

## 3D-s Virtuális Valóság-terek hatékonyságnövelő lehetőségei a piaci folyamatokban és az oktatásban

### Bevezetés

A 21. században számos eltérő technológia egyszerre van jelen, és változtatja meg társadalmunkat, a felnövekvő generációk lehetőségeit, életterét, képességeit, a munkaerőpiaci elvárásokat, oktatási rendszerünket életünk minden területét.

Az ipari automatizálás, a robottechnika, a virtuális valóság (VR) és a kiterjesztett valóság (AR) az elmúlt évek legnagyobb technológiai újításai közé tartoznak. A virtuális valóság lehetővé teszi az információ teljesen új szemléletét, amelynek fő jellemzői a dinamikusság és a közvetlenség.

A Goldman Sachs kutatási jelentése szerint a VR a következő nagy számítástechnikai platformként jelenhet meg, jelentősen hozzájárulva a társadalmi folyamatok, az ipar és az oktatás átalakításához. Ebben a fejezetben az olvasó áttekintést kap a VR és az AR piaci fejlődéséről, a technológiai fejlesztésekről, ipari alkalmazásáról, felhasználási területeiről, tudományos és társadalmi hatásairól. A szerzők rávilágítanak az új technológiába történő befektetés eredményeként bekövetkező innovációk, hazai fejlesztések társadalmi és gazdasági hasznosulására.

Elsőként megismerhetik a virtuális valóság és kiterjesztett valóság piaci, gazdasági mutatóit, a befektetők körét, a területen végzett fejlesztéseket és a piacon bekövetkező változások lehetséges forgatókönyveit.

Az ipar 4.0 céljainak megfelelő robotizációval közös alkalmazásokra rávilágítva az ipar oldaláról mutatja be a fejezet a VR/AR fejlesztések hasznosulását. A humán és a gépi intelligencia találkozásával a kollaboratív robotika a VR/AR alkalmazásokkal ötvözve kínál professzionális műszaki megoldásokat a jövő iparában.

A fejezet harmadik része az oktatás eredményességének, piacképességének és hatékonyságának növelése érdekében a digitális bennszülött nemzedék életteréhez illeszkedő 3D-s VR oktatási környezet alkalmazására hívja fel a figyelmet. Hazai és nemzetközi kutatásokra alapozva tesz ajánlást a digitális írástudás fejlesztésének útjára vonatkozóan, az EdTech-be való befektetéshez képest lényegesen nagyobb hasznosulást jósolva.

### A VR-fejlesztés mérföldkövei

A virtuális valóság tudományos alapjait az 1950-es, valamint az 1960-as évek mesterséges-intelligencia-kutatásai határozták meg. A „virtuális” kifejezés gyakran arra utal, hogy az adott fizikailag létező tárgy számítógéppel előállított másolatáról van szó. A virtuális valóság tehát egy olyan szimulált környezet, amely a valós világ folyamatait igyekszik számítógépes modell

segítségével leírni, szimulálni.<sup>1</sup> Ez egy részben közös, megosztott tér, ahol több felhasználó is jelen lehet azonos időben. Az esemény, a tevékenység így valós időben történik, az internetes alkalmazásokkal lehetőséget adva a játék, az információszerzés, a közvetlen kommunikáció, a kooperatív munka számára. A felhasználók tartalmakat fejleszthetnek, alkothatnak, akár a VR-környezetet is megváltoztathatják, kiegészíthetik háromdimenziós modellekkel, folyamatszimulációkkal. A VR-rendszer azáltal, hogy érzéseket, színeket, formákat, hangokat teremt, hozzásegíti az emberi agyat ahhoz, hogy az összetett adatsorokban korábban rejtve maradt kapcsolatokat, párhuzamokat felfedezze, és gyorsabban, rugalmasabban legyen képes információkat rögzíteni, értelmezni és azokkal manipulálni.

A mai virtuális valóság (*virtual reality*) fejlesztésének evolúciója az 1970-es évekig nyúlik vissza. Az 1990-es évek végétől sorra jelentek meg a virtuális tér megjelenítésére alkalmas úgynevezett VR CAVE-rendszerek. Ezek több számítógéppel meghajtott, szobányi helyet elfoglaló, egymáshoz illesztett, méretüktől függően 2–6 vetítővászonból, szemüvegekből álló terek voltak. Ezen VR CAVE-rendszerek célja még nem az ott-honi VR-élmény biztosítása volt, felhasználásuk elsősorban a kutatólaboratóriumokra korlátozódott. A technológia fejlődésével 2000–2010 között ezen eszközök költsége és bonyolultsága jelentősen csökkent, egyre hatékonyabb és könnyebben elérhető emberi mozgást detektáló eszközök is megjelentek a piacon. A piaci trendeket figyelve látható, hogy 2010 után exponenciálisan nő a VR-termékekbe való befektetések összege és ezzel együtt a VR-eszközöket gyártó cégek száma is. A 2016-os évet a legnagyobb IT-cégek (Google, Apple, Microsoft) már a VR évévé nyilvánították.

A VR mellett megjelentek a kiterjesztett valóság (AR: *augmented reality*) technológiák. A kiterjesztett valóság napjaink egyik legdinamikusabban fejlődő kutatási területe. Az AR a valódi fizikai környezetet, azaz a valós világot valós időben egészíti ki számítógép által generált interaktív virtuális elemekkel, további információkkal. Ezek a lehetnek szövegek, képek, videók, 3D-s modellek, amelyek a VR-alkalmazásokban szintén alkotóelemként vannak jelen.

A két technológia együttes fejlesztéseként megjelentek a VR/AR szemüvegek, amelyek napjainkban már a média- és informatikai üzletekben elérhető, 10–30 ezer forintos áron kapható eszközök. Sokan a VR/AR fordulópontjának az Oculus VR-szemüveg megjelenését tekintik, amelyet a Facebook 2 milliárd dollárért vásárolt fel, és a piacon jelenleg 200 ezer forint alatt érhető el. A speciális dupla kijelzős AMOLED-kijelzők a tökéletes látásért, a fejpantra szerelt 3D-fejhallgatók pedig az audioélményért kezdeskednek. A virtuális térben való mozgásodat az Oculus különleges technológiája biztosítja úgy, hogy a szemüveg szélein infravörös LED-izzók bocsátanak ki fényt, amit a csomagban kapható érzékelő fogad ezáltal garantálva a tökéletes mozgáslekövetést. Az elmúlt években egyre nagyobb sikernek örvend a HTC Vive, amely egy önálló készülék, és nemcsak szolid tudású PC-hez, de akár laptopoz is lehet csatlakoztatni, így bárhová elvihető. A HTC készüléke a kiterjesztett valóság technológiáját ötvözi a virtualitással. A rendszer több mint hetven szenzor adataira támaszkodva méri fel a környezet adottságait, és Steam VR Base segítségével képes arra, hogy a valós környezet alapján hozza létre dinamikusan a virtuális valóságot. A HTC

<sup>1</sup> Lásd *Oktatás a virtuális valóságban* 4.4. 2013.

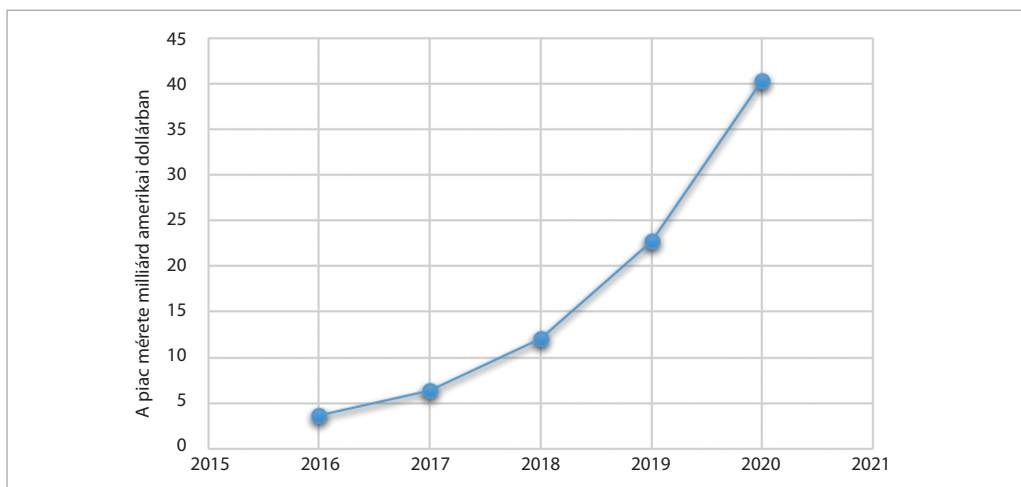
Vive magyarországi ára 2018-ban 280 ezer forint környékén alakult. Az okoskontaktlencse az okos szemüvegénél is közelebb hozza a kiterjesztett valóságot. Kontaktlencse-alapú AR-eszközöket több cég is fejleszt, és többek között az amerikai védelmi minisztérium is nagy összegekkel támogatja a projektet. A kontaktlencsébe épített megjelenítő rendszer képes képeket, videókat, alakzatokat megjeleníteni akár a teljes látótérben. Az Innovega nevű cég találmánya esetén a kontaktlencse kiegészült egy szemüveg jellegű eszközzel, amellyel már 3D-formák megjelenítésére is képessé válik. Napjainkban már a legnagyobb piacokkal rendelkező telefongyártó cégek termékei VR-szemüveggé is használhatók. A mobil VR egy kompromisszum az okos telefonkészülékek funkciójának és a VR-élmény funkciói biztosításának területén, de mindenképpen előremutató fejlesztés a tértől és időtől független információelérés igényének kiszolgálása területén. Mára több applikáció (APP) is megjelent a legújabb VR-funkcióval rendelkező okos telefonokra. Ezek közül a legközkedveltebb Android/iOS Free Appok a VRSE, ami kitűnő kiindulópont arra, hogy részeseivé váljunk videóknak, filmeknek, az NYT VR, amellyel a *The New York Times* a virtuális valóságot mint hírformát használja és jeleníti meg, az Orbolus, amely új perspektívát jelent számunkra képgalériák, turisztikai célpontok meglátogatására, a Seene, amely lehetővé teszi a saját fotóink felvételének 360 fokos megtekintését, vagy az InCell VR, amely egy roppant intenzív élményt nyújtó, részben szórakoztató, részben oktatási alkalmazás. Ezekből az alkalmazásokból is jól látszik, miként szövi be egyik napról a másikra a VR és az AR életünk minden területét.

A Microsoft termékeként jelent meg 2016-ban a Hololens fejlesztői készlet. Ezzel egy időben a VR-szoftvereket gyártó cégek száma is rohamos növekedésnek indult. Ma már a szórakoztatópiac és az üzleti világ mellett egyre többet találkozunk a hétköznapiakban is VR-szoftverekkel.

Sok szempontból a VR magasabb szintű kérdései azonban még nem kristályosodtak ki teljesen. Hiányoznak például a platformszerű megoldások, és a VR oktatásban, illetve ipari alkalmazásokban való felhasználásának gyakorlata is kiépülőben van. Összetettsége okán a terület húzóerejét nemzetközi szinten is komoly K+F-forrásokkal rendelkező nagyvállalatok (Google, Samsung stb.), illetve a jelentős kockázati tőkével felruházott startup cégek (AltSpaceVR, HighFidelity) képviselik.

### VR/AR gyártás üzleti oldalról

A VR/AR piaci megindulásának két kiemelt példája a Magic Leap, amely 1,4 milliárd dollár befektetéssel indult, valamint a fent említett Oculus. A VR/AR-piac egészére jellemző a „robbanás”, amit a piaci felmérések és előrejelzések adatai is alátámasztanak. A felmérések és előrejelzések érdekessége, hogy jelentős, akár 50%-os eltérést is mutatnak attól függően, hogy optimista vagy pesszimista álláspontot képviselnek. A VR/AR-ipar mutatóira vonatkozóan viszont az exponenciális növekedés előrejelzése tekintetében összhang mutatkozik a felmérések eredményében. A 1. ábrán a „Felgyorsult elfogadás” (*accelerated uptake*) néven futó optimista szcenárió szerint a VR-szoftver és hardver világpiac méretére vonatkozó statisztikai becslés látható.

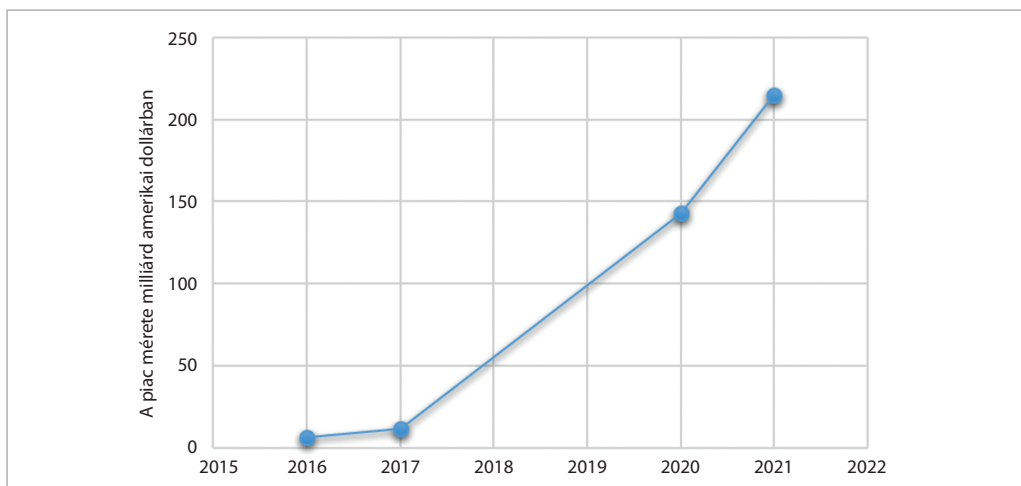


1. ábra: Virtuálisvalóság-szoftver és -hardverpiac mérete 2016 és 2020 között (Mrd USA-dollár)

Forrás: Statista: *Consumer Virtual Reality Hardware Market Size Worldwide from 2016 to 2022*. 2020

Jól látható, hogy míg 2016-ban 3,7 milliárd dollár a VR világpiaci mérete, addig 2020-ra már 40,4 milliárd dollár, azaz több mint tízszeres növekedés várható.

A tapasztalat azt mutatja, hogy a VR- és AR-technológiák együttes alkalmazása erősíti a technológiák piacképességét. A 2. ábrán látható a VR/AR piac együttes méretére vonatkozó statisztikai előrejelzés. Az ábráról leolvasható, hogy a két technológia együttes piaci térhódítása nagyságrenddel nagyobb növekedést mutat. Az előrejelzések szerint a 2016-os évben meglévő 6,1 milliárd dollárról 2021-ben az augmented és a virtuális valóság piaca várhatóan elérheti a 215 milliárd dolláros globális piacméretet.



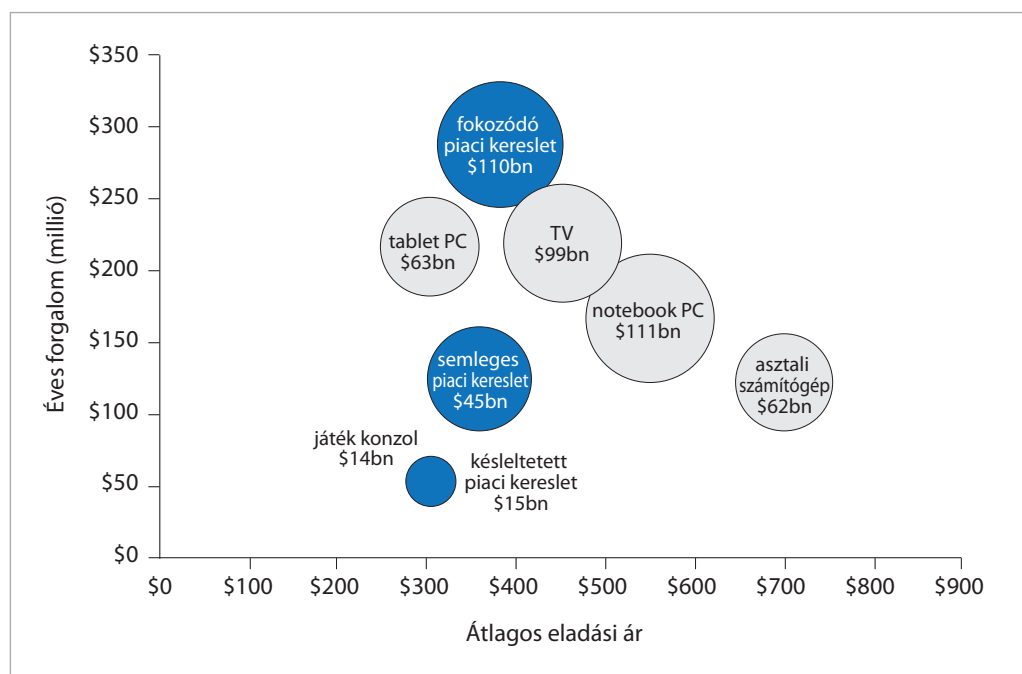
2. ábra: A VR és AR együttes piacmérete 2016 és 2020 között (Mrd USA-dollár)

Forrás: Statista: *Forecast Augmented (AR) and Virtual Reality (VR) Market Size Worldwide from 2016 to 2020*. 2020

Digi-Capital adataira támaszkodva megfigyelhető, hogy ennek a területnek a technológiai dominanciáját körülbelül 70–80%-ban látják az elemzők a Mobile AR-ban, ezt követi 10–20%-ban a Mobile VR és 5–10%-ban a PC-VR technológiák együttes alkalmazása. A kényelmes és egyszerű használat jegyében 2019-től a VR/AR technológiák terén, ugyan csak néhány százalékkal indulva, de az okosszemüvegek előretörését is jelzik, ami a várakozások szerint 2021-re már a terület 5–10%-os összetevőjeként jelenik meg.

Ugyanakkor a teljességhez hozzátartozik, hogy a „Késői elfogadás” (*delayed uptake*) néven futó forgatókönyv szerint a VR/AR szektor árbevétele mindössze 23 milliárd dollár körül alakul majd. Ebben az esetben azt feltételezik, hogy számos olyan tényező lép majd fel, ami megakadályozza a technológia szélesebb körben való elterjedését, például a videójátékokhoz való kapcsolódásának elmaradása miatt.

A 3. ábra a VR/AR hardverpiacon bekövetkező eladásainak lehetséges forgatókönyveit mutatja 2025-ben.



3. ábra: VR/AR eladásának lehetséges forgatókönyvei a hardverek piacán, 2025

Forrás: Goldman Sachs Global Investment Research 2016. i. m.

### A VR/AR iparág tudományos és technológiai motivációja

A fent bemutatott piaci és gazdasági elemzések, statisztikák azt állítják, hogy a VR/AR iparág az okostelefonoknál is nagyobb és dinamikusabb iparaggá fejlődik. Más, tudományos elképzelések szerint az emberiség az információs és kommunikációs evolúciójának

egyik legnagyobb lépéséhez érkezett. Mindezek mögött meghúzódik az a tény, hogy a 21. századra soha nem látott számú technológia érte el egyszerre a technológiai érettség szintjét, és úgy tűnik, hogy ezek a technológiák mind szorosan kötődnek a VR/AR technológiákhoz, azokat gazdagítják, vagy a VR/AR megoldások jó lehetőséget adnak azok hatékony integrálására.

A Gartner-előrejelzések szerint a VR és AR már túl van a technológiai „berobbanáson”, és az ilyenkor várható technológiai és piaci „ülededés” végét járja. Várhatóan a VR 2–5, míg az AR 5–10 év alatt kerül „nagyüzemi” termelési és elterjedési fázisba.

A másik ok szintén a Gartner-előrejelzésekre vezethető vissza, amelyek megmutatják, hogy például az ember informatikai kiterjesztésével – *cognitive infocommunications*, *human augmentation*<sup>2</sup> – intelligens hangvezérléssel, 3D- és 4D-nyomatással és szkenneléssel, emberi gesztusokkal való irányítással, robotok és ember kapcsolatával, Big Data-vizualizációval, különböző AI-lények megalkotásával foglalkozó tudományterületek eredményei a technológiai robbanás fázisába léptek. Ezen területek eredményei és eszközei segítik az „üres” virtuális teret „berendezni” hatékony technológiákkal. És fordítva is igaz, hogy ezen technológiáknak igen jó piaci lehetőségeket biztosít a VR/AR megjelenése.

Harmadik összetevőnek tekinthető az, hogy a számítógépek teljesítménye, különös tekintettel a 3D-s grafikus számítási teljesítményre, jelentősen növekszik, amit maga a VR/AR ipari előrejelzése motivál. Továbbá a felhőtechnológiák és azon megoldható kollaborációk olyan mértékben letisztultak fejlesztés és használat szempontjából, hogy a VR/AR technológiák jól illeszthetők hozzá. Ez azért is fontos, mert az egyik legfontosabb célja a VR/AR technológiának, hogy távoli, akár valódi környezeteket is képesek legyünk összeilleszteni és abban kollaborálni.

A VR nem csak hardver, és nem csak grafikai szempontból jelent kihívást. Térbelisége és a benne használt fizikai analógiák miatt egy új és összetett kommunikációs eszközként is tekinthetünk rá, ezért fontos szerephez jutnak magasabb szintű informatikai és pszichológiai szempontok is, mint a térbeli kapcsolatokon keresztüli információszervezés vagy az emberi felfogóképesség modellezésének kérdései.

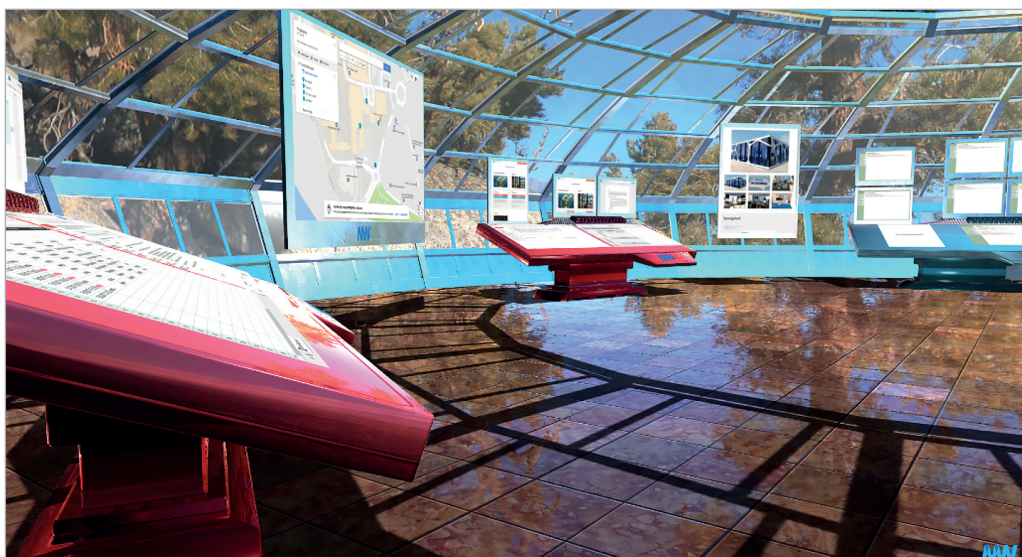
### **Miért fontos a VR/AR technológia a felhasználóknak?**

Az átlag mindennapi felhasználók számára is jelentős változást hoz a VR/AR technológia. Magyar tudósok kimutatták, hogy ugyanúgy, ahogy az 1990-es évek közepéig egyeduralgó karakteres felhasználói környezetet (DOS) leváltották a grafikus ablakos felületek (például Windows), úgy fogja leváltani az ablakokat a térbeli tartalmak megjelenése. Ahogy a DOS–Windows visszafordíthatatlan átmenet jelentős felhasználói teljesítménynövekedéshez vezetett, ugyanúgy okoz még ennél is nagyobb gyorsulást az ablakok-terek

<sup>2</sup> Baranyi Péter – Csapó Ádám: Definition and Synergies of Cognitive Infocommunications. *Acta Polytechnica Hungarica*, 9. (2012), 1; Baranyi Péter et al.: *Cognitive Infocommunications (CogInfoCom)*. Springer, 2015.

közötti átmenet. Ezzel kapcsolatban a magyar feltalálók által kifejlesztett MaxWhere elnevezésű 3D-s VR-platfornmot vizsgálta a Széchenyi István Egyetem VR-oktatással foglalkozó kutatócsoportja. A MaxWhere platfornon például a tipikus internetböngésző megjelenésétől jelentősen különbözik a weboldalak megnyitása. Az egyes oldalak nem az éppen esetleges megnyitás sorrendjében, a felhasználó számára „kényelmetlenül”, egymást fedően jelennek meg egy böngészőben, hanem azokat térben el lehet rendezni, tartalom szerinti logikus csoportosítást lehet kialakítani. Az „okos webtáblák” méretének beállításával a fontos és a kevésbé fontos információk jól elkülöníthetők válnak, így az átlátás, az időhatékony felhasználás jelentősen növelhető. Az így elhelyezett okos táblákba nemcsak weboldalak, de webalkalmazások is behívhatók, például kollaborációs alkalmazások, közös dokumentumszerkesztők (Google Drive, Office 365 stb.). A terek akár több felhasználó számára is lehetővé teszik a *real time* személyes jelenlétet, ezáltal megvalósítva a tértől és időtől független közvetlen kommunikációt, lehetőséget biztosítva az önálló és a csoportos munkavégzésre egyaránt.

Az intelligens rendszerek virtuális térben való együttműködése hatékonyan segíti az információszerzést, -feldolgozást, a problémamegoldást a kibővített valóság segítségével. Nagyobb, összetettebb projekt esetén több tér párhuzamos használata biztosítja a teljes projekt dokumentációját, az elemek elhelyezését, átlátását. A terek között ugyanúgy „egy klikkel” lehet váltani, mint a jelenlegi 2D-s operációs rendszerek ablakai között. Minden feladatra egy, a tartalomhoz illeszkedő professzionálisan berendezett VR-szobát használhatunk, erre mutat példát a 4. ábra. Anyagi korlátok nélkül bővíthetjük a monitorok számát a gyors átlátás érdekében, de akár folyamatszimulációkkal, 3D-s objektumok elhelyezésével, manipulációjával is növelhetjük a felhasználói élményt a hatékony munkavégzés, a tanulás vagy a felhőtlen szórakozás érdekében.



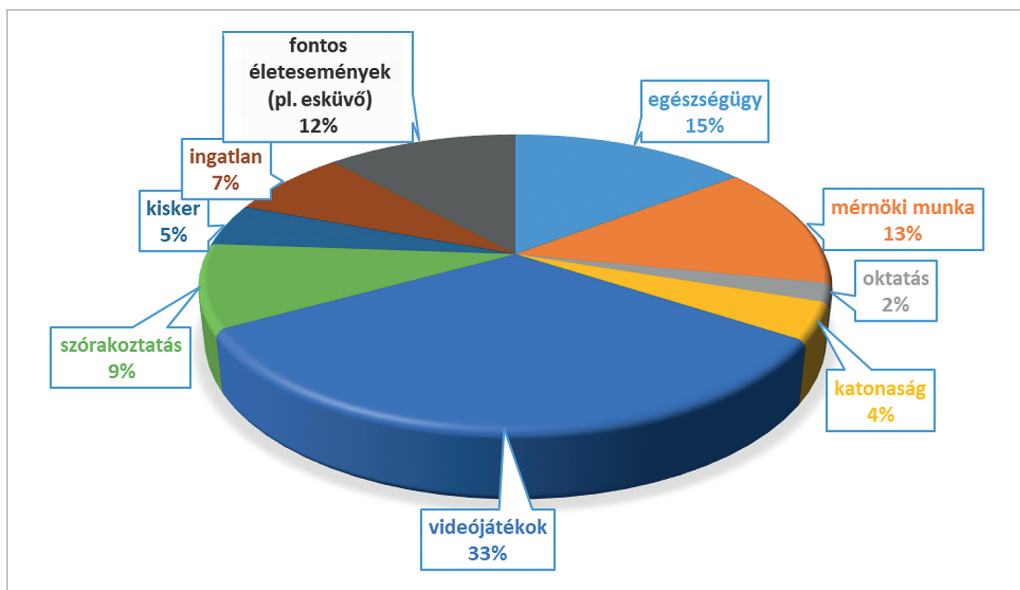
4. ábra: VR-munkakörnyezet MaxWhere-ben

Forrás: MaxWhere 3D Browser, 2020

A VR-terek nagy előnye az egyszerű használat mellett a gyors és egyszerű információ-megosztás lehetősége. Felhőből való letöltés után a teljes berendezett tér minden elemével azonnal rendelkezésre áll, így elkerülhető a rengeteg csatolt fájl részletekben történő elküldése, azok egyesével különböző felhasználói szoftverekben történő megnyitása. A MaxWhere segítségével a felhasználási sorrendről szóló hosszú magyarázó e-mailekre sem kell időt szánni a tartalommegosztáshoz.

A Széchenyi István Egyetem VR Learning kutatócsoportja mérésekre alapozva kimutatta, hogy a feladat összetettségétől függően a felhasználók 30–50%-kal hatékonyabban oldják meg a feladatokat ezen a virtuális platformon. Ennek a jelentős felgyorsulásnak köszönhetően hamarosan az operációs rendszerek felhasználói felületei is 3D-s megjelenésre fognak áttérni.

Castells *A hálózati társadalom kialakulása* című művében sugallja, hogy a technikai és technológiai változások sorozatának eredménye a tőke változása és az egyéni viselkedésmód változása. Az egyéni viselkedésmódot, szokásokat, gondolkodást a hétköznapiakban használt technológiák, alkalmazások befolyásolják, hosszú távon átalakítják. Ha az 5. ábrán áttekintjük a VR/AR szoftverek piacának becsült felhasználási területeit, akkor láthatjuk, hogy a szórakozás, az egészségügy, a kereskedelem, a mérnöki tervezés (építészet, közlekedés) és az oktatás életünk szinte minden területét behálózza. A kényelmes és könnyű használat a VR/AR alkalmazásokat hétköznapivá teszi, hasznosságukat a költségsökkentő, hatékonyságnövelő hatásuk teszi kézzelfoghatóvá, így elterjedésük, alkalmazásuk minden területen várható.

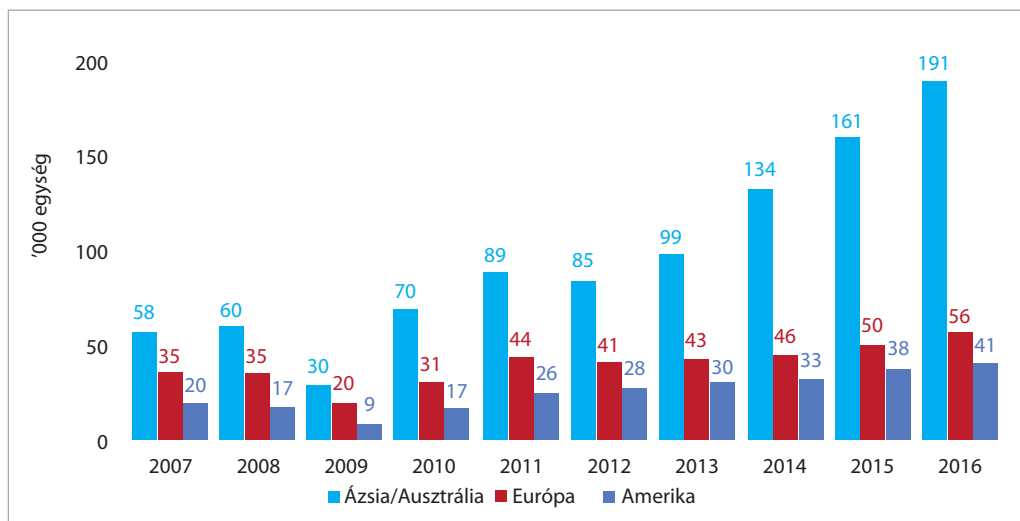


5. ábra: A VR/AR szoftverek piacának becslések szerinti megoszlása felhasználási területenként 2025-ben  
 Forrás: Goldman Sachs (2016): i. m., Portfolio

## A mérnöki tervezés, az ipari automatizálás és a robottechnika virtuális és kiterjesztettvalóság-vonatkozásai az ipar 4.0 tükrében

Ahhoz, hogy megértsük a jövő ipari alkalmazásait meghatározó trendeket, érdemes áttekinteni az automatizált gyártás fejlődésének sarokköveit.

A robottechnika fejlődéstörténete szorosan összefügg az automatizált gyártás történetével, hiszen sokáig elsősorban a termelési hatékonyság és precizitás fokozása motiválta a robotok fejlődését. Az első ipari robotok megjelenése az 1950-es évektől kibontakozó átalakulásnak köszönhető, amikor a digitális számítógépeket először alkalmazták automata forgácsoló szerszámgépek vezérlésére, megalapozva ezzel a CNC- (*computer numerical control*) technológiát.<sup>3</sup> Az ipari robotkarok a vezérlés és hajtás szempontjából nagyon hasonlóak az automatizált szerszámgépekhez. A különbség elsősorban a szerkezeti kialakításukban rejlik, amit az igénybevételek nyilvánvaló eltérése indokol. Ettől függetlenül esetenként használnak robotkart bizonyos forgácsolási feladatokra is.<sup>4</sup> Az első ipari robot, az Unimate prototípusa 1959-ben kezdett működni a General Motors trentoni üzemében.<sup>5</sup> Ez a mai szemmel nézve kezdetleges berendezés indította el az ipari robotok tömeges alkalmazását, aminek eredményeként ma évente közel háromszázezer új robotot állítanak üzembe tartósan 10%-ot meghaladó piaci növekedés mellett, ami a 6. ábrán látható.<sup>6</sup>



6. ábra: Ipari robot-eladások régiók szerinti bontásban

Forrás IFR: *Executive Summary World Robotics 2017: Industrial Robots*, 2017

<sup>3</sup> Bruno Siciliano – Oussama Khatib: *Springer Handbook of Robotics*. Springer, 2016.

<sup>4</sup> Yonghua Chen – Fenghua Dong: Robot Machining: Recent Development and Future Research Issues. *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 66. (2013), 9–12.

<sup>5</sup> John Mortimer – Brian Rooks: *Introduction in the International Robot Industry Report*. Berlin–Heidelberg, Springer, 1987.

<sup>6</sup> IFR [International Federation of Robotics]. 2018.

A robotok gyors elterjedése ellenére a 60-as éveket követően sokáig nem következett be lényeges paradigmaváltás a szolgáltatások és alkalmazási lehetőségek tekintetében. Egészen a 80-as évekig leginkább a robotok struktúrája, kinematikai felépítése, valamint a vezérlők és hajtások kialakítása fejlődött. Sok zsákutcát érintve kialakult az a máig általánosnak tekinthető forma, amely az ipari robotok többségét jellemzi (7. ábra). Ezek a robotok kiválóan alkalmasak az ismétlődő munkafolyamatok nagy megbízhatóságú megvalósítására olyan elzárt környezetben, ahol minden körülmény pontosan ismert, és nem fordulnak elő váratlan események (strukturált környezet).

A vezérlés és hajtás méretcsökkenésén és a megbízhatóság növekedésén túl nem történt érdemi változás a nagy teljesítményű számítógépek elterjedéséig. Ugyanis az 1990-es években ez tette lehetővé olyan összetett vezérlések létrehozását, amelyek már a program futása közben mért paraméterek alapján képesek befolyásolni a robotkar működését (például varratkövetés hegesztőrobotoknál).<sup>7</sup> Ez a fajta intelligencia jelentősen kiterjesztette a robotizálható feladatok körét, viszont a strukturált környezet továbbra is szigorú követelmény maradt.

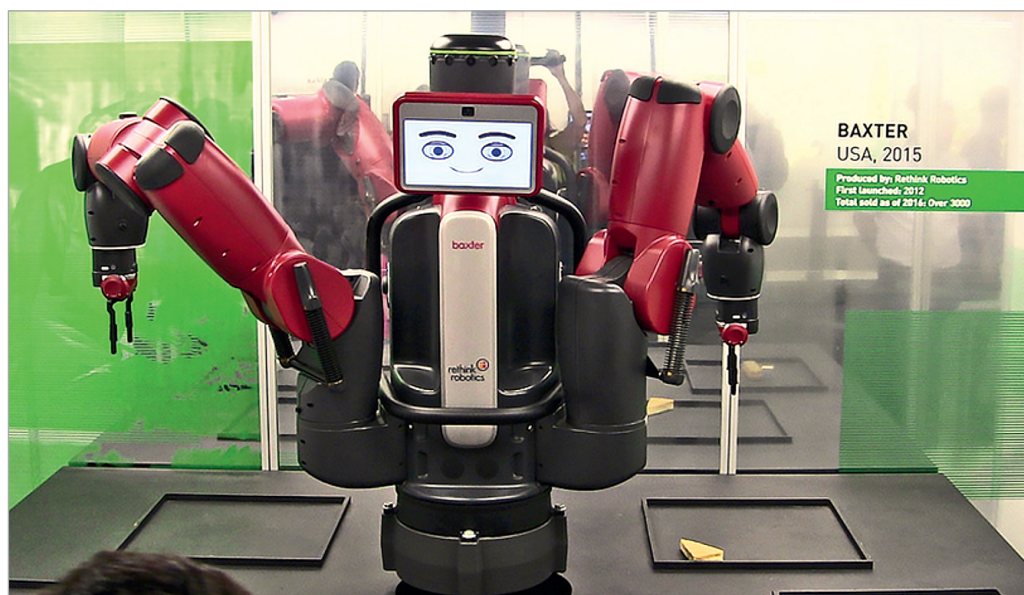


7. ábra: Jellemző ipari robotkarok, vezérlő és programozó konzol

*Forrás: a szerzők szerkesztése*

Az igazi paradigmaváltásnak napjainkban lehetünk tanúi. Több tudományterület együttes fejlődésének és a kialakuló erős szinergiáknak köszönhetően a robotok lépésről lépésre képessé válnak a környezetük érzékelésére. Ennek köszönhetően lehetőség nyílik a strukturált környezetből történő kilépésre, a halhatatlan robotos gyártócellákat körülvevő kerítések elhagyására, és olyan robotalkalmazásokat alakíthatunk ki, amelyekben a robot és a humán dolgozók közös munkatérben tevékenykednek, akár együtt végrehajtva bizonyos munkafolyamatokat. Ezt az új paradigmát nevezzük kollaboratív robotikának, ami számos merőben új kihívást állít a robotrendszerek fejlesztői és általában az ipari ökoszisztéma elé (8. ábra).

<sup>7</sup> Jae Seon Kim et al.: *A Robust Method for Vision-Based Seam Tracking in Robotic Arc Welding*. Proceedings of Tenth International Symposium on Intelligent Control, 1995.



8. ábra: A Rethink Robotics kollaboratív robotja

Forrás: Sharon VanderKaay

Az emberek, a hagyományos és kollaboratív robotok, automatizált logisztikai rendszerek és gyártóberendezések integrált világában, az ipar keresi az új megközelítéseket a komplex tervezés, irányítás és felügyelet megvalósítására, hiszen a korábbi technológiák és gyakorlatok már nem elég hatékonyak.<sup>8</sup>

A jövő gyárai olyan kiberfizikai rendszereknek tekinthetők, ahol az emberek által megvalósított tervezői, felügyeleti és operátori funkciók minden rétege összeolvad az informatikai rendszerek szolgáltatásaival. A humán intelligencia és a gépi intelligencia találkozása az a terület, ahol a virtuális és kiterjesztett valóság egy fontos eszközzé válik a hatékony együttműködésben.<sup>9</sup>

A VR- és AR-technológiák piaci trendjeit vizsgálva látható, hogy a területet komoly elvárások övezik. A Digi-Capital adatai szerint<sup>10</sup> a VR/AR befektetések volumene 2017-ben meghaladta a 3 milliárd dollárt, amelynek több mint fele a negyedik negyedévben realizálódott. 2018-ban ez a mérték tovább emelkedett, meghaladta a 7,2 milliárd dollárt. A Business Insider előrejelzése szerint<sup>11</sup> az iparágban értékesített termékek és szolgáltatások összértéke 2021-ben meghaladja a 200 milliárd dollárt.

A következő alfejezetekben áttekintjük azokat a funkciócsoportokat, ahol a VR- és AR-technológiák kiemelten fontos szerephez jutnak.

<sup>8</sup> Monostori László: Cyber-Physical Production Systems: Roots, Expectations and R&D Challenges. *Procedia CIRP*, 17. (2014).

<sup>9</sup> Galambos Péter et al.: Design, Programming and Orchestration of Heterogeneous Manufacturing Systems Through VR-Powered Remote Collaboration. *Robotics and Computer Integrated Manufacturing*, 33. (2015).

<sup>10</sup> *Digi-Capital*. 2018.

<sup>11</sup> Rayana Hollander: Here's Why AR and VR Are Set to Take Off. *Business Insider*, 2017. augusztus 9.

## Számítógépes grafika a műszaki megoldásokban és a szórakoztatóiparban

A VR- és AR-megoldások professzionális műszaki alkalmazásai meglehetősen lassan terjednek el az ipari gyakorlatban, ami több okra vezethető vissza. Egyfelől az ipar meglehetősen konzervatívan áll az új informatikai vívmányokhoz, hiszen a nagy fokú üzembiztonsági kényszer és a nagyvállalati kultúra megfontoltsága nem teszi lehetővé az impulzív irányváltásokat. A másik ok műszaki jellegű, és mélyen a számítógépes grafika fejlődésében találjuk meg.

A műszaki alkalmazásokban kezdetektől fogva (az 1980-as évektől) a CSG (*constructed solid geometry*), majd később az úgynevezett határfelület-reprezentáció, a B-Rep (*boundary representation*)<sup>12</sup> vált egyeduralgódóvá. Valamennyi modern CAD-szoftver valamely geometriamodellező mag (*geometry modeling kernel*) köré épül, és a teljes piacot néhány megoldás uralja. Ezek közül említendő a két legelterjedtebb, a Parasolid és az ACIS.<sup>13</sup> A 3D-s CAD-rendszerekben használt műveletek és a valós idejű, dinamikus megjelenítés mögött ezekben a kernelekben futó nagymértékben optimalizált algoritmusok rejlenek, amelyek kidolgozása évtizedeket vett igénybe.

Ezzel szemben a számítógépes játékok világa és az ebből kifejlődő VR- és AR-megjelenítést támogató grafikai motorok (Unity, Unreal, Ogre3D stb.) a térbeli objektumok polygon reprezentációjára épülnek.<sup>14</sup> A tipikus virtuálisvalóság-alkalmazásokban nem cél a modellek valós idejű precíz módosítása és egyidejűleg egy tulajdonságalapú leírás karbantartása, ami viszont elsődleges a CAD-rendszereknél. A szórakoztatás céljára készülő alkalmazások polygon modelljeit megjelenítő szoftverek elsősorban az árnyalás minél inkább fotorealistikus megvalósítására törekednek.

A két világ sokáig párhuzamosan fejlődött, és ma igen távol állnak egymástól azok a szoftverkörnyezetek és platformok, amelyek a két alkalmazáscsoport igényeit szolgálják ki. A szakadék áthidalására sok megoldási javaslat születik,<sup>15</sup> de a valós idejű és teljesen asszociatív átjárás megvalósítása máig megoldatlan feladat.

A CAD-rendszerekből a VR-megjelenítés felé történő átjárásra az egyik legígéretebb megoldás a Siemens PLM által létrehozott JT-formátum.<sup>16</sup> A JT-állományok magukban foglalják az összetett hierarchikusan felépülő objektumok tömör B-Rep-leírását és az ebből generált polygon modellváltozatokat, amelyekből akár valós időben kvázi tetszőleges pontosságú polygon reprezentáció generálható. Mindemellett képes a gyártási információk és egyéb metaadatok tárolására is. Hátránya, hogy sem a szabvány, sem pedig a formátumot támogató szoftverek nem ingyenesek, ami gátja az általános elterjedésnek.

<sup>12</sup> Ian Stroud: *Boundary Representation Modelling Techniques*. London, Springer, 2006.

<sup>13</sup> *Geometric Modeling Kernel*. 2017.

<sup>14</sup> Ronald Goldman: *An Integrated Introduction to Computer Graphics and Geometric Modeling*. I. Boca Raton, CRC Press, 2009.

<sup>15</sup> Yongmin Zhong et al.: A Methodology for Solid Modelling in a Virtual Reality Environment. *Robotics and Computer Integrated Manufacturing*, 21. (2005), 6; Sascha Brandt et al.: *Automatic Derivation of Geometric Properties of Components from 3D Polygon Models*. ASME Conferences Proceedings, 2017.

<sup>16</sup> Alfred Katzenbach et al.: JT format (ISO 14306) and AP 242 (ISO 10303): The Step to the Next Generation Collaborative Product Creation. In *Digital Product and Process Development Systems*. Berlin–Heidelberg, Springer, 2013.

## Terméktervezés és virtuális prototípus

A termékélelciklus- (*product life cycle* – PLM) szemlélet a termékötlettől a forgalomból történő kivonásig követi a termékek sorsát. A teljes folyamat első átfogó fázisa a termék-fejlesztés, amelyben nagy szerepe van a számítógépes tervezésnek (CAD), szimulációknak (CAE) és végül a prototípusoknak. A mai korszerű CAD-, CAM- és CAE-rendszerek lehetővé teszik a virtuális prototípusok készítését, amivel jelentős költségek takaríthatók meg. A legújabb PLM-rendszerekkel kapcsolatos kutatások a konkurens tervezési paradigma fejlesztését célozzák, ezzel is kiterjesztve a virtuális termékfejlesztés lehetőségeit és a virtuális prototípusok alkalmazási körét.<sup>17</sup>

A hagyományos sík kijelzőkön megvalósított 3D-megjelenítés mellett kimagasló érdeklődés mutatkozik az immerzív VR-kijelzők alkalmazása iránt. A két legnépszerűbb terméket, az Oculus Rift és a HTC Vive termékeket elsődlegesen a fogyasztói szegmens (videójátékok, filmek) számára tervezték, de a pozíciókövetés és a megjelenített kép minősége alkalmassá teszi őket akár professzionális felhasználásra is. Elérhetőségüknél fogva a kisebb vállalatok számára is megnyílik az út a VR-alkalmazások felé, hiszen nincs szükség nagy értékű, vetített immerzív környezet (CAVE) kialakítására.<sup>18</sup>



9. ábra: VR-megjelenítést támogató CAD-alkalmazás

Forrás: [VR4CAD](#). 2020

<sup>17</sup> Bingjian Liu et al.: Real-Time Integration of Prototypes in the Product Development Process. *Assembly Automation*, 33. (2013), 1; Monica Bordegoni – Francesco Ferrise: Designing Interaction with Consumer Products in a Multisensory Virtual Reality Environment. *Virtual and Physical Prototyping*, 8. (2013), 1; Bo Hu Li et al. (szerk.): *Multi-Disciplinary Virtual Prototype Modeling and Simulation Theory and Application*. Hauppauge, Nova Science, 2012; Khadija Tahera et al.: Integrating Virtual and Physical Testing to Accelerate the Engineering Product Development Process. *International Journal of Information Technology and Management*, 13. (2014), 2–3; J. M. Huang et al.: Real-Time Finite Element Structural Analysis in Augmented Reality. *Advances in Engineering Software*, 87. (2015).

<sup>18</sup> Maxime Cordeil et al.: Immersive Collaborative Analysis of Network Connectivity: CAVE-Style or Head-Mounted Display? *IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics*, 23. (2017), 1.

Mindemellett felmerül a kérdés, hogy miért van szükség az immerzív 3D-élményre a műszaki tervezésben. Az elsődleges indok a tervezők igénye, hogy láthassák a terméket tökéletes életnagyságban és kiterjedésben anélkül, hogy megfogható prototípus készülne (9. ábra). Az ilyen virtuális prototípusok segítségével a cégek nemcsak kiadásokat spórolnak meg, hanem gyorsíthatják a döntéshozást a rövidebb tervezési ciklusoknak köszönhetően. Egy autókoncepció esetén igen jelentős, akár több tízmillió forint költségről és több hónapos időigényről beszélhetünk.

A látvány mellett nagyon fontosak a termékek digitális modelljein elvégezhető egyszerű vizsgálatok, mint például a szerelhetőség,<sup>19</sup> a hozzáférhetőség<sup>20</sup> vagy az ergonómiai megfelelőség<sup>21</sup> ellenőrzése. Ezek a vizsgálatok a legkülönbözőbb termékkategóriákban értelmezhetők a bútoroktól egészen az kritikus energetikai infrastruktúráig.

További fontos aspektus a kollaboráció lehetősége. Az egyszereplős munkafolyamatok mellett lehetőség van a munkamenetek összekapcsolására, amelynek eredményeként egy VR-környezetben több résztvevő is lehet egy időben.<sup>22</sup> A földrajzi távolságok áthidalásával a multinacionális vállalatok elosztott csapatai lényegesen hatékonyabban tudnak együtt dolgozni. Több szereplős VR-munkamenetek támogatására egyre több szoftvermegoldás létezik. A Cavnus<sup>23</sup> vagy az improov3<sup>24</sup> megoldása több résztvevő csatlakozását teszi lehetővé megosztott mérnöki VR-tartalmakhoz. Hasonló lehetőségeket biztosít a hazai fejlesztésű MaxWhere is integrálva a népszerű online kollaboratív eszközök lehetőségeit.

## A virtuális valóság szerepe az ipari kiberfizikai rendszerekben

Az ipar 4.0 koncepciókat megvalósító ideális gyár, a termelőeszközök, valamint a gyártási folyamatokat, anyag- és energiaáramlásokat önállóan szabályozó hardver- és szoftver-infrastruktúra egysége. Ebben a nagymértékben elosztott önszervező struktúrában az elemek valós időben kommunikálnak egymással és a humán résztvevőkkel egyaránt, igénybe véve a legkorszerűbb szenzortechnológiát, az Internet of Things- és a felhőszámítási lehetőségeket. Mindezek révén soha nem látott mértékben optimalizált termelési folyamatot, minimalizált raktárkészletet és a tömeges termelés rugalmas testreszabhatóságát érhetjük el.<sup>25</sup>

<sup>19</sup> Nirit Gavish et al.: Evaluating Virtual Reality and Augmented Reality Training for Industrial Maintenance and Assembly Tasks. *Interactive Learning Environments*, 23. (2015), 6.

<sup>20</sup> Francesco Ferrise et al.: Prototyping Strategies for Multisensory Product Experience Engineering. *Journal of Intelligent Manufacturing*, 28. (2017), 7.

<sup>21</sup> Susanna Aromaa – Kaisa Väänänen: Suitability of Virtual Prototypes to Support Human Factors/Ergonomics Evaluation During the Design. *Applied Ergonomics*, 56. (2016).

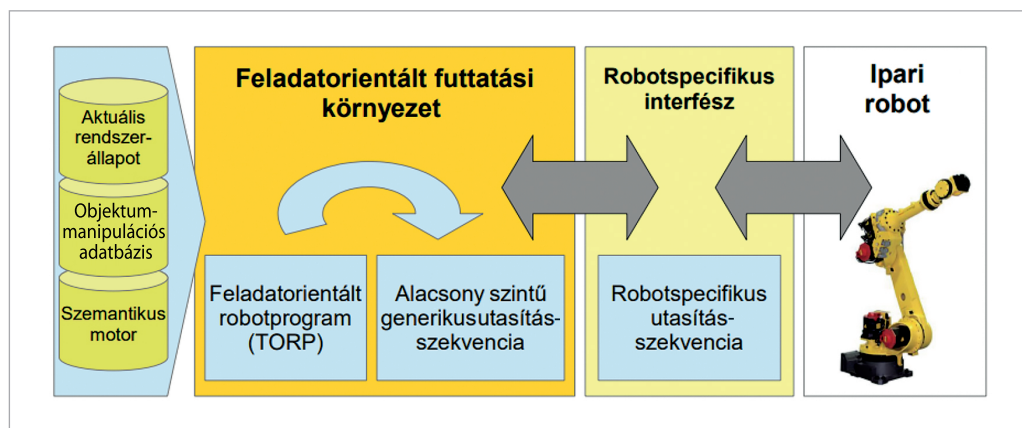
<sup>22</sup> Galambos et al. (2015): i. m.; Scott W. Greenwald et al.: *Multi-User Framework for Collaboration and Co-Creation in Virtual Reality*. Cambridge, MIT Libraries, 2017.

<sup>23</sup> Cavnus. 2020.

<sup>24</sup> Improov3. 2020.

<sup>25</sup> Alfredo Alan Flores Saldivar et al.: *Industry 4.0 With Cyber-Physical Integration: A Design and Manufacturing Perspective*. 21st International Conference on Automation and Computing (ICAC), IEEE Xplore, 2015; Mario Hermann et al.: *Design Principles for Industrie 4.0 Scenarios*. 49th Hawaii International

Az ilyen kiberfizikai termelési rendszerekben a virtuális valóság szerepe messze túlmutat az immerzív vizualizáción. A VR-tér felfogható a termelési folyamatok lényeges részleteit nyilvántartó adatbázisként, amelybe betáplálhatók és onnan kinyerhetők a látható (például objektumpozíciók) és a nem láthatók (például gyártási metainformációk, hőmérsékletek, adatforrás pontosságára vonatkozó adatok stb.) egyaránt. Ehhez a valós időben működő generikus referencia-adatbázishoz csatlakoznak azok az adatszolgáltatók/szenzorok és adatigénylő/döntéshozó, illetve végrehajtó modulok, amelyek a rendelkezésre álló erőforrásokat kihasználva önállóan képesek a folyamatok megszervezésére. A 10. ábra egy irányítási rendszer sémáját mutatja, amely az aktuális rendszerállapot, az objektumok manipulálásának módját leíró tudásbázis és egy szemantikus információforrás segítségével „röptében” képes előállítani és végrehajtani az intelligens termelészközök programját.



10. ábra: Feladatorientált programozáson alapuló valós idejű utasításgenerálás sémája

Forrás: Galambos et al. (2015): i. m.

Ez a séma azt feltételezi, hogy a folyamatban részt vevő szenzorok, döntéshozó és beavatkozó szervek képesek általánosított interfészekon kommunikálni, így megvalósítva egy gyártófüggetlen IoT-modulokból felépülő kiberfizikai gyártórendszert.

A legkorszerűbb *mixed reality*-megjelenítők és az említett generikus adatbázis segítségével új típusú ember-információ interakciók hozhatók létre. Gondoljunk csak arra, hogy egy üzemet végigjárva milyen adatok jeleníthetők meg egy gépcsoportot távolról szemlélve (termelékenységi adatok, ütemezés stb.), vagy közelebbről megfigyelve egy konkrét berendezést (ütemezett karbantartás, szerszámhőmérséklet, kihasználtság stb.). Az ilyen és ehhez hasonló kontextusérzékeny megoldások új távlatokat nyitnak az ember és az intelligens gyár közötti interakcióban.<sup>26</sup>

Conference on System Sciences (HICSS), 2016; Henning Kagermann: *Recommendations for Implementing the Strategic Initiative INDUSTRIE 4.0*. Frankfurt, Forschungsunion–Acatech, 2013.

<sup>26</sup> Ryan P. Spicer et al.: *The Mixed Reality of Things: Emerging Challenges for Human-Information Interaction. Next-Generation Analyst*, 5. (2017), 10207, 102070A.

## Oktatás az iparban

A robotok és más intelligens gyártóeszközök kezelőinek képzése jelentős nehézség mind a végfelhasználó vállalatok, mind pedig a robotgyártók számára. Ez a folyamat hagyományosan olyan képzőközpontokban történik, ahol a valós ipari környezetet utánzó oktatócellákat építenek fel és üzemeltetnek. A tréningcentrumok fenntartása rendkívül költséges, ami természetesen beépül az eszközök árába. A hagyományos megközelítés egyre kevésbé fenntartható, hiszen az üzembe állított robotok számának növekedésével (évi ~16% körül) az üzemeltetéshez szükséges operátorok száma is szükségszerűen nő. A jelenlegi képzési gyakorlat fő nehézségeit az alábbi pontokban foglaljuk össze:

- Nagy alapterületű képzőközpontok üzemeltetésének magas költsége.
- Általában nem megoldható egy-egy gyártó összes típusának üzemeltetése az oktatóközpontokban.
- Az imitált gyártócella kialakítása nem rugalmas, így csak a feladatok egy szűk halmazának megismertetésére alkalmas.
- A képzőhelyek földrajzilag központosítva vannak, így a képzésben részt vevőket utaztatni kell.
- Kihelyezett oktatásoknál nagyon limitált a demonstrációs eszközök választéka.
- Kihelyezett képzés esetén tipikusan csak egy oktató van jelen, aki nem feltétlenül szakértője valamennyi témának, ami a képzésen felmerülhet.
- A valós fizikai eszközök használata balesetveszélyt jelenthet különösen a gyakorlati oktatás kezdeti szakaszában.
- Amennyiben a termelővállalat saját infrastruktúráján valósítja meg az operátorok és mérnökök betanítását, akkor külön erre a célra üzemeltetett gépeket és üzemi területet kell fenntartani, vagy a termelőberendezéseket kell részben/egészben kivonni a termelésből a képzés idejére. Mindkét eset igen jelentős költséget jelent.

A fenti felsorolást a robotgyártók magyarországi képviseleteinek szakembereivel, illetve végfelhasználókkal folytatott interjúk alapján állítottuk össze. Ezen nehézségek feloldására észszerű lehetőséget biztosít a VR-, illetve AR-elemekkel kiegészített hagyományos telekommunikáció. Ehhez hasonló rendszerek megvalósítására több példát is találunk a piacon, amelyek technológiájukat tekintve akár robotos szegmensben is használhatók. Ezek közül néhányat az alábbiakban ismertetünk.

A Reviattech,<sup>27</sup> egy 2008-ban alapított francia vállalkozás tréningekhez szükséges szoftverek fejlesztésével foglalkozik, ezeknek széles skáláját forgalmazza, felhasználva a 3D és a virtuális valóság technológiáját. 2015-ben a teljes forgalmuk mintegy 194 049 euró volt. Referenciáik között említik a Continental és a DCNS vállalatokat. A szolgáltatásaik fókuszra a gyártási folyamatban szereplő gépek használatának és karbantartásának oktatása a vállalatok dolgozói számára.

Megoldásuk lényegét a tréningsszimulációkhoz szükséges eszközök és szoftverek képezik. Szolgáltatásként vállalják ezek telepítését a megrendelőhöz, a tartalmak kialakítását

<sup>27</sup> ReviaTech. 2020.

a vevő igényeihez igazítva (gyártóeszközök és irányítópanelek pontos mása, 1 : 1 méretben). A vevő részt vehet a tréningfolyamat részleteinek kialakításában. A szimulációs oktatás adatait a szoftver rögzíti, így a vállalatmenedzsment azonnali visszajelzést kap a tanulók előrehaladásáról és adott esetben a gépek kezelési és fenntartási nehézségeiről.

A 3D-vizualizáció jelentőségét időben felismerő ausztrál startup a 2000 óta működő Sencom.<sup>28</sup> Sentient nevű szoftverük célja a 3D-s technológiák segítségével megoldást nyújtani a szakképzett munkaerő-kiképzés problémáira. Fejlesztései főleg a kitermelőipari ágazat szereplőire koncentrálnak, de akár szélesebb körben is alkalmazhatók. 2015-ben elnyerte a KPMG Energise Acceleration Program százezer dolláros fődíját. Szolgáltatási körének csak egy részét képezik a VR-tréningek, ezen belül is a balesetvédelem áll a középpontban. Szoftvereikben konkrét ipari környezetet valósítanak meg a virtuális térben, ahol a tanuló elsajátíthatja a munkafolyamatokat, egyes gépek kezelését, és megtapasztalhatja, hogy egyes döntései az adott körülmények között milyen következménnyel járnak. Mindezen tudást biztonságos körülmények között sajátíthatja el.

Az XVR Simulation<sup>29</sup> (Hollandia) tréningjei több területen kínálnak szolgáltatásokat, például iskoláknak, oktatási központoknak, mentőszolgálatoknak, ipari üzemeknek. A XVR által fejlesztett tréningek középpontjában a biztonság és balesetvédelem áll. A virtuális szcenáriók célja, hogy egy adott ipari vagy infrastrukturális létesítmény személyzete veszélyhelyzetben összehangoltan tudja kezelni a fellépő krízist egymással és akár külső mentőszolgálatokkal összhangban.

A Vroom Virtual Reality Training Toolkit<sup>30</sup> programja lehetővé teszi egy adott termék felépítését a virtuális térben a CAD-modellek alapján, ami ezt követően kipróbálható akár számítógépen, akár fejlett VR-eszközökön keresztül. Segítségével már azelőtt elkezdhető a gépek/eszközök gyakorlati használata, hogy azokat megépítsék. A készítő szerint az applikáció könnyen használható, tartalma rugalmasan módosítható, igazítható a felhasználó igényeihez, élethű, biztonságos és felhasználóbarát.

A kisebb techcégek mellett a tradicionális nagyvállalatok is fejlesztenek termékeket VR-alapú tréninghez. A Siemens által jegyzett COMOS Walkinside<sup>31</sup> több releváns területen alkalmazza a VR-technológiát: a Walkinside Builder például ipari üzemek vagy gépek műszaki tervezéséhez, kezeléséhez, fenntartásához állít elő 3D-s VR-modellt, míg a Walkinside ITS (Immersive Training Simulator) üzemi gépkezelők képzéséhez nyújt interaktív környezetet, aminek segítségével javítható a csapat teljesítménye és kommunikációja, valamint könnyebben átlátható az üzem átfogó működése, ami megkönnyíti a tervezést. Az ITS-t felszerelték egy vizuális szerkesztővel, aminek a segítségével személyre szabhatók a megjeleníteni kívánt szituációk és a környezet. A rendszer illeszkedik a Siemens PLM ökoszisztémájába, ami mindenre kiterjedő átfogó megoldást jelenthet nagyvállalatok számára. Az ilyen komplex és összefüggő rendszerek viszont kevésbé rugalmasak, nehezen illeszthetők más gyártók szoftvereihez.

<sup>28</sup> Sentient. 2020.

<sup>29</sup> XVR Simulation. 2020.

<sup>30</sup> Vroom. 2020.

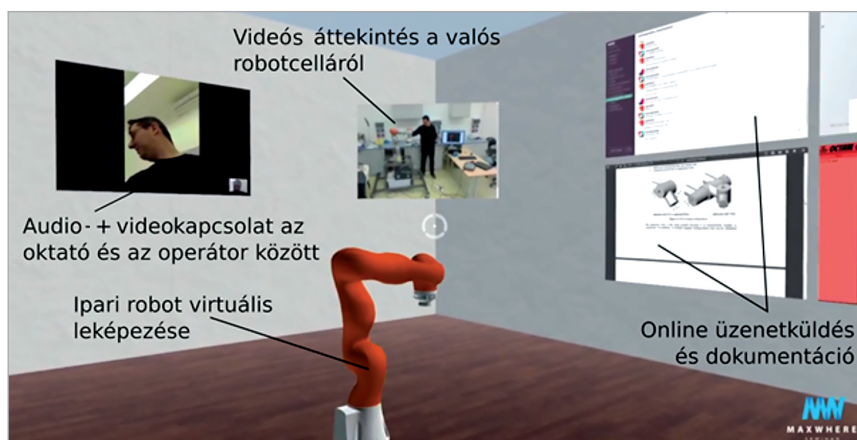
<sup>31</sup> Siemens Comos Walkinside. 2020.

A Siemensnél valamivel átfogóbb motiváció mentén kezeli VR-fejlesztéseit a francia Dassault Systèmes. A HTC VR-szemüveg-gyártóval kötött partnerség keretében fejlesztik a 3DEXPERIENCE-platformot,<sup>32</sup> amely tervezés-, analízis- és üzletiintelligencia-alkalmazásokhoz nyújt VR-felületet. Ez a platform is integrálni igyekszik a szoftervállalat többi termékét, ami a termékéletciklus szinte minden részterületére kiterjed, viszont a tréning nem szerepel a kiemelt szolgáltatások körében.

Az eddig bemutatott szoftvereszközök műszaki alapjait tekintve alkalmasak a robotok VR-megjelenítésére, de a kiegészítő szolgáltatások (audio- és videokapcsolat, adatforrások integrálása stb.) terén nem kínálnak rugalmas lehetőségeket. Az előző fejezetekben ismertetett MaxWhere keretrendszer rugalmas programozhatósága és már alapkiépítésben rendelkezésre álló multimodális integrációt megvalósító szolgáltatásai különösen alkalmasak teszik VR-képzést a távoli műszaki támogatást biztosító szoftvermegoldás kialakítására.

A MaxWhere képességei révén a hagyományos ipari oktatási megközelítés több problémájára is választ találunk, amelyeket az alábbi pontok szemléltetnek:

- Tetszőleges komplexitású oktatási terek alakíthatók ki, amelyekkel lefedhető az iparban felmerülő valamennyi alkalmazás.
- Az oktatónak nem kell a tréning helyszínén fizikailag jelen lenni, így sok utazás, valamint az ezzel járó holtidő és közvetlen költség takarítható meg.
- Az oktató munkaideje jobban kihasználható, mivel egy nap akár több helyszínen folyó oktatást bonyolíthat.
- Minden oktatási egységhez a legalkalmasabb oktató rendelhető akár egy oktatási napon belül.
- Egy robot- vagy szerszámgépgyártó összes típusa reprezentálható a VR-ban, ami a legnagyobb tréningközpontokban sem reális.



11. ábra: Ipari robot kezelésének oktatása a MaxWhere-ben megvalósított integrált távoli oktatási környezetben

Forrás: MaxWhere – RoboX. 2020

<sup>32</sup> 3D Experience. 2020.

A weblapú interaktivitás és a VR adta lehetőségek ötvözésével kialakíthatók speciális kontextusoknak megfelelő terek. Ilyen kontextusok lehetnek a következők: felhasználói és karbantartó kézikönyv; önállóan feldolgozható tananyagelemek; távoktatási környezet. Mindegyik alkalmazási módozathoz elérhetők a hang-, video- és szövegalapú kommunikációs csatornák a távoli támogatás igénybevételéhez. A 11. ábra a MaxWhere-ben, egy korszerű kollaboratív robotcellához kialakított távoli műszaki támogatási teret szemléltet.

## VR az oktatásban

Ezt az alfejezetet azoknak az oktatáspolitikai döntéshozóknak, oktatási szakembereknek ajánljuk, akik megoldást keresnek a PISA-mérések magyarországi vonatkozású eredményeinek javítására, nyitottak az új generációhoz tartozó diákok digitális életének oktatási rendszerben való hasznosítására, költséghatékony „beruházással” kívánnak eredményt elérni a hallgatói teljesítmény javítása, az oktatás élményszerűvé tétele és a munkaerőpiaci elvárások teljesítése területén.

*Mottó: A tanítás a legjobb módja annak, hogy valami újat tanuljunk.* A hálózatosodás, a globalizálódó gazdaság, a munkahelyi mobilitás, a technikai, technológiai fejlődés felgyorsulása napjainkra az oktatási intézményeket is versenyhelyzetbe hozta. A szakképzés és a felsőoktatás piacorientáltságából adódóan megjelent, majd felerősödött az oktatás szolgáltató szerepe. Szolgáltatás a diákok, a hallgatók mint leendő munkavállalók felé, valamint a piaci cégek mint munkaadók felé.

Mark Prensky a 2001-ben megjelent *Digitális bennszülöttek, digitális bevándorlók* (*Digital natives, digital immigrants*) című kétrészes cikkében<sup>33</sup> felhívja a figyelmet arra, hogy az új vizuális médiában gazdag és infokommunikációs technológiával átszőtt környezetben felnövő gyermekek agya másképp fejlődik, ezért viselkednek másképp, mint a korábbi generációkhoz tartozó diákok. Az információhoz való gyors hozzáférés következtében a párhuzamos információfeldolgozás, párhuzamos terhelhetőség, a nem lineáris feldolgozási mód és a belső tanulási motiváció jellemzi a mai diákokat.

A globalizálódó gazdaságban a kormányzati vezetők és a piaci szereplők, az innovációra éhes munkaadók nemzetközi szinten egyre nagyobb számban igénylik a nagyobb hatékonyság és a termelékenység fokozása érdekében a technikai újdonságok oktatási anyagba történő integrálását, az újító, kreatív, problémamegoldó gondolkodással rendelkező munkaerő képését.

Az új kihívások más oktatási stratégiát, módszereket oktatási környezetet és tananyagtartalmat igényelnek. Prensky szerint: „A fantáziával, a kreativitással, az innovációval és a digitális bölcsességgel teli új világ földszintjén vagyunk, a jövő oktatását kell létrehoznunk.”

<sup>33</sup> Marc Prensky: *Digital Natives, Digital Immigrants. On the Horizon*, 9. (2001), 5.

## **Befektetés a jövő oktatásába**

A 21. századra a technológiák egyre fontosabb részét képezik osztálytermeknek, az oktatás mindennapi részévé váltak. Az oktatás technológiai háttérébe, az Edtech-be való óriási beruházás oka a tudásalapú tartalomfejlesztés és felhasználás igényének felerősödéséhez köthető. Ezek a fejlesztések már nemcsak a hagyományos közoktatást, felsőoktatást célozzák meg, hanem piaci térhódításuk a vállalati tréningek, továbbképzések területére is kiterjed.

Az Edtech-ek, mint például a virtuális tanterem, a mobil eszközök, a digitális olvasók, az on-demand videók, az online játékok és a felhőalapú LMS-ek olyan piacot táplálnak, amely az innováció iránt továbbra is éhes. A mobil eszközök beáramlásával és a rövid, objektumalapú oktatási tartalom iránti kereslet növekedésével az e-learning piac gyorsan növekedett. A Global Industry Analysts (GIA) 2015 végén 107 milliárd dollárra értékelte a globális e-learning piacot mint az egyik legköltséghatékonyabb oktatási megoldást, amelyet a cloud computing technológiai fejlesztések és a vezetékek nélküli és mobil eszközök által befolyásolt további fejlesztések iránti igény követett. A további költséghatékony tényezőket felsorakoztató VR- és AR-fejlesztések még nagyobb tőkeinjekcióval fejlődtek. 2015-ben a VR- és az AR-befektetéstőke-részesedés összege mintegy 700 millió dollárt tett ki, ugyanakkor a Digi-Capital állítása szerint 2020-ig a VR és az AR 150 milliárd dolláros ipar lesz. Nem véletlen tehát, hogy szinte az összes neves informatikai vállalat, mint az IBM, Microsoft, Apple, Sony, Facebook, HTC, Intel, Lenovo és még sorolhatnánk, befektet és fejlesztéseket végez VR-területen. Nem is csoda, hogy 2016 a VR éve volt. Ez azt jelenti, hogy 2016-ra világossá vált, hogy a szórakozás, a kommunikáció és a sok vállalati funkció drasztikus változáson ment át a VR/AR fejlődésével. A VR-technológia készen áll a piac meghódítására. A technológia fejlődésének eredményeként az MIT bejelentette, hogy 2020-ra teljesen áttér a VR-alapú oktatásra.

Az oktatási technológiákba való befektetés továbbra is növekszik, a 2017-es év legfontosabb Edtech-tendenciái azt tükrözik, hogy a fejlesztések tartós hatással lesznek a jövő oktatására.

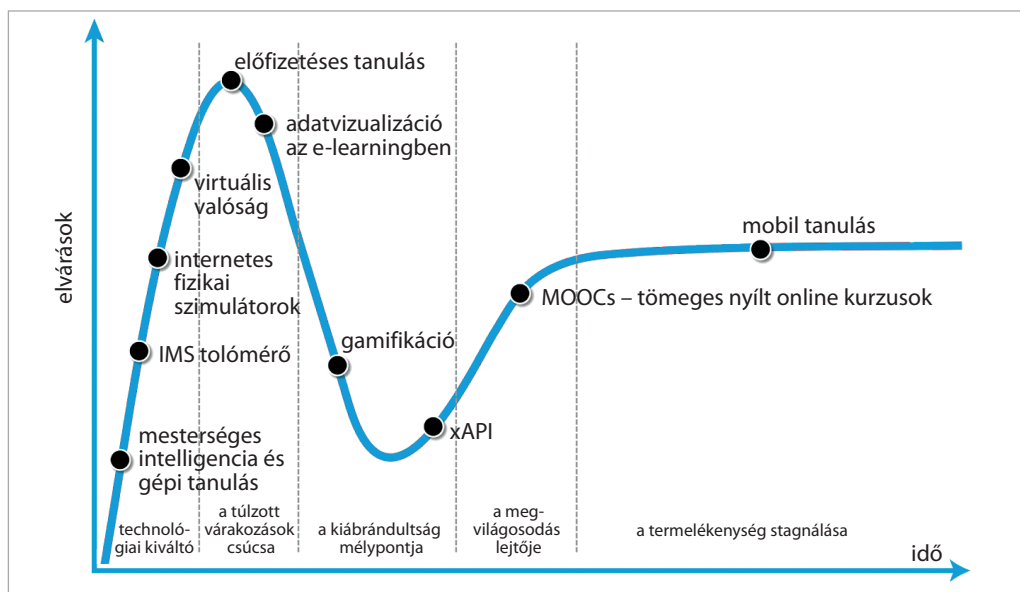
A teljesség igénye nélkül néhány kardinális változás, amelyek várhatóan nagy jelentőséggel bírnak majd a jövő oktatásában:

- a tanulás változatos helyen és időben való megvalósulása;
- a személyre szabott tanulás igénye;
- a tanulók szabad választási lehetőségének megerősödése;
- a rövidebb futamidejű, gyakorlatorientált, projektalapú tanulási szemlélet felerősödése;
- a modern technológiák által lehetővé tett saját tapasztalat bevonása a tanulásba;
- az interdiszciplináris tananyagtartalmak erőteljesebb megjelenése;
- a sikeres tanulás képessége;
- a pedagógusszerep megváltozása;
- gyakorlati szakemberek bevonása az oktatásba.

A VR-oktatás rendelkezik azzal a képességgel, hogy a fenti változások mindegyikét idő- és költséghatékony módon kiszolgálja.

A sikeres tanulás képessége és annak meghatározása összetett feladat. Oktatási szakemberek véleménye szerint a 21. századi információdömpingben az információk kezelésén, rendszerezésén, a rendszerszerű tanulás megvalósításán, az algoritmikus gondolkodás elsajátításán múlik a sikeres tanulás.

A technológiai fejlődés nyomán megjelent a 2017-es e-learning előrejelzéseket bemutató hype-görbe (12. ábra). Ezen megtalálható a mesterséges intelligencia, a gépi tanulás, a virtuális valóság, a mobil tanulás vagy a gamifikáció. Látható, hogy a 2017-es év legjelentősebb oktatási vonatkozású diszruptív technológiái jól illeszkednek a fiatal generációk digitális életéhez, az e-learning típusú oktatáshoz és a fent felsorolt sikeres tanulás ismérveivel. A VR az elvárás csúcspontja felé haladva egyre nagyobb figyelmet kap, így a nemzetközi fejlesztések mellett a hazai érdeklődés és oktatásfejlesztés kiemelt területeként van jelen napjainkban.



12. ábra: 2017-es e-learning-előrejelzések

Forrás: Andy Hicken: 2017 eLearning Predictions – Hype Curve. 2017

## A Széchenyi István Egyetem VR Learning Központja

A Digitális Közterherviselés céljaival összhangban a Széchenyi István Egyetem stratégiai célja, hogy a virtuálisvalóság- (VR-) alapú oktatás (*cyber-learning*) hazai kiépítésében és elterjesztésében kiemelt szerepet töltsön be. VR-területen kiemelt fejlesztésekkel és kutatásokkal úttörő szerepet tölt be az oktatás 3D-s VR-plafonon történő megvalósításában, az új oktatási platform népszerűsítésében, a VR-alapú oktatás alapvető

módszertanainak kidolgozásában, a kapcsolódó eredmények disszeminációjában. Ennek érdekében létrehozta az ország első VR Learning Központját, ahol a szintén magyar fejlesztésű MaxWhere platformon több mint 200 darab 3D-s VR-tantárgy fejlesztése történik meg. A SZE VR Learning Központjának tevékenysége három pillérre épül. VR-fejlesztés, kutatás és oktatási alkalmazás.

A győri VR Learning Center mint Innovatív Kutatási és Oktatástámogató Központ célja, hogy integrálja a feltörekvő technológiák által kínált lehetőségeket a hatékony tanulás és munkavégzés biztosítása és megvalósítása érdekében. A felnövekvő generációk digitális életéhez illeszkedő VR-környezetben a rohamtempóban fejlődő technikai és technológiai újítások integrálásával és működtetésével tegye lehetővé az oktatási gyakorlat új formáinak kipróbálását, bevezetését a közoktatástól a felsőoktatáson át a doktori képzésig, kiemelt területként kezelve az ipari vállalatokkal közösen folytatott duális képzési formát. A MaxWhere vállalati, ipari tréningeknél is jól alkalmazható oktatási képességeinek közoktatásba és felsőoktatásba történő integrálásával számos előny realizálható. A drága laboratóriumi eszközök, műszerek VR-térbe helyezésével, azok távoli manipulációjának megvalósításával az oktatási költségek lényegesen lecsökkenthetők. A VR Learning Központ oktatással, tanácsadással, oktatási intézmények és piaci szereplők megrendelésére történő testre szabott VR-terek és berendezések fejlesztésével is részt vállal a digitális közteherviselés megvalósításában.

A központ mellett működő VR Learning Kutatócsoport feladata, hogy a modern oktatási környezetben megvalósuló oktatás hatékonyságát egzakt mérésekkel kutassa. A kutatási eredmények alapján dolgozzon ki, majd tegyen javaslatot a 3D-s VR-térben jól alkalmazható új oktatási módszerek bevezetésére.

### **Hogyan segít az oktatási rendszer problémáin az új technológia alkalmazása?**

A digitális felelősségvállalás szükségessége fogalmazódik meg a gazdaság igényeinek kiszolgálása, a „kész” munkaerő kibocsátása, a tanulói igények megértése, így az oktatási teljesítmény javítása érdekében.

A rendelkezésre álló nagyszámú információ pozitív lehet a tanulók számára, de az oktatáspolitikusoknak, a képzési szakembereknek olyan stratégiát kell kialakítaniuk, amely biztosítja az oktatás termelékenységét és hosszú távú költséghatékonyságát.

Ebben az előremutató folyamatban Magyarország az elsők között teszi meg a szükséges lépéseket. A magyar kormány elkötelezett a digitális fejlesztések mellett. 2016-ban megalkotta Magyarország Digitális Oktatási Stratégiáját, amelyben az oktatási rendszer azonnali és radikális digitalizálására hívja fel a figyelmet, ajánlásokat fogalmaz meg a jövő digitális iskolájára vonatkozóan előtérbe helyezve a VR oktatási lehetőségeinek kihasználását.

### *A VR fejlődése és oktatási kapcsolódása*

A virtuális valóság alkalmazása az oktatás területén egybefonódik a VR történetével. A VR történetében a legkorábbi virtuálisvalóság-kísérletnek a 19. századi 360 fokos falfestmények vagy panorámaképek tekinthetők. Ezeknek a festményeknek a célja a néző látóterének teljes kitöltése, amivel történelmi eseményeken vagy jelenetben való jelenlétet kívántak biztosítani, mint például Franz Rubo *Borogyinói csata* című élő festménye esetében is a bevonódás élményével kívánt mélyebb hatást gyakorolni a nézőkre. A magyar vonatkozású Feszty-körkép, Feszty Árpád festőművész körpanorámája a honfoglalásról, kedvelt tanulmányi kirándulási helyszín a történelmi tanulmányok élményszerűvé tételének növelése érdekében.

1838-ban Charles Wheatstone kutatása kimutatta, hogy az emberi agy az egyes szemekből származó kétdimenziós képeket háromdimenziójú egyetlen objektumban dolgozza fel. Ennek a kutatásnak az eredményén elindulva 1838-ban kifejlesztette az első sztereoszkópot. Közel 100 évvel később William Gruber 1939-ben szabadalmaztatta a View-Master sztereoszkópot, amit a *virtuális turizmus* eszközeként használtak fel ezzel biztosítva az élményszerű információátadást, információmegőrzést A sztereoszkóp tervezési elveit ma is felhasználják például a Google Cardboard és egyéb mobilos VR-kijelzők fejlesztésénél.

A legelső VR-alkalmazások is oktatási céllal készültek, amelyeket a hadsereg alkalmazott. 1929-ben Edward Link létrehozta a *Link-oktatót*, amit 1931-ben mint repülőszimulátort szabadalmaztatott. Ezt az elektromechanikus eszközt a II. világháborúban több mint 50 ezer pilóta használta a felkészüléséhez.

Ha a VR fejlődésével együtt áttekintjük annak oktatásbeli szerepét, azt látjuk, hogy szorosan összefonódik a technika, a számítógépek, az informatikai eszközök fejlődésével és használatával. A mai számítógépek használata egyre egyszerűbbé és teljesen hétköznapivá vált, így a technológiáknak köszönhetően a diákok tanulási módja is egyre gyorsabban változik.

Azt gondoljuk, hogy mind a diákok, mind a tanárok profitálhatnak a fejlődésből és a VR oktatási alkalmazásából.

### **A VR-technológia oktatás hatékonyságára gyakorolt hatásai**

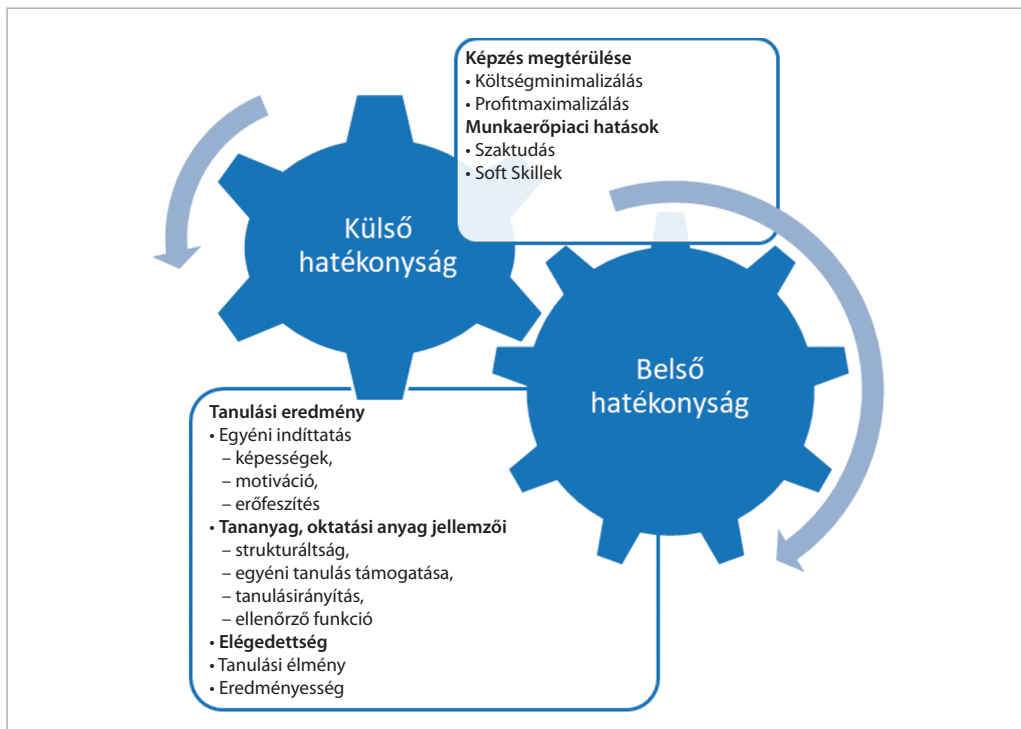
A VR oktatási bevezetése előtt feltétlenül szükséges azon stratégia körütekintő és helyes megválasztása, amivel az eredményoldalon az oktatás színvonalának növekedése érhető el.

Az oktatási hatékonyságot belső és külső hatékonysági szempontokból szokás elemezni.<sup>34</sup>

Belső hatékonyságon a képzés résztvevői, az oktatók és hallgatók részéről érzékelhető tényezők pozitív alakulását értjük. Ezek közül a legadekvátabb adatokként a tanulási eredmény alakulása és az elégedettségi felmérésekből származó információk, értékek állnak rendelkezésünkre.

<sup>34</sup> Semjén András: Hatékonyság az oktatásban. *Educatio*, 8. (1999), 3.

A közgazdasági szempontok a külső hatékonyság mérésekor kerülnek előtérbe. Itt térhet ki az elemzés a képzési anyag megtérülésére, a munkaerőpiaci hatások vizsgálatára, a profitmaximalizáció és a költségminimalizáció szempontjaira. A külső hatékonysági elemzésekkor a piaci viszonyok megfelelő érvényesülése mint fő szempont kerül előtérbe.



13. ábra: Az oktatás belső és külső hatékonyságának szempontjai

Forrás: a szerzők szerkesztése

### *Külső hatékonyság vizsgálata*

#### *Költségminimalizálás – Beszerzési költségek minimalizálása – VR-oktatási környezet biztosítása*

A VR oktatási bevezetése rövid távon kétségkívül befektetést igényel, azonban ez a befektetési költség minimalizálhatóvá válik, ha a magyar fejlesztésű MaxWhere motorra optimalizált háromdimenziós VR oktatási környezet alkalmazása mellett döntünk. A MaxWhere teljes VR-élményt biztosít további VR-célhardverek beszerzése és alkalmazása nélkül is. Ez esetben a beszerzés az oktatási intézmények szélessávúinternet-ellátottságát és a mai kor követelményeinek megfelelő számítógéppark biztosítását, beszerzését jelenti.

Mindkét beszerzés a digitális kor követelményeihez illeszkedve több tekintetben is megtérülést hoz az oktatásban. A diákok a VR oktatási környezet futtatásán túl így

találkozhatnak a modern felhasználói és fejlesztői szoftverekkel, digitális műveltségük a munkaerőpiaci követelményeknek megfelelően válik fejleszthetővé.

### *Az oktatásfejlesztési kiadások csökkentése*

Az oktatás idő- és pénzigényes tevékenység, ezért érdemes törekedni arra, hogy az oktatás a leghatékonyabban – leggyorsabban és legolcsóbban – valósuljon meg.

Az újdonságok, a technikai innovációk oktatásban való megjelenítésének gyakran anyagi és fizikai korlátai vannak. A nagyszámú és gyorsan amortizálódó kísérleti eszköz, valamint a fejlesztéseknél alkalmazott eszközök beszerzése részben vagy akár teljes egészében kiváltható virtuális megoldásokkal. A drága, gyorsan amortizálódó laboratóriumi eszközök, műszerek VR-térbe helyezésével, azok fizikai működésének szimulációjával, távoli manipulációjának megvalósításával az oktatási költségek lényegesen lecsökkenthetők. A kísérletekhez szükséges anyagszükséglet drasztikusan csökkenthető, ami szintén befektetés-csökkentő tényezőként jelentkezik.

### *Gyakorlatorientált képzés idő- és költséghatékony VR-megoldással*

A magyar kormányzat által preferált gyakorlatorientált duális képzésben alkalmazott virtuális tér segítségével több új feltörekvő technológia oktatási meghonosítása válik megoldhatóvá az oktatási intézmények eszközbeszerzése nélkül. A duális partnervállalatok működése szempontjából fontos technikai újítások beszerzése úgynevezett *digital twin* megoldással tud megjelenni VR-oktatási környezetekben. A *digital twin* vagy magyarul digitális iker egy dinamikus digitális ábrázolása egy ipari eszköznek, amely lehetővé teszi a vállalatok és a VR segítségével a diákok számára is, hogy jobban megértsék és megjósolhassák gépük teljesítményét, új bevételi forrásokat találjanak, és akár megváltoztassák üzleti tevékenységük módját. Az eszközbeszerzési költségek redukálása mellett fontos tényező, hogy az oktatási intézményeknek így nem kell számolni a fenntartási, karbantartási költségekkel sem. Ez a megoldás jól kiegészíti a duális képzésben a vállalati gyakorlatokat, még hatékonyabbá teszi a gyakorlatorientált képzést. Jó példa erre, hogy egy drága gyártási vagy mérési folyamatot egyszer célszerű megnézni a gyakorlatban, de utána, hogy jól felidézhető legyen, azt a 3D-s virtuális térben többször is meg lehet ismételni, az ismereteket el lehet mélyíteni. Nem elhanyagolandó, hogy a VR-térbe helyezett szellemi tőke jól kihasználható a hagyományos képzésben részt vevő diákok esetében is.

A biztonsági és biztosítási költségek tekintetében jelentős, hogy veszélyes és költségigényes műveletek megismerése, elsajátítása is jól oldható meg a VR-térben. Erre számtalan példa hozható, gondoljunk például a VR történeti fejlődésében már alkalmazott repülőgép-szimulátor megoldásra vagy a katasztrófavédelmi helyzetek kezelésére.

A fentiek tükrében jó látható, hogy a VR az oktatás műszaki, természettudományos, orvosi területein történő alkalmazása kézenfekvő, ezen területeken számos tananyagfejlesztés valósult meg hazai és nemzetközi szinten.

### *A kontaktóraszám csökkentésének, az osztálylétszám növelésének lehetősége*

A tradicionális oktatás az egyre növekvő tananyag mennyiségével csak az egyre magasabb kontaktórák számával tudott több-kevesebb sikerrel megbirkózni. A VR-oktatási környezet nagy előnye a tértől és időtől független elérhetősége, egyszerű használhatósága, ezzel nyitva teret az oktatási költségek csökkentése érdekében sokat fontolgatott kontaktóraszám csökkentéséhez. A kontaktórák megtartását szorgalmazó oktatási szakemberek gyakran érvelnek amellett, hogy az oktatási anyag önálló feldolgozásához szükséges motiváció és a tanári jelenlét hiánya a tanulmányi eredmények romlásához vezet.

A VR-térben a diák nincs magára hagyva a tananyaggal, sőt társaival, tanáraival közösen tudja feldolgozni azt. A feldolgozott tananyag elmentésével a VR-környezet lehetőséget biztosít az órai anyag többszöri áttekintésére, felidézésére, a tanulási, elmélyítési folyamat során a tisztázó kérdések feltevésére. A VR-térbe helyezett oktatási anyagot az osztálylétszámnál jóval nagyobb számú diák bármikor, bárhol, bárhányszor tanulmányozhatja, így a kontaktóraszám csökkentése mellett a tanulócsoport létszámának tetszőleges növekedését is lehetővé teszi.

### *Időhatékony, a meglévő fejlesztések integrálásának lehetősége*

A költséghatékony oktatásszervezés jól bevált eszközét biztosítják az e-learning-megoldások. A tértől és időtől független online tanulás lehetőségével bárhol, bármikor tanulhatunk, ahol internetkapcsolat áll rendelkezésre. A mai generáció információéhségét az okoseszközök igitkezik kiszolgálni. Hazai és nemzetközi felmérések eredményei szerint a családok anyagi helyzetétől függően ezek az eszközök a diákok 60–80%-ának esetében állnak rendelkezésre. A VR-oktatás egy következő lépcsőfok. A VR képes az e-learning-megoldásokat integrálni, azokat további okos megoldásokkal kiegészítve egy magasabb strukturáltsági fok megvalósításával biztosítani, hogy a diákok utazás közben, otthon vagy barátaik társaságában szórakoztató oktatási anyagokkal tudjanak találkozni. Ezek a megoldások az időtakarékoságon kívül számos költséghatékony jellemzővel is rendelkeznek. Az e-learning-megoldások mellett jelentős szerepet kap a VR-alapú oktatás a gyakorlatorientált és költséghatékony oktatásszervezés területén.

### *Profitmaximalizálás*

A VR-oktatással foglalkozó oktatási intézmények számára egy új, a klasszikus oktatástól eltérő lehetőség nyílik a bevételek realizálása területén.

- Elsődleges bevételnövelő tényező a hallgatói létszám növelésének lehetősége. A VR-tantermek nem vagy csak részben igénylik a fizikai jelenlétet, így az infrastrukturális korlátok nem akadályozzák a nagyszámú hallgató befogadását, képzését.

- Másodlagos bevételi lehetőség a szellemi tőke segítségével megvalósított fejlesztések értékesítése területén jelentkeznek. A tananyagokhoz illeszkedő 3D-s VR-oktatási környezet kialakítása, berendezése, az elektronikus tananyagtartalom, a modellekhez, szimulációkhoz fejlesztett működőképes eszközpark minden eleme külön-külön is értékesíthetővé válik.
- A VR-környezetben az élményalapú oktatás tapasztalatai szakmai továbbképzések, bemutatók, konferenciaszervezések és lebonyolítások kapcsán szintén az oktatási intézmény új típusú bevételeit jelenthetik.

### *Munkaerőpiaci hatások*

A beruházások magyarországi megjelenésének elengedhetetlen előfeltétele, hogy a befektetők értékes munkaerőt találjanak. A vállalatok olyan munkaerőt várnak, akiknek a munkába állást megelőző szakmai továbbképzésére – a jelenlegi gyakorlattal ellentétben – sem időt, sem pénzt nem kell már áldozniuk. A 21. század társadalmában a hangsúly a gyors, hatékony, komplex problémamegoldáson, a flexibilis munkavégzésen, a jó kommunikációs képességen, a digitális írástudáson, a megfelelő információkezelésen, a csoportmunkára való alkalmasságon, a kreatív és produktív technológia használatán, illetve az új tudás előállításának képességén van.<sup>35</sup>

A Széchenyi István Egyetem VR Learning Kutatócsoportja által végzett mérési eredmények azt mutatják, hogy a MaxWhere 3D-s VR-oktatási környezetben a diákok munkavégzésében 30%-kal hatékonyabbá válik a csoportmunka, nő a teljesítőképesség, a VR-környezetben alkalmazott okos webtáblák mérete és elhelyezése növeli az átlátást, a rendszerben való gondolkodást. A digital twin és az ipar 4.0. megoldások VR-oktatási rendszerbe való emelésével tovább közelíthető az iskolai tananyag a vállalati igényekhez. A duális képzés és az itt alkalmazott VR-terek közösen kialakított tananyagtartalma a vállalati szféra és az oktatási intézmények – elsősorban a szakoktatás és a felsőoktatás – szoros együttműködésére alapozva lehet sikeres a jövőben is.

### *Belső hatékonyság vizsgálata*

#### *Tanulási eredmény*

#### *Képességek, motiváció, erőfeszítés*

A pedagógusok számára kulcsfontosságú, hogy a diákok képességük legjavát adva, aktívan vegyenek részt a tanulási folyamatban.

Nézzük, hogyan lehet a virtuális és bővített valóság segítségével felszabadítani azt a potenciált, amellyel a diákok új utakat, élményeket nyerhetnek a tanulás újszerű megszervezésével!

<sup>35</sup> Cisco–Intel–Microsoft: *Transforming Education: Assessment and Teaching 21st Century Skills*. 2009.

A hagyományos edukáció eszközeivel szemben a VR képes azonnal lekötni a diákok teljes figyelmét. Mérési eredmények szerint a VR-platformon közölt információ jobban megmarad, ezzel növelve a hallgatói sikerességet.

A virtuálisvalóság-technológiák és alkalmazások megragadják a „digitális bennszülött” generációhoz tartozó diákokat, illeszkedve digitális életük megszokott és közkedvelt szintereihez. Napjainkra a virtuális valóság egy olyan szimulált környezet, amely a valós világ folyamatait igyekszik számítógépes modell segítségével leírni, szimulálni. Ez egy részben közös megosztott tér, ahol több felhasználó is jelen lehet azonos időben. Az esemény, a tevékenység így valós időben történik, az internetes alkalmazásokkal, közösségimédia-alkalmazásokkal lehetőséget adva a közvetlen kommunikáció, a kooperatív munka számára. A diákok vagy felhasználók aktív részesei lesznek, lehetnek a tananyag kialakításának is. Tartalmakat fejleszthetnek, alkothatnak, közös dokumentumokat szerkeszthetnek, akár a VR-környezetet is megváltoztathatják, kiegészíthetik háromdimenziós modellekkel, folyamatszimulációkkal, ezzel is növelve a bevonódást és a tanulásra fordított időt, az erőfeszítéseket.

### *Az oktatási anyag jellemzői*

#### *Strukturáltság, egyéni tanulástámogatás, tanulásirányítás, ellenőrzés*

A VR-oktatási környezetbe helyezett tananyag lényegesen több mint csupán az ismeretek átadásának és ellenőrzésének eszköze. A VR-terek fejlesztésénél elsődleges szempont, hogy a tananyag tartalmához illeszkedő környezetet alakítsunk ki, mivel a VR-környezetnek támogatást kell nyújtania a hallgatónak, ösztönözni és motiválni kell, segíteni kell az érdeklődés fenntartásában, az előrehaladás értékelésében, az önellenőrzésben, a visszacsatolásban. Az ellenőrző kérdések külön slide-on történő elhelyezése, a továbblépés mérőföldkövek teljesítéséhez történő kötése lehetőséget ad az információk hosszú távú memóriába történő írására és megőrzésére. A VR lehetőségei messze túlmutatnak az eddig ismert elektronikus tananyagok strukturáltságán, egyéni tanulástámogató, tanulásirányító lehetőségein, hiszen akár az is megtehető, hogy a tananyagban foglalt eszközt, környezetet, földrajzi vagy történelmi helyet válasszuk a tanulás színterének. A strukturáltságot és a tanulástámogató, -irányító funkciót tovább növeli a térbe helyezett okos webtáblák mérete és elrendezése, amit szintén a tananyag tartalmához lehet és kell optimalizálni. A VR végtelen kreatív lehetősége a tanulás eredményességét döntően befolyásolja, hiszen „virtuális-valós” környezetben szerezhetik meg az új ismereteket a diákok, amelyekről bővebben olvashatunk a nemzetközi VR-oktatási innovációkat bemutató fejezetben.

## *Elégedettség*

### *Tanulási élmény*

A kutatás- és a tapasztalatalapú tanulás egy diákközpontú környezetben valósul meg, ami meghatározza a VR-tanulási élményt. A hallgatói visszajelzések 100%-ban pozitívak, a jövő oktatásában az élményalapú tanulás új dimenzióját nyitják meg a 3D-s VR-megoldások.

### *Eredményesség*

Az oktatás és tanulás eredményessége több lépcsőben mérhető. Elsőként a tananyag közvetlen elsajátítását követő tesztek helyes kitöltése, majd a témaköröket záró témazárók eredményes teljesítése, később az érettségien – vagy más iskolarendszer esetén a záróvizsgán – nyújtott teljesítmény ad objektív mérőszámot a VR-oktatás eredményességéről. Végül, de nem utolsósorban a szaktudással együtt megszerzett munkavállalói kompetenciák által a munkaerőpiacon érvényesülő versenyelőny jelenti a VR-oktatás eredményességét. Ez utóbbiról objektív adatok ma még nem állnak rendelkezésre, de ahogy a fejezet bevezetőjében írtuk, hiszünk abban, hogy a VR-fejlesztésekből mind a diákok, mind a tanárok hosszú távon profitálni fognak.

## *Nemzetközi példák a VR- és AR-oktatási innovációk területéről*

A VR és AR oktatási előnyeit mutatja, hogy nemzetközi fejlesztések indultak, és számos vállalat dolgozik ezen innovációk területén.

Az alábbiakban néhány jelentős, a VR oktatási alkalmazásához kapcsolódó nemzetközi fejlesztést mutatunk be.

### *Immersive VR Education*

A VR-előadás egy Immersive VR Education VR-alkalmazás, amely szimulálja a virtuális valóság előadótermét, miközben olyan különleges effektusokat ad hozzá, amelyeket nem lehet hagyományos osztálytermi környezetben használni. Az előadásokat képekkel, videókkal és élményekkel gazdagítják, amelyek elősegítik a leckét. Például a diák tanul az Apollo-11-ről, és amíg az oktató előadást tart, megváltoztathatják az osztálytermet úgy, hogy az űrsikló belsejében találja magát, amelyről előadnak, sokkal többet adva az előadáshoz, mint ahogy hagyományosan lehetséges lenne. Az ilyen típusú tanulás egyik fontos eleme, hogy a diákok és a tanárok a világ bármely pontjáról be tudnak jelentkezni, így az oktatás globális szinten válik elérhetőbbé.

### *Umersive*

Az Umersive egy viszonylag fiatal VR-oktatási platform, amely havonta új VR-oktatási tartalmakat bocsát ki. A tartalmak erősen személyre szabottak. Jelenleg három oktatási tartalom érhető el, a Nemzetközi Űrállomás, VR-anatómia és a Stonehenge bemutatása a virtuális valóságban.

### *A Google Expeditions Pioneer Program*

A Google szintén izgalmas programot indított a VR-oktatási térben. A program célja a Google expedíciós csapata számára, hogy meglátogassák a világ minden tájáról érkező iskolákat, és biztosítsanak mindent, amire a tanároknak szükségük van ahhoz, hogy a diákjaikat bárhová eljuttassák. A csapat segíti a tanárokat e technológia kialakításában és hasznosításában. A VR-utazásokat úgy alakították ki, mint egy tereputazást, amelyre a tanárok rendszerint soha nem tudnák elvinni a diákjaikat. Például meglátogatni egy víz alatti korallzátonyt vagy egy egzotikus országot. Az app működési módja, hogy a diákok és a tanár ugyanazokat a dolgokat láthatják ugyanabban a munkamenetben, de a tanár képes előadásában kiemelni bizonyos dolgokat, amelyek relevánsak a leckében.

### *Discovery VR*

A Discovery több mint harminc éve készít színvonalas oktatási tartalmakat, amelyeket a Discovery VR-alkalmazásával emel át a modern korszakba.

### *zSpace*

A zSpace egyedülálló a VR-oktatási térben használt technológiai igénye miatt. Minden felhasználó saját fülhallgatót használ. A zSpace olyan monitorokat tartalmaz, amelyek hasonlóak ahhoz, ahogyan a 3D-s filmek működnek, az emberek 3D-szemüveghez hasonló szemüveget viselnek. Ezen felül a zSpace-felhasználóknak az ingerléshez és manipuláláshoz egy tollat kell használniuk. A zSpace jelenleg rendelkezik a STEM-(matematika, természettudományos és mérnöki tudományok) oktatással, orvosi képzéssel és általánosabb matematikai és tudományos tapasztalatokkal.

### *Nearpod*

A Nearpod olyan szervezet, amely a tanteremben ötvözi a VR- és az AR-technológiát a hagyományos órarendszerekkel. A lecke előkészítésében 360 fokos fotókat és videókat használ fel. Az alkalmazásban olyan lehetőségek vannak, amelyek lehetővé teszik,

hogy a diákok kérdésekre válaszoljanak a laptopjuk vagy a táblagépük használatával. A Nearpod VR a jövő osztálytermét mutatja be, ahol a VR- és az AR-technológiával a lecke tervezését erősítik, és a diákok jobban részt tudnak venni az új technológiák használatában.

### *EON Reality*

Az EON Reality arra törekszik, hogy megváltoztassa a tanárok által a technológia használatát az osztályteremben. A diákok és a tanárok kevert tanulási környezetet hozhatnak létre az EON Creator segítségével, amely egy interaktív eszköz. Lehetővé teszi a felhasználók számára, hogy a 3D-s tartalmakat videókkal, hangeffektusokkal, jegyzetekkel, Powerpointtal kombinálják. A tanárok és a diákok feltölthetik munkájukat az EON tapasztalatportáljába, ahol felfedezhetik más tanárok és diákok alkotásait is. Az EON Colliseum arra ad lehetőséget, hogy a diákok és a tanárok találkozassanak, ezáltal teszi lehetővé az együttműködést bármikor és szinte bármely helyről, ahol internetkapcsolat áll rendelkezésre.

### *Second Life*

A Second Life számos oktatási projekttel büszkélkedhet. A legkidolgozottabb a Schome-projekt, amely gyakorlatilag egy ernyőprojekt, ami maga köré gyűjti nemcsak a Second Life-ban, de más virtuális világokban indított oktatási projekteket is. A projekt során a „wikik” és a virtuális környezet segítségével igyekeznek közös tudásbázist létrehozni. Elsődleges céljuk a tanulás jövőjének megfogalmazása és újraértelmezése.

## **Összegzés**

Napjainkra az oktatás és a technológia összekapcsolódik. Ez az együttműködés megváltoztathatja azt a világot, amelyben élünk, amelyben tanítunk.

Az ipari termelés alapvető változáson megy keresztül, ami jórészt a gépi intelligencia és vele együtt a gyártóeszközök és ipari robotok fejlődésének tudható be. A demográfiai változások (korszerkezet, a népesség csökkenése, képzettség, digitális írástudás) indukálják azokat a piaci folyamatokat, amelyek révén a vállalatok kifejlesztik az új típusú robotokat és egyéb intelligens gyártóeszközöket. Az így létrejövő infrastruktúra már nem tervezhető és működtethető hatékonyan a hagyományos ember-gép interfészekeken keresztül. A virtuális és kiterjesztett valóság (AR/VR) egy olyan új kommunikációs lehetőség, ami természetességénél és így hatékonyságánál fogva hatalmas lehetőségekkel bír számos ipari és oktatási területen. Ezek közül kiemelkedő mérnöki tervezőmunka az ember-gép interakciók és az oktatási feladatok, ahol már számos sikeres megoldás megvalósult. Ezek a megoldások minden bizonnyal egy új korszak majdani kiforrott eszközsze-

rének korai prototípusai, amelyek következtetni engednek a fejlődés lehetséges irányaira és a hasznosulás mikéntjére. A fejezetben a motiváció alátámasztása érdekében az egyes VR/AR alkalmazási területekről vizsgáltunk olyan példákat, amelyek jól reprezentálják a fejlődés irányát. A bemutatott koncepciók alapján kimondható, hogy a VR/AR technológiák meghatározó szerephez jutnak a jövő ipari megoldásaiban és a jövő oktatásában egyaránt. A már megfigyelhető fokozatos átalakulás következtében a hazai vállalkozások is jó kitörési lehetőséghez jutnak termékfejlesztői, rendszerintegrátori és üzemeltetői minőségben egyaránt, tekintve, hogy az új területen kevésbé érvényesül a klasszikus piacot uraló vállalatok tapasztalata.

Korábban sajnos az oktatás azon területek közé tartozott, amelyek utolsóként találkozhattak az innovációkkal, az új technológiákkal, így a módszerek és technikák tekintetében is csak komoly fáziskéséssel változott, addig ma a virtuális valóság technológiája a kreatív képességek univerzumát teszi lehetővé, amelyek alkalmasak arra, hogy megszüntessék a szokásos oktatás határait.

A 3D-s VR-tanulókörnyezet a hagyományos oktatás eszközeinél sokkal hatékonyabban segíti az információszerzést, a szűrést, a befogadást, a feldolgozást és a felhasználás folyamatát az információk rendezett és párhuzamos megjelenítésével. Az aktív tanulás serkenti a kognitív folyamatokat, így új dimenziót nyit az ismeretszerzés és feldolgozás világában, új oktatási módszerek létrejöttét inspirálja, amelyek a vállalati tréningek során a legújabb technológiákkal karöltve teszik lehetővé a piacképes munkaerőképzést.

# Irodalomjegyzék

- 3D Experience. 2020. Online: [www.3ds.com/products-services/3dexperience/](http://www.3ds.com/products-services/3dexperience/)
- Aromaa, Susanna – Kaisa Väänänen: Suitability of Virtual Prototypes to Support Human Factors/ Ergonomics Evaluation During the Design. *Applied Ergonomics*, 56. (2016), 11–18. Online: <https://doi.org/10.1016/j.apergo.2016.02.015>
- Baranyi Péter – Csapó Ádám: Definition and Snergies of Cognitive Infocommunications. *Acta Polytechnica Hungarica*, 9. (2012), 1. 67–83.
- Baranyi Péter – Csapó Ádám – Sallai Gyula: *Cognitive Infocommunications (CogInfoCom)*. Springer, 2015. Online: <https://doi.org/10.1007/978-3-319-19608-4>
- Bordegoni Monica – Francesco Ferrise: Designing Interaction with Consumer Products in a Multisensory Virtual Reality Environment. *Virtual and Physical Prototyping*, 8. (2013), 1. 51–64. Online: <https://doi.org/10.1080/17452759.2012.762612>
- Brandt, Sascha – Matthias Fischer – Maria Gerges – Claudius Jähn – Jan Berssenbrügge: *Automatic Derivation of Geometric Properties of Components from 3D Polygon Models*. ASME Conferences Proceedings, 2017. Online: <https://doi.org/10.1115/DETC2017-67528>
- Can Virtual Reality and CAD Go Hand in Hand? SOLIDWORKS APAC, 2015. Online: <http://blogs.solidworks.com/apac/solidworks-blog/product-designers-and-mechanical-engineers/can-virtual-reality-and-cad-go-hand-in-hand/>
- Castells, Manuel: *A hálózati társadalom kialakulása. Az információ kora*. I. kötet. Budapest, Gondolat, 2005.
- Cavrnus. 2020. Online: <https://cavrn.us/>
- Chen, Yonghua – Fenghua Dong: Robot Machining: Recent Development and Future Research Issues. *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 66. (2013), 9–12. 1489–1497. Online: <https://doi.org/10.1007/s00170-012-4433-4>
- Cisco–Intel–Microsoft: *Transforming Education: Assessment and Teaching 21st Century Skills*. 2009. Online: <http://atc21s.org/>
- Cordeil, Maxime – Tim Dwyer – Karsten Klein – Bireswar Laha – Kim Marriott – Bruce H. Thomas: Immersive Collaborative Analysis of Network Connectivity: CAVE-style or Head-Mounted Display? *IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics*, 23. (2017), 1. 441–450. Online: <https://doi.org/10.1109/TVCG.2016.2599107>
- Digi-Capital. 2018. Online: [www.digi-capital.com/news/2018/01/record-over-3b-ar-vr-investment-in-2017-1-5b-in-q4/](http://www.digi-capital.com/news/2018/01/record-over-3b-ar-vr-investment-in-2017-1-5b-in-q4/)
- Ferrise, Francesco – Serena Graziosi – Monica Bordegoni: Prototyping Strategies for Multisensory Product Experience Engineering. *Journal of Intelligent Manufacturing*, 28. (2017), 7. 1695–1707. Online: <https://doi.org/10.1007/s10845-015-1163-0>
- Galambos Péter – Csapó Ádám – Zentay Péter – Fülöp István Marcell – Haidegger Tamás – Baranyi Péter – Rudas Imre: Design, Programming and Orchestration of Heterogeneous Manufacturing Systems Through VR-Powered Remote Collaboration. *Robotics and Computer Integrated Manufacturing*, 33. (2015), 68–77. Online: <https://doi.org/10.1016/j.rcim.2014.08.012>
- Gavish, Nirit – Teresa Gutiérrez – Sabine Webel: Evaluating Virtual Reality and Augmented Reality Training for Industrial Maintenance and Assembly Tasks. *Interactive Learning Environments*, 23. (2015), 6. 778–798. Online: <https://doi.org/10.1080/10494820.2013.815221>
- Geometric Modeling Kernel. 2017. Online: [https://en.wikipedia.org/wiki/Geometric\\_modeling\\_kernel](https://en.wikipedia.org/wiki/Geometric_modeling_kernel)

- Goldman, Ronald: *An Integrated Introduction to Computer Graphics and Geometric Modeling*. Boca Raton, CRC Press, 2009. Online: <https://doi.org/10.1201/9781439803356>
- Goldman Sachs Global Investment Research: *Virtual and Augmented Reality Understanding the Race for the Next Computing Platform*. Americas Technology, 2016. Online: [www.goldmansachs.com/insights/pages/technology-driving-innovation-folder/virtual-and-augmented-reality/report.pdf](http://www.goldmansachs.com/insights/pages/technology-driving-innovation-folder/virtual-and-augmented-reality/report.pdf)
- Greenwald, Scott W. – Wiley Corning – Pattie Maes: *Multi-User Framework for Collaboration and Co-Creation in Virtual Reality*. Cambridge, MIT Libraries, 2017.
- Hermann, Mario – Tobias Pentek – Boris Otto: *Design Principles for Industrie 4.0 Scenarios*. 49th Hawaii International Conference on System Sciences (HICSS), 2016. 3928–3937. Online: <https://doi.org/10.1109/HICSS.2016.488>
- Hicken, Andy: *2017 eLearning Predictions – Hype Curve*. 2017. Online: <https://webcourseworks.com/elearning-predictions-hype-curve-2017/>
- Hollander, Rayana: Here's Why AR and VR are Set to Take Off. *Business Insider*, 2017. augusztus 9. Online: [www.businessinsider.com/ar-vr-2017-8](http://www.businessinsider.com/ar-vr-2017-8)
- Horváth Ildikó – Sudár Anna: Factors Contributing to the Enhanced Performance of the MaxWhere 3D VR Platform in the Distribution of Digital Information. *Acta Polytechnica Hungarica*, 15. (2018), 3. 149–173. Online: <https://doi.org/10.12700/APH.15.3.2018.3.9>
- Huang, J. M. – Ong, S. K. – Nee, A. Y. C.: Real-Time Finite Element Structural Analysis in Augmented Reality. *Advances in Engineering Software*, 87. (2015), 43–56. Online: <https://doi.org/10.1016/j.advengsoft.2015.04.014>
- IFR [International Federation of Robotics]. 2018. Online: <https://ifr.org>
- IFR: *Executive Summary World Robotics 2017: Industrial Robots*. 2017. Online: [https://ifr.org/downloads/press/Executive\\_Summary\\_WR\\_2017\\_Industrial\\_Robots.pdf](https://ifr.org/downloads/press/Executive_Summary_WR_2017_Industrial_Robots.pdf)
- Improvov. 2020. Online: [www.improvovr.com/home-v2/](http://www.improvovr.com/home-v2/)
- Kagermann, Henning: *Recommendations for Implementing the Strategic Initiative INDUSTRIE 4.0*. Frankfurt, Forschungsunion–Acatech, 2013. Online: [www.din.de/blob/76902/e8cac883f42bf28536e7e8165993f1fd/recommendations-for-implementing-industry-4-0-data.pdf](http://www.din.de/blob/76902/e8cac883f42bf28536e7e8165993f1fd/recommendations-for-implementing-industry-4-0-data.pdf)
- Katzenbach, Alfred – Sebastian Handschuh – Steven Vettermann: JT Format (ISO 14306) and AP 242 (ISO 10303): The Step to the Next Generation Collaborative Product Creation. In *Digital Product and Process Development Systems*. Berlin–Heidelberg, Springer, 2013. 41–52. Online: [https://doi.org/10.1007/978-3-642-41329-2\\_6](https://doi.org/10.1007/978-3-642-41329-2_6)
- Kim, Jae Seon – Young Tak Son – Hyungsuck Cho – Kwang Il Koh: *A Robust Method for Vision-Based Seam Tracking in Robotic Arc Welding*. Proceedings of Tenth International Symposium on Intelligent Control, 1995. 363–368.
- Lampert Bálint – Pongrácz Attila – Sipos Judit – Vehrér Adél – Horváth Ildikó: MaxWhere VR-learning Improves Effectiveness Over Classic Tools of E-learning. *Acta Polytechnica Hungarica*, 15. (2018), 3. 125–147. Online: <https://doi.org/10.12700/APH.15.3.2018.3.8>
- Li, Bo Hu – Xudong Chai – Xuefeng Yan – Baocun Hou (szerk.): *Multi-Disciplinary Virtual Prototype Modeling and Simulation Theory and Application*. Hauppauge, Nova Science, 2012.
- Liu, Bingjian – L. I. Campbell – Eujin Pei: Real-Time Integration of Prototypes in the Product Development Process. *Assembly Automation*, 33. (2013), 1. 22–28. Online: <https://doi.org/10.1108/01445151311294621>
- MaxWhere. Online: [www.maxwhere.com](http://www.maxwhere.com)
- Monostori László: Cyber-Physical Production Systems: Roots, Expectations and R&D Challenges. *Procedia CIRP*, 17. (2014), 9–13. Online: <https://doi.org/10.1016/j.procir.2014.03.115>

- Mortimer, John – Brian Rooks: *Introduction in the International Robot Industry Report*. Berlin–Heidelberg, Springer, 1987. 1–7. Online: [https://doi.org/10.1007/978-3-662-13174-9\\_1](https://doi.org/10.1007/978-3-662-13174-9_1)
- Oktatás a virtuális valóságban 4.4. 2013. Online: [https://regi.tankonyvtar.hu/hu/tartalom/tamop412b2/2013-0002\\_elektronikus\\_tanulas/tananyag/JEGYZET-33-4.4.\\_Oktatas\\_a\\_virtualis\\_valo.scorml](https://regi.tankonyvtar.hu/hu/tartalom/tamop412b2/2013-0002_elektronikus_tanulas/tananyag/JEGYZET-33-4.4._Oktatas_a_virtualis_valo.scorml)
- Prensky, Marc: Digital Natives, Digital Immigrants. *On the Horizon*, 9. (2001), 5. 1–6. Online: <https://doi.org/10.1108/10748120110424816>
- ReviaTech. 2020. Online: <https://reviatech.com/>
- Saldívar, Alfredo Alan Flores – Yun Li – Wei Neng Chen – Zhi Hui Zhan – Jun Zhang – Leo Yi Chen: *Industry 4.0 with Cyber-Physical Integration: A Design and Manufacture Perspective*. 21st International Conference on Automation and Computing (ICAC), IEEE Xplore, 2015. 1–6. Online: <https://doi.org/10.1109/ICAC.2015.7313954>
- Semjén András: Hatékonyág az oktatásban. *Educatio*, 8. (1999), 3. 575–597.
- Sentient. 2020. Online: <http://sencom.com.au/>
- Siemens Comos Walkinside. 2020. Online: [www.w3.siemens.com/mcims/plant-engineering-software/en/comos-lifecycle/comos-walkinside](http://www.w3.siemens.com/mcims/plant-engineering-software/en/comos-lifecycle/comos-walkinside)
- Siciliano, Bruno – Oussama Khatib: *Springer Handbook of Robotics*. Springer, 2016. Online: <https://doi.org/10.1007/978-3-319-32552-1>
- Spicer, Ryan P. – Stephen M. Russell – Evan Suma Rosenberg: The Mixed Reality of Things: Emerging Challenges for Human-Information Interaction. *Next-Generation Analyst*, 5. (2017), 10207, 10207A. Online: <https://doi.org/10.1117/12.2268004>
- Statista: *Consumer Virtual Reality Hardware Market Size Worldwide from 2016 to 2022*. 2020. Online: [www.statista.com/statistics/550461/virtual-reality-market-size-worldwide/](http://www.statista.com/statistics/550461/virtual-reality-market-size-worldwide/)
- Statista: *Forecast Augmented (AR) and Virtual Reality (VR) Market Size Worldwide from 2016 to 2020*. 2020. Online: [www.statista.com/statistics/591181/global-augmented-virtual-reality-market-size/](http://www.statista.com/statistics/591181/global-augmented-virtual-reality-market-size/)
- Statista: *Forecast Size of the Augmented and Virtual Reality (AR/VR) Market Worldwide in 2020 and 2025, by Segment*. 2020. Online: [www.statista.com/statistics/610112/worldwide-forecast-augmented-and-mixed-reality-software-market-by-segment/](http://www.statista.com/statistics/610112/worldwide-forecast-augmented-and-mixed-reality-software-market-by-segment/)
- Stroud, Ian: *Boundary Representation Modelling Techniques*. London, Springer, 2006.
- Tahera, Khadija – Chris Earl – Claudia Eckert: Integrating Virtual and Physical Testing to Accelerate the Engineering Product Development Process. *International Journal of Information Technology and Management*, 13. (2014), 2–3. 154–175. Online: <https://doi.org/10.1504/IJITM.2014.060307>
- Vroom. 2020. Online: [www.vroomtraining.com/](http://www.vroomtraining.com/)
- Weidig Christian – Galambos Péter – Csapó Ádám – Zentay Péter: Future Internet-Based Collaboration in Factory Planning. *Acta Polytechnica Hungarica*, 11. (2014), 7. 157–177. Online: <https://doi.org/10.12700/APH.11.07.2014.07.10>
- VR4CAD. 2020. Online: [www.tenlinks.com/news/virtualis-launches-vr4cad/](http://www.tenlinks.com/news/virtualis-launches-vr4cad/)
- Zhong, Yongmin – Weiyin Ma – Bijan Shirinzadeh: A Methodology for Solid Modelling in a Virtual Reality Environment. *Robotics and Computer Integrated Manufacturing*, 21. (2005), 6. 528–549. Online: <https://doi.org/10.1016/j.rcim.2004.09.003>
- XVR Simulation. 2020. Online: [www.xvrsim.com/en/](http://www.xvrsim.com/en/)