

SZUSTER PIOTR

retsuz@gmail.com

SKYWARN POLSKA

www.lowcyburz.pl

Storm Relative Helicity

1. Skrętność w mechanice płynów

Skrętność H przepływu cieczy w ograniczonym lub nieograniczonym obszarze \mathbb{O} , trójwymiarowej, euklidesowej przestrzeni \mathbb{R}^3 jest całką z iloczynów skalarnych pól wektorowych prędkości $\mathbf{u}(\mathbf{x}, t)$ i wirowości $\boldsymbol{\omega}(\mathbf{x}, t) = \text{rot } \mathbf{u}$ lub $\boldsymbol{\omega}(\mathbf{x}, t) = \nabla \times \mathbf{u}$.

$$H(t) = \int_{\mathbb{O}} \mathbf{u} \cdot \boldsymbol{\omega} dV$$

1.2 Rotacja w rachunku wektorowym

Niech $\mathbf{F} = \mathbf{F}[\mathbf{x}, \mathbf{y}, \mathbf{z}] = [\mathbf{F}_x(x, y, z), \mathbf{F}_y(x, y, z), \mathbf{F}_z(x, y, z)]$ - pole wektorowe

$\nabla = \left[\frac{\partial}{\partial x}, \frac{\partial}{\partial y}, \frac{\partial}{\partial z} \right]$ - operator nabra

Rotacją pola wektorowego \mathbf{F} nazywamy poniższe pole wektorowe i piszemy:

$$\mathbf{B} = \text{rot}(\mathbf{F}) = \nabla \times \mathbf{F} = \left[\frac{\partial F_z}{\partial y} - \frac{\partial F_y}{\partial z}, \frac{\partial F_x}{\partial z} - \frac{\partial F_z}{\partial x}, \frac{\partial F_y}{\partial x} - \frac{\partial F_x}{\partial y} \right]$$

2. Skrętność w ujęciu wektorowym oraz powiązanie z meteorologią

Niech \mathbf{U} będzie polem wektorowym prędkości w układzie współrzędnych kartezjańskich. $\boldsymbol{\Omega}$ polem wirowości. Pole $\boldsymbol{\Omega}$ jest ściśle uzależniony od \mathbf{U} .

$\mathbf{U} = [\mathbf{U}_x, \mathbf{U}_y, \mathbf{U}_z]$ - pole prędkości

$\boldsymbol{\Omega} = [\boldsymbol{\Omega}_x, \boldsymbol{\Omega}_y, \boldsymbol{\Omega}_z]$ - pole skrętności

Zachodzi zależność:

$$\boldsymbol{\Omega} = \text{rot}(\mathbf{U}) = \nabla \times \mathbf{U} = \left[\frac{\partial U_z}{\partial y} - \frac{\partial U_y}{\partial z}, \frac{\partial U_x}{\partial z} - \frac{\partial U_z}{\partial x}, \frac{\partial U_y}{\partial x} - \frac{\partial U_x}{\partial y} \right]$$

Skrętność przepływu cieczy H dla pól prędkości \mathbf{U} i wirowości $\boldsymbol{\Omega}$ jest skalarem i przyjmuje wartość równą:

$$H = \mathbf{U} \cdot \boldsymbol{\Omega} = \mathbf{U} \cdot (\nabla \times \mathbf{U})$$

Powietrze będące mieszaniną gazów traktujemy jako płyn tak, że wszelkie zależności założone w mechanice płynów mają tutaj pełne zastosowanie.

Stopień, w którym wektory składowe wirowości są równoległe do składowych wektora prędkości, jest określany jako Streamwise Vorticity ϕ (brak polskojęzycznego określenia tego pojęcia).

$$\phi = \frac{\mathbf{U} \cdot \boldsymbol{\Omega}}{|\mathbf{U}|} = \frac{\mathbf{U} \cdot (\nabla \times \mathbf{U})}{|\mathbf{U}|}$$

Streamwise Vorticity jest bardzo ważną wielkością. Rozważmy następującą sytuację. Przypuśćmy, że istnieje znaczna wirowość pionowa, jednak nie ma przepływu wzdłuż osi pionowej. Dodatkowo w tej sytuacji wieje mocny wiatr z zachodu natomiast nie ma przepływu w kierunku północ-południe. Zależność $H = \mathbf{U} \cdot \boldsymbol{\Omega}$ wykaże zerową skrętność pomimo istnienia znacznej wirowości. W tej sytuacji składowe wektora wirowości nie są równoległe do składowych wektora prędkości, przepływ skrętny nie występuje.

2.2 Skrętność pozioma i skrętność względna

Skrętność względna ψ (ang. Relative Helicity) jest to współczynnik wyznaczany jako stosunek wartości skrętności rzeczywistej do wartości skrętności maksymalnej możliwej do uzyskania przy danych wektorach prędkości i wirowości.

$$\psi = \frac{\mathbf{U} \cdot \boldsymbol{\Omega}}{|\mathbf{U} \cdot \boldsymbol{\Omega}|} = \frac{\mathbf{U} \cdot (\nabla \times \mathbf{U})}{|\mathbf{U}| |\nabla \times \mathbf{U}|}$$

Skrętność pozioma jest wartością pożądaną z punktu widzenia meteorologa zajmującego się prognozowaniem zjawisk burzowych, gdyż określa ona skłonność prądów wstępujących burz do ruchu obrotowego. Oblicza się ją przy pomocy składowych poziomych wektorów wirowości i skrętności.

$$H_{\text{HOR}} = \mathbf{U}_{\text{HOR}} \cdot \boldsymbol{\Omega}_{\text{HOR}} = \mathbf{U}_{\text{HOR}} \cdot (\nabla \times \mathbf{U}_{\text{HOR}})$$

Do prognozowania zjawisk burzowych wymaga się jednak obliczania skrętności poziomej warstwy atmosfery. Realizuje się to przez całkowanie warstwami, rozciągając obliczenia od poziomu gruntu do pożądanej wysokości.

$$H_{\text{HOR}} = \int_0^h H_{\text{HOR}} dz$$

$$H_{\text{HOR}} = \int_0^h \mathbf{U}_{\text{HOR}} \cdot \boldsymbol{\Omega}_{\text{HOR}} dz = \int_0^h \mathbf{U}_{\text{HOR}} \cdot (\nabla \times \mathbf{U}_{\text{HOR}}) dz$$

z – to aktualna wysokość, na której przeprowadzamy obliczenia skrętności.

3. Względna skrętność burzowa i jej rola w prognozowaniu zjawisk burzowych

Sama skrętność wiatru nie wystarcza aby dobrze prognozować charakter zjawisk burzowych. Trzeba wprowadzić inny parametr, uwzględniający prędkość przemieszczania się burzy (użyć prędkości wiatru względnej względem burzy). Parametr ten nazywa się względną skrętnością burzową (ang. SRH, Storm Relative Helicity). Oblicza się go tak samo jak skrętność

poziomą warstwę atmosfery, z tym, że od prędkości wiatru odejmuje się prędkość przemieszczania się burzy.

$$SRH_{HOR} = \int_0^h (\mathbf{U}_{Hor} - \mathbf{V}_B) \cdot \boldsymbol{\Omega}_{Hor} dz = \int_0^h (\mathbf{U}_{Hor} - \mathbf{V}_B) \cdot (\nabla \times \mathbf{U}_{Hor}) dz$$

\mathbf{V}_B – prędkość przemieszczania się burzy

SRH jest wartością wymiarową, a jej jednostką jest $[SRH] = \frac{m^2}{s^2}$.

Storm Relative Helicity określa możliwość powstawania mezocyklonów w komórkach burzowych (możliwość powstania wirujących prądów wstępujących, a dokładnie **możliwość powstania prądów wstępujących, wirujących cyklonicznie w superkomórkach burzowych, prawoskrętnych**). Nie ma wyraźnej granicy pomiędzy wartościami SRH charakterystycznymi dla występowania superkomórek burzowych, gdyż uważa się, że ich występowanie jest bardziej związane z uskokiem pionowym wiatru dla głębokiej warstwy. Duże wartości SRH dla warstwy 0-3 km wysokości ($x > 250 \frac{m^2}{s^2}$) i 0-1km ($x > 100 \frac{m^2}{s^2}$) sugerują wysokie zagrożenie wystąpieniem trąby powietrznej.