

MONITORING JASU NOČNEJ OBLOHY

Pavol Rapavý^{1,2,3}, Peter Begeni^{2,3}

¹ Hvezdáreň v Rimavskej Sobote

² Slovenský zväz astronómov amatérov

³ Slovenská astronomická spoločnosť pri SAV

Abstrakt: Svetelné znečistenie je vážnym problémom modernej civilizácie. Jeho monitorovanie a prognózovanie je dôležité nielen pre astronómov, ale aj pre iné odbory (biológia, ekológia, medicína, ekonomika a pod.). V príspevku sú popísané spôsoby určovania jasú nočnej oblohy so zameraním aj na tie najjednoduchšie, ktoré nevyžadujú prístrojové vybavenie.

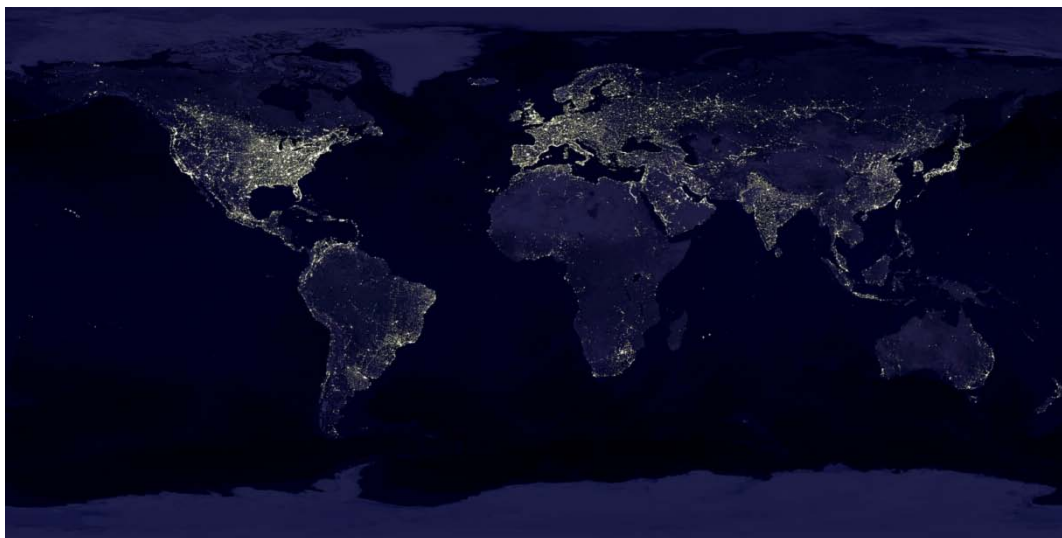
Kľúčové slová: svetelné znečistenie, jas nočnej oblohy, Sky Quality Meter

Úvod

Svetelné znečistenie (Rapavý, 2009 a, b) je súhrn nepriaznivých vplyvov umelého osvetlenia na životné prostredie, biosféru, zdravie, ekonomiku, astronómiu a pod. Meranie jasú nočnej oblohy od polovice minulého storočia poukazuje na jeho každoročný nárast, ktorý má exponenciálny charakter. Monitorovanie súčasného stavu a predpovede sú potrebné pre viaceré vedné odbory, predovšetkým pre vplyv na nočné ekosystémy. Jas nočnej oblohy sa udáva v jednotkách mag/arcsec² (MAS).

Jas nočnej oblohy a mapy svetelného znečistenia

Prvý globálny obrázok Zeme z vesmíru (Earth at night – obr. 1) urobil Sullivan (1989), ktorý ho získal spracovaním fotografií z družice Defense Meteorological Satellite Program (DMSP) z rokov 1974 – 1984 v pásme vlnových dĺžok 400 – 1100 nm. Rozlíšenie originálu je 10 km.

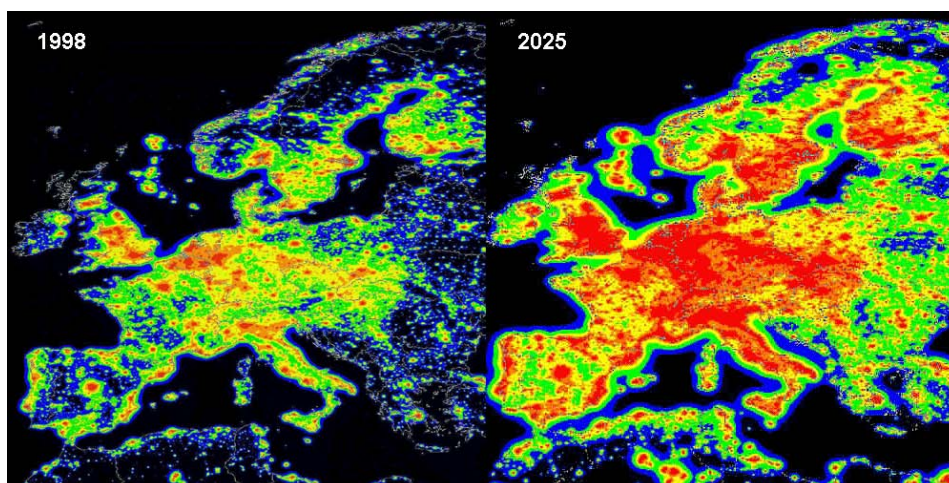


Obr. 1: Zem v noci, snímka spracovaná z dát družice DMSP

Satelitné údaje však priamo neposkytujú žiadne informácie o svetelnom znečistení. Tieto snímky priamo poskytujú informáciu iba o množstve svetla vyžiareného do vesmíru a nie o množstve svetla rozptýleného v atmosfére, čím je jas nočnej oblohy spôsobený. Satelitné údaje nezohľadňujú vplyv atmosféry, rozptyl, nadmorskú výšku, terénny profil a pod. Prvý projekt mapovania jasú oblohy v Európe spracoval v roku 1999 Cinzano et al. (2000). Projekt mapoval jas

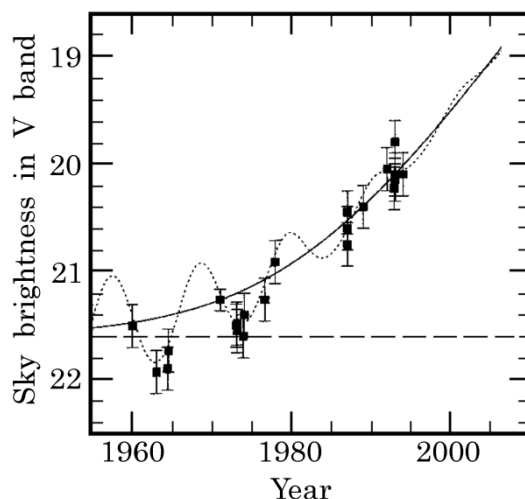
oblohy v Európe s rozlíšením lepším ako 3 km a porovnával aktuálne hodnoty (rok 1998) s dostupnými údajmi z roku 1971 a vypracoval predpoveď pre rok 2025.

Prvý (a zatiaľ jediný) svetový atlas svetelného znečistenia (obr. 2) publikoval Cinzano, Falchi & Elvidge (2001). Je výsledkom spracovania satelitných dát DMPS a zložitého modelovania šírenia svetla v atmosfére, predstavuje umelý jas oblohy v zenite prepočítaný na hladinu mora. Metodiku spracovania satelitných údajov s vysokým rozlíšením popísali Cinzano & Elvidge (2004).



Obr. 2: Mapa svetelného znečistenia (Európa), stav v roku 1998 a prognóza pre rok 2025

Exponenciálny nárast svetelného znečistenia bol prvýkrát exaktne zdokumentovaný z dlhodobých meraní (1960 – 1995) v severozápadnom Taliansku na Asiago Astronomical Observatory a Ekar Astronomical Observatory (Cinzano, 2000). Podrobné údaje umožnili stanoviť aj koreláciu jasú nočnej oblohy so slnečnou činnosťou (obr. 3).



Obr. 3: Nárast svetelného znečistenia – jas nočnej oblohy vo vizuálnej oblasti spektra. Bodkovaná krivka koreluje s cyklom slnečnej aktivity (Cinzano, 2000).

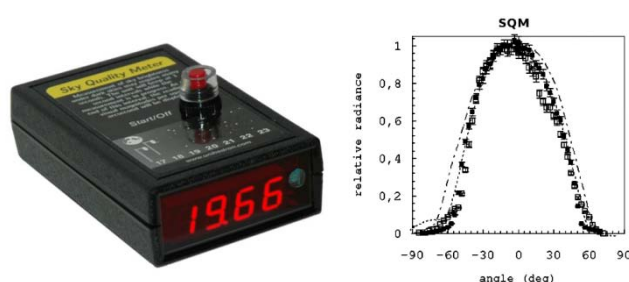
Počas maxima slnečného cyklu je jas nočnej oblohy zvýšený o hodnotu asi $0,5 \text{ mag/arcsec}^2$ v dôsledku vlastného svetelného žiarenia atmosféry (airglow, nightglow). Tento jav objavil ešte v roku 1868 A. Ångström a od roku 2009 toto žiarenie študuje aj švajčiarska družica SwissCube-1. Jedným z mechanizmov tohto žiarenia je rekombinácia iónov kyslíka a dusíka, ktoré boli počas dňa ionizované ultrafialovým žiarením, luminiscencia spôsobená kozmickým žiarením ako aj vznik oxidu dusnatého s následnou emisiou fotónu.

Metódy meranie jasú nočnej oblohy

1. Sky Quality Meter

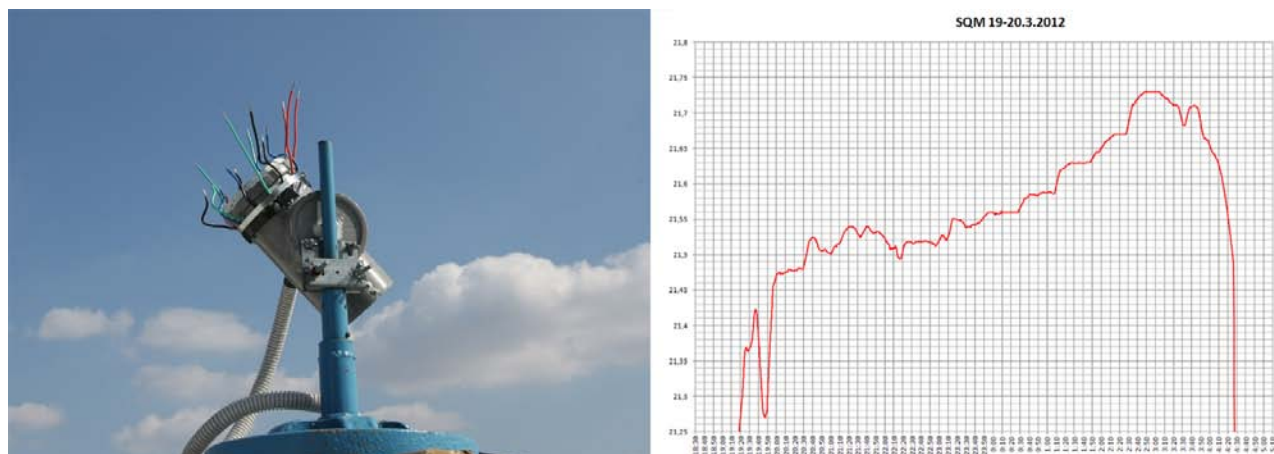
Sky Quality Meter (SQM) je finančne nenáročný vreckový jasomer na meranie jasú nočnej oblohy, ktorý udáva hodnotu jasú priamo v jednotkách mag/arcsec² (MAS). Výrobca Unihedron (Grimsby, Ontario, Canada, <http://unihedron.com>) ponúka niekoľko typov. Pre ručné merania sú k dispozícii SQM a SQM-L (obr. 4). Zorné pole (Full Width Half Maximum – FWHM) SQM je ~84°, SQM-L ~20°. O oblastiach s malými gradientami jasú je vhodný typ SQM, kde jedno merania umožní určiť hodnotu jasú nočnej oblohy.

Metodikú merania popísal Kohout (2008), ktorý je aj autorom českého Projektu mapování jasú noční oblohy. Fotometriu pomocou SQM a porovnanie SQM s laboratórnym fotometrom popísal Cinzano (2005). Pre permanentné systematické merania sú k dispozícii merače prepojiteľné s externými zariadeniami (SQM-LU, SQM-LU-DL, SQM-LE, SQM-LR).



Obr. 4: Sky Quality Meter (FWHM ~84°)

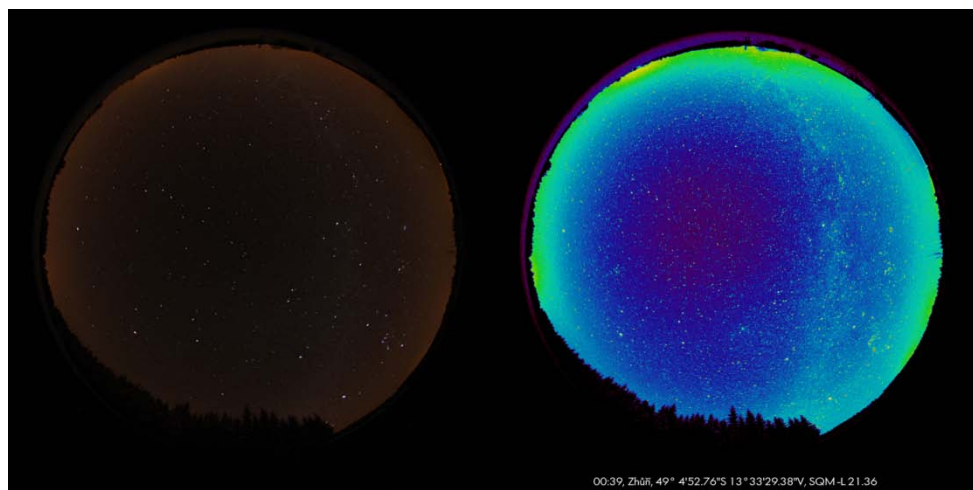
Na Slovensku je od roku 2010 v Parku tmavej oblohy Poloniny, na Astronomickom observatóriu na Kolonickom sedle, v činnosti plne automatizovaný merač jasú oblohy (Ďuriš, 2011) a od roku 2012 aj na Astronomickom ústave SAV na Skalnatom Plese. (obr. 5).



Obr. 5: Automatizovaný merač na AO Kolonické sedlo a ukážka záznamu.

2. Digitálne fotoaparáty/CCD

Na fotometriu je možné využiť bežné fotoaparáty, ktoré sú schopné ukladať dáta vo formáte RAW. Metodiku spracovania rozpracoval Hollan (2006 a, b), a tak použitím softvéru je možné mať z fotoaparátu vedecký prístroj pre viacfarebnú fotometriu. Touto metódou sa monitoruje jas nočnej oblohy v chránených oblastiach Českej republiky v rámci grantu O2 Thing big Kohout (2012). V Maďarsku meria Kolláth (2010) pomocou digitálnych kamier a s použitím vlastného softvéru jas oblohy v Hortobágy Starry Sky Park a Zselic Landscape Protection Area. Obdobné merania sú plánované aj Parku tmavej oblohy Poloniny.

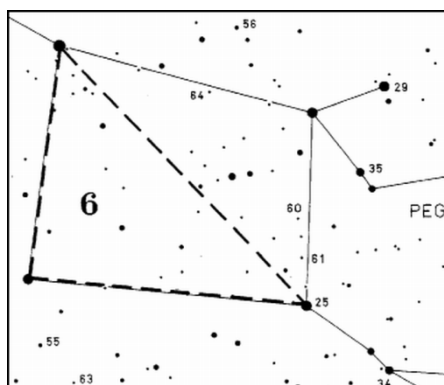


Obr. 6: Porovnanie RAW a spracovanej snímky (Kohout, 2012)

3. Vizuálne pozorovanie

3. 1. Určovanie m_hv

Jas oblohy je možné nepriamo určiť aj hodnotou limitnej magnitúdy (medznej hviezdnej veľkosti - m_hv). Jedná sa o určenie hviezdnej veľkosti najslabšej, voľným okom viditeľnej hviezdy pomocou mapy hviezdnej oblohy. Tento spôsob je využívaný hlavne pozorovateľmi meteorov. Údaje jednotlivých pozorovateľov sa však často líšia, sú závislé od skúseností, zrakovej ostrosti, chýb oka a pod. Jedná sa teda o subjektívny údaj, ktorý dáva len pomerne hrubú predstavu o pozorovacích podmienkach. International Meteor Organization (IMO) odporúča relatívne jednoduchší spôsob počítania hviezd v niektorej z 30 presne definovaných oblastí oblohy ohraničených jasnými hviezdami. Problémy takéhoto určovania medznej hviezdnej veľkosti analyzovali Gerboš, Rapavý & Znášik (1996).



Obr. 7: Určovanie m_hv podľa metodiky IMO (súhvezdie Pegas)

3. 2. Bortleho stupnica

Bortle (2001) publikoval deväťbodovú stupnicu tmavosti oblohy, ktorá nie je natoľko závislá na pozorovateľovi a poskytuje dobrú predstavu o kvalite nočnej oblohy. Jednotlivé stupne Bortleho škály popisujú viditeľnosť či neviditeľnosť objektov a úkazov na oblohe, vrátane prejavov svetelného znečistenia. Preklad Bortleho stupnice aj s komentárom urobil Bareš (2007).

4. Popularizačno náučné projekty

4. 1. GLOBE at Night

GLOBE at Night (GaN) je od roku 2006 celosvetovým projektom s cieľom zvýšiť povedomie verejnosti o vplyve svetelného znečistenia. Je jedným z najúspešnejších projektov svojho druhu,

koordinuje ho US National Optical Astronomy Observatory a podporuje niekoľko ďalších významných inštitúcií. Záujemca o pozorovanie počas astronomickej noci v štyroch, každoročne určených, obdobiach porovnáva mapku súhvezdia Orión alebo Lev s reálnou oblohou. Pozorovanie sa odosiela pomocou webovej aplikácie. Do programu je od roku 2011 zapojené aj Slovensko (<http://globeatnight.svetelnezneistenie.sk/>).

4. 2. How many stars...?

Projekt „Koľko hviezd ešte vidíme ...?“ vznikol v roku 2009 pri príležitosti Medzinárodného roku astronómie, koordinuje ho IDA-Section Austria (Verein Kuffner-Sternwarte, Wien). Projekt je celoročný, obdobný GaN, referenčnými súhvezdiami sú Malý voz, Orión a Kasiopeja.

Pomocou webovej aplikácie možno posielať aj údaje namerané pomocou SQM. Do programu je od roku 2011 zapojené aj Slovensko (<http://svetelnezneistenie.sk/stars/>).

Čo je možné vidieť na prírodne tmavej oblohe

- voľným okom sú viditeľné hviezdy 7,5 – 8 mag .
- Mliečna cesta je výrazná, s bohatými štruktúrami pripomínajúcimi mramor, jej najjasnejšie časti dokážu vrhať na zem rozmazaný tieň.
- pozorovateľné sú mnohé objekty nočnej oblohy, galaxia M33 je dobre viditeľná aj priamym pohľadom.
- zodiakálne (zvieratníkove) svetlo je výrazné, vrhá tieň. Pozdĺž ekliptiky je pozorovateľný zodiakálny pás a v antisolárnom boje je zjasnený do protisvitu.
- pozdĺž obzoru vo výške okolo 10° je pozorovateľné zjasnenie – airglow

Takéto pozorovanie nie je skúškou kvality zraku, ale kvality pozorovacích podmienok.

Záver

V príspevku sme stručne popísali dostupné metódy určovania jasnosti nočnej oblohy, ktoré určujú mieru svetelného znečistenia. Jas nočnej oblohy môžeme určiť niekoľkými metódami, niektoré nevyžadujú finančne náročné technické prístroje. Záujemca o meranie jasnosti oblohy má možnosť použiť metódu, ktorá ho nestojí žiadne financie. Prípadne môže využiť technické prístroje, ktoré už vlastní alebo má k dispozícii (napr. digitálny fotoaparát).

Ochrane existujúcich aj potenciálnych pozorovacích miest sa venuje 50. komisia Medzinárodnej astronomickej únie (IAU Commission 50). Slovensko v nej zastupuje J. Žižňovský z Astronomického ústavu SAV.

Obsiahlejší zoznam literatúry posluží vážnejším záujemcom pri štúdiu danej problematiky.

Literatúra

- [1] BAREŠ, M., 2007. Bortleho stupnice (Bortle scale) a světelné znečištění. Dostupné na <<http://www.nitelite.eu/observing/bortle.htm>>
- [2] BORTLE, J. E., 2001. Introducing the Bortle Dark-Sky Scale, Sky&Telescope, February 2001, pp.126 – 129, Sky Publishing Corp. 2000
- [3] CINZANO, P., 2000. The growth of the light pollution in north-eastern Italy from 1960 to 1995, Measuring and Modelling Light Pollution, ed. P. Cinzano, Mem. Soc. Astro. It., vol.71, 159 – 166 (2000)
- [4] CINZANO, P., 2005. Night Sky Photometry with Sky Quality Meter, ISTIL Internal Report n. 9, v.1.4 2005, ISTIL, Thiene. Dostupné na: <http://unihedron.com/projects/darksky/sqmreport_v1p4.pdf>
- [5] CINZANO, P. – ELVIDGE, C., D., 2004. Night sky brightness at sites from DMSP-OLS satellite measurements, Monthly Notices of the Royal Astronomical Society, 353, 1107-11167 (2004)

- [6] CINZANO, P. – FALCHI, F. – ELVIDGE, C. D., – BAUGH, K. E., 2000. Mapping the artificial sky brightness in Europe from DMSP satellite measurements: the situation of the night sky in Italy in the last quarter of century, Mem. Soc. Astron. Ita., 71(4), p.149-1159 (ISSN 0037-8720)
- [7] CINZANO, P. – FALCHI, F. – ELVIDGE, C., D., 2001. The first world atlas of the artificial night sky brightness, Monthly Notices of the Royal Astronomical Society, 328, p. 689 – 707 (ISSN: 0035-8711)
- [8] ĎURIŠ, P., 2011, First results of continuous night sky brightness monitoring at Astronomical observatory at Kolonica Saddle, International Conference Kolos 2011, Astronomy and other Natural Sciences in the Life of Society, 2011 December 01–03, poster. Dostupné na: <<http://poloniny.svetelneznecistenie.sk/wordpress/wp-content/uploads/posterKolos2011.pdf>>
- [9] GERBOŠ, J., – RAPA VÝ, P., – ZNÁŠIK, M., 1996. Problems of limiting magnitude determination in meteor observations. WGN, Vol. 24, No. 1 - 2, p. 42 – 46
- [10] HOLLAN, J., 2006a. RGB radiometrie digitálnymi fotoaparátmi. In Workshop Nedestruktívny testovány v technických oborech, Brno: VUT v Brně., 2006, ISBN 80-7204-487-7, s. 31-37. Dostupné na <<http://amper.ped.muni.cz/light/luminance/czech/>>
- [11] HOLLAN, J., 2006b. Digital imaging photometry with “non-scientific” cameras offering raw data formats. Dostupné online < <http://amper.ped.muni.cz/light/luminance/> >
- [12] KOHOUT, V., 2008. Projekt mapovány jasu nočny oblohy, dostupné online na: <<http://skyquality.com/>>
- [13] KOHOUT, V., 2012. Výzkum a popularizace světelného znečistěny II., osobná komunikácia
- [14] KOLLÁTH, Z., 2010. Measuring and modelling light pollution at the Zselic Starry Sky Park. 5th Workshop of Young Researchers in Astronomy & Astrophysics, Journal of Physics: Conference Series 218 (2010) 012001, doi:10.1088/1742-6596/218/1/012001. Dostupné online:< http://iopscience.iop.org/1742-6596/218/1/012001/pdf/1742-6596_218_1_012001.pdf>
- [15] RAPA VÝ, P., 2009 a. *Svetelné znečistenie*. Tvorivý učiteľ fyziky II, Národný festival fyziky 2009, Košice: 2009, s. 135 – 145, ISBN 978-80-969124-8-3
- [16] RAPA VÝ, P., 2009 b. *Svetelné znečistenie*. Československý časopis pro fyziku, 5, s. 296 – 299. ISSN 0009-0700
- [17] SULLIVAN, W. T., 1989. A 10 km resolution image of the entire night-time Earth based on cloud-free satellite photographs in the 400 – 1100 nm band, International Journal of Remote Sensing, Vol. 10, Issue 1, 1989, DOI: 10.1080/01431168908903843

Adresy autorov

RNDr. Pavol Rapavý
KHaP MH - Hvezdáreň v Rimavskej Sobote
Tomášovská 63
979 01 Rimavská Sobota
astrors@astrors.sk

RNDr. Peter Begeni
Slovenský zväz astronómov amatérov, Slovenská astronomická spoločnosť pri SAV
Tomášovská 63
979 01 Rimavská Sobota
begi@begi.sk