerzió növelése.	Szélesebb FoV torzítást okozhat a széleken, nagyobb számítási igény.

³³ Forrás: Asterion VR hivatalos oldala (8. l.)

Képfrissítési Ráta (Hz)	90-120 Hz (jellemző), 144 Hz+ (fejlettebb modellek)	Mozgás folyamatossága, szimulációs betegség csökkentése, gyors reakcióidőt igénylő feladatok támogatása.	Magasabb ráta nagyobb GPU terhelést jelent.
Késleltetés (Latency)	<20 ms (motion-to-photon)	Immerzió fenntartása, szimulációs betegség minimalizálása, interakciók természetessége.	Hardver és szoftver optimalizációt igényel.
Fej- és Eszközkövetés Pontossága	Al-milliméteres pontosság, 6 DoF (<i>Degrees of Freedom</i>)	Interakciók precizitása (pl. fegyverkezelés, tárgyak megfogása), valósághű mozgáslekezelés, immerzió.	Követési tér mérete, "occlusion" (kitakarás) problémák (főleg inside-out rendszereknél), külső fényviszonyok érzékenysége.
Beviteli Eszközök (Kontrollerek, Kesztyűk)	Ergonomikus kontrollerek haptikus visszajelzéssel, fejlődő kézkövető megoldások	Finommotoros készségek gyakorlása, valósághű eszközkezelés.	, kontrollerek absztrakciót jelentenek a valós eszközökhöz képest, a kézkövetés pontatlan lehet
Mozgás Szimulációja (Locomotion)	Room-scale, joystick, teleport, ODT-k (pl. KatVR), WiFi Streaming	Nagyobb virtuális terek bejárása, fizikai fáradtság szimulálása (ODT), természetesebb mozgásérzet vs. szimulációs betegség kockázata.	ODT-k helyigényesek és drágák, joystick mozgás kevésbé immerzív és okozhat betegséget
Audio	Integrált térhatású (spatial) hangszórók/fejhallgatók, mikrofonok	Helyzetfelismerés (hangforrás iránya), kommunikáció, immerzió növelése.	Hangminőség, külső zajok kizárása.
Számítási Teljesítmény	PC-VR: Erős GPU/CPU szükséges; Standalone VR (pl. Meta Quest): Integrált mobil processzor (pl. Snapdragon XR2)	Grafikai részletesség, szimuláció komplexitása, képfrissítési ráta fenntartása.	PC-VR: Drága PC-t igényel, standalone VR korlátozottabb grafikai képességekkel bír.

3. táblázat VR eszközök technikai kérdéseinek összefoglalása

4.3.3 FEGYVEREK, ESZKÖZÖK A VIRTUÁLIS TÉRBEN

A taktikai VR-szimulációk során ideális, ha a kiképzendő a saját, rendszeresített fegyverével vagy annak élethű replikájával gyakorolhat. Ilyenkor a virtuális térben szimulált fegyver és a valós térben használt fegyver vagy fegyvermodell fizikai és virtuális paramétereit, tulajdonságait szoftveresen egyeztetni kell (kalibráció). Ez magában foglalja a méreteket, a súlypontot, a kezelőszervek elhelyezkedését és működését. A cél, hogy a virtuális fegyverkezelés (pl. tárcsere, tűznemváltás, akadályelhárítás) a lehető legközelebb álljon a valósághoz, elkerülve a negatív transzferhatásokat. Több megoldás is létezik a fegyverek VR-ba történő integrálására:

Módosított kontrollerek: Kereskedelmi forgalomban kapható VR kontrollerekre szerelhető adapterek, amelyek fegyverformát imitálnak (pl. BeswinVR M4 adapter, (22. ábra)). Ezek olcsók, de a pontosságuk és élethűségük korlátozott, inkább játékcélokra alkalmasak.



22. ábra BeswinVR M4 Rifle adapter. A képen látható a hagyományos kézi kontrollerek mágneses illesztésének módja³⁴

Valós fegyverek kiegészítése: A katona saját éles fegyverére szerelhető követő eszközökkel és szenzorokkal (23. ábra) is megoldható a VR gyakoroltatás. Ezzel a megközelítéssel épített rendszerek eleinte ígéretesnek tűntek, de gyakorlati úton kiderült, hogy több a korlátjuk, mint a bennük rejlő lehetőség. Az így kialakított rendszerek fő hátrányai közé tartozott, hogy a fegyverek szállítását ugyanolyan körülmények között lehet végezni, mint az éles fegyverek esetén, valamint az érzékelők felszerelése időigényes ezért a gyakorlat hatékonysága, képzési volumene csökkent. A táruk bennlétének érzékelés, tűzváltó állásának a megállapítása komoly műszaki kihívást jelent egy kompakt rendszer összeállítása.

³⁴ Forrás: BeswinVR gyártói oldala. Elérhető: www.beswinvr.com/ (A letöltés dátuma: 2020. 05. 20.)



23. ábra Lead Tech cég megoldása a fegyverek virtualizációjára. A sárga konzol a kereskedelmi forgalomban kapható HTC Vive Tracker 2.0-t tud valós fegyverhez illeszteni.³⁵

Dedikált fegyverreplikák (instrumentált fegyvermodell): Kifejezetten VR szimulációhoz fejlesztett, valós fegyverekhez hasonló méretű és súlyú replikák, beépített követő szenzorokkal és működő kezelőszervekkel. Ezesetben 3D nyomatott, vagy airsoft fegyverből átalakított, az eredetivel teljesen azonos kinézetű és kezelőszervek tekintetében azonos működtetésű fegyver replika kerül úgy felszenzorozásra avagy instrumentálásra, hogy minden kezelőszerv állapota a szimulációba is regisztrálásra kerül. Ez a teljes funkcionalitás növeli a készségek képzési körét. Ilyen rendszer szerint működik az Infinit Simulation GTS rendszere is (24. ábra). Ezzel a megoldással részben megoldható a zero learning curve koncepció,

³⁵ Forrás: Chip Northrup: Using Your Firearm in VR Simulations and Games. 2019. Elérhető: <https://clazer.club/2019/01/03/using-your-firearm-in-vr-simulations-and-games/> (A letöltés dátuma: 2025. 05. 20.)

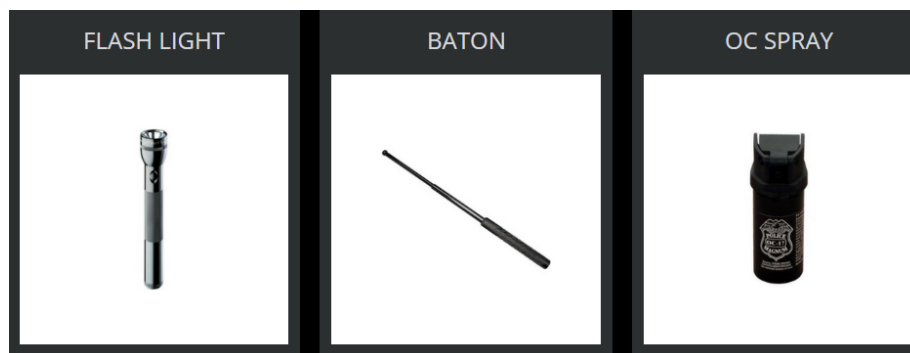
azaz a katonának a szimulátor használatához a saját fegyverét kell ismernie, mivel az instrumentált fegyver formája és működése is teljesen azonos.



24. ábra GTS rendszerben használható fegyverek (2024. június. a szerző saját fotója)

Ez alátámasztja, hogy az ilyen eszközök és fegyverek fizikai modellezése, virtuális térbeli használatához való előkészítése nem jelent kihívást a mára már jól hozzáférhető additív gyártástechnológiák[51], elterjedt 3D-szkennelési és -vizualizációs technikák és mikroelektronikai építőelemek modularitásának köszönhetően.[52] Érdemes megemlíteni hogy rendészeti célú szimulátorok esetén ezzel a technológiával több cég kínál fegyverek mellett teljes járőr felszerelést, mint például nem halálos eszközöket, azaz elemlámpa, többféle elektromos sokkoló, bot vagy akár OC-spray (paprika spray) (25. ábra).³⁶ Ezt a lehetőséget katonai oldalra vetítve a VR rendszerekhez viszonylag gyors fejlesztéssel lehet új fegyvereket, berendezéseket adni (pl. rádióberendezés) és azokat opcionálisan felhasználni.

³⁶ Apex Officer rendszere által használt fegyver és eszköz modellek. Elérhető: www.apexofficer.com/arsenal (A letöltés dátuma: 2020. 05. 20.)



25. ábra Az Officer VR-rendszerben használható arzenál egy része. Elemlámpa, bot és paprika-spray³⁷

4.3.4 SZOFTVER ÉS ADATOK

A VR rendszerek jellegéből jól látható, hogy egyedül a fegyvert jelenti a kemény változót az eszközök között, minden más szoftver szervezési kérdés. A VR kiképzési rendszerek hatékonysága és realizmusa nagymértékben függ tehát a mögöttes szoftveres architektúrától és az adatkezelési képességektől. Ezek nem csupán a virtuális környezet megjelenítéséért felelősek, hanem a kiképzési folyamat monitorozásáért, értékeléséért és adaptálásáért is. A jó tervezés és adatkezelési képesség a korábbi értékelési szempontokat is figyelembe véve számos lehetőséget teremt a VR rendszereknek. Ilyenek az elosztott szimulációs képesség, a kiképzési adatok, felhasználói profilok, forgatókönyvek és értékelések tárolására és visszakeresésére szolgáló adatbázisok (historikus adatrögzítés és egyéni teljesítménymérés), valamint a művelet utáni kiértékelés funkciójának megteremtése. Szintén „csak” tervezési és fejlesztési kérdés a megfelelő interfészek biztosítása külső rendszerekhez, mint például a *Learning Record Store (LRS)*³⁸ az xAPI³⁹ adatok fogadására, vagy más szimulációs rendszerekkel való integráció (HLA, DIS), ami az interoperabilitást teremti meg.

VR kiképzés során rendkívül sokféle és nagy mennyiségű adat keletkezik. Ide tartoznak a teljesítményadatok, mint a reakcióidő, pontosság (lövészet, célfelismerés), feladatvégrehajtási idő, döntési pontok és választások, valamint a szabálykövetés (pl. tüzelési szektorok betartása), amint azt a GTS rendszer kiértékelési funkciói (pl.

³⁷ Forrás: www.apexofficer.com/arsenal (A letöltés dátuma: 2020. 05. 20.)

³⁸ LRS (Learning Record Store), Tanulási Rekord Tároló: Olyan adattár, amely az xAPI szabvány szerint formázott tanulási rekordokat gyűjti és tárolja, lehetővé téve a különböző rendszerekből származó tanulási adatok központi kezelését.

³⁹ xAPI: Olyan szoftvertechnológiai specifikáció, amely lehetővé teszi a tanulási tapasztalatok széles körének (online és offline egyaránt) rögzítését és megosztását egy egységes, strukturált formátumban.

Egyéni teljesítménymérés) is mutatják. Az interakciós adatok magukban foglalják a mozgásmintákat a virtuális térben (tracking data), az eszközhasználatot (pl. fegyverkezelés, tárcsere) és a kommunikációs logokat. A mozgásadatok felhasználásának lehetőségeit több kutatás is vizsgálja. Különösen ígéretes és korábbiakban kiemelten nem említett terület a fiziológiai adatok gyűjtése, mint a szemmozgás (*eye tracking*), pulzus, vagy akár agyi aktivitás (*BCI – Brain-Computer Interface*). Ezen adatok integrálása nem csupán az immerzió mértékének validálására szolgál, hanem lehetővé teszi a kognitív terhelés, a stressz-szint és a figyelmi állapot objektív, valós idejű monitorozását. Ez a megközelítés betekintést nyújt a katona belső állapotába, ami a mentális reziliencia fejlesztésében is kulcsfontosságú lehet, mivel a VR képes valósághű stresszreakciókat kiváltani, és a fiziológiai szenzorok ezt mérhetővé teszik, így a kiképzés finomhangolható a katona optimális terhelési zónájának elérésére.

Az adatgyűjtési és -rögzítési technológiák közül kiemelkedik az előbb említett Experience API (xAPI), amely egy szabványosított formátum a tanulási tapasztalatok széles körének rögzítésére „Én ezt csináltam” formátumú állítások segítségével. Az xAPI nem csupán adatgyűjtési szabvány, hanem egy olyan filozófia is, amely a tanulást a formális kurzusokon túlra terjeszti, és lehetővé teszi a szimulációban, a terepen vagy akár informális tanulási helyzetekben szerzett tapasztalatok integrált kezelését. Rugalmassága lehetővé teszi a VR szimulációk által generált részletes interakciós adatok (pl. „célzott X pontra”, „fedezéket váltott Y helyre”) strukturált rögzítését, ami alapul szolgál a finomgranuláris teljesítményelemzéshez és elősegítheti egy egységes kiképzési adat-ökoszisztéma kialakítását.

Az alábbi 4. táblázatban összefoglalom a VR kiképzési szimulációk során gyűjthető főbb adattípusokat és azok lehetséges felhasználási területeit.

Adattípus	Rövid leírás	Gyűjtési technológia (példákkal)	Felhasználási terület a kiképzésben (példákkal)	Kapcsolódó kihívások
Mozgáskövetési adatok	Pozíció, orientáció, sebesség (fej, kezek, test, fegyver)	HMD szenzorok, kontrollerek, külső követőrendszerek, testre rögzített szenzorok	Testtartás, mozgáskoordináció, fegyverkezelés pontosságának elemzése, ergonómiai vizsgálatok, útvonalelemzés.	Adatmennyiség, feldolgozási igény.

Interakciós adatok	Eszközhasználat (pl. tárcsere, kapcsolók), virtuális gombok lenyomása	Kontrollerek, instrumentált eszközök, kézkövetés	Eljárások helyes végrehajtásának ellenőrzése, reakcióidők mérése, döntési pontok azonosítása.	Interakciók pontos logolása.
Szemmozgás-követési adatok	Tekintet iránya, fixációk, szakkádok, pupillaméret	Integrált eye-tracking a HMD-ben (pl. Varjo Aero, HTC Vive Pro Eye)	Figyelmi fókusz elemzése, célfelismerési stratégiák vizsgálata, kognitív terhelés becslése, vizuális információ-feldolgozás hatékonyságának mérése.	Kalibráció, pontosság, adatvédelem.
Fiziológiai adatok	Pulzusszám, szívfrekvencia-variabilitás (HRV), agyi aktivitás (EEG/BCI)	Viselhető szenzorok (pl. pulzusmérő órák), BCI headsetek	Stressz-szint, kognitív terhelés, fáradtság objektív mérése, érzelmi állapot monitorozása, az immerzió mértékének validálása.	Szenzorok invazivitása, zajszűrés, etika.
Kommunikációs adatok	Verbális kommunikáció (mit, mikor, kinek), kézjelek (ha követett)	HMD mikrofon, kommunikációs szoftver logjai, kézkövetés	Csapatkoordináció, parancsnoki kommunikáció hatékonyságának elemzése, információáramlás vizsgálata.	Beszédfelismerés pontossága.
Rendszer-logok / xAPI állítások	Szimulációs események, NPC interakciók, feladatállapot-változások, xAPI állítások	Szimulációs szoftver, LRS	Részletes AAR támogatása, tanulási útvonalak rekonstrukciója, adaptív rendszerek vezérlése, teljesítmény-összehasonlítás, longitudinális adatelemzés.	Adatintegráció, LRS implementáció.

4. táblázat VR szimulációk során gyűjthető adattípusok (Készítette: a szerző)

Az adatok kulcsfontosságú szerepet játszanak a kiképzés hatékonyságának növelésében. Támogatják az objektív teljesítményértékelést és az After-Action Review (AAR) folyamatát, amelynek fontosságát ezen értekezés több helyen is hangsúlyozza. Az automatizált AAR lehetőségei, amelyek nagymértékben támaszkodnak a gyűjtött adatokra, szintén kutatott terület. A tanulási analitika (Learning Analytics - LA) a VR kiképzésben lehetővé teszi a rejtett mintázatok feltárását mind egyéni, mind csoportszinten, azonosítva például a tipikusan nehézséget okozó forgatókönyv-elemeket vagy a sikerhez vezető döntési útvonalakat.

Az LA által feltárt mintázatok alapján proaktívan lehet módosítani a kiképzési programot, ami hosszú távon hozzájárulhat a kiképzési doktrínák és TTP-k (Taktikák, Technikák, Eljárások) adatalapú fejlesztéséhez és validálásához. Mindezek az adaptív kiképzési rendszerek alapját képezik, ahol a rendszer dinamikusán képes változtatni a feladatok nehézségét vagy a visszajelzések típusát. [14]

A nagy mennyiségű, potenciálisan érzékeny kiképzési adat kezelése során az adatbiztonsági és adatvédelmi megfontolások kritikusak. Az anonimizálási, pseudo-anonimizálási technikák, a hozzáférés-szabályozás és a biztonságos adattárolás elengedhetetlenek.

4.3.5 MESTERSÉGES INTELLIGENCIA

A mesterséges intelligencia (MI) forradalmasítja a VR kiképzési rendszereket azáltal, hogy dinamikusabb, valósághűbb és intelligensebb tanulási környezeteket tesz lehetővé. Az MI nem csupán az ellenfelek viselkedését teszi életszerűbbé, hanem a kiképzés személyre szabásában és az értékelés automatizálásában is kulcsszerepet játszhat. Az MI túlmutat az előre szkriptelt eseményeken, lehetővé téve a környezet és a karakterek dinamikus reagálását a kiképzendő cselekedeteire, amint azt korábbi alfejezetem is említi, az AI-alapú rendszerek szerepével kapcsolatban a dinamikus és interaktív virtuális környezetek létrehozásában.

Az MI alapú „nem játszható karakterek” (NPC-k) fejlesztése terén jelentős előrelépések történtek. A realiztikus és adaptív viselkedésmodellek révén az NPC-k már nem csupán egyszerű célpontok, hanem képesek lehetnek komplex, csapatban történő taktikai manőverekre, tanulásra és a kiképzendő stratégiájához való alkalmazkodásra. Kutatások a Multi-agent Reinforcement Learning (MARL) keretrendszer és Graph Neural Network (GNN) alapú megoldásokat alkalmaznak adaptív NPC viselkedések létrehozására, amelyek képesek kezelni a katonai környezetek sztochasztikus és részlegesen megfigyelhető jellegét. Az ilyen szintű adaptivitás még nem jellemző az általunk vizsgált VR szimulátorokban, hanem inkább célszimulációs rendszerekben, de most modellezett adaptivitás is eléri célját. Az adaptív NPC-k nemcsak a kiképzés realizmusát növelik, hanem folyamatosan fenntartják a kihívást a kiképzendő számára. Ha a katona egy adott taktikát túlságosan kiismer, az NPC-k képesek lehetnek stratégiát váltani, így kényszerítve a katonát új megoldások keresésére. Ez a fajta NPC-intelligencia hozzájárul a „gondolkodó

katona” képzéséhez, aki nemcsak begyakorolt sémákra, hanem valós idejű problémamegoldásra is képes. Kitekintésként érdemes megemlíteni a Multi-level Universal Specification for Intelligent Characters (MUSIC) koncepciót, amely egy szabványosított keretrendszert kínál intelligens karakterek viselkedésének leírására és szimulációk közötti újrafelhasználására, csökkentve a redundáns fejlesztéseket és növelve az interoperabilitást. A MUSIC lehetővé teszi a „tudásleválasztást” a szimulációs környezettől, azaz az NPC-k intelligenciája hordozhatóvá válik, ami elősegítheti egy központi, megosztott „intelligens karakter könyvtár” létrehozását a védelmi szektor számára. Az NPC-k szerepe a komplex taktikai szituációk és a döntéshozatali képességek gyakorlásában alapvető.

Az MI jelentős szerepet játszik a számtalanszor említett, Művelet Utáni Értékelés (AAR) automatizálásában és támogatásában is. Az automatikus AAR technikák, mint például a Behavior Transition Networks (BTN-ek), képesek a kiképzendő döntéseit valós időben értékelni, túlmutatva az egyszerű szkriptelt forgatókönyveken. Az MI segíthet az események automatikus detektálásában, a kritikus pontok azonosításában és akár javaslatok megfogalmazásában is. Le kell szögezni viszont, hogy az MI-vezérelt AAR célja még mindig nem a humán instruktor teljes kiváltása, hanem annak tehermentesítése és egy objektívebb, adatalapúbb kiindulópont biztosítása az értékeléshez. Az automatizált előszűrés és adatelemzés révén az AAR fókuszáltabbá és hatékonyabbá válhat, következetesebb értékelést téve lehetővé.

4.3.6 ÖSSZEGZÉS

Jelen alfejezet az 5.3 fejezetben bemutatott, a VR technológia technikai elemzésére vonatkozó megállapításokat szintetizálja, értékelve annak jelenlegi fejlettségi szintjét és kiképzési potenciálját, különös tekintettel a kutatás H3 hipotézisére.

Az 5.3 fejezet részletesen vizsgálta a VR technológia kiképzési szempontból releváns aspektusait. Hipotézisem, amiben feltételezem, hogy „Az alternatív valóság technológián belül is a VR technológia érte el azt a fejlettségi szintet, hogy a gyalogsági egyéni is kislevegység szintű harcászati képzést is támogassa.” – alátámasztást nyert az bemutatott technikai fejlettség révén. A magas felbontású, alacsony késleltetésű HMD-k, a pontos teljes szabadságfokú követés, az élethű fegyverreplikák és interakciós eszközök, a fejlett grafikus és fizikai motorok, a kifinomult adatgyűjtési és -elemzési (tanulási analitika) módszerek, valamint az

adaptív NPC-k beépíthetőségének lehetősége együttesen azt bizonyítják, hogy a VR technológia valóban elérte a szükséges érettségi szintet. A kereskedelemben kapható (COTS) eszközök elterjedése és a szoftveres keretrendszerek fejlődése lehetővé teszi komplex, immerzív és interaktív egyéni és kislegeység szintű harcászati kiképzési forgatókönyvek hatékony és egyre költséghatékonyabb megvalósítását. Alátámasztásomat a következőképp összegezhetjük:

Funkcionalitás szempontjából a VR technológia képes komplex harcászati környezetek, változatos ellenfél-viselkedések, stresszhelyzetek és döntési kényszerek szimulálására. Támogatja az egyéni készségfejlesztéstől (pl. fegyverkezelés, célzás) a kislegeység-koordinációig (pl. kommunikáció, közös mozgás, tűzelosztás) terjedő skálát.

A technológiai érettség a hardveres és szoftveres fejlesztéseknek köszönhetően magas szintű. A COTS eszközök és nyílt forráskódú komponensek (pl. GIFT, Unreal/Unity grafikus motorok) csökkentik a belépési korlátot és gyorsítják az innovációt a katonai alkalmazások terén is.

Korlátokat vizsgálva, továbbra is kihívást jelent a teljes fizikai valóság tökéletes reprodukálása (pl. tapintás finom árnyalatai, szagok), a kijelző és hangtechnológiai korlátok, az adatbiztonsági és adatvédelmi kérdések a nagy mennyiségű kiképzési adat kezelése során, valamint a valós fegyverek és eszközök tömegének, súlyeloszlásának tökéletes szimulációja. Ennek ellenére ki lehet jelenteni, hogy megfelelő tervezés mellett, a kiképzési célok szűkítésével nagyon hatékony kiképzőeszköz fejleszthető VR technológiára alapulva, mivel a többi technológián alapuló rendszerekhez képest költséghatékony és biztonságos alternatívát/kiegészítőt kínál a hagyományos gyakorlatokhoz; bármikor, bárhol ismételhető, standardizált kiképzési forgatókönyveket tesz lehetővé; objektív, adatalapú, részletes teljesítménymérést és -értékelést biztosít; személyre szabott, adaptív kiképzést tesz lehetővé; komplex, veszélyes vagy ritkán előforduló szituációk kockázatmentes gyakorlását teszi lehetővé; és hatékonyan fejleszti a döntéshozatali és kognitív képességeket.

A jövőbe tekintve a VR technológia igazi ereje már nem csupán a vizuális immerzióban rejlik, hanem abban a képességében, hogy intelligens, adatvezérelt és adaptív kiképzési ökoszisztémát hozzon létre. A szoftveres rugalmasság, a részletes adatgyűjtés, a tanulási analitika és az adaptív NPC-k, valamint az AAR együttesen

teszik lehetővé a kiképzés hatékonyságának, objektivitásának és személyre szabottságának radikális növelését. Ez a technológiai konvergencia egy paradigmaváltást hoz a katonai kiképzésben: a „mindenkinek egyforma” modellektől a nagymértékben individualizált, adatokkal folyamatosan finomított és MI által támogatott tanulási utak felé mozdul el. A fejlett hardver, a kifinomult szoftver és az intelligens algoritmusok szinergiája teszi lehetővé, hogy a VR ne csak egy „szimulátor” legyen, hanem egy komplex „kiképzési ökoszisztéma”.

5 VR TAKTIKAI KIKÉPZŐRENDSZER

Miután bizonyítottam a H1-H3 kutatási hipotéziseimet, hogy egy VR alapú gyalogos kisalegység harcászati kiképzőrendszer fejlesztés és bevezetés szinte elengedhetetlen napjainkban, jelen fejezettel a H4 hipotézisemet szeretném bizonyítani.

Jelen fejezetben a kutatási módszer szétagoltabb lesz az előzőekhez képest. Szeretném az olvasóval megismertetni a gyakorlati alkalmazáshoz szükséges funkcionális és nem funkcionális igényeket. Ezeket az igényeket, ahol lehet, nem ismételve önmagammat csak visszahivatkozom a korábbi fejezetből, illetve a gyakorlati kihívásokra és megoldásukra mutatok rá. Mivel egyetemünkön egy saját (magyar) fejlesztésű kereskedelmi termék (Infinet Simulation GTS) alapjain elkészült prototípus (VR taktikai harcszimulátor prototípus) is működik, ezek felépítését, részeit is ismertetem és ahol lehet a tapasztalatokat is nagy vonalakban leírom.

Jelen fejezet témája így egy tudományos-mérnöki követelményrendszer egyeztetés, és célja, hogy hogyan lehet egy optimális metszetet létrehozni a megváltozott kiképzési igények és a VR technológia jelenlegi állapota között.

Ahhoz, hogy ezt megtehessem egyszerre kell figyelembe venni az összes eddigi eredményt és már műszaki paraméterek szintjén is vizsgálni kell, hogy az hogyan hat vissza az elérendő célokra. A korábbi elemzések során többször rámutattam esetleges korlátokra, de ezt most még jobban konkretizálom, tapasztalati példákkal támasztom alá. Kitérek a biztonsági kérdésekre, mint a hardver és szoftver alapú rendszerek egy fő kérdésére is.

Célom nem egy teljeskörű igényspecifikáció ismertetése, mivel ez túlmutat jelen értekezésem tartalmi és terjedelmi lehetőségein - hanem fő tervezési elvek lefektetése és magyarázata, valamint bizonyítása, hogy a H4 hipotézisemmel szinkronban a hazai VR kiképzőrendszer fejlesztése lehetséges, sőt elérte a megfelelő környezeti és technológiai érettségi színvonalat az alkalmazásához.

5.1 A TAKTIKAI KIKÉPZŐRENDSZER FOGALMA

Az előzőekben próbáltam a katonai terminológiát használni és a katonai szempontrendszereket közvetlenül vizsgálni. Visszatekintve, kutatásom során viszont

hamar kiderült, hogy azok a tudásszintek, amelyek egy olyan felkészítéshez szükségesek, amelyekhez egy felettébb hatékony kiképzőrendszer megteremtésére töreksem, nincsenek egységesen kezelve a katonai fogalomrendszerben. Ez azért lehetséges, mert eleinte, mint volt katona, volt NAV (Pénzügyőrség) alkalmazott, illetve igazolt aktív dinamikus sportlövő, a témát alulról, a közvetlen lövészetrel kapcsolatos tényezőktől indítva kezdtem el vizsgálni. Több olyan szituációs sporteseményen vettem részt, ahol a szervezők törekedtek a valósághűsége és a valóságban is alkalmazandó technikák alkalmazására koncentráltak.

Sokszor kértem konzultációt és visszacsatolást olyan emberektől, akik a lövészet, harcászat és azokban történő döntéshozatal kiképzésével, elemzésével foglalkoznak. Volt kollégám és sporttársam, dr. Gáspár Miklós rendészeti és sportlövészeti oldalról, Takács Márk György kollégám pedig katonai oldalról segített egyeztetni a számomra egyértelmű átfedéseket. Szakirodalomra és az említett urakra támaszkodva sikerült megállapítanunk, hogy noha az rendészeti intézkedéstaktika és a katonai lövészet/harcászat más jogi környezetet és harcérintkezési szabályokat (ROE) feltételez, igenis szükség van egy olyan kiképzőrendszerre, amely a következő tényezőket tudja magában foglalni. Az egyén és a kis kötelékekben végzett erre irányuló képzés, mint a korábbi fejezetekből láhattuk nagyon nehézkes, költséges és kiképző függő. Mivel a technológia adott és ígéretes volt, igyekeztem meghatározni azt a kört, amit illethetnek fegyveres taktikai vagy taktikai kiképzésnek, mintegy direkt erre a célra szintetizált terület a harcászat, intézkedéstaktika és a sportlövészet területéről.

A technológiai adottságai miatt a megcélzott képességeket szűkíteni kellett, de az így megmaradt képzési potenciál többszörösen előnyös még így is a többi rendszerhez képest, ha a katonák harcmezőn történő hatékonysága és minél magasabb túlélése a képzési cél. Az egyszerű lövészeti készségek egy részét a tesztelések során így kivonhattuk a követelményekből, feltételezve, hogy a rendszer használatához az alap lökészség és fegyverkezelés már elsajátításra került, tisztán egy taktikai kiképzőeszközt kapva. Innentől kezdve taktikai szót egy olyan összefoglaló területként kezelem, ami a következő területet írja körül:

- Rendészeti szervek dolgozói, katonai állomány, illetve fegyveres biztonsági szolgálatok emberei érintettek. A lövészet, harcászat és/vagy intézkedéstaktikai elemeket integráltan kell használni.;
- Olyan valóságos szituációkra való felkészítés szükséges, ahol fegyver és/vagy kényszerítő eszköz használata lehetséges, szükséges. Nagy a bizonytalanág, nagy a kockázat (életveszély, eskalációs veszély) és gyors döntéshozatali kényszer jellemzi;
- Az emberi tényezők szerepe kiemelt, azaz kiszámíthatatlanság a jellemző tényező a szembenálló részéről;
- A fentiek miatt a feladatot nagy stresszhatás alatt kell elvégezni, stressztűrési magas szintje elvár;
- Maga környezet is komplex, sokváltozós, az emberi tényezőknél felül;
- Egy, vagy több fő végrehajtás jellemzi a feladatokat.

A fentiekből látszik, hogy ennek elérése minden kiképzésben cél, de a hagyományos módszerek nem teszik ezt lehetővé. Az is látszik, az ilyen környezetben történő munka, tudásszint szerinti mélysége miatt, több képzési szintet feltételez.

A következő fejezetben tehát a taktikai kiképzésként fogok hivatkozni a fenti körülményekre való felkészítésre.

5.2 ÁLTALÁNOS KÉRDÉSEK ÉS KÖVETELMÉNYEK

A korábbi fejezetekből láthattuk, hogy a megálmodott taktikai kiképzőeszköz illeszkedik a feltárt igényrendszerbe, azaz a felhatalmazott gondolkodó katona elvét, az adaptív, nagy volumenű, költséghatékony képzést, gyors visszacsatolást a személyi, kötelék és doktrinális szintre, interoperabilitást jól tudja kezelni. Ezeket a célokat a teljesség igénye nélkül, érdemes áttekinteni, illetve vizsgálni azokat a további lehetséges, már gyakorlati követelményeket, amelyek kielégítése szükségszerű és további hatékonyságnöveléssel jár. A következőkben olyan általános gyakorlati követelményeket gyűjtöttem, amelyek a későbbiekben visszaköszönnek. Igyekeztem ezeket nem ismételni, hanem visszahivatkoztam korábbi előfordulásukra.

5.2.1 HARCÁSZATI KÉPZÉS KÖVETELMÉNYEK GYALOGOS KATONÁRA VETÍTVE

Az alegységek harcászati értéke nagyban függ az egyének és kisleységek képességeitől. Ezen a területen találtam meg azt az átfedést, ahol a VR technológiának nagyon nagy hatékonysága van.

A rendszernek képesnek kell lennie hatékonyan támogatnia különböző készségek, jártasságok és képességek kialakítását, gyakoroltatását és a tudás visszaellenőrzését.

Azt, hogy milyen tudás fejlesztésére kell a rendszernek alkalmasnak lennie, azt itt gyűjtöm össze:

- egyszerű lövészeti készségek – (ez a rész technológiai korlátok miatt részben megvalósítható, ezért az „elsütést”, mint képzési célt, kivontuk a követelmények közül)
 - irányzás (rendezett irányzék)
 - elsütés
 - tárcsere
 - fegyverakadály elhárítás
- tüzelés
 - helyes tüzelési testhelyzetek
 - fegyverek helyes kezelése és alapvető biztonsági rendszabályok betartása
 - megfelelő távolságra és célra lö-e vele
 - betartja-e a fegyver üzemeltetési előírásait
- fedezékhasználat
 - fedezék kiválasztása
 - fedezékbe (tüzelőállásba mozgás)
 - fedezékből, tüzelőállásból tüzelés
 - a harcászati helyzet változásánál felismeri-e, hogy a fedezéket vagy a tüzelési testhelyzetet meg kell változtatnia
 - fedezékek közötti mozgás
 - épületen belüli mozgás célfelderítés és leküzdés
- Döntéshozatali képességek
 - parancsnok által meghatározott célok leküzdése
 - egyéni célfelderítés és leküzdés

- célok jelentése
- döntéshozatal bizonytalan környezetben

Ezen készségek, jártasságok és képességek elsajátítását a rendszernek különböző összeállításokban is gyakorolhatóvá és tesztelhetővé kell tennie.

5.2.2 IMMERZIVITÁS ÉS INDIKÁTUMAI

A rendszernek olyan szinten kell jelenlét érzetet biztosítani, hogy a fiziológiai hatások, érvényesüljenek. A gyakorló saját bőrén tapasztalja meg a háború természetét és stressz képzését. A korábban vázolt technológia által biztosított immerzivitás kérdését kibontva fejlesztési követelmény oldalról, két fő részt találhatunk, a környezet és a környezeti karakterek (szereplők) valóságűségét.

Virtuális környezet és taktikai követelményei: A rendszer magját egy modern, kereskedelmi 3D grafikus motor (Unreal Engine) adja, amely felelős a fotórealisztikus grafika, a dinamikus fény- és időjárási viszonyok, valamint a fizikai interakciók megjelenítéséért. A virtuális tér objektumai anyag- és felületpontos modelleknek kell lenniük, ami elengedhetetlen a valóságű ballisztikai szimulációhoz, azaz az áthatolások, lepattanások, röppálya, lövedékenergia modellezéséhez. Ezáltal a rendszer képes a lövedékek röppályájának, energiaveszteségének és a különböző felületekkel (pl. fal, fedezék) való kölcsönhatásának élethű modellezésére, amihez fejlett ballisztikai szoftveralgoritmusok integrálhatók. A környezet interaktív kell, hogy legyen, a felhasználók természetes mozgással és kézmozdulatokkal (természetes input) léphetnek vele kölcsönhatásba. A rendszernek támogatnia kell a több felhasználó egyidejű jelenlétét és a közöttük zajló valóságű kommunikációt. Ez lehet kézjel, érintés, illetve rádiókommunikációs berendezéseken keresztül.

Környezeti, avagy nem játszható karakterek és viselkedési stratégiák: A kiképzés hatékonysága szempontjából kritikus a valóságű, kiszámíthatatlan és kihívást jelentő ellenfél és civil környezet egyvelege. A rendszer túlléphet az egyszerű, szkriptelt NPC-ken, és mesterséges intelligenciát alkalmazhat az adaptív viselkedés modellezésére. Az intelligens viselkedést a rendszer a Viselkedési Fák (*Behaviour Trees*) népszerű technikáját alkalmazhatja az NPC-k alapvető logikájának felépítésére, amelyeket későbbiekben grafikus felületen, akár programozói tudás nélkül is szerkeszthetnek a kiképzők. A fejlettebb viselkedés érdekében a rendszerbe integrálhatók a „többügynökös megerősítéses tanulás” (*Multi-agent Reinforcement Learning* –

MARL) és a „gráf neurális hálózatok” (*Graph Neural Networks – GNNs*) módszerei. Ezek lehetővé teszik, hogy az NPC-k tanuljanak a tapasztalataikból, alkalmazkodjanak a kiképzendő katona taktikájához, és akár csapatként, összehangoltan is cselekedjenek. Az NPC-k különböző, előre definiált, de dinamikusan változó viselkedési stratégiákat követhetnek, a passzív, neutrális viselkedéstől a defenzíven át az agresszív támadásig, realisztikus és komplex harcászati helyzeteket teremtve.

5.2.3 ADATRÖGZÍTÉS, MODULARITÁS, INTEROPERABILITÁS

Adatgyűjtés

A korábbiakban erről részletesebben írtam, jelen fejezetünkben annyit kell leszögezni, hogy a rendszernek minden adatot sok mintavétellel gyűjtenie kell, AAR-ra és historikus adatfeldolgozásra, ami az úgynevezett nagyadatra („*big-data*”-ra) ad lehetőséget. A VR rendszerek szoftvere (*Unreal Engine*) regisztrálja az az eseményeket (lövés, találat, fegyver működtetése, tereppontok elérése, felhasználók, környezet mozdulatai) ezért még további mintavétel nélkül, a nagyadat feldolgozáson keresztül, az adaptív tanulás, azaz a *student-centric-learning* megközelítés könnyen végrehajtható, csupán fejlesztési kérdés. Az adatrögzítés és modularitás erősen támogatja az adatvezérelt megoldások (beleértve a két fenti példát) fejlesztését.

Gyakorlati szinten fontos megemlíteni a modularitás szempontjából azokat a kiképzési, gyakoroltatási és vizsgáztatási feladatokat, amelyeket a rendszer támogatni képes. A három tényező csak adminisztratív szempontból különbözik, mivel mindhárom esetben a cél a tudásátadás és teljesítménymérés. Ennek ellenére a rendszernek támogatnia kell a vizsgáztatás lehetőségét, ami előtt elvégzett gyakorlási ciklusok teljesítményméréséből is lehet következtetéseket levonni. A későbbiekben láthatjuk, hogy a funkcionalitások nagy részének alapja az esetünkben is alkalmazott adatvezérelt megközelítés.

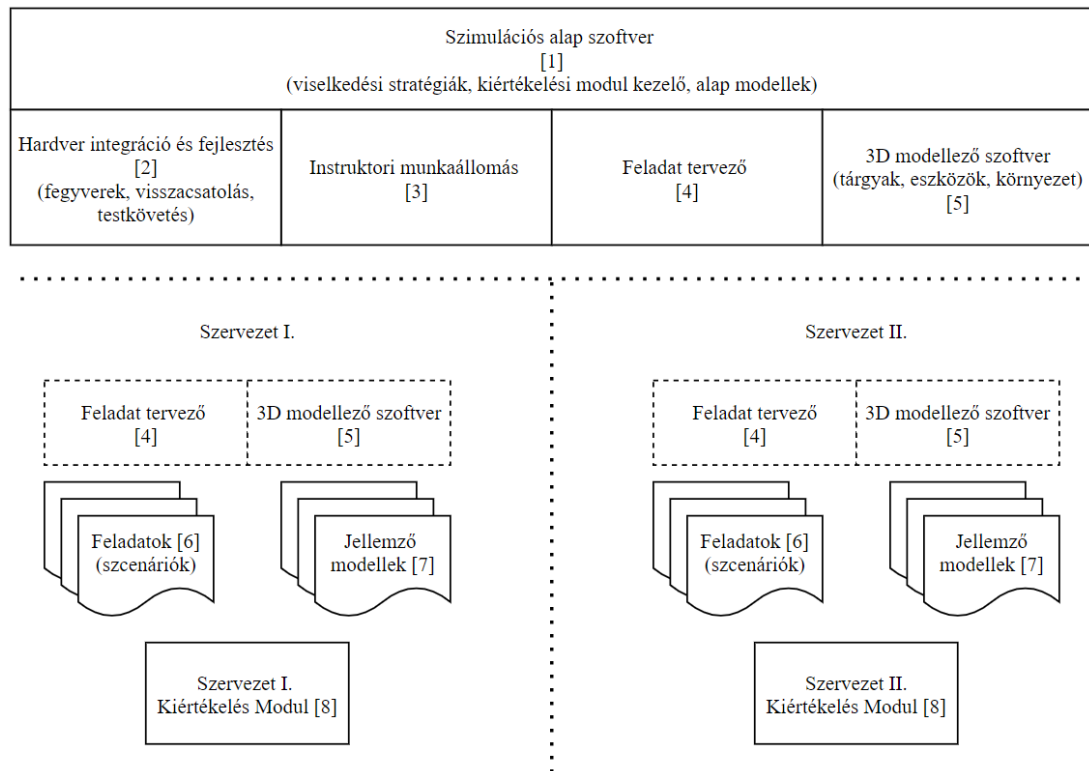
Interoperabilitás

A rendszer szoftveres és hardveres felépítésének biztosítani kell bármilyen irányú rugalmas skálázhatóságát, modularitását. Egy modern katonai kiképzőrendszer értéke nem csupán önmagában mérendő, hanem abban a képességében is, hogy képes-e együttműködni más rendszerekkel egy nagyobb, összhaderőnemi szimulációs környezetben. Ez elég általánosan hangozhat, de erre szoftveres és hardveres oldalon

is számos módszer létezik. A modularitásnak biztosítania kell akár az xAPI, akár a HLA kapcsolódásokat is. Míg az xAPI az egyén és alakulat szintű teljesítményérési interoperabilitást teszi lehetővé, addig a HLA akár nemzetközi gyakorlatokon más szimulátorokkal, akár más haderőnemi szimulátorokkal való összekapcsolást úgy, hogy a képzések, gyakorlatok egy közös virtuális térré alakuljanak. A rendszer HLA-kompatibilis tervezése tehát alapvető architektúrális döntés, amely biztosítja, hogy a hazai fejlesztés ne egy izolált, korlátozott hasznosságú eszközt eredményezzen, hanem egy a nemzeti és szövetségi védelmi képességekbe teljes mértékben integrálható, stratégiai értéket képviselő komponens. Ez a fajta előrelátó tervezés a H4 hipotézis megvalósíthatósági érvelésének kulcsfontosságú eleme, amely a műszaki kivitelezhetőségen túl a rendszer hadműveleti-stratégiai relevanciáját is bizonyítja.

Nemzeti szintű többcélúság és hatása az architektúrára

Ha kicsit elvonatkoztatunk a katonai és nemzetközi alkalmazástól, a kihasználhatóság szemszögéből vizsgáljuk az ilyen rendszereket, felfedezhetünk egy más dimenziót is. A kezdetektől egy hazai, többcélú eszköz fejlesztési irányában is érdemes gondolkodni. A VR taktikai kiképzőrendszer, mint egy közös kiképzési igényt lefedő metszetet célzó eszköz, kis módosításokkal több hazai vagy akár külföldi szervezet kiképzési igényeinek is megfelelhet. Ha a szimulációs szoftver és legtöbb hardver elem követelményei megfelelnek ezeknek a szervezeteknek, akkor a modularitás miatt, könnyen átszabhat a rendszer, ami optimalizálja a fejlesztési és karbantartási költségeket. A különböző fegyveres szervenként a harcérintkezés szabályai (ROE) mások, ezért ennek modularitása a legfontosabb tényező ez esetben.



26. ábra Többcélú, VR taktikai szimulátor rendszer egy lehetséges felépítése.
(Készítette: a szerző)

A rendszer központi elemeit a szimulációs alapszoftver 26.ábra/[1] (amely a viselkedési stratégiákat, a kiértékelési modul kezelését és az alapmodelleket tartalmazza) és a hozzá kapcsolódó hardver integrációs és fejlesztési modul 26.ábra/[2] (fegyverek, visszacsatolás, testkövetés) alkotják. Ezek a központi komponensek futtatják a szimulációs helyzeteket, azaz a feladatokat (szcenáriókat) 26.ábra/[6]. A feladatok a 3D modellező szoftverrel 26. ábra/[5] létrehozott jellemző modelleket 26. ábra/[7] (tárgyak, eszközök, környezet) tartalmazzák.

A szimuláció végrehajtását az instruktorok az instruktori munkaállomásról 30.ábra/ [3] követik figyelemmel. Ezen a felületen keresztül utasításokat adhatnak a kiképzendőknek, vagy akár közvetlenül be is avatkozhatnak a szimuláció menetébe. Az instruktori munkaállomás biztosítja a feladat utáni kiértékelés és elemzés (*After Action Review*, AAR) lehetőségét is a szervezetenként testreszabható kiértékelési modulok 26.ábra/ [8] segítségével.

A felhasználóbarát feladat tervező 26. ábra/[4] és a 3D modellező szoftver 26. ábra/[5] kihelyezhető a felhasználó szervezetekhez. Ezek kezelése átlagos informatikai

ismeretekkel rendelkező állomány által is elsajátítható, lehetővé téve a szervezetek számára a képzési tartalmak önálló menedzselését, titoksértések elkerülése mellett, olyan szervezetek esetében, ahol a taktikai eljárások, a megtörtént esetek feldolgozásai vagy a műveleti helyszínek védendő információt képeznek.

A rendszer így biztosítja, hogy ezek az adatok más szervezetek számára ne legyenek hozzáférhetők. Ezzel a fejlesztés a különböző szervezetek specifikus igényeit figyelembe véve, de egymástól független (laza csatolású) módon valósul meg, miközben a fejlesztő egy egységes, közös alapokon nyugvó rendszert tarthat karban és fejleszthet tovább.

5.2.4 NAGY KÉPZÉSI VOLUMEN ÉS MODULÁRIS RUGALMASSÁG

A korábbiakban tárgyalt újrafelhasználhatóság és a szoftveres gyors átkonfigurálhatósági elemzés rámutatott arra, hogy elméletben könnyen megvalósítható a nagy volumenű képzés. A rendszernek ezért a gyors állományváltásokat, a kiképzési előkészítést és átállást (helyszíni telepítés, katonák és instruktorok felkészítése, átállási idők) támogatnia kell. Erre a követelményre a személyi felszerelés elemzése és későbbi alfejezetek során térek ki jobban, ott említem azokat a tényezőket, amelyek befolyásolják a képzési volumen rugalmasságát.

5.3 RENDSZER FELÉPÍTÉSE ÉS FUNCKIÓI

5.3.1 AZ INSTRUKTORI MUNKAÁLLOMÁS

Az Instruktori Munkaállomás (IWS) a kiképzőrendszer központi eleme. Az instruktor számára lehetővé teszi a gyakorlat valós idejű követését több nézőpontból, az eseményekbe való beavatkozást (pl. új NPC-k elhelyezése, viselkedésük módosítása), és ami a legfontosabb, a részletes, adatvezérelt, esemény szintű, ergonómikus művelet utáni értékelést (AAR) ad.

A rendszer minden releváns adatot automatikusan rögzít, a lövések pontosságától a reakcióidőn, a mozgásmintákon és a kommunikáción át a taktikai döntésekig, illetve automatikusan kiértékeli a végrehajtási teljesítményt, a biztonsági rendszabályok betartását (pl. helytelen fegyverirányok) illetve a fedezékhasználat hatékonyságát is. Ez az objektív, tényszerű adatbázis képezi az AAR alapját, tehermentesítve az instruktort és lehetővé téve a fókuszált, hatékony visszajelzést.

Az instruktori (kiképzői) munkaállomás egy egyszerű laptop számítógép vagy tablet, amelyen nem szimuláció fut, hanem az instruktor számára tervezett, felhasználóbarát, képernyőn kezelhető IWS szoftver modul. A kiképző a szimuláció során úgy helyezkedik el, hogy a digitális felületet figyelhesse és egyidejűleg a valós térben is láthassa a végrehajtókat.

Áttekintési funkciók

Az kezelő a szoftveren keresztül értékelheti a végrehajtást, annak minden részletét megfigyelheti valós időben, illetve rögzítésből visszajátzva. A szimuláció és a visszajátzás során a virtuális térben történeteket több módon követheti. Erre több lehetősége is van:

- 2 dimenziós felülnézet
- 3 dimenziós látkép, bármelyik felhasználó szemszögéből
- 3 dimenziós látkép, az ellenfelek szemszögéből
- 3 dimenziós szabadon mozgatható kamerakép

A különböző nézetekben a kiértékeléshez szükséges segédvizualizációkat be és ki lehet kapcsolni, mint például a fegyvercsövek irányából vetített egyenes (a biztonsági rendszabályokat ellenőrizendő), a felhasználók látótere, a lövedék becsapódási pontok. A fegyvercsőből vetített „lézer” megjelenítése egyértelműsíti az esetleges célzási hibákat, így különböző irányzékok rossz használatára is felhívja a figyelmet.

Beavatkozási lehetőségek

Az instruktornak a kiképzésszakmai követelményeknek megfelelően lehetősége van szimuláció közben beavatkozni (új ellenfelek, fedezékek, effektusok, füstgránát hozzáadása), ez a feladatszerkesztő 26.ábra/[8] funkcionális körének egy részét takarja. Ezen felül regisztrálhat, vagy kiválthat bizonyos eseményeket. Regisztrálhatja például, hogy egy behatolásnál történt-e felszólítás, megfelelő utasítások lettek-e kiadva a szembenállóknak, illetve egy adott pillanatban átállíthatja a szembenálló fél viselkedési stratégiáját közreműködőről támadóra. Beavatkozásként az instruktornak továbbá lehetősége van a csapat tagjaival szimulált rádiókommunikációs kapcsolaton keresztül beszélni, azon felderítési információt vagy utasítást adni.

Feladatok, környezetek állományok váltása

Már korábban tárgyaltuk, hogy a VR rendszerek szoftverei újrafelhasználhatók. Ez az újrafelhasználhatóság nem merülhet ki abban, hogy a szimulált környezetek száma nagy, hanem azt is biztosítani kell, hogy a különböző környezetek közötti váltás is gyors legyen. A VR rendszerben a környezet váltása ugyanúgy működik, mint egy játékprogramban a pályák váltása. Pár másodperces töltési idő mellett egy teljesen új környezetben folytatható a gyakorlás. A gyors váltás nem csak a környezetre, hanem a feladatokra is értelmezhető. Perceken belül át lehet állni más feladatokra, vagy akár más fegyverek használatára. Extrém esetben egy terrorelhárító csapat virtuális környezetben történt gyakorlása után, egy percen belül már egy alapkiképzésen éppen túl levő tartalékos katona is gyakorolhat, teljesen más képzési célokkal.

Mérési lehetőségek, visszajelzés támogatása

Az adatvezérelt szoftver és grafikus keretrendszernek köszönhetően a visszacsatolás, mint ahogy már többször említettem egy viszonylag egyszerű feladat. A rendszer automatikusan menti a teljes végrehajtást, annak összes mozzanatát. A legegyszerűbb kiértékelési segítség az instruktornak a visszajátszás, amely közben az összes felügyeleti funkciót eléri a már visszajátszott szituáción (áttekintési funkciók és segédvizualizációk). Ezt a visszajátszást bármelyik pillanatban meg lehet állítani és az adott pillanatot holisztikusan vizsgálni. Ez önmagában egy olyan szabadságfokot nyújt a kiképzőnek, amely egy videókamerás felvétel esetén is nagyon korlátozott lenne.

A visszajátszáson túl, szintén az adatvezérelt megközelítés teszi lehetővé az automatikus és félautomatikus kiértékeléseket. Laikusként és a hagyományos képzésben egyszerű mérőszámokkal, mint például a találatok, célleküzés ideje, biztonsági rendszabályok betartása tudunk dolgozni. A rendelkezésre álló adatból a rendszer viszont ezt szinte bármilyen irányban ki tudja egészíteni, mivel a kiértékelő modul feladatonként programozható. Azon túl, hogy a katona például kifordult-e a fegyverével a tüzelési szektorából, vagy biztosítatlan fegyverrel rámutatott társára, a rendszer képes ellenőrizni és regisztrálni azt is, hogy a tűzpár tagjai egyszerre cseréltek-e tárat, vagy pedig az adott irány biztosításra kijelölt személynek a fegyvere tűzkész volt-e, azzal a megfelelő irányba mutatott-e és ő is arra nézett-e. Ezeket a hibákat egyenként, feladatonként lehet regisztráltatni, a kiképzőnek pedig egy listán jelzi a rendszer az ilyen jellegű és egyéb események megfelelő színkóddal. Belátható,

hogy egy nagy létszámú és/vagy dinamikus feladatvégrehajtás esetén a kiképző olyan információkat kap, amelyeket fizikálisan képtelen lenne megfigyelni.

5.3.2 SZEMÉLYI FELSZERELÉS ÉS FUNKCIÓI

A rendszer alapját a katona által viselt és használt személyi felszerelés képezi, amelynek célja a valós harci körülmények közötti interakciók minél élethűbb szimulálása. A modularitás és a valóság-hűség elvei mentén a felszerelés több, egymással szorosan integrált komponensből áll, amelyek lefedik a felhasználó érzékelését és mozgását.

Mivel a bemutatott rendszer egy része is COTS termékekből lett összeállítva az alap felszerelés kérdése nem okozott nagy gondot. A tervezett rendszer a kutatási projekten kívül kereskedelmi termékké is vált, ezért paramétereit csak korlátozottan, általánosan tudom megosztani.

HMD avagy „VR szemüveg” (27. ábra/[1])

A rendszer audiovizuális központja egy nagy felbontású, széles látószögű és magas képfrissítési rátájú VR szemüveg. Több irányból (immerzivitás, technikai paraméterek, tudástranszfer) vizsgáltam már a VR rendszerek eme központi elemét. Ennek feladata, hogy a felhasználó teljes látóterét lefedve, a valós világot kizárva jelenítse meg a szintetikus, háromdimenziós környezetet, valamint biztosítsa a térhatású hangzást. Az eszközbe integrált mikrofon lehetővé teszi a csapaton belüli és a rádiós kommunikáció szimulációját is. Mint ahogy a korábbiakban elemeztük, a jövőállóság fontos követelménye, a modularitás, azaz, hogy a HMD típusa cserélhető legyen. Ez azért szükséges, mert a technológia még mindig gyorsan fejlődik és kb. évente újabb eszközök, jobb technikai paraméterekkel kerülnek a piacra. A kiképzőrendszer szempontjából most csak a nagy volumenű képzés szemszögéből elemzem. A prototípus rendszer HMD szempontjából beszállító független, viszont jelenleg a HTC Vive ökoszisztémáját használja és az ebbe illeszkedő HMD-ket (HTC Vive Focus 3, HTC Vision Pro). A rendszer moduláris, de napjainkban ez a környezet és HMD típuscsalád széleskörűen elégíti ki azokat a követelményeket, amelyek nagy volumenű képzést tesztnek lehetővé (nincs szimulátorbetegség, könnyű beállíthatóság és kezelhetőség, kábelmentes környezet). A HTC eszközöknek megfelelő rögzítési mechanizmusuk van, könnyen gyorsan konfigurálhatóak és lehetővé teszik a vezetékmentes kommunikációt a szimulációs számítógéppel, akár nagy létszámban is.

Emellett gyorsan konfigurálhatók és illeszthetők a fizikális térhez, tudásukhoz képest jól kiegyensúlyozottak, könnyűek, megfelelő akkumulátor kapacitással bírnak (tapasztalatok szerint 4 óra folyamatos üzemelés). A kiképzési volumen nagyságához hozzájárul a HMD beállításának gyors megtanulhatósága. A könnyen kezelhető rögzítőrendszer a kerékpáros sisak már általánosan ismert rögzítőelemeit alkalmazza, és ugyan az első alkalom esetén akár 1-2 percet is igénybe vehet a beállítása, többszöri felhasználás esetén egyéntől függően ez a beállítási idő drasztikusan, pár másodpercre csökkent.



27. ábra A GTS VR taktikai szimulációs rendszer „hordható” személyi felszerelésének részei [1] HMD, [2] instrumentált fegyver
Fotó: Pápai Joci Phtoto, a szerkesztés a szerző munkája.

Instrumentált fegyverreplikák (27. ábra [2])

A hatékony készségtranszfer érdekében a rendszer nem általános kontrollereket, hanem a rendszeresített fegyverek méret-, súly- és kezelőszerv-azonos másolatait (replikáit) alkalmazza. Ezen instrumentált fegyverek beépített szenzorokkal rendelkeznek, amelyek követik a fegyver pozícióját és orientációját a térben, valamint érzékelik a kezelőszervek (pl. elsütőbillentyű, tűzváltókar, tárrögzítő, zár/szánakasztó)

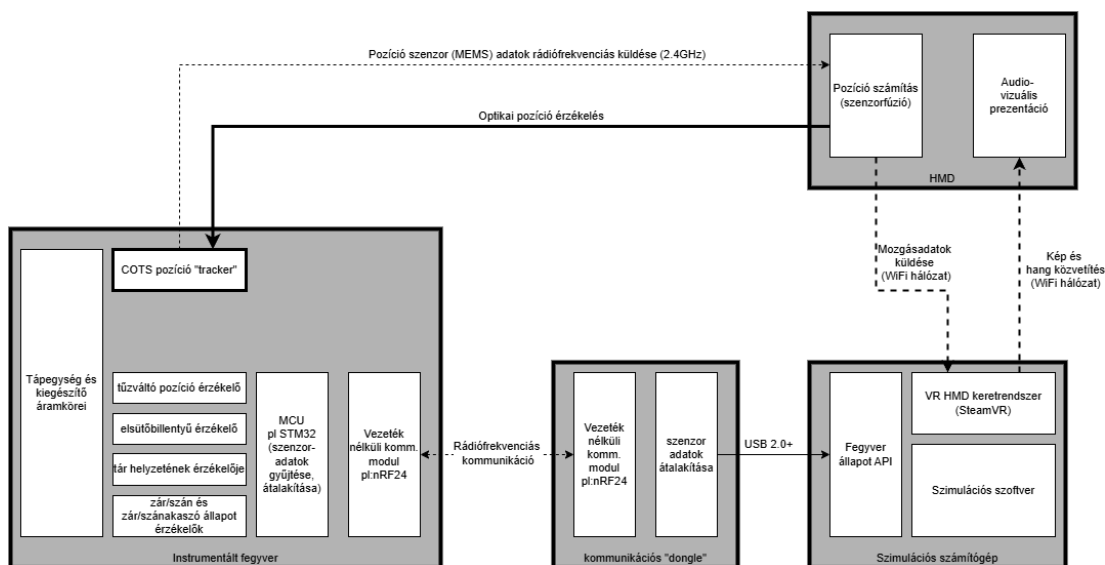
állapotát. A rendszer képes a fegyverhibák szimulálására és bizonyos verziókban a visszarúgás fizikai érzékeltetésére is, ami tovább növeli a realizmust. A tárcsere folyamata is valósághűen gyakorolható a tárfészekbe épített érzékelőkkel. A visszarúgással kapcsolatban érdemes megemlíteni egy fontos ténytet. A rendszer prototípusának különböző verzióit már több százan, ha nem ezren kipróbálták. A teljesen laikus vagy legalábbis a lövészet és harcászathoz alapszinten értők a visszarúgást, annak életszerűségét alapelemként tekintették, de, mint ahogy is példaként írtam róla, ez taktikai szempontból nem bizonyult szükségesnek.

Technikai oldalról a rendszer használatához elengedhetetlenül szükséges volt a virtuális térbe bevinni a felhasználó fegyvereit. Ezt kalibrált módon történik, azaz a VR-ban lévő szögek és irányok pontosan egyeznek a valóságos szögekkel és irányokkal, valamint a fegyverek méretei azonosak a virtuális fegyverével, a kezelőszervei pontosan ugyanott helyezkednek el mindkét esetben és teljesen azonosan kell működtetni őket. A fegyver instrumentálásához meg kell oldani a pozíciójának pontos és gyors bevitelét a rendszerbe, valamint a kezelőszervek aktuális állapotát. Ehhez két fő eszközt láthatunk a képen, az egyik a pozíciókövetésre szolgáló „tracker”, amely a HMD-vel kommunikál, a másik pedig egy saját fejlesztésű, a fegyver elejére rögzített doboz, amely a fegyver állapotát és működését regisztráló szenzorok adatait gyűjtik és valós időben közvetítik a szimulációs számítógépbe. A fegyver tervezésénél fontos szempont a zero-learning-curve, azaz a felhasználó, ha saját fegyverét ismeri, akkor semmilyen más tudásra nincs szüksége a szimulátor kezeléséhez.

Szimulációs számítógép

A tervezés során láthatóvá vált, hogy a katonai szimulációk esetén (környezeti realiztikusság, immerzivitás) nem elegendő a modern HMD-be szerelt elektronikáknak a számítási és kommunikációs kapacitása. Ezért a COTS elemeket felhasználva külön szimulációs számítógép alkalmazása volt a legcélravezetőbb. Több felhasználó esetén a szimulációs számítógépek egy külön berendezésbe kerülnek, ami biztosítja azok egységbezárását és szállíthatóságát. Ez a kiképzéstől függően egy szabványos raklapnyi térfogatban 4 fő képzéséhez elegendő technikát foglal magában. A kiépítéshez nem kellenek kábelek a jelenlegi WiFi átvitel mellett (6GHz-es hálózat) 12 fő egyidejű használata mellett is biztosítható a személyi felszerelések kábelmentes

használata, akár kiegészítő berendezések mellett is. A rendszert, amelynek tervezésében részt vettem a lenti ábra mutatja be, a részegységek kommunikációja szempontjából. A szimulációs számítógép kiegészül egy saját fejlesztésű USB kommunikációs „dongle”-l, amely az instrumentált fegyverhez kapcsolódó információkat csatornázza be.



28. ábra A VR taktikai szimulátor személyi felszerelésének főbb moduljai és kommunikációs csatornái

Opcionális be és kimeneti eszközök

A GTS már prototípus szinten is képes volt a külső érzékelők jeleinek saját adatfolyamának integrálására. Ez azt jelenti, hogy pulzusmérővel folytatott tesztek során a végrehajtási események mellett a felhasználó vitális jeleit is ugyanazon adatbázisba képes rögzíteni további kiértékelés szempontjából.

Több kiképzéssel foglalkozó is kérte a találatvisszajelzés funkcióját. Erre is lehetőséget ad a rendszer, szinte bármilyen külső haptikus, vagy elektromos impulzust keltő mellényt lehet integrálni a rendszerhez. Ilyen eszközök használata mellett kiderült, hogy az immerzivitáshoz ez hozzátesz, de nem elengedhetetlen⁴⁰. Kiképzési volumen szempontjából érdemes megjegyezni viszont, hogy megfelelő higiéniai szabályok mellett a kiképzendők beöltözési ideje percekkel nőtt.

Meg kell említenem viszont, hogy a magasan képzett katonák és rendőrök esetén, mint pl. különleges műveleti katonák vagy terror elhárítók, a kiképzők kifejezetten olyan

⁴⁰ A tesztek során bHaptics gyártó TactSuit x40 és pro modelljei voltak integrálva és használva

visszajelzési rendszert preferáltak volna, amely, amikor felhasználót virtuális találatot ér.

5.4 BIZTONSÁGI KÉRDÉSEK

Jelen fejezetet egy Felderítő Szemle hasábjain megjelent, korábbi cikkemben [58] bővebben kifejtem, értekezésemben annak eredményeit a szükségesmértékben ismertetem.

5.4.1 A KERESKEDELMI FORGALOMBAN KAPHATÓ (COTS) KOMPONENSEK KOCKÁZATAI

Egy hazai fejlesztésű VR rendszer gazdasági és technológiai megvalósíthatóságának kulcsa a kereskedelmi forgalomban kapható (COTS) komponensek intelligens felhasználása. A COTS alkatrészek (pl. processzorok, grafikus kártyák, HMD-k, szenzorok) alkalmazása jelentősen csökkenti a fejlesztési költségeket és időt, valamint hozzáférést biztosít a legmodernebb technológiákhoz [53]. Ugyanakkor a COTS komponensek katonai rendszerbe való integrálása jelentős, stratégiai szintű biztonsági kockázatokat hordoz, amelyeket a tervezés legkorábbi fázisától kezdve kezelni kell.

A legfőbb kockázati területek a következők:

- **Ellátási Lánc Kockázatok és Hardveres Hátsó Kapuk:** A COTS komponensek gyártása gyakran multinacionális, nehezen átlátható ellátási láncokon keresztül történik, ami lehetőséget teremt rosszindulatú módosításokra. A disszertáció alfejezetében már említett, egy katonai rendszerekben is használt FPGA chipben felfedezett hardveres hátsó kapu esete rávilágít, hogy a gyártás során rejtett, rosszindulatú funkcionalitás építhető be az eszközökbe. Az ilyen támadások rendkívül nehezen detektálhatók, és teljes hozzáférést adhatnak a támadóknak a kompromittált rendszerhez.
- **Hiányos Transzparencia és Szállítói Függőség:** A COTS gyártók üzleti érdekeik védelmében jellemzően nem biztosítanak teljes körű hozzáférést a termékeik belső működéséhez, terveikhez vagy forráskódjához. Gyakran korlátozzák a visszafejtést (reverse engineering), és saját, zárt (proprietary) funkciókat építenek be, ami korlátozza az alternatív beszerzési forrásokat és szállítói függőséghez vezet.

- Szoftveres Sérülékenységek: A hardverek működését biztosító szoftveres rétegek (firmware, driverek) szintén hordozhatnak sérülékenységeket. Mivel a COTS termékeket széles körben használják, vonzó célpontot jelentenek a támadók számára. Egy felfedezett sérülékenység egyszerre nagyszámú rendszert tehet sebezhetővé.
- Obszoleszcencia (elévülési) menedzsment: A katonai rendszerek életciklusa (gyakran 25 év vagy több) sokszorosa a kereskedelmi termékekének. A COTS gyártók üzleti modellje a gyors termékciklusokra épül, ami azt jelenti, hogy egy adott komponens támogatása vagy gyártása néhány éven belül megszűnhet. Ez komoly fenntarthatósági és biztonsági kockázatot jelent, mivel az elavult, már nem támogatott szoftverekhez és hardverekhez nem érkeznek biztonsági frissítések, miközben a bennük lévő sérülékenységek továbbra is kihasználhatók maradnak.

Ezek a kockázatok rávilágítanak arra, hogy a COTS komponensek használata nem csupán műszaki, hanem stratégiai döntés. Egy VR kiképzőrendszer, amely ellenőrizetlen külföldi komponensekre épül, rendszerszintű sebezhetőséget jelenthet a Magyar Honvédség kiképzési folyamatában. A H4 hipotézisem bizonyítása tehát megköveteli egy hiteles COTS kockázatkezelési stratégia felvázolását.

5.4.2 HARDVER BIZTONSÁGI KÉRDÉSEK

A tárgyalt fejlesztések költséghatékonysága nagymértékben annak köszönhető, hogy a rendszerek felépítéséhez olcsó, jellemzően távol-keleti forrásból származó elektronikai alkatrészeket lehet felhasználni. Ez a gyakorlat azonban komoly biztonsági kockázatokat rejt, amelyek mérséklése csak a komponensek alapos ellenőrzésével és hálózati elkülönítésével lehetséges. Egy 2012-es publikáció világított rá egy ilyen jellegű fenyegetésre, amikor egy, a magas biztonsági besorolása miatt katonai és kritikus infrastruktúrákban is gyakran alkalmazott FPGA chipben (Actel/Microsemi ProASIC3 A3P250) egy gyártó által elrejtett hardveres hátsó kaput fedeztek fel [54]. Ez a rejtett funkció egy titkos kulccsal volt aktiválható, és illetéktelenek számára hozzáférést biztosíthatott a chipre programozott logika kiolvasásához, a titkosítási kulcsok módosításához, a titkosítatlan adatfolyamhoz, sőt, akár a chip végleges megbénításához is. A hátsó kapu nem szerepelt az eredeti tervekben, a gyártás során került az eszközbe, és mivel a firmware-ben sem hagyott

nyomot, a Cambridge-i Egyetem kutatóinak egy teljesen új módszert kellett kidolgozniuk a leleplezésére. Hasonló aggályokat vetett fel a 2018-as, bár máig nem igazolt Bloomberg-hír [55], amely szerint ceruzahegy méretű kémchipekkel ellátott hardverek jutottak el amerikai kormányzati hivatalokhoz. Annak a lehetőségét azonban, hogy a gyártási lánc során hardveres manipulációval hátsó kapukat lehet létrehozni, már egy prototípussal is igazolták [56]. A komplexebb, több funkciót és modult integráló eszközök, mint például a virtuálisvalóság-szemüvegek, még körültekintőbb biztonsági vizsgálatot követelnek meg. Ezek hardverközeli szoftverei és meghajtóprogramjai gyakran igényelnek internetkapcsolatot és külső forrásból származó fájlok futtatását, így a vizsgálatnak ki kell terjednie a hardvert működtető szoftverkomponensekre (*firmware, driver*) is. A rendszerbiztonság növelhető az alkotóelemek szigorú izolációjával és a köztük lévő kommunikációs csatornák minimalizálásával. A modulok közötti biztonságos adatcseréhez elengedhetetlen a megbízható kölcsönös azonosítás, az integritás ellenőrzése és a kommunikáció titkosítása. Erre a feladatra a TPM (*Trusted Platform Module*) chipek nyújtanak egyszerű, költséghatékony és ipari szabványoknak megfelelő megoldást. A hardverközeli szoftverek gyakran nyílt forráskódúak, ami egyrészt előnyös, mert a közösség átláthatja és ellenőrizheti a kódot, másrészt kockázatos, mert a forráskód ismeretében bárki kereshet és kihasználhat biztonsági réseket.

Megbízható alternatívát jelentenek a kereskedelmi forgalomban kapható, COTS (*Commercial off the Shelf*) termékek, amelyek gyártói nagy hangsúlyt fektetnek a biztonságra, és gyakran eleve megfelelnek a szigorú előírásoknak. Azok a változatok, amelyek a katonai felhasználás speciális követelményeit is teljesítik, a mil-COTS (*military-COTS*) kategóriába tartoznak. Ezen komponensek alkalmazása nem új jelenség; már a Lockheed Martin által vezetett F-35-ös ötödik generációs harci repülőgép fejlesztési programjában is eleve terveztek ilyen elemekkel, például memóriamodulokkal, kijelzőkkel, programozható kapumátrixokkal (*FPGA*) és kereskedelmi forgalomban is használt valós idejű operációs rendszerekkel (*RTOS*) [57]. Ennek köszönhetően ma már mind szoftveres, mind hardveres oldalon rendelkezésre állnak olyan ellenőrzött, moduláris és megfizethető építőelemek, amelyekkel a fejlesztés költségei a pár évvel ezelőtti szint töredékére csökkenthetők.

5.4.3 A SZOFTVEREK BIZTONSÁGI KÉRDÉSEI

A szoftver biztonság egy olyan téma, amely önmagában több cikket vagy akár könyvet is megtölt, és sokféle módon biztosítható, de esetünkben a más által készített szoftverek, szoftver modulok, könyvtárak (*library*) beépítésének veszélyeit vizsgáljuk. A fent leírt agilis módszertanok előtérbe helyezik a kész működő terméket, az emberi informális interakciókat és hátrébb helyezik a dokumentációt, valamint a tervezést, emiatt felületesen vizsgálva azt a következtetést lehet levonni, hogy ezek a módszertanok nem alkalmasak kritikus vagy katonai fejlesztésekre [58]. A szoftveres biztonság és az adatvédelem a rendszer megbízhatóságának és jogi megfelelőségének két alappillére. A fejlesztés során alkalmazott módszertanoknak és az adatkezelési elveknek garantálniuk kell, hogy a rendszer ellenálljon a külső behatolási kísérleteknek, és a benne kezelt adatok védelme mindenkor biztosított legyen.

A szoftverfejlesztés biztonságának garanciája nem egy adott módszertan elvetése, hanem a biztonsági szempontok szisztematikus integrálása a teljes fejlesztési életciklusba (*Secure Software Development Lifecycle* – S-SDLC). Ez még az agilis, rugalmas módszertanok esetében is megvalósítható. Az S-SDLC olyan gyakorlatokat foglal magában, mint a fenyegetésmodellezés, a biztonságos kódolási irányelvek betartása, a forráskód statikus és dinamikus elemzése, valamint a folyamatos biztonsági tesztelés a CI/CD (*Continuous Integration/Continuous Delivery*) folyamat részeként. Ezzel a megközelítéssel a biztonsági rések korai fázisban, még a rendszeresítés előtt azonosíthatók és javíthatók, jelentősen csökkentve a későbbi kockázatokat [58].

Az adatkezelés kérdése különös figyelmet érdemel. A VR kiképzőrendszer nem hagyományos értelemben vett személyes adatokat (pl. név, cím) tárol, hanem elsősorban teljesítmény- és interakciós adatokat (pl. reakcióidő, lövések helye, mozgásminták). Azonban ezen adatok összessége, különösen hosszabb távon, alkalmas lehet egy személy közvetett azonosítására, ezért személyes adatnak minősülnek, és a GDPR előírásai vonatkozhatnak rájuk. A megoldást a pseudo-anonimizáció (álnevesítés) koncepciója jelenti⁴¹. A GDPR értelmében a pseudo-

⁴¹ Pseudo-anonimizáció (álnevesítés): Adatvédelmi eljárás, amely során a személyes adatokat úgy módosítják (pl. egyedi kóddal helyettesítik), hogy azok további információk nélkül már nem köthetők egy konkrét személyhez, de a kapcsolat megfelelő jogosultsággal visszaállítható.

anonimizáció olyan eljárás, amely során a személyes adatokat úgy dolgozzák fel, hogy azok további információk felhasználása nélkül többé ne legyenek egyértelműen egy konkrét személyhez köthetők. A rendszer minden kiképzendőhöz és kiképzőhöz egy egyedi, de nem közvetlenül azonosító kódot (pszeudonimot) rendel. A teljesítményadatokat ehhez a kódhoz kapcsolva tárolják. A kódot és a személyes adatokat összekötő „kulcsot” ettől szigorúan elkülönítve, magas biztonsági szintű környezetben kell tárolni.

Ez a módszer kettős előnnyel jár. Egyrészt lehetővé teszi a hosszútávú egyéni fejlődés nyomon követését és a különböző adatbázisokból származó teljesítményadatok összekapcsolását, ami az adaptív kiképzés és a tanulási analitika alapfeltétele. Másrészt, mivel az elemzésre szánt adatbázis nem tartalmaz közvetlen azonosítókat, jelentősen csökkenti az adatvédelmi kockázatokat és megfelel a szigorú adatvédelmi előírásoknak. A pseudo-anonimizált adatok így elemezhetők anélkül, hogy a személyazonosság közvetlenül kiderülne, de szükség esetén, megfelelő jogosultsággal és eljárásrenddel, a kapcsolat helyreállítható marad.

A prototípus jelenlegi fázisában arra fókuszál, hogy egy helyszínen oldja meg a kiképzési feladatok támogatását, noha hosszabb távon az elosztott és interoperábilis működés is a célja. A jelenlegi formában nem szükséges internet kapcsolat a rendszeren lévő adatok védelme a fizikai biztonság megfelelő garantálásával elérhető. Ha a fizikai biztonság még nem elegendő, mert például lehetséges, hogy valaki hozzáfér a rendszerhez és hordozható meghajtóra próbálja menteni az adatokat, azt a operációs rendszer szintű biztonsági megoldások akadályozzák meg.

5.5 A FEJLESZTÉS MÓDSZERTANI ÉS KOMPETENCIA KÉRDÉSEI

Egy komplex, katonai célú VR kiképzőrendszer sikeres létrehozása nem csupán a megfelelő hardver kiválasztásán és a szoftver leprogramozásán múlik. A fejlesztési folyamat "hogyan"-ja – a választott módszertan, a projektirányítási elvek, amelyek meghatározzák a visszacsatolást, ezáltal a fejlesztés menetét – legalább annyira kritikus a siker szempontjából. A hagyományos, merev fejlesztési modellek nehezen tudnak lépést tartani a technológia gyors fejlődésével és a felhasználói igények dinamikus változásával. Ezért egy olyan hibrid megközelítésre van szükség, amely

ötvözi az agilis fejlesztés rugalmasságát és sebességét a katonai környezetben elengedhetetlen kontrollal és biztonsággal.

5.5.1 AZ AGILIS FEJLESZTÉS ALKALMAZÁSA VÉDELMI KÖRNYEZETBEN

Az agilis szoftverfejlesztési módszertanok (pl. *Scrum*, *Kanban*) a rugalmasságot, az iteratív fejlesztést és a szoros együttműködést helyezik a középpontba, ami jelentős előnyöket kínál a hagyományos, ún. vízesés (*waterfall*) modellekkel szemben [59], különösen egy olyan innovatív területen, mint a VR technológia.

Az agilis megközelítés előnyei jól beláthatóak a védelmi kontextusban.

Rugalmas és gyors reagálású, mivel a fejlesztés rövid, 1-4 hetes ciklusokban, ún. sprintekben történik, amelyek végén mindig egy működő, tesztelhető szoftververzió (inkrementum) jön létre. Ez lehetővé teszi, hogy a rendszer gyorsan alkalmazkodjon a változó felhasználói (katonai) igényekhez és a harctéri tapasztalatokhoz.

A folyamatos felhasználói visszajelzés biztosítja a katonák és kiképzők, mint végfelhasználók, a fejlesztési folyamat aktív részesei. A sprintek végén bemutatott szoftververziókat kipróbálhatják, és azonnali visszajelzést adhatnak, biztosítva, hogy a fejlesztés a valós igények mentén haladjon, ne pedig egy hónapokkal korábban írt, esetleg már elavult specifikáció alapján [59]. Esetünkben a prototípus rendszert több állami fegyveres szerv tagjai is kipróbálták és kérdőívben tettek javítási és fejlesztési javaslatokat.

Az agilis megközelítés a kockázatsökkentést is lehetővé teszi. A folyamatos tesztelés és a kis lépésekben történő haladás csökkenti a kockázatát annak, hogy a projekt végén egy olyan rendszer szülessen, amely nem felel meg az elvárásoknak. A hibák és a koncepcionális tévedések korán felszínre kerülnek, amikor a javításuk még olcsó és gyors. Ilyen volt a nagy és komplex fejlesztést igénylő, mindenki által elfogadott követelmény, miszerint az instrumentált fegyvereknek megfelelő visszarúgási és elsütési karakterisztikát kell biztosítaniuk. A végfelhasználók, akik a valós körülmények között, a megfelelő célokra alkalmazott kiképzési eszközként használták a rendszert megerősítették feltételezésünket, hogy a teljes visszarúgás szimuláció nem támogatja annyival a kiképzési célokat, mint amennyi hátránnyal bír fejlesztési és karbantartási szempontból [60].

Az agilis módszertanok bevezetése a hagyományosan hierarchikus és terv-vezérelt katonai szervezetekben kihívásokba ütközik. A legfőbb aggodalmak a következők: a csökkentett formális dokumentáció, a szigorú kontroll és felügyelet látszólagos hiánya, valamint a biztonsági követelmények érvényesítésének nehézségei. Ezek a jogos aggályok egy olyan kormányzási keretrendszer bevezetését teszik szükségessé, amely struktúrát és kontrollt biztosít az agilis folyamatok számára. A módszertanokon belül viszont a kiterjedt tesztelés és visszacsatolás ezt a problémát is nagymértékben csökkentette.

5.5.2 A HAZAI TUDOMÁNYOS ÉS IPARI KOMPETENCIÁK

A H4 hipotézisem igazolásához elengedhetetlen a hazai kompetenciák feltérképezése. Egy komplex VR rendszer továbbfejlesztése és kiterjesztése nem egyetlen szervezet feladata, hanem egy „Triple Helix” (kormányzat-akadémia-ipar) modellben képzelhető el, ahol az egyes szektorok szorosan együttműködnek [61]. Az elmúlt évek magyarországi fejleményei azt mutatják, hogy ez az innovációs ökoszisztéma nemcsak elméletben létezik, hanem a gyakorlatban is formálódik, és képes egy ilyen projekt befogadására és megvalósítására. Annak bizonyítása érdekében, hogy a kompetenciák megfelelő helyeken összevonásra és kiemelésre kerültek, érdemes megvizsgálni a szereplőket.

Kormányzati és intézményi hálózat

A kormányzat az elmúlt években tudatos lépéseket tett a hazai védelmi ipar újjáélesztésére és egy modern innovációs környezet kialakítására.

A 2023-ban megalakult Védelmi Innovációs Kutatóintézet (VIKI) a magyar védelmi innovációs ökoszisztéma központi szereplőjévé válhat. Célja a kettős felhasználású technológiák felkutatása és védelmi célú hasznosításának támogatása, valamint a hazai innovátorok bekapcsolása a nemzetközi, különösen a NATO és EU védelmi programjaiba. A VIKI szoros kapcsolatot ápol a NATO Innovációs Alapjával (NIF) és a DIANA (Defence Innovation Accelerator for the North Atlantic) programmal, akcelerátorként és tesztelési-validálási kapuként funkcionálva a hazai cégek számára. A VR kiképzőrendszer integrálása és fejlesztési igényeinek meghatározása tökéletesen illeszkedik a VIKI profiljába, és hathatós segítséget nyújtott a fejlesztés utóbbi szakaszaiban is tesztek mérések, validációk szervezésével.

kormányzati stratégia legjelentősebb ipari megnyilvánulása az N7 Holding Nemzeti Védelmi Ipari Innovációs Zrt. és a 4iG Nyrt. közötti, 2024-ben bejelentett megállapodás egy integrált, magyar többségi tulajdonú védelmi ipari holdingvállalat létrehozásáról. Ez a holding, amely olyan, a Magyar Honvédség számára kulcsfontosságú vállalatokat foglal magában, mint a rendszeresített kézfegyverek gyártói (Arzenál Fegyvergyár Zrt., Colt CZ Hungary Zrt.) vagy a harcjárműgyártó Rheinmetall Hungary Zrt., betölti azt a hiányzó szerepkört, amelyet a 4iG vezetése a „nagy integrátor” fogalmával írt le. Ez a stratégiai szintű rendszerintegrációs képesség biztosítja a VR kiképzőrendszer és a valós haditechnikai eszközök közötti szoros összhangot, a hosszú távú fenntarthatóságot és a nemzetközi interoperabilitási követelményeknek való megfelelést.

Kutatói bázis

A projekt sikeréhez elengedhetetlen volt és továbbra is elengedhetetlen a tudományos háttér, a kutatás-fejlesztési kapacitás és a képzett szakember-utánpótlás.

A Nemzeti Közzolgálati Egyetem (NKE), különösen a Hadtudományi és Honvédtisztképző Kar (HHK) és annak Katonai Műszaki Doktori Iskolája, biztosítja a projekt katonai-szakmai és kiképzés-módszertani alapjait. A HHK Lövész tanszéke a követelmények és a tesztelési feladatok meghatározásában játszott kulcsszerepet a már létező prototípus esetében. Jelen értekezés maga is az NKE-n folyó tudományos munka eredménye.

A HUN-REN kutatóhálózat, és azon belül is a Számítástechnikai és Automatizálási Kutatóintézet (SZTAKI), nemzetközileg is elismert kompetenciákkal rendelkezik a mesterséges intelligencia, a *big-data* analitika, a gépi érzékelés és az autonóm rendszerek területén. Ez a tudásbázis kritikus fontosságú az adaptív, intelligens NPC-k (*Non-Playable Character*) és a tanulási analitikán alapuló, automatizált kiértékelő modulok, valamint nem utolsósorban saját mikroelektronikai eszközök fejlesztéséhez.⁴²

A VR eszközök és a hozzájuk kapcsolódó ember-gép (*Human-Machine Interface - HMI*) interfészek mélyebb kutatásához számos magyar egyetem rendelkezik releváns laboratóriumi háttérrel. Az Óbudai Egyetem újonnan átadott Science Parkjai

⁴² <https://sztaki.hun-ren.hu/szervezet/reszlegek/ilab>

Székesfehérváron és Zsámbékon Ipar 4.0, robot- és dróntechnológiai, valamint AR/VR/XR laboratóriumokat foglalnak magukban, szoros ipari együttműködésekkel⁴³. A Debreceni Egyetem Virtuális Valóság Laboratóriuma az oktatási és rekonstrukciós alkalmazások terén szerzett tapasztalatokat⁴⁴, a Bay Zoltán Kutatóközpont pedig a járműszimuláció és a HMI fejlesztés területén rendelkezik komoly referenciákkal⁴⁵. Nem utolsósorban, az xR és HMI területén az NKE HHK Repülésirányító és Repülő-hajózó tanszékén is folynak kutatások.

Ipari kapacitások

A projekt magját adó specifikus VR harcászati szimulációs szakértelem birtokosa az értekezésben is említett Infinit Simulation Kft.⁴⁶ A GTS rendszer fejlesztőjeként már bizonyították, hogy képesek egy komplex, működőképes VR harcászati szimulátor létrehozására, amely a hardver és fegyver-instrumentálástól a szimulációs szoftverig és a kiképzési tartalomig terjed.

A koncepciók és kutatási eredmények alapján a szimulátor rendszer továbbfejlesztése és magasabb integráltsági szintekre történő kiterjesztése szükséges és kívánatos. Egy NATO doktrínába is beemelhető termék formálásához további tapasztalt ipari szereplőkre van szükség.

A rendszerintegráció és a stratégiai irányítás kulcsszereplője a fentebb már említett, újonnan formálódó 4iG Nyrt. / N7 Defence Zrt. holding. Ez a cégcsoport biztosítja a szükséges tőkét, a menedzsment-szakértelmet és a piacra lépési képességet, valamint azt a rendszerintegratori szemléletet, amely elengedhetetlen a különböző alrendszerek (hardver, szoftver, hálózat) zökkenőmentes együttműködéséhez és a jövőbeli összhaderőnemi szimulációs környezetekbe való becsatlakozáshoz.

A csúcstechnológiai szoftverfejlesztés terén a Rheinmetall Electronics Hungary Kft. budapesti központjának létrehozása jelentős mérföldkő. A cég a Rheinmetall globális hálózatának részeként a legmagasabb szintű katonai szoftverfejlesztési, beágyazott rendszerekkel és szimulációval kapcsolatos tudást hozza Magyarországra, ami garanciát jelent a NATO-szabványoknak megfelelő, robusztus és biztonságos szoftverkomponensek fejlesztésére. A modern katonai rendszerekkel szemben

⁴³ <https://uni-obuda.hu/2023/11/23/atadtak-az-oe-tudomanyos-es-innovacios-parkjainak-első-laborjait/>

⁴⁴ <https://inf.unideb.hu/virtualis-valosag-laboratorium>

⁴⁵ <https://www.bayzoltan.hu/hu/dil-szimulator-laboratorium/>

⁴⁶ <https://infinitimulation.com>

támasztott egyik legfontosabb követelmény az interoperabilitás, azaz a szövetséges rendszerekkel való együttműködés képessége. Ennek technikai alapját a NATO által is használt szabványok, mint a *High Level Architecture* (HLA) és a *Distributed Interactive Simulation* (DIS) képezik. Ezen szabványok ismerete és alkalmazásának képessége elengedhetetlen egy jövőálló rendszer fejlesztéséhez. A hazai ipari bázis bizonyítottan rendelkezik a NATO-szabványoknak megfelelő fejlesztési és minőségbiztosítási képességekkel, amit számos, különböző profilú cég által elnyert „NATO Beszállításra Alkalmas” minősítés is igazol.

A VR/AR és a „serious games” (komoly játékok) fejlesztése egy dinamikusan növekvő iparág Magyarországon is, ahol a legígéretesebb és már üzletileg bizonyítottan sikeres stúdió az *X-Real Games*. Ez a szektor biztosíthatja a képzett szoftverfejlesztő, 3D grafikus és dizájnér szakember-utánpótlást.

Ez a három pillér együttesen egy olyan működőképes ökoszisztémát alkot, amely képes egy világszínvonalú VR kiképzőrendszer kifejlesztésére és fenntartására. A sikeres nemzetközi példák, mint az amerikai légierő AFWERX programja és az ahhoz kapcsolódó SBIR/STTR finanszírozási modell, azt mutatják, hogy egy ilyen, a kormányzat által katalizált, de a piac agilitására építő innovációs modell rendkívül hatékony lehet. A VIKI létrehozása és működési elvei azt jelzik, hogy Magyarország is ebbe az irányba indult el.

Az 5. táblázatomban összefoglalja a hazai védelmi innovációs ökoszisztéma kulcsszereplőit és kompetenciáikat egy VR taktikai kiképzőrendszer fejlesztésének kontextusában.

Szervezet (Példák)	Releváns Kompetencia	Hozzájárulás a Projekthez
Kormányzat / Intézmény		
Védelmi Innovációs Kutatóintézet (VIKI)	Innováció-menedzsment, akceleráció, finanszírozás, NATO/EU kapcsolatok	Projekt menedzsment, stratégiai irányítás, nemzetközi integráció, finanszírozási források felkutatása
Honvédelmi Minisztérium (HM)	Igény-specifikáció, megrendelői felügyelet	A rendszerrel szembeni katonai követelmények meghatározása, rendszeresítés felügyelete

Tudomány / Akadémia		
Nemzeti Közsolgálati Egyetem (NKE)	Katonai-szakmai tudás, kiképzés-módszertan, hadtudomány	Követelmény-specifikáció validálása, tesztelési protokollok kidolgozása, hatékonyságmérés
HUN-REN SZTAKI	Mesterséges intelligencia (MI), gépi tanulás, big data analitika	Adaptív NPC-k, tanulási analitika, automatizált kiértékelő modulok fejlesztése
Óbudai Egyetem, Debreceni Egyetem, Bay Zoltán Kutatóközpont	VR/AR/XR technológiák, HMI, robotika, szimuláció	Technológiai K+F, specifikus alrendszerek fejlesztése, szakember-utánpótlás
Ipar		
4iG Nyrt. / N7 Defence Zrt.	Védelmi ipari rendszerintegráció, szoftverfejlesztés, tőke, stratégiai partnerség	A rendszer skálázása, összhaderőnemi integrációja, a hosszú távú fenntarthatóság és a nemzetközi piacra lépés biztosítása.
Rheinmetall Electronics Hungary Kft.	Csúcskategóriás katonai szoftverfejlesztés, beágyazott rendszerek, szimuláció	Speciális szoftvermodulok fejlesztése, a rendszer NATO-szabványoknak megfelelő minőségbiztosítása, a szimulációs motor továbbfejlesztése.
Infinit Simulation Kft.	VR harcászati szimulátor fejlesztés, Unreal Engine szakértelem, hardver-instrumentálás	A központi szimulációs szoftver és a fegyverreplikák fejlesztése, a felhasználói élmény és a kiképzési tartalom kidolgozása.
Hazai IT és Gaming KKV-k (X-Real Games)	Szoftverfejlesztés, 3D grafika, játékdizájn	Fejlesztői kapacitás biztosítása, virtuális környezetek és 3D modellek létrehozása.

5. táblázat Ipari kapacitások (Készítette: a szerző)

5.6 ÖSSZEGZÉS, KONKLÚZIÓ

Jelen fejezet arra vállalkozott, hogy a negyedik kutatási hipotézis (H4) mentén bizonyítsa egy hazai fejlesztésű, VR-alapú harcászati kiképzőrendszer létrehozásának realitását és stratégiai fontosságát. Az elemzés a technológiai, biztonsági, módszertani és iparfejlesztési szempontokat integráltan vizsgálta, és egyértelműen alátámasztotta a hipotézisben foglaltakat.

A fejezetben bemutatott érvek alapján a H4 hipotézis – miszerint a VR kiképzés technikai feltételeit hazai körülmények között, hazai fejlesztési és szakmai kompetenciákkal meg lehet teremteni, úgy, hogy az támogassa a Magyar Honvédség képességeinek gyors fejlesztését – igazolást nyert. Az ezt alátámasztó főbb következtetések a következők:

Stratégiai szükségszerűség

A hazai fejlesztés nem csupán egy opció, hanem a nemzeti szuverenitás, az ellátásbiztonság és a Magyar Honvédség specifikus igényeihez való tökéletes illeszkedés garanciája. Egy ilyen projekt összhangban van a Nemzeti Védelmi Ipari Stratégia céljaival, és hozzájárul a hazai gazdaság és tudásbázis erősítéséhez.

Kockázatkezelési képesség

A kereskedelmi (COTS) komponensek használatából fakadó biztonsági (hardveres, szoftveres, ellátási lánc) és adatvédelmi kockázatok egy hazai, kontrollált fejlesztési és integrációs környezetben, megfelelő architekturális elvek (pl. izoláció) és adatkezelési módszerek (pl. pseudo-anonimizáció) alkalmazásával hatékonyan kezelhetők. A hazai fejlesztés e téren nem növeli, hanem csökkenti a kockázatokat egy külföldi „fekete doboz” rendszerhez képest.

Létező hazai ökoszisztéma

A fejlesztéshez szükséges tudományos, ipari és intézményi kompetenciák egy komplett, működőképes ökoszisztémát alkotnak Magyarországon. A kormányzati akarat (VIKI, N7 Holding), az akadémiai tudásbázis (NKE, HUN-REN, egyetemi laborok) és a konkrét ipari tapasztalat (Infinit Simulation, Artifex stb.) együttesen biztosítják a megvalósíthatóság minden feltételét.

Bevált nemzetközi modellek

A fejlesztés menedzselésére és finanszírozására léteznek bevált nemzetközi modellek (pl. AFWERX, SBIR/STTR), amelyek hazai adaptációja a VIKI létrehozásával már megkezdődött. Ez egyértelmű utat mutat a koncepciótól a rendszeresítésig tartó folyamat hatékony végigvitelére.

A fentiek alapján a KC4 kutatási cél – annak bizonyítása, hogy a Magyar Honvédség számára, hazai szakmai és ipari kompetenciák bevonásával, előrelátó tervezéssel és

megfelelő követelményrendszer mentén kialakítható egy biztonságosan működtethető, többcélú VR-alapú harcászati kiképzőrendszer – teljesült. A fejezetben bemutatott elemzésem validálta a hazai fejlesztés lehetőségét és felvázolta annak stratégiai és módszertani kereteit.

1. A Fejezetben Alkalmazott Kutatási Módszerek

A H4 hipotézis komplex természetének vizsgálata több kutatási módszer integrált alkalmazását tette szükségessé. A fejezetben alkalmazott metodika a következő elemekből épült fel:

- Szakirodalmi szintézis: A COTS komponensek kockázatainak, az agilis módszertanok kormányzati környezetben való alkalmazásának, az adatbiztonsági és adatvédelmi elveknek (pl. pseudo-anonimizáció), valamint a védelmi innovációs modelleknek (pl. AFWERX) a nemzetközi tudományos és szakmai irodalmát dolgoztuk fel. Ezen elméleti kereteket a hazai kontextusra adaptáltuk, hogy megalapozzuk az érvelést.
- Esettanulmány-jellegű elemzés: A hazai védelmi innovációs ökoszisztéma (VIKI, N7 Holding, releváns egyetemek és ipari szereplők) feltérképezése és elemzése nyílt forráskódú hírszerzés (OSINT) és a rendelkezésre álló nyilvános kutatási és vállalati anyagok alapján történt. Ez a módszer tette lehetővé a létező hazai kompetenciák azonosítását és rendszerbe foglalását.
- Deduktív és induktív érvelés: A fejezet egy deduktív ívet követ, az általános stratégiai szükségességtől (miért kell hazai rendszer?) halad a konkrét megvalósíthatóság részletei felé (hogyan lehet megvalósítani?). Ugyanakkor induktív elemeket is használ, amikor az egyes hazai szereplők meglétéből és képességeiből következtet az egész ökoszisztéma működőképességére és a projekt sikerének valószínűségére.
- Prototípus-tapasztalatok integrálása: Bár expliciten nem részletezve, az érvelésbe beépültek a dolgozatban említett, az NKE-n működő VR taktikai harcszimulátor prototípus fejlesztése és tesztelése során szerzett implicit tapasztalatok. Ilyenek például a COTS eszközök integrálhatóságával, a felhasználói visszajelzések kritikus fontosságával vagy a fejlesztési módszertan gyakorlati kihívásaival kapcsolatos tanulságok.

Összességében a fejezet metodikája maga is egy „Triple Helix” modellt tükröz: a nemzetközi tudományos elveket (akadémia) ötvözi a konkrét hazai ipari és kormányzati realitásokkal (ipar, kormányzat), hogy egy megalapozott, gyakorlatias és cselekvésorientált következtetésre jusson, amely megalapozhat egy valós védelmi ipari projektet.

6 MÉRÉSEK ELŐKÉSZÍTÉSE VR TAKTIKAI KIKÉPZŐRENDSZERREL

Az értekezés előző fejezetei elméleti és technológiai szempontból vizsgálták a virtuális valóság (VR) alapú kiképzőrendszerekben rejlő potenciált, alátámasztva a H1-H4 hipotéziseimet. A 2. fejezetben feltártam, hogy a modern hadviselés megváltozott követelményei – a komplex, többdimenziós harcterek, a decentralizált döntéshozatal szükségessége és a különböző állománykategóriák differenciált képzési igényei – egyértelműen a gyorsabb, hatékonyabb és adaptívabb kiképzési módszerek bevezetése felé mutatnak. A 3. és 4. fejezetben a rendelkezésre álló szimulációs technológiák összehasonlító elemzése alapján arra a következtetésre jutottam, hogy az alternatív valóság (xR) technológiákon belül a VR érte el azt a technológiai érettséget, amely a leginkább alkalmas a gyalogos harcászati képzés támogatására. A 5. fejezet pedig amellettt érvelt, hogy egy ilyen rendszer hazai fejlesztése és bevezetése nem csupán lehetséges, de stratégiai szempontból is indokolt.

Jelen fejezetem célja, hogy az elméleti és technikai megalapozást követően empirikus adatokkal támasszam alá a VR-alapú kiképzés hatékonyságát. Egy kísérleti mérés keretében azt vizsgáltuk, hogy a VR szimulátorban végzett előzetes gyakorlás milyen hatással van a katonák teljesítményére egy valós, éleslövészettel egybekötött egyszerű harcászati feladat során. A fejezet bemutatja a mérés tervezési fázisát, a végrehajtás körülményeit és tapasztalatait, majd részletes kvantitatív és kvalitatív elemzés alá veti a kapott eredményeket. A vizsgálat fókuszában az ötödik kutatási hipotézis (H5) validálása áll, amely szerint a VR-alapú képzés, különösen a hagyományos módszerekkel kombinálva, hatékonyan hozzájárul a felkészítés minőségének, biztonságának és költséghatékonyságának növeléséhez.

6.1 TERVEZETT FELADATOK ÉS CÉLJAIK

A kutatás empirikus szakaszának alapvető célja a VR-alapú kiképzés és a valós harctéri teljesítmény közötti tudástranszfer mértékének vizsgálata volt. Egy olyan kísérleti elrendezést terveztünk, amely lehetővé teszi a VR-szimulátorban előképzett csoport és a kizárólag hagyományos módszerekkel felkészített kontrollcsoport teljesítményének objektív összehasonlítását egy komplex, éleslövészeti feladat során.

6.1.1 A VIZSGÁLAT RÉSZTVEVŐI ÉS A CSOPORTOK KIALAKÍTÁSA

A mérésben a Nemzeti Közszerológati Egyetem Hadtudományi és Honvédtisztképző Karának, katonai-vezető/lövész honvéd tisztjelöltjei vettek részt. A résztvevők homogén csoportot alkottak az alapkiképzés, a katonai szocializáció és az általános katonai ismeretek tekintetében, ami biztosította az összehasonlítás relevanciáját. A kísérlet során két csoportot alakítottunk ki:

- Kísérleti csoport (a továbbiakban: VR-csoport): ebbe a csoportba tartozó tisztjelöltek a mérés részét képező éles lögyakorlat végrehajtása előtt előzetes felkészítésen vettek részt a kutatás keretében fejlesztett VR taktikai kiképző szimulátorban. A VR-gyakorlás során ugyanazt a feladatot gyakorolták, amelyet később a lőtérben is végre kellett hajtaniuk.
- Kontrollcsoport (a továbbiakban: Nem-VR csoport): ebbe a csoportba tartozó tisztjelöltek nem vettek részt előzetes VR-kiképzésen. Felkészülésük kizárólag a meglévő, hagyományos kiképzési módszereken alapult, mielőtt végrehajtották volna az éles lögyakorlatot.

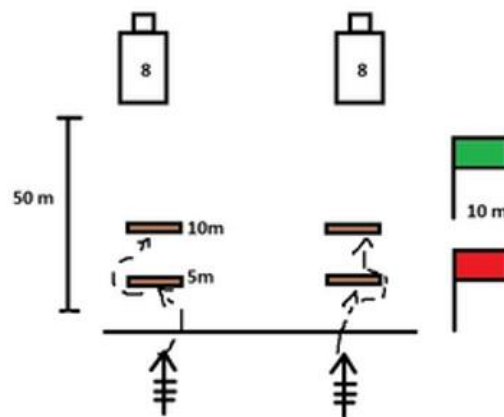
6.1.2 A VIZSGÁLT FELADAT: TŰZPÁR ELŐREMOZGÁSA A TŰZ ÉS MOZGÁS ÖSSZHANGJÁVAL

A méréshez a korábbi cikkemben [63] részletesen kidolgozott feladatsorozatból a 4. számú, „*Exercise in pairs, moving forward with the coordination of fire and maneuver*” (Tűzpárban történő előremozgás a tűz és mozgás összhangjával) elnevezésű gyakorlatot választottuk ki. Ez a feladat a tervezettek közül a legkomplexebb, mivel nem csupán egyéni lövészeti készségeket, hanem a tűzpár tagjai közötti szoros koordinációt, kommunikációt és döntéshozatalt is igényel, így kiválóan alkalmas a VR-kiképzés transzferhatásának mérésére. A mérésakor a feladatot a résztvevők az „egyéni lögyakorlat, 6-os pálya” néven is ismerték.

A feladat leírása

A gyakorlatot egy kétfős tűzpár hajtja végre. A kiinduló helyzetben a katonák egy térdmagasságú fedezék mögött helyezkednek el, fegyvereik alsó készenléti (*low-ready*) helyzetben vannak. A feladat során két célpontot kell leküzdeniük. A célpontok mindegyike négy találat után dől le a szimulációban, az éles végrehajtás során pedig 4 találatnak kell lennie a lölapban. A feladat megkezdésekor a tűzpár parancsnokának

parancsot kell adnia a mozgás megkezdésére a tűz és mozgás összhangjával. Ezt követően az egyik katona biztosító tüzet nyit a célokra, míg a társa a fegyverét biztosítva előre mozog a következő fedezékhez. A fedezékbe érkezést követően ő veszi át a biztosító szerepét, lehetővé téve társa számára a mozgást. Ezt a folyamatot a zöld zászlóval jelölt második fedezék (*LOA - Limit of Advance*) eléréséig ismétlik. A feladat akkor ér véget, amikor mindkét katona elérte a második fedezéket és mindkét célpontot leküzdötték.



29. ábra A mérésben végrehajtott feladat vázlata (Takács Márk György szerkesztése)

Felszerelés és korlátozások

A valóságűség és a döntési kényszer növelése érdekében minden katona 12 darab lőszert kapott, két, egyenként 6 lőszerrel töltött tárból. Ez a korlátozás a feladat során legalább egy kényszerített tárcserét tesz szükségessé, ami a lőszer-gazdálkodás és a tárcsere-koordináció képességét is méri.

6.1.3 MÉRT KÉSZSÉGEK ÉS KÉPESSÉGEK

A feladat komplexitása lehetővé tette több, a modern harcászatban kulcsfontosságú képesség egyidejű értékelését:

- Fegyverkezelés: a biztonsági rendszabályok betartása (különösen a fegyver biztosítása mozgás közben), a tűznemváltás és a tárcsere gyors és pontos végrehajtása.
- Lövészet stressz alatt: célzott lövések leadása fizikai megterhelés (rövid futás) után, gyorsan felvett, instabilabb tüzelési testhelyzetből.

- Kommunikáció és koordináció: a tűz és mozgás parancsszavainak helyes és időbeni alkalmazása, a tevékenységek (tüzelés, mozgás, tárcsere) folyamatos összehangolása a tűzpár tagjai között.

Pontozási rendszer

A teljesítmény objektív mérésére egy részletes, levonásos pontozási rendszert dolgoztunk ki, ahol a maximálisan elérhető pontszám 26 volt. A pontlevonások a kritikus harcászati vagy lőtérbiztonsági hibákra fókuszáltak:

- Célpont leküzdésének hiánya: amennyiben a feladat végén valamelyik célpont állva marad (nincs benne 4 találat), -10 pont levonás jár. Ha mindkét célpont állva marad, a feladat sikertelen.
- Szimultán tárcsere: ha a tűzpár mindkét tagja egyszerre cserél tárat, a biztosítás megszűnik. Ez súlyos hiba. 1-3 másodperces egyidejű tárcsere -3 pontot, 3-5 másodperc -8 pontot von le. 5 másodpercet meghaladó egyidejű tárcsere esetén a feladat sikertelen.
- Biztosítás nélküli mozgás: amennyiben az egyik katona megkezdi a mozgást, miközben a társa (pl. tárcsere vagy fegyverhiba miatt) nem tűzkész, a feladat azonnal sikertelennek minősül. A VR rendszer a tűzkésztség mellett a katona fejének irányát is mérte. Ha a fegyvere tűzkész is volt, de nem a megfelelő irányba, vagy nem a fegyver irányzékon keresztül nézett, akkor az is pontlevonással járt.

Adatgyűjtési módszerek és eszközök

A mérés során vegyes módszertanú (kvantitatív és kvalitatív) adatgyűjtést alkalmaztunk:

- Kvantitatív adatok: az éles lögyakorlat során a tűzpárok által elért pontszámokat, valamint az egyéni lögyakorlat eredményeit táblázatban rögzítettük. A pontozás mellett a kiképzők által tett szöveges megjegyzéseket (pl. „biztosítás nélkül mozogtak”, is feljegyeztük, amelyek a kvantitatív adatok kvalitatív értelmezését segítik.

- Kvalitatív adatok: a VR-csoport tagjainak szubjektív tapasztalatait, a szimulátorral kapcsolatos véleményét és a felhasználói élményt egy részletes kérdőív segítségével mértük fel.

6.2 ELŐZETES MÉRÉS LEFOLYTATÁSA ÉS TAPASZTALATAI

A mérés végrehajtása során, rajtunk kívül álló okokból, a tervezett feladatsorozatból nem sikerült minden elemet maradéktalanul végrehajtani. A mérés végül a 4. számú feladatra, a „Tűzpár előremozgása a tűz és mozgás összehangolásával” című gyakorlatra korlátozódott. Bár ez a körülmény szűkítette a gyűjthető adatok körét, egyben lehetőséget teremtett egy fókuszált, előzetes (*pilot*) vizsgálat lefolytatására. A kiválasztott feladat a tervezettek közül a legkomplexebb, mivel a legtöbb alapvető harcászati készséget (lövészet, mozgás, kommunikáció, döntéshozatal) integrálja. Ennek köszönhetően a korlátozott mérés is rendkívül értékes és célzott adatokat szolgáltatott a VR-kiképzés tudástranszfer hatásának vizsgálatához, különösen a H5 hipotézis szempontjából.

6.2.1 A VR-KIKÉPZÉS SZUBJEKTÍV ÉRTÉKELÉSE A KÍSÉRLETI CSOPORT KÖRÉBEN

A VR-gyakorláson részt vevő kísérleti csoport tagjai a szimuláció után egy részletes kérdőívet töltöttek ki, amelynek célja a szubjektív felhasználói élmény, az immerzió mértéke, a rendszer használhatósága és az esetleges negatív hatások (pl. szimulációs betegség) felmérése volt. Az összesített válaszok elemzése kulcsfontosságú betekintést nyújt a technológia elfogadottságába és a felhasználói oldalról jelentkező kihívásokba.

Immerzió és stressz-szint

A VR-kiképzés hatékonyságának egyik legfontosabb pszichológiai feltétele a jelenlét-érzet (*presence*), vagyis az, hogy a felhasználó mennyire éli bele magát a virtuális környezetbe és éli meg valóságosként az eseményeket. A magas fokú immerzió és az általa kiváltott stresszreakció kulcsfontosságú, mivel a valós harchelyzetben is jelen lévő pszichofiziológiai állapotban történő gyakorlás javítja a tudástranszfert. A kérdőívre adott válaszok alapján a résztvevők többsége magas fokú beleélést tapasztalt. A 14 válaszadóból 11-en a két legmagasabb kategóriát jelölték meg („Fokozatosan éltem bele magam” vagy „Az elejétől úgy éreztem, mintha a szimulált

helyszínen, szituációban lennék”). Ezt támasztja alá, hogy a résztvevők fele (7 fő) érzékelt stressz-szint növekedést (izgalom, pulzusemelkedés) a szimuláció használata közben. Ezek az eredmények összhangban vannak azokkal a kutatásokkal, amelyek kimutatták, hogy a VR képes valósághű stresszreakciókat kiváltani, különösen a szituáció újszerűsége és kiszámíthatatlansága révén. Ez azt jelenti, hogy a vizsgált rendszer alkalmas a harctéri stressztűrés és a nyomás alatti döntéshozatal fejlesztésére.

Használhatóság és elfogadottság

A technológia sikeres bevezetésének kritikus feltétele a végfelhasználók általi elfogadottság. A kérdőíves adatok ezen a téren is biztató képet mutatnak. A „Mennyire használható kiképzésben?” kérdésre a 14 válaszadóból 13-an a két legpozitívabb opciót („Bizonyos, apróbb fejlesztésekkel” vagy „Véleményem szerint már most használható”) jelölték meg. Hasonlóan, a „Szívesen használná a szimulátort?” kérdésre 12-en a „Kiképzésbe integráltan rendszeresen” vagy a „Kiképzésben és akár szabadidőben is” választ adták. Ez a magas szintű elfogadottság azt jelzi, hogy a honvéd tisztjelöltek nyitottak a VR-alapú kiegészítő képzési formákra, ami alátámasztja a H5 hipotézisben felvázolt, hagyományos és virtuális módszereket ötvöző, kevert (blended) képzési modell létjogosultságát.

Technikai problémák és fejlesztési javaslatok: A kérdőív őszinte visszajelzést adott a prototípus jelenlegi technikai korlátairól is. A résztvevők említettek szoftveres (pl. „leállt a program”) és hardveres (pl. „a fegyver többször nem sült el”, „a tár mozog a fegyverben”) problémákat is. A fejlesztési javaslatok között szerepelt a fegyverreplikák strapabíróbbá tétele, a valósághűbb hátrasiklás szimulációja és a több fizikai tár használatának lehetősége a tárcserék gyakorlásához. Ezek a visszajelzések nem a VR koncepcióját, hanem a prototípus jelenlegi implementációjának gyermekbetegségeit mutatják, és rendkívül értékes inputot jelentenek a további fejlesztési ciklusokhoz (KC4). Az a tény, hogy a VR-csoport a technikai problémák és az ebből fakadó frusztráció ellenére is jobban teljesített az éleslövészetben, rendkívül erősen támasztja alá a VR-kiképzés koncepcionális hatékonyságát. A tanulási hatás felülírta a technikai tökéletlenségeket.

Szimulációs betegség (Cybersickness)

A VR technológia korai alkalmazásának egyik fő akadálya a felhasználók egy részénél jelentkező rosszullét volt. A modern, alacsony késleltetésű és magas képfrissítési rátájú COTS (*Commercial Off-The-Shelf*) eszközök azonban jelentősen csökkentették ezt a kockázatot. A mérés során a szimulációs betegségekre utaló tüneteket célzottan vizsgáltuk. A kérdőíves válaszok alapján a résztvevők döntő többsége nem, vagy csak minimális mértékben tapasztalt negatív tüneteket (pl. fókuszálási nehézség, szemfáradtság), és a legtöbben arról számoltak be, hogy gyorsan alkalmazkodtak a virtuális környezethez. Ez a tapasztalat megerősíti a H3 hipotézisem, miszerint a VR technológia elérte azt a műszaki érettségi szintet, amely lehetővé teszi a széleskörű és biztonságos katonai alkalmazást.

6.3 MÉRÉSI EREDMÉNYEK FELDOLGOZÁSA ÉS A HIPOTÉZIS VIZSGÁLATA

A mérés legfontosabb része a két csoport éles lögyakorlaton nyújtott teljesítményének kvantitatív összehasonlítása. Az elemzés a lőtéren rögzített pontszámokon alapul és két lépésben történik: először a csoportok kiindulási lövészképességeit vetjük össze, majd a komplex harcászati feladaton elért eredményeiket.

6.3.1 KVANTITATÍV TELJESÍTMÉNYADATOK ÖSSZEHASONLÍTÓ ELEMZÉSE

A két csoport közötti valós tudástranszfer értékeléséhez elengedhetetlen volt felmérni a tagok kiindulási lövészeti képességeit. Ezt egy, a komplex harcászati feladattól független, egyéni lögyakorlaton („6-os pálya”) elért pontszámok alapján tettük meg.

Csoport	Résztvevők száma (N)	Átlagpontszám (max. 12)	Szórás (σ)
VR-csoport	11	6,73	2,73
Nem-VR csoport	11	9	2,53

6. táblázat Egyéni lögyakorlat eredményeinek összehasonlítása (Készítette: a szerző)

A 6. táblázat adatai egyértelműen mutatják, hogy a kontrollcsoport (Nem-VR csoport) tagjai szignifikánsan jobb egyéni lövészképességekkel rendelkeztek, mint a kísérleti csoport (VR-csoport) tagjai. A Nem-VR csoport átlagpontszáma (9,00) 33,7%-kal magasabb volt, mint a VR-csoporté (6,73). Ez a megállapítás kulcsfontosságú kontrollváltozó a további elemzés során, mivel kizárja annak lehetőségét, hogy a VR-csoport esetleges jobb harcászati teljesítménye a kiemelkedőbb egyéni lövésztechnikai tudásból fakadjon. A véletlen úgy hozta, hogy a kísérlet a VR-csoport számára neheztelt feltételekkel indult.

A mérés fő célja a komplex, tűzpárban végrehajtott előremozgásos lögyakorlaton nyújtott teljesítmény összevetése volt. Az itt elért eredmények mutatják meg a VR-alapú előképzés valós hatását.

Csoport	Tűzpárak száma (N)	Átlagpont szám (max. 26)	Szórás (σ)	Megjegyzések a végrehajtásról
VR-csoport	6	20,17	5,56	Nincs negatív megjegyzés.
Nem-VR csoport	7	14,14	9,64	„biztosítás nélkül mozogtak” (2 eset), „nem a biztosítandó irányba nézett” (-5 pont, 1 eset)

7. táblázat Tűzpár előremozgás lögyakorlat eredményeinek összehasonlítása
(Készítette: a szerző)

A 7. táblázat adatai drámai fordulatot mutatnak az egyéni eredményekhez képest. A VR-előgyakorlason átesett csoport, amelynek tagjai átlagosan gyengébb egyéni lövészek voltak, a komplex harcászati feladaton szignifikánsan jobban teljesített. Átlagpontszámuk (20,17) 42,6%-kal volt magasabb, mint a jobb egyéni lövészképességekkel rendelkező, de VR-képzésben nem részesült kontrollcsoporté (14,14). Továbbá, a Nem-VR csoportnál rögzített súlyos harcászati hibák (pl. a mozgás biztosításának hiánya) a VR-csoportnál egyáltalán nem fordultak elő.

6.3.2 AZ EREDMÉNYEK ÉRTELMEZÉSE: A PROCEDURÁLIS KÉSZSÉGEK TRANSZFERÉNEK BIZONYÍTÉKA

Az eredményekben kirajzolódó „teljesítmény-paradoxon” – miszerint a gyengébb egyéni lövészekből álló csoport jobban teljesített a komplex feladatban – a VR-kiképzés hatásmechanizmusának lényegére világít rá. A VR-csoport jobb eredménye

nem a motoros készségek (célzás, elsütés) látványos javulásának köszönhető, hanem a feladat *procedurális* és *kognitív* sémáinak hatékony elsajátításának és transzferének.

A VR-szimuláció lehetővé tette a katonák számára, hogy a tűz és mozgás feladatának helyes sorrendjét, ritmusát, a kommunikációs protokollokat, a fedezékváltás közbeni fegyverbiztosítást és a szimultán tárcsere elkerülését egy biztonságos, ismételhető és stresszt keltő, de kockázatmentes környezetben gyakorolják be. [44] A szimuláció során egyfajta „agyi izommemóriát” építettek ki a feladat helyes végrehajtására vonatkozóan. Amikor az éles lőtéren, valós stresszhelyzetben kellett cselekedniük, ez a begyakorolt mentális séma aktiválódott, és felülírta az egyéni lövészeti képességeikben meglévő hátrányukat.

Ezt az értelmezést támasztja alá a kontrollcsoportnál rögzített hibák minőségi elemzése is. A „biztosítás nélkül mozogtak” és a „nem a biztosítandó irányba nézett” nem lövészeti, hanem klasszikus harcászati, procedurális hibák. Ezek a hibák a koordináció és a begyakorlottság hiányából fakadnak, amelyeket a VR-kiképzés a jelek szerint hatékonyan képes megelőzni. A VR-tréning tehát nem a célzást, hanem a *gondolkodást* és a *csapatmunkát* tanította meg a résztvevőknek. Ez a megállapítás összhangban van azokkal a kutatásokkal, amelyek a VR-tréninget különösen hatékonynak találták a procedurális feladatok oktatásában. [45]

6.3.3 A HIPOTÉZIS ÉRTÉKELÉSE ÉS A KUTATÁS TÁGABB KÖVETKEZTETÉSEI

A bemutatott empirikus eredmények egyértelműen alátámasztják az értekezésem H5 hipotézisét, amely szerint a VR-alapú kiképzési rendszerek, különösen a hagyományos módszerekkel kombinált formában, hatékonyan hozzájárulnak a felkészítés gyorsaságának, biztonságának és költséghatékonyságának növeléséhez.

A VR-csoport szignifikánsan jobb teljesítménye a komplex harcászati feladaton bizonyítja a pozitív tudástranszfert. A kísérlet eredményei nem a hagyományos kiképzés teljes leváltása mellett érvelnek, hanem egy *kevert (blended) képzési modell* hatékonyságát igazolják. Az alapvető lövészeti készségeket továbbra is érdemes lehet éleslövészeten fejleszteni, azonban a komplex, veszélyes és erőforrás-igényes harcászati eljárásokat (mint a tűz és mozgás összhangjának gyakorlása, akár

kisalegység szinten is) rendkívül hatékonyan, biztonságosan és költséghatékonyan lehet VR-ban előkészíteni [46].

A VR-gyakorlás lehetővé teszi a súlyos procedurális hibák kockázatmentes és lőszerfelhasználás nélküli kiszűrését. Ez nemcsak a kiképzést teszi biztonságosabbá – csökkentve a valós kiképzési balesetek kockázatát, amelyek a statisztikák szerint jelentős problémát jelentenek –, hanem jelentős költségmegtakarítást is eredményez. Az éleslövészetre már egy harcászati felkészültebb, a feladat logikáját és a csapatmunkát értő állomány érkezik, így a drága lőszer és lőtér idő a készségek finomítására, nem pedig az alapok elsajátítására fordítható.[47]

A kutatás korlátai között meg kell említeni a viszonylag kis mintaméretet és azt a tényt, hogy a résztvevők előzetes lövéstudása nem volt kiegyenlített a két csoport között – bár ez a körülmény, mint láthattuk, végül éppen megerősítette a konklúziókat. Jövőbeli kutatási irányként javasolt a mérés megismétlése nagyobb, véletlenszerűen kiválasztott és kiegyenlített csoportokkal, több és változatosabb harcászati feladat bevonásával, valamint a tudásmegmaradás hosszabb távú (longitudinális) vizsgálatával.

Összességében ez az előzetes mérés erős empirikus bizonyítékkal szolgál arra, hogy a VR-alapú szimulációs előképzés szignifikánsan javítja a katonák teljesítményét a komplex, kisalegység-szintű harcászati feladatok végrehajtása során. A technológia hatékonyan transzferálja a procedurális és kognitív készségeket, ami a modern harctér „gondolkodó katonájának” képzésében kulcsfontosságú.

7 BEFEJEZÉS, KONKLÚZIÓ

Értekezésemben a virtuális valóság (VR) alapú harcászati szimulátorok megvalósíthatósági és hatékonysági kérdéseit vizsgálta, egy olyan korban, amikor a hadviselés természete és a haderőket alkotó személyi állomány jellemzői egyaránt gyökeres átalakuláson mennek keresztül. A kutatás egy deduktív logikai ívet követett: a modern hadviselés támasztotta stratégiai szintű kiképzési kihívások azonosításától, a lehetséges technológiai válaszok szisztematikus elemzésén és a VR technológia mélyreható vizsgálatán át, egészen egy hazai fejlesztésű rendszer megvalósíthatóságának és hatékonyságának empirikus igazolásáig. A befejező fejezetben ezen kutatási út eredményeit szintetizálom, bemutatva a disszertáció legfőbb következtetéseit, tudományos és gyakorlati hozzájárulásait, valamint felvázolva a jövőbeli kutatási irányokat. Céлом egy koherens kép megalkotása arról, hogy a VR technológia miként válhat a Magyar Honvédség képességfejlesztésének egyik kulcsfontosságú, a 21. századi kihívásoknak megfelelő eszközévé.

7.1 KIINDULÁS

Kutatásom alapvető tézise, hogy a 21. század biztonsági környezete olyan stratégiai szintű kiképzési rést teremtett, amelyet a hagyományos módszerek már nem képesek hatékonyan áthidalni. Ezt a kihívást két, egymást erősítő tényező együttes hatása idézte elő.

Egyrészt, a hadviselés természete radikálisan átalakult. A lineáris frontvonalakkal és szimmetrikus erőviszonyokkal jellemzett harcterek helyét egyre inkább a multitér (*multi-domain*), aszimmetrikus és urbanizált műveleti környezetek veszik át. A közelmúlt konfliktusai, különösen az orosz-ukrán háború tanulságai, élesen rávilágítottak arra, hogy a siker kulcsa már nem csupán a technológiai fölényben, hanem az egyes katonák és kisalegységek alkalmazkodóképességében, kognitív rugalmasságában és nyomás alatti döntéshozatali képességében rejlik. A „stratégiai tizedes” koncepciója, amely szerint egy alacsony beosztású katona döntéseinek is stratégiai következményei lehetnek, a modern harctér valóságává vált. Ez a paradigma a pusztá végrehajtó helyett a kritikusan gondolkodó, autonóm „operátort” helyezi a középpontba, akinek komplex, gyakran kétértelmű és mentálisan is megterhelő

helyzetekben kell gyors és hatékony döntéseket hoznia. A hagyományos, ismétlésen alapuló (drill) kiképzési módszerek, amelyek elsősorban a motoros készségek automatizálására fókuszálnak, ezen komplex kognitív képességek fejlesztésére korlátozottan alkalmasak. A kiképzési rendszerek képtelensége a modern hadviselés által megkövetelt kognitív képességek gyors és hatékony fejlesztésére, különösen a tartalékos és mozgósított állomány esetében, így nem csupán technikai hiányosság, hanem egyenesen stratégiai sebezhetőséggé válik.

Másrészt, a haderőbe lépő új generációk, a „digitális bennszülöttek” (Z és Alfa generáció) tanulási sajátosságai alapjaiban kérdőjelezzik meg a hagyományos katonai pedagógia hatékonyságát. Ez a generáció egy vizuális, interaktív, gamifikált és azonnali visszajelzéseken alapuló digitális környezetben szocializálódott. Számukra a frontális, hierarchikus és monoton információátadás nem csupán unalmas, de a kognitív terhelés elmélete szerint kifejezetten gátolja a hatékony tanulást. A figyelem megragadása és fenntartása, valamint a motiváció biztosítása új, a digitális korhoz igazodó módszereket követel meg.

Ez a két tényező – a megváltozott harctéri követelmények és a megváltozott kiképzendő állomány – együttesen jelöli ki a kutatás kiindulópontját. A disszertáció egy olyan időszakban született, amikor a sürgető katonai szükséglet és egy kulcsfontosságú technológia, a virtuális valóság éretté válása egy pontban találkozott. A VR technológia, amely a kutatásom során bemutatásra kerül, csak az elmúlt években érte el azt a fejlettségi, hozzáférhetőségi és költséghatékonysági szintet, amely reális és gyakorlati megoldást kínál a felvázolt stratégiai kiképzési rés áthidalására. Ennek fényében a disszertációm nem egy futurisztikus javaslatot, hanem egy időszerű és stratégiaileg nélkülözhetetlen vizsgálatot tárt a szakmai-tudományos közösség elé, amely a VR-alapú szimulációt nem technológiai kuriózumként, hanem a jövő harctereire való felkészülés új paradigmájának alapköveként értelmezi.

7.2 A KUTATÁSI EREDMÉNYEK SZINTÉZISE, VR KIKÉPZÉS VALIDÁLÁSA

A disszertációmban felvázolt tudományos problémára egy szisztematikus, lépésről lépésre haladó kutatási tervvel válaszoltam, amelynek során az öt központi hipotézis egymásra épülve, logikai sorrendben került validálásra. Ez az alfejezet ezen logikai

láncolatot tekinti át, bemutatva, hogyan jutott el a kutatás az elméleti megalapozástól a technológiai elemzésen át a gyakorlati, empirikus bizonyításig.

7.2.1 A MODERN KIKÉPZÉSI KÖVETELMÉNYRENDSZER LEFEKTETÉSE (H1)

A kutatás első lépéseként a 2. fejezetben részletesen feltárom és szintetizálom a modern gyalogsági kiképzéssel szemben támasztott új követelményeket, ezzel igazolva az első hipotézist (H1), amely szerint „a megváltozott biztonságpolitikai környezetben az országvédelmi-, illetve a haderő műveleti képességének hosszú távon történő megőrzése, a korszerű hadviselés jellege és dinamikája, valamint békeidőszakban a felkészülés eredményességének növelése szükségessé teszi a gyalogos katonai állomány gyorsabb és hatékonyabb kiképzését, a Magyar Honvédség állandó állománya, de kiváltképp a tartalékos erők, hadiállapot esetén pedig a mozgósított személyi állomány esetében.” Elemzésem kimutatta, hogy a kiképzési rendszereknek egyszerre kell megfelelniük a gyorsaság, a modularitás, a költséghatékonyság és az adaptivitás követelményeinek. Külön hangsúlyt adtam az állománykategóriák szerinti differenciált megközelítés szükségességének, valamint a kognitív képességek (kritikus gondolkodás, döntéshozatal) fejlesztésének előtérbe kerülésének a fizikai képességek mellett. A fejezet továbbá rávilágított a „digitális bennszülött” generációk tanulási sajátosságai figyelembevételének elkerülhetetlenségére. Kutatásom ezzel egy szilárd, a jelenkori katonai realitásokon alapuló követelményrendszert fektetett le, amely referenciapontként szolgált a további technológiai vizsgálatokhoz.

7.2.2 TECHNOLÓGIAI VÁLASZ A KIKÉPZÉS MEGVÁLTOZOTT IGÉNYEIRE (H2, H3)

A követelményrendszer lefektetése után a lehetséges technológiai megoldások felé fordultam. A 3. fejezetben szisztematikus, többkritériumos elemzés alá vettem a gyalogos kiképzést támogató különböző szimulációs technológiákat (lézeres rendszerek, interaktív éleslövészeti célanyagok, xR technológiák). Az összehasonlító értékelés egyértelműen kimutatta, hogy bár minden technológiának megvan a maga helye a kiképzési spektrumban, az alternatív valóság (xR) technológiák, és különösen a VR, rendelkeznek a legsokoldalúbb képességekkel a modern, komplex követelmények kielégítésére. Ezzel a kutatás alátámasztotta a második hipotézisemet (H2), amely szerint „a tudományos alapokon kidolgozott követelményrendszer mentén

fejlesztett alternatív valóság technológiákon alapuló kiképzőrendszerek biztosítani tudják az egyének és kislegrységek harc megvívásához szükséges kompetenciák gyors és hatékony fejlesztését”.

Ezt követően a 4. fejezetben mélyreható technikai és funkcionális elemzésnek vettem alá a VR technológiát, igazolva a harmadik hipotézist (H3), miszerint „az alternatív valóság technológián belül is a VR technológia érte el napjainkra azt a fejlettségi szintet, illetve képes biztosítani azokat a körülményeket, melyek között a gyalogos katonai egyéni kompetenciáinak fejlesztését és kislegrység szintű tevékenységekre való felkészülést, harcászati kiképzést egyaránt hatékonyan képes támogatni”. Az elemzés részletesen bemutatta az immerzivitás minőségét meghatározó kulcsfontosságú műszaki paraméterek (pl. HMD felbontás és képfrissítés, követési pontosság, szoftveres háttér) fejlődését. Bizonyítást nyert, hogy a kereskedelembe kapható (COTS) eszközök technológiai érettsége, a fejlett grafikus motorok és a kifinomult interakciós megoldások együttesen olyan szintű realizmust és funkcionalitást tesznek lehetővé, amely már alkalmas a komplex harcászati forgatókönyvek hatékony szimulációjára.

7.2.3 HAZAI MEGVALÓSÍTHATÓSÁG KERETRENDSZERE (H4)

A technológiai érettség bizonyítása után a kutatás a hazai megvalósíthatóság kérdéseit vizsgáltam. Az 5. fejezetben amellet érveltem, hogy egy szuverén, magyar fejlesztésű VR kiképzőrendszer létrehozása nem csupán lehetséges, de stratégiai szempontból is elengedhetetlen, ezzel validálva a negyedik hipotézisem (H4), amely szerint „a VR alapú kiképzés technikai feltételeit nemzeti szinten, kizárólag hazai fejlesztési potenciállal és szakmai kompetenciákkal meg lehet teremteni olyan rugalmas konstrukcióban, hogy az a Magyar Honvédség kiképzési rendszerének sajátosságaihoz, és a dinamikusan változó katonai követelményrendszerhez, és előljárói elvárásokhoz adaptív módon illeszkedve eredményezzen gyors képességnövekedést”. A fejezet bemutatta, hogy a COTS komponensek használatából fakadó biztonsági kockázatok egy kontrollált, hazai fejlesztési környezetben hatékonyan kezelhetők. Feltérképeztem a hazai „Triple Helix” (kormányzat-akadémia-ipar) innovációs modell, azonosítva azokat a kulcsszereplőket (pl. VIKI, NKE, SZTAKI, Infinit Simulation), amelyek együttesen rendelkeznek a projekthez szükséges kompetenciákkal. A fejezetben egy olyan agilis, felhasználó-központú

fejlesztési modellt vázoltam fel, amely képes ötvözni a gyors innovációt a katonai rendszerekkel szemben támasztott szigorú biztonsági és megbízhatósági követelményekkel.

7.2.4 TUDÁSTRANSZFER HATÉKONYSÁGÁNAK KÍSÉRLETI IGAZOLÁSA (RÉSZLEGES) (H5)

Sajnos nem sikerült a mérésekkel történő igazolást az elképzelt formában végrehajtani, de az elméleti és technológiai érvelés mellett a 6. fejezetben bemutatott kísérleti mérésünk empirikus bizonyítékkal alátámasztotta az ötödik hipotézisem, miszerint: „Feltételezem, hogy a VR alapú harckiképző rendszerek a hagyományos, gyakorlótéren, valós eszközök felhasználásával végrehajtott kiképzési módszerekkel komplexen alkalmazva nagy létszámú állomány esetében is hatékonyan alkalmazhatók, és eredményesen járulnak hozzá a felkészítés és kiképzés biztonságának, dinamikájának és költséghatékonyságának növeléséhez”.

A kísérlet során egy VR-szimulátorban előképzett kísérleti csoport és egy kizárólag hagyományos módszerekkel felkészített kontrollcsoport teljesítményét hasonlítottuk össze egy komplex, éleslövészettel egybekötött harcászati feladat (tűzpár előremozgása) során. Az eredmények egyértelmű és statisztikailag is szignifikáns képet mutattak, amelyet az alábbi táblázat foglal össze.

Teljesítménymutató	Kontroll Csoport (Nem-VR)	Kísérleti Csoport (VR)	Különbség
Átlagos egyéni lövész pontszám (max. 12)	9	6,73	A Kontroll Csoport 33,7%-kal jobb
Átlagos harcászati feladat pontszám (max. 26)	14,14	20,17	A VR Csoport 42,6%-kal jobb
Kritikus harcászati hibák (pl. biztosítás nélküli mozgás)	2 eset	0 eset	-

8. táblázat Lövészeti eredmények összefoglalása (Készítette: a szerző)

A kísérlet legfontosabb megállapítása a „teljesítmény-paradoxon”: a VR-csoport, amelynek tagjai kiinduláskor szignifikánsan gyengébb egyéni lövész képességekkel rendelkeztek, a komplex harcászati feladaton drámaian felülmúlta a jobb lövészekből álló kontrollcsoportot. Ez a megállapítás nem csupán a pozitív tudástranszfert igazolja, hanem a VR-kiképzés hatásmechanizmusának lényegére is rávilágít. A technológia

elsősorban nem a finommotoros lövészeti készségeket, hanem a sokkal nehezebben oktatható és a modern harctéren kritikusabb fontosságú procedurális és kognitív képességeket transzferálja hatékonyan. A VR-gyakorlás során a katonák egyfajta mentális sémát, „agyi izommemóriát” építettek ki a feladat helyes végrehajtásáról: a kommunikációs protokollokról, a mozgás és a tűz összehangolásáról, a helyes fegyverkezelési eljárásokról. Amikor az éleslövészetben, valós stressz alatt kellett cselekedniük, ez a begyakorolt séma aktiválódott és felülírta az egyéni lövészeti képességeikben meglévő hátrányukat.

Ez az eredmény nem a hagyományos kiképzés leváltása mellett érvel, hanem egy optimális, kevert (*blended*) képzési modell létjogosultságát bizonyítja. A VR-szimuláció ideális eszköz a komplex, veszélyes és erőforrás-igényes harcászati eljárások biztonságos, költséghatékony és ismételhető előkészítésére. Lehetővé teszi a súlyos procedurális hibák kockázatmentes kiszűrését, így az éleslövészetre már egy harcászati felkészültebb, a feladat logikáját értő állomány érkezik. Ez növeli a kiképzés biztonságát, csökkenti a költségeket, és drámaian javítja a drága lőszerrel és lőtérrel végzett gyakorlatok hatékonyságát.

7.3 ÚJ TUDOMÁNYOS EREDMÉNYEK

A kutatás eredményei és a hipotézisek sikeres validálása révén a disszertáció több területen is új, tudományos és gyakorlati értékkel bíró hozzájárulást tett. Ezek a hozzájárulások nem csupán a felvázolt célkitűzéseket valósították meg, hanem túl is mutatnak azokon, lefektetve egy új, adatvezérelt kiképzési paradigma alapjait.

- 1) A biztonságpolitikai és stratégiai környezet vizsgálatával, valamint a korszerű pedagógia eredményeinek értelmezésével bizonyítottam, hogy egy új, technológiai alapú, skálázható megoldás katonai kiképzés rendszerébe történő integrációja elengedhetetlen feltétele a haderő műveleti képessége hatékony fejlesztésének. (H1)*
- 2) Az elvégzett műszaki szempontú megfelelőségi vizsgálatok és szükségletvezérelt kiválasztási értékelés eredményeként bizonyítottam, hogy az XR technológiákon alapuló kiképzőrendszerek biztosítani tudják az egyének és kiegészítők harc megvívásához szükséges kompetenciáinak gyors és hatékony fejlesztését. (H2)*

- 3) *Bizonyítottam, hogy a COTS-alapú VR technológia mára elérte a komplex harcászati szimulációkhoz szükséges műszaki és funkcionális érettséget, így képes biztosítani a magas immerzivitású, szimuláció alapú megoldás kidolgozásának technikai feltételeit. (H3)*
- 4) *Bizonyítottam, hogy kizárólag hazai innovációs és fejlesztési potenciál felhasználásával, meg lehet valósítani a Magyar Honvédség kiképzési rendszerének sajátosságaihoz, a dinamikusan változó katonai követelményrendszerhez és előljárói elvárásokhoz adaptív módon illeszkedő, jól skálázható, a feladatvégrehajtás minőségét objektív mérőrendszer segítségével meghatározni, a katonák fejlődését nyomon követni képes VR harcszimulátor rendszert. (H4)*
- 5) *A rendelkezésre álló nemzetközi tapasztalatok feldolgozásával, majd a vezetésemmel megvalósított harcszimulátor prototípusrendszerrel végzett mérésekkel bizonyítottam, hogy a VR alapú megoldásokat a valós eszközök felhasználásával végrehajtott kiképzési módszerekkel komplexen alkalmazva nagy létszámú állomány esetében is jelentős hatékonyságnövekedés érhető el a kiképzés biztonságának és dinamikájának fokozása mellett. (H5)*

7.3.1 HOZZÁJÁRULÁS A HADTUDOMÁNYHOZ ÉS A KIKÉPZÉSMÓDSZERTANHOZ

Disszertációmban egy átfogó, többretegű követelményrendszert dolgoztam ki a VR-alapú harcászati kiképzőrendszerekkel szemben. Ez a 3. fejezetben szintetizált keretrendszer túllép a pusztán technikai specifikációkon, és integrálja a pedagógiai, ergonómiai, hadművelleti és gazdaságossági szempontokat, új elméleti modellt kínálva az ilyen rendszerek tervezéséhez és értékeléséhez.

Kutatásom, a magyar hadtudományi kontextusban elsőként, robusztus empirikus bizonyítékot szolgáltatott a VR-környezetből a valós, éleslövészeti harcászati feladatvégrehajtásba történő pozitív és szignifikáns tudástranszferről. A 6. fejezetben bemutatott „teljesítmény-paradoxon” egy kulcsfontosságú tudományos eredmény, amely számszerűsíthetően igazolja a VR-kiképzés hatékonyságát a kognitív és procedurális kompetenciák fejlesztésében.

Kutatásom rámutatott, hogy a VR-szimulációk adatgazdagsága lehetővé teszi a Művelet Utáni Értékelés (AAR) objektívizálását, a szubjektív megbeszéléseket

adatvezérelt elemzéssé alakítva. Ez megnyitja az utat a harcászati eljárások (TTP-k) statisztikai alapú validálása és finomítása előtt, hozzájárulva a kiképzési elméletek és szabályozók hazai sajátosságokhoz igazodó, bizonyítékalapú korszerűsítéséhez.

7.3.2 HOZZÁJÁRULÁS A KATONAI MŰSZAKI TUDOMÁNYOKHOZ ÉS INNOVÁCIÓHOZ

Kutatásom szerves részét képezte egy funkcionális, nemzeti fejlesztésű VR taktikai kiképzőrendszer prototípusának (az NKE-n működő, GTS alapú rendszer) megalkotásában való részvétel, annak tesztelése és validálása. Ez a prototípus élő bizonyítéka a COTS hardverek, a saját fejlesztésű szoftver és a felhasználó-központú agilis módszertanok sikeres integrációjának a védelmi szektorban.

Disszertációmban egy átfogó kockázatkezelési stratégia alapjait vázoltam fel a kereskedelmi komponensek szuverén védelmi rendszerekben való alkalmazására. A javasolt architektúráis elvek (pl. rendszerelemek izolációja) és adatkezelési protokollok (pl. pszeudo-anonimizáció) útmutatóként szolgálhatnak a jövőbeli hazai védelmi technológiai projektek számára, hatékonyan kezelve az ellátási lánc, a hardveres és szoftveres sebezhetőségek kockázatait.

Az 5. fejezetben bemutatott moduláris, többcélú rendszerarchitektúra lehetővé teszi, hogy egy közös technológiai platformot különböző katonai és rendvédelmi szervek specifikus igényeihez igazítsanak. Ez a „platform-megközelítés” maximalizálja a beruházás megtérülését, csökkenti a fejlesztési és fenntartási költségeket, és elősegíti a szervek közötti szinergiák kiaknázását és akár az interoperabilitást is.

A kutatásom egy konkrét esettanulmányon keresztül igazolta a „Triple Helix” (kormányzat-akadémia-ipar) modell működőképességét a magyar védelmi szektorban. Az 5. fejezetben bemutatott elemzés feltérképezte a releváns szereplők (VIKI, NKE, ipari partnerek) kompetenciáit és lehetséges hozzájárulásait, bizonyítva, hogy a hazai, csúcstechnológiás védelmi fejlesztésekhez szükséges ökoszisztéma Magyarországon rendelkezésre áll.

A kutatásom lefektette egy világviszonylatban is versenyképes, exportképes termék és a köré épülő szolgáltatási ökoszisztéma alapjait. Egy ilyen projekt megvalósulása nem csupán a nemzeti védelmi képességeket erősíti, hanem hozzájárul a nemzetgazdasághoz, magas hozzáadott értékű munkahelyeket teremt, és Magyarországot a globális védelmi technológiai piac innovátoraként pozicionálja.

7.4 A KUTATÁS KORLÁTAI ÉS ÚJABB KUTATÁSI IRÁNYOK

A tudományos munka hitelességének elengedhetetlen része a kutatás korlátainak össze feltárása. Ezen korlátok elismerése nem gyengíti, hanem éppen erősíti az elért eredmények validitását, egyben kijelöli azokat a területeket, ahol a jövőbeni kutatások tovább mélyíthetik a megkezdett munkát.

7.4.1 KORLÁTOK

Disszertációm, bár átfogó képet kívánt nyújtani, bizonyos korlátokkal rendelkezik. A 6. fejezetben bemutatott empirikus mérés, noha rendkívül értékes és indikatív eredményeket hozott, viszonylag kis mintamérettel és szűk területen valósult meg. A kísérleti és kontrollcsoportok kiindulási lövészképességei között jól látható különbség volt, ami bár az elemzés során kontrollálásra került és végül megerősítette a következtetéseket. Egy nagyobb, véletlenszerűen kiválasztott és kiegyenlített csoportokkal végzett vizsgálat tovább növelné az eredmények általánosíthatóságát. A kísérlet során egy prototípus rendszer került alkalmazásra, amely a felhasználói visszajelzések alapján még rendelkezett technikai tökéletlenségekkel, melyeket a jövőben igyekszünk kiküszöbölni. A mérés megismétlése tervben volt, de azt sajnos idő és eszközhiány miatt nem sikerült megvalósítani. Végül, a kutatás csak az azonnali tudástranszfert mérte, és nem terjedt ki a VR-környezetben elsajátított készségek hosszú távú megmaradásának (retenciójának) vizsgálatára.

7.4.2 ÚJ KUTATÁSI IRÁNYOK LEHETŐSÉGEI

A feltárt korlátok és a technológia fejlődési potenciálja egyértelműen kijelöli a jövőbeli kutatások lehetséges irányait, amelyek egy hosszú távú, a VR-alapú képességfejlesztésre fókuszáló kutatási program alapjait képezhetik.

A következő lépés a mérések megismétlése nagyobb, véletlenszerűen kiválasztott és kiegyenlített csoportokkal, különböző katonai egységek (pl. hivatásos, szerződéses, tartalékos állomány) bevonásával. A vizsgálatokat ki kell terjeszteni változatosabb és komplexebb harcászati feladatokra, valamint longitudinális kutatási terv keretében vizsgálni kell a tudásmegmaradás mértékét és a készségek „kopását” hónapokkal a kiképzés után.

A kutatás fókuszát ki kell terjeszteni a VR szimulátor szélesebb, összhaderőnemi kiképzési környezetbe való integrálásának technikai és doktrinális kihívásaira. Ez

magában foglalja a VR rendszer összekapcsolását az éles gyakorlatokon használt más szimulátor rendszerekkel és a parancsnoki-törzsgyakorlatokon alkalmazott konstruktív szimulációkkal, egy valóban több-szintű, integrált kiképzési képességet teremtve.

Intenzív kutatást igényel a fejlett MI-módszerek, mint például a többügynökös megerősítéses tanulás (MARL), alkalmazása teljesen autonóm, a kiképzendők taktikájához valós időben alkalmazkodó, tanulásra képes NPC ellenfelek létrehozására. Ez a lépés a jelenlegi egyszerű MI-vel vezérelt viselkedésekről egy még dinamikusabb és kiszámíthatatlan virtuális harctérre vezetne.

A prototípus rendszer és a GTS terméke ugyan lehetővé teszi, de a mérésekben nem szerepelt integráltan a biometrikus adatok rögzítése. A jövő kutatásainak integrálniuk kell minél több biometrikus szenzort (pl. szemmozgás-követés, szívfrekvencia-variabilitás, EEG) a kognitív terhelés, a stressz-szint és a helyzettudatosság objektív, valós idejű mérésére. Az így nyert adatok alapján olyan adaptív kiképzési forgatókönyvek hozhatók létre, amelyek dinamikusan igazítják a nehézségi szintet, hogy a katonát folyamatosan az optimális tanulási zónában (flow-állapotban) tartsák.

7.5 ZÁRÓGONDOLAT

A virtuális valóság alapú kiképzés forradalma nem csupán a realisztikusabb képi megjelenítésben rejlik. A technológia valódi, paradigmaváltó ereje abban rejlik, hogy egy intelligens, adatvezérelt és mélységében adaptív kiképzési ökoszisztémát hozhat létre. Ez az ökoszisztéma túllép a múlt epizodikus, minősítés-központú képzési modelljein, és egy folyamatos, személyre szabott, objektíven mérhető és a mesterséges intelligencia által támogatott képességfejlesztés felé mutat. Jelen disszertációm nem csupán egy technológiai megoldást értékelt, hanem lefektette ezen új paradigma elméleti, műszaki és empirikus kereteit. Utat mutatott egy olyan jövő felé, amelyben a magyar katona nem csupán a legmodernebb eszközökkel van felszerelve, hanem az elméje és döntéshozatali képessége is fel van készítve a 21. századi hadviselés komplex és könyörtelen kihívásaira.

7.6 KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

A kutatásom 5 éve alatt az értekezésem tárgyát képező kiképzőrendszer tervezésre és megépítésre kerülhetett, részben sikeres tesztek folytathattunk le az NKE közreműködésével. Köszönetet szeretnék mondani:

Dr. Németh Andrásnak hathatós szakmai, emberi és adminisztrációs támogatásáért.

Dr. Négyesi Imrének, mivel módszertani kérdésekben sokat segített, illetve a kutatási irányom szűkítésében lévő szerepéért.

Az Infinit Simulation Kft.-nek, Hubay Csongornak és Harsányi Dánielnek, akik nélkül a kiképzőrendszer és a prototípus egyáltalán nem, vagy csak sokkal lassabban jöhetett volna létre.

Takács Márk Györgynek, és az NKE Lövész Tanszékének, aki kutatási időm során a katonaszakmai kérdésekben nagyon sokat segítettek és irányt mutattak.

Dr. Gáspár Miklósnak, aki intézkedéstaktika és dinamikus taktikai lövészet területén segített sokat, illetve akkori kollégáinak akik az NKE Intézkedéstaktikai Tanszékéről segítettek.

Kovács Gergőnek és a Védelmi Kutatóintézetnek (VIKI), akik nagyban segítettek több VR-rel kapcsolatos kérdést tisztázni közös méréseinkkel.

Dr. Porkoláb Imrének, a vele történt megbeszélések általi inspirációkért és iránymutatásokért.

Sporttársaimnak és edzőimnek a dinamikus sportlövészet területéről, akik gyakorlati tanácsokkal láttak el, támogattak és észrevételeiket visszacsatolták (Keresztesi Zsolt, Pintér László, Csomán János, Szikszay Tamás, Pápai József, Balog Gábor (BG), Pipicz Zsolt).

Családomnak és ismerőseimnek a türelméért.

Utoljára de nem utolsósorban a TKP projektnek, amely az NKE-n létrehozott prototípus rendszer megvalósítását finanszírozta.

8 FELHASZNÁLT IRODALOM

- [1] EPSTEIN, J.: The Ukraine war is showing Polish paratroopers that light infantry skills still matter, general says. Business Insider, 2025. június 3. (Online) Letölthető: <https://www.businessinsider.com/ukraine-war-shows-polish-paratroopers-light-infantry-skills-matter-general-2025-6>
- [2] KLUNERTOVA, D. (2024): Learning from the Ukrainian Battlefield: Tomorrow's Drone Warfare, Today's Innovation Challenge. Zürich: Center for Security Studies (CSS), ETH Zürich. DOI: <https://doi.org/10.3929/ethz-b-000690448>
- [3] HARRIS, D. J., ARTHUR, T., KEARSE, J., OLONILUA, M., HASSAN, E. K., DE BURGH, T. C., WILSON, M. R. & VINE, S. J. (2023): Exploring the role of virtual reality in military decision training. Frontiers in Virtual Reality, DOI: <https://doi.org/10.3389/frvir.2023.1165030>
- [4] FLETCHER, J. D. & CHATELIER, P. R. (2000): An Overview of Military Training. Institute for Defense Analyses IDA Doc. D-2514, Alexandria, VA. (Online) Letölthető: https://www.researchgate.net/publication/235171062_An_Overview_of_Military_Training
- [5] U.S. DEPARTMENT OF THE ARMY: ADP 6-0, Mission Command: Command and Control of Army Forces. - Washington, D.C.: Headquarters, Department of the Army, 2019. - ISBN 978-1-68842-074-8 Letölthető: https://irp.fas.org/doddir/army/adp6_0.pdf (Letöltve 2025. 06. 13.)
- [6] McCHRYSTAL, Stanley, et al.: Team of Teams: New Rules of Engagement for a Complex World. - New York: Portfolio/Penguin, 2015. - ISBN 978-1-59184-748-9
- [7] KRULAK, Charles C.: The Strategic Corporal: Leadership in the Three Block War. - In. Leatherneck; Jan 1999; 82, 1; Marine Corps Gazette & Leatherneck Magazine of the Marines p14.. Elérhetőség: <https://www.mca-marines.org/wp-content/uploads/1999-Jan-The-strategic-corporal-Leadership-in-the-three-block-war.pdf> (Letöltve: 2025. 05. 16.)
- [8] PORKOLÁB Imre ezredes: Szervezeti adaptáció a magyar honvédségben: küldetésalapú vezetés 2.0 a digitális transzformáció korában. In. Honvédségi Szemle 2019/1 3-12 o.
- [9] ROTHSTEIN, Nina – Training for Warfighter Decision Making: A Survey of Simulation-Based Training In International Journal of Aviation Sciences, Volume 1, Issue 2, 2016
- [10] Dr. Amela SADAGIC, Maj FLOY A. YATES Jr – Large Scale Adoption of Training Simulations: Are We There Yet? In. Interservice/Industry Training, Simulation, and Education Conference (I/ITSEC) 2015
- [11] BURDEA, G. C. & COIFFET, P. (2003): *Virtual Reality Technology*. 2. kiadás. Hoboken, NJ: John Wiley & Sons, Inc. DOI: 10.1162/105474603322955950.
- [12] NÉGYESI Imre: A virtuális valóság technológia alkalmazásának lehetőségei a katonai készségfejlesztésben. - In. Hadtudomány, 2023. 33. évf. 2. sz. - p. 3-16. Elérhetőség: <https://ojs.mtak.hu/index.php/hadtudomany/article/view/12266/9923>

- [13] KRÄTZIG, Gregory P. – HYDE, Michael – PARKER, Curtis: Pistols Skills Transfer from a Synthetic Environment to Real World Setting. - In. Interservice/Industry Training, Simulation, and Education Conference (I/ITSEC), 2011. Elérhetőség: https://www.academia.edu/24213669/Pistols_Skills_Transfer_from_a_Synthetic_Environment_to_Real_World_Setting
- [14] LONG, Rodney, et al.: Adapting Gunnery Training Using the Experience API. - In. Interservice/Industry Training, Simulation, and Education Conference (I/ITSEC), 2015. Elérhetőség: https://www.academia.edu/40409046/Adapting_Gunnery_Training_Using_the_Experience_API
- [15] Szűcs Endre alezredes: A könnyűlövész-tiszti és tiszthelyettesi hallgatók helység-harc-képzése a NATO elveket és a 21. század kihívásait figyelembe véve Doktori (PhD) értekezés, Zrínyi Miklós Nemzetvédelmi Egyetem, Budapest, 2005.
- [16] Dr. Kende György – Dr. Seres György: Haditechnikai kutatás-fejlesztés – Egyetemi jegyzet, Zrínyi Miklós Nemzetvédelmi Egyetem, 2004
- [17] GYULAI Gábor: A hazai haditechnikai kutatás-fejlesztés komplex megközelítése; Hadtudomány XXVI. évfolyam, 2016. évi különszám; 103-117. o. Letöltés dátuma: 2019. 12. 12., http://real.mtak.hu/50159/1/ht2016_kulonszam_105_119_u.pdf
- [18] GYULAI Gábor: A kutatás-fejlesztés szerepe a haditechnikai eszközök életútja során Hadmérnök, XII. Évfolyam 4. szám – 2017. december. Letöltés dátuma: 2019. 12. 12. http://hadmernok.hu/174_04_gyulai.pdf
- [19] FONYÓ Attila, HAUSZ Frigyes, Dr. Kardon Béla: Innováció, kutatás-fejlesztés (közigazgatási tanulmány) Nemzeti Közzolgálati Egyetem, Vezető- és Továbbképzési Intézet, Budapest, 2016
- [20] STORR, Jim: A command philosophy for the information age: The continuing relevance of mission command. - In. Defence Studies, 2003. 3. évf. 3. sz. - p. 119-129. Elérhetőség: <https://www.tandfonline.com/doi/pdf/10.1080/14702430308405081>
- [21] TAKÁCS Márk György: Az orosz-ukrán háború szárazföldi műveleteinek vizsgálata, tanulságok és javaslatok a Magyar Honvédség lövész alegységei fejlesztése céljából. - Budapest: Nemzeti Közzolgálati Egyetem, Hadtudományi Doktori Iskola, 2025. (PhD értekezés tervezet)
- [22] DIMARCO, Louis: Military History: A Guide to 21st Century Urban Warfare. - In. Canadian Army Journal, 2024. 21. évf. 1. sz. Elérhetőség: <https://www.canada.ca/en/army/services/canadian-army-journal/articles/2024/21-1-dimarco-21st-century-urban-warfare.html>
- [23] MINISTRY OF DEFENCE: Future Soldier Guide. - London: British Army, 2021. Elérhetőség: https://www.army.mod.uk/media/14992/adr010310-future-soldier-guide_v2.pdf
- [24] PATENGE, Thorsten: Innere Führung as an attempt to answer the question of (military) force: Theological and ethical remarks on the current debate. - In. Ethik und Militär – Controversies in Military Ethics & Security Policy, 2021/2. Elérhetőség: <https://www.ethikundmilitaer.de/en/full-issues/2021/2-innere-fuehrung-and-military->

ethos-under-discussion/patenge-innere-fuehrung-as-an-attempt-to-answer-the-question-of-military-force

[25] FINNISH DEFENCE FORCES: The Finnish military defence. - Helsinki: Finnish Defence Forces, 2020. Elérhetőség: <https://puolustusvoimat.fi/en/finnish-military-defence>

[26] GOV.UK: 30,000 Ukrainian recruits trained in largest UK military training effort since Second World War. - London: Ministry of Defence, 2023. Elérhetőség: <https://www.gov.uk/government/news/30000-ukrainian-recruits-trained-in-largest-uk-military-training-effort-since-second-world-war>

[27] PRENSKY, Marc: Digital Natives, Digital Immigrants Part 1. - In. On the Horizon, 2001. 9. évf. 5. sz. - p. 1-6. Elérhetőség: <http://dx.doi.org/10.1108/10748120110424816>

[28] ROTH, Adam C., et al.: Engaging and training generation Z: A guide for emergency medicine residency educators. - In. Journal of the American College of Emergency Physicians Open, 2024. 5. évf. 3. sz. Elérhetőség: <https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC11102949/>

[29] SWELLER, John – VAN MERRIËNBOER, Jeroen J. G. – PAAS, Fred: Cognitive Architecture and Instructional Design: 20 Years Later. - In. Educational Psychology Review, 2019. 31. évf. - p. 261-292. Elérhetőség: <https://doi.org/10.1007/s10648-019-09465-5>

[30] LEONG, Kelvin, et al.: A review of the trend of microlearning. - In. Journal of Work-Applied Management, 2020. 13. évf. 1. sz. - p. 88-102. Elérhetőség: <https://doi.org/10.1108/JWAM-10-2020-0044>

[31] DETERDING, Sebastian, et al.: From game design elements to gamefulness: defining "gamification". - In. Proceedings of the 15th International Academic MindTrek Conference: Envisioning Future Media Environments, 2011. - p. 9-15. Elérhetőség: <https://doi.org/10.1145/2181037.2181040>

[32] REIMAN, Tim: Applying Bloom's Taxonomy to Individual Learning in the CAF: Education, Policies, and Culture Change. - In. Transforming Military Cultures (TMC) Network, 2023. Elérhetőség: https://www.msvu.ca/wp-content/uploads/2022/07/Reiman_final_May-22023.pdf

[33] U.S. DEPARTMENT OF THE ARMY: ADP 7-0: Training. - Washington, D.C.: Headquarters, Department of the Army, 2024. Elérhetőség: https://armypubs.army.mil/epubs/DR_pubs/DR_a/pdf/web/ARN39505_ADP_7-0_FINAL_WEB.pdf

[34] RICH, Adam D. – SHAFFER, David M.: Defining and Developing Military Competence. - In. Air & Space Power Journal, 2020. 34. évf. 3. sz. - p. 40-51. Elérhetőség: <https://apps.dtic.mil/sti/pdfs/AD1097693.pdf>

[35] U.S. DEPARTMENT OF THE ARMY: FM 7-0, Training. - Washington, D.C.: Headquarters, Department of the Army, 2021. Elérhetőség: <https://api.army.mil/e2/c/downloads/2023/08/22/b94e8529/fm-7-0-training-2021.pdf>

[36] VIRGINIA DEFENCE FORCE- Oktatási segédlet: The After Action Review - <https://vdf.virginia.gov/pdf/FORMS/After%20Action%20Review.pdf>

- [37] U.S. DEPARTMENT OF THE ARMY: FM 7-0, After Action Reviews - <https://www.first.army.mil/Portals/102/FM%207-0%20Appendix%20K.pdf> (Letöltve: 2024. június 14.)
- [38] U.S. DEPARTMENT OF THE ARMY: TC 25-20, A Leader's Guide to After-Action Reviews. - Washington, D.C.: Headquarters, Department of the Army, 1993. Elérhetőség: <https://www.scribd.com/doc/140354731/A-Leader-s-Guide-to-AARs>
- [39] GUPTON – KIGER, P.J.: WHAT’S THE DIFFERENCE BETWEEN AR, VR, AND MR?. The Franklin Institute, 2017/2020. 2021. augusztus 8. Online: <https://www.fi.edu/difference-between-ar-vr-and-mr>
- [40] BOYCE, M. W., THOMSON, R. H., CARTWRIGHT, J. K., FELTNER, D. T., STAINROD, C. R., FLYNN, J., ACKERMANN, C., EMEZIE, J., AMBURN, C. R. & ROVIRA, E. (2022): Enhancing Military Training Using Extended Reality: A Study of Military Tactics Comprehension. *Frontiers in Virtual Reality*, 3:754627. DOI: 10.3389/frvir.2022.754627. Letölthető PDF: <https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/frvir.2022.754627/full>
- [41] HAGMAN, Joseph D.: Basic Rifle Marksmanship Training with the Laser Marksmanship Training System. - In. U.S. Army Research Institute for the Behavioral and Social Sciences, 2000. Elérhetőség: https://www.researchgate.net/publication/235057186_Basic_Rifle_Marksmanship_Training_with_the_Laser_Marksmanship_Training_System
- [42] MCNEILL, Laura – UDDIN, Mohammad Mohi – REGALADO, Lesley: Virtual Pathways to Authentic Learning: Exploring Instructional Technology Intern Experiences Online. - In. *TechTrends*, 2025. 69. évf. 1. sz. Elérhetőség: <https://doi.org/10.1007/s11528-024-01030-4>
- [43] PEO STRI Simulation Support Guidelines; US Army STE program (2021)
- [44] NATO STANDARDIZATION OFFICE: STANAG 4603: Modelling and Simulation Architecture Standards for Technical Interoperability: High Level Architecture (HLA). - Brüsszel: NATO, 2015. Elérhetőség: <https://nmsg.sto.nato.int/amsp/hla>
- [45] MILGRAM, Paul – KISHINO, Fumio: A Taxonomy of Mixed Reality Visual Displays. - In. *IEICE TRANSACTIONS on Information and Systems*, 1994. 77. évf. 12. sz. - p. 1321-1329. Elérhetőség: <https://www.frontiersin.org/journals/virtual-reality/articles/10.3389/frvir.2021.647997/full>
- [46] SLATER, Mel: Place illusion and plausibility can lead to realistic behaviour in immersive virtual environments. - In. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*, 2009. 364. évf. 1535. sz. - p. 3549-3557. Elérhetőség: <https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC2781884/>
- [47] BOWMAN, Doug A. – MCMAHAN, Ryan P.: Virtual reality: How much immersion is enough? - In. *Computer*, 2007. 40. évf. 7. sz. - p. 36-43. Elérhetőség: <https://doi.org/10.1109/MC.2007.257>
- [48] HALLEY-PRINABLE, Adam: The Oculus Rift and Immersion through Fear. - Bournemouth: Bournemouth University, 2013. (PhD értekezés) Elérhetőség: https://www.academia.edu/5387318/The_Oculus_Rift_and_Immersion_through_Fear

- [49] [43] SLATER, M., & WILBUR, S. (1997). A framework for immersive virtual environments (FIVE): Speculations on the role of presence in virtual environments. *Presence: Teleoperators & Virtual Environments*, 6(6), 603-616.
- [50] MCMAHAN, R. P. (2003). *Exploring the Effects of Higher-Fidelity Display and Interaction for Virtual Reality Systems*. Virginia Tech Research Library.
- [51] GÁL Bence – NÉMETH A: Additív gyártástechnológiák katonai alkalmazásának vizsgálata, különös tekintettel a katonai elektronikai területére. *Hadmérnök*, 14. (2019), 1. 231–249.
- [52] NÉMETH András – SZABÓ A. – Balog F.: 3D virtualizációs és vizualizációs technológiák az eredmények archiválásában. In Hausner Gábor – Németh András (szerk.): *Zrínyi-Újvár: Egy 17. századi védelmi rendszer az oszmán hódoltság határán*. Budapest, Ludovika Egyetemi Kiadó, 2019. 223–266.
- [53] HOWARD, C. E. (2008): *Combat training with COTS*. Military Aerospace, Nov. 1, 2008. (Online) Elérhető: <https://www.militaryaerospace.com/communications/article/16706734/combat-training-with-cots>
- [54] SKOROBOGATOV, Sergei – WOODS, Christopher: *Breakthrough silicon scanning discovers backdoor in military chip*. - Cambridge: University of Cambridge, 2012. Elérhetőség: https://www.cl.cam.ac.uk/~sps32/skorobogatov_2012_chip_backdoor.pdf
- [55] ROBERTSON, Jordan – RILEY, Michael: *The Big Hack: How China Used a Tiny Chip to Infiltrate U.S. Companies*. - In. *Bloomberg Businessweek*, 2018. október 4. Elérhetőség: <https://www.bloomberg.com/news/features/2018-10-04/the-big-hack-how-china-used-a-tiny-chip-to-infiltrate-america-s-top-companies>
- [56] BROSSARD, Jonathan: *Hardware backdooring is practical*. - Előadás a Black Hat USA 2012 konferencián. Elérhetőség: <https://www.infosecinstitute.com/resources/hacking/hardware-attacks-backdoors-and-electronic-component-qualification/>
- [57] J. MCHALE: „F-35 Joint Strike Fighter uses COTS hardware and software”, *Intelligent Aerospace* (interjú E.George-dzsal a program küldetés-rendszer és szoftver igazgatójával, 2010.04.13.). [Online] Elérhető: <https://www.intelligent-aerospace.com/avionics/article/16544347/f35-joint-strike-fighter-uses-cots-hardware-and-software> (Letöltve: 2020.05.25.)
- [58] MARLOK Tamás, ÜVEGES András József: *Korszerű nemzeti taktikai kiképzőrendszer fejlesztésének kérdései, GDPR megfelelése* FELDERÍTŐ SZEMLE 19: 3 pp. 91-126., 35 p. (2020) <https://www.knbsz.gov.hu/hu/letoltes/fsz/2020-3.pdf>
- [58] ADENIYAN, T. (2025): *Implementing Secure Software Development Lifecycle (SDLC) Practices in U.S.–Based Agile Development Environments*. *International Journal of Modern Science and Research Technology*, 3(2). DOI: 10.5281/zenodo.14903656. Letölthető PDF: <https://doi.org/10.5281/zenodo.14903656>
- [59] MOKHTAR, R. & KHAYYAT, M. (2022): *A Comparative Case Study of Waterfall and Agile Management*. *SAR Journal*, 5(1), 52–62. DOI: 10.18421/SAR51-07. Letölthető PDF:

https://www.researchgate.net/publication/359538977_A_Comparative_Case_Study_of_Waterfall_and_Agile_Management

[60] SAVAGE-KNEPSHIELD, P., CARNEY, J., MAWYER, B. & LEE, A. (2021): Soldier-Centered Agile: The promise of Agile acquisition to enable responsive delivery of capabilities based on continuous user feedback (Soldier touch-point events). Army ALT Magazine, 2021. Letölthető PDF: <https://asc.army.mil/web/news-soldier-centered-agile/>

[61] ETZKOWITZ, H. & LEYDESDORFF, L. (1995): The Triple Helix: University-Industry-Government Relations: A Laboratory for Knowledge-Based Economic Development. London: University College London Press. Letölthető PDF: https://mguntur.id/files/ebook/ebook_1605608206_cf742d707b4e0bf22bf3.pdf

[62] PEETERS, J.: Secure Application Development. Retrieved from Agile Security Requirements Engineering 2017 [Online] Elérhető: <https://handouts.secappdev.org/handouts/2008/abuser%20stories.pdf> (Letöltve: 2020. 10. 28.)

[63] Marlok, T. and Takács, M. G. (2024) "Preparations for VR Tactical Training Simulator Efficiency Measurements", AARMS – Academic and Applied Research in Military and Public Management Science. Budapest, 23(2), pp. 5–17. doi: 10.32565/aarms.2024.2.1.

További feldolgozott irodalmak

BOBO, David B.: A Systematic Review: Learning Emotion Regulation with Virtual Reality. - Logan: Utah State University, 2023. (Disszertáció) Elérhetőség: <https://digitalcommons.usu.edu/cgi/viewcontent.cgi?article=1409&context=etd2023>

BOHIL, Corey J. – ALICEA, Bradly – BIOCCA, Frank A.: Virtual reality in neuroscience research and therapy. - In. Nature Reviews Neuroscience, 2011. 12. évf. 12. sz. - p. 752-762. Elérhetőség: <https://doi.org/10.1038/nrn3122>

COMBINED ARMS CENTER - TRAINING: Leaders' Guide to After-Action Reviews. - Fort Leavenworth: Training Management Directorate (TMD), é.n. Elérhetőség: <https://www.first.army.mil/Portals/102/FM%207-0%20Appendix%20K.pdf>

CONBOY, Kieran – CARROLL, Noel: Implementing Large-Scale Agile Frameworks: Challenges and Recommendations. - In. IEEE Software, 2019. 36. évf. 2. sz. - p. 44-50. Elérhetőség: <https://arxiv.org/pdf/1901.08130.pdf>

CSIS DEFENSE-INDUSTRIAL INITIATIVES GROUP: Acquisition of Software-Defined Hardware-Based Adaptable Systems. - Washington, D.C.: CSIS, 2019. Elérhetőség: https://csis-website-prod.s3.amazonaws.com/s3fs-public/publication/190807_AdaptableSystems_final.pdf

DECKER, Ryan S. – MCNIEL, J. – BROOKS, J.: Targeted Scrum: Applying Mission Command to Agile Software Development. - In. Proceedings of the 19th International Command and Control Research and Technology Symposium (ICCRTS), 2014. Elérhetőség: http://www.dodccrp.org/events/19th_iccrts_2014/post_conference/papers/006.pdf

EON REALITY: EON Flow: Revolutionizing Focus and Productivity through Immersive Technology. - Irvine: EON Reality, 2025. Elérhetőség:

<https://eonreality.com/introducing-eon-flow-revolutionizing-focus-and-productivity-through-immersive-technology/>

ETZKOWITZ, Henry: The Triple Helix: University-Industry-Government Innovation in Action. - New York: Routledge, 2008. - ISBN 978-0-415-96450-0

HOFFMAN, Hunter G., et al.: Virtual reality as an adjunctive non-pharmacologic analgesic for acute burn pain during medical procedures. - In. Annals of Behavioral Medicine, 2011. 41. évf. 2. sz. - p. 183-191. Elérhetőség: <https://msktc.org/burn/publications/virtual-reality-adjunctive-non-pharmacologic-analgesic-acute-burn-pain-during>

JONGBLOED, Janine – CHAKER, Rawad – LAVOUÉ, Elise: Immersive procedural training in virtual reality: A systematic literature review. - In. Computers & Education, 2024. 221. évf. Elérhetőség: <https://doi.org/10.1016/j.compedu.2024.105124>

SADAGIC, Amela – YATES, Floy A. Jr.: Large Scale Adoption of Training Simulations: Are We There Yet? - In. Interservice/Industry Training, Simulation, and Education Conference (I/ITSEC), 2015. Elérhetőség: https://calhoun.nps.edu/bitstream/handle/10945/48451/Sadagic_Large_Scale.pdf?sequence=1&isAllowed=y

TAVASSOLI, Dominic: Agile software development of military embedded systems. - In. Military Embedded Systems, 2007. Elérhetőség: <http://mil-embedded.com/pdfs/Telelogic.May07.pdf>

WIEDERHOLD, Brenda K. – WIEDERHOLD, Mark D.: Virtual Reality and Interactive Simulation for Pain Distraction. - In. Pain Medicine, 2007. 8. évf. S3. sz. - p. S182-S188. Elérhetőség: https://academic.oup.com/painmedicine/article-pdf/8/suppl_3/S182/5238345/8-suppl_3-S182.pdf

Wiley Interscience, A John Wiley & Sons, Inc., Publication, 2017 (Second edition)

9 A SZERZŐ TÉMAKÖRBE KÉSZÜLT PUBLIKÁCIÓI

MAGYAR NYELVŰ KÖNYVFEJEZET

Marlok Tamás: *A VR-eszközök alkalmazhatósága a taktikai kiképzésben*

In: Földi, László (szerk.) Szemelvények a katonai műszaki tudományok eredményeiből III. Budapest, Magyarország: Ludovika Egyetemi Kiadó (2022) 440 p. pp. 323-337., 15 p.

IDEGEN NYELVŰ CIKK MTA A-B KATEGÓRIÁS FOLYÓIRATBAN

Takács Márk György, Marlok Tamás: *VR Training Opportunities in Hungarian Defense Forces*

In ACADEMIC AND APPLIED RESEARCH IN MILITARY AND PUBLIC MANAGEMENT SCIENCE (2024)

Takács Márk György, Marlok Tamás: *Preparations for VR Tactical Training Simulator Efficiency Measurements*

In: ACADEMIC AND APPLIED RESEARCH IN MILITARY AND PUBLIC MANAGEMENT SCIENCE (2024)

MAGYAR NYELVŰ CIKK MTA A-B KATEGÓRIÁS FOLYÓIRATBAN

Marlok Tamás, Üveges András József: *Korszerű nemzeti taktikai kiképzőrendszer fejlesztésének kérdései, GDPR megfelelése*

In FELDERÍTŐ SZEMLE 19: 3 pp. 91-126., 35 p. (2020)

Marlok Tamás: *Virtuális valóság alapú taktikai szimulációs kiképző eszközök hazai fejlesztési lehetőségei 1.rész: Technológiai áttekintés*

In HADMÉRNÖK 15: 3 pp. 197-218., 21 p. (2020)

DOI: <https://doi.org/10.32567/hm.2020.3.11>

Marlok Tamás: *Virtuális valóság alapú taktikai szimulációs kiképző eszközök hazai fejlesztési lehetőségei 2.rész a technológia lehetőségei a kiképzés szemszögéből*

In HADMÉRNÖK 16: 1 pp. 161-176., 16 p. (2021)

DOI: <https://doi.org/10.32567/hm.2021.1.10>

Marlok Tamás: *Virtuális valóság alapú taktikai szimulációs kiképző eszközök hazai fejlesztési lehetőségei: 3. rész: A technológia korlátai a kiképzés szemszögéből*

In HADMÉRNÖK 16: 3 pp. 157-172., 16 p. (2021)

DOI: <https://doi.org/10.32567/hm.2021.3.9>

IDEGENNYELVŰ SZAKMAI KONFERENCIA KIADVÁNY

Károly Krisztián, Marlok Tamás, Juhász József, Gajdos Máté, Ágoston

Tibor, Németh András: *Extended Reality possibilities in Air Traffic Management*

In: Andoga, Rudolf; Főző, Ladislav (szerk.) New Trends in Aviation Development 2023: The XVIII. International Scientific Conference. Proceedings

Danvers (MA), Amerikai Egyesült Államok: IEEE (2023) 290 p. pp. 134-138., 5 p.

DOI: <https://doi.org/10.1109/NTAD61230.2023.10380138>

Nyelv: Angol

HAZAI SZAKMAI KONFERENCIA KIADVÁNY

Dr. Seres György DSc, Marlok Tamás: *A virtuális valóság múltja, jelene és jövője a tanítási-tanulási folyamatban*

In: Berke József (Szerkesztő), Kozma-Bognár Veronika (Szerkesztő) XXVII.

Multimédia az oktatásban online nemzetközi konferencia: Konferencia kiadvány (NJSZT MMO) (2021), 267 p. pp.222-226 4p

10 MELLÉKLETEK

10.1 FOGALMAK ÉS RÖVIDÍTÉSEK JEGYZÉKE⁴⁷

AAR (*After-Action Review*), Művelet Utáni Értékelés: A felelősségre vonást mellőző, irányított elemzés, amely egy kiképzési esemény alatt vagy után a tervezett és a valós eredmények összevetésével azonosítja a fenntartandó és fejlesztendő területeket a jövőbeli teljesítmény javítása érdekében.

ADP (*Army Doctrine Publication*), Hadsereg Doktrína Kiadvány: Az amerikai szárazföldi haderő (U.S. Army) hivatalos doktrinális kiadványainak sorozata, amely a haderő alapelveit és eljárásait rögzíti.

Agilis fejlesztés: Olyan szoftverfejlesztési módszertan, amely a rugalmasságot, az iteratív (rövid ciklusokban történő) fejlesztést és a felhasználóval való szoros együttműködést helyezi a középpontba a merev, előre tervezett modellekkel szemben.

AFWERX: Az amerikai légierő innovációs ága, amely az ipar, a tudományos élet és a kormányzat közötti együttműködést gyorsítja fel a haderő képességeinek fejlesztése érdekében, gyakran a Triple Helix modell gyakorlati megvalósításaként.

AR (*Augmented Reality*), Kiterjesztett valóság: Olyan technológia, amely a valós világ képét valós időben egészíti ki számítógép által generált digitális információkkal (pl. szöveggel, képekkel), jellemzően átlátszó vagy kamerás kijelzők segítségével.

Army, U.S. Army: Az Amerikai Egyesült Államok szárazföldi hadereje.

BCI (*Brain-Computer Interface*), Agy-számítógép interfész: Olyan technológia, amely közvetlen kommunikációs csatornát hoz létre az agy elektromos aktivitása és egy külső eszköz, például egy számítógép között, lehetővé téve a kognitív állapotok monitorozását.

Big-data: Olyan nagy méretű, nagy sebességgel keletkező és változatos típusú adathalmazok, amelyek feldolgozása és elemzése meghaladja a hagyományos adatbázis-kezelő eszközök képességeit, és speciális technológiákat igényel.

BTN (*Behavior Transition Networks*), Viselkedési Átmeneti Hálózatok: A mesterséges intelligencia egyik technikája, amelyet automatizált Művelet Utáni Értékelések (AAR) során használhatnak a kiképzendő döntéseinek és viselkedési mintázatainak valós idejű elemzésére és értékelésére.

CI/CD (*Continuous Integration/Continuous Delivery*), Folyamatos Integráció/Folyamatos Szállítás: Szoftverfejlesztési gyakorlatok összessége, ahol a fejlesztők kódmódosításait egy központi tárolóba gyakran és automatikusan integrálják, majd az új verziókat automatizáltan tesztelik és teszik elérhetővé.

⁴⁷ Google Gemini mesterséges intelligenciával kigyűjtve (<https://gemini.google.com/>)

COTS (*Commercial Off-The-Shelf*), Kereskedelmi forgalomban kapható: Olyan termékek, alkatrészek vagy szoftverek, amelyeket nem egyedi megrendelésre, hanem a kereskedelmi piacra fejlesztenek, és bárki számára elérhetők.

CQB (*Close Quarters Battle*), Közelharc, helység-harc: Zárt, behatárolt terekben, például épületekben vagy szűk folyosókon vívott harc, amely speciális harcászati eljárásokat és fegyverkezelési technikákat igényel.

CSE (*Common Synthetic Environment*), Közös Szintetikus Környezet: Olyan átfogó és interoperábilis virtuális platform, amely közös szabványok segítségével integrálja az Élő, Virtuális és Konstruktív (LVC) szimulációkat egyetlen, a haderőnemek által megosztott, valósághű műveleti környezetbe.

Cybersickness, Szimulációs betegség: A virtuális valóság használata során fellépő, a tengeribetegséghez hasonló tünetegyüttes (pl. hányinger, szédülés, fejfájás), amelyet az érzékszervek (látás, egyensúlyérzékelés) közötti konfliktus okoz.

DIANA (*Defence Innovation Accelerator for the North Atlantic*), Védelmi Innovációs Gyorsító Program az Észak-Atlanti Térségért: A NATO innovációs gyorsító programja, amely a feltörekvő és áttörést jelentő technológiák fejlesztését és katonai alkalmazását támogatja a szövetségben belül.

Digitális bennszülöttek: Az a generáció, amely már a digitális technológiák (internet, mobiltelefonok, közösségi média) által meghatározott világba született, és ezek használata számukra természetes közeg.

DIS (*Distributed Interactive Simulation*), Elosztott Interaktív Szimuláció: Egy szabványos protokoll, amely lehetővé teszi különböző, földrajzilag elosztott szimulátorok valós idejű összekapcsolását és együttműködését egy közös virtuális környezetben.

DoF (*Degrees of Freedom*), Szabadságfokok: A mechanikában egy merev test térbeli helyzetének és orientációjának leírásához szükséges független paraméterek száma; VR kontextusban általában 6 DoF (három elmozdulás, három forgás) a teljes mozgáskövetést jelenti.

Drill: Szigorú, ismétlésen alapuló, gépszerű kiképzési módszer, ahol a hangsúly a mozdulatok és eljárások pontos, mechanikus végrehajtásán van, gyakran az egyéni gondolkodás rovására.

DSTS (*Dismounted Soldier Training System*): Az amerikai hadsereg egyik korábbi, VR-alapú harcászati kiképzőrendszere, amely az egyéni és kisalegység szintű gyalogos katonák felkészítését szolgálta. A katonai VR szimulációk öse.

E&T (*Education & Training*), Oktatás és Kiképzés: A NATO által használt fogalom, amely egy holisztikus, az élethosszig tartó tanuláson alapuló képesség-alapú rendszert ír le, célja a szövetséges erők interoperabilitásának és készenlétének biztosítása.

EEG (*Electroencephalography*), Elektroencefalográfia: Az agy elektromos aktivitásának rögzítésére szolgáló orvosi diagnosztikai eljárás, amelyet VR-kutatásokban a kognitív terhelés és a figyelmi állapot mérésére is használnak.

Extrinszikus kognitív terhelés: A kognitív terhelés elméletének egyik fogalma, amely arra a felesleges mentális erőfeszítésre utal, amit egy feladat vagy tananyag rossz tervezése, bemutatása vagy a környezet zavaró tényezői okoznak.

FM (*Field Manual*), Terepi Kézikönyv: Az amerikai szárazföldi haderő (U.S. Army) részletesebb, gyakorlati útmutatást tartalmazó kiadványsorozata, amely egy-egy szakterület eljárásait írja le.

FoV (*Field of View*), Látótér: A megfigyelhető világ azon terjedelme, amely egy adott pillanatban látható; VR-sisakok esetében a vízszintes és függőleges látószög fokban megadott értéke. Minősítő nélkül általában a vízszintes látótér szögét értjük alatta.

Foveated rendering: Olyan grafikus renderelési technika, amely szemkövetést használva a felhasználó fókuszpontjában (a *fovea* területén) nagy felbontásban, míg a perifériás látómezőben alacsonyabb felbontásban jeleníti meg a képet, ezzel jelentősen csökkentve a számítási terhelést.

FPGA (*Field-Programmable Gate Array*), Programozható kapumátrix: Olyan félvezető eszköz, amelynek belső logikai áramkörei a gyártás után, a felhasználó által programozhatók, lehetővé téve komplex digitális funkciók rugalmas megvalósítását.

FPS (*First-Person Shooter*), Első személyű lövöldözős játék: Olyan videójáték-műfaj, amelyben a játékos a főszereplő szemén keresztül látja a világot, és a játékmenet központjában a fegyveres harc áll.

Gamifikáció (*Gamification*): Játékelemek és játéktervezési mechanizmusok (pl. pontok, szintek, ranglisták) alkalmazása játékon kívüli kontextusban a felhasználói motiváció és elköteleződés növelése érdekében.

GDPR (*General Data Protection Regulation*), Általános Adatvédelmi Rendelet: Az Európai Unió adatvédelmi és adatbiztonsági rendelete, amely az egyének személyes adatainak védelmét szabályozza.

Germán kognitív terhelés: A kognitív terhelés elméletének egyik fogalma; a hasznos mentális erőfeszítés, amely az új információk feldolgozásához, a meglévő tudáshoz való kapcsolásához és a tartós tudást képviselő mentális sémák kiépítéséhez szükséges.

GIFT (*Generalized Intelligent Framework for Tutoring*): Egy nyílt forráskódú, moduláris szoftverkeretrendszer, amelyet az amerikai hadsereg kutatólaboratóriuma fejlesztett ki adaptív, intelligens oktatórendszerek (ITS) gyors és költséghatékony létrehozására.

GNN (*Graph Neural Networks*), Gráf neurális hálózatok: A mesterséges intelligencia egyik típusa, amely gráf struktúrájú adatokon képes műveleteket végezni, lehetővé téve komplex kapcsolatrendszerek, például szociális hálózatok vagy molekulaszervezetek elemzését.

GTS (*Gun Tactical Simulator*): Teljesen magyar fejlesztésű, VR technológiára alapuló harcászati kiképző rendszer, amely a disszertációban prototípusként és példaként szerepel.

Haptikus visszajelzés: Olyan technológia, amely erőhatások, rezgések vagy mozgások alkalmazásával a tapintás érzetét kelti, lehetővé téve a felhasználó számára, hogy fizikailag is érezze a virtuális környezettel való interakciót (pl. felhasználót ért találat).

HHK (Hadtudományi és Honvédtisztképző Kar): A Nemzeti Közszerolgalati Egyetem egyik kara, amely a honvédtisztek képzéséért felelős.

HLA (*High Level Architecture*), Magas Szintű Architektúra: A NATO által is használt (STANAG 4603) általános célú keretrendszer, amely lehetővé teszi különböző, akár földrajzilag elosztott szimulációk összekapcsolását és interoperábilis működését egy közös szimulációs környezetben.

HMD (*Head-Mounted Display*), Fejre szerelhető kijelző: Olyan, fejen viselhető eszköz (sisak vagy szemüveg), amely egy vagy két kis kijelzőt helyez a felhasználó szeméi elé, a virtuális vagy kiterjesztett valóság megjelenítésére.

HMI (*Human-Machine Interface*), Ember-gép interfész: Az a felület vagy eszköz, amelyen keresztül egy ember és egy gép (pl. számítógép, jármű, szimulátor) közötti interakció és kommunikáció megvalósul.

HRV (*Heart Rate Variability*), Szívfrekvencia-variabilitás: A szívverések közötti időintervallumok változása, amelynek mérése a fiziológiai és pszichológiai állapot (pl. stressz-szint, kognitív terhelés) objektív mutatójaként használható.

HUN-REN: Magyar Kutatási Hálózat; Magyarország legnagyobb, független, közfinanszírozású tudományos kutatóintézet-hálózata.

I/ITSEC (*Interservice/Industry Training, Simulation and Education Conference*): A világ legnagyobb, évente megrendezett katonai kiképzési és szimulációs konferenciája és kiállítása, amely a szakterület legújabb kutatási és fejlesztési eredményeit mutatja be.

IDF (*Israeli Defence Forces*), Izraeli Védelmi Erők: Izrael állam hadereje.

IED (*Improvised Explosive Device*), Rögtönzött robbanószerkezet: Házilag, gyakran hétköznapi anyagokból összeállított robbanóeszköz, amelyet jellemzően aszimmetrikus hadviselésben alkalmaznak.

Immerzivitás (immerzió): Az a mentális és érzékszervi állapot, amely során a felhasználó mélyen bevonódik, „alámerül” egy mesterséges vagy virtuális környezetbe, és a valós világot szinte teljesen kizárja, valóságosként élve meg a szimulált eseményeket.

Intrinsztikus kognitív terhelés: A kognitív terhelés elméletének egyik fogalma, amely a tananyag vagy feladat belső, elválaszthatatlan bonyolultságából fakadó mentális erőfeszítésre utal.

IPD (*Interpupillary Distance*), Pupillatávolság: A két szem pupillájának középpontja közötti távolság, amelynek pontos beállítása a VR-sisakokon elengedhetetlen az éles, kényelmes képalkotáshoz.

IWS (*Instructor Workstation*), Instruktori Munkaállomás: A (GTS) szimulációs rendszer azon kezelőfelülete, amelyen keresztül a kiképző felügyeli, irányítja és kiértékeli a gyakorlatot.

Jártasság: A tanulási folyamat egy szintje, amely a készségek magasabb szintű integrációját és mesteri szintű, hatékony alkalmazását jelenti standardizált, de már összetettebb helyzetekben.

Képesség: A tudáselsajátítás legmagasabb szintje, amely a készségek és jártasságok alkalmazásán túl magában foglalja a változó, kiszámíthatatlan és komplex környezetben történő önálló döntéshozatalt és problémamegoldást.

Készség: A tanulási folyamat alapja; egy tanult, ismétléssel automatizált motoros vagy kognitív folyamat, amely egy specifikus, jól körülhatárolható művelet végrehajtását teszi lehetővé.

LA (*Learning Analytics*), Tanulási analitika: A tanulókról és kontextusukról gyűjtött adatok mérése, gyűjtése, elemzése és jelentése a tanulás és a tanulási környezetek megértése és optimalizálása céljából.

LOA (*Limit of Advance*), Előremozgás határa: Az a harcászatban kijelölt vonal vagy terepszakasz, amelyen túl egy alegység nem haladhat tovább a parancsnok külön engedélye nélkül. Ez lehet fedezék, vagy más megadott tereppont.

LRS (*Learning Record Store*), Tanulási Rekord Tároló: Olyan adattár, amely az xAPI szabvány szerint formázott tanulási rekordokat gyűjti és tárolja, lehetővé téve a különböző rendszerekből származó tanulási adatok központi kezelését.

LVC (*Live-Virtual-Constructive*), Élő-Virtuális-Konstruktív: Olyan kiképzési architektúra, amely egy közös hálózatba kapcsolja az élő (valós katonák valós felszereléssel), a virtuális (szimulátorok) és a konstruktív (számítógép által generált erők) elemeket.

LVC-IA (*Live-Virtual-Constructive Integrating Architecture*), Élő-Virtuális-Konstruktív Integráló Architektúra: Az a hálózatközpontú technikai keretrendszer, amely közös szabványok és protokollok biztosításával lehetővé teszi a különböző LVC elemek és vezetési rendszerek közötti adatcserét és interoperabilitást.

MARL (*Multi-agent Reinforcement Learning*), Többügynökös megerősítéses tanulás: A gépi tanulás egy ága, amely azt vizsgálja, hogyan tud több, egymással interakcióban lévő mesterséges intelligencia ügynök (pl. NPC-k) közös vagy ellentétes célok érdekében, tanulás útján optimális viselkedést kialakítani.

MDO (*Multi-Domain Operations*), Multitér műveletek: Az amerikai hadsereg és a NATO modern hadviselési koncepciója, amely a különböző hadszínterek (szárazföld, levegő, tenger, űr, kibertér) képességeinek szinkronizált és integrált alkalmazását helyezi előtérbe.

MEMS (*Micro-Electro-Mechanical Systems*), Mikro-elektromechanikai rendszerek: Miniaturizált mechanikai és elektro-mechanikai elemek (pl. gyorsulásmérők, giroszkópok), amelyeket a VR eszközökben a mozgás érzékelésére használnak.

Meta-képesség: Magasabb rendű kognitív képesség, amely a saját gondolkodási és tanulási folyamatok tudatos irányítását, felügyeletét és szabályozását jelenti (pl. kritikai gondolkodás, adaptivitás).

MILES (Multiple Integrated Laser Engagement System): Az amerikai hadsereg által kifejlesztett, lézer alapú harcászati gyakorlórendszer, amely lehetővé teszi a valósághű, erő-erő elleni (*force-on-force*) kiképzést a fegyverekre szerelt lézeradók és a katonák felszerelésén elhelyezett érzékelők segítségével.

Mission Command, Megbízásos vezetés: Olyan parancsnoki filozófia, amely a szigorú, központosított irányítás helyett a parancsnoki szándék megértésén alapuló, decentralizált végrehajtást és az alárendeltek kezdeményező-készségét helyezi előtérbe.

Mozgósítás: Az ország erőforrásainak (személyi állomány, anyagi eszközök) átcsoportosítása és hadrendbe állítása háborús vagy rendkívüli állapot idején a védelmi képességek megerősítése érdekében.

MR (Mixed Reality), Kevert valóság: Olyan technológia, amely a valós és a virtuális világot ötvözi, ahol a digitális és fizikai objektumok valós időben képesek egymással interakcióba lépni és egymást kitakarni.

Multitasking, Párhuzamos feladatvégzés: Emberi kontextusban gyors és gyakori váltást jelent több feladat között, ami azt az illúziót kelti, hogy a feladatokat egyszerre végzik.

MVP (Minimum Viable Product), Minimálisan életképes termék: Egy új termék vagy szoftver azon legkorábbi verziója, amely már rendelkezik az alapvető funkciókkal ahhoz, hogy a korai felhasználók számára értéket nyújtson és visszajelzést gyűjtsön a további fejlesztéshez.

NATO (North Atlantic Treaty Organization), Észak-atlanti Szerződés Szervezete: Európai és észak-amerikai országok politikai és katonai szövetsége, amelynek alapvető célja a tagállamok szabadságának és biztonságának garantálása.

NAV: Nemzeti Adó- és Vámhivatal; a disszertáció kontextusában a Pénzügyőrségre, mint a NAV egyik fegyveres testületére utal.

Near-peer: Olyan katonai-stratégiai fogalom, amely egy olyan (potenciális) ellenfél államot jelöl, amelynek katonai, gazdasági és technológiai képességei megközelítik vagy bizonyos területeken elérik a saját ország képességeit, komoly kihívást jelentve a meglévő erőfölényre.

NCO (Non-Commissioned Officer), Altiszt: A tiszti és a legénységi állomány közötti rendfokozati kategória a hadseregekben, amely kulcsszerepet játszik a kisleadségek vezetésében és kiképzésében.

NIF (NATO Innovation Fund), NATO Innovációs Alap: A NATO által létrehozott, a világ első, több szuverén állam által támogatott kockázati tőke-alapja, amely a mélytechnológiai és védelmi innovációkba fektet be.

NPC (*Non-Playable Character*), Nem játszható karakter, környezeti karakter: A szimulációkban vagy videójátékokban szereplő, mesterséges intelligencia által irányított karakter.

ODT (*Omni-Directional Treadmill*), Többirányú taposómalom: Olyan speciális futópad, amely lehetővé teszi a felhasználó számára, hogy bármilyen irányba mozogjon (járjon, fusson), miközben fizikailag egy helyben marad, így szimulálva a természetes helyváltoztatást a virtuális térben.

Operátor (*Operator*): Eredetileg az amerikai különleges műveleti erők harci feladatokat ellátó katonáira használt kifejezés; a modern katonai szaknyelvben gyakran általánosabban, a magasan képzett, autonóm döntéshozatalra képes harcoló katonára is alkalmazzák.

OSINT (*Open Source Intelligence*), Nyílt forrású hírszerzés: Olyan hírszerzési módszer, amely nyilvánosan hozzáférhető forrásokból (pl. sajtó, internet, tudományos publikációk) gyűjt, elemez és szintetizál információkat.

OWT (*One World Terrain*), Egy Világ Terep: Az amerikai hadsereg STE programjának egyik kulcseleme, amelynek célja a Föld teljes felszínének egyetlen, 3D-s, valósághű és minden szimuláció számára elérhető digitális terepmodelljének létrehozása.

Összhaderőnemi: Olyan katonai tevékenység, hadművelet vagy szervezet, amelyben legalább két haderőnem (pl. szárazföldi, légi) erői összehangoltan vesznek részt.

PC-VR: Olyan virtuális valóság rendszerek, amelyek működésükhöz egy külső, nagy teljesítményű személyi számítógép (PC) csatlakoztatását igénylik a grafikai és szimulációs számítások elvégzéséhez.

PMESII-PT (*Political, Military, Economic, Social, Information, Infrastructure, Physical Environment, Time*): Politikai, katonai, gazdasági, szociális, információs, infrastrukturális, fizikai környezeti és időbeli tényezők; a műveleti környezet komplex elemzésére szolgáló katonai modell.

PPD (*Pixels Per Degree*), Pixelek fokenként: A VR-kijelzők felbontásának egyik mértékegysége, amely azt mutatja meg, hogy a látótér egy foknyi szögére hány pixel esik, meghatározva a kép élességét.

Procedurális készségek (*Procedural skills*): A „hogyan csináljuk” tudása; egy feladat vagy cselekvési sorozat végrehajtásának képessége, amely gyakorlással automatizálódik és gyakran tudattalanul, implicit módon hívódik elő.

Propriocepció: A testhelyzet-érzékelés; az az érzék, amely tájékoztatja az agyat a testrészek egymáshoz viszonyított helyzetéről és mozgásáról anélkül, hogy vizuális információra lenne szükség.

Pszedo-anonimizáció (álnevesítés): Adatvédelmi eljárás, amely során a személyes adatokat úgy módosítják (pl. egyedi kóddal helyettesítik), hogy azok további információk nélkül már nem köthetők egy konkrét személyhez, de a kapcsolat megfelelő jogosultsággal visszaállítható.

Reziliancia (*Resilience*), Ellenállóképesség: Pszichológiai értelemben az a képesség, hogy egy személy sikeresen megbirkózik a stresszel, a nehézségekkel és a traumákkal, és képes azokból felépülni, sőt, fejlődni.

ROE (*Rules of Engagement*), Harcérintkezési szabályok: Az a parancsnoki vagy kormányzati szinten meghatározott szabályrendszer, amely előírja, hogy a katonai erők milyen körülmények között, milyen mértékben és milyen módon alkalmazhatnak erőszakot, beleértve fegyvert.

RTOS (*Real-Time Operating System*), Valós idejű operációs rendszer: Olyan operációs rendszer, amely garantálja a feladatok meghatározott időkorlátokon belüli végrehajtását, ezért kritikus, időérzékeny rendszerekben (pl. repülésvezérlés, ipari automatizálás) alkalmazzák.

S-SDLC (*Secure Software Development Lifecycle*), Biztonságos Szoftverfejlesztési Életciklus: Olyan szoftverfejlesztési folyamat, amely a biztonsági szempontokat és tevékenységeket a fejlesztés minden fázisába (tervezés, kódolás, tesztelés, üzemeltetés) szisztematikusan beépíti.

SBIR/STTR (*Small Business Innovation Research / Small Business Technology Transfer*): Amerikai kormányzati programok, amelyek kisvállalkozások számára biztosítanak vissza nem térítendő támogatást kutatás-fejlesztési projektek megvalósítására, a technológiai innováció és a kereskedelmi hasznosítás ösztönzése céljából.

Scenario-based training, Forгатókönyv-alapú képzés: Olyan kiképzési módszer, amely során a résztvevőknek egy előre megírt, valósághű helyzetet (forгатókönyvet) kell megoldaniuk, ami a döntéshozatali és problémamegoldó képességek fejlesztését célozza.

Simunition: Nem halálos lőszeret és fegyver-átalakító készleteket gyártó cég, amelynek termékei lehetővé teszik a valós fegyverekkel végzett, festékkel jelölt löszert használó, valósághű, erő-erő elleni (*force-on-force*) kiképzést.

SLAM (*Simultaneous Localization and Mapping*), Egyidejű lokalizáció és térképezés: Olyan algoritmus, amelyet a robotikában és a VR-ben arra használnak, hogy egy eszköz (pl. HMD) egy ismeretlen környezetben haladva egyszerre építsen térképet a környezetről és határozza meg a saját pozícióját a térképen belül.

SOC (*System on a Chip*), Rendszer egy chipen: Olyan integrált áramkör, amely egyetlen szilíciumlapkán tartalmazza egy komplett számítógép vagy elektronikus rendszer legtöbb komponensét (pl. processzor, memória, perifériavezérlők).

STE (*Synthetic Training Environment*), Szintetikus Kiképzési Környezet: Az amerikai hadsereg átfogó programja, amelynek célja egy egységes, interoperábilis és minden haderőnem számára elérhető virtuális kiképzési ökoszisztéma létrehozása, amely integrálja az LVC elemeket.

STP (*Soldier Touch Points*), Katona érintési pontok: A katonai beszerzési és fejlesztési folyamatba integrált, strukturált eseménysorozat, amelynek célja a

végfelhasználó katonák általi korai és folyamatos gyakorlati visszajelzés gyűjtése az új haditechnikai eszközökről.

Strategic Corporal, Stratégiai tizedes: Az a koncepció, amely szerint a modern, mediatizált hadszíntéren egy alacsony beosztású katona (pl. tizedes) helyi, taktikai döntéseinek is stratégiai szintű következményei lehetnek.

Szárazgyakorlás: A fegyverkezelési és lövészeteti mozdulatok éles lőszer nélkül történő végrehajtása az izommemória fejlesztése és a harcban szükséges mozdulatsorok automatizálása céljából.

SZTAKI (Számítástechnikai és Automatizálási Kutatóintézet): A HUN-REN hálózatának egyik kiemelkedő kutatóintézete, amely többek között a mesterséges intelligencia, a gépi érzékelés és az irányításelmélet területén végez nemzetközileg is elismert kutatásokat.

TADSS (*Training Aids, Devices, Simulators, and Simulations*), Kiképzési Segédeszközök, Eszközök, Szimulátorok és Szimulációk: Az amerikai hadsereg által használt gyűjtőfogalom, amely az Élő, Virtuális és Konstruktív (LVC) kiképzési környezetek gyakorlati megvalósítását szolgáló összes eszközt magában foglalja.

TCCC (*Tactical Combat Casualty Care*), Harctéri sebesültellátás: A katonai sebesültellátás standardizált protokollja, amely a megelőzhető harctéri halálesetek csökkentését célozza a sérülések három fázisban (tűz alatt, taktikai terepen, evakuáció közben) történő ellátásával.

TKP (Témaspecifikus Kutatási Program): A disszertáció kontextusában a Nemzeti Kutatási, Fejlesztési és Innovációs (NKFI) Alap által finanszírozott kutatási projekt jelölése.

„Train as you will fight”, Úgy képezz, ahogy harcolni fogsz: Katonai kiképzési alapelv, amely a valós harci helyzetet és a műveleti környezet minden releváns tényezőjét a lehető leghívebben tükröző, valósághű kiképzési feltételek megteremtését követeli meg.

TRADOC (*Training and Doctrine Command*), Kiképzési és Doktrinális Parancsnokság: Az amerikai szárazföldi haderő (U.S. Army) azon parancsnoksága, amely a katonák kiképzéséért, a vezetők fejlesztéséért és a haderő doktrínáinak kidolgozásáért felelős.

Triple Helix, Hármasspirál modell: Innovációs modell, amely a tudásalapú gazdaság fejlődését a tudományos szféra (egyetemek), az ipar (vállalatok) és a kormányzat szoros, szinergikus együttműködésén keresztül írja le.

TSS (*Training Simulation Software*), Kiképzőszimulátor Szoftver: Az STE program központi szoftverkomponense, amely a virtuális környezet és a szimulációs események generálásáért és kezeléséért felelős.

TTP (*Tactics, Techniques, and Procedures*), Harcászati, Technikai, Eljárási: Doktrinális keretrendszer, amely a feladatok hatékony végrehajtásához szükséges, egymásra épülő cselekvési modelleket határoz meg a stratégiai céltól (harcászati) az

általános végrehajtási módon (technikák) át a konkrét, lépésről-lépésre történő végrehajtásig (eljárások).

VBS (*Virtual Battlespace*): A Bohemia Interactive Simulations által fejlesztett professzionális, katonai célú szimulációs szoftverplatform, amely valósághű virtuális környezetet biztosít az egyéni és kötelék szintű hadgyakorlatokhoz.

VIKI (Védelmi Innovációs Kutatóintézet): Magyar állami tulajdonú intézmény, amelynek feladata a védelmi ipari kutatás-fejlesztés és innováció ösztönzése, a hazai védelmi ipari ökoszisztéma koordinálása.

VIRTSIM: Egy korai, kereskedelmi forgalomban kapható, teljes testkövetést alkalmazó VR harci szimulációs rendszer, amelyet elsősorban különleges műveleti és beavatkozó egységek kiképzésére használnak.

VR (*Virtual Reality*), Virtuális valóság: Értekezésemben: Olyan technológia, amely egy fejben viselhető kijelző (HMD) segítségével a felhasználó vizuális és auditív érzékelését teljesen egy számítógép által generált, interaktív háromdimenziós környezettel helyettesíti, elzárva őt a valós világ ingereitől.

Waterfall, Vizesés modell: Hagyományos szoftverfejlesztési módszertan, amelyben a fejlesztési folyamat szigorúan szekvenciális, egymást követő fázisokra (tervezés, implementáció, tesztelés stb.) bomlik, és egy fázis csak az előző teljes lezárása után kezdődhet.

xAPI (*Experience API*): Olyan szoftvertechnológiai specifikáció, amely lehetővé teszi a tanulási tapasztalatok széles körének (online és offline egyaránt) rögzítését és megosztását egy egységes, strukturált formátumban.

xR (*eXtended Reality*), Kiterjesztett/alternatív valóság: Gyűjtőfogalom, amely magában foglalja a virtuális valóság (VR), a kiterjesztett valóság (AR) és a kevert valóság (MR) technológiákat, valamint a közöttük lévő spektrumot.

Z generáció: Szociológiai fogalom, amely általánosan az 1990-es évek közepe és a 2010-es évek eleje között született korosztályt jelöli, akiket a digitális technológiák és az internet széleskörű elterjedése mellett nőttek fel.

10.2 ÁBRÁK ÉS TÁBLÁZATOK JEGYZÉKE

Ábrák

1. ábra Az értekezés felépítése (Készítette: a szerző)	14
2. ábra A képzési folyamat céljai(Készítette: a szerző).....	35
3. ábra Laser Shot rendszer	46
4. ábra Miles 2000 rendszer használat közben.....	47
5. ábra Marathon Targets célanyagok.....	48
6. ábra Magyar fejlesztésű GTS rendszer	50
7. ábra Oculus Rift DK2 VR HMD metszeti képe	65

8. ábra IVAS rendszer	67
9. ábra F/A-18C szimulátor Varjo XR 3 MR rendszerrel.....	69
10. ábra V-Armed taktikai kiképzőeszköze, egyik legnagyobb beleélést biztosító (immerzív) eszköz, igaz rendészeti célokra készült.....	74
11. ábra A pulzusszám alakulása ugyanazzal a játékkal játszva, képernyőn (sárga) és VR eszközön (fehér) [feliratok: Screen: képernyő vagy monitor; Hearth rate: pulzusszám; Time (Seconds): idő (másodpercben)]	75
12. ábra Unreal Engine 3D keretrendszerrel készült program képe megjelenítési minősége taktikai szimulációban, másodpercenként 90 képkockafrissítési frekvencia mellett.....	76
13. ábra HTC Vive Pro, kereskedelmi forgalomban is kapható VR-sisak az MH 86. Szolnok Helikopterbázis szimulátorközpontjában, helikopteres ajtólövész fején.	78
14. ábra Azonos, pozitív fókusz távolságú hagyományos és Fresnel kollektorlencse szerkezete.	80
15. ábra Screen door effect: A korszerű monitorok kinagyított pixelrácsa, amelyen jól látható a képpontok közötti üres fekete rész. (A szerző saját felvétele).....	81
16. ábra A Varjo VR2 Pro felbontásának szemléltetése az első generációs VR HMD-k kijelzőihez viszonyítva.....	81
17. ábra Lencse torzításának szoftveres javítása: középső kép: a lencse torzítása; bal oldali kép: alkalmazott szoftveres inverz torzítás; jobb oldali kép: a látott kép	82
18. ábra A HTC Vive Pro szétszedett állapotban: jól látható a két darab, kisméretű alaplap	84
19. ábra A HTC Vive Pro Controller – a kéz mozgásait digitalizáló eszköz. A gömbölyített fejrészen megfigyelhetők az optikai követést lehetővé tévő infravörös LED-ek bemélyedései, illetve a száron lévő érintőfelület (touchpad)	85
20. ábra Virtuális „taposómalom” (ODT) a helyváltoztatás digitalizálásához alkalmazható	86
21. ábra Asterion VR-cég ModulMaze™ CQB rendszerének képe. A virtuális falakat fizikai falakkal egyeztetik a szimuláció során	87
22. ábra BeswinVR M4 Rifle adapter. A képen látható a hagyományos kézi kontrollerek mágneses illesztésének módja	89
23. ábra Lead Tech cég megoldása a fegyverek virtualizációjára. A sárga konzol a kereskedelmi forgalomban kapható HTC Vive Tracker 2.0-t tud valós fegyverhez illeszteni.	90

24. ábra GTS rendszerben használható fegyverek (2024. június. a szerző saját fotója)	91
25. ábra Az Officer VR-rendszerben használható arzenál egy része. Elemlámpa, bot és paprika-spray	92
26. ábra Többcélú, VR taktikai szimulátor rendszer egy lehetséges felépítése.(Készítette: a szerző)	106
27. ábra A GTS VR taktikai szimulációs rendszer „hordható” személyi felszerelésének részei [1] HMD, [2] instrumentált fegyver Fotó: Pápai Joci Phtoto, a szerkesztés a szerző munkája.	111
28. ábra A VR taktikai szimulátor személyi felszerelésének főbb moduljai és kommunikációs csatornái	113
29. ábra A mérésben végrehajtott feladat vázlata (Takács Márk György szerkesztése)	130

Táblázatok

1. táblázat Szimulációs technológiák összehasonlítása (Készítette: a szerző)	59
2. táblázat xR technológiák összehasonlítása (Készítette: a szerző)	71
3. táblázat VR eszközök technikai kérdéseinek összefoglalása	88
4. táblázat VR szimulációk során gyűjthető adattípusok (Készítette: a szerző)	94
5. táblázat Ipari kapacitások (Készítette: a szerző)	124
6. táblázat Egyéni lögyakorlat eredményeinek összehasonlítása (Készítette: a szerző)	134
7. táblázat Tűzpár előremozgás lögyakorlat eredményeinek összehasonlítása (Készítette: a szerző)	135
8. táblázat Lövészeti eredmények összefoglalása (Készítette: a szerző)	142

10.3 KOHÉZIÓS TÁBLÁZAT

Fejezet	Kutatási Kérdésem	Validált Hipotézis	Teljesített Célkitűzés	Főbb Érvek és Konceptciók	Alkalmazott Módszertan	Hozzájárulás
3.	Szükség van-e egy új kiképzési paradigmára?	H1: A modern hadviselés gyorsabb és hatékonyabb kiképzést tesz szükségessé.	KC1: A jelenkori kiképzési igények feltárása.	Stratégiai tizedes, Mission Command, MDO, digitális bennszülöttek, differenciált kiképzési igények (aktív, tartalékos, mozgósított).	Szakirodalom-szintézis, elemzés (orosz-ukrán háború), doktrínaelemzés.	Lefektetem a kutatás stratégiai és pedagógiai alapjait, igazolva egy új technológiai megoldás keresésének szükségességét.
4.	Melyik technológia a legalkalmasabb a feladatra?	H2: Az alternatív valóság technológiák a legalkalmasabbak a hatékony képességfejlesztésre.	KC2: Technológiai lehetőségek azonosítása és összehasonlítása.	Többkritériumos értékelési keretrendszer (immerzió, költség, skálázhatóság stb.), technológiák (lézer, MILES, interaktív célok, xR) összehasonlítása.	Kvalitatív, többkritériumos összehasonlító elemzés.	A VR technológiát azonosítom a legígéretesebb és legsokoldalúbb megoldásként, egy szükséglet-vezérelt kiválasztási értékelés eredményeként.
5.	Elég érett-e a VR technológia a katonai alkalmazásra?	H3: A VR technológia elérte a gyalogos harcászati képzés támogatásához szükséges fejlettségi szintet.	KC3: A VR technológia kiképzési potenciáljának értékelése.	Immerzió (pszichológiai és fiziológiai hatások), HMD technikai paraméterei (felbontás, FoV, késleltetés), instrumentált fegyverreplikák, adatgyűjtés (xAPI), MI alapú NPC-k.	Technikai dokumentációk és tudományos publikációk elemzése, prototípus-fejlesztési tapasztalatok integrálása.	Bizonyítom, hogy a COTS-alapú VR technológia elérte a komplex harcászati szimulációkhoz szükséges műszaki és funkcionális érettséget.
6.	Megvalósítható-e egy ilyen rendszer hazai fejlesztésben?	H4: A VR kiképzés technikai feltételei hazai kompetenciákkal megteremthetők.	KC4: A VR rendszer hazai fejlesztési lehetőségének validálása.	Nemzeti szuverenitás, COTS kockázatkezelés ("smart sovereignty"), agilis fejlesztés, Triple Helix modell, hazai innovációs ökoszisztéma feltérképezése.	Szakirodalmi szintézis, esettanulmány-jellegű elemzés (OSINT), prototípus-tapasztalatok integrálása.	Igazolom a hazai fejlesztés stratégiai fontosságát és gyakorlati megvalósíthatóságát továbbfejleszthetőségét a létező tudományos ipari kompetenciákra és az elkészült termékre, prototípusra alapozva.
7.	Hatékony-e a VR-kiképzés a valós teljesítmény növelésében?	H5: A VR-képzés hozzájárul a felkészítés gyorsaságának és hatékonyságának növeléséhez.	KC5: A VR-alapú tömeges kiképzés hatékonyságának értékelése.	Tudástranszfer, „teljesítmény-paradoxon”, procedurális és kognitív készségek fejlesztése, kevert (blended) képzési modell.	Kísérleti elrendezés, vegyes (kvantitatív és kvalitatív) adatgyűjtés és -elemzés.	Empirikusan bizonyítja a VR-szimulációból a valós harctéri feladatvégrehajtásba történő, pozitív tudástranszfer.

10.4 MÉRÉSI TÁJÉKOZTATÓ VR RÉSZTVEVŐK RÉSZÉRE

A mérési tájékoztató eredeti adattartalommal, de a mellékletbe történő illeszkedés miatt formázással átalakításra került.

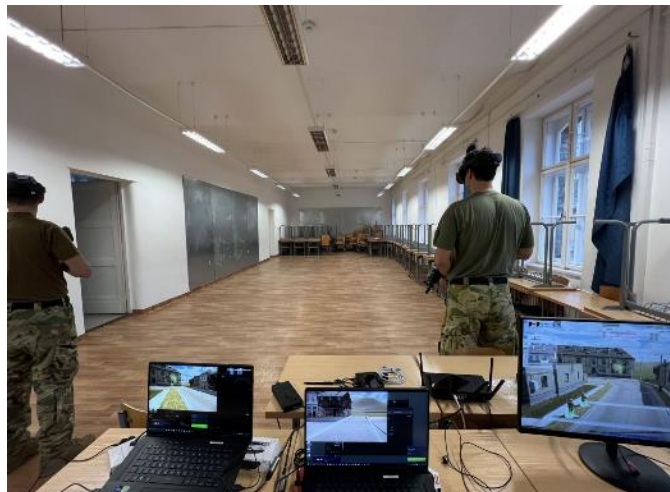
NKE-GTS MÉRÉS VÉGREHAJTÁSA / TÁJÉKOZTATÓ

2023.12.08. NKE – Zrínyi Kampusz, IV. épület, 108-as terem, 12:00

Mérés során kérdőívvel, a szimulátor által gyűjtött adatok és éleslövészeti eredmények alapján főleg a harcászati VR szimulátor alkalmazhatóságát és hatékonyságát vizsgáljuk.

Mérés körülményei

2023.12.08. NKE – Zrínyi Kampusz, IV. épület, 108-as terem, 12:00



Miért vagyunk itt?

Ez egy tudományos mérés, ami a VR eszközök kiképzés során történő használhatóságát vizsgálja. A VR virtuális valóságot jelent, teljesen kizárja a külvilágot. *Ha valaki AR vagy MR-ről hall, az kiterjesztett, és kevert valóságot jelent, ott látják a valóságot és a virtuális elemeket is egyben.*

Mit mérnek?

Az Infinit Simulation GTS rendszere egy fejlesztés alatt álló professzionális taktikai VR szimulátor. A lényege, hogy semmilyen informatikai, számítógépes tudás nem kell a kiképzettek részéről.

Alapvetően nem lövészetoktatásra, hanem taktikai fogások, harcászati készségek elsajátítására, begyakorlásakor hatékony. A mérés lényege, hogy az NKE TKP projekt kutatócsoportjaként egy későbbi éleslövészettel egybekötve bizonyítsa azt a hipotézist, hogy a VR szimulátoron olcsón és immerzív környezetben elsajátított és begyakorlott készségek valós környezetre is átvihetők (éleslövészet). A mérés során egy kérdőívet is ki kell tölteni.

Mit kell csinálniuk?

A beosztás szerint egymás után kell jelentkezni a GTS szimulátornál, ahol a megkapják az úgynevezett instrumentált fegyvert, ami ugyanúgy működik, mint éles társa. Ezután fel kell venni a VR sisakot, és követni az utasításokat.

A VR lövészetben ugyanazokat a feladatokat kell végrehajtaniuk, amelyet majd az éleslövészet során is fognak. A feladatok bukási és pontozási kritériumai azonosak, mint az éleslövészet során, ugyanazokat a fogásokat és készségeket szükséges alkalmazni.

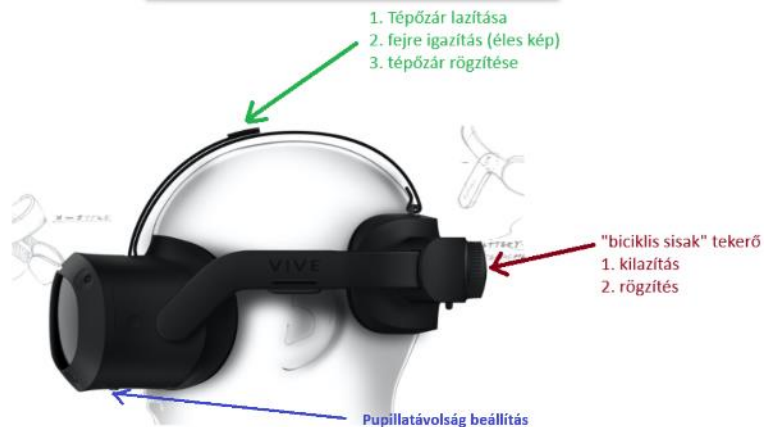
Kérjük, tanulmányozzák a kifüggesztett feladatléírásokat, pontozási rendszert, mert a mérés előtt nem lesz idő újabb eligazításra.

A mérés első mozzanatai / beállítás feladathoz

Amikor odaérkeznek a GTS szimulátorhoz a következő dolgok fognak történni:

- *bediktálják a nevüket, tűzpár esetén mindkét nevet (később az eredmények anonimizálásra kerülnek)*
- *kapnak egy sorszámot (GTS ID-t), amit meg kell jegyezni a későbbi kérdőívhez (ez 01 és 99 közé fog esni)*
- *A kezelő ezt jó esetben a kezdési idővel együtt bevezeti a naplóba és a kérdőívekre.*
- *megkapják az instrumentált fegyvert és szárazon végrehajtanak egy tárcserét, működtetik a tűzváltót, beállítják egyeslövésre. Pár mozdulatot tudnak gyakorolni.*
- *Segítünk feladni a VR sisakot:*
 - *ki kell lazítani a fenti tépőzárat és a biciklis sisak tekerőt hátul (ha mi nem tettük volna meg), majd felhelyezni a fejre a VR sisakot.*
 - *ekkor már a virtuális képet fogják látni, romos házatkat. Ha nem ezt látják, hanem feliratokat, menüt, vagy nagyon sötét a kép, akkor azonnal jelezzék nekünk.*
- *Élesség és komfort beállítása:*

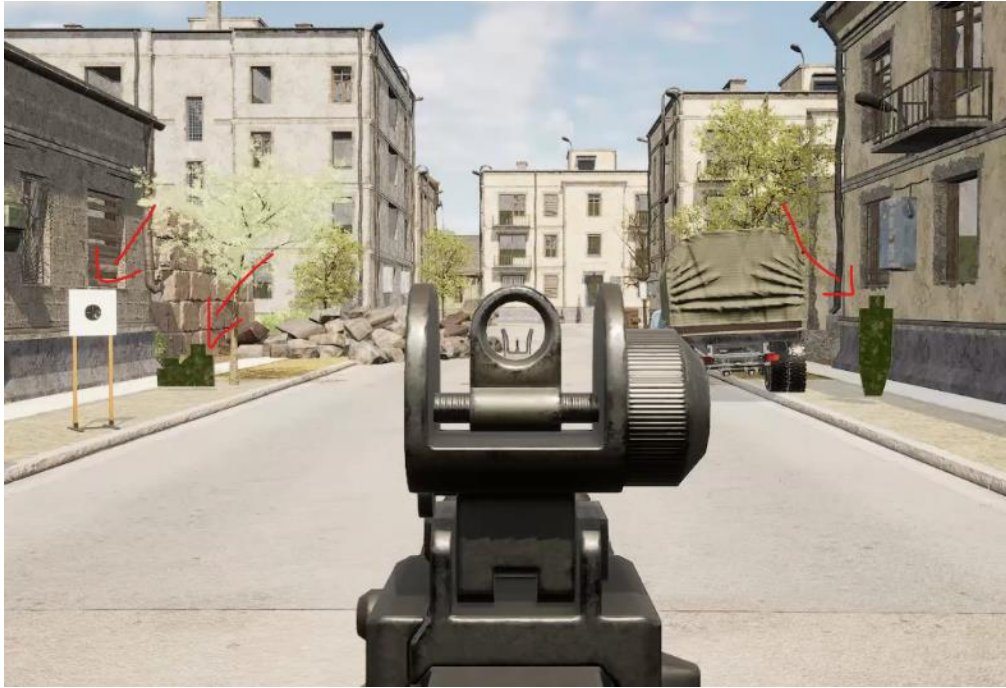
- ha homályos a kép, akkor szemüvegben, szemüveg nélkül lehet próbálkozni (ezt jelezzék a segítők felé)
- **PUPILLATÁVOLSÁG:** A pupillák közötti távolságot a szemüveg alsó ívében egy tekerő potméterrel tudják majd beállítani, ezt megvárjuk, a tekergetés során a rendszer kiírja a távolságot milliméterben, illetve vízszintes és zöld vonalakat látnak, aminek élesnek kell lennie. Ha nem bizonyosak, akkor kérjenek segítséget, az átlagos pupillatávolság 62-64 mm közé kell, hogy essen.



- a VR sisakot megfelelően kell pozícionálni: a fejen kényelmesen el kell helyezni úgy, hogy a fegyvert célzáshoz emelve éles legyen a kép, majd erősen rögzíteni. **Ha nem éles célzásnál, akkor a sisakot kicsit kilazítva lehet mozgatni a fejen pár millimétert, és újra rögzíteni.** (akár picit ferdébben, vagy kicsit eltekerve a fejen.)



- A környezetben van pár célanyag: bukó és körkörös cél, ezekre kell célozni és lövést leadni. Amennyiben célzás során ismét nagyon homályos a kép, akkor **mozgatni kell a fejen a sisakot, úgy, hogy a célzásnál és a lövés leadásánál legyen jó képminőség.** Ez egy nagyon fontos része a beállításnak, nyugodtan töltsön vele időt, rossz beállítással nehéz lesz a feladatokat végrehajtani.



A sisak felvétele után megjelenő kép (jelölve a teszt célok helyét)

- Ha megvolt a teszt, jól van beállítva a sisak, akkor a környezetben meg kell keresni egy **kék kört**, **nyíllal a földön**, a virtuális környezetben. Oda kell menni és a jelölt irányba állni.



(az ábrán a nyíl mutatja beállási irányt, nem a katona)

- A fegyver egy átalakított airsoft, ezért finomabb kezelést igényel (főleg töltőfogás)
- Ha a kör zöldre vált a **kezelő indítja a feladatot**.

FELADATOK VÉGREHAJTÁSA

MINDEN FELADAT ELEJÉN / ÁLTALÁNOS INFORMÁCIÓK

- A fegyvert be kell biztosítani még a felkészülés közben, ezért biztosított állapotban indulunk.
- A feladat kezdésekor **a lőtér szabályok érvényesek ezért a lőirány megsértése automatikusan hibapontot ad, a feladat érvénytelen lehet.**
- **A feladatot töltőfogással kell indítani,** minden feladat elején a fegyver ugyanabban a kondícióban van: **töltött tár a fegyverben, a cső üres.**

ELŐFORDULHAT, HOGY NEM LESZ KÜLÖN VEZÉNYSZÓ A TÖLTÉSRE!

A FELADAT KEZDETEKOR TÖLTŐFOGÁST KELL ALKALMAZNI!

A dupla töltőfogásnak viszont ugyanolyan következményei vannak, mint a valóságban: eggyel kevesebb lőszer marad.

A tárcserét elég és javasolt úgy elvégezni, hogy a tárfészekből kicsit (1-2cm) kifelé húzzuk a tárat a tárkioldó működtetése után, majd visszatoljuk. (nem kell teljesen szétválasztani)

- A feladat végén egy táblázatot fognak látni. Ha volt valamilyen pontlevonással járó hiba, azt a kezelő bemondja hangosan.
- A feladatokat megadott számban tervezetten 4x kell végrehajtani. Az utolsó végrehajtás ideje és pontszáma rögzítésre kerül eredményként.

FELADATOK

Minimum 2 feladatot kell majd végrehajtaniuk, amelyek a mérés tárgyát képezik és amelyek éleslövészeti során is értékelve lesznek.

6-os feladat: M6A egyesharcos, oldalramozgásos feladat

A katona egy három sávra osztott lőtéren van, a sávok el vannak választva, minden sáv előtt fedezék (homokzsákok) helyezkedik el. A kapott parancsnak megfelelően a fedezékek között átmozogva látja az adott pályarészt és a célokat leküzdi.

Pályaszerkezet:

- 3 fedezék [2m x 1m] és 3 lőállás [2m x 1m] (ábra szerint: A-Alpha, B-Bravo, C-Charlie)
*lőállás == tüzelőállás
- a teljes hosszban (25 méter a fedezékektől majdnem a falig) hosszirányban kihúzott paraván, 3 sávra osztva a teret.
- Az A, B, C lőállásokból csak az adott sáv és annak céljai láthatóak
- Sávonként 4 cél 2 x álló (Á), 2 x ferde (F) fedésben ezek jól láthatóan különböznek



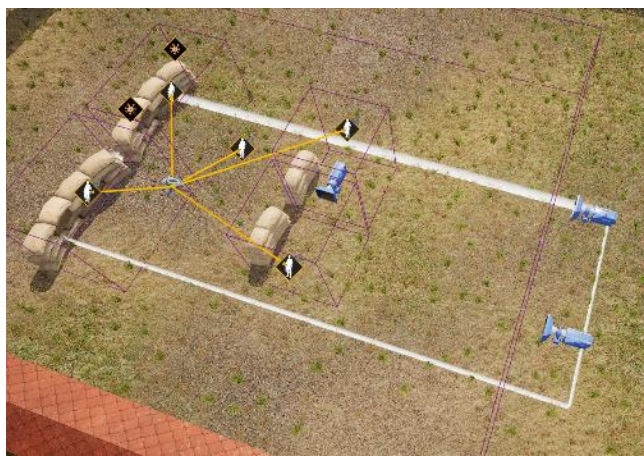
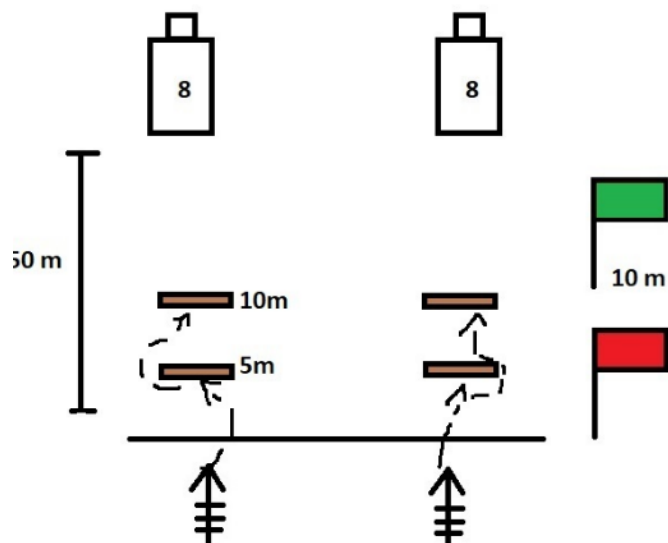
Végrehajtás:

- Egy fős végrehajtás (egyesharcos)
- Kezdőpont: Bravo löállás közepe
- Lőszer: 12 lőszer, összesen 6 utasítás, minden utasítás után dupla lövés
- Az utasításokra át kell mozogni a löállások között.
- Az átmozgásnál biztosítani kell a fegyvert
- 6 utasítás egymást követően: egy utasítás:
 - “Alpha”
 - Álló/Ferde cél
 - Első cél (vagy hátsó cél)

Pontozás

- minden célban 2 találatnak kell lennie
- csak a megadott célokban lehet találat
- **van áthatolás, a célok úgy vannak elhelyezve, hogy a tüzelőálláson belül el kell mozdulni, hogy tiszta lövést lehessen leadni**
- Példa:
 - minden találat megvan: 12 találat (3x2x2): 12 pont
 - minden vétlen: -2 pont (több találat van valahol)
 - 6 pont alatt: bukás
 - átmozgás biztosítás nélkül: bukás

4-es feladat: M4A tűzpár előremozgásos feladat



Végrehajtás:

- A és B egymás mellett állnak, nincs fedezék. Csőre töltve, biztosítva, célterület irányába néz a fegyver (lőszektor kb. 70 fok)
- Feladat kezdete: instruktor: "harchoz". állnak a célok.
- A kiabál: "biztosítok". B célterületre tartja a fegyvert.
- A: letérdel, tüzet nyit mindkét célra. 2 találatig.
- B érzékeli a "biztosítok" kiáltást és az első lövés leadását.
- B kiabál: "indulok".
- B előremozog (fegyver biztosítva, „high carry”-ben, vagy „low carry”-ben), löállást foglal a fedezéknél, tűzkészé teszi a fegyverét. kiabál: "biztosítok" és tüzet nyit a közben 1 sec után feljött, mindkét célra.
- 10m fedezékhez előrejut mindkettő, akkor lesz vége a feladatnak és mindkét cél lelőve 2 találattal

Instant bukási (task failed) és hiba paraméterek:

- áthúzza bármelyik gyakorló a fegyvert ha az nincs biztosítva
- ha úgy indul egyik harcos, ha a célok még fennvannak, a másik nem tűzkész.
- ha egyik célban sincs legalább 8 találat
- ha összesen nincs 16 találat a két célban (biztos, hogy az egyikben nincs 8)
- Elfogy a lőszer, mielőtt odaérnek az utolsó fedezékhez.
- Ha mozgás közben egyik lövőnek leürül a fegyver és 3 másodperc múlva a másik ember még mindig mozog.

„Utca” (Streets3) – OPCIONÁLIS FELADAT

Egyedüli túlélő, a konvoj megsemmisült.

Ócsa EÁP szolgálat (Checkpoint Hell) – OPCIONÁLIS FELADAT

A katona szóbeli eligazítást kap a feladat elején.

Egyszerű lőtér feladat (LF2) – OPCIONÁLIS FELADAT

Szoktatja a felhasználókat a VR eszközökhöz, de mivel a feladatsor valós lövészeti feladatot is tartalmaz, már önmagában mérhető eredményekkel szolgál. Ez egy egyszerű lövészeti feladat statikus löállásból, álló testhelyzetben.



1. ábra LF2 feladat virtuális látképe (feladat során nincs fenn az összes cél)

Feladat leírása

Kondíció: tár a fegyverben, töltényűr üres **Lőszer:** 30 db, 1 tárban

Célok és értékük:

- IDPA formátum, 170 cm magas tetőponttal, lábon
- zónánkénti találat érzékelés (5,4,4,2)
- összesen 16 db cél, egyszer leküzdendő:

- 4 sorban elrendezve (4db célcsoport: 5, 10, 15, 25 méterre)
- Egy sorban 4 db billenő cél, egyenlő térközben egymástól

Végrehajtás, pontozás:

- összes cél fekszik kiinduláskor
- az fent lévő célok bármilyen sorrendben leküzdhetők
- Időkeret: 1 perc
- Egyszerre egy célcsoport aktív (áll, löhető). A célcsoport leküzdése után aktiválódik (feláll) a következő célcsoport, I., II., III., IV. sorrendben. Célcsoport maximális pontszáma $4 \times 5 = 20$ pont. **I. célcsoport: 5 méterre** lévő célok felállnak, találatra leborulnak; majd **II. célcsoport: 10 méterre** lévő célok felállnak, találatra leborulnak majd így tovább. III. célcsoport 15méterre, IV célcsoport 25 méterre
- Adott feladat véget ér, óra megáll az összes cél leborulásakor (vagy a 30. lövés után), vagy amikor az időkeret letelt.
- Értékelés
 - maximum pontszám 16 cél x 5 pont = 80
 - 0-50 % nem megfelelt (0-39)
 - 50-75 % megfelelt (40-59)
 - 75% felett kiválóan megfelelt (60 vagy több)

Feladatok végén (mérések végén)

A feladatok végén a sisakot és a fegyvert át kell adni a segítőnek, majd kapnak egy kérdőívet, amelyet ki kell tölteni. Ha minden jól megy a kezelő kitöltötte a GTS-ID-t (sorszám) és a kezdés időpontját. Ha a kapott lapon ez nincs kitöltve, akkor kérem kérdezzék meg minél hamarabb a kezelőt. Ezután a kérdőívet kell kitölteni, melyben vannak tapasztalati, demográfiai kérdések, illetve egy kifejtendő rész. Ebben a kifejtendő részben a jelenlegi tapasztalat alapján felmerült kérdéseit, ötleteit szívesen várjuk, bármilyen más kommentet és üzenetet is írhat a fejlesztőknek, kutatóknak.

Köszönjük az együttműködést!