

A TERMÉKTERVEZÉSI FOLYAMAT VERSENYKÉPESSÉGI KÉRDÉSEI

COMPETITIVENESS ASPECTS OF PRODUCT DESIGN PROCESS

Szabó Roland*, Fehér Bálint**, Dr. Hány András***, Dr. Tóth Csilla****

ABSTRACT

The methodology of product design, and in a broader sense, Product Engineering has undergone significant development in the recent period. The paper approaches the field from the point of view of the competitive aspects of product design. It discusses how the actual industrial challenges appear in the product design. An outline is given on a multi-aspect, practically used measurement method to measure the performance of the process.

1. BEVEZETÉS

A termékmérnöki szakterület (*Product Engineering*) felöleli a teljes folyamatot, egy új termék ipari igényének megfogalmazásától a koncepció felállításán, a részletes mérnöki tervezésen, méretezésen és szimuláción át a gyártásba kerülésig. Bár az elmúlt évtizedek technológiai fejlődése alapjaiban korszerűsítette a mérnöki eszköztárat, az ugrásszerűen növekvő műszaki komplexitás, a szigorodó környezetvédelmi előírások és a rövidülő piaci kerülesi idő (*Time-to-Market*) korábban soha nem látott integrációs és folyamatmenedzsment kihívások elé állítják a vállalatokat.

A 20. század közepéig a terméktervezés jelentős részben a mérnökök egyéni tapasztalatára és gyakorlati tudására épült. Az 1960-as évektől kezdve azonban a gépek és berendezések jóval összetettebbé váltak, melynek következtében szükségessé vált, hogy a mérnökök tudatosan megtervezzék és egységesítsék a tervezési folyamatot is (Wynn és Clarkson, 2018). A korai elméletalkotók, köztük Asimow (1962) és Hall (1962), felismerték a fejlesztés kettős jellegét: egyrészt van egy több lépésből álló folyamat az ötlettől a gyártásig, másrészt az egyes szakaszokon belül folytonos és ismétlődő problémamegoldás zajlik. Ezt a fokozatosságot írta le Evans (1959), álláspontja szerint a mérnök lépésről-lépésre, iterálva haladva hangolja össze az egymástól függő műszaki adatokat a kívánt eredmény eléréséig. Az 1970-es években a német tervezésmódszertan szakemberei logikus lépésekbe rendezték a tervezést. Négy fő szakaszra osztották a munkát: a követelmények tisztázása, a koncepció meghatározása, az elrendezés kidolgozása, majd a

részletes műszaki rajzok elkészítése. Ezt a módszert rögzítették az olyan mérnöki irányelvek is a későbbiekben, mint a VDI 2221, amely a műszaki termékek és rendszerek tervezési és fejlesztési folyamatát írja le. Bár ez a módszer rendet és átláthatóságot adott, a mindennapi ipari gyakorlatban gyakran túl merevnek bizonyult a gyorsan változó piaci igények kezelésére (Tomiya et al., 2009; Wynn és Clarkson, 2018). Az 1980-as években aztán az éleződő piaci verseny és a japán autóipar hatékony (*Lean*) működése rámutatott a hagyományos megközelítések korlátaira. A korábbi gyakorlatban élesen elkülönült egymástól a tervezés és a gyártás folyamata, a szakterületek között korlátozott kommunikáció valósult csak meg (*Over the Wall*). Ezzel szemben a párhuzamos tervezés (*Concurrent Engineering*) lényege, hogy a gyártási és összeszerelési szempontokat már a folyamat elején figyelembe veszik, ezzel jelentősen csökkent a piaci kerülesi idő és a drága újratervezések száma. A késői hibák megelőzésére terjedt el Cooper (1990) Stage-Gate kapurendszere, amely szigorú felülvizsgálatokhoz köti a továbblépést. Az ezredforduló után a szoftverek gyors fejlődésének következtében egyre inkább háttérbe szorultak a lineáris folyamatok. A szigorú lépések helyett előtérbe kerültek a szoftveriparból átvett, rövid ciklusokra és gyors visszajelzésekre épülő módszerek, melynek következtében a tervezési folyamat mára egy komplex, egymással szorosan összefüggő rendszerré fejlődött.

Napjainkban a tervezési folyamatmodellek fejlődése egy olyan pontra ért, ahol a tágabb fejlesztési környezetek (*Design Thinking*, rendszerszemlélet), a folyamatmodellek és az analitikus mérnöki módszertanok (*DfX*, *Lean*) együttes alkalmazása teremti meg a versenyképesség alapját (Stewart et al., 2020).

2. A TERMÉKTERVEZÉS KIEMELT MÓDSZERTANI ELEMEI NAPJAINKBAN

2.1. Modellalapú rendszermérnökség és mechatronikai integráció

A mai ipari termékek döntő többsége mechanikai elemek, elektronika és vezérlőszoftverek együttműködéséből áll. A korábbi fejlesztési

* fejlesztő mérnök, TC-Zone Mérnöki Kft.

** mérnök hallgató, Széchenyi István Egyetem

*** ügyvezető, TC-Zone Mérnöki Kft.

**** stratégiai vezető, ZalaZONE Menedzsment és Kutató Kft.

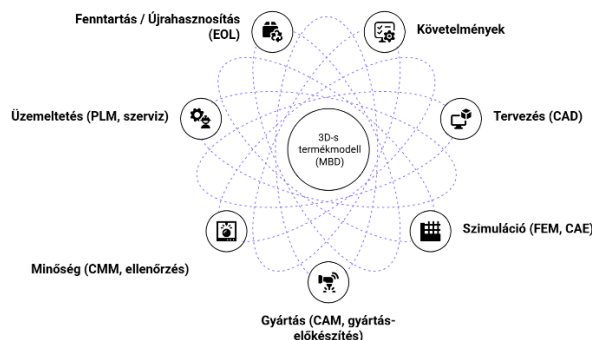
gyakorlatban az egyes termékblokkok jobbára egymástól független dokumentumokra és leírásokra támaszkodtak, ami az információk elvesztéséhez, félreértésekhez és tervezési, szerelési hibákhoz vezetett. A modellalapú rendszermérnökség (*Model-Based Systems Engineering – MBSE*) ezzel szemben egyetlen, központi digitális modellre helyezi a hangsúlyt, amely leírja a teljes rendszer követelményeit, szerkezetét, viselkedését a termék teljes életciklusán keresztül (INCOSE, 2014; Akundi és Lopez, 2021). A szabványos modellező nyelvek (*SysML* és ennek célzott kiterjesztései) közös kommunikációs alapot teremtenek a különböző szakágak között. Ezáltal az alkatrészek közötti kapcsolatok és a műszaki követelmények már a korai fázisban átláthatóvá válnak, kiküszöbölve az adatvesztést, megelőzve a költséges késői módosításokat.

2.2. Gyárthatóság, szerelhetőség és megbízhatóság tervezése

A terméktervezés másik alapvető területe a gyártási, üzemeltetési és biztonsági szempontok korai érvényesítése a tervezés során. A gyártás- és szerelэшhelyes tervezés (*Design for Manufacturing and Assembly – DFMA*) célja az alkatrészek számának csökkentése, a termékszerkezet egyszerűsítése és az összeszerelési idő csökkentése, ezáltal a költséghatékonyság növelése (Boothroyd et al., 2011; Juniani et al., 2022). Ezt egészíti ki a megbízhatóságközpontú tervezés (*Design for Reliability – DFR*), amely a korábbi tapasztalatok és a hibamód-elemzés (*Failure Mode and Effects Analysis – FMEA*) segítségével feltárja a kritikus gyenge pontokat. A digitális végelelemes szimulációk (*Finite Element Methods – FEM*) alkalmazásával a mérnökök már a fizikai prototípusok legyártása előtt kellően pontosan ellenőrizni tudják a szerkezeti terhelhetőséget és a biztonsági tényezőket.

2.3. Digitális termékdefiníció és életciklus-menedzsment

A terméktervezés harmadik fontos pillérét napjainkban az adatok teljes életútra kiterjedő kezelése képezi a termékéletciklus-menedzsment (*Product Lifecycle Management – PLM*) keretében. Ennek technológiai alapja a modellalapú termékdefiníció (*Model-Based Definition – MBD*), amely részben vagy egészben felváltja a hagyományos, nehezen kezelhető 2D-s, papíralapú rajzokat (Alemanni et al., 2011; Corallo et al., 2022). Az MBD megközelítésében a 3D-s CAD-modell tartalmazza a fő termékgyártási információkat is. Ez az átfogó modell szolgál a vállalat „egyetlen hiteles adatforrásaként” (Single Source of Truth), amely a tervezéstől a gyártáson és a minőségellenőrzésen át egészen a karbantartásig kíséri a terméket. Ez a folytonos digitális szál (Digital Thread) jelentősen lerövidíti az átfutási időt és csökkenti az adatvesztés lehetőségét a vállalati részlegek között.

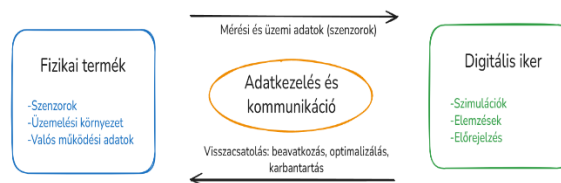


1. ábra: A modellalapú termékdefiníció és a digitális szál kapcsolata a termék életciklusa során

3. FEJLŐDÉSI IRÁNYOK ÉS TERVEZÉSI KIHÍVÁSOK

3.1. Adatvezérelt tervezés és digitális ikrek

Bár egy termék teljes életciklusa során rengeteg adat képződik, a hagyományos gyakorlatban a virtuális modellek és a már legyártott termékek között nem valósult meg közvetlen adatkapcsolat. Ennek feloldására egyre szélesebb körben terjed el a digitális ikrek (Digital Twin) alkalmazása, amely akár valós idejű, kétirányú kapcsolatot tud teremteni a fizikai termék és annak digitális megfelelője között. A digitális iker lehetővé teszi, hogy a korábbi termékgenerációk valós használatbeli tapasztalatai és a működési adatok közvetlenül visszajussanak az új koncepciók megalkotásába. A részlettervezés során a valós terhelési és környezeti adatok növelik a szimulációk pontosságát, a virtuális ellenőrzés (virtual verification) révén pedig a konstrukciós hibák még a sorozatgyártás előtt felismerhetők és javíthatók. Ez drasztikusan csökkenti a legyártott prototípusok számát, mérsékli a költségeket, és felgyorsítja a piacra kerülési időt (Tao et al., 2018).



2. ábra: A digitális iker adatkapcsolata a fizikai termékkel és a virtuális modellel

3.2. Mesterséges intelligencia és mély generatív modellek

A terméktervezés másik meghatározó iránya a mesterséges intelligenciára épülő tervezés térnyerése. A korábbi, kötött szabályrendszerekre épülő megoldásokkal szemben a mély generatív modellek (Deep Generative Models – DGMs), képesek nagy adathalmazokból önállóan, új szerkezeti megoldásokat létrehozni. Ezek az algoritmusok kiemelkedő hatékonysággal támogatják az anyageloszlás

optimalizálását, az áramlási formák kialakítását és az új anyagszerkezetek tervezését. Bár a terület előtt még sok kihívás áll - mint például a minőségi mérnöki adathalmazok hiánya, a fizikai gyárthatóság garantálása és a kreatív újdonság biztosítása -, az algoritmusok már ma is másodpercek alatt tárnak fel olyan optimális megoldásokat, amelyek manuális úton nehezen lennének elérhetők (Regenwetter et al., 2022).

3.3. Fenntartható és körforgásos terméktervezés

A növekvő nyersanyaghiány és a klímavédelmi előírások miatt a fenntarthatóság alapvető versenytényezővé vált, amely megköveteli a hagyományos, lineáris ipari modell meghaladását. A körforgásos tervezés (Circular Design) a termékek életciklusát két fő stratégia mentén szervezi át: az erőforráshurok lassításával (slowing loops) és zárásával (closing loops). Előbbi a termékek élettartamának tudatos meghosszabbítását jelenti tartós konstrukciók, egyszerűbb javíthatóság, moduláris bővíthetőség és rekonstrukciós lehetőség révén, míg utóbbi az anyagok teljes körű újrahasznosítását célozza meg a szétszerelésre tervezés (Design for Disassembly) segítségével. Ez az irányzat szorosan összekapcsolódik az új üzleti modellekkel (mint a termékbérlés vagy a funkcióalapú szolgáltatások), biztosítva a gazdasági megtérülést és a környezeti terhelés csökkentését (Bocken et al., 2016).

4. GYAKORLATI SZEMPONTOK

4.1. A termékek tervezési ideje, mint kulestényező

Egyes termékek tervezési ideje nagymértékben eltérhet, még látszólagos hasonlóságok ellenére is. A tervezési időt befolyásolja a termék összetettsége és környezetének fejlettségi állapota.

Egy termék összetettsége számos tényezőtől fakadhat: méret, komplexitás, termék funkciói, stb. A tervezés során fokozott figyelmet kell fordítani a kereskedelmi forgalomban kapható építőelemek (lemezek, profilok stb.) méreteire, ennek alapján pedig tervezési töréspontokat kell kialakítani, ahol különféle megoldásokkal szükséges biztosítani az elemek csatlakozását. A méretből adódó tervezési többletidő mellett a hardverigény növekedése is fontos szempont, ugyanis a számítógép felszereltségétől függően, bizonyos modellméret felett a szoftver töltési ideje drasztikusan meg tud emelkedni, amely közvetlenül hatással van a teljes tervezési időre. A termék bonyolultságának növekedése is jelentős befolyásoló tényező, ugyanis a kritikus, bonyolult mechanikai elemek kivitelezése több időt vehet igénybe, valamint egyes esetekben további egyeztetésekre is szükség lehet a megrendelővel, és előfordulhat, hogy már meglévő elemeket kell optimalizálni, újratervezni a modellen.

A termék környezetének fejlettségi állapota különösen komplex rendszerek tervezésekor releváns, ahol több

tervező párhuzamosan dolgozik a projekt különböző elemein. Időmegtakarítás céljából felmerülhet egy termék tervezésének megkezdése már akkor is, amikor még a termék környezete sincs végleges állapotban, ekkor viszont a csatlakozási pontok, külső méretek változása a tervezés későbbi fázisaiban is előfordulhat. Az így történő módosítások a kész modellt és gyártási rajzokat is érinthetik, ezzel kifejezetten negatívan befolyásolva a teljes tervezési időt.

4.2. AI eszközök a tervezési idő csökkentésére

A tervező szoftverekben ma már számos AI funkció rendelkezésre áll a legújabb verzióknál, úgymint a beépített AI funkciók, valamint az AI asszisztensek.

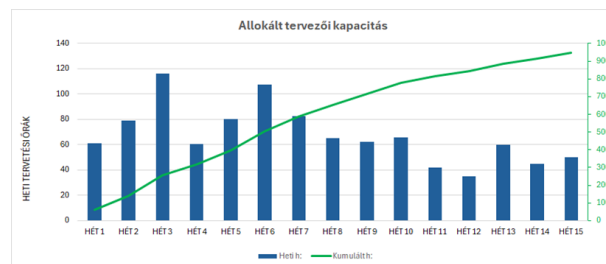
A beépített AI-támogatott funkciók gyakran integrált elemei a szoftvernek, egyszerűségüknek köszönhetően a korábban időigényes feladategységek „pár kattintással” műveletekké válnak, viszont ehhez fontos a funkciók megfelelő ismerete, és az ennek megfelelő tervezés, már a kezdetektől. A beépített funkciók többek között alkalmasak hibás méretvonalak és kényszerek automatikus javítására, és kötélemek optimális kiosztására; ezzel – különösen nagyméretű termékek esetén – jelentős tervezési időt spórolhatunk meg.

Az AI asszisztensek az újabb szoftververziókban érhetők el, a publikusan elérhető mesterséges intelligencia eszközökkel szemben nagy előnyük, hogy látják a termékmodellt és annak minden részegységét, ezáltal hatékonyabb válaszok megalkotására képesek.

5. A TERMÉKTERVEZÉSI FOLYAMAT MÉRÉSÉNEK LEHETŐSÉGEI

5.1. A kapacitás rendelkezésre állása

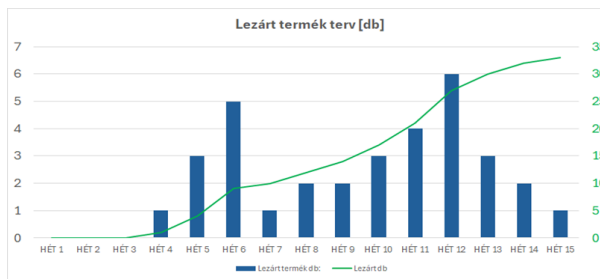
A terméktervezési folyamat alapvető mérőszáma a rendelkezésre álló kapacitás, amely függ a futó egyéb projektektől, a váratlan eseményektől, a terv korrekciós igényektől és természetesen a vevői elvárástól.



3. ábra: A tervezés allokált kapacitásának mérése (példa)

5.2. A tervezési kimenet monitorozása

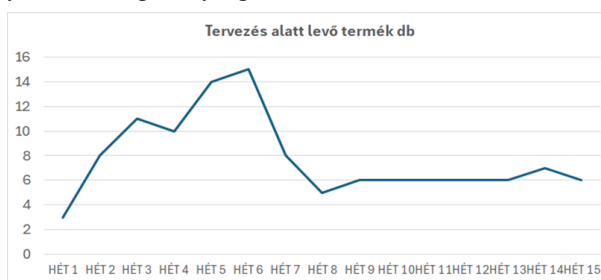
A tervezés kimenete az elkészült terv dokumentáció (pl. alkatrészrajzok), melynek monitorozása akár a lezárt tervek darabszáma vagy egyéb, a vevő által meghatározott mértékegység (pl. termék kg) is lehet.



4. ábra: A tervezési output mérése (példa)

5.3. A tervezési folyamat értékelése

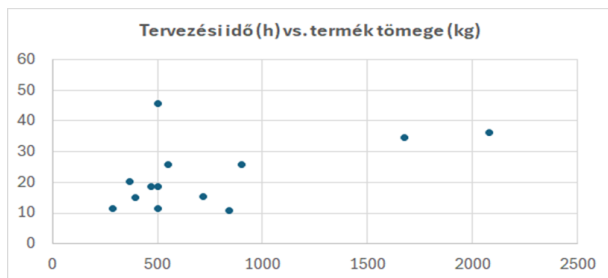
A tervezési folyamat egy projekten belül is egy "pipeline", amely egyszerre több, párhuzamosan futó tervezési munkát tartalmaz. A nyitott vs. lezárt tervezések mindenkori aránya jól mutatja a teljes folyamat "mozgékonyágát".



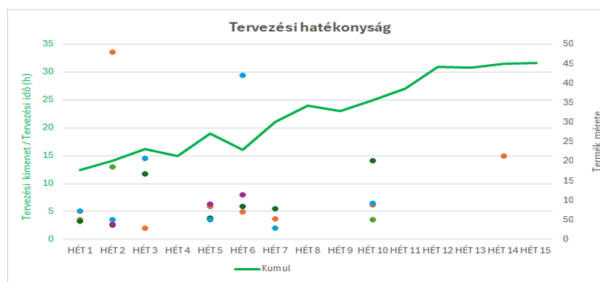
5. ábra: A tervezési pipeline mérése (példa)

5.4. A tervezés hatékonysági mérése

A tervezési folyamatnak lehetnek olyan belső indikátorai, amelyek már a hatékonyság felé mutatnak. Ennek egy formája az átfogó képet mutató tervezési idő vs. viszonyítási szám áttekintés. Az effektív hatékonyság pedig az egységnyi időre jutó outputot monitorozza (pl. tervezett darab vagy kg).



6. ábra: Átfogó tervezési hatékonyság mérése (példa)



7. ábra: Effektív tervezési hatékonyság mérése (példa)

6. MEGÁLLAPÍTÁSOK, GYAKORLATI JAVASLATOK

A tervezési folyamat mérésére tehát a többszemponú monitorozás nyújthat eszközt, amely dashboard jelleggel mutatja a teljes folyamat teljesítményét. Mint alapvető versenyképességi tényező, a tervezési hatékonyság javítására több lehetőség is van.

Ismételhetőségre, módosíthatóságra való törekvés: A tervezési folyamat kezdete során érdemes tisztázni azokat a kritikus méreteket, amelyek változhatnak a folyamat során. Ha ennek megfelelően építjük a modellt, kevésbé lesz időigényes egy esetleges módosítás. Amennyiben több hasonló termék tervezése szükséges, akkor az első termék kiváló alapul szolgálhat a későbbiekben. Ha a termékek közötti változásokat összegezzük, és ennek megfelelően alakítjuk ki a modell alapjait, akkor a következő termékek tervezési idejét drasztikusan csökkenteni tudjuk. A terméken belül szintén törekedni kell a lehető legkevesebb eltérő alkatrésze.

Szimmetriatengelyek felismerése és alkalmazása: Amennyiben a termék valamely tengelyre szimmetrikus, ennek megfelelően elég az egyik oldalt megtervezni, ezzel tovább csökkentve a tervezési időt.

Termék felbontása alegységekre: Nagyobb méretű termékeknel előfordulhatnak ismétlődő alegységek (pl. ajtó), ezeket alösszeállításaként érdemes kezelni, így a szükséges módosításokat elegendő elvégezni egy alegységen.

Peremfeltételek letisztázása a tervezési folyamat megkezdésekor: A tervezés megkezdése előtt minél alaposabban szükséges dokumentálni a termék peremfeltételeit, ezzel elkerülhetők későbbi félreértések, javítások.

7. HOGYAN TUDJA TÁMOGATNI A TERMÉKTERVEZÉS VERSENYKÉPESSÉGÉT A KÖRNYEZŐ INNOVÁCIÓS ÖKOSZISZTÉMA?

7.1. A terméktervezés komplexitása és a tudásbázisok integrációja

A terméktervezés versenyképessége napjainkban nem kizárólag a vállalat belső mérnöki kompetenciáitól és a tervezési folyamat hatékonyságától függ, hanem attól is, hogy a szervezet mennyire képes hozzáférni a külső tudásforrásokhoz, és azokat saját innovációs tevékenységébe integrálni. A termékek növekvő műszaki komplexitása, a technológiai fejlődés gyorsulása és a piaci igények változékonysága fokozza a különböző szakterületek és szervezetek közötti együttműködés jelentőségét. Adner (2017) az innovációs ökoszisztémát egymástól kölcsönösen függő szereplők és tevékenységek rendszereként értelmezi, amelyben a versenyképes értékteremtés feltétele az egyes hozzájárulások összehangolása. E megközelítés alapján a terméktervezés eredményessége és hatékonysága a

vállalati képességek mellett az ökoszisztéma tudásbázisainak elérhetőségétől is függ.

A termékmérnöki tevékenység fejlődésével a terméktervezés a hagyományos konstrukciós feladatokon túlmutató, több tudományterületet integráló folyamatná vált. A műszaki megvalósíthatóság mellett a gazdaságossági, gyárthatósági, fenntarthatósági és piaci szempontok összehangolása is egyre meghatározóbb.

7.2. A terméktervezést támogató innovációs ökoszisztéma modellje

A komplexitás kezeléséhez különböző típusú tudások összehangolására van szükség. A ZalaZONE Technológiai Park innovációs ökoszisztémájának modelljét (Tóth-Háry, 2024) alapul véve három, egymással összekapcsolódó tudásbázist különíthetünk el: az ipari tudást, a tudományos háttérrel és a lokalizált, helyi tudást. Ezek nem egymástól elszigetelt erőforrások, hanem az ipari és tudományos együttműködés, valamint a helyi kompetenciák integrációjának alapjai. A modell a Triple Helix megközelítéssel hozható összefüggésbe, amely az egyetemek, az ipar és a kormányzati szereplők közötti interakciókat tekinti az innováció fontos forrásának (Etzkowitz & Leydesdorff, 2000).



8. ábra: Innovációs ökoszisztéma keretmodell

Az ipari tudásbázis a vállalatoknál, fejlesztőközpontokban felhalmozott tapasztalatokat, technológiai ismereteket és piaci követelményeket foglalja magában. A tudományos háttér az egyetemek, kutatólaboratóriumok és -csoportok eredményeire, kompetenciáira és technológiai fejlesztéseire épül. A lokalizált tudás a térségben rendelkezésre álló erőforrásokhoz, kompetenciákhoz és tapasztalatokhoz kötődik. E három tudásbázis összekapcsolása lehetővé teszi, hogy a tudományos eredmények ipari alkalmazásokká váljanak, a vállalati problémák kutatási kérdéseket generáljanak, a helyi kompetenciák pedig támogassák a megoldások gyakorlati bevezetését.

7.3. Specialisták, generalisták és tudásalapú együttműködések a terméktervezés során

A terméktervezés eredményességében meghatározó a specialisták és generalisták kompetenciáinak összehangolása. A specialisták egy-egy technológiai terület mély ismeretével járulnak hozzá a részproblémák megoldásához, míg a generalisták a különböző szakterületek, műszaki követelmények és üzleti célok integrációját segítik. A két kompetenciatípus együtt teszi lehetővé, hogy a részterületeken kidolgozott megoldások a teljes termék szintjén is koherens rendszert alkossanak. A keresztfunkcionális integráció és a tudásmenedzsment kapcsolatát vizsgáló kutatások rámutatnak a képességek termékfejlesztési jelentőségére (Sherman et al., 2005).

Az innovációs ökoszisztéma kiterjeszti ezt az integrációt a szervezeti határokon túlra. Az egyetemek és kutatóintézetek tudományos és technológiai kompetenciákat, a vállalatok ipari tapasztalatot és piaci ismereteket, a helyi szereplők pedig sajátos erőforrásokat és kapcsolati hálókat biztosíthatnak. A beszállítók és fejlesztési partnerek tudásának bevonása új megoldásokat eredményezhet, ugyanakkor a külső ismeretek hasznosítása tudatos koordinációt igényel (Rosell et al., 2017). A technológiai parkok innovációs szerepe ezért nem pusztán a szereplők fizikai közelségében, hanem a közöttük kialakuló érdemi tudásáramlásban ragadható meg (Albahari et al., 2023).

A tudásalapú együttműködés csökkentheti a fejlesztési bizonytalanságot, elősegítheti a prototípusok tesztelését és javíthatja az erőforrások kihasználását. Az ökoszisztéma versenyképességi hozzájárulása ezért a partnerkapcsolatok minőségétől, a tudás befogadásának képességétől és a közös fejlesztési célok összehangolásától függ.

A korábbiakban tárgyalt mérési szempontok a külső tudás hasznosulásával is kiegészíthetők. Vizsgálható például a közös fejlesztések aránya, a prototípus-iterációk száma, a tervezési módosítások gyakorisága, valamint az új termék piacra kerüléséhez szükséges idő. Ezek a mutatók segíthetnek feltárni, hogy az ökoszisztéma kapcsolatai milyen mértékben járulnak hozzá a terméktervezés hatékonyságához.

8. ÖSSZEFOGLALÁS

A saját termékek, önálló termékfejlesztés vagy csupán a nagyobb termékfejlesztési szegmens irányába történő törekvés a vállalati piacképességi törekvések fontos eleme. Ennek egyik megfontolása az az értéklánc-ugrás, amely a saját termék (vagy résztermék), illetve az ehhez kapcsolódó erőforrások és terméktervezési kompetencia megjelenésével jár együtt. Ez a fajta stratégiai irány azonban két oldalról is nyomás alatt van; egyrészt a saját termék piaci pozicionálása, másrészt a terméktervezés, mint alkotó tevékenység belső hatékonysága.

A terméktervezést a Product Engineering szakterületen belül elhelyezve, és a termékmérnökség aktuális fejlődési

trendjeit értve, kirajzolhatók a tervezés versenyképességi keretei is. A cikk bemutat egy iparban kipróbált és sikeresen alkalmazott többszemponútú indikátor rendszert. A terméktervezés versenyképességének tárgyalása nem nélkülözheti a terület beágyazását a környezetbe, amelynek innovációs ökoszisztéma-fókuszú elhelyezése zárja a témát.

9. SUMMARY

Striving for own products, independent product development or just towards the larger product development segment is an important element of the company marketability efforts. One of the considerations related to this is the value chain leap that accompanies the appearance of own product (or sub-product) and the related resources and product design competence. However, this kind of strategic direction is under pressure from two sides; on the one hand, the market positioning of the own product, and on the other hand, the internal efficiency of product design as a creative activity.

By placing product design within the field of Product Engineering and understanding the current development trends of product engineering, the competitiveness framework of design can also be drawn. The paper presents a multi-criteria indicator system that has been tried and successfully applied in the industry. The discussion of the product design competitiveness of cannot be without embedding the area in the environment, represented by the innovation ecosystems.

10. IRODALOM

- [1] Adner, R. (2017). Ecosystem as structure: An actionable construct for strategy. *Journal of Management*, 43(1), 39–58. <https://doi.org/10.1177/0149206316678451>
- [2] Akundi, A., & Lopez, V. (2021). A review on application of Model Based Systems Engineering to manufacturing and production engineering systems. *Procedia Computer Science*, 185, 101-108. <https://doi.org/10.1016/j.procs.2021.05.011>
- [3] Albahari, A., Barge-Gil, A., Pérez-Canto, S., & Landoni, P. (2023). The effect of science and technology parks on tenant firms: A literature review. *The Journal of Technology Transfer*, 48, 1489–1531. <https://doi.org/10.1007/s10961-022-09949-7>
- [4] Bocken, N. M. P., de Pauw, I., Bakker, C., & van der Grinten, B. (2016). Product design and business model strategies for a circular economy. *Journal of Industrial and Production Engineering*, 33(5), 308-320. <https://doi.org/10.1080/21681015.2016.1172124>
- [5] Corallo, A., Del Vecchio, V., Lezzi, M., & Luperto, A. (2022). Model-Based Enterprise approach in the product lifecycle management: State-of-the-art and future research directions. *Sustainability*, 14(3), 1370. <https://doi.org/10.3390/su14031370>
- [6] Etzkowitz, H., & Leydesdorff, L. (2000). The dynamics of innovation: From National Systems and “Mode 2” to a Triple Helix of university–industry–government relations. *Research Policy*, 29(2), 109–123. [https://doi.org/10.1016/S0048-7333\(99\)00055-4](https://doi.org/10.1016/S0048-7333(99)00055-4)
- [7] Juniani, A. I., Singgih, M. L., & Karningsih, P. D. (2022). Design for Manufacturing, Assembly, and Reliability: An integrated framework for product redesign and innovation. *Designs*, 6(5), 88. <https://doi.org/10.3390/designs6050088>
- [8] Regenwetter, L., Nobari, A. H., & Ahmed, F. (2022). Deep Generative Models in engineering design: A review. *ASME Journal of Mechanical Design*, 144(7), 071704. <https://doi.org/10.1115/1.4053859>
- [9] Rosell, D. T., Lakemond, N., & Melander, L. (2017). Integrating supplier knowledge in new product development projects: Decoupled and coupled approaches. *Journal of Knowledge Management*, 21(5), 1035–1052. <https://doi.org/10.1108/JKM-10-2016-0438>
- [10] Sherman, J. D., Berkowitz, D., & Souder, W. E. (2005). New product development performance and the interaction of cross-functional integration and knowledge management. *Journal of Product Innovation Management*, 22(5), 399–411. <https://doi.org/10.1111/j.1540-5885.2005.00137.x>
- [11] Stewart, S., Giambalvo, J., Vance, J., Faludi, J., & Hoffenson, S. (2020). A Product Development Approach Advisor for navigating common design methods, processes, and environments. *Designs*, 4(1), 4. <https://doi.org/10.3390/designs4010004>
- [12] Tao, F., Cheng, J., Qi, Q., Zhang, M., Zhang, H., & Sui, F. (2018). Digital twin-driven product design, manufacturing and service with big data. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 94(9-12), 3563-3576. <https://doi.org/10.1007/s00170-017-0233-1>
- [13] Tomiyama, T., Gu, P., Jin, Y., Lutters, D., Kind, C., & Kimura, F. (2009). Design methodologies: Industrial and educational applications. *CIRP Annals - Manufacturing Technology*, 58(2), 543-565. <https://doi.org/10.1016/j.cirp.2009.09.003>
- [14] Tóth, Cs., Háy, A. (2024): A comprehensive model for innovation ecosystems. *Triple Helix Journal*, Special Issue, 1–22. <https://doi.org/10.1163/21971927-bja10050>
- [15] Wynn, D. C., & Clarkson, P. J. (2018). Process models in design and development. *Research in Engineering Design*, 29(2), 161-202. <https://doi.org/10.1007/s00163-017-0262-7>
- [16] Alemanni, M., Destefanis, F., & Vezzetti, E. (2011). Model-based definition design in the product lifecycle management scenario. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 52(1-4), 1-14. <https://doi.org/10.1007/s00170-010-2759-y>