

Matematická dokumentace k podprogramu pro určování viditelnosti DSO

Vytvořeno za značného přispění Open AI (Chat GPT).
Poslední úprava 21.3.2026

Databáze

Základ databáze objektů byl převzat z:

<https://www.deepskywatch.com/files/dso-guide/DSO-guide-best650-const-mag.pdf>

Některé objekty ale byly ručně upraveny, protože vypočtená viditelnost neodpovídala realitě.

Databáze DSO obsahuje celkem 662 objektů a je součástí zdrojáku ("dso_db.ino") jako pole konstant 'pole_DSO[]', které obsahuje popis objektů podle struktury 'DSO_struktura'.

Ukázka několika částí databáze:

```
const DSO_struktura      pole_DSO[663] =
{ //typ ,   Ra , Dec , mag , S.B., majo , mino , ns , bs      index jmeno
{   0 ,     0 ,  0 ,  0 ,  0 ,  0 ,  0 ,  0 ,  0 } , // [ 0] ---
{   8 ,  8363 , 112 , 84 , 110 ,  60 ,  40 ,  0 ,  0 } , // [ 1] M1
{   5 , 32338 ,  89 , 65 , 110 , 160 , 160 ,  0 ,  0 } , // [ 2] M2
{   5 , 20555 , 118 , 63 , 110 , 180 , 180 ,  0 ,  0 } , // [ 3] M3
{   5 , 24590 ,  63 , 54 , 120 , 360 , 360 ,  0 ,  0 } , // [ 4] M4
{   5 , 22965 ,  92 , 57 , 110 , 230 , 230 ,  0 ,  0 } , // [ 5] M5
{   6 , 26508 ,  58 , 42 , 100 , 330 , 200 , 80 , 62 } , // [ 6] M6
{   6 , 26848 ,  55 , 33 , 120 , 800 , 800 , 80 , 56 } , // [ 7] M7
{   3 , 27093 ,  66 , 50 , 130 , 450 , 300 ,  0 ,  0 } , // [ 8] M8
{   5 , 25980 ,  71 , 79 , 110 , 120 , 120 ,  0 ,  0 } , // [ 9] M9
...
{   6 , 12463 ,  59 , 74 ,  0 , 100 , 100 , 40 , 101 } , // [272] NGC2567
{   6 , 12473 ,  60 , 70 ,  0 , 130 , 130 , 30 , 88 } , // [273] NGC2571
{   4 , 12835 ,  67 , 103 , 129 , 65 , 14 ,  0 ,  0 } , // [274] NGC2613
{   6 , 12930 ,  60 , 84 ,  0 , 110 , 110 , 60 , 110 } , // [275] NGC2627
{   4 , 13390 , 168 , 101 , 132 , 49 , 41 ,  0 ,  0 } , // [276] NGC2655
{   4 , 13338 , 141 , 103 , 128 , 36 , 33 ,  0 ,  0 } , // [277] NGC2681
{   4 , 13318 , 123 , 98 , 129 , 93 , 21 ,  0 ,  0 } , // [278] NGC2683
...
{   7 , 21560 ,  46 , 110 , 91 , 17 , 6 ,  0 , 174 } , // [660] IC4406
{   2 , 31270 , 134 , 80 , 164 , 600 , 500 ,  0 ,  0 } , // [661] IC5067
{   3 , 32835 , 137 , 100 ,  0 , 120 , 120 , 20 , 96 } ; // [662] IC5146
```

typ	... typ objektu (mlhovina, galaxie, otevřená hvězdokupa ...) (8-bit)
	... případná individuální korekce viditelnosti v nejvyšších 4 bitech
Ra, Dec	... rovníkové souřadnice (16-bit / 8-bit)
mag	... celkový jas objektu (8-bit)
S.B	... Surface Brightness (plošný jas objektu) (8-bit)
majo, mino	... velikost hlavní a vedlejší osy (16-bit)
ns	... počet hvězd v hvězdokupě (16-bit)
bs	... magnituda nejjasnější hvězdy (8-bit)

Hodnoty jsou upraveny tak, aby se vešly do 8 nebo 16-bitových proměnných.

Úpravy a přepočty jsou popsány v kódu (soubor "dso_db.ino").

Po výběru příslušného objektu z menu se data z databáze překopírují do "pracovní" proměnné 'vybrany_DSO'. Z této proměnné se pak provádí výpočty popsané níže.

Program provádí výpočty podle dvou různých algoritmů v závislosti na typu pozorovaného objektu:

Galaxie, mlhoviny, kulové hvězdokupy

Princip vyhodnocování

U plošných objektů (galaxie, difuzní a planetární mlhoviny, kulové hvězdokupy) je hlavním faktorem **plošný kontrast objektu vůči obloze**. Viditelnost není dána celkovou magnitudou, ale rozdílem mezi efektivním plošným jasem objektu a jasem pozadí.

Výpočet proto vychází z:

- plošného jasů objektu (Surface Brightness),
- jasů oblohy měřeného pomocí SQM (MSA),
- vlivu dalekohledu (průměr, zvětšení, výstupní pupila),
- atmosférické extinkce (funkce elevace),
- úhlové velikosti objektu (penalizace příliš malých i příliš velkých objektů),
- typu objektu (např. planetární mlhoviny jsou subjektivně kontrastnější),
- schopnosti pozorovatele.

Výsledkem je **kontrastní skóre**, které je následně mapováno na diskrétní stupnici viditelnosti 0 až 5.

Otevřené hvězdokupy

Princip vyhodnocování

Otevřené hvězdokupy se nechovají jako plošné objekty. Jejich viditelnost je dána především tím:

- zda je **nejjasnější hvězda** v dosahu limitní magnitudy,
- jaká je **hustota hvězd** v dané ploše,
- jak dobře se hvězdy odlišují od pozadí oblohy.

Možek zde pracuje jinak než u mlhovin – nerozhoduje plošný kontrast, ale **detekce jednotlivých bodových zdrojů a jejich prostorové uspořádání**.

1) Společné výpočty

Některé výpočty jsou společné pro oba algoritmy:

1. Atmosférická extinkce v závislosti na elevaci objektu

Přesný přepočítání elevace objektu na Airmass pomocí různých metod je popsáno zde: [https://en.wikipedia.org/wiki/Air_mass_\(astronomy\)](https://en.wikipedia.org/wiki/Air_mass_(astronomy))

V programu byl ale přepočítání výrazně zjednodušeno na exponenciální funkci:

$$E_{atm} = 1.3 * \exp(-0.04 * elevace)$$

Úbytek jasu se pak pohybuje v rozsahu od 1,3mag na horizontu až po 0,04mag v zenitu.

kód:

```
DSO_extinkce = 1.3 * exp(-0.04 * obecna_elevace);
```

2. Schopnosti pozorovatele

Přes menu je možné nastavit subjektivní úroveň schopností pozorovatele (zrak, zkušenost) pomocí hodnoty 1 až 5 v proměnné 'DSO_schopnosti'.

1 = malá zkušenost, špatný zrak

2 = horší schopnosti

3 = střední hodnota, při které se korekce schopností pozorovatele ve výsledku neprojeví

4 = lepší schopnosti

5 = zkušený pozorovatel s perfektním zrakem.

kód:

```
DSO_pozorovatel = (DSO_schopnosti - 3) * 0.3;
```

3. Individuální korekce

Každému objektu je možné zadat vlastní korekci. Tato informace je obsažena v horních 4 bitech parametru '.typ_dso'. Případná korekce se provádí vždy až v závěru výpočtu. Nejvyšší bit udává znaménko, zbylé 3 bity jsou absolutní hodnota v desetínách magnitudy.

kód:

```
byte individualni_stupen = (vybrany_DSO.typ_dso & 0b11110000) >> 4);  
DSO_individualni_korekce =  
    ((individualni_stupen & 0b00001000) ? -1.0 : 1.0) *  
    (individualni_stupen & 0b00000111) * 0.1;
```

2) Galaxie, mlhoviny, kulové hvězdokupy

Obecné vztahy

1. Efektivní plošný jas objektu

Plošný jas objektu převedený na stejné jednotky jako jas oblohy:

$$SB_{obj,eff} = SB_{obj} + C_{jednotky} + \Delta SB_{dalekohled} + E_{atm} + P_{velký} + P_{malý}$$

kde:

- SB_{obj}
plošný jas objektu z databáze - jednotky jsou v arcmin² a je nutné je převést na arcsec²
- $C_{jednotky}$
konstanta pro převod jednotek arcmin² → arcsec² $2.5 * \log_{10}(60 * 60) \approx 8.89$
- $SB_{dalekohled}$
změna plošného jasu způsobená zvětšením a výstupní pupilou
- E_{atm}
atmosférická extinkce v závislosti na elevaci objektu (kapitola 1.1)
- $P_{velký}$
penalizace velmi rozlehlých objektů (rozptyl signálu na sítnici)
- $P_{malý}$
penalizace velmi malých objektů (limit rozlišení, lokalizace signálu)

kód:

```
float SB_object_eff =  
    (8.89 + (vybrany_DSO.SB_dso / 10.0)) +  
    DSO_delta_SB +  
    DSO_extinkce +  
    velikostni_penalizace_velke +  
    velikostni_penalizace_male;
```

2. Kontrast objektu vůči obloze

$$K = SB_{obloha} - SB_{obj,eff}$$

kde:

- SB_{obloha}
jas oblohy měřený SQM (MSA)

kód:

```
// DSO_MSA je ve formátu uint16_t a obsahuje MSA v tisícinách mag/arcsec2
//      proto je nutné ji před výpočtem vydělit 1000

float kontrast = (DSO_MSA / 1000.0) - SB_object_eff;
```

3. Korekce subjektivních faktorů

Kontrast je dále upraven o:

- schopnosti pozorovatele,
- typ objektu.

$$K_{corr} = K + C_{pozorovatel} + C_{typ}$$

kde:

- $C_{pozorovatel}$
korekce dle vizuálních schopností (zrak, zkušenost) (kapitola 1.2)
- C_{typ}
empirická korekce podle typu DSO
(např. planetární mlhoviny, emisní mlhoviny, galaxie)

kód:

```
kontrast = kontrast + DSO_pozorovatel;

switch (vybrany_DSO.typ_dso & 0b00001111)
{
  case 2: // jasna mlhovina
    kontrast = kontrast + 0.4;
    break;

  case 3: // hvездokupa + mlhovina
    kontrast = kontrast + 0.2;
    break;

  case 4: // galaxie
    kontrast = kontrast + 0.0;
    break;

  case 7: // planetarni mlhovina
    kontrast = kontrast + 0.6;
    break;

  case 8: // SN remnant
    kontrast = kontrast + 0.1;
    break;

  default:
    kontrast = kontrast + 0.0;
}
```

4. Případná individuální korekce

Pokud je obsažena v typu objektu (kapitola 1.3)

kód:

```
kontrast = kontrast + DSO_individualni_korekce;
```

5. Převod na stupnici viditelnosti

Výsledný kontrast K_{corr} je převeden pomocí prahových hodnot na diskrétní stupnici:

- 0 – neviditelné
- 1 – extrémně obtížné
- 2 – obtížné
- 3 – pozorovatelné
- 4 – dobře viditelné
- 5 – velmi dobře / snadno viditelné

Prahy jsou voleny empiricky tak, aby odpovídaly reálné vizuální zkušenosti.

kód:

```
if      (kontrast < -3.0)  return 0;  
else if (kontrast < -2.3)  return 1;  
else if (kontrast < -1.7)  return 2;  
else if (kontrast < -1.0)  return 3;  
else if (kontrast < -0.3)  return 4;  
else                                     return 5;
```

3) Otevřené hvězdokupy

Obecné vztahy

1. Limitní magnituda oka

$$LM_{oko} = LM_0 + C_{pozorovatel}$$

kde:

- LM_0
základní limitní magnituda oka (6.5mag)
- $C_{pozorovatel}$
korekce dle schopností pozorovatele (kapitola 1.2)

kód:

```
float lm_eye = 6.5 + DSO_pozorovatel;
```

2. Limitní magnituda dalekohledu

$$LM_{scope} = LM_{oko} + 5 * \log_{10} \left(\frac{D}{d_{oko}} \right) - \Delta SB_{obloha}$$

kde:

- D
průměr objektivu dalekohledu
- d_{oko}
průměr zorničky oka
- ΔSB_{obloha}
rozdíl mezi referenční tmavou oblohou a aktuálně měřenou MSA.
Tento člen popisuje, jak jas oblohy omezuje dosažitelnou hvězdnou magnitudu.

kód:

```
float lm_scope =  
    lm_eye + (5.0 * log10(DSO_prumer_dalekohledu / DSO_zornice_mm));  
  
lm_scope = lm_scope - ((DSO_normal/10.0) - (DSO_MSA/1000.0));
```

Poznámka: V programu se s proměnnou 'DSO_normal' pracuje jako s 8-bitovým číslem v rozsahu 190 až 255, což odpovídá jasu 19,0 až 25,5 mag/arcsec². Změřený jas oblohy - proměnná 'DSO_MSA' - je uchovávána v 16-bitové proměnné v tisícinách mag/arcsec², takže například hodnota 20457 odpovídá 20,457 mag/arcsec².

3. Viditelnost nejjasnější hvězdy

$$\Delta m = LM_{scope} - m_{nejjas}$$

kde:

- m_{nejjas}
magnituda nejjasnější hvězdy v hvězdokupě

kód:

```
float delta_star =  
    lm_scope - (vybrany_DSO.bs_dso / 10.0);
```

4. Hustota hvězd

$$\rho = \frac{N}{A}$$

$$S_\rho = \log_{10}(\rho)$$

kde:

- N
počet hvězd v hvězdokupě
- A
úhlová plocha hvězdokupy
Plochu počítám jako obsah elipsy podle její hlavní a vedlejší osy

$$A = \pi * a * b / 4$$

Logaritmus odpovídá přibližně logaritmické citlivosti lidského oka.

kód:

```
// 'major_dso' a 'minor_dso' jsou v desetinach minuty, proto se plocha
//      deli 400 a ne 4 jako ve vzorci pro vypocet plochy elipsy

DSO_plocha = (PI * vybrany_DSO.major_dso *
              vybrany_DSO.minor_dso) / 400.0;

float density = vybrany_DSO.ns_dso / DSO_plocha;
float densityScore = log10(density);
```

5. Celkové skóre viditelnosti

$$S = (a * \Delta m) + (b * S_{\delta}) - (c * E_{atm}) + C_{pozorovatel}$$

kde:

- a, b, c
váhové koeficienty (empiricky zvolené)
- E_{atm}
atmosférická extinkce (kapitola 1.1)
- $C_{pozorovatel}$
korekce dle schopností pozorovatele (kapitola 1.2)

kód:

```
float score = (1.2 * delta_star)
              + (1.0 * densityScore)
              - (0.8 * DSO_extinkce)
              + DSO_pozorovatel;
```

6. Případné doplnění individuální korekce

Pokud je obsažena v typu objektu (kapitola 1.3).

kód:

```
score = score + DSO_individualni_korekce;
```

7. Převod na stupnici viditelnosti

Celkové skóre S je opět převedeno pomocí prahových hodnot na stupnici 0–5, kde vyšší hodnota odpovídá snadnější a jistější detekci hvězdokupy.

kód:

```
if (score < -1.5) return 0;
if (score < -0.8) return 1;
if (score < -0.2) return 2;
if (score < 0.5) return 3;
if (score < 1.2) return 4;
return 5;
```