

Béll Béla:

A szabad légkör advektív hőforgalma a Kárpát-medence fölött

Адвекция тепла в свободной атмосфере над Карпатским Бассейном.
 На основе измерений ветра на высотах в Венгрии исследуется, с одной стороны, отношение между адвекцией и внутренней циркуляцией, с другой стороны адвекция тепла в Карпатском Бассейне. Доказывается, что местная, в пределах Бассейна происходящая циркуляция воздуха и адвективный перенос в равной мере участвуют в циркуляции верхней тропосферы. В нижней половине тропосферы, вследствие орографических влияний, участие местной циркуляции увеличивается к низу и достигает максимального значения на высоте 500 м. Адвекция температуры в слое 1—8 км зимою и осенью была положительной, а весною и летом отрицательной за весь 9-летний период. Направление горизонтального градиента температуры отклоняется от северного направления летом к морю, а зимою во внутрь материка.

*

A klimatológiai kutatás eredményeit szerves egységbe foglalja össze a Föld légkörének, valamint az egyes klimakörzeteknek *energiamérlege*. A Kárpát-medence többé-kevésbé zárt jellegénél fogva különösen alkalmas a légköri energiaforgalom tanulmányozására s az eredményektől a Kárpátok és az Alpok időjárásmodosító hatásának fizikai alapokon nyugvó tisztázását várhatjuk.

A Kárpát-medence energiámérlegének egyes összetevőit a rendelkezésre álló mérési adatok birtokában *Bacsó, Berkes, Dobosi és Takács* számításokkal közelítették meg. Vizsgálataik a Kárpát-medence sugárzási energiámérlegére, hő- és vízháztartására irányultak. Az egyes részeredményeket az idevonatkozó hazai irodalom összegyűjtésével *Bacsó Nándor* foglalta egységes képbe [1] s kiegészítette a légcirkuláció útján ideszállított, illetőleg innen elvitt hőenergia kiszámításával.

A cirkuláció advektív hőszállítása, jóllehet számszerű részvétele a teljes energiámérlegben nem nagy, az energiaháztartás összetevőinek sorában fontos szerepet tölt be. Az egész Földre kiterjedő vizsgálatok, így *Baur* és *Philipps* [2], valamint *Simpson* [3] számításai ugyanis megállapítják, hogy a 35°-nál magasabb szélességeken a zónális sugárzási mérleg negatív, s a légkör hőháztartásának egyenlegében a hiányzó sugárzási energiát az alacsonyabb szélességekről szállított hővel a cirkuláció pótolja. *Bacsó* a talajközeli adatok alapján ettől eltérően megállapította, hogy hazánkban a vízszintes irányú levegőforgalom energiafogyasztó, azaz légterünket az év minden

hónapjában, és így végeredményként is, hűti. Sugárzási mérlegünk tehát az előbbieket értelmében pozitív.

Amint látjuk, a cirkuláció advektív hőszállítás az energiamérleg érzékeny nyelveinek tekinthető, amennyiben pozitív vagy negatív jellege a Kárpát-medence légterének sugárzási veszteségére, illetőleg nyereségére enged következtetni,

Bacsó számításai feltételezik, hogy az eredő szélvektor Magyarország fölött az egész troposzférában NW irányú, sebessége pedig az átlagos szélességnél kisebb, mintegy 0,3 m/sec-ra tehető. Mivel az éghajlati adatsorok szerint az ország északnyugati határán az évi középhőmérséklet 1,5°-kal alacsonyabb, mint délkeleti határán, az áthaladó levegő a kb. 300 km-es úton felmelegszik, azaz végeredményképpen a cirkuláció hőt szállít el az ország területéről. Annak feltételezésével, hogy az eredő szélvektor és a 0,5°/100 km NW—SE irányú vízszintes hőmérsékleti gradiens az egész troposzférában ugyanaz, *Bacsó* a vízszintes légáramlás útján évenként elvesztett hőenergiát az *egész troposzférára kiterjedő* 1 cm² keresztmetszetű függőleges légoszlopra számítva 8,5 Kcal/cm² év-re becsülte.

Dolgozatunknak az a célja, hogy a magyarországi magassági szélmérések felhasználásával a Kárpát-medence felső légrétegei advektív hőforgalmának kérdéséhez *méréseken* alapuló adatokkal járuljon hozzá. A feldolgozásra felhasználtuk az 1954—58 között Magyarország 8 állomásán (Szombathely, Nagykanizsa, Győr, Pécs, Budapest, Miskolc, Debrecen és Szeged) végzett összesen 8736 vizuális pilotmérést, továbbá az 1959—62 között Budapesten 0^h GMT-kor végzett mindennapos rádiós szélmerést.

A két méréssorozat között az időjárás eltérő jellege mellett az a különbség, hogy a vizuális mérések a magassággal csökkenő számú széladatot szolgáltatnak. A mérési sorozatból ugyanis a léggömb felhőbe merülése miatt felfelé csökkenő számban kimaradnak a felhős és a borult napok széladatai. A rádiós szélmérések ezzel szemben homogén adatsort szolgáltatnak, viszont Magyarországon ilyen mérésekkel csak 1958 márciusától rendelkezünk. *Bucsy József* [4] számításai szerint (előzetes közlése alapján) a szélirányok, szélességek és a szélvektorok közepes értékeiben a talaj és 3 km-között még nem jelentős, bár szisztematikus a különbség a vizuális és a rádiós szélmérésekkel nyert adatok között. Az eredő szélvektor irányában évi középértékben, valamint télen kb. 10°, nyáron csak 3°, a szélvektor nagyságában pedig 0,6 m/sec-nál nem nagyobb az alsó 3 km-ben megállapítható eltérés. A felhős, borult napok túlnyomóan felsikló jellege miatt a vizuális mérésekből felfelé növekvő számban a S—W szektorba eső szélirányok maradnak ki. Így érthető, hogy az említett csekély eltérés szisztematikus: a rádiós szélmérésből nyert szélirányok a SW felé hajlanak el a vizuális pilotokból nyert irányeloszláshoz képest [5]. A vizuális mérések értékelésénél ezt a körülményt figyelembe kell vennünk.

I. táblázatunk közli a 8 állomásra kiszámított évszakos és évi eredő szélvektorok irányát (azt az irányt, ahonnan a szél fúj) és nagyságát (m/sec). A táblázat első sorában az állomások jelzőszámai találhatóak: 1 Szombathely, 2 Győr, 3 Nagykanizsa, 4 Pécs, 5 Budapest, 6 Miskolc, 7 Debrecen, 8 Szeged.

A táblázat utolsó oszlopa a 8 állomásból számított, Magyarországra jellemző átlagos szélvektorokat tartalmazza 1—3 km között.

A közepes légátvitel jellemzésére minden állomásra kiszámítottuk, hogy az eredő szélvektor irányába eső szélút hány százaléka az irányra való tekintet nélkül összegezett szélutaknak. Ezt a számértéket először *Berkes Zoltán* közölte [6] Magyarország 6 éghajlati állomásának 10 évi terminus-észlelései (7, 14, 21 óra) alapján. *Berkes* a talajszél adataiból arra a következtetésre jutott, hogy Magyarországon a különböző irányú szélutaknak olyan NW irányú évi eredője van, amely a szélutak összegének 12,5%-át teszi ki. Ezzel kimutatta, hogy a Kárpátmedencén átvonuló

légtömegek szállítását az összes szelek 12,5%-a végzi, a medence belső légkörzése pedig az egész cirkulációnak 87,5%-át teszi ki. Ezek a számértékek természetesen a talajközeli légrétegre érvényesek. A vízszintes légátvitel és a belső cirkuláció aránya a magassággal változik és jellemző a hely szélklímájára. Az 1. ábra görbéi megadják, hogy a vízszintes légátvitel, vagyis az eredő szélvektor irányába eső szélút hány százaléka a szélutak összességének. A szélirányt 16-os skála szerint vettük figyelembe. A görbékre felrajzoltuk a szélvektorok évi középértékét is (nagyság és irány szerint). A táblázatból és az ábrából mindenekelőtt megállapítható, hogy az eredő szélvektor fölfelé haladva növekszik, a talajközeli 1 m/sec körüli értékről 3 km magasságban 3—7 m/sec értékre nő. A legnagyobb eredő szélvektorokat télen, a legkisebbeket

I. TÁBLÁZAT

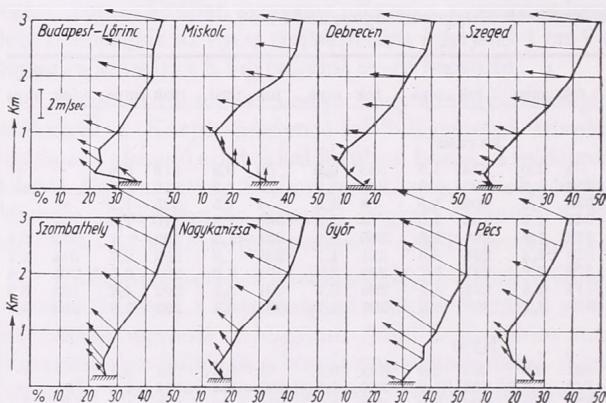
A közepes szélvektorok Magyarországon, 1954—58.

| km | 1 | | 2 | | 3 | | 4 | | 5 | | 6 | | 7 | | 8 | | átlag | |
|----------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-------|-----|
| | fok | m/s | fok | m/s | fok | m/s | fok | m/s | fok | m/s | fok | m/s | fok | m/s | fok | m/s | fok | m/s |
| Tavaszi | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| t | 347 | 1,9 | 292 | 1,4 | 354 | 1,1 | 1 | 1,0 | 314 | 1,9 | 353 | 0,9 | 30 | 0,8 | 313 | 0,6 | — | — |
| 0,3 | 339 | 2,6 | 289 | 2,7 | 351 | 1,1 | 354 | 1,6 | 308 | 1,5 | 360 | 1,3 | 19 | 1,2 | 319 | 1,0 | — | — |
| 0,5 | 342 | 2,5 | 298 | 3,3 | 343 | 1,8 | 339 | 1,8 | 306 | 1,5 | 8 | 1,5 | 4 | 1,5 | 325 | 1,1 | — | — |
| 0,7 | 340 | 2,8 | 300 | 3,7 | 344 | 2,1 | 341 | 1,9 | 302 | 1,5 | 8 | 1,4 | 360 | 1,3 | 316 | 1,3 | — | — |
| 1,0 | 334 | 3,2 | 303 | 4,5 | 339 | 2,3 | 332 | 1,8 | 295 | 2,2 | 360 | 0,9 | 321 | 1,2 | 302 | 1,8 | 319 | 2,1 |
| 1,5 | 325 | 3,9 | 304 | 5,0 | 326 | 2,5 | 320 | 2,2 | 296 | 3,0 | 321 | 1,1 | 305 | 1,3 | 297 | 2,7 | 314 | 2,7 |
| 2,0 | 316 | 4,5 | 305 | 5,9 | 309 | 2,9 | 320 | 2,7 | 297 | 3,7 | 299 | 2,0 | 293 | 2,0 | 293 | 3,5 | 305 | 3,4 |
| 2,5 | 310 | 5,2 | 300 | 5,7 | 304 | 3,5 | 314 | 3,4 | 292 | 4,1 | 295 | 2,7 | 301 | 2,7 | 292 | 4,2 | 298 | 3,9 |
| 3,0 | 311 | 5,5 | 299 | 6,0 | 307 | 3,9 | 310 | 4,1 | 300 | 4,2 | 287 | 2,9 | 305 | 3,4 | 295 | 5,2 | 298 | 4,4 |
| Nyári | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| t | 333 | 1,2 | 288 | 1,6 | 320 | 0,4 | 327 | 0,8 | 296 | 2,0 | 344 | 0,7 | 65 | 0,3 | 291 | 0,7 | — | — |
| 0,3 | 335 | 1,9 | 306 | 3,2 | 319 | 0,9 | 348 | 1,1 | 308 | 1,9 | 350 | 1,0 | 301 | 0,4 | 311 | 1,4 | — | — |
| 0,5 | 335 | 2,0 | 311 | 3,7 | 337 | 1,7 | 339 | 1,3 | 306 | 2,0 | 359 | 1,1 | 310 | 1,0 | 311 | 1,6 | — | — |
| 0,7 | 335 | 2,0 | 314 | 3,9 | 337 | 1,9 | 333 | 1,3 | 297 | 2,0 | 355 | 1,1 | 295 | 1,1 | 309 | 1,7 | — | — |
| 1,0 | 321 | 1,6 | 315 | 4,3 | 323 | 2,0 | 321 | 1,4 | 293 | 2,0 | 342 | 1,2 | 284 | 1,5 | 298 | 1,9 | 312 | 1,9 |
| 1,5 | 307 | 2,8 | 306 | 4,3 | 294 | 2,7 | 301 | 2,1 | 279 | 2,2 | 284 | 1,3 | 277 | 2,6 | 282 | 2,7 | 293 | 2,5 |
| 2,0 | 297 | 3,4 | 299 | 4,7 | 287 | 3,8 | 293 | 2,6 | 276 | 3,1 | 269 | 2,4 | 275 | 3,1 | 275 | 3,4 | 285 | 3,3 |
| 2,5 | 293 | 4,1 | 291 | 4,8 | 284 | 4,4 | 286 | 3,3 | 268 | 3,5 | 273 | 2,9 | 273 | 3,7 | 270 | 4,2 | 281 | 3,8 |
| 3,0 | 296 | 4,6 | 286 | 5,0 | 278 | 5,2 | 286 | 3,9 | 265 | 4,4 | 276 | 2,6 | 275 | 4,2 | 270 | 5,0 | 278 | 4,3 |
| Őszi | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| t | 277 | 0,5 | 266 | 0,3 | 336 | 0,3 | 35 | 0,5 | 335 | 1,2 | 16 | 0,7 | 50 | 0,8 | 82 | 0,1 | — | — |
| 0,3 | 274 | 1,1 | 227 | 1,3 | 292 | 1,0 | 20 | 0,8 | 341 | 0,9 | 20 | 0,8 | 47 | 0,6 | 162 | 0,3 | — | — |
| 0,5 | 273 | 1,1 | 282 | 1,5 | 350 | 0,6 | 30 | 0,8 | 320 | 1,1 | 358 | 0,5 | 346 | 0,7 | 239 | 0,3 | — | — |
| 0,7 | 289 | 1,5 | 285 | 1,0 | 325 | 0,8 | 40 | 0,6 | 301 | 1,3 | 318 | 0,7 | 327 | 0,7 | 272 | 0,5 | — | — |
| 1,0 | 291 | 2,1 | 283 | 2,8 | 302 | 1,0 | 90 | 0,1 | 294 | 1,8 | 263 | 1,3 | 259 | 0,8 | 271 | 0,8 | 283 | 1,3 |
| 1,5 | 292 | 2,7 | 283 | 3,8 | 279 | 1,8 | 265 | 1,1 | 276 | 2,4 | 268 | 1,8 | 248 | 1,7 | 268 | 1,8 | 275 | 2,1 |
| 2,0 | 297 | 3,1 | 279 | 4,4 | 283 | 2,4 | 256 | 2,0 | 277 | 3,0 | 267 | 2,9 | 260 | 2,7 | 267 | 2,5 | 273 | 2,9 |
| 2,5 | 280 | 3,6 | 302 | 4,3 | 291 | 2,5 | 265 | 2,3 | 281 | 3,1 | 264 | 2,8 | 269 | 3,0 | 263 | 2,9 | 273 | 3,0 |
| 3,0 | 288 | 4,0 | 281 | 3,9 | 292 | 2,1 | 269 | 2,3 | 278 | 3,5 | 263 | 3,0 | 266 | 3,5 | 268 | 3,7 | 276 | 3,3 |
| Téli | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| t | 331 | 1,0 | 233 | 0,6 | 214 | 0,1 | 346 | 0,3 | 319 | 1,6 | 349 | 1,9 | 79 | 0,6 | 237 | 0,4 | — | — |
| 0,3 | 293 | 2,4 | 282 | 1,8 | 224 | 0,3 | 356 | 0,7 | 310 | 1,1 | 345 | 1,1 | 136 | 0,6 | 214 | 1,3 | — | — |
| 0,5 | 294 | 2,5 | 278 | 2,9 | 241 | 1,1 | 278 | 1,0 | 290 | 1,9 | 343 | 1,1 | 220 | 1,3 | 253 | 1,6 | — | — |
| 0,7 | 291 | 3,3 | 283 | 4,0 | 256 | 2,0 | 276 | 1,5 | 283 | 2,8 | 318 | 1,2 | 225 | 1,8 | 270 | 2,1 | — | — |
| 1,0 | 293 | 4,3 | 294 | 5,3 | 261 | 3,7 | 294 | 2,5 | 285 | 4,4 | 289 | 1,7 | 248 | 2,5 | 273 | 2,9 | 279 | 3,3 |
| 1,5 | 295 | 5,8 | 290 | 6,3 | 270 | 5,4 | 281 | 3,3 | 289 | 6,1 | 269 | 2,7 | 261 | 3,6 | 276 | 4,4 | 282 | 4,6 |
| 2,0 | 295 | 6,8 | 296 | 7,1 | 298 | 5,7 | 292 | 4,5 | 287 | 6,7 | 284 | 4,4 | 271 | 4,6 | 271 | 5,5 | 288 | 5,6 |
| 2,5 | 291 | 6,9 | 297 | 9,0 | 289 | 6,1 | 301 | 5,2 | 285 | 6,8 | 282 | 5,7 | 279 | 4,8 | 271 | 6,5 | 287 | 6,3 |
| 3,0 | 298 | 7,4 | 294 | 9,4 | 289 | 6,9 | 296 | 4,9 | 284 | 7,5 | 277 | 6,3 | 279 | 6,0 | 273 | 7,4 | 286 | 6,9 |
| Évi | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| t | 334 | 1,1 | 285 | 1,1 | 345 | 0,5 | 354 | 0,6 | 313 | 1,6 | 356 | 0,9 | 51 | 0,6 | 272 | 0,4 | — | — |
| 0,3 | 319 | 1,8 | 294 | 2,4 | 336 | 0,7 | 357 | 1,0 | 314 | 1,1 | 359 | 1,0 | 37 | 0,5 | 285 | 0,6 | — | — |
| 0,5 | 320 | 1,8 | 299 | 3,1 | 333 | 1,2 | 341 | 1,1 | 304 | 1,6 | 360 | 1,0 | 320 | 0,6 | 296 | 0,9 | — | — |
| 0,7 | 318 | 2,1 | 301 | 3,4 | 326 | 1,5 | 331 | 1,1 | 294 | 1,7 | 349 | 1,0 | 302 | 0,7 | 294 | 1,2 | — | — |
| 1,0 | 311 | 2,5 | 304 | 4,1 | 311 | 1,8 | 311 | 1,2 | 291 | 2,5 | 311 | 0,9 | 277 | 1,3 | 289 | 1,7 | 301 | 2,0 |
| 1,5 | 307 | 3,5 | 299 | 4,6 | 295 | 2,6 | 297 | 2,0 | 287 | 3,2 | 283 | 1,5 | 271 | 2,0 | 282 | 2,7 | 292 | 2,7 |
| 2,0 | 299 | 4,1 | 298 | 5,2 | 295 | 3,4 | 293 | 2,6 | 285 | 4,0 | 277 | 2,5 | 274 | 2,7 | 277 | 3,5 | 289 | 3,4 |
| 2,5 | 295 | 4,5 | 292 | 5,3 | 292 | 3,9 | 293 | 3,2 | 282 | 4,0 | 277 | 3,0 | 271 | 3,4 | 275 | 4,1 | 286 | 3,9 |
| 3,0 | 296 | 4,9 | 291 | 5,5 | 290 | 4,1 | 292 | 3,6 | 280 | 4,5 | 275 | 3,0 | 280 | 3,9 | 276 | 4,9 | 286 | 4,3 |

ősszel találjuk. Ez az évszakos eloszlás az általános cirkuláció évi változásával egyszerűen magyarázható.

A szélvektor az alsó 1000 m-ben irány és nagyság szerint lényegesen különbözik az egyes állomásokon. A magasabb rétegekben az eltérés jóval kisebb, és megengedi a szélvektoroknak az egész országra jellemző átlagképzését (2. ábra). Eszerint a szabad légkörben az átlagos szélvektor Magyarország fölött WNW irányú, fölfelé W-re fordul és erősödik.

Az alsó 1000 m magas légréteg szélvektorai az állomások helyi jellegzetességeit mutatják. Szombathely, Nagykanizsa és Pécs talajközeli rétegében felismerhetjük Nyugat-Dunántúl NNW—N szeleinek túlnyomó jellegét, amely fölfelé balra fordul és erősödve megy át a szabad légkör WNW szélvektorába. Szombathelyen a Kárpátok



1. ábra. Az évi eredő szélvektorok és az advektív légátvitel részaránya a teljes cirkulációban Magyarország egyes pilot-állomásain

Abb. 1. Jährliche Werte der resultierenden Windvektoren und der Anteil der advektiven Luftversetzung an der Gesamtzirkulation für einzelne Pilotstationen in Ungarn

és Alpok összeterelő hatása az alsó légrétegben is aránylag nagy NNW—NW irányú szélvektorokat hoz létre. Győrben, Budapesten és Szegeden a medencén átvonuló NW irányú szélvektor érvényesül az alsó rétegekben is, Győrben még nagy, Budapesten és Szegeden az áramlásnak az Alföldön történő szétterülése miatt csökkenő erősséggel. Miskolcon és Debrecenben a N, illetve a NE irányú szélvektorokban az ismert domborzati hatások tükröződnek.

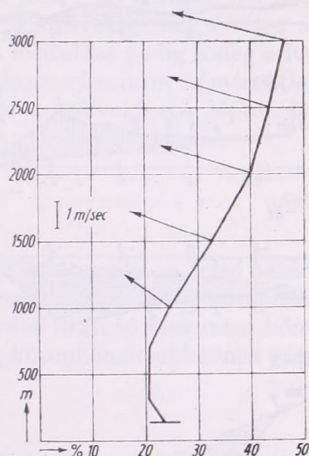
Az 1. és 2. ábra görbéi a vízszintes légátvitel százalékos arányát tüntetik föl. Értékük a talajtól kiindulva 500—1000 m-ig csökken, azután eleinte erősebben, majd kevésbé erősen nő a magassággal, országos átlagban aszimptotikusan közeledik az 50% felé (2. ábra). A számértékek a légátvitel %-os aránya mellett a szélvektor irányingadozására is jellemzők. Mennél szűkebb ez az értéktartomány, annál nagyobb a %-os arányszám és fordítva. Az 1. ábra jól szemlélteti, hogy a szélirányok a talajtól felfelé szétszóródnak, azaz a szélirányok tartományába újabb és újabb szélirányok kapcsolódnak be. Legjobban megfigyelhető ez a középhegységek közelében, Miskolcon és Pécsen, kisebb mértékben Budapesten és Debrecenben, legkevésbé az aránylag zavartalan Győr és Szeged görbéin. A zavarzóna országos átlagban 500 m-ig csökken a vízszintes légátvitel arányszámát, e fölött a szélirányok tartományának szűkülése miatt a légátvitel mind nagyobb arányban jut érvényre a cirkulációban. A 2. ábra görbéjének futása arra mutat, hogy a troposzféra felső felében kb. fele arányban vesz részt a légátvitel, ugyanígy a belső légkörzés a medence teljes cirkulációjában.

A rádiós szélmérések homogén, és az egész troposzférában felhasználható adata sora ezt a feltevést megerősíti. A II. táblázatban a szélvektorok évszakos és évi

közéértékeit, valamint ezek négyzetes szórását (s) találjuk. Ismeretes, hogy az eredő szélvektor végpontja körül s sugárral húzott kör magában foglalja a közös kezdőpontból felrajzolt valamennyi összetevő szélvektor végpontjainak 63%-át [10]. Az s számértéke:

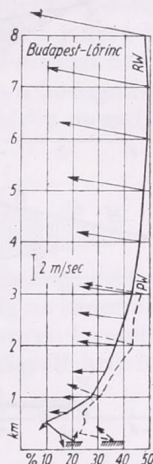
$$s = \sqrt{\frac{1}{N} \sum V_i^2 - V_R^2}$$

ahol N az összetevő szélvektorok száma, V_i ezek sebessége, V_R pedig az eredő szélvektor sebessége.



2. ábra. Az évi eredő szélvektorok és az advektív légátvitel részaránya a teljes cirkulációban Magyarország 8 pilotállomásának átlagában

Abb. 2. Jährliche Werte der resultierenden Windvektoren und der Anteil der advektiven Luftversetzung an der Gesamtzirkulation im Mittelwert von 8 Pilotstationen in Ungarn



3. ábra. Az évi eredő szélvektorok és az advektív légátvitel részaránya a teljes cirkulációban Budapesten vizuális (PW) és rádiós (RW) szélmérések alapján

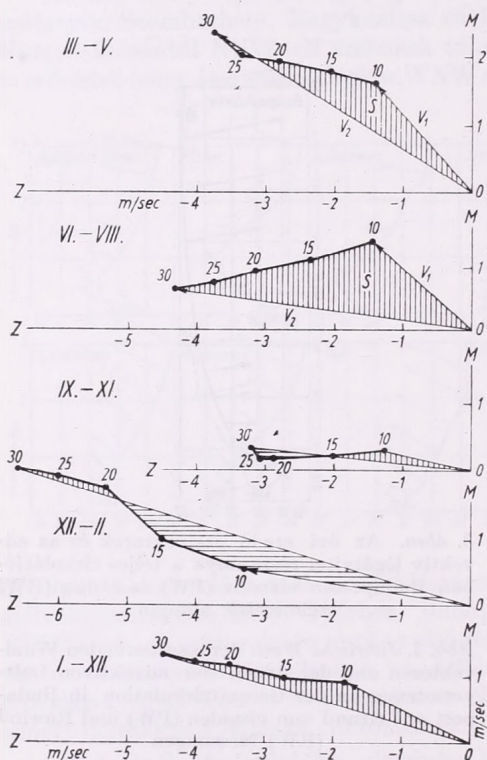
Abb. 3. Jährliche Werte der resultierenden Windvektoren und der Anteil der advektiven Luftversetzung an der Gesamtzirkulation in Budapest auf Grund von visualen (PW) und Rawind (RW) Messungen

II. TÁBLÁZAT

A közepes szélvektorok és négyzetes szórásuk Budapesten
1959. III. – 1962. II.

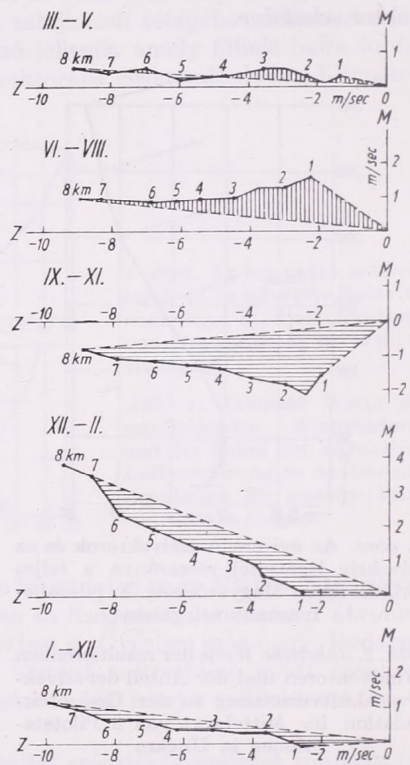
| km | tavasz | | | nyár | | | ősz | | | tél | | | év | | |
|------|--------|-----|------|------|-----|------|-----|------|------|-----|------|------|-----|------|------|
| | fok | mps | s | fok | mps | s | fok | mps | s | fok | mps | s | fok | mps | s |
| t | 3 | 0,7 | 4,3 | 337 | 1,1 | 4,1 | 77 | 0,9 | 4,0 | 19 | 1,0 | 4,7 | 15 | 0,7 | 3,6 |
| 0,3 | 146 | 0,8 | 6,5 | 292 | 0,8 | 6,5 | 154 | 2,9 | 6,9 | 187 | 0,6 | 7,1 | 165 | 0,9 | 6,3 |
| 0,5 | 305 | 0,3 | 7,1 | 310 | 1,6 | 7,4 | 175 | 2,5 | 8,4 | 245 | 1,0 | 8,4 | 229 | 0,7 | 7,2 |
| 0,7 | 309 | 0,5 | 7,6 | 307 | 2,3 | 8,1 | 210 | 2,5 | 9,1 | 275 | 2,4 | 9,5 | 267 | 1,4 | 7,9 |
| 1,0 | 293 | 1,1 | 7,6 | 304 | 2,5 | 7,8 | 238 | 2,8 | 9,3 | 269 | 3,2 | 10,1 | 272 | 2,2 | 8,0 |
| 1,5 | 280 | 1,4 | 7,3 | 295 | 2,9 | 7,7 | 233 | 3,4 | 9,2 | 276 | 3,8 | 9,9 | 270 | 2,6 | 8,0 |
| 2,0 | 288 | 2,0 | 7,8 | 295 | 3,1 | 8,1 | 245 | 3,8 | 9,6 | 280 | 4,4 | 10,0 | 271 | 3,1 | 8,5 |
| 2,5 | 293 | 2,7 | 8,4 | 294 | 3,5 | 8,2 | 250 | 4,3 | 10,0 | 285 | 4,6 | 10,6 | 279 | 3,6 | 8,9 |
| 3,0 | 289 | 3,3 | 8,5 | 287 | 3,9 | 8,7 | 255 | 4,6 | 10,6 | 288 | 5,4 | 11,5 | 279 | 4,2 | 9,6 |
| 4,0 | 285 | 4,2 | 9,3 | 284 | 4,6 | 9,5 | 263 | 5,4 | 12,2 | 286 | 6,6 | 13,2 | 280 | 5,1 | 10,8 |
| 5,0 | 281 | 5,4 | 10,5 | 287 | 5,0 | 10,8 | 267 | 6,2 | 13,7 | 284 | 7,6 | 15,7 | 282 | 6,0 | 12,5 |
| 6,0 | 284 | 6,4 | 12,1 | 281 | 5,6 | 12,4 | 269 | 7,1 | 15,6 | 291 | 9,0 | 17,7 | 282 | 7,0 | 14,2 |
| 7,0 | 282 | 7,5 | 13,6 | 281 | 7,0 | 14,3 | 271 | 8,3 | 18,4 | 290 | 9,5 | 21,8 | 281 | 8,0 | 16,3 |
| 8,0 | 281 | 8,6 | 15,9 | 281 | 7,3 | 17,1 | 273 | 9,5 | 20,3 | 294 | 10,7 | 24,1 | 283 | 9,0 | 18,7 |
| 9,0 | 279 | 9,7 | 17,9 | 282 | 8,7 | 19,4 | 275 | 9,8 | 22,7 | 297 | 11,1 | 25,4 | 284 | 9,7 | 20,5 |
| 10,0 | 285 | 9,6 | 18,1 | 286 | 9,6 | 19,9 | 280 | 10,8 | 24,3 | 298 | 11,3 | 24,2 | 287 | 10,3 | 21,2 |

Az évi közepes szélvektorokat, az eredő szélút %₀-os arányát az összes szélutakhoz viszonyítva a 3. ábra szemlélteti. Összehasonlításul szaggatott vonallal ugyanezen adatokat az 1954—58. évi vizuális mérések alapján is feltüntettük. Látható, hogy a tényleges szélvektor az alsó rétegekben délebbre hajlik annál, amelyet a vizuális mérésekből nyertünk. A 8 km-ig megszerkesztett görbe megerősíti előbbi feltevésünket, amely szerint Magyarország fölött a légátvitel és a belső légkörzés kb. 50—50%-os arányban vesz részt a felső troposzféra teljes cirkulációjában.



4. ábra. Az évszakos és évi eredő szélvektorok és ezek hodográfjai Magyarország 8 pilotállomásának átlagában

Abb. 4. Jahreszeitliche und jährliche resultierende Windvektoren und deren Hodographie an 8 Pilotstationen in Ungarn



5. ábra. Az évszakos és évi eredő szélvektorok és ezek hodográfjai Budapest rádiós szélmérési alapján

Abb. 5. Jahreszeitliche und jährliche resultierende Windvektoren auf Grund von Rawind-Messungen in Budapest

A szélvektorok magasság szerinti változása lehetőséget ad a hőmérsékleti advekciónak kiszámítására. Erre a célra a magyar irodalomból is jól ismert [7] Troickij-egyenletet használjuk fel a 47,5° szélességre alkalmazott következő formában [8]:

$$(1) \quad A = - \frac{1,1723 \cdot 10^{-3}}{\log p_1 - \log p_2} \cdot S \text{ [fok/óra.]}$$

ahol p_1 és p_2 a légnyomás a vizsgált légréteg alsó és felső határán, S pedig a vízszintes síkra vetített szélvektor által súrolt terület a réteg alsó és felső határa között (4. ábra),

más szóval az a terület, amelyet a közös kezdő pontból megrajzolt V_1 alsó és V_2 felső szélvektorok és a vektorok végpontjait tartalmazó görbe, az ún. hodográf határol. Az egyenlet a p_1 és p_2 izobárfelületekkel határolt réteg közepes hőmérsékletének az advektív hőszállítás következtében egy óra alatt bekövetkező hőmérsékletváltozását adja meg fokokban. Az advekciónak ez a számítási módja gradiens szeleket tételez fel, ezért a sűrűlási rétegben (a talaj és 1 km között), valamint a futóáramlás turbulens zónájában (8 km fölött) nem alkalmazható.

Ismeretes, hogy a hodográf megfelelő szakasza kijelöli a vizsgált légréteg közepes izotermájának futását az állomás fölött olyan értelemben, hogy a görbe irányába nézve jobb felől a hideg, bal felől pedig a melegebb terület helyezkedik el. Belátható, hogy a szélvektorok a réteg alsó és felső határa közötti jobbra fordulása meleg, balra fordulása pedig hideg advekciót jelez. A hodográf-szakasz hossza a hodográfra merőleges vízszintes hőmérsékleti gradiens mértéke. Ha a hodográf-szakasz egyenes, hossza a szélvektorok léptékében m/sec egységekbe mérve megadja a v_T termikus szelet:

$$v_T = - \frac{g}{l} \frac{(z_1 - z_2)}{T_k} \cdot \frac{\partial T_k}{\partial n}$$

ahol z_1 a réteg alsó, z_2 felső határának magassága, g a nehézségi gyorsulás, l a Coriolis-parameter, T_k a réteg középhőmérséklete, $\partial T_k / \partial n$ pedig az izotermák normálisának irányába mutató vízszintes hőmérsékleti gradiens. Könnyen levezethető [9], hogy a réteg középhőmérsékletének vízszintes gradiensé a megfigyelő hely fölött:

$$(2) \quad \tau = 0,5 \cdot v_T \text{ [fok/1000 km].}$$

Az (1) és (2) egyenletek felhasználásával a magassági szélmérésekből a szabad légkör egyes rétegeiben a hőmérsékleti advekciót és a vízszintes hőmérsékleti gradiensét kiszámíthatjuk.

III. TÁBLÁZAT

A hőmérsékleti advekció Magyarországon
1—3 km között (1954—1958)

| Évszak | A ₁₋₃ | Q ₁₋₃ | τ | τ_D |
|---------|------------------|---------------------------|--------------|----------|
| Tavaszi | -31,4°/negyedév | -1,6 Kcal/cm ² | 1,3°/1000 km | 10° |
| Nyár | -55,0°/negyedév | -2,7 Kcal/cm ² | 1,5°/1000 km | 346° |
| Ősz | -2,8°/negyedév | -0,1 Kcal/cm ² | 1,2°/1000 km | 2° |
| Tél | +31,0°/negyedév | +1,5 Kcal/cm ² | 1,8°/1000 km | 22° |
| Év | -58,2°/év | -2,9 Kcal/cm ² | 1,2°/1000 km | 3° |

Az 1954—58-i időköz pilotmérései alapján a Magyarországra jellemző évszakos, évi közepes szélvektorokat, valamint ezek hodográfjait 1—3 km között szemlélteti a 4. ábra. A pontok az egyes magassági szintek szélvektorainak végpontjait, a mellékletünk írt számok pedig a szintek magasságát jelzik hektométerekben. A függőlegesen vonalkázott területek hideg, a vízszintesen vonalkázottak pedig meleg advekciót jelentenek. Az advekció mértéke arányos a területtel. Látható, hogy a vizsgált időszakban 1 és 3 km között az észlelt szelek télen melegítették, tavasszal, nyáron és évi átlagban hűtötték az ország légtérét. Ősszel a hőmérsékleti advekció értéke nagyon csekély. Az advekció számértékeit (A) planimetrálással határoztuk meg. Ebből a levegő fajhőjével kiszámítottuk az 1—3 km közötti 1 cm² keresztmetszetű függélyes légoszlop advektív hőnyereségét, illetőleg veszteségét az egyes évszakokban és az egész évben (Q). Az adatokat a III. táblázat tartalmazza.

Miután a pilotmérésekben az őszi és a téli évszakban a délies szelek a valóságosnál kisebb számmal vannak képviselve, az őszi advekciónak értéke valószínűleg pozitív, a téli melegadvekciónak a megadottnál néhány %-kal nagyobb, az évi hidegadvekciónak pedig kisebb lehet. Ha tekintetbe vesszük azt a körülményt is, hogy a vizsgált időszakban a troposzféra alsó felének hőmérséklete minden évszakban hidegebb volt a 10 évi időszaknál (1951—1960), azt mondhatjuk, hogy az advektív hőszállítás évi mérlege 1 és 3 km között alig különbözhet a zérustól.

Az 5. ábrában a budapesti rádiós szélérések alapján készített évszakos és évi közepes szélvektorokat, valamint ezek hodográfjait találjuk 1—8 km között az 1959. III.—1963. II.-i négyévi időszakból. A vizsgált időszakban a hőmérsékleti advekciónak tavasszal és nyáron hűtötte, ősszel, télen és végeredményként az egész évre számítva melegítette a troposzférát (IV. táblázat).

Az utóbbi, 4 éves időszakban a troposzféra alsó felének hőmérséklete a nyár kivételével minden évszakban melegebb volt a 10 éves időszaknál. A két táblázat egybevetésével kimondhatjuk, hogy a vizsgált 9 év alatt a szabad légköri advekciónak nyáron hűtötte, télen melegítette légkörünket. Az átmeneti évszakokban tavasszal inkább advektív hűtőhatásra, ősszel melegítő hatásra következtethetünk. Ennek megfelelően a tavaszi fölmelegedésben és az őszi lehülésben az advektív tényezők csökkentették a sugárzás évszakos változásának hatását.

A vizsgált 9 éves időszakból az egész évi advektív hőenergia pozitív vagy negatív jellegére általános következtetést nem vonhatunk, de valószínű, hogy a téli és a nyári félév ellentétes hőmérsékleti advekciónak miatt az 1—8 km közötti légrétegben az évi energiámérleg advektív tagja nagyon csekély lehet.

IV. TÁBLÁZAT

A hőmérsékleti advekciónak Budapestén
1—8 km között (1959. III.—1963. II.)

| Évszak | A ₁₋₈ | Q ₁₋₈ | τ | τ_D |
|---------|------------------|---------------------------|--------------|----------|
| Tavaszi | -5,7°/negyedév | -0,8 Kcal/cm ² | 4,2°/1000 km | 360° |
| Nyári | -28,6°/negyedév | -3,9 Kcal/cm ² | 3,4°/1000 km | 354° |
| Őszi | +50,2°/negyedév | +6,8 Kcal/cm ² | 3,5°/1000 km | 8° |
| Téli | +39,1°/negyedév | +5,3 Kcal/cm ² | 4,0°/1000 km | 27° |
| Évi | +55,0°/év | +7,4 Kcal/cm ² | 3,6°/1000 km | 8° |

Végül a III. és a IV. táblázat utolsó két oszlopában az 1—3 km, illetőleg az 1—8 km közötti légréteg vízszintes hőmérsékleti gradiensének átlagos nagyságát ($\tau^\circ/1000$ km) és a legerősebb hőmérsékletesökkenés felé mutató irányt (τ_D) találjuk 0—360°-os skálában. A két táblázat szerint Magyarország fölött egyöntetűen a legerősebb hőmérsékletesökkenés iránya az északi iránytól nyáron nyugat, télen kelet felé tér el. Ebből arra következtethetünk, hogy az óceán és a kontinens évszakos fölmelegedésének eltérése Magyarország fölött a szabad légkör függőleges széleloszlásában is felismerhető. A vizsgált két időszak átmeneti évszakaiban, valamint évi átlagában a vízszintes hőmérsékletesökkenés kis eltéréssel észak felé irányul a tengeri és szárazföldi hatás gyengülésének, illetőleg kiegyenlítődének megfelelően.

A bemutatott eredmények a vizsgált időszakokra és a troposzféra 1—3 km, illetőleg 1—8 km közötti légrétegre vonatkoznak. Az utóbbi magában foglalja a teljes függőleges légoszlop 56%-át. Az alkalmazott módszer nem adhat tájékoztatást a légoszlop kb 12%-át kitevő 0—1 km közötti és a mintegy 32%-át kitevő, 8 km fölötti légrétegre, minthogy a légkör egyes rétegeiben mind a szél, mind pedig a hőmérsékleti gradiens iránya és nagysága nagyon különböző lehet.

Összefoglalva a vizsgált időszakra és légrétegekre a következőket állapíthatjuk meg:

1. Magyarország fölött felfelé haladva a troposzférában az eredő szélvektor télen W-ről NW felé, nyáron NW-ről W felé fordul. Nagysága télen éri el legnagyobb értékét.

2. A troposzféra közepes vízszintes hőmérsékleti gradiense Magyarország fölött legnagyobb télen, a hőmérsékletesökkenés iránya télen az északi iránytól keletre, a kontinens belseje felé, nyáron nyugatra, az óceán felé tér el.

3. A vízszintes áramlás a tavaszi és a nyári évszakokban hűtő, ősszel és télen melegítő hatású volt. Az évi közepes hőmérsékleti advekción ezek különbségként az 1 km fölötti szintekben nagyon csekély lehet.

4. Magyarország fölött az advektív légátvitel és a belső légkörzés kb. 50—50%-os arányban vesz részt a felső troposzféra cirkulációjában.

5. A troposzféra alsó felében a szélvektor nagyobb szórása miatt a belső légkörzés részaránya az advektív légátvitellel szemben lefelé növekszik, legnagyobb értékét országos átlagban 500 m körül éri el.

IRODALOM

- [1] *Bacsó N.*: Magyarország éghajlata. Akadémiai Kiadó, Budapest, 1959.
- [2] *Baur, F.—Philipps, H.*: Der Wärmehaushalt der Lufthülle der Nordhalbkugel im Januar und Juli und Zeit der Aequinoktien und Solstitien. Gerl. Beitr. z. Geoph., Bd. 42., 45. Leipzig, 1934, 1935.
- [3] *Simpson, G. C.*: The Distribution of terrestrial Radiation. Mem. Royal Met. Soc. II. N. 16. London, 1927.
- [4] *Bucsy J.*: Az optikai- és rádióteodolittal végzett szélmerések összehasonlítása. OMI Hiv. Kiadv. XXVI. Beszámolók (Megjelenés alatt.)
- [5] *Béll B.*: A domborzat széliránymódosító hatásának változása a magassággal. (*A Kárpátok hatása az időjárásra* c. kiadás alatt álló könyv egyik dolgozata.)
- [6] *Berkes Z.*: Az eredő szélvektor és a légátvitel nagysága Magyarországon. OMI Hiv. Kiadv. XV. Beszámolók, 67—82. Budapest, 1952.
- [7] *Bodolai I.—Dési F.*: A hőmérsékleti advekción meghatározása a szabadlégkörben. OMI Hiv. Kiadv. XVIII. Beszámolók, 232—240. Budapest, 1953.
- [8] *Tóth P.*: Nomogram a szabadlégköri hőmérsékleti advekción meghatározására. Időjárás, 65. 23—31. Budapest, 1961.
- [9] *Béll B.*: A termikus szél gyakorlati alkalmazása. OMI Hiv. Kiadv. XV. Beszámolók, 214—225. Budapest, 1952.
- [10] *Brooks, C. E. P.—Carruthers, N.*: Handbook of Statistical Methods in Meteorology. London, 1953.

(A kézirat beérkezett: 1962. dec. 13-án)

*

ADVEKTIVER WÄRMEUMSATZ IN DER FREIEN ATMOSPHÄRE ÜBER DEM KARPATENBECKEN

(*Abgekürzte Fassung*)

Zur Untersuchung des advektiven Wärmeumsatzes im Karpatenbecken werden die Höhenwindmessungen herangezogen, welche an 8 ungarischen Beobachtungsstellen durch visualer Methode und in Budapest durch Rawind ausgeführt wurden. In Tafel I. werden die jahreszeitlichen und jährlichen Werte des resultierenden Windvektors sowie deren Mittelwert für die Schicht zwischen 1 und 3 km Höhe für die 8 Beobachtungsstellen mitgeteilt. Tafel II. enthält dieselben Werte für Budapest, auf Grund der Rawind-Beobachtungen. In der Abb. 1 findet man die jährlichen Werte des resultierenden Windvektors für die einzelnen Stationen; durch die Kurven

werden die Werte der Windwege in der Richtung des resultierenden Windvektors dargestellt, in Prozenten des gesamten Windweges. Die Abbildungen 2. und 3. enthalten dieselben Werte für das ganze Land, bzw. (bis zu einer Höhe von 8 km) für Budapest. Aus einer Betrachtung der Kurven ergibt sich die Folgerung, dass in der oberen Hälfte der Troposphäre etwa 50% der Luftbewegungen sich aus der advektiven Luftversetzung und die weiteren 50% aus der inneren Luftzirkulation des Karpatenbeckens ergeben dürften.

Aus der Veränderung der resultierenden Windvektoren mit der Höhe kann die Temperaturadvektion in den verschiedenen Troposphärenschichten, sowie der Wert des horizontalen Temperaturgradienten errechnet werden (nach Gleichungen 1. und 2.). Zahlenwerte der Advektion wurden aus den Hodographen (Abb. 4.) der mittleren Windvektoren durch Planimetrierung erhalten und auch der advektive Wärmegegewinn eines von 1 bis 3 km Höhe reichenden Luftsäulenabschnitts von 1 cm^2 Durchschnitt wurde errechnet (Tafel III.). Dieselben Untersuchungen wurden auch auf Grund der homogenen Rawind-Beobachtungen von Budapest für Höhen zwischen 1 bis 8 km durchgeführt. Tafel IV. enthält die Werte der Temperaturadvektion (A), den Wärmegegewinn der vertikalen Luftsäule mit einer Grundfläche von 1 cm^2 zwischen den Höhen 1 und 8 km (Q), den Mittelwert des horizontalen Temperaturgradienten für die Schicht zwischen 1 und 8 km (τ) und die Richtung des stärksten Temperaturgefälles (τ_D). Als Endresultat werden folgende Tatsachen angeführt:

1. In der Troposphäre über Ungarn dreht der resultierende Windvektor oberhalb von einer Höhe von 1 km im Winter von W nach NW, im Sommer von NW nach W.

2. Der horizontale Temperaturgradient in der Troposphäre weist ein Maximum im Winter auf, und die Richtung des stärksten Temperaturgefälles zeigt im Winter eine Abweichung von der nördlichen Richtung nach Osten, im Sommer eine solche nach Westen.

3. Die Temperaturadvektion besass im Frühling und Sommer eine abkühlende, im Herbst und Winter eine erwärmende Wirkung. Die mittlere jährliche Wärmeadvektion entspricht der Differenz dieser beiden Einwirkungen und dürfte demzufolge einen sehr geringen Wert besitzen.

4. Der Anteil der advektiven Luftversetzung sowie der inneren Luftzirkulation über Ungarn beträgt annähernd je 50—50%.

5. Entsprechend der grösseren Streuung des Windvektors in der unteren Hälfte der Troposphäre, nimmt der Anteil der inneren Luftzirkulation gegenüber der horizontalen Luftversetzung nach unten hin zu, mit einem Maximalwert, der im Landesdurchschnitt annähernd in einer Höhe von 500 m erreicht wird.