

ARTIFICIAL INTELLIGENCE  
CAPABILITY TESTINGMESTERSÉGES INTELLIGENCIA  
KÉPESSÉGVIZSGÁLATABURAI István György<sup>1</sup>

## Abstract

The development of artificial intelligence (AI) is playing an increasingly important role in supporting engineering workflows, but its applicability in deterministic industrial environments remains questionable. This study examines the assistant capabilities of generative artificial intelligence in the field of CNC technology using a structured, task-oriented methodology. The research analyzes the applicability of AI in technical drawing, production planning, and CNC programming preparation through simple and complex tasks derived from real engineering workflows. Based on the results, AI provides effective support for low-risk, preparatory tasks, but consistency and accuracy decrease as complexity increases. The study confirms the role of artificial intelligence as an engineering assistant, while highlighting the limitations of its autonomous application.

## Keywords

artificial intelligence, generative AI, engineering assistant, CNC technology, capability assessment, safety-critical systems

## Absztrakt

A mesterséges intelligencia (MI) fejlődése egyre nagyobb szerepet kap a mérnöki munkafolyamatok támogatásában, ugyanakkor alkalmazhatósága a determinisztikus ipari környezetekben továbbra is kérdéses. Jelen tanulmány a generatív mesterséges intelligencia asszisztensi képességeit vizsgálja a CNC-technológia területén, strukturált, feladatvezérelt módszertan alkalmazásával. A kutatás valós mérnöki munkafolyamatokból származtatott egyszerű és összetett feladatokon keresztül elemzi az MI alkalmazhatóságát a műszaki rajzkészítés, a gyártástervezés és a CNC-programozás előkészítése során. Az eredmények alapján az MI hatékony támogatást nyújt alacsony kockázatú, előkészítő jellegű feladatok esetén, azonban a komplexitás növekedésével csökken a következetesség és a pontosság. A vizsgálat megerősíti a mesterséges intelligencia mérnöki asszisztensként betöltött szerepét, miközben rávilágít az autonóm alkalmazásának korlátaira.

## Kulcsszavak

mesterséges intelligencia, generatív MI, mérnöki asszisztens, CNC-technológia, képességvizsgálat, biztonságkritikus rendszerek

<sup>1</sup> burai.istvan@bkg.uni-obuda.hu | ORCID: 0009-0007-8988-6301 | PhD Student, Óbuda University, Bánki Donát Faculty of Mechanical and Safety Engineering | PhD Hallgató, Óbudai Egyetem, Bánki Donát Gépész és Biztonságtechnikai Mérnöki Kar

## BEVEZETÉS

A mesterséges intelligencia (MI) az elmúlt években a műszaki és mérnöki területek egyik legdinamikusabban fejlődő technológiájává vált. A számítási kapacitás növekedése, a nagyméretű adathalmazok elérhetősége, valamint a fejlett tanulási algoritmusok megjelenése lehetővé tette olyan rendszerek kialakulását, amelyek képesek összetett mintázatok felismerésére, tartalom előállítására és döntéstámogatásra. Különösen a generatív mesterséges intelligenciák terjedése irányította rá a figyelmet arra, hogy ezek az eszközök nem csupán elemző vagy optimalizáló funkciókat láthatnak el, hanem aktív asszisztensként is megjelenhetnek a mérnöki munkafolyamatokban.

A gyártástechnológia területén a számítógépes vezérlésű (CNC) rendszerek kulcsszerepet játszanak. A CNC-technológia használata nagyfokú pontosságot, ismétlődő gyártási képességet és megbízható működést igényel, miközben a tervezési és programozási lépések összetett mérnöki döntések láncolatán alapulnak. A műszaki rajzok elkészítése, a gyártási folyamatok megtervezése és a G-kódok megírása előre meghatározott, szigorúan szabályozott környezetben történik, ahol a hibák nemcsak pénzügyi veszteségekhez vezethetnek, hanem akár gépek sérülését vagy a termelés biztonságának kockázatát is okozhatják. Emiatt a CNC-alapú rendszerek különösen érzékenyek az automatizált vagy részben automatizált döntéstámogató megoldások alkalmazására.

Az ipari digitalizációval párhuzamosan egyre több kutatás foglalkozik a mesterséges intelligencia gyártástechnológiai alkalmazhatóságával, ugyanakkor ezek jelentős része speciálisan fejlesztett, ipari célú MI megoldásokra koncentrál. Ezzel szemben viszonylag kevés empirikus vizsgálat értékeli objektív módon az általánosan elérhető, generatív mesterséges intelligenciák képességeit konkrét mérnöki feladatokon. Különösen hiányos azoknak a tanulmányoknak a száma, amelyek strukturált feladatrendszerben, mérhető kritériumok alapján elemzik az MI asszisztensi szerepét a CNC-technológia területén. Ez a kutatási rés indokolja az általános célú MI eszközök gyakorlati képességeinek részletesebb vizsgálatát.

Jelen tanulmány célja a generatív mesterséges intelligenciák asszisztensi képességeinek vizsgálata a CNC-technológia kontextusában. A kutatás egyszerű és összetett műszaki feladatokon keresztül elemzi, hogy az MI rendszerek milyen mértékben képesek támogatni a mérnöki munkát a műszaki rajzkészítés, a gyártástervezés és a G-kód generálás területén. A vizsgálat során nem az autonóm gyártásvezérlés megvalósíthatósága áll a középpontban, hanem az ember–MI együttműködés hatékonysága, valamint az alkalmazhatóság és a korlátok feltárása. A tanulmány hozzájárulása abban rejlik, hogy gyakorlati példákon és összehasonlítható értékelési szempontokon keresztül nyújt képet az MI jelenlegi állapotáról, mint mérnöki asszisztensről, és alapot teremt további kutatások számára az ipari és oktatási alkalmazások területén.

## MESTERSÉGES INTELLIGENCIA MINT MÉRNÖKI ASSZISZTENS

A mesterséges intelligencia alkalmazása a mérnöki gyakorlatban hagyományosan jól körülhatárolt, specifikus feladatokra korlátozódott, mint például optimalizációs problémák megoldása, képfeldolgozás vagy prediktív karbantartás. Az utóbbi években azonban a generatív mesterséges intelligenciák megjelenése új szerepkört jelölt ki az MI számára,

amely túlmutat az automatizált számításokon, és az emberi mérnöki munkát támogató asszisztensi funkciók felé mozdult el [1], [2].

A mérnöki asszisztens fogalma ebben az összefüggésben nem autonóm döntéshozó rendszert jelent, hanem olyan intelligens eszközt, amely képes értelmezni a felhasználó által megadott problémát, releváns információkat összegyűjteni, alternatív megoldásokat javasolni, valamint a tervezési és dokumentációs folyamatokat gyorsítani. A beszélgetésalapú, nagy nyelvi modelleken (Large Language Model, LLM) alapuló rendszerek különösen alkalmasnak tűnnek erre a szerepre, mivel természetes nyelven képesek kommunikálni, összetett utasításokat feldolgozni, valamint strukturált szöveget és kódot generálni [3].

A generatív mesterséges intelligenciák működésének alapját statisztikai tanulási módszerek és nagyméretű neurális hálózatok adják, amelyek nem explicit szabályrendszerek alapján dolgoznak, hanem valószínűségi mintázatok felismerésével állítanak elő válaszokat [4]. Ennek következtében az ilyen rendszerek erőssége az információk gyors összegzése, a jól strukturált válaszok előállítása és az ismert minták mentén történő tartalomgenerálás. Ugyanakkor ez a működési elv magában hordozza a pontatlanság, a kontextus félreértelmezése és a determinisztikus rendszerekkel való ütközés kockázatát, ami a mérnöki alkalmazások esetében különös jelentőséggel bír [5].

A mérnöki asszisztensi szerep értelmezésekor fontos különbséget tenni a támogató és a helyettesítő funkciók között. Míg egyes ipari MI megoldások célja az emberi döntések kiváltása, addig az általános célú generatív MI eszközök jelenlegi fejlettségi szintjükön elsősorban a mérnöki munka kiegészítésére alkalmasak. Ezek a rendszerek hatékonyan segíthetik az információkeresést, a dokumentáció elkészítését, az alternatív megoldások felvázolását és az ismétlődő, alacsony hozzáadott értékű feladatok elvégzését, miközben a végső döntések és felelősség továbbra is az emberi szakértőt terhelik [6].

A CNC-technológia területén a mesterséges intelligencia, mint mérnöki asszisztens alkalmazása különösen összetett kérdés. A CNC-programozás és gyártástervezés determinisztikus jellege, valamint a gépek működéséből fakadó szűk hibahatárok megkövetelik a nagyfokú pontosságot és következetességet. Ebben a környezetben az MI asszisztensi szerepe, elsősorban a tervezési folyamat támogatásában, a dokumentáció előkészítésében, valamint az emberi mérnök munkájának gyorsításában és ellenőrzésében értelmezhető [7]. Az MI által generált megoldások közvetlen, ellenőrzés nélküli alkalmazása ugyanakkor jelentős kockázatot hordoz, ami indokoltá teszi az ilyen rendszerek képességeinek és korlátainak módszeres vizsgálatát.

Összességében megállapítható, hogy a generatív mesterséges intelligencia jelenlegi állapotában elsősorban mérnöki asszisztensként értelmezhető, amely az emberi szakértelmet támogatja, de nem helyettesíti. Ennek a szerepnek a pontos meghatározása, valamint az alkalmazhatóság határainak feltárása elengedhetetlen ahhoz, hogy az MI-t biztonságosan és hatékonyan lehessen integrálni a CNC-technológiához kapcsolódó mérnöki munkafolyamatokba. A következő fejezet ennek megfelelően a CNC-technológia sajátosságait és az MI alkalmazásának konkrét kontextusát mutatja be.

## A CNC-TECHNOLÓGIA ÉS AZ ASSZISZTENSI FELADATKÖR

A CNC-technológia sajátosságai alapvetően meghatározzák, hogy a mesterséges intelligencia milyen szerepkörben és milyen korlátok között alkalmazható mérnöki asszisztensként. A számítógépes számjegyvezérlésű megmunkálás olyan determinisztikus

rendszer, ahol a tervezési döntések, a technológiai paraméterek és a programozási utasítások közvetlen hatással vannak a gyártás minőségére, biztonságára és gazdaságosságára. Ennek következtében az MI alkalmazása ebben a környezetben nem általános automatizálási kérdésként, hanem szigorúan strukturált mérnöki problémaként értelmezendő.

A CNC-megmunkálás folyamata több egymásra épülő lépésből áll, amelyek mindegyike eltérő jellegű szakmai kompetenciákat igényel. A folyamat jellemzően a műszaki rajz elkészítésével kezdődik, amely a geometriai és méretbeli információk pontos rögzítését szolgálja. Ezt követi a gyártási terv megalkotása, amely meghatározza a megmunkálási sorrendet, a szerszámokat, a technológiai paramétereket és a befogási módokat. A folyamat záró lépése a CNC-program G-kód formájában történő elkészítése, amely közvetlenül vezérli a gép mozgását és működését [8], [9].

Ezek a lépések eltérő mértékben alkalmasak mesterséges intelligencia általi támogatásra. A műszaki rajzkészítés esetében az MI elsősorban a geometriai formák értelmezésében, egyszerű alkatrészek ábrázolásában és dokumentációs feladatokban jelenhet meg asszisztensként. A rajzok azonban szigorú szabványokhoz kötöttek, ezért az MI által generált ábrák csak korlátozottan alkalmazhatók közvetlenül, és minden esetben szakértői ellenőrzést igényelnek [10].

A gyártási terv készítése már összetettebb mérnöki döntéseket foglal magában. Itt az MI asszisztensi szerepe elsősorban a lehetséges technológiai lépések összegzésében, alternatív megoldások javaslatában és az információk rendszerezésében értelmezhető. A szerszámválasztás, a megmunkálási sorrend és a technológiai paraméterek meghatározása ugyanakkor erősen függ az adott géptől, anyagtól és gyártási környezettől, ami korlátozza az általános célú MI eszközök pontosságát és megbízhatóságát [11].

A CNC-programozás, különösen a G-kód generálása a folyamat legkritikusabb pontja. A G-kód szintaktikailag kötött, determinisztikus nyelv, ahol egyetlen hibás parancs is a megmunkálás sikertelenségéhez vezethet. Bár a generatív mesterséges intelligenciák képesek formailag helyes kódrészletek előállítására, ezek helyessége és alkalmazhatósága csak a konkrét gépvezérlés, a technológiai környezet és a biztonsági előírások ismeretében ítéltethető meg. Ebben az értelemben az MI legfeljebb kiindulási alapot vagy ellenőrző eszközt jelenthet, de nem tekinthető önálló programozónak [12].

A CNC-technológiában értelmezett asszisztensi feladatkör tehát több szintre bontható. Az alacsonyabb kockázatú, dokumentációs és előkészítő feladatok esetében az MI hatékony támogatást nyújthat, míg a magas kockázatú, közvetlen gépvezérlést érintő döntések továbbra is emberi felügyeletet igényelnek. Ez a rétegzett megközelítés összhangban áll az ipari automatizálás jelenlegi gyakorlatával, ahol a mesterséges intelligencia fokozatosan, ellenőrzött módon kerül integrálásra a meglévő rendszerekbe [13].

A fejezetben bemutatott megfontolások alapján a következő lépés egy olyan strukturált feladatrendszer kialakítása, amely alkalmas a mesterséges intelligencia asszisztensi képességeinek objektív vizsgálatára a CNC-technológia kontextusában. Ennek keretében külön vizsgálhatók az egyszerű, jól körülhatárolható feladatok, valamint az összetettebb, több lépésből álló mérnöki problémák, amelyek reális képet adnak az MI jelenlegi alkalmazhatóságáról.

## FELADATOK MEGHATÁROZÁSA A MESTERSÉGES INTELLIGENCIA ASSZISZTENS SZÁMÁRA

A mesterséges intelligencia mérnöki asszisztensként történő alkalmazhatóságának objektív vizsgálatához olyan feladatrendszer kialakítása szükséges, amely tükrözi a valós mérnöki gyakorlatot, ugyanakkor lehetőséget biztosít az egyes részfeladatok elkülönített értékelésére. A jelen kutatás során alkalmazott módszertan alapelve, hogy nem az egyes mesterséges intelligencia rendszerekhez kerülnek feladatok kiválasztásra, hanem fordítva: a tipikus CNC-technológiai feladatok határozzák meg, hogy milyen MI alapú megoldások alkalmazhatók azok támogatására.

A feladatrendszer kialakításakor elsődleges szempont volt a fokozatosság elve. Ennek megfelelően a vizsgálat egyszerű, jól körülhatárolható részfeladatokkal indul, majd fokozatosan halad az összetettebb, több lépésből álló mérnöki problémák felé. Ez a megközelítés lehetővé teszi annak elemzését, hogy a mesterséges intelligencia milyen mértékben képes kezelni az egyes feladattípusokat, valamint hol jelentkeznek a komplexitás növekedéséből fakadó korlátok.

Az egyszerű feladatok olyan alapvető mérnöki tevékenységeket reprezentálnak, amelyek a CNC-megmunkálás előkészítő szakaszában rendszeresen előfordulnak. Ide tartozik az egyszerű geometriai formák műszaki rajzának elkészítése, az alapvető méret- és jelölésrendszerek alkalmazása, valamint az ezekhez kapcsolódó dokumentáció előállítás. Ezek a feladatok viszonylag alacsony kockázatúak, ugyanakkor jól alkalmasak az MI értelmezési, struktúraalkotási és szabálykövetési képességeinek vizsgálatára.

A vizsgálat következő szintjén megjelennek a részben összetett feladatok, amelyek már több mérnöki szempont együttes kezelését igénylik. Ebbe a kategóriába tartozik például a menetes alkatrészek ábrázolása, a technológiai sorrend megtervezése, valamint a gyártási lépések logikai összekapcsolása. Ezek a feladatok nemcsak a geometriai pontosságot, hanem a műszaki konvenciók és szabványok helyes értelmezését is megkövetelik, így alkalmasak az MI kontextuskezelési és következtetési képességeinek elemzésére.

Az összetett feladatok a teljes CNC-előkészítési folyamatot modellezik, ahol a mesterséges intelligenciának egy kezdeti bemenet, például egy kézi skicc vagy részleges műszaki leírás, amely alapján kell több egymásra épülő lépést végrehajtania. Ezek a lépések magukban foglalják a műszaki rajz pontosítását, a gyártási terv kidolgozását, valamint a CNC-program logikai felépítésének előkészítését. Az ilyen feladatok különösen alkalmasak annak vizsgálatára, hogy az MI képes-e következtetesen kezelni a több lépésből álló mérnöki problémákat, illetve mennyire tartható fenn a megoldások minősége a feladat komplexitásának növekedésével.

A feladatok értékelése során nem kizárólag a végeredmény helyessége került figyelembe vételre, hanem a megoldáshoz vezető folyamat is. Vizsgálatra került, hogy az mesterséges intelligencia modell milyen mértékben érti meg a feladat lényegét, mennyire következtetesen alkalmazza a korábban megadott információkat, valamint hány iterációra van szükség a használható eredmény eléréséhez. Ez a megközelítés összhangban áll azzal a gyakorlati szemlélettel, amely szerint a mesterséges intelligencia asszisztensként való alkalmazhatóságát nem csupán az elméleti képességek, hanem a tényleges használhatóság és a felhasználói interakció hatékonysága határozza meg.

A fejezetben bemutatott feladatstruktúra alapot teremt a következő fejezetekben ismertetett képességvizsgálatokhoz. A módszertan lehetővé teszi az egyszerű és összetett

feladatok eredményeinek összehasonlítható értékelését, valamint hozzájárul annak megértéséhez, hogy a mesterséges intelligencia jelenlegi fejlettségi szintjén milyen szerepet tölthet be a CNC-technológiához kapcsolódó mérnöki munkafolyamatok támogatásában.

## A KÉPESSÉGVIZSGÁLAT MÓDSZERTANA

A mesterséges intelligencia mérnöki asszisztensként való alkalmazhatóságának vizsgálata csak akkor tekinthető objektívnek, ha az egységes szempontrendszer alapján, reprodukálható módon történik. Ennek érdekében a jelen kutatás nem az egyes MI rendszerek összehasonlítására fókuszál, hanem arra, hogy az adott mérnöki feladatok milyen mértékben oldhatók meg mesterséges intelligencia támogatásával. A módszertan középpontjában ezért a feladatok jellege, az elvárt szakmai kimenetek, valamint az ezekhez rendelt értékelési kritériumok állnak.

A képességvizsgálat során a CNC-technológiához kapcsolódó tipikus mérnöki tevékenységek kerültek modellezésre. A feladatok kiválasztása a valós ipari és oktatási gyakorlatot tükrözi, és lefedi a tervezési folyamat főbb lépéseit a műszaki rajzkészítéstől a gyártástervezésen át a CNC-programozás előkészítéséig. A vizsgálat alapelve, hogy a mesterséges intelligencia asszisztensként történő alkalmazhatóságát nem kizárólag a végeredmény minősége, hanem a megoldáshoz vezető folyamat alapján kell megítélni.

Az értékelés három fő dimenzió mentén történt. Az első dimenzió a **feladatértelmezés helyessége**, amely azt vizsgálja, hogy az MI mennyire pontosan érti meg a műszaki problémát és a megadott feltételeket. A második dimenzió a **szakmai megfelelés**, amely magában foglalja a műszaki szabványok, konvenciók és technológiai elvek helyes alkalmazását. A harmadik dimenzió a **használhatóság**, amely a gyakorlati alkalmazhatóságot, az iterációk számát és a szükséges emberi beavatkozás mértékét értékeli.

A módszertan strukturált bemutatását az 1. táblázat szemlélteti, amely a vizsgált feladatokat, az azokkal szemben támasztott elvárásokat, valamint az értékelési kritériumokat foglalja össze.

| Feladattípus                                | Elvárt kimenet                                               | Értékelési kritériumok                                                         |
|---------------------------------------------|--------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------|
| Egyszerű geometriai alkatrész műszaki rajza | Méretarányos, szabványos jelöléseket tartalmazó műszaki rajz | Feladatértelmezés pontossága; méret- és jelöléshelyesség; szabványkövetés      |
| Menetes alkatrész ábrázolása                | Helyes menetjelölés, letörések és arányok alkalmazása        | Konvenciók helyes alkalmazása; geometriai következetesség; hibák javíthatósága |
| Gyártási terv készítése                     | Logikus megmunkálási sorrend, megfelelő szerszámválasztás    | Technológiai logika; alternatívák kezelése; szakmai indokoltság                |
| CNC-program logikai felépítése              | Szintaktikailag helyes, értelmezhető G-kódstruktúra          | Determinisztikusság; kockázatos elemek felismerése; ellenőrzési igény          |

| Feladattípus                          | Elvárt kimenet               | Értékelési kritériumok                                                |
|---------------------------------------|------------------------------|-----------------------------------------------------------------------|
| Összetett, több lépésből álló feladat | Rajz–terv–program összhangja | Következetesség több lépésen át; információmegtartás; iterációk száma |

1. Táblázat: Feladat–elvárás–értékelési kritérium hármas a képességvizsgálat során, saját szerkesztés

A táblázatban szereplő feladatok növekvő komplexitást képviselnek, ami lehetővé teszi annak vizsgálatát, hogy a mesterséges intelligencia asszisztensi teljesítménye miként változik a feladat összetettségének növekedésével. Az egyszerű feladatok elsősorban az MI értelmezési és struktúraalkotási képességeit tesztelik, míg az összetett feladatok a következetességet, a kontextuskezelést és a mérnöki logika hosszabb távú fenntartását vizsgálják.

A módszertan fontos eleme, hogy az értékelés nem bináris (helyes–helytelen) módon történik. Ehelyett a részleges megfelelés, a javíthatóság és az emberi beavatkozás szükségessége is értékelési szempontként jelenik meg. Ez a megközelítés összhangban van a mesterséges intelligencia asszisztensként történő alkalmazásának gyakorlati szemléletével, ahol a cél nem az emberi szakértelem kiváltása, hanem annak hatékony támogatása.

A fejezetben bemutatott módszertan biztosítja az alapot a következő fejezetekben részletezett képességvizsgálatok eredményeinek bemutatásához és értelmezéséhez. Az egysegies értékelési keretrendszer lehetővé teszi az egyszerű és összetett tesztek összehasonlítását, valamint hozzájárul a mesterséges intelligencia jelenlegi alkalmazhatóságának objektív megítéléséhez a CNC-technológia területén.

## EGYSZERŰ FELADATOK EREDMÉNYEINEK BEMUTATÁSA ÉS ÉRTÉKELÉSE

Az egyszerű feladatok célja az volt, hogy feltárják a mesterséges intelligencia alapvető asszisztensi képességeit olyan mérnöki problémák esetén, amelyek jól körülhatárolhatóak, alacsony kockázatúak, és a CNC-technológia előkészítő szakaszában rendszeresen előfordulnak. Ezek a feladatok lehetőséget biztosítottak az MI értelmezési, struktúraalkotási és szabálykövetési képességeinek vizsgálatára anélkül, hogy a komplexitás elfedné az alapvető működési sajátosságokat.

Az értékelés minden esetben az „A képességvizsgálat módszertana” fejezetben bemutatott módszertani keretrendszer szerint történt, különös tekintettel a feladatértelmezés pontosságára, a szakmai megfelelésre és a gyakorlati használhatóságra.

### Műszaki rajzkészítési feladatok értékelése

Az egyszerű műszaki rajzkészítési feladatok során az MI modellnek alapvető geometriai elemeket tartalmazó alkatrészek rajzát kellett elkészítenie meghatározott méretek alapján. A feladat célja nem az esztétikai minőség, hanem a műszaki szabványoknak megfelelő ábrázolás vizsgálata volt.

A tapasztalatok alapján megállapítható, hogy az MI általában helyesen értelmezte a geometriai alapformákat és azok méretbeli viszonyait. Az alkatrészek arányai jellemzően megfelelőek voltak, és a rajzok tartalmazták a szükséges méretjelöléseket. Ugyanakkor több esetben megfigyelhető volt, hogy a vonalvastagságok, nézetválasztások és jelölési konvenciók nem feleltek meg teljes mértékben a műszaki rajzolás szabványainak.

Az értékelés során különösen fontos szempont volt az iterációk száma. A rajzok minősége jellemzően javult a pontosító utasítások hatására, ami arra utal, hogy az MI alkalmas lehet interaktív asszisztensi szerepre. Ugyanakkor az is megállapítható, hogy önállóan, első lépésben ritkán eredményezett teljes mértékben elfogadható műszaki rajzot. Ez megerősíti azt a következtetést, hogy a rajzkészítés területén az MI inkább támogató, semmint helyettesítő szerepet tölthet be.

### **Menetes alkatrészek ábrázolásának értékelése**

A menetes alkatrészek ábrázolása már a rajzkészítésen belül is összetettebb feladatnak tekinthető, mivel speciális jelöléseket, szabványos ábrázolási módokat és geometriai részleteket igényel. A feladat célja annak vizsgálata volt, hogy az MI mennyire képes kezelni ezeket a konvenciókat, illetve mennyire következetes a korábban megadott geometriai információk alkalmazásában.

A vizsgálat során az MI általában felismerte a menet létezésének szükségességét, és alkalmazta az alapvető menetjelöléseket. Ugyanakkor gyakran előfordult, hogy a menet hossza, a letörések kialakítása vagy a jelölések pontos formája nem felelt meg maradéktalanul a szabványos elvárásoknak. Ezek a hibák különösen akkor jelentkeztek, amikor a feladat több paraméter együttes figyelembevételét igényelte. Pozitívként értékelhető, hogy a hibák többsége pontosító utasításokkal korrigálható volt, ami ismételten az asszisztensi jelleg erősödését mutatja. Ugyanakkor az is egyértelművé vált, hogy a menetes elemek ábrázolása olyan szintű szabványismeretet és következetességet igényel, amelyet az MI jelenlegi formájában csak korlátozottan képes önállóan biztosítani.

### **Gyártási terv készítésének értékelése**

A gyártási terv készítése az egyszerű feladatok közül a leginkább koncepcionális jellegű volt, mivel itt nem konkrét geometriai ábrázolásról, hanem a megmunkálási folyamat logikai felépítéséről van szó. A feladat során a mesterséges intelligenciának meg kellett határoznia a megmunkálási lépések sorrendjét, valamint javaslatot kellett tennie a szükséges műveletekre és eszközökre.

Az eredmények azt mutatták, hogy az MI ezen a területen viszonylag jól teljesített. A javasolt gyártási sorrendek többnyire logikusak voltak, és megfeleltek az általános technológiai elveknek. Az MI képes volt felismerni az alapvető megmunkálási műveleteket, valamint azokat egymáshoz megfelelő sorrendben kapcsolni.

Ugyanakkor a gyártási tervek gyakran maradtak általános szinten, és nem minden esetben vették figyelembe a konkrét géptípus, szerszámkészlet vagy anyag sajátosságait. Ez arra utal, hogy az MI erőssége ebben a feladatkörben elsősorban az információk strukturálásában és összefoglalásában rejlik, míg a részletek kidolgozása továbbra is emberi szakértelmet igényel.

### **Az egyszerű feladatok összegző értékelése**

Az egyszerű feladatok eredményei alapján megállapítható, hogy a mesterséges intelligencia alkalmas alapvető mérnöki asszisztensi feladatok támogatására, különösen a dokumentációs és előkészítő tevékenységek területén. A feladatértelmezés általában megfelelő volt, és a hibák jelentős része iteratív módon javíthatónak bizonyult.

Ugyanakkor az is egyértelművé vált, hogy a pontosság és a szabványkövetés szintje önálló alkalmazás esetén nem minden esetben felel meg a CNC-technológia szigorú



követelményeinek. Ez megerősíti azt a következtetést, hogy az MI jelenlegi fejlettségi szintjén elsősorban támogató szerepkörben alkalmazható, ahol az emberi mérnök szakmai kontrollja elengedhetetlen.

## **ÖSSZETETT FELADATOK EREDMÉNYEINEK BEMUTATÁSA ÉS ÉRTÉKELÉSE**

Az összetett feladatok célja annak vizsgálata volt, hogy a mesterséges intelligencia mennyire képes több egymásra épülő mérnöki lépést következetesen kezelni, valamint hogy a feladat komplexitásának növekedése milyen hatással van az asszisztensi teljesítményre. Ezek a feladatok már nem izolált részproblémákat reprezentáltak, hanem a CNC-technológia előkészítési folyamatának jelentős részét modellezték a kezdeti koncepciótól a gyártás előkészítéséig.

Az értékelés során kiemelt szempont volt az információmegtartás, a korábbi lépések következetes alkalmazása, valamint az iterációk során mutatott stabilitás. A fejezet alfejezetei külön tárgyalják az MI önálló problémamegoldási képességeit, valamint az emberi mérnöki megoldással való összevetést.

### **Összetett feladat megoldása kézi skiccből kiindulva**

Az első összetett feladat során a mesterséges intelligencia egy kézi skiccből indult ki, amely a megmunkálendő alkatrész alapvető geometriai jellemzőit tartalmazta. A feladat célja az volt, hogy az MI a vizuális vagy szövegesen leírt bemenet alapján műszaki rajzot készítsen, majd erre építve gyártási tervet és a CNC-program logikai struktúráját határozza meg.

A tapasztalatok azt mutatták, hogy az MI kezdeti lépésként általában felismerte az alkatrész fő geometriai elemeit, és képes volt egy értelmezhető műszaki rajz vázlatos elkészítésére. Ugyanakkor már ebben a fázisban megjelentek pontatlanságok, különösen a méretarányok, a részletek pontos elhelyezése és a szabványos jelölések alkalmazása terén. Ezek a hibák a későbbi lépésekben tovább öröklődtek, ami jól szemlélteti az összetett feladatok egyik alapvető kockázatát: a korai fázisban elkövetett pontatlanságok kumulatív hatását.

A gyártási terv készítése során az MI jellemzően logikus, de általános jellegű megoldásokat adott. A megmunkálási sorrend többnyire megfelelt az általános technológiai elveknek, ugyanakkor a konkrét részletek, például a befogási stratégiák vagy a szerszámválasztás finomságai gyakran hiányoztak vagy csak részben voltak megalapozottak. Ez arra utal, hogy az MI képes a magas szintű folyamatlogika követésére, de a részletekben rejlő mérnöki döntések meghozatalában korlátozott.

### **Következetesség és kontextusmegtartás több lépésen keresztül**

Az összetett feladatok egyik legfontosabb vizsgálati szempontja a kontextusmegtartás volt. Ez azt jelenti, hogy az MI mennyire képes a korábban megadott információkat, döntéseket és paramétereket a későbbi lépések során helyesen alkalmazni.

A vizsgálat során megfigyelhető volt, hogy az MI rövidebb interakciós láncok esetén viszonylag jól megőrizte a kontextust, azonban a lépések számának növekedésével egyre gyakrabban jelentkeztek inkonzisztenciák. Ezek például eltérő méretadatok

megjelenésében, korábban rögzített geometriai elemek figyelmen kívül hagyásában vagy a gyártási terv és a programlogika közötti eltérésekben nyilvánultak meg.

Ez a jelenség különösen kritikus a CNC-technológia szempontjából, mivel a gyártási folyamat minden lépése szorosan egymásra épül. A kontextusvesztés nemcsak pontatlanságot eredményezhet, hanem olyan logikai hibákat is, amelyek a gyártás során közvetlen kockázatot jelentenek. A tapasztalatok alapján az MI asszisztensként történő alkalmazása ebben a feladattípusban csak folyamatos emberi ellenőrzés mellett tekinthető biztonságosnak.

### **Összevetés az emberi mérnöki megoldással**

Az összetett feladatok értékelésének fontos eleme volt az MI által adott megoldások összevetése egy emberi mérnök által készített referencia-megoldással. Az emberi megoldás jellemzően lassabban készült el, ugyanakkor nagyobb következetességet és pontosságot mutatott a teljes folyamat során.

Az emberi mérnöki megoldás egyik legnagyobb előnye a globális áttekintés képessége volt. A mérnök már a kezdeti lépések során figyelembe vette a későbbi gyártási szempontokat, így a műszaki rajz, a gyártási terv és a CNC-program egymással összhangban készült el. Ezzel szemben az MI megoldásai inkább lokális optimalizációt mutattak, azaz az adott lépést próbálták a lehető legjobban megoldani, gyakran a későbbi következmények figyelmen kívül hagyásával.

Ugyanakkor az MI jelentős előnyt mutatott az információk gyors összegzésében és a kezdeti koncepciók felvázolásában. Ez arra utal, hogy az MI hatékony eszköz lehet a mérnöki gondolkodás támogatásában, különösen a tervezési folyamat korai szakaszában, míg a végső döntések és a kritikus részletek kidolgozása továbbra is emberi kompetenciát igényel.

### **Az összetett feladatok tanulságai**

Az összetett feladatok eredményei alapján egyértelművé vált, hogy a mesterséges intelligencia asszisztensi teljesítménye a feladat komplexitásának növekedésével jelentősen csökken. Míg az egyszerű feladatok esetében az MI hatékony támogatást nyújtott, addig az összetett, több lépésből álló problémák során a következetesség és a pontosság fenntartása már komoly kihívást jelentett.

Ezek az eredmények alátámasztják azt a megközelítést, miszerint az MI jelenlegi fejlettségi szintjén nem alkalmas autonóm mérnöki feladatellátásra a CNC-technológia területén. Ugyanakkor asszisztensként, megfelelően strukturált feladatkörnyezetben és emberi felügyelet mellett jelentős hozzáadott értéket képviselhet.

## **ÖSSZEGZÉS, KÖVETKEZTETÉSEK ÉS JÖVŐBELI KUTATÁSI IRÁNYOK**

A tanulmány célja a mesterséges intelligencia asszisztensi képességeinek vizsgálata volt a CNC-technológia kontextusában, strukturált feladatrendszer és egységes értékelési szempontok alkalmazásával. A kutatás nem egyes mesterséges intelligencia megoldások összehasonlítására fókuszált, hanem arra, hogy tipikus mérnöki feladatok milyen mértékben támogathatók MI alapú eszközökkel. Ez a megközelítés lehetővé tette az mesterséges intelligencia alkalmazhatóságának feladatvezérelt, objektív értékelését.

Az eredmények alapján megállapítható, hogy a mesterséges intelligencia jelenlegi fejlettségi szintjén elsősorban mérnöki asszisztensként értelmezhető, amely képes

támogatni a tervezési és előkészítési folyamatokat, de nem alkalmas autonóm mérnöki döntéshozatalra a CNC-technológia területén. Az egyszerű feladatok, mint például alapvető műszaki rajzkészítés vagy gyártási terv vázlatos kidolgozása esetében az MI hatékony segítséget nyújtott, míg az összetett, több lépésből álló problémák során a következetesség, a kontextusmegtartás és a pontosság jelentős korlátokat mutatott.

A vizsgálat egyik fontos tanulsága, hogy az MI teljesítménye erősen függ a feladat strukturáltságától és az emberi iránymutatás minőségétől. Az iteratív, párbeszédalapú használat során az MI képes volt javítani a megoldások minőségét, ami megerősíti asszisztensi szerepének létjogosultságát. Ugyanakkor a CNC-technológia determinisztikus jellege miatt az MI által generált eredmények minden esetben szakértői ellenőrzést igényelnek.

### **Oktatási implikációk**

A kutatás eredményei jelentős következtetéseket hordoznak a műszaki és mérnök-képzés számára. A mesterséges intelligencia asszisztensként történő alkalmazása lehetőséget teremt arra, hogy a hallgatók a hagyományos tanulási módszereket kiegészítve interaktív támogatást kapjanak a tervezési és gyártástechnológiai feladatok megoldása során. Az MI alkalmas lehet a fogalmi összefüggések magyarázatára, a megoldási lépések strukturálására, valamint alternatív megközelítések bemutatására.

Ugyanakkor az eredmények rámutatnak arra is, hogy az MI alkalmazása az oktatásban csak tudatos keretek között lehet hatékony. Amennyiben a hallgatók kritikátlanul fogadják el az MI által generált megoldásokat, fennáll a veszélye a felszínes tudásszerzésnek és a mérnöki gondolkodás háttérbe szorulásának. Ezért az MI oktatási integrációja során kiemelt hangsúlyt kell kapnia a validálás, az ellenőrzés és a hibák felismerésének tanításának.

A CNC-technológia oktatásában az MI különösen hasznos lehet az előkészítő fázisok támogatásában, például a műszaki rajzok értelmezésében vagy a gyártási folyamatok logikai felépítésének megértésében. Az MI alkalmazása így nem a hagyományos oktatási módszerek kiváltását, hanem azok kiegészítését szolgálhatja, elősegítve a hallgatók önálló gondolkodásának és szakmai reflexiójának fejlődését.

### **Ipari implikációk**

Az ipari alkalmazások szempontjából a kutatás eredményei megerősítik azt az álláspontot, hogy a mesterséges intelligencia jelenleg nem tekinthető önálló mérnöki szereplőnek a CNC-technológia területén. Az MI közvetlen, ellenőrzés nélküli alkalmazása a gyártásban jelentős kockázatot hordoz, különösen a CNC-programozás és a gépvezérlés területén, ahol a legkisebb hiba is komoly következményekkel járhat.

Ugyanakkor az MI asszisztensként történő alkalmazása az iparban is jelentős potenciált rejt. A tervezési és előkészítési fázisban az MI hozzájárulhat a mérnöki munka hatékonyságának növeléséhez, az információk gyors rendszerezéséhez és az alternatív megoldások feltárásához. Ez különösen értékes lehet olyan környezetben, ahol a mérnöki erőforrások korlátozottak, vagy ahol a tudásmegosztás és a dokumentáció kulcsszerepet játszik.

Az ipari integráció során kulcsfontosságú a megfelelő munkafolyamatok kialakítása, amelyek egyértelműen meghatározzák az MI szerepét és felelősségi körét. Az MI által generált eredmények validálása, a döntési pontok egyértelmű kijelölése és az emberi felügyelet biztosítása elengedhetetlen feltétele annak, hogy az MI biztonságosan és hatékonyan illeszkedjen a CNC-alapú gyártási rendszerekhez.

FELHASZNÁLT IRODALOM<sup>2</sup>

- [1] European Parliament, “What is artificial intelligence and how is it used?” European Parliament Topics, Brussels, Belgium, Sep. 4, 2020. [Online]. Available: <https://www.europarl.europa.eu/news/en/headlines/society/20200827STO85804/what-is-artificial-intelligence-and-how-is-it-used>
- [2] European Parliament and the Council of the European Union, *Regulation (EU) 2024/1689 of the European Parliament and of the Council of 13 June 2024 laying down harmonised rules on artificial intelligence (Artificial Intelligence Act)*, Official Journal of the European Union, L 1689, Jul. 12, 2024. [Online]. Available: <https://eur-lex.europa.eu>
- [3] A. Vaswani *et al.*, “Attention is all you need,” in *Proc. 31st Int. Conf. Neural Information Processing Systems (NeurIPS)*, Long Beach, CA, USA, 2017, pp. 5998–6008.
- [4] T. B. Brown *et al.*, “Language models are few-shot learners,” in *Proc. 34th Int. Conf. Neural Information Processing Systems (NeurIPS)*, Vancouver, BC, Canada, 2020, pp. 1877–1901.
- [5] R. Bommasani *et al.*, “On the opportunities and risks of foundation models,” Stanford Center for Research on Foundation Models (CRFM), Stanford, CA, USA, Tech. Rep., 2021. [Online]. Available: <https://crfm.stanford.edu>
- [6] European Parliamentary Research Service, *General-Purpose Artificial Intelligence*, EPRS Briefing, European Union, Brussels, Belgium, 2023.
- [7] B. D. Á. Duska, *Mesterséges intelligencia asszisztensi feladatainak vizsgálata a CNC technológia területén*, BSc/MSc szakdolgozat, Óbudai Egyetem, Bánki Donát Gépész és Biztonságtechnikai Mérnöki Kar, Budapest, Hungary, 2025.
- [8] P. Smid, *CNC Programming Handbook*, 3rd ed. New York, NY, USA: Industrial Press, 2008.
- [9] J. M. Mattson, *CNC Programming: Principles and Applications*. Clifton Park, NY, USA: Delmar Cengage Learning, 2002.
- [10] International Organization for Standardization, *ISO 128-1:2003—Technical drawings—General principles of presentation—Part 1: Introduction and general requirements*. Geneva, Switzerland: ISO, 2003.
- [11] International Organization for Standardization, *ISO 129-1:2018—Technical product documentation (TPD)—Indication of dimensions and tolerances—Part 1: General principles*. Geneva, Switzerland: ISO, 2018.
- [12] International Organization for Standardization, *ISO 2768-1:1989—General tolerances—Part 1: Tolerances for linear and angular dimensions without individual tolerance indications*. Geneva, Switzerland: ISO, 1989.
- [13] M. P. Groover, *Fundamentals of Modern Manufacturing: Materials, Processes, and Systems*, 7th ed. Hoboken, NJ, USA: Wiley, 2020.

---

<sup>2</sup> példák hivatkozásokra | REFERENCES examples of references