

KÖRFORGÁSOS GYÁRTÁSHOZ IGAZODÓ TERVEZÉSI MÓDSZER FEJLESZTÉSE

DEVELOPMENT OF A DESIGN METHOD FOR CIRCULAR MANUFACTURING

Borsodi Eszter, PhD hallgató, Miskolci Egyetem, Gép- és Terméktervezési Intézet
Dr. Takács Ágnes, egyetemi docens, Miskolci Egyetem, Gép- és Terméktervezési Intézet

ABSTRACT. The article presents the concept of the circular economy and the main guidelines of the circular design. We compared existing circular product design methodologies and developed a new one based on the weak points of the previous researches. The proposed method focuses on a process-based approach, the design process and the influence of the decisions made in each step.

1. BEVEZETÉS

Napjaink megoldandó problémáinak nagy része a klíma- és környezetvédelem témaköréhez kapcsolódik. Az Európai Unió szabályozások megalkotásánál is a fenntarthatóság, és a lineáris gazdaságról körforgásos gazdaságra való átállás ösztönzése az egyik fő irányelv. A körforgásos gazdaság egy rendszer alapú modell, melynek célja a termékek környezetre gyakorolt negatív hatásainak minimalizálása a teljes életciklusuk során, az értékvesztés csökkentése az erőforrások zárt körben történő keringtetésével, és az elsődleges nyersanyagok felhasználásának minimalizálása. Az újrahasználat, a javítás, az újragyártás, a felújítás és az újrahasznosítás optimalizálja a termék életciklusát és javítja az erőforrások felhasználását.

Ahhoz, hogy egy termék a lehető legjobban illeszkedjen a körforgásos gazdaságba már a tervezésnél is számításba kell vennünk rengeteg szempontot. Előzetes kutatásaink szerint bár léteznek körforgásos tervezési módszerek, ezek nagy része csak elméleti, nem alkalmazták még valós termékekre, túl bonyolultak –így kérdéses, hogy a profitorientált versenyszférában mennyire hasznosak– és a sikerességüket illetően nem igazán vannak indikátorok. Általában egy területre fókuszálnak, hiányzik belőlük a holisztikus szemlélet és a meglévő rendszerekkel ill. infrastruktúrával való kompatibilitás.

Célunk egy komplex, mégis átlátható, a gyakorlatban könnyen alkalmazható tervezési

módszer fejlesztése, amely a körforgásos gazdaság minden aspektusát lefedi.

2. A KÖRFORGÁSOS GAZDASÁG FO- GALMA

Napjainkat a fogyasztói társadalom és a túlfogyasztás jellemzi, ami táplálja az új és továbbfejlesztett termékek iránti keresletet. A lineáris gazdasági szerkezet a termékre, annak előállítására és értékesítésére fókuszál, arra nem, hogy mi történik a termékekkel az életciklusuk végén. A tervezés során hagyományosan nem veszik figyelembe a termék környezetre gyakorolt hatását annak gyártása és használata közben, sem azt, hogy az elhasználódása, meghibásodása esetén mi történik vele. A termékek nagy részét nem tartósságra tervezik, egyes tartós fogyasztási cikkeknel még tervezett elavulást is beépítenek. Továbbá a folyamatos technológiai fejlődés is az új modellek megjelenését és az újbóli vásárlást ösztönzi.

Ez a modell azonban nagy mértékű erőforrás-felhasználáshoz és pazarláshoz vezet, a termékek nagy része újrahasznosítás, újrafelhasználás, vagy újrahasználat nélkül egyszerűen hulladéklerakókba kerül, szennyezve a környezetet, elpazarolva az előállításához szükséges óriási anyag-, energia-, víz- és munkaerő szükségletet.

2021 februárjában az Európai Parlament körforgásos gazdaságra vonatkozó cselekvési tervet fogadott el a szén-dioxid-semleges, környezeti szempontból fenntartható, mérgező anyagoktól mentes és teljesen körforgásos gazdaság 2050-ig történő megvalósítása érdekében. Az Európai Bizottság 2022 márciusában ezen cselekvési terv részeként közzétette az első intézkedéscsomagot, a javaslatok között szerepel például a fenntartható termékek népszerűsítése vagy a fogyasztók ösztönzése a zöld átálláshoz. [1]

A körforgásos gazdaságban (1. ábra) a termékközpontú fókusz helyett a rendszer alapú tervezési megközelítés kerül előtérbe. A körforgásos gyártáshoz igazodó tervezés során egy

olyan termék vagy szolgáltatás születik, amely funkcióját betölti, az optimális anyagválasztás mellett a legjobb teljesítményt nyújtja, miközben minimálisra csökkentjük a környezetre gyakorolt negatív hatásait a teljes életciklusa során és egyszerűvé tesszük az újrafeldolgozását. A körforgásos tervezés középpontjában a termékekben és anyagokban beágyazott értékvesztés

visszaszorítása áll azáltal, hogy egy zárt körben keringtetjük őket. Bizonyos megoldások, mint például az újrahasználat, vagy a javítás meghosszabbítják a termék életciklusát, míg a felújítás, vagy az újrahasznosítás javítja az erőforrások kihasználását. A körforgásos gazdaság ezeknek a stratégiáknak a kombinációját alkalmazza. [2]



1. ábra. A körforgásos gazdaság modellje [1]

3. LÉTEZŐ KÖRFORGÁSOS TERVEZÉSI MÓDSZEREK ELEMZÉSE

Több körforgásos tervezési módszer létezik. A Delfti Műszaki Egyetem Products That Last projektje [3] a körforgásos gazdaság új üzleti lehetőségeinek, modelljeinek és tervezési stratégiáinak felfedezésére összpontosított. A kutatás alapján hat stratégiát azonosítottak, amelyek mint fő irány határozzák meg a tervezést:

- 1. A termékhez való ragaszkodáson és bizalom kialakításán alapuló tervezés:** olyan tartós termékeket hoz létre, amelyeket az emberek szeretni fognak és megbíznak benne.
- 2. Tartósságra való tervezés:** kopásálló termékeket hoz létre, ahol az anyagválasztás döntő fontosságú.
- 3. Standardizálás és kompatibilitás alapú tervezés:** a termék részeit más termékekkel kompatibilisnek tervezi, cél a multifunkcionalitás és a modularitás.
- 4. Könnyű karbantartásra és javításra tervezés:** a termék hosszú működőképes állapotának fenntartására irányul, hogy ne okozzon kihívást a törött alkatrészek javítása és cseréje.

- 5. Bővíthetőségre és alkalmazkodóképességre való tervezés:** hosszú ideig fenntartja a termék használhatóságát azáltal, hogy a frissíthetőség, bővíthetőség révén növeli az értékét és teljesítményét, továbbá a változó felhasználói igényekhez való igazodást is biztosítja.

- 6. Szét- és összeszerelésre irányuló tervezés:** a termékeket és alkatrészeit úgy tervezik, hogy végül könnyen szétbontandók és összeszerelhetők legyenek, segítve ezzel a felújításukat és javításukat.

Az alábbiakból jól látható, hogy a termékek iránti fogyasztói elkötelezettség rendkívül fontos eleme a körforgásos modellnek és a körforgásos gyártáshoz igazodó tervezésnek, ennek növelését segíti a termékek testreszabása, az egyéni igények figyelembevételével [4].

Egy másik megközelítés az RSA (The Royal Society for the Encouragement of Arts, Manufactures and Commerce) Circular Network modellje [5], amely a termék életciklusa során résztvevő érdekelt felekere fókuszál.

A The Great Recovery kutatás [6] –amelyet szintén az RSA végzett– a Products That Last-hoz hasonlóan négy szempontot

azonosított, mint a körforgásos gyártáshoz igazodó tervezés fő irányelvei:

1. hosszú élettartamra való tervezés,
2. lízingre vagy szolgáltatásra történő tervezés,
3. a gyártásban újrafelhasználhatóságra tervezés,
4. az anyagvisszanyerésre való tervezés.

Az életciklus-értékelés (LCA, Life Cycle Assessment) [7] és a bölcsőtől a bölcsőig (C2C, Cradle to Cradle) [8] szemlélet csak részben tartalmazza a körkörösséget, és nem foglalja magába az anyag kritikusságát. Az életciklus elemzés értékeli a termék vagy szolgáltatás környezetre gyakorolt hatásait a teljes életciklusa során (nyersanyag kinyerése, feldolgozása, gyártás, értékesítés, használat), míg a bölcsőtől a bölcsőig rendszerszemlélet egy biológiai anyagciklusként írja le a terméket és annak előállítását, célja az ökológiai szempontból optimális és hulladékmentes termelés.

Fifield és Medkova [2] egy olyan körforgásos gazdasághoz igazodó tervezési koncepciót hoztak létre, ami igyekszik kombinálni az előzőekben felsorolt elveket, ezért az alábbi elemeket tartalmazza:

- körforgásos terméktervezési stratégiák,
- új üzleti modellek,
- szerepelteti az érdekelt feleket az interdiszciplináris ismeretek vonatkozásában,
- a korábbiakat kiegészíti a rendszerfeltételek (pl.: jogszabályok, infrastruktúra) elemmel.

Ezeket a változtatások fő eszköze, az újratervezés (redesign) köré csoportosítja, ami úgy történik, hogy négy irányvonalra (rendszerben gondolkodás, tudatosság, gondolkodás megváltozása és kommunikáció) összpontosít a négy elem körül. Figyelembe veszi továbbá az emberek, a bolygó és a profit dimenziókat is, amelyek mindegyike irányítja és befolyásolja a körforgásos gazdaság újratervezési folyamatait. Ezek a dimenziók szimbiotikusak, mivel az egyik megváltoztatása közvetlen hatással van a másik két dimenzióra.

Egy másik kutatásban [9] egy gyakorlatiasabb megközelítést dolgoztak ki, és a körforgásos gazdasághoz igazodó tervezés megoldását a több életciklusra való tervezésben látták. A több életciklusra való tervezés az előre meghatározott életciklus definícióját javasolja, amely magában foglalja a termékek gyártását, értékesítését, használatát, visszaküldését, újragyártását majd ennek

a ciklusnak az újrakezdését. Ebben a megközelítésben a termék teljes élettartama egy előre meghatározott (idő vagy teljesítmény alapú) periódus szerint fel van osztva több részélettartamra. Minden részélettartam után a termék visszakerül a gyártóhoz az eredeti teljesítményspecifikációk vagy új specifikációk szerinti újragyártásra [10].

Asif és munkatársai [9] az említett kutatásban megállapították, hogy erős szinergia van a terméktervezési stratégiai irányok, a termék elavulásának módjai és a termékélettartam végi lehetséges döntések között. Ezt a szinergiát alapul véve, valamint a modularitással kiegészítve fejlesztették ki a saját módszerüket. A modularitás tekintetében a Moduláris Funkció Kibontást (Modular Function Deployment, MFD) vették alapul. Az öt lépésből álló MFD módszer segítségével moduláris egységekre bontottak egy professzionális mosodai mosógépet. Az MFD folyamat több, egymással összekapcsolt mátrix kifejlesztését foglalja magába, ahol az egyik mátrix eredményeit a következő mátrixba táplálják be [11].

A szakirodalmi kutatás alapján az alábbi közös jellemzőket azonosítottuk a már létező tervezési módszerek között, mint fő irányelvek a körforgásos gazdasághoz igazodó tervezésben:

- rendszerekben való gondolkodás,
- a termék teljes életciklusának figyelembevétele,
- fókuszban a hosszú termék élettartam,
- erőforrás-hatékonyság,
- regeneratív megközelítés (főleg kritikus nyersanyagok szempontjából),
- az anyagválasztás fontossága,
- az elsődleges nyersanyagok felhasználásának minimalizálására való törekvés,
- érték- és erőforrás megőrzés,
- a hulladék és a negatív környezeti hatások csökkentése, fenntarthatóság,
- könnyű szét- és összeszerelhetőségre való törekvés,
- könnyű javításra és/vagy karbantartásra való törekvés,
- együttműködés az érdekelt felek között,
- a tervezési döntések társadalmi hatásainak figyelembevétele,
- üzleti modell innováció,
- iteratív és adaptív tervezési folyamat.

A körforgásos tervezési módszerek leginkább abban különböznek, hogy az alábbi négy nagy terület szerint csoportosítható elemek közül mire fókuszálnak:

1. táblázat. Létező tervezési módszerek közötti különbségek

Lépték	Cél
<ul style="list-style-type: none"> • Termék • Vállalat • Politikai irányelv • Iparág • Ágazat • Nemzetgazdaság • Regionális gazdaság 	<ul style="list-style-type: none"> • Anyag körforgása • Tartósság, kopásállóság • Könnyű javíthatóság • Újrahasznosíthatóság • Újrahasználhatóság • Kompatibilitás és modularitás • Felújíthatóság • Újragyárthatóság • Nagy teljesítmény • Könnyű összeszerelhetőség • Fogyasztói igényekhez való alkalmazkodóképesség • Érzelmi érték • Üzleti modell innováció • Társadalmi szempontok • Környezet regenerációja • Az előírások, jogszabályok betartása
Érdekeltek felek	Implementáció szintje
<ul style="list-style-type: none"> • Gyártók • Márkák, cégek • Nyersanyag beszállítók • Döntéshozók • Fogyasztók • Hulladékgazdálkodási szervezetek • Logisztika • Kutatók • Oktatási intézmények • Tervezők 	<ul style="list-style-type: none"> • Elméleti módszerek • Valós termékre alkalmazott módszerek

Megállapításaink a már meglévő körforgásos tervezési módszerekről a következők szerint foglalható össze:

- legtöbbjük csak elméleti, soha nem valósult meg,
- nem tesztelték létező termékeken,
- bonyolultak és nehezen kivitelezhetők,
- hiányzik belőlük a gyakorlatiasság.

A való életben egy cég működésében az idő rendkívül fontos tényező, a túl komplex és időigényes módszerek használata emiatt kerülendő.

A korábbi modellek a műszaki megoldásokra helyezik a hangsúlyt, de a körforgásos gazdaság holisztikusabb megközelítést igényel, beleértve mindent, ami a tervezéshez kapcsolódik. Általában egy területre fókuszálnak, hiányzik belőlük a komplexitás valamint a meglévő rendszerekkel és infrastruktúrával való

kompatibilitás, ami a körforgásos gazdaság kulcsfontosságú jellemzője. A mérnökök megfelelő oktatása és az érdekelt felek bevonása nélkül ez a paradigmaváltás nem következhet be gyorsan.

Csak néhány mérőszám és mutató áll rendelkezésre a módszerek sikerességének mérésére, legtöbbjük esetében nincs semmilyen mérési vagy visszacsatolási lehetőség. Ezért célunk egy komplex, de mégis egyszerű és a valóságban könnyen alkalmazható modell létrehozása volt, amely a körforgásos gazdaság minden aspektusát lefedi.

4. KÖRFORGÁSOS TERVEZÉSI MÓDSZER FEJLESZTÉSE

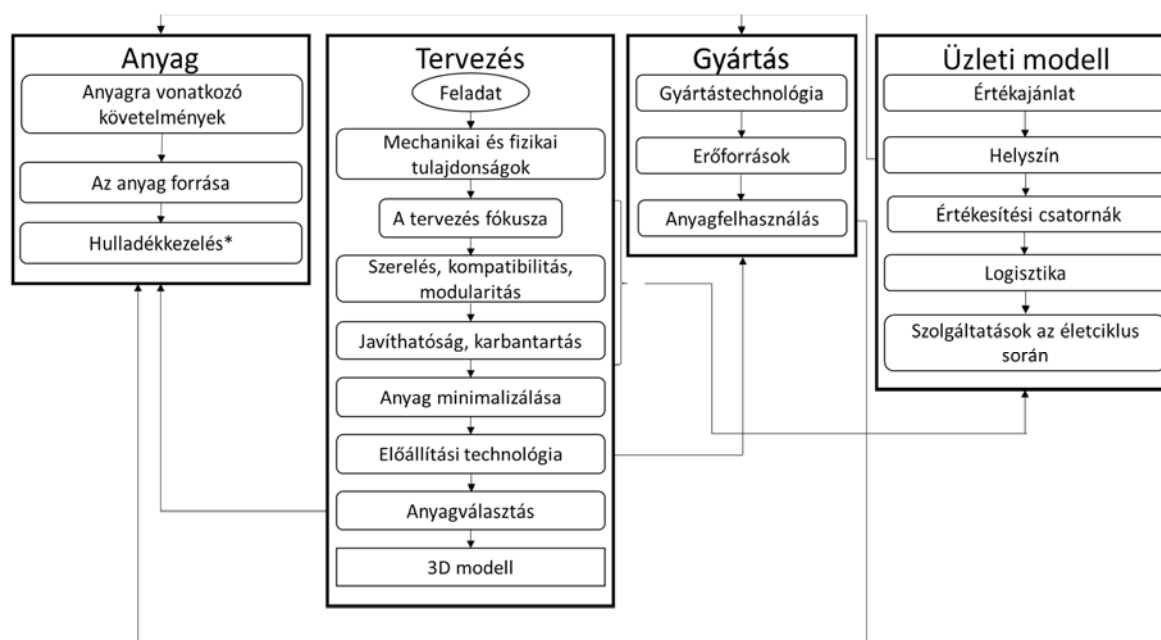
A szakirodalomban megismert körforgásos gyártáshoz igazodó tervezési módszerek hibáinak és hiányosságainak kiküszöbölésére

törekedtünk a javasolt módszer megalkotásánál, amit a 2. ábra szemléltet.

A tervezés folyamatára három kisebb döntési modulnak, az *anyagnak*, a *gyártásnak* és az *üzleti modellnek* van hatása. Ezek az ábrán nyilakkal jelölt módon nemcsak a tervezéshez, hanem egymáshoz is kapcsolódnak. A folyamat egyes alrészeiben és elemeiben meghozott döntések mindegyikénél a körforgásos gazdasághoz való igazodást, és a modulok egymásra való hatását kell szem előtt tartani.

A tervezési feladat pontos kijelölése meghatározza a termék mechanikai tulajdonságait és

fizikai megjelenésének alapjait. A következő lépés, a tervezés fókusza jelen esetben azt jelenti, hogy a körforgásos gyártáshoz igazodva milyen fő elv(ek) mentén történjenek a tervezés következő lépései (pl.: könnyű javíthatóság vagy nagyon hosszú élettartam a cél). Az itt meghozott döntések közvetlenül hatnak a szét- és összeszerelhetőségre, más termékekkel, kiegészítőkkel, alkatrészekkel és a csomagolással való kompatibilitásra, a moduláris felépítés kérdésére, illetve a javíthatóság, és a karbantartás módjára.



*A termékéletciklus végén és a gyártás közben

2. ábra. A javasolt körforgásos tervezési módszer

A tervezés fókusza, a szerelhetőség, és a karbantarthatóság hármasa nagy mértékben kihat az *üzleti modellre*. A körforgásos gazdasághoz igazodó tervezés új üzleti modelleket kíván, és azt, hogy a fogyasztó és a gyártó közötti kapcsolat az értékesítés után ne szűnjön meg, hanem a termék teljes életciklusán át, egészen annak végéig megmaradjon. Az értékajánlat meghatározásánál figyelembe kell venni, hogy a termék finanszírozója, a vásárlói döntés meghozója és a termék használója nem feltétlenül esik egybe. Az értékajánlat magában foglal mindent, amit a gyártó kínál, ez a termék mellett a különböző szolgáltatásokat (pl.: üres csomagolás visszavétele, kiterjedt szervizhálózat) is tartalmazza a teljes termékéletciklus mentén. Az *üzleti modellben* a helyszín jelöli az előállítás és a disztribúció helyszínét és a megcélzandó piacot (potenciális fogyasztók köre, B2B–Business-to-Business;

B2C–Business-to-Consumer; B2G–Business-to-Government) is. A helyszínen keresztül így az *üzleti modell* hatással van a *gyártás* döntési modulra, illetve az *anyag* modulra is. Ez a hatás az *anyag* modulra főleg az anyagigényes termékek esetén lehet kulcskérdés: ha körforgásos módon, és a lehető legkisebb környezetkárosító hatással szeretnénk egy terméket létrehozni, akkor fontossá válik a nyersanyagok és az alkatrészek beszerzési helye is (pl.: minél rövidebb szállítási út, a beszállítók is körforgásos módon működjenek). A helyszín meghatározza az értékesítési csatornákat és a logisztikai megoldásokat is. Mindezen elemek összességében hatnak a termék életciklusa során nyújtott szolgáltatásokra (pl.: rendszeres karbantartási szolgáltatás, tönkrement alkatrész cseréje, garancia, bővíthetőség vagy frissítés lehetősége, elhasznált termék visszavétele az életciklusa végén).

A *tervezés* főmodul következő eleme az anyag minimalizálása, ezáltal a hulladék csökkentése. Ezt követi a gyártási technológia kiválasztása a korábbi döntések figyelembevételével. A *gyártás* modulra a korábban említett módon hatása van az *üzleti modell* helyszín elemének. Az előállítási technológia meghatározásánál szem előtt kell tartani az erőforrásigényt (minél kisebb erőforrásigény az erőforrás-felhasználás csökkentése, és az értékmegőrzés miatt). Ezután következhet a gyártástechnológiához igazodóan az anyagfelhasználás kérdése. Ez az elem szoros kapcsolatban áll az *anyag* modullal.

Az *anyag* modulban az első döntéseket az anyaggal szemben támasztott követelmények tekintetében kell meghozni, majd az anyag forrását kijelölni (ami az előzőekben említett módon kapcsolatban áll az *üzleti modell* helyszín elemével). A körforgásosság miatt a hulladékkezelés is kiemelt fontosságúvá válik. A hulladékkezelés kapcsán foglalkozni kell a termékéletciklus végén, és a gyártás során keletkező hulladék sorsával is (pl.: újrafeldolgozás, újrahasznosítás, deponálás, ártalmatlanítás kérdése). Az *anyag* modul természetesen szoros kapcsolatban áll a *tervezés* főmodul anyagválasztás elemével is.

Ezek meghatározása után a termék 3D modell képében virtuális formát ölt. Természetesen ezek a lépések iteratív módon, folyamatos visszacsatolás-javítás során történnek.

5. ÖSSZEFOGLALÁS

Az előzőekben bemutatásra kerültek a körforgásos gazdaság fogalma, és a körforgásos gazdasághoz igazodó tervezés fő irányelvei. Összehasonlítottuk a már létező körforgásos terméktervezési módszereket, feltártuk a közös pontjaikat, és a gyengeségeiket alapul véve új módszertani megközelítést javasoltunk. A javasolt módszer folyamatelvű megközelítés, a tervezési folyamat és az egyes lépésekben meghozott döntések egymásra hatása áll a középpontjában, melyeket a gyakorlatban a körforgásos szemlélet tükrében kell meghozni.

A kutatás folytatása lehet a kidolgozott módszer gyakorlatban való alkalmazásának vizsgálata egy valós termék esetében, illetve a validációt követően a módszer sikerességét mérő indikátorrendszer megalkotása.

6. KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

Acknowledgement to the project CIRCLETECH (101079354) funded by the Horizon Europe programme of the European Commission.

(Köszönet az Európai Bizottság Horizont Europe programja által finanszírozott CIRCLE-TECH (101079354) projektnek.)

7. IRODALOMJEGYZÉK

- [1] European Parliament (2023). Circular economy: definition, importance and benefits. On-line hivatkozás, www.europarl.europa.eu. Letöltve: 2023. 09. 15
- [2] Fifield, B., Medkova, K. (2016). Circular Design - Design for Circular Economy. Lahti CleanTech Annual Review, Lahti University of Applied Sciences
- [3] Bakker, CA., den Hollander, MC., van Hinte, E., Zijlstra, Y. (2014). Products that last: Product design for circular business models. TU Delft Library.
- [4] Trautmann, L.; Piros, A.; Botzheim, J. (2020). Application of the Fuzzy System for an Emotional Pattern Generator. *Appl. Sci.*, 10(19), 6930. <https://doi.org/10.3390/app10196930>
- [5] RSA (2013). Investigating the Role of Design in the Circular Economy. Report 01: June 2013
- [6] RSA (2014). Designing for a circular economy: Lessons from The Great Recovery 2012-2016.
- [7] Muralikrishna, I., V., Manickam, V. (2017). Chapter Five - Life Cycle Assessment. *Environmental Management*, 57-75., Butterworth-Heinemann Books. ISBN 9780128119891
- [8] McDonough, W., M. Braungart (2010). *Cradle to Cradle: Remaking the Way We Make Things*. Macmillan Publishers, ISBN 9781429973847
- [9] Asif, F.M.A., Roci, M., Lieder, M., Rashid, R., Mihelič, A., Kotnik, S. (2021). A methodological approach to design products for multiple lifecycles in the context of circular manufacturing systems. *Journal of Cleaner Production*, Volume 296, 126534, ISSN 0959-6526, <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.126534>
- [10] Rashid, A., Asif, F.M.A., Krajnik, P., Nicolescu, C.M. (2013). Resource conservative manufacturing: an essential change in business and technology paradigm for sustainable manufacturing. *Journal of Cleaner Production*, Volume 57. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2013.06.012>.
- [11] Erixon, G. (1998). Modular Function Deployment - A Method for Product Modularisation. KTH Royal Institute of Technology.