

# A spektrális interpoláció hibái

Sándor Norbert, Ondró Tamás,  
Dr. Schanda János

*Veszprémi Egyetem, Szín és Multimédia Laboratórium*

# Bevezetés

---

- Külön CIE Technikai Bizottság foglalkozik a kérdéssel
- Elméleti és gyakorlati szempontok
- Ma használatos interpolációs eljárások:

- Lineáris
- Lagrange
- Cubic Spline
- Sprague

# Bevezetés

---

1992: Divízió 1(USA):

„Compatibility of Tabular Data for Computational Purposes”

Szemponatok:

- mintavételi tartomány
- mintavétel lépésköze
- tizedesek száma
- interpolációs és extrapolációs eljárások pontossága

**Table I.** Form of CIE tables of spectral data existing in June 1993

Publ.	Table	Min.	Max.	Interval	Digits
S 001	pg. 15	300 nm	830 nm	1 nm	6
S 002	1	360	830	1	7, 5, sums 15
S 002	2	360	830	1	6, 5, sums 15
13.2	1	360	830	5	3
13.2	2	360	830	5	3
15.2	1.1	300	830	5	5
15.2	1.2	300	830	5	5
15.2	2.1	380	780	5	5, 4, sums 6
15.2	2.2	380	700	5	5, 4, sums 6
15.2	2.3	380	780	5	4
15.2	2.4	380	780	5	4
15.2	2.5	380	780	5	5, 5
15.2	2.6	27750 <sup>a</sup>	12250 <sup>a</sup>	250 <sup>a</sup>	6, 5
15.2	3.1	380	780	5	4
15.2	A1	320	770	5	5
17.4	pg. 13	380	780	10	3, 4
18.2	II	360	830	1	7
18.2	III	380	780	1	4
18.2	IV	360	830	10	5, 4
46 <sup>b</sup>					
51	1	400	700	5	3
51	2	300	700	5	3
51	3	400	700	5	3
69 <sup>c</sup>					
75 <sup>c</sup>	5.1	400	700	10	3
75	5.2	400	730	10	3
75	5.3	400	740	10	3
75	6.1	400	740	10	3
75	6.2	400	730	10	3
76	III	300	700	10	4
76	IV	300	700	10	4
76	V	300	700	10	4
76	VI	380	700	10	4
76	VII-XI	380	700	10	5
76	XIII-XVII	380	700	10	5
85	1	0 <sup>d</sup>	25000 <sup>e</sup>	<sup>g</sup>	3, 4
85	2-5	0.305 <sup>f</sup>	1.860 <sup>f</sup>	<sup>g</sup>	4
85	6,7	0.300 <sup>f</sup>	2.300 <sup>f</sup>	<sup>g</sup>	4
85c	8	0.300 <sup>f</sup>	2.300 <sup>f</sup>	<sup>g</sup>	4

<sup>a</sup>wave number, cm-1. <sup>b</sup>Experimental data in various forms. <sup>c</sup>Graphs. <sup>d</sup>0-250 nm. <sup>e</sup>4000-25000 nm. <sup>f</sup>micrometres. <sup>g</sup>Varying.

# Bevezetés

---

A „Szín Technológia” területén rengeteg számítási feladatra van szükség

Bemeneti adatok: erőteljesen hullámhossz függő mennyiségek:

- Pl.:
- fényforrások spektrális teljesítményeloszlása
  - felületek sugár visszaverési tényezői, áteresztési érzékenységei
  - emberi látás spektrális természete

ezek sokszor táblázatban rögzített adatok.

Elengedhetetlen a kompatibilitás!

# Bevezetés

---

Táblázatban rögzített adatok lehetnek:

CIE standard data	– standardizált
CIE recommended data	– ajánlott
CIE measured data	– mérés által meghatározott

- Elméleti függvények által meghatározott:  
pl. CIE Standard Illuminant A
- Empirikus adatok: táblázatban léteznek, 1nm  
kivétel: fénycsövek, nagynyomású lámpák, 5nm

# Bevezetés

---

Definíció szerint:

- reflektáló vagy áteresztő minta esetén, annak tristimulusos értékei

$$T_i = k \int_0^{\infty} S_{\lambda} \rho(\lambda) \bar{t}_i(\lambda) d\lambda, \quad k = \frac{100}{\int_0^{\infty} S_{\lambda} \bar{t}_2(\lambda) d\lambda}$$

$S_{\lambda}$  – megvilágító spektrális teljesítményeloszlása

$\rho_{\lambda}$  – minta spektrális sugár visszaverési tényezője, (áteresztés esetén  $\tau_{\lambda}$ )

$i = 1$  esetén  $x$ ,  $i = 2$  esetén  $y$  és  $i = 3$  esetén  $z$  színinger-egyeztető függvény

Gyakorlatban:

$$T_i = k \sum_0^{\infty} S_{\lambda} \rho(\lambda) \bar{t}_i(\lambda) \Delta\lambda, \text{ hasonlóan } k\text{-ra is.}$$

# Bevezetés

---

→ milyen  $\Delta\lambda$  érték szolgáltat pontos eredményeket?

CIE ajánlása szerint:

- a spektrum 380 – 780 nm-es látható színtartománya
- 1 nm-es lépésköz

- nem mindig kivitelezhető,
- műszerek: 2, 5, 10nm vagy nagyobb lépésköz

→ milyen módszer szükséges ezen adatok 1nm-re interpolálásához?

→ elméleti síkon végzett vizsgálatok

→ GYAKORLATI szempontból is meg kell vizsgálni!!, milyen különbségek adódhatnak színmetrikai számítások során.



# Interpolációs eljárások

---

Típusok:

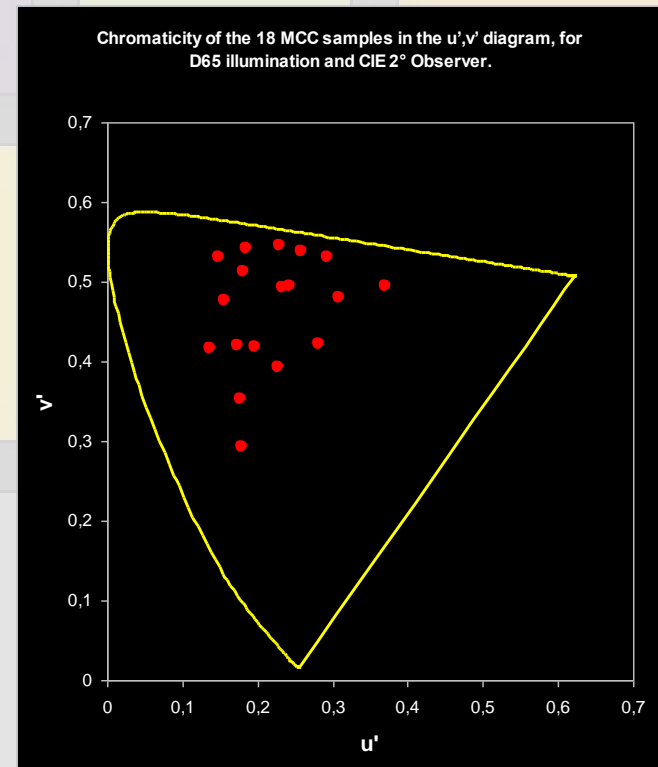
1. Lineáris:
  - régebbi időkben ez volt az általánosan elfogadott gyakorlat
  - még mindig a hivatalos eljárás: 10nm-es nappali sugárzáseloszlás
2. Lagrange: későbbi preferált
3. Cubic Spline: későbbi preferált
4. Sprague: gyakorlatilag ekvivalens Judd interpolációs eljárásával, jóval bonyolultabb eljárás

Készült egy számítógépes program(Ondró Tamás), ezen eljárások felhasználására.

# Tesztminták

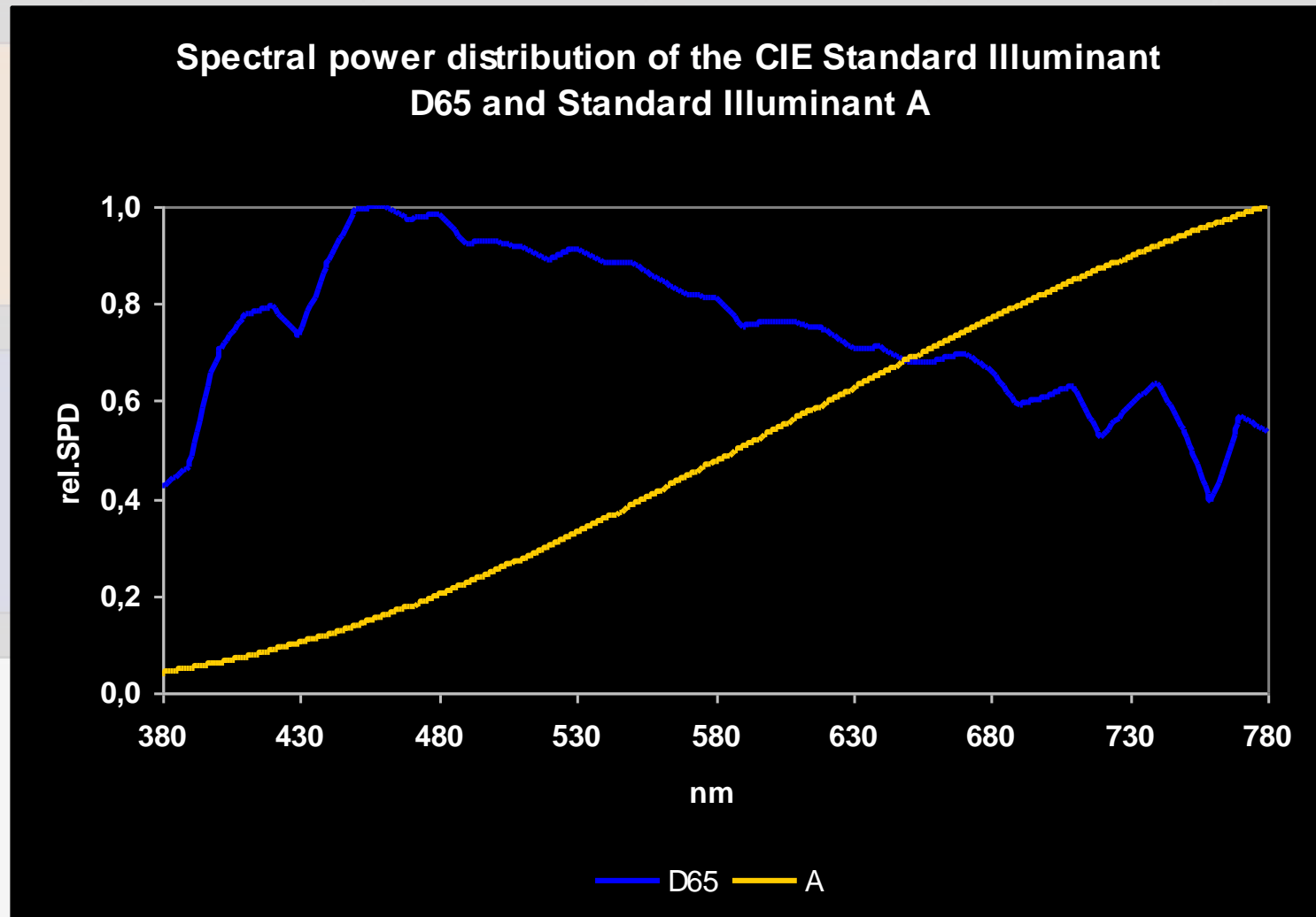
---

- Macbeth ColorChecker Chart 18 darab színes mintáját használtuk
- mérések:
  - PR705 spektrométerrel végeztük
  - $0^\circ/45^\circ$ -os mérési geometria
  - fehér halon-etalon, mint referencia fehér
- fényforrások:
  - CIE Standard Illuminant A
  - CIE Standard Illuminant D65



# Fényforrások spektrumai

---



# Számítások

---

1. lépés:

- $\rho(\lambda)$  meghatározása: 2nm  $\rightarrow$  1nm, Sprague interpolációval (CIE ajánlás)
- ezek lesznek az un. bemeneti értékeink

Table 1: Luminance factor and chromaticity co-ordinates of the 18 Macbeth Color Checker Chart samples determined for D65 illumination, 2° Standard Observer and 1 nm sampling

MCC No.	Y	x	y
1	10,40	0,3923	0,3557
2	35,62	0,3802	0,3558
3	18,96	0,2476	0,2655
4	13,78	0,3343	0,4215
5	24,22	0,2717	0,2569
6	43,47	0,2631	0,3583
7	28,46	0,5025	0,4052
8	12,41	0,2151	0,1896
9	19,42	0,4510	0,3113

MCC No.	Y	x	y
10	6,96	0,2894	0,2221
11	43,76	0,3756	0,4884
12	42,20	0,4715	0,4355
13	6,17	0,1921	0,1399
14	23,73	0,3048	0,4850
15	11,43	0,5288	0,3136
16	57,98	0,4450	0,4711
17	19,32	0,3644	0,2422
18	19,71	0,2001	0,2692

# Számítások

---

2. lépés:

- 5 és 10 nm-es spektrumok képzése
- kicsi, de 10 nm-nél már nem elhanyagolható különbségek

	5 nm sampling			10 nm sampling		
	Y	x	y	Y	x	y
1	10,39	0,3922	0,3555	10,39	0,3921	0,3554
2	35,63	0,3802	0,3558	35,63	0,3802	0,3560
3	18,97	0,2476	0,2655	18,96	0,2477	0,2655
4	13,77	0,3343	0,4215	13,78	0,3343	0,4217
5	24,22	0,2718	0,2570	24,20	0,2717	0,2568
6	43,47	0,2631	0,3583	43,45	0,2631	0,3583
7	28,46	0,5024	0,4051	28,44	0,5023	0,4051
8	12,41	0,2151	0,1895	12,40	0,2151	0,1895
9	19,43	0,4509	0,3112	19,42	0,4510	0,3113
10	6,96	0,2895	0,2223	6,96	0,2893	0,2224
11	43,77	0,3756	0,4885	43,77	0,3755	0,4887
12	42,21	0,4716	0,4356	42,18	0,4715	0,4358
13	6,17	0,1921	0,1398	6,17	0,1921	0,1398
14	23,74	0,3047	0,4850	23,73	0,3047	0,4849
15	11,44	0,5285	0,3135	11,45	0,5283	0,3136
16	57,99	0,4449	0,4711	57,99	0,4448	0,4714
17	19,31	0,3643	0,2422	19,30	0,3644	0,2422
18	19,71	0,2001	0,2692	19,69	0,2001	0,2689

# Számítások

---

3. lépés:

- az 5 és 10nm-es adatok -> 1nm: 4 féle interpolációs eljárással

→ MCC tristimulusos értékek, CIELAB koordináták meghatározása

→ CIEALAB  $\Delta E$  színkülönbségek kiszámítása az eredeti, és a mintavételezett, ill. interpolált spektrumok felhasználásával

# Eredmények: CIE D65, 5nm

---

Sample No.	5 nm data	Linear	Lagrange	Spline	Sprague
1	0,0312	0,0171	0,0156	0,0250	0,0251
2	0,0439	0,0651	0,0491	0,0558	0,0558
3	0,0149	0,0433	0,0448	0,0249	0,0249
4	0,0113	0,0371	0,0254	0,0222	0,0222
5	0,0187	0,0601	0,0574	0,0277	0,0278
6	0,0140	0,0435	0,0240	0,0151	0,0151
7	0,0390	0,0555	0,0206	0,0333	0,0333
8	0,0174	0,0629	0,0192	0,0251	0,0251
9	0,0496	0,0580	0,0398	0,0344	0,0343
10	<b>0,0780</b>	0,0705	0,0546	0,0506	0,0506
11	0,0450	0,0430	0,0263	0,0396	0,0396
12	0,0730	0,0629	0,0584	<b>0,0709</b>	<b>0,0709</b>
13	0,0089	<b>0,1385</b>	0,0268	0,0143	0,0142
14	0,0211	0,0778	0,0201	0,0102	0,0103
15	0,0617	0,0484	<b>0,0639</b>	0,0631	0,0631
16	0,0197	0,0771	0,0399	0,0193	0,0193
17	0,0216	0,0393	0,0272	0,0264	0,0264
18	0,0484	0,0676	0,0331	0,0530	0,0530
Max	<b>0,0780</b>	0,1385	<b>0,0639</b>	<b>0,0709</b>	<b>0,0709</b>
Ave	<b>0,0343</b>	0,0635	0,0374	<b>0,0359</b>	<b>0,0359</b>

# Eredmények: CIE A, 5nm

---

Sample No.	5 nm data	Linear	Lagrange	Spline	Sprague
1	0,0257	0,0123	0,0142	0,0171	0,0172
2	0,0305	0,0539	0,0380	0,0438	0,0438
3	0,0161	0,0424	0,0444	0,0293	0,0293
4	0,0084	0,0339	0,0315	0,0282	0,0283
5	0,0206	0,0592	<b>0,0593</b>	0,0315	0,0315
6	0,0191	0,0547	0,0246	0,0225	0,0225
7	0,0229	0,0489	0,0121	0,0207	0,0207
8	0,0242	0,0463	0,0297	0,0361	0,0361
9	0,0437	0,0679	0,0379	0,0349	0,0349
10	0,0581	0,0584	0,0578	0,0426	0,0426
11	0,0290	0,0502	0,0214	0,0253	0,0253
12	0,0506	0,0241	0,0546	0,0502	0,0502
13	0,0107	<b>0,0891</b>	0,0207	0,0086	0,0086
14	0,0172	0,0622	0,0184	0,0084	0,0085
15	<b>0,0674</b>	0,0638	0,0514	<b>0,0684</b>	<b>0,0684</b>
16	0,0176	0,0857	0,0327	0,0254	0,0254
17	0,0230	0,0376	0,0195	0,0239	0,0239
18	0,0495	0,0730	0,0499	0,0574	0,0575
Max	<b>0,0674</b>	0,0891	<b>0,0593</b>	<b>0,0684</b>	<b>0,0684</b>
Ave	<b>0,0297</b>	0,0554	0,0357	<b>0,0338</b>	<b>0,0338</b>



# Eredmények: CIE D65, 10nm

---

Sample No.	10 nm data	Linear	Lagrange	Spline	Sprague
1	0,0924	0,0773	0,0720	0,0879	0,0880
2	0,0777	0,1232	0,0540	0,0806	0,0810
3	0,0378	0,0638	0,0855	0,0391	0,0391
4	0,0319	0,1376	0,0135	0,0283	0,0284
5	0,0928	0,0686	0,1158	0,0983	0,0986
6	0,0339	0,2125	0,0751	0,0287	0,0284
7	0,0998	0,2144	0,0280	0,0841	0,0848
8	0,0825	0,2317	0,0955	0,0867	0,0873
9	0,0335	0,2443	0,0317	0,0229	0,0232
10	0,0898	0,1308	0,0549	0,0648	0,0648
11	0,0845	0,2556	0,0179	0,0889	0,0889
12	0,1231	0,1743	0,0744	0,1274	0,1268
13	0,0308	<b>0,4905</b>	0,0760	0,0235	0,0245
14	0,0341	0,3724	0,0292	0,0348	0,0346
15	0,0983	0,2276	0,0918	0,0996	0,0996
16	0,0878	0,1999	0,0951	0,0911	0,0911
17	0,0219	0,2411	0,0073	0,0310	0,0313
18	<b>0,1686</b>	<b>0,1882</b>	<b>0,2026</b>	<b>0,1522</b>	<b>0,1523</b>
Max	<b>0,1686</b>	<b>0,4905</b>	0,2026	<b>0,1522</b>	<b>0,1523</b>
Ave	<b>0,0734</b>	<b>0,2030</b>	<b>0,0678</b>	<b>0,0706</b>	<b>0,0707</b>

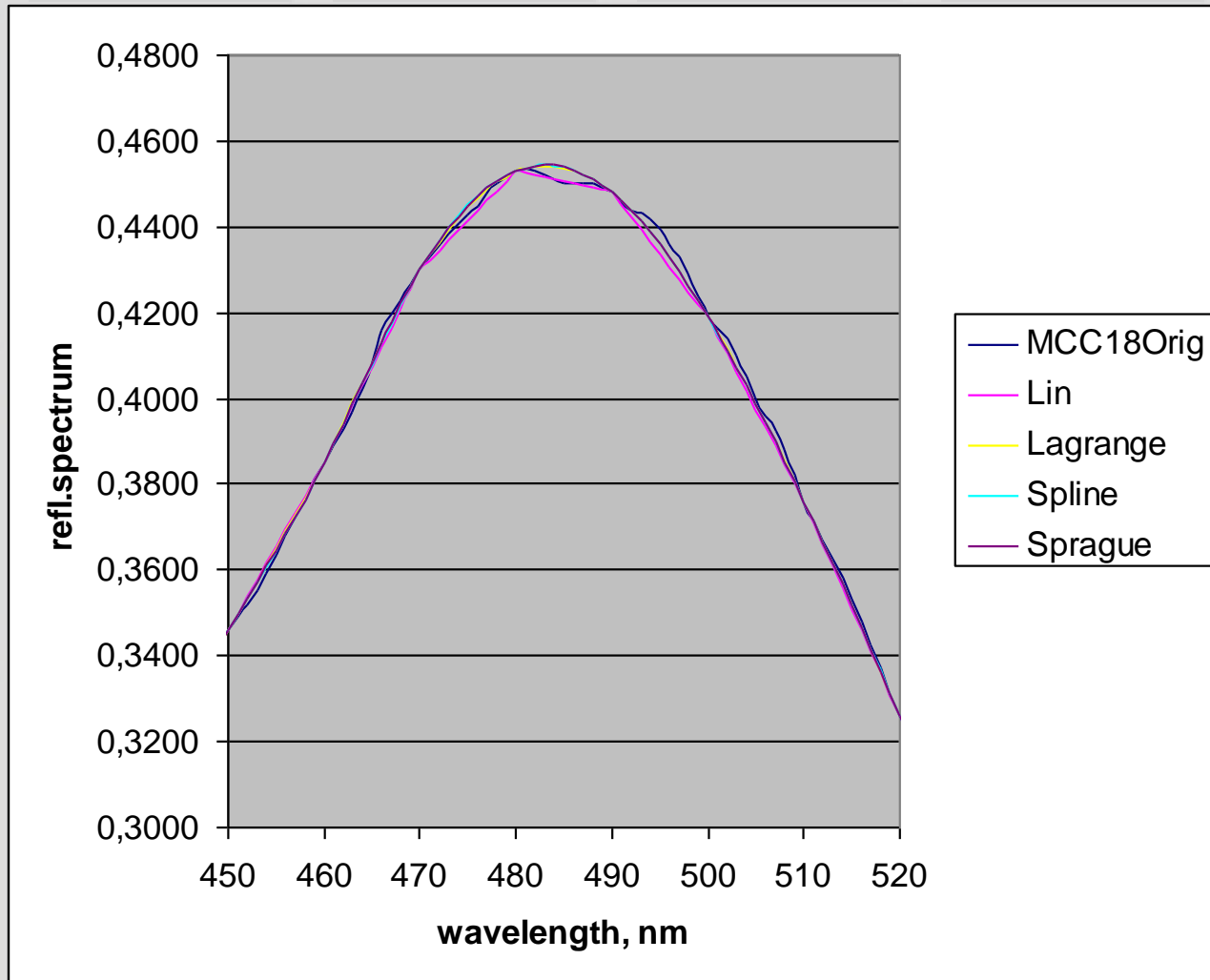
# Eredmények: CIE A, 10nm

---

Sample No.	10 nm data	Linear	Lagrange	Spline	Sprague
1	0,0733	0,0743	0,0565	0,0726	0,0726
2	0,0652	0,1235	0,0562	0,0648	0,0651
3	0,0183	0,0698	0,0639	0,0217	0,0218
4	0,0234	0,1275	0,0103	0,0229	0,0231
5	0,0822	0,0612	0,0962	0,0860	0,0861
6	0,0401	0,1908	0,0807	0,0399	0,0397
7	0,0683	0,1990	0,0265	0,0672	0,0676
8	0,0634	0,1633	0,0820	0,0715	0,0719
9	0,0369	0,2366	0,0282	0,0360	0,0363
10	0,0628	0,0802	0,0578	0,0637	0,0638
11	0,0513	0,2570	0,0098	0,0548	0,0550
12	0,0574	0,1365	0,0316	0,0593	0,0589
13	0,0263	0,3098	0,0817	0,0406	0,0414
14	0,0367	0,2881	0,0359	0,0363	0,0361
15	0,1355	0,2362	0,0816	0,1343	0,1339
16	0,0379	0,2563	0,0219	0,0379	0,0379
17	0,0417	0,2077	0,0120	0,0424	0,0426
18	0,1174	0,1464	0,1616	0,1206	0,1209
Max	0,1355	0,3098	0,1616	0,1343	0,1339
Ave	0,0577	0,1758	0,0552	0,0596	0,0597

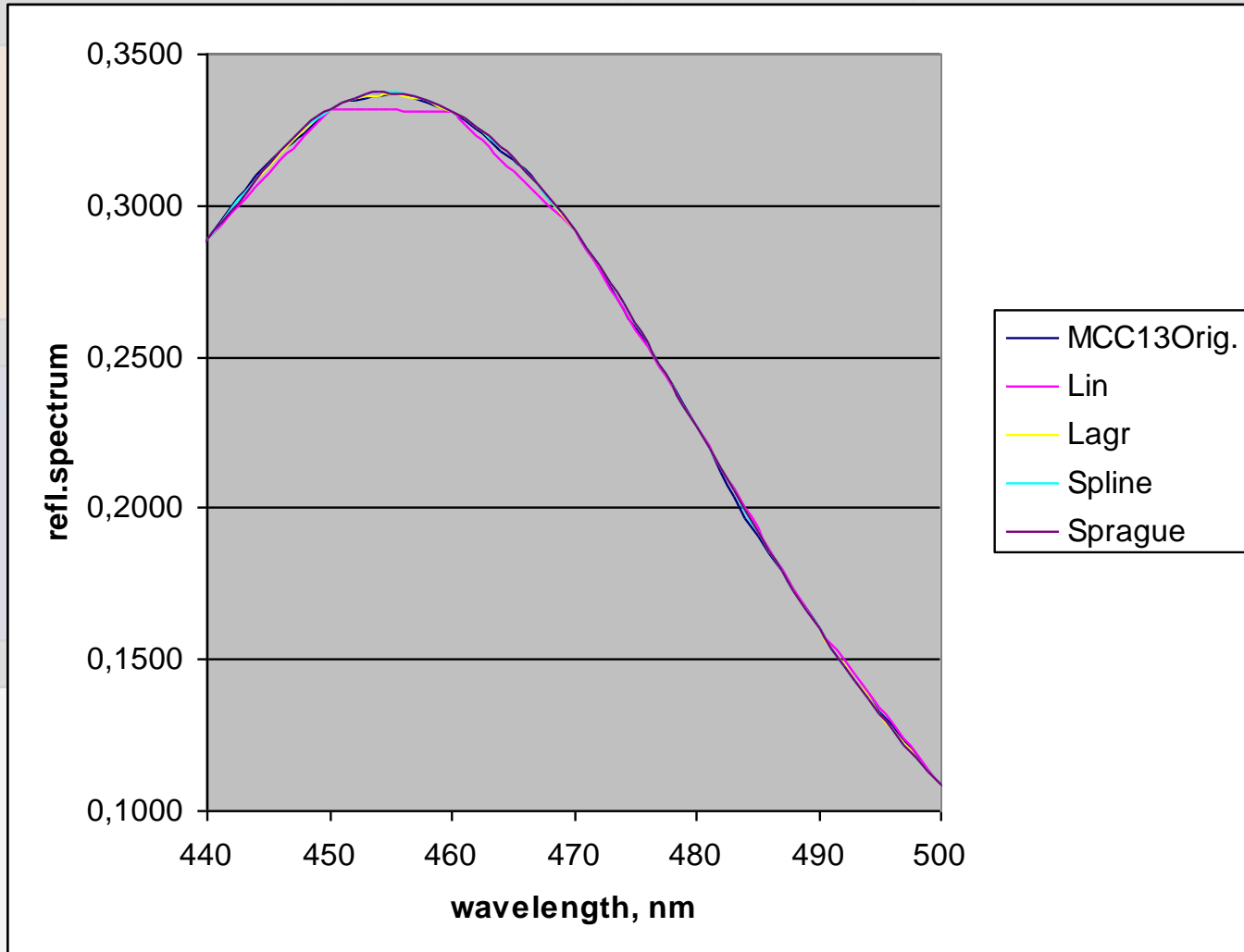
# MCC 18-as minta, CIE D65, 10nm

---



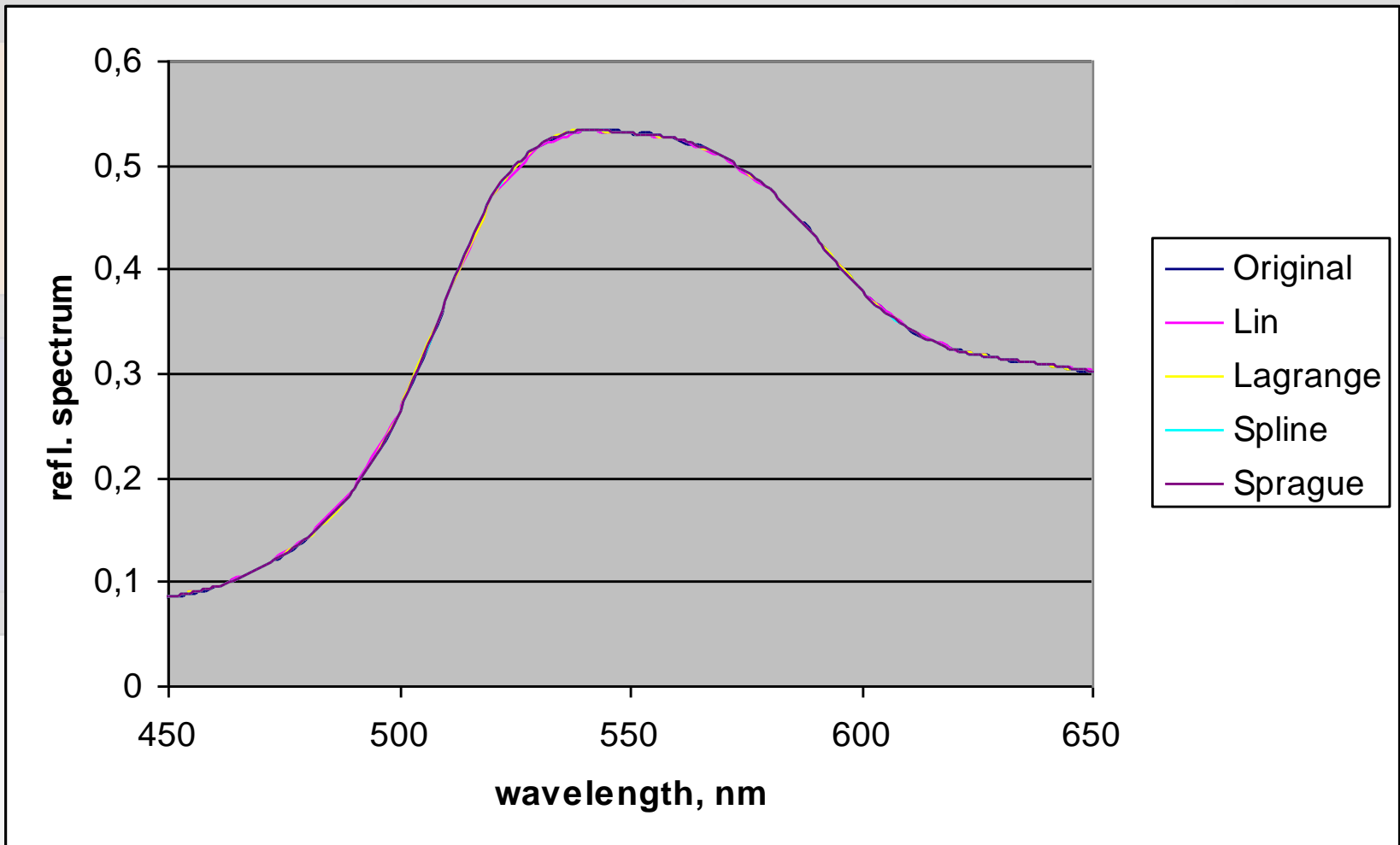
# MCC 13-as minta, CIE D65, 10nm

---



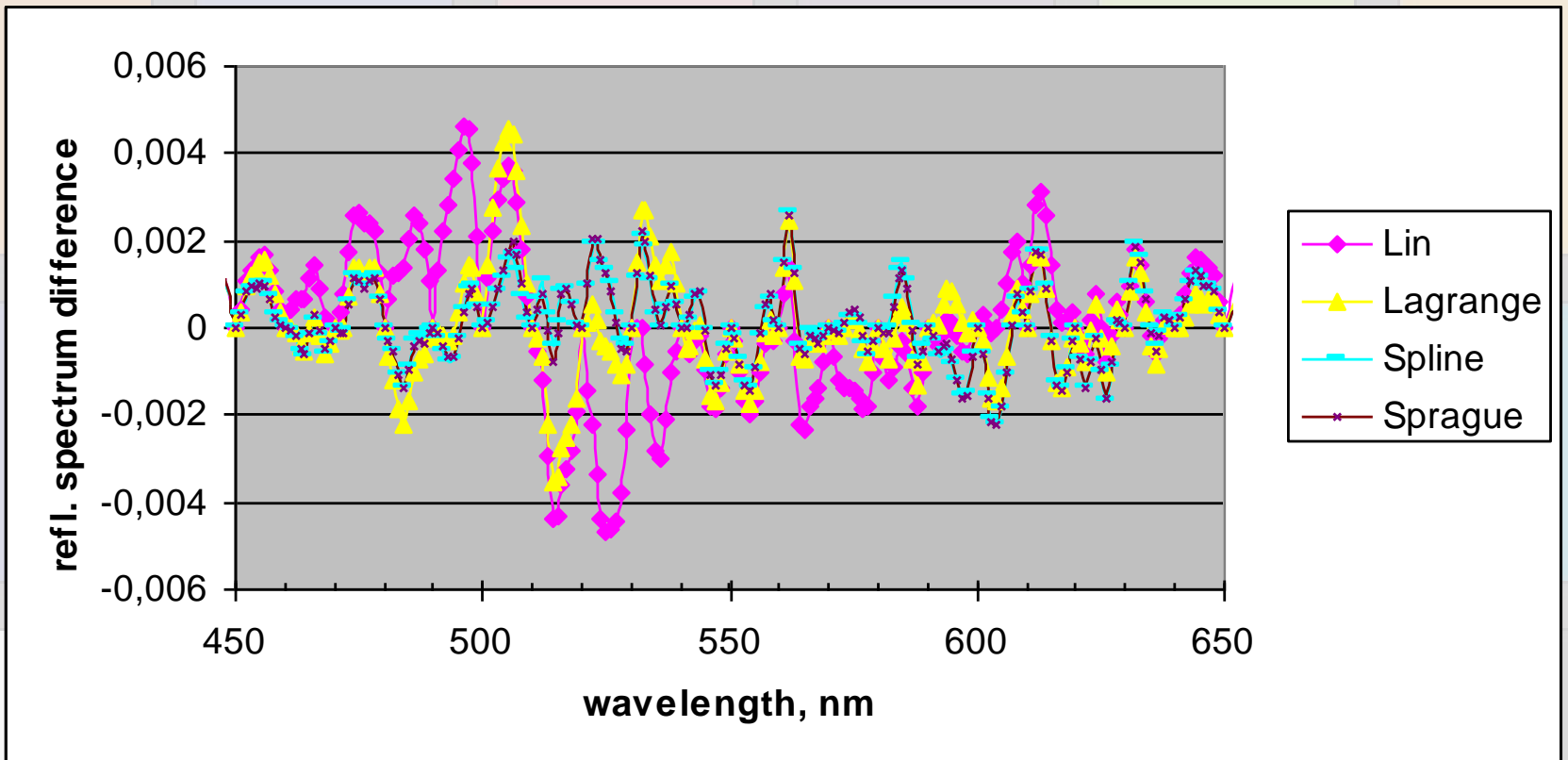
# MCC 11-es minta, CIE A, 10nm

---



# MCC 11-es minta, CIE A, 10nm


---



# Összefoglalás

---

1. Megmutattuk, hogy a CIE új technikai jelentésében megfogalmazottak, miszerint az egyenletes, szabályos folytonos spektrumok esetében, azok gyakorlati alkalmazásakor az 5nm-es mintavételezés elegendő.
2. 10nm ill. nagyobb mintavétel számottevő eltéréseket okozhat.
3. Billmeyer és Fairman a Lagrange valamint Cubic Spline eljárások összehasonlítása során, egyiket sem találták előnyösebbnek a másikhoz képest.  
Megmutattuk, hogy a CIE által preferált Sprague interpoláció sem ad jobb eredményeket.
4. Függetlenül a nem-lineáris interpolációs technikáktól, az is megmutatható, hogy a tristimulusos értékek tekintetében sem kapunk jobb eredményt, ha 1nm-re interpolálunk, mintha vennénk az értékeket 5nm-enként.



**Köszönöm megtisztelő  
figyelmüket!**