

# A helicitás alkalmazása a zivatartevékenység előrejelzésében

SZAKDOLGOZAT  
FÖLDTUDOMÁNY ALAPSZAK,  
METEOROLÓGUS SZAKIRÁNY



**Készítette:** Domsa Daniella

**Témavezető:** Dr. Tasnádi Péter

Eötvös Loránd Tudományegyetem  
Földrajz- és Földtudományi Intézet  
Meteorológia Tanszék

Budapest, 2011

# Tartalom

Absztrakt.....	3
1.Bevezetés.....	4
2. A helicitás meghatározása és tulajdonságai .....	5
2.1 A helicitási egyenlet.....	6
2.2. A helicitás időfejlődése .....	7
2.3. Abszolút és relatív helicitás.....	8
2.4. A helicitás szemléletes értelmezése .....	9
3. A helicitás meghatározása a sebességhodográf segítségével.....	10
3.1. A hodográf .....	10
3.2. A szélnyírás és a zivatarképződés kapcsolata .....	14
3.3. A zivatarképződés és az örvényesség kapcsolata .....	15
3.4. A SREH-index (Storm Relative Enviromental Helicity - zivatarhoz.....	17
3. A zivatarok fejlődése.....	19
4. A zivatartevékenység és a helicitás kapcsolata .....	19
5. Nagy kiterjedésű ciklonok és a helicitás kapcsolata.....	20
6. Esettanulmány.....	23
6.1. A 2005. május 18-i zivataros helyzet .....	23
6.2. A 2006.június 29-én végigvonuló zivatarláncok.....	27
6.3. A 2006. augusztus 20-ai budapesti zivatar .....	30
7. Összefoglalás.....	33
Köszönetnyilvánítás.....	33
Irodalom.....	34

## Absztrakt

A veszélyes zivataros helyzetek előrejelzése a meteorológia igen fontos területe, ezért a minél pontosabb eredmény érdekében célunk azoknak a dinamikai jellemzőknek a kiválasztása, amelyek pontosan leírják a folyamatot.

Az egyik ilyen jól alkalmazható tapasztalati paraméter a helicitás. A helicitás a horizontális szélmező rotációját és sebességét jellemzi komplex módon, ugyanis annál nagyobb minél inkább párhuzamossá válik az örvényes vektor a szélvektorral. A helicitás definíció szerint a sebesség és az örvényesség vektor skaláris szorzata:

$$H = \mathbf{V} \cdot \boldsymbol{\omega} \quad \boldsymbol{\omega} = \nabla \times \mathbf{V}$$

ahol  $\mathbf{V}$  az áramlás sebessége és  $\boldsymbol{\omega}$  a sebességvektor rotációja.

A helicitás a tapasztalat szerint jól használható a viharok és mozgásuk előrejelzésére, abban a tekintetben is, hogy milyen típusú és erősségű lesz az adott zivatar, zivatarrendszer. Továbbá megmutatja, hogy a zivatar mekkora valószínűséggel fejlődhet tovább szupercellává.

A dolgozat bemutatja, hogyan lehet a helicitást az ún. sebességhodográf segítségével meghatározni. A hodográf alapvetően a vertikális szélnyírás ábrázolására szolgáló diagram, amelyről leolvasható a horizontális örvényesség és a vertikális szélnyírás kapcsolata a helicitással. Ehhez szükség van az ún. SREH-indexre, vagyis a zivatarhoz viszonyított helicitásra. Ez megegyezik azzal a területtel, amelyet a zivatarhoz viszonyított szelek zárnak be két magassági szint között. A gyakorlatban legtöbbször a 0-3km, illetve az 1-4 km-es magassági szintek közötti indexet határozzuk meg. Az említett jellemzőket fiktív hodográf segítségével mutatjuk be, majd pedig magát a hodográfot valós zivataros nap, 2010.május 25. felszállási adatai alapján készült diagramon is szemléltetjük, és megmutatjuk, hogy az általam választott nap adatai alapján számított hodográf jól egyezik az irodalomban található többcellás zivatart jellemző sematikus hodográffal. A dolgozatban *Pichler és Schaffhauser (1997)* nyomán, de levezetésüktől eltérő egyszerűsítő feltételek mellett a mozgásegyenletekből kiindulva megadjuk a helicitás időfejlődésének egyenletét is.

Mivel a helicitás a veszélyes zivataros helyzetek előrejelzésében nyújt segítséget, ezért röviden összefoglaljuk a zivatarképződés folyamatát is.

Végül arra mutatunk példát, hogy jóllehet a helicitás alapvetően konvektív skálájú folyamatok jellemzésére szolgál, *Lavrova et al.(2009)* modelleredményei szerint alkalmazható nagy kiterjedésű ciklonok jellemzésére is.

# 1.Bevezetés

A veszélyes zivataros helyzetek előrejelzése a meteorológia igen fontos területe, ezért a minél pontosabb eredmény érdekében célunk azoknak a dinamikai jellemzőknek a kiválasztása, amelyek pontosan leírják a folyamatot.

Az egyik ilyen jól alkalmazható tapasztalati paraméter a helicitás. A helicitás a légáramlat rotációját és horizontális sebességét jellemzi komplex módon, ugyanis annál nagyobb, minél inkább párhuzamossá válik az örvényesség az áramlással. A helicitás definíció szerint a sebesség és az örvényesség vektor skaláris szorzata:

$$H = \mathbf{V} \cdot \boldsymbol{\omega} \quad \boldsymbol{\omega} = \nabla \times \mathbf{V},$$

ahol  $\mathbf{V}$  az áramlás sebessége és  $\boldsymbol{\omega}$  a sebességvektor rotációja

A szinoptikus alkalmazások kiegészítéseként szokás a helicitást a horizontális szélesebességgel meghatározni. Ez a mennyiség a tapasztalat szerint jól használható a viharok és mozgásuk előrejelzésére, abban a tekintetben is, hogy milyen típusú és erősségű lesz az adott zivatar, zivatarrendszer. Továbbá megmutatja, hogy a zivatar mekkora valószínűséggel fejlődhet tovább szupercellává.

A dolgozat a szakirodalom alapján bemutatja a helicitás tulajdonságait, megadja a helicitás tendencia egyenletét, illetve bemutatja a horizontális sebességből számított helicitás sebesség-hodográf segítségével történő meghatározását, valamint a helicitásnak a zivatar-tevékenység előrejelzésében történő alkalmazását. A hodográf alapvetően a vertikális szélnyírás ábrázolására szolgáló diagram, amelyről leolvasható a horizontális örvényesség és a vertikális szélnyírás kapcsolata a helicitással. Ehhez szükség van az ún. SREH-indexre (Storm Relative Environmental Helicity), vagyis a zivatarhoz viszonyított helicitásra. Ez megegyezik a zivatarhoz viszonyított, két különböző szinten vett szélvektorok által bezárt területtel. A gyakorlatban legtöbbször a 0-3km, illetve az 1-4 km-es magassági szintek közötti indexet határozzuk meg. Az említett jellemzőket fiktív hodográf segítségével mutatjuk be, majd pedig magát a hodográfot valós zivataros nap, 2010.május 25. felszállási adatai alapján készült diagramon is szemléltetjük.

Mivel a helicitás a veszélyes zivataros helyzetek előrejelzésében nyújt segítséget, ezért röviden összefoglaljuk a zivatarképződés folyamatát is. A zivatarképződést bár alapvetően a konvekció határozza meg, a vertikális szélnyírás, valamint annak konvekcióval való kapcsolata is befolyásolja.

Végül arra mutatunk példát, hogy jóllehet a helicitás alapvetően konvektív skálájú folyamatok jellemzésére szolgál, *Lavrova et al(2009)* modelleredményei szerint alkalmazható nagy kiterjedésű ciklonok jellemzésére is .

## 2. A helicitás meghatározása és tulajdonságai

A helicitás alapvetően a spirális mozgások matematikai elméletében jelenik meg, így alkalmazható a fizika, a kémia és a biológia azon területein, ahol ezek a mozgások fontos szerepet töltenek be, mint például az elektrodinamika, atomfizika és a folyadékok dinamikája.

A meteorológiában a helicitás fogalmát főként a mezoskálájú mezők, és a határréteg meteorológiájával kapcsolatosan alkalmazzák. (*Pichler és Schaffhauser, 1997*)

A helicitás (pontosabban helicitás sűrűség) a sebesség- és az örvényvektor skaláris szorzata.

$$H = \mathbf{V} \cdot \boldsymbol{\omega}, \quad \boldsymbol{\omega} = \nabla \times \mathbf{V}$$

ahol  $\mathbf{V}$  a sebesség,  $\boldsymbol{\omega}$  pedig a sebességvektor rotációjának vektora. A skaláris szorzat tulajdonságainak megfelelően mondhatjuk, hogy a helicitás a mozgás irányába eső forgást, ill. a forgás irányába eső mozgást írja le.

A helicitást koordinátákkal kifejezve felírhatjuk a

$$H = u \left( \frac{\partial w}{\partial y} - \frac{\partial v}{\partial z} \right) + v \left( \frac{\partial u}{\partial z} - \frac{\partial w}{\partial x} \right) + w \left( \frac{\partial v}{\partial x} - \frac{\partial u}{\partial y} \right)$$

alakban is.

A következőkben röviden összefoglaljuk a helicitásra vonatkozó elméleti összefüggéseket, melyek segítségével megadhatjuk a helicitás tendencia egyenletét. (*Pichler és Schaffhauser, 1997*)

Mivel a helicitást a szinoptikus analízis kiegészítéseként kívánjuk alkalmazni, a planetáris örvényesség járulékától, amint azt a korábban megadott definíció mutatja, eltekintünk. Korlátozzuk továbbá a helicitást azzal is, hogy meghatározásakor horizontális szélmezőt vizsgálunk, így a sebességvektornak csak a horizontális komponenseit vesszük figyelembe, s az örvényvektor horizontális komponenseiben is csak az ezekből adódó járulékkal számolunk. Ekkor a helicitást a

$$H \approx H_s = -u \frac{\partial v}{\partial z} + v \frac{\partial u}{\partial z}$$

alakban, illetve vektori jelöléssel a

$$H_s = -\mathbf{k} \cdot \left( \mathbf{V}_h \times \frac{\partial \mathbf{V}_h}{\partial z} \right)$$

összefüggéssel adhatjuk meg, ahol  $\mathbf{V}_h$  a horizontális szélességvektor, és  $\mathbf{k}$  a vertikális irányba mutató egységvektor.

Figyelembe véve, hogy a szélnyírás vektornak csak a horizontális komponense ad járulékot a helicitáshoz, a fenti formula a következő alakra hozható:

$$H_s = -|\mathbf{V}_h|^2 \frac{\partial \alpha}{\partial z}$$

Látható ebből, hogy amennyiben a szélirány jobbra fordul, pozitív helicitást eredményez, amennyiben a horizontális szél balra fordul el, a helicitás értéke negatív lesz. Abban az esetben, ha  $\alpha$  nem változik, tehát konstans lesz, a helicitás ( $H_s$ ) eltűnik. Az utolsó összefüggésből az is következik, hogy a helicitás arányos a kinetikus energia térfogati sűrűségével.

## 2.1 A helicitási egyenlet

A következőkben meghatározzuk a helicitás tendencia egyenletét. A levezetés *Pichler és Schauffhauser, 1997* gondolatmenetét követi, azonban annál kevésbé általános, mert sem a súrlódási, sem a Coriolis erő hatását nem veszi figyelembe. Fejezzük ki a horizontális szelet geosztrofikus és ageosztrofikus komponensével, a  $\mathbf{V}_h = \mathbf{V}_g + \Delta \mathbf{V}_g$  alakban, ahol  $\mathbf{V}_g$  a geosztrofikus szél, a  $\Delta \mathbf{V}_g$  pedig az ageosztrofikus szél. A geosztrofikus szelet állítsuk elő a

$$\frac{\partial \mathbf{V}_g}{\partial z} = \frac{1}{T} \frac{\partial T}{\partial z} \mathbf{V}_g + \frac{g}{fT} \mathbf{k} \times \nabla_h T$$

alakban a hőmérsékleti advekciónal. Ennek felhasználásával a helicitás a

$$H_s = -\frac{g}{fT} (\mathbf{V}_h \cdot \nabla_h T) - \frac{1}{T} \frac{\partial T}{\partial z} \mathbf{k} \cdot (\Delta \mathbf{V}_g \times \mathbf{V}_g) - \mathbf{k} \cdot \left( \mathbf{V}_h \times \frac{\partial \Delta \mathbf{V}_g}{\partial z} \right)$$

alakot ölti, ahol  $\nabla_h T$  a horizontális hőmérsékleti gradienst jelöli,  $\mathbf{V}_h$ -val való szorzata pedig a lokális hőmérséklet-változás advektív részét jelenti. Az ageosztrofikus szélkomponens elhanyagolása esetén a helicitás geosztrofikus közelítéséhez jutunk.

$$H_{g1} = -\frac{g}{fT} (\mathbf{V}_h \cdot \nabla_h T) = \frac{g}{f^2} \mathbf{k} \cdot (\nabla \alpha \times \nabla p)$$

Az ageosztrofikus szél magassággal történő jobbra fordulása meleg advekciót, balra fordulása hideg advekciót jelez. Pontosabban közelíti a helicitást, ha a geosztrofikus közelítés helyett csak az ageosztrofikus szél vertikális nyírását hanyagoljuk el.

$$H_{g2} = -\frac{g}{fT} (\mathbf{V}_h \cdot \nabla_h T) - \frac{1}{T} \frac{\partial T}{\partial z} \mathbf{k} \cdot (\Delta \mathbf{V}_g \times \mathbf{V}_g)$$

Az utóbbi egyenlet amellet, hogy tartalmazza a teljes hőmérsékleti advekciót, megmutatja a vertikális hőmérsékleti gradiens hatását, ami az ageosztrofikus szélkomponens miatt adódik. Általában tehát a helicitási mintázat nem azonos a horizontális hőmérsékleti advekció mintázatával.

## 2.2. A helicitás időfejlődése

Ahhoz, hogy megkapjuk a helicitás egyenletét, a

$$\frac{d\mathbf{V}}{dt} = -\frac{1}{\rho} \nabla p - \nabla \phi$$

mozgásegyenletből kiindulva meghatározhatjuk a helicitás időfejlődését is. Az egyenlet bal oldalán elhagyjuk a Coriolis erőt, ugyanis ez nem játszik szerepet a konvektív skálájú zivatarképződésben, továbbá elhanyagoljuk a sűrűlási erőt is.

A mozgásegyenletből és a kontinuitási egyenletből levezethető az összenyomható közegre vonatkozó

$$\frac{d\boldsymbol{\omega}}{dt} + \boldsymbol{\omega} \nabla \cdot \mathbf{V} - \boldsymbol{\omega} \cdot \nabla \mathbf{V} = \frac{1}{\rho^2} (\nabla \rho \times \nabla p)$$

örvényességi egyenlet. A két egyenlet alkalmas a helicitás időfejlődésének meghatározására. Szorozzuk be az első egyenletet  $\boldsymbol{\omega}$ -val, utóbbit pedig  $\mathbf{V}$ -vel, majd az így kapott

$$\boldsymbol{\omega} \frac{d\mathbf{V}}{dt} = -\boldsymbol{\omega} \frac{1}{\rho} \nabla p - \boldsymbol{\omega} \nabla \phi$$

$$\mathbf{V} \frac{d\boldsymbol{\omega}}{dt} + \mathbf{V}(\boldsymbol{\omega} \nabla \cdot \mathbf{V} - \boldsymbol{\omega} \cdot \nabla \mathbf{V}) = \mathbf{V} \frac{1}{\rho^2} (\nabla \rho \times \nabla p)$$

két egyenletet összeadjuk, és az alábbi összegzett formulához jutunk:

$$\frac{dH}{dt} + (\boldsymbol{\omega} \cdot \mathbf{V})(\nabla \cdot \mathbf{V}) - \mathbf{V} \cdot (\boldsymbol{\omega} \nabla) \mathbf{V} = \mathbf{V} \frac{1}{\rho^2} (\nabla \rho \times \nabla p) - \boldsymbol{\omega} \frac{1}{\rho} \nabla p - \boldsymbol{\omega} \nabla \phi$$

ahol a  $\frac{dH}{dt}$  teljes deriváltat a  $\frac{\partial H}{\partial t} + \mathbf{V} \cdot \nabla(\mathbf{V} \cdot \boldsymbol{\omega})$  alakban írhatjuk fel.

Végül a következő

$$(\boldsymbol{\omega} \cdot \mathbf{V})(\nabla \cdot \mathbf{V}) = \nabla(\boldsymbol{\omega} \cdot \mathbf{V}^2) - (\mathbf{V} \cdot \nabla)(\boldsymbol{\omega} \cdot \mathbf{V})$$

$$\mathbf{V} \cdot (\boldsymbol{\omega} \nabla) \mathbf{V} = \boldsymbol{\omega}(\mathbf{V} \cdot \nabla) \mathbf{V} - \mathbf{V}(\boldsymbol{\omega} \times (\nabla \times \mathbf{V}))$$

vektoranalitikai összefüggések és átalakítások segítségével megkapjuk a helicitás időfejlődését:

$$\frac{\partial H}{\partial t} + \nabla \cdot \left( H \mathbf{V} - \boldsymbol{\omega} \frac{\mathbf{V}^2}{2} \right) = \mathbf{V} \cdot \left( \nabla p \times \nabla \frac{1}{\rho} \right) + \boldsymbol{\omega} \cdot \left( -\frac{1}{\rho} \nabla p - \nabla \phi \right)$$

Ez az egyenlet emlékeztet a szokásos kontinuitási egyenletre, azonban itt a helicitás fluxus helyett  $H \mathbf{V} - \boldsymbol{\omega} \frac{\mathbf{V}^2}{2}$  szerepel. Az egyenlet tartalmaz továbbá forrás tagokat is, amelyek a helicitást generálják. Ilyen például a baroklin tag, a nyomási gradiens erő és a gravitációs potenciált tartalmazó tag.

### 2.3. Abszolút és relatív helicitás

A helicitást érdemes maximális értékével normálni. Az így nyert:

$$RH = \frac{|\mathbf{V}| |\boldsymbol{\omega}| \cos \alpha}{|\mathbf{V}| |\boldsymbol{\omega}|}$$

relatív helicitás a sebesség és örvényességi mező összhangját méri. Tehát a relatív helicitás értéke -1 és 1 között változhat. Amikor a sebesség és az örvényvektor iránya azonos, a relatív helicitás megegyezik az abszolút helicitással. Az ennek a feltételnek eleget tevő áramlásokat Beltrami áramlásnak nevezzük.

A helicitás és a zivatarok közötti kapcsolat keresés során célszerű a helicitást a mozgó zivatar koordinátarendszerében vizsgálni. Ennek megfelelően a Davies – Jones



definiálta a SREH-t (Storm Relative Environmental Helicity), ami nem más, mint a viharhoz viszonyított helicitás.

$$S = \int_0^h (\mathbf{V} - \mathbf{C}) \cdot \boldsymbol{\omega} dZ$$

ahol  $\mathbf{V}$  a horizontális sebesség,  $\mathbf{C}$  a zivatar mozgása a talajhoz viszonyítva,  $\boldsymbol{\omega}$  a horizontális örvényesség,  $Z$  pedig a földfelszínhez viszonyított magasság. Az index érzékenyen függ a zivatarsebességtől ennek meghatározása nem egyértelmű. Leggyakrabban a 3-10km-es réteg átlagsebességének 75 százalékát, és az átlagos széliránytól jobbra 30 fokban eltérő sebességet használnak zivatarsebességként. (<http://www.mmm.ucar.edu/>)

A helicitás lokális mennyiség, így értéke helyről helyre változik, makroszkopikus mennyiségekkel való összevetésre a csak integrálja alkalmas.

$$H = \int_0^h \mathbf{V} \cdot \boldsymbol{\omega} dZ$$

Az utóbbi formula alapján, ha a horizontális szél iránya nem változik a magassággal, akkor a helicitás értéke zérus lesz. Ugyanis ekkor a  $\mathbf{V}$  és  $\boldsymbol{\omega}$  vektorok merőlegesek egymásra, így skaláris szorzatuk nullát ad eredményül. Továbbá igaz az is, hogy ha  $H$  értéke pozitív, akkor a horizontális szél irányának változása az óramutató járásával megegyező. Ha azonban a szélirány változása az óramutató járásával ellentétes irányú, akkor a helicitás negatív értékű lesz.

Nagy kérdés természetesen, hogy milyen karakterisztikus magasságig kell az integrálást elvégezni. Erre a tapasztalat szerint az 1-4, ill. 0-3 km-es réteget kell figyelembe venni.

A helicitás nagy értékei tehát akkor fordulnak elő, ha a horizontális rotáció és a rotáció irányába eső horizontális szélesebesség is nagy. Amennyiben ilyen környezetben feláramlás indul, akkor a tapasztalat szerint erős vertikális és időben stabil vertikális örvényesség keletkezhet. (Lilly,1986) Minél erőteljesebb a felszálló légáramlat rotációja, a vihar annál nagyobb valószínűséggel válik szupercellává.

## 2.4. A helicitás szemléletes értelmezése

A helicitás fogalmának megértése az alábbi elméleti példa segítségével szemléltethető. Tegyük fel, hogy egy alapjában véve örvényességtől mentes környezetben

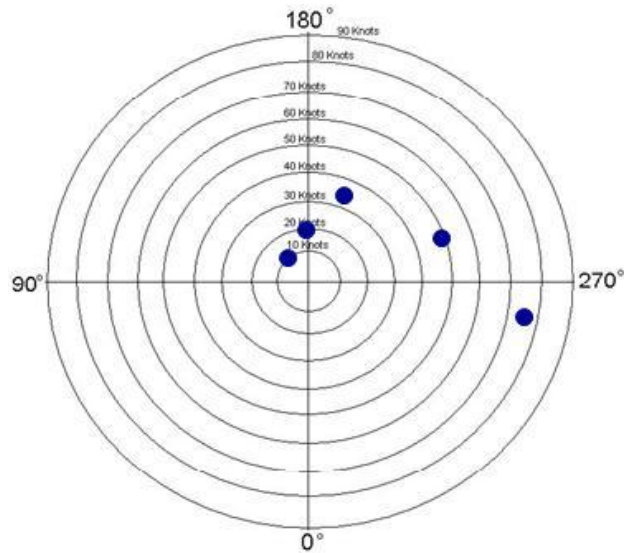
nyugati szélnyírás a jellemző. Ekkor a nyugatias szél nagysága a magassággal változik (irányát tekintjük a magasság változásával állandónak). Ilyen környezetben a szélnyírás – jelen esetben északi irányú – horizontális örvényességet generál. Ha ehhez a szélnyírás profilhoz és az általa kialakított örvényesség mellett délies áramlás is társul, akkor az északi irányú horizontális örvényesség és a délies szél vektorainak szorzata erős helicitást eredményez.

### **3. A helicitás meghatározása a sebességhodográf segítségével**

#### **3.1. A hodográf**

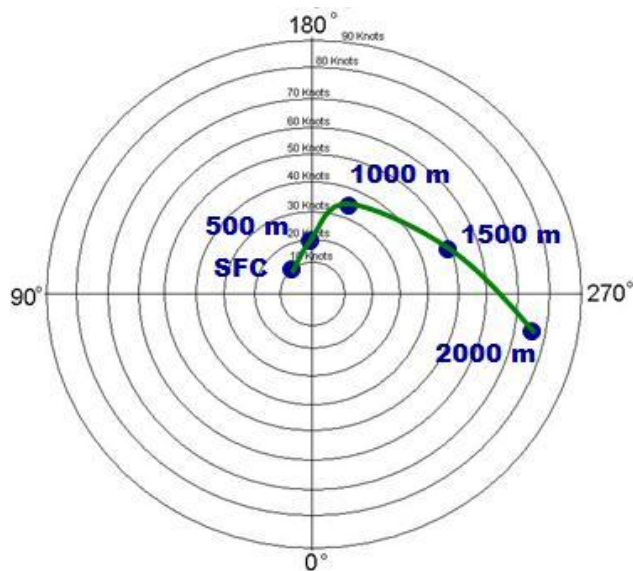
A hodográf pontosabban sebességhodográf az adott időben különböző helyen mért szélesebesség vektorokat egy pontból felmérve jeleníti meg. Általában a horizontális szélesebesség magassággal való változásának követésére használjuk. Az ábrázolás a különböző magasságban mért szélvektorokat egy síkba vetítve jeleníti meg. A sebességhodográf tehát kitűnően alkalmas a vertikális szélnyírás szemléltetésére. A szélzászlókhöz hasonlóan leolvasható róla a szél sebessége és iránya, azonban ezzel az ábrázolási móddal ellentétben a hodográf információt ad a vertikális szélnyírás mértékéről is. További eltérés, hogy a szélzászlókkal szemben ez a grafikus eszköz a szél jellemzőit vektorok segítségével jeleníti meg. A vektor nagysága a szél sebességével, az iránya pedig értelemszerűen a szél irányával arányos.

A hodográf rajzolásának célja, hogy a görbe alakjából megtudjuk, milyen típusú lesz a vihar. A hodográfban a vektorokat egy pontból, az origóból kiindulva helyezzük el. Azonban ábrázolás megkönnyítésének céljából, a vektorok helyett elegendő a végpontjukat megjelölni, ugyanis ezek a pontok is tökéletesen mutatják a szél nagyságát és irányát. A diagram koncentrikus körein a sebesség nagyságát, és egy adott kör mentén pedig a szél irányát szemléltetjük. A pontok az egyes magasságokban megfigyelt értékek szerint helyezkednek el. (1.ábra)



1. ábra, A szélirány és szélesség értékek ábrázolása az egyes magassági szinteken, (A pontok az adott szélvektorok végpontját jelölik.) Forrás: „Szupercellás zivatarok” (Supercell Thunderstorm)

Ha a pontokat folytonos, többnyire az óramutató járásával megegyező irányú görbével összekötjük, tulajdonképpen magát a hodográfot kapjuk. (2. ábra)



2. ábra, Sebességhodográf,  
Forrás: „Szupercellás zivatarok” (Supercell Thunderstorm)

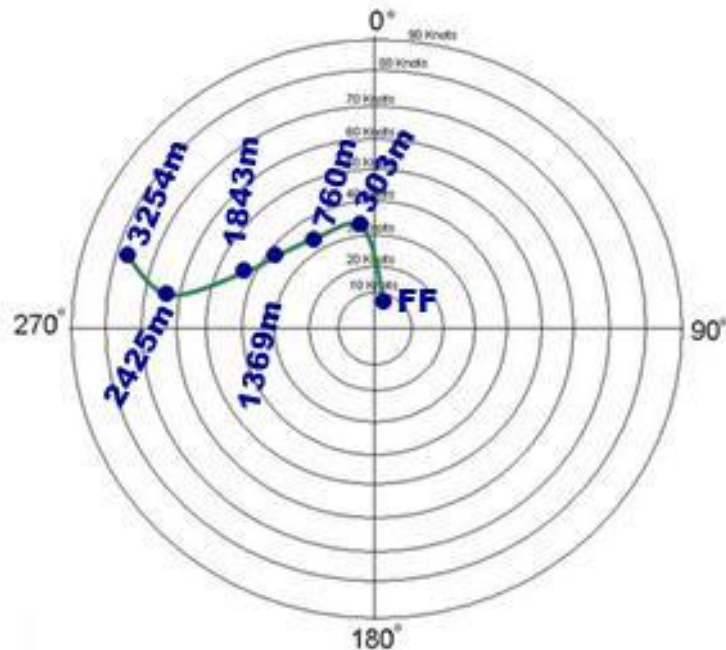
A hodográf szerepét az alábbi, valós felszállás adataiból készített táblázat és az azon alapuló hodográf segítségével illusztráljuk.

Budapest-Pestszentlőrinc 2010. május 25.

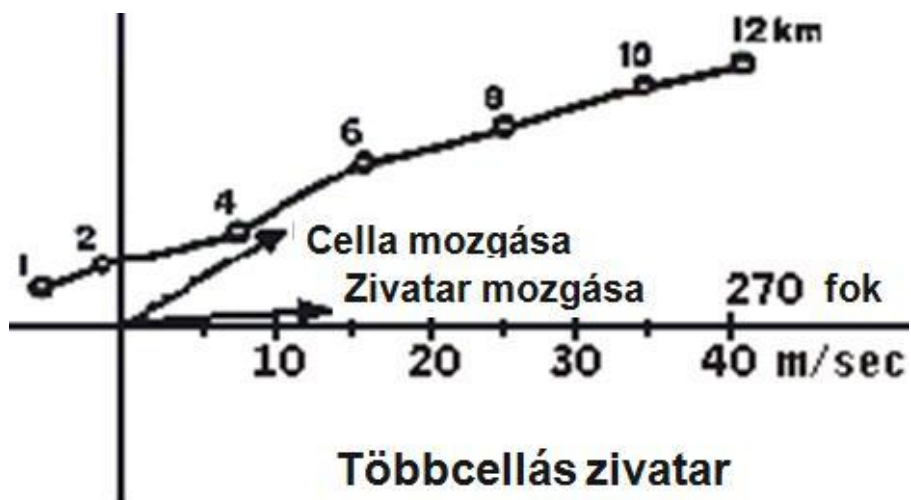
Légnyomás(hPa)	Magasság(m)	Szélesség(m/s)	Szélirány(°)
995.0(SFC-felszín)	139	8	20
976	303	32	355
952	515	32	346
925	760	34	335
923	778	34	335
860	1369	38	322
850	1466	38	320
839	1573	38	320
812	1843	42	299
795	2015	42	285
756	2425	62	280
733	2676	66	282
700	3046	74	285
682	3254	78	287
655	3572	86	290
617	4043	78	297
597	4300	74	301
578	4551	70	305
576	4578	70	305
534	5157	82	320
500	5660	78	315
476	6026	74	314
413	7058	62	310
400	7290	62	310
345	8326	56	301

1.táblázat, Forrás: <http://weather.uwyo.edu/upperair/sounding.html>

A felszállási adatok alapján készített hodográf (3.ábra) hasonlóságot mutat az irodalomban fellelhető tipikus többcellás zivatar hodográfjával (4.ábra), így valószínűsíthető, hogy a 2010. május 25-ei események is többcellás zivatarokhoz kapcsolódnak.



3.ábra, A felszállási adatok alapján készített ferde egyenes hodográf

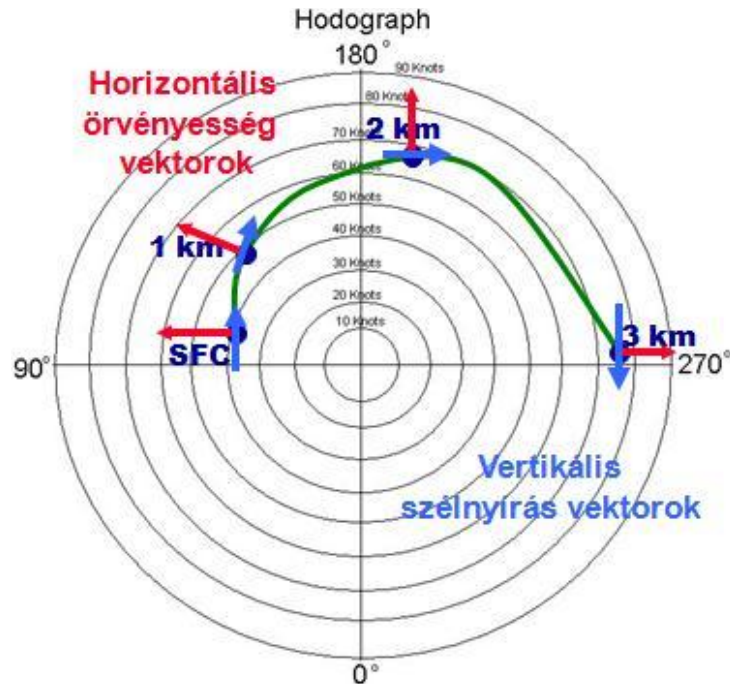


4. ábra, Tipikus többcellás zivatarra jellemző egyenes hodográf

Forrás: „Szupercellás zivatarok” (Supercell Thunderstorm)

### 3.2. A szélnyírás és a zivatarképződés kapcsolata

A hodográfól leolvasható az egyes magassági szintekhez tartozó vertikális szélnyírás, illetve a horizontális örvényesség vektor. Ezek az 5. ábrán a piros, valamint a kék színekkel ábrázolt vektorok.



5. ábra, A vertikális szélnyírás és horizontális örvényesség vektorok megjelenítése a hodográfán, (előbbit a kék, utóbbit a piros vektorok jelzik)

Forrás: „Supercellás zivatarok” (Supercell Thunderstorm)

A vertikális szélnyírás vektor adott magassági szinten párhuzamos a hodográf érintőjével, vele azonos irányú és a kisebb szélesebbégű hely felől mutat a nagyobb felé. A szélnyírás a horizontális szél sebességének és irányának magassággal történő változása. A szélnyírás közelíthető két magassági szint szélvektorának különbségi hányadosával, tehát a szélvektorok sebesség és magasságkülönbségének hányadosával. Lokálisan ez a  $\mathbf{v}$  sebességvektor  $z$  irányú gradiensét jelenti. Így a vertikális szélnyírásnak csak az  $x$  és  $y$  irányú komponensét vesszük figyelembe. Ezek alapján a szélnyírás

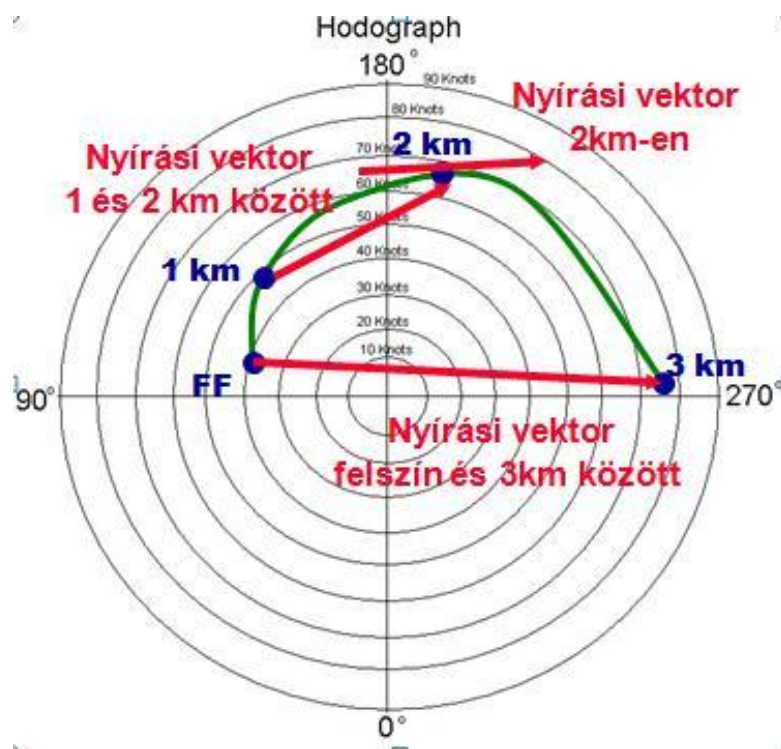
$$\left(\frac{\partial \mathbf{v}}{\partial z}\right)_v = \left(\frac{\partial v_x}{\partial z}, \frac{\partial v_y}{\partial z}, 0\right)$$

matematikai alakban írható fel.

A vertikális szélnyírás nagyságától függően különböző cellás szerkezetű zivatarok alakulnak ki. Gyenge szélnyírás esetén (<10m/s 4km alatti), egycellás zivatar fejlődik. Ha közepes szélnyírás jellemző (~10-20m/s 4km alatti), többcellás zivatar képződik, amelyben

minden egyes cella élettartama körülbelül fél óra, szemben a rövidéletű egycellás viharokkal. Amennyiben a vertikális szélnyírás értéke nagy ( $>20\text{m/s}$  4km alatti), a konvektív cellák erős dőlése késlelteti a zivatarok képződését még termodinamikailag kedvező környezetben is, így egy, vagy akár több óra is szükséges a kezdeti cella teljes kifejlődéséhez. (Holton,2004)

A hodográfban ábrázolhatjuk a teljes vertikális szélnyírást is, amely a felszín és a legnagyobb sebességű pont között tulajdonképpen megegyezik az egyes szintek közötti nyírási vektorok összegével.



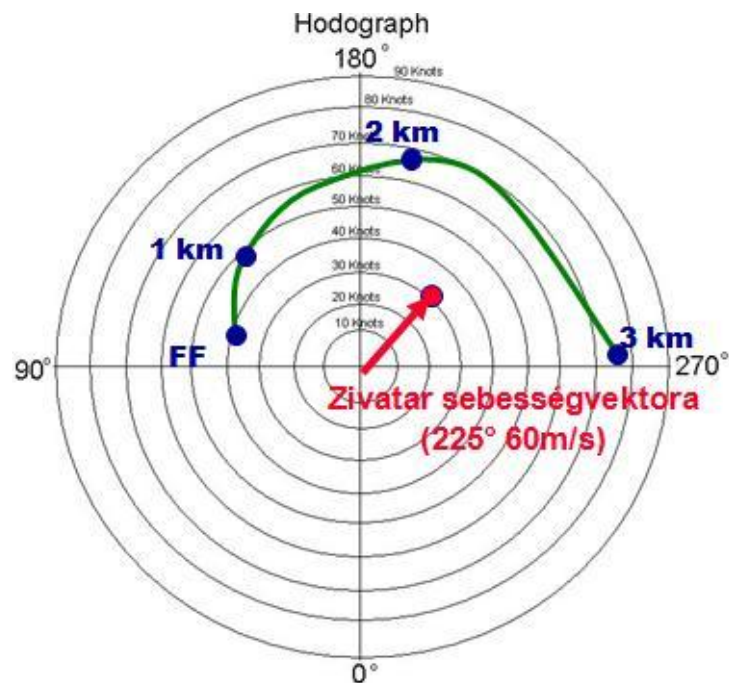
6. ábra, Különböző magasságok szerinti szélsébségvektorok, ill. a felszín és 3 km közötti teljes szélnyírás,  
Forrás: „Szupercellás zivatarok” (Supercell Thunderstorm)

### 3.3. A zivatarképződés és az örvényesség kapcsolata

A vertikális szélnyírás mellett a horizontális örvényesség mértéke szintén leolvasható a hodográfáról, ugyanis azonos irányú a görbe érintőjére merőleges vektorral. (5. ábra) Mivel a horizontális örvényesség a szélsébségvektor rotációjának horizontális része, ezért az alábbi alakban írható fel:

$$(\text{rot } \mathbf{v})_h = (\nabla \times \mathbf{v})_h = \left(-\frac{\partial v_y}{\partial z}, \frac{\partial v_x}{\partial z}, 0\right)$$

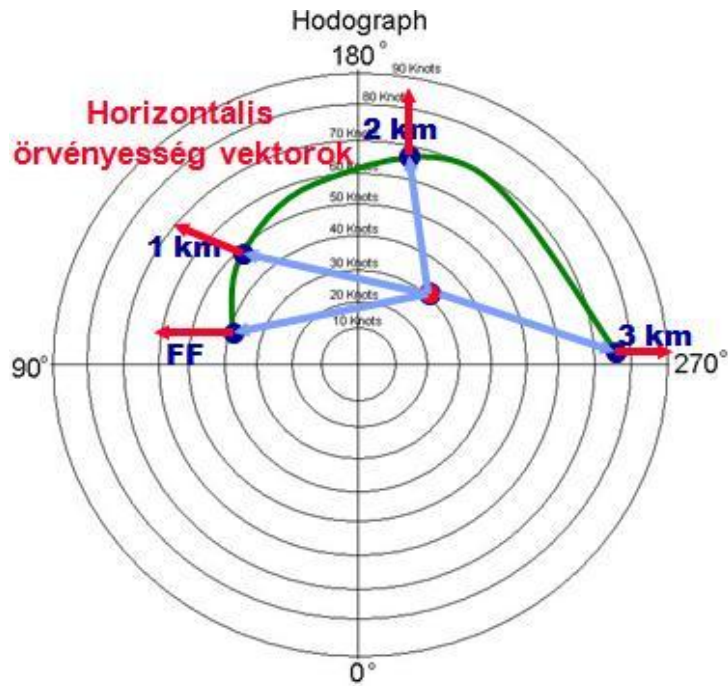
Az eddigiekben a hodográfban a szélességvektorokat a felszínhez viszonyítottuk, azonban megtehetjük, hogy a zivatarhoz képest adjuk meg a szél sebességének nagyságát. Mivel a zivatar kiterjedt képződmény, a viszonyításhoz szükség van a vihar „központjának” definiálásához. Megállapodás szerint a zivatar mozgását a 700hPa-os szinten mért sebességgel jellemezzük. Ily módon ehhez a szélességhez képest vett relatív szélességeket is meghatározhatjuk a hodográf alapján. Ha a zivatarsebességet is felvisszük a hodográfra, a relatív szélességet a hodográf egy adott pontját és a zivatarsebességet meghatározó pontot összekötő vektor adja. (7. ábra)



7. ábra, A zivatar sebességvektora, és a sebességhodográf,  
 Forrás: „Szupercellás zivatarok” (Supercell Thunderstorm)

Ennek a viszonyításnak a jelentősége abban rejlik, hogy a feláramlást erőteljes rotáció jellemzi, ha a zivatarhoz képesti szelek párhuzamosak a horizontális örvényesség vektorral. Ez könnyen meghatározható a hodográfról. (8. ábra)





8. ábra, Relatív szélességek a hodográfon,  
 Forrás: „Szupercellás zivatarok” (Supercell Thunderstorm)

### 3.4. A SREH-index (Storm Relative Environmental Helicity - zivatarhoz viszonyított helicitás)

A hodográfról olyan további hasznos információk olvashatók le, mint például a SREH-index, amely definíció szerint megegyezik azzal a területtel, amelyet a zivatarhoz viszonyított szélvektorok zárnak be két magassági szint között. Ez a terület a

$$\frac{\partial \mathbf{v}_{rel}}{\partial z} \times \mathbf{v}_{rel} = \mathbf{v}_{rel} \cdot \boldsymbol{\omega}$$

összefüggéssel számolható ki, ugyanis az egyenlet baloldala

$$\left| \frac{\partial \mathbf{v}_{rel}}{\partial z} \right| \cdot |\mathbf{v}_{rel}| \cdot \sin \alpha$$

ahol  $\alpha$  a két vektor által bezárt szög. Továbbá a  $\sin(90^\circ + \alpha) = \cos \alpha$  összefüggés következtében, illetve amiatt, hogy a  $\frac{\partial \mathbf{v}_{rel}}{\partial z}$  és  $\boldsymbol{\omega}$  vektorok merőlegesek egymásra, a második egyenlet felírható a

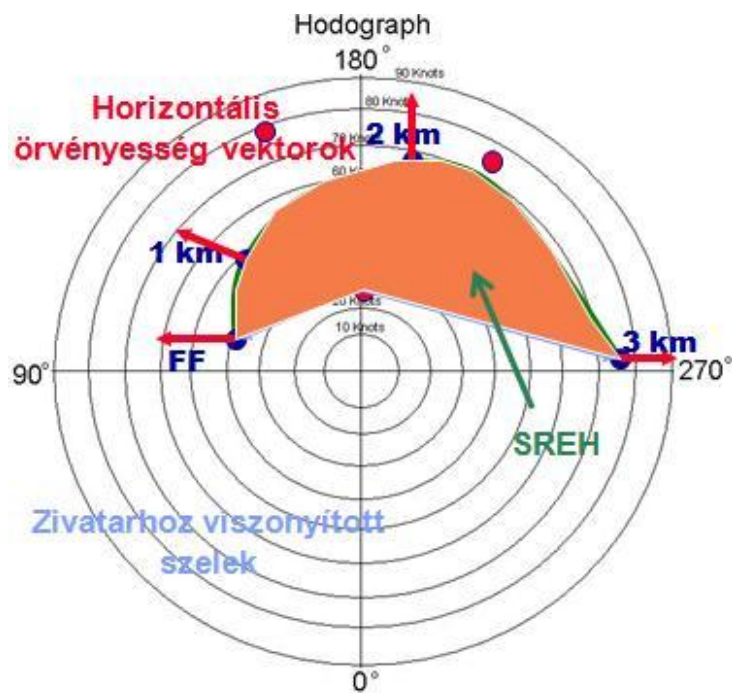
$$|\mathbf{v}_{rel}| \cdot |\boldsymbol{\omega}| \cdot \cos \alpha$$

alakban, amely azonos az első egyenlet bal oldalán álló skaláris szorzattal.

A gyakorlatban legtöbbször a felszín és a 3km-es magasság, valamint az 1-4 km-es szintek között határozzuk meg. A SREH tulajdonképpen a zivatarban a feláramlás lehetséges örvényességének a mértékét jelenti. A tapasztalatok alapján az alábbi SREH-index értékek azt jelölik, hogy az adott körülmények mennyire kedvezőek szupercella kialakulásához:

- SREH = 150-299 szupercella kialakulása lehetséges
- SREH = 300-499 nagyon kedvező szupercella fejlődéséhez

A 9. ábra a felszín és a 3km-es magasság közötti zivatarhoz viszonyított helicitást jeleníti meg.



9. ábra, A SREH-index meghatározása a hodográf alapján,  
 Forrás: „Szupercellás zivatarok” (Supercell Thunderstorm)

Mindezek alapján elmondható, hogy mivel a hodográfról leolvasható a horizontális szélesebbesség és örvényesség, valamint a SREH-index, ez az eszköz nagy segítséget nyújt a helicitás meghatározásához.

### 3. A zivatarok fejlődése

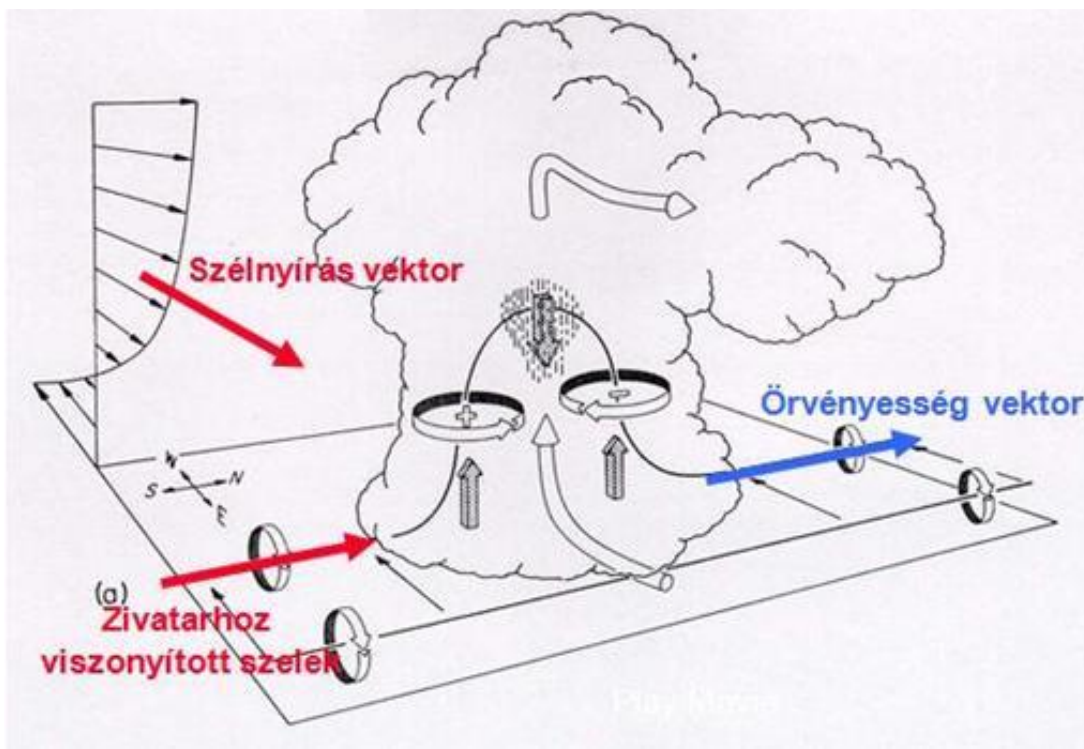
A zivatarképződés részletes leírása túlmutat jelen dolgozat keretein, így csak az irodalomban fellelhető, a zivatarfejlődéssel kapcsolatos legfontosabb tényeket említjük meg *Czelnai et al.*, illetve *Tasnádi* nyomán.

A zivatarképződés alapja a konvekció, vagyis a felszálló légtömeg vertikális irányú feláramlása. A konvekció két módon is kialakulhat, ugyanis a feláramlás egyik oka, hogy a melegedés miatt a Föld közelében felmelegedő levegő kitágul, sűrűsége csökken, s a környező hidegebb levegőben buborékként felszáll. Ebben az esetben tehát a horizontális sűrűségkülönbségek hiányában függőleges irányú hidrosztatikai instabilitás indíthatja el a konvekciót. Ezzel ellentétben a feláramlást kiválthatja a légsűrűség horizontális különbsége miatt kialakuló horizontális nyomásgradiens is. E folyamat során a konvekció úgy jön létre, hogy a hideg levegő benyomul a melegebb alá, és azt felemelkedésre kényszeríti.

A vertikális szélnyírás, valamint annak konvekcióval való kapcsolata döntően meghatározza. Ekkor két esetet különböztetünk meg a szélnyírás erősségétől függően. Ha a vertikális szélnyírás gyenge, a konvektív fel- és leáramlások kialakításában a felhajtóerő a meghatározó. Erősebb szélnyírás esetében a feláramlás és a szélnyírás kölcsönhatása erősítheti, ill. gyengítheti is a vertikális gyorsulásokat. A szélnyírás erősségének növekedésével a zivatarok fejlődése, típusa, élettartalma egyre erőteljesebben változik.

### 4. A zivatartevékenység és a helicitás kapcsolata

Ha erős szélnyírás jellemzi a környezetet, horizontális tengelyű örvényesség jön létre. Tehát egy alapvetően rotációmentes környezetben is kialakulhat a feláramlás örvényessége, mivel a horizontális örvénycsöveket megemeli a feláramlás. Ekkor a horizontális örvényességből a feláramlás vertikális tengelyű, ellentétes irányba forgó örvénypárt hoz létre a kezdeti feláramlás déli oldalán egy ciklonális áramlással, északi oldalán pedig egy anticiklonális áramlással. (*Holton, 2004*) (10. ábra)



10. ábra, Az örvényesség fejlődése egy szupercellás zivatarban átlagos nyugatias szélnyírás mellett. Forrás:

„Szupercellás zivatarok” (Supercell Thunderstorm), (Klemp, 1987)

A henger alakú nyilak mutatják a felhőhöz viszonyított feláramlás irányát. A kör alakú nyilak mutatják a rotációt, a plusz- és mínuszjelek a ciklonális és anticiklonális örvényességet jelzik. Az árnyékolt nyilak a fel- és leáramlást szemléltetik. (Holton, 2004)

Ezen tapasztalati tények és összefüggések alapján egyértelműen elmondható, hogy a helicitás szoros kapcsolatban áll a zivartartevékenység erősségével, jól alkalmazható annak előrejelzésére, de egzakt szerepe még tisztázatlan.

## 5. Nagy kiterjedésű ciklonok és a helicitás kapcsolata

Az eddigiekben azzal foglalkoztunk, hogy milyen kapcsolatban áll a zivartartevékenység a helicitással. Azonban a továbbiakban arra állítunk példát *Lavrova et al.*(2009) vizsgálatait és eredményeit alapján, hogy jóllehet a helicitás alapvetően konvektív skálájú folyamatok jellemzésére szolgál, de alkalmazható nagy kiterjedésű ciklonok jellemzésére is.

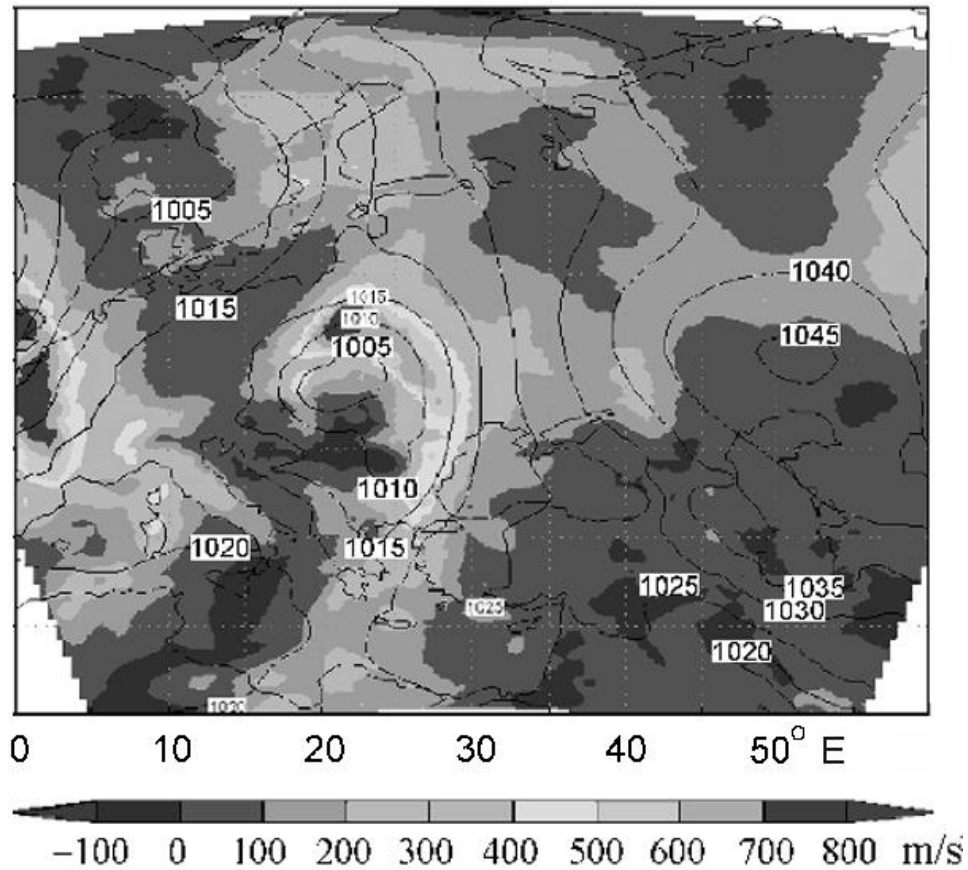
A nagy kiterjedésű ciklonok vizsgálatát leszűkítjük a mediterrán térségek (Földközi-tenger térsége) cikloncsaládjaira. E térség ciklonjainak vizsgálata azért fontos,

mert nemcsak a régió időjárását és éghajlatát befolyásolják, hanem Közép- és Kelet-Európa, Nyugat-Ázsia országaira is hatással vannak. Ezeknek a mediterrán ciklonoknak a sajátossága a ciklogenezis folyamatának kiélesedése, amelyet a térség egyedi földrajzi helyzete, az összetett orográfiaja, továbbá a nedvességgel telített mediterrán légtömeg, az intenzív látens hő felszabadulása, az hőmérsékleti kontraszt emelkedése okozza. Továbbá ezek gyakran eredményeznek veszélyes időjárási jelenséget, amíg hiányzik ezen jelenségek megfelelő előrejelzése.

A regionális numerikus ETA modell segítségével vizsgálhatók a Földközi-tenger feletti ciklonképződések. A modell lefuttatása és vizsgálata során az alábbi eredményekhez jutottak.

A kimenő adatok között szerepel különböző meteorológiai paraméterek vizsgálata és előrejelzése, mint például a nyomás, a geopotenciál, hőmérséklet, szélsébség, stb. Ezek segítségével kiszámíthatók a ciklonképződés összetettebb karakterisztikái, olyanok, mint a potenciális örvényesség, a baroklin instabilitási index és a helicitás is.

A mediterrán ciklonok dinamikai jellemzőinek modelleredményei közé tartozik a relatív helicitással kapcsolatos eredmények. A mediterrán térség örvényei jól nyomon követhetők a relatív helicitás mezőiben. A helicitás mezők szerkezete jelentős változásokon megy keresztül az örvény fejlődése során. A modell lefuttatása során meghatározható a helicitás maximuma is, amely a kezdeti ciklonban az örvény középpontjához közel helyezkedik el. Továbbá egy fiatal, okkludálódott ciklonban a legnagyobb pozitív helicitás érték területe az örvény első részére helyeződik át, ahol végbemegy az intenzív meleg advekción és ahol a csapadék képződés folyamata zajlik. Ez különösen a ciklon fejlődésének maximális állapotában figyelhető meg (*11. ábra*)



11. ábra, 2005. december 30., 12 UTC, helicitás térkép Földközi-tenger térségében (Korzika térségében relatív helicitás emelkedése, Szicíliától északra pedig egy lokális helicitás-maximum figyelhető meg). (Lavrova et al., 2009)

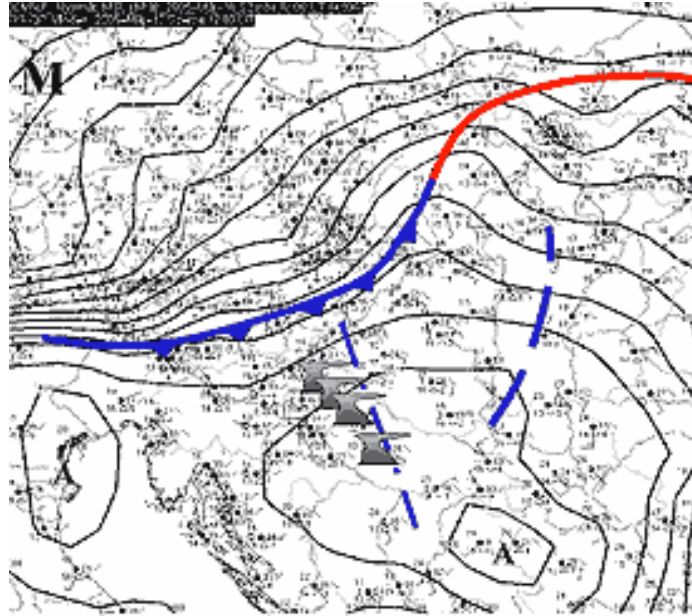
A ciklon meleg szektorában a helicitás értéke pozitív, habár a helicitás nagy mértékbe csökken, mielőtt közeledik a hidegfronthoz. Ha az ábrán látható második, sokkal aktívabb ciklont vizsgáljuk, amely Korzika közelében helyezkedik el, a relatív helicitás emelkedése figyelhető meg körülbelül 18 órával az új mediterrán ciklon keletkezése előtt. Továbbá a 11. ábrán megfigyelhető lokális helicitás-maximum, amely Szicíliától északra figyelhető meg, egy új déli ciklon előfutára volt. Éppen ezért a helicitás a ciklonképződés legkorábbi előrejelzőinek egyike lehet. (Lavrova et al., 2009)

## 6. Esettanulmány

Az esettanulmány során három olyan zivataros helyzetet vizsgálunk, amelyekről összességében elmondható, hogy mindhárom esetben szupercellák kialakulása volt megfigyelhető, így megvizsgáljuk, hogy a kapott értékek milyen kapcsolatban állnak a kialakult eseményekkel. Röviden összefoglaljuk a zivataros napok szinoptikus helyzetének leírását, majd mindegyik esetben rádiószondás felszállási adatokat értékeljük ki az adatok alapján készített hodográfok segítségével. Természetesen a rádiószondás mérés nem feltétlenül esik a zivatarfelhőbe, így minden esetben a környezet helicitását határoztuk meg. Megmutatjuk, hogy milyen paraméter értékek jellemezték a zivatarok kialakulását, fejlődését, valamint, hogy milyen következménnyel járt a zivatarok átvonulása.

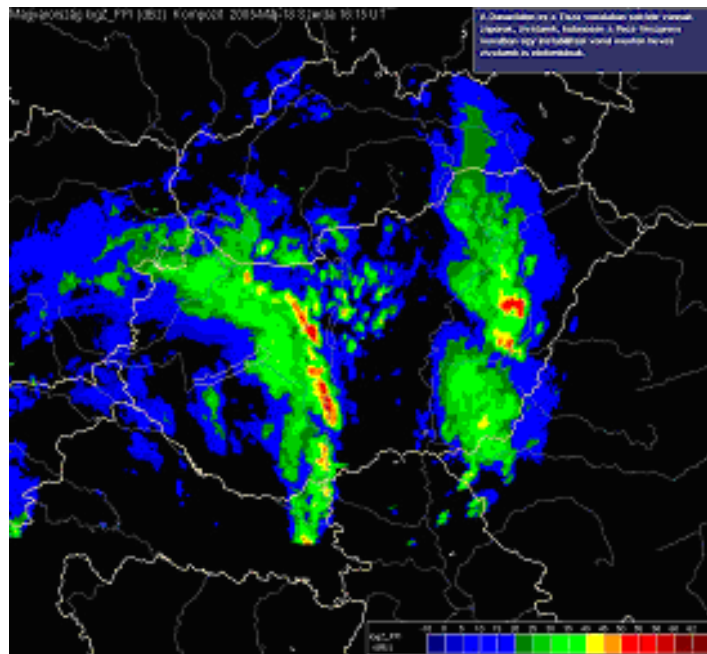
### 6.1. A 2005. május 18-i zivataros helyzet

Elsőként a 2005. május 18-án lezajlott zivataros eseményeket vizsgáljuk meg a helicitás szemszögéből. Ezen a napon a délután folyamán alapvetően az ún. szlovéniai instabilitási vonal határozta meg a délnyugati országrész időjárását, míg vele párhuzamosan hazánk északkeleti részén egy heves zivatarrendszer alakult ki. Mindkét jelenség szupercellák jelenléte volt megfigyelhető a radarmérések szerint, melyek között tornádók kialakulása valószínűsíthető (erre főként az okozott károkból lehet következtetni). A magas felszíni hőmérséklet híján főként a vertikális szélnyírás és a nedvességi konvergencia játszott szerepet a zivatarok kialakulásában. Így a konvergencia mögött leáramlás alakult ki, amelynek következtében a délnyugati zivatarok a Duna vonalához közeledve folyamatosan gyengültek. A szinoptikus eseményeket egy mediterrán ciklonná fejlődött légörvény alakította, és ennek következtében 2005. május 18. 12 UTC-kor már megfigyelhető volt a szlovéniai instabilitási vonal, amely délnyugat felől közeledett hazánkhoz, és melynek helyzetét az alábbi, *12. ábrán* is jól megfigyelhetjük. (Horváth, 2005)



12. ábra, 2005.05.18, 12 UTC-kor a szlovéniai instabilitási vonal az országtól délnyugatra, (Horváth, 2005)

Az alábbi radarképen jól megfigyelhető, ahogy az instabilitási vonal haladva kelet felé, eléri a Duna vonalát, és ekkor már intenzív csapadék és zivatarkeletkezés jellemzi.



13. ábra, Radarkép az országon átvonuló zivatarcellákról (Horváth, 2005)



Az alábbi képen a Szekszárd környékén áthaladó instabilitási vonal felhőzete látható.



14. ábra, Szekszárdon áthaladó zivatarcella felhőzete ( a szerző felvétele).

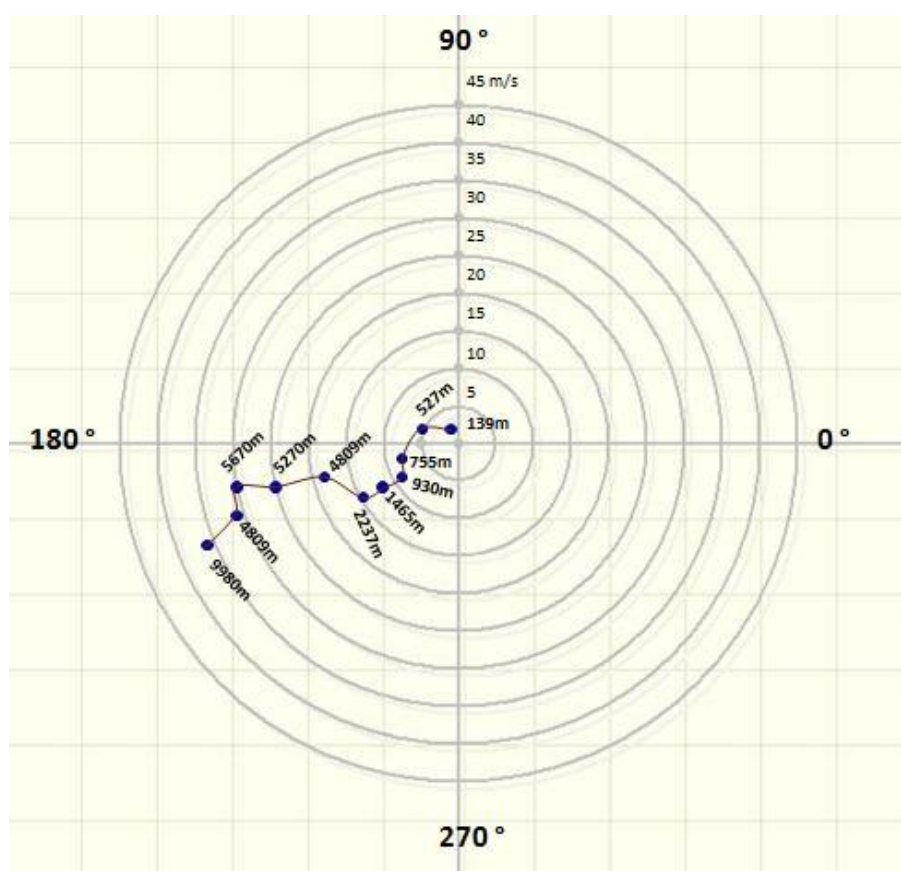
Az alábbiakban a 18-ai felszállási adatok alapján készült táblázat szerepel, melyben a légnyomás, magasság, szélesség, szélirány értékek szerepelnek:

Légnyomás(hPa)	Magasság (m)	Szélirány (°)	Szélesség(m/s)
994	139	100	3
950	527	167	5
925	755	195	7
906	930	210	10
850	1465	210	13
774	2237	210	16
559	4809	195	19
527	5270	192	25
500	5670	190	30
326	8747	199	32
271	9980	203	37

2.táblázat, 2005. június 18-ai,

Forrás: <http://weather.uwyo.edu/upperair/sounding.html>

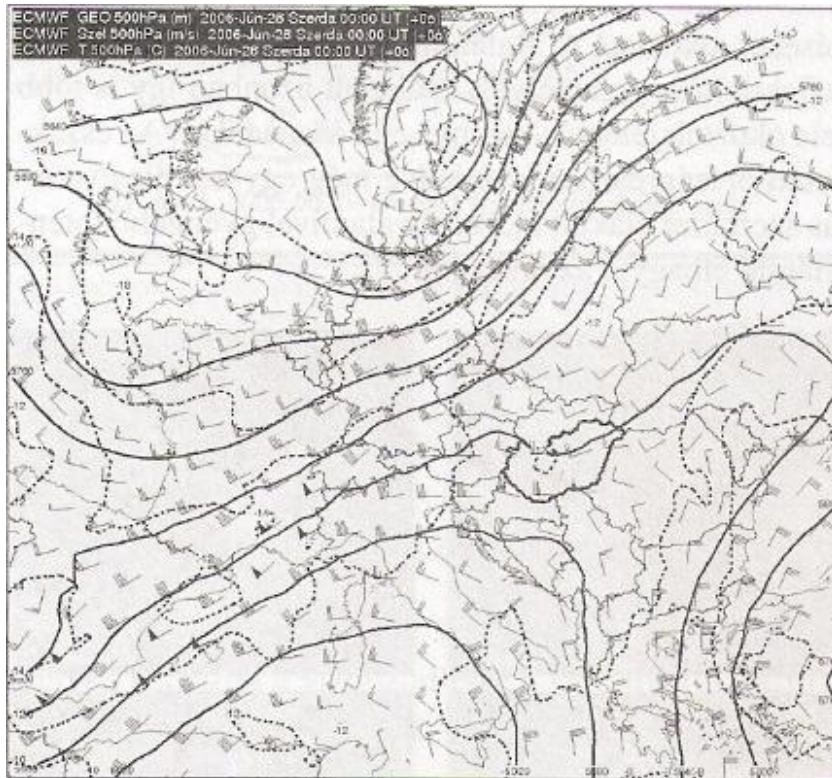
A táblázatban szereplő adatok alapján, a szélirány és szélesség értékek magasság szerinti ábrázolásával készítettem az 4. ábrán szereplő hodográfot. Természetesen a hodográfot nem csak a szélnyírás nagysága, hanem a görbe alakjának szempontjából is vizsgálhatjuk, ugyanis ez is nagymértékben befolyásolja, hogyan fejlődik a zivatar, milyen típusú lesz. A szélnyírás nagysága, így a hodográf alakja függ a szélesség nagyságának és a szélirány változásától is. Az alábbi hodográfól elmondható, hogy főként szélesség szerinti nyírás jellemzi, ugyanis jelentősebb a szélesség nagyságának változása, mint a szélirány változása.



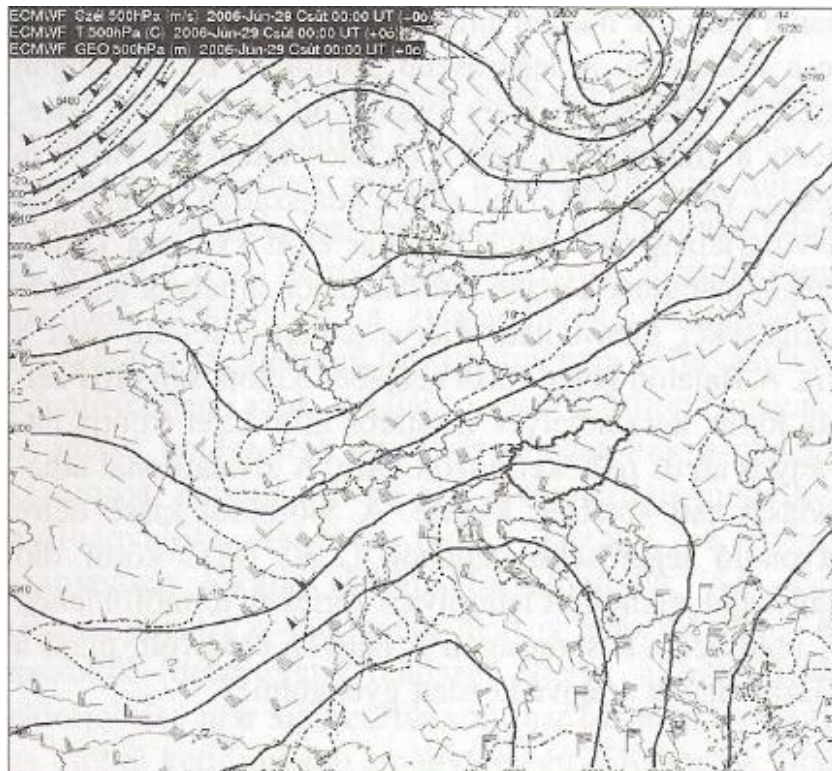
4.ábra, 2005. május 18, 12 UTC rádiószondás felszállási adatok alapján készült hodográf

## 6.2. A 2006.június 29-én végigvonuló zivatarláncok

A 2006. június 29-én lejátszódó események rendkívülisége abban van, hogy ezek a jelenségek az ún. prefrontális instabilitási vonalakhoz kapcsolódnak. Ez azt jelenti, hogy már a front megérkezése előtt is kialakulnak heves zivatarok, és a front megérkezésével, annak mentén is kialakulhatnak. Egy nap leforgása alatt két zivatarlánc is áthaladt a Kárpát-medence térségében, sőt már napokkal korábban igazán heves zivatarok alakultak ki jórészt a front mentén, ezzel is alátámasztva a rendkívüli instabilitást. Jelen esetben az országtól egy napok óta veszteglő hidegfront található, amelynek két oldalán igen nagy hőmérsékletkülönbség jellemző. A frontot a felszínen és nagyobb magasságokban jelentős nyomáskülönbségek és figyelemreméltó szélsőségek, jet streamek nem jellemezték. Tovább fokozódott a labilitás a vizsgált nap hajnalára, a front továbbra is inaktív maradt. Ez jelenik meg a 850 hPa és a 925 hPa hőmérséklet és szélmezőt ábrázoló szinoptikus térképen (*14. ábra*). Ha összevetjük az 500 hPa-os nyomási szintet megjelenítő térképpel, elmondható, hogy utóbbin fokozódó konvektív instabilitás figyelhető meg a hidegadvекciónak és az erősödő szélnek köszönhetően. (*15. ábra*) A zivatarlánc északnyugat felől érte el az országot, amely gyorsabb volt az őt kísérő hidegfrontnál, így megelőzte azt és egy erős instabilitási vonal jeleit mutatta. Miután a rendszer betört az országba, több hullámban haladt végig a Dunántúlon, így a Balaton környékét is két hullámban érte el. A második esetében igen erős, 32 m/s-os szélökést mértek a Balaton keleti medencéjében.



14. ábra, 2006. június 29-én 00 UTC-kor a tengerszinti légnyomás 850 hPa és 925 hPa szinteken, (Horváth, 2006)



15. ábra, 2006. június 29-én 00 UTC-kor az időjárási helyzet 500 hPa szinten a hőmérséklet és a szélmező ábrázolásával, (Horváth, 2006)

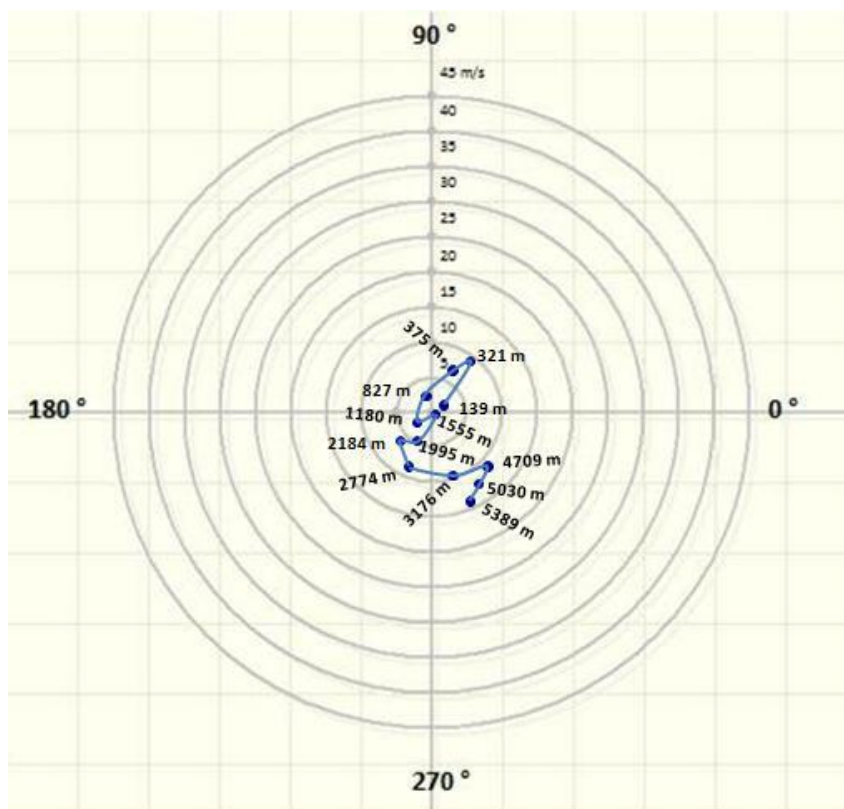
Míg az első zivatarlánc északnyugat felől közelítette meg az országhatárt, addig a második délnyugat felől vonult át nagy sebességgel. Ez a rendszer is elérte a Balatont a kora esti órákban, ahol is szintén az elsőhöz hasonló erősségű szellökéseket mértek. A zivatarlánc északkeleti irányban haladt tovább, mialatt intenzitása gyengült és átlépte az országhatárt.

Végül a két zivatarláncot követő hidegfront is behatolt az országba, amelyet gyengébb, de szintén nagy mennyiségű csapadékot hozó zivatarok kísértek. Majd a front mögött megszűnt a labilitás és stabilizálódott a környezet.

Légnyomás(hPa)	Magasság(m)	Szélirány(°)	Szélesebesség(m/s)
1001	139	10	2
980	321	60	9
974	375	63	8
925	827	95	3
888	1180	220	2
850	1555	275	1
807	1995	235	4
789	2184	225	6
735	2774	259	8
700	3176	285	9
578	4709	320	11
555	5030	311	12
530	5389	300	14

3. táblázat, a 2006. június 29-e felszállási adatait tartalmazza

A felszállási adatok alapján az készült az alábbi hodográf, amely főként szélirány magasság szerinti változását jellemzi. A hodográf jellegét tekintve egycellás zivatarra utal, és a 12 UTC idei adatok hiányában nem jelenik meg a szupercellákra jellemző tipikus hodográf. (16.ábra)

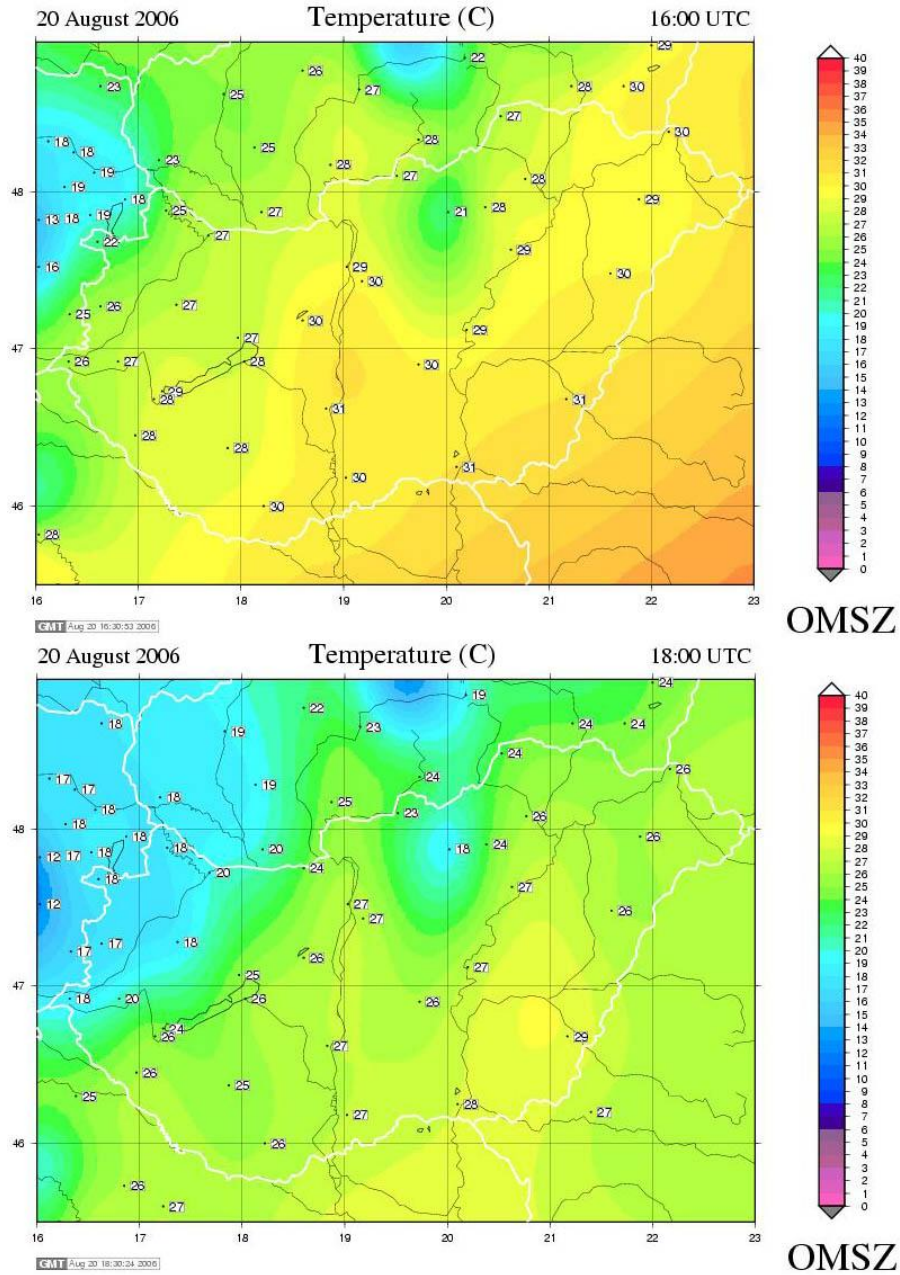


16. ábra, A 2006. június 29-ei rádiószondás mérési adatok alapján készült hodográf.

### 6.3. A 2006. augusztus 20-ai budapesti zivatar

A 2006 augusztus 20-ai esemény nemcsak a zivatar rendkívülisége (ugyanis például a legerősebb széllokécek a Lágymányoson mért adatok szerint elérték a 34,1 m/s sebességet), hanem az időpontja miatt is került a figyelem középpontjába, mivel köztudottan a zivatar maximális erejével a hagyományosan megrendezett budapesti tűzijáték idejében érte el a fővárost. A katasztrófát okozó vihar háttérében álló meteorológiai jelenségek közé tartozott, hogy már napok óta egész Európa, így hazánk időjárására is egy nagy kiterjedésű, kifejlett ciklon volt hatással, amelyhez egy erős hidegfront kötődött. A szél sebessége a magasság függvényében folyamatosan növekszik, az 500 hPa-os szinten 25 m/s-os szélesebbég volt jellemző, míg tovább emelkedve a 300 hPa-os nyomási szinten már jet streamek is kialakultak. A kialakult körülmények együttes lefolyása megfelelő helyzetet biztosított a zivatarok kialakulásához, ugyanis egy időben játszódott le a frontmenti erős konvergencia által létrehozott kényszer konvekció, a magasban lejátszódó hidegadvekció által növekvő CAPE (konvektív hasznosítható potenciális energia) érték, valamint a jet stream következtében kialakult szélnyírás.

Ezekhez az egy időben lejátszódó folyamatokhoz még hozzájárult az a zivatar kialakulásához megfelelő hőmérsékleti viszonyok alakulása. A zivatarok a délutáni órákban érték el az országot, és gyorsan haladva érték el a Duna vonalát. A hidegfront két oldalán igen nagy hőmérséklet különbség volt megfigyelhető (17.ábra)



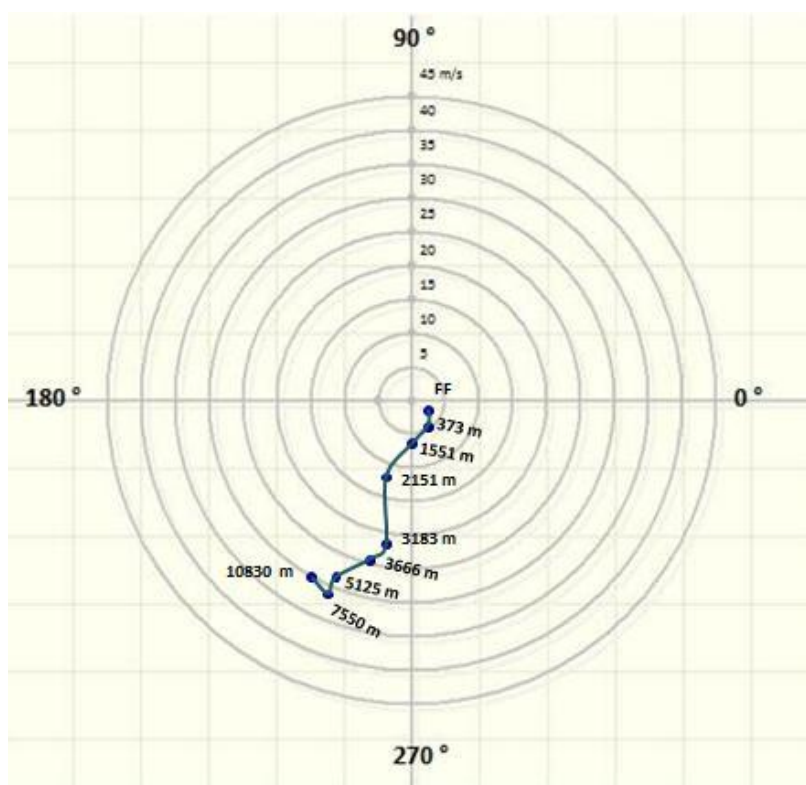
17. ábra, Forrás: OMSZ

A front mentén intenzív zivatarcellák alakultak ki, amelyek közül az északi góc ért el Budapestet, amelyben valószínűleg szupercellák is kialakultak, sőt akár az is elképzelhető, hogy felhőtölcsér alakult ki a cellában. (Horváth, 2006)

Az alábbiakban a rádiószondás felszállások alapján készült 4. táblázat és az adatok alapján szerkesztett hodográf szerepel. (18. ábra) A görbe alakja ferde, és kissé görbült hodográfra hasonlít, így ezek alapján a zivatar jellegét tekintve szupercellának mondható.

Légnyomás(hPa)	Magasság(m)	Szélirány(°)	Szélesség(m/s)
1000	139	340	2
974	373	295	4
850	1551	270	8
792	2151	255	13
700	3183	265	23
660	3666	261	25
550	5125	250	29
400	7550	250	32
250	10830	240	30

4. táblázat, 2006.augusztus 20 12 UTC felszállási adatait tartalmazó táblázat



18. ábra, 2006. augusztus 20-ai felszállási adatait tartalmazó táblázat alapján készült hodográf



## **7. Összefoglalás**

A tapasztalatok szerint a helicitás alkalmas arra, hogy kiegészítő információként szolgáljon a szinoptikus analízisben a zivatar- és ciklonképződést illetően. Jelen dolgozatban a szakirodalomra támaszkodva megmutattuk, hogy a magassági felszállások sebességhodográffal történő ábrázolása hogyan használható fel a szélnyírás és a helicitás meghatározására. Bemutattuk a SREH-index meghatározását és alkalmazását. A következőkben célunk a helicitás vizsgálata modellfuttatások alapján, a helicitás és a frontogenezis kapcsolatának vizsgálata, továbbá a helicitás mélyebb elméleti hátterének elemzése. Az esettanulmány során három zivataros helyzetet vizsgáltunk, és mindhárom esetben megnéztük az egyes napokra jellemző hodográfokat. Azonban az egyes zivatarokra jellemző helicitás értékeket nem állt módunkban megvizsgálni a zivatar mozgására vonatkozó adatok hiányában.

## **Köszönetnyilvánítás**

Szeretném megköszönni témavezetőmnek, Dr. Tasnádi Péternek, a témaválasztásban, illetve a dolgozat megírásában nyújtott segítségét, valamint, hogy mindvégig támogatott és ösztönzött a szakdolgozat alapjául szolgáló TDK dolgozat elkészítésében.

Továbbá megköszönöm barátaimnak és szaktársaimnak az elmúlt félév tanulmányai során adott segítségüket és támogatásukat.

## Irodalom

- Horváth, Á., 2005. – *A 2005. május 18-ai vihar meteorológiai leírása*, Légkör, 3., 12 – 16. oldal
- Horvát, Á., 2006. – *Pusztító zivatarláncok 2006. június 29-én*, Légkör, 3., 16 – 19. oldal
- Horvát, Á., 2006. – *A 2006. augusztus 20 – i budapesti vihar időjárási háttere*, Légkör, 4., 24 – 27. oldal
- Klemp, J. B, 1987 – *Dynamics of tornadic Thunderstorms*, Annual Reviews Fluid Mechanics, 19.; 375.oldal
- Lavrova,A.A; Glebova,E.S.; Trosnikov, I.V.; Kaznacheeva, V.D., 2009– *Modeling the Evolution of the Family of Mediterranean Cyclones Using the Regional Model of the Atmosphere*, Russian Meteorology and Hidrology, Vol.35,No 6.; 363-370.oldal
- Lilly, D.K., 1985: *The Structure, Energetics and Propagation of Rotating Convective Storms.Part II: Helicity and Storm Stabilization*, Journal of the Atmospheric Sciences, 43.; 126-127. oldal
- Pichler, H.; Schaffhauser, A., 1997 – *The Synoptic Meaning of Helicity*, Meteorology and Atmospheric Physics,66.; 23. oldal
- Czelnai R., Götz G., Iványi Zs.– *Bevezetés a meteorológiába II. A mozgó légkör és óceán* 157.o.,163.o.
- Holton, J. R.,2004 – *An Introduction to Dynamic Meteorology(Fourth Edition)* 298-301.oldal
- Tasnádi P. – *A zivatarfelhő, kézirat*, ELTE-TTK, Meteorológia Tanszék, 2.o.,
- Supercell Thunderstorm Part III* - Adapted from Materials by Dr. Frank Gallagher III and Dr. Kelvin Droegemeier, School of Meteorology University of Oklahoma
- <http://weather.uwyo.edu/upperair/sounding.html>
- <http://www.mmm.ucar.edu/prod/rt/pages/svr.html>