

ANALITIČKA APROKSIMACIJA SREDNJEG DNEVNOG HODA VISINE SLOJA MIJEŠANJA

The Analytical Approximation of Mixing Height Daily Mean Variation

EDITA LONČAR

Republički hidrometeorološki zavod SR Hrvatske, Zagreb

Primljeno 4. lipnja 1985. g., u konačnom obliku 24. srpnja 1985.

Sažetak: Testirana je metoda kojom se određuje dnevni hod visine sloja miješanja (E. Lončar). Najbolje poklapanje između proračunatih i mjerenih vrijednosti postoji u uvjetima vedrog i neporemećenog vremena s dominantnim utjecajem sunčane radijacije u pojedinim slučajevima i u prosjeku. Tražena je teoretska krivulja koja najbolje opisuje vremensku promjenljivost visine sloja miješanja u toku dana. Jednostavna, a istovremeno i dovoljno dobra prilagodba postignuta je polinomom trećeg stupnja.

Ključne riječi: Srednji dnevni hod visine sloja miješanja; Testiranje; Prilagodba krivulji; Polinom trećeg stupnja.

Abstract: A method for estimating hourly mixing heights is tested. The calculated values simulate the measured ones in the best way in cases of radiational – thermal balance in the atmospheric boundary layer. Research has been conducted to determine a theoretical curve which would approximate mixing height time variability. It has been found that a third order polynomial provides a good theoretical approximation of the mixing height daily course.

Key words: The mixing height daily mean variation; Testing; Curve-fitting; The third order polynomial.

1. UVOD

Visina sloja miješanja definira vertikalnu dimenziju turbulentnog miješanja, a ovisi o međusobnom djelovanju termičke, dinamičke i mehaničke turbulencije. Danju, visina sloja miješanja najčešće odgovara visini graničnog sloja (u kojem dominiraju utjecaji podloge i ne vrijedi geostrofička aproksimacija), dok noću to uglavnom nije slučaj. Promjenljivost sloja miješanja od izlaza do zalaza Sunca povezana je primarno sa primtkom radijacione energije Sunca.

Pri određivanju visine sloja miješanja javljaju se poteškoće, jer redovito ne postoje kontinuirana mjerenja, a i njihova kvaliteta nije uvijek zadovoljavajuća ovisno o instrumentalnim mogućnostima i načinu njenog mjerenja i određivanja. Visina sloja miješanja određuje se najčešće iz temperaturnih profila dobivenih redovitim radio-sondažnim mjerenjima (Holzworth, 1967, Goldman, 1980.). Takva tehnika određivanja visine sloja miješanja s pogreškom mjerenja ± 100 m (Driedonks, 1981) nije primjenjiva u ranim jutranjim satima jer je realna visina sloja miješanja manja od iznosa moguće pogreške ocjene. Tada se preporuča korištenje podataka sodara (akustičnog radara), čija je točnost ± 20 m, ako se istima raspoložuje (Driedonks, 1981).

Ukoliko se ne raspoložuje podacima o visini sloja miješanja zadovoljavajuće točnosti ili je njihov broj nedovoljan, ne može se na adekvatan način prići rješavanju nekih problema koji su povezani s difuzijom i transportom polutanata u graničnom sloju atmosfere. Zbog toga je pronalaženje metode za ocjenu visine sloja miješanja od velike važnosti.

U nedostatku mjerenih podataka uopće, kao i onih zadovoljavajuće točnosti izrađena je u Republičkom hidrometeorološkom zavodu SR Hrvatske metoda za ocjenu satnih vrijednosti visine sloja miješanja od izlaza do zalaza Sunca (Lončar, 1981). Metoda se bazira na hipotezi o zavisnosti visine sloja miješanja od primljene količine globalne radijacije.

Dodatna radio-sondažna mjerenja (u 07, 10, 16 i 19 sati u ožujku i travnju 1982. godine), za vrijeme „Perioda specijalnih mjerenja“ u okviru Alpeks eksperimenta, omogućila su testiranje metode.

Rezultati testa u uvjetima koji odgovaraju pretpostavkama metode (neporemećeno vedro vrijeme sa prevladavajućim utjecajem Sunčeve radijacije na visinu sloja miješanja) pokazuju opravdanost njene primjene za potrebe modela difuzije i transporta štetnih primjesa u atmosferi. Testiranje metode pomoću mjerenja temperature vezanom sondom, koja se penje najviše do oko

800 m, uglavnom za slučajeve niskih visina sloja miješanja, sugerira mogućnost njenog korištenja u pojedinačnim situacijama i kraćim intervalima vremena (Lončar, 1984). Budući da su rezultati dobiveni testom pozitivni ispitivanje se nastavilo u tom smislu da se dnevnom hodu visine sloja miješanja (prema metodi E. Lončar) pridružila teoretska krivulja koja ga relativno jednostavno, ali dovoljno dobro aproksimira. To je polinom trećeg stupnja.

2. TESTIRANJE METODE

U okviru Alpeks eksperimenta u ožujku i travnju 1982. godine dodatna radio-sondažna mjerenja organizirana na opservatoriju Zagreb – Maksimir u 07, 10, 16, 19 (22 i 04) sati omogućila su testiranje metode E. Lončar. Naime, tri do pet vrijednosti visine sloja miješanja u toku dana (od izlaza do zalaza Sunca) određene su na isti način i uspoređene su sa onima proračunatima prema metodi autorice. U pojedinim slučajevima, to jest na dane sa prevladavajućim utjecajem sunčane radijacije poklapanje je bilo unutar točnosti Holtzworthove metode za određivanje visine sloja miješanja. Nasuprot tome, na dane kada su meteorološke prilike znatnije odstupale od pretpostavka metode E. Lončar, između uspoređivanih visina sloja miješanja pojavljivale su se i velike razlike. Međutim, odstupanja koja su postojala pojedinih dana, u mjesečnom prosjeku izgubila su se do te mjere da je razlika između proračunatih (Lončar, 1981) i mjerenih srednjih mjesečnih vrijednosti visina sloja miješanja u svakom terminu osim u onom u 19 sati bila vrlo mala (tab. 1, sl. 1).

Naime, za svaki termin određen je mjesečni srednjak pripadnih mjerenih visina sloja miješanja (ožujak i tra-

Tabela 1. Srednji dnevni hod visine sloja miješanja Zagreb – Maksimir, travanj 1982. godine

Table 1. The daily course of mean mixing height Zagreb – Maksimir, April, 1982.

Sat (IS-5.12) Hour	6	7	8	9	10	11	12	13
H (mjereni) H (measured)		35			490			1180
H (procijenjeni) H (estimated)	12	47	142	283	472	696	944	1180
Sat Hour	14	15	16	17	18 (ZS-18.42)	19		
H (mjereni) H (measured)			1003			118		
H (procijenjeni) H (estimated)	1168	1109	1015	861	661	425		

IS = izlaz Sunca / sunrise ZS = zalaz Sunca / sunset

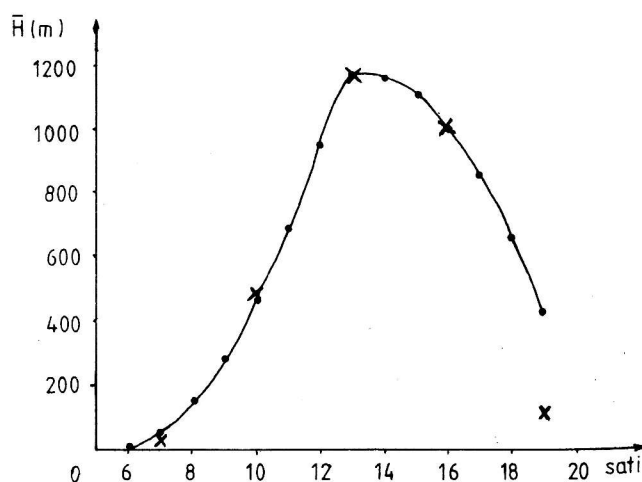
vanj 1982). Zatim je na srednju mjesečnu podnevnu visinu sloja miješanja primijenjena metoda E. Lončar. Tako je od izlaza do zalaza Sunca dobivena aproksimacija srednjeg dnevnog hoda visine sloja miješanja koja se mogla testirati samo u terminima 07, 10, 16 i 19 sati (tab. 1, sl. 1) jer su tada obavljena radio-sondažna mjerenja. Aproksimativne vrijednosti zadovoljavaju u svim terminima osim u 19 sati, kada su proračunate visine sloja miješanja čak i u prosjeku nerealno povećane u odnosu na izmjerene vrijednosti. Prema tome u vrijeme zalaska Sunca primijenjenu metodu (Lončar, 1981) treba korigirati.

Dakle, rezultati usporedbe pokazuju da satne procijenjene visine sloja miješanja najbolje odgovaraju mjerenim vrijednostima na dane sa neporemećenom sunčanom radijaciom (osim u vrijeme zalaza Sunca) i srednjacima za interval vremena u kojem dolazi do izražaja radijacijski režim lokaliteta (sl. 1).

3. PRIDJELJIVANJE KRIVULJE APROKSIMACIJI SREDNJEG DNEVNOG HODA VISINE SLOJA MIJEŠANJA

Budući da se aproksimacija srednjeg dnevnog hoda visine sloja miješanja pokazala opravdanom (osim u vrijeme zalaza Sunca), moguće je navedenu procjenu koristiti za dobivanje visine sloja miješanja u bilo koje doba dana.

Za razne modele u problemima difuzije i transporta štetnih primjesa u atmosferi potrebne su (barem) satne vrijednosti visine sloja miješanja. Mjerenja ovog parametra svakog sata ne obavljaju se operativno (redovito) nego samo u eksperimentima.



Sl. 1. Usporedba srednjeg dnevnog hoda procijenjenih visina sloja miješanja (—) sa srednjim mjesečnim mjerenim (x) vrijednostima u 07, 10, 13, 16 i 19 sati. Zagreb – Maksimir, travanj 1982. IS – izlaz Sunca, SZ – zalaz Sunca.

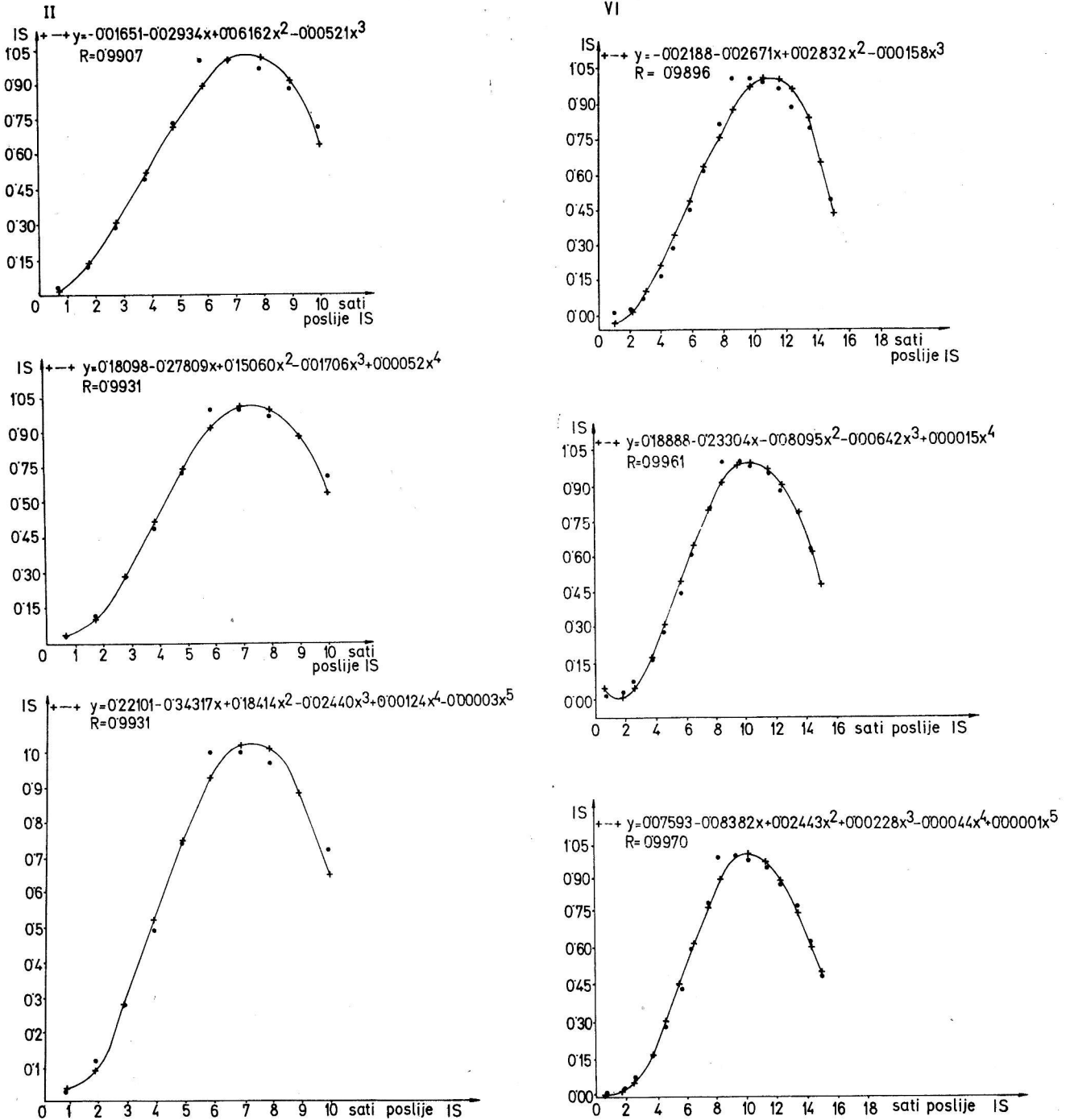
Fig. 1. Comparison of the daily course of estimated mean mixing height (—) with measured monthly mean values (x) at 7:00 am, 10:00 am, 1:00 pm, 4:00 pm and 7:00 pm. Zagreb – Maksimir, April 1982.

U tome je i značenje aproksimacije srednjeg dnevnog hoda visine sloja miješanja, jer omogućuje dobivanje satnih vrijednosti visine sloja miješanja onda kada mjerene vrijednosti ne postoje.

Zbog te činjenice prišlo se traženju analitičkog izraza koji najbolje opisuje vremensku promjenljivost visine sloja miješanja u toku dana od izlaza do zalaza Sunca). Od krivulja koje se dobro prilagođuju aproksimaciji srednjeg dnevnog hoda visine sloja miješanja odgovaraju one koje pripadaju polinomu trećeg i višeg stupnja. Naime, za svaki mjesec koji reprezentira karakte-

rističnu brzinu porasta i pada visine sloja miješanja (veljača, travanj, lipanj, rujanj, listopad, prosinac) ispitana je pripadna veza polinomom prvog do petog stupnja prema programu „Polynomial regression“ na sistemu UNIVAC 1100 u Sveučilišnom računskom centru (u Zagrebu).

Rezultati prilagodbe polinomima od drugog do petog stupnja, kao i odgovarajući kvantitativni kriterij za procjenu valjanosti prilagodbe (veličina R) ispisani su u tabeli 2. Vrijednosti za R 0.98 i 0.99 bez sumnje su signifikantne i pokazuju da se polinomom trećeg stup-



Sl. 2. Grafički prikaz procijenjenih (·) i teorijskih vrijednosti (+) koje aproksimiraju vremenski promjenljivost visine sloja miješanja.
 Fig. 2. Spatial variation of mixing layer height from sunrise to sunset. Values are estimated by the method of E. Lončar, (·) and the theoretical polynomial approximation (+).

Tabela 2. Jednadžbe polinoma, koji se prilagođuju aproksimaciji dnevnog hoda visine sloja miješanja – veljača, travanj, lipanj, rujan, listopad i prosinac.

Table 2. The polynomial equations of theoretical curves which approximate mixing height time variability – February, April, June, September, October, December

	R ²	R
II – veljača		
$y = -0,50947 + 39601 x - 0,02754 x^2$	0.8948	0.9459
$y = -0,01651 - 0,02934 x + 0,06162 x^2 - 0,00521 x^3$	0.9815	0.9907
$y = 0,18098 - 0,27809 x - 0,15060 x^2 - 0,01706 x^3 + 0,00052 x^4$	0.9862	0.9931
$y = 0,22101 - 0,34317 x + 0,18414 x^2 - 0,02440 x^3 + 0,00124 x^4 - 0,00003 x^5$	0.9863	0.9931
IV – travanj		
$y = -0,44983 + 0,28792 x - 0,01538 x^2$	0.8818	0.9390
$y = -0,07271 + 0,02129 x + 0,02710 x^2 - 0,00184 x^3$	0.9757	0.9878
$y = 0,14812 - 0,21902 x + 0,09412 x^2 - 0,00855 x^3 + 0,00022 x^4$	0.9922	0.9961
$y = 0,12839 - 0,18992 x + 0,08203 x^2 - 0,00652 x^3 + 0,00007 x^4 + 0,00000 x^5$	0.9922	0.9961
VI – lipanj		
$y = -0,44157 + 0,03220 x + 0,00187 x^2$	0.8757	0.9358
$y = -0,02188 - 0,02671 x + 0,02832 x^2 - 0,00158 x^3$	0.9793	0.9896
$y = 0,18888 - 0,23304 x + 0,08095 x^2 - 0,00642 x^3 + 0,00015 x^4$	0.9922	0.9961
$y = 0,07593 - 0,08382 x + 0,02443 x^2 + 0,00228 x^3 - 0,00044 x^4 + 0,00001 x^5$	0.9940	0.9970
IX – rujan		
$y = -0,60180 + 0,34268 x - 0,01937 x^2$	0.8947	0.9459
$y = -0,02480 - 0,03656 x + 0,04382 x^2 - 0,00298 x^3$	0.9768	0.9883
$y = 0,29039 - 0,33453 x + 0,12747 x^2 - 0,01189 x^3 + 0,00032 x^4$	0.9841	0.9920
$y = 0,27727 - 0,31854 x + 0,12104 x^2 - 0,01077 x^3 + 0,00023 x^4 + 0,00000 x^5$	0.9841	0.9920
X – listopad		
$y = -0,42910 + 0,31255 x - 0,01868 x^2$	0.8678	0.9316
$y = 0,06049 - 0,12172 x + 0,07006 x^2 - 0,00496 x^3$	0.9833	0.9916
$y = 0,15714 - 0,25122 x + 0,11620 x^2 - 0,01093 x^3 + 0,00025 x^4$	0.9853	0.9926
$y = 0,02275 - 0,01316 x - 0,00864 x^2 + 0,01604 x^3 - 0,00229 x^4 + 0,00009 x^5$	0.9866	0.9932
XII – prosinac		
$y = -0,33596 + 0,35233 x - 0,02559 x^2$	0.8673	0.9313
$y = 0,05749 - 0,14005 x + 0,10591 x^2 - 0,00940 x^3$	0.9852	0.9926
$y = 0,08308 - 0,19046 x + 0,12989 x^2 - 0,01343 x^3 + 0,00022 x^4$	0.9855	0.9927
$y = 0,02489 - 0,03686 x + 0,02101 x^2 - 0,01734 x^3 + 0,00352 x^4 + 0,00016 x^5$	0.9868	0.9934

nja postiže već toliko dobra prilagodba da nije potrebno koristiti polinome višeg reda od tri. Grafički prikazi plo-terskih crteža (sl. 2) koji su u ovom radu reprezentirani samo sa dva mjeseca (veljača i lipanj) pokazuju to isto.

Praktično značenje ove prilagodbe sastoji se u tome da je pomoću prikazanih polinoma olakšano određivanje visine sloja miješanja u bilo koje doba dana ukoliko se raspolaze bar jednom mjerenom vrijednošću.

4. ZAKLJUČAK

Testiranjem metode za određivanje satnih vrijednosti visine sloja miješanja pokazano je da se mjerene i procijenjene visine sloja miješanja najbolje podudaraju u uvje-

tima vedrog i neporemećenog vremena kako u pojedinim slučajevima tako i u prosjeku. Odstupanja koja se javljaju značajna su samo u silaznoj grani dnevnog hoda visine sloja miješanja i to prije zalaza Sunca. Taj nedostatak metode trebalo bi preispitati i riješiti.

Što se tiče analitičkog izraza koji opisuje vremensku promjenljivost visine sloja miješanja od izalza do zalaza Sunca, smatra se da je dovoljno dobra prilagodba postignuta polinomom trećeg stupnja.

Zahvala

Ovo istraživanje je sufinancirala Republička zajednica za znanstveni rad SRH (SIZ III).

LITERATURA

- DRIEDONSK A. G. M., (1981): Dynamics of the Well-Mixed Atmospheric Boundary Layer Scientific Report W. R. 81-2. De Bilt 1981.
- HOLZWORTH G. C. (1967): Mixing Depths, Wind Speeds and Air Pollution Potential for Selected Locations in the United States. Jour. of Applied Meteorology, Vol. 6, December 1967, 1039-1044.
- GOLDMAN, A. D., 1980: A Physically Realistic Method of Calculating Mixing Heights over Rural Areas for Use in Atmospheric Dispersion Models. Second Joint Conference on Applications of Air Pollution Meteorology, March 24-27, 1980 New Orleans, American Meteorological Society, 781-786.
- LONČAR, E. 1981: Metoda određivanja satnih vrijednosti visine sloja miješanja. Rasprave 16, Zagreb, 35-46.

SUMMARY

The author has developed a method for estimating mixing height hourly values during a day from sunrise to sunset which has appeared to be very applicable since it uses only one measured value of mixing height.

This paper presents results of method testing. The best agreement between calculated and measured values was obtained when a radiational-thermal balance at the boundary layer of the atmosphere dominates (for a particular day and in the mean as well). The method fails only in estimation of mixing height values during hours close to sunset and that phenomenon has not yet been explained. Research has been conducted to determine a theoretical curve which would approximate mixing height time variability. It has been found that a third order polynomial provides a good theoretical approximation of the mixing height daily course.