

## Elektrosztatikus szálképzés

### 1. A gyakorlat célja

A laborgyakorlat célja, hogy a hallgatók megismerjék a polimer nanoszálak előállítására alkalmas elektrosztatikus szálképzés alapjait, az eljárás alapvető paramétereit. Ismertetjük az előállított nanoszálrendszer jellemző tulajdonságait.

### 2. Elméleti alapok

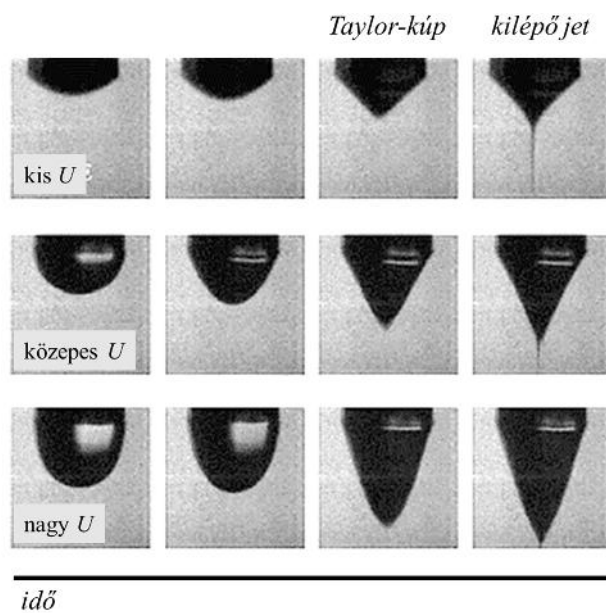
A nanoszál anyagok (nanoszálak) olyan anyagok, melyek két dimenziójukban is a nanométeres mérettartományba esnek. A nanométeres mérettartomány miatt néhány fizikai-kémiai tulajdonságuk jelentősen eltér a mikrométeres átmérettől, hasonló kémiai összetételű anyagokétól. A nanoszál anyagok két jellegzetes, a mikronos rendszerektől eltérő tulajdonsággal rendelkeznek. Az egyik kiemelkedő tulajdonság, mely a szálterjedés kompozitoknál kamatoztatható, a szál anyagok szakítószilárdságának megnövekedése. A szál anyag csökkentett keresztmetszete miatt lényegesen kevesebb hibahelyet tartalmazhat, mint tömbfázisban így nagyobb szilárdsággal rendelkezik. A szakítószilárdság mértéke exponenciálisan a szálátmérő csökkenésével (mérethatás). A másik jellegzetes tulajdonság a nanométeres dimenzióknak köszönhető, jelentősen megnövekedik a fajlagos felület. Ezen két jellemzőnek köszönhetően a nanoszál anyagok (nanoszál szövetek, membránok) komoly jelentőséggel bírnak a környezetvédelemben (elválasztás- és szűrőtechnika), az orvostudományban (szövetmérnökség, intelligens implantátumok, és sebfelek), a gyógyszerészetben (szabályozott hatóanyag-leadás) és különféle műszaki alkalmazásokban (elektromos- és optikai bevonatok, műszaki kompozitok).

#### 2.1. Nanoszálak előállítása elektrosztatikus szálképzéssel

Manapság már többféle lehetőség is rendelkezésre áll a nanoszál anyagok előállítására, úgymint a polimer ömledékből történő mechanikus szálhúzás, fáziszevárációs módszerek, fagyasztva szárítás, vagy az önszerveződő rendszerek alkalmazása. Ezek mellett az egyik legígéretesebb és egyre elterjedtebb módszer az elektrosztatikus szálképzés (más néven: *electrospinning*). Az elektrosztatikus szálképzés lényege, hogy a szálátmérő jellemzően a szubmikronos mérettartományba esik, gyors, valamint számos polimerből képes nanoszálrendszerket előállítani.

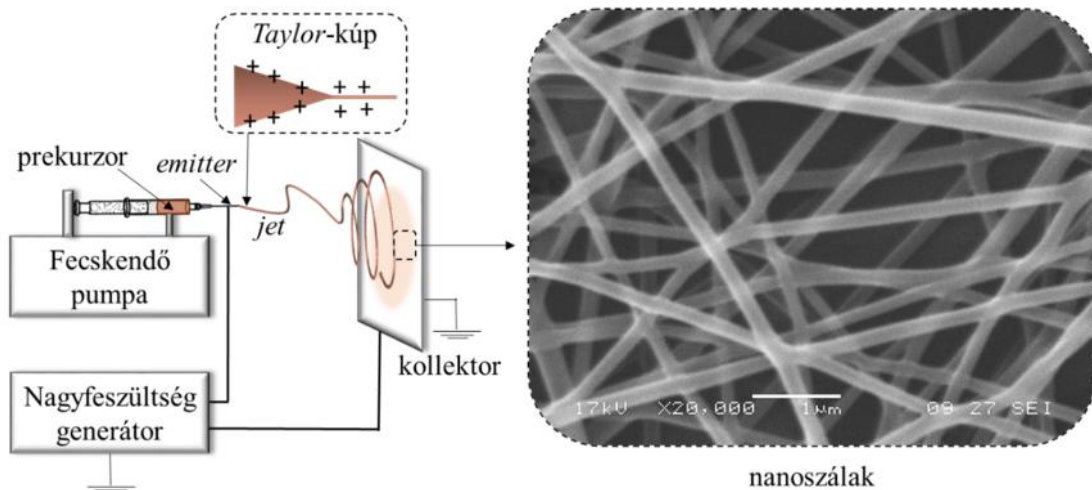
Bár az elektrosztatikus szálképzést sokan a modern kor eljárásai közé sorolják, az els elektrosztatikus szálképzésen alapuló készüléket az 1890-es évek végén írták le J. F. Cooley szabadalmi bejelentésében, ekkor azonban még nem volt ismert az el állított anyag természete, így valódi jelent sége sem. Körülbelül egy évszázad elteltével, a párhuzamosan futó nanotechnológiai kutatások során az elektrosztatikus szálképzés, mint a nanoszálak rendszerek egyik legjelent sebb preparatív módszere egyre nagyobb figyelmet kapott.

Elektrosztatikus szálképzéssel alapvet en polimerek oldatából vagy olvadékból hozhatunk létre nanoszálakat. El bbinél el nyös az alacsony üzemeltetési h mérséklet, valamint lehet vé teszi h mérsékletérzékeny anyagok feldolgozását, míg utóbbinál a nanoszálak tisztán a polimerből, oldószermentesen állíthatók el , mely sok esetben komoly környezetvédelmi el nyökkel jár. A szálképzés során a folyadék halmazállapotú alapanyagot (*prekurzor*) nagyfeszültség ( $5 < U < 50$  kV) alá helyezik, melynek hatására a polimernek + vagy – töltése lesz, míg ellenpólusként egy földelt (azaz nulla potenciálra helyezett) gy jt felületet (*kollektor*) alkalmaznak. Amennyiben a kialakult elektromos térer sség (elektromos potenciál különbség) elegend en nagy, a polimeroldat (vagy ömledék) irányított deformációt szenved el, mely egy jellegzetes ún. *Taylor-kúp* kialakulását eredményezi. Mindeközben, amint az elektromos térer sség elér egy kritikus értéket, egy (vagy akár több) vékony folyadéksugár (*jet*,  $d < 100 \mu m$ ) lép ki a kúp hegyéb l és ezzel megindul a szálképzés. A kialakuló *Taylor-kúp* alakja nagymértékben függ a kialakult elektromos potenciálkülönbség ( $U$ ) mértékét l (1. ábra).



**1. ábra:** A *Taylor-kúp* kialakulása és a bel le kilép folyadéksugár az *id* függvényében különböző elektromos feszültségek esetén

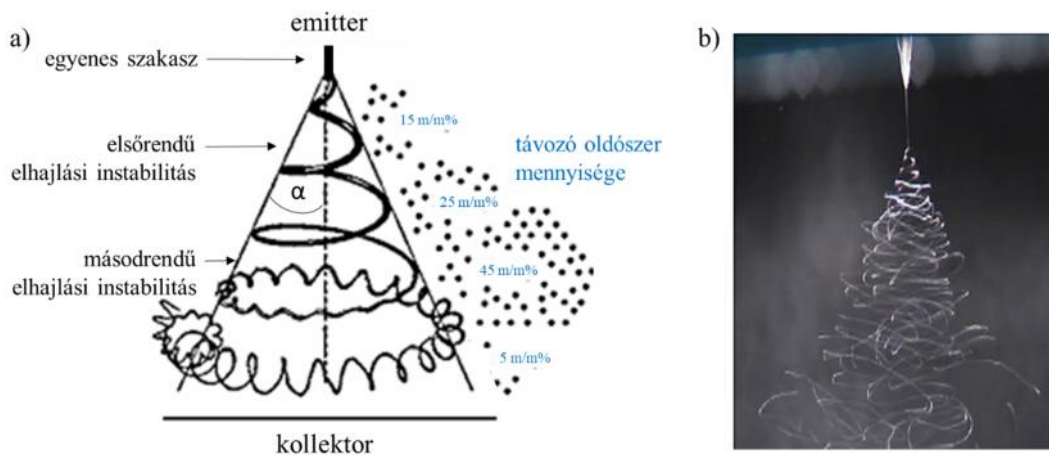
A kúp hegyéből kilép elektromosan töltött folyadéksugár (vagy ömledéksugár) a közelében lévő földelt *kollektor* (a kúp és a kollektor távolsága jellemzően  $5 < l < 25$  cm) felé repül, melynek hajtóereje a töltött folyadék csepp és a földelt kollektor közötti elektromos potenciálkülönbség. A létrejövő elektromos vonzó- és taszítóerők hatására a folyadéksugár jelentősen megnyúlik, elvékonyodik, jelentősen megnagyobbítja a fajlagos felületét, így polimeroldat esetén az oldószer pillanatszerűen elpárolog, míg ömledék esetében, az olvadék lehűl. Mindkét esetben a polimer szilárd halmazállapotban gyűlik a földelt kollektor felületén. A szálképzés folytonossága a prekursor folyamatos utánpótlásával biztosítható, melyet precíziós pumpák (laboratóriumi méretben jellemzően fecskendőpumpát alkalmaznak) segítségével oldanak meg. A laboratóriumi körülmények között alkalmazható elektrosztatikus szálképzés berendezés sematikus elrendezése a 2. ábrán látható.



**2. ábra:** Az elektrosztatikus szálképzés berendezés sematikus felépítése, valamint a képződött nanoszálak pásztázó elektronmikroszkópos felvétele

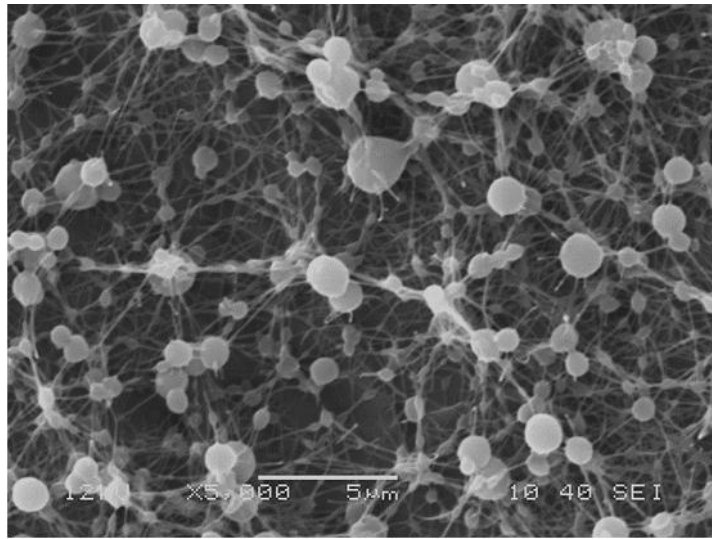
Sok esetben előfordulhat, hogy bár a folyamatos prekursor betáplálás megoldott, a kilépő folyadéksugár nem folytonos, hanem cseppekre szakadva, szakaszosan lép ki az emitterből. Ekkor elektrosztatikus porlasztás (electrospraying) történik, mely nem nanoszálakat, hanem szubmikronos (többnyire polidiszperz) részecskéket eredményez. Míg ez a jelenség számos területen előnyösen alkalmazható (gyógyszeripari formulálás, festékipar, élelmiszeripar) addig a nanoszálalagyi anyagok előállításánál sokszor komoly problémákat okoz, mely beavatkozást igényel.

Az emitterből kilépő folyadéksugár természetes módon is mutat bizonyos instabilitásokat, melyek közül az egyik legjellegzetesebb az ún. „elhajlás”. A folyamat során elsőként egy enyhébb mértékű kihajlás alakul ki természetes sztochasztikus hatások, vagy a külső környezeti paraméterek esetleges zavaró hatása miatt (közegellenállás, ingadozó hőmérséklet, páratartalom stb.) Az elhajlás mértéke fokozatosan a felületi Coulomb-taszítás miatt, mely révén a folyadéksugár egy szélesedő ugyanakkor vékonyodó spirálhoz hasonló alakzatot vesz fel, így a folyadéksugár egy jellegzetes ostorozó mozgást végez. A 3. ábrán látható, hogy az emittertől a kollektor felé haladva a spirál kiszélesedése viszonylag szimmetrikus, a kiszélesedés az egyre növekedő átmérő és a spirál hosszanti tengelye által bezárt szög ( $\alpha$ ) mértékével jól jellemezhető. Az emitter-kollektor szakaszon a prekursor oldat elvesztése nem egyenletes, jelentősebb mértékben az első és másodrendű elhajlási instabilitások kezdeti szakaszában figyelhető meg, hiszen ekkor távozik a teljes oldószer-tartalom körülbelül 70%-a. A kollektorhoz érve a mindösszesen 5%-nyi oldószer is távozik, így a kollektoron szilárd anyag gyűlik össze.



**3. ábra:** a) Az elektrosztatikus szálképzés során fellépő instabilitások sematikus ábrája, valamint b) a jelenség nagyfelbontású mikrokamerával készített felvétele

A folyadéksugár természetes deformációja mellett a prekursor összetétel és a berendezés paraméterei, beállításai miatt is kialakulhatnak instabilitási jelenségek. Ezek egyik jellegzetes eredménye az ún. *bead*-ek, melyek a nanoszálak babszem szer megvastagodásaiként írhatóak le a legszemléletesebben, a *bead*-ek a nanoszálal anyag pásztázó elektronmikroszkópos felvételein is jól kivehetőek (4. ábra). A nemkívánatos *bead* képződést a felületi feszültség és az elektromos térerősség folyamatos ingadozása okozza, mely általában a prekursor oldat összetételének, valamint a szálképzés egyéb paramétereinek optimalizálásával küszöbölhető ki.



**4. ábra:** *A bead-képzés és eredménye a nanoszálal anyagon*

#### **4.2. Az elektrosztatikus szálképzés főbb paramétere**

A megfelelő minőségű nanoszálal anyagtól elvárható, hogy a szubmikronos átmérőjű szálak széles méreteloszlással rendelkezzenek, heterogenitástól mentesen, jó kihozattal legyenek állíthatók. A szálképzés során számos egyedi paraméter és ezek kölcsönhatása is befolyásolhatja a szálal termék tulajdonságait, minőségét. Bár ezek a tényezők összetett folyamatok eredményei, bizonyos szempontok szerint jól csoportosíthatók, amelyek megkönnyítik az optimálási folyamat tervezését (1. táblázat).

**1. táblázat:** Az elektrosztatikus szálképzést befolyásoló paraméterek

	paraméter	beállított érték		
		<i>kisebb</i>	<i>optimális</i>	<i>nagyobb</i>
prekurzor	molekulatömeg	nincs szálképzés		nincs szálképzés
	viszkozitás	nincs szálképzés		dugulás
	vezet képesség	polidiszperzítás		szálátmér csökkenés
készülékbeállítás	felületi feszültség	kevesebb <i>bead</i>	<i>folyamatos szálképzés</i>	instabil folyadéksugár, porlasztás
	elektromos feszültség	nincs szálképzés	<i>folyamatos szálképzés</i>	<i>bead</i> képzés, porlasztás
	emitter – kollektor távolság	megvastagodások, kiszélesedések, <i>bead</i> -ek		<i>bead</i> képzés
	adagolási sebesség	beszáradás, dugulás		csepegés, <i>bead</i> -ek, szálátmér növekedés

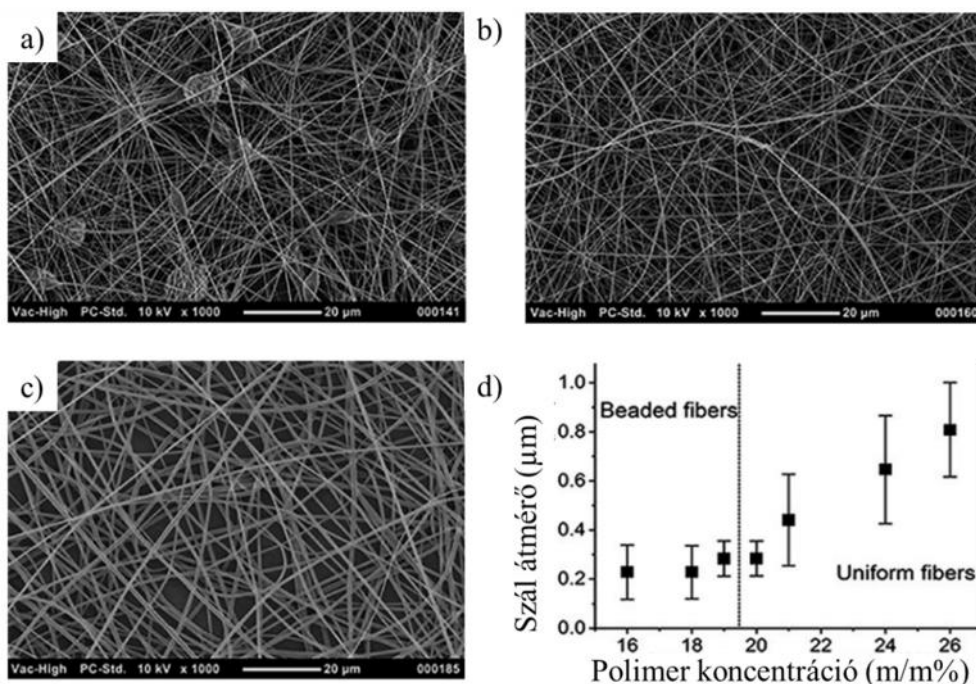
### A prekursor oldat hatása

A prekursor oldat (elegy) tulajdonságai szignifikánsan befolyásolják a szálképzés menetét és a kész szál anyag tulajdonságait is. Az oldott polimer molekulatömege és az adott oldószerben vett oldhatósága kulcsfontosságú, hiszen alapvetően eldöntik a szálképzés lehetőségét. A polimer kiválasztása során sok esetben a megcélzott alkalmazási terület igényei jelentik a kihívást, ilyen például az oldhatóság, a stabilitás (fként m szaki, vagy szintetikus alkalmazások területén) vagy a biokompatibilitás, a biológiai lebonthatóság és a toxikusság (leginkább az orvosbiológiai alkalmazások esetében). Az alkalmazott oldószer tulajdonságai, pl. a forráspont, a dielektromos állandó, a vezet képesség és a felületi feszültség alapvetően meghatározza a szálképezhetőséget. A nanoszál termékek előállítására leggyakrabban alkalmazott polimereket és oldószereket foglalja össze a 2. táblázat a teljesség igénye nélkül. Fontos kiemelni, hogy sok esetben nem csupán egy polimert, hanem polimerek keverékeit alkalmazzák és ehhez hasonlóan biner, vagy akár terner oldószerkelegyek alkalmazásával sikerül a kívánt nanoszál szerkezetet előállítani.

**2. táblázat:** Az elektrosztatikus szálképzéshez alkalmazott leggyakoribb polimer és oldószer párosok

Polimer	Oldószer	Alkalmazási terület
poliuretán	dimetil-formamid	véd ruházatok
polikarbonát	dimetil-formamid/ tetrahydrofuran	szenzorok
polianilin/polisztirol	kloroform/ kámforszulfonsav	elektromos vezeték
poli(vinil-fenol)	tetrahydrofuran	antibakteriális bevonat
polisztirol	tetrahydrofuran	szűrőmembrán
politejsav	diklórometán	szövethegés elleni membrán
poli(vinil-alkohol)	víz	gyógyszerhatóanyag-hordozó
poli(vinil-pirrolidon)	etanol	gyógyszerhatóanyag-hordozó
cellulóz-acetát	acetón, ecetsav	szűrőmembrán
kollagén	hexafluoro-2-propanol	mesterséges szövetek

A polimer(ek) és oldószer(ek) kiválasztása után fontos a polimer molekulatömegét és a megfelelő koncentrációját is megállapítani. Minden esetben van egy minimális koncentráció, amely mellett megindulhat a szálképzés, de a továbbra is híg polimeroldat sok esetben beadékek képzéséhez vezethet. A túlzottan nagy polimer koncentráció esetén lehet a felületi feszültség, mely szintén a nem kívánt megvastagodásokhoz, beadékek kialakulásához vezet. Extrém nagy koncentráció, és ezzel párhuzamosan megnőtt prekursor viszkozitás hatására oly mértékben megnövekednek a belső súrlódási erők (megegyezően a polimer láncok közötti másodrendű kölcsönhatások száma), hogy azok leküzdésére az elektrosztatikus erők már nem képesek. Ez az effektus jól látható a poli(vinilidén-fluorid) szálképzési kísérletei során, ahol az elektronmikroszkópos felvételen kivehető a beadékek és a nagyobb szálátmérek (5. ábra a c), egyre szélesebb méreteloszlás mellett (5. ábra d)). A koncentráció megfelelő határokon belül történő változtatásával elérhető, hogy a koncentráció növelésével a képződő nanoszálak jellemző átmérete csökkenjen.



**5. ábra:** A koncentráció hatása a szálmorfológiára és a szálátmérőre poli(vinilidén-fluorid) (PVDF) elektrosztatikus szálképzése során, ahol a) 16, b) 20 c) 26 m/m% PVDF koncentrációval készült nanoszálak pásztázó elektronmikroszkópiás felvétele, d) a 16-26 m/m% terjedő koncentráció skálán a vizsgált szálátmérők és a szórások

A polimer koncentrációja mellett a molekulatömegének is kiemelt szerepe van, mivel mindkettő közvetlenül befolyásolja a reológiai és elektromos tulajdonságokat. Általánosan elmondható, hogy a nagyobb molekulatömeg kedvezően hat a szálképzésre, mert biztosítja a szükséges prekursor viszkozitást. A molekulatömeg növelésnek is van felső határa, hiszen a nagyméretű molekula vastagabb szálakat eredményezhet szélesebb méreteloszlásban, valamint a túlságosan viszkózus prekursor nehezítheti a folyamatos és precíz adagolást, mely a szálképzés kitermelését ronthatja. Természetesen a viszkozitás, a koncentráció és a molekulatömeg szorosan függenek egymástól, ezek korrelációs kapcsolatban álló paraméterek.

A felületi feszültségnek szintén kiemelt szerepe van a szálképzés során. Általánosan teljesül, hogy a felületi feszültség csökkentésével elkerülhető, mérsékelhető a *bead* képzés. Kisebb felületi feszültség esetén már kisebb elektromos feszültség mellett is biztosítható a folyamatos szálképzés. Ennek értelmében a felületi feszültség alsó és felső határértéke domináns a prekursor oldat alkalmazási terében. Ha a polimer és az oldószer természetét nem befolyásolhatjuk, úgy különböző felületi feszültséget csökkentő adalékanyagokkal



optimalizálhatjuk a nanoszálak el állítását. Ilyen adalékok lehetnek egyes ko-szolvensek, valamint nemionos felületaktív anyagok.

A prekursor oldat vezet képessége is kulcsfontosságú jellemző, melyet legfőképpen a polimer jellege és jelenlévő ionizálható sók minősége és mennyisége határoz meg. A kellően jó vezetőképesség biztosíthatja egyfelől a szálképzést, valamint további növelésével a szálak átmérete csökkenthető. A rossz (vagy nem elégséges) vezetőképesség esetén azonban az elektrosztatikus tér nem képes a kilépő folyadéksugarat eléggé megnyújtani (nem alakul ki a *Taylor-kúp*) ahhoz, hogy szálak alakuljanak ki. A túlságosan megnövelt vezetőképesség sem előnyös, mivel olyan nagy elektromos térerősség alakulhat ki ("túltöltött" rendszer), amely instabilitása miatt rendkívül polidiszperz szálátméreteket eredményez.

### ***A készülék beállításának hatása***

A megfelelő prekursor összeállítása után a szálképző berendezés beállításait, azaz a folyamat paramétereit is finomhangolni kell. Ilyen paraméterek például az alkalmazott elektromos feszültség értéke, az emitter-kollektor távolság, az emitter geometriája, a kollektor geometriája és esetleges mozgatása (pl.: forgódobos kollektor), valamint a prekursor adagolási sebessége.

Az elektromos feszültség mértéke kritikus pont a szálképzés során, mely jellemzően 5 és 50 kV közé esik. Sok esetben a feszültség növelése kedvezően hat a szálképzésre mivel növeli a termelékenységet, növeli a folyadéksugárra terhelt nyújtóerőt, így csökkenti az átlagos szálátméretet. A túl nagy elektromos potenciálkülönbség azonban elektromos kisülést okozhat, amely mind a mintára, mind a készülékre káros lehet. A legtöbb esetben egyenáramú generátort alkalmaznak, mivel ezzel kisebb szálátméret érhető el, mint a váltakozó áramúval. A generátor többnyire pozitív polaritású, mivel ekkor kisebb szálátméret érhető el, mint negatív polaritással.

A készülékben kialakuló elektromos térerősség mértékét jelentősen meghatározza az elektródok közötti távolság (azaz a gyakorlatban az emitter-kollektor távolság). A térerősség az elektródok közötti távolság csökkentésével vagy az elektromos feszültség emelésével növelhető, jellemző értéke 0,5-5 kV/cm. Természetesen szükséges egy minimális távolság a kollektor és az emitter között, amellyel biztosítható az oldószer elpárolgása. Emellett a túl rövid vagy túl hosszú úthossz egyaránt *bead* képzést okozhat. A két szélső érték közötti intervallumban megfigyelhető, hogy kisebb távolságok esetén a nanoszálak ellaposodnak (szalagszerűvé válnak), míg a távolság növelésével a szálak keresztmetszete közelíti a szabályos kör alakzatot. Ennek oka az lehet egyfelől, hogy a kis repülési úthosszal a szálak

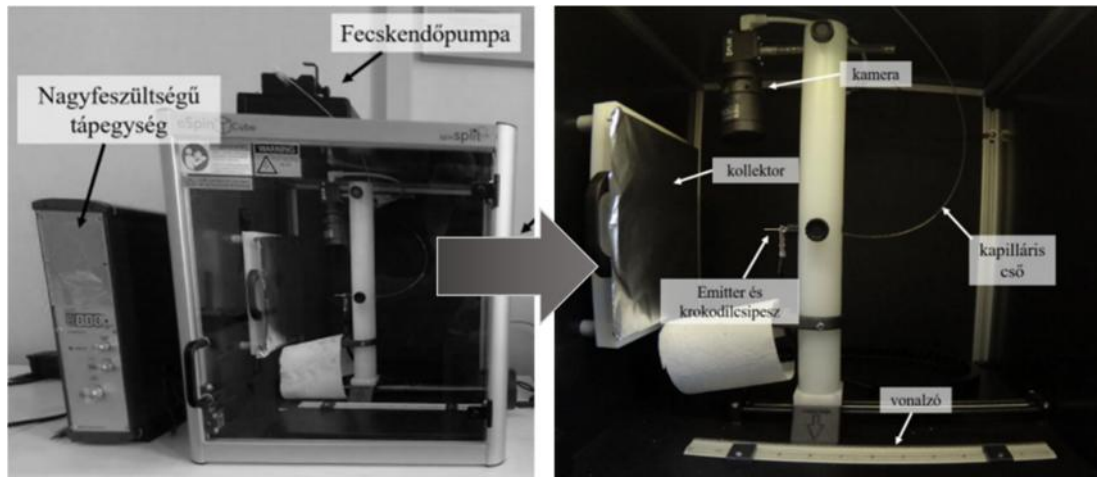
nem képesek teljesen kiszáradni, így a gyjt-re sokkal képlékenyebb halmazállapotban kerülnek, másfelől a nagyobb térerősség miatt nagyobb sebességgel csapodnak a kollektorra, így a szálak könnyebben deformálódhatnak. Ez a jelenség az oldószer megválasztásával, például alacsonyabb forráspontú, illékonyabb, oldószerrel javítható, ám a túlságosan könnyen párolgó oldószer nehezíti a folyamatos adagolást és szálképzést, mivel az emitteren a folyadék könnyen beszáradhat és ezáltal leáll a szálképzés.

A prekursor adagolási sebessége is meghatározó paraméter, mivel kihat a termelékenységre. Bár a nagyobb sebesség betáplálás növeli az időegység alatt képződő szálak mennyiségét, túl gyors adagolás esetén a prekursor csöpögésével kell számolni, emellett problémát okoz, hogy az oldószer nem képes rövid idő alatt eltávozni, ami a fentebb említettekhez hasonlóan rontja a kollektoron felfogott termék minőségét.

A kollektor geometriája és elrendezése szintén fontos, hiszen meghatározza a termelékenységet, vagy a szálak orientációját (pl.: forgódobos kollektor). A kollektorok általában valamilyen földelt, jól vezető anyagból készülnek, a legelterjedtebb az alumínium, de van példa más anyag, textilszövet vagy papír alapú gyjt felületekre is. A sík felülettel eltérő kollektor elemeket is kifejlesztettek, mint például a rácsos, texturált vagy pórusos lemezek.

### **3. Feladatok a gyakorlat során**

A laboratóriumi gyakorlat során poli(vinil-alkohol) (PVA) vizes oldatát alkalmazzuk az elektrosztatikus szálképzés megvalósításához. A gyakorlat első felében elvégezzük a szálképzés alapvető optimálási lépéseit, mely során vizsgáljuk a PVA koncentrációjának és molekulatömegének hatását az szálképzésre, valamint a képződő szálak jellemzőit. Ezt követően, B<sub>12</sub>-vitamin hatóanyag formulálását valósítjuk meg PVA nanoszálakban elektrosztatikus szálképzéssel. Összehasonlítjuk, két különböző molekulatömegű PVA-ból előállított nanoszálak B<sub>12</sub> vitamin formula hatóanyag kioldódását. Az elektrosztatikus szálképzési kísérleteket az alábbi elrendezésű készülékkel hajtjuk végre (6. ábra)



**6. ábra:** Az elektrosztatikus szálképzés berendezés

### 3.1. Különböz koncentrációjú PVA oldatok elektrosztatikus szálképzése

Az el re elkészített, különböz koncentrációjú PVA oldatokból (5, 15, 20 m/m%;  $M_w = 65$  kDa) 2 g-ot steril orvosi fecskend kbe töltünk, majd elvégezzük a szálképzési kísérleteket, mely során feljegyezzük a szálképzés megindulásához szükséges határfeszültség értékét. A szálképzést mindhárom esetben 10 percig végezzük, majd megmérjük a képz d szál anyag tömegét. A nanoszál mintákat pásztázó elektronmikroszkóppal vizsgáljuk.

### 3.2. Különböz molekulatömeg PVA oldatainak elektrosztatikus szálképzése

Az el re elkészített, különböz molekulatömeg PVA oldatokból ( $M_w = 65$  kDa,  $M_w = 205$  kDa; 10 m/m%) 2 g-ot steril orvosi fecskend kbe töltünk, majd elvégezzük a szálképzési kísérleteket, mely során feljegyezzük a szálképzés megindulásához szükséges határfeszültség értékét és az optimális adagolási sebességet. A szálképzést mindhárom esetben 10 percig végezzük, majd megmérjük a képz d szál anyag tömegét. A nanoszál mintákat pásztázó elektronmikroszkóppal vizsgáljuk.

### 3.3. PVA nanoszál alapú B<sub>12</sub>-vitamin formulák el állítása

Az el re elkészített PVA oldatból ( $M_w = 65$  kDa; 11,1 m/m%) kimérünk 5 g-ot egy 20 ml-es üvegbe, majd hozzáadjuk a B<sub>12</sub>-vitamin oldatot (0,5 ml; 10 mg/ml vizes oldat) és mágneses kever vel kevertetjük, míg az oldat homogén nem lesz. Ezt követ en a prekuzort steril orvosi fecskend kbe töltjük, majd elvégezzük a szálképzési kísérleteket, mely során feljegyezzük a szálképzés megindulásához szükséges határfeszültség értékét. A szálképzést a fecskend kiürüléséig végezzük. Jegyezzük fel a szükséges szálképzési id t és a képz d szál anyag tömegét. A nanoszál mintákat pásztázó elektronmikroszkóppal vizsgáljuk.

### **3.4. Hatóanyag-kioldódás mérés**

#### *B<sub>12</sub>-vitamin törzsoldat és koncentráció sorozat:*

Egy 20 ml-es üvegedénybe 5 mg B<sub>12</sub>-vitaminhoz 10 ml mesterséges gyomornedvet (SGF, Simulated Gastric fluid; nátrium-klorid 0,2 w/v%, sósav 0,7 v/v% vizes oldat) adunk, majd ebből a törzsoldatból a következő koncentráció sorozatot készítjük el: 50; 25; 12,5 és 6,25 mg/l; ill. 10 és 5 mg/l.

Hat darab 20 ml-es üvegedénybe 15 ml SGF oldatot mérünk be, majd 37 °C-ra termosztált vízfürdőbe helyezzük két enyhe kevertetés mellett. A hőmérséklet beállta után a két, hatóanyag tartalmú nanoszálalás formulából (65 kDa és 205 kDa PVA alapanyagból képzett nanoszálalás formulák) 50-50 mg-ot helyezünk 3-3 üvegedénybe. Az elegyekből 1, 2, 4, 8, 10, 15, 30, 60 és 120 perc elteltével 2 ml-nyi mintát veszünk UV-VIS küvettákba (Brand-cuvette, semi-micro PMMA), oly módon, hogy a kivett 2 ml-nyi mennyiséget SGF oldattal minden esetben pótoljuk.

A kalibrációhoz szükséges B<sub>12</sub>-vitamin oldat sorozatot, valamint a kioldódás mérés során levett minták B<sub>12</sub>-vitamin tartalmát UV-VIS-spektrofotométerrel (Agilent Cary 60, USA) határozzuk meg. Az adatokat a tiszta SGF oldat spektrumával korrigáljuk. A méréseket 200-700 nm-es hullámhossz tartományon végezzük, 600 nm/perc sebességgel.

*Alkalmazott anyagok jellemz i*

<b>név</b>	<b>molekulatömeg</b>	<b>egyéb jellemz</b>
PVA	65 kDa	hidrolizáltsági fok 88%
PVA	205 kDa	hidrolizáltsági fok 88%
B <sub>12</sub> -vitamin hatóanyag	1355 g/mol	-

**4. A jegyz könyvben elvégzend feladatok:**

- ) rövid elméleti bevezet ;
- ) kísérletes munka leírása;
- ) az 1. feladatban tapasztaltak ismertetése, szálképzés jellemzése, határfeszültség megállapítása, elektronmikroszkópos felvételek jellemzése, a szálátmér eloszlás szoftveres kiértékelése (J-MicroVision szoftverrel), hasonlítsa össze a különböző PVA koncentrációk hatását a szálképzés sikerességére és a szálátmér eloszlásra;
- ) a 2. feladatban tapasztaltak ismertetése, szálképzés jellemzése, határfeszültség megállapítása, elektronmikroszkópos felvételek jellemzése, a szálátmér eloszlás szoftveres kiértékelése (J-MicroVision szoftverrel) hasonlítsa össze a két molekulatömeg hatását a szálképzés sikerességére és a szálátmér eloszlásra;
- ) a 3. feladatban tapasztaltak ismertetése, szálképzés jellemzése, határfeszültség megállapítása, elektronmikroszkópos felvételek jellemzése, a szálátmér eloszlás szoftveres kiértékelése (J-MicroVision szoftverrel) hasonlítsa össze a két molekulatömeg hatását a szálképzés sikerességére és a szálátmér eloszlásra;
- ) a 4. feladatban adja meg a B<sub>12</sub>-vitamin teljes spektrumát, állapítsa meg a kiértékeléshez szükséges, B<sub>12</sub>-vitaminra jellemz , hullámhossz értékét, adja meg a B<sub>12</sub>-vitamin koncentrációsorozat alapján felvett kalibrációs egyenest, amelyb l határozza meg a B<sub>12</sub>-vitamin moláris abszorpciós (extinkciós) koefficiensét ( ; mM/cm), ábrázolja a B<sub>12</sub>-vitamin kioldódási profilját a készítményekb l, majd hasonlítsa össze ket.

**Felhasznált irodalom:**

Deng, W.; Gomez A.: Full transient response of Taylor cones to a step change in electric field, *Microfluidics and Nanofluidics*, **2012**, *12*, 383–393.

Massaglia, G.; Quaglio, M.: Semiconducting electrospun nanofibers for energy conversion, semiconductors - growth and characterization, *InTechOpen*, **2018**, chapter 8.

Maghsoodlou, S.; Noroozi B.; Haghi AK.: A simple model for solvent evaporation in electrospinning process, *NANO: Brief Reports and Reviews*, **2017**, *12*, 1750028.

Huang, ZM.; Zhang M.; Kotaki, YZ.; Ramakrishna, SA.: A review on polymer nanofibers by electrospinning and their applications in nanocomposites, *Composites Science and Technology* **2003**, *63*, 2223–2253.

Shao, H.; Fang J.; Wang, H.; Lin, T.: Effect of electrospinning parameters and polymer concentrations on mechanical-to-electrical energy conversion of randomly-oriented electrospun poly(vinylidene fluoride) nanofiber mats, *RSC Advances*, **2015**, *5*, 14345–14350.

Molnár, K.: Elektro-szálképzett nanoszálak szerkezetek és kompozitjaik, PhD értekezés, Budapesti M szaki és Gazdaságtudományi Egyetem Gépészmérnöki Kar Polimertechnika Tanszék, **2014**.

Balogh-Weiser, D., Németh, Cs.; Ender, F.; Gyarmati, B.; Szilágyi, A.; Poppe, L.: Electrospun nanofibers for entrapment of biomolecules, Electrospinning Method Used to Create Functional Nanocomposites Films, *IntechOpen*, **2018**, Chapter 8.