

A 2007. JÚNIUS 25-I SZUPERCELLÁS ZIVATAR ELEMZÉSE

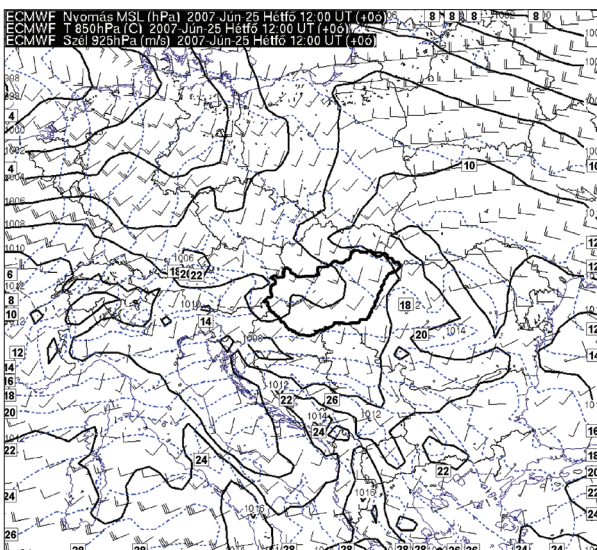
Bevezetés

Az időjárási veszélyjelzések, különösen az ultrarövidtávú (nowcasting) prognózisok készítése során fontos feladat a különösen veszedelmes örvénylő zivatarok, a szupercellák felismerése (Horváth 1997). Egy szupercella átvonulása a legtöbbször orkán erősségű széllel, jégesővel, hirtelen lezúduló jelentősebb csapadékkal jár, néha azonban még tornádók is kialakulhatnak. Ellentétben az átlagos zivatarokkal, a szupercellák többnyire hosszabb élettartamú jelenségek.

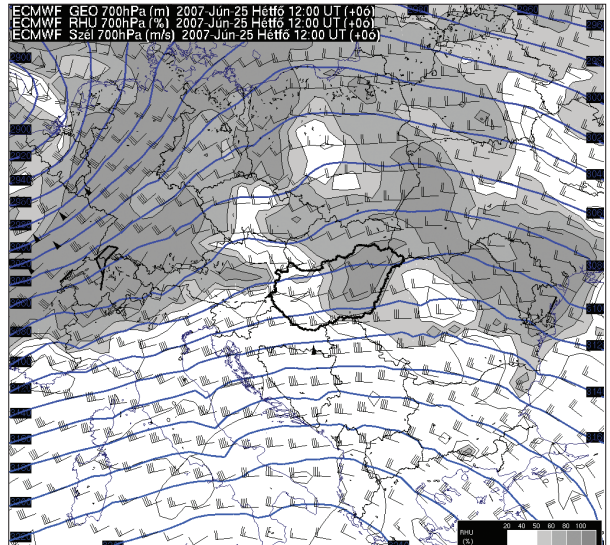
Szupercella volt a 2007. 06. 25. zivatar is, ami Kelet-Szlovákia déli részében keletkezett, majd a magyar-ukrán határ mentén délkeletre vonult és főként Délkelet-Szlovákiában okozott anyagi károkat. Az elmúlt években több írás is foglalkozott a Szlovákiában, Magyarországon illetve Horvátországban előforduló szupercellákkal (Kanák et al., 2007, Mahovic et al., 2007, Horváth et al., 2006) illetve azok nem hidrosztatikus numerikus modellekkel történő előrejelezhetőségével (Horváth et al., 2007). Ebben az írásban egy, az operatív alkalmazásra került nagy felbontású MM5 modell által is sikeresen előrejelzett szupercellás esetet mutatunk be.

Szinoptikus körülmények

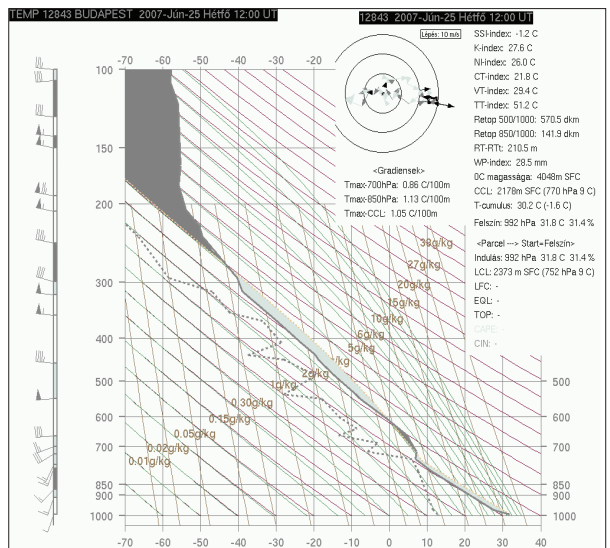
A vizsgált időpontban egy, a középpontjával Nagy-Britannia felett elhelyezkedő ciklon alakította térségünk időjárását, és a 2007. 06. 25. 12 UTC talaj, 925 és 850 hPa ECMWF analíziseken (1. ábra) látható, hogy a ciklonhoz kapcsolódó alacsony nyomású teknő Szlovákia és



1. ábra: Talajszintű légnyomás (folytonos vonal, hPa), 850 hPa hőmérséklet (szaggatott vonal) és 925 hPa szél mező az ECMWF 2007.06.25. 12:00 UTC analízisből.



2. ábra: Geopotenciál (folytonos vonal, méterben megadva), relatív nedvesség (szürke skála) és a szél mező a 700 hPa-os szinten az ECMWF 2007.06.25. 12:00 UTC analízisből.



3. ábra: Budapest-Lőrinc rádiószondás mérés 2007.06.25. 12:00 UTC-kor. A sötét (világos) szürke színek a stabil (instabil) területeket ábrázolják.

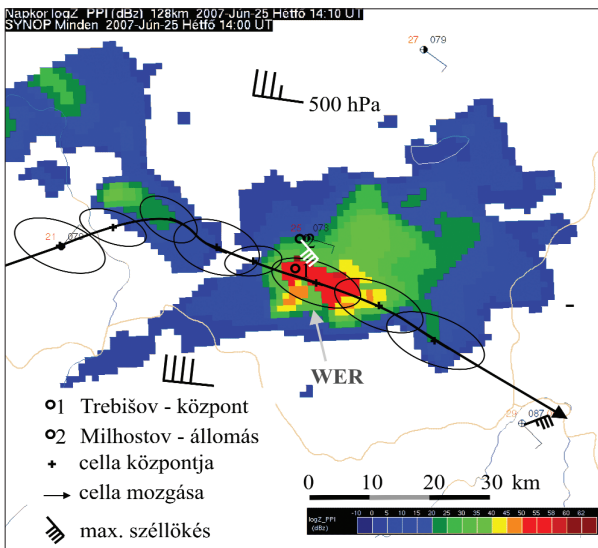
Magyarország fölé is benyúlt. A ciklon előoldalán fújó délnyugati széllel a 925 és 850 hPa-on viszonylag meleg és nedves levegő advektálódott Magyarország és Szlovákia déli része fölé, míg 700 hPa-on szárazabb levegő áramlását lehetett megfigyelni (2. ábra). Ugyancsak a 700 hPa-os szinten a budapesti 12 UTC rádiószondás felszállás szerint egy jelentős inverzió választja ketté az alacsonyabb és magasabb szinteken található instabil rétegeket (3. ábra), ami alapján feltételezhető, hogy a CAPE (konvektív hasznosítható potenciális energia) értéke viszonylag

alacsony, 1000 J/kg alatt volt. Ugyancsak a budapesti mérésen figyelhető meg a viszonylag nagy vertikális szélnyírás (20 m/s szél 500 hPa szinten) amely nemcsak a sebesség változásában, de a szélfordulásban is megtalálható: az inverzió fölött élesen jobbra fordult a szél. A jobboldali szélfordulás keltette örvényesség tengelye az áramlás irányába néz (a szakirodalom erre használja a streamwise vorticity kifejezést), amely tengely feláramlás hatására vertikálisba fordulhat át (ezt tilting mechanism néven említik) és így ciklonális örvényesség alakulhat ki. A szükséges feláramlás legkönnyebben erős zivatarokban jön létre, és ez az oka, ha a zivatar ciklonális forgásba kezd. A fentiekből látható, hogy az időjárási körülmények támogatták a szupercella kialakulását.

Megfigyelések

A legfontosabb megfigyelések a napkori Doppler radar 256 km és 128 km sugarú méréseiből származnak. A zivatarcella eredetét egy alacsony reflektivitású gomolyfelhőben lehetett felismerni, ami Szlovákia területén (Hidasnémeti automata állomástól északnyugatra) 12:10 UTC-kor alakult ki. A felhő eleinte északkeleti irányba vonult, majd 13:30 UTC táján a Slanské vrchy (Szalánc-hegység) környékén a zivatar jelentősen jobbra fordult. Ebben az időben már magas, 55 dBz feletti maximális visszaverődési jeleket mért a radar.

A zivatar 14:00 UTC körül elérte Trebišov (*Töketerebes*) várost, ahol, főleg a város központjában pusztító erejű szélvihart, jégesőt és áradást okozott (*Petrovič, 2007,*

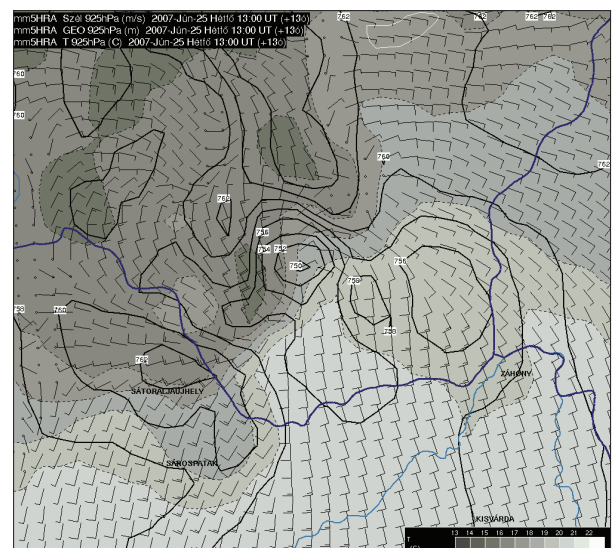


4. ábra: A napkori radar 128 km sugarú reflektivitás mérése (dBz) 14:10 UTC kor és a 14:00 UTC SYNOP jelentés. A nagyméretű szélzászlók az 500 hPa szelet mutatják az ECMWF +3 órás előrejelzés alapján (ECMWF 2007.06.25. 12:00 UTC futtatása). A kisméretű szélzászlók a Milhostov és Záhony állomásokon mért maximális széllökést ábrázolják 14:20, illetve 15:17 UTC kor. Az ellipszisek a zivatar magas reflektivitású (50 dBz feletti) területét ábrázolják, és az ellipszisek központjait összekötendő vonal a zivatar szubjektív módon analizált pályáját mutatja.

Trebišov város honlapja). A szél hat családi házon ledöntötte a tetőt, a vásárcsarnok fémes tetejét felemelte és a szomszéd házra dobta. A viharos szél és heves eső miatt több épületen károk keletkeztek, a városban és városi körzetekben több mint 17 fa kidőlt. A városközponttól kb. 5 km-re északra lévő szinoptikus állomáson (Milhostov városrész) a szél délnyugati irányból (220 fok) délkeletre (130-140 fok) fordult és 14:20 UTC-kor 20 m/s széllökést észleltek (az automata mérés szerint a legerősebb széllökés 14:30 UTC-kor következett be: 17,2 m/s). A zivatar alatt összesen 15 mm csapadékot mértek az állomáson. Ebben a stádiumban a reflektivitási mezőben egy WER (Weak Echo Reflectivity) ekh található a zivatar déli oldalán a 128 km sugarú PPI mérésben (4. ábra), amely több további mérésen is megfigyelhető volt. A zivatarfelhő 15:00 UTC körül a szlovák, magyar és ukrán határhoz helyeződött, Záhony állomáson 15:17 UTC kor 18,5 m/s szelet észleltek. Ezután a zivatar, még mindig a magyar határhoz közel, délkeleti irányba vonult, továbbra is 50-60 dBz reflektivitást mutatva. A zivatar 17:00 UTC körül erősen gyengülni kezdett, keleti irányba fordult, majd szétesett.

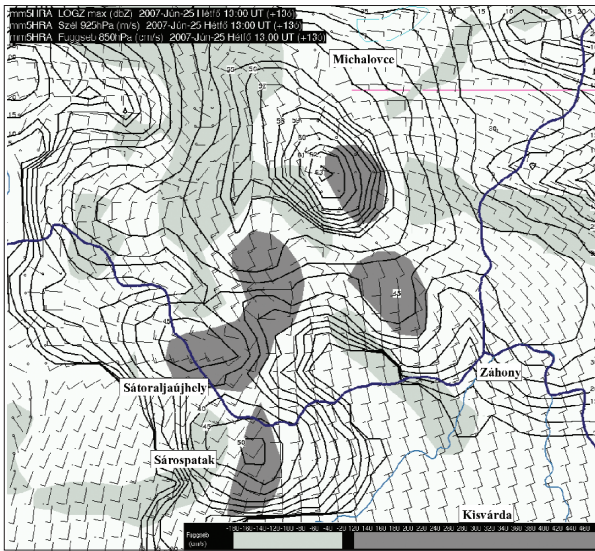
Számítógépes modellezés

Az operatív, 2,5 km felbontású MM5 modell 2007. 06. 25. 00 UTC futtatásában már 12 UTC körül látható a zivatar cella Északkelet-Magyarország és Délkelet-Szlovákia határánál (kb. 30 km-rel keletre a valódi zivatar kialakulási helyétől). A szimulált cellában 925 hPa-os szinten jelentős konvergencia figyelhető meg, valamint egy pszeudofrontális hullám alakulása is analizálható (meleg advekcio a cella délkeleti oldalán, hideg advekcio a cella északnyugati oldalán). A 13:00 UTC képen a zivatar már Délkelet-Szlovákia felett található és szupercellás struktúrát mutat – 925 hPa szinten kimutatható ciklonális örvény a cella



5. a. ábra: Az MM5 modell által 2007.06.25.13:00 UTC-re előrejelzett 925 hPa geopotenciál (folytonos vonal méterben), szél és hőmérséklet (satírozott) mezők.

déli oldalán és az ehhez fűződő pszeudofrontális rendszer. A rendszer melegszeKTorában feltűnő az alacsony reflektivitású levegő beáramlása (5 a. ábra). Az előrejelzett maximális radar reflektivitás (63 dBz) meglepően pontosan megegyezik a megfigyelésekkel (5 b. ábra). Ebben a stádiumban már jelentős (20 m/s) széllokések figyelhetők meg a hideg pszeudofront (gust-front) mögött és a szimulált zivatar is jelentősen jobbra fordult a magassági áramláshoz képest. A mezociklon 14:00 UTC körül 925 hPa szinten a zivatar keleti oldalán található. A szimulált zivatar egészen 16:00 UTC-ig felismerhető és tovább vonul délkeletre, jelentős csapadékot (10–20 mm/óra) produkálva.



5. b. ábra: Az MM5 modell által 2007.06.25.13:00 UTC-re előrejelzett maximális radar reflektivitás (folytonos vonal, dBz), 850 hPa szint függőleges sebessége (világosan satírozott területek a leáramlási zónákat, a sötétebb területek a feláramlási zónákat mutatják), és a 925 hPa szél mezeje.

Következtetések

A zivatar hosszú élettartama (mintegy 5 óra), valamint a vezető áramláshoz képest történő jelentős jobboldali eltérése (15–25 fok az 500 hPa szélirányhoz viszonyítva) nagyon valószínűvé teszi annak szupercellás eredetét (Browning, 1964). Ezt tovább erősíti a radar képeken látható egycellás struktúra, a fordított S alakú pálya és a hosszabb ideig fennmaradó WER ekhó a zivatar déli oldalán. (A WER ekhó a telítetlen levegő mezociklonba történő beáramlásának a következménye.) Megjelenése alapján a zivatar a nagy csapadékot (HP: heavy precipitation) szupercellák osztályába sorolható (Moller et al., 1994).

A Trebišov városban keletkezett károkat legnagyobb valószínűséggel egy nagyon erős leáramlás és az azt követő kifutó szél (downburst) okozta. Ezt a feltételezést támasztja alá az, hogy a város központja a zivatar nagyon magas reflektivitású FFD (Forward Flank Downdraft) szektorába került, így a károkat okozó szelet nagyon heves csapadék is kísérte. Nagy intenzitású légzuhatok

(downburstok) körül a talaj közelében horizontális tengelyű örvény keletkezik, ami lokálisan erős feláramlást és F0–F2 tornádó erejű szelet produkálhat (Fujita, 1985). A HP szupercellákat a klasszikus szupercellákhoz képest ritkábban kísérik tornádók, ráadásul ezeket többnyire nehéz is észlelni, mert a szupercellás mezociklon nagy része csapadékban van.

Az MM5 modell numerikus szimulációja kb. 1 órás időbeli eltérés ellenére nagyon jó térbeli pontossággal követi a zivatar pályáját. Ezzel szemben a lineáris MEANDER nowcasting rendszer nem jelezte előre a cella jobboldali eltérését (viszont, éppen ezért ez az információ is hasznos lehet a szupercella detektálásához). Az örvényesség jól kimutatható a 925 hPa szél mezőben, de a jelenléte felismerhető a középső troposzféra szinteken is (700 és 500 hPa szinteken), ami bizonyítja, hogy szupercellás mezociklonról van szó (csak elegendően mély és elterjedt mezociklon tudja meghatározni a zivatar mozgását és időtartalmát). A 13:00 UTC-s szimulációban látható a meleg és labilis levegő beáramlása a zivatar déli oldalán, ami a 14:00 UTC-kor a valódi zivatarnál megfigyelt WER ekhónak az okozója lehet. A beáramlás valószínűleg fontos szerepet játszott a zivatarfelhő fenntartásában, még akkor is, ha magát a szupercellát főleg a szélnyírásból következő örvényesség transzformáció hozta létre.

A légköri nedvességi viszonyok is nagyban befolyásolják a HP szupercella dinamikus egyensúlyát, és feltételezhető, hogy a 700 hPa-os szinten lejátszódó száraz levegő beáramlás támogatta a hevesebb légzuhatok (downburstok) kialakulását (Brooks et al., 1994a és 1994b). Az Országos Meteorológiai Szolgálatnál alkalmazott MM5 modell operatív verziója is alkalmas volt a szupercella előrejelzésére. (Az MM5 modell 2007 tavasza óta 2.5 km-es horizontális felbontással fut, ami lehetővé teszi, hogy a konvektív folyamatokat parametrizáció nélkül vegyük figyelembe. Ennek köszönhető többek között a szupercellák sikeres szimulációja is.) A részletekbe menő vizsgálatokhoz azonban a fentieknél is részletesebb numerikus vizsgálatokra (pl. a NEST technika alkalmazására) illetve a radarok terén a Doppler mérések elemzésére van szükség.

A fenti vizsgálatok a Jedlik Ányos pályázat támogatásával készültek.

**Horváth Ákos,
Simon André, OMSZ,
Jozef Csaplár (SHMÚ)**

Irodalom:

- Brooks, H.E., Doswell, C.A., Cooper, J., 1994a: On the Environments of Tornadoic and Nontornadoic Mesocyclones. Wea. Forecasting, 10, 606-618
Brooks, H.E., Doswell, C.A., Wilhelmson, R.B., 1994b: The Role of Midtro-pospheric Winds in the Evolution and Maintenance of Low-Level Mesocyclones. Mon. Wea. Rev., 122, 126-136
Browning, K. A., 1964: Airflow and Precipitation Trajectories

Within Severe Local Storms Which Travel to the Right of the Winds, *J. Atmos. Sci.*, 21, 634-639

Fujita, T.T., 1985: The Downburst, Microburst and Macrobust, The University of Chicago, SMRP Research paper Nr. 210, 122 pp.

Horváth, Á., 1997: Tornádó. *Léggör*, 62. 2-9.

Horváth, Á., Geresdi, I., Csirmaz, K., 2006: Numerical simulation of a tornado producing thunderstorm: A case study, *Időjárás*, Vol. 104. 279-297.

Horváth, Á., Geresdi, I., Németh, P., Dombai, F., 2007: The Constitution Day Storm in Budapest: Case study of the August 20, 2006 severe storm, *Időjárás*, 111, 41-63

Kanák, J., Benko, M., Simon, A., Sokol, A., 2007: Case study of

the 9 May 2003 windstorm in southwestern Slovakia, *Atmos. Res.*, 83, 162-175

Mahovic, N. S., Horvath, A., Csirmaz, K., 2007: Numerical simulation of severe convective phenomena over Croatian and Hungarian territory, *Atmos. Res.*, 83, 121-131

Moller, A.R., Doswell, C.A., Foster, M.P., Woodall, G.R., 1994: The Operational Recognition of Supercell Thunderstorm Environments and Storm Structures, *Wea. Forecasting*, 9, 327-347

Petrovič, R., 2007: Mestom sa prehnala búrka (Zivatar söpört át a város felett, szlovákban), Trebišov város honlapja, <http://www.trebisov.sk>

KISLEXIKON

[Cikkeinkben csillag jelzi azokat a kifejezéseket, amelyeket a kislexikonban szerepelnek]

regolit

Kereszturi Á.: *Éghajlatváltozás a Marson*

A szilárd felszínű bolygókon időjárási hatásra vagy meteoritok becsapódása nyomán létrejövő, finom szemcsés közettörmelék-réteg. (A görög eredetű, "borító kőzet" jelentésű szót George Merrill amerikai geológus használta először 1897-ben a különböző – földi – talajféleségek együttes elnevezésére, majd később a Hold, a Mars és más égitestek felszínét borító finom por megnevezése lett.)

illók migrációja

Kereszturi Á.: *Éghajlatváltozás a Marson*

Illékony, azaz a környezet hőmérsékletének és/vagy nyomásának kicsiny változására könnyen gáznemű halmazállapotúvá váló anyagok geológiai skálájú áramlása.

juvenilis vulkán

Kereszturi Á.: *Éghajlatváltozás a Marson*

Fiatal, a legutóbbi földtörténeti korban keletkezett vulkán.

Tharsis

Kereszturi Á.: *Éghajlatváltozás a Marson*

A Mars felszínén az ún. Olympos Monstól 1000 km-re délkeletre húzódó, 5000 km hosszú és 10 km magas fennsík. Három óriási vulkáni pajzs alkotja: az Arsia Mons, a Pavonis Mons és az Ascreaus Mons.

eróziós ráta

Kereszturi Á.: *Éghajlatváltozás a Marson*

A bolygófelszín alakjának megváltozását (geomorfológiai átalakulását) jellemző tényező.

PPM (perfekt prognózis módszer)

Fövényi A.: *Statistikai módszer ...*

Olyan előrejelzési módszer, amelyhez egy numerikus modell előrejelzéseit használjuk prediktor(ok)ként. A prediktor(ok) és a prediktandusz valós (mért) értékei közötti statisztikai kapcsolat ismeretében – feltételezve a prediktor(ok) numerikus előrejelzésének tökéletes pontosságát (perfekt voltát) – adjuk meg a prediktandusz értékét. Az ún. modell output statisztika (MOS) ezzel szemben a prediktorok előrejelzett értékei és a prediktandusz közötti statisztikai kapcsolatra épít.

pontkiszűlés

Szász G. és tsai: *A zivatarok statisztikai elemzése Debrecenben*

Az elektromos áram áthatolása szigetelőanyag rétegen pontszerűnek tekinthető elektromos vezetőszerű jelenlétében. Rendszeres mérését az MTA Geodéziai és Geofizikai Kutatóintézetének munkatársai végzik a nagyeceni Széchenyi István Geofizikai Observatóriumban. A méréshez kis méretű, rozsdamentes acélgömböt használnak. A pontkiszűlés erősségét az egységnyi idő alatt trasportált töltések mennyiségével mérik. Mértékegysége Coulomb/sec.

biotrópikus reakció

Fejes E. és Fülöp A.: *Frontérzékenységi teszt eredmények*

Egy élő szervezetben valamilyen külső hatásra létrejövő élettani elváltozás.

PAL (present atmospheric level)

Koppány Gy.: *Ami kimaradt ...*

Olyan mértékegység egy légköri összetevő mennyiségének meghatározására, ami az adott összetevőnek a jelenlegi mennyiségét tekinti viszonyítási alapnak (present atmospheric level = a jelenlegi légköri mennyiség/szint).

Karbon

Koppány Gy.: *Ami kimaradt ...*

A földtörténeti óidő (paleozoikum, azaz őszilati idő) utolsó előtti időszaka 350-től 280 millió évvel ezelőttig. Ebben az időszakban voltak a legelterjedtebbek a harasztok és a kétéltűek, és ekkor jelentek meg a hullók. A harasztokból képződtek a korunkban is kitermelés alatt álló kőszéntelepek, ezért kapta nevét az időszak a szénről, ami latinul carbonium. Az időszak két részre osztható: első harmada a kora-karbon (más néven mississippi karbon), második része a késő-karbon (más néven pennsylvániai karbon).

fosszilis

Koppány Gy.: *Ami kimaradt ...*

A földkéregben fellelhető, biológiai eredetű (szerves) anyag, ill. az abból készíthető, kémiai energiát hordozó (eléggethető) anyag. Legismertebb formái: szén, kőolaj, földgáz.

Összeállította: Gyuró György