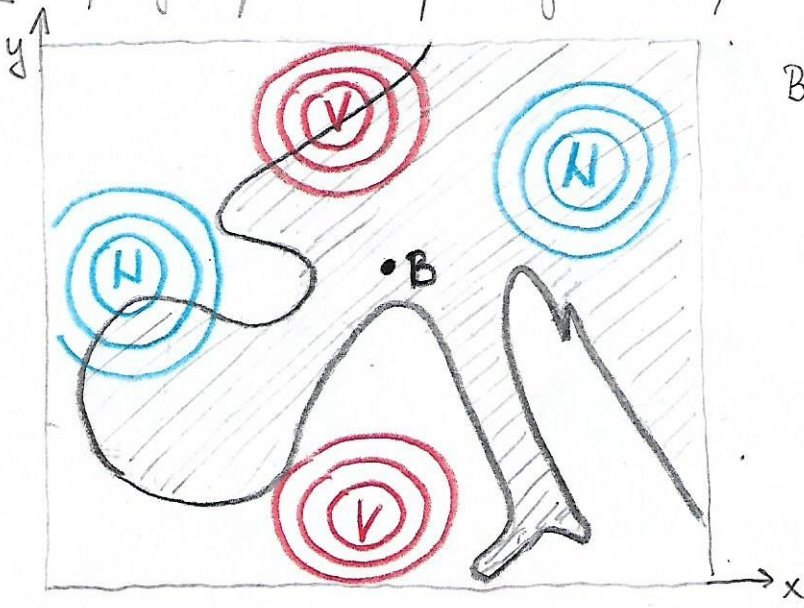


### III. 4. BARIČKI CIRKULACIJSKI SUSTAVI (BCS)

- BCS  $\equiv$  specifični oblici unutar polja tlaka rinde koji su popraćeni odgovarajućim načinom strujanjem
- pored fronta, ovi su oblici presudni u kretanju vremena t. d. je tlak rinde i njegova raspodjela ključan parametar u dijagnostici i prognozi vremena
- u se može precizno mijeniti te se na temelju njegove rotacijske & strujne osi, donim...

### III. 4. 1. UOBICAJENI NACIN PRIKAZA POLJA TLAKA ZRAKA

- polje p-a moze najcesce se odraziti na 2 nacina:
  - 1) Priказ p-a na ploskama konstantne visine ( $z = \text{const}$ )  $\Rightarrow$  isobare [Pa]
  - 2) Priказ visina izobornih plosa ( $p = \text{const}$ )  $\Rightarrow$  isohipse [gpm]
- obicno se 1) koristi za opisanje p-a na manjoj razini, dok se na visini koristi 2)
  - $\Rightarrow$  odrazaji se topografije izobornih plosa
- vertikalni presjeci izobornih plosa se nazivaju linije
- J otvoreni i zatvoreni oblici u polju isobara ili isohipse
- OTVORENI OBLICI  $\Rightarrow$  DOLINE, GREBENI
- ZATVORENI OBLICI  $\Rightarrow$  CIKLONE (C), ANTICIKLONE (AC)
- svi se oblici (pogotovo zatvoreni: C i AC) formiraju oko STACIONARNIH TOČAKA (singularnih točaka) a obinom na tloke moke (prva derivacija tlaka po hor. koordinata ma isčerava) tj. singularnih točaka u polju strujanja (smjer vjetrova je u timi točkama neodređen tj. 1. derivacija smjera vjetrova po hor. koord. ne J)
- ako govorimo o polju p-a, stacionarne točke su zajedno i lokalni ekstremi u tom polju (min, max ili sedlasta točka)
- ako u stoc. točki imamo min. p-a, to označavamo sa N (Nizide; eng. L = Low; njem. T = Tief; lat. C = Ciclona) a ako imamo max. p-a  $\Rightarrow$  V (Visoke; eng. H = High; njem. H = Hoch; lat. A = anticiclona)
- SEDLASTA TOČKA  $\equiv$  u jednom smjeru zajednosti tj. (konkretno p-a) raste, a u drugom opada u odnosu na jednu točku  $\Rightarrow$  u meteorologiji podrazuje u polju p-a između 2 C-a i 2 AC-a
- Primjer: raspodjela p-a nad područjem Europe



B... sedlasta točka, nije ni min, ni max, jer od točke B u x smjeru tloke opada, a u y smjeru raste

### MATEMATIČKI UVJETI

1) SREDIŠTE CIKLONE (uvjeti za minimum):

$$\frac{\partial p}{\partial x} = 0, \frac{\partial^2 p}{\partial x^2} > 0; \quad \frac{\partial p}{\partial y} = 0, \frac{\partial^2 p}{\partial y^2} > 0$$

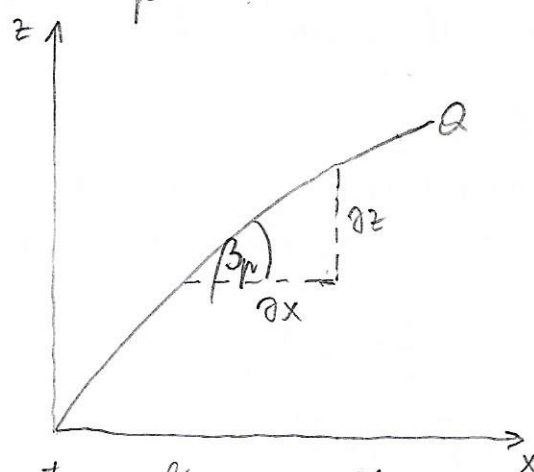
2) SREDIŠTE ANTICIKLONE (uvjeti za maksimum):

$$\frac{\partial p}{\partial x} = 0, \frac{\partial^2 p}{\partial x^2} < 0; \quad \frac{\partial p}{\partial y} = 0, \frac{\partial^2 p}{\partial y^2} < 0$$

3) SEDLASTA TOČKA

$$\frac{\partial p}{\partial x} = 0, \frac{\partial^2 p}{\partial x^2} \leq 0; \quad \frac{\partial p}{\partial y} = 0, \frac{\partial^2 p}{\partial y^2} \geq 0$$

oko visine andoru  $\mu$ -a na vertikalnom presjeku, promatramo nagib netke izoborne plohe  $\alpha$ :



- $\tan \beta_p = \left( \frac{\partial z}{\partial x} \right)_p$
- konveksna ploha  $\Rightarrow V$
  - konkavna ploha  $\Rightarrow H$
  - pokazuje se da je  $\beta_p \ll \mu$  pa ovo nije pogodan način za određivanje polja  $\mu$ -a na vert. presjeku

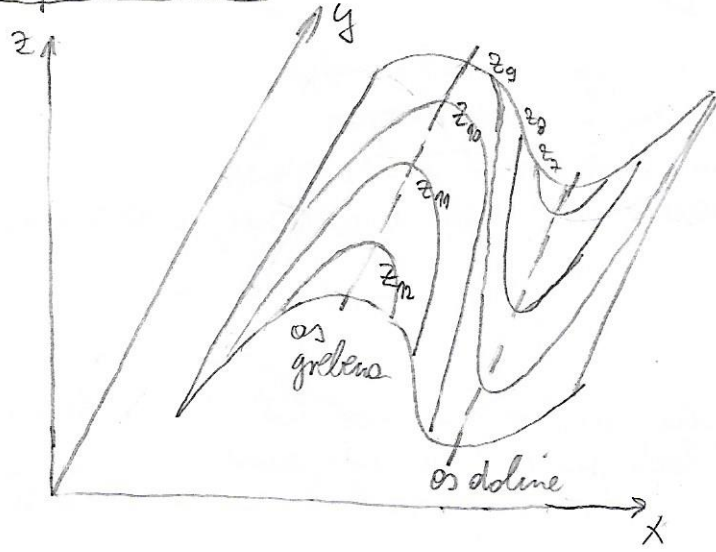
promatramo li ovim izobornu plohu ( $\mu = \text{const}$ ) tj. polje  $\mu$ -a se određuje pomoću visine izobornih ploha, matematički postoje dvije vrste, jednostavnije (jer izbjegnemo dodatne (nerelativne) članove zbog blagog nagiba geop. ploha prema polovini)

Pr: uvjedi:  $\frac{1}{\rho} \nabla_z \mu = \frac{1}{\rho} \left( \frac{\partial \mu}{\partial x} \vec{i} + \frac{\partial \mu}{\partial y} \vec{j} \right) = \frac{1}{\rho} \left( \frac{\partial \mu}{\partial z} \frac{\partial z}{\partial x} \vec{i} + \frac{\partial \mu}{\partial z} \frac{\partial z}{\partial y} \vec{j} \right) = \frac{1}{\rho} \frac{\partial \mu}{\partial z} \left( \frac{\partial z}{\partial x} \vec{i} + \frac{\partial z}{\partial y} \vec{j} \right) =$   
 nelinearno  $= \frac{1}{\rho} (-\rho g) \nabla_p z = -g \nabla_p z = -\nabla_p (gz) = -\nabla_p \phi$

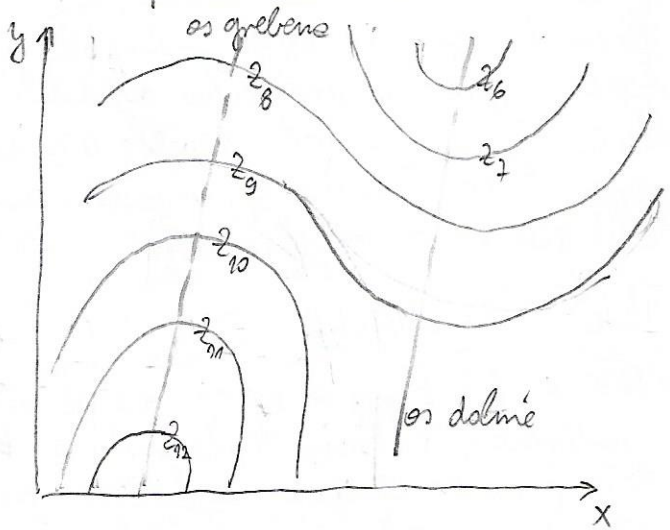
$\Rightarrow$  nelinearan prikaz iste grad. tlaka razmjeren je linearnim!

prema većini visinama sve su češći stroveni oblici (doline i grebeni); analog medija isto rotoreni nastoje su OSI dolina i grebena

3D prikaz D i G



2D prikaz G i D



III 4.2. DEFINICIJA I INTENZITET C i A

- C i A  $\equiv$  rotoreni oblici u polju tlaka vidno na prijemnim i visinskim konturama  
 - kao uvijek sa hor. rotacionom gibanje može podviti vert. komponenta rotacije (rotornost)  $\zeta$ :

$$\zeta = \frac{\partial v}{\partial x} - \frac{\partial u}{\partial y}$$

- po definiciji sa H hemisferom:  $\zeta > 0$  (suprotno od koroljke)  $\Rightarrow C$   
 $\zeta < 0$  (u smjeru koroljke)  $\Rightarrow A$

- sa S hemisferi je obrnuto  
 - sada slijede definicije:  
 - CIKLONA  $\equiv$  roćni rotlog srednjih (mora) ili sinoptički razmjere oko medista niskog tlaka sa  $\zeta > 0$   
 - ANTICIKLONA  $\equiv$  -||- oko medista visokog tlaka sa  $\zeta < 0$

- TROPSKE CIKLONE su srednjih (malo) razmjera  $\Rightarrow L < 1000 \text{ km}$
- ZVANTRORSKE CIKLONE mogu biti srednjih i sinoptičkih razmjera  $L \sim 10^3 \text{ km}$
- vrhovi nastanka tropskih i vivotropskih C-a nisu isti, procesi u tropskim vrtlozima su intenzivniji, brine su veće
- mi tropske ciklone zovemo TROPSKI CIKLON (mnuski rod)
- i vrtlozi mnogih razmjera: TORNADO, VODENA PIJAVICA, PRAŠINSKI VRTLOG ...
- $\Rightarrow$  to su nepredvidive pojave, ne  $\nabla$  mjerenje, moraju uvijek istog razmjera uticati (conditio nemus utjecaj)

intenzitet C i A se tradicionalno vidi preko relacijom  $I \equiv \nabla_z^2 p$

koju ulogu sada ovdje igra vrtloznost? moime,  $\zeta$  je vert. komponenta rotacije vjeha:  $\zeta = \vec{k} \cdot (\nabla \times \vec{v})$

ako je  $\vec{v} = \vec{v}_g = \vec{k} \times \frac{1}{f} \nabla_z p$ , tada je  $\zeta \approx \zeta_g = \frac{1}{f} \nabla_z^2 p$

- vidimo dakle da se intenzitet ciklone dođe izraziti preko vrtloznosti jer:  $I = \nabla_z^2 p \sim \zeta_g = \frac{1}{f} \nabla_z^2 p$  uz uzjet da je  $f = \text{const}$
- kodak se na ovoj intenziteta ciklone vrima i vrima tlaka rinde u njezinu centru po govornim  $\sigma$  PLITKIM/DUBOKIM ciklonima,  $\sigma$  POPU NIJAVANJU C-a ...
- i DEPRESIJA (podmjeđe niskog p-a bez vrtloženja) > do njih dolazi zbog KOMPRESIJA (- visokog -) > do njih dolazi zbog rotacijskih procesa

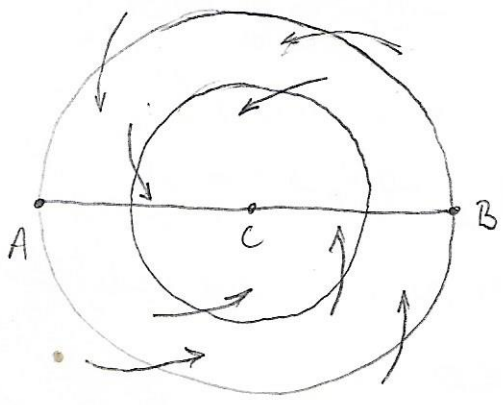
### III.4.3. KLASIČNE TEORIJE CIKLOGENEZE

- to su teorije koje su se razvijale u XIX. i 1. polovici XX. st-a
- $\Rightarrow$  to je predinformatičko razdoblje bez sistemskih mjerenja
- te teorije su vrlo često temelj savremenim teorijama ciklogenere
- one isto vjedi na C, vjedi i na A samo s (-) predrudkom, a litne vrtlice (ako  $\nabla$ ) se moglo razvijati

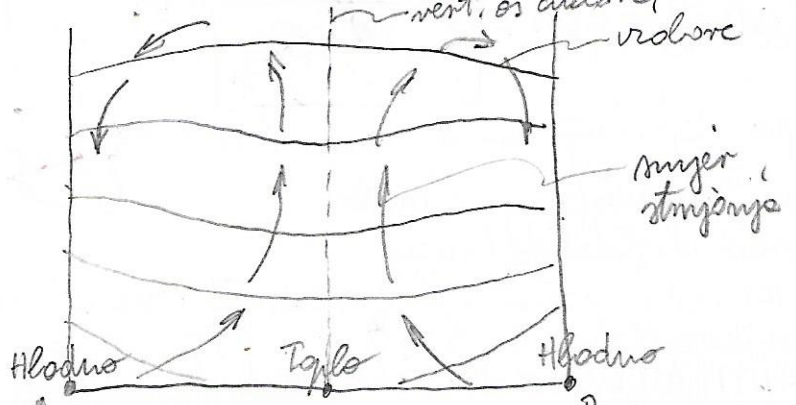
#### III.4.3.1. TERMALNA TEORIJA CIKLONA

- 1839. g. J.P. Esquy  $\Rightarrow$  ~~pa~~ je da se ciklonalni nistar odvija latentnom toplinom kondenzacije (vibromi topli zrak se diže, hladi pa se v. p. kondenzira)
- $\Rightarrow$  to je OK za tropske ciklone, no za ciklone umjerenih vrima ta E nije dovoljna za održavanje cirkulacije
- krajem XIX. st-a empirija je pokazala da ta E nije dovoljna, da da moraju svoji "termini"

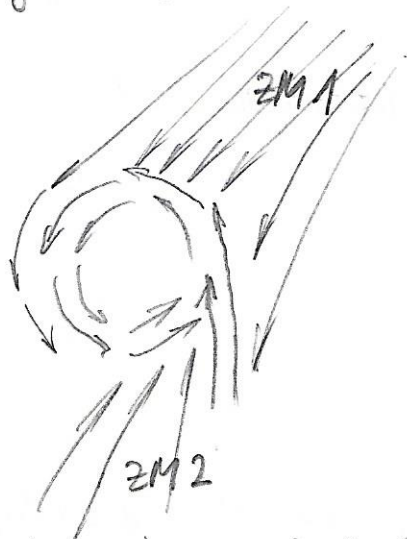
horizontalni presjek



vertikalni presjek

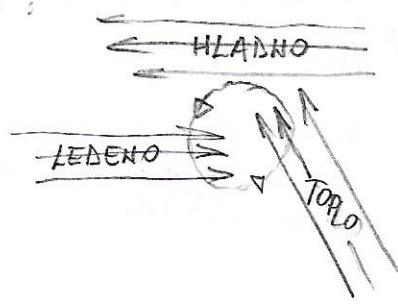


Fitrony 1963. g. tumoci mostanske C-a kao posljedicu mase 2 ZM-a :



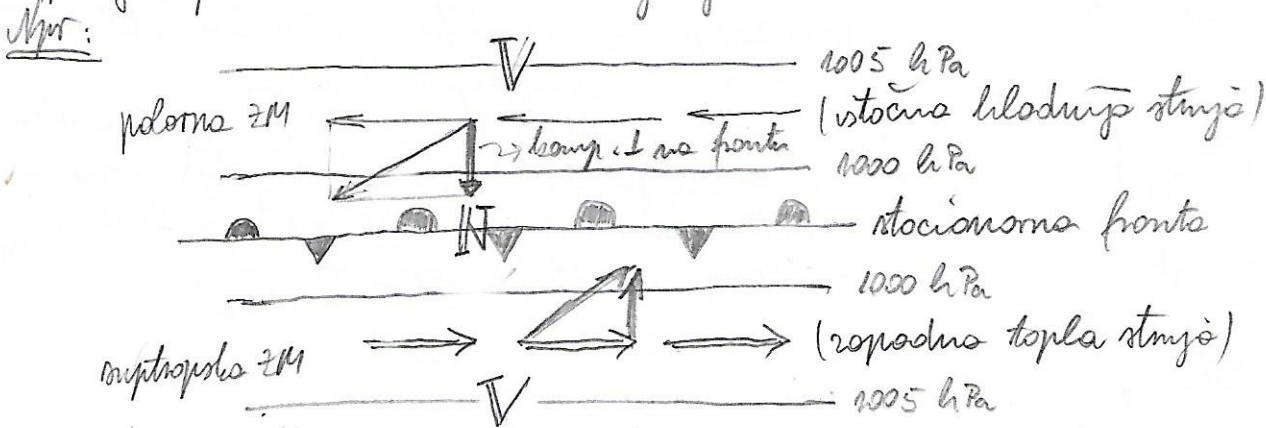
- pp da je dugi vrtor topline koji pristire u C unovno horizontalna odvećaja toplijeg mase obicno na prednjem strani C-a
- na toj strani dolazi do termalne osimetrije unutar C-a koja je detektirana empirijski

- Show (1906.g) ⇒ pp. topli i hladni sektor isto omogućava odvećaju topline na podvišavanje ciklone :



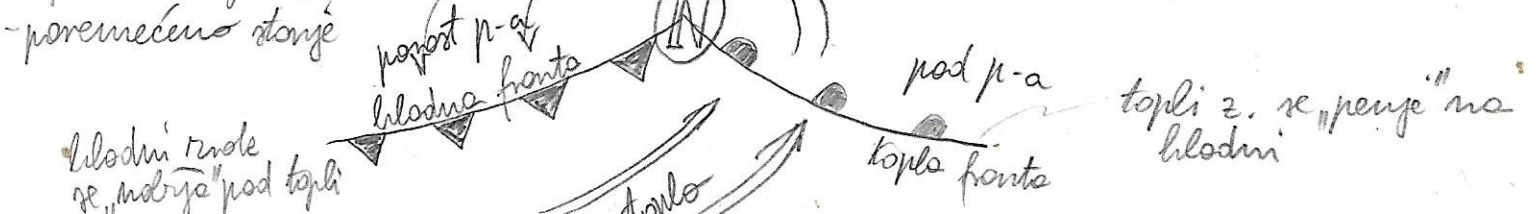
### III.4.3.2. CIKLOGENEZA KAO VALNI POREMEĆAJ NA FRONTI

- tu se po 1. put uključuju, fronte i C zajedno
- pp se da ciklone razvijaju na frontama uz određene uvjete ⇒ to teoreti se razvijaju u okvirima BERGENSKE ŠKOLE
- prema ovoj teoriji, vortropške ciklone se razvijaju na polarnoj fronti (granica između polarne i vortropške ZM) koja je u poč. trenutku stacionarna i tu F raspodjela p-a i horizontalna strujanja



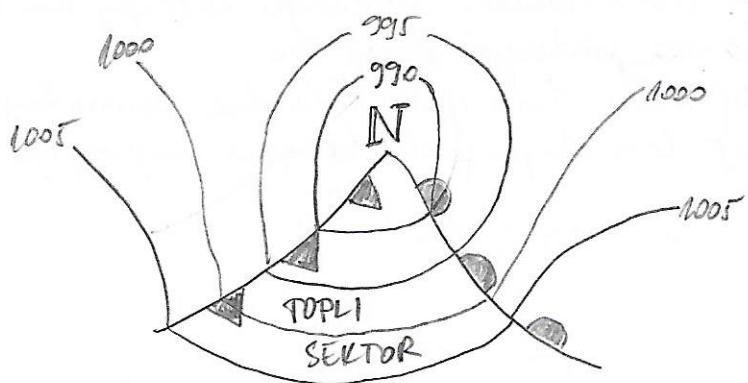
- no, ovakva situacija nije postojima ⇒ zbog trenja vjetar rotirće prema nižem tlom ⇒ F komponenta strujanja ⊥ na frontu
- na nekim dijelovima hladni mase ide na S, a topli na N i to se dogada u valnom obliku

#### 1) faza razvoja C-a :

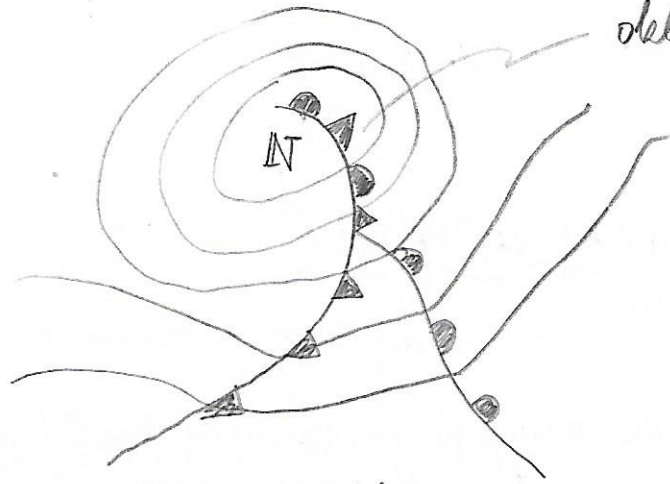


2) forma norvoja C-a: triv. forma mlade ciklone  $\Rightarrow$  ona ima dno norvojen  
 TOPLI SEKTOR umesto hladne i tople fronte

- nastupa nakon 24 h

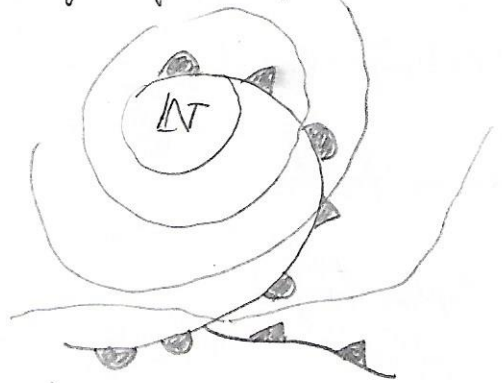


3) forma najvecé norvojenosti C-a: zbog vecé brzine gibanja hladne od tople fronte, hladni vrste počinje istiskivati topli tj. počinje proces OKLUZIJE (occludere = zatvoriti)  $\Rightarrow$  topli sektor se sve više smanjuje, a podnizje napreduje.  $\nabla T$  se seli iz centra prema periferiji i u visinu



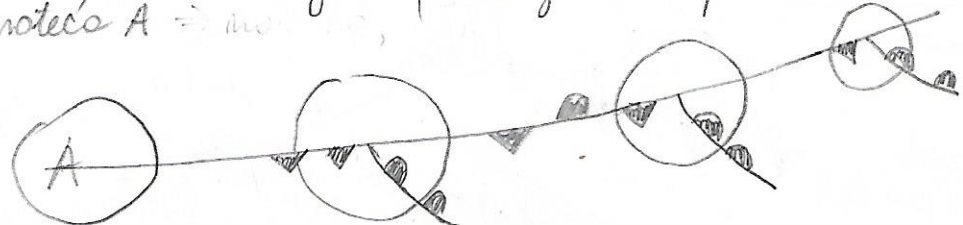
okludirani dio C-a  $\Rightarrow$  nestojni termički simetričan s hladnijim vrhom u većem dijelu troposfere  
 ma isti ZM

4) forma  $\Rightarrow$  okludirana ciklona: hladni vrste je potisnuta topli gotovo na cijelom podnizju djelovanjem C-a



- vrstov postoje termički simetričan s hladnijim vrhom u većem dijelu troposfere
- C postaje "HLADNA KAPUSA ZRAKA" u atmosferi
- zbog trenja dolazi do slabljenja cirkulacije i konačno do iščrpanja C-a
- to traje nekoliko dana

oko u 4. formi dote nova stacionarna fronta, pod utjecajem još stave odobljene cirkulacije, može se regenerirati ciklona  
 - do regeneracije može doći i ako C u 4. formi nastane na ZM litna nad naptovna pa taj vrak lije uspon u zvu  
 - na stacionarnoj fronti može nastati cijela familija C-a pa se radi kompenzacije mora navesti protok A  
 - neravno, najeti na to su omogućeni



# 11.4.3.3. SUTCLIFFEOVA TEORIJA RAZVOJA C-a

- to je analitička teorija, konstanta je  $\frac{1}{2}$  za procjenu razvoja C-a

- kritičnj:  $\frac{\partial \zeta}{\partial t} > 0 \dots$  ciklogenere (razvoj C-a)

$\frac{\partial \zeta}{\partial t} < 0 \dots$  cikloliza (slabljenje C-a)

- konstanta je pojednostovljenim jaitru opodlutne vrtloznosti u x y p sustavu:

$$\frac{d}{dt} (\zeta + f) = - (\zeta + f) \nabla_p \cdot \vec{V} = - f \nabla_p \cdot \vec{V}$$

$$\frac{\partial}{\partial t} (\zeta + f) + \vec{V} \cdot \nabla_p (\zeta + f) = - f \nabla_p \cdot \vec{V}$$

$$\frac{\partial \zeta}{\partial t} + \frac{\partial f}{\partial t} + \vec{V} \cdot \nabla_p (\zeta + f) = - f \nabla_p \cdot \vec{V} \quad (1)$$

$$f \nabla_p \cdot \vec{V} = - \vec{V} \cdot \nabla_p (\zeta + f) - \frac{\partial \zeta}{\partial t}$$

ber videlisa      videles o  
↑                      ↑

- Sutcliff je promatrao vertikalnu divergenciju na plovima  $p = 500 \text{ hPa}$  i  $p = 1000 \text{ hPa}$

$$f (\nabla_p \cdot \vec{V} - \nabla_p \cdot \vec{V}_0) = - \vec{V} \cdot \nabla_p (\zeta + f) + \vec{V}_0 \cdot \nabla_p (\zeta_0 + f) - \frac{\partial}{\partial t} (\zeta - \zeta_0) \quad (*)$$

- ~~pp~~ da se na desnoj strani jaitru može uoviti geostrofija:

$$\zeta_g = \frac{g}{f} \nabla_p^2 z \quad ; \quad \zeta_{g0} = \frac{g}{f} \nabla_p^2 z_0$$

- dan  $-\frac{\partial}{\partial t} (\zeta - \zeta_0)$  postaje  $-\frac{g}{f} \frac{\partial}{\partial t} (\nabla_p^2 z - \nabla_p^2 z_0) = -\frac{g}{f} \nabla_p^2 \frac{\partial}{\partial t} (z - z_0) = -\frac{g}{f} \nabla_p^2 \frac{\partial h}{\partial t}$

$h \dots$  debljina sloja  $R_{T_{1000}}^{500}$

- u ~~pp~~  $\frac{dh}{dt} = 0 = \frac{\partial h}{\partial t} + \vec{V}_g \cdot \nabla_p h \Rightarrow \frac{\partial h}{\partial t} = - \vec{V}_g \cdot \nabla_p h \Rightarrow$  rel. vrtine se mijenjaju samo zbog advekcije!

- dan  $-\frac{\partial}{\partial t} (\zeta - \zeta_0)$  postaje:  $-\frac{g}{f} \nabla_p^2 (-\vec{V}_g \cdot \nabla_p h) = \frac{g}{f} \nabla_p^2 (\vec{V}_g \cdot \nabla_p h)$

- matematička daje:  $\frac{g}{f} \nabla_p^2 (\vec{V}_g \cdot \nabla_p h) = \vec{V}_{g0} \cdot \nabla_p \zeta_g - \vec{V}_g \cdot \nabla_p \zeta_{g0} \Rightarrow \underline{\underline{DZ}}$  Pokazati!

- to u (\*):

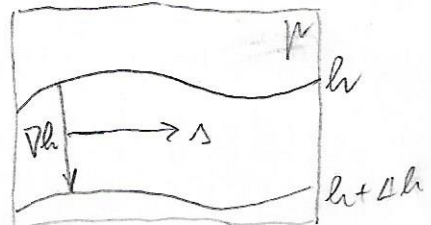
$$\begin{aligned} f \nabla_p \cdot (\vec{V} - \vec{V}_0) &= - \vec{V}_g \cdot \nabla_p (\zeta_g + f) + \vec{V}_{g0} \cdot \nabla_p (\zeta_{g0} + f) + \vec{V}_{g0} \cdot \nabla_p \zeta_g - \vec{V}_g \cdot \nabla_p \zeta_{g0} \\ &= - \vec{V}_g \cdot \nabla_p (\zeta_g + \zeta_{g0} + f) + \vec{V}_{g0} \cdot \nabla_p (\zeta_g + \zeta_{g0} + f) = \\ &= - [\vec{V}_g - \vec{V}_{g0}] \cdot \nabla_p (\zeta_g + \zeta_{g0} + f) \end{aligned}$$

$\Rightarrow$  vertikalni geostrofički vjetro na 2 vislorne plovne ravnine **TERMALNIM**

VJETROM:  $\vec{V}_T = \vec{V}_g - \vec{V}_{g0}$

- def. koord. sustav na vislornoj plohi sa osi  $\Delta$  koja je jednaka u smjeru vrtine tj.  $\perp$  na  $\vec{V}_T$

$\Rightarrow \Delta$  je u smjeru  $\vec{V}_T$



rodo:  $f \nabla_p \cdot (\vec{V} - \vec{V}_0) = -\frac{1}{f} \nabla_T \cdot (\zeta_g + \zeta_{g0} + f) / \frac{1}{f}$

$\Rightarrow \nabla_p \cdot (\vec{V} - \vec{V}_0) = -\frac{1}{f} \nabla_T \frac{\partial}{\partial s} (\zeta_g + \zeta_{g0} + f)$

- definisom vrtloznost termalnog vjetrova:  $\zeta_T = \frac{\sigma}{f} \nabla_p^2 h$

- buduci da je  $\vec{V}_T = \vec{V}_g - \vec{V}_{g0} \Rightarrow \zeta_T = \zeta_g - \zeta_{g0} \Rightarrow \zeta_g = \zeta_{g0} + \zeta_T$

- divergenciju na plodii  $p = 500$  hPa moramo zanemariti (Bernoulli  $\rho$ )  $\Rightarrow \nabla_p \cdot \vec{V} \approx 0$

$\Rightarrow \nabla_p \cdot \vec{V} - \nabla_p \cdot \vec{V}_0 = -\frac{1}{f} \nabla_T \frac{\partial}{\partial s} (\zeta_{g0} + \zeta_T + \zeta_{g0} + f)$

$-\nabla_p \cdot \vec{V}_0 = -\frac{2}{f} V_T \frac{\partial \zeta_{g0}}{\partial s} - \frac{V_T}{f} \frac{\partial \zeta_T}{\partial s} - \frac{V_T}{f} \frac{\partial f}{\partial s}$

- zbog otvorenosti prirodnih sustava uz geostrofiche aproksimacije vrijedi:

$\vec{V}_{g0} \cdot \nabla_p (\zeta_{g0} + f) = 0 \rightarrow$  nema odvećajuce vrtloznosti (jer su  $\vec{V}_{g0}$  i  $\nabla_p (\zeta_{g0} + f) \perp$ )



- pocetna jadrta na plodii  $p = 1000$  hPa:

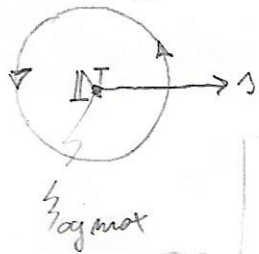
$\frac{d}{dt} (\zeta_{g0} + f) = \frac{\partial \zeta_{g0}}{\partial t} + \vec{V}_{g0} \cdot \nabla_p (\zeta_{g0} + f) = -f \nabla_p \cdot \vec{V}_0 \Rightarrow -\nabla_p \cdot \vec{V}_0 = \frac{1}{f} \frac{\partial \zeta_{g0}}{\partial t}$

$\Rightarrow \frac{1}{f} \frac{\partial \zeta_{g0}}{\partial t} = -\frac{2}{f} V_T \frac{\partial \zeta_{g0}}{\partial s} - \frac{V_T}{f} \frac{\partial \zeta_T}{\partial s} - \frac{V_T}{f} \frac{\partial f}{\partial s} / f$

$\Rightarrow \frac{\partial \zeta_{g0}}{\partial t} = \textcircled{\text{I}} - 2 V_T \frac{\partial \zeta_{g0}}{\partial s} - \textcircled{\text{II}} - V_T \frac{\partial f}{\partial s} \textcircled{\text{III}}$

Ⓘ ... član termalnog usmjerenja  
 Ⓜ ... član termalne vrtloznosti  
 Ⓝ ... dinamički član

- analiza Ⓘ:



Buduci je u sredistu ciklone  $\zeta_{g0}$  maksimalna, prema periferiji (u smjeru  $s$ ) je  $\frac{\partial \zeta_{g0}}{\partial s} < 0$  isto ce s predznakom (-) doprinijeti ciklogeneraciji, a to je na prednjoj strani ciklone