

A MÉRNÖK MINT DIGITÁLIS KARMESTER – TERVEZÉS A MESTERSÉGES INTELLIGENCIA KORSZAKÁBAN

THE ENGINEER AS A DIGITAL CONDUCTOR – DESIGN IN THE AGE OF ARTIFICIAL INTELLIGENCE

Dr. Szeghő Krisztina Katalin *

ABSTRACT

Artificial intelligence (AI) is increasingly used to support engineering design activities, while problem formulation, solution selection and verification remain essential. This paper examines how AI supports task clarification, the generation and selection of solutions, and verification-based feedback. Through these activities, it explores how the engineer's role may evolve as an increasing number of design tasks are supported by AI tools.

The digital conductor metaphor connects cognitive, methodological and organisational changes. The key challenge for the future of engineering design is not merely the application of AI tools, but the effective integration of human expertise and AI-based support.

1. BEVEZETÉS

A mérnöki tervezés a műszaki megoldások kidolgozása mellett a feladat értelmezését, az alternatívák értékelését és az eredmények ellenőrzését is magában foglalja. A mesterséges intelligencia (MI) e tevékenységek egyre több részfeladatát támogathatja, miközben a meghatározó szakmai döntések továbbra is a mérnöknél maradnak.

A cikk azt vizsgálja, hogyan változtatja meg az MI alkalmazása a tervezési folyamat egyes tevékenységeit, és hogy milyen hatással lehet a mérnök szerepére. A digitális karmester metafora ezt a szerepváltozást szemlélteti: a mérnök a közvetlen tervezői munka mellett egyre inkább a digitális eszközök és részfolyamatok összehangolását is végzi. Ehhez nélkülözhetetlen a mérnöki szaktudás, az alkalmazott eszközök korlátainak ismerete és az eredmények kritikus értékelése.

2. A TERVEZÉSI FOLYAMAT HÁROM MÓDSZERTANI SZEMPONTJA

A Pahl–Beitz-féle rendszerezett tervezési megközelítés és a VDI 2221 a fejlesztést egymáshoz kapcsolódó, visszacsatolásokat is igénylő tevékenységekként kezeli [1, 2]. A módszertani keretet

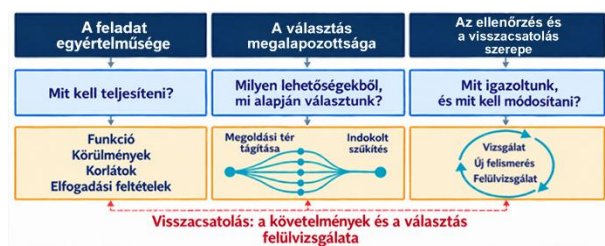
az adott feladathoz kell igazítani, miközben a korai döntések a további lehetőségeket is meghatározzák.

Az MI támogatási lehetőségeit három, a cikkben meghatározott, minden tervezési fázisban alkalmazható módszertani szempont (SZ1–SZ3) alapján vizsgáljuk..

SZ1 – A feladat egyértelműsége. A követelményjegyzék rögzíti a teljesítendő funkciót, a körülményeket, a korlátokat és az elfogadási feltételeket. A szempont azt vizsgálja, hogy ezek az adott részfeladathoz is egyértelműen meg vannak-e határozva. Ez szükséges kiindulópont, de önmagában nem garantál jó megoldást.

SZ2 – A választás megalapozottsága. A megoldások előállítása és kiválasztása összekapcsolódó, de különböző tevékenység. Az előállítás a vizsgálható lehetőségek körét tágitja; a kiválasztás a követelmények és az értékelési tudás alapján szűkít. A szempont azt vizsgálja, hogy érdemben eltérő lehetőségek közül, indokolt kritériumok és megfelelően alátámasztott adatok alapján történik-e a választás.

SZ3 – Az ellenőrzés és a visszacsatolás szerepe. A szempont azt vizsgálja, hogy a döntéseket megfelelő vizsgálatok támasztják-e alá, és azok eredményei visszahatnak-e a tervezésre. Az új felismerések alapján a tervet, szükség esetén a korábbi feltevéseket is módosítani kell. Az ellenőrzés így a további döntések információforrása.



1. ábra A tervezési folyamat három módszertani szempontja

Az 1. ábrán összefoglalt szempontok alapján minden új eszköz bevezetésekor megvizsgálható, mely tevékenység válik könnyebbé, és mely szakmai kötelezettség marad változatlan.

* egyetemi adjunktus, BME Gépészmérnöki Kar, Gép- és Terméktervezés Tanszék

3. A TERVEZÉSI FÁZISOK AZ MI KORSZAKÁBAN

Az MI a követelményfeltárástól a részletes kidolgozásig támogatja a tervezést [3]. Az alfejezetek e támogatás lehetőségeit és az eredmények szakmai elfogadásának feltételeit vizsgálják (2. ábra).



2. ábra. A mérőknél maradó szakmai feladatok és az MI támogatási lehetőségei a tervezési folyamatban

3.1. Feladatértelmezés és követelmények

Az MI megbízói leírásokból, korábbi dokumentációkból és használati tapasztalatokból követelményjelölteket emelhet ki, valamint segíthet a hiányos, homályos vagy ellentmondásos megfogalmazások felismerésében [3]. A „könnyen karbantartható” igényhez például a hozzáférésre, a szükséges szerszámokra vagy a megengedett kiesési időre vonatkozó tisztázó kérdéseket rendelhet.

Meg kell különböztetni a dokumentált igényt, az abból levezetett követelményt és az egyeztetést igénylő feltevést. Az MI a hiányzó információkat hihető, de téves feltételezésekkel is pótolhatja, a tényleges használati körülményeket és kompromisszumokat azonban nem feltétlenül ismeri. A követelmények véglegesítése, a kötelező és mérlegelhető feltételek elkülönítése, valamint teljesítésük igazolási módjának meghatározása ezért mérőknél marad. Az SZ1 alapján azt kell vizsgálni, hogy a követelmények egyértelműen meghatározzák-e a feladatot és teljesítésének elfogadási feltételeit.

3.2. Koncepcióalkotás és változatosság

Az MI működési elveket, funkciómegoldásokat és ezek kombinációit javasolhatja, valamint segíthet új keresési irányok feltárásában. A javaslatok azonban vizsgálható lehetőségek, nem igazolt konstrukciók. A gyors változatképzés önmagában nem jelenti a megoldási tér bővülését, mivel eltérő megfogalmazások azonos működési elvet is képviselhetnek.

Ma és munkatársai tizenkét tervezési problémán végzett összehasonlításában a gépi javaslatok kedvező megvalósíthatósági és hasznossági értékelést kaptak, míg a tömegesen gyűjtött emberi megoldások nagyobb újdonságot mutattak [4]. Ege és munkatársai egy fizikai prototípust létrehozó kísérletben a vizsgált modellnél

tervezési fixációt is megfigyelték [5]. Ezek az eredmények a vizsgált feladatokra vonatkoznak, és nem alapoznak meg általános következtetést az MI kreativitásáról.

A mérőknél feladata a keresési tér kijelölése és az érdemben eltérő működési elvek feltárása. A túl korai részletezés szűkítheti a lehetőségeket. Az SZ2 alapján nem a változatok száma, hanem azok tényleges különbözősége meghatározó.

3.3. A megoldások kiválasztása

Az MI támogatja az alternatívák összehasonlítását, a követelményekhez rendelhető tulajdonságok rendszerezését és a kompromisszumok feltárását. Az értékelési kritériumok meghatározása azonban szakmai feladat. A kizáró feltételeket el kell különíteni a mérlegelhető előnyöktől, mivel egy kötelező követelményt nem teljesítő megoldás kedvező összpontszámmal sem fogadható el. A moduláris gyártósorok tervezése is példázza a konstrukciós változatok módszeres értékelésének és kiválasztásának jelentőségét [6].

Az értékelés során különbséget kell tenni az igazolt tulajdonságok, a becslések és az MI által feltételezett előnyök között. Az eredmények bizonytalanságát és a rangsor érzékenységet is vizsgálni kell. Automatizált generáló-értékelő ciklusban különösen fontos, hogy a kritériumok valóban a tervezési célokat képviseljék, ne csupán könnyen számítható helyettesítő mutatókat.

A gyors változatképzés a kiválasztást teheti a folyamat szűk keresztmetszetévé. Az MI által készített rangsor ezért csak döntés-előkészítő eredmény, amelynek megalapozottságát és a választás indokait az SZ2 alapján ellenőrizni kell.

3.4. Megtervezés és kidolgozás

A megtervezés a kiválasztott működési elvet térbeli, szerkezeti és rendszerszintű kialakítássá alakítja, míg a részletes kidolgozás a méreteket, kapcsolatokat és dokumentációt pontosítja. Az MI támogatja a részfeladatok felbontását, a számítások előkészítését és a dokumentáció feldolgozását, ellenőrzött eszköz-környezetben pedig egyes műveletek végrehajtását is.

Az MI által javasolt adatokat, a számítási eredményeket és az elfogadott tervadatokat meg kell különböztetni. Az anyagválasztás, a méretezés és a tűrések meghatározása mérőknél döntést igényel. A részmegoldások kölcsönhatásai mellett vizsgálni kell a szabványoknak való megfelelést, a gyárthatóságot, az összeszerelhetőséget, a karbantarthatóságot és a használhatóságot.

Ebben a fázisban az SZ1–SZ3 szempontok együttesen érvényesülnek: a követelmények egyértelműsége, a kialakítási döntések megalapozottsága és a részmegoldások ellenőrzése meghatározza a kidolgozás elfogadhatóságát. Az MI alkalmazásának előnye csak akkor érvényesül, ha nem növeli aránytalanul a felülvizsgálati ráfordítást.

3.5. Ellenőrzés és iteráció

Az MI támogathatja a vizsgálatok tervezését, a hibamódok feltárását és az eredmények követelményekkel való összevetését, de a megfelelőség megítélése mérnöki feladat marad. Az ISO 9000:2015 szerint a verifikáció a meghatározott követelmények, a validáció pedig a tervezett felhasználásra vonatkozó követelmények teljesülésének objektív bizonyítékkal történő megerősítése [7]. A kettő nem helyettesíti egymást.

A számítások vagy szimulációk sikeres lefutása önmagában nem igazolja a műszaki megfelelőséget. Az azonos feltevésekre épülő MI-modellek egyetértése sem tekinthető független bizonyítéknak; az ellenőrzés módját és elfogadási feltételeit az adott műszaki feladat alapján kell meghatározni.

Az iteráció akkor eredményes, ha új információval csökkenti a bizonytalanságot vagy megalapozza a korábbi döntések felülvizsgálatát. A vizsgálati eredményeket ezért az adott tervváltozathoz kell kapcsolni, szükség esetén a korábbi tervezési fázisokig visszalépve. Az SZ3 alapján meghatározó az ellenőrzés függetlensége és az eredmények visszacsatolása a tervezésbe.

4. AZ ÁTALAKULÁS HÁROM SZINTEN

A tervezési fázisok áttekintése után az átalakulás a mérnöki gondolkodás, a módszertan és a szervezeti működés szintjén összegezhető [8]. Míg az SZ1–SZ3 szempontok azt mutatják meg, mit kell az egyes döntéseknél vizsgálni, a három szint azt, hogy az átalakulás hol jelentkezik. A 3. ábra a hangsúlyok változását és az ehhez kapcsolódó szakmai feltételeket mutatja be.

KOGNITÍV SZINT Mérnöki gondolkodás	MÓDSZERTANI SZINT A tervezési folyamat	SZERVEZETI SZINT Szerepek és felelősség
A változás jellege A figyelem a közvetlen végrehajtásról az értelmezés és az értékelés felé tolódhat.	A változás jellege Gyorsabb visszacsatolás, szorosabban összekapcsolódó tervezési lépések.	A változás jellege Több eszköz és részfeladat összehangolása válhat szükségessé.
Szakmai feltételek Szakterületi tudás, ítélőképesség és tudatos tapasztaltszerzés.	Szakmai feltételek Tudatos ellenőrzési kapuk és követhető döntési alapok.	Szakmai feltételek Közös, verziózott követelmények, egyértelmű szerepek és követhető felelősség.

3. ábra. Az MI-vel támogatott tervezés átalakulása

4.1. Kognitív szint

Az MI alkalmazása átrendezheti a mérnök figyelmét és gondolkodási tevékenységeit. Egyes részfeladatok automatizálásával több figyelem fordítható a probléma értelmezésére, az összefüggések felismerésére és a szakmai döntésekre. Ez azonban nem automatikus előny: a gyorsan keletkező javaslatok értékelése, a hiányzó adatok felismerése és a bizonytalan eredmények megítélése új kognitív terhelést is jelenthet.

A mérnöki ítélőképesség kialakulásában feltehetően továbbra is meghatározó a közvetlen tervezői tapasztalat. A saját számítások, modellezés és hibajavítás segíthetik

a valószínűtlen eredmények felismerését. Nyitott kérdés, hogyan szerezhető meg ez a tapasztalat az automatizálás mellett; ennek képzési következményeit az 5.2. alfejezet tárgyalja.

4.2. Módszertani szint

A tervezési fázisok határai ellenőrzési kapuként szolgálhatnak, ahol megítélhető, hogy rendelkezésre áll-e elegendő bizonyíték a továbblépéshez. Az MI által gyorsított iteráció elmoshatja e határokat, de a gyorsabb módosítás önmagában nem igazolja a megoldás megfelelőségét.

Az ellenőrzési kapukat a feladat bizonytalanságához és a döntések következményeihez kell igazítani. A továbblépés feltételeinek és indokainak követhetőknek kell maradniuk, az SZ1–SZ3 szempontok alkalmazásával.

4.3. Szervezeti szint

Az MI-vel támogatott tervezésben az egymástól független részfeladatok eltérő alapfeltevésekre épülhetnek, ami rendszerszintű ellentmondásokhoz vezethet. Ezért közös, verziókövetett követelményjegyzékre, valamint a feltevések és döntések dokumentálására van szükség.

A nyomon követhetőségnek ki kell terjednie a bemeneti adatokra, az alkalmazott eszközökre és modellváltozatokra, valamint az eredmények elfogadásának indokaira. Nagyobb következményű döntéseknél független felülvizsgálat is indokolt lehet. Az MI alkalmazása nem ruházza át a szakmai felelősséget: az elfogadás továbbra is a felelős mérnökhöz és a szervezethez kapcsolódik.

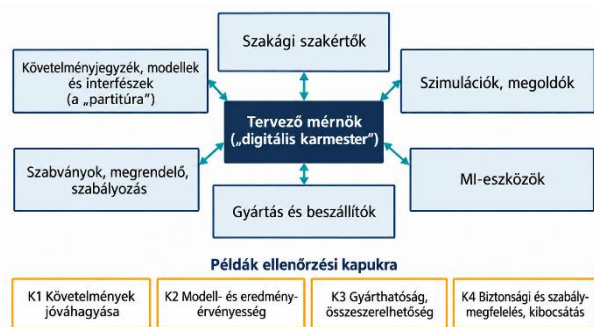
5. A MÉRNÖK MINT DIGITÁLIS KARMESTER – SZEREPVÁLTOZÁS ÉS KÖVETKEZMÉNYEK

5.1. A „digitális karmester” metaforája és korlátai

A karmester-metaforában a partitúrát a követelményjegyzék, a modellek és az interfészek együttese alkotja, míg a zenekarhoz a szakértők, a számítási és szimulációs eszközök, valamint az MI-rendszerek tartoznak. A mérnök összehangolja a részfeladatokat, meghatározza a kidolgozás és az ellenőrzés ütemét, értékeli az eredményeket, és dönt a tervezés további irányáról. Munkáját a szabványok, a megrendelői elvárások, a szabályozás, valamint a gyártási és beszállítói lehetőségek is meghatározzák.

A metafora lényege az összhang megteremtése. Az önmagukban megfelelő rész megoldások is hibás tervhez vezethetnek, ha eltérő követelményekre vagy össze nem illő feltevésekre épülnek. Ezért a koordinációnak biztosítania kell a részeredmények műszaki összhangját és az elfogadáshoz szükséges bizonyítékokat. Ennek eszközei az ellenőrzési kapuk: a követelmények jóváhagyása (K1), a modell- és eredményérvényesség

vizsgálata (K2), a gyárthatóság és az összeszerelhetőség ellenőrzése (K3), valamint a biztonsági és szabálymegfelelés igazolása (K4) (4. ábra).



4. ábra. A mérnök mint digitális karmester és az ellenőrzési kapuk példái

A metaforának ugyanakkor korlátai vannak. A mérnöknek ismernie kell az általa irányított eszközök működését és korlátait, az MI-rendszerek nem viselnek felelősséget a műszaki eredményért. A tervezési hibák nem mindig ismerhetők fel azonnal, ezért megfelelő vizsgálatokra van szükség. Végül a mérnök nem kizárólag koordinál: szükség esetén maga is számol, modellez és rész megoldásokat dolgoz ki. A karmester és a gyakorló tervező szerepe tehát nem választható szét élesen.

5.2. A mérnöki szerep átalakulása és következményei

A mérnöki szerep átalakulásában külön kell választani a tervezési műveletek végrehajtását és a hozzájuk kapcsolódó szakmai döntéseket. A követelmények rendszerezése, a változatok előállítása és a vizsgálati adatok feldolgozása részben automatizálható, míg a követelmények jóváhagyása, a megoldások kiválasztása és az eredmények elfogadása továbbra is mérnöki feladat. A közvetlen végrehajtás szerepe csökkenhet, miközben a rész folyamatok összehangolása és a döntések megalapozása felértékelődhet.

Az átalakulás a mérnökképzést is érinti. A rutinszerű feladatok automatizálása módosíthatja a pályakezdők tapasztalatszerzésének útját, ezért a műszaki alapok önálló gyakorlását az MI-eszközök alkalmazásával és kritikus értékelésével célszerű összekapcsolni. A hallgató például összevetheti saját modelljét az MI javaslatával, feltárhatja az eltérő feltevéseket, és megtervezheti a megfelelőség igazolásához szükséges vizsgálatokat. Így a megoldás mellett a mérnöki gondolkodás is értékelhető.

Az MI alkalmazásának eredményessége nem ítélhető meg kizárólag a feladatvégrehajtás gyorsaságából: az ellenőrzés, a javítás és a szakmai elfogadás ráfordításait is figyelembe kell venni. A digitális karmester szerepének értéke abban mutakozhat meg, hogy az emberi szakértelem és a gépi támogatás összehangolása mennyiben javítja a teljes tervezési folyamat eredményességét.

6. ÖSSZEFOGLALÁS

Az MI a tervezési folyamat több fázisában csökkentheti a közvetlen végrehajtás terhet, miközben a szakmai döntések és azok igazolása még mérnöki feladat marad. A cikkben alkalmazott SZ1–SZ3 szempontok alapján a támogatás értékét nem a változatképzés sebessége, hanem a feladat egyértelműsége, a választás megalapozottsága és az ellenőrzés eredményeinek visszacsatolása határozza meg.

A digitális karmester szerepe a tervezési rész folyamatok összehangolásában, a döntések megalapozásában és a műszaki megfelelőség igazolásában jelenik meg. Ehhez a mérnöki szaktudás és ítélőképesség megőrzése, a követelmények és döntések nyomon követhetősége, valamint a megfelelő ellenőrzési módszerek alkalmazása szükséges. A mérnökképzés feladata ezért az MI-eszközök használata mellett az önálló mérnöki gondolkodás és a kritikus értékelés fejlesztése.

7. IRODALOM

- [1] PAHL, G.; BEITZ, W.; FELDHOUSEN, J.; GROTE, K.-H.: Engineering Design: A Systematic Approach. 3. kiadás, Springer, London, 2007. <https://doi.org/10.1007/978-1-84628-319-2>
- [2] VDI 2221 Blatt 1:2019-11. *Entwicklung technischer Produkte und Systeme – Modell der Produktentwicklung*. VDI, Düsseldorf, 2019
- [3] JONUSCHIES, I.; SIEWERT, L.; MICHAELSEN, E.; GERICKE, K.: *Mapping AI applications in design: support and activities across the product development process*. Proceedings of the Design Society, 5, 2025, pp. 2341–2350. <https://doi.org/10.1017/pds.2025.10248>
- [4] MA, K.; GRANDI, D.; MCCOMB, C.; GOUCHER-LAMBERT, K.: *Conceptual Design Generation Using Large Language Models*. arXiv:2306.01779, Proceedings of the ASME IDETC-CIE 2023. <https://doi.org/10.48550/arXiv.2306.01779>
- [5] EGE, D. N.; VREB, H. H.; STUBBERUD, V.; BERG, M. F.; ELVERUM, C.; STEINERT, M.; VESTAD, H.: *ChatGPT as an inventor: eliciting the strengths and weaknesses of current large language models against humans in engineering design*. Artificial Intelligence for Engineering Design, 39, e6, 1–15, 2025. <https://doi.org/10.1017/S0890060425000010>
- [6] GOTTHARD, V.; BERCSEY, T.: *Development of Modular Production Lines*. Periodica polytechnica-Mechanical Engineering 0324-6051 1587-379X 50 (2) pp. 125-145 2006.7
- [7] ISO 9000:2015: *Quality management systems – Fundamentals and vocabulary*, 3.8.12-13 szakasz. Intern. Org. for Standardization, Genf, 2015.
- [8] SZEGHŐ, K.; GOTTHARD, V.: *MI-vel támogatott mérnöki tervezés*. Szakmai nap, Szekszárd, 2026.