

A HIDEG LÉGPÁRNÁK SZÁMSZERŰ VIZSGÁLATÁNAK LEHETŐSÉGEI

Szabóné André Karolina, Bartholy Judit, Pongrácz Rita

ELTE Meteorológiai Tanszék, 1117 Budapest, Pázmány Péter sétány 1/A
e-mail: karol@nimbus.elte.hu

Bevezetés

1978 novemberében Szegeden, a Napfény Városában egy órára sem sütött ki a nap, a Kékestetőn viszont az addigi legmagasabb novemberi napfénytartamot regisztrálták. Ennek egyik oka egy hideg légpárna, amely három hétig uralta hazánk időjárását (Szalma, 1979).

A Kárpát-medence tipikus téli félévi időjárási helyzete, a hideg légpárna, a fent leírthoz hasonló időjárási szélsőségeket okozhat: az egész ország ködbe borul, és csak a magasabb hegycsúcsok emelkednek ki belőle. A hegytetőn akár 10 °C-kal is magasabb lehet a hőmérséklet, mint a sík vidékeken. Ez az erős inverzió megakadályozza a légszennyező anyagok átkeveredését, amelyek az inverzió alatt feldúsulhatnak, és szmog is kialakulhat. A káros élettani hatások mellett a köd és a szmog, illetve a hideg idő a közlekedést is megnehezítheti. A hosszan tartó fagy zúzmarás köddel és ónos esővel is járhat, ami a távvezetésekre rakódva károkat és áramellátási gondokat okozhat.

A jelenség kialakulásának és feloszlásának előrejelzése nagy kihívás a szakemberek számára. A számszerű időjárás előrejelző modellek általában pontatlanul reprodukálják a hideg légpárnás időszakokat. Emellett az időjárási helyzetnek nem létezik számszerű definíciója, megfelelő mérőszámot még nem alkalmaztak a szinoptikus gyakorlatban. Egy ilyen mennyiség és annak viselkedésének ismerete lehetővé tenné, hogy jobban megértsük a hideg légpárnák fejlődési szakaszait, valamint az ilyen időszakok pontosabb előrejelzését.

E cikkben az időjárási jelenség bemutatása után egy eddig alkalmazott mérőszámot, majd egy több mint 30 éves, bizonyos szempontból megfelelőbbnek vélt gondolatmenetet mutatunk be a hideg légpárnák számszerű leírására.

A hideg légpárna

A hideg légpárna egy medencébe zárt hideg légtömeg, amelyet a medencét körülvevő hegyek és egy, a magasban lévő melegebb légtömeg határol. A téli félévre jellemző időjárási jelenség, amely általában magas nyomású helyzetekben alakul ki többféle hatás eredményeképpen. Egy hidegfront után felépülő anticiklon és az ehhez kapcsolódó zsugorodási inverzió (Makainé Császár, 1962), a magasban lejátszódó melegadvekción (Ventúra, 1968), valamint a téli hótakaró is hozzájárulhat létrejöttéhez. A hegyek és az inverzió miatt a hideg légtömeg nem hagyja el a medencét, ahol ennek következtében szélcsendes idő jellemző. A hosszú téli éjszakák, az anticiklonra jellemző derült égbolt és az esetleges hótakaró elősegíti a felszínközeli levegő fokozatos lehülését, a ködképződést (Makainé Császár, 1986). Az idő múltával a vastag ködtakaró megemelkedik, rétegfelhőzetté alakul. Ez a ködös, borús állapot napokig, vagy akár hetekig is eltarthat. Amennyiben a medencében lévő levegő száraz, erősen lecsökkenhet a hőmérséklete, hosszan tartó fagyos időszakot eredményezve. Ennek az időjárási helyzetnek általában csak egy erős hidegfront, illetve hidegadvekción vet véget (Kerényi és Vadkerti, 1982).

A hideg légpárnák csoportosítása

A hideg légpárnában lévő hőmérsékleti inverzió alapján két csoportot különböztethetünk meg: amikor az inverzió a felszínről indul, elsőfajú (1. ábra, bal oldal), amikor magasabbról, akkor másodfajú (1. ábra, jobb oldal) inverzióról beszélünk (Ventúra, 1961, 1968).

Nedvesség alapján szintén két csoportot különíthetünk el: nedves (ködös, felhős), illetve száraz hideg légpárnákról beszélhetünk. Ez utóbbira példa a 2012. februári eset, amikor a medencébe folyamatosan szárazabb levegő érkezett, megakadályozva a ködképződést. Emiatt az ilyen helyzetekben a levegő sokkal jobban lehül. Az említett esetben -20 °C alatti hőmérsékletek is előfordultak 2 m magasságban.

A fagyosság szempontjából való osztályozáshoz Tóth (1984) bevezette a hideg légpárna fagyossági tényezőjét. Ennek segítségével hat csoportba sorolta a légpárnákat a nem fagyostól a keményen fagyosig.

A hideg légpárnák számszerű leírása

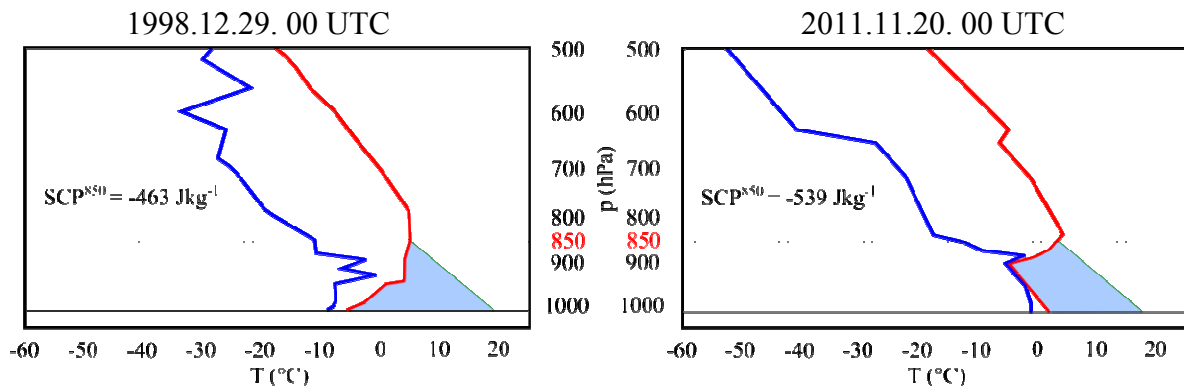
A mély konvekciós helyzetekhez hasonlóan a hideg légpárnák légrétegződési viszonyait is jellemezhetjük egy mérőszámmal. Előbbi esetben a konvektív hozzáférhető potenciális energia ($CAPE$, Jkg^{-1}) használatos, míg utóbbi esetben megfelelő lehet az ún. sekély konvektív potenciális energia (SCP , Jkg^{-1}). Az SCP -t a $CAPE$ képletét (Yano et al., 2005) módosítva számolhatjuk. Az integrálás felső határát Bozóki (1987) alapján 850 hPa-nak választhatjuk, ugyanis a hideg légpárnák általában ez alatt találhatók, így kapjuk az SCP^{850} -et:

$$SCP^{850} = -R_d \int_{p_0}^{850\text{hPa}} T(p) \frac{\Theta_{vp}(p) - \Theta_{ve}(p)}{\Theta_{ve}(p)} d(\ln p), \quad (1)$$

ahol $R_d = 287 Jkg^{-1}K^{-1}$ a száraz levegőre vonatkozó specifikus gázállandó, p_0 a legalsó szint nyomása hPa-ban, $T(p)$ az adott nyomási szint hőmérséklete $^{\circ}C$ -ban, $\Theta_{vp}(p)$ és $\Theta_{ve}(p)$ rendre a felső határról adiabatikusan süllyedő légréteg, illetve a környezet potenciális virtuális hőmérséklete K -ben megadva. Egy termodinamikai diagramon ez a mennyiség az állapotgörbe és egy, a 850 hPa-os szintről a felszínre húzott száraz adiabata közötti területet jelenti (1. ábrán a világoskék színnel jelölt területek).

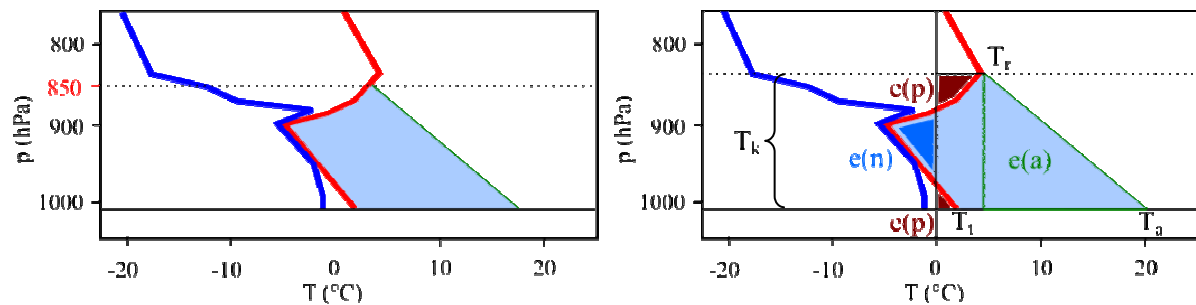
Eddigi vizsgálatok (André, 2014) alapján ez a mennyiség jó becslést adott a hideg légpárnás időszakok azonosítására. Emellett a numerikus időjárás előrejelző modellek is pontosabban reprodukálták ennek értékeit, a nedvességhez vagy a 2 m-es hőmérséklethez képest. Az 1. ábrán azonban látható, hogy a 2011. november 20-án, a hideg légpárnában lévő inverzió teteje 850 hPa felett helyezkedett el. Tehát az SCP^{850} nem minden esetben ad pontos információt a hideg légpárna energia hiányáról.

Tóth (1984) ennél precízebb számítási módszert írt le, amelyet leegyszerűsítve mutatunk be. Vezessük be a hideg légpárna energiadeficitjének fogalmát ($D(E)$, Jkg^{-1}). Ez a mennyiség hasonlít az SCP -re, azzal a különbséggel, hogy az integrálást az inverzió tetejétől indítjuk (ahol a legmagasabb a hőmérséklet), illetve értéke pozitív, ha a rétegződés a száraz adiabatikusnál stabilabb.



1. ábra: Elsőfajú (bal oldalon) és másodfajú (jobb oldalon) hideg légpárna budapesti rádiószondás felszállások alapján: a hőmérséklet (piros) és a harmatpont (kék) profilja, illetve az SCP^{850} -nek megfelelő (világoskék) terület (bővebb magyarázat a szövegben). Forrás: a Wyoming-i Egyetem honlapja

Az SCP^{850} és Tóth (1984) féle egyszerűsített gondolatmenet közötti különbséget a 2. ábra szemlélteti a 2011. november 20-i, budapesti rádiószondás felszállás alapján. A bal oldalon a világoskék terület a korábban ismertetett SCP^{850} , a jobb oldalon pedig a hideg légpárna energiadeficitje szerepel ugyanolyan színnel.



2. ábra: Az SCP^{850} és Tóth (1984) gondolatmenete közötti különbség szemléltetése (rádiószondás felszállás: Budapest, 2011. november 20. 0 UTC) (bővebb magyarázat a szövegben)

A gondolatmenetben kiemelt szerepe van a következő állapotjelzőknek (2. ábra, jobb oldal): az inverzió tetejének hőmérséklete (T_r), az onnan a felszínre húzott száraz adiabata felszíni hőmérséklete (T_a), a 2 m-es hőmérséklet (T_1), illetve a hideg légpárnás réteg középhőmérséklete (T_k).

Az elsőfajú hideg légpárna kialakulását az ún. energiadeficit relatív paraméterével követhetjük nyomon, amely az alábbi képlettel számolható:

$$R(E) = \frac{D(E)}{e(a)}, \quad (2)$$

ahol $e(a)$ -t a 2. ábrán a zölddel bekeretezett terület szemlélteti, azaz a T_r izoterma és a (T_r, p_r) pontból a felszínre húzott száraz adiabata közötti terület.

$R(E)$ különböző légrétegződések esetén más-más értéket vesz fel. Kiindulásként tegyük fel, hogy a légoszlopban a hőmérséklet száraz adiabatikusan csökken felfelé, ekkor $R(E) = 0$, mert $D(E) = 0 \text{ Jkg}^{-1}$. A felszínközeli levegő a kisugárzás miatt elkezd hűlni, majd a rétegződés izotermmé válik. Ekkor $D(E) = e(a)$, tehát $R(E) = 1$ lesz. Ha a lehülés tovább folytatódik, inverzió alakul ki, és $R(E) > 1$ lesz, mert $D(E) > e(a)$.

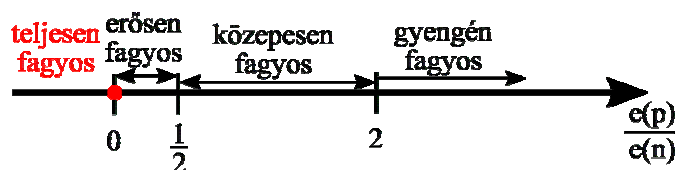
A hideg légpárnák veszélyességét a hőmérsékletük is befolyásolja. Ezt a Tóth (1984) által bevezetett fagyossági tényezővel vehetjük figyelembe, melyet az alábbiak szerint számolhatunk:

$$f = \frac{e(n)}{D(E)}, \quad (3)$$

ahol $e(n)$ az állapotgörbe negatív hőmérsékleti tartományba eső részének energiaszintje (2. ábra, jobb oldal, sötétkék terület, Jkg^{-1}). Minél nagyobb az f értéke, annál fagyosabb a hideg légpárna. Az állapotgörbe pozitív hőmérsékleti tartományba eső részének energiaszintjét $e(p)$ -vel jelöljük (2. ábra, jobb oldal, bordó területek, Jkg^{-1}).

Felhasználva $e(p)$ -t, $e(n)$ -t, azok hányadosát, illetve $D(E)$ -t, a hideg légpárnákat fagyosság alapján hat csoportba sorolhatjuk (a 2–5. kategóriákat a 3. ábra szemlélteti):

1. Nem fagyos, ha $e(n) = 0Jkg^{-1}$, azaz $f = 0$,
2. Gyengén fagyos, ha $\frac{e(p)}{e(n)} > 2$,
3. Közepesen fagyos, ha $\frac{1}{2} < \frac{e(p)}{e(n)} < 2$,
4. Erősen fagyos, ha $0 < \frac{e(p)}{e(n)} < \frac{1}{2}$,
5. Teljesen fagyos, ha $e(p) = 0Jkg^{-1}$, illetve
6. Keményen fagyos, ha $e(n) = D(E)$, $T_a < 0^\circ C$.



3. ábra: A hideg légpárnák fagyosság szerinti osztályozása:
a fagyos kategóriák elhelyezkedése az $e(p)/e(n)$ számegyenesen

Amennyiben matematikailag teljesen korrektek szeretnénk lenni, akkor a közepesen fagyos csoportba csak azok az esetek kerülnének, amelyeknél a hányados 1, azaz amikor az állapotgörbe negatív és pozitív hőmérsékleti tartományba eső részének energiája megegyezik. A gyengén és erősen fagyos kategóriában az 1 feletti és alatti értékű esetek lennének. Tóth (1984) az egyenletesebb eloszlás érdekében javasolta a fent leírt felosztást.

Tóth (1984) célul tűzte ki, hogy a fentebb ismertetett állapotjelzőket (a fontosabb hőmérsékleteket) és a szélirányt, illetve szélsébséget, valamint az ezekből származtatott mennyiségeket tanulmányozzuk. Azok időbeli és térbeli viselkedésének ismeretében prediktorrá válhatnak, azaz segíthetnek előrejelezni a hideg légpárna kialakulását, erősödését, gyengülését, illetve feloszlását. Ezért célunk ennek gyakorlati megvalósítása.

Összefoglalás, tervek

A hideg légpárna kiemelt jelentőségű időjárási jelenség, amelynek az előrejelzése nagy kihívás a szinoptikus szakemberek számára. Munkájukat támogatná a Tóth (1984) által leírt parametizáció gyakorlati alkalmazása. Ennek segítségével számszerűsíthetjük a hideg légpárna energiadeficitjét, fagyosságát és – elsősorban az elsőfajú típus – kialakulását. A hideg légpárna energiadeficitje csak akkor számítható, ha van inverzió a vizsgált

légoszlopban. Értéke erősen függ az alkalmazott inverziókereső módszertől. Ezzel szemben a korábban is használt SCP⁸⁵⁰ mennyiséget minden esetben ugyanazon szint adatainak felhasználásával kiszámolhatjuk, ami egyértelműen megkönnyíti a használatát.

A fagyosság alapján hat hideg légpárna csoportot különíthetünk el. Egy adott időszak során a hideg légpárna több fagyossági értéket is felvehet, ami összefüggésben lehet a fejlettségi fokával, azonban ennek bizonyításához a mérési adatok további részletes vizsgálata szükséges.

Napjainkban már számos rádiószondás felszállás adata elérhető, illetve a számítógépek is alkalmasak a fent bemutatott mennyiségek kiszámolására, és azok megjelenítésére. Ezen eszközök felhasználásával esettanulmányok, statisztikai elemzések készíthetők a hideg légpárnák múltbeli viselkedéséről, jellemzőiről: a hideg légpárnás időszakok gyakoriságáról, hosszáról, erősségéről, fagyosságáról, stb. Az értékelési munka során meghatározhatunk olyan határértékeket, amelyek alapján a jelenség számszerű definícióját is kidolgozhatjuk, majd ezt felhasználva egy hideg légpárna kereső algoritmus elkészítése is lehetővé válik.

A hideg légpárnák múltbeli statisztikus vizsgálatát követően regionális klímamodell szimulációk felhasználásával – térben és időben is – részletesebben vizsgálhatjuk a jelenséget. Ehhez mindenképp a modell validációját kell elvégeznünk, ami a modelladatok mérési adatokkal való összevetését jelenti. Ezt követően kerülhet sor a jövőben várható változások vizsgálatára. Ez azért fontos, mert a hideg légpárnák a nagy albedójú köddel, réteghelhőzettel befolyásolják a sugárzás-háztartást, ami jelentős hatást gyakorol az éghajlatra.

Hivatkozások

- André, K., 2014: Az OpenIFS adaptálása Kárpát-medencei hideg légpárnás helyzet vizsgálatára. *MSc diplomamunka*, Eötvös Loránd Tudományegyetem, Budapest, (témavezető: Gyöngyösi A.Z.). 38p.
- Bozóki, I., 1987: Folyamatvizsgálat egy meteorológiai jelenség kapcsán. *Meteorológiai tanulmányok*, 61. OMSZ, Budapest.
- Kerényi, N., Vadkerti, F., 1982: Hosszan fennmaradó hideg-légpárna a Kárpát-medencében. *Léggör*, 27 (2): 17–18.
- Makainé Császár, M., 1962: Zsugorodási inverziók erősödő anticiklonban. *Időjárás*, 66: 97–100.
- Makainé Császár, M., 1986: Hideg-levegőpárna stagnálása a Kárpát-medencében. *Meteorológiai tanulmányok*, 55. OMSZ, Budapest.
- Szalma, J.-né., 1979: Az időjárás szélsőségei Magyarországon 1978. *Léggör*, 24 (1–2): 26–27.
- Tóth, P., 1984: Parametrizáció bevezetése hideg-légpárnák keletkezésének és feloszlásának analízise céljából. *Meteorológiai tanulmányok*, 51. OMSZ, Budapest.
- Ventúra, E., 1961: Talajmenti inverziók megjelenése Budapest felett. *Beszámolók*, 6–12. OMSZ, Budapest.
- Ventúra, E., 1968: A Budapest fölött észlelt hőmérsékleti inverziók jellemzői. *Időjárás*, 72 (3): 166–174.
- Yano, J.-I., Chaboureau, J.-P., Guichard, F., 2005: A generalization of CAPE into potential-energy convertibility. *Q. J. R. Meteorol. Soc.*, 131: 861–875. doi:10.1256/qj.03.188