

# Nagy teljesítményű szálképző berendezés tervezése

## Design of a High Performance Fiber-producing Machine

Fábián Hunor,<sup>1</sup> Gergely Attila<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Sapientia Erdélyi Magyar Tudományegyetem, Marosvásárhelyi Kar, Fejlett Mechatronikai Rendszerek Szak, II. év, Marosvásárhely, Románia, [fabianhunor2@gmail.com](mailto:fabianhunor2@gmail.com)

<sup>2</sup>Sapientia Erdélyi Magyar Tudományegyetem, Marosvásárhelyi Kar, Gépészmérnöki Tanszék, Marosvásárhely, Románia, [agergely@ms.sapientia.ro](mailto:agergely@ms.sapientia.ro)

### Abstract

The aim of this work is to design a high-productivity, continuously operating fiber producing device utilizing the centrifugal force to yield polymeric nanofibers. The requirements for the design were 1) to provide a capillary-to-collector distance of 50-200 mm that could be adjusted automatically, 2) allow the rotational speed of the spinneret to be changed in the range of 0-25000 1/min and have continuous feeding. The equipment will form the basis of several research topics, such as the creation and study of solid dispersions of drugs, the development of pressure sensors, and the creation of porous filter membranes.

**Keywords:** *design, centrifugal spinning, , nanofiber, control system.*

### Összefoglalás

A munka célja egy nagy termelékenyséű, folyamatos működésű, centrifugális erőt kihasználó szálképző berendezés tervezése volt polimer nanoszálak előállítására. A berendezés működési elvében hasonló a szakirodalomban leírt berendezésekhez, viszont teljes mértékben saját fejlesztés eredménye. A tervezési követelmények között az automatikusan állítható kapilláris-kollektor távolság, 50–200 mm, a forgófej magas fordulatszám, 0–25000 1/min, és folyamatos üzemű működés szerepel. A berendezés számos kutatási téma alapját képezi majd, mint például gyógyszeres, szilárd diszperziók megalkotása és tanulmányozása, nyomásmérő szenzorok fejlesztése, porózus szűrő membránok létrehozása.

**Kulcsszavak:** *tervezés, centrifugális szálképzés, nanoszálak, vezérlés.*

## 1. Bevezetés

A nanotechnológia a 0,1–100 nm-es mérettartományba (a nanoskálára) eső anyagok jelenségeinek és funkcióinak tanulmányozásával foglalkozó tudományterület. A nanométer a hossz egy olyan mértékegysége, amely a méter egymilliárd része [1, 2]. A nanométeres tartományban az anyagszerkezetek szokatlan és különleges tulajdonságai a makroszkálás kiterjedésű anyagokhoz képest a szerkezetükből adódik. Ezek az anyagok újszerű tulajdonságai az apró méreteikből erednek, amelyek szokatlan mechanikai, termikus, biológiai, optikai, mágneses és elektromos tulajdonságokká alakulnak át [3].

A polimer szálakat különböző területeken alkal-

mazzák, mint például akkumulátorok és üzemanyagcellák, kondenzátorok, tranzistorok és diódák, kompozitok repülőgép- és űrszerkezetekhez, gyógyszeradagolás és szövettechnika.

Nanoszál gyártására számos technika létezik. Ezek közé tartozik többek között a kétkomponensű kisajtolás, a fázisátváltás, a sablon-szintézis, a húzás, az elektrosztatikus szálképzés és a centrifugális szálképzés [4].

Az elektrosztatikus szálképző eljárás egy elterjedt módszer a nanoszálak előállítására; előnye, hogy a szálátmérő jellemzően a mikrométernél kisebb mérettartományba esik, gyors, és számos polimerből képes nanoszál paplant előállítani.

Elektrosztatikus szálképzéssel alapvetően polimerek oldatából vagy olvadékból hozhatunk

létre nanoszálakat. Előbbinél előnyös az alacsony üzemeltetési hőmérséklet, valamint lehetővé teszi hőmérséklet-érzékeny anyagok feldolgozását, míg utóbbinál a nanoszálak tisztán a polimerből, oldószermentesen állíthatók elő, ami sok esetben komoly környezetvédelmi előnyökkel jár [5]. Az elektrosztatikus szálképzés egy előnyös eljárás, mindazonáltal van néhány hátránya, például a magas elektromos tér alkalmazásának szükségessége, kiváló dielektromos tulajdonságokkal rendelkező polimer oldatok használata, és nem utolsósorban a kis termelékenység, kihozatal.

A centrifugális szálképző eljárást nanoszálak előállítására a tudományos szakirodalomban a 2010-es években kezdték el használni. A forgómozgás következtében a polimeroldat kapillárison áramlik ki, létrehozva a polimeroldat-sugarat, mely egy kollektor felé halad a centrifugális erő hatására. A folyamat során a polimeroldat-szálból az oldószer elpárolog, és a megszilárdult polimernanoszál a kollektoron halmozódik fel. Az eljárás egyszerűségéhez már laboratóriumi méretek mellett is nagy teljesítmény társul, 60 g/(óra×kapillaris) [6].

## 2. A centrifugális szálképző bemutatása

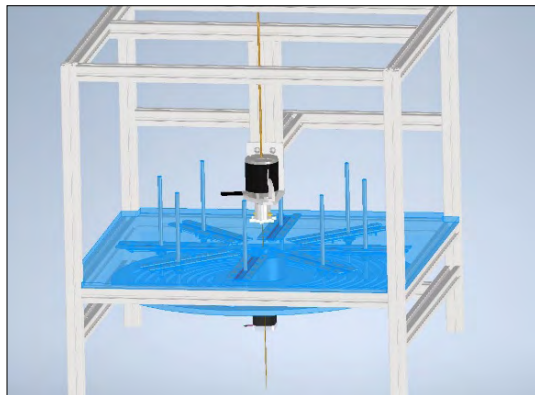
### 2.1. A tervezési feladat bemenő adatai

A tervezett berendezés működésének elve nagyon hasonlít az iparban használatos szálképző működési elvéhez. A cél a berendezés megvalósításával a Sapientia Erdélyi Magyar Tudományegyetem Marosvásárhelyi Karának Polimer Laboratóriumi eszköztárának bővítése, mely használható oktatásra és kutatásra is. További cél az, hogy a berendezést folyamatos üzemben lehessen használni, hőmérséklet- és páratartalom-mérést biztosítson, a forgófej-fordulat szabályozható, maximális értéke pedig ~30 000 1/min legyen. További elvárások a cserélhető kapillaris és a kollektor rendszer átmérőjének változtatása.

### 2.2. A gép felépítése

#### 2.2.1. Vázszerkezet

A gép vázszerkezete 30×30 mm-es, Bosch Rexroth, eloxált alumíniumprofilból készült, mely a szükséges mechanikai terhelésnek megfelel, és relatíve könnyen szerelhető. A centrifugális szálképzéshez használt oldószeres esetleges korróziós hatásának ellenáll. Méreteit tekintve 650×650×650 mm<sup>3</sup>-es kocka forma, melynek munkatere 650×650×430 mm<sup>3</sup>.



1. ábra. A tervezett szálképző berendezés 3D modellje



2. ábra. Az APS 6374 típusú, háromfázisú BLDC-motor

#### 2.2.2. Háromfázisú motor

A választott motor egy APS 6374 típusú BLDC-motor (2. ábra), 3200 watt teljesítmény leadására képes, és maximális fordulatszáma 38400 1/min. Esetünkben a motort maximálisan 48V feszültséggel tápláljuk. Egy megfelelő, háromfázisú motorvezérlő fogja a fordulatszám-szabályozást ellátni.

#### 2.2.3. Motorvezérlés

A kefe nélküli egyenáramú motor (BLDC) vagy elektronikus kommutációjú, egyenáramú motor (ECDC) egy szinkron villanymotor, egyenáramú táplálással (DC) és elektronikus vezérelt kommutációs rendszerrel a kefes, mechanikus kommutáció helyett. Az ilyen motorokban az áram és a nyomaték, a feszültség és a fordulatszám egyenesen arányos.

Egy BLDC-motorban a tekercsek (elektromágnesek) nem mozognak; helyettük az állandómágnesek forognak és az armatúra marad nyugvó. A kefe-kommutátor rendszert felváltja egy elektronikus vezérlő. A vezérlő hasonlóan osztja el az áramot, mint ahogy az egyenáramú kefes motornál történik, de ez egy félvezetős áramkör a kefe-kommutátor rendszer helyett.

#### 2.2.4. Forgófej

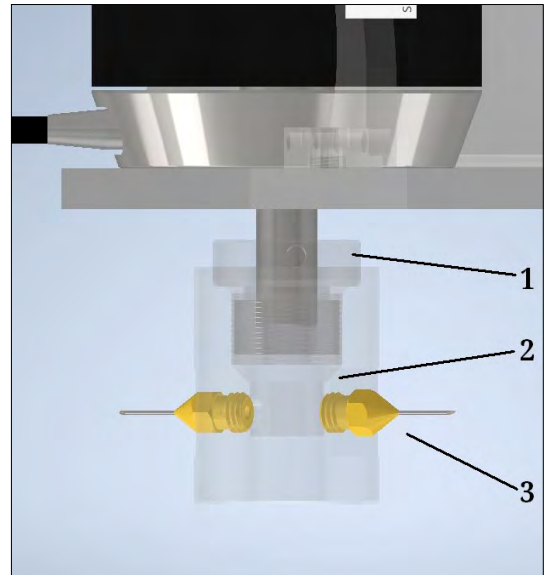
A szálképzésért felelős forgófej a motor tengelyére van rögzítve. A polimer oldat fejbe történő juttatását egy fecskendőpumpa biztosítja egy sárgaréz csövön keresztül. A motor tengelyén hosszirányba egy 5 mm átmérőjű furat van kialakítva, amely lehetővé teszi az oldatfejbe történő fecskendezését. A fej két részből tevődik össze a megfelelő tisztíthatóság és könnyed szerelhetőség érdekében. A tengelyhez csatlakozó rész, 1-es a **3. ábrán**, szorító illesztéssel van rögzítve a tengelyre, illetve két hernyócsavarral van átlósan lebiztosítva, hogy ne tudjon a működésből adódó rezgések miatt idővel meglazulni. A forgófej alsó része, 2-es a **3. ábrán**, a felső részhez menettel kapcsolódik, míg a polimer oldat kiáramlását biztosító kapillárisok az alsó rész palástfelületén kapnak helyet, 3-as a **3. ábrán**.

#### 2.2.5. Szálgyjűjtő

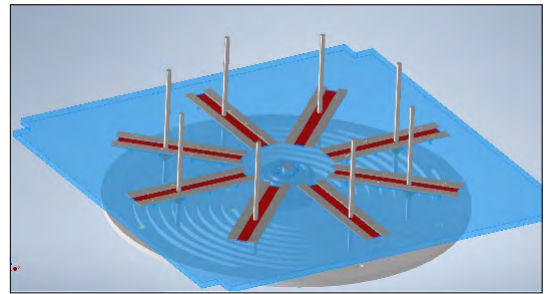
A polimer szájakat a kollektor fogja felfogni, ezáltal az gyűjti össze. A kollektorrudak egy kör mentén helyezkednek el, melynek átmérője változtatható. Működését tekintve hasonló az esztergagépen található tokmányhoz, melyet a darabok befogására használnak. Nyolc db rozsdamentes acélrúd alkotja a kollektort, körszimmetrikusan elhelyezve az asztalon. A mechanizmus két fő egységből tevődik össze. Egy megvezető részből, amely áll, és lehetővé teszi a kollektor rúdjaiknak az elmozdulását sugár irányba, illetve egy forgó részből, melyen nyolc archimédeszi spirál található. Az archimédeszi spirál egyenletét felhasználva a forgórész elfordulási szögéből ki lehet számolni a kollektorrudak pontos helyzetét a forgófejhez képest.

#### 2.2.6. A kollektor hajtása

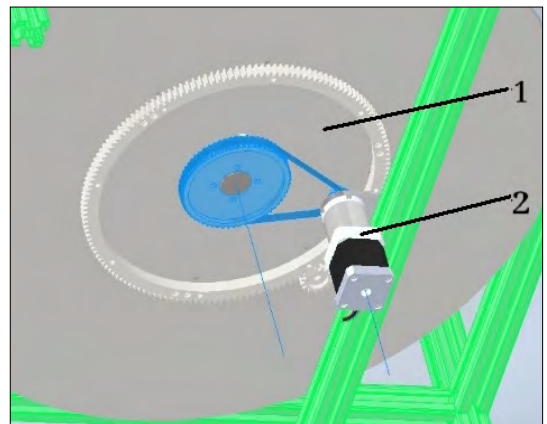
A kollektor forgórészét egy fordulatszám-csökkentővel ellátott léptetőmotor hajtja, 1-es az **5. ábrán**. A fordulatszám-csökkentő áttételi aránya  $i = 50$ . A motor és a spirál közt egy fogasszíjas hajtás található, 2-es az **5. ábrán**,  $i = 14$  áttételi aránnyal; ezáltal biztosítva a megfelelő nyomatékot.



**3. ábra.** A szálképzést végző forgófej 3D-s modellje: 1 – felső rész, 2 – alsó rész, 3 – kapilláris



**4. ábra.** Változtatható kollektor



**5. ábra.** A kollektor hajtása: 1 – léptetőmotor, 2 – fogasszíjas hajtás

### 2.2.7. A léptetőmotor vezérlése

A léptetőmotor vezérlését egy DM332T-típusú, digitális léptetőmotor-vezérlő végzi. Azért esett erre a típusú vezérlőre a választás, mert ipari felhasználásra van tervezve, megbízható, és viszonylag könnyű programozni.

A bipoláris léptetőmotor bekötődik a megfelelően felcímkézett csatlakozókra. A „PUL” csatlakozó a lépésekért felel, a „DIR” csatlakozó a forgásirányért felelős, az „ENA” csatlakozó pedig az 5 V-os táplálást biztosítja.

### 2.2.8. A központi vezérlőegység

A centrifugális szálképző berendezés egységeinek a vezérlésére egy PLC-t használunk.

A PLC szabványosított be- és kimenetei, valamint kompakt felépítése tesz lehetővé az egyszerű megépítést, az üzembiztos működést, illetve a program módosításával a működés későbbi megváltoztatását. A centrifugális szálképző berendezéshez egy Siemens Simatic S7-300 CPU PLC-t használunk.

## 4. Következtetések

Következtetésképpen elmondható, hogy a bemutatott tervezési munka egy folyamatos üzemű, automatizált centrifugális szálképző berendezést eredményez, mely követi a költséghatékonyság elvét.

## Szakirodalom

- [1] Nalwa H. S.: *Handbook of nanostructured materials and nanotechnology*. Academic press, San Diego 2000.
- [2] Ko F. K., Wan, Y.: *Introduction to Nanofiber Materials*. Cambridge University Press, United Kingdom, Cambridge 2014.
- [3] Laurencin C. T., Nair L. S.: *Polyphosphazene Nanofibers for Biomedical Applications: Preliminary studies*. NATO Science Series II, Mathematics, Physics and Chemistry, 169. (2004) 283–302. <https://doi.org/10.1007/978-1-4020-2550-1>
- [4] Alghoraibi I., Alomari, S.: *Different methods for nanofiber design and fabrication*. In Handbook of nanofibers (eds.: Barhoum A., Bechelany M., Makhlof A.), Springer International Publishing, 2018. 1–46. [https://doi.org/10.1007/978-3-319-42789-8\\_11-2](https://doi.org/10.1007/978-3-319-42789-8_11-2)
- [5] Brown T. D., Dalton P. D., Hutmacher D. W.: *Melt electrospinning today: An opportune time for an emerging polymer process*. Progress in Polymer Science, 56. (2016) 116–166. <https://doi.org/10.1016/j.progpolymsci.2016.01.001>
- [6] Ren L., Ozisik R., Kotha S. P.: *Rapid and efficient fabrication of multilevel structured silica micro/nanofibers by centrifugal jet spinning*. Journal of Colloid and Interface Science, 425. (2014) 136–142. <https://doi.org/10.1016/j.jcis.2014.03.039>