

A VEGYES SZÓRÁS MINT PROBLÉMA LASCA PERFÚZIÓS MÉRÉSEK ESETÉN

Kondász Bence¹, Hopp Béla¹, Smausz Kolumbán Tamás¹

¹Szegedi Tudományegyetem, Optika és Kvantumelektronikai Tanszék, Szeged Dóm tér 9.,
Magyarország

DOI: <https://doi.org/10.14232/kvantumelektronika.9.20>

1. Bevezetés

A lézer speckle kontraszt elemzésen (LASCA) alapuló perfúziómérés során a statikus szórás erősen befolyásolja a kapott áramlási értékek pontosságát. Ezen szórástípus élő szövet esetén mindig jelen van, bőr esetén pl. mozdulatlan szöveti rostok, zárványok formájában. A statikus szórás méréstorzító hatásának csökkentésére/kiküszöbölésére különböző módszereket dolgoztak ki. Ilyen pl. a vizsgált szövetek átlátszóságának növelése különböző oldatokkal való átitatásával, aminek a kivitelezése meglehetősen nehézkes. Mérés technikailag jóval egyszerűbben alkalmazhatók a statikus szórás hatását is figyelembe vevő, a mért kontraszt expozíciós idő függésén alapuló modellek, mint pl. a több expozíciós időt használó LASCA. Az alábbiakban két ilyen modell alkalmazhatóságát vetjük össze.

Az egyik modellt Parthasarathy és munkatársai [1] dolgozták ki:

$$K(T)^2 = \beta \rho^2 \frac{\tau_1^2}{2T^2} \left[\exp\left(-\frac{2T}{\tau_1}\right) - 1 + \frac{2T}{\tau_1} \right] + 4\beta\rho(1-\rho) \frac{\tau_1^2}{T^2} \left[\exp\left(-\frac{T}{\tau_1}\right) - 1 + \frac{T}{\tau_1} \right] + v_{noise} \quad (1)$$

ahol β a mérőrendszere jellemző normalizálási faktor, $\rho = I_f / (I_f + I_s)$ a dinamikus szóródás aránya a teljes fényintenzitáshoz képest (melynek értéke tisztán statikus szórás esetén 0, tisztán dinamikus szórás esetén pedig 1), T az expozíciós míg τ speckle kép időbeli fluktuációját jellemző korrelációs idő. A v_{noise} a rendszer teljes zaja, amely tartalmazza a kamera működéséből és a lézer instabilitásából adódó zajokat is. Az áramlási sebességet a korrelációs idő reciprokával szokták jellemezni, melyet speckle kontraszt perfúziós egyégnak (SCPU) hívnak.

A másik kontraszt modell a csoportunk által korábban levezettet egyszerűbb, félig empirikus összefüggés [2]:

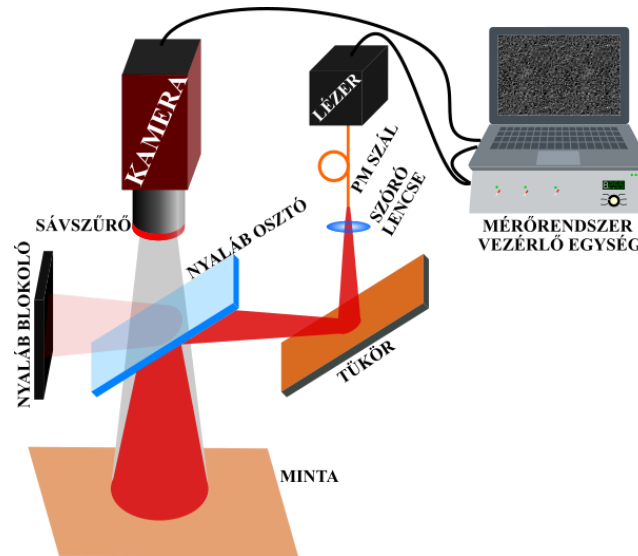
$$K(T)^2 = P_1^2 \frac{\tau_2^2}{2T^2} \left[\exp\left(\frac{-2T}{\tau_2}\right) - 1 + \frac{2T}{\tau_2} \right] + P_2^2 \quad (2)$$

ahol P_1 , P_2 empirikus illesztési paraméterek, együttesen jellemzik a vizsgált minta szórási paramétereit és a mérőrendszer normálási tényezőjét.

Ezen modellek egyike sem számol a vegyes szórás hatásával. Méréseink során azt vizsgáltuk, hogy különböző dinamikus/statikus szórás arányok hogyan befolyásolják a két modell által szolgáltatott perfúziós értékeket.

2. Kísérleti paraméterek, elrendezés

A mérések elvégzésére az 1. ábra vázolt, általunk épített és fejlesztett kísérleti elrendezést használtuk.



1. ábra A kísérleti elrendezés

A mintákat egy polarizáció tartó egymódusú optikai szálba becsatolt hőmérséklet és hullámhossz (785 nm) stabilizált lézer dióda fényével világítottuk ki. Egy polarizációs nyalábosztó lap segítségével egy koaxiális rendszert építettünk fel, így elkerülve a vizsgált mintán esetleges árnyékok kialakulását. A képek rögzítésére egy közeli infravörösben érzékenyített sávszűrővel ellátott 12 bites monokróm CMOS kamerát használtunk. A lézervezrlést, a képek rögzítését és kiértékelését az általunk LabVIEW környezetben fejlesztett programmal végeztük. A laboratóriumunkban korábban kidolgozott mérési módszert [3] használtuk a több expozíciós időt (1-75 ms mérési tartomány) használó LASCA rendszerünkben.

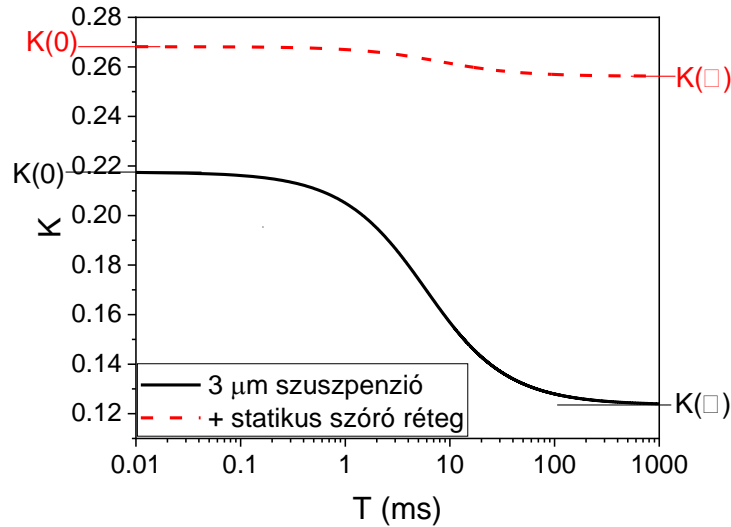
A mérések során alkalmazott szövet modellünk legfontosabb eleme a 3 μm átlagos méretű poliszitirén (PS) mikrogömbökből álló szuszpenzió. A szuszpenzió egy 1 cm vastagságú küvetében volt, melyre különböző, az alkalmazott hullámhosszra áttetsző szóró rétegeket (teflon film, pauszpapír, diffúzor stb.) helyeztünk el, így imitálva az élő szöveti mérések esetének megfelelő dinamikus (áramló vörösvértest) és statikus (bőrszövet mozdulatlan alkotóelemei) fényszórási komponenseket. Az élő szövetes méréseket kézfejen lévő bőr felületén végeztük el, ugyanazokat a statikus kiegészítő szóró rétegeket használva, mint a fenti modell esetén. A méréseket egy klimatizált állandó hőmérsékleten tartót szobában végeztük el.

3. Eredmények

Ahhoz, hogy a saját számolási modellünk összevethető legyen az (1) összefüggéssel, szintén definiáltunk egy dinamikus szórási arányt. A (2) egyenlet aszimptotikus viselkedését felhasználva a következő paramétert vezetjük be:

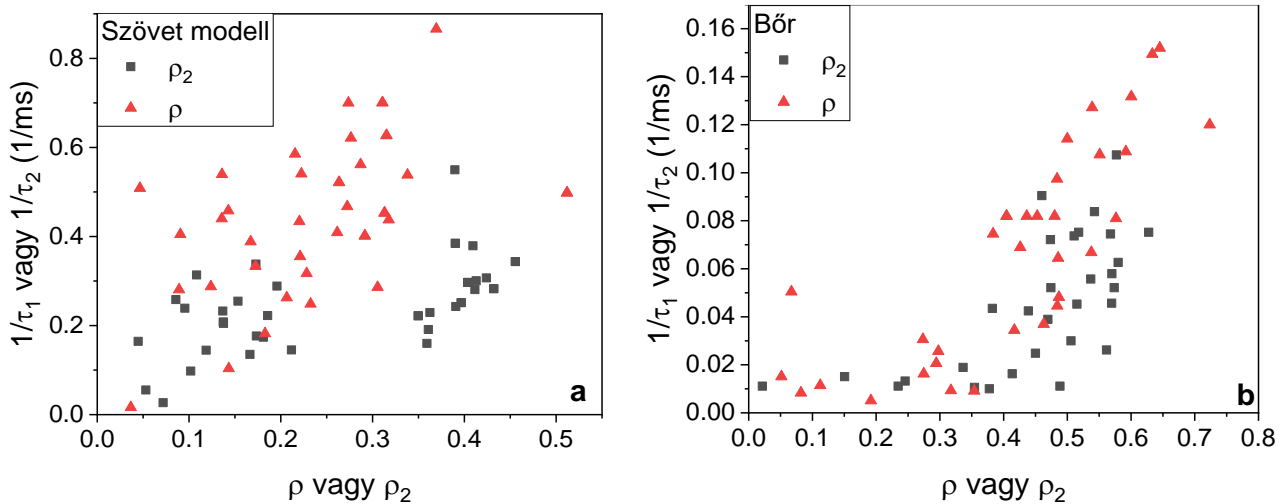
$$\rho_2 = 1 - \frac{K(\infty)}{K(0)} = 1 - \frac{P_2}{\sqrt{P_1^2 + P_2^2}} \quad (3)$$

A fenti összefüggésben $K(0)$, $K(\infty)$ a kontraszt határértéke az expozíciós idő 0-ba és ∞ -be tartása esetén, melyek a 2. ábrán lévő kontraszt görbéken grafikusán is ábrázolunk. Amint látható, egy intenzíven szóró statikus fedőréteg hatására a $K(\infty)$ jelentősen megnő, a görbe $K(0)$ - $K(\infty)$ dinamikai tartománya pedig jelentősen lecsökken. Habár matematikailag eltérő formájú, de a ρ_2 szerepe és viselkedése hasonló az (1) összefüggésben leírt dinamikus szórási arányhoz, azaz az értékük teljesen dinamikus szórás esetén 1, kizárólag mozdulatlan szórócentrumok jelenléte esetén pedig 0 lenne.



2. ábra Kontraszt görbék statikus szóró réteg jelenlétében és fedetlen mikrogömb szuszpenzió esetén

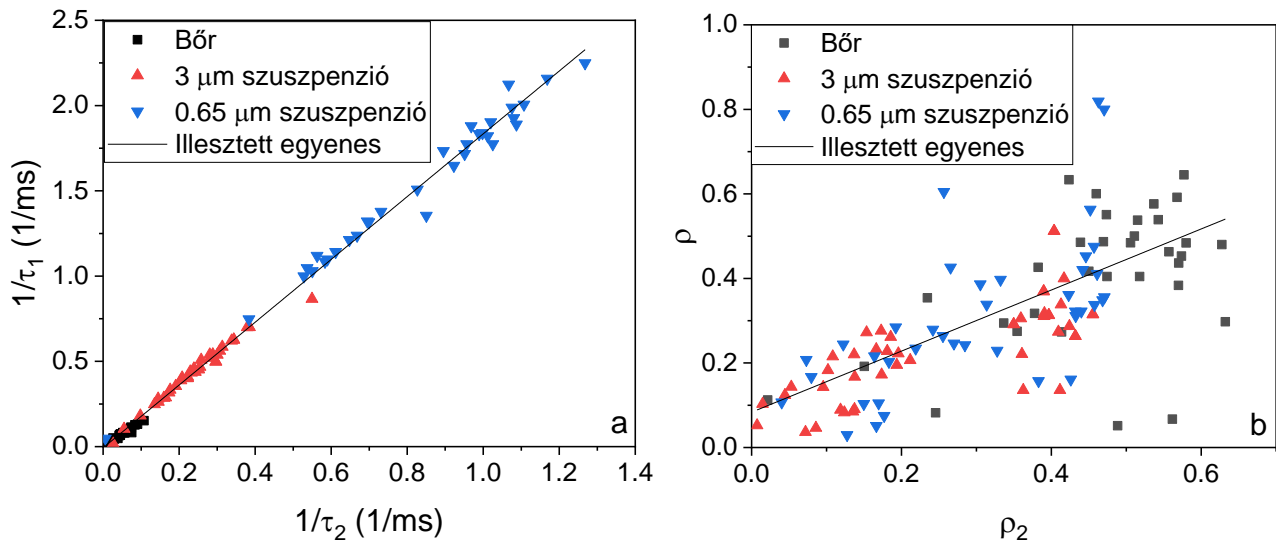
A különböző expozíciós idők esetén mért kontraszt értékekre a két modell (az (1) és (2) egyenletek) függvénye gyakorlatilag teljesen átfedve illeszkedik, csekély mértékben csak az alacsony expozíciós idejű régióban (<1 ms) térnek el egymástól, viszont az illesztésekkel kapott τ korrelációs idők tendenciózusan különböznek mind a szövet modell, mind pedig a bőrfelületen mért adatok esetén.



3. ábra A SCPU viselkedése különböző statikus szóró rétegek esetén modell- (a) és élő (b) szövet használatakor

Az illesztések alapján kapott SCPU és dinamikus hozzájárulás (ρ és ρ_2) értékeket ábrázolva mindkét számolási modell hasonlóviselkedést mutat, azaz ahogy egyre jobban szóró réteget helyezünk a szuszpenzióra, annál jobban csökkent a mért perfúziós érték (3. ábra). Az ábrán jól látható, hogy a teljesen dinamikus szórás elméletileg $\rho = \rho_2 = 1$ esetét nem sikerült elérni, ennek oka lehet, hogy a mérés során a mikrogömbök kitapadhattak a küvetta falán, illetve küvetta alatti fehér papírlap további statikus szóró réteggé viselkedhetett. A bőrfelületen elvégzett mérések esetén a modellek illeszkedésében hasonló tapasztaltunk, mint a szuszpenzió esetén: a ρ és ρ_2 dinamikus szórási aránnyal együtt változik a mért áramlási sebesség (3. ábra), de a tendencia némileg eltérő. Ez azzal magyarázható, hogy míg a szövet modell esetén a statikus szóróréteg fedi a szuszpenziót, bőr esetén már fedetlen állapotban is van statikus szórás úgy, hogy a szóró részek és mozgó vörösvértestek térben keverednek.

A mért áramlási sebesség tartományt egy $0,65\ \mu\text{m}$ átlagos méretű PS mikrogömbökből álló szuszpenzió alkalmazásával kibővítve jól látható (4. ábra), hogy a két modell által adott korrelációs idő értékek között egyenes arányosság áll fenn, valamint jó korrelációt mutatnak a számolt dinamikus szórási paraméterek is (4. ábra). Mind ezt azt jelenti, hogy a csoportunk által bevezetett egyszerűbb kontraszt modell (2) ugyanolyan pontosságú eredményt ad, mint a jóval bonyolultabb, nehezebben illeszthető (1) összefüggés



4. ábra A két kontraszt modell azonos jelentésű tagjai: SCPU (a) és dinamikus szórási arányok (b) közötti összefüggés

4. Összefoglalás

Szöveti modell és bőrfelület esetén is kimutattuk, hogy mindkét kontraszt modellnél a mért áramlási sebesség függ a mozdulatlan szórócentrumok jelenlététől, azaz a dinamikus szórási aránytól. Ez arra utal, hogy a vegyes szórásnak, - amikor is az egyes fotonok mozdulatlan és mozgó részeken egyaránt szóródnak - jelentős hozzájárulása van a speckle interferenciaképek kialakulásában. A két vizsgált számolási modell a statikus szórás hozzájárulásának a kiküszöbölésére lett bevezetve, azonban a vegyes szórással nem tudnak számolni. A vegyes szórás részletesebb vizsgálata céljából egy módosított szövetmodell összeállításán dolgozunk, mellyel külön-külön tudjuk kezelni az egyes komponensek hozzájárulását az interferenciakép kialakulásához.

Köszönetnyilvánítás

A kutatás EFOP-3.6.1-16-2016-00008 azonosítószámú „Intelligens élettudományi technológiák, módszertanok, alkalmazások fejlesztése és innovatív folyamatok, szolgáltatások kialakítása a szegedi tudásbázisra építve” című pályázat támogatásával készült.

Irodalom

- [1] A. B. Parthasarathy, W. J. Tom, A. Gopal, X. Zhang, and A. K. Dunn, *Opt. Express* **16**, 1975 (2008).
<https://doi.org/10.1364/OE.16.001975>
- [2] T. Smausz, D. Zölei, and B. Hopp, *Appl. Opt.* **48**, 1425 (2009).
<https://doi.org/10.1364/AO.48.001425>
- [3] D. Zölei, T. Smausz, B. Hopp, and F. Bari, *J. Eur. Opt. Soc. Rapid Publ.* **8**, 13053 (2013).
<https://doi.org/10.2971/jeos.2013.13053>