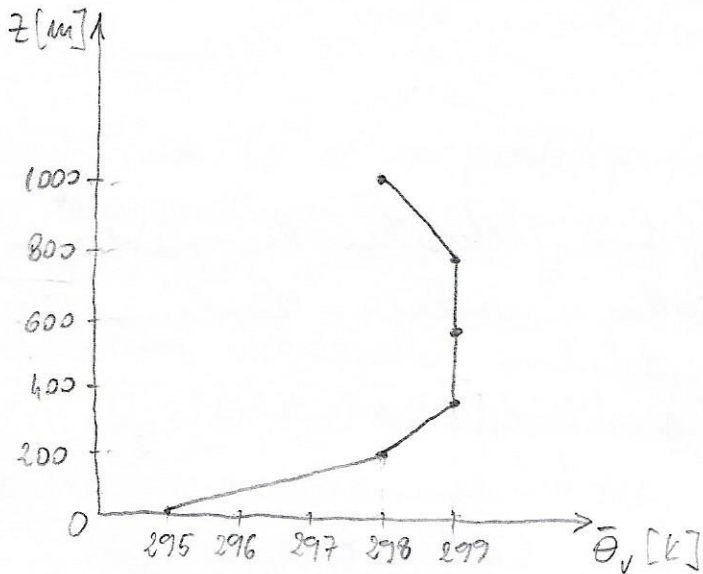


# STATIČKA STABILNOST

- buduću da  $\frac{\partial \theta}{\partial z}$  nije vjerodostojan kriterij stabilnosti, gleda se stabilnost preko turbulentnog toka reverzibilne topline  $\overline{w'\theta'}$
- lokalna definicija:  $\frac{\partial \theta_v}{\partial z} \begin{cases} > 0 & \text{stabilno} \\ = 0 & \text{neutralno} \\ < 0 & \text{nestabilno} \end{cases}$
- nelokalna definicija:  $\overline{w'\theta'} \begin{cases} > 0 & \text{nestabilno} \\ = 0 & \text{neutralno} \\ < 0 & \text{stabilno} \end{cases}$

25. Na temeljni poznatili mjerenja odredi' statičku stabilnost na 600 m

$z$ [m]	1000	800	600	400	200	0
$\bar{\theta}_v$ [K]	298	299	299	299	298	295



- na 600 m je nestabilno  
 → dišica (j)  
 - to je tipična situacija za Sc-ove

26. Na temeljni trenutnih mjerenja odredene su navedene vrijednosti za  $w'$  i  $\theta'$ .

$w'$ [ms <sup>-1</sup> ]	0.4	-0.6	0.9	0.7	0.8	-0.3	-0.6	-0.1	-1.0	-0.2
$\theta'$ [K]	1	-1	1	4	-2	0	-2	-5	-1	5

Radi li se o stabilnom, nestabilnom ili neutralnom PBL-u?

Rj: napravi umnoške  $w'\theta'$ , sumiraj ih, nađi  $\overline{w'\theta'}$  te na temelju njegove vrijednosti odredi stabilnost

$$\Rightarrow \overline{w'\theta'} = 0,45 > 0 \Rightarrow \text{nestabilni PBL}$$

→ vidimo da uinsmo rotlage (toplij vrh ( $\theta' > 0$ ) se diže, a hladniji ( $\theta' < 0$ ) se spušta ( $w' < 0$ ))

# DINAMIČKA STABILNOST (DS)

- turbulencija može nastati i u stičički stabilnoj strujnoj
- okoliš i dinamička nestabilnost u nehomogenim sredinama
- i nekih parametara za određivanje DS-a
- općenito o tome govori Richardsonov broj (flux) uvijen
- u jačine turb. kin. energije

$$R_f = \frac{\frac{g}{\theta_v} \overline{w'\theta'_v}}{\overline{u'_i u'_j} \frac{\partial u_i}{\partial x_j}}$$

- uz pretpostavke: 1) horizontalna homogenost
- 2)  $\overline{w} = 0$

on poprečnim oblik:

$$R_f = \frac{\frac{g}{\theta_v} \overline{w'\theta'_v}}{\overline{u'w'} \frac{\partial u}{\partial z} + \overline{v'w'} \frac{\partial v}{\partial z}}$$

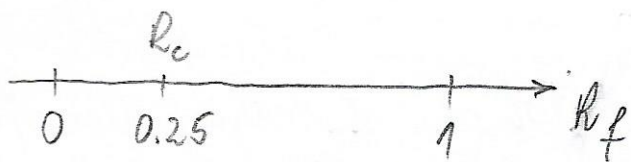
- $R_f$  može biti i kriterij za stičičku stabilnost

$$R_f \begin{cases} > 0 & \text{stičički stabilan tok} \\ = 0 & \text{stičički neutralan tok} \\ < 0 & \text{stičički nestabilan tok} \end{cases}$$

- što se tiče dinamičke nestabilnosti, kriterij za njeno određivanje je veran uz  $R_f = 1$  (dinamički "neutralan" tok)

$$R_f \begin{cases} < 1 & \text{dinamički nestabilan tok (turbulencija)} \\ > 1 & \text{dinamički stabilan tok (laminarna struja)} \end{cases}$$

- kada je stičički nestabilno onda je sigurno i dinamički nestabilno, ali obrat ne vrijedi!
- i  $R_c$  ( $c = \text{kritično}$ )  $\Rightarrow R_c = 0,25$  nakon kojeg više posve je sam prelaz između laminarnog i turbulentnog strujanja  $\rightarrow$
- za  $R_f \in [0,25 - 1]$  se kaže da je područje histerere, dolje po-  
nosuju struje ovise o "povijesti" strujanja



podmínečně instabilita

- signurno je da ako je  $R_f > 1 \rightarrow$  dimenzična stabilnost, ako je  $R_f < 0,25 \rightarrow$  dim. nestabilnost, a za  $R_f \in [0,25-1]$  mi smo signurni!

- iskonktivni K-teoriji, dobiven je pojednostavljen GRADIJEN RICHARDSON-ov Broj koji se najviše koristi

$$R_i = \frac{\frac{g}{\bar{\theta}_v} \frac{\partial \bar{\theta}_v}{\partial z}}{\left[ \left( \frac{\partial \bar{u}}{\partial z} \right)^2 + \left( \frac{\partial \bar{v}}{\partial z} \right)^2 \right]}$$

- ove democije se računaju preko homogenih varijabli pa se taj način prelazi na BULK Richardsonov broj  
bulk = gmba

$$R_B = \frac{\frac{g}{\bar{\theta}_v} \frac{\Delta \bar{\theta}_v}{\Delta z}}{\left[ \left( \frac{\Delta \bar{u}}{\Delta z} \right)^2 + \left( \frac{\Delta \bar{v}}{\Delta z} \right)^2 \right]}$$

- ovaj prelaz iz  $R_i \rightarrow R_B$  je uvikom jer su nosi mjerenja visine u određenim točkama koji su podosta varirajućim

27. Pomozte mi ove vrijednosti u PBL-u na nekoj visini:

$$\overline{w'\theta'} = 0,3 \text{ Kms}^{-1}; \quad \bar{\theta}_v = 294,6 \text{ K}; \quad \overline{u'w'} = -0,25 \text{ m}^2 \text{ s}^{-2};$$

$\frac{\partial \bar{u}}{\partial z} = 0,1 \text{ s}^{-1}$ . Odredi flux Richardsonov broj te procjeni stacionarnu i dimenzičnu stabilnost

Rf: pp. na horizontalno homogenost i  $\bar{w} = 0$  te u mome y komponentu:

$$R_f = \frac{\frac{g}{\bar{\theta}_v} \overline{w'\theta'}}{\overline{u'w'} \frac{\partial \bar{u}}{\partial z}} = -0,399 = -0,4$$

- budući je  $R_f < 0 \Rightarrow$  statički nestabilno  $\Rightarrow$  dinamički nestabilno
- stat. stabilnost se određuje i preko  $|\overline{w\theta_v}| > 0$

28. Pomoću mjerena dnevnog PBL-a uod tlom

$z$ [m]	$\overline{\theta_v}$ [K]	$\overline{u}$ [ms <sup>-1</sup> ]
12	300	5.4
8	301	5.0
2	303	3.4
$z_0 = 0.1$	308	0

- Nesti  $R_B$  na 2, 4 i 10 m
- Prokomentiraj statičku stabilnost i DS rade. Da li je tok turbulentan

statička stabilnost

$R_f$	$z$ [m]	$\overline{\theta_v}$ [K]	$\overline{u}$ [ms <sup>-1</sup> ]	$R_B$	SS	DS
	12	300	5.4			
	10	300.5	5.2	-0.82	nestabilno	nestabilno
	8	301	5.0			
	4	302.3	4.2	-0.15	nestabilno	nestabilno
	2	303	3.4	-0.03	nestabilno	nestabilno
	0.1	308	0			

- budući da imamo samo 1 kump. stizanje:

$$R_B = \frac{g}{\overline{\theta_v}} \frac{\frac{\Delta \overline{\theta_v}}{\Delta z}}{\left(\frac{\Delta \overline{u}}{\Delta z}\right)^2}$$

- npr.  $\overline{\theta_v}(z=10\text{m}) = \frac{\overline{\theta_v}(z=12\text{m}) - \overline{\theta_v}(z=8\text{m})}{2}$

$$\left(\frac{\Delta \overline{\theta_v}}{\Delta z}\right)_{10} = \frac{\overline{\theta_v}(12) - \overline{\theta_v}(8)}{12 - 8} = \frac{300 - 301}{4} = -0.25 \text{ K m}^{-1}$$

$$\left(\frac{\Delta \overline{u}}{\Delta z}\right)_{10} = \frac{\overline{u}(12) - \overline{u}(8)}{12 - 8} = \frac{5.4 - 5.0}{4} = 0.1 \text{ s}^{-1}$$

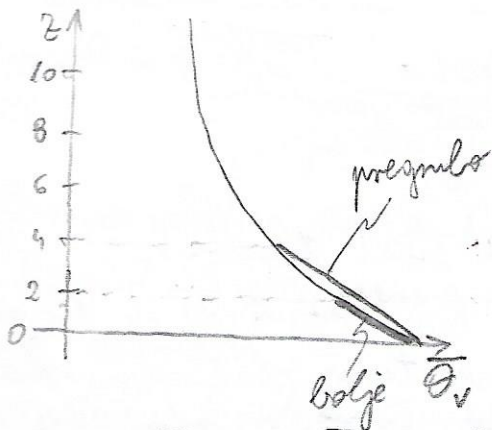
$$\left(\frac{\Delta \overline{\theta_v}}{\Delta z}\right)_4 = \frac{\overline{\theta_v}(8) - \overline{\theta_v}(2)}{8 - 2} = a$$

linearna interpolacija!

$$\frac{(\overline{\theta_v})_4 - (\overline{\theta_v})_2}{4 - 2} = a \Rightarrow (\overline{\theta_v})_4 = 2a + (\overline{\theta_v})_2 = 302.3$$

- na  $z=10$  i  $4$  m samo konstanti vertikalni slojevi

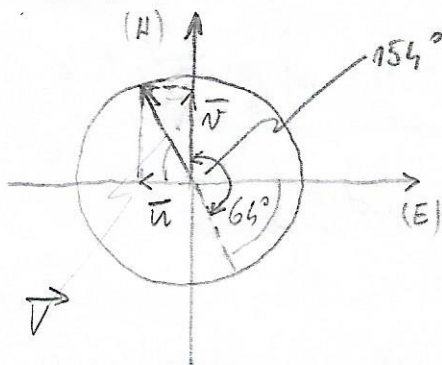
- budući da  $\bar{\theta}_v$  izgleda po visini ovako, pri tlu konstantna slojeva još "reže" rednost po čemu konstanti vertikalni slojevi na  $z=2$  m



$$\left(\frac{\Delta \bar{\theta}_v}{\Delta z}\right)_z = \frac{\bar{\theta}_v(z) - \bar{\theta}_v(0.1)}{z - 0.1} ; \quad \left(\frac{\Delta \bar{u}}{\Delta z}\right)_z = \frac{\bar{u}(z) - \bar{u}(0.1)}{z - 0.1}$$

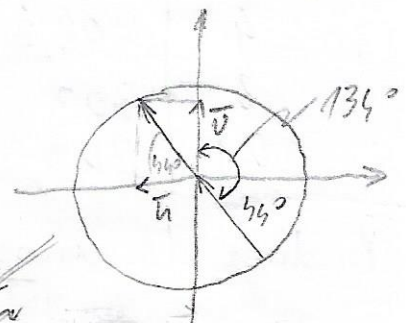
⇒ najviše u samom turbulentnom toku

29) Rj: zadani su smjer i brzina vjetrova ⇒ dogle unisimo  $\bar{u}$  i  $\bar{v}$  komponentu vjetrova ⇒ pogledajmo za 1. unjednost u tablici



$$\bar{u} = -|\bar{V}| \cos 64^\circ$$

$$\bar{v} = |\bar{V}| \sin 64^\circ$$



$z=1591$  m       $z=610$  m

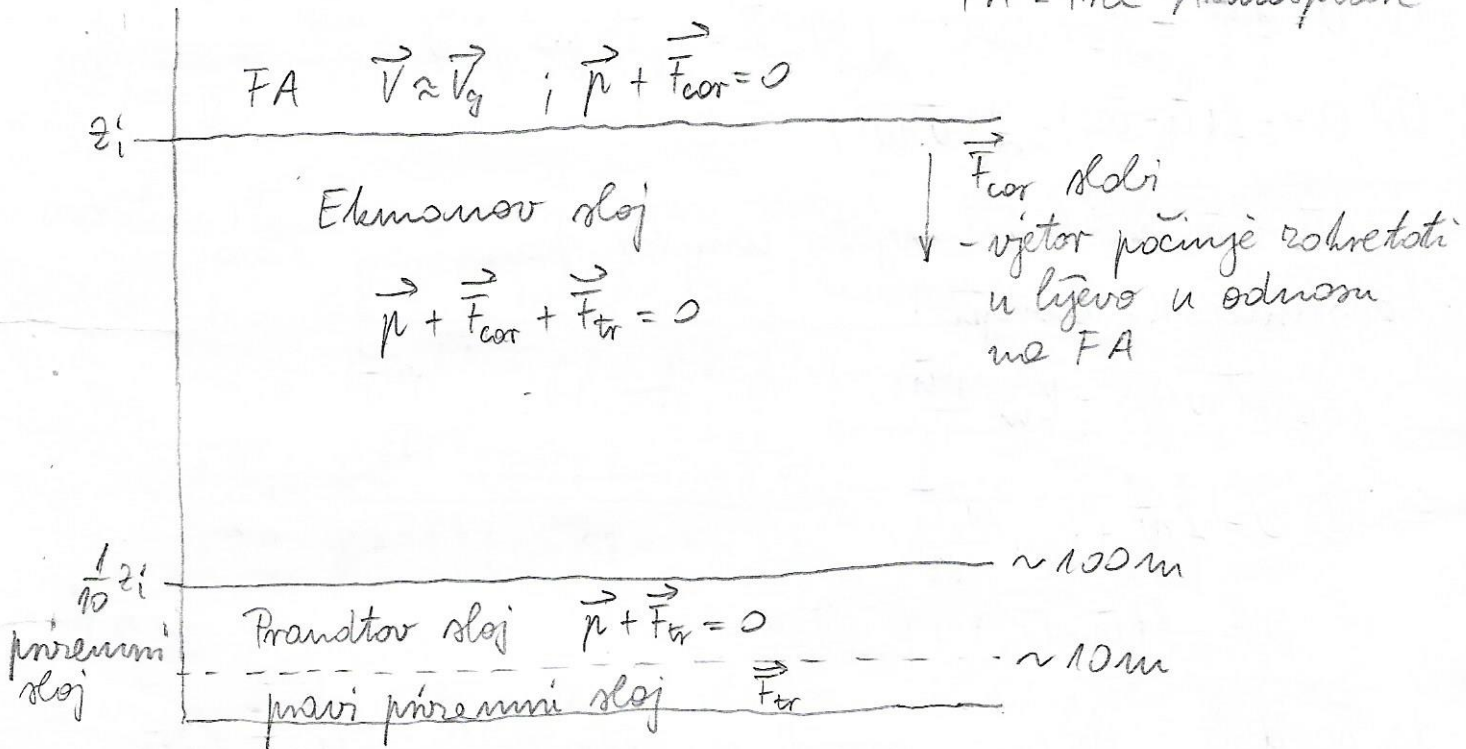
$z$ [m]	$\bar{u}$ [ms <sup>-1</sup> ]	$\bar{v}$ [ms <sup>-1</sup> ]	$\bar{\theta}_v$	$\Delta \bar{\theta}_v / \Delta z$	$ \Delta \bar{V} / \Delta z $	$k_B$
1591	-4.2	8.8	294.6	0,0021	$4,2 \cdot 10^{-3}$	3.93
1291	-5.4	9.3	293.8			1.47
914	-5.7	7.8	293.0	0,0021	$9,12 \cdot 10^{-3}$	0.84
702			292.5	0,019	$9,12 \cdot 10^{-3}$	0.77
610	-5.32	5.14	292.3	0,019	$2,82 \cdot 10^{-4}$	0.23
393			291.9	0,0205	$2,82 \cdot 10^{-4}$	2.41
305	-3.5	0.3	290.1	0,0205	$1,4 \cdot 10^{-2}$	3.54
222	-2.7	0.5	288.4	0,0133	$7,6 \cdot 10^{-3}$	7.7
4	-1.8	-1.9	285.5			

- mi smo u podotoku  $\bar{\theta}_v$  na  $z=1591$  m i  $z=702$  m u to sloju unisimo  $\frac{\Delta \bar{\theta}_v}{\Delta z}$  te na temelju toga računamo  $\bar{\theta}_v$  na visinama između

$$R_B = \frac{g}{\Theta_V} \frac{\frac{\Delta \Theta_V}{\Delta z}}{\left[ \left( \frac{\Delta \bar{u}}{\Delta z} \right)^2 + \left( \frac{\Delta \bar{v}}{\Delta z} \right)^2 \right]} ; \left| \frac{\Delta \vec{v}}{\Delta z} \right|^2 = \left( \frac{\Delta \bar{u}}{\Delta z} \right)^2 + \left( \frac{\Delta \bar{v}}{\Delta z} \right)^2$$

## PODJELA PBL-a PO VISINI

FA  $\equiv$  Free Atmosphere



u Ekmanovom sloju je uvedena Ekmanova spirala (profil vjetrova u Ekmanovom sloju)

pretpostavke za Ekmanovu spiralu:

- (1) Uvedena je za stacionarno stanje
- (2) horizontalna homogenost
- (3) stohički neutralna atmosfera
- (4) atmosfera je barotropna (nema termalnog vjetrova  $\rightarrow u_g$  i  $v_g$  se ne mijenjaju s visinom)
- (5) nema subsidencije ( $\bar{w} = 0$ )
- (6) x os je u smjeru geostrofičkog vjetrova ( $\vec{v}_g = u_g \vec{i}$ )
- (7) Promjena K-teorije uz  $k_m = const \Rightarrow \overline{u'w'} = -k_m \frac{\partial \bar{u}}{\partial z} ; \overline{v'w'} = -k_m \frac{\partial \bar{v}}{\partial z}$

→ ovo su pp. pod kožine je uveden profil vjetrova u Ekman sloju  
 - trebalo je nam jačine za srednje starije u fluidu:

$$\frac{\partial \bar{u}}{\partial t} + \bar{u}_j \frac{\partial \bar{u}}{\partial x_j} = f(\bar{v} - \bar{v}_g) - \frac{\partial}{\partial x_j} (\overline{u' u_j'})$$

$$\frac{\partial \bar{v}}{\partial t} + \bar{u}_j \frac{\partial \bar{v}}{\partial x_j} = -f(\bar{u} - \bar{u}_g) - \frac{\partial}{\partial x_j} (\overline{v' u_j'})$$

- uz ove pp. jačine se može na: (zbog (1), (2) i (5) će sve ovo s  
 lijeve strane postati):

$$\textcircled{1} 0 = f\bar{v} - \frac{\partial}{\partial z} (\overline{u' w'}) \quad (\text{jer } \vec{v}_g = u_g \vec{i} \text{ pa je } v_g = 0)$$

$$\textcircled{2} 0 = -f(\bar{u} - \bar{u}_g) - \frac{\partial}{\partial z} (\overline{v' w'})$$

$\bar{u}$  i  $\bar{v}$  su lozine vjetrova unutar granicnog sloja

- konstantno K-teoriju:

$$\frac{\partial}{\partial z} (\overline{u' w'}) = -K_m \frac{\partial^2 \bar{u}}{\partial z^2} \quad ; \quad \frac{\partial}{\partial z} (\overline{v' w'}) = -K_m \frac{\partial^2 \bar{v}}{\partial z^2}$$

$$\Rightarrow \textcircled{1} 0 = f\bar{v} + K_m \frac{\partial^2 \bar{u}}{\partial z^2}$$

$$\textcircled{2} 0 = -f(\bar{u} - \bar{u}_g) + K_m \frac{\partial^2 \bar{v}}{\partial z^2}$$

- da se dobije rješenje, uvodi se cplex lozina  $\bar{M} = \bar{u} + i\bar{v}$ .  
 - uvodi ćemo naprovi postaje  
 - kada se to riješi, dobije se:

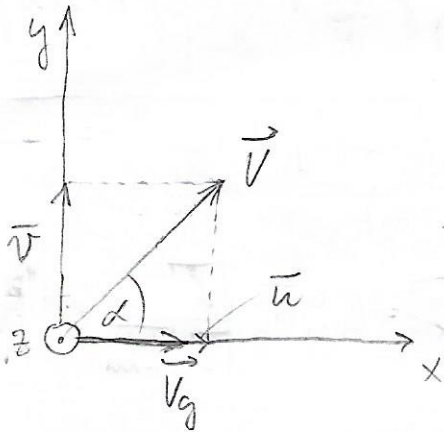
$$\begin{aligned} \bar{u}(z) &= \bar{u}_g [1 - e^{-\gamma z} \cos \gamma z] \\ \bar{v}(z) &= \bar{u}_g e^{-\gamma z} \sin \gamma z \\ \gamma &= \sqrt{\frac{f}{2K_m}} \end{aligned}$$

→ rješenje za Ekmanov model ili Ekmanovu spiralu



30) Pokažite da prema rješenju E. spinole u barotropnoj atmosferi vektor srednjeg vjetrova pri tlu rotira brzo od  $45^\circ$  s vektorom geostrofičkog vjetrova  $z \rightarrow 0$

Rj: osnovna pp. je:  $\vec{V}_g = u_g \vec{t}$  na vrhu granicnog sloja



$$\tan \alpha = \frac{\bar{v}}{\bar{u}} \quad ; \quad z \rightarrow 0$$

$$\begin{aligned} \tan \alpha &= \lim_{z \rightarrow 0} \frac{\bar{v}}{\bar{u}} = \\ &= \lim_{z \rightarrow 0} \frac{\bar{u}_g e^{-\gamma z} \sin \gamma z}{\bar{u}_g [1 - e^{-\gamma z} \cos \gamma z]} \end{aligned}$$

- uvjetim li  $z=0$  u ovaj omaz, dobijem  $\frac{0}{0} \Rightarrow$  l'Hospital

$$\begin{aligned} \Rightarrow \tan \alpha &= \lim_{z \rightarrow 0} \frac{-\gamma e^{-\gamma z} \sin \gamma z + \gamma e^{-\gamma z} \cos \gamma z}{\gamma e^{-\gamma z} \cos \gamma z + \gamma e^{-\gamma z} \sin \gamma z} = \\ &= \lim_{z \rightarrow 0} \frac{\cancel{\gamma e^{-\gamma z}} (\cos \gamma z - \sin \gamma z)}{\cancel{\gamma e^{-\gamma z}} (\cos \gamma z + \sin \gamma z)} = \frac{1-0}{1+0} = 1 \end{aligned}$$

$$\tan \alpha = 1 \Rightarrow \alpha = 45^\circ$$

$\Rightarrow$  vidimo da prema tlu brzo  $\vec{F}_{cor}$  dolazi, vjetrova okrece u lijevo

član Lovačke udruge "Zec" Gola-  
druga) g. Ivica Pavlović obratio  
em tekstu NO) s molbom da izvrši  
020 (u daljnjem tekstu Odluka)  
dbora (u daljnjem tekstu IO) jer  
njegova prava. Temeljem čl. 55.  
ma propisanim dužnostima.

luku, NO uočava nepravilnosti u  
odredbi čl.38. Statuta Udruge,  
jedeće poslove:

du podnosi prijave protiv članova  
ona i Statuta,

o suspenziji člana udruge do

egovne mjere članovima udruge na

je članove udruge iz udruge na

odredbi čl.38. Statuta nesporno  
ten samostalno i bez prijedloga  
o kakve sankcije članu udruge. U  
na vlastitu inicijativu bez  
onio odluku o izvršenju zaštitne  
aložena uplata u lovačku blagajnu

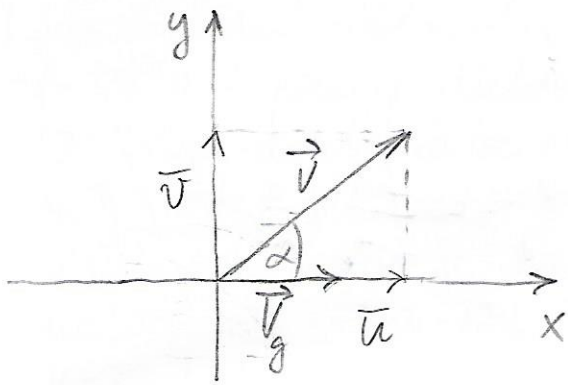
33. Koliki je kut između geostrofičkog vjetrova  $\vec{V}_g$  i vjetrova na visini  $z = 500 \text{ m}$  u točki  $\varphi = 45^\circ \text{ N}$  ako je  $K_m = 5 \text{ m}^2 \text{ s}^{-1}$ , a granični sloj je neutralan. U kojemu je smjeru usloveni stvarni od geostrofičkog vjetrova, te koliko je visoka PBL

$$z = 500 \text{ m}$$

$$\varphi = 45^\circ \text{ N}$$

$$K_m = 5 \text{ m}^2 \text{ s}^{-1}$$

$$\delta = \sqrt{\frac{f}{2K_m}} = \sqrt{\frac{2 \cdot \Omega \sin 45^\circ}{2 \cdot 5 \text{ m}^2 \text{ s}^{-1}}} = 0,0032 \text{ m}^{-1}$$



$$e^{-\delta z} = 0,2019$$

$$\sin \delta z = 0,9996$$

$$\cos \delta z = -0,0292$$

$$\tan \alpha = \frac{\bar{v}}{\bar{u}} = \frac{e^{-\delta z} \sin \delta z}{1 - e^{-\delta z} \cos \delta z} = \frac{0,2019 \cdot 0,9996}{1 - 0,2019 \cdot (-0,0292)} = 0,2006364$$

$$\Rightarrow \alpha = 11,34^\circ \Rightarrow \text{vjetar je zobrenut u lijevo}$$

[34] Izvedi izraz koji pokazuje kako se vrtložnost kao mjerna veličina značajno od sloja trenja (kod C) mijenja s vremenom. Koliko je vremena potrebno da se vrtložnost smanji 1/2 puta od neke početne vrijednosti, ako je visina vrtloža  $H = 10 \text{ km}$  a koeficijent  $K = 10^5 \text{ cm}^2 \text{ s}^{-1}$ . Pp. da je  $w(z_t) = \frac{1}{2} g \left( \frac{K}{2f} \right)^{\frac{1}{2}}$   
 $z_t =$  visina sloja trenja

- jedrba računaju vrtložnosti:

$$\frac{d}{dt} \left( \frac{1}{2} + f \right) = - \left( \frac{1}{2} + f \right) \cdot \nabla_H \vec{V} \quad ; \quad \frac{1}{2} \ll f \quad ; \quad \frac{df}{dt} = 0$$

$$\Rightarrow \frac{d \frac{1}{2}}{dt} = - f \nabla_H \vec{V}$$

- jedrba kont. (nestlačivost)  $\Rightarrow \nabla \cdot \vec{V} = 0 \Rightarrow \nabla_H \cdot \vec{V} = - \frac{\partial w}{\partial z}$

$$\Rightarrow \frac{d \frac{1}{2}}{dt} = f \frac{\partial w}{\partial z}$$

- u Ekmanovom sloju je pp. barotropnost  $\Rightarrow \frac{1}{2} = \frac{1}{2} g$

$$\Rightarrow \frac{d \frac{1}{2} g}{dt} = f \frac{\partial w}{\partial z} \Big|_{z_t}^H \Rightarrow \frac{d \frac{1}{2} g}{dt} (H - z_t) = f [w(H) - w(z_t)]$$

$\approx 0$   
 vertikalna gibanja u slobodnoj atmosferi su z zanemarljiva

$$\Rightarrow \frac{d\zeta_g}{dt} = - \frac{f w(z_t)}{H - z_t} = - \frac{f}{H - z_t} \cdot \zeta_g \left(\frac{K}{2f}\right)^{\frac{1}{2}}$$

$$\frac{1}{\zeta_g} \frac{d\zeta_g}{dt} = - \frac{f}{H - z_t} \left(\frac{K}{2f}\right)^{\frac{1}{2}} \Rightarrow \frac{d}{dt} \ln \zeta_g = - \frac{f}{H - z_t} \left(\frac{K}{2f}\right)^{\frac{1}{2}} \int_{t_0}^t dt$$

$$\Rightarrow \ln \frac{\zeta_g(t)}{\zeta_g(t_0)} = - \frac{f}{H - z_t} \left(\frac{K}{2f}\right)^{\frac{1}{2}} (t - t_0)$$

$$\Rightarrow \zeta_g(t) = \zeta_g(t_0) e^{-\frac{f}{H - z_t} \left(\frac{K}{2f}\right)^{\frac{1}{2}} (t - t_0)} //$$

$$\text{za } \zeta_g(t) = \frac{1}{2} \zeta_g(t_0) \Rightarrow t \rightarrow \tau$$

$$e^{-\frac{1}{2}} \zeta_g(t_0) = \zeta_g(t_0) e^{-\frac{f}{H - z_t} \left(\frac{K}{2f}\right)^{\frac{1}{2}} (\tau - t_0)} / \ln ; t_0 = 0$$

$$f \cdot 1 = \frac{f}{H - z_t} \left(\frac{K}{2f}\right)^{\frac{1}{2}} \tau \Rightarrow \tau = \frac{H - z_t}{f} \left(\frac{2f}{K}\right)^{\frac{1}{2}}$$

$$H - z_t \approx H \Rightarrow \tau = \frac{1000000 \text{ cm}}{2 \Omega \sin 45^\circ} \left(\frac{4 \Omega \sin^2 45^\circ}{10^5 \text{ cm}^2 \text{ s}^{-1}}\right)^{\frac{1}{2}}$$

$$\Rightarrow \tau = 440447,08 \text{ s} = 5,1 \text{ dan} //$$

35) Kolika je vertikalna brzina zbog Ekman-pumpinga na vrhu neutralnog PBL-a nad koji je odvećen do sas ciklonolni vrtlog sa  $\zeta_g = 2,5 \cdot 10^{-5} \text{ s}^{-1}$ . Neke je  $f = 10^{-3} \text{ s}^{-1}$  a  $K = 7 \text{ m}^2 \text{ s}^{-1}$ . Kolika je visina neutralnog granicnog sloja

$$\text{na predavanjima: } w_{He} = \frac{\zeta_g}{2f} [1 + e^{-\delta He}]$$

$$\delta = \sqrt{\frac{f}{2K}} ; He = \frac{\pi}{f} \Rightarrow He = 1175 \text{ m} //$$

$$w_{He} = 4,88 \cdot 10^{-2} \text{ ms}^{-1} //$$

36. Idealizirani ciklonski vrtlog dolazi nad neutralnim PBL na  $f = 47^\circ \text{N}$  i počinje djelovati na granični sloj u trenutku  $t_0$ . Nakon koliko će se vremenski geostrofička vrtložnost mo-  
 rjeti usred sekundarne cirkulacije na polovinu početne  
 vrijednosti. Vrtlog je visok  $8,5 \text{ km}$ , a donja baza mu se  
 nalazi na vrhu PBL-a. Koliko je visok granični sloj?

$$K = 5 \text{ m}^2 \text{ s}^{-1}$$

$$\Omega = 7,29 \cdot 10^{-5} \text{ s}^{-1}$$

$$H - z_t = 8,5 \text{ km}$$

$$t - t_0, H_e = ?$$

$$H_e = \frac{\pi}{f} = \pi \sqrt{\frac{2K}{f}} = \pi \cdot \sqrt{\frac{2 \cdot 5 \text{ m}^2 \text{ s}^{-1}}{2 \cdot 7,29 \cdot 10^{-5} \text{ s}^{-1} \cdot \sin 47^\circ}}$$

$$\Rightarrow H_e = 962,07 \text{ m} = z_t //$$

- jednačina vrtložnosti:  $\frac{d}{dt}(k+f) = -(k+f) \nabla_H \vec{v}$

$$k \ll f, \frac{df}{dt} = 0, k = k_g, \nabla_H \vec{v} = -\frac{\partial w}{\partial z}$$

$$\frac{dk_g}{dt} = f \frac{\partial w}{\partial z} \Big|_{z_t}^H \Rightarrow \frac{dk_g}{dt} (H - z_t) = f [w(H) - w(z_t)] \approx 0$$

$$w(z_t) = k_g \sqrt{\frac{K}{2f}}$$

$$\Rightarrow \frac{dk_g}{dt} = -\frac{f}{H - z_t} k_g \sqrt{\frac{K}{2f}} \Rightarrow \frac{1}{k_g} \frac{dk_g}{dt} = -\frac{f}{H - z_t} \sqrt{\frac{K}{2f}}$$

$$\frac{d}{dt} \ln k_g = -\frac{f}{H - z_t} \sqrt{\frac{K}{2f}} \Rightarrow d \ln k_g = -\frac{f}{H - z_t} \sqrt{\frac{K}{2f}} dt \Big|_{t_0}^t$$

$$\ln \frac{k_g(t)}{k_g(t_0)} = -\frac{f}{H - z_t} \sqrt{\frac{K}{2f}} (t - t_0)$$

$$\text{-za } k_g(t) = \frac{1}{2} k_g(t_0) \Rightarrow t - t_0 = f \frac{H - z_t}{f} \sqrt{\frac{2f}{K}} \ln 2^{-1}$$

$$t - t_0 = 360854,3 \text{ s} = 4,18 \text{ dana} //$$