

Mérési jegyzőkönyv:

Nyírás hatásának vizsgálata a Freéderiksz átmenetre nematikusokban

Jóni Bertalan, Rakyta Péter

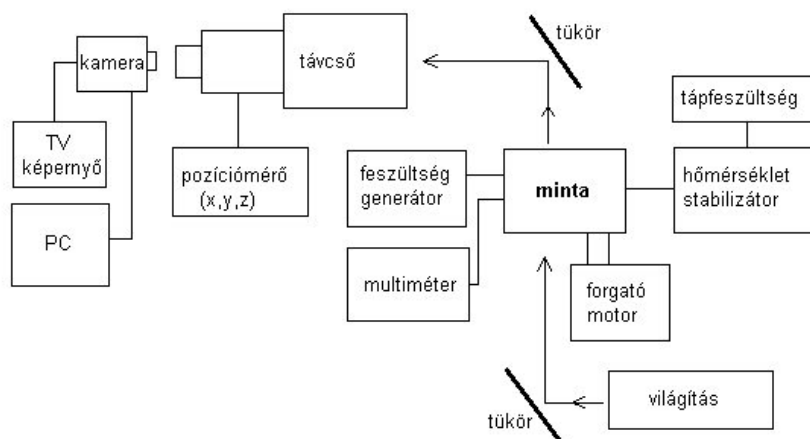
4. éves fizikus hallgatók

mérés időpontja: 2007. október

Mérésvezető:
Buka Ágnes

1. Bevezetés

Jelen mérés során azt vizsgáltuk, hogy a Freéderiksz átmenet jellemzői hogyan módosulnak mechanikai nyírás és elektrosztatikus tér hatására. A mérési elrendezés vázlatja az 1 ábrán látható. A vizsgálandó minta egy *homeotróp irányrendezésű* (azaz a direktor alapállapotban merőleges a



1. ábra. A Freéderiksz-átmenet vizsgálatára használt mérési elrendezés

határoló felületekre), negatív dielektromos anizotrópiájú nematikus folyadékkristály. A mintára feszültséggenerátor segítségével változtatható nagyságú elektromos teret kapcsolhatunk. A multiméter a mintán eső feszültség mérésére szolgál. A minta állandó hőmérsékletét a mérés alatt hőmérséklet stabilizátorral biztosítjuk. A mintához csatlakozik egy szabályozható szögsebességű forgató motor is, mely a minta egyik határoló lapjának forgatásával idéz elő nyírási feszültséget a nematikus rétegekben. Mérésünk alapján a motor szögsebessége $1 \times$ fokozatban $\omega = 2.5 \cdot 10^{-3} \text{ s}^{-1}$. A mintát, mely keresztezett polarizátorok közt van, megvilágítjuk, és a mintán átmenő fény intenzitását egy távcsővel detektáljuk. Ennek a távcsőnek a pozíciója Descartes koordinátákkal állítható, hogy szabadon változtathassuk a minta éppen megfigyelt részét. A távcső képét egy kamera segítségével TV képernyőn figyelhetjük meg, illetve a kamerához csatlakoztatott számítógép segítségével rögzíthetjük is ezeket a képeket. A számítógépen használt szoftver 768×576 felbontású *bmp* kiterjesztésű *RGB* képeket készít. A mérések kiértékelése a rögzített felvételek digitális feldolgozását jelenti: az intenzitáseloszlásokat vizsgáljuk. A felvételeken vizsgált tartományok valódi méreteit a távcső pozícionálásával tudjuk meghatározni, ha egy jellegzetes pont elmozdulását figyeljük a távcső állítása közben. Ennek alapján a felvételeken 1 pixel távolság $d = 0.0026 \text{ mm}$ távolságnak felel meg.

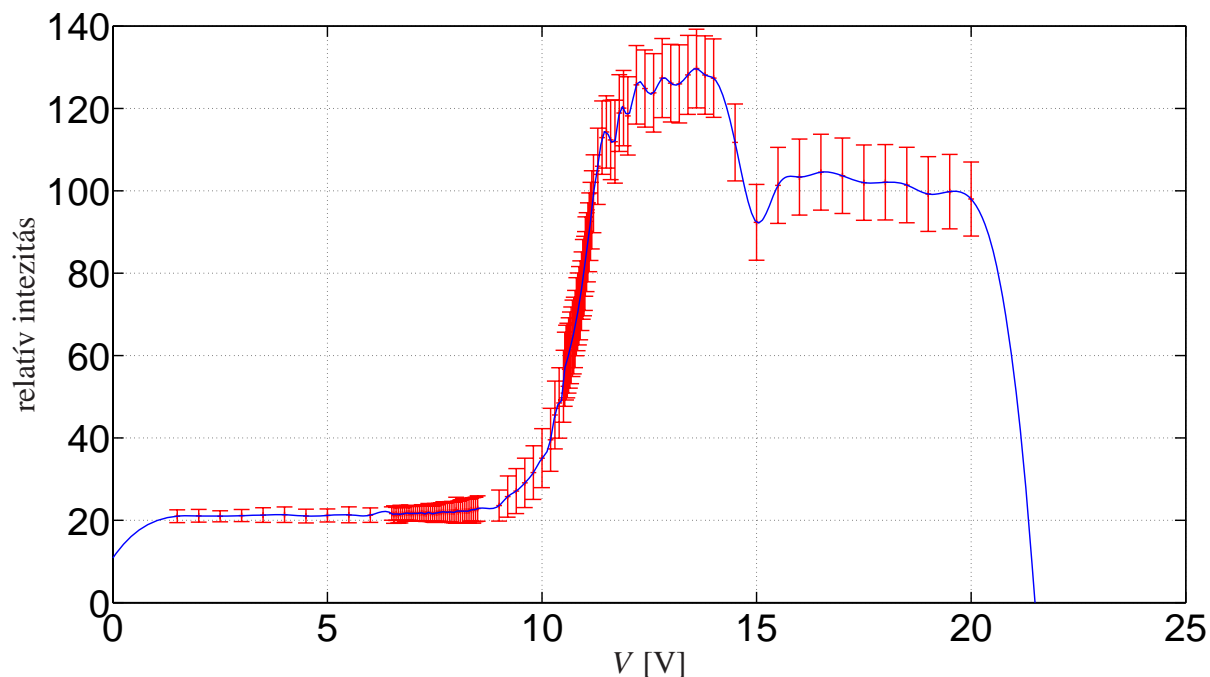
2. A Freéderiksz-átmenet vizsgálata elektrosztatikus térrel

Első lépésként nyírás nélkül feszültséget kapcsolunk a mintára. Alapállapotban a direktor iránya merőleges a határoló lapokra. Mivel a minta negatív dielektromos anizotrópiájú, ezért a határoló lapokra merőleges elektromos térerősség a direktor irányát az elektromos térre merőleges irányban igyekszik elfordítani, tehát a direktor iránya a minta szélétől eltekintve a határoló lapokkal párhuzamosan (planáris állásba) igyekszik beállni. Azt tapasztaljuk, hogy a feszültség növelésével egy küszöbérték eléréséig nincs direktor kihajlás, mivel a rendszer egy instabil egyensúlyi helyzetben van és a fluktuációk még nem elég nagyok ahhoz, hogy az instabil egyensúlyi helyzet felboruljon. Ha azonban elérjük a küszöbfeszültséget, akkor a direktor a minta belsejében kihajlik. A határfelületeken a direktor igyekszik megőrizni a felületre merőleges beállítását. Ez a hatás egy rugalmas nyírási feszültséget hoz létre a minta belsejében, mely feszültség egyensúlyt tart az elektrosztatikus tér forgatónyomatékával. Ennek ellenére a feszültség további növelésével elérhető, hogy a kihajlás szöge telítésbe menjen egészen 90^0 -ig. Az átmenethez tartozó küszöbfeszültséget nevezzük *Freéderiksz-feszültségnek*. Mivel a direktor iránya egyben optikai tengely is, ezért a mintán átmenő fény intenzitás változásával vizsgálhatjuk a direktor elfordulását. Alaphelyzetben a kép fekete a keresztezett polarizátorok miatt, de amint a direktor elfordul a kép világosodni kezd.

A mérés során kiválasztottuk a mintának egy olyan részét, ahol minimálisak a hibák. A vizsgált pozíció koordinátái:

$$x = -13.380 \text{ mm} \quad y = 3.513 \text{ mm} \quad z = -0.040 \text{ mm} \quad (1)$$

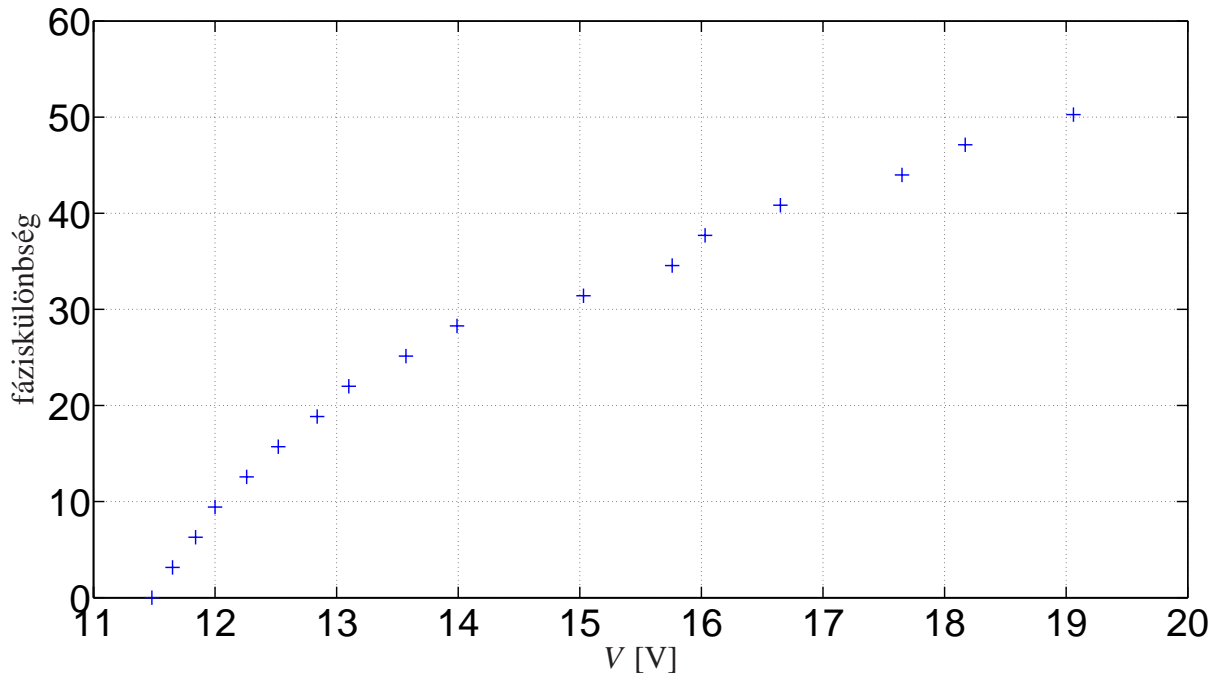
A megadott pozícióban felvételeket készítettünk 114 feszültségérték mellett. A számítógép által elmentett felvételeket egy saját megírású program segítségével analizáltuk. A program az RGB színadatokból egy 768×576 mátrixot származtatott, melynek mátrixelemei az egyes pixelek intenzitásértékeit tartalmazták. A művelet során a színes képet először egy szürke árnyalatú (*grayscale*) képpé alakítottuk át. A képek átlagintenzitása a feszültség függvényében a 2. ábrán látható. Alacsony feszültségértékeknél csupán a minta tökéletlenségéből adódik nem nulla intenzitásérték. A Freéderiksz átmenet felett az elektrosztatikus tér hatására elfordul a minta belsejében a direktor iránya. Kettőstörő anyag lévén a fénysugár ordinárius és extraordinárius része más-más optikai úthosszat fut be a mintában. A fény polarizáltsága a minta végén ezért az átlagos direktor-kitérés függvénye lesz. Az itt elhelyezett polarizátor megszűri a különböző polarizáltságú fénynyalábokat, ami az ábrán látható hullámvázban nyilvánul meg a (10–20) V tartományban. Egy-egy szomszédos csúcs és völgy közötti átmenet egy π nagyságú fázistolásnak felel meg. A grafikon segítségével ábrázolhatjuk a fáziskülönbséget a feszültség függvényében. Az eredmény a 3. ábrán látható. Az $U_k \approx 11.48$ V küszöbfeszültség alatti tartományban a fáziskülönbséget nullának vesszük. A minta hibáiból itt is adódik véges értékű fáziskülönbség, de ezt egy konstans eltolódásnak vehetjük minden mért érték esetén. Amint elérjük (és túllépjük) a küszöbfeszültséget, a fáziskülönbség lineárisan kezd változni a feszültséggel. Ezen egyenes visszametszésével kapjuk meg az U_k küszöbfeszültséget. Az adatok nagy szórása miatt ezt az értéket azonban hiba nélkül, csupán informatív céllal adjuk meg.



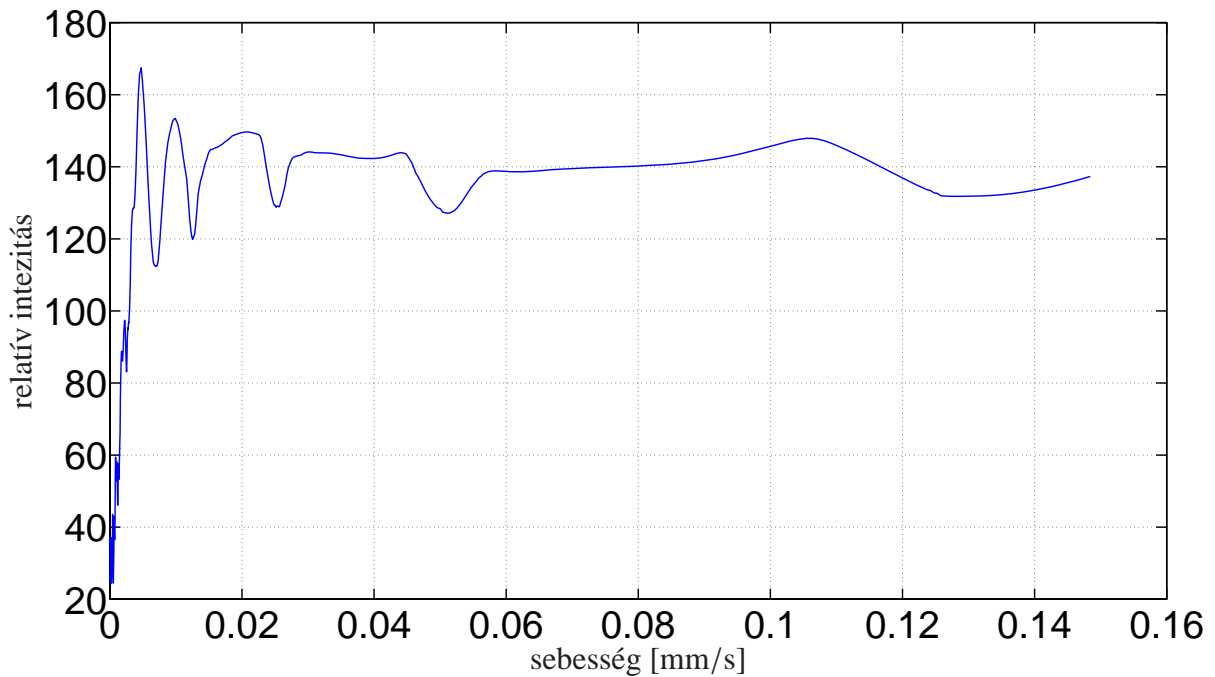
2. ábra. A képek átlagintenzitása a feszültség függvényében. A behúzott kék vonal csak a szemet vezeti. A pirossal jelölt intervallumok az átlagintenzitások szórását jelölik. Nagy feszültségértékekre az intenzitás levágása nem valós, csupán az alkalmazott interpoláció/extrapoláció következménye. Az ábrázolt grafikon egy símitó algoritmus eredménye.

3. A Freéderiksz-átmenet vizsgálata nyírási feszültséggel

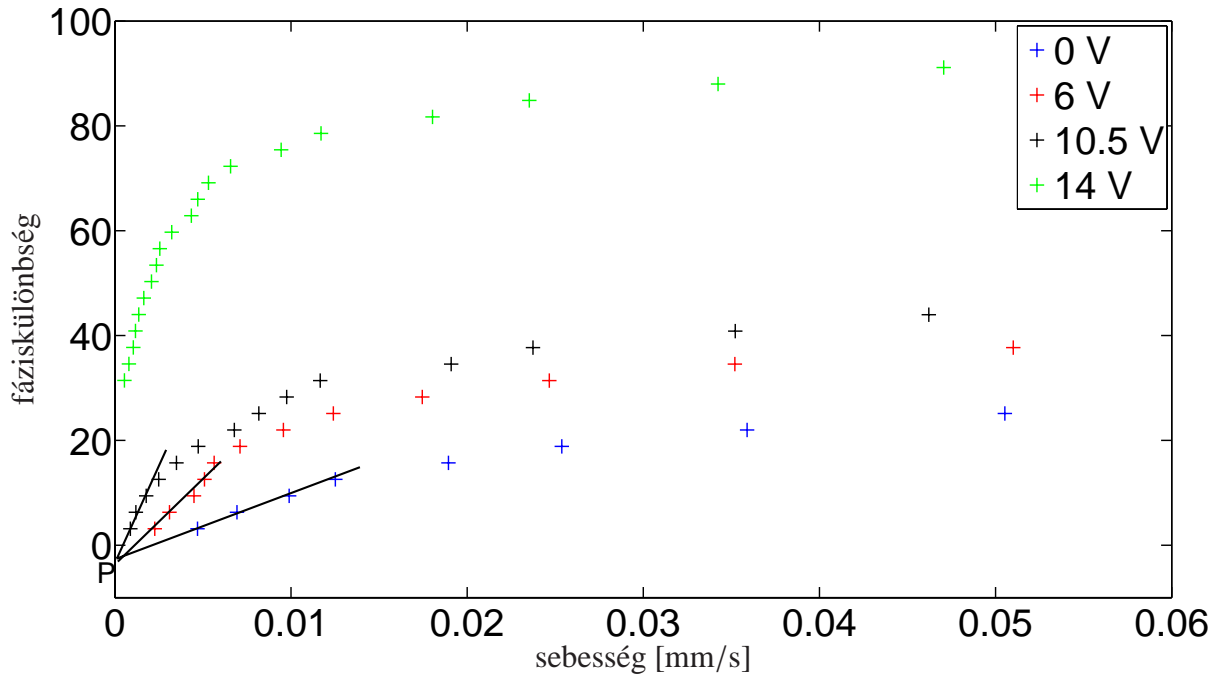
Ahogy a bevezetőben említettük, a minta felületén egy forgató motor segítségével nyírási feszültséget hozhatunk létre. Ez a nyírófeszültség kitéríteni igyekszik a direktor irányát a mintában. Ezzel a hatással megintcsak a minta belső rugalmas feszültsége tart egyensúlyt. A mérés során feszültség bekapcsolása nélkül a nyírás sebességének függvényében (a nyírás nagysága arányos a nyírási sebességgel) vizsgáljuk a direktor kihajlását. A forgatómotor szögsebességét egy többállású kapcsoló segítségével változtatjuk. $1\times$ állásban a szögsebesség mérésünk szerint $\omega \approx 2.5 \cdot 10^{-3} \text{ s}^{-1}$ -nek adódott. A direktorok kihajlását, illetve a kihajlás által okozott fáziskülönbséget, most is a mintán átmenő fény intenzitásának detektálásával vizsgáljuk. Mivel a kerületi sebesség függ a forgási középponttól mért távolságtól, ebben az esetben az intenzitásokat nem az egész képekre vonatkoztatott átlagolásból származtatjuk, hanem felosztjuk a képeket 32 pixeles sávokra, ahol a kerületi sebesség állandónak vehető. Az intenzitásokat a sebesség függvényében ezen sávokra vett átlagolásból számítjuk ki. Az eredményt a 4. ábra szemlélteti. A grafikonból leolvasható csúcsok és völgyek viszonyából megszerkeszthetjük a fáziskülönbség-sebesség grafikont, amely az 5. ábrán látható. Ezen az ábrán megfigyelhetők további eredmények is melyek a későbbiekben ismertetett mérésekhez tartoznak. Ehhez a szakaszhoz a $V = 0 \text{ V}$ feszültséggel jelölt eredmények tartoznak. Az eredmények diszkuszióját a későbbiekre hagyjuk.



3. ábra. A fáziskülönbség a fénynyaláb ordinárius és extraordinárius komponense között a mintára kapcsolt feszültség függvényében.



4. ábra. Az intenzitás a nyírási sebesség függvényében. Az intenzitásértékek szórása azonos nagyságú, mint az előző szakaszban, azonban a jobb áttekinthetőség kedvéért nem ábrázoljuk őket. Az ábrázolt grafikonon egy símitó algoritmus eredménye.



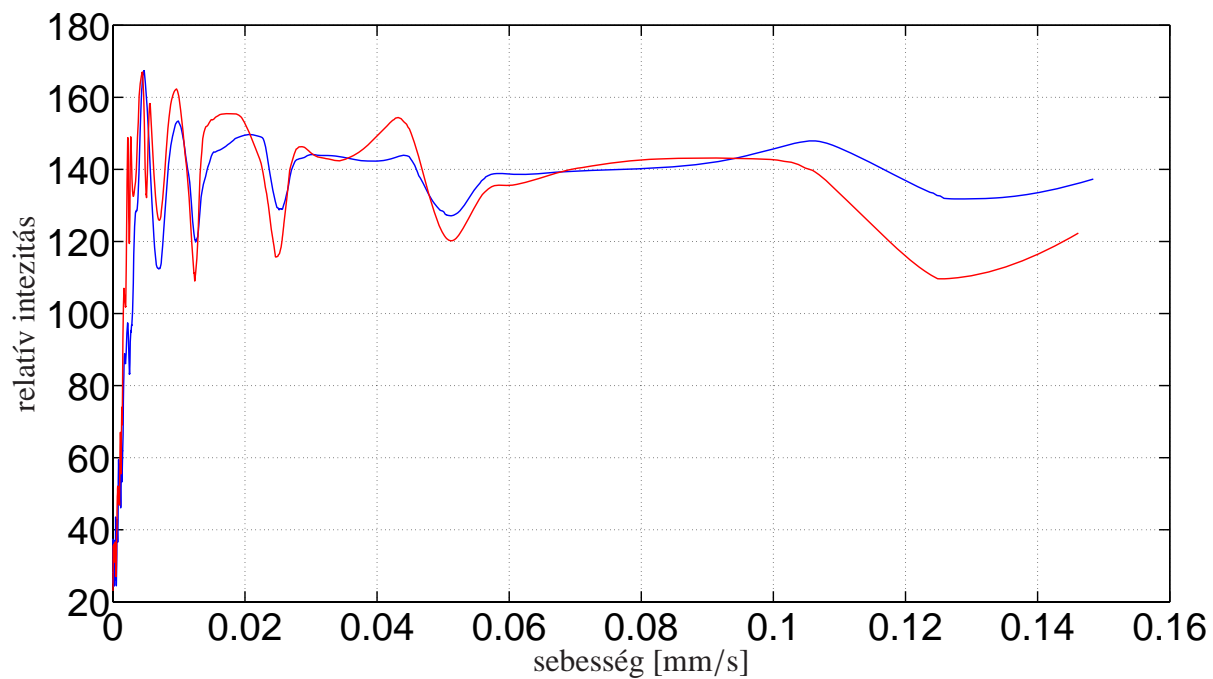
5. ábra. A fáziskülönbségek különböző feszültségek esetén a fénynyaláb ordinárius és extraordinárius komponense között a nyírási sebesség függvényében.

4. Nyírási feszültség és elektrosztatikus tér együttes hatása

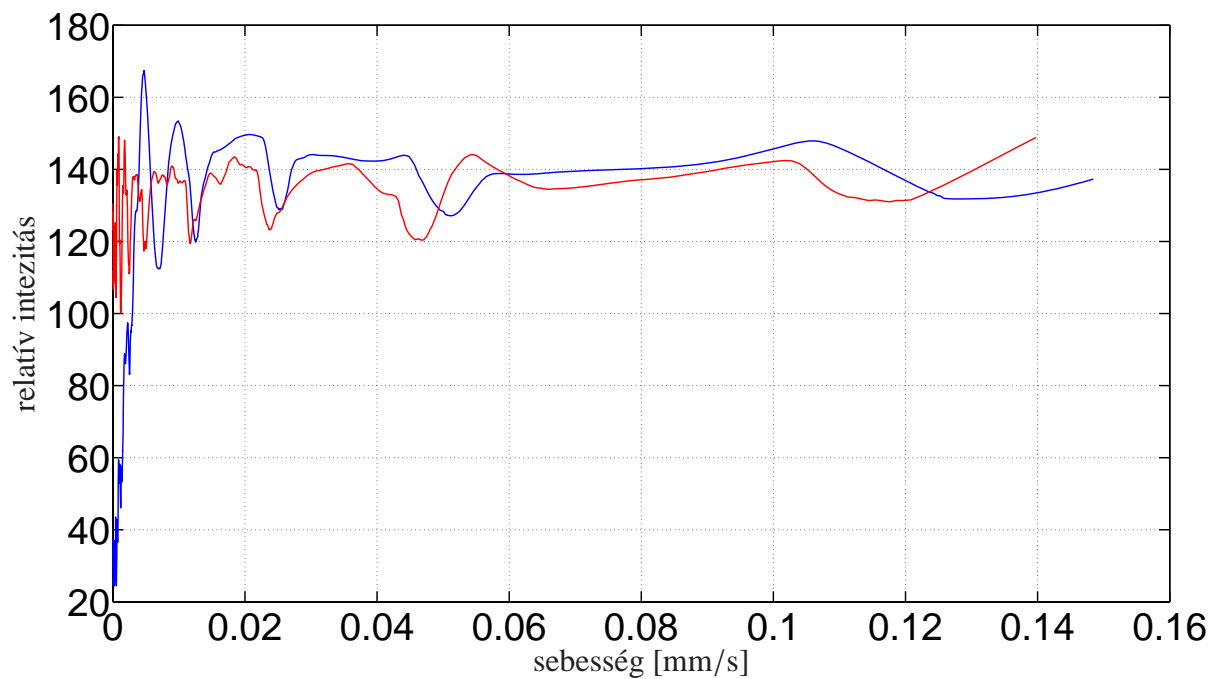
Az előző két mérésben megismert hatásokat együttesen is vizsgálhatjuk. Mérési feladatunk az volt, hogy különböző feszültségek alkalmazása mellett térképezzük fel a nyírási feszültség okozta fáziskülönbségeket. Ennek alapján a méréseket három feszültség esetében végeztük el:

- Freéderiksz-küszöb alatti feszültség mellett: $V = 6 \text{ V}$
- Freéderiksz-küszöb környéki feszültség mellett: $V = 10.5 \text{ V}$
- Freéderiksz-küszöb feletti feszültség mellett: $V = 14 \text{ V}$

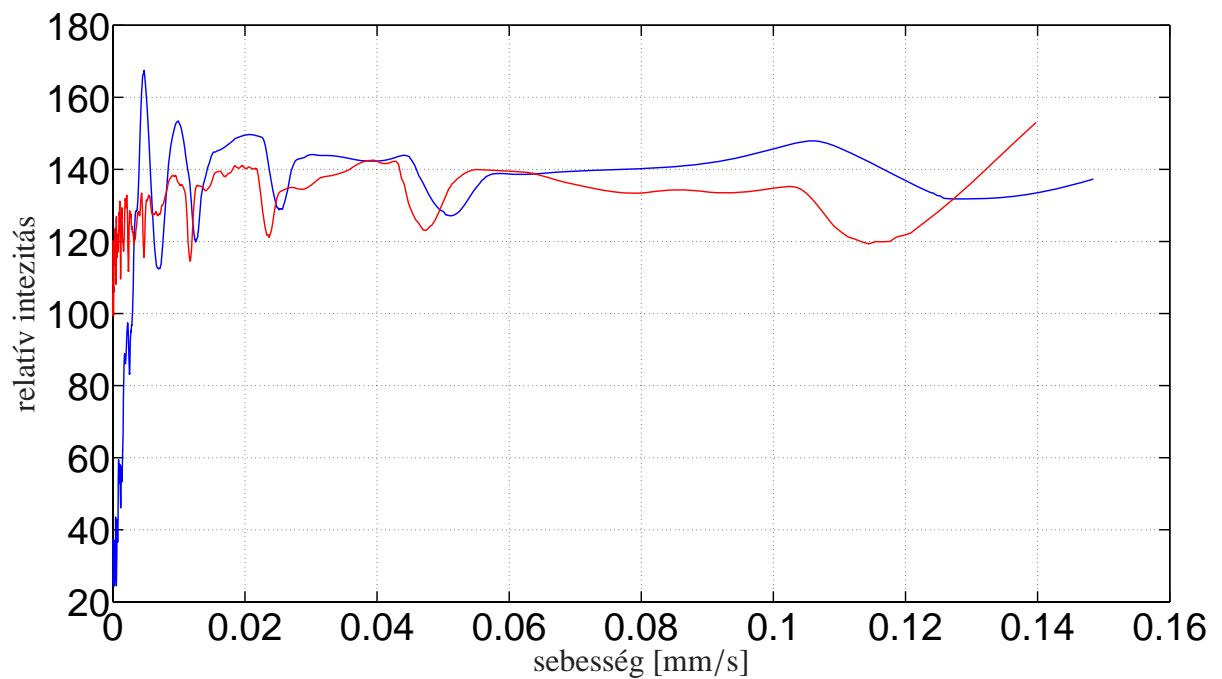
A mért intenzitáseloszlásokat rendre a 6., 7. és a 8. ábrák szemléltetik. A mérési adatok szórását továbbra sem ábrázoljuk a jobb áttekinthetőség kedvéért, azonban elmondható, hogy ugyanolyan nagyságúak, mint az előző esetekben. A grafikonokból számolt fáziskülönbségeket az 5. ábra szemlélteti. Látható, hogy a Freéderiksz-küszöb alatti feszültségekhez tartozó grafikonok kezdeti szakaszára illesztett egyenesek jó közelítéssel egy pontban metszik egymást a nulla sebességhez tartozó tengelyen (P pont). Ez a fáziskülönbség a minta hibáiból ered, jelen van nyírás és feszültség nélkül is. Nagyobb feszültség mellett már nulla nyírási feszültség mellett is fellép egy markáns fáziskülönbség. Az elektrosztatikus térrel végzett mérések alapján ez természetesnek adódik.



6. ábra. Az intenzitás a nyírási sebesség függvényében. A piros vonal a $V = 6$ V nagyságú feszültséghez tartozó grafikont szemlélteti, a kék vonal pedig a $V = 0$ V-hoz tartozót. Ez utóbbit csupán az összehasonlítás kedvéért ábrázoljuk. Az intenzitásértékek szórása azonos nagyságú, mint az előző szakaszban, azonban a jobb áttekinthetőség kedvéért nem ábrázoljuk őket. Az ábrázolt grafikon egy simító algoritmus eredménye.



7. ábra. Az intenzitás a nyírási sebesség függvényében. A piros vonal a $V = 10.5$ V nagyságú feszültséghez tartozó grafikont szemlélteti, a kék vonal pedig a $V = 0$ V-hoz tartozót. Ez utóbbit csupán az összehasonlítás kedvéért ábrázoljuk. Az intenzitásértékek szórása azonos nagyságú, mint az előző szakaszban, azonban a jobb áttekinthetőség kedvéért nem ábrázoljuk őket. Az ábrázolt grafikon egy simító algoritmus eredménye.



8. ábra. Az intenzitás a nyírási sebesség függvényében. A piros vonal a $V = 14$ V nagyságú feszültséghez tartozó grafikont szemlélteti, a kék vonal pedig a $V = 0$ V-hoz tartozót. Ez utóbbit csupán az összehasonlítás kedvéért ábrázoljuk. Az intenzitásértékek szórása azonos nagyságú, mint az előző szakaszban, azonban a jobb áttekinthetőség kedvéért nem ábrázoljuk őket. Az ábrázolt grafikon egy simító algoritmus eredménye.