

Befogadó kutatóhely: **Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem**  
Kutatócsoport-vezető neve: **Kovács József Gábor**  
Kutatási téma: **Könnyűszerkezetes Polimer Kompozitok**  
Kutatócsoport megnevezése: **MTA–BME Lendület Könnyűszerkezetes Polimer Kompozitok  
Kutatócsoport**

## **HÁROMÉVES SZAKMAI BESZÁMOLÓ** **Tudománykommunikációs összefoglaló<sup>1</sup>** **a beszámolási időszakban elért kiemelkedő eredményekről**

Beszámolási időszak: 2020. szeptember 1. – 2023. augusztus 31.

A Kovács József Gábor vezette MTA–BME Lendület Könnyűszerkezetes Polimer Kompozitok Kutatócsoport a Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem Polimertechnika Tanszékén tevékenykedik. Jelenleg 7 PhD végzettségű kutató mellett 5 doktorandusz és két mesterszakos hallgató alkotja a kutatócsoportot.

A kutatócsoport célja olyan hibrid technológia kifejlesztése, amely lehetővé teszi nagy teljesítményű kompozit szerkezetek előállítását újrahasznosítható hőre lágyuló mátrixszal. A fejlesztés alatt álló hibrid technológia a három legígéretesebb eljárás – a termoplasztikus gyantainfúzió (T-RTM-thermoplastic resin transfer molding), a fröccsöntés és a 3D-nyomtatás – előnyeit ötvözi egyetlen alkatrész gyártása során. Ez a technológiai kombináció lehetővé teszi az anyagtulajdonságok egyedülálló kombinációjával rendelkező és egyben geometriai korlátoktól mentesen kompozit szerkezetek tömeggyártását. Ezeknek a kompozitoknak kisebb súlyuk és jobb mechanikai teljesítményük lehet, esztétikus kialakítás és összetett forma mellett, ugyanakkor újrahasznosíthatóak maradnak.

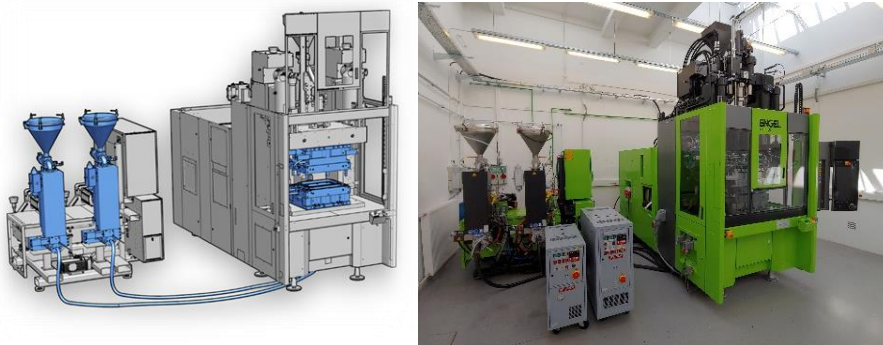
Mivel a későbbi termékgyártás során bármelyik két technológia kombinálható a fentiek közül, ezért nem csak az extra igénybevételnek kitett különleges termékeknél, de akár tömegtermékek gyártása esetében is szóba kerülhetnek a Lendület kutatócsoport által fejlesztett eljárások. Annak függvényében, hogy a terméknek milyen követelményeknek kell megfelelnie, akár a T-RTM és a fröccsöntés, vagy a T-RTM és a 3D nyomtatás, esetleg a fröccsöntés és a 3D nyomtatás is kombinálható a megfelelő eredmények elérése érdekében, természetesen nem szüksége minden esetben mindhárom eljárást alkalmazni a kombinációs technológiában. A lendület csoport által fejlesztett kiegészítő eljárások és számítási módszerek viszont minden esetben egyszerűbbé és számíthatóbbá teszik a folyamatokat legyen szó egyszerű szériaterméről, vagy akár egyedi igényeknek megfelelő speciális kompozit alkatrészeiről.

Az termoplasztikus gyantainfúzió (RTM-resin transfer molding) technológia sajátossága, hogy nagyméretű síkfelületű termékeket gyárthatunk velük, azonban ezek többnyire térhálós szerkezetű

---

<sup>1</sup> Az eredmények médiában felhasználható, közérthető összefoglalása.

alapanyagokkal működnek. Ezt a hátrányt küszöböli ki a T-RTM technológia (1. ábra), ami a geometriai előnyöket magában hordozva, hőre lágyuló anyagokból képes oly módon termék előállításra, hogy az alapanyag a gyártási folyamat közben nyeri el végleges kémiai szerkezetét, tehát a polimerizáció is a szerszámban zajlik le. Ennek a megoldásnak az előnye, hogy a szerszámüregben az áramlás során az alapanyag még nagyságrendekkel jobb folyóképességgel rendelkezik, mint a végleges, már polimerizálódott anyag, ezzel lehetővé téve a különböző előformák átimpregnálását a kitöltés során.



**1. ábra T-RTM fröccsöntőgép**

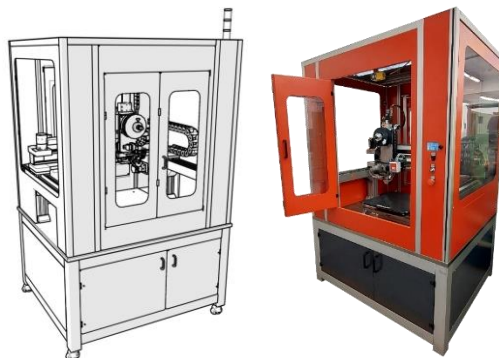
A képen bal oldalt a T-RTM berendezés modellje, jobb oldalt a berendezés képe látható (az in-situ egység és az olajos temperálók, és a függőleges zárású 2K gép)

A fejlesztés alatt álló technológiában a T-RTM segítségével tehát többnyire sík, merevítő elemeket nem tartalmazó, de nagy szilárdságú alapeometriát hozhatunk létre. A T-RTM fő előnye a mátrixanyag hőre lágyuló jellege és kiváló impregnálási képessége a hosszú szálal megerősítéseknél. Ennek ellenére a T-RTM jelenlegi fejlettségében nem versenyképes az alapanyagok problémái és a geometriai, valamint előforma-rendszerek korlátjai miatt.

Ezért elsődleges célunk a T-RTM technológia továbbfejlesztése volt, különös tekintettel a polimerizáció tökéletlenségének javítása, hiszen a kémiai folyamat, azaz maga a polimerizáció az alakító szerszámban zajlik le. Ez a folyamat jelenleg még nem tökéletes, így a polimerizáció, azaz a konverzió nem megy végbe teljes mértékben, nem kívánt monomereket hátrahagyva a termékben. Munkánk eredményeképpen a T-RTM berendezésben, illetve szerszámban olyan módosításokat hajtottunk végre, ami igazolt módon jobbá tette a polimerizációt. (A munkából a kutatócsoport egyik legfiatalabb tagja, Csepel Zsófia Luca BSc szakdolgozatot és TDK dolgozatot is készített.) Az alapanyag felülete a polimerizációs és kristályosodási folyamatok miatt nem tökéletes, aminek javítására bevonatolási eljárást fejlesztettünk a T-RTM saját anyagából megfelelő adalékolással és töltőanyagokkal. (A munkából doktori értekezés született, Semperger Orsolya: T-RTM technológia és bevonatolási eljárásának fejlesztése.)

Másik nagy hátránya a technológiának, hogy a termék geometriája többnyire csak sík lehet, amelyet közvetlenül a T-RTM gyártásban nem lehet bordákkal vagy egyéb geometriai kialakításokkal merevebbé tenni. Ennek a problémának a kiküszöbölésére a T-RTM technológia más technológiákkal való célirányos kombinálását tűztük ki célul, amelyben például a bordákat fröccsöntéssel vagy 3D nyomtatással alakíthatjuk ki. Ennek kivitelezésére olyan T-RTM szerszámot fejlesztettünk, ami különböző vastagságú és előgyártmányú kompozit lemezeket gyárt. A ráfröccsöntés tesztelésére egy olyan fröccsöntőszerszámot fejlesztettünk ki, amely alkalmas a T-RTM technológiából, vagy más technológiákból származó lemez alakú előgyártmányokra bordát fröccsönteni. A ráfröccsöntésnél számos paraméter befolyásolja a hegedés minőségét, amelyeket szisztematikusan ellenőriztünk. (A munkából doktori értekezés született, Boros Róbert: Speciális fröccsöntési technológiák és szerszámaik fejlesztése.)

A teherviselőképeség javítására speciálisan tervezett, adott irányokban megerősített előformákat gyártottunk. Ezeknek az előformáknak a gyártására a 3D nyomtatást választottuk, hiszen az egyes rétegek nyomtatásánál meghatározható a nyomtatásnak az irányultsága, ezáltal az abban elhelyezkedő szálaknak az orientációja. Célul tűztük ki, hogy az előformákat végtelen szálerősítésű 3D nyomtatással hozzuk létre (2. ábra), azonban a piacon nem volt kapható olyan berendezés, ami megfelelt volna céljainknak. Megoldásként saját 3D nyomtató berendezést fejlesztettünk, amely ötvenezer elemi szállal erősített filament nyomtatására is alkalmas. Ezzel a berendezéssel és más 3D nyomtató berendezésekkel is különböző előformákat készítettünk, amelyeket teszteltünk, mind T-RTM, mind fröccsöntés előgyártmányaként.



**2. ábra Saját fejlesztésű 3D nyomtató**

A képen bal oldalt a berendezés megtervezett modellje, jobb oldalt a legyártott berendezés képe látható

A T-RTM másik gyenge pontja a folyamatmodellezés, amely magában foglalja a T-RTM során előforduló jelenségeket. A gyantaáramlást, az infiltrációt és az in situ polimerizációt kombináló modellezési módszert elsőként alkottuk meg, így elindulva a folyamat számíthatóvá tételének útján.

Minden olyan esetben, ahol különböző technológiával készült alkatrészeket kell egybeépíteni a legnagyobb nehézséget az alkatrészek között létrehozandó kapcsolat jelenti. Éppen ezért kiemelt célunknak tekintjük azt, hogy ezeknek az elemeknek a kapcsolódási pontjaiban a kötési erőt, szilárdságot előre jelezhetővé, számolhatóvá tegyük. Mivel ez a számítás jelenleg hiányzik az összes elérhető szimulációs szoftverből, egy külön doktori témát indítottunk ennek a megoldására (Szuchács Anna: Szimulációs módszer fejlesztése ráfröccsöntéshez). Az ötlet és a megoldás annyira tetszett a világ egyik legnagyobb fröccsöntési szimulációs programjának a Moldex3D fejlesztőjének (CoreTech System Co., Ltd.), hogy szerződést kötött a Lendület csoporttal, hogy az elvet átültethessék a gyakorlatba. A Moldex3D legújabb, következő változatában már ez a számítási képesség is megtalálható lesz.

Mivel a kombinációs (hibrid) technológiának a legnagyobb előnye, hogy azonos anyagcsaládból készülő termékek gyárthatóak vele, a reciklálással, újrahasznosítási lehetőségekkel kapcsolatos kísérleteket is megkezdtek. A legfontosabb előnye a technológiáknak a hőre lágyuló jelleg és a szálak erősítés, ezért az újrahasznosítási kutatásokat a fröccsöntött kompozitok területén kezdtük. Célunk a feldolgozások közbeni száltöredezés modellezése és a szálak töredezésének mechanikai tulajdonságok romlására gyakorolt hatásának kimutatása és számíthatóvá tétele. (A munkából a kutatócsoport másik legfiatalabb tagja, Csapó Maja BSc szakdolgozatot és TDK dolgozatot is készített.)

Annak érdekében, hogy igazoljuk a Lendület kutatócsoport munkájának gyakorlati hasznosságát, olyan demonstrációs eszközöket kerestünk, amik alkalmasak a legtöbb, általunk fejlesztett technológia, anyag és módszer gyakorlatba ültetésére.

Ennek következménye, hogy az MTA–BME Lendület Könnyűszerkezetes Polimer Kompozitok Kutatócsoport csatlakozott a Megújuló Energiák Nemzeti Laboratóriumhoz (RRF-2.3.1-21-2022-00009), annak érdekében, hogy a többi csoporttal együttműködve olyan energiacellát állítsunk elő, ami a mi kutatási témáinkat, a hibrid technológiákat, a fröccsöntést, 3D nyomtatást és a T-RTM technológiákat az általunk kialakított számítási és szimulációs modellek segítségével egyesítve olyan bipoláris lemezeket és végszerelési módot hoz létre, ami az energiacellákat könnyebbé teszi, így javítva azok energiahatékony működését.

A Polimertechnika Tanszék a kutatócsoporton keresztül támogatást nyert „Hajtómű-rendszerek nagy pontosságú és igényes alkalmazásokhoz integrált, fejlett polimer anyagokkal” címmel (2020-1.2.3-EUREKA-2021-00010 pályázat) egy szlovén és egy magyar céggel közösen, hogy robotkarok hajtóművi elemeit acél alapanyagból könnyűszerkezetes, polimerkompozit megoldásokkal váltsa ki. A pályázatban a hagyományos (fröccsöntési) gyártástechnológiák mellett a szálás, 3D nyomtatási

technológiák és a két eljárás kombinációja is kipróbálásra kerül a Lendület csoport hibrid megoldásai nyomán.

Az MTA–BME Lendület Könnyűszerkezetes Polimer Kompozitok Kutatócsoport első 3 éve alatt már 2 doktorandusz megvédte a doktoriját a kutatócsoport témáiból, valamint a kutatócsoport tagjainak vezetésével több (42 MSc, 30 BSc és 12 TDK) dolgozat készült. A kutatócsoport az első 3 évben összesen 35 tudományos publikációt írt, amik közül 22 impakt faktorral rendelkező újságban jelent meg, ezek közül 7 cikk D1 besorolású volt. A cikkek összesített impakt faktora 120,922, amelyekre több, mint 140 (WoS/SCI) független hivatkozás érkezett.