



Változócsillagok

Szupernóvák megfigyelése – hogyan tovább?

A szupernóva-robbanásokról számos cikk jelent meg már a Csillagászati évkönyv (Vinkó József és mtsai., 2001. 218–236.) és a Meteor hasábjain; a legutóbbi pedig a Fizikai Szemlében (Vinkó József, 2006/7. szám). E rövid bevezető fejezet célja nem lehet az, hogy ezeket megközelítő részletességgel elemezze a csillagrobbanásokat, azonban a megfigyelések fontosságának szempontjából mégis szükséges, hogy röviden összegezzük a szupernóvák legfontosabb tulajdonságait.

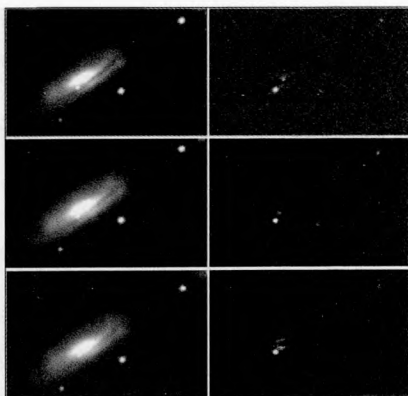
A szupernóvákat két nagy csoportra lehet osztani, melyek teljesen eltérő fizikai folyamatok eredményei. Az Ia típusú robbanások kettős rendszerben alakulnak ki. A folyamat első fázisában általában egy óriáságra fejlődött, általában nagyobb tömegű csillag ad át anyagot egy fősorozati társnak, majd az óriáscsillag végleg elveszíti légkörét. Így az eredeti rendszernél általában szorosabb kettős rendszer jön létre, mely egy fehér törpéből és egy fősorozati csillagból áll. Idővel az immár megnövelt tömegű, egyelőre fősorozati komponens is óriáscsillaggá válik, ekkor ismét anyagáramlás indul meg, most a már fehér törpe komponens felszínére. A fehér törpe tömege tehát növekszik, mígnem a kritikus tömeg elérése után a növekvő tömeg – növekvő nyomás hatására összeroppan. Ezt nagy és heves energiafelszabadulás kíséri, ami a csillagroncs nagy sebességű szétrepüléséhez vezet; a létrejövő radioaktív izotópok pedig látványos fénylésre készítetik a táguló csillaglégkört.

A II-es típusú szupernóvák magányos, nagy tömegű csillagok robbanásának eredményei. Az ilyen csillagok magjában a fúziós folyamatok végighaladnak a hidrogén-hélium fúzió, a hélium további (szén, nitrogén, oxigén) és a keletkezett elemek még további, szilíciumig vezető fúziójának állomásain. A korábbi fúziós folyamatok sem állnak le, hanem átadván a magbéli helyzetet az újabb folyamatnak, egyre kijebb haladva, hagymahéj-szerkezet szerint fölépülve tovább zajlanak a csillagban. A magbéli utolsó folyamat a szilícium igen gyors fúziója vassá, ezt nem követheti további energiatermelő fúzió. Ekkor a csillag magja összeroppan, és neutroncsillaggá vagy fekete lyukká alakul; az Ia típusú robbanáshoz hasonló nagyságrendű energia szabadul föl, és bár a robbanás lefolyása eltér az Ia típustól, végeredményben hasonló okok miatt alakul ki a nagy sebességgel ledobódó és erősen fénylő légkör.

Az utóbbi időben a szupernóvák két okból kerültek az érdeklődés középpontjába. Egyrészt a heves robbanások az asztrofizika fontos vizsgálati területei („a szupernóva mint csillagrobbanás”), másrészt bizonyos kalibrációk után nagy hatótávolságú távolságmérés végezhető velük („a szupernóva mint standardizálható gyertya”). A szupernóvák nem standard gyertyák ugyan (mint korábban gondolták), viszont mind a fénygörbe halványodási üteme, mind a fényességmaximum színe, valamint bizonyos színképi jellemzők összefüggnek a legnagyobb fényességgel. Tehát ezek figyelembe vételével elvileg lehetséges pontos távolságmérés – bár a távolságskala zé-

ruspontja, mint majdnem minden csillagászati távolságmérés esetén, más mérésekkel meghatározandó paraméter marad.

A II-es típusú szupernóvák is alkalmasak távolságmérésre, de más módszerekkel. A spektroszkópiai megfigyelés itt még fontosabb: a fotoszféra sebességéből következtetni lehet ugyanis annak méretére; a méretből és a hőmérsékletből együttesen az abszolút fényességre, mindezeket a látszó fényességgel összevetve pedig a távolságra. Sajnos a mérést sok hibaforrás torzíthatja, ám amennyiben mindezeket sikerül kiküszöbölni, elvileg geometriai távolságmérési módszert kapunk: tehát olyan módszert, ahol a zéruspont meghatározásának kérdése nem vetődik föl.

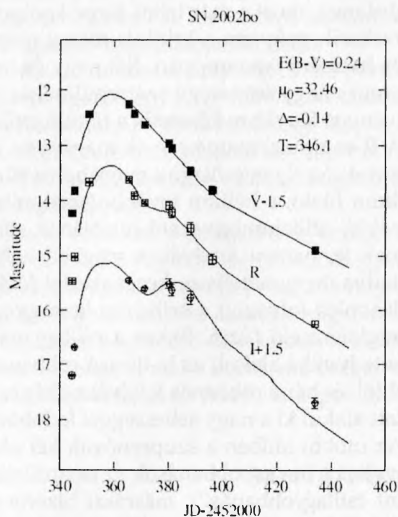


Az SN 2002bo Ia típusú szupernóva V, R, I képeken (fönről lefelé). Jobbra: a kitérés előtt készült kép levonása után pontosabban kimérhető az objektum (a Szegeci Csillagvizsgáló felvételei)

Az amatőr megfigyelések szerepe 2006 előtt

A tradicionálisan amatőr megfigyelő eszköz a szem, a hagyományos amatőr megfigyelések a vizuális észlelések. Ezekre jellemző, hogy széles hullámhossztartományon „készülnek”, és az egyéni színérzékenység erősen befolyásolhatja az eredményt. Különösen igaz ez olyan objektumok esetében, mint például a szupernóvák is, amelyeknek a spektruma jelentősen eltér a csillagokétól, ráadásul még időben gyorsan változik is. Ennek ellenére fontos kiegészítői lehetnek a vizuális adatsorok a régebbi spektrális megfigyeléseknek, hiszen egyéb, pontosabb megfigyelés híján nagyjából tájékozottak a fényességmaximum idejéről és a fénygörbe hozzávetőleges viselkedéséről. Hasonló megállapítást tehetünk a szűrő nélküli szupernóva-megfigyelések terén is, amelyek még egy évtizede is megjelentek egy szupernóva spektrális fejlődését vizsgáló szakcikkekben.

Ahogy később a csillagászat érdeklődése egyre erőteljesebben fordult a szuper-



Az SN 2002bo fénygörbéi. Az illesztett modell alapján meghatározható a távolság, a vörösödés és a maximális abszolút fényesség is

nóvák folyamatos lefedettségű többszín-fotometriája felé, a korábbi fénygörbék helyét kizárólagosan átvették a szűrőzött, kalibrált CCD-adatsorok. Viszont amint az élelmes amatőrök is beszerezték a megfelelő szűrőket, az adatsoraik újfent megjelentek a szakcikkekben. (Általában ehhez az is kellett, hogy az amatőrcsillagászok jó kapcsolatban legyenek az adott kutatócsoporttal, tudjanak egymás munkájáról; vagy ennek hiányában a kutatócsoport szervezzen maga köré amatőrcsillagászokból álló észlelőhálózatot – mindkettőre akadt példa.) Az amatőrcsillagászok jeleskedtek a fényesebb szupernóvák fölfedezésében is, ahol a vizuális módszer és a CCD-kamera egymás mellett maradt versenyképes mind a mai napig.

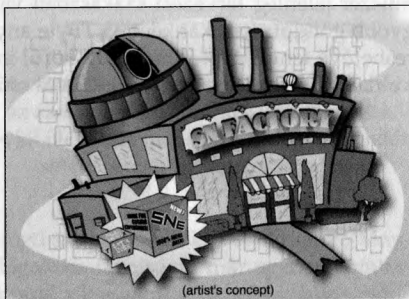
Tervezett szupernóva-felmérések

A terület kiemelkedő fontossága miatt azonban napjainkban több, a közeljövőben pedig még több nagy hatékonyságú felmérést állítanak a szupernóvák megfigyelésének szolgálatába. Ezek (szubjektíve) legfontosabbjait tekintjük át röviden az alábbiakban. (Természetesen ennél jóval több szupernóva-megfigyelő hálózat létezik már napjainkban, most elsősorban a közeljövő nagy terveit legprogresszívebben valóra váltani akaró, égboltfelmérés jellegű programokból válogatunk.)

Supernova Legacy Survey, SNLS. 2003–2006 között működő megfigyelési program a Kanadai–Francia–Hawaii távcső (3,6 méter) közreműködésével. A megfigyelt terület összesen négy négyzetfok, amit négy látómezővel le lehet fedni. A felmérés határ-fényessége 24,5 magnitúdó, amivel 0,1–1,1 vöröseltolódású szupernóvákat lehet megfigyelni. A spektroszkópiai megfigyeléseket az ESO VLT, a Gemini és a Keck távcsövekkel végzik. A program eddig egyelőre csak mintegy 70 Ia típusú szupernóvából álló, válogatott mintát publikált a működés első évéből, de már 1000 fölött jár a megfigyelt szupernóvák száma. A tervezett 5 éves működés alatt végül több mint 2000 szupernóvára számítanak az SNLS vezetői, amiből 700 Ia típusú lesz.

Nearby Supernova Factory. Kiépítés alatt álló felmérés, amely jelenleg a NEAT távcső adataiban keres szupernóvákat, egyelőre szinte kísérleti jelleggel. A közeljövőben megfigyelő hálózat kiépítését tervezik a Hawaii-i Egyetem távcsövével (2,2 méter), a palomari 1,2 méteres Oschin Schmidt-távcsövel, valamint a Nickel 1 méteres és a McDonald 90 cm-es távcsövével. Kis távcsövekkel üzemelő, közeli ($0,02 < z < 0,08$) szupernóvákra specializálódott programról van tehát szó, amelynek határ-fényessége „csak” 21^m . Viszont az egy éjszaka alatt megfigyelhető 500 négyzetfokos égterület miatt máris eredményes a program, csak a NEAT távcsövel 25 szupernóvát fedeznek föl havonta, amikből 10–15 darab Ia típusú.

SDSS II. A 2,5 méteres SDSS-távcsövel 2005–2007 szeptember–november időszakban az egyenlítő közelében húzódó, 120 négyzetfokos SDSS Dél nevű megfigyelési területet figyelik meg, szupernóvákat keresve. Mivel az SDSS „kettő az egyben” (fotometria+spektroszkópia) égboltfelmérés, az azonnali spektrális megfigyelés is

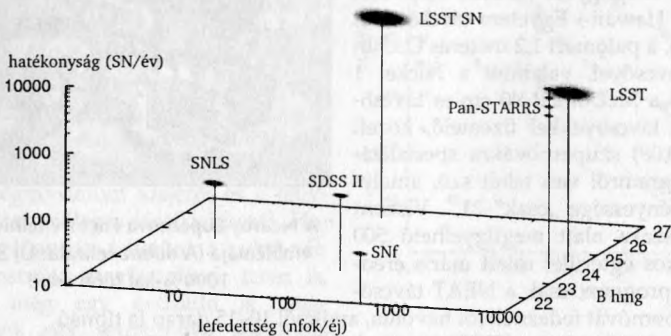


A Nearby Supernova Factory félhivatalos emblémája (A doboz felirata: Új SN-ek!
1000%-kal több adat!

megoldható. Jelenleg közepesen távoli ($0,1 < z < 0,3$) szupernóvák azonosítására alkalmas a program, 3 év alatt 200 szupernóvát remélnék tőle. Azonban a kutatást irányító fiatalok a folytatás céljára már megnyerték a világ legnagyobb távcsöveinek egy csoportját (pl. Keck 10 méter, HE 9,2 méter Texasban, Subaru 8,2 méter, W. Herschel 4,2 méter a Kanári-szigeteken, ARC 3,5 méter, valamint Hawaii-i Egyetem, NMSU, MDM, VATT, WIYN távcsövek), amelyek a későbbiekben hasonló megfigyelési stratégia szerint vehetnek majd részt a felmérés kiterjesztésében.

Pan-STARRS. A Hawaii-i Egyetem 4 darab 1,8 méteres távcsöve végzi majd a 2007–2010-es évek nagy optikai égboltfelmérését. A távcsövekre 1400 megapixeles kamerát szerelnek, műszerenként 3 négyzetfok megfigyelése válik lehetővé; üzemszerű működés esetén végül éjszakánként 5000 négyzetfokot figyelnek majd meg 24 magnitúdó fényességig. Ez azt jelenti, hogy az adott határfényességgel hetente végigméri az egész látható eget! A távcsövek prototípusa a végső felállítási helytől nem messze, Mauiin már működik, az első megfigyelést 2006 júliusában végezték a műszerrel. A teljes hálózat kiépülése esetén évente 5000 szupernóva megfigyelését remélik a kutatók.

LSST. A következő évtized nagy égboltfelmérő-vállalkozása, a Large Synoptic Survey Telescope az SDSS és a Pan-STARRS tapasztalatai alapján készül, mintegy azok tökéletesített változataként. A főműszer egy 8,4 méteres, egytükűrű távcső lesz, amely 15 másodperc expozícióval 24,5 magnitúdóig örökíti meg az eget. A kamerafej emberméretű, 3500 megapixeles CCD-elrendezésű lesz, a műszer látómezeje 10 négyzetfok. 6 színszűrővel folynak majd a megfigyelések, egy-egy égterület megtekintése után a műszer automatikusan a szomszédos égterület felé tekint majd, és újra indul a $6 \times (15+2)$ másodperces megfigyelési program. Ilyen módon az egész eget nagyjából 3 naponta végigméri majd a műszer! Az adatok azonnal, tehát mindenféle technikai vagy tudományos késleltetés nélkül elérhetőek lesznek a világhálón. (Így mindenki szinte úgy érezheti majd: „van egy nyolcméteres távcsövem a kert végében...”) A műszer jelenleg tervezési szakaszban van, az adatkezelés okozza egyelőre a legnagyobb gondot: éjszakánként 35 TByte anyagot kell éveken keresztül archiválni, és kezelhetővé tenni! A program 2012 körül indul, ha az anyagi feltételek optimálisnak alakulnak. Kedvezőtlen esetben 1–2 éves csúszásra természetesen számítani lehet.



A cikkben bemutatott szupernóva-programok hatékonysági jellemzői. (A korongok a használt műszer átmérőjével arányosak)

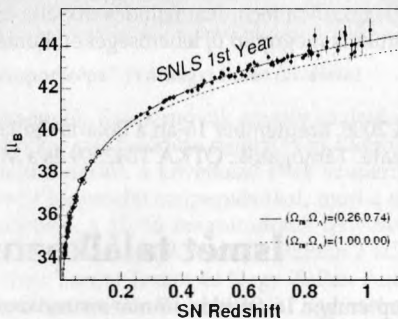
A várakozások szerint az LSST föl fogja fedezni a Földre veszélyes összes kisbolygót, a főövben lévő kisbolygókat 500 méter átmérőig, az RR Lyrae változócsillagokat 1,4 millió fényéven belül, a mira változókat 2,5 millió fényéven belül, évente fölfedez és kimér 3500 szupernóvát. A program egy töredékidejében 10–20 perces expozíciókkal galaxishalmazok irányába végeznek megfigyeléseket (5 látómező, 50 négyzetfok), amelynek eredményeképpen még 10 ezer szupernóva fölfedezése várható évente, az az évente egy nagyságrenddel több, mint 2006-ig összesen!

Hogyan tovább?

A már aktív és tervezett szupernóva-programok alapján az észlelő amatőr csillagász nem teljesen ok nélkül gondolhatja úgy, hogy „a jövőnek holdas fátyolában ijesztő képek réme” tűnt föl. A rém konkrétan azt jelenti, hogy azzal a hatalmas észlelés-mennyiséggel, ami legrosszabb esetben sem több, mint 5–6 év múlva várható, a jelenlegi amatőr műszerekkel egyáltalán nem lehet versenyezni. Nyilvánvaló, hogy itt majd az amatőr csillagászatnak kell a „szakmához” alkalmazkodnia, vagyis (ismét) változtatni kell az észlelések eddigi stratégiáján. Erre az az 5–6 éves átmeneti időszak lenne a legalkalmasabb, amely még előttünk van a nagy változások előtt.

Az amatőr észlelések hasznosíthatóságának egyik reménysugara az, hogy az LSST előtt az égbolt legnagyobb részén nem lesz hetente egy megfigyelésnél sűrűbb időbeli lefedettség. Az LSST korszakában a mintavételezés mintegy 3 napos gyakoriságúvá válik, ami még mindig nem folyamatos megfigyelés. A másik lék az LSST-szerű megfigyelési stratégián az, hogy a dinamikai tartomány szélsőségesen eltolódik a halvány objektumok felé: például a 14–15 magnitúdónál fényesebb objektumok nemes egyszerűséggel beégnék az LSST képein. Harmadrészt pedig, nyilvánvaló, hogy az LSST-szerű programok önmagukban nem tudják megoldani az Ia típusú szupernóvák kalibrációjával kapcsolatos gondokat, hiszen a legközelebbi, 15^m -nál halványabb maximális fényességű szupernóvák kb. 40–80 millió fényévnél távolabb figyelhetők meg, ahol a szülőgalaxis távolságát már egyre pontatlanabban lehet meghatározni. A közelebbi szupernóvák esetén, ahol még számos módszerrel meg lehet határozni a szülőgalaxis távolságát (és így remélhető, hogy némiképpen pontosabban is), épp a maximum környékét szalasztják majd el az automata égboltfelmérések, amely szakasz viszont a távolságmérés és a távoli szupernóvák kalibrációjának alfája és omegája lenne.

Tehát a jövő leghasznosabb megfigyelései a közeli, fényes szupernóvák részletes, pontosan kalibrált és időben folyamatosan lefedett időszakai lesznek. Ennek technikai feltételei, színszűrők beszerzése, pontos korrekciós képek készítése, körültekintő „standardozás”, transzformálás, elvileg ma is megvalósíthatók, bár alkalmazásuk az amatőr csillagászati gyakorlatban még nem terjedt el. A CCD-kamerával dolgozó



Az SNLS első évének szupernóva-adatai és az azokra illesztett kozmológiai modellek. A jól illeszkedő modell kozmológiai állandók (sötét energia) és anyagot tartalmaz, 0,74:0,26 arányban

amatőröknek erre kellene koncentrálni az elkövetkező években, ha szeretnék, hogy adataikat néhány év múlva még mindig lehessen hasznosítani.

Egy másik lehetséges megfigyelési terület a szupernóva-vadászok számára nyílik meg: éppen kiemelkedő jelentőségük miatt nagyon fontos lenne, hogy sok nappal a maximum előtt fölfedezzék a közeli szupernóvákat. Ez a program gyakorlatilag a legközelebbi galaxisok napi rendszerességű végigmérését jelenti. Igaz, hogy nem várható igazán gazdag trófeagyűjtemény ebből a programból, hiszen a számba vehető objektumok száma kb. évente kettő, viszont nem baj, ha akár száz független fel-fedezője van egy közeli szupernóvának, hiszen cserében pontosítani lehet az Ia típusú szupernóvák abszolút fényességének kalibrációját. Harmadrészt pedig el lehetne gondolkodni annak lehetőségén, hogy a profi észlelőhálózatok korábban amatőr észlelőhálózatokkal hogyan lehetne megsokszorozni az észlelési programban részt vevő amatőrcsillagászok hatékonyságát.

A legjobb mai amatőr csillagvizsgálók, a technikai lehetőségeket tekintve, versenyképesek lehetnek egy átlagos kisebb obszervatóriummal. Ez a CCD-kamerák alkalmazása előtt nem volt könnyen megvalósítható, ilyen szempontból tehát az elmúlt évtizedek fejlődése jelentősen megnövelte az amatőrök lehetőségeit. A kérdés az, hogy a jövőben folytatódni fog-e ez a folyamat, és ha igen, meddig bírják az amatőrcsillagászok a technikai fejlődés diktálta iramot, vagyis meddig tudják kihasználni az előttük is megnyíló új lehetőségeket. Remélhetőleg még elég sokáig.

SZABÓ M. GYULA

A 2006. szeptember 16-án a Polaris Csillagvizsgálóban elhangzott előadás írásos változata. Támogatók: OTKA T042509 és a Magyary Zoltán Felsőoktatási Közalapítvány.

Ismét találkoztunk a Polarisban

Szeptember 16-án idén immár másodszor gyűltek össze a változozás iránt érdeklődők az óbudai Polaris Csillagvizsgálóban (sőt, az Arne Hendennel való találkozással együtt már harmadszor). A rendezvény apropóját a Julián Dátumban a rákövetkező héten bekövetkezett ezresváltás (illetve a rovatvezető Magyarországon tartózkodása) adta. A programot sikerült ismét változatos előadásokkal színesíteni, melyek jelentős része a változócsillagászathoz csak közvetetten kapcsolódott. A vendégkönyv tanúsága szerint kb. 50 fős közönség szerencsére jól bírta a gyűrődést, amit az óránként tartott rövid szünetek nagyban elősegítettek.

Az első három előadást az akadémiai csillagászati kutatóintézet munkatársai tartották, ami a szakma és a nagyközönség kommunikációjának szép példáját adta.

Közülük elsőként Dr. Szeidl Béla tekintette át az IAU prágai közgyűlése kapcsán a Nemzetközi Csillagászati Unió történetét, szerepét és felépítését, külön kiemelve az IAU történetének magyar vonatkozásait. Utána Dr. Jurcsik Johanna a legmélyebb változós vizekbe vezette a közönséget, ugyanis a felújított és automatizált svábhegyi 60 cm-es távcsővel végzett változócsillagászati eredményekről tartott egy lendületes előadást. Talán meglepő, de a budai hegyekben akár évi 100–120 éjszakán lehet század magnitúdó pontosságú CCD fotometriai méréseket végezni, amelyek alapján az intézeti kutatócsoport a Blazskó-effektust mutató RR Lyrae-k területén világszínvonalú eredményeket tud felmutatni.

Rövid szünet után Dr. Szabados László két, hétszáztrillió mérföldes lépést hátrébb lépve a Tejútrendszer szerkezetével kapcsolatos új eredményekről beszélt. Az elmúlt években teljesedtek ki a Galaxis sokhullámhosszú felméréseinek eredményei, melyek alapján túlzás nélkül állíthatjuk, hogy egy új Tejútrendszer képe kezd kialakulni.



A szeptember 16-i találkozó „hivatalos csoportképe” (Várhegyi Péter felvétele)

Az „ebédszünet” után felpörögtek az események. Szupernóvák amatőr észlelése – van-e még értelme a csillagászati műszertechnikai mai fejlődése mellett? Ezt a kérdést járta körbe Dr. Szabó M. Gyula (SZTE), s mint kiderült, a következő évek szupernóva-dömpingje mellett is érdemes lesz követni a fényesebb szupernóvákat, mert a sok méteres távcsöveket használó programok számára a 15–16 magnitúdónál fényesebb csillagok már a CCD-ket telítésbe vivő túl fényes objektumok lesznek. Ezután a találkozó legklasszikusabb amatőr előadását tartotta Tordai Tamás és Nagy Zoltán Antal, akik a Polarisból végzett exobolygóátvonulás-mérésekről beszéltek. Egyértelmű, hogy a század magnitúdós pontosság már amatőr eszközökkel is meglepően könnyen elérhető, akár fővárosi ég alól is.

Székely Péter (SZTE) idén négy hónapot Ausztráliában töltött a Magyar Állami Ösztöndíj Bizottság támogatásával. Előadásában az Angol-Ausztrál Teleszkóppal végzett spektroszkópiai megfigyeléseiről beszélt, melyekkel öt déli gömbhalmaz 2 fokal környezetében összesen 10 800 csillag sebességét mérte meg. A cél a gömbhalmazokból „elkóborolt” csillagok megkeresése volt, mellékeredményként pedig meghatározható a halmazok össztömege. Ezt ellenpontozta Dr. Hegedűs Tibor (BKKMÓ CSKI), aki visszatért a klasszikus változócsillagászathoz, azon belül is a fedési kettőscsillagok méréseihez. CCD kamerás amatőrök a szakma által is nagyra értékelt munkát végezhetnek – jó lenne látni a hazai közösségekben is az ez irányú érdeklődés feltámadását.

A napot Kiss László és Szalai Tamás előadásai zárták, melyek a félszabályos vörös szuperóriások fénygörbe-analízisétől a TW Hya fiatal csillag színképi változékonyságáig terjedtek. A jó hangulatú, az interneten is közvetített találkozó összességében rendkívül sikeres volt, melyet az időjárás rosszra fordulásának köszönhetően nem tudtunk esti észlelésekkel lezárni.

KSL