

Maciej Bylina

Sprawozdanie z ćwiczenia:

„Badanie zależności błędu kalibracji fotometrii w eksperymencie „Pi of the Sky” od typu widmowego gwiazdy.”

I. Streszczenie

Celem ćwiczenia była analiza czy i w jaki sposób błąd kalibracji pomiarów w eksperymencie „Pi of the Sky” zależy od typu widmowego obserwowanej gwiazdy.

II. Wstęp teoretyczny

Baza danych eksperymentu „Pi of the Sky” dla pracującego od ok. 5 lat prototypowego detektora zawiera obecnie ponad 2.16 miliardów pomiarów dla ponad 16.7 milionów obiektów [1]. Dla każdego obiektu wyznaczana jest m.in. jego jasność wyrażona w jednostkach stosowanych w astronomii tzw. wielkości gwiazdowej (magnitudo). Jednostka magnitudo jest jednostką poza układową zdefiniowaną z następującej zależności: gwiazda jaśniejsza od drugiej o 5 wielkości gwiazdowych jest w rzeczywistości 100 razy jaśniejsza. Porównując dane bazy „Pi of the Sky” z innym katalogiem gwiazd umożliwi zaobserwowanie w jaki sposób błąd kalibracji pomiarów zależy od typu widmowego gwiazdy. W tym przypadku błąd jest rozumiany jako różnica pomiędzy wielkością gwiazdową wyznaczoną w eksperymencie, a katalogową wielkością gwiazdową zaobserwowaną w tzw. filtrze V. Natomiast typ widmowy gwiazdy jest zdefiniowany poprzez różnicę magnitudo zmierzonego w filtrze B minus magnitudo zmierzone w filtrze V. Filtry B i V są to filtry stosowane w astronomii. Filtr V odpowiada obserwacjom wizualnym, maksimum jego transmisji przypada na długość fali 550nm natomiast maksimum transmisji filtra B przypada na 440nm.

III. Przebieg ćwiczenia

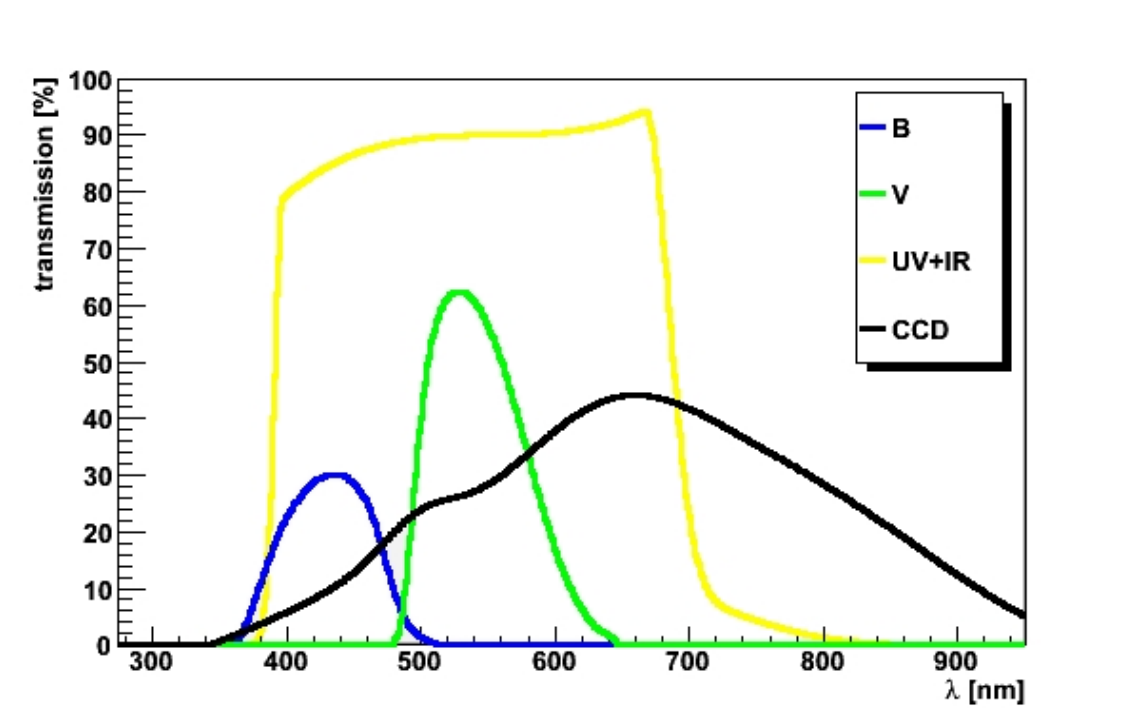
Jako katalog porównawczy wielkości gwiazdowych została wybrana baza danych Simbad [2]. Z bazy Simbad zostało wybranych kilkadziesiąt obiektów. Dla każdego obiektu zostały wybrane takie dane jak: położenie na sferze niebieskiej określone przez wartości deklinacji (DEC) oraz rektascensji (RA), wielkość gwiazdowa zmierzona w filtrze V oraz wielkość gwiazdowa zmierzona w filtrze B. Ponieważ teleskop – robot znajduje się w obserwatorium w Las Campanas w Chile, a więc na półkuli południowej gwiazdy z Simbada zostały wybrane z zakresu wartości Dec (0° ; -90°) oraz Ra (0h; 24h). Na potrzeby analizy jasności gwiazdowe zostały ograniczone do wartości z przedziału $\langle 5^m; 9^m \rangle$.

Następnie został napisany skrypt pozwalający wyszukać na podstawie współrzędnych gwiazd z bazy Simbad odpowiedniki znajdujące się w bazie „Pi of the Sky”. Dla odpowiedników zostały wybrane następujące parametry: współrzędne Dec i Ra, magnitudo, sigma magnitudo.

Na potrzeby ćwiczenia została napisana również procedura modelująca analizowane zagadnienie na podstawie danych o transmisji filtrów B i V oraz transmisji filtra odcinającego składowe ultrafioletowe i podczerwone i wydajności kwantowej

matrycy CCD używanych w eksperymencie „Pi of the Sky” (rysunek1). W modelu widmo emisyjne gwiazdy zostało potraktowane jako widmo ciała doskonale czarnego. Dla różnych temperatur źródła otrzymano wartości magnitudo dla filtrów B i V oraz spodziewane wartości magnitudo z eksperymentu „Pi of the Sky”. Całka z iloczynu widma ciała doskonale czarnego i widma transmisyjnego filtra stanowi natężenie światła, natomiast różnice wartości magnitudo B – V oraz magPi – V są opisane następującą zależnością:

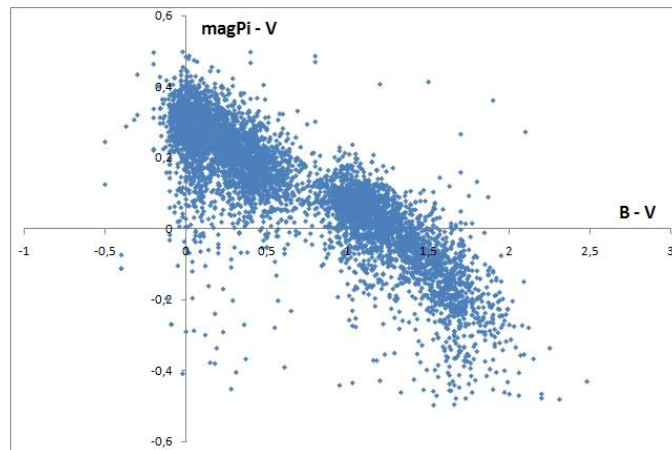
$$B - V = -2.5 \cdot \log \left(\frac{I_B}{I_V} \right) = -2.5(\log I_B - \log I_V)$$



Rysunek 1. Widma transmisji filtrów B i V oraz filtra odcinającego pasma UV i IR oraz matrycy CCD.

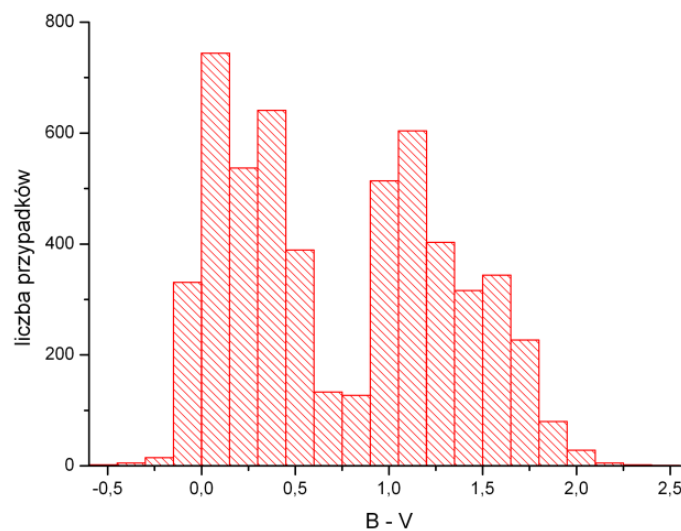
IV. Analiza danych

Typ widmowy gwiazdy został ustalony jako różnica wielkości gwiazdowej zmierzonej w filtrze B minus wielkość gwiazdowa zmierzona w filtrze V. Rysunek 2 przedstawia rozkład $\text{magPi} - V$ w zależności od typu widmowego $B - V$ dla wszystkich otrzymanych odpowiedników gwiazd.



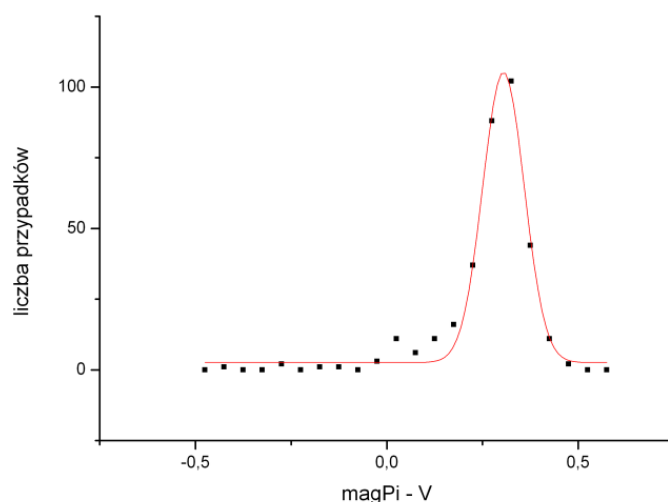
Rysunek 2. Zależność $\text{magPi} - V$ od $B - V$ dla wszystkich zebranych odpowiedników.

Następnie został sporządzony jednowymiarowy rozkład $B - V$ (rysunek 3).



Rysunek 3. Rozkład wartości $B - V$ dla danych z bazy Simbad.

Dla każdego z otrzymanych binów zostały policzone średnie wartości i dyspersje $\text{magPi} - V$, średnie i dyspersje sigma magPi , zostały dopasowane rozkłady Gaussa, oraz wyznaczone średnie i dyspersje $B - V$ (tabela 1)



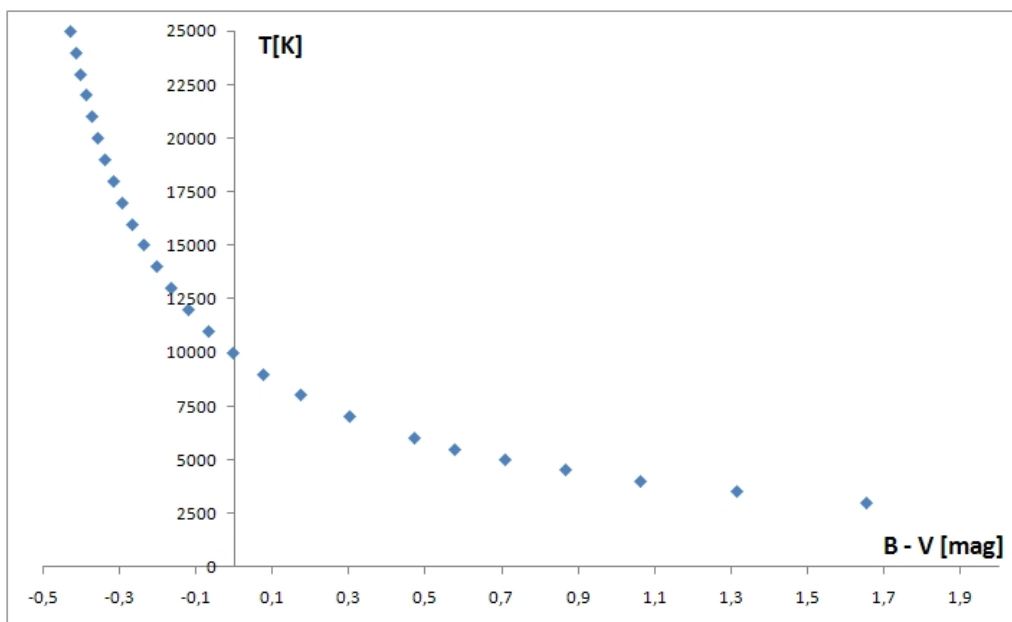
Rysunek 4. Przykładowe dopasowanie rozkładu Gaussa do wartości magPi – V w jednym z binów B – V.

BIN B - V	średnie magPi - V	błąd średniej magPi - V	dyspersja magPi - V	Gauss fit max	Błąd Gauss max	Gauss fit sigma	średnie B - V	dyspersja B - V
(-0.15;0)	0.274	0.006	0.107	0.305	0.002	0.054	-0.050	0.033
(0;0.15)	0.258	0.004	0.108	0.289	0.005	0.073	0.065	0.044
(0.15;0.3)	0.224	0.004	0.105	0.241	0.002	0.068	0.226	0.045
(0.3;0.45)	0.191	0.003	0.080	0.195	0.001	0.067	0.378	0.043
(0.45;0.6)	0.150	0.004	0.079	0.159	0.002	0.058	0.509	0.041
(0.6;0.75)	0.125	0.008	0.092	0.139	0.004	0.064	0.651	0.042
(0.75;0.9)	0.091	0.007	0.083	0.095	0.002	0.040	0.837	0.043
(0.9;1.05)	0.063	0.003	0.074	0.076	0.002	0.049	0.983	0.038
(1.05;1.2)	0.037	0.003	0.076	0.054	0.002	0.055	1.115	0.043
(1.2;1.35)	-0.005	0.004	0.085	0.010	0.002	0.056	1.265	0.043
(1.35;1.5)	-0.063	0.005	0.081	-0.054	0.001	0.062	1.416	0.041
(1.5;1.65)	-0.137	0.006	0.106	-0.125	0.004	0.078	1.571	0.043
(1.65;1.8)	-0.192	0.008	0.115	-0.185	0.008	0.080	1.706	0.039
(1.8;1.95)	-0.213	0.013	0.116	-0.225	0.007	0.077	1.871	0.046

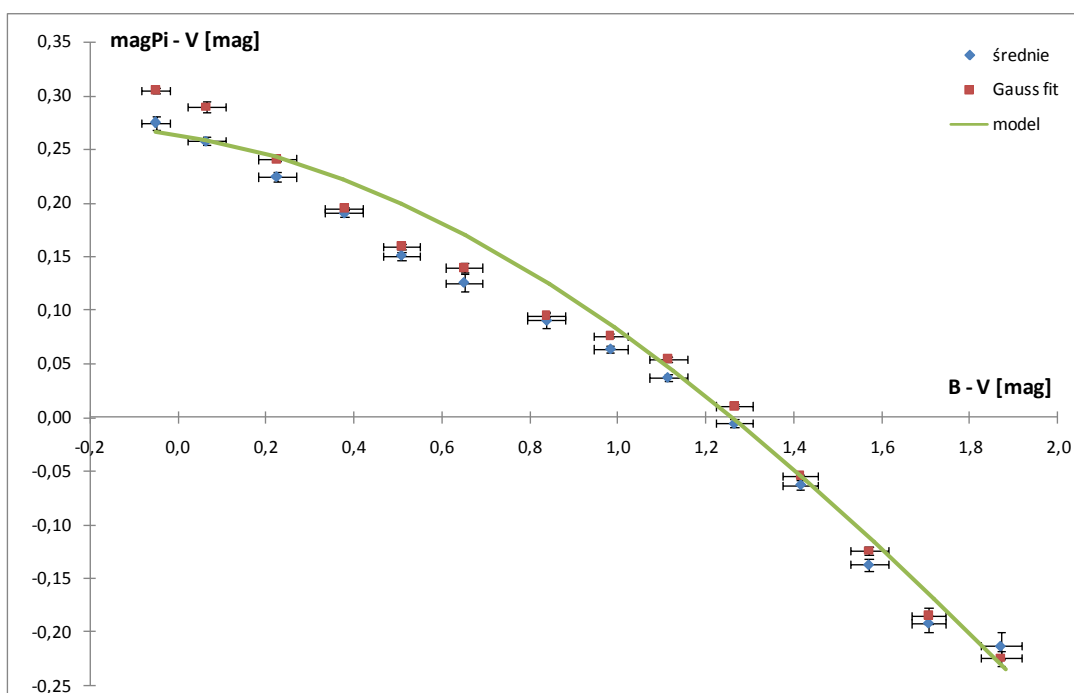
Tabela 1. Zestawienie wszystkich wartości otrzymanych dla poszczególnych binów B – V (wszystkie wartości wyrażone w magnitudo).

Na podstawie wartości z tabeli 1. Został sporządzony rozkład średnich wartości magPi – V w zależności od średniego B – V w każdym binie (rysunek 6). Na dane doświadczalne zostały naniesione wyniki modelowania. Otrzymane w modelu wartości magPi – V oraz B – V różnią się o stałą wartość od danych doświadczalnych ponieważ jednostka magnitudo jest wielkością względną normowaną do wybranych gwiazd odniesienia. Wartości B – V zostały dopasowane przy wykorzystaniu przybliżonej zależności B – V od temperatury (wzór 1, rysunek 5):

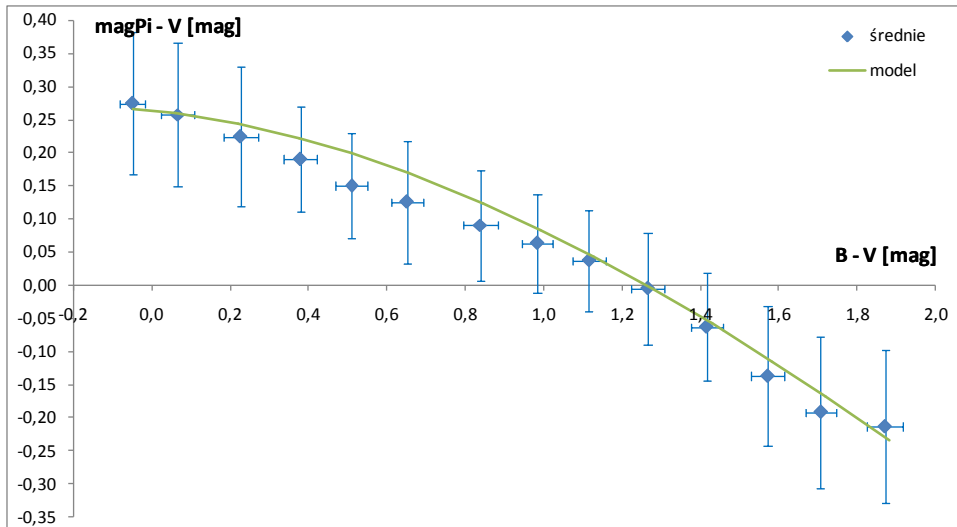
$$B - V = -0.71 + 7090 \cdot T^{-1} \quad (\text{wzór 1})$$



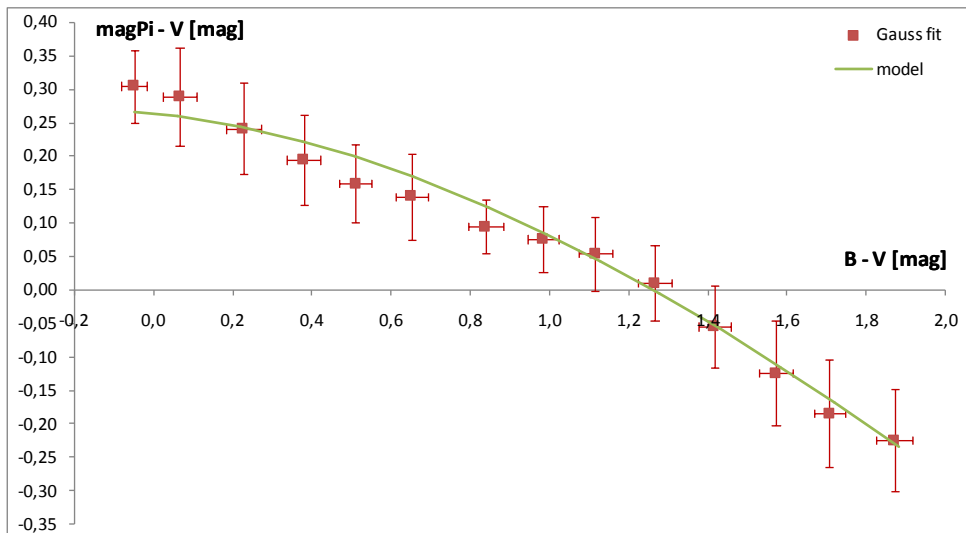
Rysunek 5. Zależność typu widmowego B – V od temperatury.



Rysunek 6. Rozkład średnich wartości $\text{magPi} - V$ w zależności od $B - V$, wraz z dopasowaniami rozkładów Gaussa oraz krzywą otrzymaną na drodze modelowania (słupki błędów stanowią wartości błędów średnich $\text{Pi} - V$ oraz błędy dopasowania maksimum rozkładów Gaussa).



Rysunek 7a. Rozkład średnich wartości $\text{magPi} - V$ w zależności od $B - V$ wraz z krzywą otrzymaną na drodze modelowania (pionowe słupki błędów stanowią wartości dyspersji średnich $\text{Pi} - V$ (RMS)).

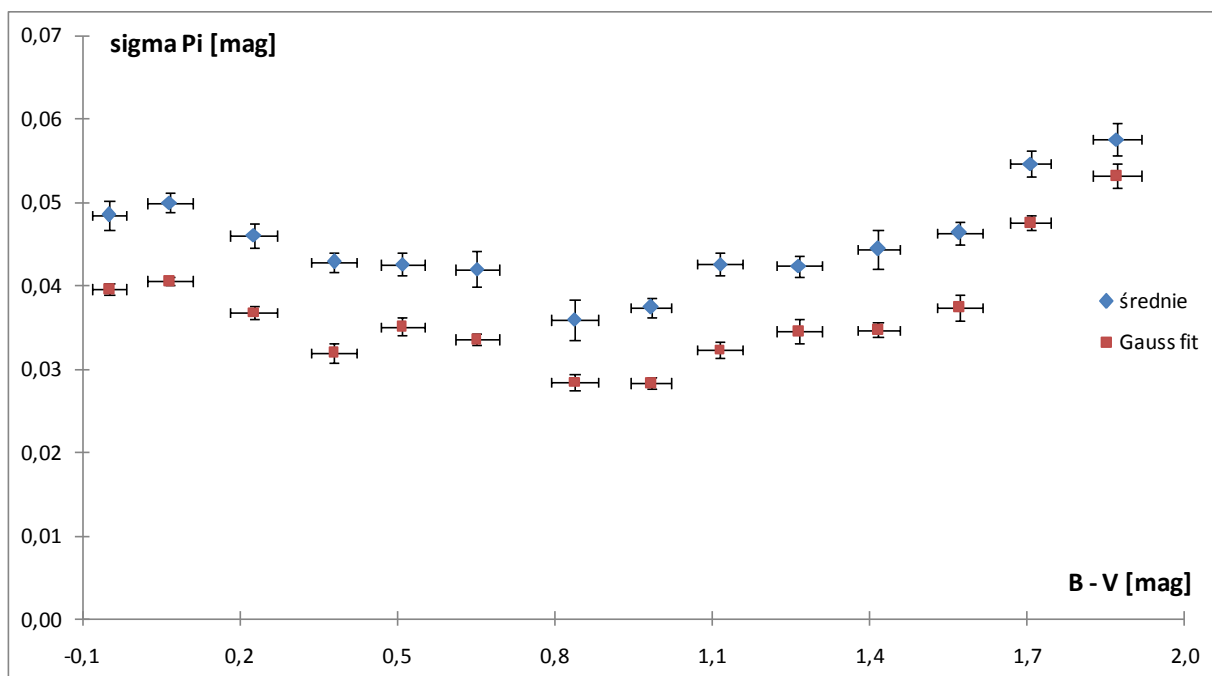


Rysunek 7b. Rozkład położenia maksimum rozkładów Gaussa w zależności od $B - V$, wraz z krzywą otrzymaną na drodze modelowania (pionowe słupki błędów stanowią wartości sigma z dopasowań).

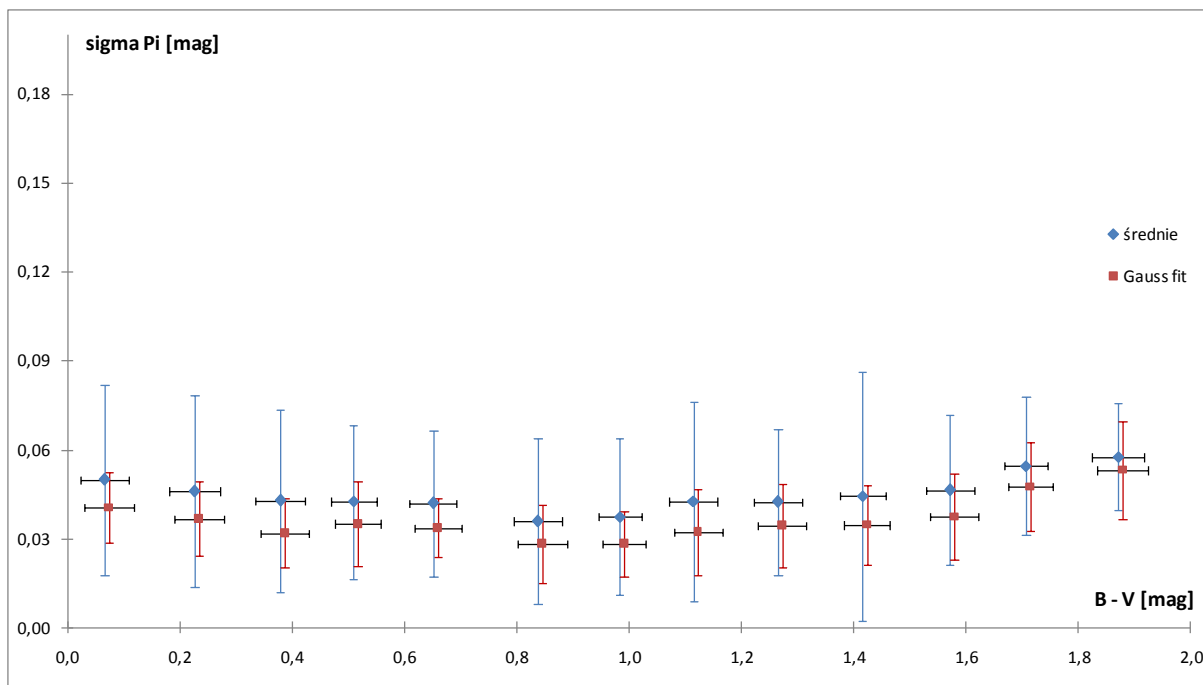
W analogiczny sposób zostały sporządzone rozkłady dla wartości błędów sigma pochodzących z danych „Pi of the Sky” w zależności od średnich B – V (tabela 2, rysunek 8a i 8b).

BIN B - V	średnie sigma	błąd sigma	dyspersja sigma	Gauss max	Błąd Gauss max	Gauss sigma	średnie B-V	dyspersja B - V
(-0.15;0)	0.049	0.002	0.032	0.040	0.001	0.013	-0.050	0.033
(0;0.15)	0.050	0.001	0.032	0.041	0.000	0.012	0.065	0.044
(0.15;0.3)	0.046	0.001	0.032	0.037	0.001	0.013	0.226	0.045
(0.3;0.45)	0.043	0.001	0.031	0.032	0.001	0.012	0.378	0.043
(0.45;0.6)	0.043	0.001	0.026	0.035	0.001	0.014	0.509	0.041
(0.6;0.75)	0.042	0.002	0.024	0.034	0.001	0.010	0.651	0.042
(0.75;0.9)	0.036	0.002	0.028	0.028	0.001	0.013	0.837	0.043
(0.9;1.05)	0.037	0.001	0.026	0.028	0.001	0.011	0.983	0.038
(1.05;1.2)	0.043	0.001	0.034	0.032	0.001	0.014	1.115	0.043
(1.2;1.35)	0.042	0.001	0.025	0.035	0.001	0.014	1.265	0.043
(1.35;1.5)	0.044	0.002	0.042	0.035	0.001	0.013	1.416	0.041
(1.5;1.65)	0.046	0.001	0.025	0.037	0.002	0.015	1.571	0.043
(1.65;1.8)	0.055	0.002	0.023	0.048	0.001	0.015	1.706	0.039
(1.8;1.95)	0.058	0.002	0.018	0.053	0.001	0.016	1.871	0.046

Tabela 2. Tabela 1. Zestawienie wszystkich wartości otrzymanych dla wartości sigma Pi w poszczególnych binach B – V (wszystkie wartości wyrażone w magnitudo).

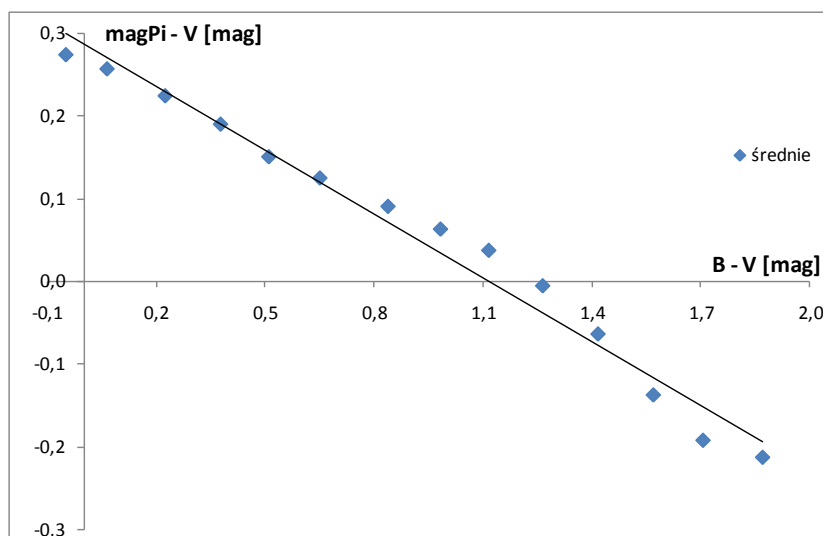


Rysunek 8a. Rozkład średnich wartości sigma Pi oraz położenia maksimum dopasowanych rozkładów Gaussa (pionowe słupki błędów stanowią błędy wartości średnich oraz błędy dopasowań maksimum).

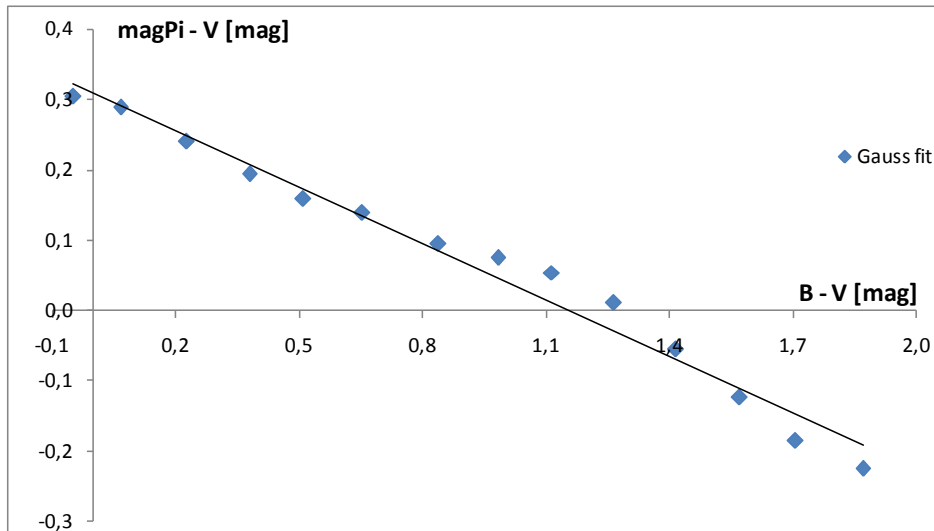


Rysunek 8b. Rozkład średnich wartości sigma Pi oraz położień maksimum dopasowanych rozkładów Gaussa (pionowe słupki błędów stanowią wartości dyspersji sigma Pi (RMS) oraz wartości sigma rozkładów Gaussa).

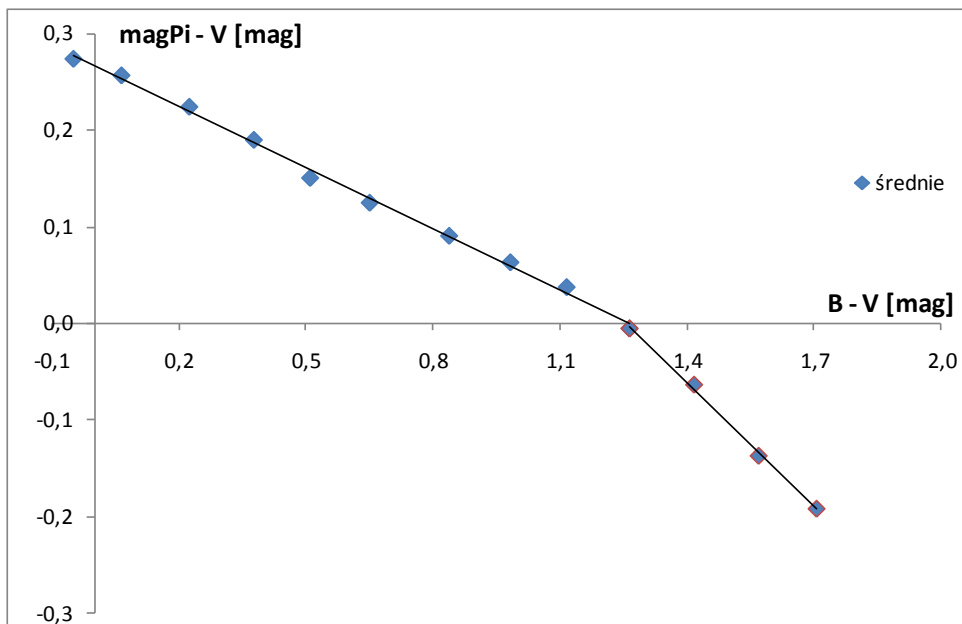
Do danych doświadczalnych próbowano dopasować różne zależności w celu znalezienia najlepiej opisującej otrzymane wyniki. Użyte zostały funkcje liniowe oraz parabole, gdyż na taki charakter może wskazywać wynik modelowania. Dodatkowo rozkład wartości średnich magPi – V wykazuje możliwość prostej łamanej złożonej z dwóch odcinków. Wyniki tych prób przedstawiają rysunki 9, 10 i 11 oraz tabele 3a i 3b.



Rysunek 9. Dopasowanie prostej do wartości średnich magPi – V.



Rysunek 10. Dopasowanie prostej do punktów uzyskanych z dopasowań rozkładów Gaussa.



Rysunek 11. Dopasowanie prostej łamanej do wartości średnich.

prosta	funkcja	$y = -0.24x + 0.28$
	χ^2/ndf	21.69
parabola	funkcja	$y = -0.06x^2 - 0.14x + 0.26$
	χ^2/ndf	8.73
dwie proste	funkcja 1	$y = -0.21x + 0.27$
	χ^2/ndf	1.76
	funkcja 2	$y = -0.41x + 0.53$
	χ^2/ndf	4.06

Tabela 3a. Funkcje dopasowane do wartości średnich $\text{magPi} - V$ z wartościami zredukowanego χ^2 .

prosta	funkcja	$y = -0.24x + 0.29$
	χ^2/ndf	70.68
parabola	funkcja	$y = -0.03x^2 - 0.18x + 0.28$
	χ^2/ndf	62.59
dwie proste	funkcja 1	$y = -0.22x + 0.28$
	χ^2/ndf	24.99
	funkcja 2	$y = -0.41x + 0.54$
	χ^2/ndf	4.35

Tabela 3b. Funkcje dopasowane do punktów otrzymanych z dopasowań f. Gaussa wraz z wartościami zredukowanego χ^2

V. Podsumowanie.

Przeprowadzone porównanie wielkości gwiazdowych wyznaczonych w eksperymencie „Pi of the Sky” z ich odpowiednikami znajdującymi się w bazie Simbad wykazuje pewne różnice. Sporządzone rozkłady pokazują, że zależność ta na pewno nie jest liniowa. Charakterystyczne zakrzywienie widoczne jest zarówno w wynikach modelowania jak i w rozkładach wartości średnich i dopasowanych maksimów rozkładów Gaussa.

Rozkład wartości średnich wykazał pewną ciekawą możliwość dopasowania dwóch prostych. Jednej do wartości dodatnich, a drugiej do wartości ujemnych. Wartość zredukowana χ^2 pokazuje że dopasowania te są dość dobre. Zarówno stosunek pochyłeń jak i wyrazów wolnych wynosi 2. Nie można jednak jednoznacznie stwierdzić czy takie postępowanie ma głębsze podstawy i może w przyszłości należałoby sprawdzić jego poprawność.

Natomiast rozkład wartości z dopasowań funkcji Gaussa wykazuje już bardziej skomplikowaną zależność (o esowatym kształcie), którą prawdopodobnie opisuje zależność wyższego stopnia.

Na otrzymanych rozkładach widać, że całkowity przedział w jakim zmienia się błąd fotometrii ($\text{magPi} - V$) wynosi ok. 0.5 magnitudo. Natomiast błąd sigma dla pomiarów wielkości gwiazdowych w eksperymencie „Pi of the Sky” w zasadzie utrzymuje się na stałym poziomie w całym zakresie B – V.