

Interaktív VR-Szimuláció a Gépgyártástechnológiai Oktatásban

Interactive VR Simulation in Manufacturing Technology Education

KERÜLŐ Sebestyén Dénes¹ BSc hallgató, CZEGLÉDI Péter² szoftverfejlesztő,
TAKÁCS Donát³ tanszéki mérnök

¹Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem, Gépészmérnöki Kar

²Rajzi és Formaismereti Tanszék, Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem, Építészmérnöki Kar,
1111, Budapest, Műegyetem rakpart 3. Központi épület 3. emelet 20.

³Gyártástudomány és -technológia Tanszék, Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem, Gépészmérnöki Kar,
1111, Budapest, Műegyetem rkp. 3., T épület 4. emelet,

*Email: ¹kerulosebestyendenes@edu.bme.hu, ³takacs.donat@gpk.bme

Abstract

The rise of Industry 4.0 requires safe and cost-effective alternatives to both traditional machine operator training and classic engineering education. Virtual reality (VR) offers an immersive environment that addresses these educational challenges without requiring the use of real machines in production. This paper presents an interactive VR educational framework based on the HAAS VF-1 machining center, developed using Unreal Engine. The study details the software development process, including model conversion, component animation, performance optimization, and real-time material removal. Ultimately, this system enables engineering students to master NC technology in practice during laboratory sessions, moving beyond traditional 2D visualization.

Keywords: Immersion, virtual reality, education, milling, HAAS Vf1, Unreal Engine

Kivonat

Az Ipar 4.0 térnyerése modern, biztonságos és költséghatékony alternatívákat követel meg a hagyományos gépkezelői betanítással, valamint a klasszikus mérnökoktatással szemben. A virtuális valóság (VR) immerzív környezetet biztosít ezen oktatási kihívások kezelésére anélkül, hogy a valós gépeket kivonnánk a termelésből. E cikk egy Unreal Engine alapú, interaktív VR oktatási keretrendszert mutat be, amely a HAAS VF-1 megmunkálóközpont modelljére épül. A tanulmány részletezi a szoftverfejlesztés lépéseit, érintve a modellkonvertálást, a gépelemek animálását, a teljesítmény-optimalizálást és a valós idejű anyagleválasztást. A rendszer segítségével a mérnök hallgatók laborfoglalkozások keretében, a statikus 2D-s megjelenítésen túllépve, gyakorlatias módon sajátíthatják el az NC-technológiát.

Kulcsszavak: Immerzió, virtuális valóság, oktatás, marás, HAAS Vf1, Unreal Engine

1. BEVEZETÉS

Napjainkban a gyártási folyamatok digitalizációjával és az Ipar 4.0 technológiák elterjedésével a komplex kiber-fizikai rendszerek megértése elengedhetetlen a mérnök- és az ipari szakemberképzésben [1]. A nagy értékű berendezésekhez való hozzáférés azonban az oktatási intézmények számára gyakran korlátozott, valamint a termelővállalatok gépkezelő-betanító folyamataihoz hasonlóan elengedhetetlen a tapasztalt munkatárs állandó felügyelete az esetleges balesetek és gépkárosodások elkerülése végett. Bár a szimulációs szoftverek (CAM) régóta segítik a gyártáselőkészítést, a szerszámgépek kezelésének betanítására kevésbé alkalmasak. E komplex problémára nyújtanak megoldást az XR (Extended Reality), és ezen belül is a VR (Virtual Reality) technológiák [2], amelyek segítségével a hallgatók egy kockázatmentes, jól felügyelt laboratóriumi környezetben ismerkedhetnek meg a gépi folyamatokkal, a termelővállalatok pedig a szerszámgép termelésből való kivonása nélkül végezhetik el a betanítási folyamatot. A dolgozat célja egy HAAS VF-1 típusú, háromtengelyes CNC megmunkálóközpont interaktív, paraméter vezérelt virtuális modelljének létrehozása Unreal Engine 5 grafikai motor alkalmazásával.

2. VR SZIMULÁCIÓS KERETRENDSZER

Végső célunk egy olyan oktatási keretrendszer létrehozása, amelyben a hallgató nem csak statikus modelleket vizsgálhat, hanem beállíthatja a megmunkálás paramétereit, és valós időben megfigyelheti az anyagleválasztást. A fejlesztés több, egymásra épülő alrendszer (modul) kialakítását tette szükségessé, felhasználva az Unreal Engine vizualizációs motor eszközkészletét, többek között annak Niagara részecskerendszerét, Widget alapú felhasználói felületeket és Pawn vezérlési osztályokat.

2.1 Gépmodell kialakítása és optimalizálása

A szimuláció alapjául szolgáló HAAS VF-1 szerszámgép STEP formátumú CAD modelljét [3] az Unreal Engine számára kezelhetővé kellett tenni. Ennek a folyamata a NURBS-alapú geometria GLB formátumra (poligonhálóra) konvertálása majd a gép mozgó elemeinek (főorsó, asztal, ajtók, szerszámtár) Tri-select módszerrel önálló komponensekre bontása. A VR alkalmazásoknál a szimulációs rosszullét (*simulator sickness*) [4] elkerülésének érdekében kritikus a stabil 90 FPS megjelenítés fenntartása. A grafikus motor a gépelemek importálásakor minden azonos anyagú, de különálló elemhez új anyagstruktúrát generál. Jelen gépmodell esetében ez csaknem 130 új anyagfajta jelentett, ami drasztikusan csökkentette a motor teljesítményét, ami szükségessé tette az optimalizálást. Az alapanyagok rendszerezésével és származtatott anyagpéldányok (*Material Instance*) alkalmazásával jelentősen csökkentettük a megjelenítés számítási költségét.

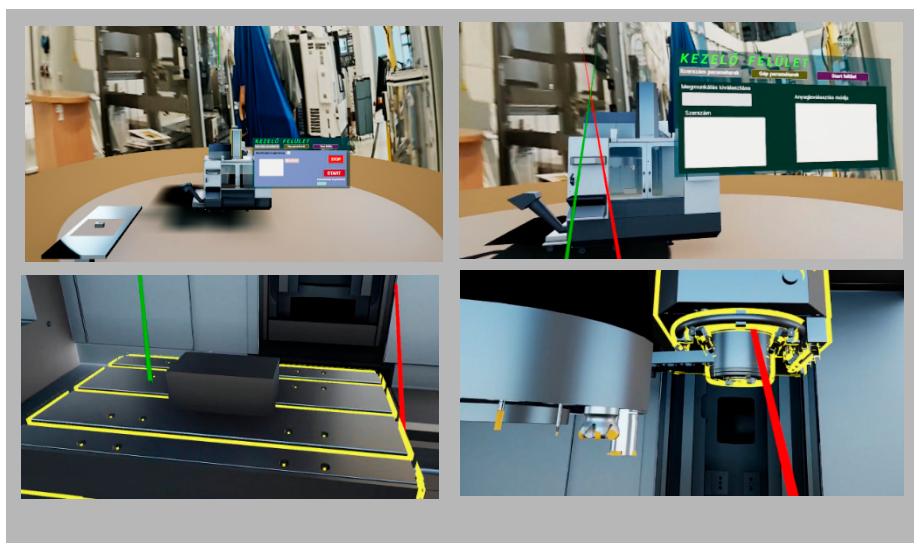
2.2 Felhasználó vezérlés

A felhasználói vezérlés az Unreal Engine környezetében a Pawn osztályon keresztül valósul meg, ami feldolgozza a bemeneti perifériák, esetünkben a VR Headset és a kontrollerek adatait, és konvertálja azokat a virtuális tér globális koordináta-rendszerébe. A gép és a felhasználó közötti interakciót a Widget alapú felhasználói felület teszi lehetővé. Ezen a felületen állíthatóak be a különböző megmunkálási paraméterek (vágó, - és előtolási sebesség, előgyártmány anyaga), amelyet a központi vezérlő modul feldolgoz, majd továbbítja a megfelelő alrendszerek számára végrehajtásra.

2.3 Valós idejű anyagleválasztás és látványelemek

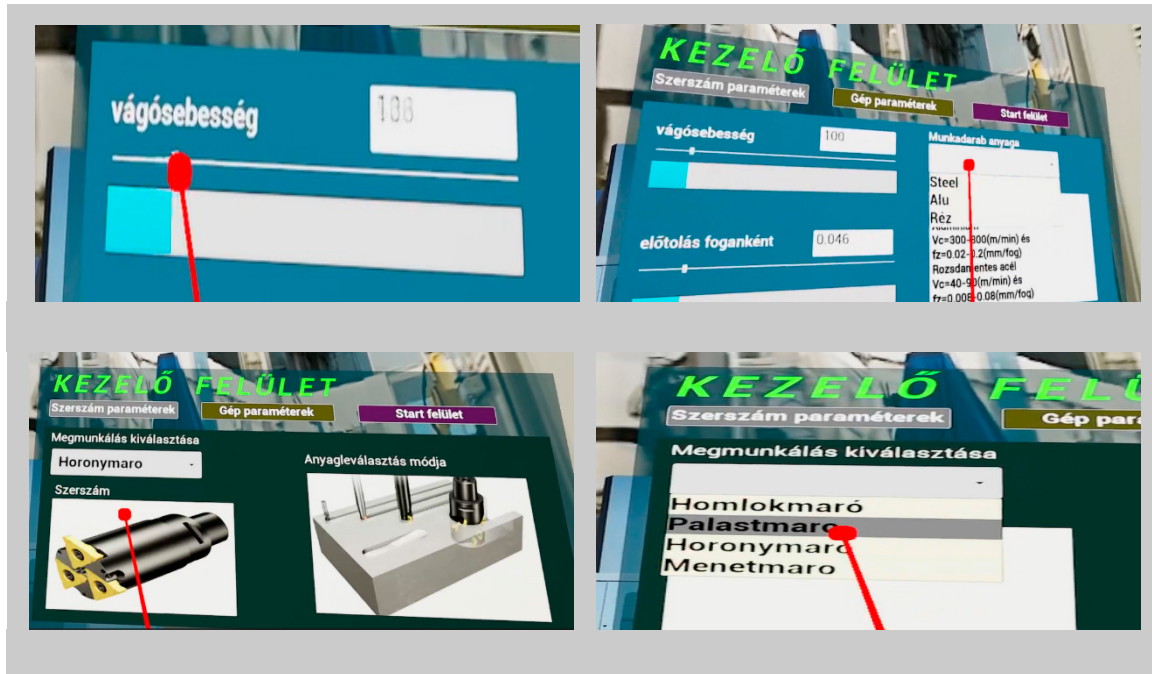
A valós idejű anyagleválasztást dinamikus mesh komponensek közötti *Mesh Boolean* logikai művelettel valósítottuk meg, a szerszámmodelleket a Sandvik Coromant oldalról importáltuk [5]. A folyamat során egy, a szerszámhoz definiált „vágóhenger” halad végig a generált munkadarabon. Az algoritmus megvizsgálja a két test poligonhálójának metszetét, majd kivonva a vágóhenger térfogatát a munkadarabból új poligonhálót generál. Mivel ez egy kifejezetten erőforrásigényes művelet, a teljesítményvesztés elkerülésének érdekében szükséges az iterációk számának egy belső számlálóval való korlátozása. A megmunkálást olyan vizuális effektek teszik élethűvé, mint a hűtő-kenő folyadék és a forgácsolási szikrák, amelyeket a GPU-ra optimalizált *Niagara System* generál [6]. A GPU alapú részecskerendszer (particle system) tehermentesíti a CPU-t, miközben egy immerzív megmunkálási környezetet hoz létre.

3. AZ EREDMÉNY BEMUTATÁSA A FELHASZNÁLÓ SZEMSZÖGÉBŐL



1. ábra. Mozgás a virtuális térben

A szimuláció a VR Preview gombra kattintva indítható el. Indításkor a felhasználó egyből belekerül a VR világba. Ekkor a VR headset elkezd vetíteni a képet, innen a felhasználó már a Pawn-on (a felhasználó virtuális reprezentációja) keresztül mozog. A kontroller érintő felületén az ujjak megfelelő mozgásával tudja irányítani a karakter különböző irányú mozgásait. A kontrollert a szerszámgép alkatrészeire irányítva az alkatrészek körül megjelenik egy sárga, a kiválasztást jelző körvonal, ez látszódik az *1. ábrán* is. Ez mindaddig aktív marad, míg a kontroller az alkatrészre irányul. Míg az alkatrészek ki vannak választva, addig szabadon mozgathatóak a fizikai kényszerek által meghatározott irányokba.



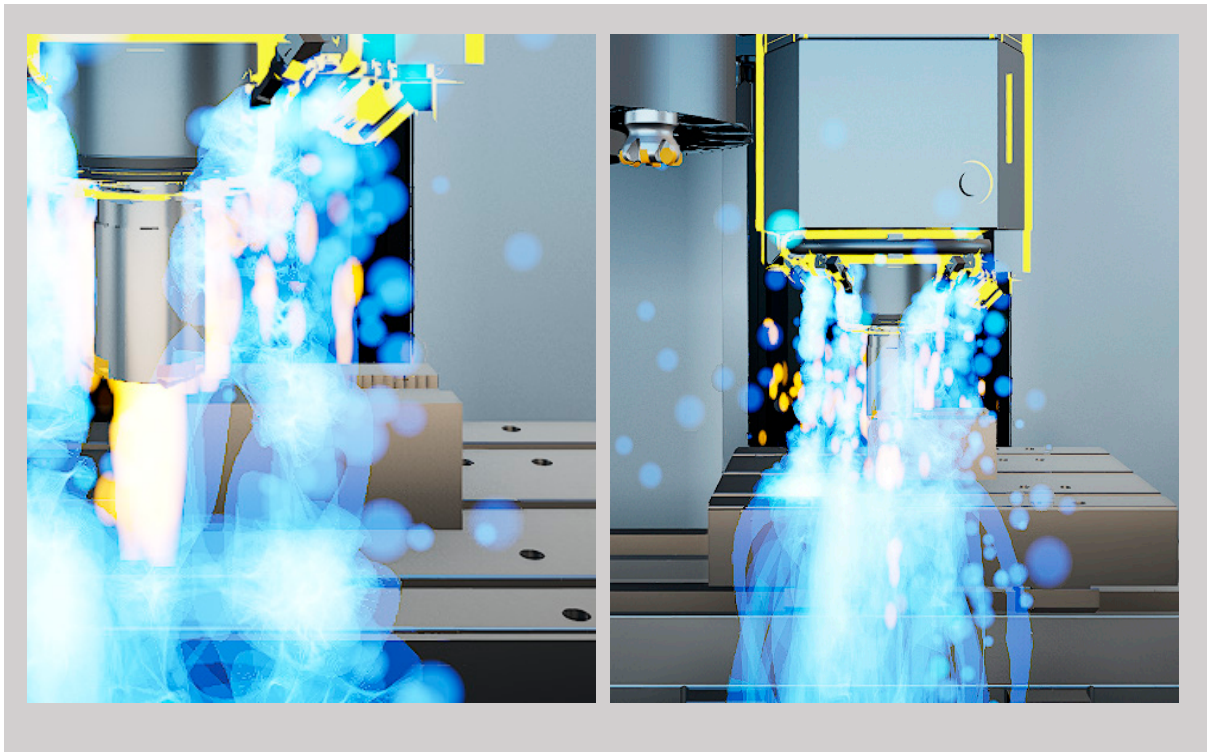
2. ábra. Widget interakció bemutatása

A paraméter vezérlés a felhasználói kezelőfelületen a widget rendszeren keresztül valósul meg. A felhasználó kiválaszthatja a munkadarab anyagát (alumínium, réz, acél), a forgácsolási paramétereket (f_z [mm/fog]- fogankénti előtolás, v_c [m/perc] - vágósebesség) [7], valamint a marószerszámot. A tanulót segítő az adott anyaghoz és megmunkáláshoz javasolt paraméterek [8] jelennek meg a panel jobb oldalán. Kiemelendő, hogy a beállítható paraméterek a kiválasztott szerszámtól függetlenek, azokra differenciált beviteli korlátozás nem kerül alkalmazásra. Ennek következményeként a tényleges megmunkálásra alkalmatlan bementi kombinációk is megadhatók, amik a szimuláció futtatásakor kerülnek kiértékelésre, szükség szerint a megfelelő hibajelenséget létrehozva. A látványelemek bekapcsolására is ezen a panelen van lehetőség.



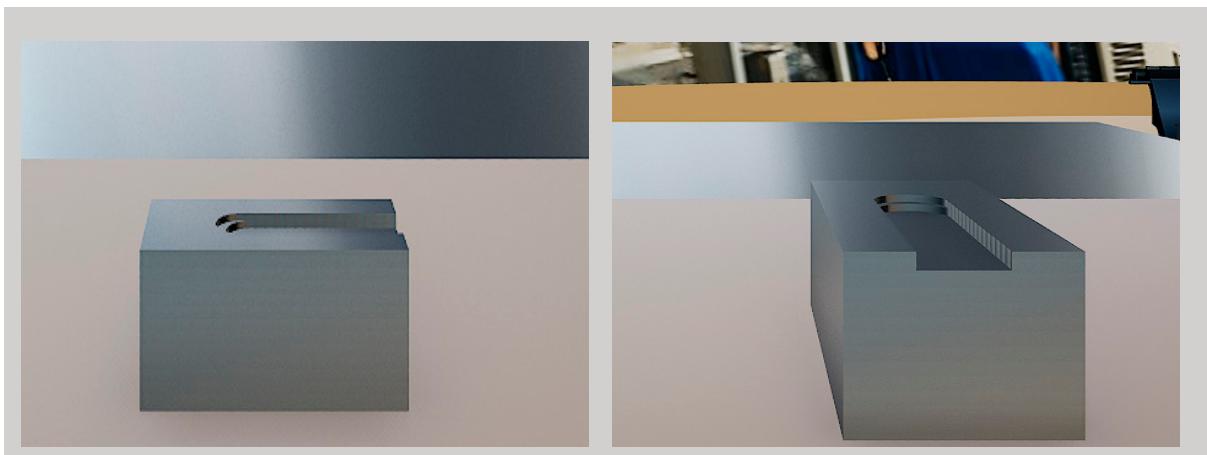
3. ábra. A megmunkálhatóságra figyelmeztető felkiáltójel, és a füst effekt

A paraméterek beállítását követően, a felhasználó az utolsó panelen elindíthatja a megmunkálást, illetve ellenőrizheti, hogy megfelel-e a beállított érték a szerszámgép fizikai korlátjainak. A felhasználói felületen megjelenő piros felkiáltójel jelzi a felhasználónak, hogy az általa beállított paraméterek nem megfelelőek, ezt felülbírálvá mégis elindítva a programot a gép füst effekttel jelzi a hibás beállítást, mint ahogy ezt a *3. ábra* is szemlélteti.



4.ábra. Megmunkálás folyamata, a vizuális effektekkel
(hűtő-kenő folyadék, szikrázás)

A megmunkálás elindítása után a főorsó felgyorsul a beállításnak megfelelő fordulatszámra majd lesüllyed a munkadarab felső síkjának a magasságába. A paramétereknek megfelelően a szerszám bejárja a hozzárendelt szerszám pályát, miközben az említett módon a munkadarabon végbemegy a térfogatváltozás. A szimuláció során a valósághű megjelenítés céljából megjelennek a vizualizációs effektek, mint a kenőfolyadék és a forgácsleválást imitáló szikrázás. A program kialakítása során igyekeztünk elterjedt, és a szerszámnak megfelelő szemléltető szerszám pályákat beemelni, így esett a választás a homlok, palást, horony, menetmarási technológiákra [9].



5.ábra. A megmunkált munkadarab kihelyezve
a vizsgáló asztalra

A marási folyamat eredménye, azaz a megmunkált munkadarab a *munkadarab megtekintése* gomb megnyomása után, a jelenbe behelyezett asztalra kerül. Itt a felhasználó megfigyelheti milyen térfogati változásokon ment keresztül az anyag. A gép a háttérben számol más forgácsolási paramétereket (forgácsolási erő, forgácsolási hőmérséklet) [7], viszont ezek a program jelen cikkben bemutatott verziójában nem lettek a felhasználó számára megjelenítve. Fontos kiemelni, hogy a cél egy oktatási, demonstrációs keretrendszer kiépítése volt, nem tartalmaz megmunkálhatósági vizsgálatot. Természetesen a jövőbeli fejlesztésekben már törekedünk ipari szintű program kialakítására, amely sokkal több információt jelenít meg a felhasználónak.

IDÉZETT FORRÁSMUNKÁK

- [1] ***, *Minden egy helyen, amit az Ipar 4.0-ról tudni érdemes*. ABB, <https://new.abb.com/news/hu/detail/94154/minden-egy-helyen-amit-az-ipar-40-rol-tudni-erdemes>, (Utolsó letöltés: 2026.03.01).
- [2] Rónay P., *AR, MR, VR, XR – négy rövidítés, amit szükséges ismerni a modern UX/UI világában*. Ergomania, <https://ergomania.hu/ar-mr-vr-xr-negy-rovidites-amit-szukseges-ismerni-a-modern-ux-ui-vilagaban/>, (Utolsó letöltés: 2026.03.01).
- [3] ***, *HAAS Vfl megmunkálóközpont*. Haascnc.com, <https://www.haascnc.com/hu/machines/vertical-mills/vf-series/models/small/vf-1.html#gsc.tab=0>. (Utolsó letöltés: 2026.03.01).
- [4] Jialin Wang, Rongkai Shi, Wenxuan Zheng, Weijie Xie, *Effect of Frame Rate on User Experience, Performance, and Simulator Sickness in Virtual Reality*. IEEEExplore, <https://ieeexplore.ieee.org/document/10049694>, 4-9. oldal (Utolsó Letöltés: 2026.03.22)
- [5] ***, *CoroMill Marószerszámok*. Sandvik Coromant, <https://www.sandvik.coromant.com/hu-hu> (Utolsó letöltés: 2026.03.01).
- [6] ***, *Creating Visual Effects with Niagara System*. Unreal Engine, <https://dev.epicgames.com/documentation/en-us/unreal-engine/creating-visual-effects-in-niagara-for-unreal-engine>, (Utolsó letöltés: 2026.03.22)
- [7] Bíró I., *Forgácsolási összefüggések alkalmazása. Gépgyártástechnológia T4 tantermi gyakorlat, Gyártástudomány és -technológia Tanszék, Budapest*, (Utolsó letöltés: 2026.03.22).
- [8] ***, *CNC Machining: Feed rate and cutting speed*. Premium Parts, https://www.premiumparts.com/blog/cnc-machining_-feed-rate-and-cutting-speed (Utolsó letöltés: 2026.03.22)
- [9] ***, *10 Types Of Milling Operations*. Borui CNC, <https://boruimc.com/types-of-milling-operations/> (Utolsó letöltés: 2026.03.22)