

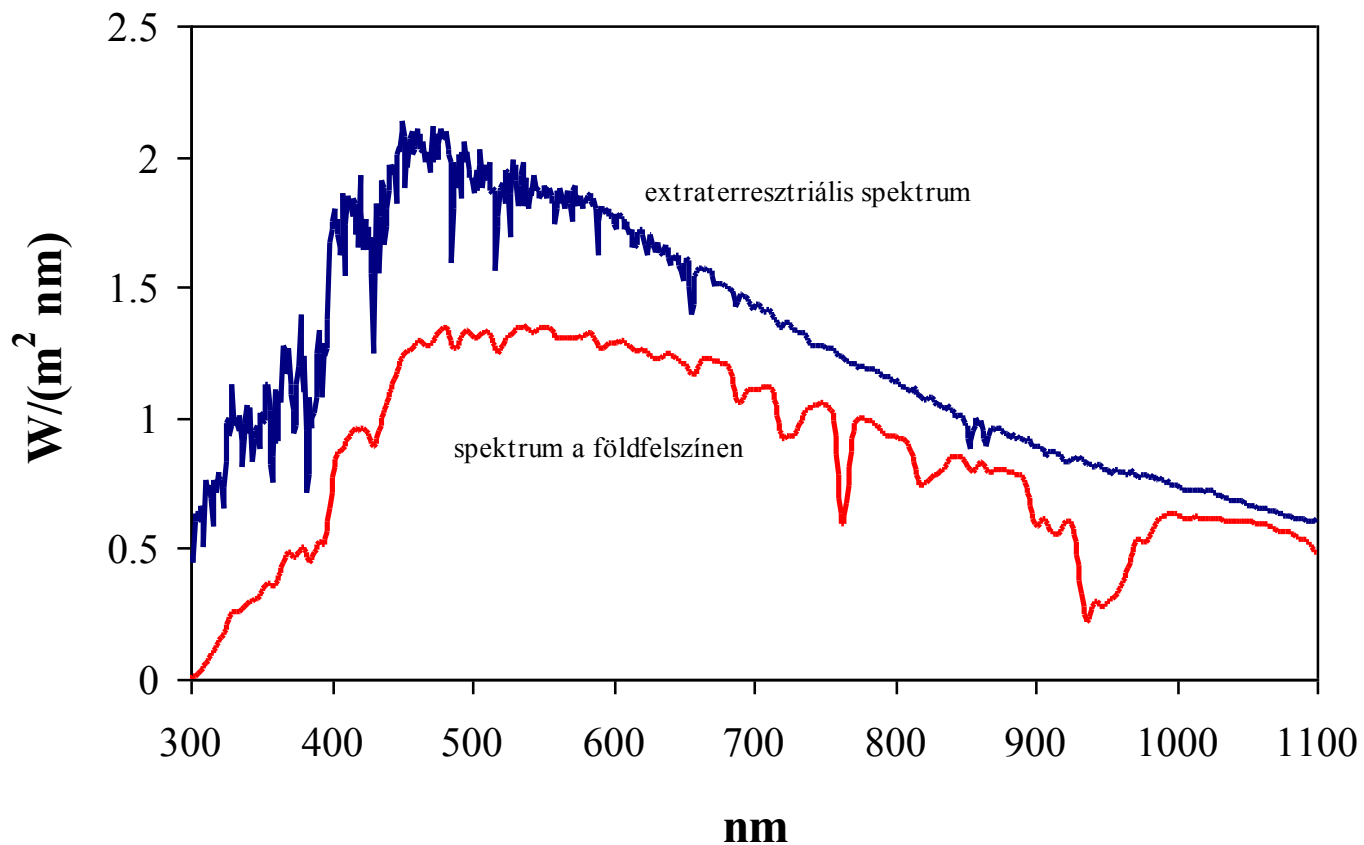
**NAGYFELBONTÁSÚ NAPSPEKTROFOTOMETRIA ÉS  
KESKENYSÁVÚ NAPSUGÁRZÁSMÉRÉSEK AZ  
ORSZÁGOS METEOROLÓGIAI SZOLGÁLATNÁL: UV  
SUGÁRZÁS, TELJES ÓZONTARTALOM, AEROSZOL  
OPTIKAI PARAMÉTEREK**



**Tóth Zoltán**

*Országos Meteorológiai Szolgálat  
Légkörfizikai és Méréstechnikai Osztály  
Budapest, Gilice tér 39. 1181  
E-mail: [toth.z@met.hu](mailto:toth.z@met.hu)*

# A napsugárzás spektrális eloszlása a légkörön kívül és a földfelszínen a 300 és 1100 nm-es hullámhosszok között



1. A probléma fizikája
2. A mérés fizikai elve
3. Méréstechnika
4. Mérőberendezések az OMSZ-nál
5. WMO VI. Regionális Napsugárzási Központ, Budapest
6. Eredmények, nemzetközi együttműködések



## Elektromágneses spektrum vagy színekép:

Valamely elektromágneses sugárzás energiájának hullámhossz (frekvencia) szerinti felbontása

**Spektrofotometria:** spektrálisan felbontott sugárzások meghatározása, mérése, így fontos része az atom- és molekulaszpektrumok meghatározásának. Ha a vizsgált elektromágneses sugárzás forrása a Nap: **napspektrofotometriának** hívjuk

Wollaston (1802): finom sötét vonalak a Nap színeképében

Fraunhofer (1814): ezek hidegebb gázok abszorpciós vonalai

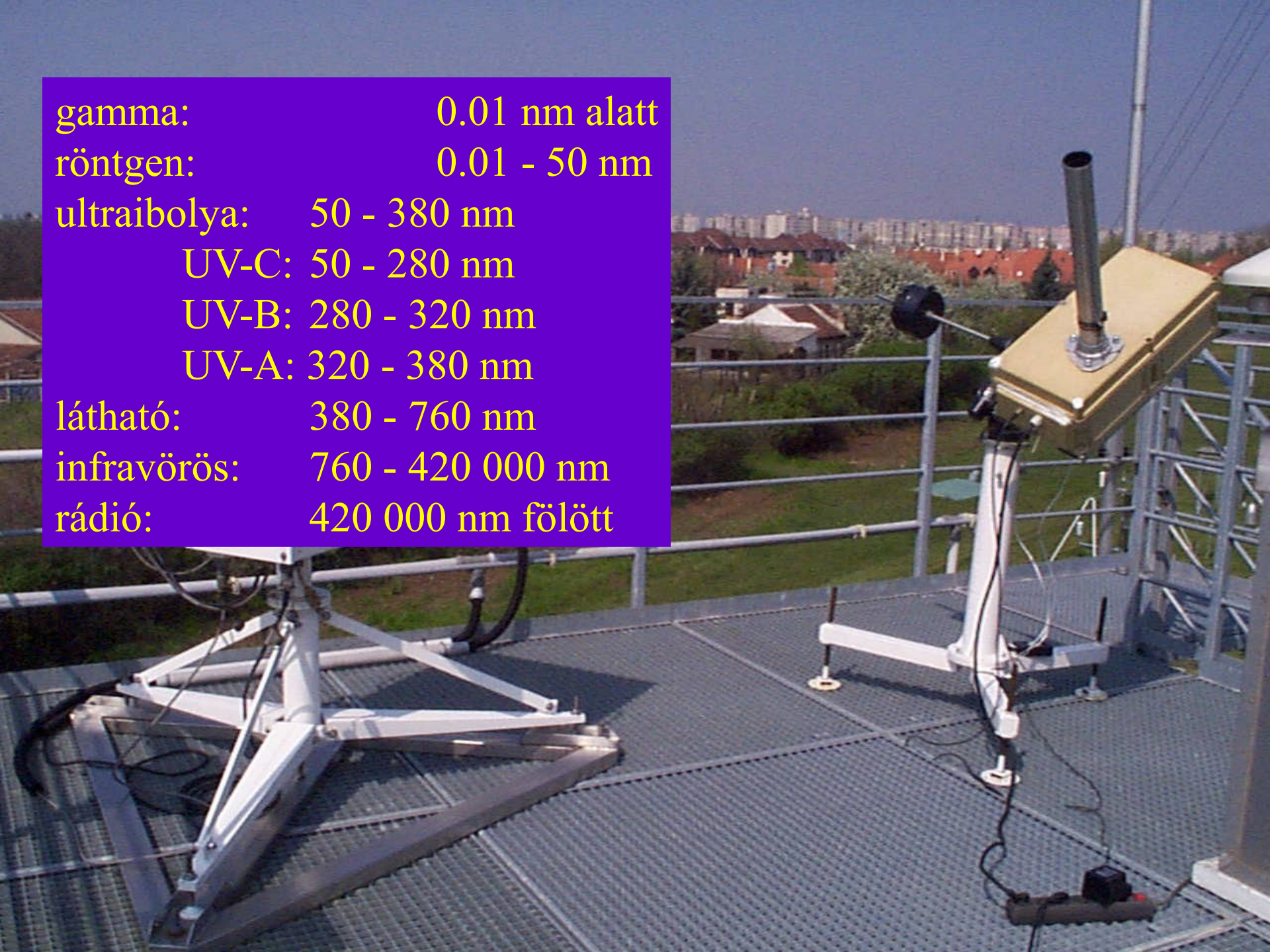
Folytonos színekép, vonalas színekép

Vonalak: atommag körüli elektronátmenetek

Sávok: molekulák vibrációs és rotációs átmeneteiből származó vonalak összessége

Részletes magyarázat: atomfizika > kvantumelektrodinamika

gamma: 0.01 nm alatt  
röntgen: 0.01 - 50 nm  
ultraibolya: 50 - 380 nm  
UV-C: 50 - 280 nm  
UV-B: 280 - 320 nm  
UV-A: 320 - 380 nm  
látható: 380 - 760 nm  
infravörös: 760 - 420 000 nm  
rádió: 420 000 nm fölött



- elmélet: monokromatikus mennyiségek (absztrakció, hiszen nulla szélességű energiatartományhoz nem tartozhat nullától különböző radiancia)
- mérés technika: kvázi-monokromatikus mennyiségek

Kvázi-monokromatikus intenzitás:

$$I_{\lambda}^q = \int_{\lambda - \Delta\lambda}^{\lambda + \Delta\lambda} I_{\lambda} d\lambda$$

ahol:

$q$

$I_{\lambda}^q$ : kvázi-monokromatikus intenzitás

$I_{\lambda}$ : elméleti monokromatikus intenzitás

$\lambda$ : a spektrális sáv centrumának hullámhossza

$\Delta\lambda$ : a spektrális sáv félszélessége



Spektrális irradiancia mérésének célja lehet információt kapni:

- a sugárforrásról (pl. Nap)magáról (pl. asztrofizika)
- ismert emissziójú sugárforrás (pl. Nap)és a detektor közti térrésről (pl. légkörfizika)

„spektrális”:

- szélesebb tartományok (NOAA látható: 100 nm, infravörös: 375 nm, csillagászati többszínfotometria: 30-40 nm)
- kvázi-monokromatikus (1 - 5 nm)
- vonal (0.01 - 0.001 nm, pl.  $L_{\alpha}$ ,  $H_{\alpha}$ )



## Sugárzásátvitel: fotonok kölcsönhatása közeggel

Az  $s$  irányba haladó radiancia megváltozásával írható le. Sematikusan:

$$dI_{\lambda} = \sigma_{\varepsilon\lambda} B_{\lambda}(T) + F_{\lambda}(s') - \sigma_{a\lambda} I_{\lambda} - \sigma_{s\lambda} I_{\lambda}$$

ahol:

$dI_{\lambda}$ : az  $s$  irányba haladó sugárzás radianciájának megváltozása

$\sigma_{\varepsilon\lambda}$ : emissziós koefficiens

$B_{\lambda}(T)$ : forrásfüggvény (gerjesztési élettartam, relaxációs idő)

$F_{\lambda}(s')$ : szórásfüggvény (megadja, hogy az  $s'$  irányból érkező sugárzásból mekkora rész szóródik hozzá az  $s$  irányúhoz)

$\sigma_{a\lambda}$ : abszorpciós koefficiens

$\sigma_{s\lambda}$ : szórási koefficiens

Sugárzásátviteli egyenlet:

$$-\frac{1}{\sigma_{\varepsilon\lambda}} \frac{dI_{\lambda}}{ds} = I_{\lambda} - B_{\lambda}(T)$$



## Optikai mélység:

Elektromágneses sugárzás gyengülése adott közegben - általános sugárzásátvitel speciális esete (Beer-Bougert-Lambert):  
 $dx$  vastagságú réteg esetén a  $\lambda$  hullámhosszúságú  $I_{\lambda 0}$  belépő monokromatikus irradiancia a  $dx$  út megtétele utáni  $-dI_{\lambda}$  csökkenése arányos az  $I_{\lambda 0}$ -lal és a  $dx$ -szel, tehát:

$$-dI = \sigma_{e\lambda} I_{\lambda 0} dx$$

$$-dI = \sigma_{e\lambda} I_{\lambda 0} dx$$

ahol  $\sigma_{e\lambda}$  extinkciós koefficiens csak a közeg anyagi minőségétől és a  $\lambda$  hullámhosszúságtól függ (ha a közegben az abszorpciós koefficiens  $\sigma_{a\lambda}$ , és a szórási koefficiens  $\sigma_{s\lambda}$ , akkor:  $\sigma_{e\lambda} = \sigma_{a\lambda} + \sigma_{s\lambda}$ )

$$I_{\lambda} = I_{\lambda 0} e^{-\sigma_{e\lambda} d}$$

ahol  $I_{\lambda}$  az irradiancia  $d$  út megtétele után

## Optikai mélység:

Ebből az extinkciós koefficiens:

$$\sigma_{e\lambda} = \frac{1}{d} \ln \frac{I_{\lambda 0}}{I_{\lambda}}$$

Légkörre alkalmazva > optikai mélység: azt jellemzi, hogy  $\lambda$  hullámhosszúságú sugárzás milyen mértékben gyengül, ha a világútból a  $z$  magasságú pontba jut, vagy a  $z$  magasságú pontból a világútba (földfelszíni napspektrofotométeres méréseknél így nyilván praktikusán  $z = 0$ ). Ezért az optikai mélységet úgy definiáljuk, hogy az extinkciós együtthatót  $z$  magasságtól végtelenig integráljuk:

$$\delta_{\lambda}(z) = \int_z^{\infty} \sigma_e(z') dz'$$

## Optikai mélység:

Így kiszámítható minden adott  $\lambda$  hullámhosszra az adott komponens abszorpciója és szórása miatti gyengítés mértéke, amelyet az optikai mélységgel adunk meg.

$\lambda$  hullámhosszon  $g_1, g_2, \dots, g_n$  gáz is abszorbeál, összmenyiségeik:  $x_1, x_2, \dots, x_n$  > abszorpciós koefficienseik:  $\sigma_{a\lambda}(g_1), \sigma_{a\lambda}(g_2), \dots, \sigma_{a\lambda}(g_n)$  kiszámíthatóak az abszorpció miatti optikai mélységeik:

$$\delta_{a\lambda}(g_1) = x_1 \sigma_{a\lambda}(g_1), \quad \delta_{a\lambda}(g_2) = x_2 \sigma_{a\lambda}(g_2), \quad \dots \quad \delta_{a\lambda}(g_n) = x_n \sigma_{a\lambda}(g_n)$$

Az adott hullámhosszon a légkör teljes optikai mélysége:

$$\delta_{\lambda} = \delta_{a\lambda}(g_1) + \delta_{a\lambda}(g_2) + \dots + \delta_{a\lambda}(g_n) + \delta_{A\lambda} + \delta_{R\lambda}$$

ahol  $\delta_a(\lambda)$  az aeroszol optikai mélység,  $\delta_R(\lambda)$  pedig a Rayleigh-szórás (szóródás a légköri molekulákon) optikai mélysége

# Légköri gáz légoszlopban lévő összmenyiségének ( $x_g$ ) meghatározása (Dobson módszere):

Egyszerűsített sugárzásátviteli egyenlet megoldása egy adott  $\lambda$  hullámhosszon:

$$I_\lambda = I_{\lambda 0} e^{-M(\sigma_{ag}(\lambda)x_g + \delta_A(\lambda) + \delta_R(\lambda))}$$

$x_g$  kifejezhető, de 1 egyenlet, 2 ismeretlen

ismert:

1. extraterresztriális irradiancia,
2. irradiancia az észlelési pontban
3. gáz abszorpciós koefficiense
4. relatív optikai légtömeg
5. Rayleigh-szórás (légköri molekuláris szórás) optikai mélysége

nem ismert:

1. gáz összmenyisége
2. aeroszol optikai mélység

trükk: két különböző hullámhosszra kell fölírni

**feltétel:**

a két hullámhossz essen olyan közel egymáshoz, hogy a (hullámhosszal lassan változó) aeroszol optikai mélység a két hullámhosszon csak elhanyagolható mértékben különbözzön

**célszerű:**

két vagy több hullámhossz-párt választani

**OMSZ:**

ózon és kén-dioxid tartalom meghatározása



## Optikai mélység:

Ezek alapján az aeroszol optikai mélység:

$$\delta_A(\lambda) = \frac{1}{M} \ln \frac{I_0(\lambda)}{I(\lambda)S} \left( \frac{P}{P_0} \delta_R(\lambda) + \delta_{O_3}(\lambda) \right)$$

ahol:

$\delta_A(\lambda)$ : aeroszol optikai mélység

$I_0(\lambda)$ : extraterresztriális irradiancia közepes naptávolságnál

$I(\lambda)$ : irradiancia az észlelési pontban

$S$ : a naptávolságra vonatkozó korrekciós faktor (a Föld mérési időpontban  
érvényes és közepes naptávolságának a hányadosát jelenti

$M$ : relatív optikai légtömeg

$\delta_{O_3}(\lambda)$ : az ózon abszorpció optikai mélysége:  $\delta_{O_3}(\lambda) = x_{O_3} \alpha_{O_3}(\lambda)$

ahol:  $\alpha_{O_3}(\lambda)$ : ózon abszorpciós koefficiens,

$x_{O_3}$ : összózon tartalom

$P, P_0$ : aktuális nyomás és standard tengerfelszíni nyomás

# Hullámhossz exponens

nem konkrét méreteloszlást ad meg, hanem a méreteloszlásra jellemző értéket

Kétféleképpen definiálhatjuk:

1.

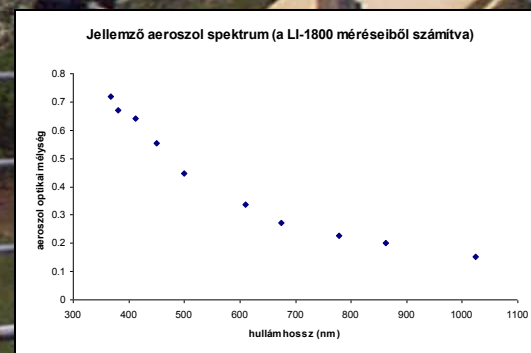
$$\alpha = \frac{\ln(\delta_{A380}/\delta_{A500})}{\ln(0.5/0.38)}$$

2. Angström-formula:

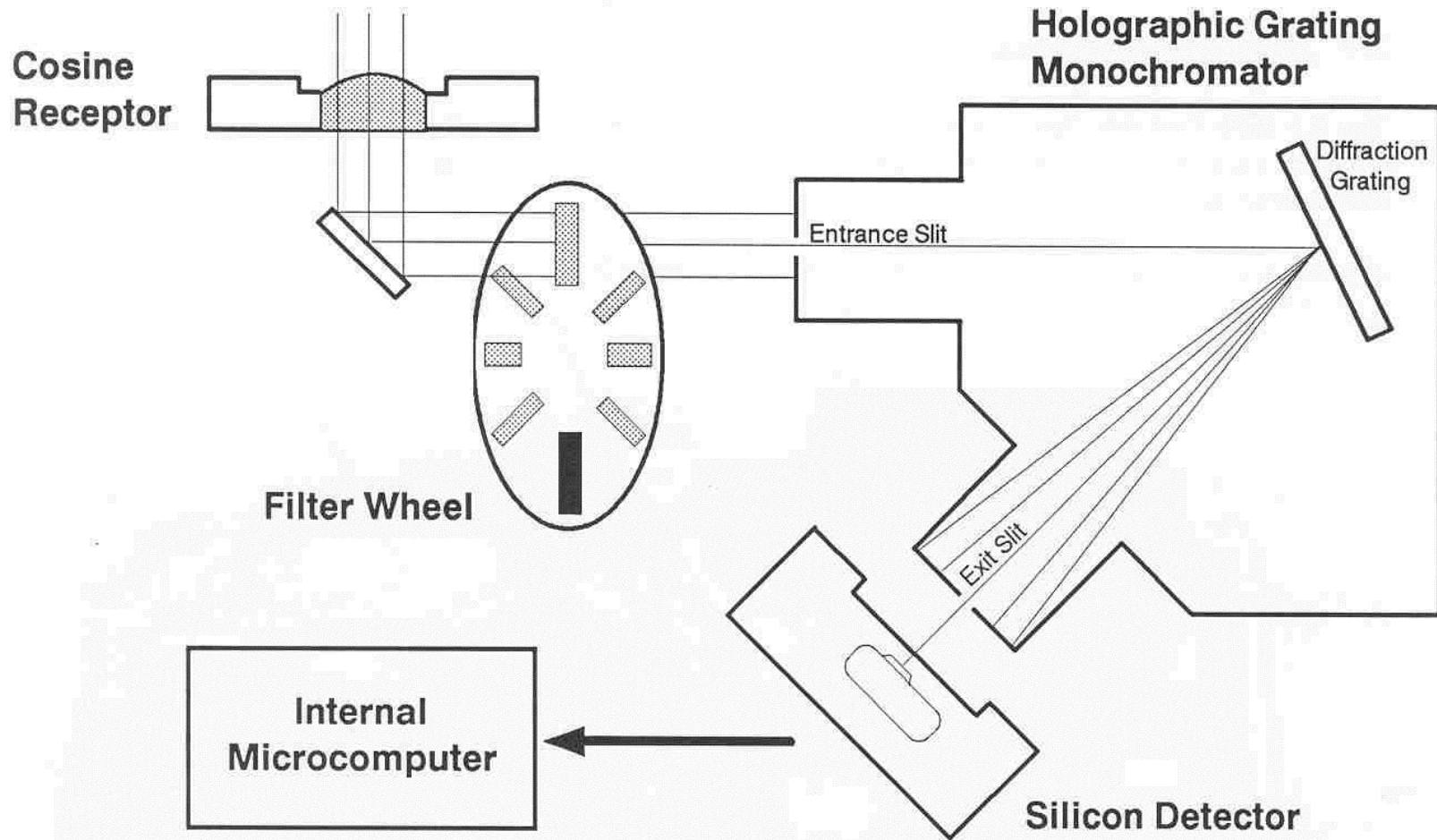
$$\delta_{A\lambda} = \beta \lambda^{-\alpha}$$

$$\ln \delta_{A\lambda} = \ln \beta - \alpha \ln \lambda$$

Az illesztett görbe meredeksége lesz a hullámhossz exponens.  $\alpha$  átlagos értéke 1.3, nagyobb értékei a kis részecskék relatíve nagyobb gyakoriságát jelentik az  $r > 0.5 \mu\text{m}$  átmérőjű nagy részecskékhez képest.



# Spektrofotométer vázlatos felépítése:





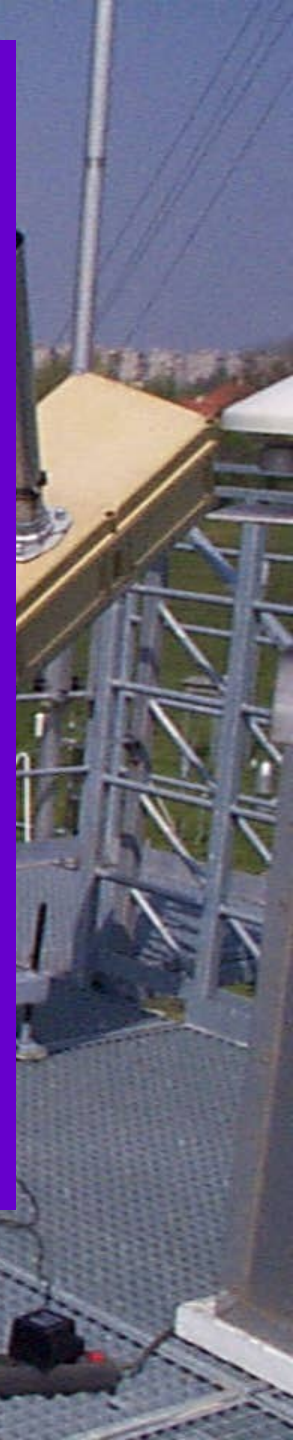
# Spektrofotométer vázlatos felépítése:

## 1..Bemeneti optika

- egyszerű apertúra
- koszinusz receptor (a beesési szög koszinuszának megfelelően szórja a különböző irányból érkező fotonokat az optikai rendszerbe  
(*Lambert-féle koszinusz-törvény*)

## 2. Előszűrő(kerék)

- nem éppen a mért spektrumtartományba tartozó fotonok (*straight light*) kiszűrése
- dark reading (sötétreferencia)
- „előgyengítés”



## Spektrofotométer vázlatos felépítése:

### 3. Monokromátor:

a filterkerékről érkező polikromatikus sugárzást szűk hullámhosszokra osztja, azaz kvázi-monokromatikus sugárzássá alakítja (*diffrakció*)

1. belépőnyílás
2. (holografikus) optikai rács
3. kilépőnyílás

(minél szűkebb a rés, annál nagyobb felbontás érhető el, viszont ezzel együtt csökken a detektort érő fotonok száma)



# Spektrofotométer vázlatos felépítése:

## 4. Detektor

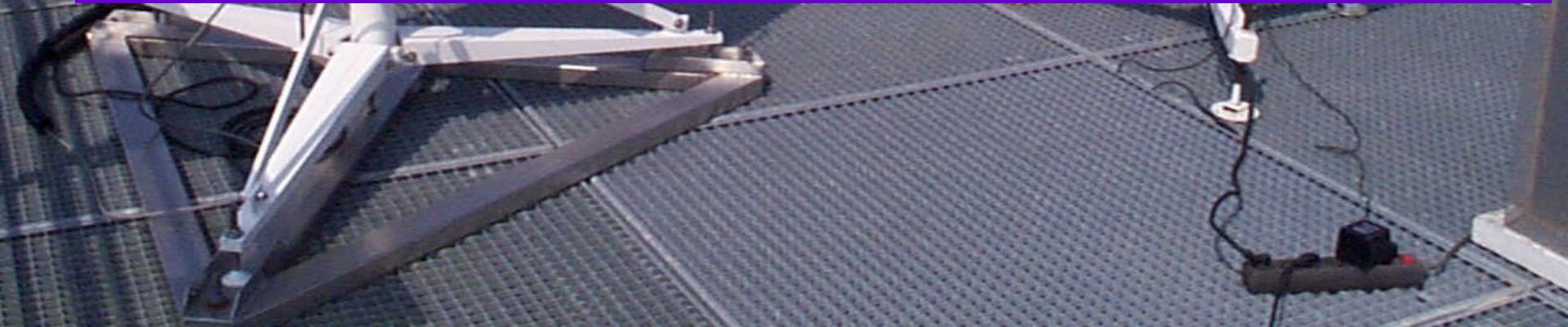
a beérkező sugárzással arányos áramot produkál

- fotoelektronsokszorozó (fotomultiplier) - gyenge jel estén ( $10^{12}$ -szeres erősítés > jel-zaj viszony javítása
- Si-dióda

fontos paraméter: noise equivalent irradiance

## 4. Belső kompjuter

## 5. Vezérlő kompjuter



## Kalibráció, visszakövethetőség (*traceability*)

- abszolút kalibráció (Langley-módszer): sugárforrás: Nap  
1500 m felett, egész nap stabilan teljesen tiszta égbolt
- standard sugárforrások (National Bureau of Standards,  
vagy közvetlenül ott működtetett sugárforráshoz kalibrált  
sugárforrások), utazóstandardok
- hullámhossz-szinkronizáció (látható, IR: kiválasztott  
hullámhosszhoz, UV: Hg emissziós vonala 302.2 nm)

Időszakos rutinellenőrzések (speciális, spektrofotométer felépítésétől  
függő)



# Brewer MKIII spektrofotométer

(Budapest - 1998. 03)  
gyártó: SCI-TEC, inc., Saskatoon,  
Kanada



- jelenleg az UV-tartományban a világon a leg jobb, kb. 180 db
- UV mérési tartomány:  
286.5 - 363 nm
- felbontás: 0.5 nm; individuális sávok O<sub>3</sub>, SO<sub>2</sub>: 306.3, 310.1, 313.5, 316.8, 320.1.
- hullámhossz stabilitás:  $\pm 0.003$  nm
- teljesen automatikus üzemmód, automatikus napkövetés, mérési program tetszés szerint
- mérési program: O<sub>3</sub>, SO<sub>2</sub>, fizikai és biológiai UV spektrumok

# LI-1800 spektroradiométer

(Budapest - 1995.06.)

gyártó: LI-COR, inc., Lincoln, USA

- mérési tartomány: 300 - 1100 nm,
- felbontás: 1 nm
- hullámhossz stabilitás:  $\pm 0.2$  nm
- spektrális globál irradi., spektrális direkt irradi. ( $>$  aeroszol optikai mélység), PAR, spec. mérések pl. reflektancia stb.)
- fál-automatikus üzemmód: csillagászati távcsőmechanika, óragép (reggel-este be- és kikapcsolás)
- mérés program: UV-A, látható- és közeli IR spektrumok (a spektrális irradianciákból a megfelelő hullámhosszokon aeroszol optikai mélység és hullámhossz exponens számítása)



# NAGYPONTOSSÁGÚ NAPSOEKTROFOTOMETRIA:

## SZÁMÍTOTT FIZIKAI MENNYISÉGEK:

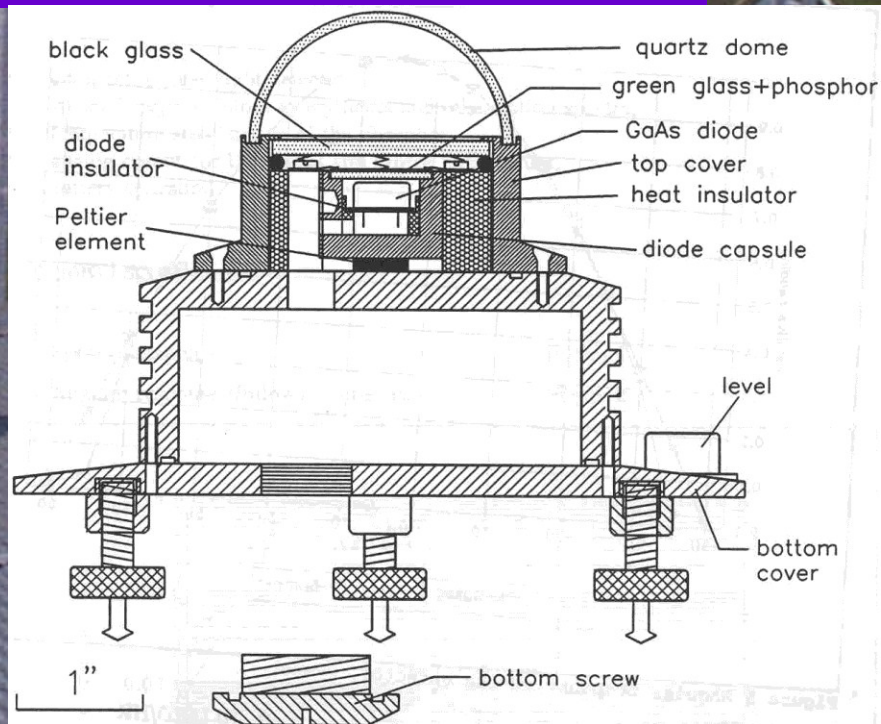
1. Légoszlop teljes ózontartalma
2. Légoszlop teljes kén-dioxid tartalma
3. Aeroszol optikai mélység 9 látható hullámhosszon
4. Aeroszol optikai mélység az UV-ben
5. Hullámhossz exponens (vagy Ångström exponens) (a domináns részecskeméretet jellemzi)
6. Számított aeroszol méreteloszlás a King módszer alkalmazásával (AOD spectrumok > aeroszol méreteloszlás) – nem operatív



# Broad-band UV-Biométer

(Budapest, Keszthely, Kékes, K-puszta, Siófok) 1994 -

- gyártó: Solar Light, inc. Philadelphia, USA
- mérési sáv: 280 - 400 nm (integrált)
- adatgyűjtőhöz ill. automata állomáshoz csatlakoztatva folyamatos üzemmód
- mérési program: biológiailag effektív UV dózis



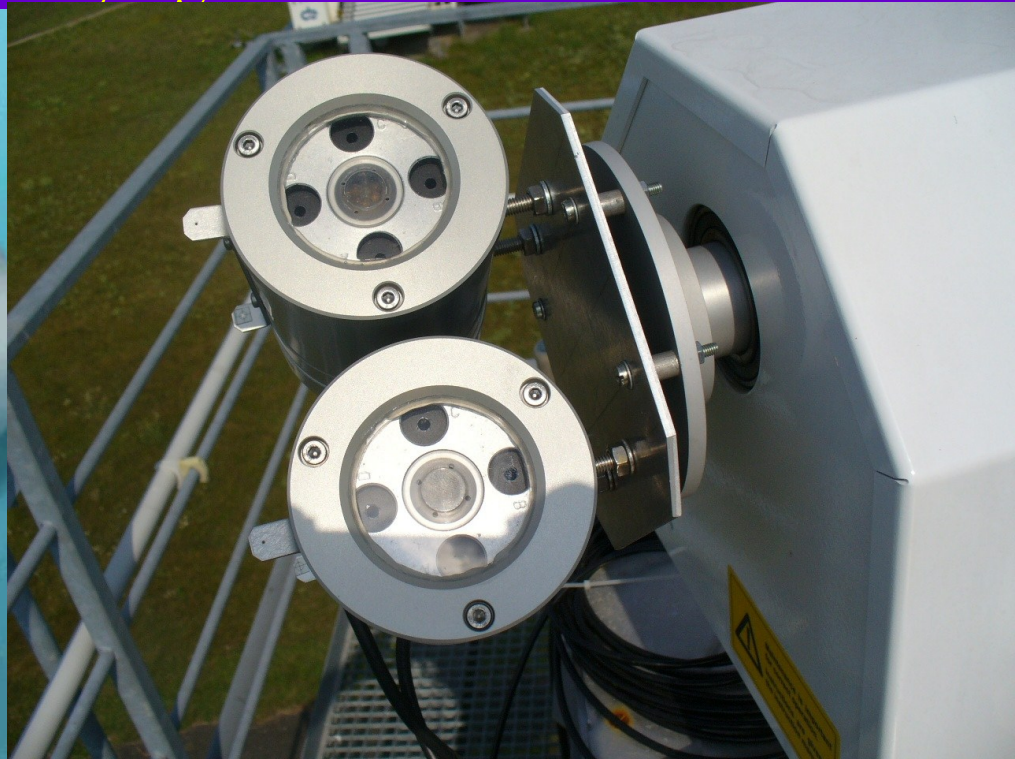
Solar Light Co., Inc. 1990, patent pending



# SP02 Napfotométer

(Budapest, Kékestető), 2010 -

- speciális mérőeszköz az aeroszol optikai mélység meghatározására
- gyártó: Middleton-Solar, Ausztrália
- mérési hullámhosszok: 412, 500, 675, 862 nm
- adatgyűjtőhöz ill. automata állomáshoz csatlakoztatva folyamatos üzemmód
- mérési program: aeroszol optikai mélység



# Kalibráció

Brewer spektrofotométer:

2 évente az utazó világetalonhoz

- párhuzamos mérések a különböző méréstípusokkal
- laborellenőrzések (pl. Cd 9 emissziós vonalának reprodukálása, nagy teljesítményű standard lámpa nagy pontosságú precíz referencia tápegységgel)

havi rutintesztek

- standard lámpa készlet (eltérés a referencia-spektrumtól)

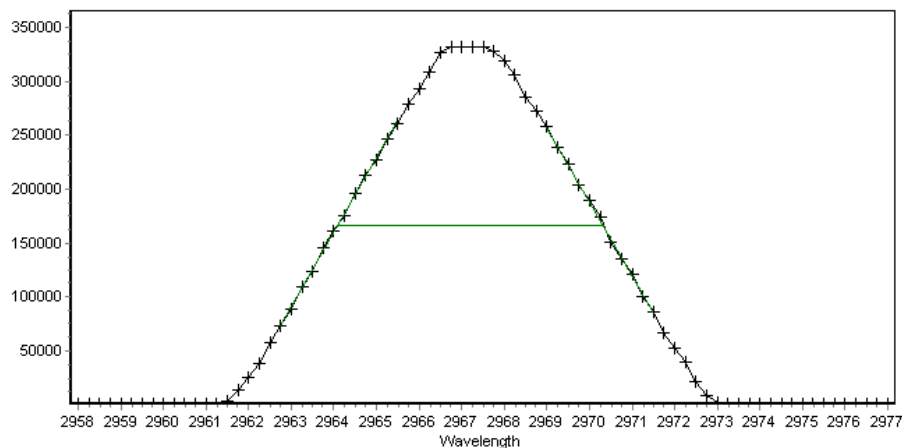
napi automatikus rutintesztek optika, elektronika és mechanika ellenőrzése (pl. beépített standard lámpa, Hg-lámpa, fotoelektronsokszorozó deadtime-ja, nagyfeszültsége, mikrométer és slit mask motor pozíciói stb.)



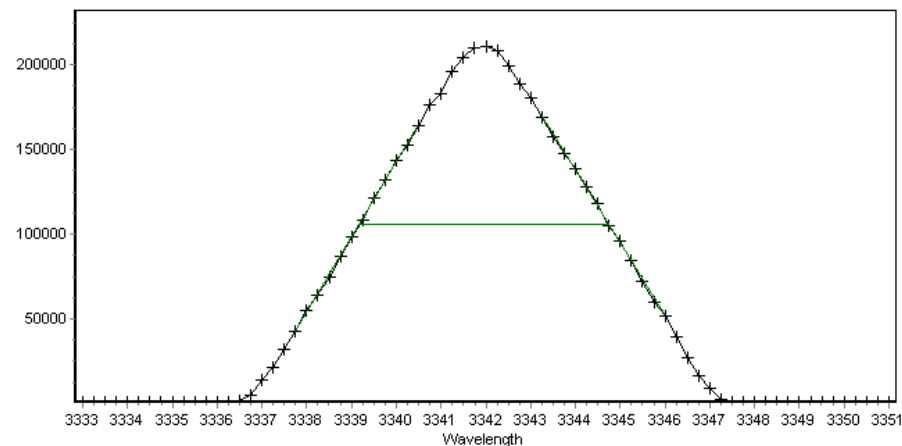
# Mérés pontossága akkora, amennyire a laboratóriumi standard sugárforrások pontosak (tápegység pontossága, stabilitása)

- **Detektor pontosságának ellenőrzése: standard lámpák**
- **Hullámhossz kiválasztás pontosságának ellenőrzése: higany-lámpák (milyen pontossággal találja meg a Hg emissziós vonalának vonalcentrumát)**  
**kadmium-lámpák (milyen pontossággal reprodukálja az elméletileg atomfizikából számítható vonalalakat)**

May 27, 2009 in Hradec Kralove  
Brewer #152(dt=28ns) cz scan on 2967.28A Hg line  
Centre at 2967.21A and FHFB=6.2A



May 29, 2009 in Hradec Kralove  
Brewer #152(dt=28ns) cz scan on 3341.48A Hg line  
Centre at 3341.91A and FHFB=5.6A



## Kalibráció

LI-1800 spektroradiométer:

Hathavonta: optikai sugárzási kalibrátorral

(két gyári munkastandardhoz hitelesített nagy pontosságú kvarc-halogén sugárforrás)

- 10 referencia spektrum felvétele

(eltérés az eredeti gyári response function-től)

Esetenként: abszolút kalibráció (Langley-módszer)



## Kalibráció

### Broad band UV-Biométerek

4 hálózati detektor, 1 broad band referencia - sötétben tartva, csak kalibrációhoz elővéve)

Broad band referencia kalibrálása a Brewer spektrofotométerhez, más detektor, de jóval nagyobb pontosság és hosszú távú stabilitás)

párhuzamos mérések > szorzószám v. korrekciós faktor:

$$C = I_{\text{BBR}}/I_{\text{BREWER}}$$

hálózati detektorok kalibrálása a broad band referenciához

párhuzamos mérések > szorzószám:

$$C = I_{\text{BB}}/I_{\text{BBR}}$$

- nyári időszak (nagy UV irradianciák) előtt és közben még egyszer- kétszer, ha szükséges)

# Kalibráció

## SP02 Napfotométerek

- kalibráció: Langley módszer
- ellenőrzés: LI-1800



# WMO REGIONÁLIS NAPSUGÁRZÁSI KÖZPONT, BUDAPEST, WMO VI.

**Alaptevékenység: nemzetközi sugárzási skála (World Radiation Reference) reprezentálása, átadása**

**Idővel szélesedő spektrumú tevékenység: különböző spektrális berendezések, keskenysávú sugárzásmérők kalibrálása**



# WMO REGIONÁLIS NAPSUGÁRZÁSI KÖZPONT, BUDAPEST, WMO VI.

## NAGYPONTOSSÁGÚ NAPSPEKTROFOTOMETRIA

### Kalibrálható mérőeszközök:

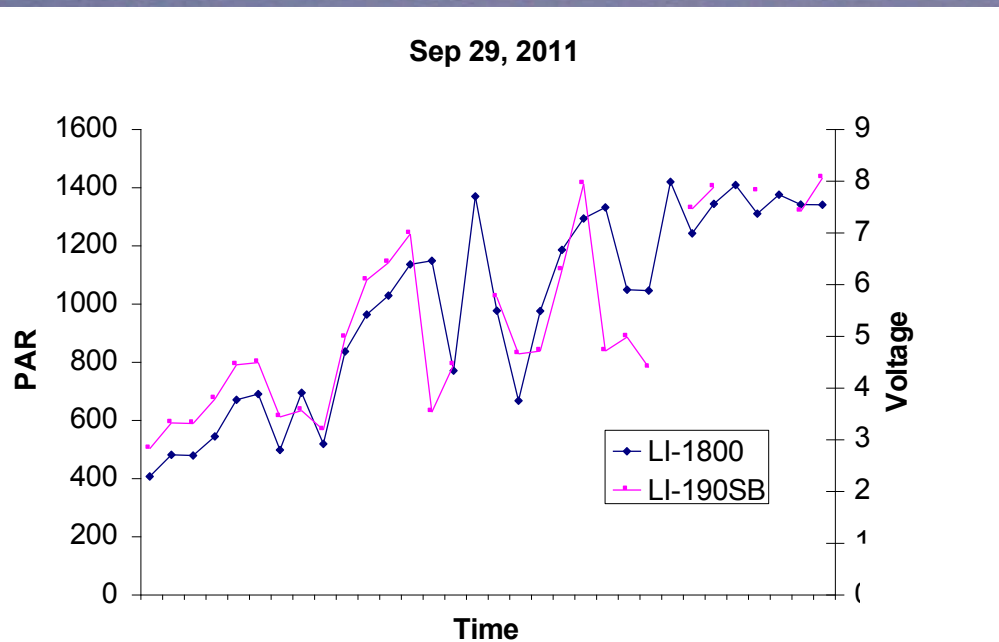
- Spektrofotométerek
- Spektroradiométerek
- Filteres radiométerek
- Napfotométerek
- Broad band UV detektorok
- Biológiailag effektív UV sugárzást mérő broad band UV detektorok
- Speciális spektrális mérőeszközök (PAR mérők, megvilágítás mérők, személyi UV doziméterek, különböző szűrők, biológiában használt speciális detektorok (pl. levél reflexióját és sug. áteresztését mérő eszközök stb.)



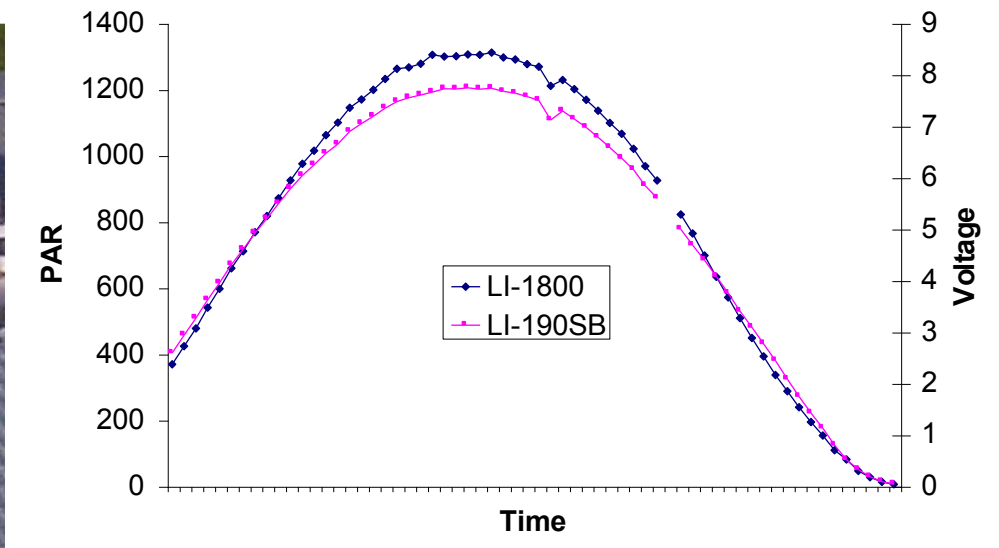


# PÉLDÁK: PAR érzékelő kalibrálása

## A LI-1800 spektroradiométer és a LI PAR mérő által mért PAR

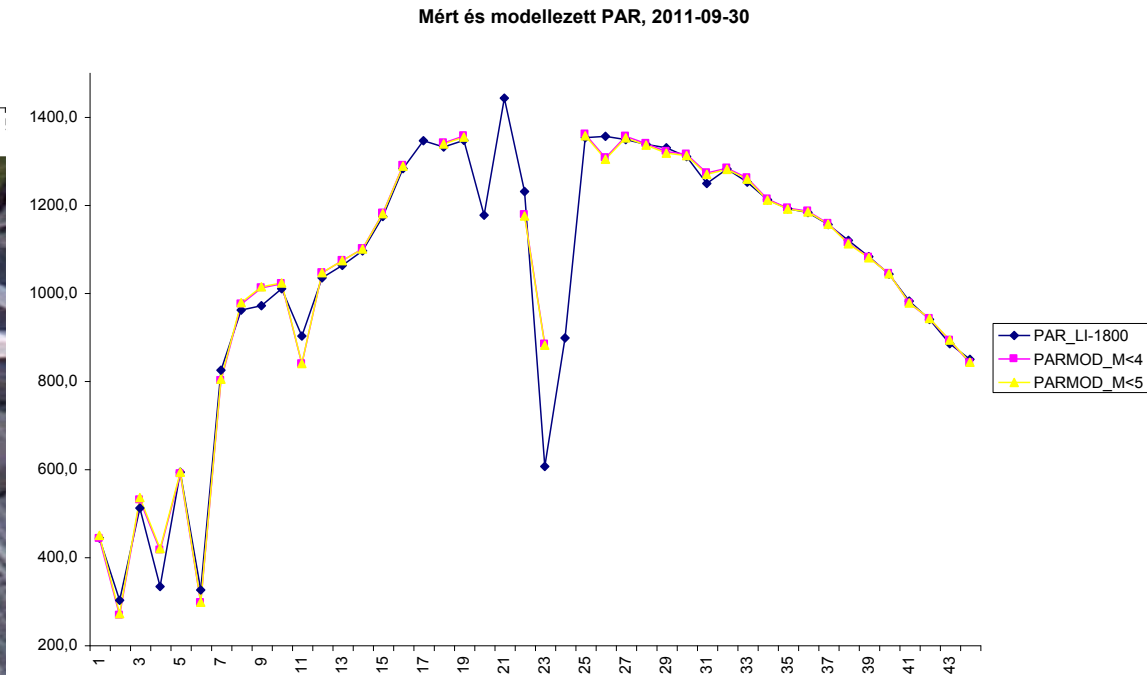
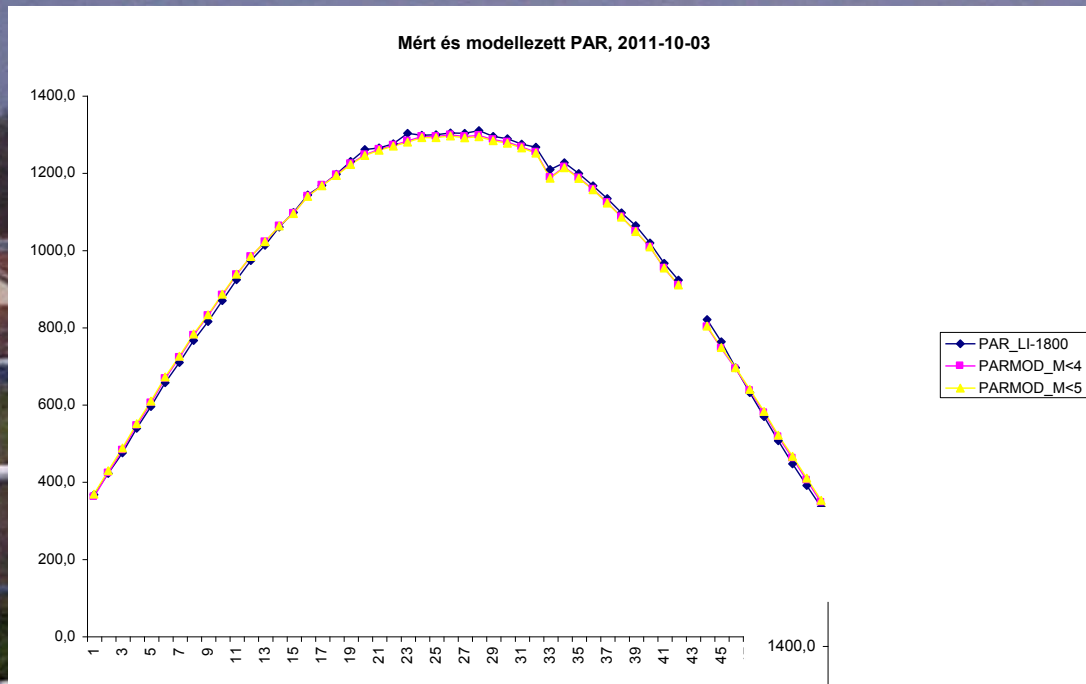


Oct 3, 2011



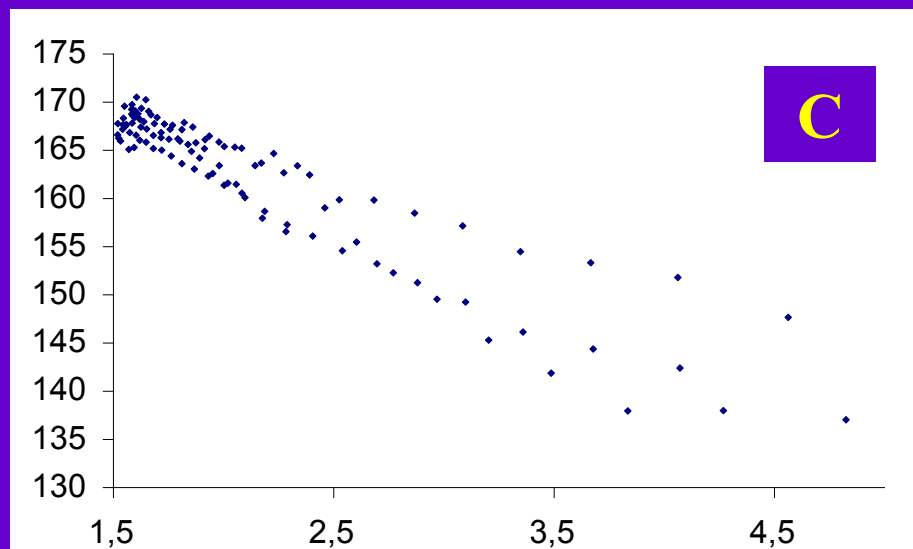
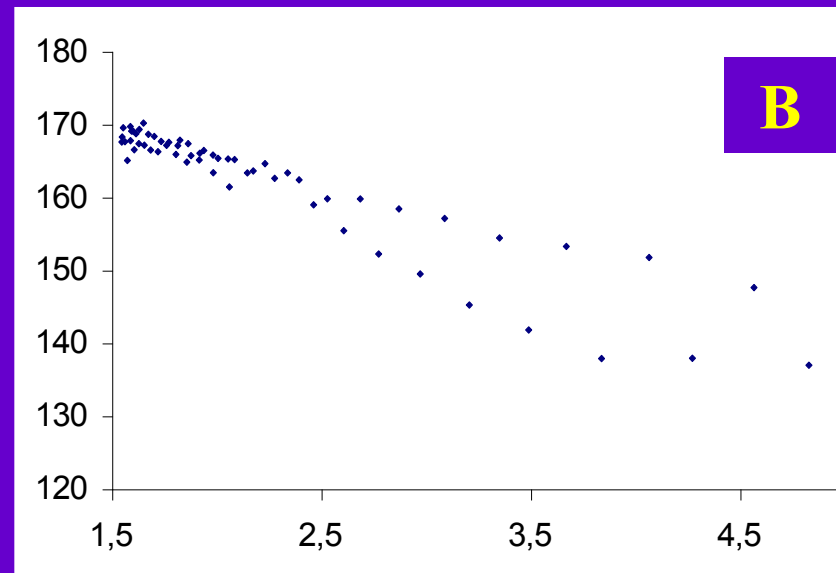
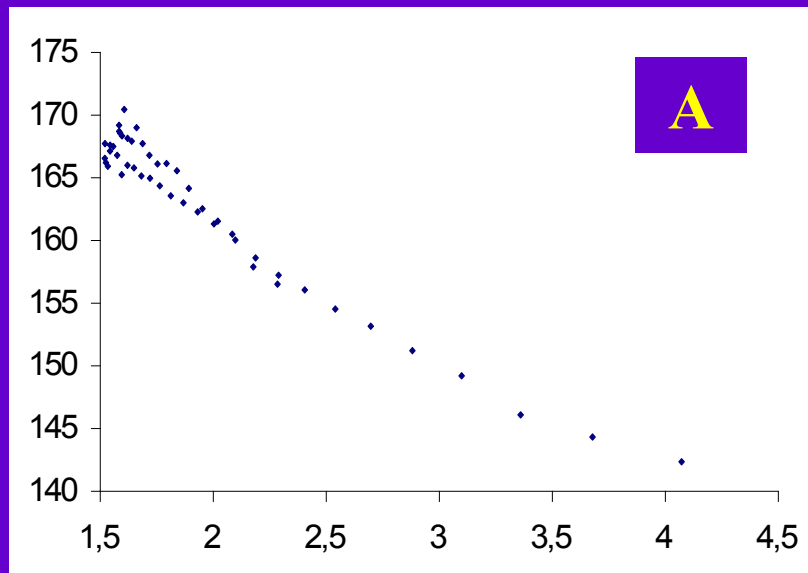
# PÉLDÁK: PAR érzékelő kalibrálása

## A LI-1800 spektroradiméterrel mért és modellezett PAR



# PÉLDÁK: PAR mérő kalibrálása

A kalibrációs faktor függése a relatív optikai légtömegtől a nappálya felszálló ágára (A), leszálló ágára (B) és együttesen (C)



## **PÉLDÁK:**

### **Broad band UV detektorok kalibrálása (fontos probléma!)**

#### **Kaotikus helyzet:**

**UV mérések „divatba jöttek”: sok különböző gyártó jelent meg az UV detektor piacon – UV mérésben és elméletben való jártasság nélkül**

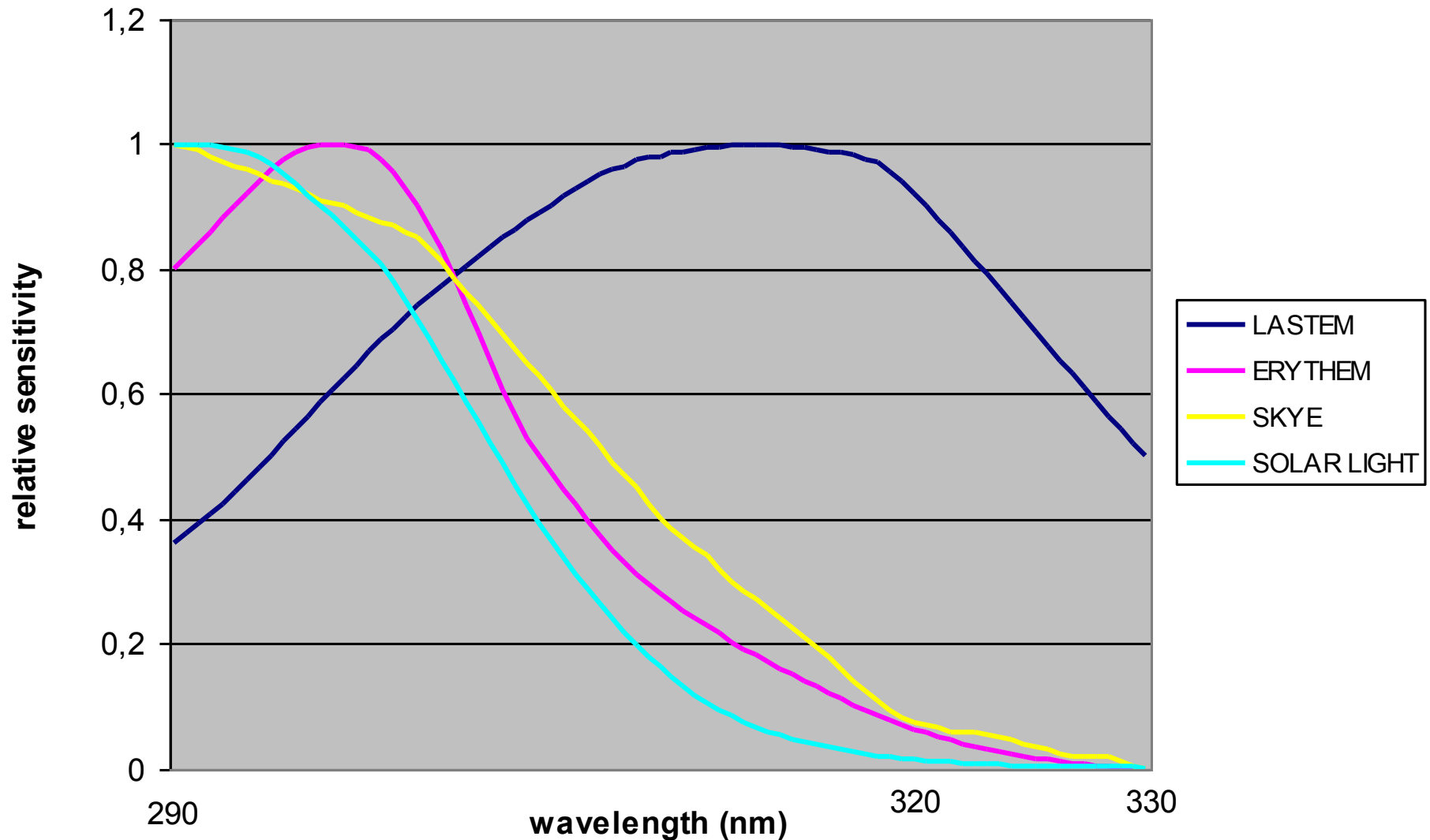
#### **Elrettentő példák:**

**ugyanazt a fizikai mennyiséget mérő UV detektorok spektrális response-a számottevően különbözik, vagy – nem is hasonlít!!!**



# Important problem: calibration of broad band UV detectors

## Spectral response of different type UV detectors:

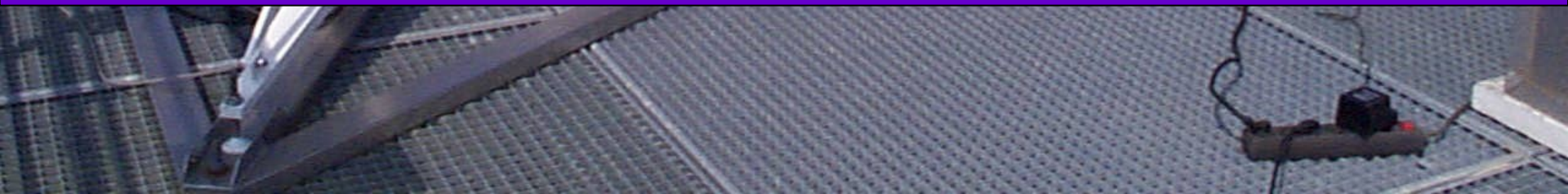


## Fontos probléma: broad band UV detektorok kalibrálása

Javaslat minden intézménynek egy nemzeti met. Szolgálatnak, ahol nincs még hosszútávú gyakorlat UV mérésben:

**CSAK JÓL ISMET GYÁRTÓTÓL SZÁRMAZÓ BROAD BAND  
UV DETEKTORT HASZNÁLJ!  
(Solar Light, Kipp&Zonen, YES stb)**

- **hosszú instrument history**
- **gyengék (pl. műszerről műszerre változó hosszútávú stabilitás) jól ismertek**
- **response nagyon közel van a CIEE szabványként elfogadott McKinlay-Diffey függvényhez)**



## A Magyar Vöröskereszt személyi UV dozimétereinek kalibrálása



# A Magyar Vöröskereszt személyi UV dozimétereinek kalibrálása





## **SPECIÁLIS MÉRÉSEK:**

- **Különböző speciális anyagok sug. transzmissziós jellemzői hosszú távú változásának meghatározása (mezőgazdasági fóliák, polikarbonátok (természetes világítású tetők), stb.)**

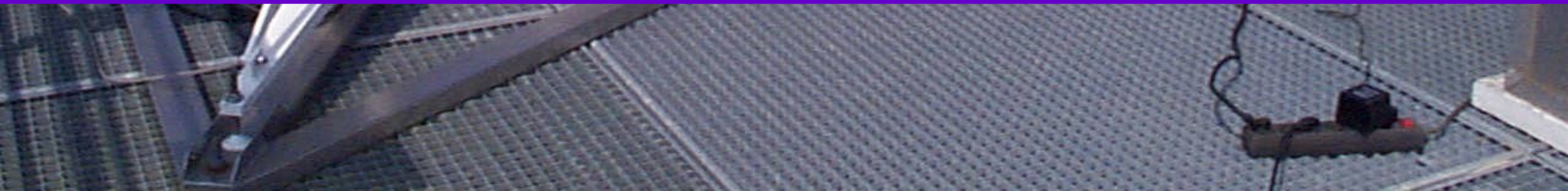
### **Sugárforrás:**

- **Látható tartomány:**

**LI-1800-02 Optical Calibrator (két a National Bureau of Standards referencia sugárforrásaihoz közvetlen traceability-vel rendelkező standard lámpával)**

- **UV tartomány:**

**A Brewer spektrofotométer 3 gyári standard lámpája (közvetlen traceability a NBS referencia sugárforrásaihoz)**

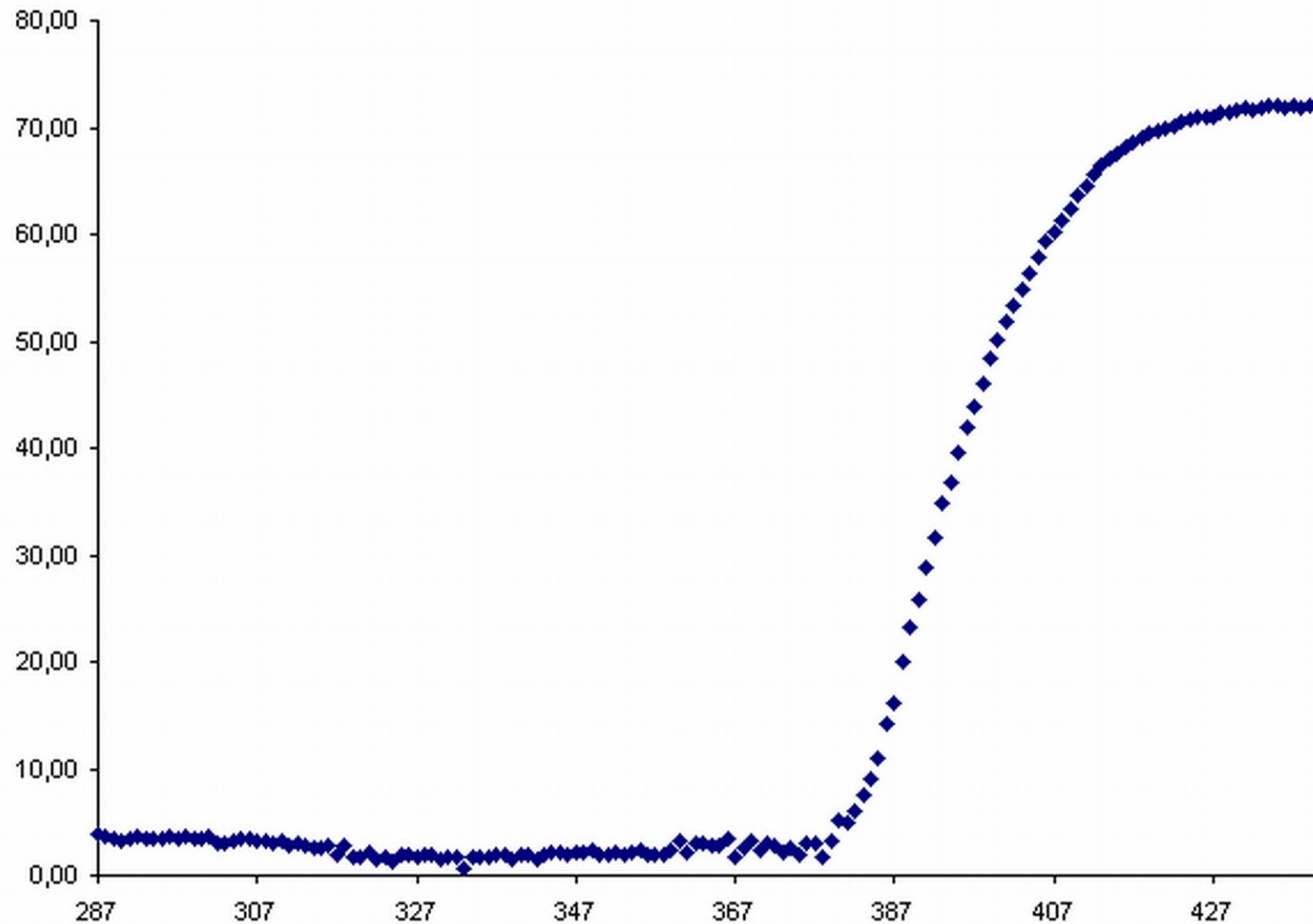


# Polikarbonát tetők és falak

- Hosszú idejű használat utáni spektrális vagy széles tartományú sug. áteresztés változás (főleg UV)
- UV szűrő anyagot tartalmazó polikarbonát minta hosszú távú UV expozíció hatására történő spektrális és széles tartományú UV transzmisszió változása

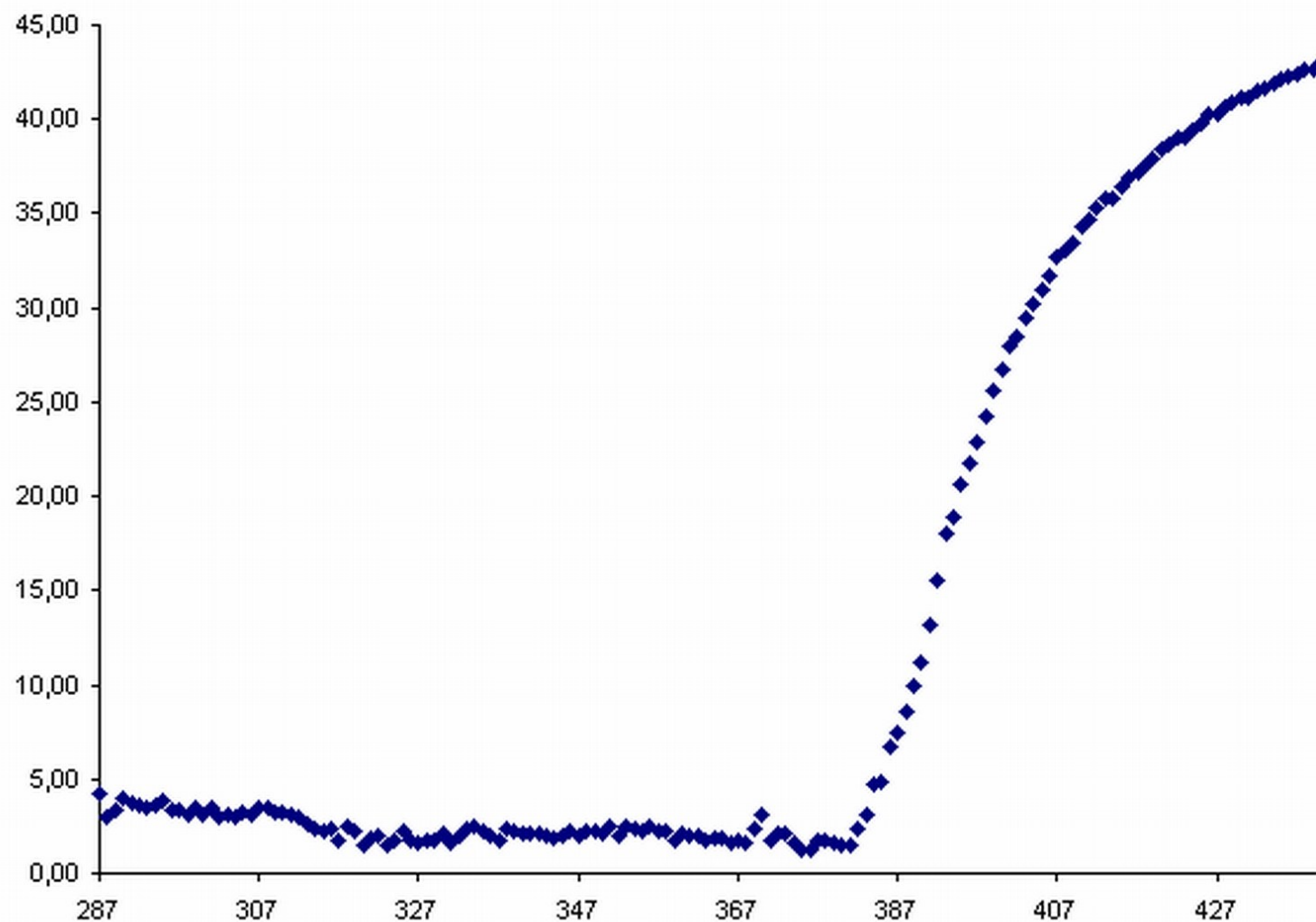


# Polikarbonát: Exponálatlan minta transzmissziós spektruma



2. ábra. A 2. minta transzmissziós spektruma a 287 – 440 nm hullámhossztartományon

# Polikarbonát: Hosszabb UV expozíció után mért transzmissziós spektrum



3. ábra. A 3. minta transzmissziós spektruma a 287 – 440 nm hullámhossztartományon

# JÖVŐ?

- **Növekvő érdeklődés más tudományterületekről (növénybiológia, agrártudományok, daylighting stb.)**

- **Lemodernebb mérés technika**

- **CCD-s diódasoros spektroradiométerek tesztelése**

előnyök:

- nagy gyorsaság

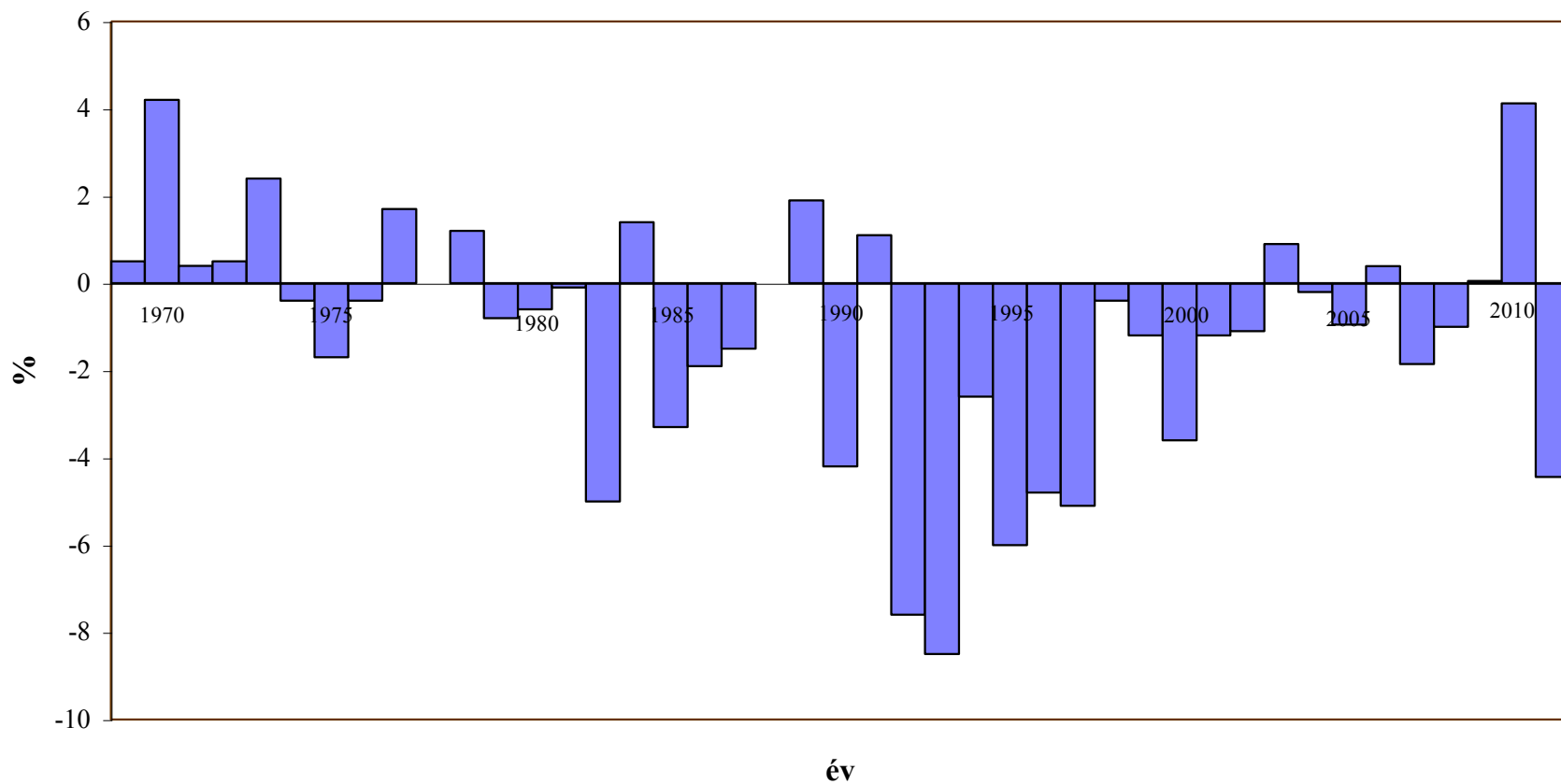
- nagy spektrális felbontás

- nincs mozgórész (számos, a mérésbizonytalanságot növelő hibaforrás megszűnt)

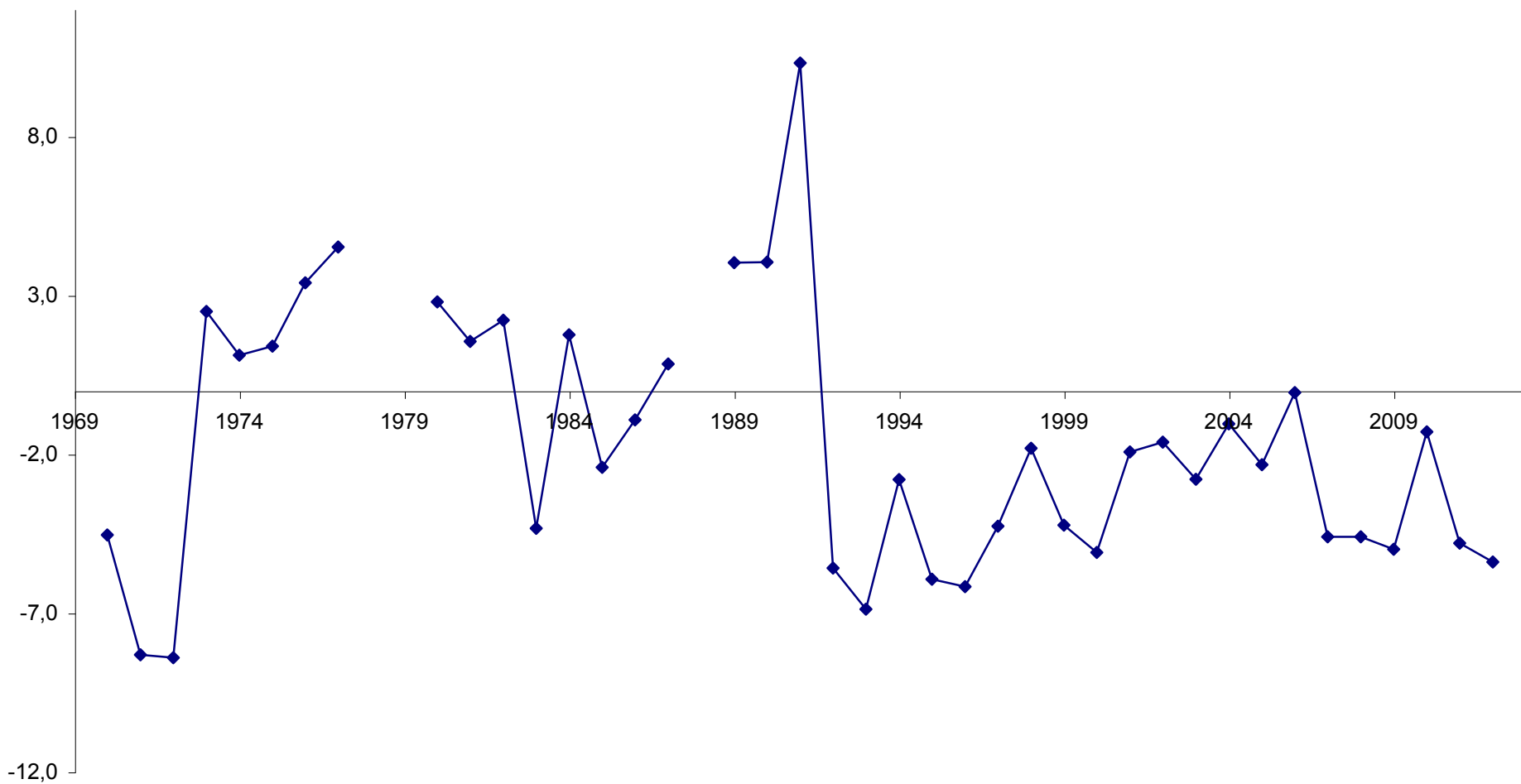
-De:

sok probléma még megoldatlan, így a pontosság és megbízhatóság jelenleg számottevően alatta van a hagyományos monokromátoros spektrométereknek – fejlesztések nagy erővel (pl. World Radiation Centre, Davos, Svájc)

# A teljes ózontartalom évi átlagainak eltérése a sokévi átlagtól Budapest fölött az 1969-2011 időszakra



## A teljes ózontartalom nyári átlagos eltérései a sokévi átlagtól, Budapest, 1970 - 2012



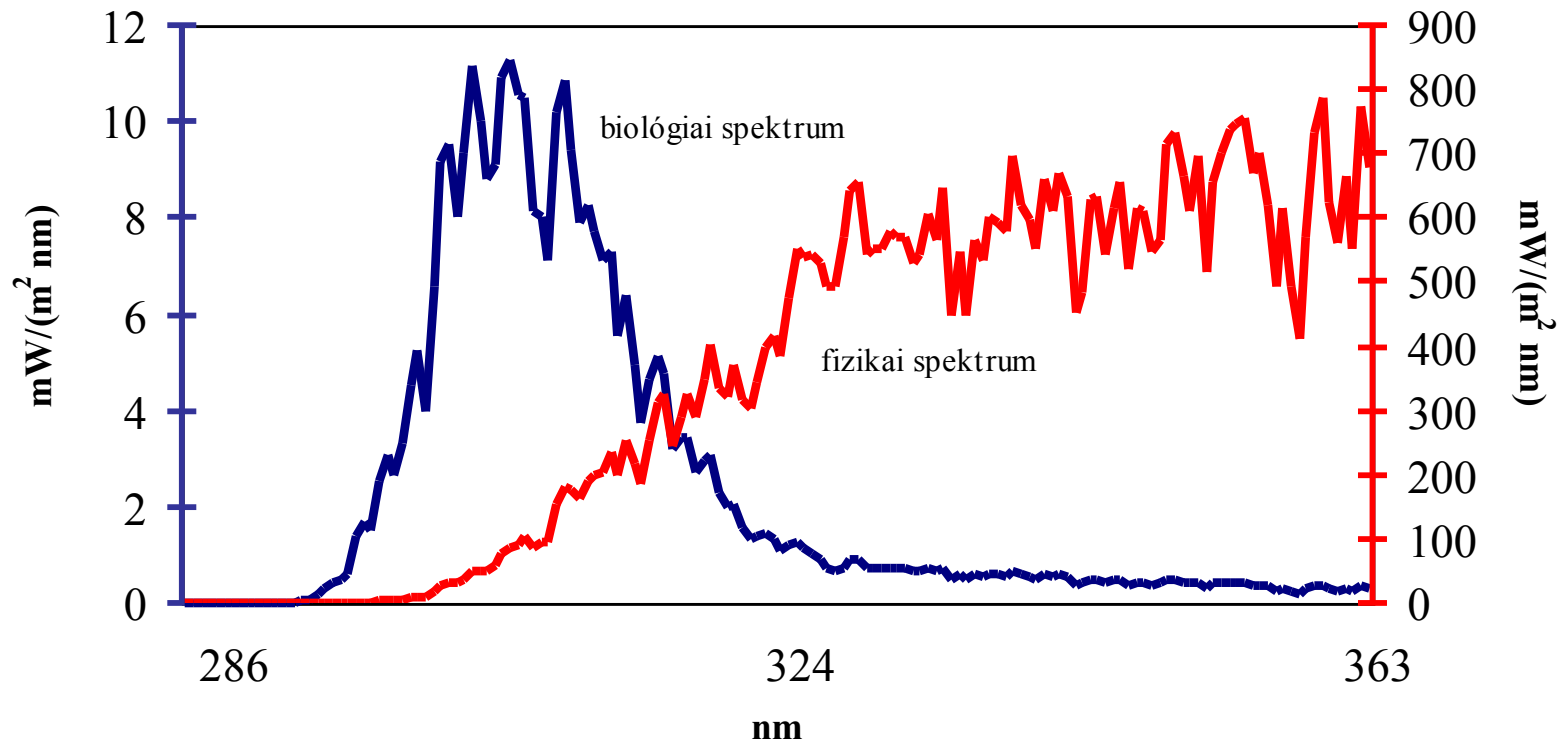
# Havi ózon eltérések az adott hó sokévi átlagától, Budapest, 2007 - 2012

	2007	2008	2009	2010	2011	2012
5	<b>-5,3</b>	<b>-1,4</b>	<b>-6,8</b>	<b>-1,3</b>	<b>-2,0</b>	<b>-4,6</b>
6	<b>-4,8</b>	<b>-5,9</b>	<b>-4,1</b>	<b>-0,6</b>	<b>-6,4</b>	<b>-7,3</b>
7	<b>-5,7</b>	<b>-4,4</b>	<b>-5,5</b>	<b>-0,6</b>	<b>-4,0</b>	<b>-5,1</b>
8	<b>-2,6</b>	<b>-6,5</b>	<b>-3,6</b>	<b>-2,5</b>	<b>-6,6</b>	<b>-4,4</b>
átlag	<b>-4,6</b>	<b>-4,6</b>	<b>-5,0</b>	<b>-1,3</b>	<b>-4,8</b>	<b>-5,4</b>



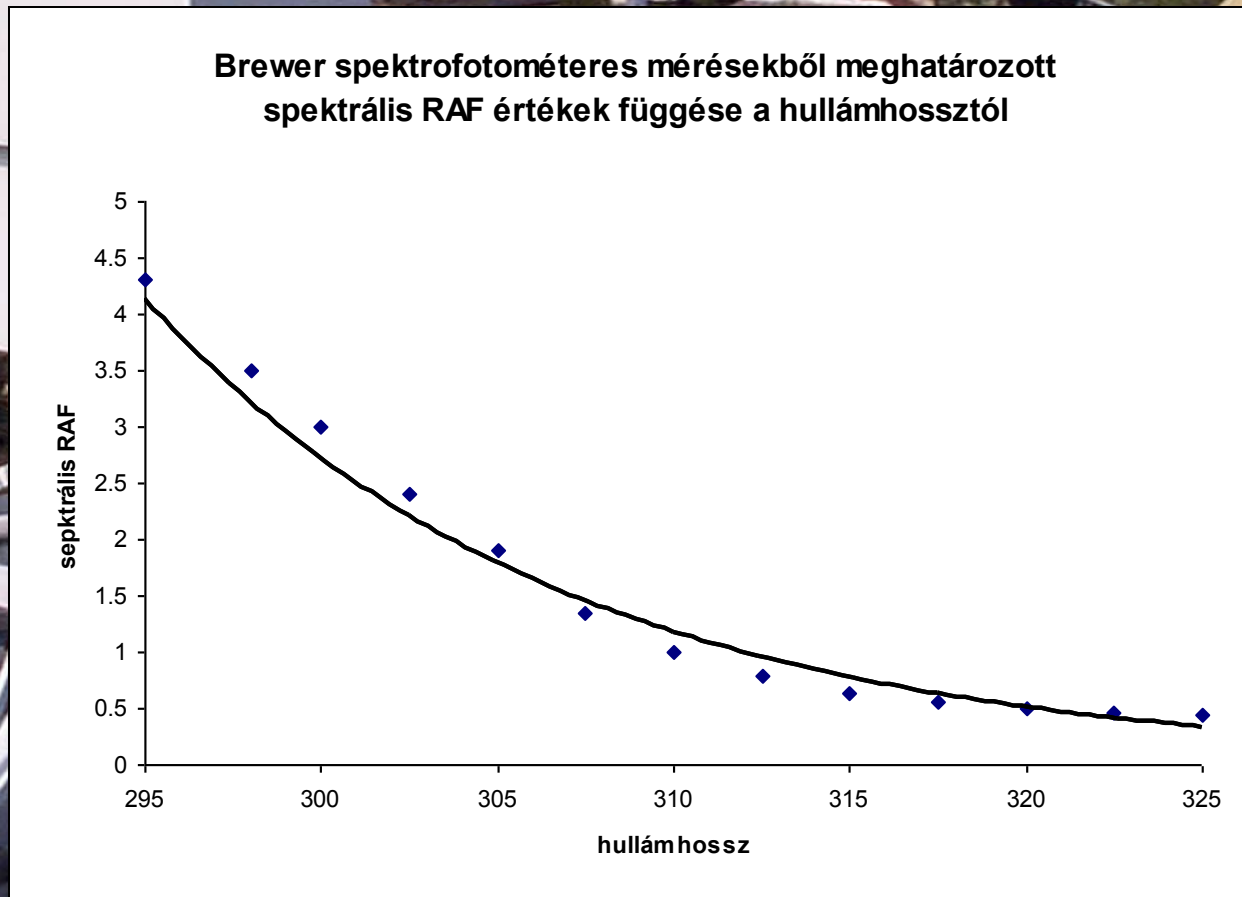


## Brewer spektrofotométerrel mért UV spektrumok



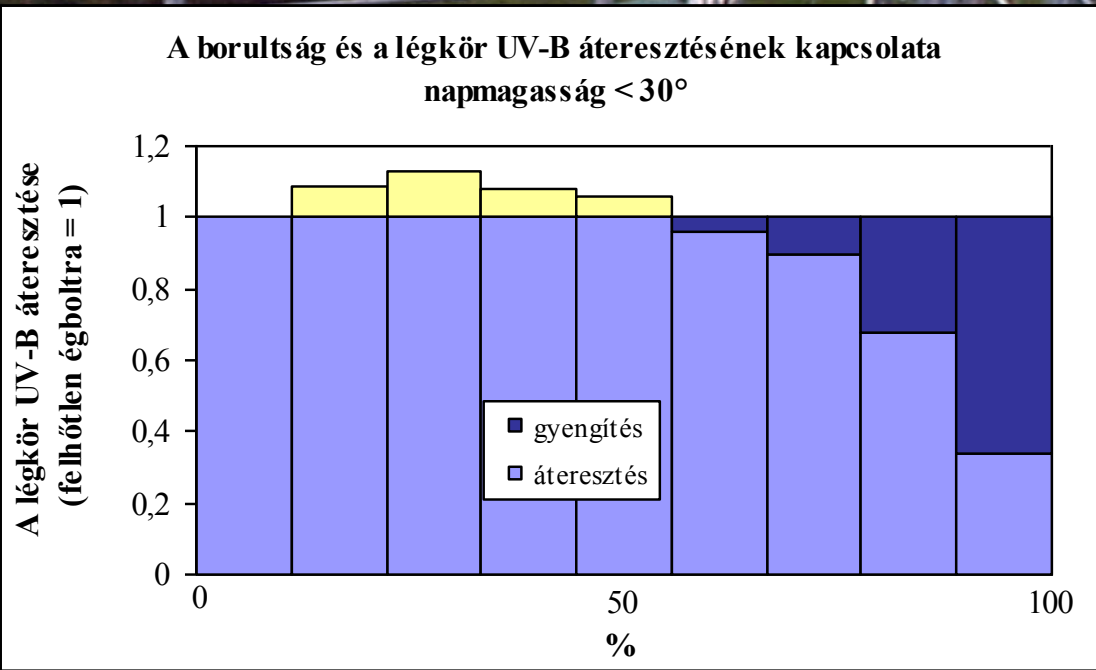
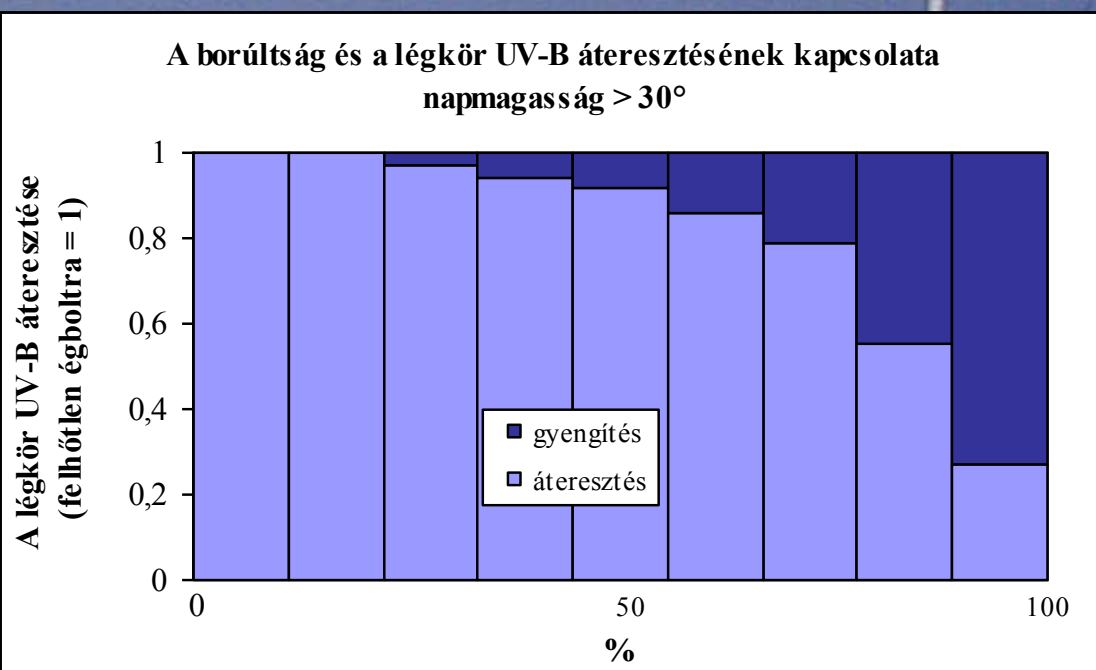
Radiation Amplification Factor (RAF): 1 % ózontartalom csökkenés hatására hány % a biológiailag effektív UV sugárzás növekedése  
Broad band RAF ~1.17

Spektrális RAF:

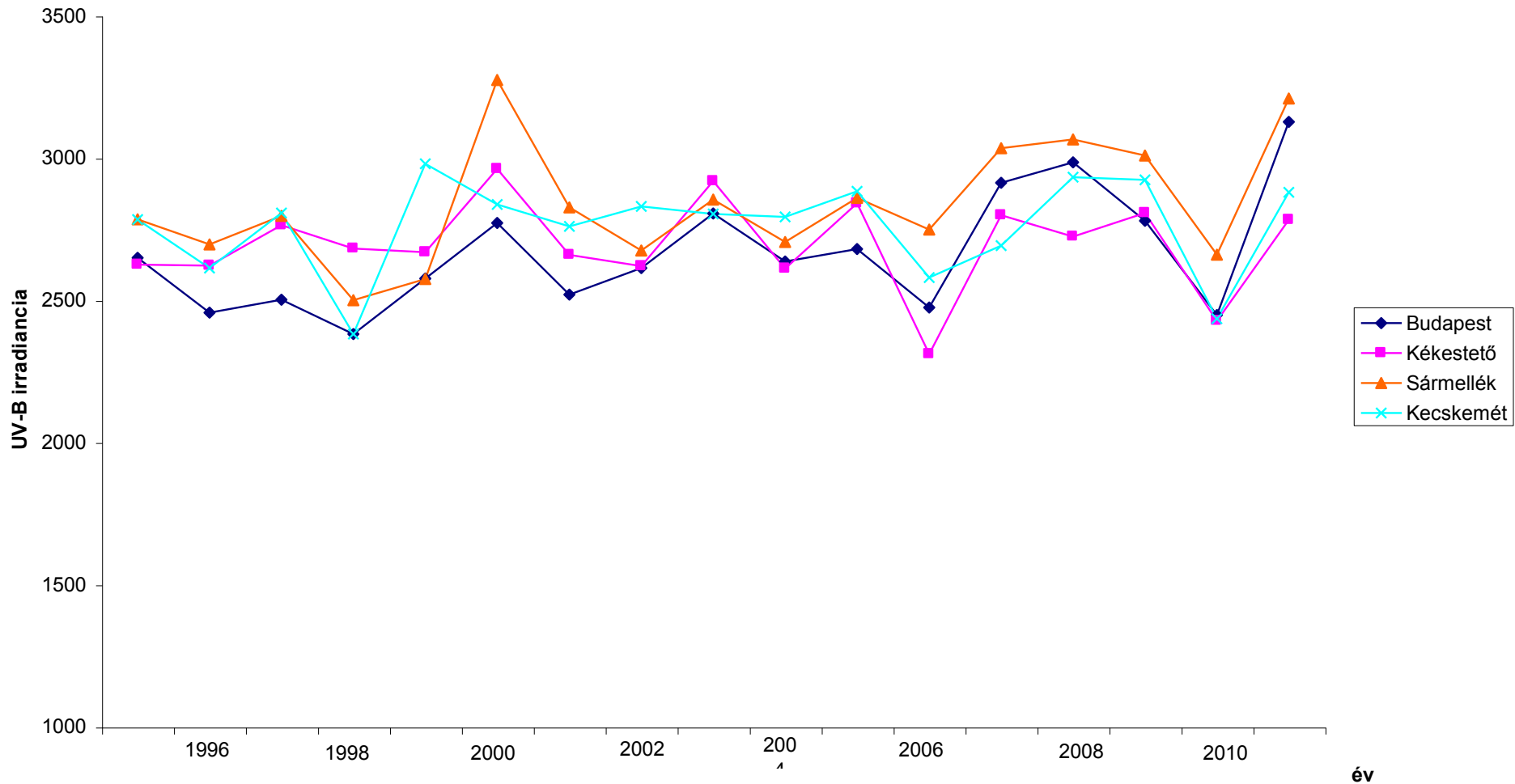


# Relationship between cloud coverage and UV transmittance of the atmosphere

(Németh P., Tóth Z., Nagy Z., 1996)

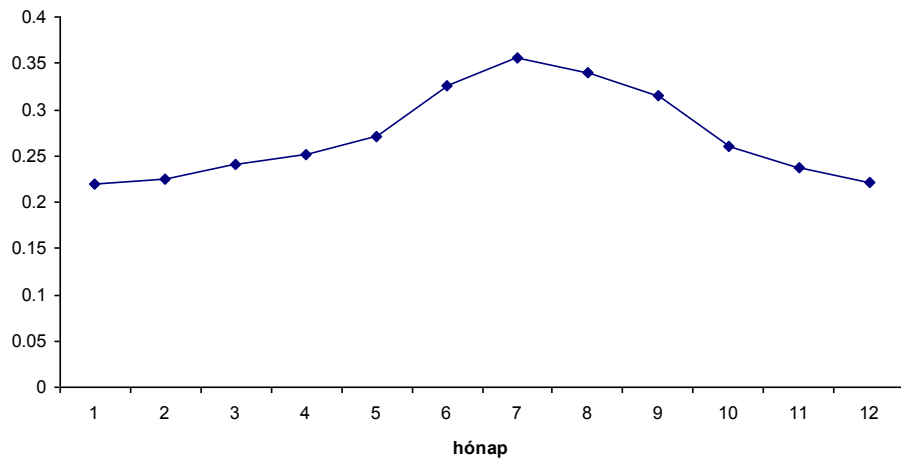


## A biológiailag effektív UV sugárzás évi összegeinek változása Magyarországon 1995 és 2011 között

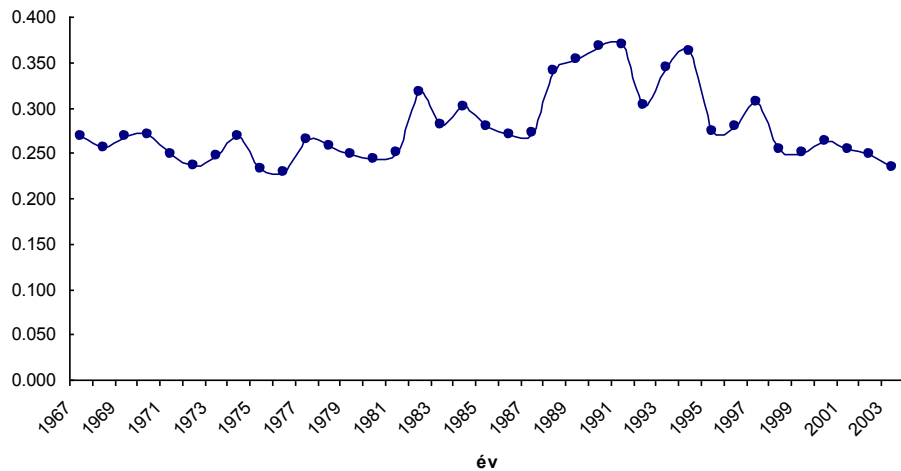


**Növekedés: kb. 6 % 10 év alatt**

**Az aeroszol optikai mélység átlagos évi menete  
Budapest, Marczell György Főobszervatórium**



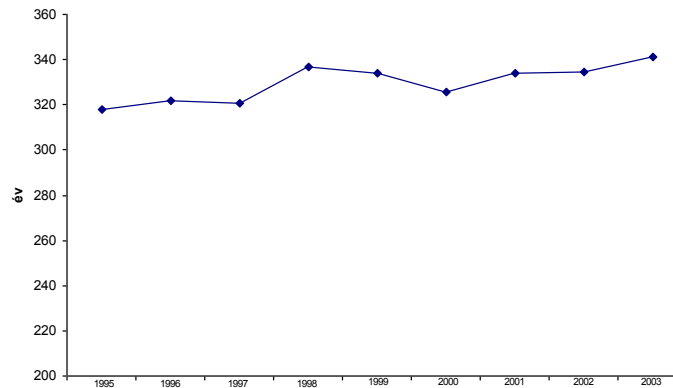
**Az aeroszol optikai mélység évi átlagai 1967 és 2003 között  
Budapest, Marczell György Főobszervatórium**



# Budapest, 1995-2003

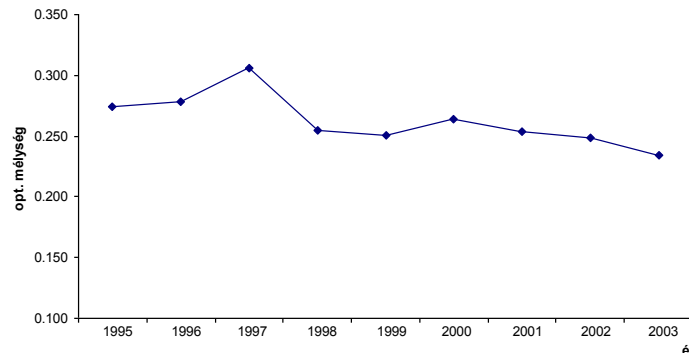


A teljes ózontartalom változása évi átlagai 1995 és 2003 között



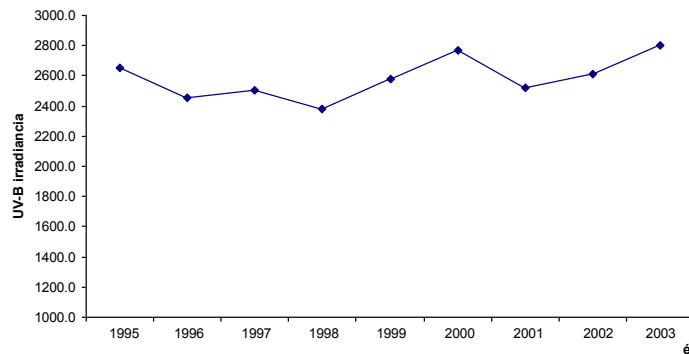
Ózontartalom

A légkör optikai mélységének évi átlagai, Budapest, 1995-2003



Optikai mélység

A biológiailag effektív UV sugárzás változása Budapesten 1995 és 2003 között



UV-B  
évi összegek,



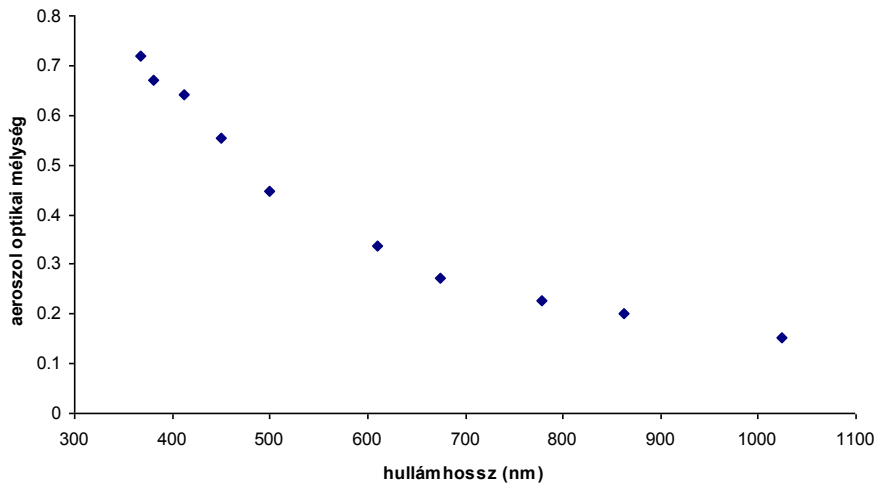
# OMSZ, Marczell Görgy Főobsz.:

$\delta_{A500}$ : 0.28 (belvárosi, ipari területek:  $> 0.3$ , háttér:  $< 0.2$ )

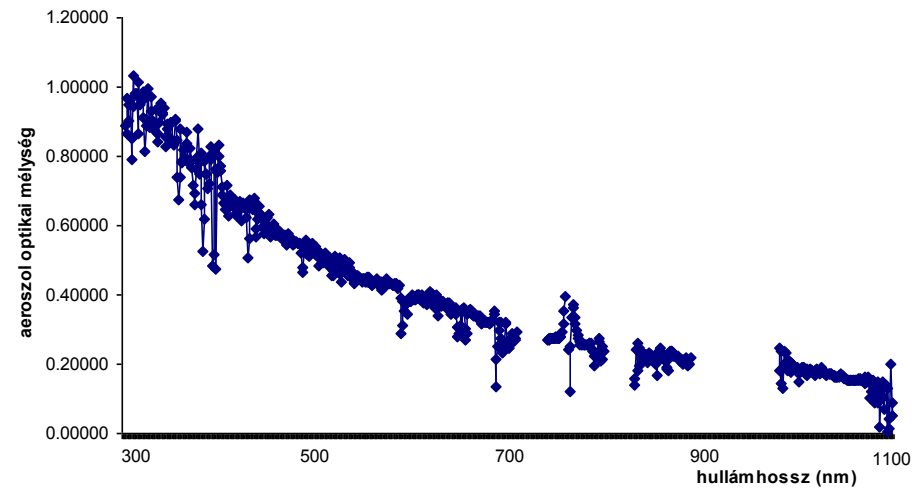
$\alpha$ : 1.53 (átlag: 1.3)

Köv: peremvárosi szituáció, az átlagnál kisebb részecskékkel

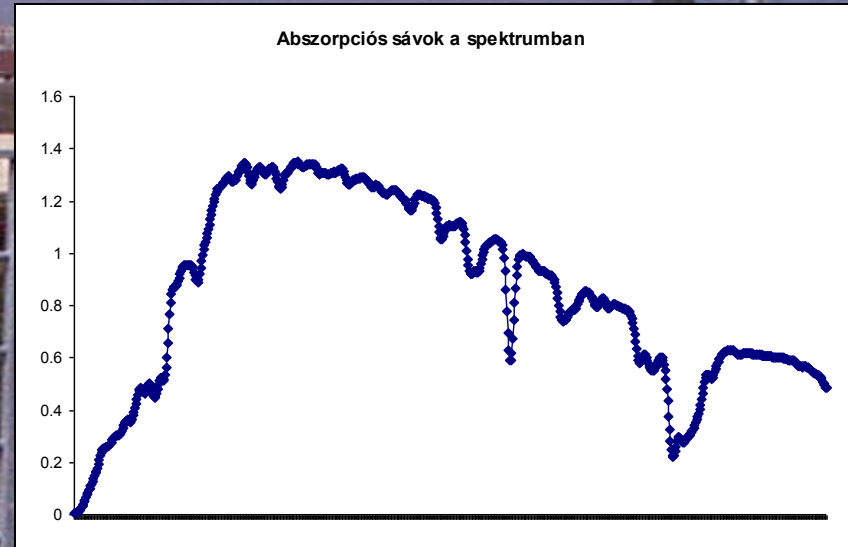
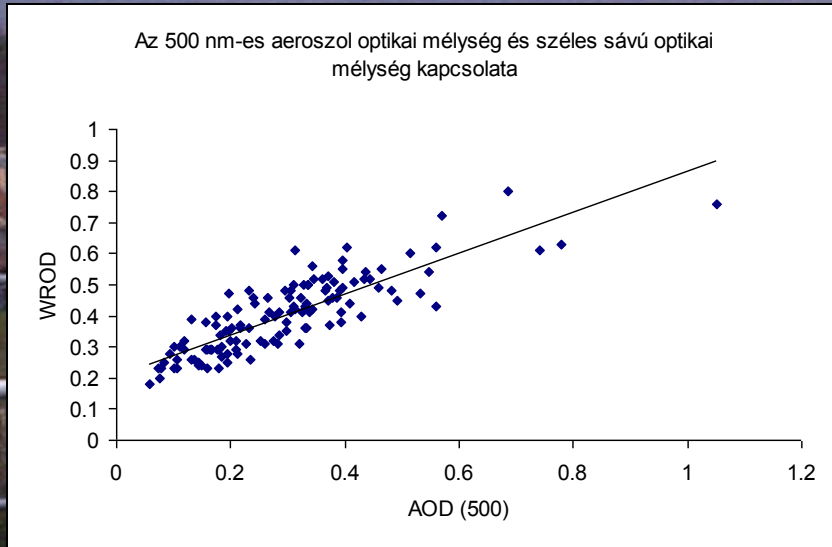
Jellemző aeroszol spektrum (a LI-1800 méréseiből számítva)



Aeroszol optikai mélység spektrum a LI-1800-zal mért irradianciákból számítva



# A szélessávú optikai mélység (látható - közeli infravörös) és az aeroszol optikai mélység közötti kapcsolat



- számított aeroszol optikai mélység értékek előállítása szélessávú optikai mélység értékekből.
- vizsgálat: 500 nm-re
- eltérés fő okozói: vízgőz és ózon abszorpciós sávjai



# A szélessávú optikai mélység (látható - közeli infravörös) és az aeroszol optikai mélység közötti kapcsolat

Parametrizáció:

$$\delta_{A\lambda} = C_{0\lambda} \delta_{WR} - C_{1\lambda} X_V - C_{2\lambda} X_{O_3} + C_{3\lambda}$$

ahol:

$\delta_{A\lambda}$  : aeroszol optikai mélység a  $\lambda$  hullámhosszon

$\delta_{WR}$  : szélessávú optikai mélység

$X_V$  : összes kihullható víz (rádiószondás mérésekből)

$X_{O_3}$  : a légoszlop teljes ózontartalma

$C_{0\lambda}, C_{1\lambda}, C_{2\lambda}, C_{3\lambda}$  : meghatározandó konstansok

Számítás: 500 nm-re

Eredmény:  $\delta_{A\lambda}$  és  $\delta_{WR}$  közötti korrelációs együttható

kb. 30 %-kal növekedett

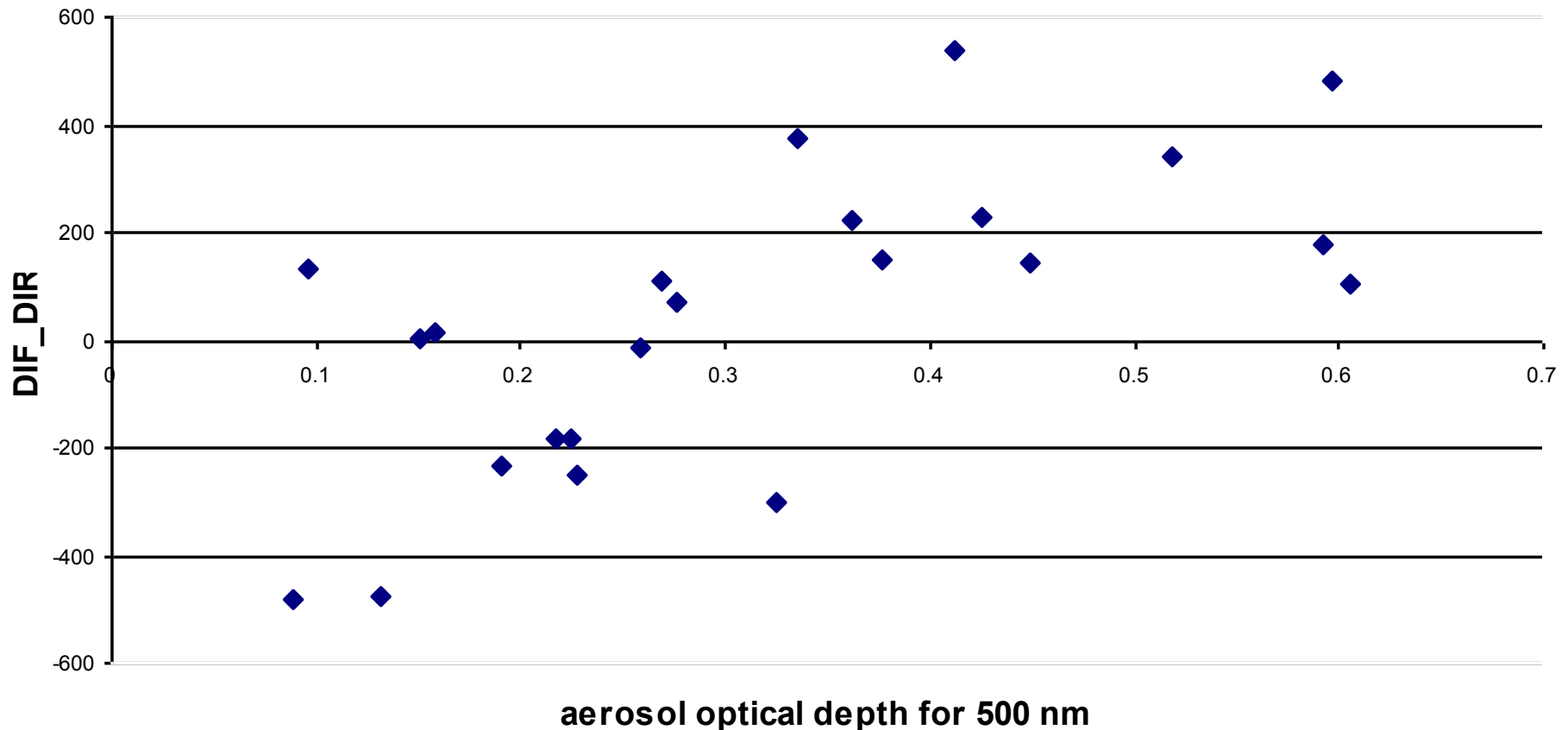
## **További fontosabb eredmények:**

- empirikus formula előállítás a megvilágítás és a globálsugárzás kapcsolatára (LI-1800)
- ALADIN model sugárzási outputjainak verifikációja (LI-1800 + piranometria, pirheliometria, ill. az outputok jóságának vizsgálata a légkör szennyezettsége függvényében):
- Suntest UV indikátor tesztelése
- speciális UV-fénycső által kibocsátott sugárzás irányfüggésének vizsgálata
- UV-védelem nélküli és UV-szűrő anyaggal ellátott mezőgazdasági fóliák spektrális áteresztésének, valamint az áteresztés természetes UV sugárzásnak való hosszú távú kitettség hatására történő változásának vizsgálata
- AOD mérés bizonytalansága (folyamatban)
- AOD hiba függése a napracélzás pontatlanságától függően



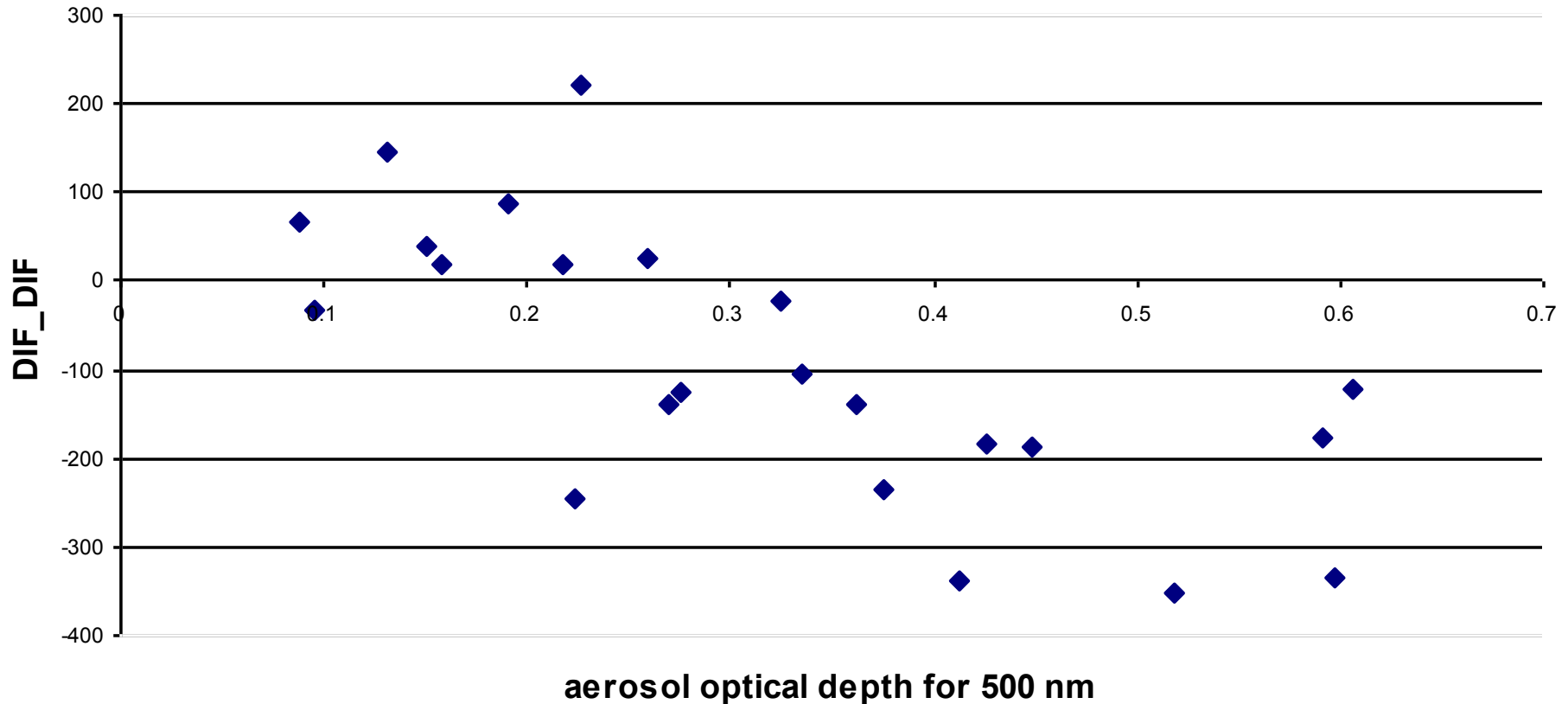
# ALADIN sugárzási outputjainak verifikációja: Előrejelzett és mért direktsug. különbségének függése az 500 nm-es aeroszol optikai mélységtől

**Fig. 14.** Values of DIF\_DIR at different aerosol optical depths



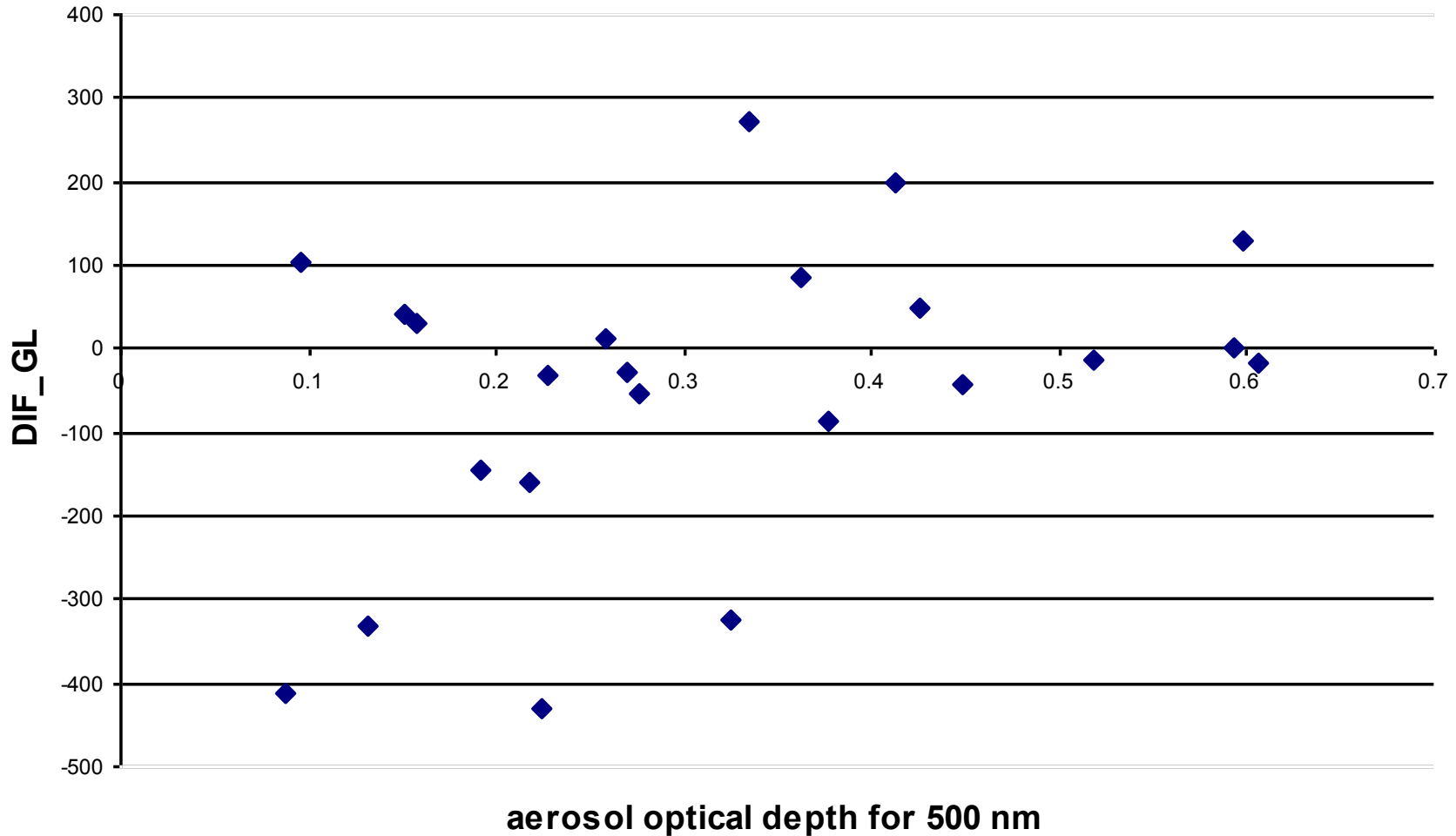
# ALADIN sugárzási outputjainak verifikációja: Előrejelzett és mért diffúz sug. különbségének függése az 500 nm-es aeroszol optikai mélységtől

**Fig. 15.** Values of DIF\_DIF at different aerosol optical depths

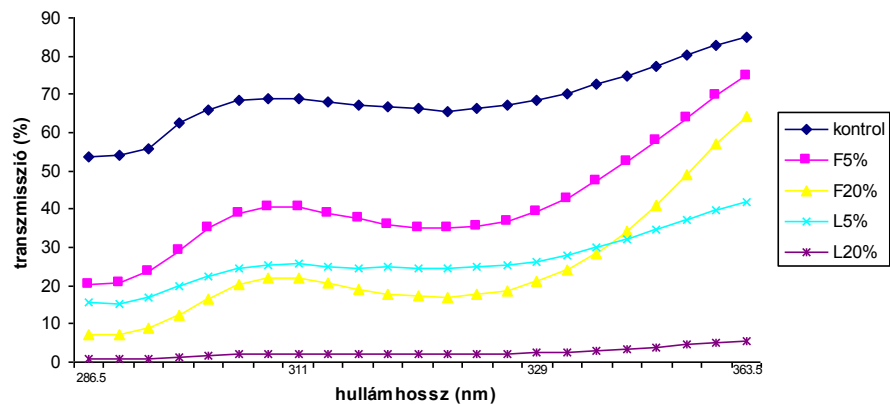


# ALADIN sugárzási outputjainak verifikációja: Előrejelzett és mért globálsug. különbségének függése az 500 nm-es aeroszol optikai mélységtől

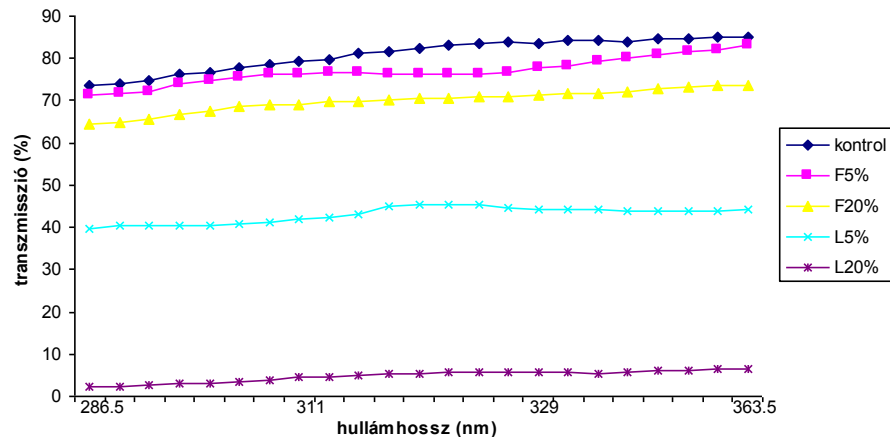
**Fig. 16.** Values of DIF\_GL at different aerosol optical depths



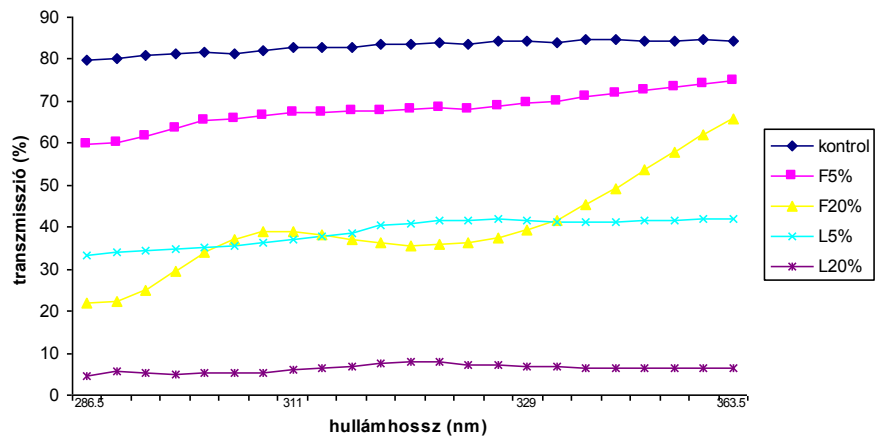
**A fóliák eredeti (UV expozíció előtti) transzmissziós spektruma az UV-B és UV-A tartományon**



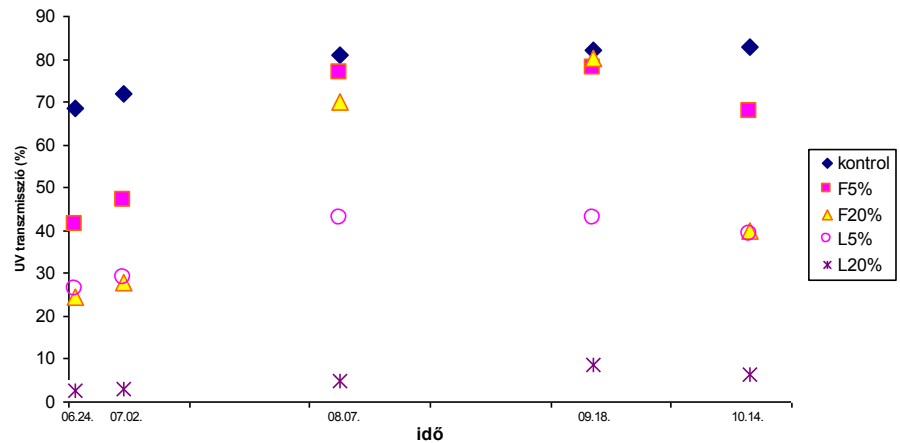
**A fóliák transzmissziós spektruma az UV-B és UV-A tartományon 2003. aug. 7-én**



**A fóliák transzmissziós spektruma az UV-B és UV-A tartományon 2003. okt. 14-én**



**A különböző fóliák átlagos UV transzmissziójának változása a vizsgált időszak alatt**



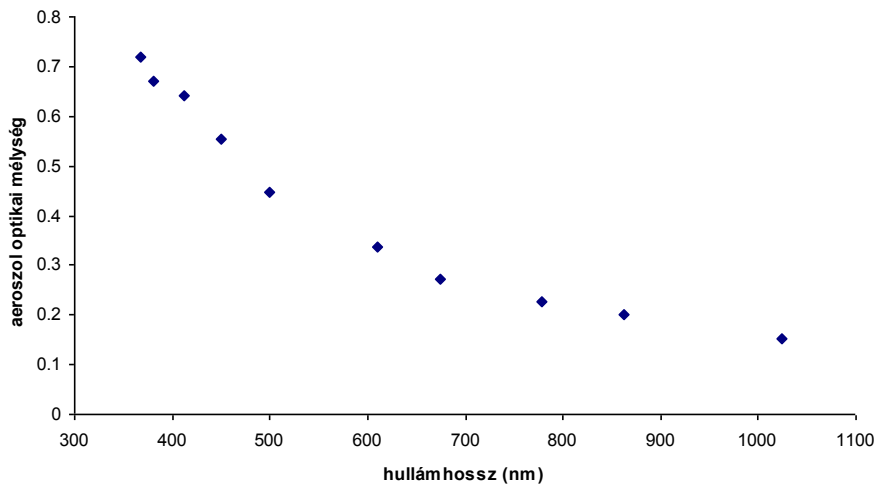
# OMSZ Marcell Görgy Főobszervatórium.:

$\delta_{A500}$ : 0.28 (belvárosi, ipari területek: > 0.3, háttér: < 0.2)

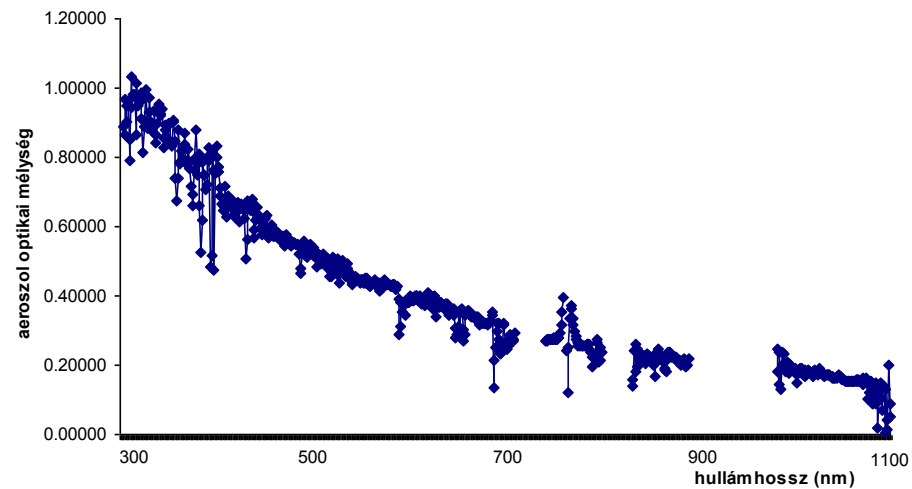
$\alpha$ : 1.31 (átlagos helyzet: 1.3)

**Köv:** peremvárosi szituáció átlagos részecskemérettel

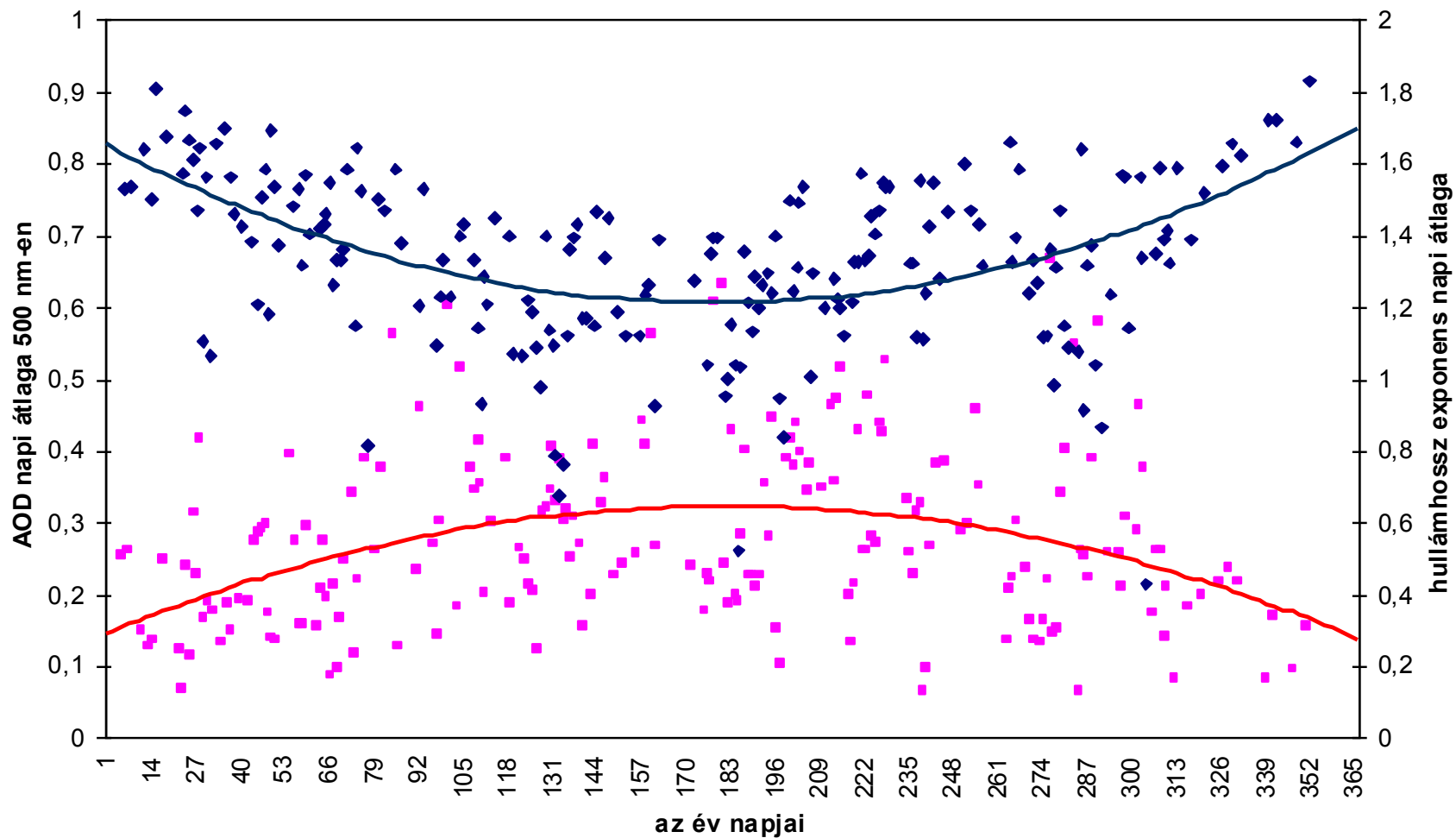
Jellemző aeroszol spektrum (a LI-1800 méréseiből számítva)



Aeroszol optikai mélység spektrum a LI-1800-zal mért irradianciákból számítva



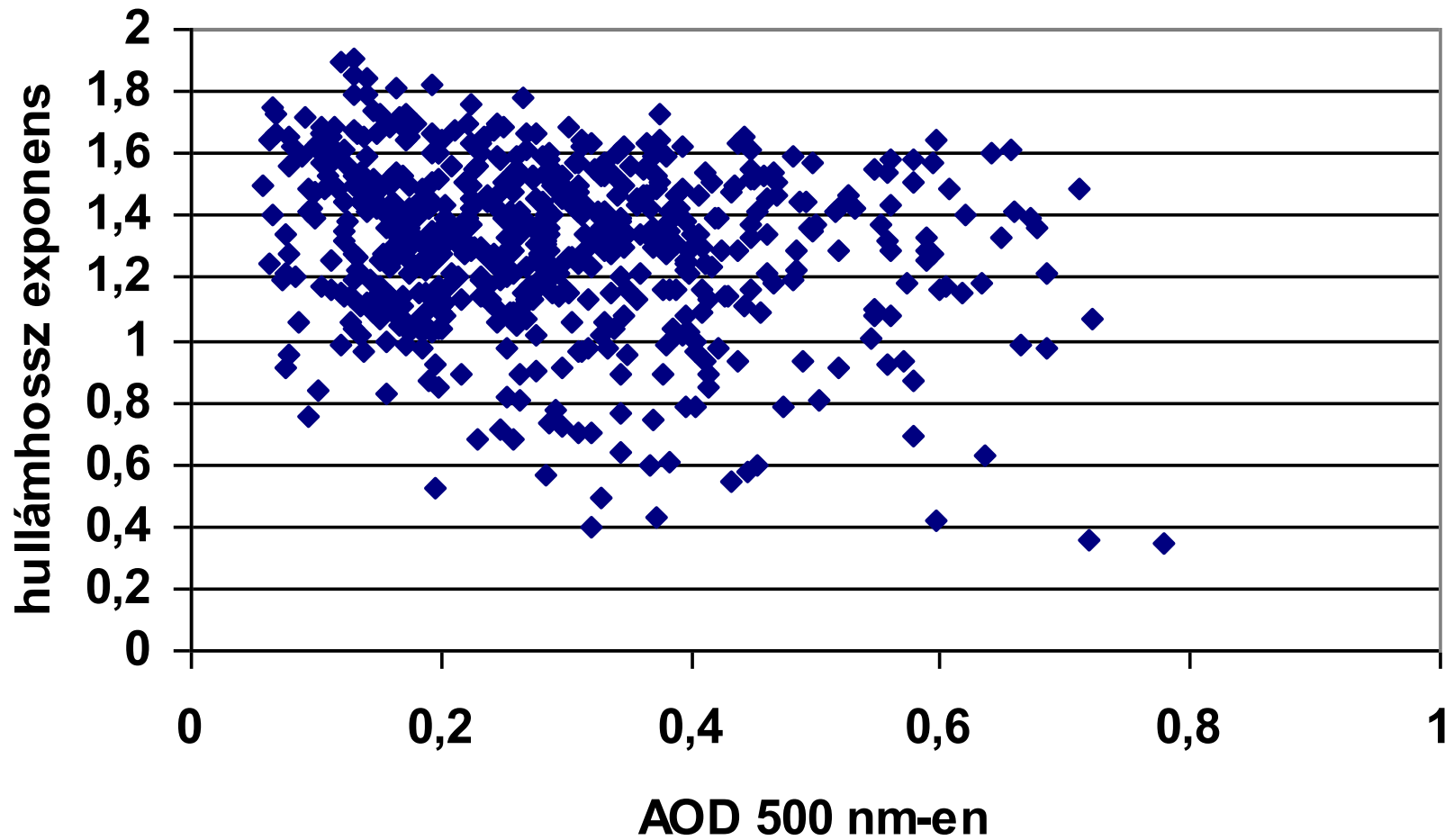
# Az 500 nm AOD és a hullámhossz exponens napi átlagértékeinek évi menete Budapesten



■ AOD-500 napi átlaga    ◆  $\alpha$  napi átlaga

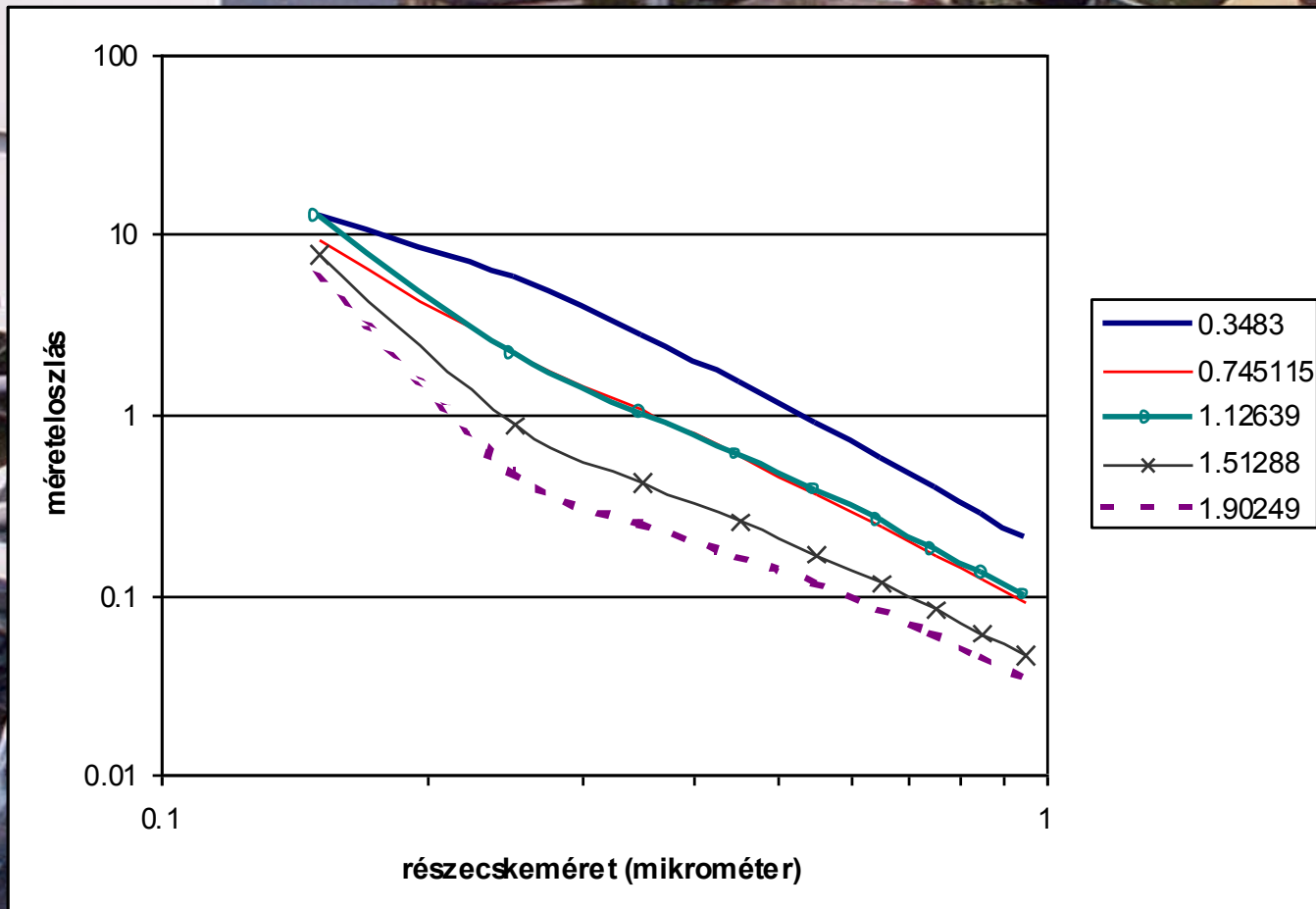


# A hullámhossz exponens függése az aeroszol optikai mélységtől

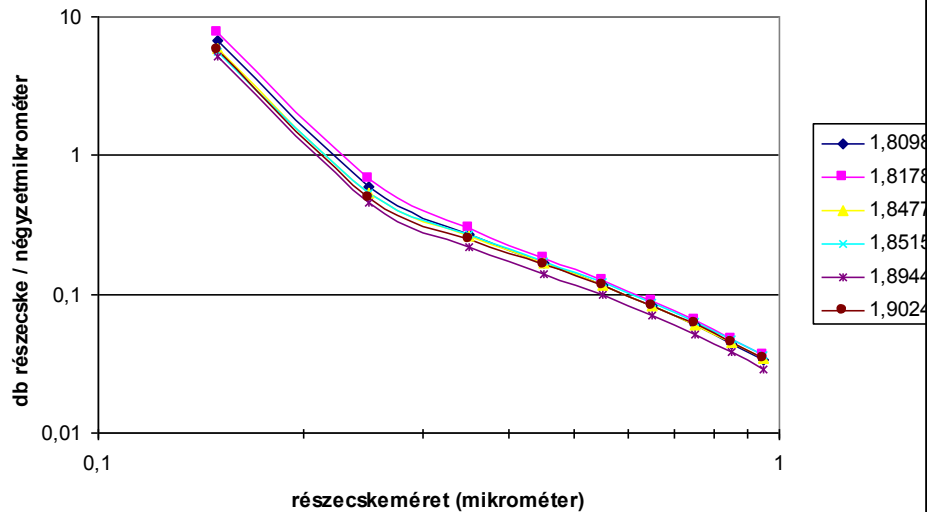


# KAPCSOLAT A LÉGKÖR SPEKTRÁLIS SUGÁRZÁS- ÁTBOCSÁTÁSA ÉS AZ AEROSZOL MÉRETELOSZTLÁSA KÖZÖTT

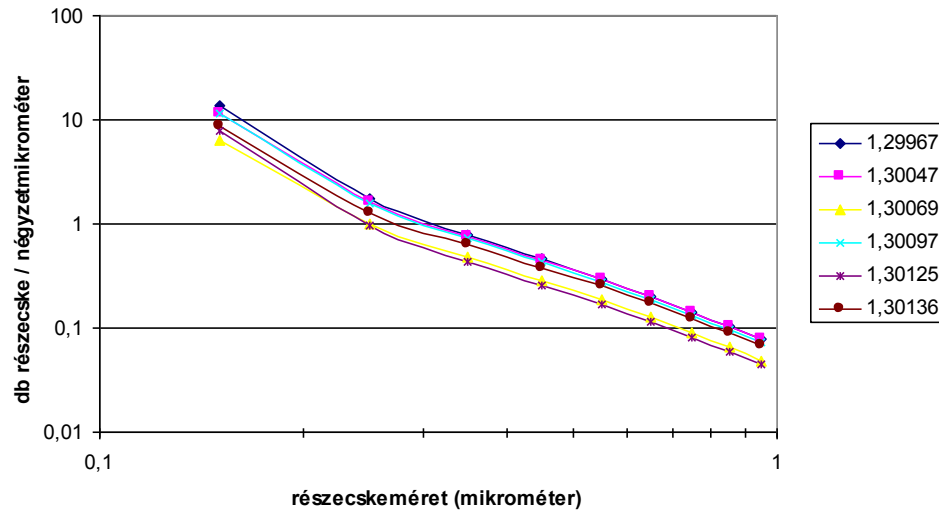
**KING-MÓDSZER:  
AOD-spektrumok  $\Rightarrow$  aeroszol méreteeloszlás**



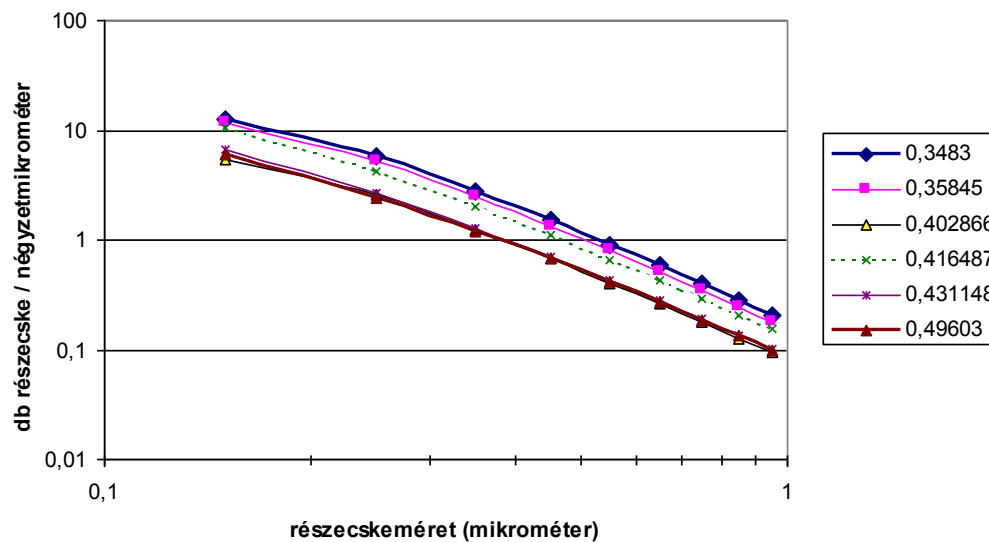
**Az eroszol méreteloszlása magas hullámhossz exponens értékek esetén (c)**



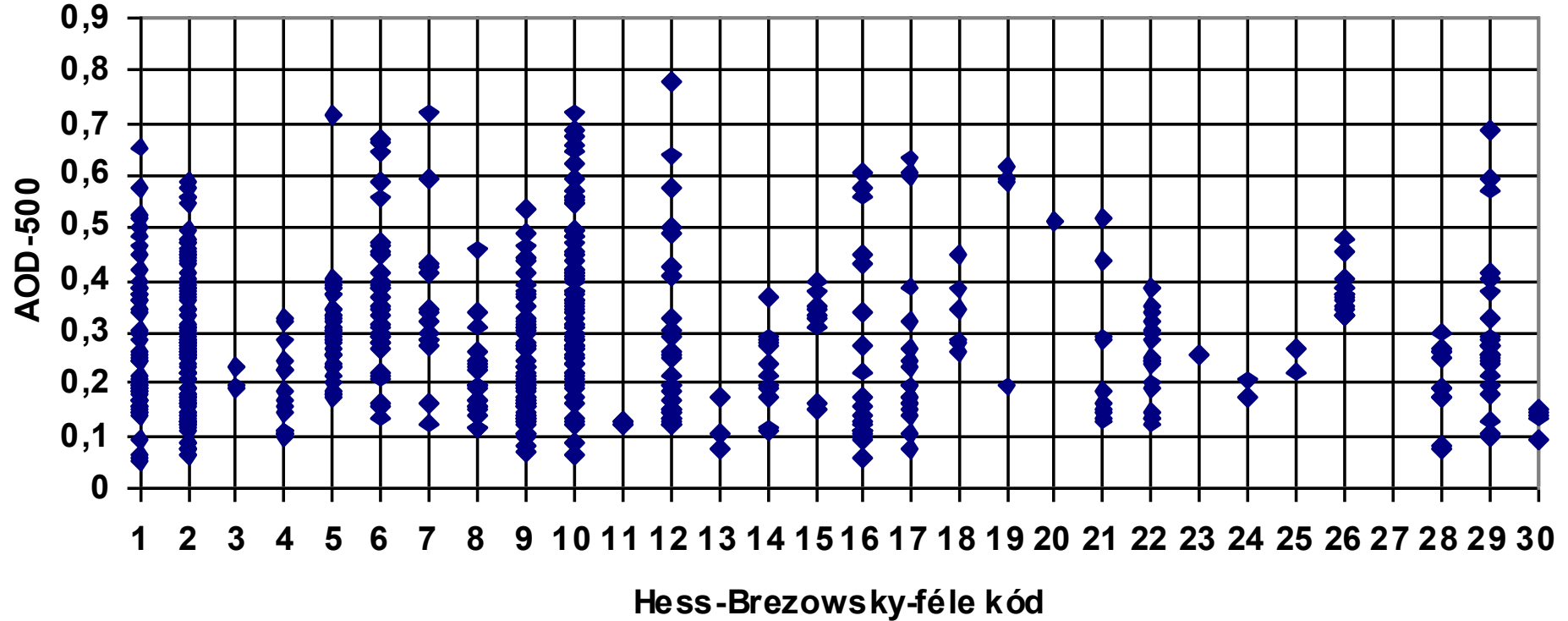
**Az aeroszol méreteloszlása átlagos hullámhossz exponens értékek esetén (b)**



**Az aeroszol méreteloszlása alacsony hullámhossz exponens értékek esetén (a)**



# AOD összefüggése a HB makroszinoptikus helyzetekkel



**Kis AOD:** 4 (szögletszerű nyugati helyzet)

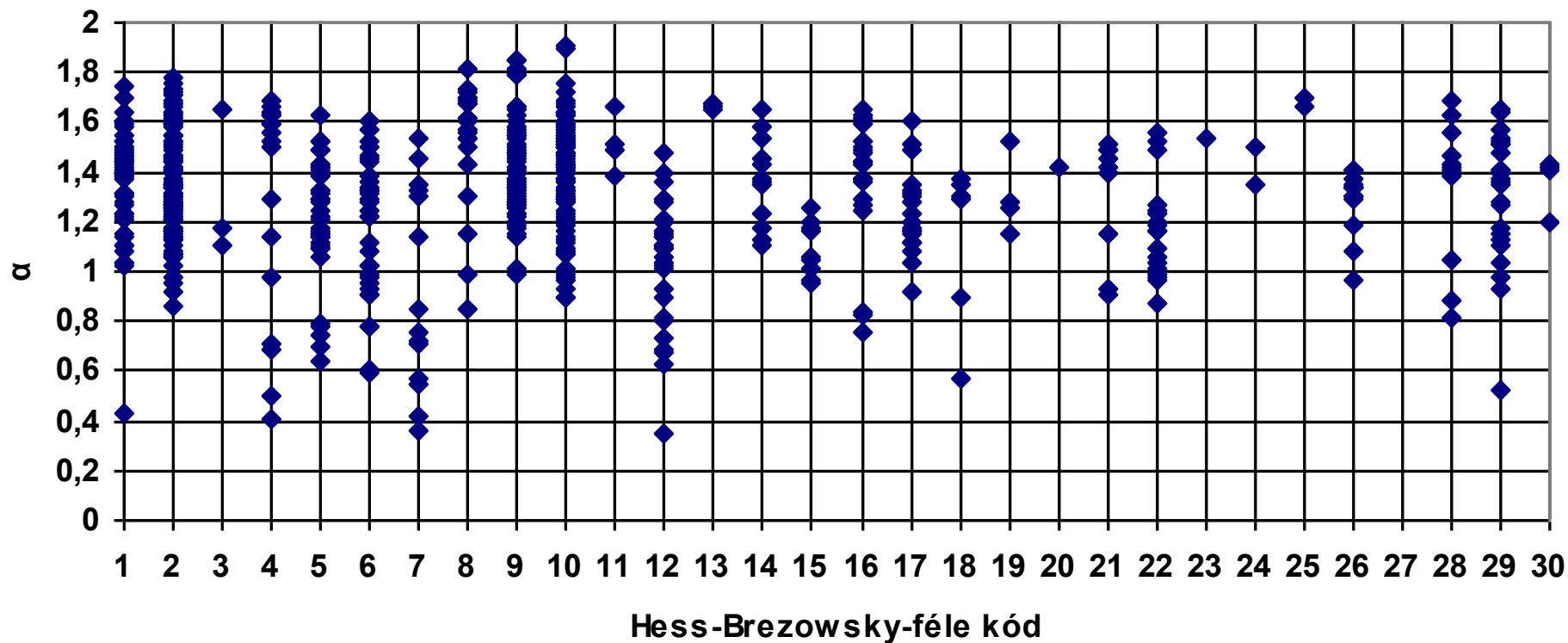
5 (anticiklonáris délnyugati helyzet)

8 (ciklonáris északnyugati helyzet)

**Nagy AOD:** 22 (Közép-Eur fölé kiterjeszkedő anticiklon, kp: Észak tenger)

26 (anticiklonáris déli helyzet)

# ALFA összefüggése a HB makroszinoptikus helyzetekkel



**Nagy ALFA: 14** (Közép-Eur felé kiterjeszkedő Északi-tengeri kp-ú anticiklon)

**16** (Kp-jával a Brit szigetek fölötti anticiklon)

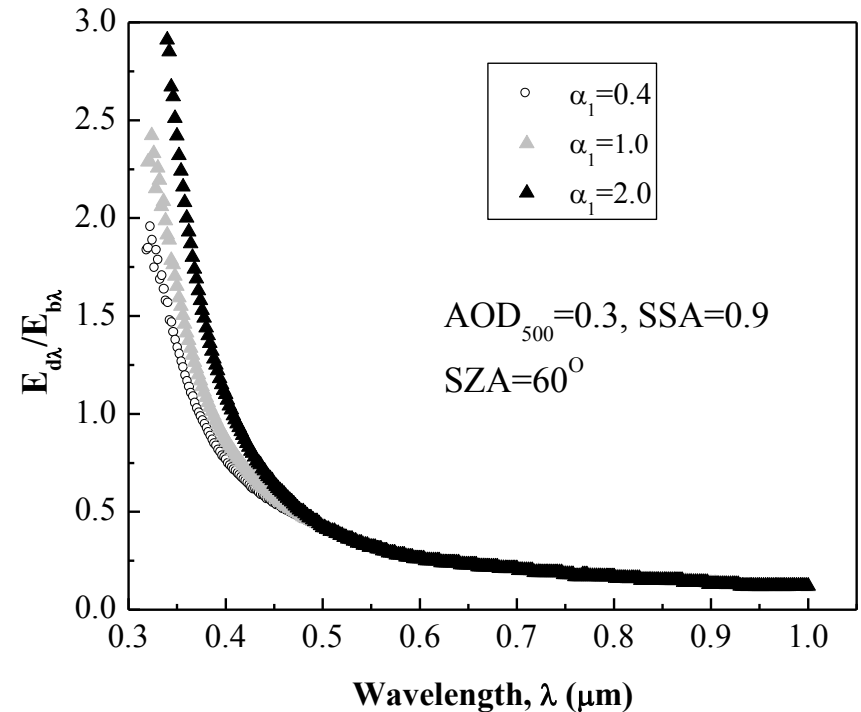
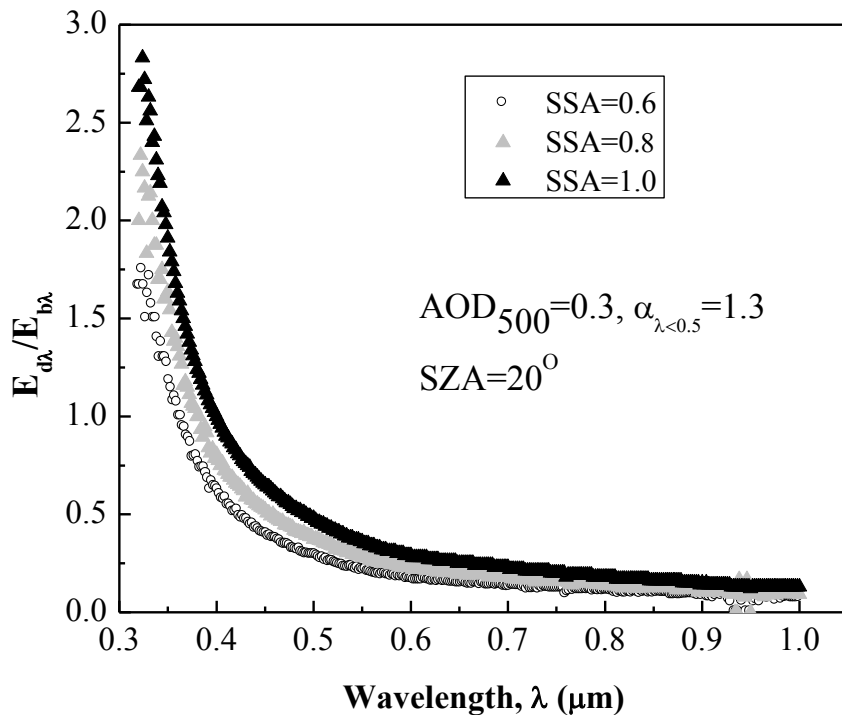
**8** (ciklonáris északnyugati helyzet) ???

**Kis ALFA: 22** (Közép-Eur fölé kiterjeszkedő anticiklon, kp: Észak tenger)

**Feltűnően nagy szórás: 4** (szögletszerű nyugati helyzet)

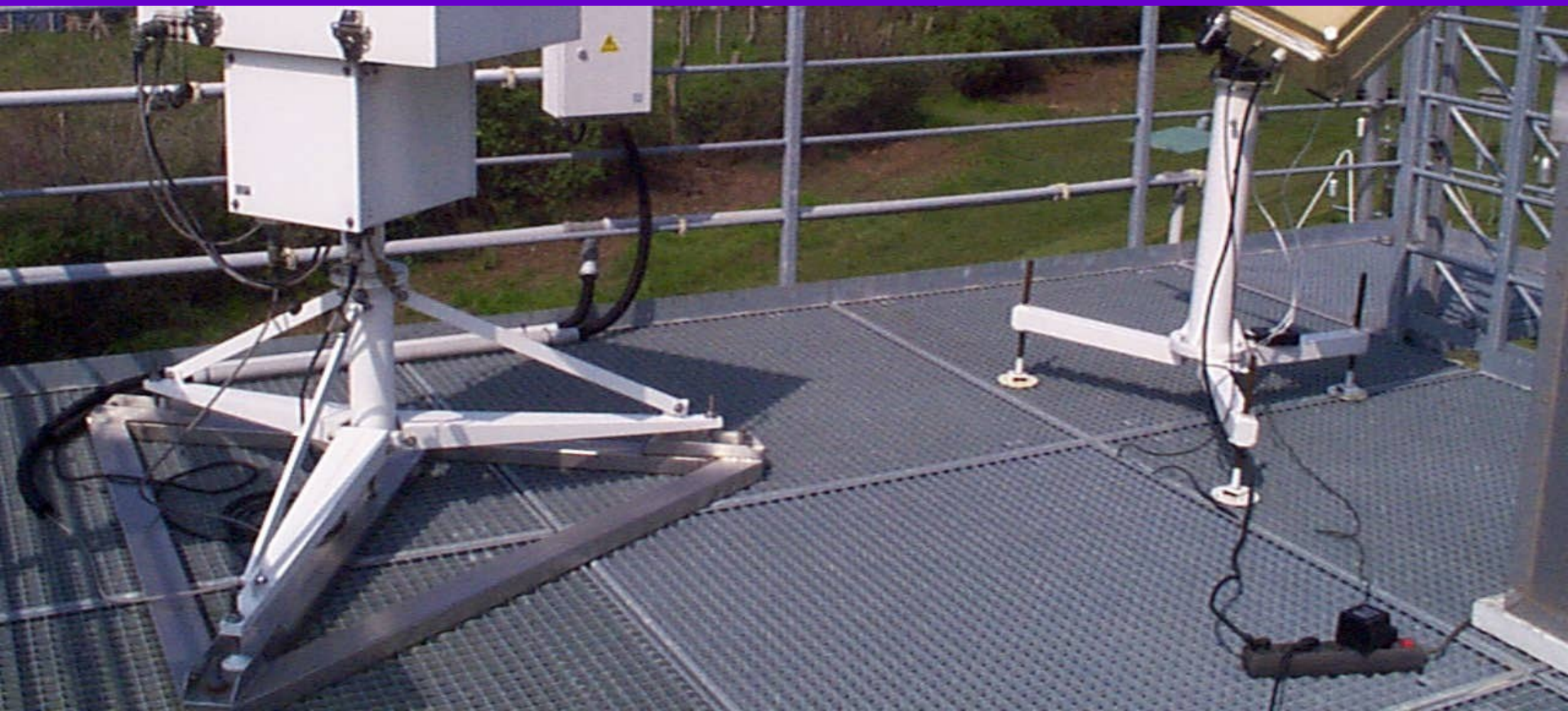
# Spektrális diffúz-direkt arány hullámhossz függése különböző zenittávolság és egyszeres szórási albedo értékekre ( $AOD_{500} = 0,3$ )

(D.G. Kaskaoutis (*University of Ioannina*), H.D. Kambezidis (*National Observatory of Athens Solar Radiation Research Institute*), Z. Tóth (*OMSZ*)):



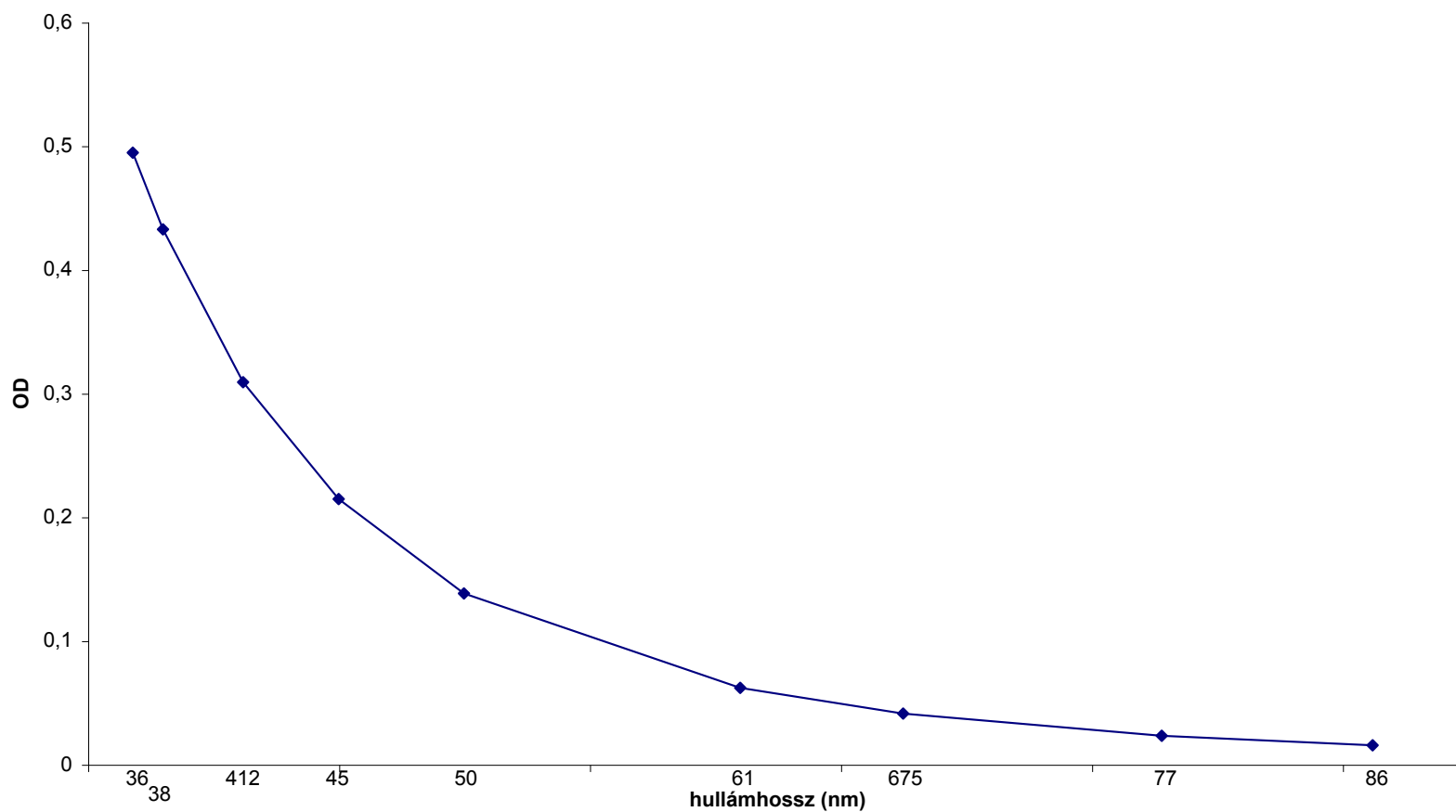
**AZ UV TARTOMÁNY – MINT AZ VÁRHATÓ – EXTRÉMEN  
ÉRZÉKENY A SZENNYEZETTSÉG VÁLTOZÁSÁRA:  
SPEKTRÁLIS DIFFÚZ ÉS DIREKT SUG. ARÁNYA AZ  
UV-BEN TÖBBSZÖRÖSE A LÁTHATÓBAN MÉRTNEK**

**(1.3  $\mu$  részecskeátmérő esetén:  $(D/I)_{300\text{ nm}} / (D/I)_{500\text{ nm}} = 8$   
0.6  $\mu$  részecskeátmérő esetén:  $(D/I)_{300\text{ nm}} / (D/I)_{500\text{ nm}} = 13$ )**



# A Rayleigh-atmoszféra optikai mélység spektruma

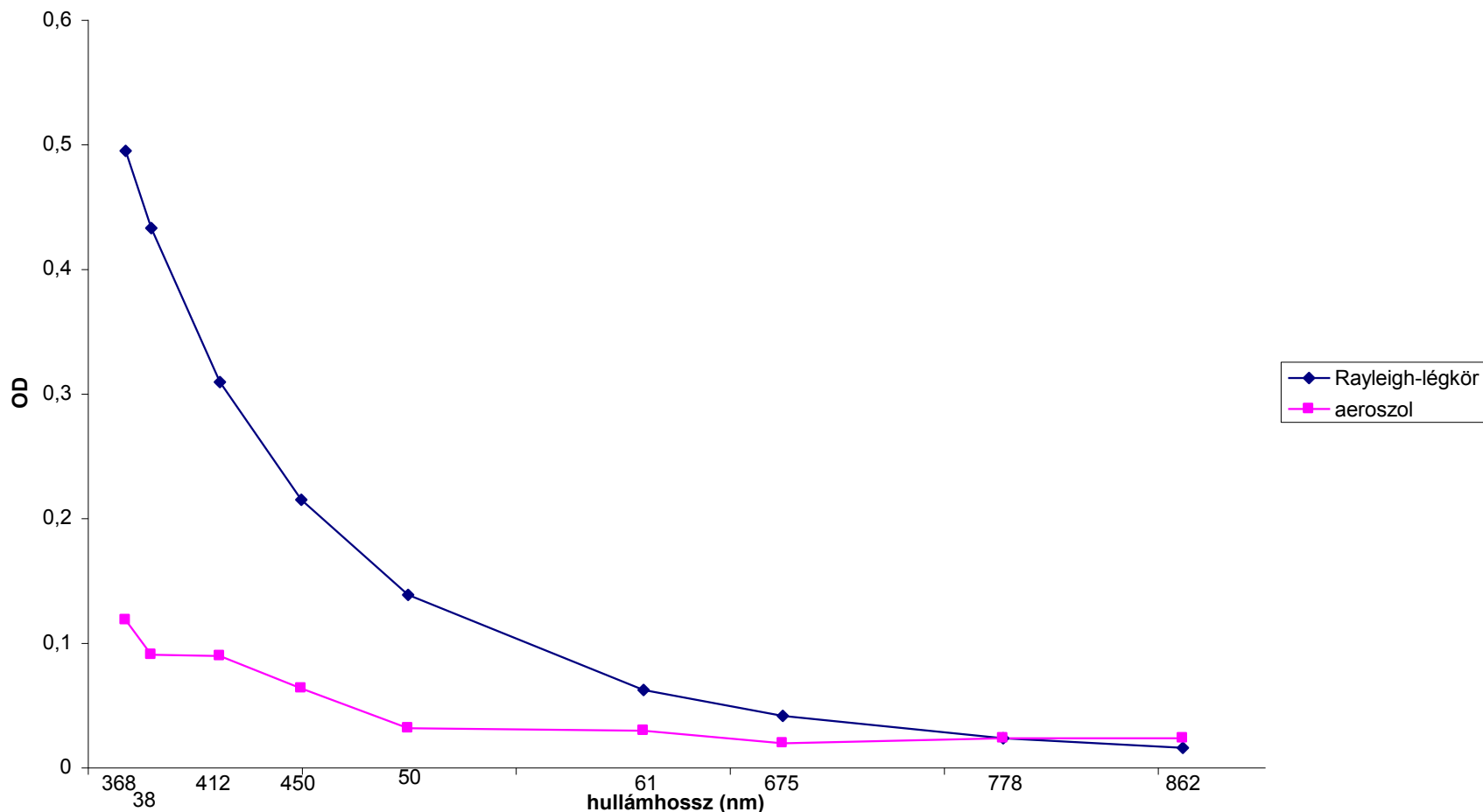
A Rayleigh-légkör optikai mélység spektruma





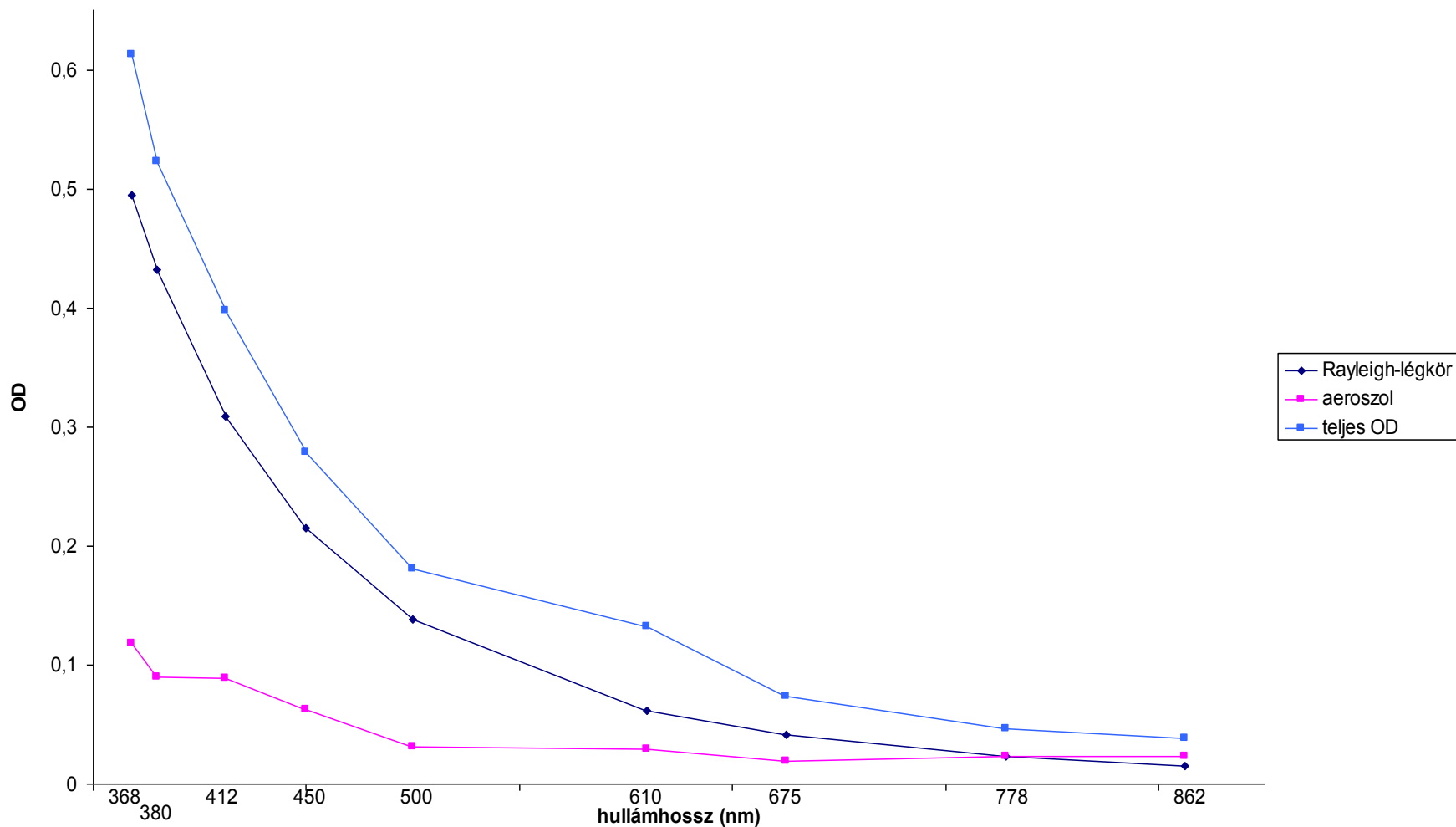
# A Rayleigh-atmoszféra optikai mélység spektruma és egy extrémén tiszta léggör aeroszol optikai mélység spektruma (OMSZ, Marczell György Obszervatórium)

A Rayleigh-léggör OD spektruma és egy budapesti extrémén tiszta léggör OD spektruma



# A Rayleigh-atmoszféra OD, egy extrémén tiszta léggör OD, és a teljes OD (Rayleigh + aeroszol + ózon)

Rayleigh-léggör OD, egy extrémén tiszta budapesti léggör OD, és a teljes OD

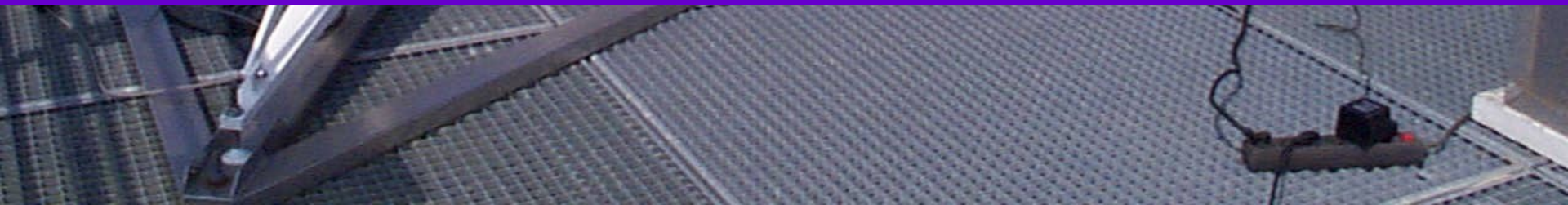


# Hányszor nagyobb a légkör teljes optikai vastagsága a Rayleigh-atmoszféra optikai vastagságánál?

HH (nm)	Legtisztább	Legszenny.
368	1,24	3,1
380	1,20	3,36
412	1,29	4,18
450	1,29	5,19
500	1,22	6,64
610	1,47	10,92
675	1,46	14,07
778	2,00	20,18
862	2,50	26,23

# FONTOSABB NEMZETKÖZI EGYÜTTMŰKÖDÉSEK:

- **Joint Research of UV-B (görög-lengyel-magyar-izlandi)**
- **World Ozone and Ultraviolet Data Center**
- **COST 713 („UV forecasting”) 1997-2001:**
  - UV előrejelzési módszerek európai harmonizációja
- **EU/FP5 „ICAROS-NET” (légkörben lévő aeroszol részecskefajták megállapítása műholdfelvételekből, real-time információ)**
  - **műholdas spektrométer validálása: *ground truth* szimultán mérések műholdas spektrométerekkel műholdátvonuláskor Athénban és Budapesten (2001 – 2005)**



# NEMZETKÖZI EGYÜTTMŰKÖDÉSEK:

- **COST726 (Long term changes and climatology of UV over Europe) –**  
**WG4: QA/QC Procedures**

**1. *Practical Guide to Operating Broadband Instruments Measuring Erythemally Weighted Irradiance* c. kiadvány elkészítése. Részletesen ismerteti a broadband UV detektorok és azokból álló mérőhálózatok működtetését**

**2. A WG4 a WMO Scientific Advisory Group for UV Measurements testülettel együtt a broadband UV mérésekre vonatkozó standard működtetési procedúra (SOP – Standard Operating Procedure) kifejlesztése. Erythemával súlyozott UV sugárzásméréseket végző nemzeti és regionális hálózatok működésének harmonizálása.**

**3. Broad band detektor kalibráció a WRC-ben, kalibrációs számítások**

# NEMZETKÖZI EGYÜTTMŰKÖDÉSEK:

## -EMRP SRT-ENV-09:

**Traceability for surface spectral solar ultraviolet radiation**

(koordinátor: World Radiation Centre, Davos, Svájc) 2011 -

**fő cél: nagy pontosságú gyors diódasoros spektrométerek fejlesztése**

