

Marlok Tamás<sup>1</sup>

## Virtuális valóság alapú taktikai szimulációs kiképző eszközök hazai fejlesztési lehetőségei

### 3. rész: A technológia korlátai a kiképzés szemszögéből

#### Domestic Development Opportunities of Virtual Reality-based Tactical Simulation Training Tools.

#### Part 3: Limitations of Technology from a Training Perspective

Az informatika és mikroelektronika technológiai fejlődésével a virtuálisvalóság-eszközök egyre hatékonyabbá válnak, egyre nagyobb beleélést, a valóság egyre pontosabb szimulációját teszik lehetővé. Ezt a technológiát a gazdaságilag fejlettebb államok katonai és rendvédelmi szervezetei már több mint egy évtizede kezdték el alkalmazni különböző területeken. Jelen tanulmányban azt kívánom igazolni, hogy ez a technológia mára elérte azt a fejlettségi szintet és modularitást, amikor alkalmazott kutatások eredményeként olyan saját eszközöket tudunk fejleszteni, amelyek akár nemzetközi szinten is piacképes alternatívát jelenthetnek a magas költségű rendszerekkel szemben, és amelyekkel a kiképzés bizonyos területei forradalmasíthatók. A cikksorozat harmadik részében a technológia korlátait vizsgálom a kiképzési terület szemszögéből. Azaz a virtuálisvalóság- (VR-) eszközöket kiképzési célokra használva milyen tényezőkre, paraméterekre kell különösen figyelni, hol vannak még gyenge pontok?

**Kulcsszavak:** virtuális valóság, harcászati szimuláció, szimuláció, gyakoroltató eszköz, kiképzés

<sup>1</sup> Nemzeti Közszolgálati Egyetem Katonai Műszaki Doktori Iskola, doktori hallgató, e-mail: [marlok.tamas@unike.hu](mailto:marlok.tamas@unike.hu)

Through the recent immense developments in information technology and micro-electronics, virtual reality (VR) devices have become increasingly sophisticated, providing close-to-real life experiences. VR technology has proved to be an essential training tool in various military and law enforcement applications for over a decade. My article series is aimed at uncovering the remarkable in-house development possibilities based on the modular nature of this technology. Through applied research, these state-of-the-art VR platforms may deserve recognition and have the potential to revolutionise certain components of training methods. In the third part of my series, my objective is to investigate the limitations and drawbacks of VR technology from the aspects of military and law enforcement training. My goal is to examine the parameters and specifications to explore the deficiencies of these equipment, which require attention in an in-house development.

**Keywords:** virtual reality (VR), tactical simulation, military training, law enforcement training

## 1. Bevezetés

A cikksorozat előző részeiben a virtuálisvalóság- (VR-)<sup>2</sup> eszközök technikai adottságait, majd kiképzésben való felhasználhatóságukat elemeztem, elsősorban a taktikai jellegű kiképzési területek (lőkiképzés, harcászat és intézkedéstaktika) igényeinek szempontjából. A lehetőségeket és előnyöket már ismerjük, de fontos a hátrányokat, korlátokat is görcsö alá venni. Az előző cikkben azt elemeztem, hogy a virtuálisvalóság-technológia hogyan teremtheti meg bizonyos taktikai készségek kialakításának lehetőségét. Ezen a kiképzési területen fontos a helyváltoztatási formák, testhelyzetek gyakorlása (például fedezékek közötti mozgás), finommotoros mozgások pontos kivitelezése (fegyverek, eszközök kezelése), a térbeli helyzetfelismerés és az izommemória kialakítása, ezért a hagyományos számítógépes szimulációk itt nem túl hasznosak. A VR-technológia viszont le tudja cserélni az ember-gép közötti interfészekben található indirekcion keresztüli bevitelket (egér, billentyűzet) természetes beviteli formákra, szenzorokat és szenzorfüziót alkalmazva, amivel máris közelebb kerülünk a taktikai kiképzésben történő alkalmazhatóság egy magasabb szintjéhez. Láthattuk, hogy a vizuális megjelenítés minősége és a sztereoszkópikus érzékelés lehetővé teszi a felhasználó virtuális térbe történő beemelését, az abban történő pontos navigációját, a HMD-k<sup>3</sup> segítségével. A fizikai fáradozás szimulálására a helyváltoztatás digitalizálása által, virtuális taposómalmokkal (ODT<sup>4</sup>) vagy más testhelyzet-érzékelő megoldásokkal – mint például szenzorok ruhán történő elhelyezése – van lehetőség. A megfelelő készségek kialakításához a felszerelés virtualizációja is meg kell hogy történjen. Szoftveres modellezéssel ki kell alakítani a valós eszközök, fegyverek, tárak

<sup>2</sup> VR: Virtual Reality: virtuális valóság.

<sup>3</sup> HMD: *Head Mounted Display*, fejre rögzített kijelző, virtuálisvalóság-szemüveg, vagy virtuálisvalóság-„sisak”.

<sup>4</sup> ODT: *Omni-directional Treadmill*.

digitális „ikerpárjait”,<sup>5</sup> illetve azok virtuális környezetben történő alkalmazhatóságát. Ha e lehetőségek mellé a fejlesztéshez szükséges hardver- és szoftveradottságokat, környezetet is felmérjük, látszik, hogy a megfelelő szakmai kompetenciák megléte esetén viszonylag kockázatmentesen lehet belekezdeni egy ilyen eszköz fejlesztésébe. A VR-rendszerek természetesen nem használhatók minden kiképzési feladat kiváltására, főleg, ha adottnak tekintjük a beszerezhető termékek körét, vagy ha a fejlesztésre fordítható erőforrások korlátozottak. A költségvetés és a fejlesztési idő növelésével viszont olyan magas fejlettségi szintű berendezések építhetők, amelyekkel olyan készségeket is ki lehet alakítani, amelyek költséges és hosszú gyakorlás során sajátíthatók csak el. Hatalmas előny, hogy a kiképzési feladatok komplexitása a kiképzés alanyának képességeihez és gyakorlati felkészültségéhez igazítható, többletköltség nélkül. Ezekkel az előnyökkel szemben mindenképpen meg kell vizsgálnom azokat a tényezőket is, amelyek negatívan befolyásolják a VR-technológia taktikai kiképzésben történő alkalmazását. Olyan tényezőket, műszaki paramétereket fogok vizsgálni, amelyek nemcsak az ezen, hanem a más területen történő alkalmazást is megnehezíthetik. Mint látni fogjuk, ezek a hiányosságok már most is áthidalhatók, nem akadályozzák érdemben a kiképzésben történő felhasználhatóságot, de a technológia fejlődése eredményeként várhatóan teljesen el fognak majd tűnni. Azok a korlátok, hiányosságok ugyanakkor, amelyeket a gyártók még nem tudtak megszüntetni, megkerülhetők a virtuális kiképzési, felkészítési feladatok előrelátó tervezésével. Alapvetően a széles körben elterjedt és könnyen hozzáférhető első és „másfeledek” generációs eszközök technikai adottságaiból indulok ki, mint például az Oculus Rift S és a Magyar Honvédségben is alkalmazott<sup>6</sup> HTC Vive Pro virtuálisvalóság-készletek, de már említésre kerülnek újabb generációs eszközök is az összehasonlítások során.

## 2. A VR-rendszerek vizualizációs korlátai

Az előnyöknél megfogalmazódott, hogy az egyik legfontosabb tényező a szimuláció grafikai megjelenítésének minősége. Mint a későbbiekben láthatjuk, a megfelelő hardver rendelkezésre állása esetén a virtuális tér részletgazdag megjelenítése a számítási kapacitás szemszögéből nem okoz gondot, de a VR HMD-kben alkalmazott kijelzők paraméterei korlátokat jelenthetnek.

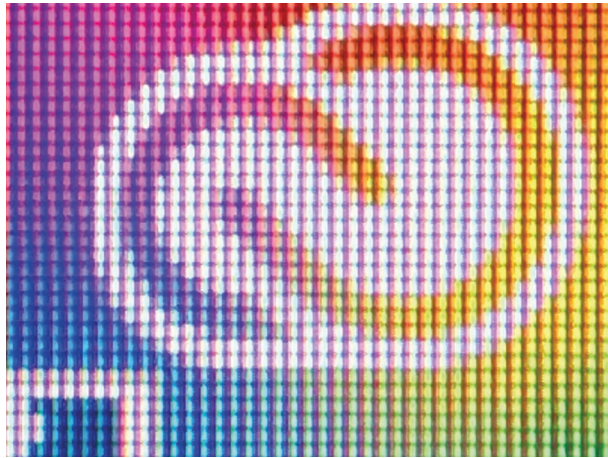
### 2.1. A kijelzők felbontása és a kis felbontás hatásai

Az egyik legfontosabb paraméter az a sík kijelzők (televíziókészülékek, monitorok) esetén is jól ismert jellemző, amely a vizuális élményt (információt) nagyban befolyásolja, a kijelző felbontása. A tanulmány előző részeiből kiderült, hogy a VR HMD-k esetén alkalmazott megjelenítő panelek viszonylag kis méretűek, képátlójuk 5,5 col

<sup>5</sup> Digitális ikerpár, az angol *Digital Twin* kifejezésből tükörfordítással nyert kifejezés, amelynek jelentése, hogy a valós eszközöket, tárgyakat, környezetet nagy pontossággal, mélységében, digitálisan modellezve valós működést szimulálhatunk, méréseket végezhetünk, tesztelhetünk, elméleteket igazolhatunk.

<sup>6</sup> Trautmann Balázs: *Képzelt repülés*. *Honvédelem.hu*, 2019. április 16.

(12-13 cm) körül mozog. Ezek a kijelzők pixelrácsokból<sup>7</sup> állnak, a kijelző felbontása pedig annál nagyobb, minél több a pixelrácsban található sorok és oszlopok száma. A pixelrács a gyakorlatban a pixelekből és az azok közötti üres részekből áll. A pixeleket alpixelek (*sub-pixel*) alkotják, amelyek a jelenlegi technológiák esetén RGB- (piros, zöld, kék) fényforrásokat jelentenek. E három (vagy több) miniatűr forrás fényerejének egyenkénti szabályozásával keverhető ki a pixel színe (1. ábra).



1. ábra

*A korszerű monitor kinagyított pixelrácsa, amelyen jól látható az egyes színes pixelek (képpontok) közötti üres (fekete) rész is*

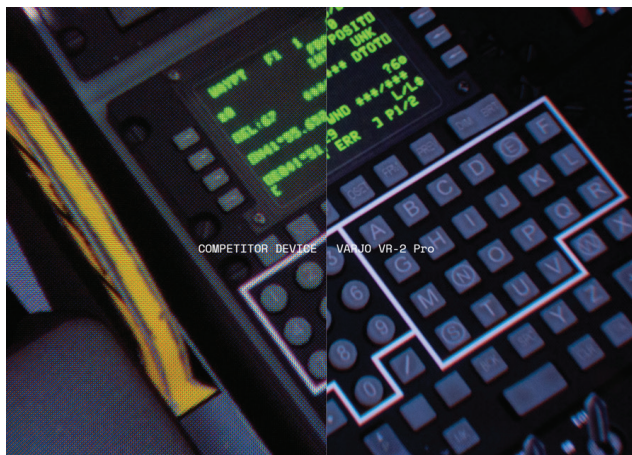
Forrás: a szerző saját felvétele, Adobe Cloud alkalmazás ikonja, Dell P2414H típusú monitoron, közelről fényképezve

A pixelek színeit és fényességét így egyenként lehet vezérelni, ebből áll össze a teljes látható kép. A legtöbb, jelenleg is széles körben elterjedt VR-rendszer esetén is nagyon különböző paraméterekkel találkozhatunk. Az egy szemre jutó felbontás esetén a kijelzők felbontása vízszintesen 2160 és 3840 képpont; függőlegesen pedig 1200 és 2160 képpont közé esik. Saját tapasztalat és korábbi kiképzési célra fejlesztett rendszerek alapján az immerzivitás, azaz a „beleélhetőség”, avagy a saját jelenlét élménye szempontjából már a kisebb felbontás is bőven elegendő, mégis meg kell említeni a korlátokat.

Ha az Oculus Rift S rendszert vesszük példaként, annak egy szemre jutó felbontása 1280 × 1440 pixel. Az eszköz által biztosított, teljes (műszaki leírásban megadott) látómező 110 fok vízszintesen, tehát a két szem összesen ekkora látószöveget láthat a két képből összeállítva. Az emberi sztereó vízszintes látómező (amelyet mindkét szem egyszerre lát) 90–100 fok közé esik, ami alapján látható, hogy a sztereó, térérzetet keltő kép körülbelül 1280 pixel oszlopból áll vízszintesen. Összehasonlítva ezt egy (már elavultnak számító) „Full HD” (1920 × 1080) felbontású sík képernyővel, amely 1920 képpont oszlopot biztosít, máris látszik, hogy a VR-eszközök vízszintes

<sup>7</sup> Pixel: képpont.

felbontása már ebben is valamivel alulmarad. Hozzá kell vennünk azt is, hogy a sík képernyő nem a teljes látóterünket tölti ki, hanem egy lényegesen kisebb szögtartományra fókuszálunk, ezért például egy 25 colos (körülbelül 63 cm) képátlójú, 16 : 10-es képarányú monitor vízszintes szélessége mindössze 21,5 colt (körülbelül 55cm-t) tesz ki a látómezőnkből. Ezt a monitort 90 cm-ről nézve, a teljes kép a sztereoszkópi- kus fókuszált látómezőnkből csupán körülbelül 32 fokot ad ki, azaz ezen a területen láthatjuk besűrítve a teljes felbontást, ami a VR-eszköz esetén körülbelül 100 fokra oszlik el, azaz annak jóval kisebb a hasznos érzékelt szögfelbontása. A fentiek alapján mélyebb technikai elemzés nélkül is belátható, hogy a hasonló képminőség elérése érdekében a virtuálisvalóság-kijelzőknél lényegesen nagyobb felbontásra lenne szükség, mint sík képernyők esetén. A kisebb szögfelbontás hatására a távolban lévő részleteket már pár méterről is pixelesen látjuk, a nagy távolságban lévő tárgyak pedig már nagyon pontatlanul látszanak, 100 méterről egy emberalak, illetve ruházatának színe felismerhető, de felszerelése már nem.



2. ábra

A Varjo VR-2 Pro felbontásának szemléltetése az első generációs VR HMD-k kijelzőihez viszonyítva

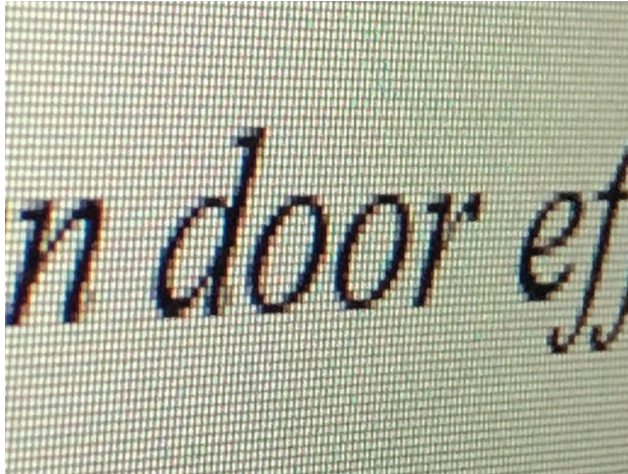
Forrás: a Varjo VR-2 Pro gyártói oldala: <https://varjo.com/products/vr-2-pro/>

A kijelzők felbontásának növelésével az új eszközök látványosan tudják csökkenteni ezt a hiányosságot, mint az a Varjo VR-2 Pro professzionális, úrhajósok felkészítésében is használt VR-eszköz esetén is látható a 2. ábrán.<sup>8</sup> Ez, illetve utódja, a VR-3 azért is érdekesek, mert a technológiai korlátok miatt nem egyszerűen csak a kijelző felbontását növelték meg, hanem két különböző felbontású kijelzőt kombináltak össze az élesebb kép elérése érdekében. Szemenként a 27 × 27 fokosra állított fókuszterületet egy 1920 × 1920 pixel felbontású, a perifériás területet pedig egy 2880 × 2720 pixel felbontású kijelző fedi le.<sup>9</sup>

<sup>8</sup> Varjo: *Varjo & Boeing: A New Era in Astronaut Training using Virtual Reality.* (é. n.).

<sup>9</sup> Varjo: *Varjo VR-3 specifikációja* (é. n.).

Az alacsony pixelszámból eredő gyenge szögfelbontás a távolban lévő tárgyak grafikai elnagyoltságán kívül más negatív hatást is eredményez, amelynek fényforrások közötti üres helyek az okozói. Az emberi szem átlagosan 1 szögperces felbontású, ami azt jelenti, hogy 1 méter távolságból 0,3 milliméteres méretű (nagy kontrasztú, fókuszban lévő) pontokat tud megkülönböztetni.<sup>10</sup> Mivel a VR-eszközök kijelzőit, típustól és beállítástól függően 3–7 cm távolságból, fókuszáltnak nézzük, a mikrométeres méretű pixelrács már a látható felbontás tartományába esik és a 3. ábrán látható képet eredményezi, amit *screen door effect*-nek (*SDE*), azaz a „szűnyoghálós ajtó” hatásnak nevezünk.



3. ábra

A „screen door effect” (*SDE*) monitort közelről fényképezve. A látvány olyan, mintha szűnyoghálón keresztül néznénk a képet

Forrás: a szerző saját felvétele, Microsoft Word dokumentumról, Dell P2414H típusú monitoron közelről fényképezve

A jelenség – tapasztalataim szerint – nem túlzottan zavaró, és a felbontás növelésével kiküszöbölhető, de ennek ellenére több módszert alkalmaznak teljes eltüntetésére. Az egyik, már elterjedt megoldás a hatás csökkentése érdekében, hogy a pixeleket alkotó elemi RGB alpixeleket nem egymás után szervezik, hanem különböző mintákat és kiegészítő alpixeleket alkalmaznak.<sup>11</sup> Az ilyen megoldások alkalmazásával, mint például a *Samsung PenTile Matrix* esetén, nem szabályos sorba esnek a pixelek, így kevésbé markánsan láthatók egyenes vonalakkal álló rácsok. A *screen door effect* csökkentésének további technikai lehetősége, hogy a pixeleket optikailag vagy mechanikailag elmosásák, ezáltal megpróbálva a pixelrácsra való fókuszálást megakadályozni. Az optikai megoldások közé tartozik a Valve cég (a Valve Index VR-eszköz gyártójának)

<sup>10</sup> Rafael Navarro: *The Optical Design of the Human Eye: a Critical Review*. *Journal of Optometry*, 2. (2009), 1. 3–18.

<sup>11</sup> Michael E. Miller et al.: P-34: Image Quality Impact of Pixel Patterns and Image Processing Algorithms for RGBW OLED Displays. *SID Symposium Digest of Technical Papers*, 36. (2005), 1. 398–401.

szabadalma, amely egy mikrolencséből álló optikát helyez a lencse és a felhasználó szeme közé azzal a céllal, hogy elmossa a pixelrács kontúrjait.<sup>12</sup> Az optikai megoldások közé tartoznak még a különböző flexibilis átlátszó filmrétegek, mint például poli-etilén-tereftalát alapú oxigénplazmába ágyazott átlátszó anyagok, amelyek a fény hullámhosszához közeli felbontású mikromintázatokat tartalmaznak. Ez a megoldás sajnos rontja, ködösíti a látott képet, amely hatást poli-dimetilsziloxán (PDMS-) bevonat alkalmazásával próbálják csökkenteni.<sup>13</sup> Hasonló elven alapuló megoldás difraktív flexibilis műanyag filmrétegek alkalmazása, ahol a cél szintén véletlenszerű fénytörés kialakítása.<sup>14</sup> A fókuszálást megakadályozó, azaz a pixelek összeolvasztását célzó megoldás lehet még a kijelző mechanikai manipulálása, amely során a piezo-elektromos aktuátorokkal a pixeleket fizikailag is mozgatják.<sup>15</sup>

A jövőbeni kijelzők a fenti problémákat a felbontás növelésével fokozatosan ki fogják küszöbölni, de addig is a kiképzési feladatok tervezésénél ezt a tényezőt figyelembe lehet és kell is venni. Tapasztalati szabályként kezelhető, hogy a jelenlegi technológiai színvonalon a felhasználó a feladatait a virtuális térben lehetőleg 50 méteren belül oldja meg.<sup>16</sup> Már ma is lehet elvétve kapni nagyobb felbontású  $2 \times 4K$  ( $2 \times 3840 \times 2160$ ) kijelzővel szerelt eszközöket, de a saját fejlesztés szempontjából vizsgálva tudni kell, hogy ezek a termékek még nem annyira közismertek, ezért kompatibilitásuk, szoftveres támogatásuk jóval kisebb, a meghajtóhardver-igényük sokkal nagyobb, mint a korábban említett, elterjedt típusoké. A nagy felbontású kijelzők alkalmazását nemcsak az első cikkben említett Pimax Vision 8K sorozata vagy a Varjo VR termékei célozzák meg, hanem az összes piaci szereplő a felbontás növelésének irányába halad.

## 2.2. Optikai hiányosságok

Az HMD-k által szolgáltatott vizuális információ nemcsak az előzőekben tárgyalt felbontástól, hanem a kijelzők egyéb paramétereitől (fényerő, kontraszt, képfrissítési frekvencia), valamint a szem és a kijelző közötti lencse (vagy lencsék) minőségétől is nagyban függ. Ugyan nem validált mérésről van szó, de a lencsén keresztül fotózott képeken (4. ábra) is jól látható, hogy a virtuális műszerek olvashatósága nem mindig a legnagyobb felbontású kijelzőn a legjobb. A gyártók ezért töreksenek arra, hogy a cikksorozat korábbi részében említett, a VR-eszközökben használt Fresnel-lencsék optikai hiányosságait kiküszöböljék. Az ilyen lencsék főleg a széleken torzítanak, illetve optikai torzítás lép fel, ha nem merőleges szögben nézünk bele. A HMD-t emiatt pontosan kell elhelyezni a fejen, azaz a lencse közepénél kell a szemnek elhelyezkednie, illetve a lencsének pont merőlegesnek

<sup>12</sup> Szabadalmi bejegyzés: Valve Corporation, Bellevue WA (US): *Mitigation of Screen Door Effect in Head Mounted Displays*. Pub. No.: US 2018/0038996 A1, 2018. 02. 08. United States Patent Application Publication Hudman.

<sup>13</sup> Won Seok Cho et al.: *Air-gap-embedded robust haze films to reduce the screen-door effect in virtual reality displays*. *Nanoscale*, 12. (2020), 16. 8750–8757.

<sup>14</sup> Brett Sitter et al.: 78-3: *Screen Door Effect Reduction with Diffractive Film for Virtual Reality and Augmented Reality Displays*. *SID Symposium Digest of Technical Papers*, 48. (2017), 1. 1150–1153.

<sup>15</sup> Jilian Nguyen et al.: *Screen door effect reduction using mechanical shifting for virtual reality displays*. In *Optical Architectures for Displays and Sensing in Augmented, Virtual, and Mixed Reality (AR, VR, MR)*. 2020. 11310.

<sup>16</sup> Stew Magnuson: *Navy Cautious About Use of Virtual Reality Goggles in Training, Simulation*. *National Defense*, 2017. 11. 29.

kell lennie a szem tengelyére, különben az érzékelt kép homályos lehet, torzíthat, vagy a Fresnel-lencsére jellemző koncentrikus körvonalak láthatóvá válhatnak. Ha a kijelző a megfelelő pozícióban van, arra is figyelni kell, hogy az stabilan legyen rögzítve, mivel dinamikusabb mozgás hatására elmozdulhat. A gyártók a rögzítő mechanizmusokat nagy gondossággal fejlesztik azért, hogy a lencse mindig optimális helyzetben legyen a szemhez képest, de a felhasználót minden esetben tájékoztatni kell a helyes viselésről. A Fresnel-lencsék kialakítása is változott a fejlesztések során, hogy jobban megfeleljenek a virtuálisvalóság-eszközök igényeinek, kevésbé legyenek érzékenyek az elmozdulásra. Az Oculus Rift S gyártója, a *Facebook Technologies*, szabadalmat is benyújtott, amiben a Fresnel-lencse közepén található normál lencse méretét növelte, ezzel egy hibrid lencsét létrehozva, és így biztosítva a jobb képminőséget.<sup>17</sup>



4. ábra

*Ugyanazon képrészlet kinagyítva, különböző felbontású eszközök esetén, lencsén keresztül fényképezve (Oculus Quest 2: 1832 × 1920, VRgineers XTAL 8K: 3840 × 2160, HP Reverb G2: 2160 × 2160)*

Forrás: Tyriel Wood – VR Tech: TTL the Most Expensive VR – XTAL 8k vs Reverb G2 vs Quest 2! Youtube, 2021. február 11.

A nagy görbületű lencsék széleken tapasztalható erős geometriai torzítása okozhatja még problémát, de a megjelenített képen szoftveres megoldással inverz torzítást végeznek, így a látott kép pont megfelelő lesz (5. ábra). Ezt a javítást minden rendszerben az optikához igazodva végzik, külső szoftveres alkalmazást nem igényel és a geometriai torzítás teljes mértékben kiküszöbölhetővé válik, így a kiképzés szempontjából nem okoz gondot.

<sup>17</sup> United States Patent and Trademark Office: Facebook Technologies LLC, Menlo Park, CA (US): [Hybrid Fresnel Lens with Reduced Artifacts](#). United States Patent, Wheelwright et al. Patent No.: US 10,133,076 B2, 2018. 11. 20.



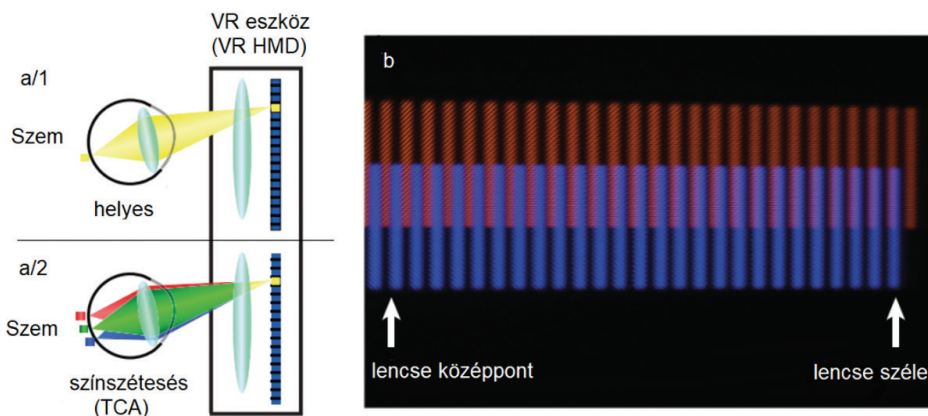


5. ábra

Lencse torzításának szoftveres javítása; középső kép: a lencse torzítása; bal oldali kép: alkalmazott szoftveres inverz torzítás; jobb oldali kép: a lencsén keresztül látott kép

Forrás: Sora Thompson: *VR Lens Basics: Present And Future*. Tom's Hardware, 2018. január 1.

A lencsék esetén a szélek felé, azaz a látómező középpontjától kifelé haladva nemcsak a geometriai torzítás okoz gondot, hanem az úgynevezett „színek szétesése” (*transverse chromatic aberration, TCA*) effektus is. Ez a hatás más optikai rendszerben is előfordul, több formája is létezik, de lényege, hogy a lencse szélei felé haladva az a fehér fényt egyre nagyobb törésű prizmaként alkotóelemeire bontja, ami miatt színszétesés figyelhető meg (6. ábra). A 6. ábra a/1, a/2 részábráin a VR-eszköz sematikus felépítését (kijelző + lencse) láthatjuk. Az a/1 esetben nincs színszétesés; míg az a/2 esetben látjuk, hogy a fehér fény alkotórészei különböző helyekre fókuszálódnak a retinán, azaz szétesik. A b ábrán látható, hogy a látómező (lencse) széle felé a piros és kék vonalak szétesnek a TCA miatt, míg a látómező közepén egybeesnek. A mérés Oculus Rift eszközzel történt, ahol a lencse széle jelzés a 15 fokos eltérést jelenti a középvonaltól.



6. ábra

A színszétesés jelenségének magyarázata

Forrás: a szerző szerkesztése Ryan Beams – Andrea S. Kim – Aldo Badano: *Transverse chromatic aberration in virtual reality head-mounted displays*. Optics Express, 27. (2019), 18. 877–884. ábra alapján

Tapasztalatom szerint a színszétválasztás hatása szintén nem zavaró, a fókuszált látómezőben minimálisan érzékelhető.

A nagy kontrasztú, nagy fényerejű képek esetén érzékelhetők az úgynevezett „szellem-” vagy „isten-” sugarak (*ghost-rays*, *god's rays*). Ez hasonló a felhőkön, kis területeken átszűrődő erős fény esetén látható fénysugarak látványához, de a jelenség a kiképzési célú igénybevétel szempontjából szintén nem befolyásolja érdemben az immerzivitás élményét. A kiképzési környezet tervezése, fejlesztése esetén, empirikus úton megközelítve, főleg a fényviszonyokra, kontrasztokra nagyobb figyelmet fordítva teljesen kiküszöbölhető.

Mint korábban említettem, a VR-eszközökben szemenként külön kijelzőt és külön lencsét találhatunk. A lencsék egymástól való távolsága fontos tényező, mivel a két lencsének külön-külön is középen és merőlegesen kell elhelyezkednie a szem tengelyéhez viszonyítva. Fontos tehát, hogy a felhasználók pupillái közötti távolság (interpupillary distance, IPD) és a lencsék középpontjának távolsága lehetőleg azonos legyen. A lencsék pozicionálása bizonyos HMD-k esetében fix, Oculus Rift S esetében például 63,5 mm. A gyártó szerint 61,5 mm és 65,5 mm közötti pupillatávolsággal jól használhatók az eszközök, viszont azoknál a felhasználóknál, akik pupillatávolsága nem ebbe a sávba esik, kellemetlen lehet a használata, a kép is torzulhat. További szoftveres korrekció bizonyos értékeken belül még lehetséges szoftveres átkonfigurálás segítségével. Más eszközök, mint például a HTC Vive Pro esetén az IPD mechanikusan is állítható, ezzel kiküszöbölve ezt a problémát.

### 3. A virtuális helyváltoztatás problémái

A VR-eszközök lényege, hogy a teljes látómezőnket lefedve, a külvilágot kiiktatva, a virtuális térben szabadon helyet változtathatunk. A mozgás a taktikai kiképzésben kulcsfontosságú elem, annak igazodnia kell a feladat végrehajtásához, a felhasználó végezhet normál járást, futást, felvehet különböző testhelyzeteket például fedezékhasználatához, esetleg járműben utazhat.

#### 3.1. A szimulátorbetegség

Az alap VR-készletek esetén (HMD + kézi kontrollerek) az ilyen mozgásokból a helyváltoztatás, azaz a futás, járás okozhat problémát, mivel a kontrolleren működtetett gomb vagy thumbstick (*joystick*) segítségével lehet haladni a virtuális térben. Ilyenkor jelentkezik a szimulátorbetegség (*simulator sickness*), ami olyan tünetegyüttest produkál, mint amelyet különböző mozgásbetegségek (*motion sickness*), például a tengeribetegség is okoz. A jelenség gyökere, a korábban már többször említett beviteli indirekció, azaz a természetes mozgás felváltása valamilyen ember-gép interfész működtetésével. A jelenség kellemetlen velejárója lehet a VR-rendszerek használatának, ami alapvetően abból adódik, hogy a vizuálisan (HMD képe), illetve a test többi része által érzékelt ingerek (gyorsulások) nincsenek szinkronban. Az elfogadott elméletek szerint a mozgásbetegségek valamilyen érzékelési konfliktus vagy érzékelési eltérés eredményei,

amikor is az egyensúlyi érzékszervek, a látás és a kinesztetikus (mozgási) rendszer bejövő ingereinek mintázata nem egyezik az elvárttal.<sup>18</sup> Az elvárt mintázat azt jelenti, hogy a teljes érzetet a mozgásnál a különböző érzékszervek és mozgási rendszer együttes ingerei adják, és adott mozgásra egy már megszokott ingeregyüttest vár a szervezet. Nagyon hasonló eset, amikor autóban ülve fékezünk, a testünket önkéntelenül is megfeszítjük, hogy megtartsa magát az eredeti helyzetében, a lassulást kompenzálva. Ha ez a lassulás valamiért elmarad, akkor is megfeszítjük, előrefeszítjük a testünket a fékpedál megnyomásakor, a lassulás hiánya így egy furcsa, kellemetlen érzést kelt. J. R. R. Stott által 1986-ban publikált 3 pontos „ökölszabály” modell még mindig elég praktikus, és a VR-ra vetítve láthatjuk, hogy az első pontja a vizuális-vesztibuláris (képi-egyensúlyrendszeri) pont nem teljesül, amely szerint a fej mozgása esetén a külső, látott képnek ellenkező irányba kell mozognia.<sup>19</sup> A fent említett egyszerű VR-eszközökkel való mozgásnál a fej nem mozog előre, de a külső látott kép ellenkező irányba mozog, mintha haladnánk előre, tehát a konfliktus fennáll. Az érzékelések közötti folyamatos konfliktus eleinte szédülést, a gyomorban diszkomfortérzést okozhat még a kevésbé érzékenyeknél is. Tapasztalatom viszont az, hogy mivel ez a fajta önkéntelen reakció is tanult (beidegződött), fokozatos gyakorlással a szimulátorbetegség hatása csökkenthető. Első alkalommal, hirtelen mozgások esetén pár perc után is kellemetlen lehet a VR használata, de pár nap után (napi gyakorlással) kitolható órákra is a tünetmentes használat.<sup>20</sup> Nem reprezentatív, 8 főn végzett saját teszteken láthattam, hogy az állva történő folyamatos haladásból (*locomotion*)<sup>21</sup> történő megállás esetén még fél óra tapasztalat után is 6 felhasználó automatikusan előredől, majd meginog, mivel a megállás okozta erőket kompenzálni próbálja. A tudományos irodalomban eltérő vélemények olvashatók a szimulátorbetegség tüneteinek csökkentési lehetőségeiről, de a kiképzésben használható megoldások, amelyeket a fejlett, kiképzésre használt VR-rendszerek is alkalmaznak, ezt már teljesen kiküszöbölik.<sup>22</sup>

### 3.2. A helyhez kötöttség problémája

A technológia felmérésénél már említettem a VR-rendszerek helyhez kötöttségét, aminek fő oka a nagy sáv szélességigény miatt alkalmazott kábeles megoldások használata. A fejen lévő HMD és a központi egység (számítógép) között kábeles összeköttetés szükséges, ezért a kábelek nemcsak a bejárható teret határozzák meg, de a mozgásban is gátolhatják, zavarhatják a felhasználót. Bizonyos drágább

<sup>18</sup> J. F. Golding: [Chapter 27 – Motion sickness](#). *Handbook of Clinical Neurology*, 137. (2016), 371–390.

<sup>19</sup> J. R. R. Stott. Mechanisms and Treatment of Motion Illness. In Christopher J. Davis – Gerry V. Lake-Bakaar – David G. Grahame-Smith (szerk.): *Nausea and Vomiting: Mechanisms and Treatment*. Berlin, Springer-Verlag, 1986. 110–129.

<sup>20</sup> A szerző saját megfigyelése 3 főn végzett, nem reprezentatív, nem formális mérés.

<sup>21</sup> A virtuális valóság szakirodalmában, gyakorlatában a virtuális térben, a helyváltoztatás indirekt, nem természetes beviteli módszerek esetén (joystick, billentyűzet) kétféle gyakorlat az elfogadott. A folyamatos mozgatása a virtuális látótérnek (felhasználónak) az úgynevezett *locomotion*, az ugrásszerű mozgás pedig az úgynevezett *teleport*.

<sup>22</sup> Natalia M. Dużmańska-Misiarczyk – Paweł M. Strojny – Agnieszka Strojny: [Can Simulator Sickness Be Avoided? A Review on Temporal Aspects of Simulator Sickness](#). *Frontiers in Psychology*, 9. (2018), november 6.

eszközökhöz létezik vezeték nélküli átvitel, illetve vannak már önálló, azaz olyan virtuálisvalóság-sisakok (HMD-k), amelyek tartalmazzák a számítógépet is, de ezek a hardver korlátozott kapacitása miatt jelentősen csökkentik a szimuláció lehetséges részletgazdagságát.<sup>23</sup> A helyhez kötöttség problémájának egy köztes megoldási lehetősége – amit más katonai szimulációs rendszerekben is használnak<sup>24</sup> –, hogy a mennyezeten lévő, mozgatható, a felhasználót követő rugós mechanikán, csigákon keresztül, a fej fölül lógatják be a kábelt, így az nem csavarodik, nem botlik el benne a felhasználó. Szerencsére a kiképzés szempontjából a fenti problémák megoldhatók, mind a szimulátorbetegség, mind a helyhez kötöttség problémája kiküszöbölhető további felszerelések alkalmazásával.

### 3.3. A helyváltoztatás problémájának megoldásai

Ha adottnak vesszük a rendelkezésre álló eszközöket, és nem természetes bevittel hozzuk létre a mozgást, akkor is van szoftveres megoldásra lehetőség. Mint az előzőekben szó volt róla, ezek még így sem alkalmasak a kiképzési célok elérésére, de ha csak alapkészlettel rendelkezünk, a szimulátorbetegség kialakulását megelőzhetik. A videójáték-ipar egyik ilyen megoldása a „teleportálás”, amely során a virtuális térben egy „lézer” mutatóval kijelöljük, hogy hova szeretnénk ugrani, és a helyváltoztatás ugrásszerűen történik, az nincs rossz hatással a felhasználó érzékszerveire. A másik megoldás, hogy a perifériális látómezőt kitakarják a folyamatos mozgás (*locomotion*) során, így egy filmvetítés érzését kelti, nem pedig azt, mintha a felhasználó teljes testtel mozogna. Mint említettem, egyik megoldás sem felel meg a taktikai kiképzés kívánalmainak, viszont demonstrációs célokra ezek a megoldások már komfortosan használhatók.

Egy komplexebb és akár taktikai kiképzésben is használható megoldás a virtuális taposómalom (*Omni-directional treadmill*, ODT) alkalmazása, ez esetben a járás, futás beviteléhez egy speciális eszközt lehet alkalmazni, ami a láb mozgását alakítja át a virtuális térben történő mozgásra (7. ábra) úgy, hogy a derék rögzítve van. Ez a megoldás már taktikai kiképzőeszközökben is megjelent, és csökkenti ugyan a szimulátorbetegség kialakulását, de dinamikus irányváltoztatásra, futásból megállásra, hirtelen elindulás szimulálására nem alkalmas, a felhasználónak nagyon oda kell figyelnie arra, hogy az eszközből ne csússzon ki a lába. A fekvő testhelyzet felvétele sem megoldott, ugyanakkor az ODT-k alkalmazásával a számítógépet és a HMD-t összekötő kábelek zavaró hatásait is ki lehet küszöbölni, mivel azt a fej mögötti csatornában lehet elvezetni. A virtuális taposómalmok még egy nagy előnye, hogy a virtuális tér teljesen korlátlan minden irányban, illetve a futás miatti fáradtságérzetet is képes előidézni. A nagy területek bejárhatóvá tétele nem alapvető tényező taktikai kiképzések esetén, de egy kiterjedt hadgyakorlat szimulálásakor előnyös lehet.

<sup>23</sup> Oculus Quest gyártói oldala: [www.oculus.com/quest](http://www.oculus.com/quest).

<sup>24</sup> Arirang News: [Korean startup releases VR simulators for military training](https://www.youtube.com/watch?v=...). Youtube, 2016. július 19.



7. ábra

*A KAT VR virtuális taposómalmokat gyártó cég KAT VR Premium terméke*

Forrás: KAT VR gyártói honlapja: [www.kat-vr.com/products/kat-walk-premium-vr-treadmill](http://www.kat-vr.com/products/kat-walk-premium-vr-treadmill)

A legjobb megoldás a helyhez kötöttség problémáira a háton viselt számítógép alkalmazása (8. ábra), amelynek segítségével a teljes szimuláció a felhasználó hátára rögzített számítógépen futtatható, a felhasználók tevékenységének szinkronizálásához szükséges adatforgalom pedig már vezeték nélküli kapcsolaton keresztül megoldható.



8. ábra

*A MotionReality cég Dauntless termékénél alkalmazott viselhető számítógép*

Forrás: Motion Reality Inc. Twitter oldala: <https://twitter.com/motionreality/status/1224377479550447622/photo/1>

Itt egy kis technikai kitérőt érdemes tenni, mert a háton viselt számítógép paramétereit, számítási lehetőségei is igen fontosak. A virtuálisvalóság-szimuláció alkalmazása a szórakoztatóiparban fejlődött ki, ezen belül is a számítógépes játékok területén vált a vonzó és elterjedt megoldássá. A háromdimenziós játékok készítéséhez eddig is modellezni kellett a virtuális teret, a szereplőket, illetve a modelleket megfelelő atmoszférában, megfelelő textúrákkal ellátva, fényekkel megvilágítva, a játékos szemszögéből nézve kellett megjeleníteni. Ehhez kétdimenziós képet kell generálni háromdimenziós modellek, fények, egyéb tényezők adataiból, másodpercenként minimum 20-szor, de szimulátorok esetén, a minél kisebb reakcióidő miatt inkább a másodpercenként 60–90 képkocka az elvárt. A modellek, textúrák, fényhatások, egyéb vizuális effektusok egyre részletesebbek lettek az idő folyamán, így a létrehozott 2D képek felbontása is nőtt, azaz egyre nagyobb lett a számítási kapacitási igény. A VR-eszközök két külön képből álló sztereó képet renderelnek, ezért a számításkapacitás-szükséglet, ha nem is kétszeres, de jóval nagyobb egy monitoron megjelenített szimulációhoz képest. A 2021-es évben forgalomban lévő, háromdimenziós virtuális szimulációt futtató eszközben csak a grafikus processzor (GPU) akár 28,3 milliárd tranzisztort is tartalmazhat, 628,4 mm<sup>2</sup>-es lapkán, 8 nm-es gyártástechnológia mellett.<sup>25</sup> Az alkalmazott GPU-hoz dedikált memória pedig általában 8–11 Gigabyte méretű és GDDR5<sup>26</sup> vagy GDDR6 típusú. A kiképzéshez használható katonai, nagy felbontású komplex 3D modelleket tartalmazó, esetleg mesterséges intelligenciát is futtató szimulációkat kiszolgáló rendszerek konfigurációjára is ez lehet a minimumkövetelmény. Szerencsére a már többször említett, hátra szerelhető, VR-használatra optimalizált hardverek pont ilyen igényekhez lettek kifejlesztve, figyelembe veszik a katonai szabványokat és kereskedelmi forgalomban is beszerezhetők.<sup>27</sup>

#### 4. Összegzés

Annak ellenére, hogy elemzésem szerint a technikai háttér jelenlegi fejlettségi szintje alapján a lehető legjobb időben vagyunk egy professzionális rendszer fejlesztéséhez, fontos tudni, hogy milyen korlátokkal kell szembenéznünk. A VR-rendszerek problémái főleg a vizuális megjelenítés és a mozgások szimulálásának kérdéseire korlátozódnak. A vizuális problémák már a mostani eszközök esetén is elhanyagolhatók, a hardvereszközök folyamatosan fejlődnek, paramétereik javulnak, valamint a szoftverfejlesztési keretrendszerek szabványosodásával, folyamatos bővülésükkel az eszközök közötti váltás, az újabb hardvertermékekre való átállás egyre kevesebb többletfejlesztési munkát indukál.<sup>28</sup> A fejlesztett kiképzőeszközök esetén a hardver adottságait a szakmai tervezésnél viszont figyelembe kell venni, empirikus úton tesztelni

<sup>25</sup> nVIDIA: *nVIDIA Ampere GA102 GPU Architecture*. Whitepaper. 2021.

<sup>26</sup> Graphics Double Data Rate 5 Synchronous Dynamic Random-Access Memory: a legelterjedtebb memóriatípus a korszerű grafikus kártyákban.

<sup>27</sup> A HP Mil-Std-810G teljesítésére tervezett viselhető számítógépe a HP VR Backpack G2: [www8.hp.com/h20195/v2/GetDocument.aspx?docname=c06274598](http://www8.hp.com/h20195/v2/GetDocument.aspx?docname=c06274598).

<sup>28</sup> Steam VR és Open VR platformok egységes interfészt adnak több VR-hardvereszköznek is. A programok fejlesztése nem igényel hardverközelítő programozást.

szükséges a kialakított rendszer virtuálisan megépített modelljeit és használhatóságát vizuális szempontból. Ha saját fejlesztésben gondolkodunk, akkor a mozgással kapcsolatos problémák is áthidalhatók, viszont többletfigyelmet és előzetes tervezési döntéseket igényel a terület. A jelen cikkben ugyan nem említettem, de fontos sarokköve a saját fejlesztésű VR-kiképzőrendszereknek a valós eszközök virtuális térbe történő beemelése és tökéletesen egyező működése, de mivel számos ilyen megoldást láthattunk a cikksorozat előző részeiben, a hardverfejlesztési kompetencia megléte esetén ez nem jelent akadályt. Eddigi elemzéseimből kiderülhetett, hogy egy hazai fejlesztés elindításának nincs akadálya a technológia oldaláról nézve. A következő cikkben, egyet hátra lépve, a sikeres fejlesztéshez szükséges kompetenciákat és a fejlesztési környezetet fogom áttekinteni és elemezni, szintén a saját fejlesztés megindításának lehetőségeire fókuszálva.

## Felhasznált irodalom

- Beams, Ryan – Andrea S. Kim – Aldo Badano: Transverse chromatic aberration in virtual reality head-mounted displays. *Optics Express*, 27. (2019), 18. 877–884. Online: <https://doi.org/10.1364/OE.27.024877>
- Cho, Won Seok – Park – Choi J. Y. – Cho C. S. – Baek S.-H. S. – J.-L. Lee: Air-gap-embedded robust hazy films to reduce the screen-door effect in virtual reality displays. *Nanoscale*, 12. (2020), 16. 8750–8757. Online: <https://doi.org/10.1039/C9NR10615D>
- Golding, J. F.: Chapter 27 – Motion sickness. *Handbook of Clinical Neurology*, 137. (2016), 371–390. Online: <https://doi.org/10.1016/B978-0-444-63437-5.00027-3>
- Magnuson, Stew: Navy Cautious About Use of Virtual Reality Goggles in Training, Simulation. *National Defense*, 2017. 11. 29. Online: [www.nationaldefensemagazine.org/Articles/2017/11/29/Navy%20Cautious%20About%20Use%20of%20Virtual%20Reality%20Goggles%20in%20Training%20Simulation](http://www.nationaldefensemagazine.org/Articles/2017/11/29/Navy%20Cautious%20About%20Use%20of%20Virtual%20Reality%20Goggles%20in%20Training%20Simulation)
- Miller, Michael E., Michael J. Murdoch – Paul J. Kane – Andrew D. Arnold: P-34: Image Quality Impact of Pixel Patterns and Image Processing Algorithms for RGBW OLED Displays. *SID Symposium Digest of Technical Papers*, 36. (2005), 1. 398–401. Online: <https://doi.org/10.1889/1.2036456>
- Natalia M. Dużmańska-Misiarczyk – Paweł M. Strojny – Agnieszka Strojny: Can Simulator Sickness Be Avoided? A Review on Temporal Aspects of Simulator Sickness. *Frontiers in Psychology*, 9. (2018), november 6. Online: <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2018.02132>
- Navarro, Rafael: The Optical Design of the Human Eye: a Critical Review. *Journal of Optometry*, 2. (2009), 1. 3–18. Online: <https://doi.org/10.3921/joptom.2009.3>
- Nguyen, Jilian – Clinton Smith – Ziv Magoz – Jasmine Sears: Screen door effect reduction using mechanical shifting for virtual reality displays. In *Optical Architectures for Displays and Sensing in Augmented, Virtual, and Mixed Reality (AR, VR, MR)*. 2020. 11310. Online: <https://doi.org/10.1117/12.2544479>
- nVIDIA: *nVIDIA Ampere GA102 GPU Architecture*. Whitepaper. 2021. Online: [www.nvidia.com/content/PDF/nvidia-ampere-ga-102-gpu-architecture-whitepaper-v2.pdf](http://www.nvidia.com/content/PDF/nvidia-ampere-ga-102-gpu-architecture-whitepaper-v2.pdf)

- Sitter, Brett – Joseph Yang – Jimmy Thielen – Nathan Naismith – Jeffrey Lonergan 78-3: Screen Door Effect Reduction with Diffractive Film for Virtual Reality and Augmented Reality Displays. *SID Symposium Digest of Technical Papers*, 48. (2017), 1. 1150–1153. Online: <https://doi.org/10.1002/sdtp.11846>
- Stott, J. R. R.: Mechanisms and Treatment of Motion Illness. In Christopher J. Davis – Gerry V. Lake-Bakaar – David G. Grahame-Smith (szerk.): *Nausea and Vomiting: Mechanisms and Treatment*. Springer-Verlag, Berlin, 1986. 110–129.
- Thompson, Sora: VR Lens Basics: Present And Future. *Tom's Hardware*, 2018. január 1. Online: [www.tomshardware.com/news/virtual-reality-lens-basics-vr,36182.html](http://www.tomshardware.com/news/virtual-reality-lens-basics-vr,36182.html)
- Trautmann Balázs: Képzelt repülés. *Honvédelem.hu*, 2019. április 16. Online: <https://honvedelem.hu/hirek/hazai-hirek/kepzelt-repules.html>

## Jogi források

- United States Patent and Trademark Office: Facebook Technologies LLC, Menlo Park, CA (US): Hybrid Fresnel Lens with Reduced Artifacts. United States Patent, Wheelwright et al. Patent No.: US 10,133,076 B2, 2018. 11. 20. Online: <https://pdfpiw.uspto.gov/piw?PageNum=0&docid=10133076&IDKey=D43B19EFAF55%0D%0A>
- Valve Corporation, Bellevue WA (US): Mitigation of Screen Door Effect in Head Mounted Displays, Pub. No.: US 2018/0038996 A1, 2018. 02. 08. United States Patent Application Publication Hudman. Online: [www.freepatentsonline.com/20180038996.pdf](http://www.freepatentsonline.com/20180038996.pdf)

## Internetes források

- Arirang News: Korean startup releases VR simulators for military training. *Youtube*, 2016. július 19. Online: [www.youtube.com/watch?v=Et5BsV0U1Lw](http://www.youtube.com/watch?v=Et5BsV0U1Lw)
- Varjo: *Varjo & Boeing: A New Era in Astronaut Training using Virtual Reality* (é. n.) Online: <https://varjo.com/boeing-starliner/>
- Varjo: *Varjo VR-3 specifikációja* (é. n.). Online: <https://varjo.com/products/vr-3/#-fulltechspecs>
- Wood, Tyriel – VR Tech: TTL the Most Expensive VR – XTAL 8k vs Reverb G2 vs Quest 2! *Youtube*, 2021. február 11. Online: [www.youtube.com/watch?v=S7nhlQciLLM](http://www.youtube.com/watch?v=S7nhlQciLLM)