

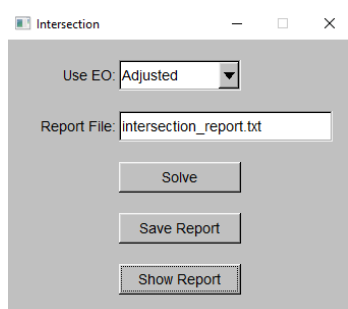
WYRÓWNANIE SIECI METODĄ WIĄZKI W BUNDLAB XTREL

Konspekt ten opisuje przebieg wyrównania sieci zdjęć metodą wiązki w programie Bundlab oraz module xtrel działającym niezależnie od Bundlaba, ale uruchamianym jest bezpośrednio przez interfejs Bundlaba. Zmiana opcji wyrównania możliwa jest poprzez tekstowy plik konfiguracyjny

1. Obliczenie przybliżonych współrzędnych punktów terenowych wraz z kontrolą pomiaru

Moduł xtrel to czystej postaci solver do metody wiązki. W sensie matematycznym program ten nie realizuje nic innego poza wyrównaniem i oceną dokładności. Dane do wyrównania muszą być przygotowane wcześniej, w szczególności muszą być znane przybliżone parametry wyrównania. Dotyczy to także współrzędnych punktów terenowych (fotopunktów oraz punktów wiążących). Zakładamy, że na tym etapie prac każde ze zdjęć posiada we właściwym pliku *.ida wpisane elementy orientacji zewnętrznej (przybliżone). Na ich podstawie wyznaczymy teraz przybliżone współrzędne punktów terenowych w drodze wcięcia w przód. W wyniku tej operacji Bundlab utworzy plik *.opo zawierający informacje o położeniu wszystkich punktów terenowych. Nie ma znaczenia czy będą to fotopunkty czy punkty wiążące – położenie każdego punktu zostanie wyznaczone i skontrolowane. Wykonanie tego kroku jest konieczne dla prawidłowego utworzenia projektu rozwiązania.

Uruchamiamy moduł obliczeniowy **Intersection** (menu **Solve/Intersection**). Pojawi się następujące okno:



Należy wybrać, który zestaw elementów orientacji zewnętrznej będzie wykorzystywany (**Use EO:**) Musimy być pewni, że wskazujemy właściwą opcję, w przeciwnym wypadku wszystkie elementy orientacji wykorzystywane do wcięcia będą „zerowe” i obliczenia zakończą się niepowodzeniem. Jeżeli nie pamiętamy w jakim polu zostały zapisane elementy orientacji zewnętrznej można to zawsze sprawdzić w plikach *.ida.

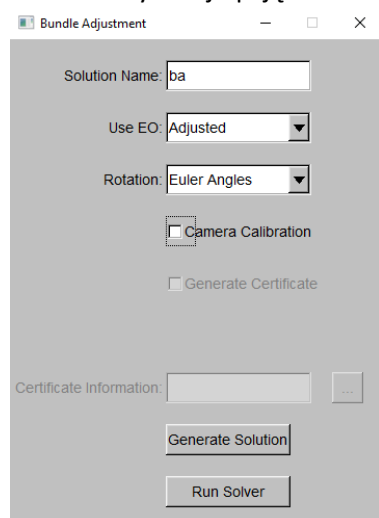
Teraz wciskamy kolejno przyciski **Solve**, potem **Save Report** oraz **Show Report** (Jeżeli raport się nie wyświetli – zawsze można go otworzyć – jest dostępny w katalogu REP). Należy przeanalizować raport pod kątem spójności danych. Uzyskiwane odchyłki (na zdjęciach) oraz różnice współrzędnych terenowych dla fotopunktów niekoniecznie muszą być małe bo korzystamy z przybliżonych elementów orientacji wewnętrznej oraz zewnętrznej. Z tego powodu nie zostały podane tutaj żadne wartości graniczne, poniżej których możemy uznać, że obliczenia się powiodły.

Można sprawdzić, czy program w katalogu projektu utworzył plik ze współrzędnymi punktów terenowych (nazwa: taka sama jak nazwa projektu, rozszerzenie: opo)

Uwaga techniczna: w przypadku wcięcia w przód Bundlab przypisuje dany punkt do zdjęcia na podstawie ID zdjęcia, zapisanego dla każdego punktu w drugiej kolumnie w pliku *.pix (nie poprzez nazwę pliku *.pix!). Trzeba zwrócić na to uwagę np. podczas łączenia danych z kilku projektów. W przypadku błędu w tym zakresie, program może się zakończyć (nie dodano jeszcze obsługi wyjątku).

2. Utworzenie projektu wyrównania

Obsługa wyrównania metodą wiązki realizowana jest poprzez menu **Solve/Bundle Adjustment**. Interfejs graficzny jest tutaj bardzo ograniczony – więcej opcji dostępnych jest z poziomu pliku konfiguracyjnego. W oknie **Bundle Adjustment** podajemy nazwę rozwiązania (**Solution Name:**). Określamy, które elementy orientacji zewnętrznej będziemy wykorzystywać (**Use Eo:**), oraz określamy reprezentację obrotu wykorzystywaną podczas wyrównania (**Rotation:**) – zostawiamy tutaj opcję Euler Angles.



Jeżeli chcemy liczyć samokalibrację, zaznaczamy opcję **Camera Calibration**. Jeżeli chcemy aby program wygenerował dla nas certyfikat kalibracji musimy zaznaczyć odpowiedni check box oraz wskazać plik konfiguracyjny certyfikatu (rozszerzenie .yaml). W ramach zajęć dydaktycznych nie przewiduje się generowania certyfikatu kalibracji. Rozwiązanie generujemy przyciskiem **Generate Solution**.

Rozwiązanie (Solution) zostaje utworzone w katalogu BAJ, który znajduje się w katalogu projektu. W katalogu BAJ może istnieć wiele Solution o różnych nazwach. W katalogu rozwiązania znajdziemy 4 pliki tekstowe:

- config.yaml : plik konfiguracyjny (Znaczenie poszczególnych wpisów w pliku konfiguracyjnym zostanie omówione w następnym punkcie)
- eo.txt : plik z elementami orientacji zewnętrznej
- image_observations.txt : plik z pomiarami na zdjęciach
- object_points.txt : plik ze współrzędnymi fotopunktów

Plik object_points.txt zawiera współrzędne wszystkich punktów obiektowych. W poszczególnych kolumnach pliku zapisane są kolejno następujące dane: Nazwa punktu,

współrzędna X, współrzędna Y, współrzędna Z, Typ punktu, Odchylenia standardowe trzech współrzędnych. Dopuszczalne są następujące typy punktów:

- 0 : punkt wiążący
- 3 : fotopunkt
- 4 : punkt kontrolny (check point)
- 9 : punkt osnowy geodezyjnej (nie będzie tu stosowany)

Jeżeli chcemy, możemy np. zmienić niektóre fotopunkty na punkty kontrolne. Punkty osnowy geodezyjnej stosowane są tylko przy wyrównaniu zintegrowanym (obserwacje fotogrametryczne + obserwacje geodezyjne). Uwaga! Inne wartości typów nie są obsługiwane – użycie innych wartości może prowadzić do nieprawidłowego działania programu. Zaleca się sprawdzenie pliku `object_points.txt` przed uruchomieniem wyrównania.

Plik `eo.txt` zawiera elementy orientacji zewnętrznej zdjęć. W nowszej wersji programu w pierwszym wierszu znajduje się oznaczenie wersji pliku (teraz jest to `eofile_v20210309`). Znaczenie kolumn opisano w tabeli poniżej (pierwsza kolumna ma numer 1):

numer kolumny	typ lub zakres wartości	opis
1	string	nazwa zdjęcia
2,3,4	float	współrzędne środka rzutu
5,6,7	float	kąty
8,9,10	float	odchylenia standardowe wsp. środków rzutu
11,12,13	float	odchylenia standardowe kątów
14	0 lub 1	0 – traktuj współrzędne środków rzutu jako przybliżenia 1 – traktuj współrzędne środków rzutu jako przybliżenia i obserwacje
15	0 lub 1	0 – traktuj kąty jako przybliżenia 1 – traktuj kąty jako przybliżenia i obserwacje
16	al-ni-ka lub om-fi-ka	rodzaj reprezentacji obrotu: al-ni-ka – sekwencja obrotu z-x-z om-fi-ka – sekwencja obrotu x-y-z
17	string	ścieżka do pliku kamery: albo ścieżka względna dla lokalizacji <code>xtrel.exe</code> , albo ścieżka bezwzględna
18	0 lub 1	0 – nie używaj tego zdjęcia podczas wyrównania 1 – używaj zdjęcia w procesie wyrównania

3. Edycja pliku konfiguracyjnego

Plik konfiguracyjny może być przez nas edytowany. Daję nam to bardzo szeroką kontrolę nad procesem wyrównania. Poniższa tabela podaje nam pełną listę dostępnych możliwości:

Nazwa	typ	Opis	Dopuszczalne wartości
NumOfCameras:	integer	liczba kamer	1 lub więcej
MathModel:	string	algorytm wyrównania – pole to definiuje sposób traktowania fotopunktów w wyrównaniu	RIGID – wyrównanie zakłada bezbłądność fotopunktów SOFT – wyrównanie zakłada błądność fotopunktów TIGHT – wyrównanie zamiast fotopunktów wykorzystuje surowe obserwacje geodezyjne
ImageMesAcc:	float	dokładność pomiaru punktu na zdjęciu wyrażona w pikselach	wartości dodatnie
HzAngleMesAcc:	float	dokładność pomiaru kąta poziomego wyrażona w [cc]	wartości dodatnie
VAngleMesAcc:	float	dokładność pomiaru kąta zenitalnego wyrażona w [cc]	wartości dodatnie
DistMesAcc:	float	dokładność pomiaru odległości wyrażona w tych samych jednostkach co współrzędne punktów terenowych	wartości dodatnie
LossFunction:	string	nazwa funkcji tłumienia zastosowana w wyrównaniu	NONE – brak funkcji tłumienia HUBER – funkcja tłumienia Hubera CAUCHY – funkcja tłumienia Cauchyego
LossFunctionParameter:	float	parametr funkcji tłumienia	zazwyczaj jest to wartość z przedziału od 1 do 2
CamFixMasks:	integer	ciąg czterech liczb, z których każda może być równa 0 lub 1, 1 oznacza przyjęcie jako stałej określonego parametru kamery	pole 1: ustal/uwolnij c_k, x_0, y_0 pole 2: ustal/uwolnij k_1, k_2 pole 3: ustal/uwolnij k_3 pole 4: ustal/uwolnij p_1, p_2
GenerateCalibrationCertificate:	integer	pole definiujące czy ma być generowany certyfikat kamery	0 – nie generuj certyfikatu 1 – generuj certyfikat
FilenameImagePoints:	string	plik zawierający pomiary na zdjęciach	ścieżka do istniejącego pliku
FilenameObjectPoints:	string	plik ze współrzędnymi punktów terenowych	ścieżka do istniejącego pliku
FilenameGeodeticControlPoints:	string	plik z punktami osnowy geodezyjnej	ścieżka do istniejącego pliku
FilenameExternalOrientation:	string	plik z przybliżonymi elementami orientacji	ścieżka do istniejącego pliku
FilenameGeodeticMeasurements:	string	plik ze pomiarami geodezyjnymi	ścieżka do istniejącego pliku
FilenameReport:	string	nazwa pliku raportu	nazwa pliku raportu
FilenameCalibrationCertificateData:	string	plik certyfikatu kalibracji o rozszerzeniu .yaml	ścieżka do istniejącego pliku

Jeżeli w oknie **Bundle Adjustment** zaznaczyliśmy opcję kalibracji kamery, w polu CamFixMask będą widniały same zera. Jeżeli nie rozwiązujemy kalibracji, maska będzie miała postać: 1111. W przypadku kalibracji można zablokować wyznaczanie niektórych parametrów zamieniając 0 na 1. Podczas zajęć (samokalibracja, wyrównanie sieci zdjęć naziemnych) zmiany w pliku config.yaml nie są konieczne (nie stosujemy funkcji tłumienia, nie generujemy certyfikatu itp).

4. Wyrównanie

Wyrównanie uruchamiamy przyciskiem **Run Solver**. Należy sprawdzić, czy w konsoli nie zostały wypisane żadne ostrzeżenia lub błędy.

Uwaga! Następujący błąd:

```
E0224 12:47:21.407425 1716 covariance_impl.cc:684] Jacobian matrix is rank deficient. Number of columns: 776 rank: 769
F0224 12:47:21.407425 1716 bundleadjustment.cpp:439] Check failed: covariance.Compute(covariance_blocks, &Problem)
```

spowodowany jest najczęściej nieobsługiwanymi typami punktów terenowych w pliku object_points.txt (patrz punkt 2).

Jeżeli wyrównanie zakończy się pomyślnie, w katalogu rozwiązania pojawi się plik raportu. Jeżeli zaznaczyliśmy opcję generowania certyfikatu, znajdzie się tam również plik certyfikatu. Należy sprawdzić plik raportu pod kątem występowania błędów pomiarowych i ewentualnie powtórzyć wyrównanie po poprawieniu błędów. Tematyka analizy raportu nie jest poruszana w tym konspekcie. Poszczególne sekcje raportu zostały wyraźnie wyszczególnione a osoba o inżynierskiej znajomości rachunku wyrównawczego nie będzie miała problemu z interpretacją raportu.

5. Wczytanie wyrównanych elementów orientacji zewnętrznej

Wyrównane elementy orientacji zewnętrznej nie są automatycznie zapisywane w plikach obrazów (*.ida). Musimy je tam sami zaimportować. W tym celu należy w raporcie odszukać „wylistowane” elementy orientacji (blok ‘External orientation, list:’):

report.txt - Notatnik

Plik	Edycja	Format	Widok	Pomoc
2 C0045_00010	6,9	2,3	a1-ni-ka	1.89578 74.61874 -1.19368
3 C0045_00011	5,8	1,9	a1-ni-ka	35.29334 89.86823 0.21519
4 C0045_00019	6,0	2,4	a1-ni-ka	31.97483 77.86653 6.27200
5 C0045_00020	5,7	1,8	a1-ni-ka	321.38530 91.18859 -0.98504
6 C0045_00024	5,9	2,2	a1-ni-ka	325.17617 79.37676 -6.01724
7 C0045_00025	5,7	2,9	a1-ni-ka	320.17852 107.46856 1.01599
8 C0045_00028	6,6	2,7	a1-ni-ka	358.46746 107.92996 -0.23223
9 C0045_00031	5,8	2,9	a1-ni-ka	34.20702 107.37134 -0.09057

External orientation, list:

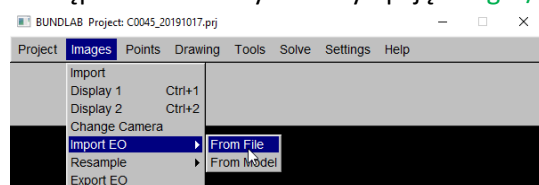
C0045_00004	0.01888	-4.62395	-0.26537	0.258730	87.203436	0.306804
C0045_00010	0.01279	-4.63091	1.14223	1.895789	74.618743	-1.193678
C0045_00011	2.94880	-3.66894	-0.25755	35.293345	89.868234	0.215189
C0045_00019	2.93347	-3.65582	1.19971	31.974826	77.866526	6.271999
C0045_00020	-3.09038	-3.46825	-0.26318	321.385300	91.188595	-0.985042
C0045_00024	-3.02930	-3.19850	1.16448	325.176167	79.376758	-6.017239
C0045_00025	-3.16891	-2.99815	-1.97064	320.178515	107.468562	1.015987
C0045_00028	-0.16419	-4.32355	-1.96842	358.467464	107.929960	-0.232229
C0045_00031	2.87167	-3.43152	-1.96742	34.207022	107.371335	-0.090572

***** CHECK POINTS *****

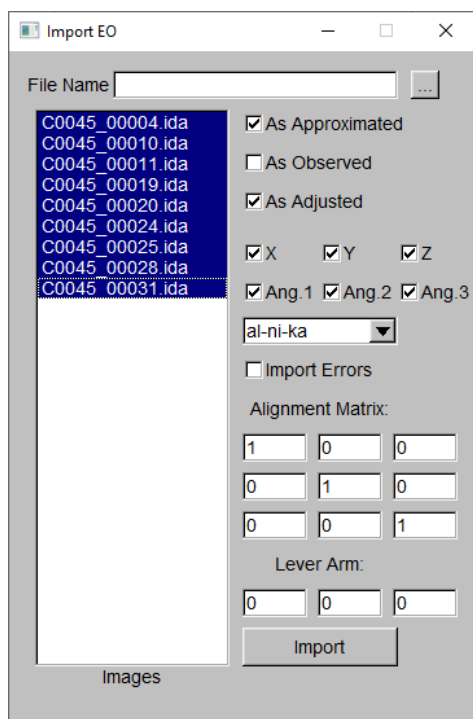
Differences in check point coordinates (given - estimated), sorted:

Id	DX	DY	DZ	DXZ
0712	-0.000037	-0.000395	0.000013	0.000357
1321	0.000203	0.000267	0.000066	0.000342
0317	-0.000114	-0.000264	0.000012	0.000288
1312	0.000003	-0.000259	0.000100	0.000278
1217	-0.000070	-0.000255	0.000054	0.000270
1121	0.000115	0.000127	0.000071	0.000186
0412	-0.000063	-0.000171	0.000054	0.000185
0721	0.000109	0.000085	-0.000022	0.000140
0421	0.000037	0.000014	-0.000090	0.000099
1112	0.000074	0.000025	0.000044	0.000090

Teraz należy skopiować wylistowane elementy orientacji do nowego pliku tekstowego. Następnie z menu wybieramy opcję **Images/Import EO/From File**:



Pojawi się okno importu elementów orientacji zewnętrznej:



Należy wybrać plik z elementami orientacji zewnętrznej (**File Name**), oraz zaznaczyć zdjęcia, dla których chcemy dokonać importu (najczęściej po prostu zaznaczamy wszystkie obrazy). Określamy w jakim polu w plikach *.ida zostaną zapisane elementy orientacji zewnętrznej (**As Approximated**, **As Observed**, **As Adjusted**). Ponieważ importowane elementy orientacji zewnętrznej są wyrównywane, należy zaznaczyć opcję **As Adjusted**. Można też zaznaczyć opcję **As Approximated**. Z listy rozwijalnej wybieramy także metodę parametryzacji importowanych kątów. Bundlab domyślnie stosuje parametryzację al-ni-ka, i w przypadku zdjęć naziemnych należy przy tym wyborze pozostać. Reszta opcji powinna być ustawiona tak jak pokazano powyżej. Wciskamy teraz przycisk **Import**. Można sprawdzić czy zaimportowane elementy orientacji zapisały się w plikach *.ida:

```

19 tangential_distortion_aposteriori_errors 1.0000e+00 1.0000e+00
20 add_param_adjust 2 2
21 add_param 0.0000e+00 0.0000e+00
22 add_param_apriori_errors 1.0000e+00 1.0000e+00
23 add_param_aposteriori_errors 1.0000e+00 1.0000e+00
24 rotation al-ni-ka
25 angles_adjust 0 0 0
26 angles_apr 272.4424 85.5132 -1.5878
27 angles_obs 0.0000 0.0000 0.0000
28 angles_adj 272.4424 85.5132 -1.5878
29 angles_apr_err 1.0000 1.0000 1.0000
30 angles_obs_err 1.0000 1.0000 1.0000
31 angles_adj_err 1.0000 1.0000 1.0000
32 coords_adjust 0 0 0
33 coords_apr 100.0506 111.0969 99.7023
34 coords_obs 100.0000 100.0000 100.0000
35 coords_adj 100.0506 111.0969 99.7023
36 coords_apr_err 0.0100 0.0100 0.0100
37 coords_obs_err 0.0100 0.0100 0.0100
38 coords_adj_err 0.0100 0.0100 0.0100
39 quaternion 0.523046650859 0.496626963263 -0.462867957579 -0.515302934430
40 rotation_matrix 0.040432279230 0.079309531733 -0.996029732976 -0.99880036
41 DLT 0.0000000000 0.0000000000 0.0000000000 0.0000000000 0.0000000000 0.00

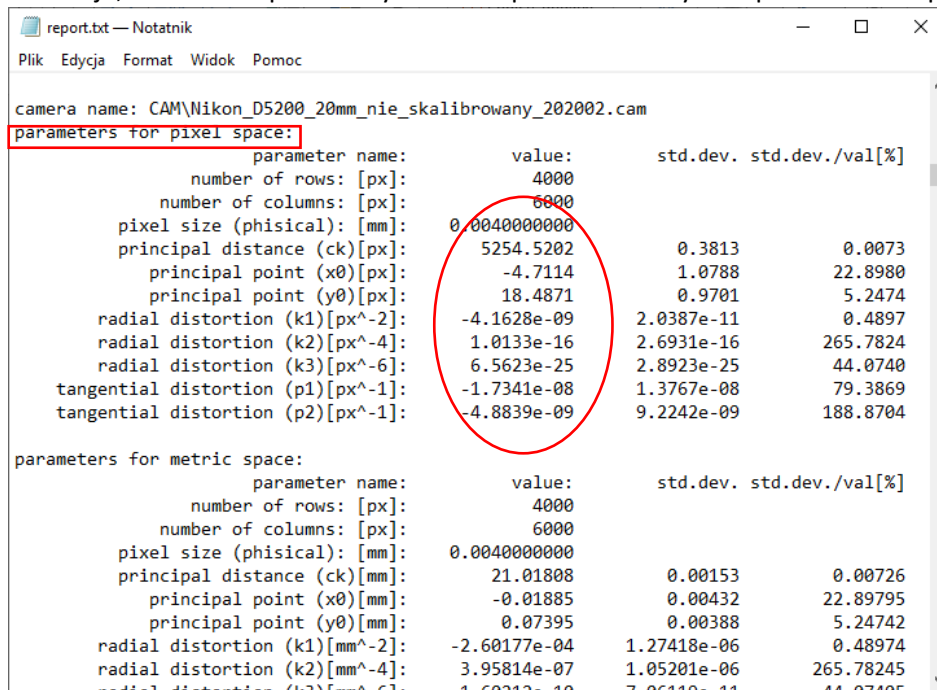
```

Jeżeli elementy orientacji zostały wyliczone poprawnie, w oknie widoku, w trybie stereo, po sprężgnięciu znaczka (klawisz **F5**) nie powinniśmy zobaczyć paralaksy poprzecznej.

Wyliczone i zapisane w plikach *.ida elementy orientacji można teraz eksportować w parametryzacji omega-phi-kappa i wczytać do innego oprogramowania (**Images/Export EO**).

6. Utworzenie nowego pliku kamery

Plik dla kamery po kalibracji należy utworzyć samodzielnie na podstawie raportu. W tym celu najlepiej skopiować sobie jakiś istniejący plik kamery, zapisać go pod odpowiednią nazwą a następnie wpisać do niego obliczone parametry (stałą kamery, współrzędne punktu głównego, dystorsja). Konspekt Camera_calibration_AGH_testfield[PL] opisuje strukturę pliku kamery oraz określa jak plik kamery może oraz jak nie powinien się nazywać. Rysunek poniżej wskazuje, które parametry z raportu należy wpisać do pliku kamery:



report.txt — Notatnik

Plik Edycja Format Widok Pomoc

camera name: CAM\Nikon_D5200_20mm_nie_skalibrowany_202002.cam

parameters for pixel space:

parameter name:	value:	std.dev.	std.dev./val[%]
number of rows: [px]:	4000		
number of columns: [px]:	6000		
pixel size (physical): [mm]:	0.0040000000		
principal distance (ck)[px]:	5254.5202	0.3813	0.0073
principal point (x0)[px]:	-4.7114	1.0788	22.8980
principal point (y0)[px]:	18.4871	0.9701	5.2474
radial distortion (k1)[px ⁻²]:	-4.1628e-09	2.0387e-11	0.4897
radial distortion (k2)[px ⁻⁴]:	1.0133e-16	2.6931e-16	265.7824
radial distortion (k3)[px ⁻⁶]:	6.5623e-25	2.8923e-25	44.0740
tangential distortion (p1)[px ⁻¹]:	-1.7341e-08	1.3767e-08	79.3869
tangential distortion (p2)[px ⁻¹]:	-4.8839e-09	9.2242e-09	188.8704

parameters for metric space:

parameter name:	value:	std.dev.	std.dev./val[%]
number of rows: [px]:	4000		
number of columns: [px]:	6000		
pixel size (physical): [mm]:	0.0040000000		
principal distance (ck)[mm]:	21.01808	0.00153	0.00726
principal point (x0)[mm]:	-0.01885	0.00432	22.89795
principal point (y0)[mm]:	0.07395	0.00388	5.24742
radial distortion (k1)[mm ⁻²]:	-2.60177e-04	1.27418e-06	0.48974
radial distortion (k2)[mm ⁻⁴]:	3.95814e-07	1.05201e-06	265.78245
radial distortion (k3)[mm ⁻⁶]:	1.6933e-10	7.0641e-11	41.07405

Tak utworzony plik kamery może być użyty np. w programie do usuwania dystorsji Quadro (<http://home.agh.edu.pl/~kolecki/programy/> - w tej lokalizacji znajduje się również instrukcja). Dla zdjęć z usuniętą dystorsją należy stosować plik kamery z wyzerowaną dystorsją oraz z zerowymi współrzędnymi punktu głównego!

Jeżeli nowy plik kamery chcemy przypisać do zdjęć w programie Bundlab, należy skorzystać z opcji **Images/Change Camera**, wskazać właściwy plik kamery oraz zaznaczyć zdjęcia, dla których nowa kamera będzie zastosowana.