

A LÉGKÖR NAPSUGÁRZÁS-ÁTBOCSÁTÁSÁNAK HOSSZÚTÁVÚ VÁLTOZÁSA BUDAPEST FELETT – „DIMMING” VAGY BRIGHTENING”?

A satellite in space with Earth in the background. The satellite is cylindrical with solar panels and a white antenna. The Earth is blue and white, curving away into the blackness of space.

Tóth Zoltán

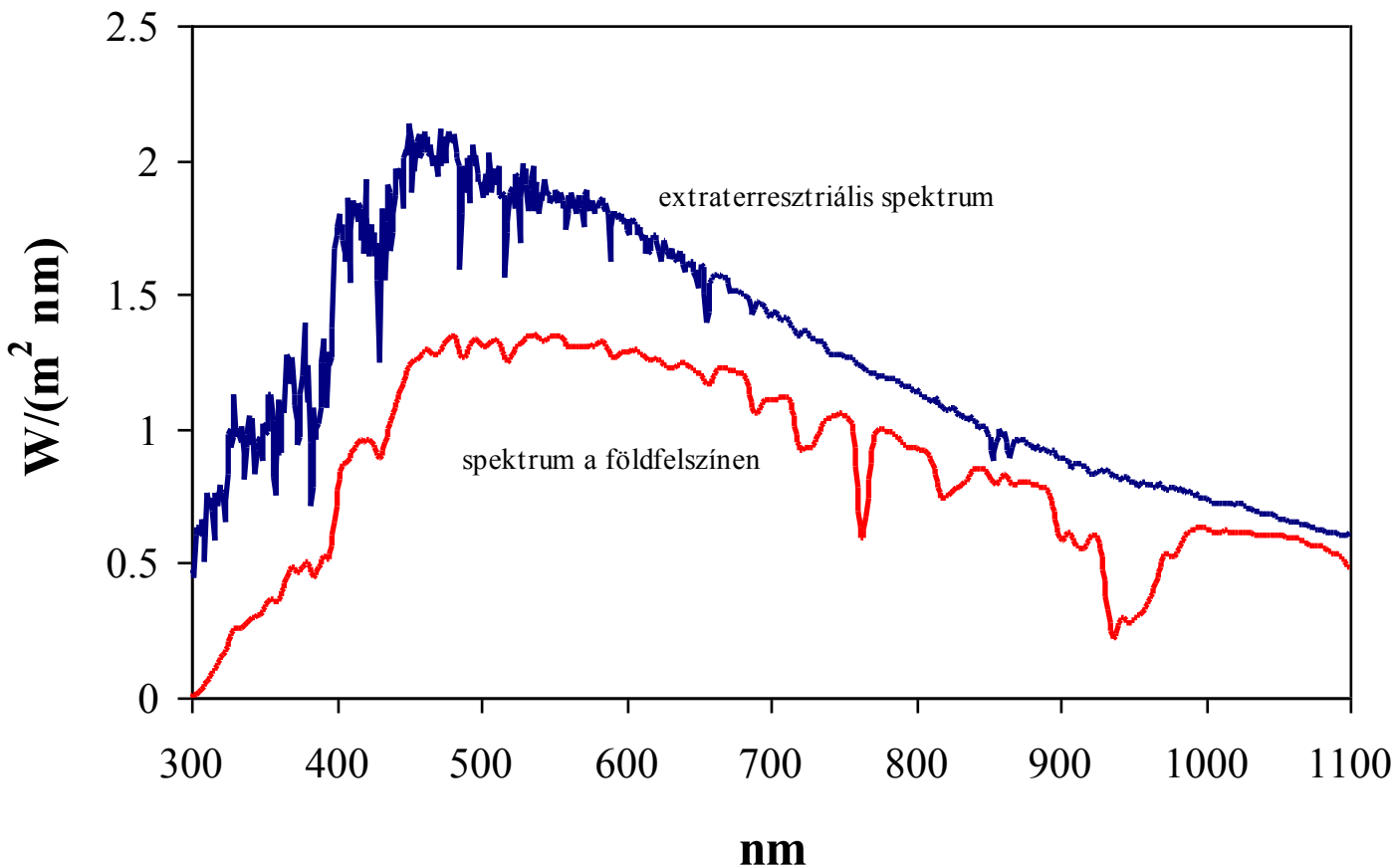
*Országos Meteorológiai Szolgálat,
Légkörfizikai és Méréstechnikai Osztály*

Budapest, Gilice tér 39. 1181

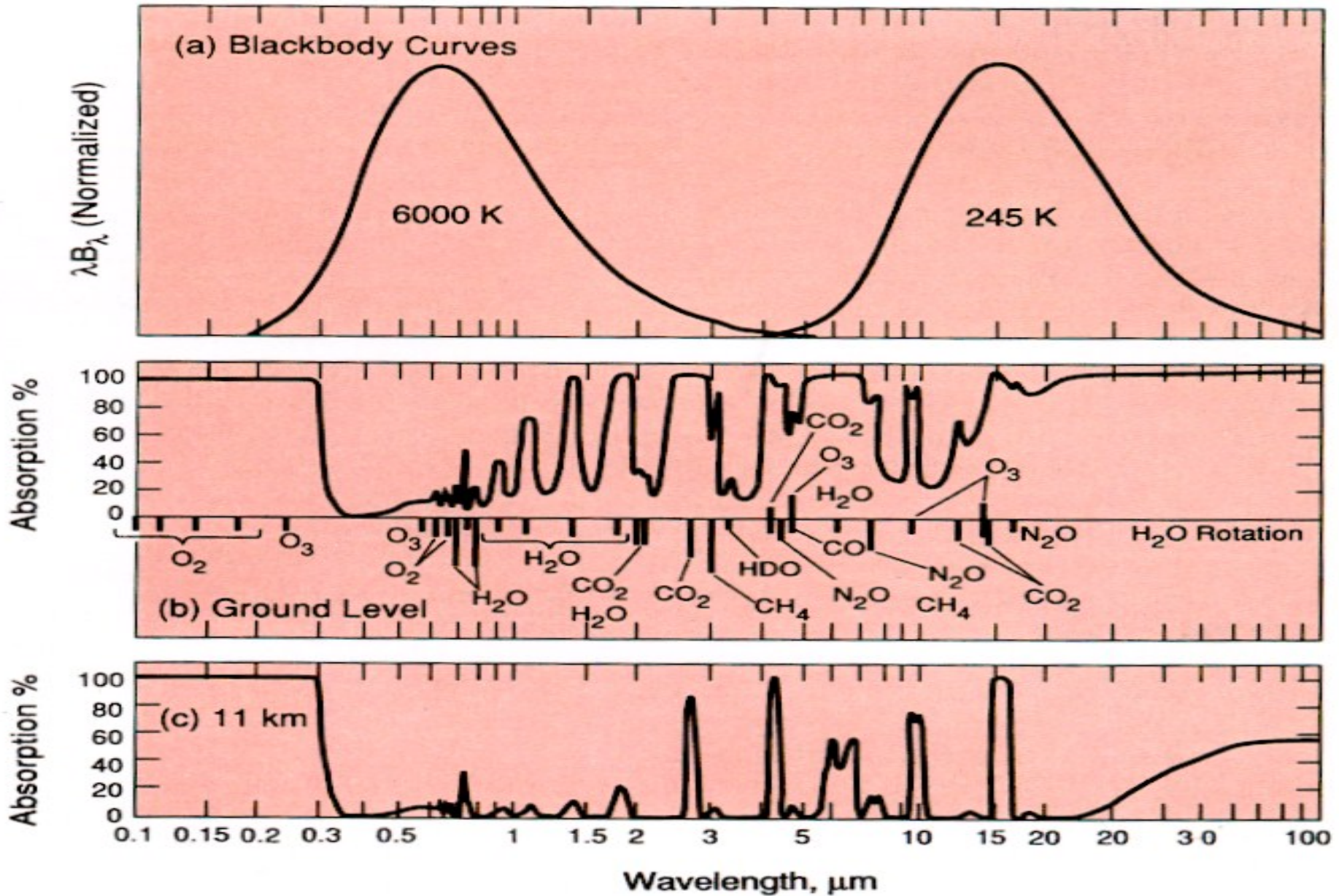
E-mail: toth.z@met.hu

NAPSUGÁRZÁSÁTBOCSÁTÁS A FÖLD LÉGKÖRÉBEN

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



NAPSUGÁRZÁS - FÖLDSUGÁRZÁS



A BUDAPEST FÖLÖTTI LÉGKÖR NAPSUGÁRZÁSÁTBOCSÁTÁSÁNAK VIZSGÁLATA

**Cél: „gyorsan változó” átlátszóság vizsgálata ⇒
látható és NIR kell**

Kérdések:

- 1. Hogyan tudjuk értelmesen / használhatóan jellemezni a légkör napsugárzásátbocsátását a mérésekre alapozva?**
- 2. Milyen mért fizikai mennyiségek állnak rendelkezésre?**
- 3. Mennyire összehasonlíthatóak az alkalmasan választott, napsug. átbocsátásra jellemző fizikai mennyiségek?**

A satellite view of Earth from space, showing the blue oceans, white clouds, and the blackness of space. The Earth's curvature is visible on the left and right sides of the frame.

1. GLOBÁLSUGÁRZÁS

2. CLEARNESS INDEX (G / G_{\max})

3. Θ SZÓRÁSI PARAMÉTER

4. SZÜRKE OPTIKAI MÉLYSÉG

5. AEROSZOL OPTIKAI MÉLYSÉG



Adatok:

Vizsgált mérési hely: Budapest

Periódus: 1967 – 2011

Felbontás: órás (1967-1993), tízperces (1994-2011)

Trendvizsgálathoz használt adatok: éves átlagok

Szükséges előfeldolgozás: szűrés

SZŰRÉSEK:

- 1. Felhős esetek kiszűrése**
- 2. Kis napmagasságok kiszűrése (refrakció bizonytalansága miatt)**

1. Felhős esetek kiszűrése

Probléma:

felhőtlen napkorong kell, de adatok órásak \Rightarrow
hogyan válasszuk ki a megfelelőeket?

(nem tudjuk, hogy a nem-nulla oktás, de kisborultságú
órákzökben fedte-e felhő a napkorongot)

Lehetőségek:

a. csak nulla oktás adatok (nagy adatvesztés)

b. nem-nulla oktás adatok felhasználása bizonyos oktáig

\Rightarrow döntés: 0 okta – 3 okta

A satellite view of Earth from space, showing the blue oceans, white clouds, and brown landmasses. The Earth's curvature is visible against the black background of space.

2. Kis napmagasságok kiszűrése:

- a. A refrakció bizonytalansága miatt (az optikai légtömegre vonatkozó formulák nullához közelítve egyre pontatlanabbak)
- b. Túl nagy napmagasságot se választhatunk alsó határnak, mert akkor a téli hónapokban, amikor a delelési napmagasság $19-30^\circ$ közé esik, nagyon sok adatot szórnánk ki, és kevés maradna a vizsgálatok elvégzésére.
Végül önkényesen: 10°



CLEARNESS INDEX (G / G_{\max})

CLEARNESS INDEX (G / G_{\max})

normálás:

- Csillagászatilag lehetséges globálsug.
- Rayleigh-atmoszférára számított globálsug.
- Mérésekből számított maximálisan lehetséges globálsug.

Szükséges detektor: piranométer

GLOBÁLSUGÁRZÁS HOSSZÚTÁVÚ VÁLTOZÁSA A SZAKIRODALOMBAN:

Stanhill and Cohen, 2001: Európa több állomására csökkenés (de a 90-es évek elejéig tartó adatsorokkal dolgoztak)

Roderick and Farquhar, 2002

Ohmura, 2004 (Európa több állomására csökkenés az 50-es évek elejétől, majd 90-es évek elejétől növekedés)

Nagy Z., 2005 (Budapestre csökkenés az 50-es évek elejétől, majd 90-es évek elejétől növekedés)

Különbség: a fentiek all sky adatokkal dolgoztak, míg mi borultág szerint szűrt adatokkal – ennek ellenére nehezen magyarázható a különbség + nem egyezik a szórási paraméterre és az optikai mélységre kapott eredményekkel

Θ SZÓRÁSI PARAMÉTER

$$\Theta = \frac{D/G}{D_R/G_R}$$

ahol:

D : horizontális felületen mért szórt sugárzás

G : globálsugárzás

D_R : Rayleigh atmoszférán át a földfelszínre lejutó szórt sugárzás

G_R : Rayleigh atmoszférán át a földfelszínre lejutó összszugárzás

Szükséges detektor:

- piranométer + napkorong kitakarása (napkövető)

☉ SZÓRÁSI PARAMÉTER

Sugárzás- intenzitás a horizontálisan homogén, gyengén szennyezett légkörben, a teljes hullámhossztartományban:

$$I(z) = \int_0^{\infty} I(\lambda, z) d\lambda = \int_0^{\infty} I_0(\lambda) \cdot P_n(\lambda, z) \cdot P_u(\lambda, z) \cdot P_w(\lambda, z) \cdot P_0(\lambda, z) d\lambda$$

ahol $I_0(\lambda)$ és $I(\lambda, z)$ a monokromatikus fény intenzitása a légkör felső határán, illetve a rétegen való áthaladás után a z - szinten; P_n , P_u , P_w , és P_0 : az ideálisan tiszta légkör, az ózon, a vízgőz és a légköri aeroszol monokromatikus átbocsátási függvénye; $I(z)$ pedig az integrált irradiancia.

Θ SZÓRÁSI PARAMÉTER

Beer- Bougert- Lambert törvény:

$$I_{\lambda} = I_{\lambda_{\infty}} \cdot e^{-m \cdot \delta_R}$$

Rayleigh-atmoszféra optikai mélysége:

$$\delta_R(p) = 0.009 \frac{p}{p_0} \lambda^{(-4.15+0.2 \cdot \lambda)}$$

A légkör tetején a spektrális irradiancia általunk használt alakja a Planck- törvény értelmében:

$$I_{\lambda_{\infty}} = \frac{1.19 \cdot 10^8 \pi}{\lambda^5} \cdot \frac{1}{\exp\left(\frac{14388}{\lambda \cdot 5800}\right) - 1} \cdot \left(\frac{R_N}{r}\right)^2 \left(\frac{\bar{r}}{r}\right)^2$$

⊖ SZÓRÁSI PARAMÉTER

A talajon vízszintes felületre jutó, Rayleigh- szórással gyengített direkt sugárzás:

$$I_R = \sin h \cdot \int_{0.3}^3 I_{\lambda\infty} \exp(-m \cdot \delta_R(\lambda)) d\lambda$$

A Rayleigh- szórás egyik fő sajátossága, hogy az ún. előreszórás és a hátraszórás szimmetrikus. Ezt figyelembe véve:

$$D_R = \frac{I_0 - I_R}{2}$$

ahol:

$$I_0 = \sin h \int_{0.3}^3 I_{\lambda\infty} d\lambda$$

a légkör tetején vízszintes felületen mérhető sug. áram-sűrűség

Θ SZÓRÁSI PARAMÉTER

Így a Rayleigh -szórással gyengített légkörben a talajon mérhető szórt- és össz sugárzás aránya (továbbiakban Rayleigh-paraméter):

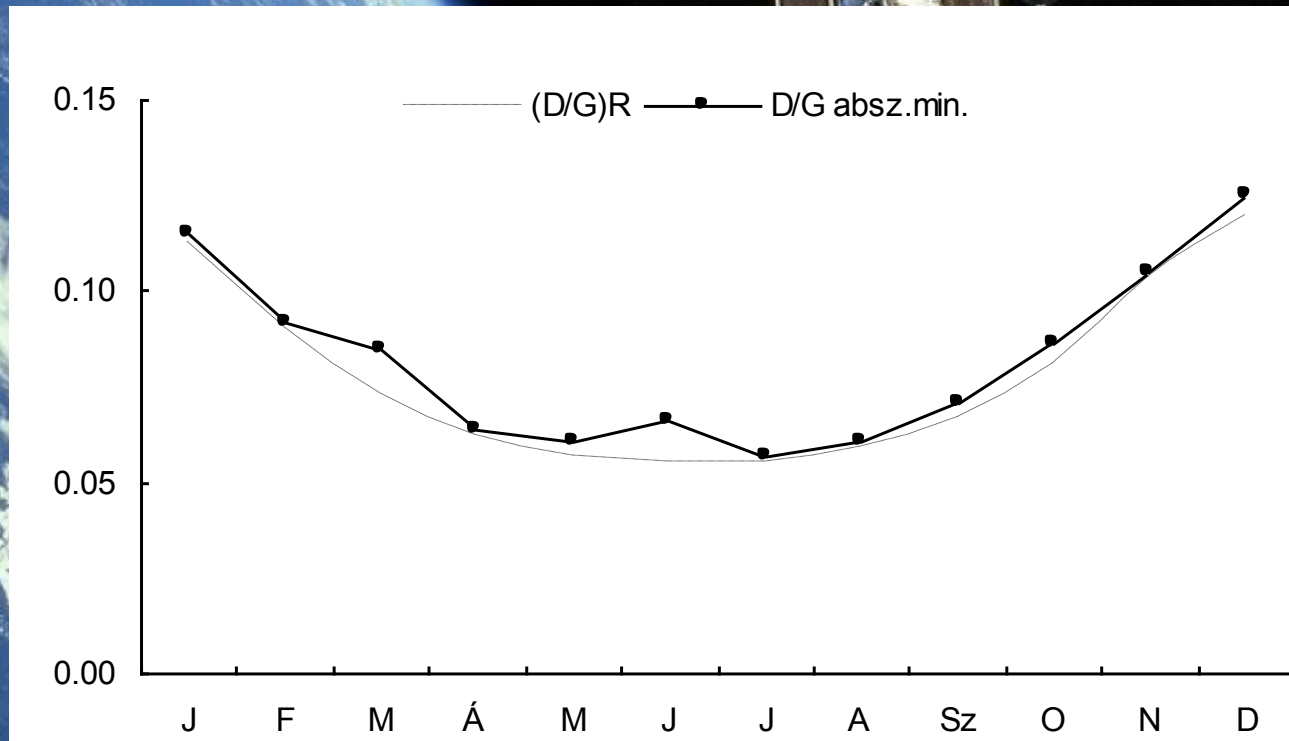
$$\frac{D_R}{G_R} = \frac{D_R}{I_R + D_R} = \frac{1}{1 + \frac{I_R}{D_R}}$$

ahol a fentiek értelmében:

$$\frac{I_R}{D_R} = 2 \cdot \frac{\int_{0.3}^3 I_{\lambda\infty} \exp(-m \cdot \delta_R) d\lambda}{\int_{0.3}^3 I_{\lambda\infty} (1 - \exp(-m \cdot \delta_R)) d\lambda}$$

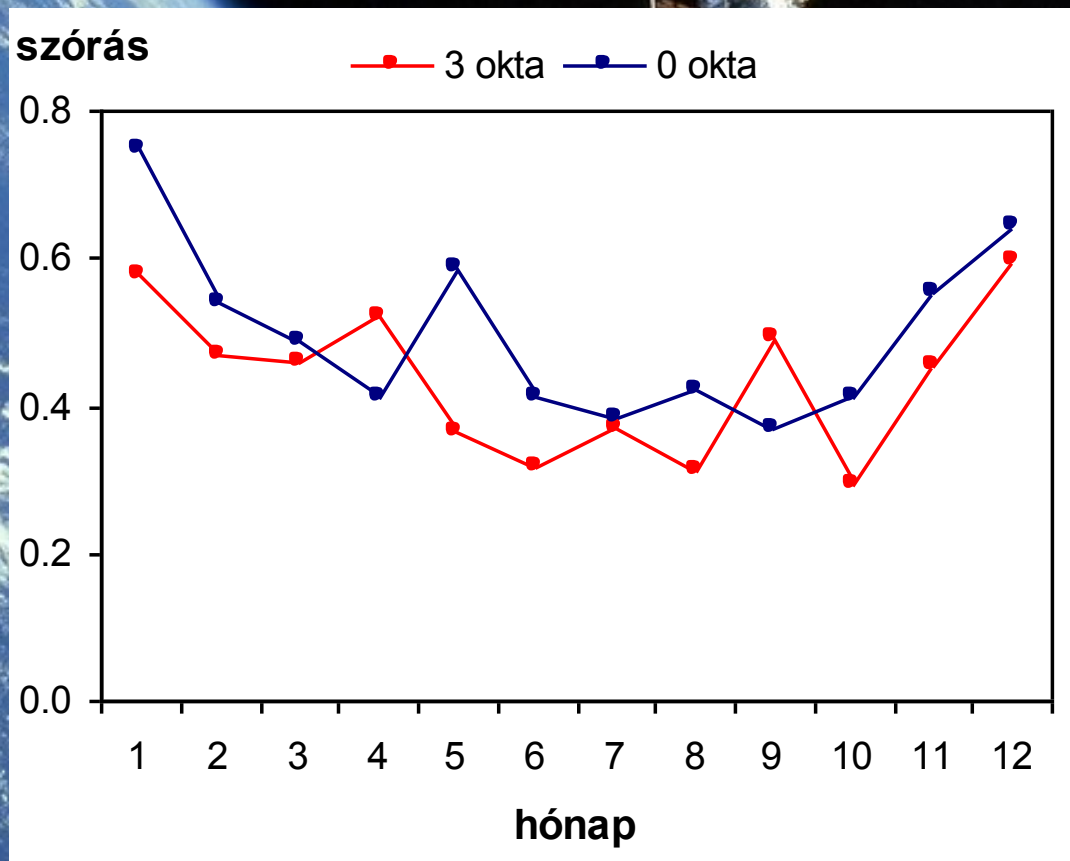
Θ SZÓRÁSI PARAMÉTER

A mért D/G arányok havi abszolút minimum értékeinek (folytonos vonal) és a Rayleigh- szórással gyengített szórt- és össz sugárzás arányainak (D_R/G_R) évi menete (szaggatott vonal)



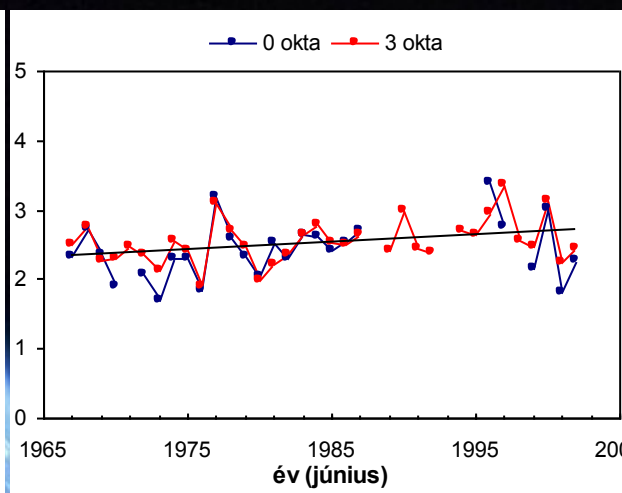
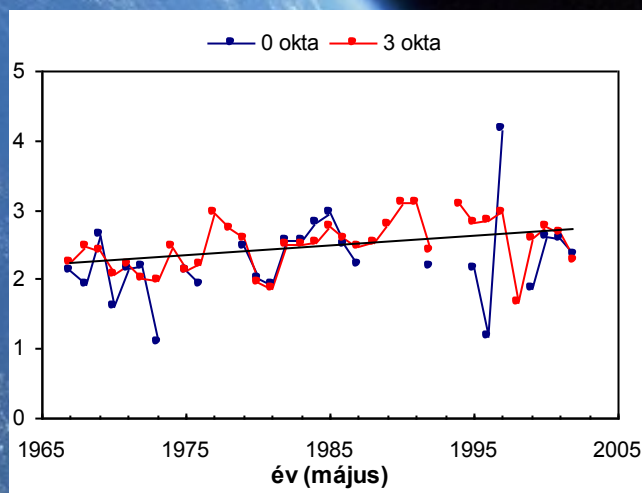
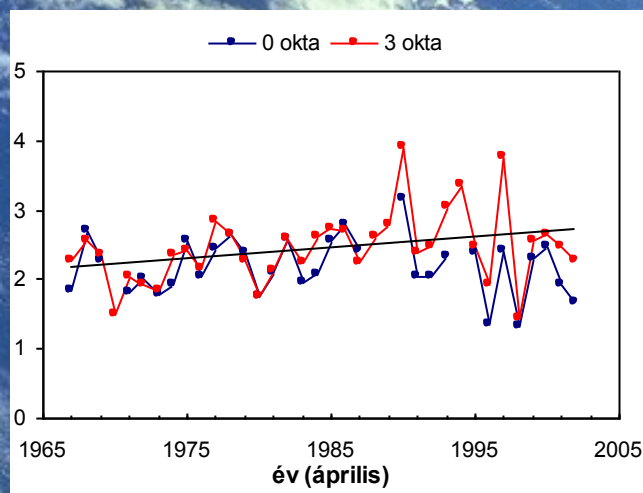
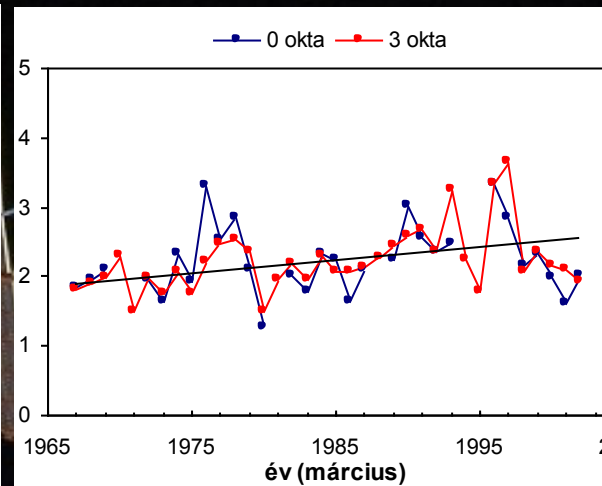
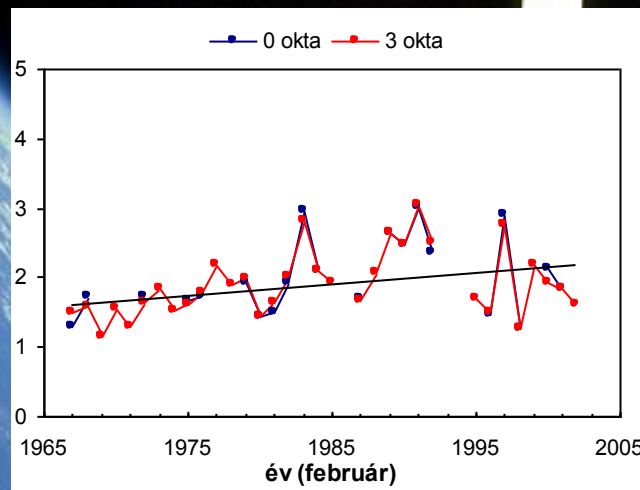
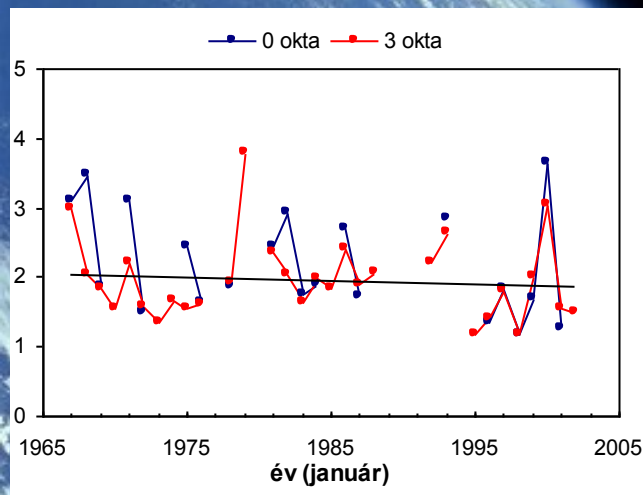
Θ SZÓRÁSI PARAMÉTER

Θ paraméter szórásának évi menete a két szűrés esetén



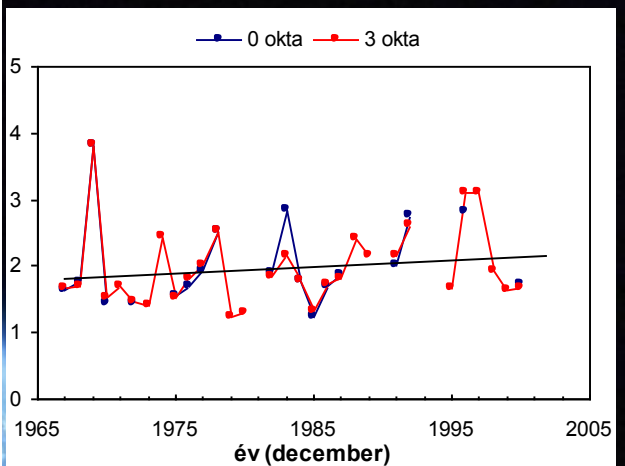
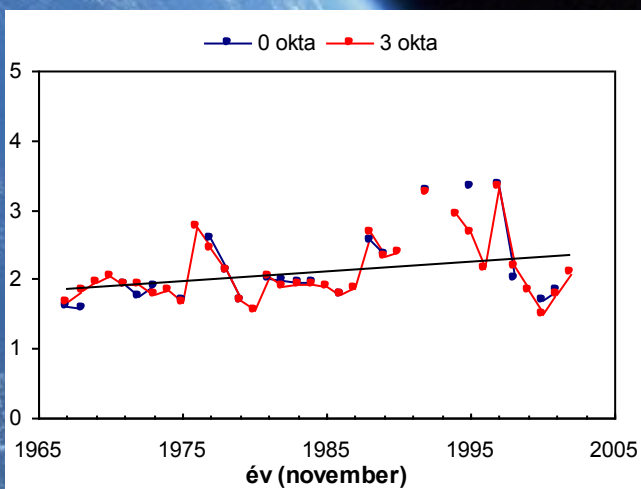
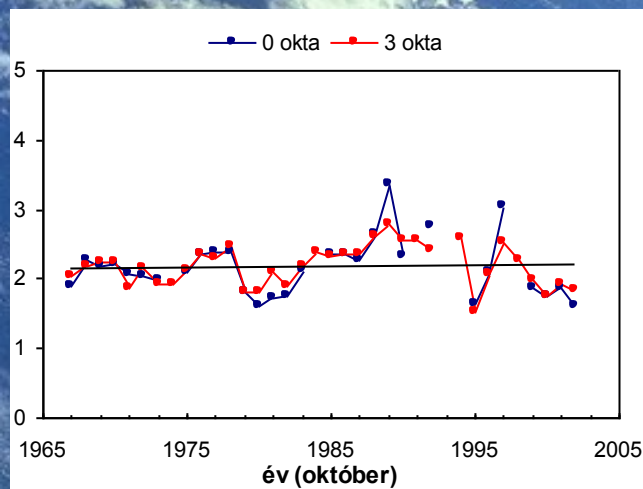
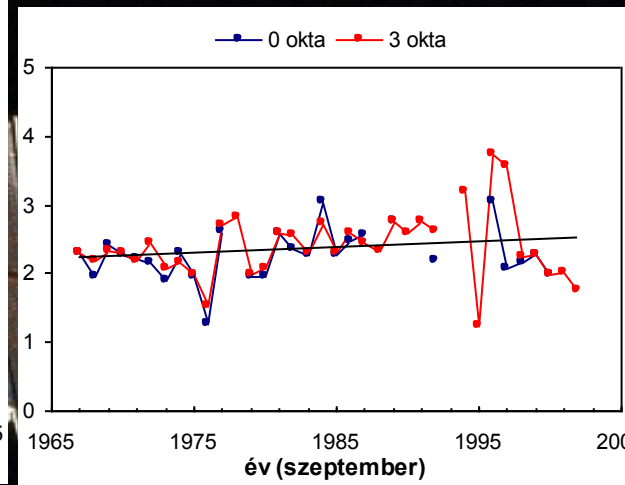
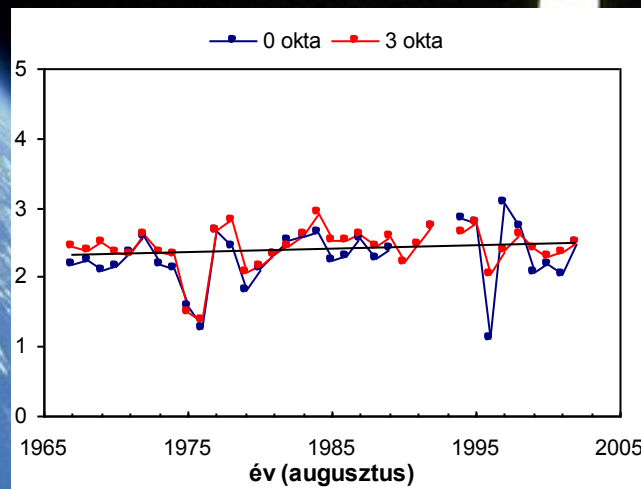
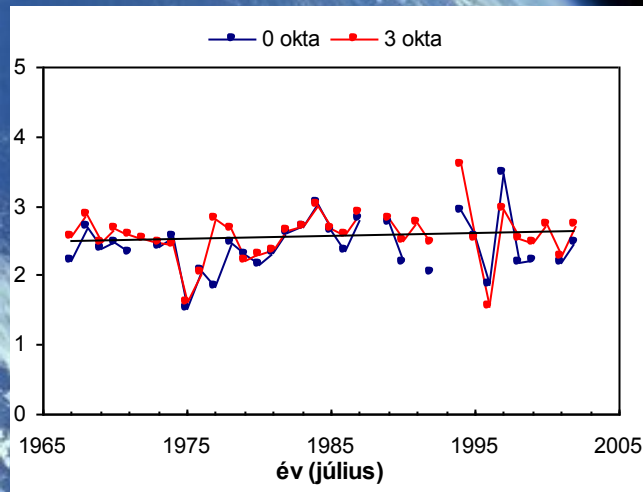
Θ SZÓRÁSI PARAMÉTER

A Θ szórási paraméter 0 és 3 oktás szűréssel kapott havi átlagainak idősorai (január-június)



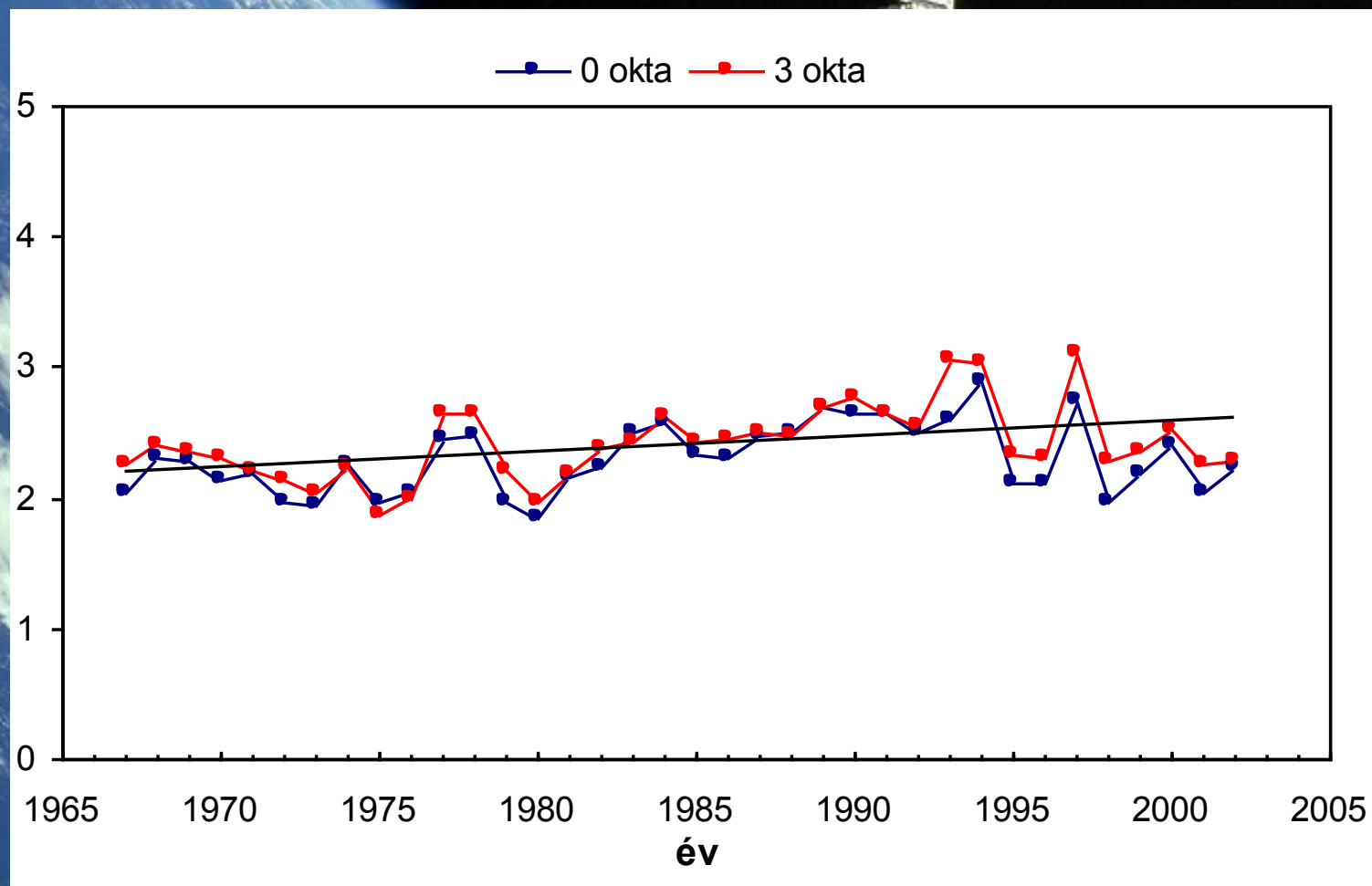
Θ SZÓRÁSI PARAMÉTER

A Θ szórási paraméter 0 és 3 oktás szűréssel kapott havi átlagainak idősorai (július-december)



Θ SZÓRÁSI PARAMÉTER

A Θ paraméter 0 és 3 oktás szűréssel kapott évi átlagainak időbeli menete (az egyenes a 3 oktás szűréssel kapott adatsor regressziós egyenese)



Θ SZÓRÁSI PARAMÉTER

időszak		Hónapok												évi átlag	
		<i>J</i>	<i>F</i>	<i>M</i>	<i>Á</i>	<i>M</i>	<i>J</i>	<i>J</i>	<i>A</i>	<i>Sz</i>	<i>O</i>	<i>N</i>	<i>D</i>	<i>0 okta</i>	<i>3 okta</i>
1967- 2002	A_1	-0.54	1.61	1.90	1.58	1.40	1.00	0.39	0.56	0.76	0.10	1.42	0.99	0.82	1.18
	A_0	2.057	1.607	1.865	2.159	2.241	2.357	2.489	2.308	2.247	2.168	1.851	1.808	2.145	2.194
	t	0.458	2.084	2.948	2.051	2.568	1.964	0.634	1.124	0.960	0.202	1.942	0.827	2.112	2.889
	$t_{p=1\%}$	2.763	2.744	2.728	2.728	2.733	2.738	2.738	2.733	2.733	2.733	2.738	2.763	2.728	2.728
	$t_{p=5\%}$	2.048	2.040	2.032	2.032	2.035	2.037	2.037	2.035	2.035	2.035	2.037	2.048	2.032	2.032
	$t_{p=10\%}$	1.701	1.696	1.691	1.691	1.692	1.694	1.694	1.692	1.692	1.692	1.694	1.701	1.691	1.691
	%	-9	35	35	25	22	15	5	8	12	2	27	19	13	19

1. táblázat. A Θ paraméter teljes időszakra vonatkozó trendanalízisének eredményei (iránytangens dimenziója 1/100 év) és a kritikus t -értékek három szignifikanciaszinten.

OPTIKAI MÉLYSÉG:

Elektromágneses sugárzás gyengülése adott közegben - általános sugárzásátvitel speciális esete (Beer-Bougert-Lambert):

dx vastagságú réteg esetén a λ 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:

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

ahol $\sigma_{e\lambda}$ extinkciós koefficiens csak a közeg anyagi minőségétől és a λ 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_{λ} 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 λ 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 λ hullámhosszra az adott komponens abszorpciója és szórása miatti gyengítés mértéke, amelyet az optikai mélységgel adunk meg.

λ 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

SZÜRKE KÖZELÍTÉS CSILLAGFOTOSZFÉRÁKBAN

Abszorpciós koefficiens (χ_ν) függ:

- közeg anyagának kémiai összetétele
- közeg anyagának hőmérséklete
- közeg anyagának sűrűsége

Színképvonalak tartományában χ_ν frekvenciától való függése igen jelentős. Ha nem kívánjuk a csillagszínkép finomszerkezetét vizsgálni, csak a vékony fotoszféra globális szerkezetére vagyunk kíváncsiak \rightarrow eltekinthetünk χ_ν frekvenciafüggésétől \rightarrow

\rightarrow felt: $\chi_\nu = \chi$ (szürke közelítés) \rightarrow

\rightarrow optikai vastagság nem függ a frekvenciától (klímamodellekben használt sugárzásátvitel - széles spektráltartományok)

SZÜRKE KÖZELÍTÉS CSILLAGFOTOSZFÉRÁKBAN

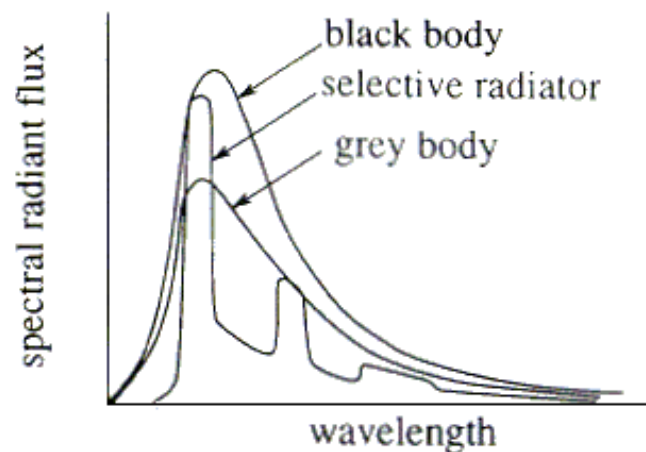
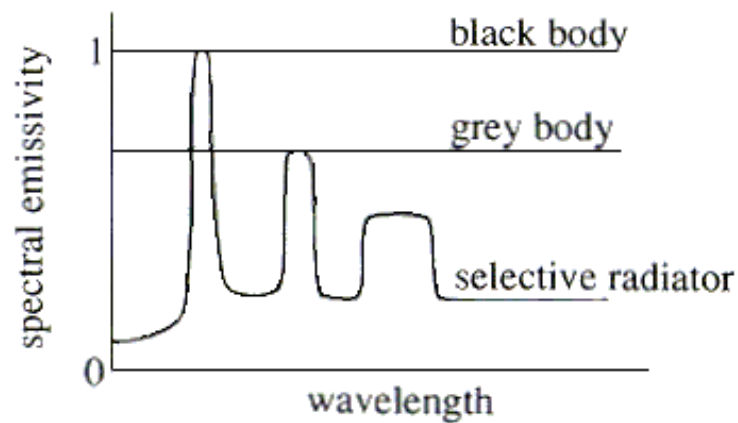


Figure 1.7.2 Radiators

SZÜRKE OPTIKAI MÉLYSÉG

$$\int_{S_{PYR}} I_{\lambda} d\lambda = \left(\int_{S_{PYR}} I_{0\lambda} d\lambda \right) e^{-m\delta_{GB}}$$

$$\delta_{GB} = \frac{1}{m} \ln \frac{\int_{S_{PYR}} I_{0\lambda} d\lambda}{\int_{S_{PYR}} I_{\lambda} d\lambda}$$

ahol:

I_{λ} : monokromatikus irradiancia a mérési pontban a földfelszínen

$I_{\lambda 0}$: monokromatikus irradiancia a légkör tetején

S_{PYR} : a pirheliométer érzékenységi tartománya (kb. 300 – 3000 nm)

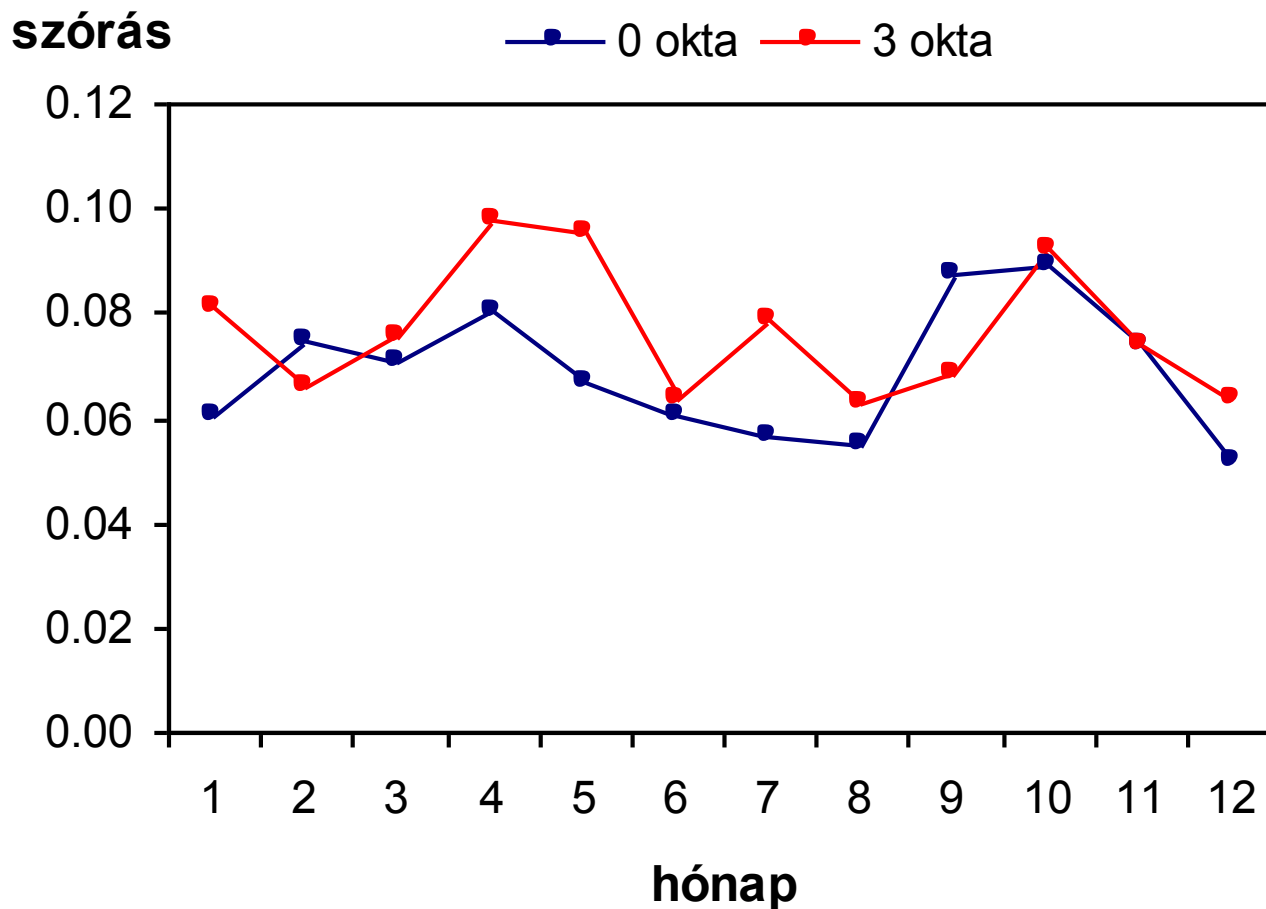
δ_{GB} : szürke optikai mélység

m : relatív optikai légtömeg

Szükséges detektor: pirheliométer (problémásabb a napkövetés miatt)

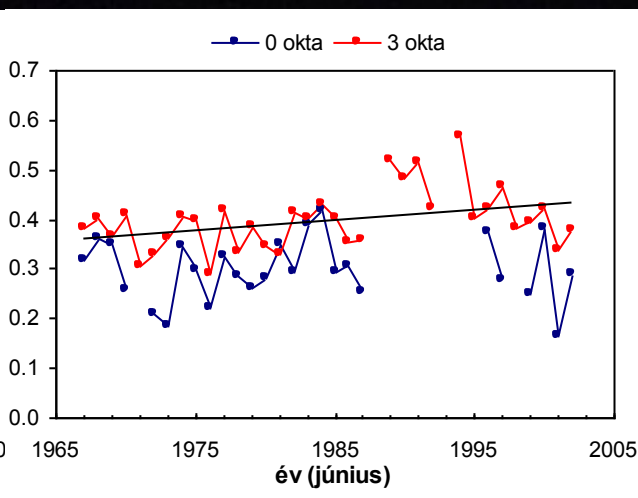
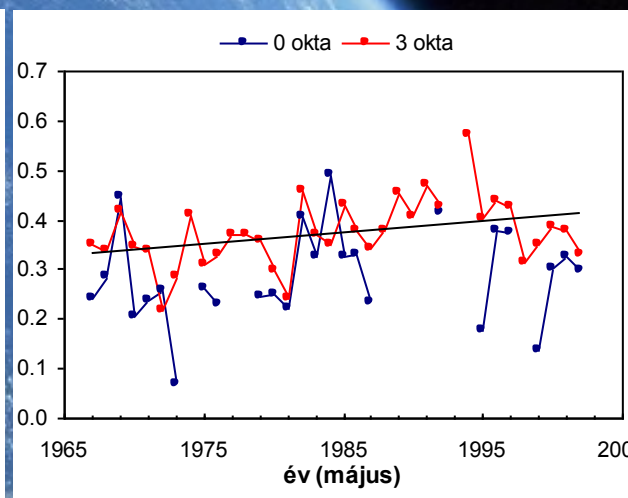
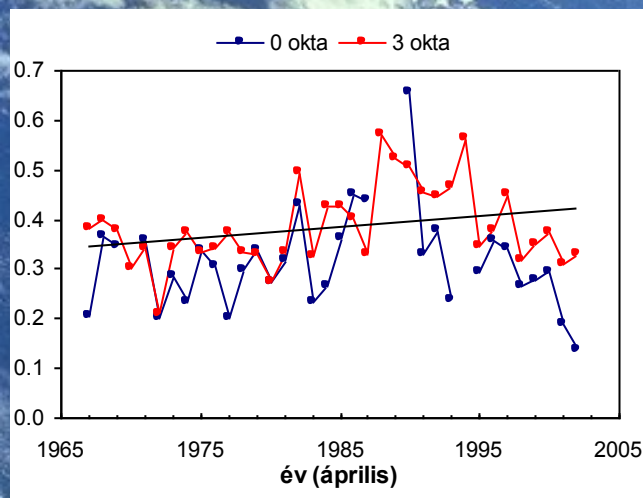
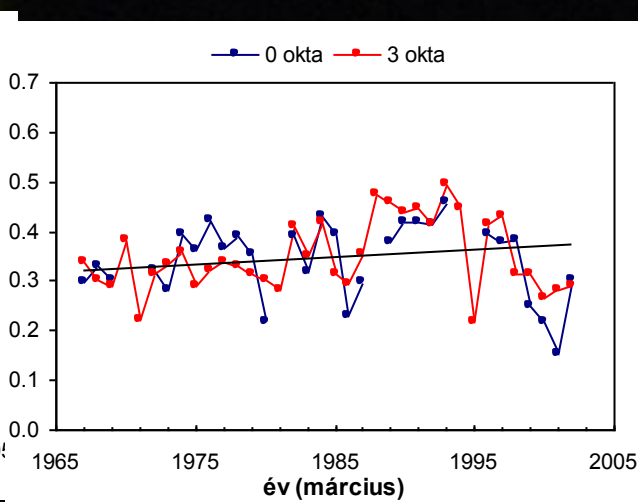
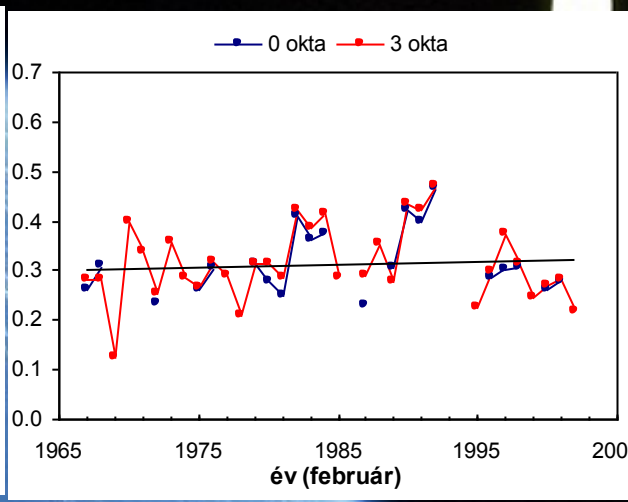
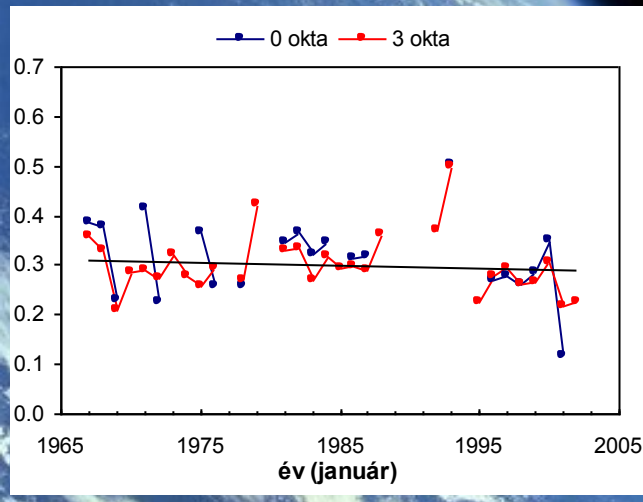
SZÜRKE OPTIKAI MÉLYSÉG

A szürke opt. mélység szórásának évi menete
a két szűrés esetén



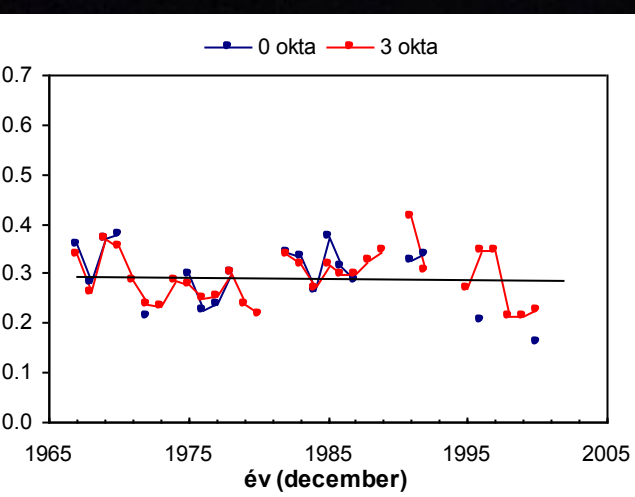
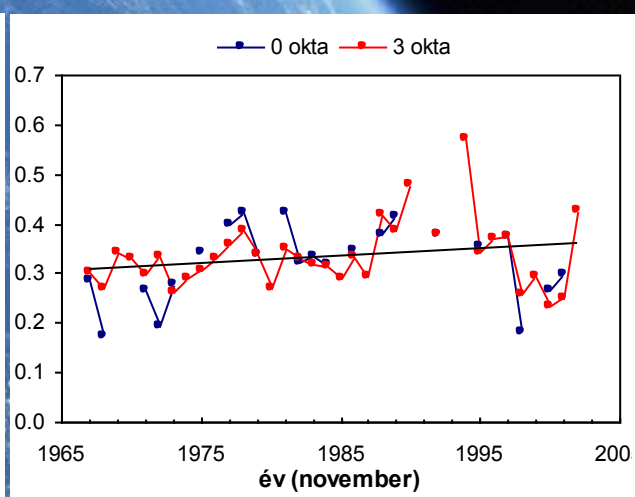
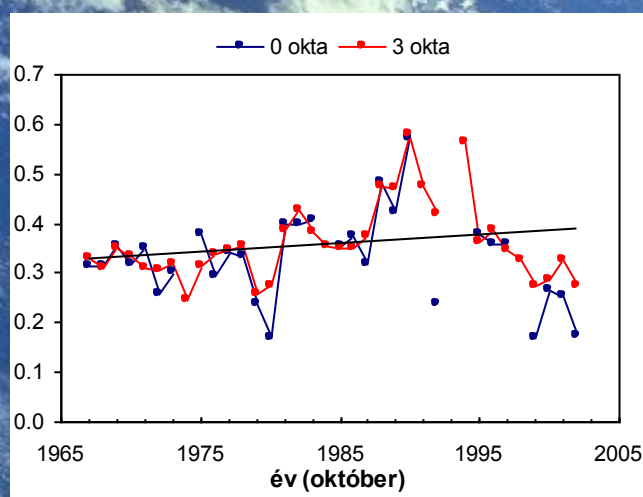
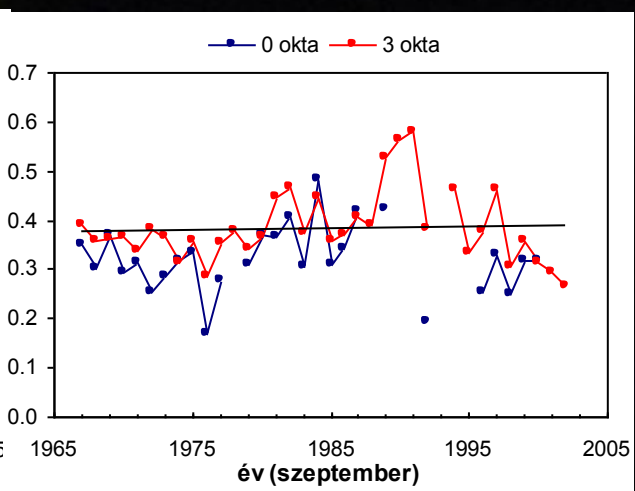
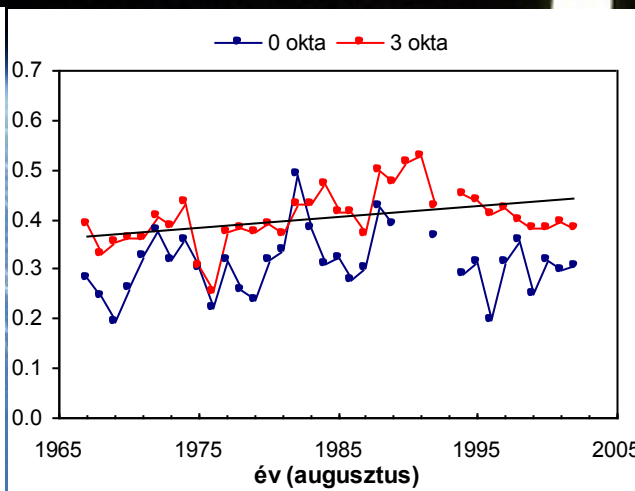
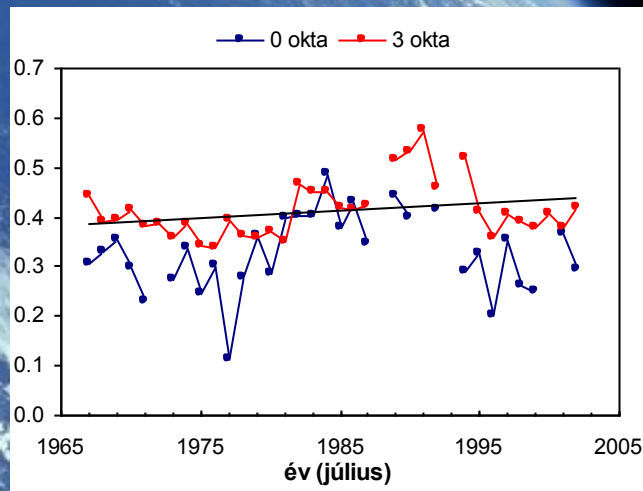
SZÜRKE OPTIKAI MÉLYSÉG

A szürke optikai mélység 0 és 3 oktás szűréssel kapott havi átlagainak idősorai (jan-júl)



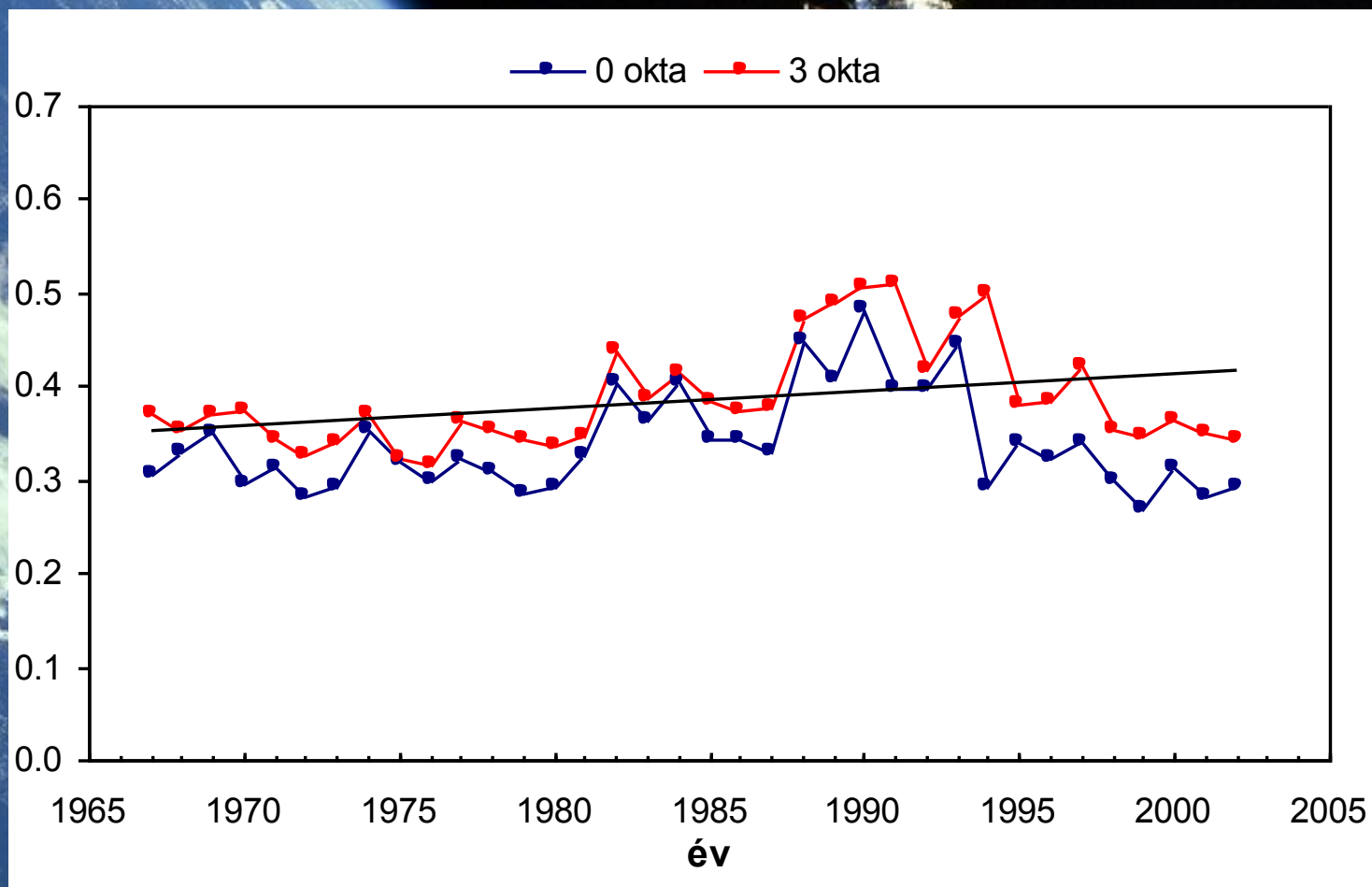
SZÜRKE OPTIKAI MÉLYSÉG

A szürke optikai mélység 0 és 3 oktás szűréssel kapott havi átlagainak idősorai (júl-dec)



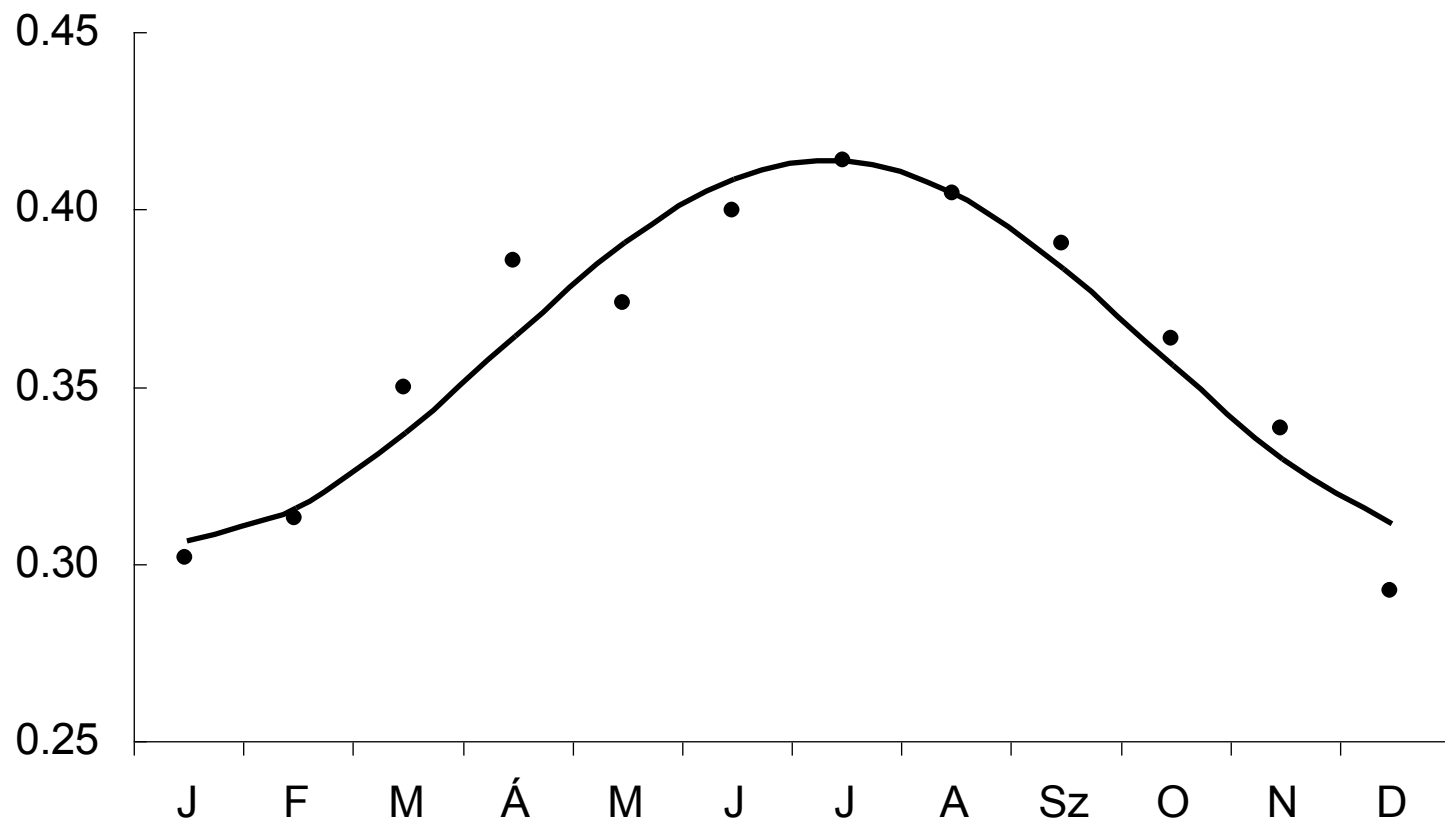
SZÜRKE OPTIKAI MÉLYSÉG

A szürke optikai mélység 0 és 3 oktás szűréssel kapott évi átlagainak időbeli menete



SZÜRKE OPTIKAI MÉLYSÉG

A szürke opt. mélység átlagos évi menete Budapesten



SZÜRKE OPTIKAI MÉLYSÉG

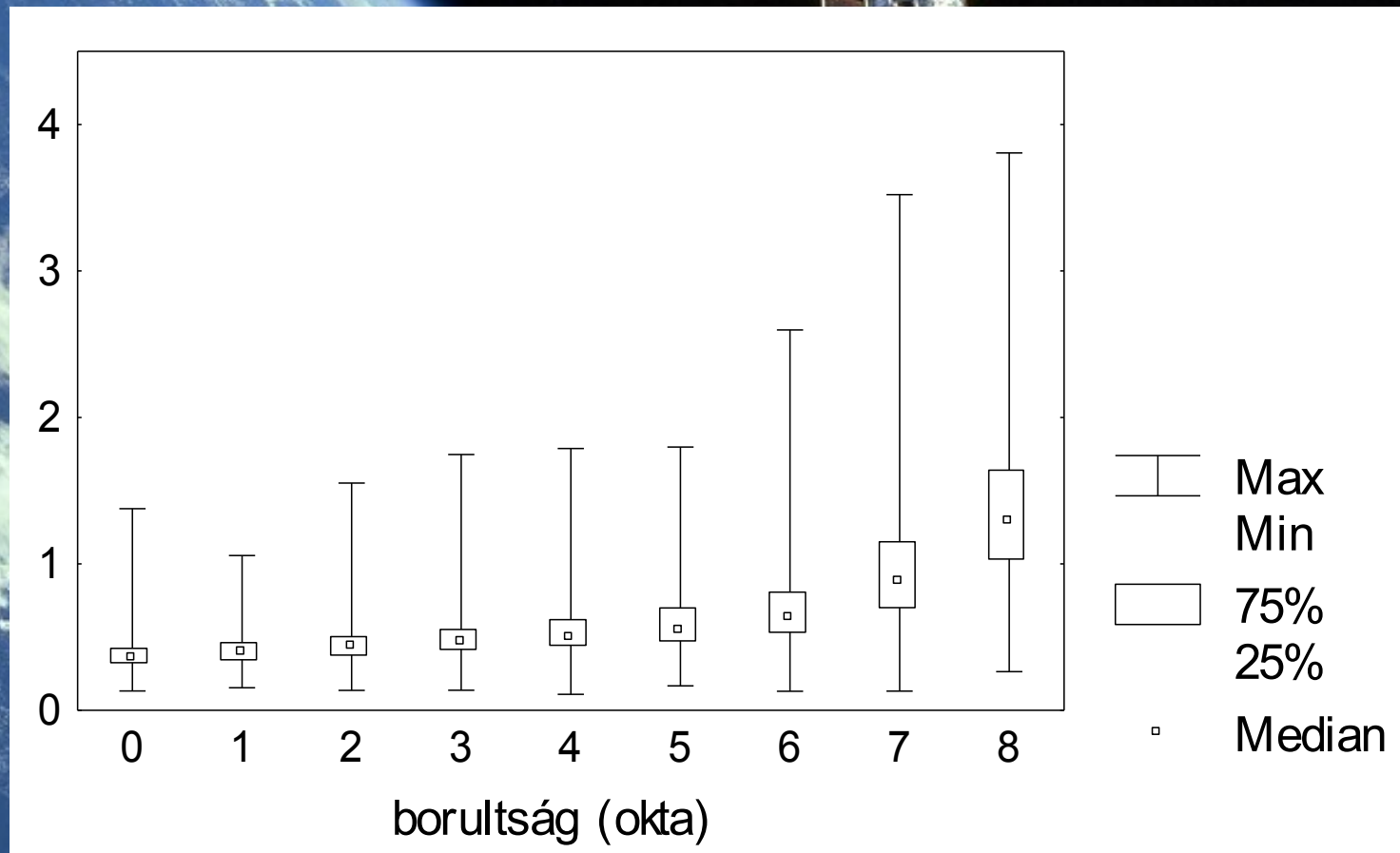
**A szűrés jóságának vizsgálata:
a borultság és szürke optikai mélység kapcsolata**

**Vizsgálat oka: viszonylag számottevő különbség a 0 oktás és a 3 oktás szűréssel kapott görbék között
(vízgőzabszorpció + felhőrészecskék szórása)**

- „all sky” szürke optikai mélységet használunk
- „Box-Whisker” diagramok

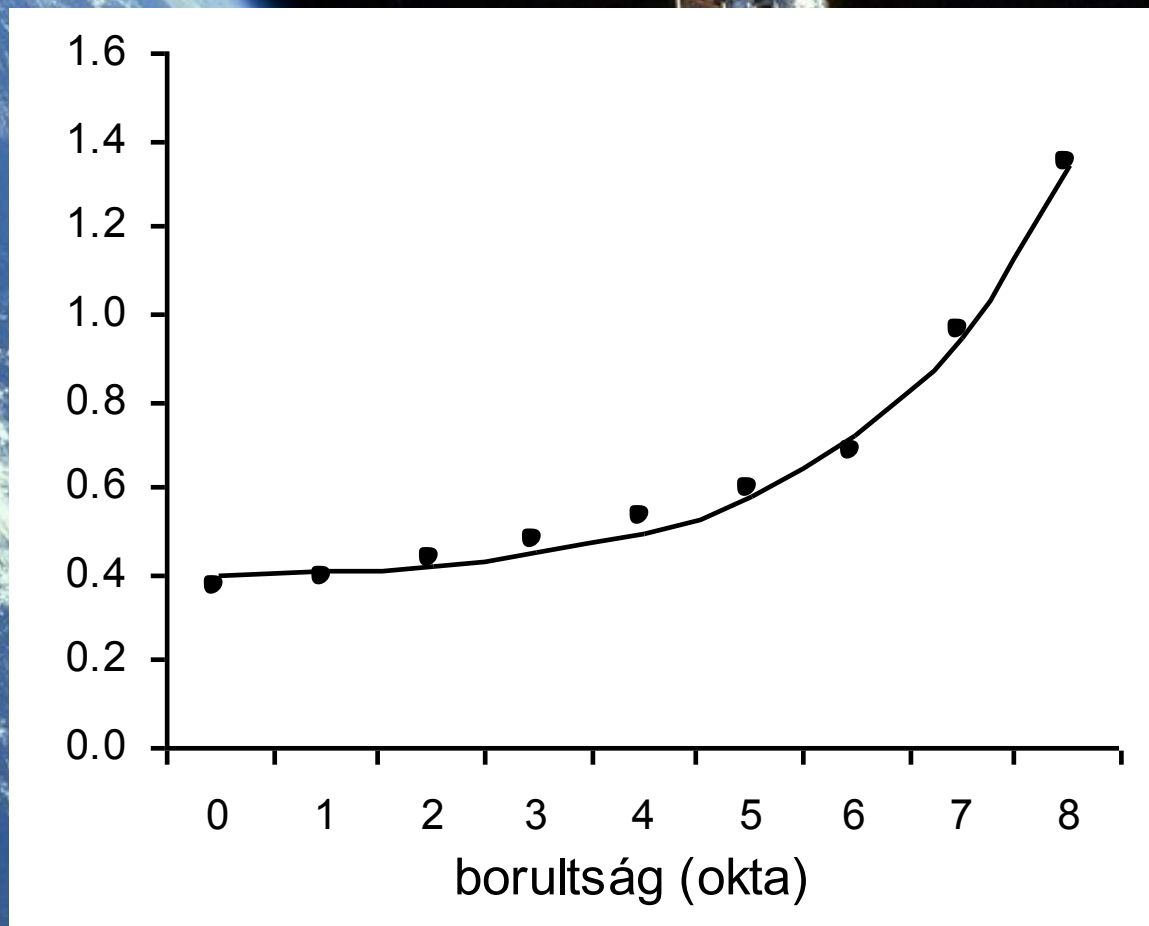
SZÜRKE OPTIKAI MÉLYSÉG

A direkt sugárzás útjába eső közeg optikai mélységének „Box- Whisker” diagramjai



SZÜRKE OPTIKAI MÉLYSÉG

A direkt sugárzás útjába eső közeg optikai mélysége
átlagértékeinek függése a borultságtól



SZÜRKE OPTIKAI MÉLYSÉG

A szürke optikai mélység teljes időszakra vonatkozó ill. szakaszolt trendanalízisének eredményei

időszak		Hónapok												évi átlag	
		J	F	M	Á	M	J	J	A	Sz	O	N	D	0 okta	3 okta
1967-2002	a_1	-0.05	0.05	0.14	0.22	0.23	0.21	0.15	0.21	0.07	0.20	0.15	-0.02	0.07	0.19
	a_0	0.310	0.302	0.322	0.345	0.330	0.360	0.386	0.365	0.377	0.326	0.309	0.295	0.326	0.352
	t	0.427	0.415	1.338	1.784	2.303	2.230	1.611	2.605	0.497	1.429	1.268	0.207	0.855	2.285
	$t_{p=5\%}$	2.048	2.040	2.032	2.032	2.035	2.037	2.037	2.035	2.035	2.035	2.037	2.048	2.032	2.032
	%	-6	6	15	22	24	20	14	20	6	21	17	-2	7	19
1967-1994	a_1	0.37	0.53	0.59	0.69	0.51	0.50	0.52	0.52	0.65	0.85	0.58	0.16	0.41	0.56
	a_0	0.268	0.252	0.273	0.292	0.299	0.329	0.347	0.331	0.313	0.255	0.264	0.276	0.288	0.311
	t	2.149	2.987	5.298	4.625	3.558	3.720	4.413	4.684	3.771	5.293	3.821	1.235	4.134	6.290
	$t_{p=5\%}$	2.086	2.069	2.056	2.056	2.060	2.064	2.064	2.060	2.060	2.060	2.064	2.074	2.056	2.056
	%	19	29	30	32	23	21	21	22	28	45	30	8	20	25

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 hányadosa)

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

$\delta_R(\lambda)$: a légköri molekulák Rayleigh-szórásának optikai mélysége

P, P_0 : aktuális nyomás és standard tengerfelszíni nyomás



AOD számításához szükséges:

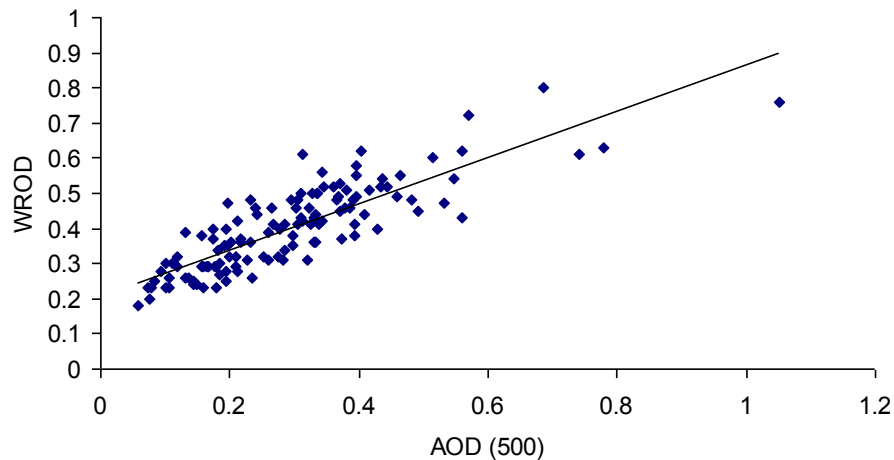
- 1. Detektor: napspektrofotométer vagy napfotométer
(drágább, kvázi-folyamatos szakmai felügyeletet igényel)**
- 2. Teljesen felhőmentes napkorong (a felhő pillanatnyi optikai tulajdonságait nem ismerjük pontosan)**
- 3. Olyan hullámhossz, ahol az ózon kivételével a gázok abszorpciója elhanyagolható:**

368, 380, 412, 450, 500, 610, 675, 778, 862

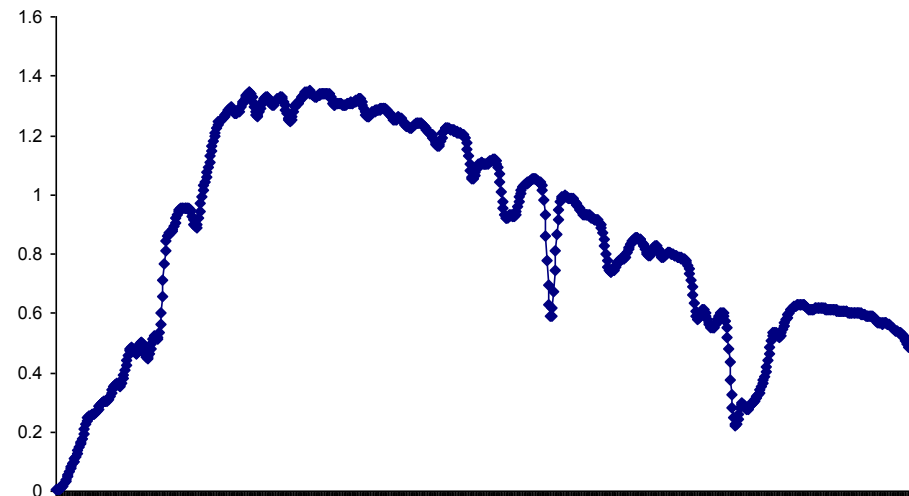
Spektrális napsugárzásmérés a 300-1100 nm tartományon (LI-1800 Spektroradiométer) 1996 óta > túl rövid időszak

A szürke optikai mélység és az AOD közötti kapcsolat

Az 500 nm-es aeroszol optikai mélység és széles sávú optikai mélység kapcsolata



Abszorpciós sávok a spektrumban



- Az AOD meghatározása a VIS-NIR szürke optikai mélységből
- használt hullámhossz: 500 nm
- a két optikai mélység megfelelő értékei közötti különbség oka: a vízgőz és az ózon abszorpciós sávjai

A szürke optikai mélység és az AOD 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 λ hullámhosszon

δ_{WR} : szürke optikai mélység

X_V : összes kihullható víz (rádiószondás mérésekből)

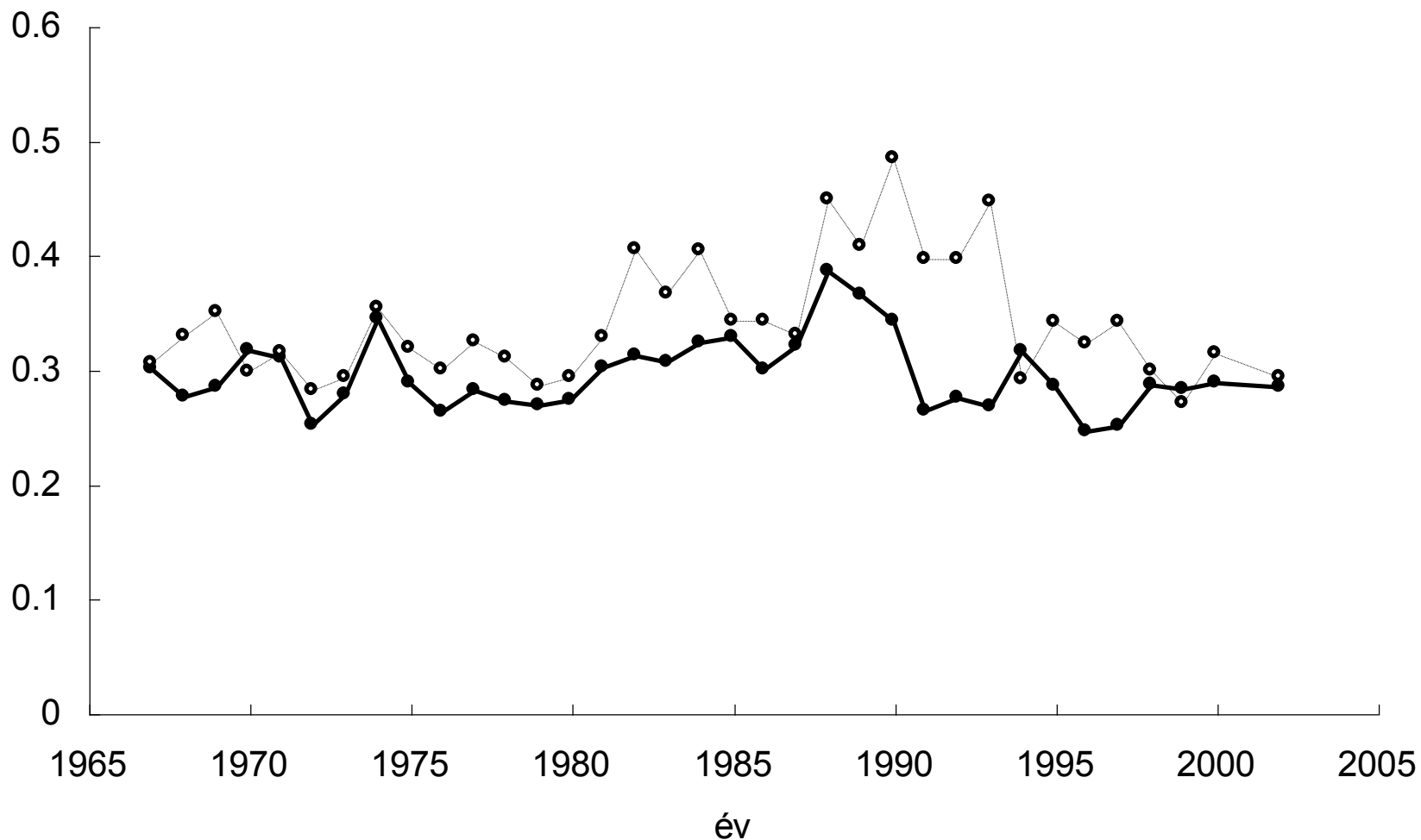
X_{O_3} : a légoszlop teljes ózontartalma

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

Eredmény:

- $\delta_{A\lambda}$ és δ_{WR} közötti korrelációs együttható kb. 30 %-kal növekedett
- vízgőz korrekció elég, ózon korrekció elhagyható

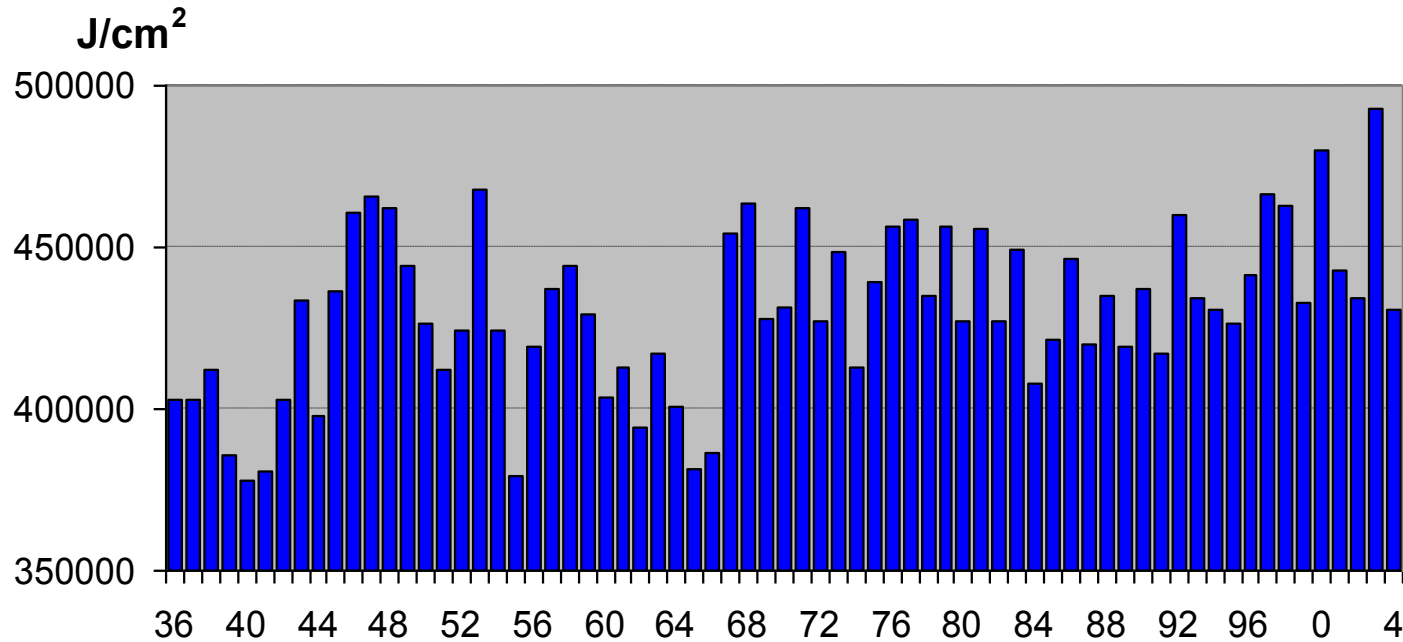
A számított aeroszol optikai mélység (folytonos vonal) és a szürke optikai mélység (szaggatott vonal) időbeli menete



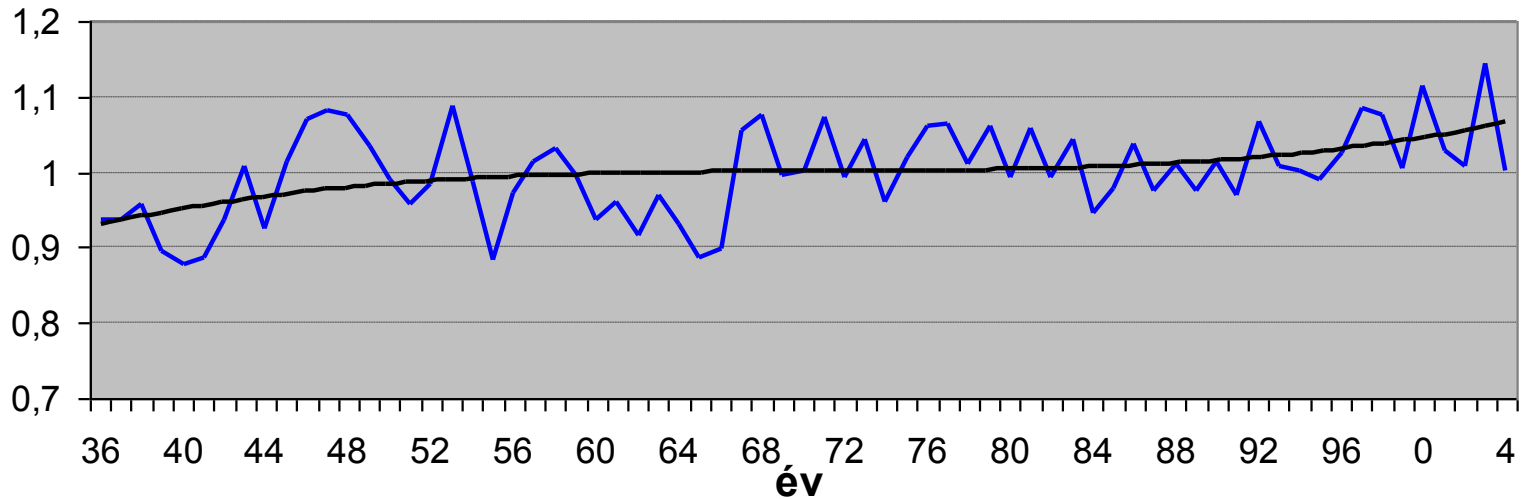
KONKLÚZIÓK

- 1. A LÉGKÖR NAPSUGÁRZÁSÁTBOCSÁTÁSA A 90-ES ÉVEK ELEJÉIG CSÖKKENT, MAJD ATTÓL KEZDVE NÖVEKSZIK (\Rightarrow AZ ÖSSZ-AEROSZOLTARTALMA A 90-ES ÉVEK ELEJÉIG NÖVEKEDETT, MAJD ATTÓL KEZDVE CSÖKKEN)**
- 2. A LEGKEVÉSBÉ SZENNYEZETT ESETEKBEN A LÉGKÖR MEGKÖZELÍTI A RAYLEIGH-ATMOSZFÉRÁT**

A globál sugárzás éves összegei, 1936-2004



A globál sugárzás normált értékeinek menete, 1936-2004



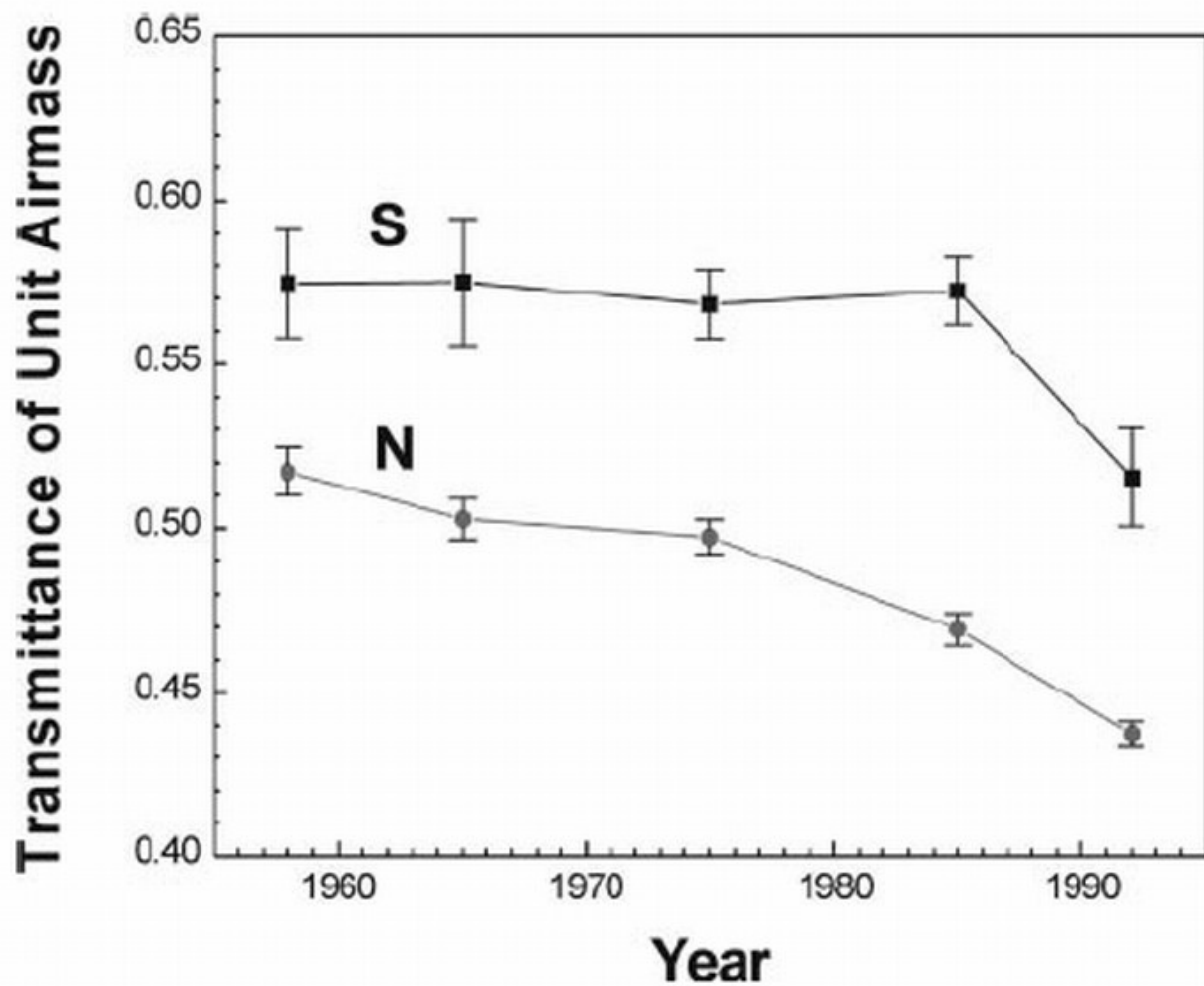


Fig. 1. Changes in atmospheric transmittance per unit air mass in the northern (N) and southern (S) hemispheres, 1958–1992. Vertical bars indicate ± 1 standard error.

OHMURA: DECADAL VARIATIONS

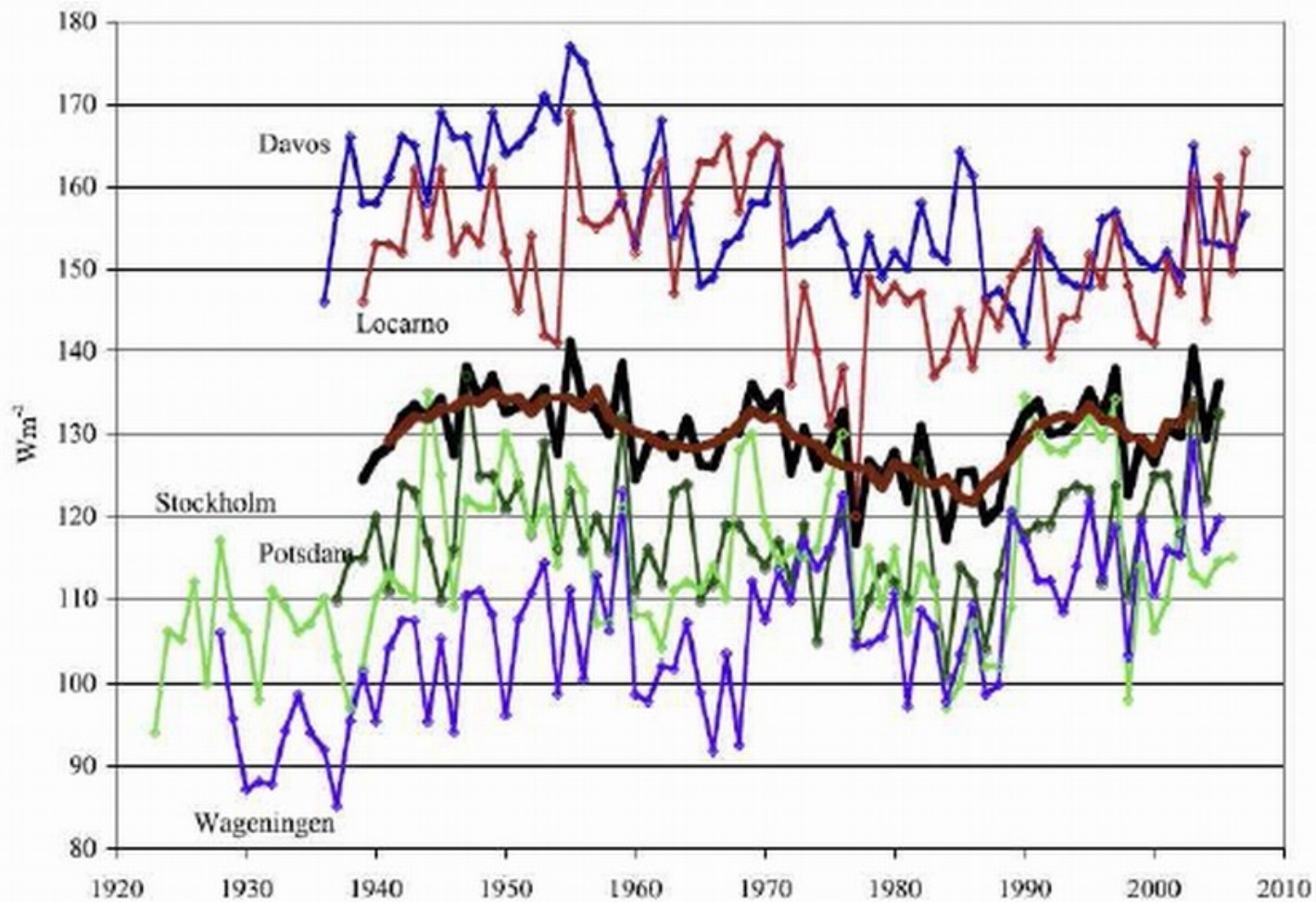


Figure 1. Annual mean global solar irradiance (in $W m^{-2}$) for five sites in western Europe, where the observations lasted for more than 60 years. These records are among the longest unbroken observations with very high quality. The black line represents the mean of the five sites, and the 5-year running mean is indicated by the brown line. The global dimming was discovered with respect to these stations in 1988 [Ohmura and Lang, 1989].

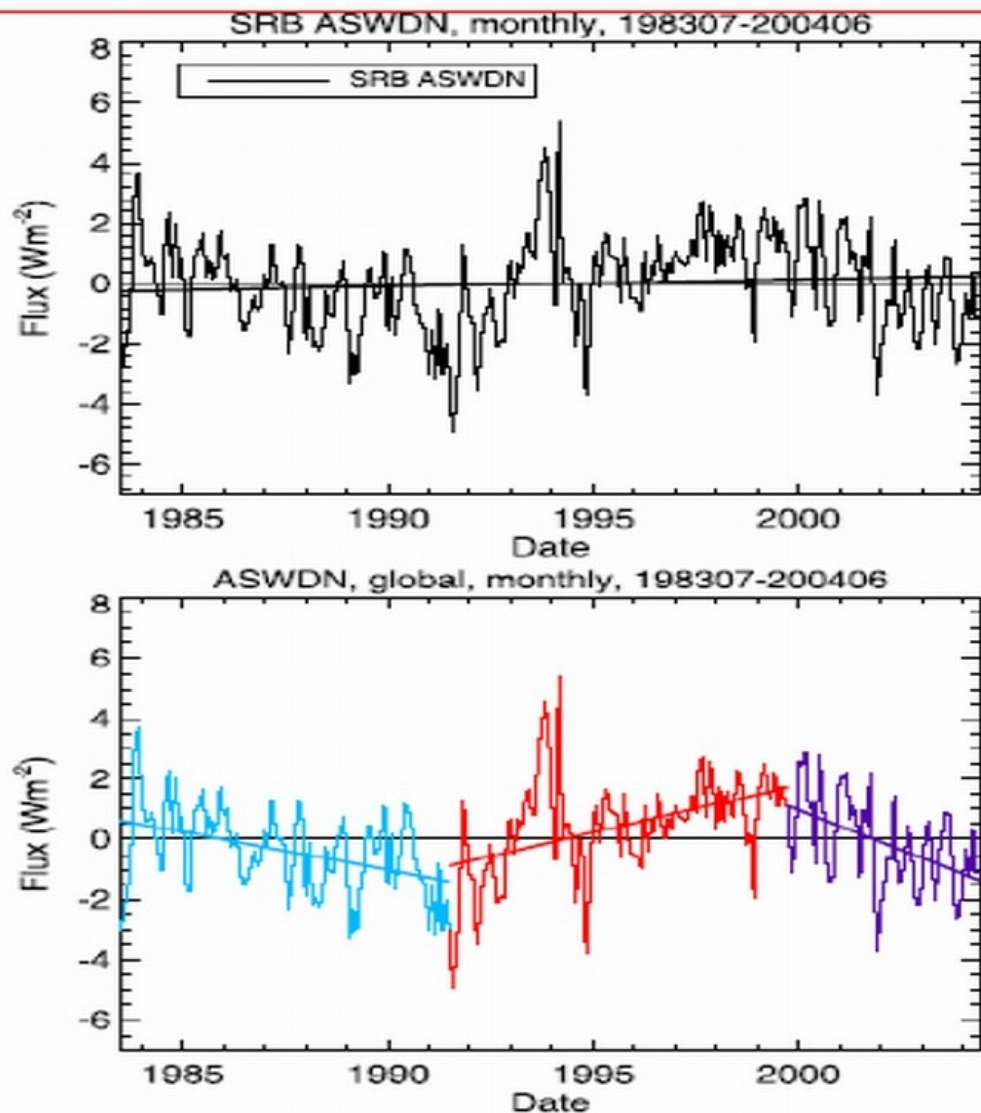
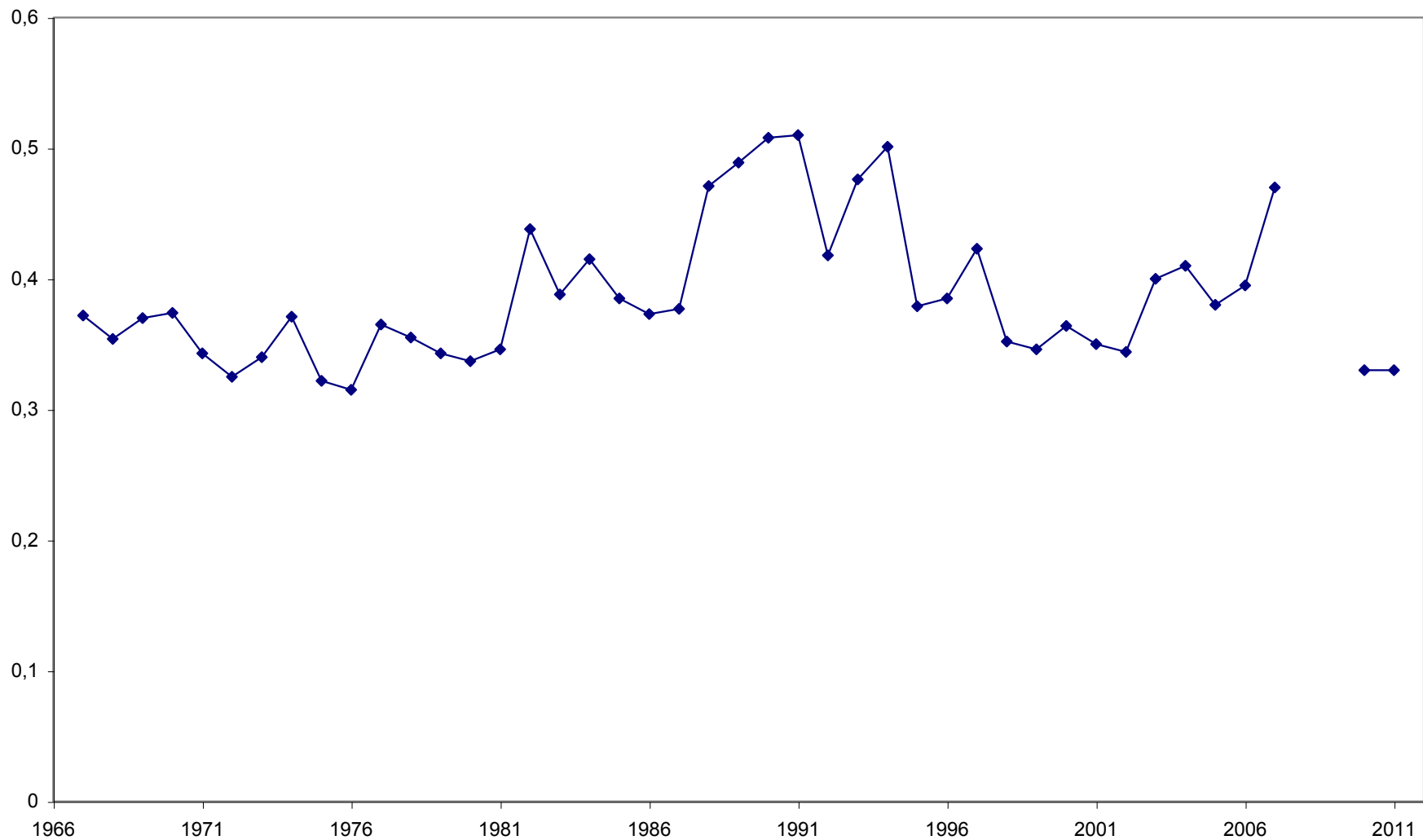


Figure 4. Deseasonalized global mean all-sky downwelling shortwave flux at the surface from July 1983 to June 2004 from the NASA/GEWEX SRB version 2.8 (top) with single best fit line and (bottom) with best fit lines for three segments.

Hinkelman,
Stackhouse,
Wielicki,
Zhang,
Wilson,
JGR 2009

A szürke optikai mélység évi átlagai, Budapest, 1967 - 2011



A 2011 JÚL. , SZAHARAI POR HATÁSA A SUG. ÁTBOCSÁTÁSRA

JÚL. 14: 0,63 JÚL. 15: 0,62

OD 0,5: 12 NAP

ÉVI ÁTLAG: 0,33

HAVI ÁTLAGOK:

1	0,24
2	0,21
3	0,33
4	0,34
5	0,40
6	0,40
7	0,46
8	0,40
9	0,40
10	0,29
11	0,34
12	0,20