



BME

BUDAPESTI MŰSZAKI
ÉS GAZDASÁGTUDOMÁNYI
EGYETEM

DR. SZEGHŐ K., DR. GOTTHARD V.: MI-VEL TÁMOGATOTT MÉRNÖKI TERVEZÉS

TOLNA VÁRMEGYEI MÉRNÖKI KAMARA - SZAKMAI NAP



**TOLNA VÁRMEGYEI
MÉRNÖKI KAMARA**

2026. JÚNIUS 5.

BUDAPESTI MŰSZAKI ÉSGAZDASÁGTUDOMÁNYI EGYETEM, GÉP- ÉS TERMÉKTERVEZÉS TANSZÉK
1111 Budapest, Műegyetem rkp. 3

Készítette: Dr. Szeghő Krisztina és Dr. Gotthard Viktor

Készült: Budapest, 2026.07.24.

TARTALOM

1.	Bevezetés.....	2
1.1.	Mítoszok és valóság a Mesterséges Intelligenciáról	2
2.	A Mesterséges Intelligencia története és hatása a mérnöki tervezés folyamataira	2
2.1.	Az MI evolúciója	2
2.1.1.	Elméleti alapok (1940-1960)	3
2.1.2.	Szimbolikus MI és Szabályalapú rendszerek (1960-1980).....	3
2.1.3.	Szakértői rendszerek az iparban (1980-1995).....	3
2.1.4.	Gépi tanulás és statisztikai modellek (1995-2010).....	4
2.1.5.	Deep learning (2010-2020)	4
2.1.6.	Mélytanulás, GPU-forradalom és Generatív korszak (2020-2026)	4
2.2.	Az MI fejlődésének hatása a mérnöki tervezésre	4
2.3.	Prompt Engineering – hatékony MI kommunikáció	5
2.4.	A mérnöki tervezés evolúciója.....	7
2.4.1.	A tervezési folyamat klasszikus modelljei	7
2.4.2.	A digitalizáció hatása a mérnöki tervezésre	9
2.4.3.	A mesterséges intelligencia megjelenése a mérnöki tervezésben	11
2.5.	Összegzés	15
3.	MI által támogatott tervezés: módszerek és gyakorlati példák	16
3.1.	Gépészeti tervezés	16
3.1.1.	Folyamatábra	16
3.1.2.	tervezési lépések és alkalmazott eszközök bemutatása	16
3.2.	MI lehetőségek áttekintése	25
3.2.1.	Trend kitekintés.....	25
3.2.2.	MI típusok és funkcióik.....	25
3.2.3.	MI evolúciója a tervezésben	26
3.3.	A két terület metszete	27
3.3.1.	Mire és hogyan alkalmazható az MI?.....	27
3.3.2.	Gyakorlati példák bemutatása	28
3.4.	Tervezési lépések MI-támogatási lehetőségeinek összefoglalása	35
4.	Felhasznált források	36

1. BEVEZETÉS

A Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem Gép- és Terméktervezés Tanszéke (GT3) hosszú évek óta élen jár az ipari digitalizációs és automatizációs technológiák kutatásában. A Tolna Vármegyei Mérnöki Kamarával közösen szervezett szakmai nap célja az volt, hogy áthidalja a szakadékot a legújabb elméleti számítástudományi eredmények és a mindennapi gépészeti tervezési gyakorlat között. Az MI integrációja a mérnöki praxisba nem egy távoli, jövőbeli lehetőség, hanem a jelen versenyképességének elengedhetetlen feltétele.

1.1. MÍTOSZOK ÉS VALÓSÁG A MESTERSÉGES INTELLIGENCIÁRÓL

A köztudatban és a médiában számos tévhit kering az MI képességeivel kapcsolatban. Az alábbi struktúra egyértelműen elkülöníti a mérnöki tévhiteket a tényleges matematikai és informatikai valóságtól:

Mítosz: Mit NEM jelent az AI?	Valóság: Mi valójában az AI?
Varázseszköz a mérnöki munkában: Olyan eszköz, ami gombnyomásra, emberi felügyelet és szaktudás nélkül kész mérnöki terveket vagy optimális konstrukciókat szállít.	Módszerek, algoritmusok és számítási eljárások összessége: Szigorú matematikai alapokon nyugvó optimalizációs és valószínűségszámítási modellek halmaza.
Egyetlen, mindentudó technológia: Egy univerzális entitás vagy monolitikus szoftver, amely a gépészet, elektronika és szoftverfejlesztés minden problémáját egyaránt megoldja.	A klasszikus mérnöki eszköztár strukturált kiterjesztése: Integrálódik a meglévő CAD, CAE, FEM és PLM rendszerekbe, kiegészítve azok funkcionalitását.
Csak látványos, generatív tartalomkészítő: Képeket, marketing szövegeket vagy egyszerű prezentációkat generáló felszínes szoftver.	Hatalmas számítási, mintázatfelismerési és adatfeldolgozási kapacitás: Képes több millió korábbi mérnöki adatot, szenzorjelet és geometriát elemezni másodpercek alatt.

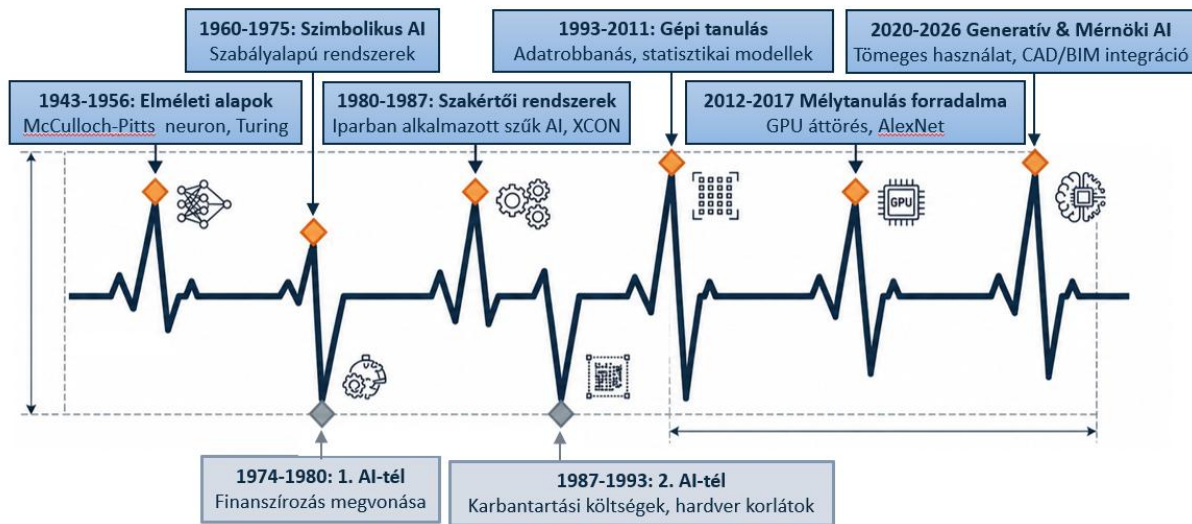
I. táblázat: Mítoszok és valóság az MI körül

2. A MESTERSÉGES INTELLIGENCIA TÖRTÉNETE ÉS HATÁSA A MÉRNÖKI TERVEZÉS FOLYAMATAIRA

A modern ipari környezetben a mesterséges intelligencia (MI/AI) fogalma központi szerepet tölt be, azonban a mérnöki gyakorlatban elengedhetetlen a technológia pontos, sallangmentes definiálása. Ez a dokumentáció a Tolna Vármegyei Mérnöki Kamara szakmai napján elhangzott előadások anyagát dolgozza fel részletesen, rendszerezett és szakmailag megalapozott formában.

2.1. AZ MI EVOLÚCIÓJA

A mesterséges intelligencia nem egy csapásra jelent meg a mérnöki világban; fejlődése jól elkülöníthető ciklusokra, úgynevezett 'MI-tavaszkokra' (intenzív fejlődési és finanszírozási időszakok) és 'MI-telekre' (a kiábrándulás és a források megvonásának korszakai) osztható.



1. ábra: Az MI evolúciójának története

2.1.1. ELMÉLETI ALAPOK (1940-1960)

Az időszak legfontosabb mérföldköve Warren McCulloch neurofiziológus és Walter Pitts logikus 1943-as együttműködése, amelynek során kidolgozták az mesterséges neuron első matematikai modelljét (McCulloch-Pitts neuron). Tanulmányukban deklarálták, hogy az idegrendszeri aktivitás 'mindent vagy semmit' jellege miatt az idegrendszeri események és a közöttük lévő kapcsolatok leírhatók és kezelhetők az ítéletkalkulus (propozicionális logika) segítségével. Megállapították, hogy minden logikai hálózat viselkedése pontosan leírható ezen matematikai kifejezésekkel.

Ezt követte Frank Rosenblatt úttörő munkássága a Perceptron hardveres megvalósításával, aki vizionárius módon úgy vélte, hogy a szemtanúi leszünk egy olyan gép születésének, amely képes érzékelni, felismerni és azonosítani a környezetét anélkül, hogy bármilyen emberi betanításra vagy kontrollra szorulna. Bár a korabeli hardverkorlátok miatt ez a túlzott optimizmus vezetett az első visszaeséshez, az elméleti alapok sziklaszilárdak maradtak.

2.1.2. SZIMBOLIKUS MI ÉS SZABÁLYALAPÚ RENDSZEREK (1960-1980)

Ez a korszak a merev, determinisztikus logikára épült. A rendszerek előre definiált szabályok alapján működtek (Rule-Based Logic). Fő működési elve az IF A AND B THEN C struktúra volt.

Alkalmazási területek: Korai diagnosztikai rendszerek, kezdetleges tervezési és logikai feladatok, korlátozott ipari irányítás és automatizálás.

Keresőalgoritmusok: A problémamegoldást egy kiterjedt keresési fában végezték el, ami komplex mérnöki problémák esetén gyorsan kombinatorikus robbanáshoz vezetett.

1. AI-tél (1974-1980): Mivel a rendszerek nem tudtak megbirkózni a bizonytalansággal és a valós világ zajos adataival, a kormányok és ipari szereplők megvonták a finanszírozást.

2.1.3. SZAKÉRTŐI RENDSZEREK AZ IPARBAN (1980-1995)

A szimbolikus MI újjáéledését a speciális szakterületekre fókuszáló tudásbázisok (Knowledge Base) hozták el. Az iparban megjelentek a szűkített funkcionalitású szakértői rendszerek (Expert Systems), mint például a Digital Equipment Corporation (DEC) által használt XCON rendszer, amely képes volt automatikusan összeállítani a számítógépes rendszerek komponenseinek konfigurációját a vevői igények alapján.

Ezek a rendszerek egy következtetési motorból (Inference Engine) és komplex szabályrendszerekből álltak. Az 1987-1993 közötti 2. AI-tél során azonban kiderült, hogy a szakértői rendszerek fenntartása rendkívül drágává vált, a szabályok manuális frissítése és a karbantartási költségek növekedése újabb krízist hozott.

2.1.4. GÉPI TANULÁS ÉS STATISZTIKAI MODELLEK (1995-2010)

A merev szabályok helyét átvette az adatközpontú megközelítés. A gépi tanulás (Machine Learning) során a mérnökök már nem a szabályokat kódolták le, hanem a modellt tanították meg arra, hogy az adatokból maga ismerje fel a bemenetek és kimenetek közötti összefüggéseket.

A gép tanulás standard mérnöki folyamata öt fő lépésre osztható:

- Adatok gyűjtése és előkészítése: Valós gyártási, geometriai vagy mérési adatok tisztítása és strukturálása.
- Betanítás: A kiválasztott algoritmus lefuttatása az adathalmazon, a rejtett minták és korrelációk azonosítása érdekében.
- Modellalkotás: A betanított matematikai modell rögzíti a bemeneti paraméterek és a kért kimenetek közötti transzformációt.
- Előrejelzés: A modell alkalmazása teljesen új adatokra (pl. várható élettartam vagy törési terhelés becslése).
- Visszacsatolás és iteráció: A valós és az előrejelzett adatok különbsége alapján a modell folyamatos finomítása.

2.1.5. DEEP LEARNING (2010-2020)

A valódi áttörést azonban a 2010-es évek hozták el a deep learning megjelenésével. A nagy mennyiségű adat és a megnövekedett számítási kapacitás – különösen a grafikus processzorok (GPU-k) alkalmazása – lehetővé tette komplex neurális hálók tanítását. Ezek a rendszerek már képesek voltak képfelismerésre, beszédfeldolgozásra és más, korábban nehezen megoldható feladatokra. (nagy adathalmazok (big data), GPU alapú számítás, majd 2020 után a generatív modellek (LLM ek, képgenerátorok) robbanásszerű elterjedése)

2.1.6. MÉLYTANULÁS, GPU-FORRADALOM ÉS GENERATÍV KORSZAK (2020-2026)

A 2012-es év radikális fordulatot hozott: az AlexNet neurális hálózat demonstrálta, hogy a többrétegű, mély neurális hálózatok (Deep Learning) nagyságrendekkel jobb eredményt érnek el, mint bármilyen korábbi módszer. Ennek technológiai hátterét a grafikus processzorok (GPU) áttörése adta, amelyek képesek a mátrixműveletek masszívan párhuzamos végrehajtására.

A 2020 és 2026 közötti jelenlegi időszak a Generatív és Mérnöki AI korszaka. Jellemzője a technológia tömeges, mindennapi használata, valamint a közvetlen CAD és BIM integráció, amely lehetővé teszi a valós idejű geometriai és szerkezeti variánsok automatikus generálását.

2.2. AZ MI FEJLŐDÉSÉNEK HATÁSA A MÉRNÖKI TERVEZÉSRE

A szakmai közegben is gyakran összekeverik ezeket a fogalmakat, ezért érdemes tisztázni és áttekinteni:

- Mesterséges intelligencia (AI) – gyűjtőfogalom: minden rendszer, amely emberi gondolkodást szimulál
- Neurális hálók – az emberi agyat utánzó matematikai modell (neuronok, súlyok, aktiváció)
- Gépi tanulás (ML) – adatokból tanul, nem explicit programozás; felügyelt / felügyeletlen / megerősítéses

- Mély tanulás (Deep Learning) – sok rétegű neurális hálók; 2012 óta domináns módszer
- Fuzzy logika – „közbülső állapotok” kezelése; HVAC, folyamatirányítás, PLC-k
- Genetikus algoritmusok (GA) – darwini evolúció elvei; szerkezetoptimalizálás, ütemezés
- Nagy nyelvi modellek (LLM) – szövegen tanult mély hálók; ChatGPT, Gemini, Claude
- Generatív AI – nemcsak elemez, hanem ÚJ tartalmat hoz létre: szöveg, kép, 3D-modell, kód
- Generatív tervezés – AI tömegével generál és értékkel alternatívákat kényszerfeltételek alapján

Mindegyiknek más az alkalmazási területe – a mérnöknek tudnia kell, melyiket mikor érdemes választani.

Időszak	Fő megközelítés	Jellemző technológia	Mérnöki relevancia
1940–1960	Korai neurális modellek	Perceptron, Turing-elmélet	Elméleti alapok
1960–1980	Szimbolikus AI	Szabályalapú rendszerek	Logikai modellezés
1980–1995	Szakértői rendszerek	Tudásbázisok	Hibakeresés, diagnosztika
1995–2010	Gépi tanulás	Statisztikai modellek	Adatvezérelt döntések
2010–2020	Deep learning	Neurális hálók, GPU	Képfeldolgozás, szimuláció
2020– Jelen	Generatív AI	LLM-ek, diffusion modellek	Tervezés, automatizáció

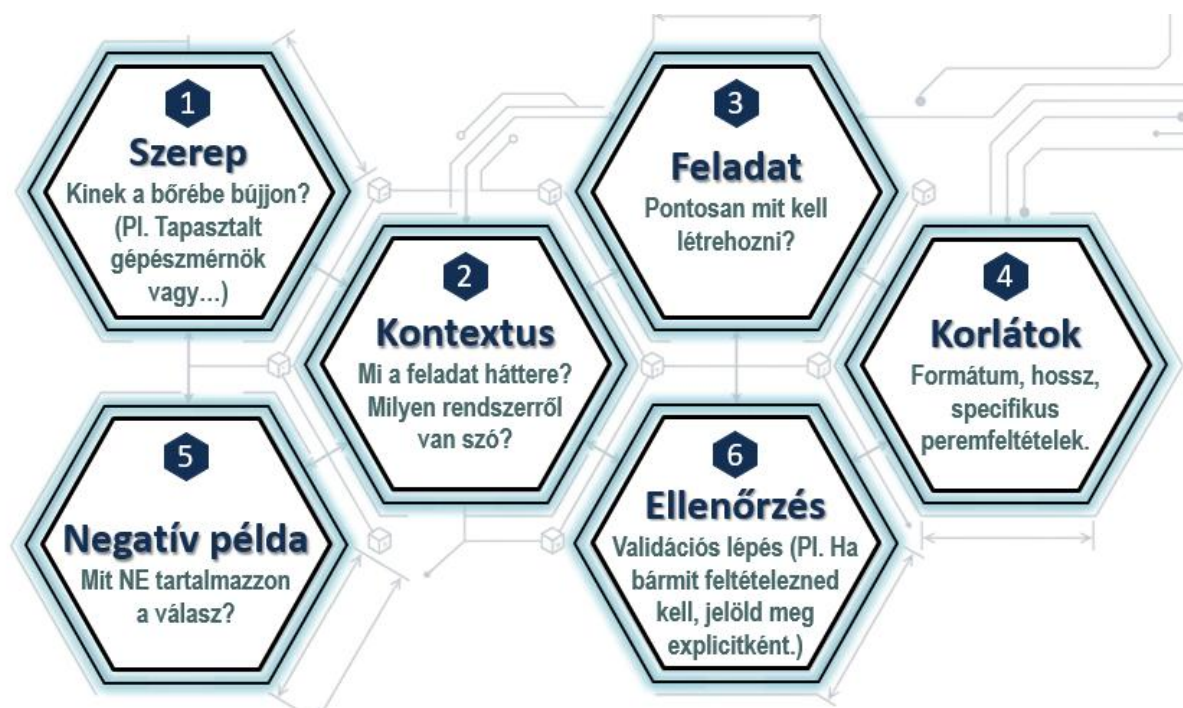
II. táblázat: Az MI technológiák és jellemzőik áttekintése

A képfelismerés félévszázados történetében példátlan ugrás következett be. Három független technológiai feltétel találkozott az ImageNet versenyen, elindítva a modern mélytanulási korszakot.

2.3. PROMPT ENGINEERING – HATÉKONY MI KOMMUNIKÁCIÓ

A mesterséges intelligencia által adott válaszok minősége nagyban múlik azon, hogy a felhasználó milyen utasításokat ad neki. Egy jól megfogalmazott prompt nemcsak pontosabb és hasznosabb eredményeket ad, hanem segít elkerülni a félreértéseket és a pontatlan válaszokat is. Emiatt a hatékony promptírás egyre fontosabb készséggé válik, legyen szó mérnöki, üzleti vagy tudományos felhasználásról.

A jó promptok általában átgondoltak és egyértelműek: világosan megfogalmazzák a feladat célját, a szükséges háttérinformációkat és azt is, hogy milyen választ várunk. Az alábbi hat szempont egy könnyen alkalmazható útmutatót ad ahhoz, hogy a mesterséges intelligencia pontosabb és jobban használható válaszokat készítsen.



2.ábra: A profi prompt-írás 6 alappilére

A profi prompt-írás nem találgatás, hanem struktúrált rendszer építés.

1. Szerep meghatározása – „Te egy tapasztalt gépészmérnök vagy...”
2. Kontextus megadása – mi a feladat háttere?
3. Konkrét feladat – mit kell létrehozni, milyen formátumban?
4. Korlátok és feltételek – hossz, terjedelem, mit vegyen figyelembe?
5. Negatív példa – mit NE tartalmazzon?
6. Ellenőrzési lépés – „Ha bármit feltételezel, jelöld meg explicitként.”

	✗ Rossz prompt	✓ Jó prompt
Gépészeti Tervezés	Magyarázd el a szabályozást.	Magyarázd el egy MSc-hallgatónak egy primer oldali szabályozás működését egy 500 kW-os hőközpont esetén, kitérve a PID-hangolásra.
Diagnosztika	Miért rezeg a gép?	Elemezd egy centrifugálszivattyú rezgésének lehetséges okait. Adj 3 hipotézist, mérési javaslatot és frekvenciatartományt (Hz).
CAD-Tervezés	Adj ötletet egy tartóra.	Adj 3 alternatív koncepciót egy 1,5 kN terhelést viselő alumínium tartóelemre. Indokolj, adj gyártási nehézségeket és geometriát.

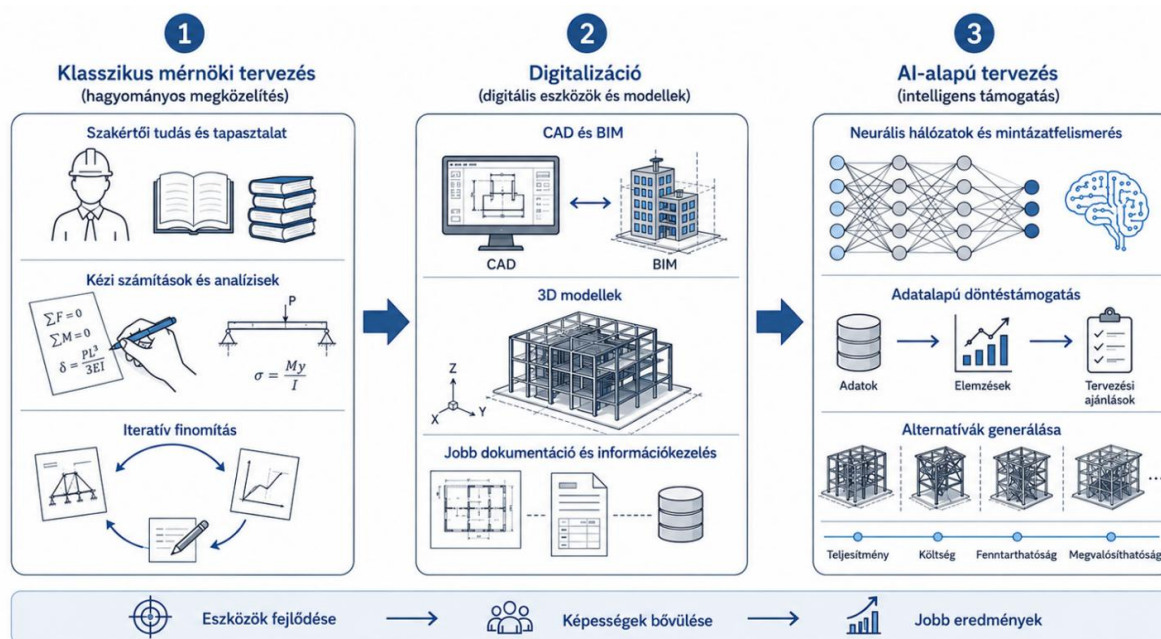
III. táblázat: Példák jó és rossz prompt-ok esetére

2.4. A MÉRNÖKI TERVEZÉS EVOLÚCIÓJA

A mérnöki tervezés folyamatosan fejlődött az új technológiák megjelenésével. A kézi számításoktól és rajzasztaloktól eljutottunk a számítógépes tervezésig, majd napjaink mesterséges intelligenciával támogatott megoldásaiig. Korábban a mérnökök elsősorban szakmai tudásukra, tapasztalataikra és bevált módszerekre támaszkodtak, míg ma már korszerű digitális eszközök is segítik a munkájukat.

A digitalizációval a CAD- és BIM-rendszerek a tervezés alapvető eszközeivé váltak. Ezek gyorsabbá, pontosabbá és hatékonyabbá tették a tervezési és dokumentációs folyamatokat.

A legújabb fejlődést a mesterséges intelligencia jelenti. Az AI nem váltja ki a mérnököt, hanem támogatja a munkáját: gyorsan feldolgoz nagy mennyiségű adatot, összefüggéseket tár fel, és különböző tervezési lehetőségeket javasol. Ez különösen hasznos összetett feladatok esetén, ahol a hagyományos módszerek már túl lassúak vagy nehezen alkalmazhatók.



3. ábra: A tervezési folyamatok és eszközök fejlődése

A nemzetközi szakirodalom és a hazai kutatások egyaránt hangsúlyozzák, hogy a tervezési folyamat strukturáltsága nem csupán a hatékonyságot növeli, hanem a mérnöki gondolkodás minőségét is javítja.

2.4.1. A TERVEZÉSI FOLYAMAT KLASSZIKUS MODELLJEI

A tervezési folyamat modellezésére számos megközelítés létezik az irodalomban. A két legelterjedtebb a német Pahl–Beitz féle modell és a VDI 2206 szabvány szerinti V-modell.

A PAHL-BEITZ FÉLE MODELL

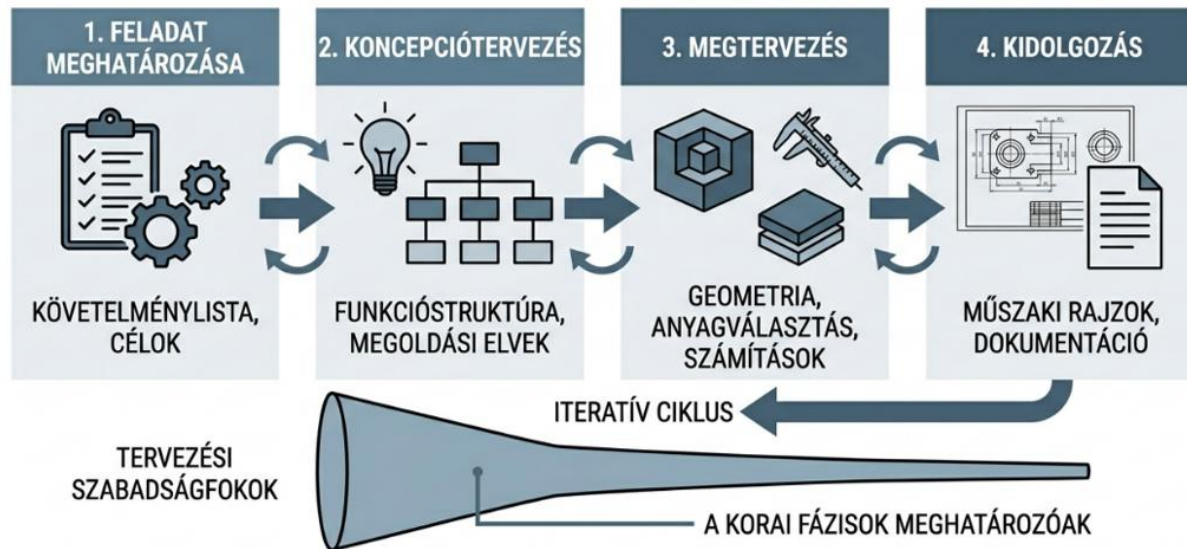
A Pahl–Beitz modell a műszaki tervezés egyik legmeghatározóbb és legszélesebb körben alkalmazott módszertani rendszere, amely a német mérnöki hagyományokra épül. A lényege, hogy a tervezést egy jól átgondolt, egymásra épülő folyamatként kezeli, amelyben a megoldás lépésről lépésre formálódik.

A modell első változata az 1970-es években került publikálásra, majd több évtizeden át folyamatosan fejlődött. A folyamat a következő négy fő szakaszt foglalja magába.

- a feladat pontos meghatározását (Planning and clarifying),
- a koncepciók szisztematikus generálását (Conceptual design),

- a megtervezés (Embodiment design) során a megoldás fokozatos konkretizálását,
- a kidolgozás (Detail design) során a véglegesítés és dokumentálás szerepét.

Először pontosan meg kell határozni a feladatot és az elvárásokat. Ezután több lehetséges megoldás készül, amelyek közül kiválasztják a legmegfelelebbet. A következő lépés a kiválasztott megoldás részletes kidolgozása, végül pedig elkészülnek a végleges műszaki tervek és a szükséges dokumentáció.



3.ábra: A Pahl-Beitz féle modell folyamata

A modell egyik fontos jellemzője, hogy a tervezés nem mindig halad egyenes úton. Ha új információ vagy váratlan probléma merül fel, a tervező visszatérhet egy korábbi lépéshez, módosíthatja a terveket, majd folytathatja a munkát. Ennek köszönhetően a végleges megoldás fokozatosan egyre pontosabbá és megbízhatóbbá válik.

A modell arra is felhívja a figyelmet, hogy a tervezés elején még sokféle megoldás közül lehet választani, később azonban a meghozott döntések egyre inkább meghatározzák a további lehetőségeket. Ezért különösen fontos, hogy a folyamat elején elegendő idő jusson az alternatívák átgondolására és összehasonlítására.

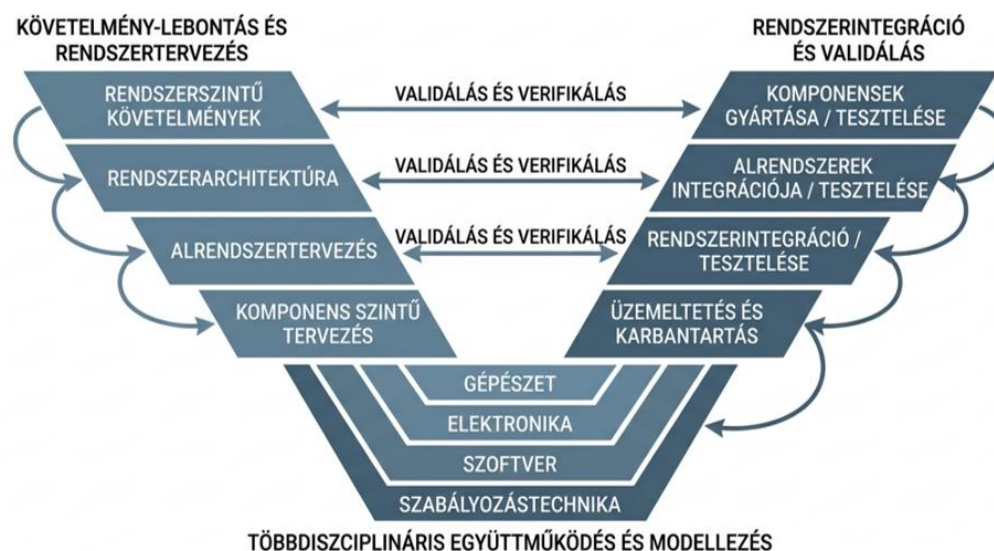
A VDI-2206 V-MODELL

A VDI 2206 a mechatronikai rendszerek tervezésének egyik legfontosabb európai szabványa, amelyet a Német Mérnökök Szövetsége dolgozott ki. A szabványt 2021-ben átdolgozott, korszerűsített formában adták ki, hogy illeszkedjen a digitális és AI-alapú tervezési környezethez. A VDI 2206 különösen meghatározó a gépészeti, villamosmérnöki, informatikai területeken, mivel a mechatronika komplexitását rendszerszintű megközelítéssel kezeli.

A modell alapja a V-alakú tervezési folyamat, amely két egymást kiegészítő ágból áll:

- a rendszerkövetelmények lebontása (bal ág),
- és az integráció és validáció (jobb ág).

Ez a kettős szerkezet biztosítja, hogy a tervezés során a rendszer minden szintje átláthatóan legyen kezelve.



4.ábra: A VDI-2206 modell folyamata

2.4.2. A DIGITALIZÁCIÓ HATÁSA A MÉRNÖKI TERVEZÉSRE

A mérnöki tervezés fejlődésének egyik legmeghatározóbb folyamata a digitalizáció volt, amely alapvetően alakította át a tervezési módszereket, az együttműködési formákat és a mérnöki döntéshozatal logikáját.

Fázis	Korszak	Fő technológiai jellemzők	Elért mérnöki előnyök
1	CAD korszak (1990-es évek)	Digitális rajzok készítése, a klasszikus 2D-s tervezés számítógépre ültetése.	Rendkívül gyors módosíthatóság, pontosabb dokumentációkezelés.
2	3D és Szimuláció (2000-es évek)	Háromdimenziós parametrikus térbeli modellezés, korai numerikus szimulációk (FEM, CFD) bevezetése.	Virtuális prototípusok tesztelése, kevesebb fizikai selejt darab.
3	Integrált Rendszerek (2010-es évek)	BIM az építőiparban és PLM (Product Lifecycle Management) a gépiparban.	Teljes életciklus-szemlélet, több szakág szimultán együttműködése.
4	Digitális Iker (2020-as évek)	Valós idejű kapcsolt rendszerek. A fizikai objektum és a digitális modell közötti kétirányú adatkapcsolat.	Prediktív karbantartás, működés közbeni folyamatos optimalizálás.
5	AI-alapú tervezés (Jelen és jövő)	Intelligens, autonóm és adatvezérelt tervezési folyamatok, ahol a szoftver aktív tervezőtárssá válik.	Generative Design (topológiai variánsok automatikus generálása), döntéstámogatás.

IV. táblázat: Mérnöki tervezési korszakok áttekintése

A digitalizáció nem egyszerűen új szoftverek megjelenését jelentette, hanem a teljes mérnöki munkafolyamat strukturális átalakulását: A papíralapú dokumentáció helyét fokozatosan a digitális modellek vették át, miközben az egyes szakterületek munkája egyre inkább egységes, integrált digitális platformokba szerveződött.

A nemzetközi szakirodalom ezt a folyamatot gyakran „digital engineering” vagy „model-based engineering” néven írja le, hangsúlyozva, hogy a modern mérnöki munka központi eleme ma már nem a dokumentum, hanem a digitális modell.

ELSŐ SZAKASZ # CAD TERVEZÉS

A digitalizáció első meghatározó szakaszát a számítógéppel támogatott tervezés (Computer-Aided Design – CAD) megjelenése jelentette.

- A CAD-rendszerek elterjedése a 20. század végén alapvetően változtatta meg a mérnöki dokumentáció előállítási folyamatát:
- a kézi rajzolást felváltotta a precíz, méretpontos digitális rajzkészítés,
- a módosítások gyorsabbá és következetesebbé váltak,
- a dokumentáció egységesebb és visszakereshetőbb lett.

MÁSODIK SZAKASZ # 3D MODELLEZÉS

A digitalizáció második szakasza: A 3D modellezés és a virtuális prototípusok korszaka

A 2000-es évektől a 3D modellezés vált a mérnöki tervezés alapjává. A parametrikus és asszociatív modellezési rendszerek lehetővé tették a komplex geometriai struktúrák digitális reprezentációját, valamint a modellek közötti függőségi kapcsolatok automatikus kezelését. Ennek eredményeként a modell egyetlen paraméterének módosítása automatikusan végigvezethetővé vált a teljes modellstruktúrán. A Siemens NX, CATIA, Creo vagy SolidWorks típusú rendszerek fejlődése nyomán megjelent a digitális prototípus fogalma, amelyben a termék virtuális modellje már a gyártás előtt vizsgálhatóvá vált.

HARMADIK SZAKASZ # BIM ÉS PLM

A digitalizáció harmadik szakasza: integrált információs rendszerek (BIM és PLM)

A digitalizáció következő szakaszában a hangsúly a geometriai modellezésről az információintegrációra helyeződött át. Ennek eredményeként jelentek meg az integrált életciklus-alapú rendszerek, az építőiparban a BIM (Building Information Modeling) és a gépészeti és ipari tervezésben a PLM (Product Lifecycle Management) platformok.

A BIM- és PLM-rendszerek egyik legfontosabb következménye az volt, hogy a tervezési folyamat egyre inkább együttműködésen alapuló, párhuzamosan zajló tevékenységgé vált.

NEGYEDIK SZAKASZ # DIGITÁLIS IKREK

A digitalizáció negyedik szakasza: modellalapú rendszermérnökség és digitális ikrek

A digitalizáció fejlődésével a mérnöki tervezés egyre inkább modellalapú megközelítést alkalmaz. A digitális modellek már nemcsak a rendszer geometriai jellemzőit, hanem annak működését és kapcsolatait is leírják.

Ennek továbbfejlesztett formája a digitális iker (Digital Twin), amely a fizikai rendszer folyamatosan frissülő digitális másolata. A valós idejű adatok segítségével lehetővé teszi a rendszer állapotának nyomon követését, a hibák előrejelzését és a működés optimalizálását.

A digitális ikrek megjelenésével a validáció is folyamatos folyamattá vált. A rendszer ellenőrzése már nem csak a fejlesztés végén történik, hanem annak teljes életciklusa során, ami különösen fontos az Ipar 4.0 intelligens és adaptív rendszereiben.

ÖTÖDIK SZAKASZ # AI MEGJELENÉSE ÉS INTEGRÁLÁSA

A digitalizáció több évtizedes fejlődése megteremtette azt a technológiai környezetet, amelyben a mesterséges intelligencia alkalmazása a mérnöki tervezésben egyáltalán lehetővé vált.

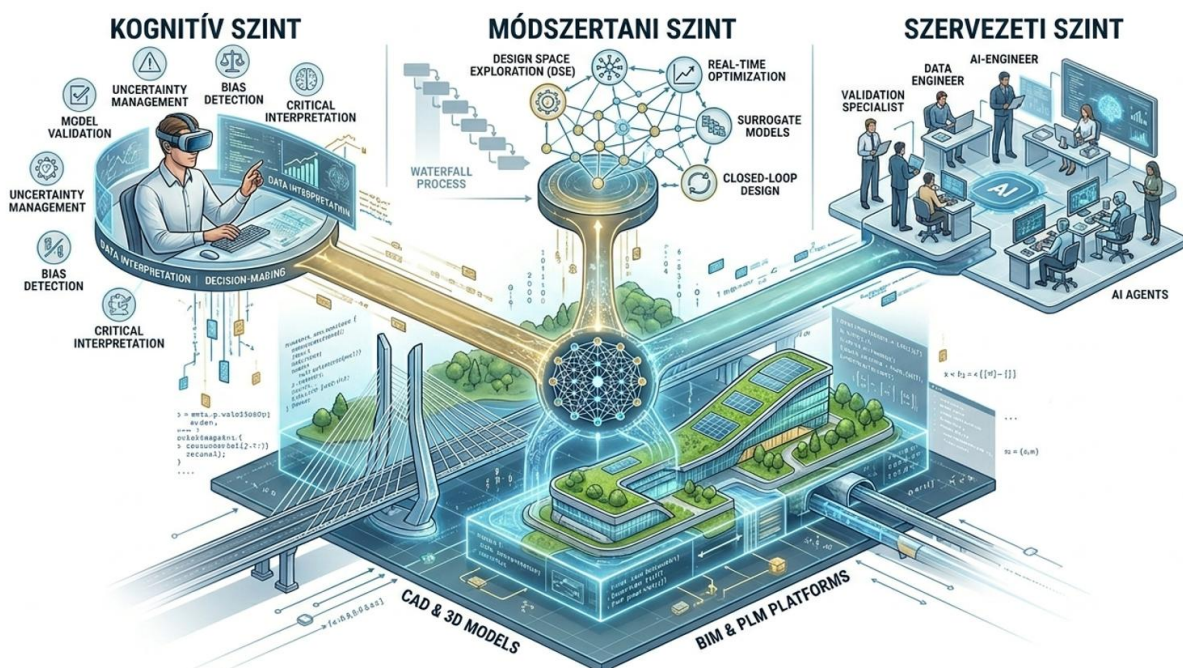
Az AI nem elszigetelt újtásként jelent meg, hanem a digitalizáció logikus folytatásaként:

- a nagy mennyiségű digitális adat,
- a gyors számítási infrastruktúra és
- az integrált modellek együttese

ideális alapot biztosít az adatvezérelt módszerek számára.

2.4.3. A MESTERSÉGES INTELLIGENCIA MEGJELENÉSE A MÉRNÖKI TERVEZÉSBEN

Az előző fejezetben bemutatott digitális fejlődés tette lehetővé a mesterséges intelligencia megjelenését a mérnöki tervezésben. Az AI ma már három fő területen alakítja át a mérnöki munkát. **Kognitív szinten** a mérnök feladata egyre inkább az AI által készített eredmények ellenőrzése és értékelése. **Módszertani szinten** a tervezés rugalmasabbá és adatvezéreltté válik, ahol a mérnök és az AI együtt dolgozik a megoldások kialakításán. **Szervezeti szinten** pedig új szakmai szerepkörök jelennek meg, miközben a különböző szakterületek szakemberei egyre szorosabban működnek együtt közös digitális környezetben.



5.ábra: Az MI mérnöki tervezésre ható szintjei

KOGNITÍV SZINT

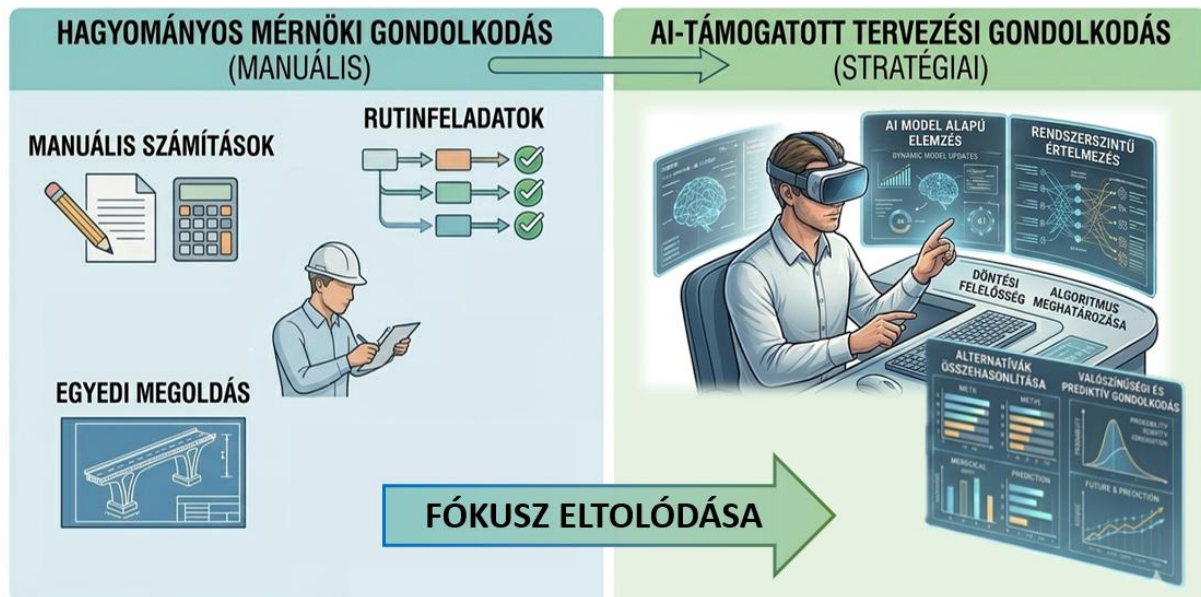
A kognitív szintű átalakulás lényege, hogy a mérnök szerepe a számítások végrehajtójából az AI által generált eredmények kritikus értelmezőjévé válik.

A kognitív terhelés tehát áthelyeződik a manuális számításokról:

- a modellvalidációra,
- a bizonytalanságkezelésre és
- az eredmények kritikus értelmezésére.

A mérnöknek fel kell ismerni, hogy az AI által javasolt megoldás:

- mikor megbízható,
- mikor igényel további vizsgálatot, és
- mikor vezethet félre.



6.ábra: Kognitív szint # A fókusz eltolódása

MÓDSZERTANI SZINT

A módszertani átalakulás a tervezési folyamat szerkezetét érinti. A mesterséges intelligencia megjelenése a tervezési módszertanok szintjén a folyamatok szerkezeti átalakulását eredményezte. A modern kutatások három fő irányt azonosítanak:

- a tervezési lépések közötti határok elmosódását,
- a zárt hurkú (closed loop), prediktív tervezési ciklusok megjelenését, valamint
- a valós idejű optimalizáció egyre szélesebb körű alkalmazását.

Ezek együtt egy új, AI-vezérelt tervezési logikát hoznak létre.

A TERVEZÉSI LÉPÉSEK EGYRE INKÁBB ÖSSZEKAPCSOLÓDNAK

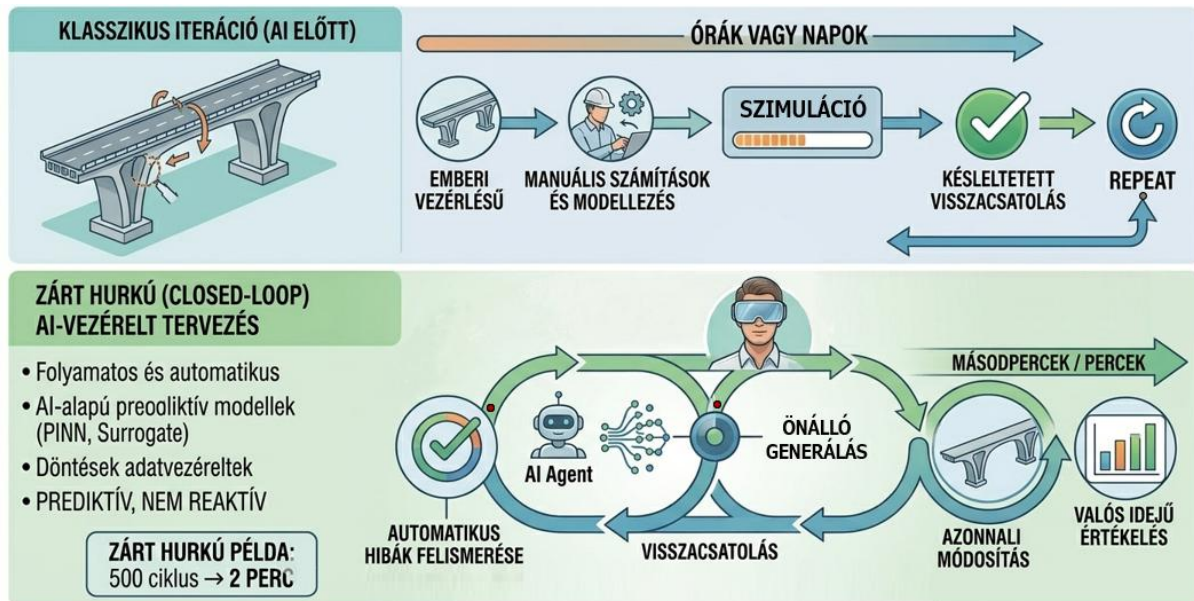
A modern digitális tervezőeszközök és a mesterséges intelligencia hatására a tervezés már nem különálló lépésekből áll. A koncepcióalkotás, a szimuláció, az optimalizálás és az ellenőrzés egyre inkább párhuzamosan zajlik. Az egyes lépések folyamatosan hatnak egymásra, így a tervezők már a folyamat korai szakaszában gyors visszajelzést kaphatnak, és szükség esetén azonnal módosíthatják a terveket. A klasszikus modellek hosszú időn át meghatározták a mérnöki gondolkodást. Az AI megjelenésével azonban a tervezés egyre inkább párhuzamos, iteratív, adatvezérelt és valós idejű visszacsatolásokra épülő folyamattá válik.

FOLYAMATOS VISSZACSATOLÁS A TERVEZÉS SZORÁN

A hagyományos tervezés során a mérnökök külön lépésekben végezték el a számításokat, a szimulációkat és a szükséges módosításokat. Ez gyakran lassú folyamat volt, mivel minden változtatást újra ellenőrizni kellett, és a visszajelzések csak később érkeztek meg.

A mesterséges intelligencia ezt jelentősen megváltoztatja. Az AI megjelenésével kialakultak a zárt hurkú tervezési rendszerek, amelyek folyamatos és automatikus visszacsatolást biztosítanak.

Az AI-val támogatott rendszerek folyamatosan figyelik a tervezési folyamatot, azonnal kiértékelik a módosítások hatását, és gyors visszajelzést adnak. Ennek köszönhetően a tervezés gyorsabbá, hatékonyabbá és rugalmasabbá válik.



7.ábra: Módszertani szint # Zárthurkú AI vezérelt tervezés

Ezek a rendszerek:

- önállóan generálnak tervezési alternatívákat,
- értékelik azok teljesítményét,
- felismerik a problémákat,
- majd automatikusan módosítják a paramétereket vagy a geometriát.

Ennek köszönhetően az optimalizálási ciklus rövid idő alatt akár több száz iterációt is végrehajthat. A mérnök szerepe a manuális módosítások helyett egyre inkább a folyamat felügyeletére, irányítására és az eredmények értelmezésére helyeződik át. Szempléletes példa a két megközelítés közötti különbségre:

1. Klasszikus iteráció (AI előtt):

- A mérnök módosítja a borda vastagságát. - Lefuttatja a szimulációt (3 óra). - Kiderül, hogy túl nagy a feszültség. - Újra módosítja. - Újra futtatja.
- 10–20 ciklus → akár 1 hét.

2. Zárt hurkú AI-tervezés:

- Az AI generál 2000 változatot. - A modellek 0,1 másodperc alatt értékelik. - Az AI automatikusan javítja a gyenge pontokat.
- 500 ciklus → 2 perc.
- A mérnök kiválasztja a legjobb 3 megoldást.

VALÓS IDEJŰ OPTIMALIZÁLÁS

A korszerű tervezőszoftverekben a szimuláció és az optimalizálás már nem a tervezés végén történik, hanem a teljes folyamat során folyamatosan zajlik. A mesterséges intelligencia egyszerre sokféle szempontot képes elemezni, és azonnal jelzi, ha egy módosítás jobb vagy kevésbé megfelelő megoldást eredményez. Ennek köszönhetően a tervezők gyorsabban hozhatnak megalapozott döntéseket, és hatékonyabban alakíthatják ki a végleges megoldást.

MIÉRT FORRADALMI EZ A MEGKÖZELÍTÉS?

- A hibák nem a folyamat végén, hanem azonnal felismerhetők.
- A tervezési döntések adatvezéreltek, nem intuícióra épülnek.
- A mérnök sokkal nagyobb megoldási teret tud feltárni.
- A tervezési ciklusok nagyságrendekkel gyorsabbak.

Ez a megközelítés ma már ipari gyakorlat a repülőgépiparban és az autópiparban, különösen a szerkezetoptimalizálás és az aerodinamikai tervezés területén.

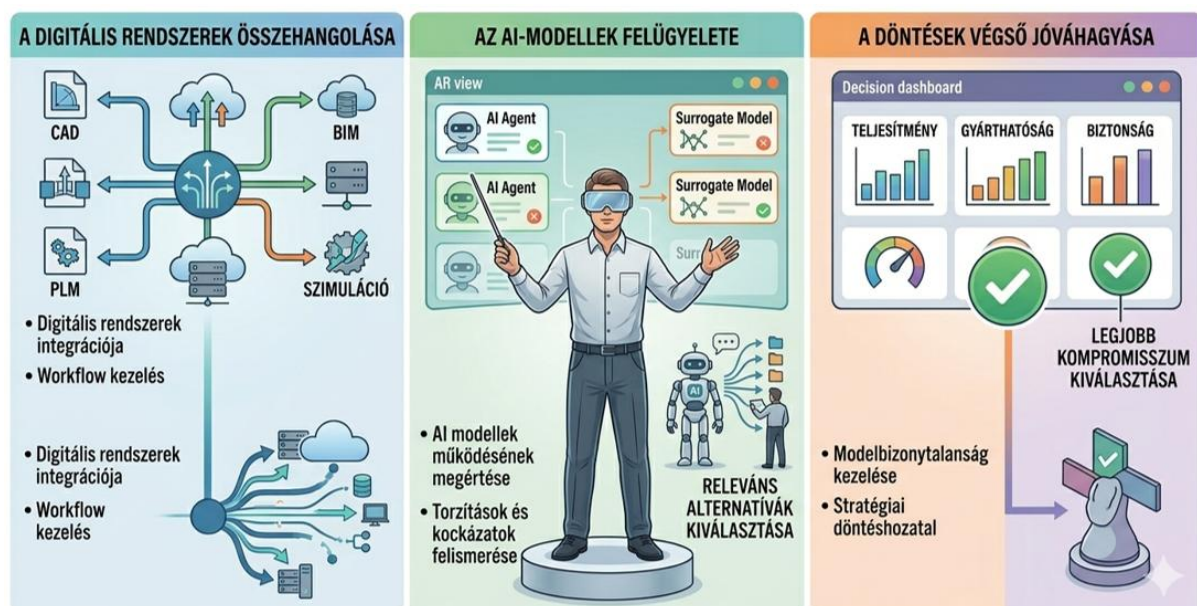
SZERVEZETI SZINT

A szervezeti szintű átalakulás azt jelenti, hogy a mérnöki tervezésben részt vevő szereplők, kompetenciák és együttműködési formák is megváltoznak.

A modern tervezőirodákban és ipari vállalatoknál megjelennek az új, AI-hez kapcsolódó szerepkörök:

- AI-mérnök – az algoritmusok fejlesztéséért és integrációjáért felel.
- Adatmérnök – biztosítja az adatok minőségét, struktúráját és elérhetőségét.
- AI-validációs szakértő – ellenőrzi az AI-modellek megbízhatóságát és biztonságát.
- AI-ügynökökkel dolgozó tervező – a jövő kulcsszereplője, aki több AI-rendszert koordinál.

A szervezeti átalakulás része az is, hogy a tervezési folyamat egyre inkább multidiszciplináris: a gépész, villamos, építész, anyagtudós szakemberek közös platformokon dolgoznak, gyakran valós idejű együttműködésben. A mérnök szerepe így egyre inkább koordinátori, felügyelői és döntéshozói jellegűvé válik, a jövő mérnöke: digitális karmester.



8.ábra: Szervezeti szint # A jövő mérnöke: digitális karmester

2.5. ÖSSZEGZÉS

A mesterséges intelligencia és a digitalizáció fejlődése alapjaiban alakította át a mérnöki tervezés szemléletét, eszköztárát és módszertanát. A dokumentum bemutatta, hogy az AI nem elszigetelt technológiai újítás, hanem több évtizedes kutatási és ipari fejlődés eredménye, amely a korai neurális modellektől és szimbolikus rendszerektől a modern mélytanulási és generatív modellekig vezetett. A fejlődési ív során az AI fokozatosan vált a mérnöki gyakorlat szerves részévé, először diagnosztikai és optimalizációs feladatokban, majd a tervezési folyamatok széles körében.

A GPU-forradalom kulcsszerepet játszott abban, hogy a mélytanulási modellek gyakorlati alkalmazása lehetővé vált. A grafikus processzorok párhuzamos számítási képességei nemcsak az AI, hanem a CAD-, BIM- és szimulációs rendszerek teljesítményét is ugrásszerűen növelték, így a mérnöki tervezés egyik alapvető infrastruktúrájává váltak.

A prompt engineering megjelenése új kompetenciát hozott a mérnöki munkába: a mesterséges intelligenciával való hatékony kommunikáció képességét. A dokumentum hangsúlyozza, hogy a jól megfogalmazott prompt nem technikai részletkérdés, hanem a mérnöki eredményesség egyik meghatározó tényezője, amely közvetlenül befolyásolja a generált tartalmak pontosságát, használhatóságát és szakmai minőségét.

A mérnöki tervezés evolúciója a kézi számításoktól és rajzasztaloktól a digitális modellezésen át az AI-alapú, adatvezérelt tervezési környezetig vezetett. A CAD, a 3D modellezés, a BIM/PLM rendszerek és a digitális ikrek megjelenése fokozatosan alakította át a tervezési folyamatot, amely ma már integrált, együttműködésen alapuló és folyamatos visszacsatolást biztosító rendszerként működik. A klasszikus tervezési modellek – mint a Pahl–Beitz-féle szisztematikus tervezés vagy a VDI 2206 mechatronikai V-modell – továbbra is meghatározó kereteket adnak, ugyanakkor az AI megjelenése új működési logikát hozott: a zárt hurkú, prediktív, valós idejű optimalizációra épülő tervezési ciklusokat.

A mesterséges intelligencia hatása három szinten jelentkezik: kognitív, módszertani és szervezeti szinten. A mérnök szerepe a manuális számítások végrehajtójából fokozatosan a komplex rendszerek értelmezőjévé és stratégiai irányítójává alakul. A módszertani szinten a tervezési lépések közötti határok elmosódnak, a folyamat párhuzamosabbá és adatvezéreltté válik, míg szervezeti szinten új szerepkörök és együttműködési formák jelennek meg.

Összességében a mesterséges intelligencia nem helyettesíti a mérnököt, hanem kibővíti a képességeit. A jövő mérnöke olyan „digitális karmester”, aki a különböző AI-eszközök, modellek és rendszerek összehangolásával biztosítja a tervezési folyamat szakmai megalapozottságát, megbízhatóságát és hatékonyságát. A dokumentum üzenete egyértelmű: a mesterséges intelligencia nem a mérnöki gondolkodás alternatívája, hanem annak új, erőteljes eszköze, amely a tervezés minden szintjén új lehetőségeket nyit meg.

3. MI ÁLTAL TÁMOGATOTT TERVEZÉS: MÓDSZEREK ÉS GYAKORLATI PÉLDÁK

A gépészeti tervezésmódszertan klasszikus iskolái a tervezési folyamatot szigorúan logikai és egymásra épülő fázisokra bontják. Az MI nem írja felül ezeket a fázisokat, hanem radikálisan növeli az egyes lépések hatékonyságát.

3.1. GÉPÉSZETI TERVEZÉS

A gépészeti tervezésmódszertan alapját a rendszerszemléletű megközelítés adja. A következő részben áttekintjük, hogy hogyan integrálható az MI a klasszikus géptervezési folyamatba. Végigvesszük a tervezési folyamat lépéseit és áttekintjük az azokat támogató eszközöket, felépítésüket és a használatukat.

3.1.1. FOLYAMATÁBRA

A következő folyamatábra a géptervezési folyamat fő lépéseit mutatja be, a feladat meghatározásától egészen a kész műszaki dokumentáció elkészítéséig. A folyamat a tervezési célok és követelmények rögzítésével, majd az információgyűjtéssel és a funkciók meghatározásával indul. Ezt követi a lehetséges megoldások szisztematikus kidolgozása (morfológiai mátrix), a különböző koncepciók kialakítása és azok műszaki, gazdasági szempontok szerinti értékelése.



9.ábra: A géptervezés folyamatábrája

A kiválasztott koncepció alapján részletes tervezés készül, amely magában foglalja a méretezést, alkatrész kialakítást, ellenőrző számításokat és az optimalizálást. A folyamat végén elkészül a teljes műszaki dokumentáció – rajzok, számítások, műszaki leírások és anyagjegyzékek –, amely a gyártás és a megvalósítás alapját képezi.

3.1.2. TERVEZÉSI LÉPÉSEK ÉS ALKALMAZOTT ESZKÖZÖK BEMUTATÁSA

1, FELADATPONTOSÍTÁS

A tervezési folyamat első lépése a rendelkezésre álló források – például a specifikáció, a követelményfüzet (Lastenheft), az üzemi elvárások és az egyedi igények – összegyűjtése és elemzése.

Források:

- Specifikáció, követelményfüzet, Lastenheft
- Üzemi elvárások
- Egyedi igények

Ezt követi a feladat pontosítása, amely magában foglalja a feladatléírás áttekintését, a helyszíni felmérést, a személyes egyeztetéseket, valamint a hasonló megoldások vizsgálatát.

Feladatpontosítás:

- Elküldött feladatléírás
- Helyszíni felmérés
- Személyes egyeztetés
- Hasonló megoldások kijelölése
- Lényeges és opcionális elvárások
- Célmeghatározás

A lényeges és opcionális követelmények elkülönítésével végül egyértelműen meghatározható a tervezés célja és a fejlesztés iránya.

2, INFORMÁCIÓGYŰJTÉS

Nagyon fontos az információgyűjtés szakasza, amelynek során a tervező csapat tájékozódik az aktuális tervezési feladattal kapcsolatos és releváns információkról, megoldásokról, lehetőségekről és elvárásokról. Ezeket a lépéseket az aktuális tervezési feladat kapcsán a teljesség igényével szükséges elvégezni.

Információgyűjtés:

- Irodalomkutatás
- Piackutatás
- Konkurencia-elemzés

Az irodalomkutatás során a feladattal kapcsolatos szakirodalmak, kutatások és publikációk kerülnek átnézésre. Olyan megoldások is érdekesek lehetnek, amelyek elvi működése már igazolt, ám nem terjedt még el az ipari alkalmazása. A piackutatás a tervezési feladattal (gép vagy termék) kapcsolatos piaci igények, célközönség által kívánt funkciók és a piaci kínálat (elérhető megoldások) strukturált áttekintése. A konkurencia-elemzés pedig az ugyanolyan vagy hasonló megoldások áttekintése: jellemzők, előnyök, hátrányok, alap- és extra-funkciók összegyűjtése.

Absztrakció:

- Eltérő megoldás, de hasonló funkció
- Működési elv
- Szerkezeti kialakítás

Az absztrakció során a cél a nem teljesen azonos megoldások keresése, hanem a hasonló vagy akár eltérő megoldások áttekintése, ahol megoldott olyan funkció, amely a mi általunk tervezett berendezés esetén szükséges lehet. Ennek része a működési elvek, elvi megoldások, szerkezeti kialakítások és felépítések áttekintése is. Jó példa erre, hogy ha például egy rácsos szerkezetű adótoronnyal kapcsolatos tervezési feladatunk van, ötleteket nyerhetünk egyéb rácsos szerkezetű megoldásokból, amely lehet például egy rácsos szerkezetű villanypózna vagy akár egy gyalogos híd id.

Hivatalos követelmények:

- Törvények
- Jogszabályok
- Szabványok
- Előírások

Lényeges továbbá a tervezési feladattal kapcsolatos hivatalos előírások, szabályok, szabványok, törvények áttekintése és ismerete.

3. KÖVETELMÉNYJEGYZÉK

A követelményjegyzék (az iparban gyakran igénylista, specifikáció vagy Lastenheft) összeállításánál az MI képes átvizsgálni az összes vonatkozó nemzetközi szabványt, és automatikusan generálni egy hiánytalan kiinduló követelményjegyzék-tervezetet a A-Sz-Ó (Alapkövetelmény – Szintkövetelmény – Óhaj) szintek szerint besorolva.

Csoport	Nr	Követelmény megnevezése	Adat/Érték	Minősítés/ Súlyozás	Forrás	Megjegyzés
1. Geometria	1.1	Gép befoglaló mérete	Max. 1500×2000×200 mm (sz×h×m)	A	Megrendelői igénylista	
	1.2	Adagolási tartomány	250-1000 g	A	Megrendelői igénylista	
	1.3	Bemeneti nyílás mérete	Hardához, szakhoz, kis keverőhöz és kis őrlőhöz illeszthető	A	Megrendelői igénylista	
	1.4	Modulméret szállíthatóságához	Tipikus ipari ajtón átér	SZ1	Megrendelői igénylista	
	1.5	Kezelőfelület magassága	100-105 cm	SZ2	Átlag magyar felnőtt magasság alapján	
2. Kinematika	2.1	Töltési sebesség	500-800 csomag/óra	A	Megrendelői igénylista	
	2.2	Adagolási pontosság – 250 g	Max. ±3 g	A	Jogszabályi előírás / üzemeltetés	Ref: jelenlegi gépen 25 g eltérés – elfogadhatatlan
	2.3	Adagolási pontosság – 1000 g	Max. ±10 g	A	Jogszabályi előírás / üzemeltetés	
	2.4	Tasak pozicionálási pontossága	±2 mm	SZ1	Tervezési irányelv	
	2.5	Átállási idő méretek és anyagok között	Max. 10 perc	A	Megrendelői igénylista	
	2.6	Hegesztési pontosság	Egyenletes, tömör varratkép	SZ1	Iparági standard	
3. Erők	3.1	Tasak megfogó erő	Tasak és tartalom tömegét biztonságosan tartja	A	Tervezési irányelv	
	3.2	Hegesztési szilárdsági követelmény	Varrat nem nyílik szét normál kezelés során	A	Iparági standard	
	3.3	Rezgésállóság	Üzemi rezgések mellett stabil mérési eredmény	SZ1	Iparági standard	
4. Energia	4.1	Tapelátás	400 V / 50 Hz	A	Megrendelői igénylista	
	4.2	Teljesítményfelvétel	Max. 5,5 kW	A	Megrendelői igénylista	
	4.3	Sűrtített levegő nyomás	6-8 bar (ha szükséges)	SZ1	Iparági standard	
	4.4	Működési hőmérséklet-tartomány	Mín. 15°C – max. 40°C	SZ2	Üzemeltetés	
	4.5	Energiatérletesség	Készenléti állapotban csökkentett fogyasztás	O	Tervezési javaslat	
5. Anyag	5.1	Termékkel érintkező felületek minősége	Élelmiszeripari minőségű acél (AISI 304 vagy egyenértékű)	A	IF 5 szabvány	
	5.2	Szerkezeti elemek korrozívalósága	Korrozóálló kivétel	A	Iparági standard	
	5.3	Anyagerintkezési felületek simasága	Lerakódásra nem hajlamos felület kialakítás	SZ1	Üzemeltetés tapasztalatai	
	5.4	Ellenállóság beszűrődő anyagokkal szemben	Kákaó, fémhéjgép, zabliszt jellegű anyagoknál is stabil	SZ2	Üzemeltetés tapasztalatai	
	5.5	Ellenállóság finom porokkal szemben	1000 mesh finomságú anyagoknál is megbízható adagolás	SZ3	Üzemeltetés tapasztalatai	
	5.6	Tasakanyag kompatibilitása	Különböző fajták pusokhoz illeszthető hegesztési paraméterek	SZ4	Iparági standard	
6. Jel	6.1	Vezérlőrendszer típusa	PLC alapú vezérlés	A	Megrendelői igénylista	
	6.2	Kezelőfelület típusa	Érintőképernyős HMI	A	Megrendelői igénylista	
	6.3	Jogosultságkezelés	Legalább 2 kezelői szint (operátor / szervíz)	A	Megrendelői igénylista	
	6.4	Femdetektor jelenlét	Integrált, folyamatos ellenőrzés	A	Megrendelői igénylista	
	6.5	Hiba termék elkülönítése	Automatikus detektálás és elkülönítés	A	Megrendelői igénylista	
	6.6	Hibajelzés	Vizuális és akusztikus jelzés	SZ1	Iparági standard	
	6.7	Töltési napló	Darabszám és töltött tömeg rögzítése	SZ2	Tervezési javaslat	
	6.8	Részlet tárolás	Több termékrecept tárolható és visszahívható	SZ3	Tervezési javaslat	
	6.9	Üzemelési statisztika megjelenítése	Kijelzőn nyomom követhető teljesítmény	O	Tervezési javaslat	

V. táblázat: Részlet egy követelményjegyzékből

Az első lépés a követelmények összeírása, a megbízó vagy felhasználó által támasztott elvárások és a megvalósítandó funkciók listázásával.

Követelmények összeírása:

- Elvárások
- Megvalósítandó funkciók

Ezután következik a rendszerezés, amelynek során csoportosítjuk a követelményeket, súlyozzuk az A – Sz – Ó besorolás szerint, majd a szintkövetelményeknek adunk egy súlyszámot 1-10 -es skálán, egész számokkal.

Rendszerezés:

- Csoportosítás
- Kategorizálás (A-Sz-Ó)
- Súlyszám (1-10 skálán, csak a szintkövetelmények, páros összehasonlítással meghatározva)

A súlyszámok értékének meghatározását a páros összehasonlítás módszerével is elvégezhetjük.

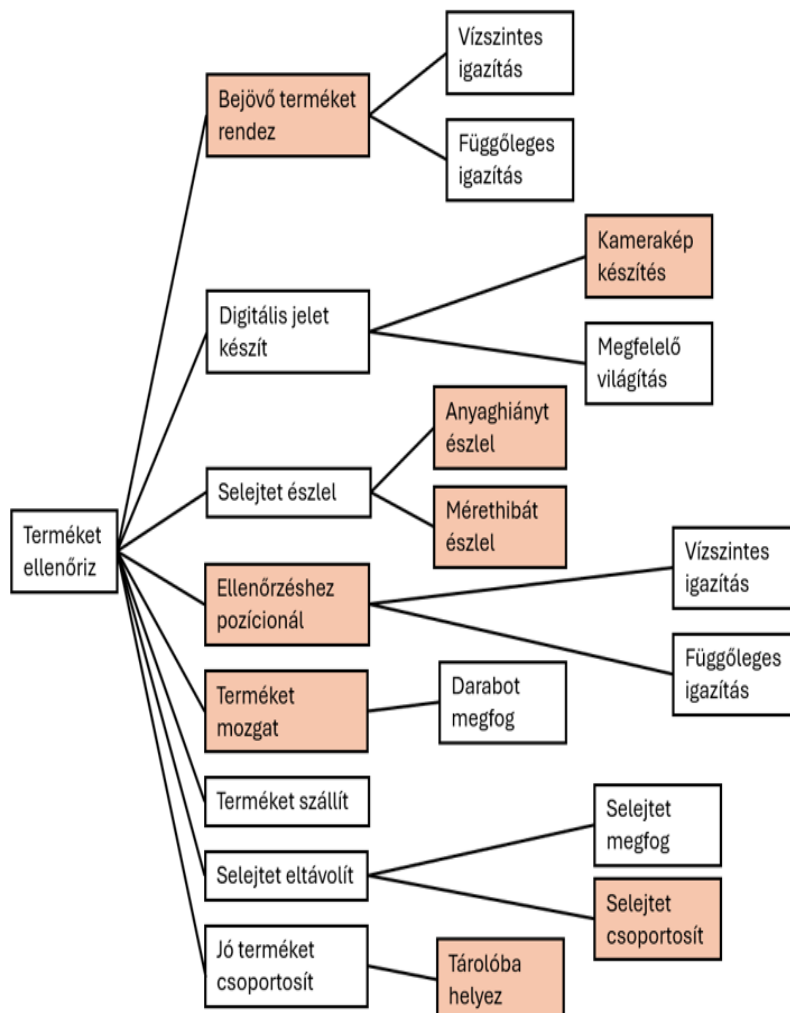
Értékek megadása:

- Adott érték
- Értéktartomány
- Max. / min. érték

Végül pedig következik az egyes követelmények numeralizálása, azaz érték rendelése az elváráshoz. Amely lehet egy konkrét szám (pl. ciklusidő: 15 mp.) vagy egy értéktartomány (pl. lökethossz: 15-25 mm) de akár egy hatéérték is (pl. zajszint: max. 60 dB). Ahol nem vagy nehezen lehet értéket adni, ott is olyan kulcsszavakat használunk, amely mind a tervezői csapatnak, mind a külső résztvevőknek (pl. megbízó vagy potenciális felhasználó) ugyanazt jelenti. Ilyen lehet például az esztétikai elvárásoknál a jól elhatároló leíró jellemző megadása – pl. rusztikus kivitel vagy ipusztuális megjelenés.

4, FUNKCIÓSTRUKTÚRA

A funkcióstruktúra a megtervezendő megoldás által megvalósítandó funkciókat tartalmazza csoportosítva és a szinteket gráfos formában megjelenítve.



10. ábra: Egy minőségellenőrző cél gép funkcióstruktúrája

A funkcióstruktúra elemei a korábbi szakaszból származik, továbbá az egyes megvalósítandó funkciók bontásából ered.

Funkcióstruktúra forrásai:

- Feladatpontosítás
- Információgyűjtés
- Követelményjegyzék

Amint összeállnak a funkciók, következik a csoportosítás és a szintekre bontás elvégzése, továbbá a gráf megrajzolása. A funkciók szétbontását egészen az elemi funkcióig (nem bontható tovább) szükséges elvégezni.

Szintek:

- Alapfunkció
- Részfunkciók
- Elemi funkciók

További funkciók definiálása történhet indirekt módon is, nem kívánt funkció lehet akár egy határozott elvárása a megbízónak, amikor eltérünk vagy kizárunk a szokásos megoldásokhoz képest, pl. ne legyen állítható a kerékpár ülése.

Különleges:

- Nem kívánt funkció
- Speciális funkció
- Opcionális funkció

De lehet akár speciális funkció vagy opcionális funkció is, amely nem része minden megoldásnak, csak amikor kiválasztja a felhasználó – pl. opcionálisan legyen mód napelemes töltésre is. A végső lépés pedig a lényeges funkciók meghatározása – ezt az előző ábrán egy színnel jelöltük, tulajdonképpen ezen funkciók adják a megoldás lényegét. Jól látható, hogy a lényeges funkciók nem feltétlenül kell, hogy azonos szinten legyenek. Ezek adják majd a következő lépésben bemutatott morfológiai mátrix egyik fő részét.

5, MORFOLÓGIAI MÁTRIX

A Zwicky-féle morfológiai mátrix egy szisztematikus kreatív tervezési módszer, amelyet Fritz Zwicky dolgozott ki. Lényege, hogy a tervezendő rendszer fő funkcióit vagy részfeladatait sorokba rendezzük, majd minden funkcióhoz több lehetséges műszaki megoldást sorolunk fel. Ezek különböző kombinációiból új koncepciók hozhatók létre, amelyeket később műszaki, gazdasági és egyéb szempontok alapján értékelnek és kiválasztanak. A módszer előnye, hogy elősegíti az innovatív megoldások feltárását, biztosítja a lehetséges alternatívák rendszerezett áttekintését, és csökkenti annak kockázatát, hogy egy ígéretes megoldási változat figyelmen kívül maradjon.

A mátrix bal oldali, fő oszlopába kerülnek a lényeges funkciók, amelyek a korábbi funkcióstruktúra elkészítése során kerülnek meghatározásra és kiválasztásra. A mátrix első sora pedig az egyes lehetséges elvi megoldási módokat különbözteti meg. A mátrixot soronként kell kitölteni és értelmezni, azaz az egyes lényeges funkciók mellé kell rendelni a lehetséges megoldási módokat. Az egyes megoldások sorrendje nem lényeges, nem jelent prioritást. Az egymás mellé beírt megoldási módok potenciálisan egymás alternatívái és minden esetben csak egyet kell kiválasztani, mivel azzal kivitelezhető az adott sor elején lévő lényeges funkció megoldása. A cellák egymás fölött nincsenek összefüggésben. A mátrixon belül lehet elvi bontás/határ – pl. elektronikus vagy pneumatikus elvek szétválasztása.

		1. lehetséges megoldás	2. lehetséges megoldás	3. lehetséges megoldás	4. lehetséges megoldás
Elvi megoldások	Nyomatek átadása	Tengelykapcsoló 	Fogaskerek 	Szíjhajtás 	Lánchajtás 
	Tekercs stabil rögzítés	Rögzítő tárcsával 	Rugós tengely 	Pneumatikus tengely 	
	Egyenletes feltekerés	Végálláskapcsoló 	Irányváltó tengely 		
	Szálat feszít	Pneumatikusan 	Gravitáció 	Rugó 	
	Képfelvitel	AI kamera 	IV kamera 	Lézer 	
	Világítást biztosít	Gyűrű 	Panel 	Dóm 	
	Moduláris kialakítás	Alumínium profil 	Kör profil 	Zártszelvény 	
	Elhelyezés	Gépláb 	Kerék 		

11. ábra: Egy berendezés morfológiai mátrixa

Minden sorban legyen legalább 2 megoldási elv, de lehet több, az eltérő sorokban lévő megoldási lehetőségek szám eltérhet, nincs köztük összefüggés. Az egyes megoldási elvek és lehetőségek ábrázolása is kötetlen, lehet rajzi vázlat, fénykép, rövid leírás – a lényeg, hogy a team minden tagja ugyanazt értse alatta.

6, KONCEPCIÓK KIDOLGOZÁSA

A mátrix használata során a tervező minden sorban választ egy cellát (ezeknek elvi szinten integrálhatónak kell lenniük), majd ezeket összejelöli.

		1. lehetséges megoldás	2. lehetséges megoldás	3. lehetséges megoldás	4. lehetséges megoldás
Elvi megoldások	Nyomatek átadása	Tengelykapcsoló 	Fogaskerek 	Szíjhajtás 	Lánchajtás 
	Tekercs stabil rögzítés	Rögzítő tárcsával 	Rugós tengely 	Pneumatikus tengely 	
	Egyenletes feltekerés	Végálláskapcsoló 	Irányváltó tengely 		
	Szálat feszít	Pneumatikusan 	Gravitáció 	Rugó 	
	Képfelvitel	AI kamera 	IV kamera 	Lézer 	
	Világítást biztosít	Gyűrű 	Panel 	Dóm 	
	Moduláris kialakítás	Alumínium profil 	Kör profil 	Zártszelvény 	
	Elhelyezés	Gépláb 	Kerék 		

12. ábra: A morfológiai mátrix használata: megoldási lehetőségek kiválasztása és jelölése

7, DÖNTÉS ÉS KIVÁLASZTÁS

Ezután következik a döntés, azaz az optimális megoldási kombináció kiválasztása, ez történhet többféle összehasonlító-elemző módszerrel, pl. döntési mátrix vagy Pugh-mátrix.

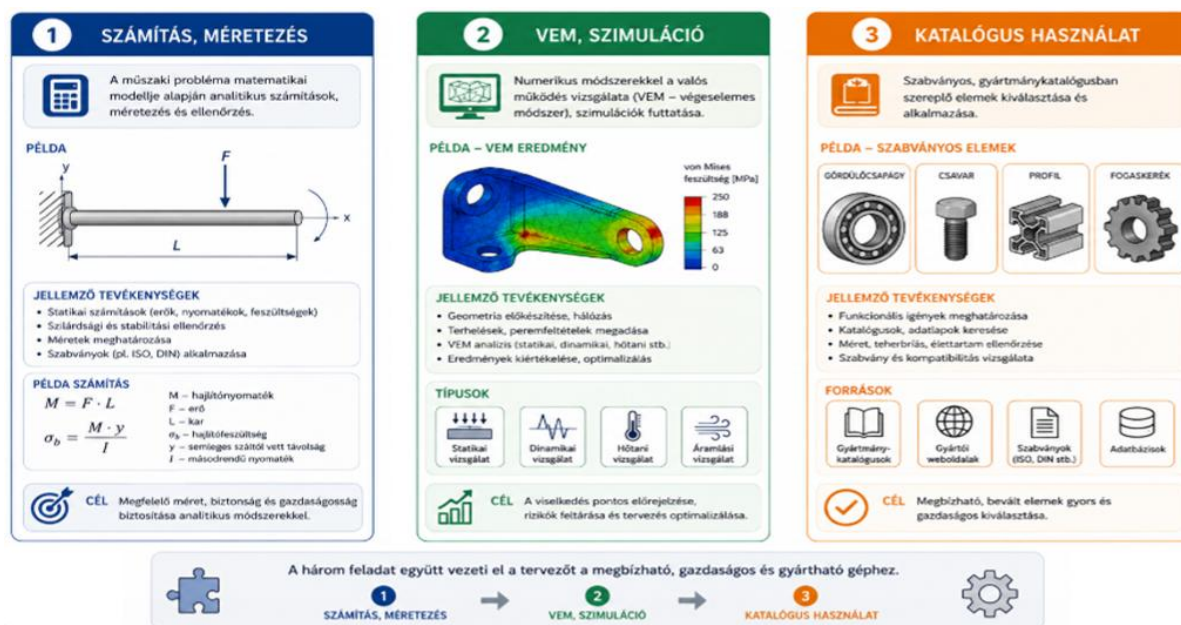
Jellemzők	Súlyozás	1. koncepció		2. koncepció		3. koncepció		4. koncepció		5. koncepció		6. koncepció	
Alkatrészgyártás	2	4	8	1	2	1	2	1	2	2	4	3	6
Kereskedelmi termékek	2	4	8	3	6	3	6	3	6	4	8	4	8
Kameraköltség	4	1	4	1	4	3	12	5	20	4	16	3	12
Manipulálás költsége	3	4	12	2	6	2	6	3	9	5	15	5	15
Méret	4	2	8	3	12	3	12	4	16	2	8	3	12
Megvalósíthatóság	5	3	15	2	10	2	10	2	10	3	15	5	25
Kezelhetőség	4	3	12	2	8	2	8	3	12	4	16	4	16
Kompatibilitás	5	3	15	4	20	4	20	5	25	4	20	5	25
Bonyolultság	3	4	12	1	3	2	6	2	6	4	12	4	12
Programozhatóság	3	3	9	3	9	3	9	4	12	4	12	4	12
Pontosság	5	5	25	5	25	4	20	5	25	5	25	5	25
Karbantartás	2	5	10	3	6	3	6	3	6	5	10	4	8
Összpontszám			138		111		117		149		161		176

VI. táblázat: Különböző megoldási lehetőségek összehasonlítása (zöld: optimális)

A súlyozáshoz természetesen visszanyúlunk egészen a követelményjegyzékig és alkalmazzuk az abban kialakított súlyszámokat, amelyek segítségével egyesével értékeljük a kialakult megoldási javaslatokat, míg végül kiválasztásra kerül az optimális megoldási javaslat. A módszer segítségével nagyon hasonló (alig eltérő) és nagyon eltérő megoldási javaslatok is objektíven összehasonlíthatók.

8, RÉSZLETTERVEZÉS

A részlettervezés a géptervezési folyamat azon szakasza, amelyben a kiválasztott koncepcióból teljes mértékben kidolgozott, gyártható és üzemeltethető műszaki megoldás készül. Ennek során meghatározásra kerülnek a szerkezet valamennyi geometriai, alapanyag, szilárdsági és technológiai jellemzői, valamint elkészülnek a gyártáshoz szükséges műszaki dokumentumok.



13. ábra: A részlettervezés főbb fázisainak bemutatása

A kiválasztott koncepció részletes kidolgozása során pontosításra kerülnek a szerkezeti kialakítások, az alkatrészek kapcsolatai, valamint a működési elvek. A cél a korábban meghatározott funkciók optimális megvalósítása.

Koncepciók továbbgondolása:

- Részletek kidolgozása
- Anyagválasztás
- Gyártástechnológia
- Kivitelezés, üzemeltetés

A részletek kidolgozásának fázisában készülnek el az alkatrészek és összeállítások végleges geometriai modelljei, méretei, illesztései, tűrései, felületi előírásai és szerkezeti kialakításai. A részlettervezés során minden gyártási és szerelési szempontot figyelembe kell venni. Az alkatrészek anyagának kiválasztása a mechanikai, hőtechnikai, korróziós, kopási és gazdaságossági követelmények figyelembevételével történik. Az anyagválasztás jelentős hatással van a szerkezet élettartamára, megbízhatóságára és költségeire. A szerkezet kialakítását mindig a tervezett gyártási technológiához kell igazítani. Meghatározásra kerülnek a megfelelő gyártási eljárások (öntés, forgácsolás, lemezalakítás, hegesztés, additív gyártás stb.), valamint a technológiai korlátok és gazdaságossági szempontok. A tervezés során figyelembe kell venni a szerelhetőséget, telepíthetőséget, üzembe helyezést, valamint a várható üzemi körülményeket. Fontos szempont a biztonságos és megbízható működés biztosítása.

Módszerek:

- Számítás, méretezés
- Ellenőrzés
- Szimulációk, VEM
- Szerkezetoptimalálás

A részlettervezés egyik legfontosabb feladata a szerkezeti elemek méretezése. Ennek során szilárdsági, merevségi, kifáradási, hőtechnikai, dinamikai és egyéb mérnöki számítások igazolják, hogy a szerkezet megfelel az előírt terheléseknek és biztonsági követelményeknek. A méretezések és konstrukciós megoldások ellenőrzése analitikus számításokkal, szabványok alkalmazásával vagy szakmai felülvizsgálattal történik. Célja a tervezési hibák kiszűrése még a gyártás megkezdése előtt. A modern tervezés fontos eleme a végesesemes módszer (VEM) alkalmazása. A numerikus szimulációk segítségével vizsgálható a szerkezet feszültségeloszlása, alakváltozása, rezgése, hőterhelése vagy áramlástanai viselkedése, így csökkenthető a fizikai prototípusok száma. Az ellenőrzések és szimulációk eredményei alapján a szerkezet tovább finomítható. Az optimalizálás célja például a tömeg csökkentése, a merevség növelése, az élettartam javítása vagy a gyártási költségek mérséklése.

Tervezési szempontok:

- Kivitelezés, telepítés
- Üzemeltetés, karbantartás
- Kivonás, recycling

A részlettervezés során a teljes életciklust figyelembe kell venni. Fontos szempontok a gyárthatóság, szerelhetőség, biztonság, szabványosság, költséghatékonyság, energiahatékonyság, megbízhatóság és fenntarthatóság. A konstrukciónak lehetővé kell tennie a gazdaságos gyártást, az egyszerű összeszerelést, a szállítást és a helyszíni telepítést. Már a tervezés során célszerű figyelembe venni az emelési, szerelési és beépítési feltételeket. A szerkezetet úgy kell kialakítani, hogy a karbantartási műveletek egyszerűen és biztonságosan elvégezhetők legyenek. Fontos a kopó alkatrészek hozzáférhetősége, a javíthatóság és a hosszú üzemi élettartam biztosítása. A korszerű géptervezés már a fejlesztés során figyelembe veszi a termék életciklusának végét is. Törekedni kell az egyszerű szétszerelhetőségre, az anyagok újrahasznosíthatóságára, valamint a környezetterhelés minimalizálására, ezzel támogatva a fenntartható és körforgásos gazdaság elveit.

Összefoglalva, a részlettervezés célja, hogy a kiválasztott koncepcióból minden műszaki, gazdasági, gyártási és üzemeltetési szempontból megalapozott, gyártható és hosszú távon megbízható termék jöjjön létre. Ez a tervezési folyamat legösszetettebb szakasza, amely közvetlenül meghatározza a késztermék minőségét, költségét és élettartamát.

9, DOKUMENTÁCIÓ

A dokumentálás a géptervezési folyamat záró szakasza, amelynek célja a teljes tervezési folyamat, a végleges konstrukció és a megvalósításhoz szükséges valamennyi műszaki információ rendszerezett rögzítése. A megfelelő dokumentáció biztosítja a gyártás, az üzembe helyezés, az üzemeltetés, a karbantartás és a későbbi továbbfejlesztés alapját.

Tervezés dokumentálása:

A dokumentáció első része a teljes tervezési folyamat bemutatását tartalmazza. Ennek részeként ismertetni kell a feladatpontosítást és a célkitűzést, vagyis azt, hogy milyen problémára kellett megoldást találni, milyen követelményeknek kellett megfelelni, valamint milyen tervezési célokat fogalmaztak meg. Be kell mutatni az alkalmazott tervezési módszereket és segédeszközöket, például az Általános Funkcióstruktúrát (ÁFS), a Követelményjegyzéket (KJ) és a Zwicky-féle morfológiai mátrixot, amelyek megalapozzák a koncepciók kidolgozását és értékelését.

A dokumentáció ismerteti a tervezési folyamat egyes lépéseit, a meghozott döntéseket, valamint a különböző változatok értékelését. Fontos része a dokumentációnak a zsákutcák és iterációk bemutatása is, vagyis azoknak a megoldásoknak és módosításoknak a dokumentálása, amelyek végül nem kerültek kiválasztásra, de hozzájárultak a végleges konstrukció kialakításához.

A fejezet végén részletesen ismertetni kell a végleges tervezési eredményt, annak működését, fő műszaki jellemzőit és a választott megoldás indoklását.

Gyártási dokumentáció:

A gyártási dokumentáció tartalmaz minden olyan adatot, amely a termék előállításához szükséges. Ennek legfontosabb eleme a 3D CAD modell, amely a teljes szerkezet digitális modelljét tartalmazza. Ebből készülnek a 2D műszaki rajzok, beleértve az összeállítási rajzokat és az egyes alkatrészrajzokat, amelyek tartalmazzák a méreteket, tűréseket, felületi előírásokat és egyéb gyártási információkat.

A dokumentáció része továbbá a tételjegyzék (BOM – Bill of Materials), amely felsorolja az összes alkatrészt, szabványos elemet és szerelési egységet. A kapcsolódó fájlok és verziók kezelése általában egy központi dokumentum- vagy termékadat-kezelő rendszerben (repository, PDM/PLM) történik.

Üzemeltetési dokumentumok:

A végleges dokumentációhoz tartoznak azok a dokumentumok is, amelyek a termék biztonságos használatát és fenntartását támogatják.

A gépkönyv a berendezés műszaki adatait, felépítését és főbb jellemzőit tartalmazza. A kezelési és karbantartási útmutató ismerteti az üzembe helyezést, a használatot, az időszakos karbantartást és a hibaelhárítás lépéseit. A pótalkatrész-lista pedig tartalmazza a cserélhető alkatrészek azonosítóit, mennyiségét és műszaki adatait, megkönnyítve a javítást és az alkatrész-utánpótlást.

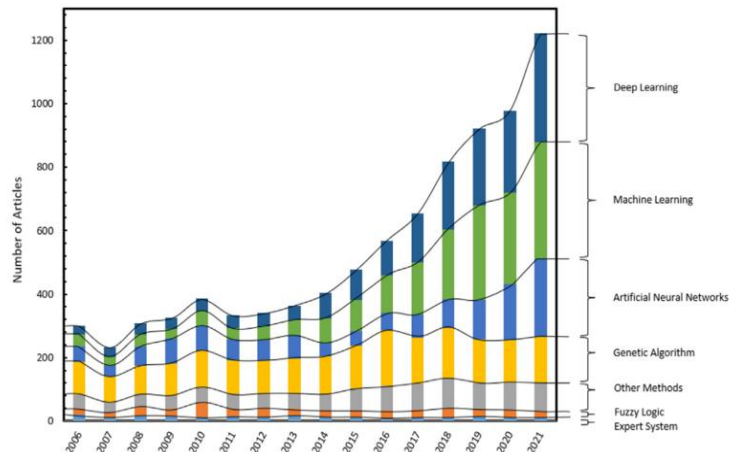
Összefoglalva, a dokumentálás biztosítja, hogy a tervezési folyamat eredményei átlátható, visszakövethető és a teljes termékéletciklus során felhasználható formában álljanak rendelkezésre. A megfelelően elkészített dokumentáció nemcsak a gyártás alapfeltétele, hanem támogatja az üzemeltetést, a karbantartást, a minőségbiztosítást és a későbbi fejlesztéseket is.

3.2. MI LEHETŐSÉGEK ÁTTEKINTÉSE

Ebben a fejezetben a tervezésmódszertan kapcsán releváns MI trendet, típusokat, funkciókat és platformokat tekintjük át.

3.2.1. TREND KITEKINTÉS

A következő ábra jól mutatja az MI trendjének alakulását: az egyes tervezési alkalmazásokban használt különböző MI módszerekről évente publikált cikkek száma 2006 és 2021 között.

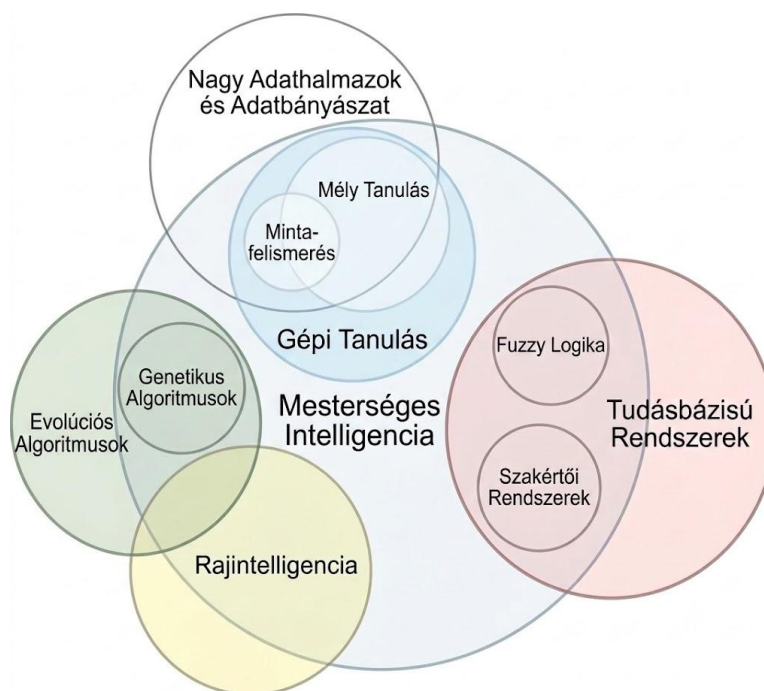


14.ábra: MI publikációk alakulása 2006-2021. között

Az ábrából jól látszik az MI publikációk ugrásszerű megnövekedése, de jól megfigyelhető az egyes MI módszerek és irányok publikációs arányának a változása is.

3.2.2. MI TÍPUSOK ÉS FUNKCIÓK

Az egyes, legismertebb MI módszerek figyelhetőek meg a következő ábrán, amely egyben jól vizualizálja az átfedéseket és összefüggéseket is.



15.ábra: Az MI módszerek Venn-diagramja

A legfontosabb MI módszerek gyors áttekintése és összefoglalása:

- Artificial Intelligence: minden olyan módszer ide tartozik, amely intelligens döntéshozatalt vagy problémamegoldást végez.
- Machine Learning: az algoritmusok adatokból tanulnak explicit programozás nélkül.
- Big Data & Data Mining: nagy mennyiségű adat feldolgozását és elemzését jelenti, támogatja a machine learning modellek tanítását.
- Knowledge-Based Systems: szabályalapú, tudásbázisra épülő AI rendszerek.
- Evolutionary Algorithms és Genetic Algorithms: természetes evolúció ihlette optimalizáló algoritmusok, megoldások „fejlődnek” szelekció és mutáció segítségével.
- Swarm Intelligence: kollektív viselkedésen alapuló intelligencia, például hangyák vagy méhrajok működésének modellezése.

3.2.3. MI EVOLÚCIÓJA A TERVEZÉSBEN

Az MI módszerek fejlődése és elterjedésük, integrációjuk a tervezési folyamatokban az alábbiak szerint alakultak a múltban.

Korai MI alkalmazások:

- Logikai és döntési rendszerek
- Öntanuló rendszerek
- Karakterfelismerés - OCR
- Machine-Vision gépi látó rendszerek

Az utóbbi időszakban az MI platformok megjelenése, a szélesebb körű elérhetőségük rohamos ugrást okozott a napi szintű integrálásuk és alkalmazásuk területén.

Utóbbi időben elterjedt MI funkciók:

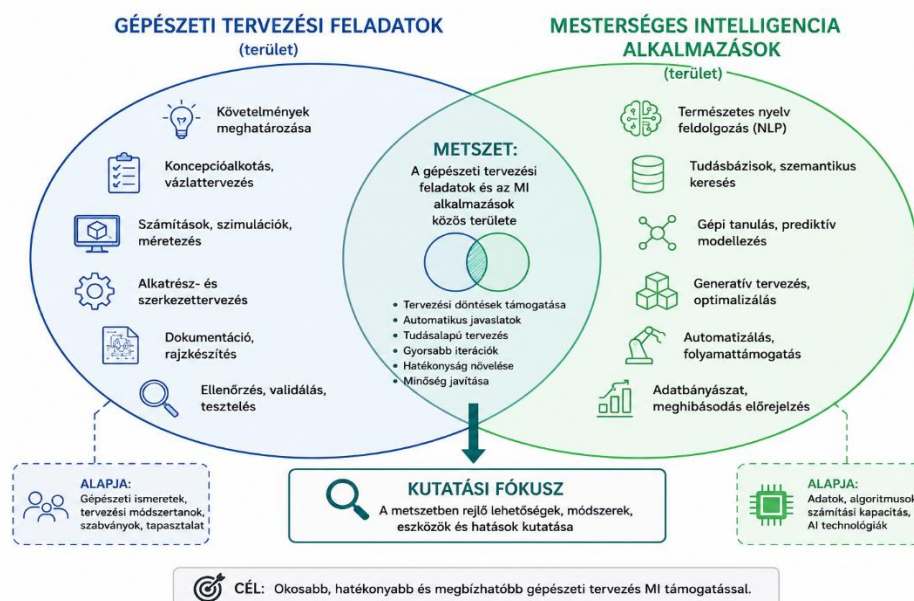
- Adatgyűjtés, rendszerezés, elemzés
- Képgenerálás
- Info-grafika
- Renderelt ábrák
- 3D modellezés
- Statisztika
- ...
- BÁRMI !!



16.ábra: Az MI módszerek és alkalmazásuk evolúciója a tervezési folyamatok során

3.3. A KÉT TERÜLET METSZETE

A két terület, a tervezési folyamatok és az elérhető MI alkalmazások kapcsolódását jól szemlélteti a következő ábra.



17.ábra: Az MI módszerek a gépészeti tervezési feladatok kapcsolódása

3.3.1. MIRE ÉS HOGYAN ALKALMAZHATÓ AZ MI?

A következő táblázat az egyes tervezési fázisok, a támogató MI eszközök és a támogatási terület részleteit tartalmazza.

TERVEZÉSI FÁZIS	TÁMOGATÓ MI ESZKÖZ	MIBEN TUD SEGÍTENI?
Adatgyűjtés	ChatGPT	Irodalomkeresés, konkurenciaelemzés, piackutatás
Ötletelés	Lexica	Termékötletkeresés, generatív tervezés, kreatív dizájn
Tervezés	Toggle3D.ai	3D modellre textúra elhelyezése, háttér, renderelés, fotó-realisztikus kép
Szimuláció, tesztelés	AnyLogic	Szimuláció futtatása, a termék virtuális környezetben való tesztelése
Dizájn optimalálás	Toggle3D.ai	Terv finomhangolás, egyedi dizájn, ergonomikus kialakítás, optimalizálás

VII. táblázat: Tervezési fázisok és támogató MI eszközök

Fontos, hogy az MI nem helyettesíti a tervezőt, sőt együtt csapatot alkotnak, azaz több olyan lépés, teendő van, amely során vagy az egyikük a vagy másikuk kap főszerepet. Így támogatják egymást a tervezési folyamat lépéseinek elvégzése során.

FOLYAMAT LÉPÉS	KI VÉGZI?	RÉSZLETEK ÉS EREDMÉNY
Specifikálás	tervező	Feladat megfogalmazása, követelmények és súlyozás
Kulcsszavak	tervező	Feladatot pontosan leíró elvárt vagy kizárt kulcsszavak megfogalmazása
Termékötletek generálása #1	MI	Számos termék-kialakítás, sok eltérő és hasonló dizájn bemutatása
Szűrés	tervező	Kategorizálás: nem felel meg / megfelel, de nem tetszik / megfelel és tetszik
Szűkítés	tervező vagy megbízó	A „megfelel és tetszik” kategóriába eső ötletek szubjektív szűkítése
Termékötletek generálása #2	MI	A kiválasztott és szűkített ötletek alapján továbbiak generálása
Elemzés	tervező	Első áttekintés, ötletek véleményezése, objektív kontroll
Döntés	megbízó	A legoptimálisabb vagy a legjobban tetsző termék-változat kiválasztása

VIII. táblázat: Tervezési folyamat lépések tekintetében a tervező és az MI „szereposztása”

Jól megfigyelhető a táblázatban az is, hogy az adott folyamatlépés elvégzésével milyen részeredményt, azaz kimenetet kapunk.

3.3.2. GYAKORLATI PÉLDÁK BEMUTATÁSA

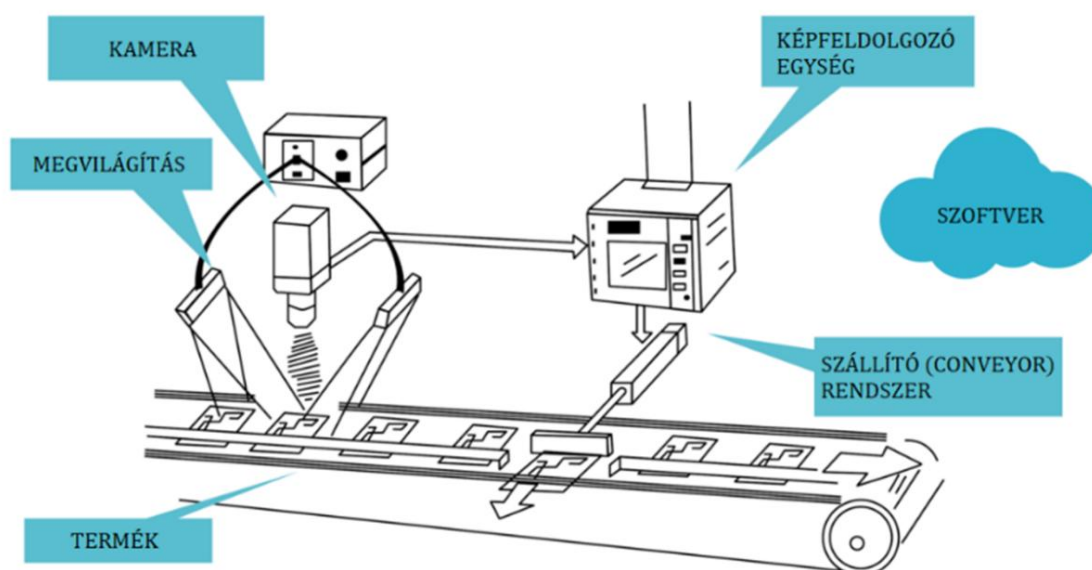
Ebben a fejezetben különböző tervezési területeken kerül bemutatásra egy-egy jó példa az MI alkalmazására, integrálására és a kapott eredményre.

1, PÉLDA: MACHINE-VISION FELADAT MEGOLDÁSA

Az alábbiakban egy MI-alapú machine-vision (gépi látás alapú optikai minőségellenőrzés) alkalmazás kerül bemutatásra. Ehhez első lépésként tekintsük át a hagyományos machine-vision rendszerek működését és eszközeit.

Machine-vision eszközök:

- Kamera, szenzor
- Világítás
- Objektív
- Árnyékolás
- SW, képfeldolgozás
- PC vagy smart-camera



18.ábra: Egy machine-vision rendszer elrendezése és főbb eszközei

A hagyományos machine-vision (HMV), azaz nem MI-vel támogatott ellenőrző rendszerek széleskörben elterjedtek és nagyon sok minőségellenőrzési feladatra igen hatékonyan használhatóak. Azonban nem mindenre, tekintsük át azokat a területeket, ahol nem vagy nem jó megbízhatósággal alkalmazhatóak csak.

Hagyományos machine-vision rendszerek korlátai:

- Inhomogén felület
- Számos eltérő hiba
- Nem előre betanítható minták
- OK és NOK nagyon hasonló, sok változat, kis különbségek
- További hibák lehetnek: ritkán vagy új típus fordul elő

	Hagyományos vision	MI-alapú vision
Működési elv	Nagyon pontosan érzékelhető, könnyen mérhető szabályszerűség nyomon követése	Neurális hálózatok segítségével elvégzett képfeldolgozás
Jellemzői	Rule-based módszer → csak tökéletes képegyezés esetén sikeres	Rugalmas módszer → nem igényel tökéletes képegyezést
	A jó és rossz képeknek szignifikánsan el kell térniük egymástól	Jó termékek közötti inhomogenitás is kezelhető
	A termék vizsgálandó része legyen homogén	Inhomogén környezet kezelésére is alkalmas
	A hibának nagyon jól detektálhatóak kell lennie	Nehezen detektálható hibák esetén is működőképes
	Mérés esetén: precíz mérést igényel	Nem igényel precíz mérést
	Egyszerűbb feladatokra alkalmas	Összetettebb, időigényesebb feladatokra (is) alkalmas

IX. táblázat: Hagyományos és MI-alapú machine-vision rendszerek összehasonlítása

A tervezési feladat egy öntött hengerfejen az öntött karakterek felismerése (OCR) volt, amelynek során az eltérő módszerekkel a következő ábrán látható eredményre jutottunk.

Machine- vision módszerek eredményei			
	HMV	MI Locate Tool	MI Read Tool (OCR)
Betanítási képek száma, db	20	20	20
Első körű kontroll képek száma, db	10	10	10
Tökéletesen ellenőrzött képek száma, db	2	4	7
Részben jól ellenőrzött képek száma, db	3	5	3
Gyengén ellenőrzött képek száma, db	5	1	0
Kiolvasandó karakterek száma (összesen), db	180	170	180
Kiolvasott karakterek száma (jól), db	67	87	138
Kiolvasási teljesítmény, %	37 %	51,2 %	76,7 %
Második körű kontroll képek száma, db	10	10	10
Tökéletesen ellenőrzött képek száma, db	3	6	8
Részben jól ellenőrzött képek száma, db	2	3	2
Gyengén ellenőrzött képek száma, db	5	1	0
Kiolvasandó karakterek száma (összesen), db	180	170	180
Kiolvasott karakterek száma (jól), db	81	119	162
Kiolvasási teljesítmény, %	45 %	70,6 %	90 %
Döntési képesség növekedés, %	8 %	19,4 %	13,3 %
Képfeldolgozási idő, ms	~ 95	~ 120	~ 80

X. táblázat: Három eltérő machine-vision módszerrel kapott eredmények

A táblázatban jól látható, hogy az utolsó oszlopban szereplő MI-alapú machine-vision megoldással messze kimagaslóan a többi módszertől, 90%-os kiolvasási teljesítményt sikerült elérni. További betanítással és iterációkkal ez az eredmény meg tudja közelíteni akár a 100%-ot is.

2, PÉLDA: FORMATERVEZÉSI FELADAT MEGOLDÁSA

következő egy forma- és terméktervezési feladat megoldása. Ennek során adott volt egy 5x1x1 méteres munkaterű ún. szalagos kialakítású 3D nyomtató. Ehhez kellett tervezni egy olyan szabad formavilágú 3D-nyomtatott irodai függőlámpát, amelyik tartalmaz növényeket is.

A feladat és az elvárások ismertetése:

- Nagyméretű (5m x 1m x 1m) 3D-nyomtatás
- Terméktervezés, a 3D nyomtatás indokoltsága mellett
- Termékötlet-keresés => Hosszúkas irodai lámpa tervezése
- Elvárások:
- Hosszúkas kialakítás
- Lámpa tervezése élő növény-kombinációval
- MI lehetőségek feltárása és megismerése
- MI alkalmazása, korlátok és előnyök
- Többszörös iteráció a terméktervezésben

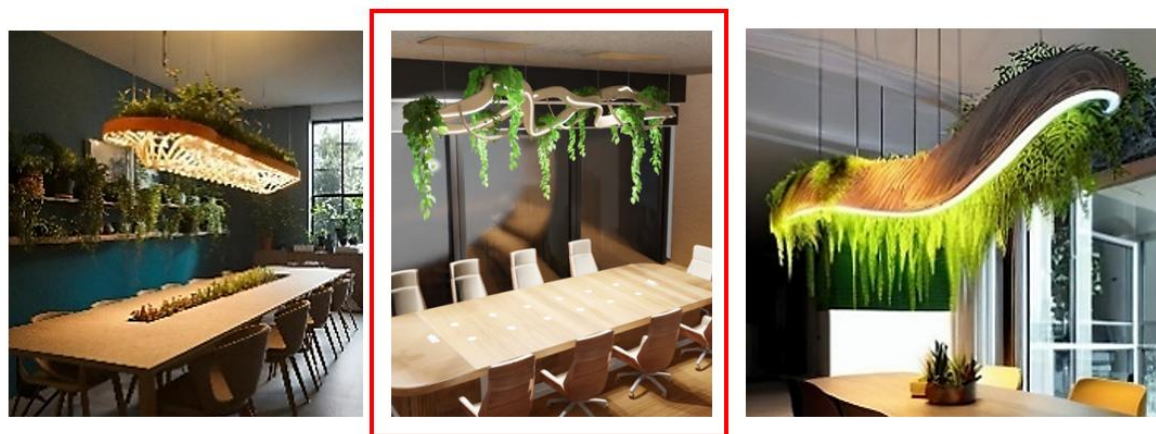
A termék- és formatervek kialakítása során folyamatosan használtuk, alkalmaztuk és teszteltük az elérhető ötletelést, tervezést és látványterveket támogató MI-rendszereket. Természetesen volt több zsákutca és tévút is, míg végül eljutottunk a megoldáshoz. Ezeket mutatjuk be röviden a következő ábrákon.



19.ábra: A kritériumoknak nem megfelelő ötletek és koncepciók



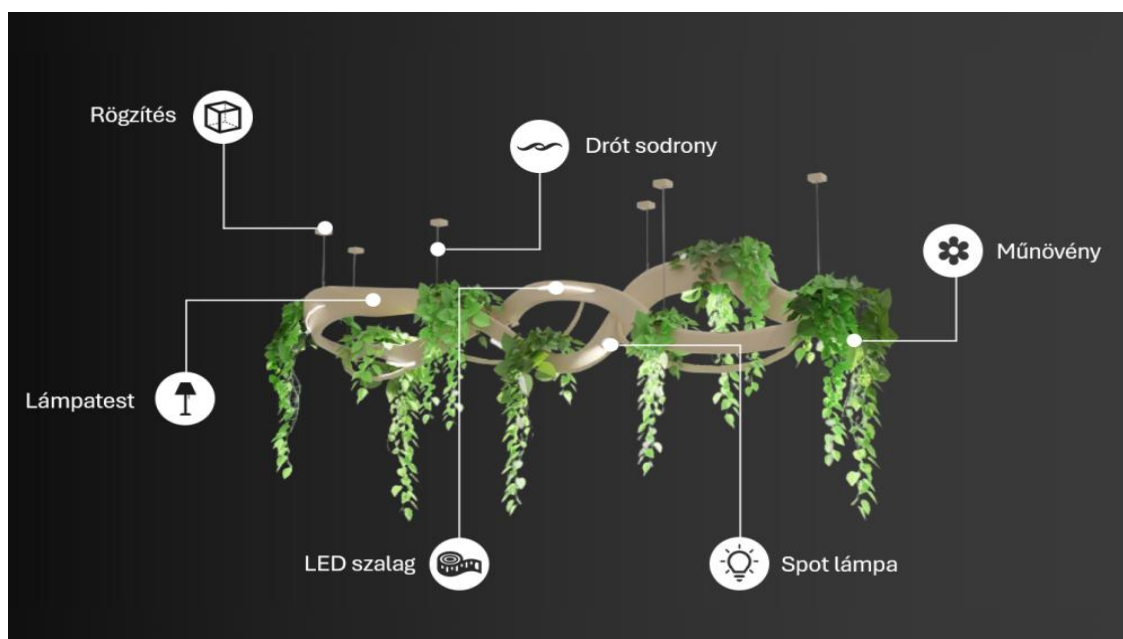
20.ábra: A kritériumoknak megfelelő, de az elképzelésekkel nem találkozó ötletek



20.ábra: A kritériumoknak megfelelő és az elképzelésekkel is találkozó ötletek és a kiválasztott (piros kerettel)

Mindezek alapján kiválasztásra került az egyik koncepció, ezután következett a részlettervezés, anyagválasztás, méretezés, VEM ellenőrzés, optimalizálás.

Majd a kész 3D modell alapján 3D nyomtatási tesztek következtek, ahol kisebb maketteket nyomtattunk, míg végül eljutottunk a végső, optimális megoldáshoz.



21. ábra: A végső, megtervezett termék és alkotóelemei

3, PÉLDA: GÉPTERVEZÉSI FELADAT LÉPÉSEINEK TÁMOGATÁSA

Ebben a fejezetben arra mutatunk be jó példákat, amikor géptervezési feladat egyes tervezési lépéseinek a megoldására sikerült hatékonyan bevonni az MI alapú alkalmazásokat.

IRODALOMKUTATÁS

A következő táblázat az irodalomkutatásra alkalmazható MI alkalmazásokat, az előnyüket, korlátjaikat és megbízhatóságot foglalja össze.

AI Eszköz	Módszertani Előny	Licenc / Korlátok	Szakmai Megbízhatóság
Elicit	Tanulmányok keresése, adatok kinyerése	Kredit alapú (Alap verzió limitált)	Nagyon megbízható forráskezelés.
Thesis AI	Szakdolgozat-specifikus segítség	Változó, fizetős csomagok	Jó strukturáló és szintetizáló készség.
Perplexity	Valós idejű internetes forráskeresés	Napi limit / Education Pro (\$9/hó)	A legjobb általános forráskutató jelenleg.
Consensus	Tudományos evidenciák értékelése	Ingyenes alap / Havi 15 Pro üzenet	Rendkívül objektív, nem hallucinál annyit.

XI. táblázat: Irodalomkutatásra használható MI alkalmazások és jellemzőik

KONKURENCIAELEMZÉS

Az LLM-ek gyors piacfeltérképezésre és trendazonosításra nagyon hasznosak. A konkurenciaelemzésre használható MI-rendszerek jellemzőit foglaljuk össze az alábbiakban.

Erősségek:

- cégek gyors összegyűjtése,
- piaci szegmensek strukturálása,
- trendek és piaci rések azonosítása.

A modellek eltérő erősségeket mutattak:

- ChatGPT → strukturált és kiegyensúlyozott,
- Claude → stratégiai insightok,
- Perplexity/Mistral → széles adatgyűjtés.

Fő problémák:

- pontatlan kategorizálás,
- túl magabiztos állítások,
- nem validált adatok.

Javasolt felhasználás:

- „research copilot” szerep,
- emberi ellenőrzéssel kombinálva.

KÖVETELMÉNYJEGYZÉK

A következő táblázat egy MI-vel támogatott követelményjegyzéket mutat be, egy hajszárító tervezési feladat esetére. Jól látható, hogy a kapott eredmény megfelel a követelményjegyzék kialakítási, formai és tartalmi elvárásainak.

Csoport	Azonosító	Követelmény	Elvárt érték / Követelmény megfogalmazása	Mértékegység / Megjegyzés	Kategória	Súly (1–10)
Funkcionális	F-01	Hajszárítási teljesítmény	Normál hosszúságú haj szárítása ≤ 10 perc alatt	Idő (perc)	A	10
	F-02	Légszűrő fokozatok	Minimum 2 fokozat, jól érzékelhető különbséggel	fokozat száma	A	8
	F-03	Hőmérséklet fokozatok	Minimum 3 fokozat (meleg / forró / nagyon forró)	fokozat száma	A	8
	F-04	Hideglevegő funkció	Külön kapcsolható hideg levegő	–	Sz	7
	F-05	Formázási lehetőség	Szűkítő fej / diffúzor csatlakoztatható	kompatibilitás	Sz	6
	F-06	Egyenletes légáram	Nincs hirtelen hőingadozás vagy légáram-megszakadás	–	Sz	6
	F-07	Gyors felmelegedés	Bekapcsolást követően ≤ 3 másodpercen belül elérje az üzemi hőfokot	Idő (s)	Sz	6
Energetikai	E-01	Névleges teljesítmény	1800–2200 W között	W	A	9
	E-02	Tápellátás	230 V AC, 50 Hz	–	A	10
	E-03	Energiafogyasztás készenléti állapotban	≤ 0,5 W	W	Sz	6
	E-04	Energiahatékonyság	Kategórián belül kedvező energiahatékonyság	–	Ö	4
	E-05	Hőhasznosítás	A felvett energia legalább 80%-a hővé alakuljon	%	Ö	4
Ergonómia	ER-01	Tömeg	≤ 700 g	g	Sz	8
	ER-02	Markolat kialakítása	Csúszmentes, ergonomikus forma	–	Sz	7
	ER-03	Kegyensúlyozottság	Használat közben ne terhelje a csuklót	–	Sz	6
	ER-04	Zajszint	≤ 75 dB(A)	dB(A)	Ö	5
	ER-05	Kábelkezelés kényelme	A kábel ne csavarodjon, akadálymentes mozgatható	–	Sz	5
	ER-06	Kezelőszervek elhelyezése	Könnyen elérhető, egy kézzel működtethető	–	Sz	6
Biztonság	B-01	Tűlmelegedés elleni védelem	Automatikus hőkijárat ≤ 150 °C-nál	°C	A	10
	B-02	Érintésvédelem	II. érintésvédelmi osztály	–	A	10
	B-03	Burkolati hőmérséklet	≤ 60 °C érinthető felületen	°C	A	9
	B-04	Légbeszívó rács	Haj beszívását megakadályozó kialakítás	–	Sz	8
	B-05	Villamos szigetelés	Szabvány szerinti (pl. EN 60335)	–	A	9
	B-06	Vízállóság / Fröccsenő víz elleni védelem	IPX1 vagy annál magasabb	IP kód	Ö	4
Műszaki kialakítás	M-01	Kábelhossz	≥ 1,8 m	m	Sz	7
	M-02	Kábel forgathatósága	360°-ban forgó csatlakozás a készülékhez	–	Ö	4
	M-03	Szűrő tisztíthatósága	Szerszám nélkül eltávolítható és mosható	–	Ö	5
	M-04	Tartozékok rögzítése	Gyors és biztonságos rögzítés, stabil illeszkedés	–	Sz	5
	M-05	Burkolat anyaga	Hőálló, ütészálló műanyag (pl. ABS, PC)	–	Sz	6
	M-06	Szín- és felületkialakítás	Modern megjelenés, könnyen tisztítható felület	–	Ö	3
Megbízhatóság	R-01	Élettartam	≥ 500 üzemóra	óra	A	8
	R-02	Kapcsolók élettartama	≥ 10 000 kapcsolási ciklus	ciklus	Sz	6
	R-03	Motor élettartama	≥ 8 000 üzemóra	óra	Sz	6
	R-04	Garancia időtartama	Minimum 2 év	év	Sz	5
Gyárthatóság	GY-01	Alkatrészszám	≤ 40 db fő alkatrész	db	Ö	3
	GY-02	Szerelhetőség	Könnyen szerelhető, kevés szerszám igényével	–	Sz	4
	GY-03	Szabványos alkatrészek aránya	Minél nagyobb arányban szabványos elemek	%	Ö	3
Gazdasági	K-01	Előállítási költség	≤ 8 000 Ft / db	Ft	Sz	7
	K-02	Vevői ár elvárás	≤ 20 000 Ft / db (ajánlott fogyasztói ár)	Ft	Ö	4
	K-03	Üzemeltetési költség	Kedvező energiafogyasztás és karbantartás	–	Sz	5
Környezeti	KÖ-01	Újrahasznosítható anyagok aránya	≥ 70%	%	Ö	4
	KÖ-02	Veszélyes anyagok használata	RoHS irányelvnek megfelelő	–	A	6
	KÖ-03	Csomagolás	Újrahasznosítható, minimalizált csomagolás	–	Ö	3
Eszététikai	ESZ-01	Megjelenés	Modern, esztétikus forma és színvilág	–	Ö	3
	ESZ-02	Felületminőség	Karcálló, ujjlenyomat-mentes felület	–	Ö	3
	ESZ-03	Felhasználói visszajelzések	Posztív felhasználói értékelések elérése	–	Ö	3

Kategorizáció értelmezése:

A

Alapkövetelmény (kötelező)

A teljesítése kötelező.

Sz

Szintkövetelmény (súlyozott)

Fontosság szerint értékelendő.

Ö

Óhajkövetelmény (nem kötelező)

Előnyös, ha teljesül.

Súly (1–10):

1 = alacsony fontosság

10 = kiemelten magas fontosság

XII. táblázat: MI segítségével generált követelményjegyzék

FUNKCIÓSTRUKTÚRA

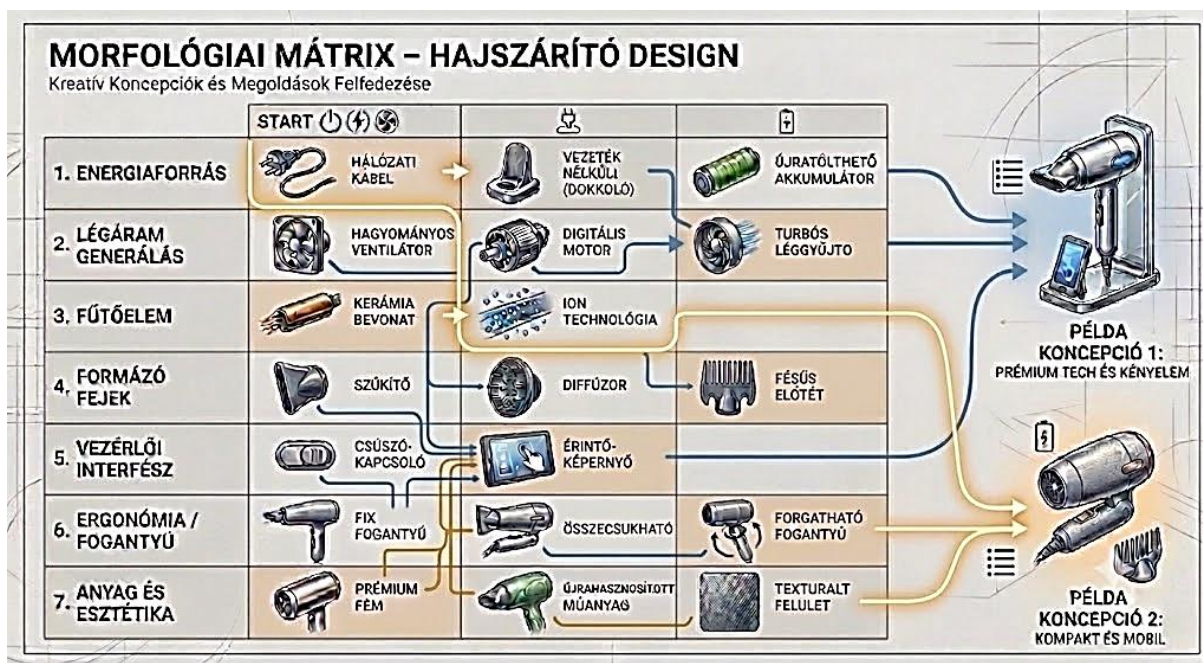
A következő ábrán pedig egy MI-vel támogatott funkcióstruktúra látható, egy továbbra is egy hajszárító tervezési feladat esetére.



21.ábra: MI-vel létrehozott funkcióstruktúra

MORFOLÓGIAI MÁTRIX

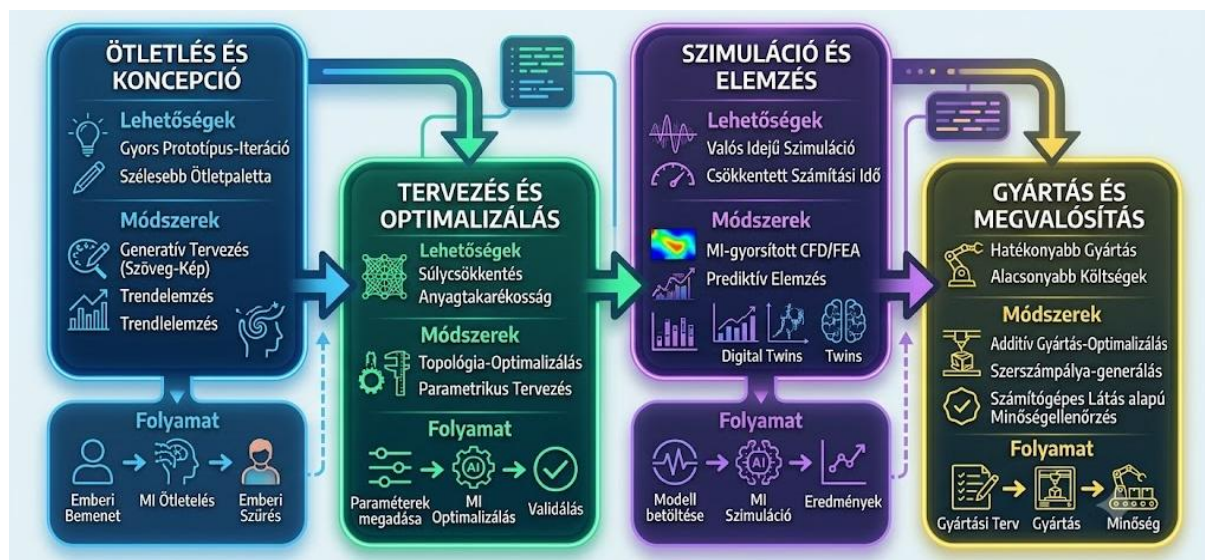
A következő ábrán egy MI-vel támogatott morfológiai mátrix látható, még mindig egy hajszárító tervezési feladat esetére.



22.ábra: MI-vel létrehozott morfológiai mátrix

3.4. TERVEZÉSI LÉPÉSEK MI-TÁMOGATÁSI LEHETŐSÉGEINEK ÖSSZEFOGLALÁSA

Összeségében jól látható és kimondható, hogy az MI számos területen és teendő során igen hatékonyan tudja támogatni az egyes tervezésmódszertani feladatok és lépések végrehajtását. A **mesterséges intelligencia (MI)** egyre nagyobb szerepet kap a gépészeti tervezésben, mivel támogatja a mérnököket a tervezési folyamat gyorsításában, az alternatívák kidolgozásában és a döntéshozatalban. Az MI képes nagy mennyiségű műszaki adat elemzésére, korábbi tervek feldolgozására, valamint optimális konstrukciók megoldások javaslatára.



23.ábra: MI-vel támogatott gépészeti tervezés

A tervezés során az MI segítséget nyújthat a követelmények feldolgozásában, a koncepcióalkotásban, a generatív tervezésben, az anyagválasztásban, a méretezésben, a végeselemes szimulációk előkészítésében és a szerkezetoptimalizálásban. Emellett képes automatikusan műszaki dokumentációt készíteni, alkatrészjegyzékeket összeállítani, illetve támogatni a gyártástervezést és a karbantartást.

Fontos hangsúlyozni, hogy az MI **nem helyettesíti a gépészmérnököt**, hanem intelligens döntéstámogató eszközként működik. A végleges műszaki döntésekért továbbra is a tervező mérnök felel, aki szakmai tapasztalata és mérnöki szemlélete alapján ellenőrzi és validálja az MI által készített javaslatokat. Ennek eredményeként a tervezési folyamat gyorsabbá, hatékonyabbá és innovatívabbá válhat, miközben javul a termékek minősége és csökken a fejlesztési idő.

4. FELHASZNÁLT FORRÁSOK

Szakirodalmak

- Bercsey T. (2004): *A termékfejlesztés és tervezés innovatív módszere*. Géptervezők és Termékfejlesztők XX. Országos Szemináriuma, Miskolc.
- Bishop, C. M. (2006): *Pattern Recognition and Machine Learning*. Springer.
- Blanchard, B., Fabrycky, W. (2011): *Systems Engineering and Analysis*. Pearson.
- Cross, N. (2008): *Engineering Design Methods*. Wiley.
- Dr. Gotthard V. (2008): *Moduláris felépítésű gyártósorok tervezésének elmélete és gyakorlata*. PhD értekezés, BME.
- Eastman, C. et al. (2011): *BIM Handbook: A Guide to Building Information Modeling*. Wiley.
- Goodfellow, I., Bengio, Y., Courville, A. (2016): *Deep Learning*. MIT Press.
- Gotthard V. (2023): *A DFX technikák legújabb irányelvei*, Gép.
- Grieves, M. (2014): *Digital Twin: Manufacturing Excellence through Virtual Factory Replication*.
- Kripács F. (1963): *Az "építészekrény"-rendszer alkalmazása a technikában*. KGM-MTPI.
- Krizhevsky, A., Sutskever, I., Hinton, G. E. (2012): *ImageNet Classification with Deep Convolutional Neural Networks*. NeurIPS.
- McCulloch, W. S., Pitts, W. (1943): *A Logical Calculus of the Ideas Immanent in Nervous Activity*. Bulletin of Mathematical Biophysics, 5, 115–133.
- Nilsson, N. J. (2010): *The Quest for Artificial Intelligence*. Cambridge University Press.
- OpenAI (2023–2024): *GPT-4 Technical Report*.
- Pahl, G., Beitz, W. (2007): *Engineering Design: A Systematic Approach*. Springer.
- Russell, S., Norvig, P. (2021): *Artificial Intelligence: A Modern Approach* (4th ed.). Pearson.
- Tao, F., Zhang, M. (2017): *Digital Twin Shop-Floor: A New Shop-Floor Paradigm*. IEEE Access.
- Ulrich, K. T., Eppinger, S. D. (2016): *Product Design and Development*. McGraw-Hill.
- VDI 2206 (2021): *Design methodology for mechatronic systems*. Verein Deutscher Ingenieure.
- technikában, KGM-MTPI, Budapest, 1963.

Weboldalak

- *How is flexible office design improving business resilience?* - <https://www.mmoser.com/ideas/flexible-officedesign> (2023.10.15.)
- *The Benefits of Using AI for Product Design (With Examples)* - <https://www.nextechar.com/blog/benefits-ofusing-ai-for-product-design> (2023.09.10.)
- <https://g-max.hu/2024/09/16/greenglow-innovativ-3d-nyomtatott-fuggolampa/> (2024)
- *ChatGPT* - <https://openai.com/blog/chatgpt> (2026.06.hó)
- <http://gt3.bme.hu/> (2026.)
- *Lexica* - <https://lexica.art/> (2026.06.hó)
- *Toggle3D.ai* - <https://toggle3d.com/> (2026.06.hó)
- *AnyLogic* - <https://simul.ai/project/anylogic-simulationsoftware> (2023.09.13.)