

Jak się chyba już przekonałeś, przygotowanie sceny na ziemi, a szczególnie na lotnisku gruntowym, jest bardziej pracochłonne niż sceny w powietrzu. Wszystko to wiąże się z „walką z cieniem” (samolotu), który trzeba jak najlepiej wkomponować w zdjęcie tła. Wyraźnie to widać chociażby we wnioskach, podsumowujących tę sekcję.

Podsumownie

- Fotografię, którą wykorzystujemy jako tło, można przed użyciem poddać „wstępnej obróbce” w GIMP. W tym przypadku zdjęcie zostało wyostzone (*Sharpen*), by lepiej pasowało do „twardego” wykończenia detali na renderze modelu (str. 524);
- Oświetlenie sceny na ziemi składa się z 3 „lamp”. Podstawową jest słońce (*Sun* — str. 524), o odpowiednio dużej energii. Dwa pozostałe to słabe światła półsferyczne (*Hemi*). Jedno z nich rozjaśnia spód modelu, i ma wyłączone odbłyски (*No Specular*). Drugie służy do „zaakcentowania” wybranych elementów (str. 525);
- Cień samolotu uzyskujemy na powierzchni, podstawionej pod koła modelu (str. 526). To nasz model „gruntu”. Najprostszą metodą integracji cienia z tłem jest pokrycie powierzchni gruntu odpowiednią teksturą, mapowaną w trybie *Win*. Niestety, wadą tego rozwiązania jest niewielkie rozmycie obrazu tła na teksturze i brak pełnej możliwości sterowania całym zakresem jasności cienia (str. 528);
- Lepszym, choć bardziej skomplikowanym, sposobem uzyskania cienia jest wykorzystanie dwóch powierzchni, pokrytych materiałem z włączoną opcją *Only Shad(ow)* (str. 529). Pierwsza z nich ma wyłączony wpływ efektu *AO (Ambient Occlusion)* i tworzy podstawowy cień. Druga ma włączony wpływ *AO* i odpowiada za zaciemnienia wokół kół samolotu (str. 531). Intensywnością każdego z tych dwóch efektów można niezależnie sterować, zmieniając przejrzystość tych powierzchni;
- Cień samolotu można dodatkowo „urealnić”, modelując na siatce podłoża niektóre widoczne na obrazie tła nierówności. (Chodzi o te, które zniekształcają cień). Mogą to być koleiny polnej drogi (str. 530), a także kamienie (str. 532);
- Podczas pracy może Ci się przydać narzędzie do nanoszenia „linii koncepcyjnych” — *Grease Pencil* (str. 530);
- W scenach na lotniskach polowych zawsze warto odwzorować trawę, na którą pada cień samolotu. Można ją uzyskać za pomocą tzw. systemu cząsteczek (*Particles*), typu *Hair* (str. 534);
- Światła sceny warto przypisać (relacją *Parent*) do płaszczyzny podłoża. Podłoże można skierować (ograniczeniem *Locked Track*) na kamerę (str. 527). Takie ustawienia umożliwiają wygodne obracanie kamery wokół modelu (str. 535, 536);

Dodatki

Czytając wcześniejsze rozdziały, zapewne przekonałeś już się, że uwielbiam umieszczać u dołu strony przypisy z dodatkowymi informacjami. Ta część książki to właściwie wybór takich "uwag na marginesie", które w trakcie pisania urosły do rozmiaru całej sekcji ☺.

Jak w każdym dodatku, są to informacje, z których nie musisz korzystać, aby stworzyć e-model samolotu. Czasami jednak mogą się przydać, by coś wyjaśnić lub ułatwić. Mam jednak nadzieję, że znajdziesz tu rozwinięcie wielu zagadnień, które świadomie skracałem w głównym tekście książki.

Rozdział 9. Szczegółowa weryfikacja planów samolotu

Można powiedzieć, że jest to rozdział dla prawdziwych modelarzy — istot, które chcą odtworzyć pierwowzór najdokładniej, jak to jest możliwe. Efektem porównań, które pokażę poniżej, będzie poprawiona sylwetka P-40. Szczerze mówiąc, metody, które tu przedstawiam, pozwoliłyby opracować solidne plany modelarskie. Nie to było to jednak w tym przypadku moim celem.

9.1 Porównanie z rysunkami fabrycznymi

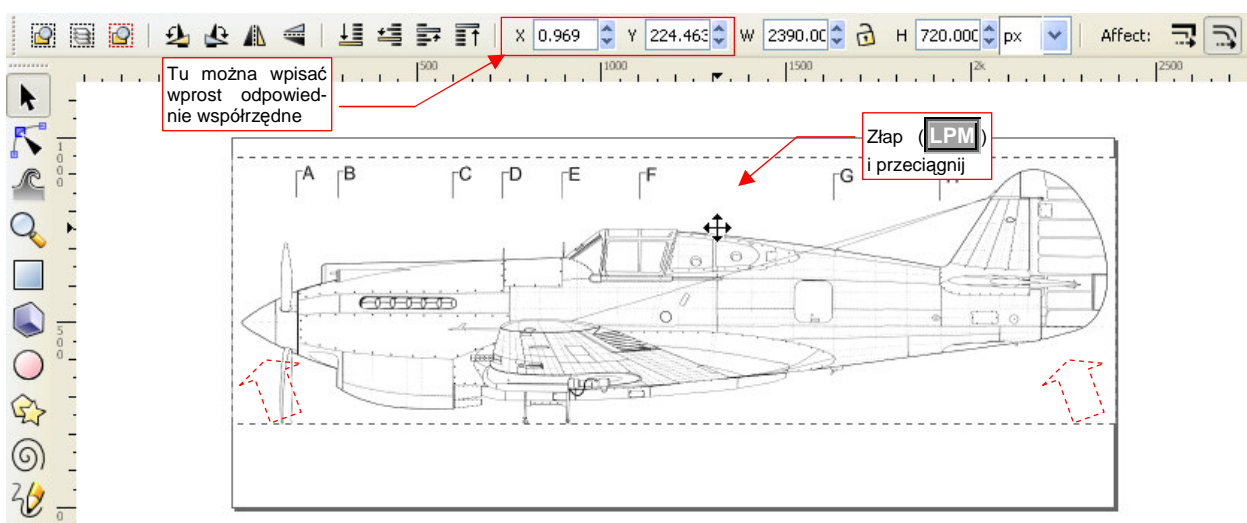
Znalazłem w Internecie¹ obrazy kilku rysunków fabrycznych P-40. Niestety, nie mają zbyt dużej rozdzielczości, więc większości wymiarów nie można odczytać. Mimo tego są i tak cenną pomocą. W tej sekcji spróbujemy porównać fragmenty samolotu, widoczne na tych rysunkach, z planami, które przygotowaliśmy.

To porównanie wykonamy w Inkscape (wprowadzenie — patrz str. 679), a nie w GIMP. Dlaczego? W Inkscape wygodniej jest skalować i obracać obrazy. GIMP na czas takiej operacji wyłącza wszelkie "przejrzystości" warstw. Inkscape podczas transformacji niczego nie przełącza ani nie wyłącza - warstwy pozostają przejrzyste. Dzięki temu przez cały czas nie tracisz z oczu wzorca, do którego się dopasowujesz. To ogromna różnica. Dopóki nie chcemy ingerować we "wnętrze" porównywanych rysunków, Inkscape jest lepszym narzędziem porównawczym.

Zacniemy od weryfikacji kształtu usterzenia poziomego. Zmień nazwę pierwszej warstwy (utworzonej domyślnie w nowym rysunku przez Inkscape) z *Layer 1* na **Image** (szczegóły — str. 686). Dodaj także drugą warstwę — nazwijmy ją **Drawing**.

W warstwę **Image** wstawimy obraz rzutu z lewej:

- wybierz warstwę **Image** jako aktualną;
- wczytaj (**File**→**Import**, str. 682) plik **P40C-ML-Left.tif**;
- dosuń wczytany obraz do lewego górnego narożnika obrazu (Rysunek 9.1.1):



Rysunek 9.1.1 Przesuwanie obrazu na docelowe miejsce

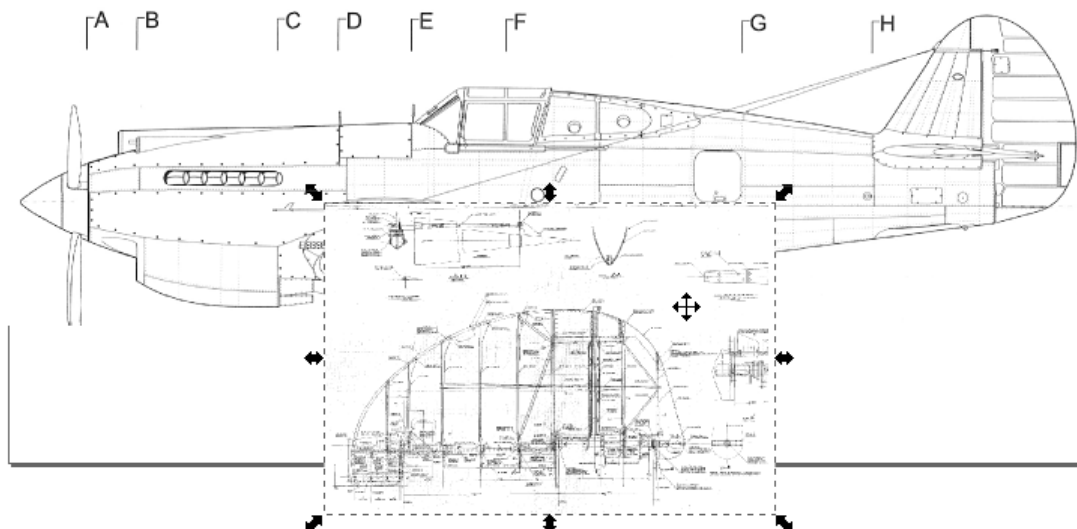
Na koniec zablokuj warstwę **Image** przed zmianami (p. str. 686). Dzięki tej blokadzie nie będziesz w stanie omyłkowo zaznaczyć i przesunąć obrazu.

¹ <http://www.p40warhawk.com>

Teraz załadujemy rysunek fabryczny steru kierunku na warstwę **Drawing**:

- wybierz warstwę **Drawing** jako aktualną;
- wczytaj *Source\Curtiss\Tail-Rudder framework.gif* (z pliku *source.zip*)

Rysunek 9.1.2 pokazuje rezultat:

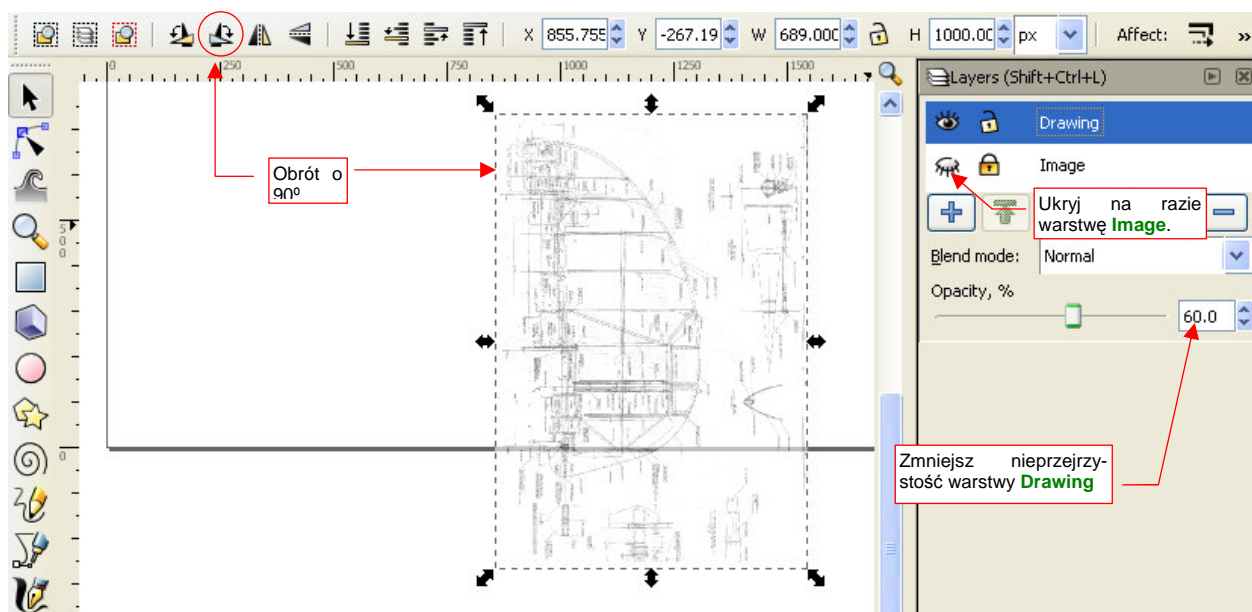


Rysunek 9.1.2 Rysunek steru kierunku, zaraz po wczytania

Jak widać (Rysunek 9.1.2), wczytany obraz musimy nieco przygotować, nim zaczniemy przymierzać do planów:

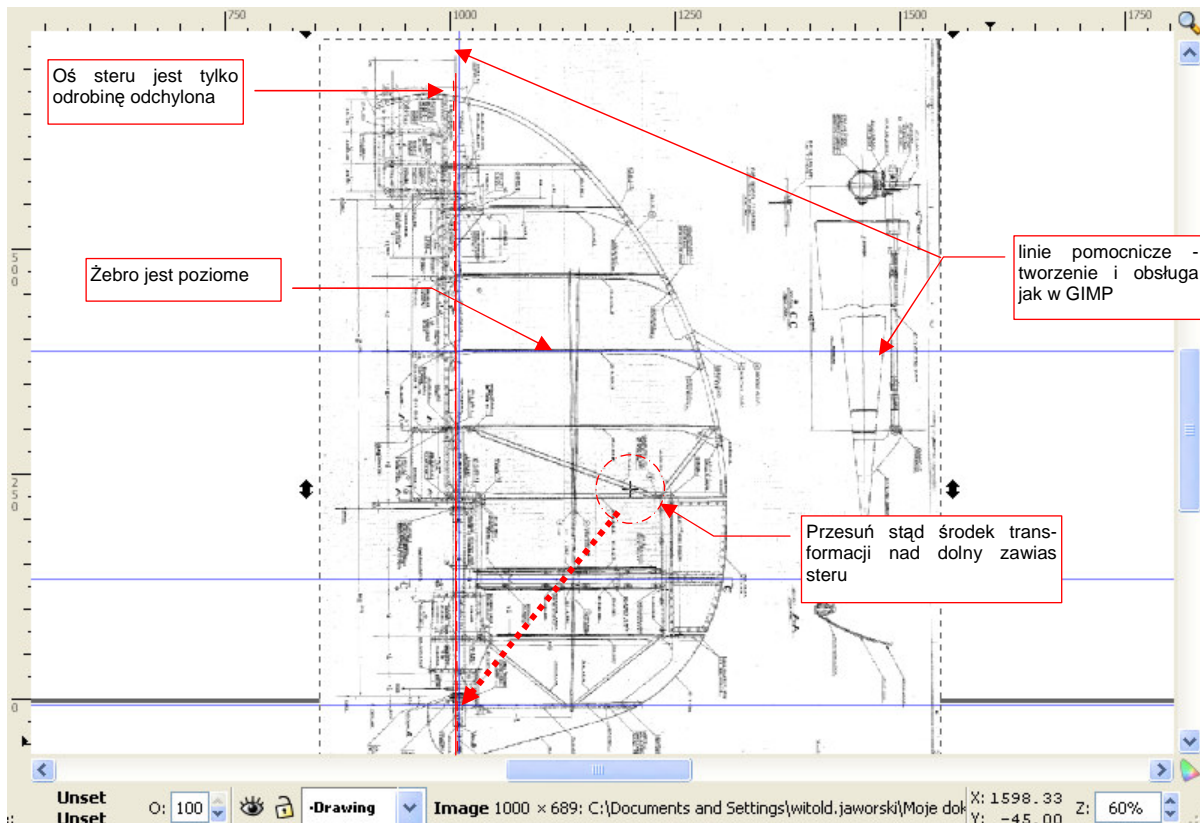
- wywołaj polecenie **Object → Rotate 90° CW** (lub użyj przycisku z paska skrótów);
- ukryj na razie warstwę **Image** (p. str. 686);
- zmniejsz nieprzejrzystość warstwy **Drawing** do 60% (p. str. 686);

Rysunek 9.1.3 pokazuje rezultat:



Rysunek 9.1.3 Wstępne przygotowanie rysunku

Zbliż się do obrazu steru kierunku (str. 685) i przyjrzyj mu się uważnie. Czy osie są proste? Czy wzajemnie prostopadłe? (Rysunek 9.1.4):



Rysunek 9.1.4 Wyszukiwanie deformacji w rysunku fabrycznym

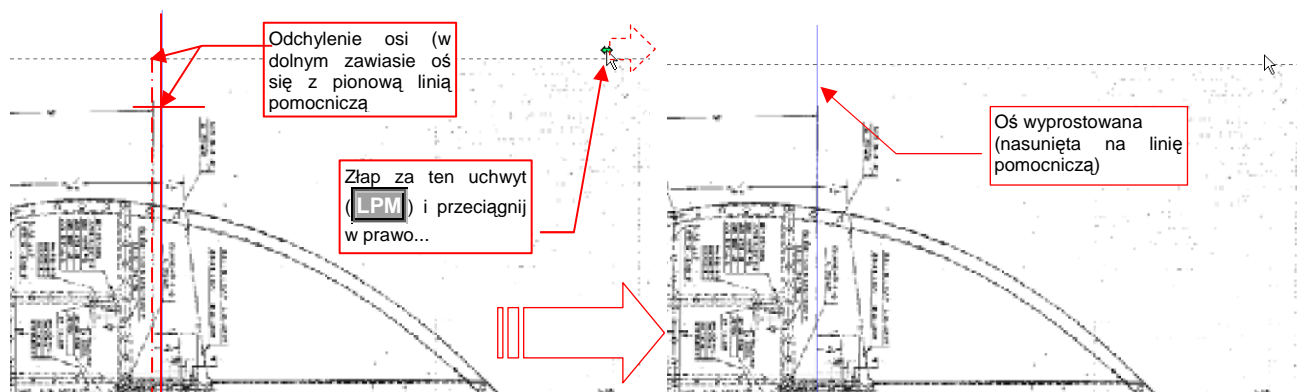
Dodaj do rysunku kilka linii pomocniczych (p. str. 692). Rozmieść je tak, by można było sprawdzić, czy kluczowe linie rysunku są pionowe lub poziome.

W przykładzie na ilustracji wygląda na to, że oś steru ma odchylenie, podczas gdy linie żeber są poprawne (poziome) (Rysunek 9.1.4). Taka sytuacja oznacza, że rysunek ma drobne przekoszenie. Będzie to trzeba poprawić przez przekoszenie w przeciwnym kierunku (szczegóły - str. 712).

Musimy jednak wcześniej zadbać o właściwe położenie środka tej transformacji (p. str. 709). Przesuń rysunek tak, by dolny zawias steru znalazł się tam, gdzie przecinają się dwie linie pomocnicze. Przesuń w ten punkt także środek obrazu (transformacji).

Każdą transformację korygującą staraj się wykonać w tak dużym powiększeniu, jak jest to możliwe. (Powiększaj widok dopóty, dopóki widzisz na ekranie uchwyt, który będziesz przesuwac, i masz jeszcze przestrzeń, by to zrobić.)

Rysunek 9.1.5 pokazuje, w jakim powiększeniu można wygodnie i dokładnie skorygować znaną deformację osi. Widzimy tu tylko fragment ramki obrotu. To nic nie szkodzi, bo najważniejszy element — uchwyt przekoszenia — jest dostępny do "złapania". Na ekranie jest także miejsce na jego przesunięcie.

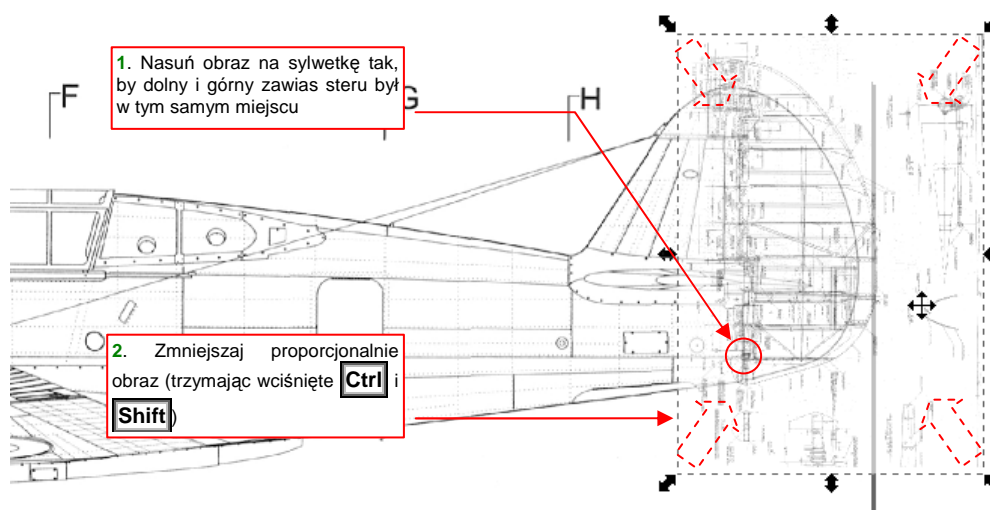


Rysunek 9.1.5 Prostowanie odchylenia

Przeciągnij uchwyt w prawo tak, by oś na obrazie pokryła się z linią pomocniczą (Rysunek 9.1.5).

- Jeżeli w czasie przeciągania drgnęła Ci ręka - dopóki nie zwolniłeś **LPM**, możesz nacisnąć **Esc**. To przezwie całą operację.
- Jeżeli już skończyłeś - i skrzywiłeś rysunek - zawsze możesz wycofać ostatnie polecenie (**Edit**→**Undo**, albo **Ctrl-Z**).

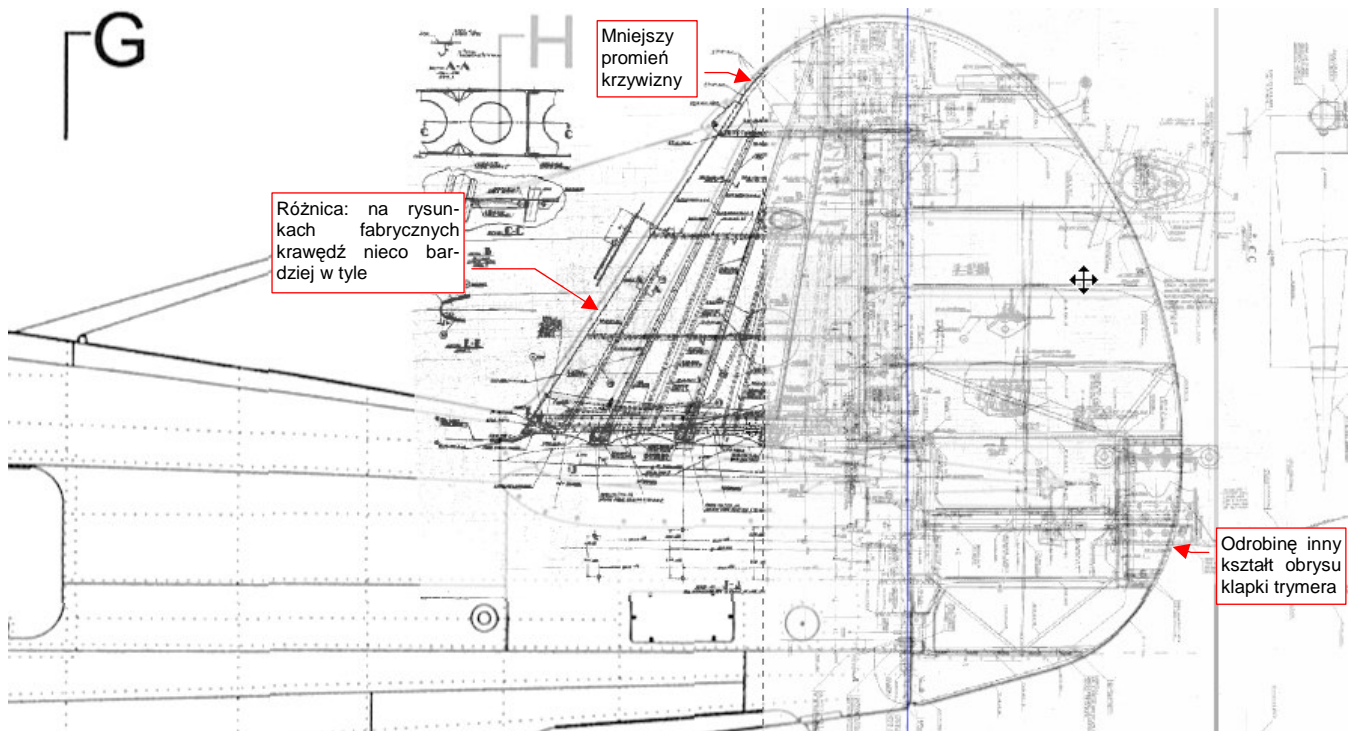
Włącz z powrotem widoczność warstwy **Image**, z sylwetką samolotu. Nasuń obraz steru na sylwetkę tak, by w tym samym miejscu miały dolny zawias. (Pamiętasz? tam umieściliśmy środek tego obrazu.) Zmniejsz rysunek steru, za pomocą narożnego uchwytu ramki (Rysunek 9.1.6). Zrób to, tak, by rozmiar zmienił się proporcjonalnie względem ustalonego środka transformacji. (Trzymaj wciśnięte klawisze **Shift** i **Ctrl** — por. str. 710)



Rysunek 9.1.6 Nanoszenie rysunku fabrycznego na sylwetkę samolotu

Podobnie jak rysunek steru kierunku, wczytaj i dopasuj rysunek statecznika pionowego (plik [Source\Curtiss\Tail-Fin.gif](#), z pliku [source.zip](#)). Uwaga: rysunek jest nieco obrócony i przekoszony — popraw go nim złożysz ze obrazem steru. Statecznik dopasuj do steru tak, by pokrywała się oś (zaznaczona na obydwu) oraz punkty zawiasów. Obraz statecznika umieść na tej samej warstwie, co obraz steru (**Drawing**).

Rysunek 9.1.7 przedstawia ostateczny efekt nałożenia rysunków fabrycznych na rzut z lewej. Różnice pomiędzy liniami planów modelarskich i dokumentacji samolotu są zaskakująco niewielkie.



Rysunek 9.1.7 Efekt nałożenia rysunków fabrycznych na rzut z lewej

Gdy znaleźliśmy różnice — warto tę wiedzę wykorzystać przy budowie modelu. Korzystanie jednak wprost z rysunków fabrycznych bywa trochę nieporęczne. Jest ich dużo, zresztą zawierają sporo nieczytelnych, przez to zupełnie bezużytecznych wymiarów. Proponuję nanieść na nasz rzut z lewej poprawiony obrys usterzenia pionowego, odpowiadający rysunkom fabrycznym. Liniję tego obrysu narysujemy w Inkscape, na oddzielnej warstwie. Nazwiemy ją — **Correction**. Aby nasze poprawki odróżniały się od reszty rysunku, wszystko na tej warstwie będzie w kolorze czerwonym. Złożenie warstw **Correction** i **Image** wyeksportujemy jako rysunek rastrowy **P40C-ML-Right.png**, który użyjemy w Blenderze.

Zróbmy to. Zablokuj warstwę **Drawing** przed zmianami. Dodaj do rysunku nową warstwę - **Correction** (str. 687).

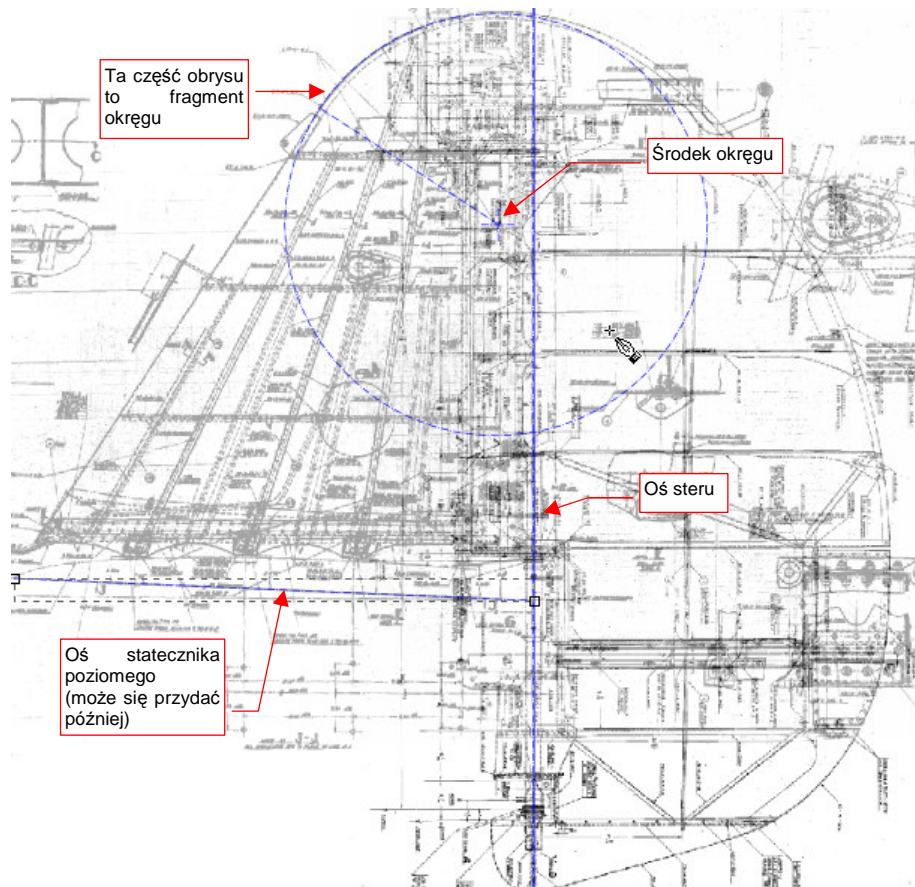
Rysowanie poprawek zaczniemy od naniesienia osi i kilku linii pomocniczych. Narysujemy je w kolorze niebieskim, by zaznaczyć w ten sposób, że nie są żadnym "namacalnym" elementem konstrukcji.

Narysuj linię osi steru (Rysunek 9.1.8). Po narysowaniu pierwszej linii przestaw (por. str. 695):

- grubość na 0.5 px;
- wzór na linię kreskowaną;
- barwę na kolor niebieski.

(Dopóki tych ustawień nie zmienisz, każdy kolejny obiekt, który narysujesz, będzie miał właśnie taką grubość, barwę i wzór).

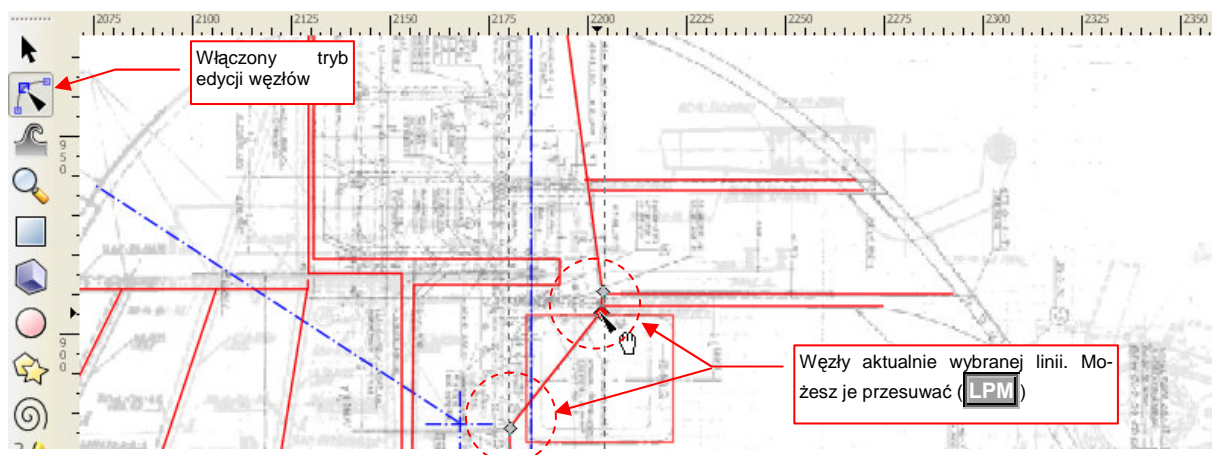
Na rysunku statecznika pionowego znajduje się także oś i zarys profilu statecznika poziomego. Teraz narysuj samą oś, potem skopiuj także profil. (Na wszystkich planach modelarskich statecznik wydaje się mieć zbyt zaokrągloną krawędź natarcia. Dokumentacja fabryczna i zdjęcia wskazują raczej na zastosowanie profilu z ostrym noskiem — p. str. 595.)



Rysunek 9.1.8 Naniesienie na rysunek osi steru i kilku pomocniczych obrysów

Rysunek 9.1.8, oprócz linii, zawiera także okrąg. Na planach fabrycznych jest zaznaczone, że obrys zaokrąglonej końcówki statecznika był łukiem. Aby to sprawdzić, umieściłem w podanym przez plany środku okrąg, o odpowiednim promieniu (rysowanie okręgu — p. str. 705). Zgadza się z zarysem statecznika!

Teraz narysuj wszystkie ważne linie wewnętrzne. Są to linie proste, czasami składające się z kilku segmentów. Po narysowaniu pierwszej z nich zmień jej właściwości: barwę linii na kolor czerwony, a wzór linii na linię ciągłą.



Rysunek 9.1.9 Poprawianie narysowanych linii

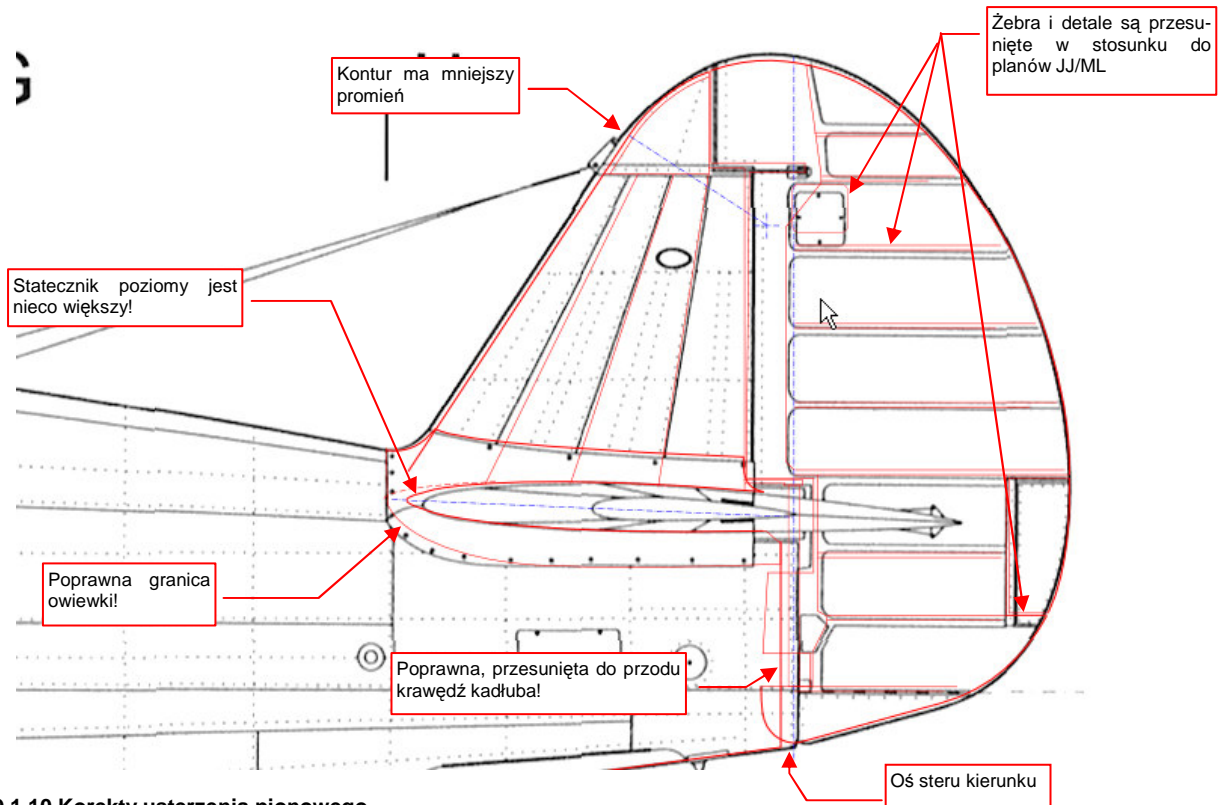
Podczas rysowania nie zapomnij trzymać wciśnięty klawisz **Ctrl**, aby linie były dokładnie pionowe lub poziome. Gdy jednak zdarzy Ci się popełnić błąd — możesz to poprawić. Wystarczy przełączyć się w tryb edycji węzłów (p. str. 697) (Rysunek 9.1.9).

Linie krzywe, odwzorowujące kształt samolotu, najlepiej jest tworzyć w dwóch etapach:

- najpierw obrysować kontur przybliżoną linią łamaną, o niezbyt dużej liczbie wierzchołków;
- potem wygładzić tę przybliżoną linię tak, by dokładnie oddać kształt obrysu.

Na str. 698 znajdziesz ogólne informacje o pracy z krzywymi w Inkscape. Na stronie 701 umieściłem się opis, jak odwzorować krawędź natarcia statecznika pionowego (jest to złożenie linii prostej i łuku). Na str. 702 znajdziesz opis, jak odwzorować kontur steru kierunku (jest to krzywa "ogólna", a nie żadne złożenie łuków).

Rysunek 9.1.10 przedstawia ostateczny efekt korekt. Wykorzystałem tu wszystko, czym dysponowałem, nawet rysunek fabryczny owiewki wokół usterzenia i kadłuba. (Nie pokazałem, ani nie omawiałem go w tej sekcji.)



Rysunek 9.1.10 Korekty usterzenia pionowego

Szczególnie zaskakujące na tym rysunku jest przesunięcie tylnej krawędzi kadłuba. (Chodzi o krawędź ostatniej wręgi kadłuba, wzdłuż której biegnie oś steru kierunku — Rysunek 9.1.10.) Według wszelkich zdjęć, oś steru leżała z tyłu tej linii, a na rysunkach JJ/ML - z przodu. Także kształt dolnej krawędzi owiewki usterzenia ma jest inny, niż na planach modelarskich.

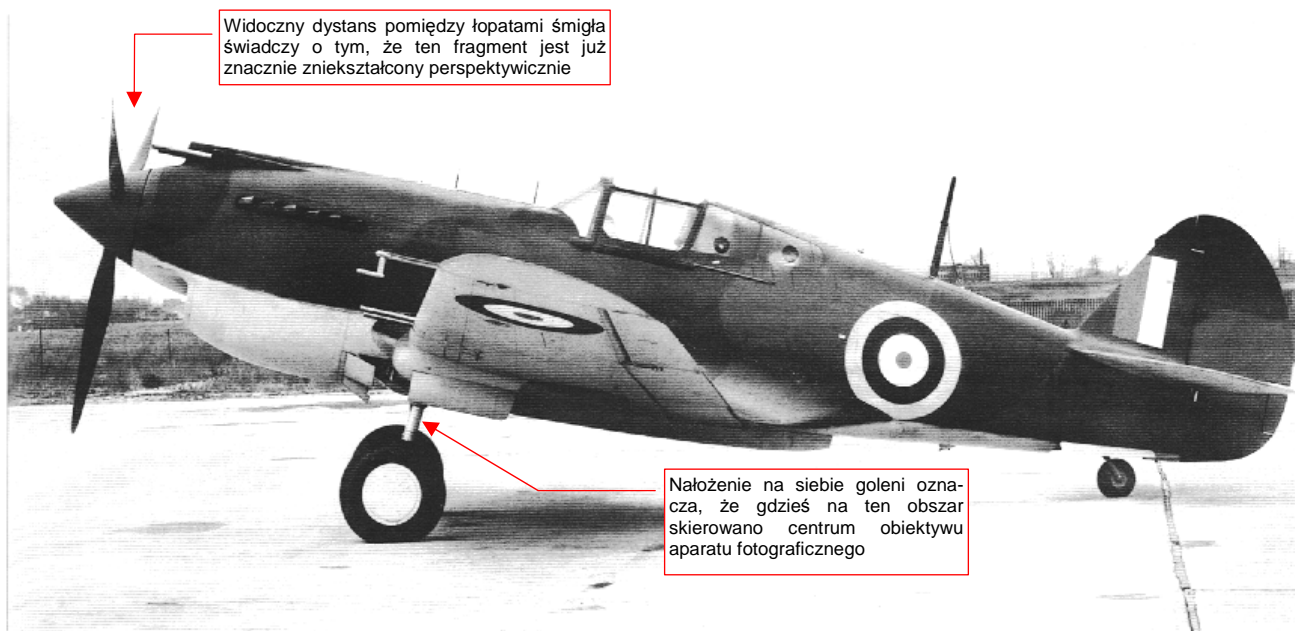
Zachowaj to porównanie jako plik **P40C-ML-Left.svg**. Wyeksportuj także do bitmapy (*File* → *Export Bitmap*) jako plik **P40C-ML-Left.png**.

Podsumowanie

- Jeżeli dysponujemy rysunkami fabrycznymi, choćby fragmentów samolotu — warto je nałożyć na plany modelarskie. Możemy odkryć wiele różnic!
- Do porównania (poprzez nałożenie) wielu obrazów wygodniej jest używać Inkscape, a nie GIMP. W Inkscape podczas każdej transformacji (skalowania lub obracania) nie tracisz z oczu żadnej z warstw. To zdecydowanie ułatwia wzajemne dopasowanie.
- Korekty oryginalnych rysunków nanosimy w Inkscape na oddzielnej warstwie, w kontrastowym kolorze (np. czerwonym)

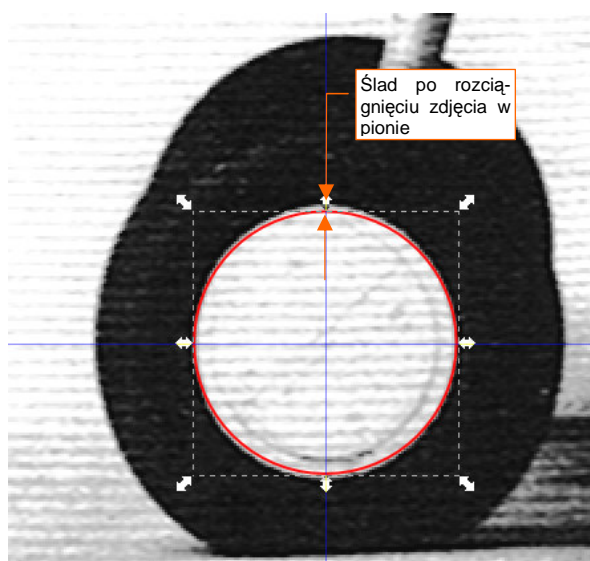
9.2 Rzut z boku: porównanie ze zdjęciami

Porównanie posiadanych planów modelarskich z rysunkami fabrycznymi zmusiło nas w poprzedniej sekcji do poprawienia planów. Mieliśmy do dyspozycji tylko rysunki fragmentów ogona: statecznika pionowego, jego owiewki, i steru kierunku. A co z resztą? Nie mamy już więcej fabrycznej dokumentacji kadłuba wersji P-40 B/C. Czy nie czają się tam kolejne niespodziewane różnice? Pozostaje porównać naszą sylwetkę z jakimś wyraźnym zdjęciem (Rysunek 9.2.1):

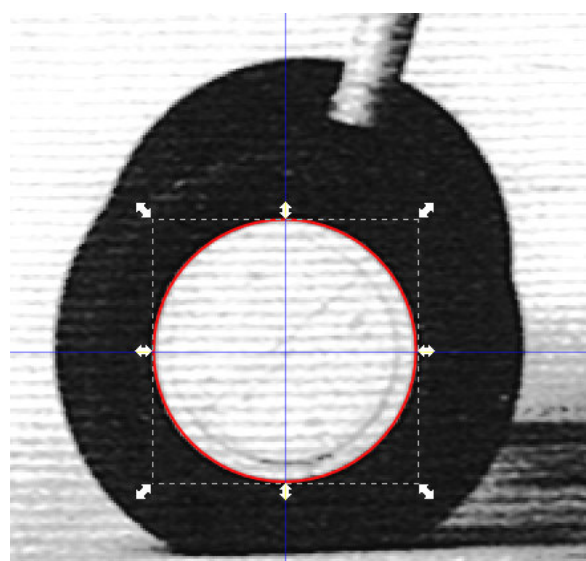


Rysunek 9.2.1 Tomahawk IIA (Hawk 81-A2, czyli P-40B) na lotnisku fabrycznym (Curtiss).

Wczytaj to zdjęcie ([Source\Photo\P40B-Left-Photo.png](#) z pliku [source.zip](#)) do Inkscape. Warstwę, na której je umieścisz, nazwij *Photo*. Zaczynj zawsze od sprawdzania, czy fotografia jest zdeformowana — nieproporcjonalnie rozciągnięta w pionie lub w poziomie. Wybierz w tym celu na obrazie coś, co powinno być kołem. W przypadku tego zdjęcia (Rysunek 9.2.1) są to piasty podwozia głównego:



Rysunek 9.2.2 Oryginalne zdjęcie



Rysunek 9.2.3 Zdjęcie po przeskalowaniu (Y: -4%)

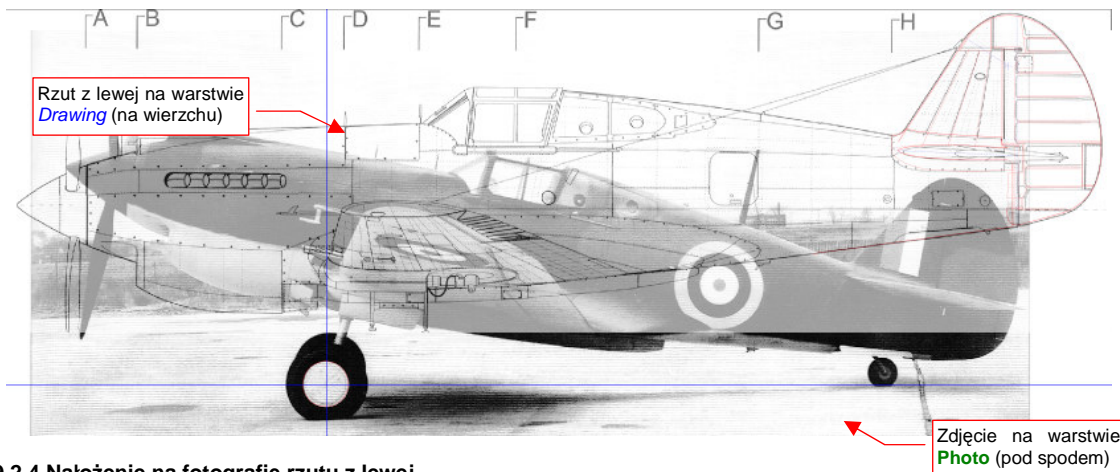
Narysuj ponad piastą okrąg (rysuj z wciśniętym **Ctrl**), by na pewno nie był elipsą). Jeżeli dostrzeżesz odchylenia w kształcie piasty (Rysunek 9.2.2) — przeskaluj zdjęcie (tj. obraz), aby stała się z powrotem kołem (Rysunek 9.2.3).

- Podczas dopasowywania zdjęcia, ułatwisz sobie pracę przesuwając jego środek do środka wzorcowego okręgu. Gdy będziesz zmieniał skalę obrazu, trzymaj wciśnięty klawisz **Shift** — przeskalowanie odbędzie się względem wyznaczonego środka.

Po sprawdzeniu i ewentualnym "wyprostowaniu" zdjęcia, usuń niepotrzebny już okrąg. Zablokuj także przed zmianami warstwę, na której znajduje się ta fotografia.

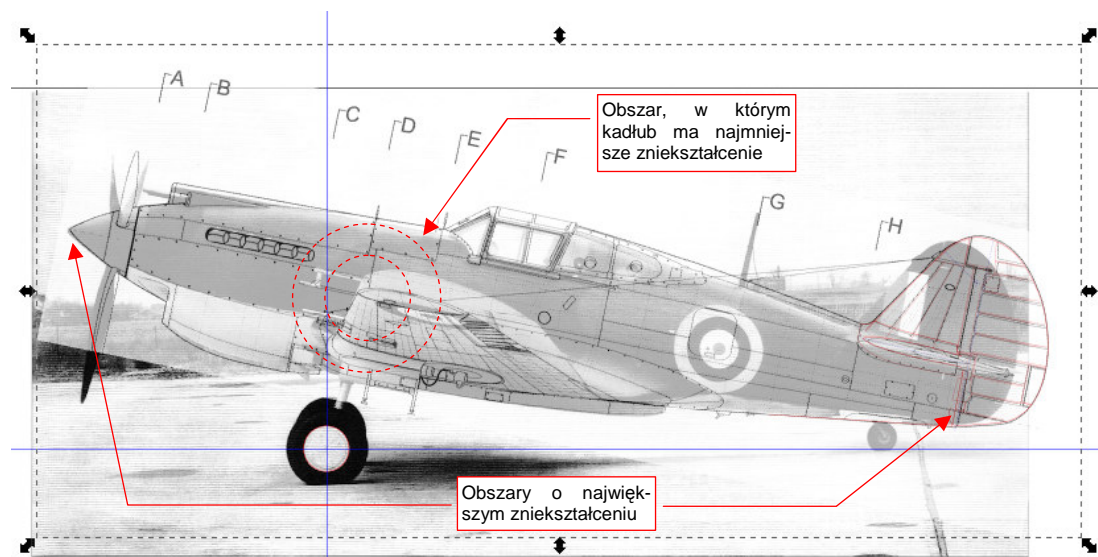
- Używaj zdjęć o jak największej rozdzielczości. Na zdjęciach marnej jakości poprawny okrąg może się wydawać odrobinę spłaszczony, z powodu dużego rozmiaru rastra (pikseli). Kierując się tą fałszywą przesłanką, możesz spłaszczyć zdjęcie. Potem będziesz sądził, że cały rzut z lewej jest do poprawy, gdyż nie pasuje do fotografii.

Utwórz nową warstwę (o nazwie **Drawing**) i wczytaj na nią rzut z lewej (*P40C-ML-Left.png*). Następnie zwiększ przejrzystość tej warstwy (Rysunek 9.2.4):



Rysunek 9.2.4 Nałożenie na fotografię rzutu z lewej

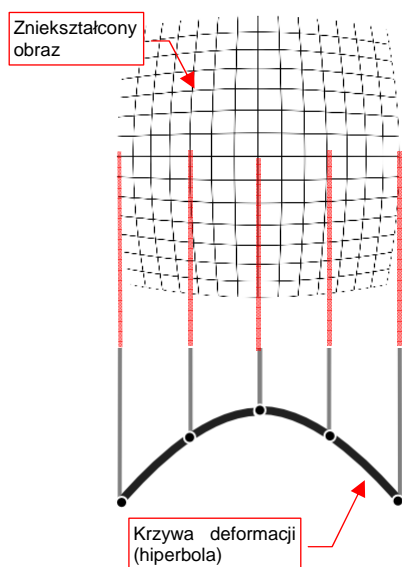
Dopasuj rzut z lewej do sylwetki na fotografii. Pochyl go w ten sam sposób, co samolot na zdjęciu. Zmniejsz skalę tak, by wysokość kadłuba w okolicy najmniejszego zniekształcenia była zgodna z wysokością na zdjęciu (Rysunek 9.2.5):



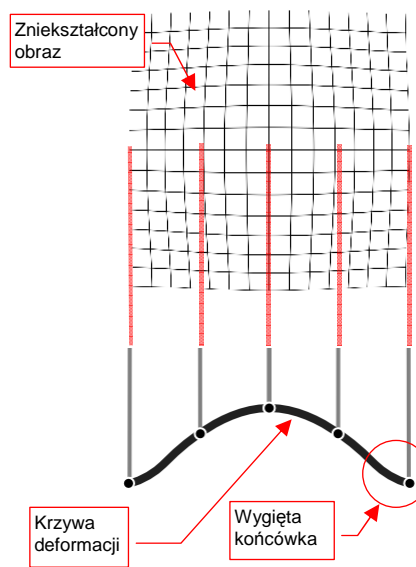
Rysunek 9.2.5 Wstępne dopasowanie sylwetki do zdjęcia

Po wstępnym dopasowaniu sylwetki do zdjęcia widać, że nie będziemy ich w stanie od razu porównać. Zniekształcenie geometryczne fotografii jest zbyt duże. Pomijam zniekształcenie perspektywiczne skrzydła (jego końcówka jest o wiele bliżej obiektywu). Kształtem płata nie będziemy przejmować. Ważny jest tylko jego profil na styku z kadłubem, w szczególności punkt na krawędzi spływu.

W rzucie z boku najważniejszy jest obrys kadłuba. Linia ta leży na jednej płaszczyźnie —symetrii kadłuba. Na analizowanym zdjęciu (Rysunek 9.2.2) uległa tzw. "zniekształceniu beczkowatemu". Rysunek 9.2.6 i Rysunek 9.2.7 pokazują, jak wygląda takie zniekształcenie na przykładzie fotografii regularnej, prostokątnej siatki.



Rysunek 9.2.6 Proste zniekształcenie beczkowate



Rysunek 9.2.7 Złożone zniekształcenie beczkowate

Gdyby soczewka obiektywu aparatu fotograficznego miała idealną ogniskową — uzyskalibyśmy zniekształcenie proste (Rysunek 9.2.6). Deformacja obrazu ma tu kształt hiperboli.

W realnym świecie nic nie jest jednak proste, a ogniskowe - idealne. Deformacja zdjęcia wykonanego obiektywem o złożonej ogniskowej może mieć skomplikowany kształt — przykład pokazuje Rysunek 9.2.7. W okolicy krawędzi tej fotografii krzywa deformacji obrazu ma końcówki wygięte do góry. (Dokładniejsze wyjaśnienie natury tej transformacji możesz znaleźć w dodatku 10.1, na str. 565).

Czy można jakoś zdeformować rzut z boku tak, by odpowiadał sylwetce na porównywanym zdjęciu? Ze względu na pracochłonność, bez zastosowania komputera jest to niewykonalne. A to oznacza, że wszelkie rysunki samolotów wykonywane metodą tradycyjną mogą zawierać różnorodne błędy kształtu. Autor takich rysunków na pewno dokładał wszelkich starań, aby zrobić je jak najdokładniej. Zazwyczaj jednak (prawie zawsze) podstawą do opracowania nowych planów modelarskich były:

- rysunki samolotu opracowane przez innych autorów;
- zdjęcia, które były porównywane z planami w dużej mierze "na oko". Deformacja perspektywiczna była kompensowana tylko w za pomocą bardzo zgrubnych poprawek.

Z kolei sam fakt opracowania rysunków na komputerze nie świadczy jeszcze o tym, że są bezbłędne. Jeżeli bazowały wyłącznie na wcześniejszych opracowaniach - mogą tylko powtarzać popełnione wcześniej pomyłki innych autorów.

Obecnie istnieją już wyspecjalizowane programy, odwzorowujące deformację perspektywiczną — jednym z nich jest np. Hungin (dostępny w ramach licencji Open Source). Ku mojemu zaskoczeniu, znalazłem jednak tę funkcjonalność także w Gimpie. (W każdym razie oceniam, że jest wystarczająca do naszych celów). Spróbujmy ją zastosować. W tym celu przygotuj odpowiednie zestawienie w Gimpie:

- wyeksportuj (*File* → *Export Bitmap*) z Inkscape zawartość warstwy z fotografią (por. Rysunek 9.2.5, str. 548) do pliku **P40C-ML-Left-Photo.png**;
- wyeksportuj z Inkscape zawartość warstwy **Drawing** (zawiera odp. pochylony rzut z lewej) do pliku **P40C-ML-Left-Drawing.png**;
- otwórz w GIMP utworzony przed chwilą plik **P40C-ML-Left-Photo.png**;
- dodaj do niego, jako dodatkową warstwę, plik **P40C-ML-Left-Drawing.png**;
- zapisz złożenie tych dwóch rysunków jako plik GIMP o nazwie **P40C-ML-Left.xcf**;
- zablokuj przed zmianami warstwę **Background** (zawierającą fotografię samolotu);
- ustaw jako aktualną warstwę **P40C-ML-Left-Drawing** (czyli rzut z boku), i zmniejsz jej nieprzejrzystość (*Opacity*) do 50-60%

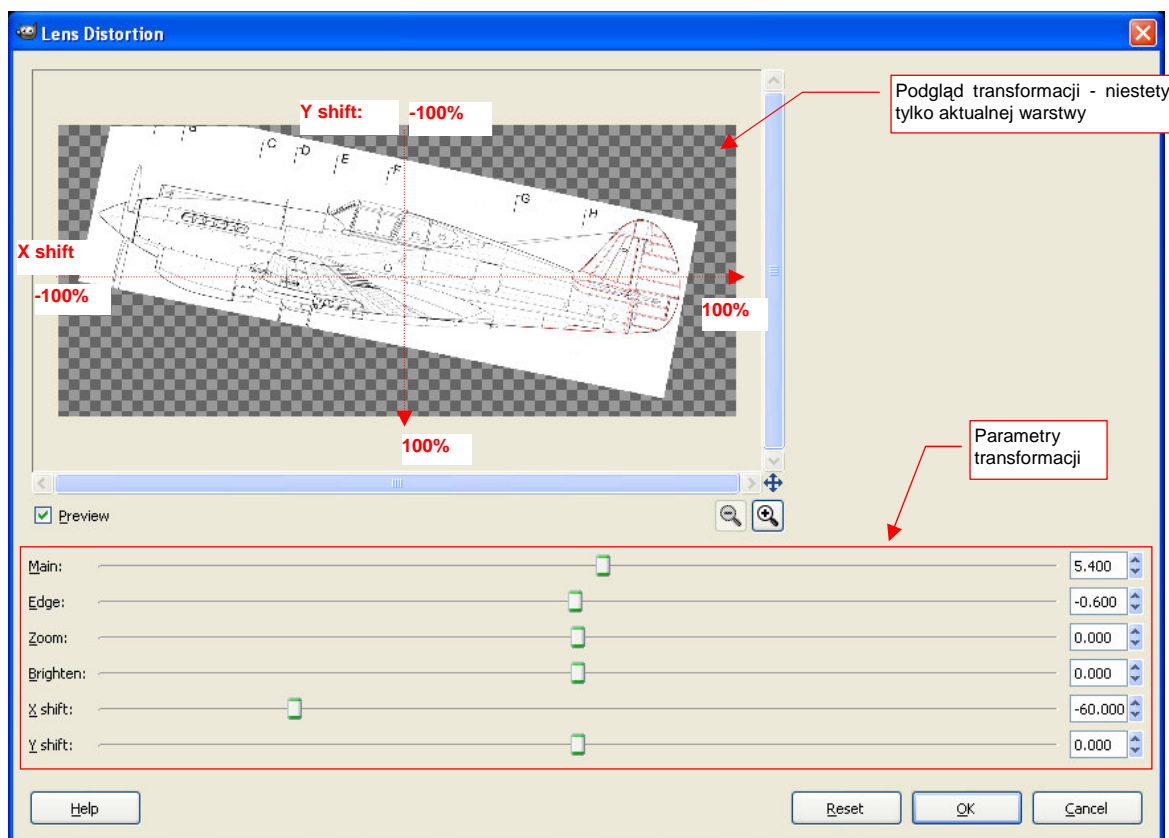
Rysunek 9.2.8 pokazuje efekt tych operacji - przeniesione do GIMP złożenie z Inkscape (por. Rysunek 9.2.5, str. 548):



Rysunek 9.2.8 Złożenie zdjęcia i rzutu z lewej — przeniesione z Inkscape do GIMP

Może, tak na marginesie, wyjaśnię dlaczego nie zacząłem od razu od Gimpia: w Inkscape jest wygodniej skalować i obracać obrazy. Do GIMP proponuję wczytać nie oryginalne zdjęcie, tylko obrazy wyeksportowane z Inkscape. W ten sposób zawartość obydwu warstw ma identyczne wymiary. Dzięki temu rzut z lewej znajdzie się w GIMP dokładnie w tym samym położeniu ponad zdjęciem, co w Inkscape.

Teraz wywołaj polecenie **Filters → Distorts → Lens Distortion**. Spowoduje to pojawienie się okna dialogowego, z parametrami zniekształcenia beczkowatego (Rysunek 9.2.9):



Rysunek 9.2.9 GIMP — okno dialogowe transformacji **Lens Distortion**.

Okno zawiera suwaki, odpowiadające następującym parametrom transformacji:

- **X shift, Y shift**: położenie na fotografii środka obiektywu. (Chodzi o punkt, na który skierowany był aparat w chwili wykonywania zdjęcia). Położenie jest określane w zakresie od -100% do +100%. Wartość 0% odpowiada środkowi obrazu (patrz Rysunek 9.2.9);
- **Main**: główny współczynnik zniekształcenia. Dodatni oznacza "skurczenie" obrazu wokół krawędzi. Ujemny — to oczywiście efekt odwrotny. Przy dopasowywaniu do zdjęć będziesz używać wartości dodatnich;
- **Edge**: dodatkowa deformacja w okolicy krawędzi. Podobnie jak **Main** może być dodatnia (dodatkowe "skurczenie" obrazu) lub ujemna.
- **Zoom**: powiększenie (zwykła zmiana skali, bez żadnej "magii") względem punktu określonego przez **X shift, Y shift**. Ten parametr warto użyć, gdy nie doceniłeś deformacji zdjęcia i np. nie możesz osiągnąć odpowiedniej wysokości kadłuba w obszarze wokół środka obiektywu

Ustalanie transformacji zacznij zawsze od ustalenia punktu, na który była wycelowana kamera (**X shift, Y shift**). W przypadku klasycznego zdjęcia samolotu stojącego na lotnisku, współrzędna **Y** środka obiektywu wypada zazwyczaj na poziomie horyzontu/wzrostu człowieka. Położenia współrzędnej **X** możesz się domyśleć, szukając obszaru, w którym nie widać żadnego odchylenia płaszczyzn poprzecznych. (Na przykład — końcówki łopat śmigła, albo golenie podwozia, zasłaniające się wzajemnie).

Po ustaleniu celu kamery staraj się osiągnąć deformację jak ze zdjęcia za pomocą zmiany głównej krzywizny: **Main**. Staraj się ją dobrać w ten sposób, by przynajmniej długość obydwu sylwetek stała się taka sama. Jednocześnie, jak najwięcej "kluczowych" punktów konstrukcji w okolicy "celu" kamery (jak nasada skrzydła, statecznika poziomego, ramki kabiny...) powinno się zgadzać.

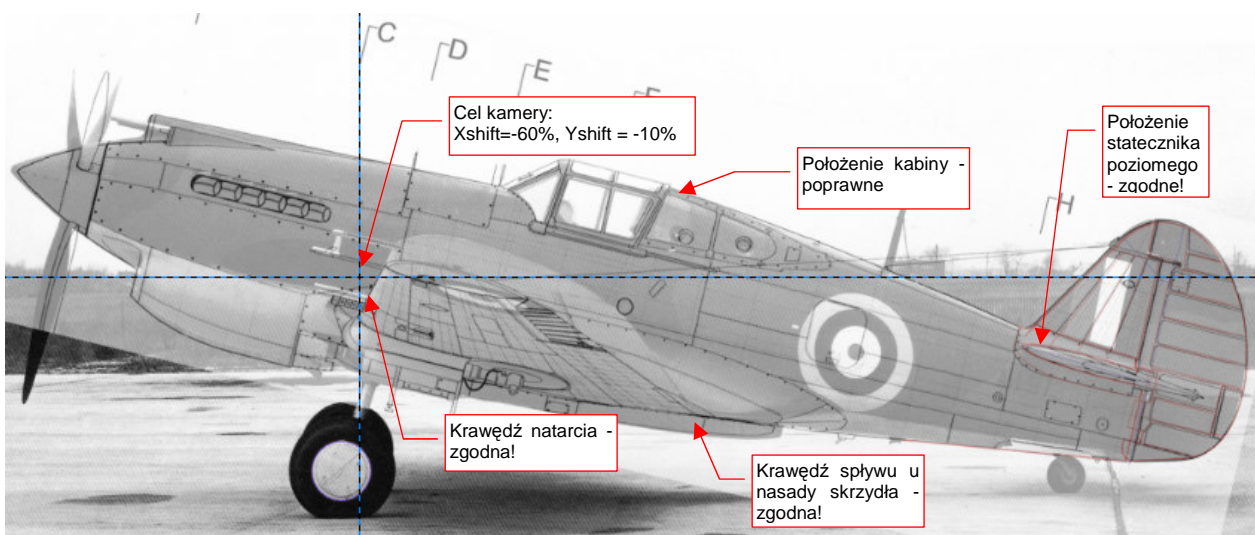
W oknie **Lens Distortion** jest dostępny podgląd efektu transformacji (Rysunek 9.2.9). Niestety, widać w nim tylko aktualną warstwę, więc nie wiemy, czy "trafiliśmy" w zdjęcie, czy nie. Pozostaje tylko taktyka "kolejnych przybliżeń":

- ustaw parametry transformacji (zazwyczaj zmieniasz tylko **Main**);
- naciśnij przycisk **OK**;
- obejrzyj rezultat;
- gdy nie jest odpowiedni:
- cofnij efekt transformacji (**Edit**→**Undo Lens Distortion**);
- wywołaj ponownie okno dialogowe **Lens Distortion** (**Filters**→**Re-Show "Lens Distortion"**). Na szczęście okno "pamięta" ostatnio użyte wartości parametrów;
- popraw parametry transformacji i spróbuj jeszcze raz.

Parametru **Edge** używaj dopiero wówczas, gdy w żaden sposób nie możesz odwzorować zdjęcia za pomocą samego parametru **Main**. Może to wyglądać tak:

- długość zdeformowanej sylwetki dokładnie zgadza się z długością na zdjęciu, podobnie jak część kluczowych wymiarów;
- mimo to kształt usterzenia pionowego nie jest zgodny ze zdjęciem.

Rysunek 9.2.10 pokazuje efekt transformacji dla **X shift = -40%**, **Y shift = -10%**, **Main = 5.8** (pozostałe parametry są pozostawione w pozycji neutralnej):

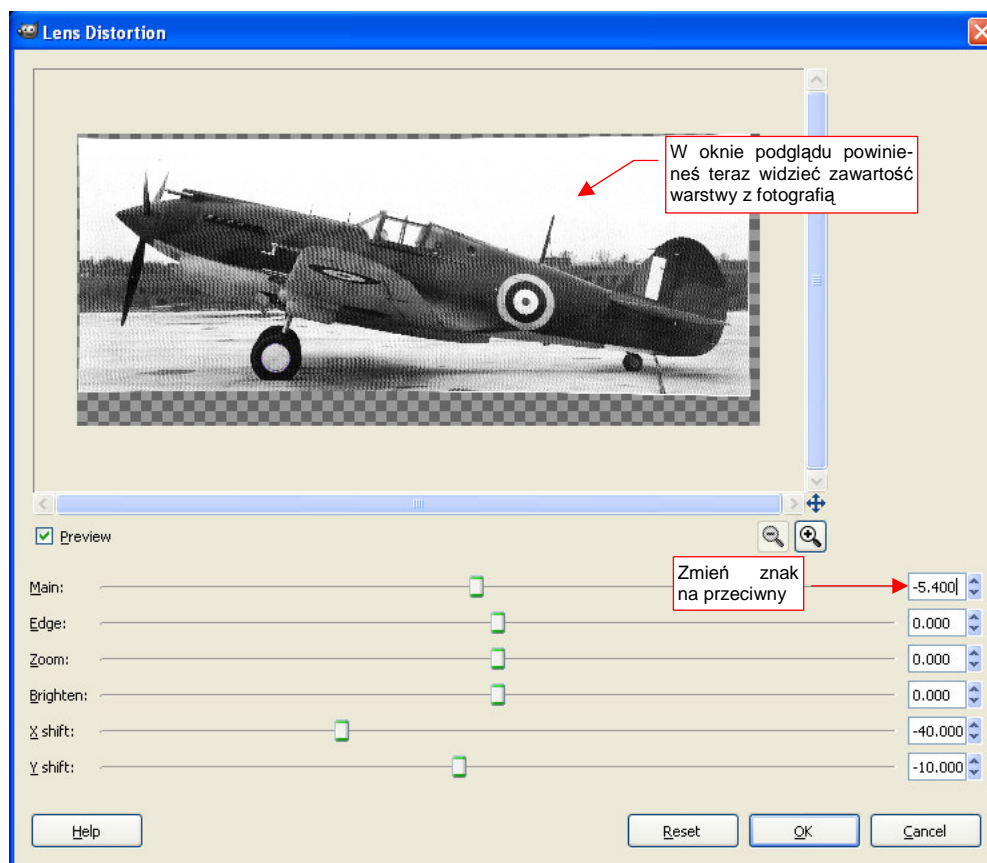


Rysunek 9.2.10 GIMP — Rzut z lewej, dopasowany do zdjęcia (transformacja **Lens Distortion**)

Oprócz linii zgodnych, dostrzeżemy szybko na złożeniu wiele niedokładności. Widać nieco zbyt wygięty grzbiet kadłuba za kabiną, zbyt głęboka chłodnicę pod silnikiem... Czy można w jakiś łatwy sposób przenieść te poprawki na niezdeformowany rzut z lewej?

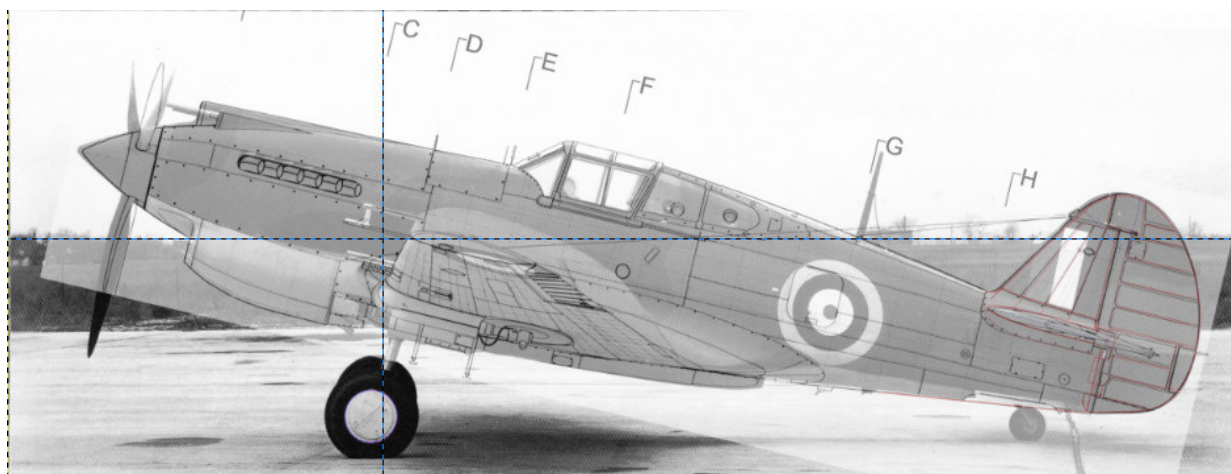
Oczywiście! Wystarczy, że poddamy odwrotnej deformacji nie plany modelarskie, a samo zdjęcie:

- wycofaj (**Edit→Undo Lens Distortion**) ostatnią transformację;
- zmień aktywną warstwę na **Background** (to ta, zawierająca fotografię);
- wywołaj ponownie okno dialogowe **Lens Distortion** (**Filters→Re-Show "Lens Distortion"**) i zmień znaki parametrów **Main** i **Edge** (Rysunek 9.2.11):



Rysunek 9.2.11 Parametry odwrotnej transformacji — z fotografii do rzutu prostopadłego

Rysunek 9.2.12 pokazuje efekt odwrotnej transformacji - zdjęcie dopasowane do rzutu z lewej! (**Main = -5.4**, pozostałe parametry transformacji — bez zmian.)

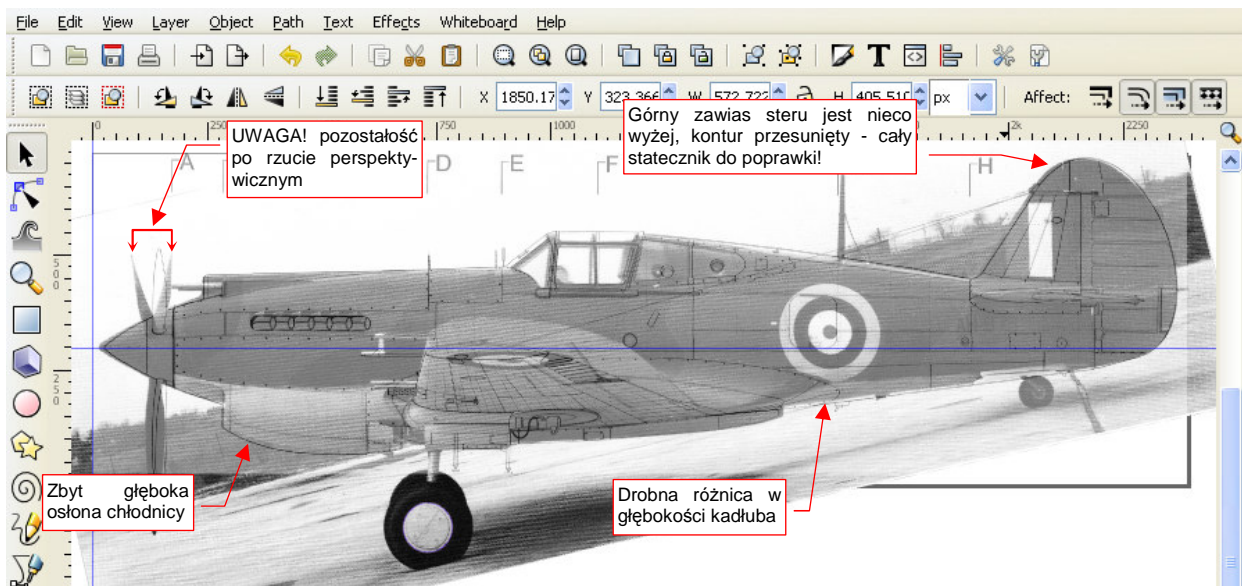


Rysunek 9.2.12 Fotografia, "rozciągnięta" za pomocą **Lens Distortion** do rzutu prostopadłego

Teraz wystarczy przenieść zawartość warstwy **Background** do Inkscape. W ten sposób będziemy mogli porównać rysunek z prawdziwym samolotem!

Aby to zrobić:

- (w GIMP:) wyłącz widoczność warstwy **P40C-ML-Left-Drawing** (to ta z rzutem z lewej). Na ekranie powinna pozostać tylko zdeformowana fotografia;
- zapisz widoczną warstwę (*File* → *Save As*) do pliku o nazwie **P40C-Left-Photo.tif**;
- otwórz (w Inkscape) plik **P40C-ML-Left.svg** (stworzyliśmy go w poprzedniej sekcji — zobacz str. 546);
- wyłącz w pliku **P40C-ML-Left.svg** (Inkscape) widoczność wszystkich warstw, oprócz warstwy **Image**;
- dodaj nową warstwę: **Photo**. Umieść ją pod warstwą **Image**;
- wczytaj na warstwę **Photo** (*File* → *Import...*) plik **P40C-Left-Photo.tif**. (To ten utworzony przed chwilą w Gimpie);
- przesuń i obróć wczytany obraz, tak, by pasował do rzutu z lewej (Rysunek 9.2.13):



Rysunek 9.2.13 Inkscape — złożenie rzutu z lewej z "wyprostowanym" zdjęciem

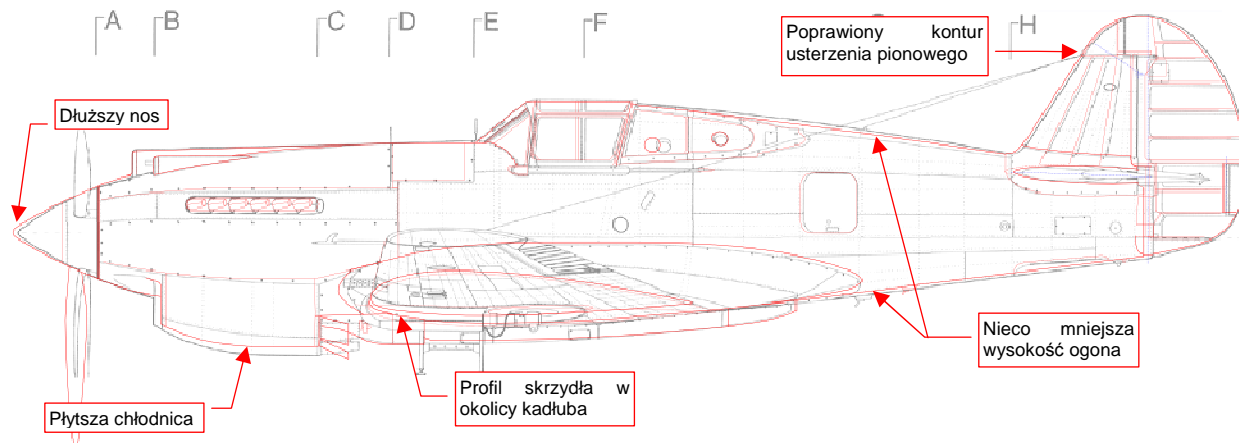
Teraz pozostaje tylko obrysować różnice kształtu na warstwie **Correction**, tak jak to robiliśmy w poprzedniej sekcji (por. str. 545). Na przykład — ze zdjęcia wynika, że górny zawias steru kierunku jest nieco wyżej. Czy pamiętasz, że właśnie do tych zawiasów przykładaliśmy rysunki fabryczne (por. Rysunek 9.1.6, str. 543)? Założyliśmy wówczas, że są we właściwym miejscu. Teraz będzie trzeba przesunąć trochę cały obrys.

- Jeżeli nie porównasz rysunków fabrycznych z odpowiednim zdjęciem, możesz je zastosować w sposób niepoprawny, i nie uzyskać prawdziwego kształtu samolotu

Podczas porównywania planów z fotografią pamiętaj także o tym, że nie wszystkie efekty zniekształcenia perspektywicznego zniknęły z rysunku. Przyjrzyj się końcówkom łopat śmigła (Rysunek 9.2.13): nadal są wygięte względem obserwatora. Ten efekt powoduje, że np. luk akumulatora na planach powinien znajdować się nieco bardziej z przodu, niż na zdjęciu. Jedynie elementy leżące dokładnie w osi symetrii kadłuba nie będą miały takiego przesunięcia. Możesz je oszacować, mierząc np. odchylenie krawędzi pokrywy kółka ogonowego. Potem proporcjonalnie zmniejszaj tę odległość, jeśli element jest bliżej centrum deformacji. (No cóż, jak widać, nawet tu odwzorowujemy coś "na oko". Zapewniam jednak, że ogólna niedokładność tego porównania jest o niebo lepsza niż to, z czego mogliśmy korzystać przed "erą komputerów".¹)

¹ Wiele bym dał, aby mieć do dyspozycji takie narzędzia, gdy w 1988 opracowywałem rysunki McDonell Douglas F4E! (Opublikowane później w małej monografii tego samolotu, w styczniu 1990.)

Rysunek 9.2.14 pokazuje rezultat — korekty naniesione na rzut z lewej. Rysowałem je w kolorze czerwonym. Dodatkowo na rzut naniosłem wzory profilu płata - w osi symetrii i u nasady skrzydła. (Zgodnie z dokumentacją, był to NACA 2215. Jeżeli chcesz dowiedzieć się, w jaki sposób na podstawie symbolu profilu narysować jego obrys — patrz "Kształt profili lotniczych (metody odwzorowania)" na str.590.) Kształt przekroju skrzydła bardzo się przydaje w weryfikacji dolnej krawędzi kadłuba dolnopłata. Większość autorów rysuje ten fragment dość nieuważnie, podobnie jak rzut z boku skrzydła. (Na przykład - na rysunkach Jacka Jackiewicza i Mariusza Łukasika złożone koła podwozia głównego są w rzucie z boku za szerokie. Wygląda to tak, jak gdyby dotykały kadłuba.)



Rysunek 9.2.14 Korekty rzutu z boku, naniesione po porównaniu ze zdjęciem

Ogólnie rzecz biorąc, nasza sylwetka wyszła z porównania ze zdjęciem "obronną ręką". Poważnych różnic nie ma. Z większych:

1. Chłodnica cieczy okazała się na fotografii płytsza, niż na rysunku.
2. Tylna krawędź kadłuba leży bardziej z przodu, niż na planach.
3. Oś obrotu steru pozostała w tym samym miejscu, więc obecnie jest poza kadłubem.
4. Kołpak śmigła okazał się dłuższy, niż na planach (patrz Rysunek 9.1.8 — weryfikowałem to także z innymi zdjęciami).

Ta ostatnia poprawka wydłużyła całą sylwetkę o ok. 0,3%. Jednocześnie niemal niezauważalnie przesunęła się do przodu tylna krawędź steru kierunku. W sumie sylwetka wydłużyła się o 0,25%, co oznacza różnicę w skali rzeczywistej o ok. 2,5 cm. Może jestem chorobliwie dokładny, ale jest to zbyt drobna różnica, by powtórnie korygować cięciwę płata. (W skali rzeczywistej, w najszerszym miejscu, różnica wynosiłaby ok. 8 mm. To zupełnie niezauważalne. Mimo to, jak pokażę w następnej sekcji, dopasowałem płat do tego rozmiaru.)

Na koniec powiększyłem wysokość tego obrazu z 720 do 1024 jednostek, tak, by obejmował cały obrys dolnej łopaty śmigła. (Nie po to się męczyłem się nad jej obrysem, by teraz go obcinać.) Uzyskany rysunek zapisz, na wszelki wypadek, jako dokument Inkscape (**P40C-ML-Left.svg**). Stwórz także jego kopię rastrową (**File→Export Bitmap**). Nadaj jej nazwę **P40C-ML-Left.png**.

Dzięki porównaniu ze zdjęciami uzyskaliśmy poprawiony rzut z boku. Oszczędzamy sobie w ten sposób późniejszego odkrywania tych wszystkich różnic. (Modelowanie w 3D bezbłędnie wyłapuje wszelkie niekonsekwencje rysunku) Każda z nich objawia się tym, że nagle coś do czegoś nie pasuje. Takie błędy znajdowałibyśmy w trakcie budowy modelu, jeden po drugim. Zapewniam, że wtedy ich poprawianie wymaga większego wysiłku. Oznaczałoby konieczność ciągłego poprawiania ukończonych już elementów, a to hamowałoby cały postęp prac.

Podsumowanie

- Za pomocą narzędzia GIMP — *Lens Distortion* — możesz "rozwinąć" zdjęcie, dopasowując je do rzutu z boku (str. 548 - 553). Otwiera to nowe możliwości weryfikacji planów modelarskich.
- Zdjęcie, którego użyjesz do porównania z rzutem z boku, powinno mieć jak największą rozdzielczość. Samolot na nim powinien być na nim jak najmniej zniekształcony (str. 548 - 549).
- Staraj się zawsze sprawdzić, czy zdjęcie nie jest zdeformowane (zanadto wyciągnięte w pionie lub poziomie). W tym celu wybierz na fotografii kształt, o którym wiesz, że powinien być dokładnym kołem. Porównaj go z okręgiem, narysowanym w Inkscape (str. 547).
- Uzyskane w GIMP "rozwinęte" zdjęcie można przenieść do Inkscape, aby znaleźć i poprawić różnice na planach (str. 554 - 555).

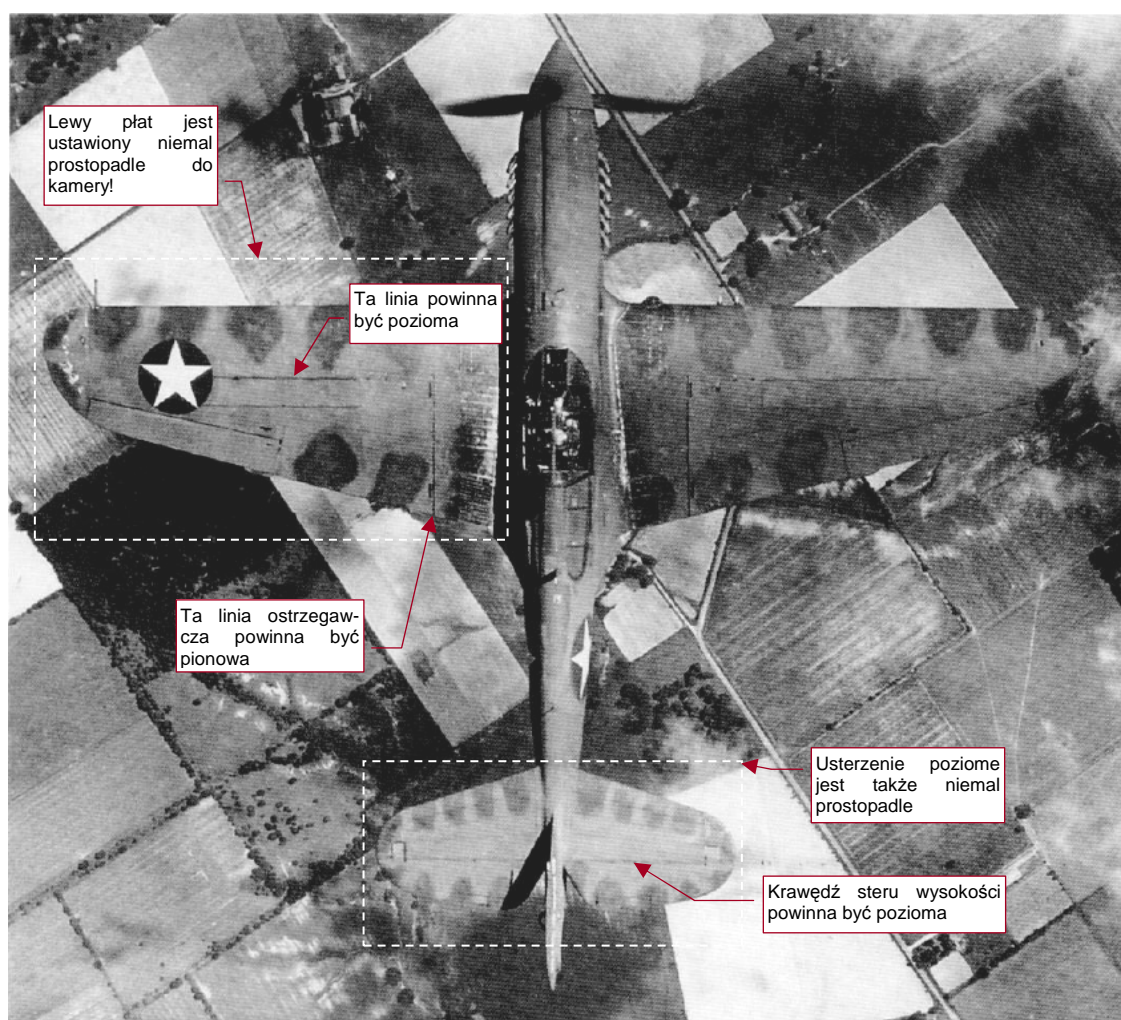
9.3 Rzut z góry: porównanie ze zdjęciami i rysunkami fabrycznymi

Sprawdziłiśmy już tak dokładnie, jak się tylko dało, rzut z boku P-40. Pozostał nam jeszcze do sprawdzenia rzut z góry. Z nieocenionego <http://www.p40warhawk.com> można pobrać rysunki fabryczne dwóch elementów:

- kompletnego płata ([Source\Curtiss\Wing-overall.gif](#) z pliku [source.zip](#));
- steru wysokości ([Source\Curtiss\Tail-elevator.gif](#) z pliku [source.zip](#));

Jeżeli chodzi o zdjęcia, to niestety, metoda jaką zastosowaliśmy do "wyprostowania" rzutu z lewej (patrz str. 547), tu nie zdaje egzaminu. Problem polega na tym, że rzut z góry nie ma jednej płaszczyzny, nad którą można by się było skoncentrować. Jest tu kilka ważnych powierzchni: płata, usterzenia poziomego, kadłuba. Niestety, każda z nich jest w innej odległości od obserwatora. W dodatku płaty mają wznios, co jeszcze bardziej komplikuje sprawę. Zresztą zdjęć z góry samolotu jest o wiele mniej niż zdjęć z boku. Wynika to z prostego faktu, że z góry trzeba było zazwyczaj wykonać w powietrzu. Na taki "strzał" fotograf ma o wiele mniej okazji — aby go zrobić, musi się znaleźć w innym samolocie.

Szukając w ogóle jakichkolwiek zdjęć z góry, natknąłem się na następujące (Rysunek 9.3.1):



Rysunek 9.3.1 P40N — zdjęcie z góry (USAF)

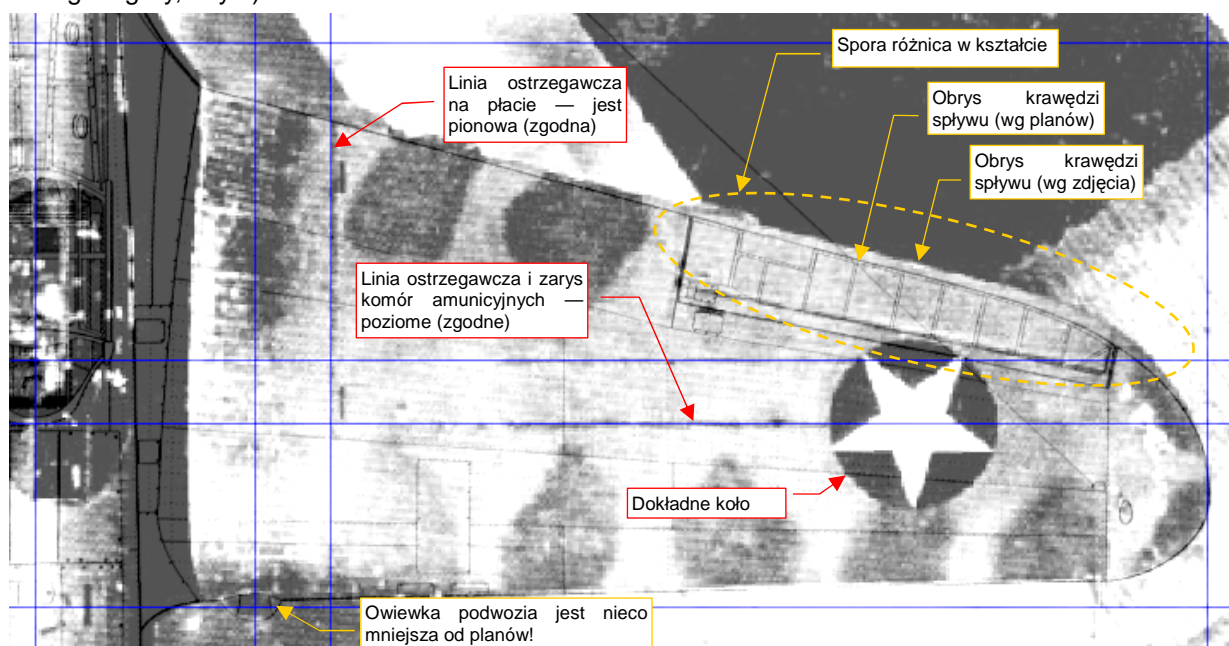
To nic, że fotografia przedstawia późną wersję P-40. Wszystkie — od pierwszych do ostatniej serii — miały takie same kształty skrzydeł i usterzenia poziomego.

Rysunek 9.3.1 zawiera unikalne ujęcie. Ten P-40N jest przechylony na lewo — o 7-8°. Dzięki temu lewy płat jest ustawiony niemal prostopadle do obserwatora. Jednocześnie zniekształcenie perspektywiczne jest niewielkie. Koło, w które wpisana jest gwiazda na lewym płacie nie ma żadnych widocznych zniekształceń. Także maszt anteny na ogonie samolotu jest tylko odrobinę odchyłony od pionu. Kamera była skierowana na okolicę kabiny pilota. Całej fotografii "rozwinąć" z perspektywy, tak jak to zrobiliśmy z rzutem z lewej, nie jesteśmy w stanie. Ale pojedyncze obszary - to co innego! Użyjemy tego zdjęcia do weryfikacji dwóch elementów. Rysunek 9.3.1 pokazuje je, obrysowane liniami przerywanymi:

- obrys płata¹;
- obrys usterzenia poziomego.

Ewentualne różnice naniesiemy jako poprawki na plany samolotu (tak samo, jak to zrobiliśmy z rzutem z lewej).

Zacznijmy od porównania płata z fotografii i płata z planów. Otwórz w Inkscape plik **P40C-ML-Top.tif**. Utwórz nową warstwę (pod spodem) i wczytaj na nią to zdjęcie (*SourcePhotoP40N- Top-Photo.png* z pliku *source.zip*). Dopasuj jak najdokładniej do planów lewe skrzydło samolotu z fotografii. W pierwszym kroku dopasuj jego rozmiary (szerokość i wysokość). Następnie ustaw fotografię tak, by linia ostrzegawcza była pionowa. Jednocześnie osłony zasobnika z amunicją powinny być poziome (Rysunek 9.3.2). Osiągnięcie tego efektu wymaga drobnego obrotu i minimalnego przekoszenia fotografii. (Przekoszenie niweluje drobny efekt wzniosu płata, widzianego z góry, z tyłu):



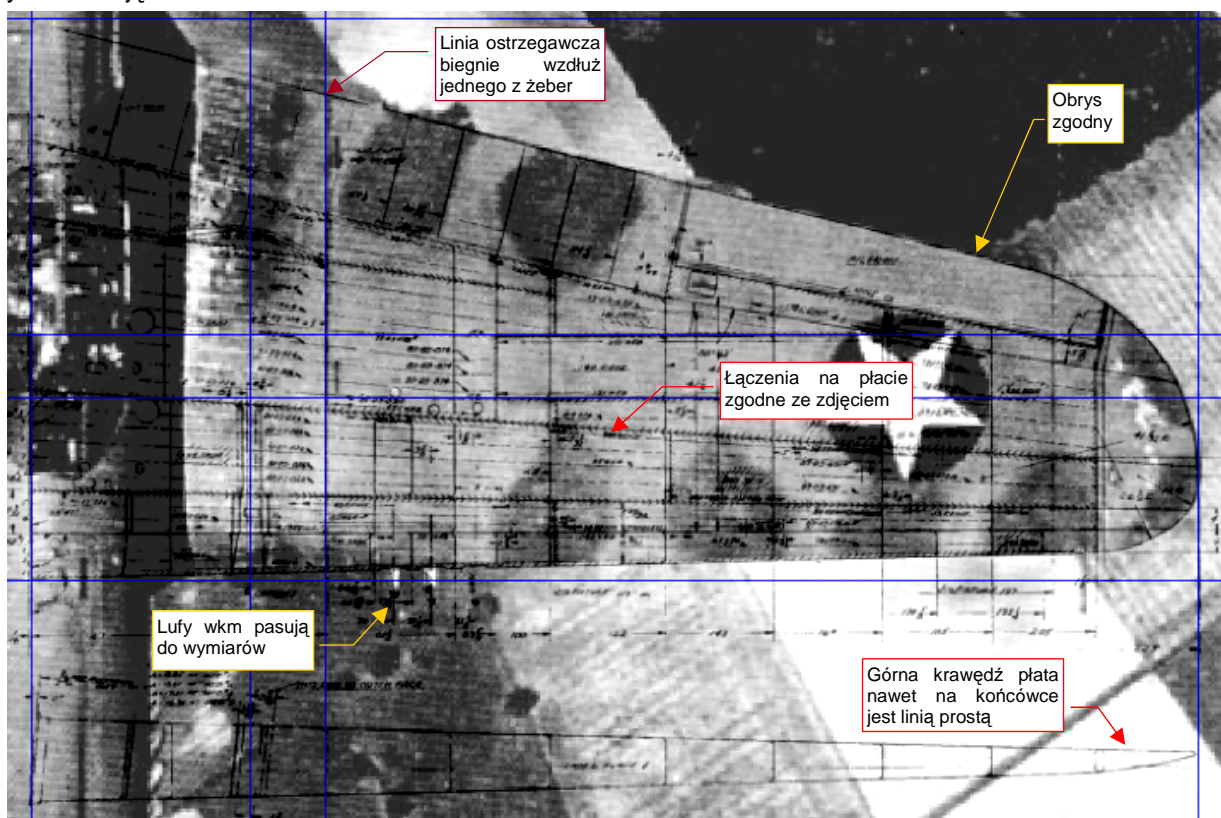
Rysunek 9.3.2 Kształt płata — porównanie fotografii z planami M. Łukasika (i J. Jackiewicza)

Efekt jest zaskakujący: krawędź spływu i kocówka płata są na planach źle narysowane! Pociągnęło to za sobą także błędne położenie osi lotki — jest za bardzo przesunięta do przodu.

- Na planach modelarskich samolotu, powierzchnie poziome — płat, usterzenie — zawierają częściej błędy, niż lepiej udokumentowane fotografiami powierzchnie pionowe

¹ Rysunek fabryczny to "położony" płat. W związku ze wzniosem płata o 6°, zmniejszyłem proporcjonalnie rozpiętość w rzucie z góry do $\cos(6^\circ) = 99.5\%$ oryginalnego rozmiaru.

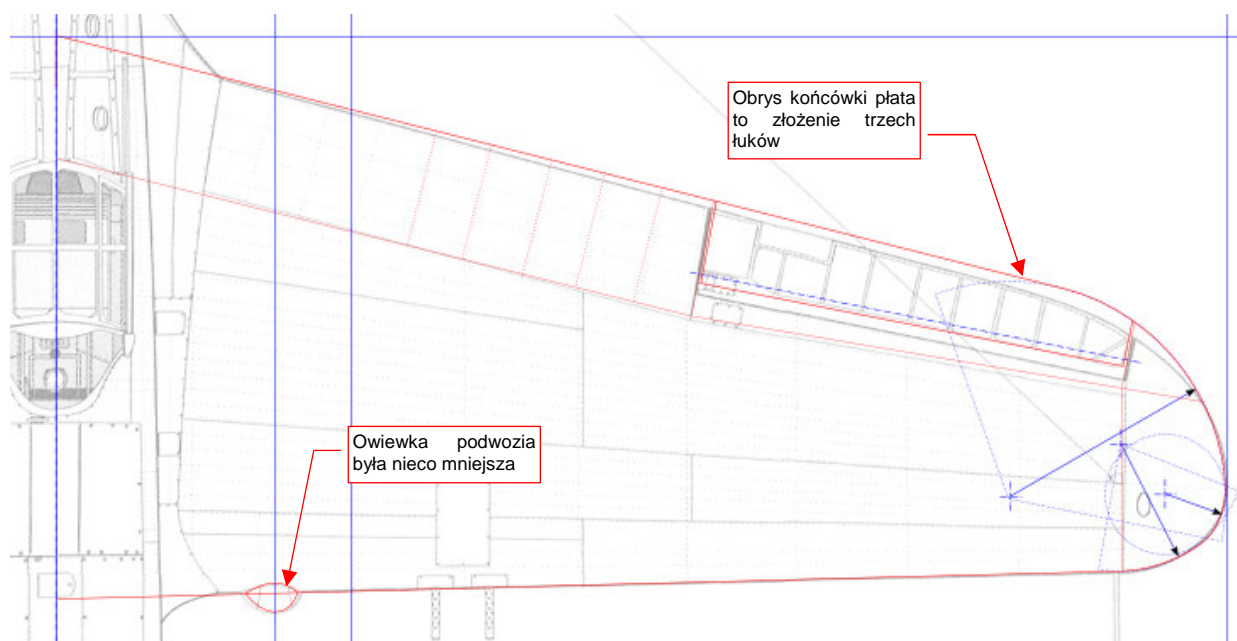
Upewnijmy się, czy możemy zastosować posiadany fragment dokumentacji fabrycznej. Wczytaj na kolejną warstwę plik *Source\CurtissWing-overall.gif* z pliku *source.zip*. Rysunek 9.3.3 pokazuje złożenie tego rysunku skrzydła ze zdjęciem:



Rysunek 9.3.3 Porównanie fotografii z fabrycznymi rysunkami płata

Jak można było przypuszczać, tym razem różnic nie ma. Być może autorzy planów (Jacek Jackiewicz, a potem Mariusz Łukasik) nie mieli okazji skorzystać w odpowiednim czasie z tego rysunku.

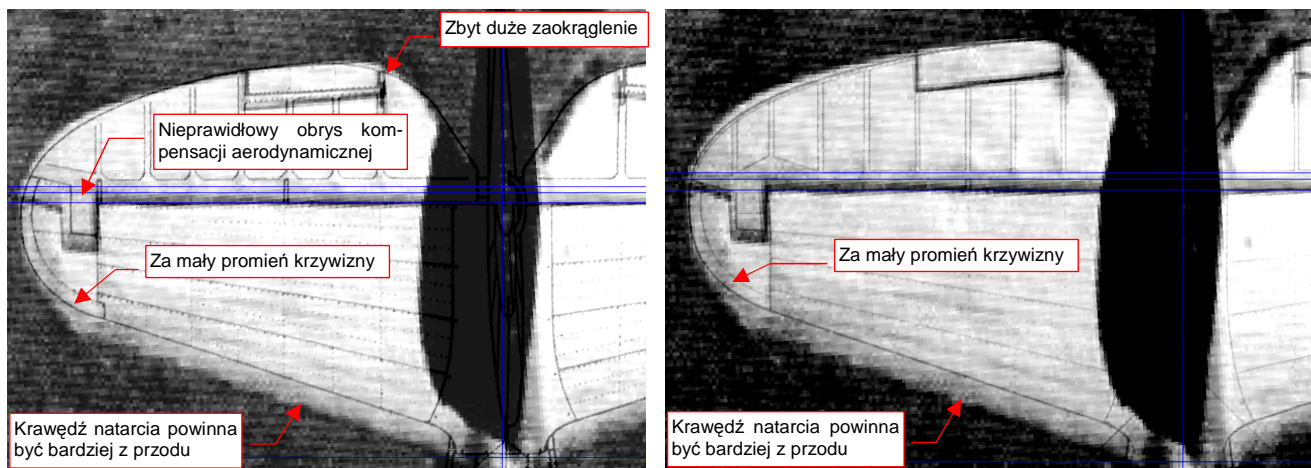
Rysunek 9.3.4 przedstawia rzut z góry z naniesionymi poprawkami. O dziwo, poza tylnym dźwigarem, wszystkie łączenia blach i linie nitów na planach pasują do rysunków fabrycznych!



Rysunek 9.3.4 Rzut z góry — poprawiony obrys płata

W podobny sposób zweryfikujmy obrys usterzenia poziomego. W tym szczególnie rysunki Jacka Jackiewicza i Mariusza Łukasika różnią się od siebie.

Na rysunku Jacka Jackiewicza ster wysokości ma bardziej zaokrągloną krawędź spływu. Jego kompensacja aerodynamiczna znajduje się także w innym miejscu, niż na zdjęciu — i nie jest to mała różnica (Rysunek 9.3.5). Ster na tym rysunku zawiera tyle różnic, że nie ma co się nim posługiwać¹.



Rysunek 9.3.5 Obrys usterzenia P-40 wg planów J. Jackiewicza **Rysunek 9.3.6** Obrys usterzenia P-40 wg planów M. Łukasika

Mariusz Łukasik zauważył tę różnicę, i starał się ją poprawić. Jego obrys usterzenia jest bardziej zbliżony do fotografii (Rysunek 9.3.6). Krawędź steru znajduje się w poprawnym miejscu, a wyważenie masowe ma rozmiar zbliżony do rzeczywistego. Wygląda jedynie, że w tym przypadku autor nie zauważył niewłaściwych proporcji statecznika — jego krawędź natarcia jest nadal przesunięta do tyłu. To w efekcie spowodowało (przy próbie dopasowania steru do statecznika) zmniejszenie promienia obrysu końcówek usterzenia. (Ster musiał pasować do statecznika). Wygląda na to, że Mariusz Łukasik starał się zachować kształt krawędzi natarcia jak na rysunkach Jacka Jackiewicza. Czyli — jest lepiej, ale też nie za dobrze.

Co z tym fantem robić? Spróbujmy złożyć całą posiadaną dokumentację fabryczną, która dotyczy tego fragmentu (Rysunek 9.3.7).

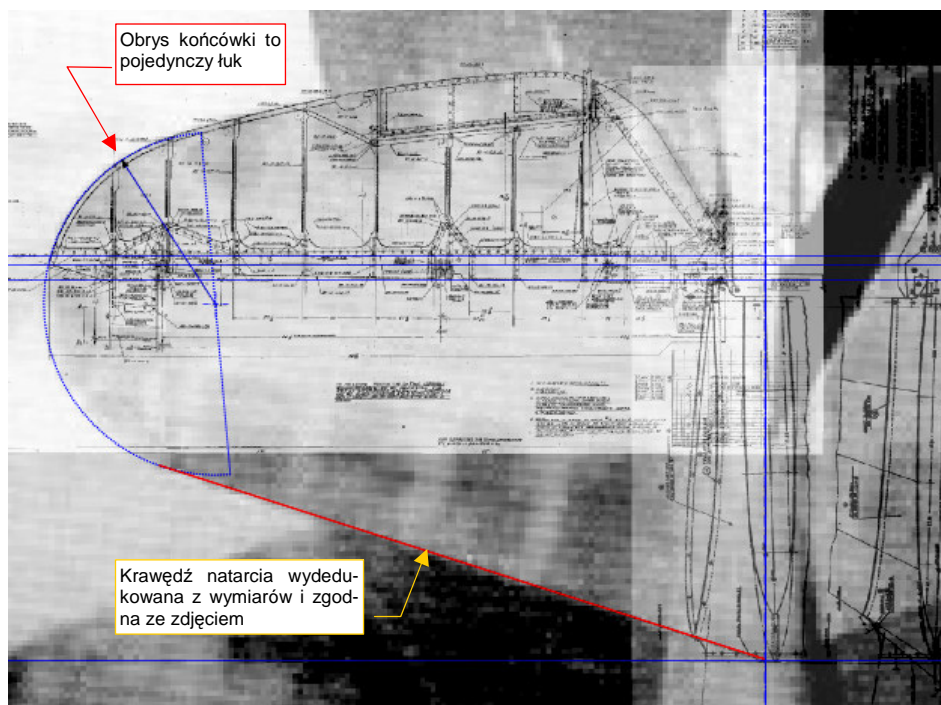
Na zdjęcie usterzenia nałóż rysunki fabryczne:

- steru wysokości ([Source\Curtiss\Tail-elevator.gif](#) z pliku [source.zip](#));
- oprofilowania usterzenia ([Source\Curtiss\Tail-fairing.gif](#) z pliku [source.zip](#));

Na pierwszym z nich jest oznaczony środek okręgu - obrysu końcówki usterzenia. Przedłużam go sponad steru na statecznik, gdyż taki kształt jest zgodny ze zdjęciem.

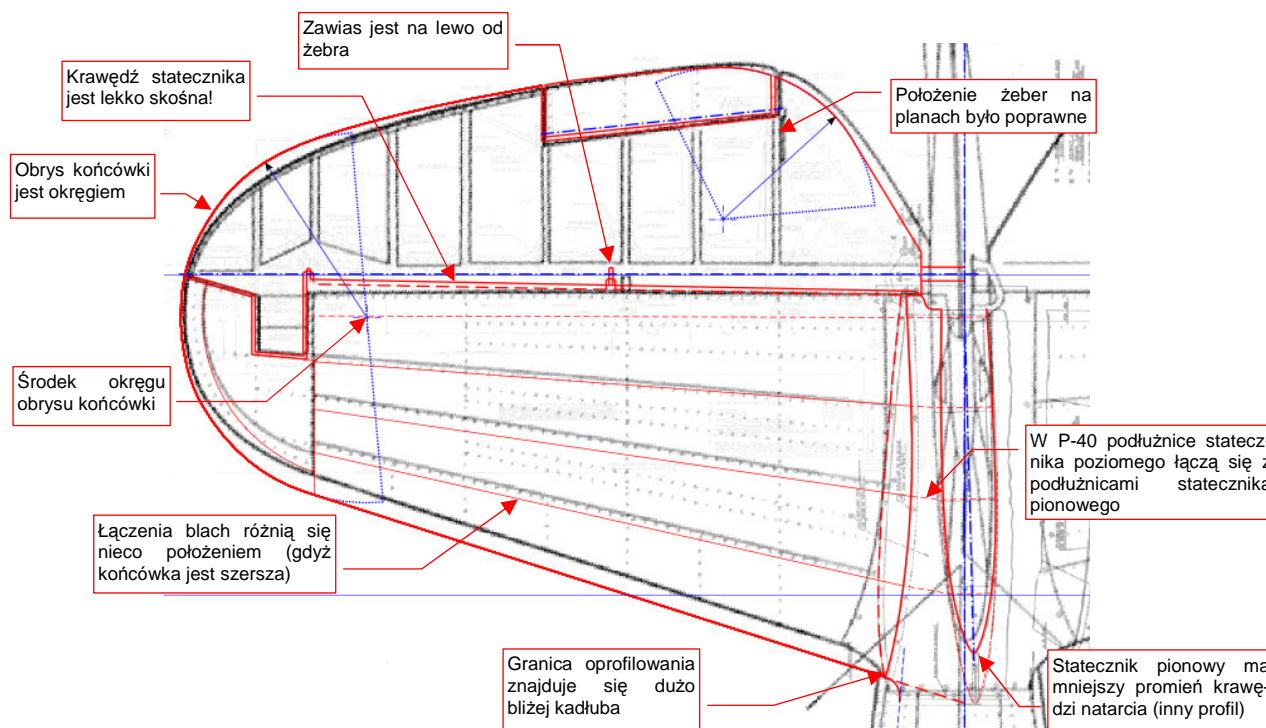
¹ Muszę przyznać, że zaciekawiony tym błędem na skądinąd dokładnych planach, spróbowałem dociec ich przyczyny. W tym samym czasie, co rysunki P-40, Jacek Jackiewicz opublikował także rysunki do innej monografii AJ Press: P-36. Samolot ten, znany także pod nazwą Curtiss "Hawk" 75, był przodkiem P-40. P-40 "odziedziczył" po nim prawie wszystko, poza przodem kadłuba. I właśnie tu może tkwić pułapka: usterzenia poziome P-36 i P-40 różnią się od siebie! Na rysunkach Jacka Jackiewicza są identyczne. W rzeczywistości, wyglądały podobnie, ale w P-36 ster wysokości miał wzdłuż całej krawędzi dodatkowe wyważenie aerodynamiczne. Oznacza to, że statecznik kończył się niemal dokładnie wzdłuż swego tylnego dźwigara statecznika. W P-40 ta krawędź była o kilka centymetrów przesunięta do tyłu. Rysunek Jacka Jackiewicza wydaje się być "złożeniem" tych dwóch podobnych, ale nie identycznych, usterzeń. Stąd błędna krawędź podziału statecznika i steru. Trudno jednak dociec, skąd się wziął niepoprawny obrys całego usterzenia. Być może był taki na rysunkach, na podstawie których Jacek Jackiewicz opracowywał swoje plany.

Następnie narysuj prostą linię krawędzi natarcia. Linia ta jest styczną do okręgu końcówki, a z drugiej strony — przechodzi przez punkt wskazany na rysunku oprofilowania usterzenia. Tak "wydedukowany" obrys jest zgodny ze zdjęciem, a więc — poprawny.



Rysunek 9.3.7 Obrys usterzenia P-40 — złożenie dostępnej dokumentacji fabrycznej

Rysunek 9.3.8 przedstawia korekty naniesione na plan usterzenia poziomego (statecznika i steru).

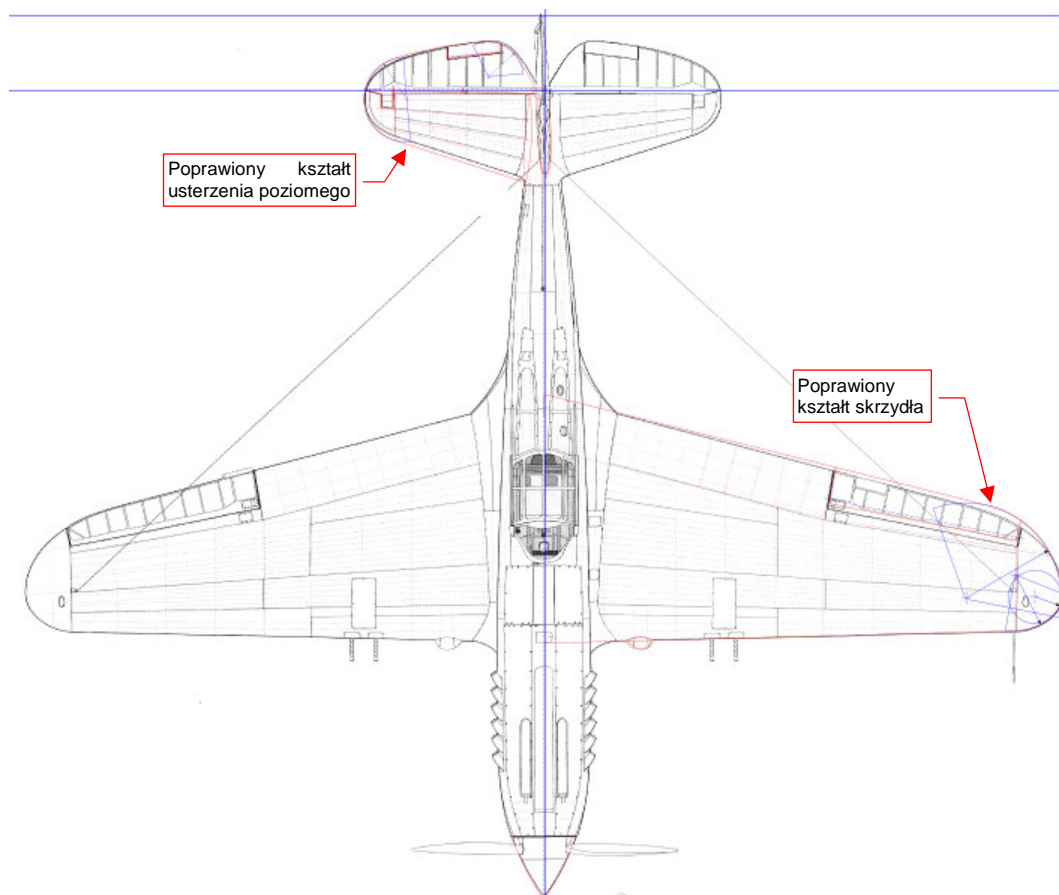


Rysunek 9.3.8 Korekty kształtu usterzenia poziomego

Łączenia blach poszycia statecznika poziomego biegną wzdłuż wzmocnionych podłużnic. Podobne podłużnice biegną przez statecznik pionowy. Obydwa stateczniki były, w miejscu styku tych podłużnic, skręcone śrubami. (Usterzenie pionowe "stało" na niedzielonym stateczniku poziomym, który z kolei był przykręcony do kadłuba). Na rysunkach fabrycznych statecznika pionowego zaznaczone są punkty połączeń z usterzeniem poziomym. Pozwala to wyznaczyć położenie podłużnic statecznika poziomego, u jego nasady. (Rysunek 9.3.8 zaznacza je

liniami przerywanymi.) Jak widać, różnią się tylko nieznacznie od położenia wg planów. Położenie tych podłużnic i szwów blachy przy końcówce statecznika wypada inaczej, gdyż skorygowana końcówka jest dużo szersza. Położenie żeber na sterze na rysunkach M. Łukasika jest zgodne z dokumentacją fabryczną.

Rysunek 9.3.9 przedstawia ostateczną postać rzutu z góry, zawierającą poprawiony obrys usterzenia poziomego i skrzydła.



Rysunek 9.3.9 Rzut z góry z naniesionymi poprawkami

Wyeksportuj ten rysunek Inkscape do pliku obrazu o nazwie **P40C-ML-Top.png** (*File*→*Export Bitmap*). Aby zaoszczędzić czas, nie kopiuję tych poprawek na drugą, symetryczną stronę samolotu, ani nie przenoszę ich na inne rzuty. Wystarczy, aby pamiętać, że płat lub usterzenie należy wykonywać z rzutu z góry, wg czerwonych, a nie czarnych (oryginalnych), linii.

Jak widzisz — każdy popełnia błędy, nawet twórcy planów modelarskich. Opierając się jednak na jak najlepszych planach, możemy zidentyfikować i poprawić większość pomyłek, które się na nich znalazły. Jest to możliwe za pomocą odpowiedniego oprogramowania, które umożliwi porównanie wielu obrazów naraz. W poprzednich dekadach taka możliwość jeszcze nie istniała.¹

¹ Widziałem w wielu recenzjach modeli plastikowych następującą weryfikację: autor przykładał kadłub czy skrzydło do planów. Gdy coś się nie zgadzało — ogłaszał, że model jest niepoprawny wymiarowo, i sugerował, jak to skorygować. Z perspektywy naszych doświadczeń planami P-40 (które są naprawdę niezłe) takie postępowanie wygląda na dość naiwne. Autorzy recenzji modelarskich zakładali, że plany są nieomyłne!

Podsumowanie

- Zdjęcia samolotu z góry nie poddają się tak łatwo rozwinięciu, jak rzut z boku. Zrezygnowałem z tej operacji, bo możliwość błędu w rezultacie takiej pracy byłaby zbyt duża.
- Liczba dostępnych, w przybliżeniu prostopadłych, zdjęć samolotu z góry (lub z dołu) jest o wiele mniejsza od zdjęć "horyzontalnych". Dzieje się tak dlatego, że takie fotografie muszą być robione wyłącznie z powietrza.
- Plany modelarskie mogą zawierać więcej błędów kształtu płata i usterzenia poziomego, niż kadłuba i usterzenia pionowego. Wynika to z mniejszej liczby dostępnych fotografii.
- Rysunki fabryczne skrzydła, stateczników i sterów są w tej sytuacji właściwie jedyną metodą weryfikacji. (Chyba, że uda Ci się trafić na jakieś zdjęcie, wykonane z dużej odległości pod kątem niemal 90°).

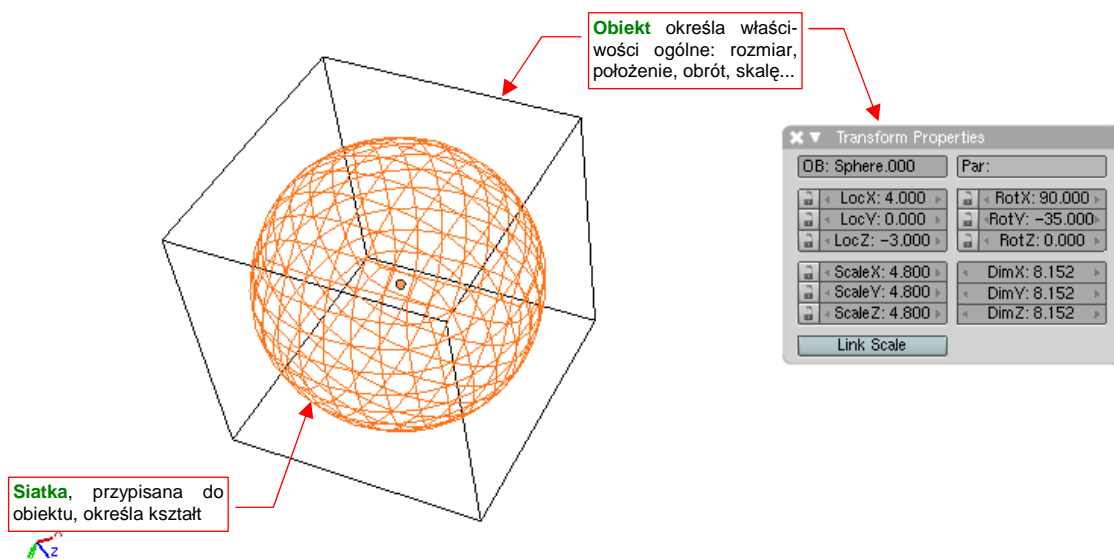
Rozdział 10. Dodatkowe wyjaśnienia

W tym rozdziale umieściłem informacje "dla dociekliwych". Znajdują się tu szczegółowe wyjaśnienia wybranych zagadnień, nad którymi nie chciałem się rozwodzić w części głównej. (Aby nie zbaczać z tematu).

10.1 Struktura modelu w Blenderze

Zapewne wiele razy, podczas pracy z Blenderem, mignęło Ci przed oczami tajemnicze słowo "*datablock*" ("blok danych"). Pojawia się w różnych miejscach i znaczeniach. Gdy zrozumiesz, czym w istocie jest dla Blendera "blok danych", zrozumiesz także zasady, rządzące elementami modelu w tym programie. Pozwoli Ci to poprawnie przewidywać zachowanie Blendera, i bardzo ułatwi pracę¹.

Każdy model, który stworzyłeś w Blenderze, złożony jest z obiektów (*Object*). Obiekt możesz traktować jak doskonale przejrzyste "pudełko": ma określony rozmiar, środek (punkt odniesienia), położenie, obrót, skalę. Obiekt "sam z siebie" nie ma żadnego kształtu. Kształt określa siatka (*Mesh*). Siatka właśnie jest pewnym rodzajem "bloku danych" (*datablock*). Zawiera złożone informacje o wierzchołkach, krawędziach, ścianach powłoki, która ma być rysowana na ekranie. Zazwyczaj każdy obiekt ma przypisaną "własną" siatkę² (Rysunek 10.1.1):



Rysunek 10.1.1 Obiekt i jego siatka

Czasami ten sam blok danych — siatka — może być użyta przez kilka różnych obiektów. Przykładem takiej sytuacji jest śmigło modelu P-40 (Rysunek 10.1.2).

Śmigło składa się z trzech identycznych łopat. Rysunek 10.1.2 przy każdym z tych obiektów pokazuje odpowiedni fragment panelu *Link and Materials* (z zestawu *Editing*). Dwie nazwy, które są na nim widoczne, to odpowiednio:

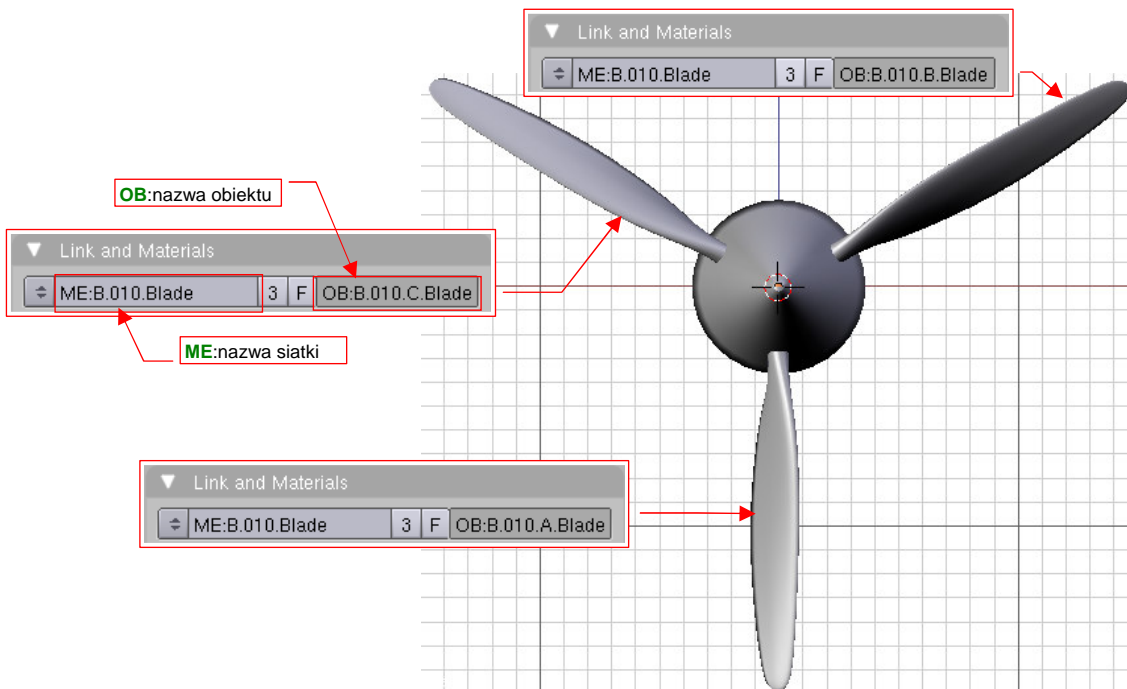
- poprzedzona przedrostkiem ME: nazwa siatki (**MEsh**);
- poprzedzona przedrostkiem OB: nazwa obiektu (**OBject**);

(W Blenderze każdy rodzaj bloku danych posiada odpowiedni, dwuznakowy przedrostek)

¹ "*Datablock*" należy do "słów - potworków", którym udaje się czasami wymknąć z żargonu programistów. W istocie każdy większy program posiada swoje własne słownictwo. "Potworkami słownymi" bywają w nim określenia żargonowe, które zespół twórców używał tak często, że zaczął umieszczać w komunikatach i objaśnieniach. Ci ludzie żyją z tymi słowami na co dzień, i zupełnie nie zauważają, że "zwykli" użytkownicy mogą ich nie rozumieć. Na przykład w AutoCAD-zie podobnym "potworkiem" było słowo "*entity*", przeniesione żywcem z fachowej terminologii baz danych.

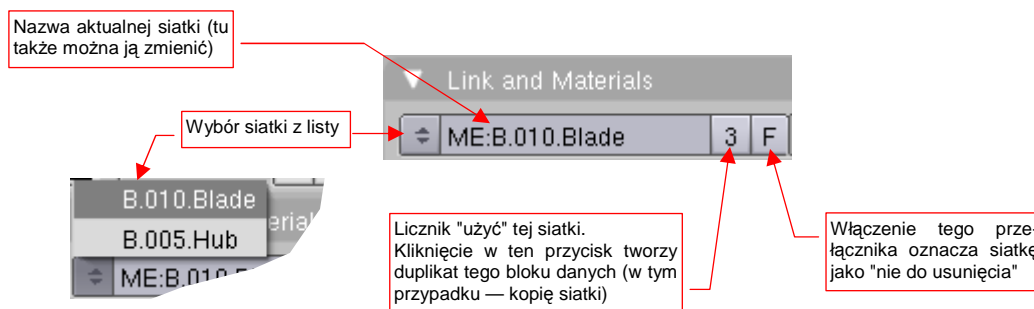
² Choć nie jest to regułą. W Blenderze istnieje specjalny rodzaj obiektu "pustego", który nie zawiera żadnej siatki. Można go utworzyć za pomocą polecenia *Add→Empty*. "Puste" obiekty używane są do wielu pomocniczych ról — oznaczania ważnego miejsca modelu, określania orientacji tekstur, itp.

Przyjrzyj się dokładnie poszczególnym panelom *Link and Materials* (Rysunek 10.1.2), a stwierdzisz, że każda z łopat jest obiektem o nazwie wyróżnionej środkową literą. (**B.010.A.Blade**, **B.010.B.Blade**, **B.010.C.Blade**). Zwróć także uwagę, że każdy z tych obiektów używa tej samej siatki — **B.010.Blade**. Gdy zmodyfikujesz kształt siatki w którymkolwiek z nich — zmienisz kształt wszystkich trzech łopat.



Rysunek 10.1.2 Łopaty śmigła — przykład jednej siatki współdzielonej przez trzy obiekty

Przypisanie bloku danych — w tym przypadku siatki do obiektu — jest na panelach Blendera obsługiwane przez typowy zestaw kontrolki (Rysunek 10.1.3) :



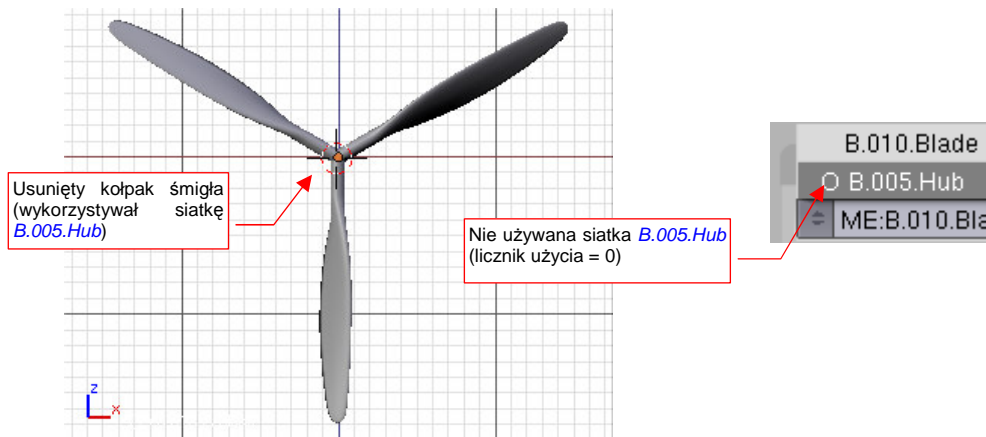
Rysunek 10.1.3 Kontrolki, zarządzające przypisanym blokiem danych

Największym elementem tego zespołu kontrolki jest pole edycji **ME:**. Tu widzisz nazwę siatki, aktualnie przypisanej do obiektu. Aby ją zmienić, należy wybrać inną z listy rozwijalnej, otwieranej przyciskiem po lewej. Jeżeli wybierzesz w tym miejscu siatkę o innym kształcie — zmieni się kształt obiektu.

Po prawej stronie nazwy bloku danych umieszczony jest licznik "użycia" (referencji). Siatka **B.010.Blade** jest przypisana do trzech obiektów, stąd na ilustracji widoczna jest liczba 3. Kiedy klikniesz w ten przycisk — Blender utworzy duplikat aktualnej siatki. Duplikat nosi taką samą nazwę jak pierwowzór, z dodatkową końcówką ".001". Duplikat zastępuje oryginalną siatkę, przypisaną do obiektu.

Licznik referencji ("użycia") bloku danych jest w Blenderze niezwykle ważny. Gdy siatka nie jest "użyta" przez żaden obiekt — jej licznik spada do zera. Wszelkie bloki danych o liczniku równym zero są pomijane przy zapisie pliku na dysk. Kołpak śmigła w naszym przykładzie — **B.005.Hub** — miał własną siatkę, o identycznej nazwie: **B.005.Hub**. Gdy usuniemy ten obiekt (*Delete*), siatka **B.005.Hub** nadal będzie istnieć, ale jej licznik "użycia" spadnie do zera.

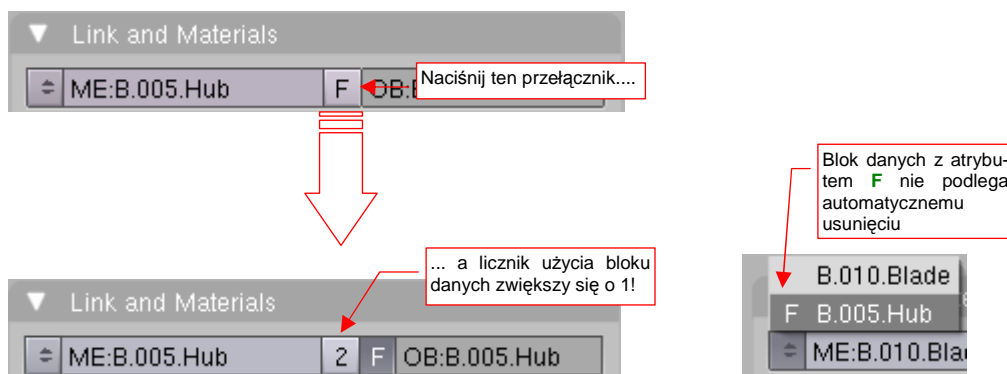
Taki nie używany blok danych Blender oznacza na liście literą "O" (Rysunek 10.1.4) :



Rysunek 10.1.4 Siatka usuniętego kołpaka śmigła

- Wszystkie bloki danych, które nie są wykorzystywane ("osieroczone"), Blender pomija przy zapisie na dysk. Są w ten sposób, z opóźnieniem, usuwane z pliku.

Mimo wszystko, jeżeli tego chcesz, możesz uchronić siatkę **B.005.Hub**, przed "czystką" podczas zapisu. Trick polega na włączeniu przełącznik **F** (*Fake user*) przed usunięciem obiektu, który zawiera ten blok danych (Rysunek 10.1.5):



Rysunek 10.1.5 Zabezpieczenie bloku danych przed usunięciem — "Fałszywe" (*Fake*) użycie

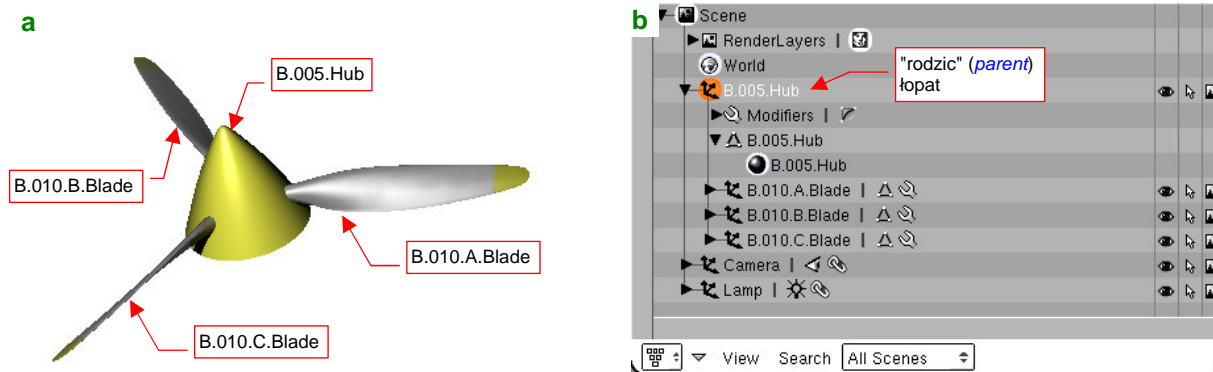
Włączenie **F** powoduje zwiększenie licznika "użycia" o 1. (Oczywiście, zawsze możesz go z powrotem wyłączyć). Dzięki przełącznikowi **F**, licznik użycia bloku danych zawsze jest > 0 .

- Blok danych z atrybutem **F** nigdy nie będzie usunięty z pliku Blendera. (Nawet wtedy, gdy nie jest użyty przez jakiegokolwiek obiekt, jego licznik użycia jest $= 1$).

Blokiem danych w Blenderze jest praktycznie wszystko, z czym pracujesz tworząc model. W szczególności są to takie typowe elementy, jak:

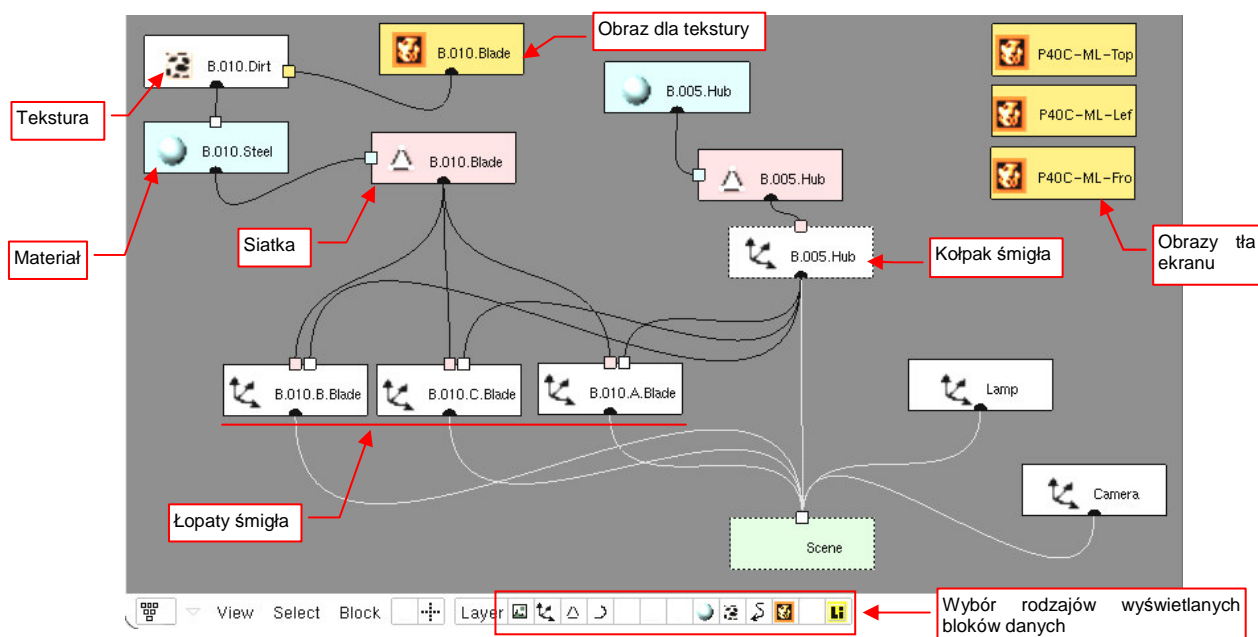
- **siatki** (*meshes*, *ME*: — o nich już mówiliśmy): nadają obiektom kształt. Zawierają także inne szczegóły, m.in. współrzędne mapowania tekstury dla każdego wierzchołka;
- **materiał(y)** (*materials*, *MA*:), przypisane do siatek: nadają powierzchniom podstawową barwę, oraz określają inne ich parametry, takie jak przejrzystość, połyskliwość, itp.;
- **tekstury** (*textures*, *TE*:), przypisane do materiałów: wzbogacają jednolitą barwę materiału elementy w innych kolorach, zabrudzenia. Pozwalają także uzyskać efekt drobnych nierówności;
- **obrazy** (*images*, *IM*:), przypisane do tekstur: zawierają obraz, wykorzystywany przez teksturę;

Prezentowany wcześniej model kołpaka śmigła składa się z czterech obiektów: kołpaka śmigła (**B.005.Hub**) i trzech łopat (**B.010.x.Blade**) (Rysunek 10.1.6a). Łopaty są przypisane (relacją *parent*) do kołpaka (Rysunek 10.1.6b):



Rysunek 10.1.6 Śmigło i jego struktura (w oknie *Outliner*)

Kołpak ma przypisany materiał **B.005.Hub** (nadający mu żółty kolor). Łopaty wykorzystują materiał **B.010.Steel**, który ma przypisaną teksturę **B.010.Dirt**. Tekstura **B.010.Dirt** korzysta z obrazu **B.010.Blade**, nakładając na łopatę żółte końcówki i zabrudzenia (Rysunek 10.1.7) :



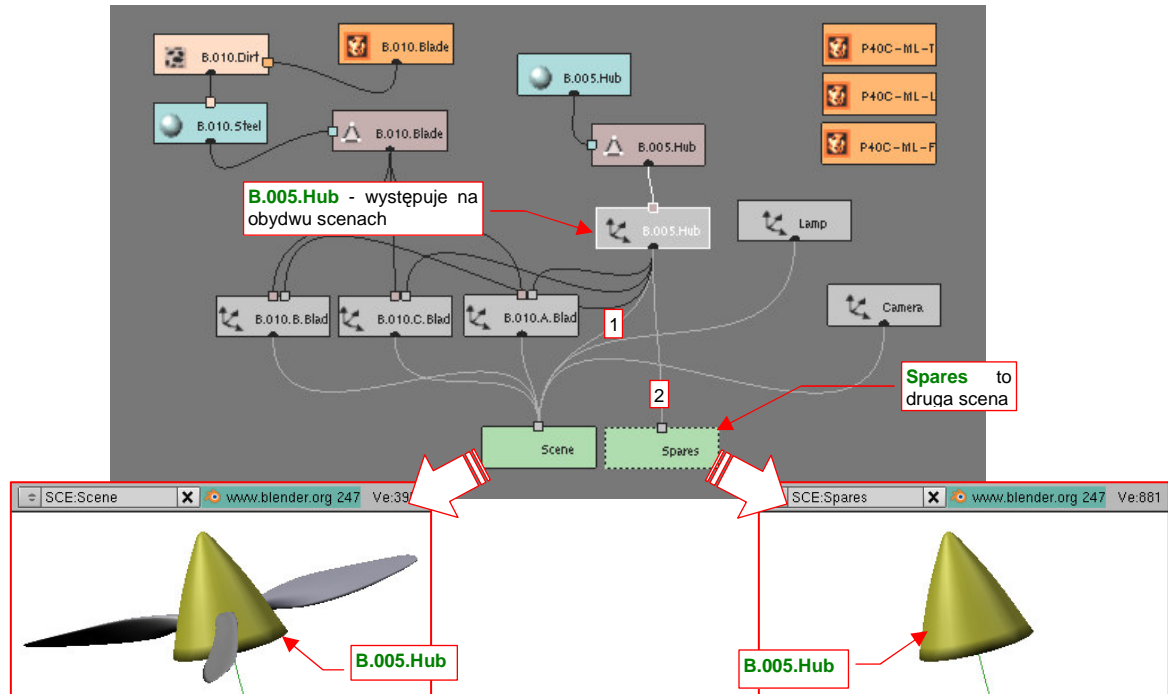
Rysunek 10.1.7 Inny sposób przedstawienia struktury modelu śmigła (*View→Show Oops Schematic*)

Każda z linii, poprowadzonych na schemacie *Oops* (Rysunek 10.1.7) oznacza pojedyncze zwiększenie licznika odpowiedniego bloku danych. Na przykład: tekstura **B.010.Dirt** jest używana tylko raz. Jeżeli zostanie usunięta z materiału **B.010.Steel**, zostanie pominięta przy najbliższym zapisaniu pliku. "Osierocony" zostanie wówczas używany przez tę teksturę obraz — więc zostanie pominięty przy kolejnym zapisie. (Stąd uwaga praktyczna: czasami trzeba dwa — trzy razy zapisać, zamknąć i otworzyć plik, by wszelkie niepotrzebne "śmieci" zostały z niego usunięte).

W prawym górnym narożniku schematu *Oops* (Rysunek 10.1.7) widać trzy obrazy, które nie są "powiązane" z niczym. Dlaczego nie zostały usunięte? Ponieważ są to tła poszczególnych widoków 3D: rysunki samolotu w rzucie z góry, lewej i przodu. Każdy z nich ma w istocie licznik użycia = 1, bo jest przypisany do konkretnego okna *3D View* (poleceniem *View→Background Image*). Schemat *Oops* nie jest w stanie pokazać wszelkich połączeń w pliku Blendera, choć pokazuje strukturę samego modelu. Np. innym rodzajem bloku danych są teksty, które można przeglądać w oknie *Text Editor*. To także bloki danych "używane" przez plik, a nie sam model.

Rysunek 10.1.7 pokazuje, że obiekty — **B.005.Hub**, **B.010.x.Blade**, a także **Lamp** i **Camera** — są także blokami danych. Ich "użytkownikiem", dzięki któremu mają przypisane "użycia", jest scena (*Scene* — p. str. 775).

Rysunek 10.1.8 demonstruje strukturę pliku Blendera, w którym utworzyłem drugą scenę — nazwałem ją **Spares**.



Rysunek 10.1.8 Dwie oddzielne sceny w jednym pliku

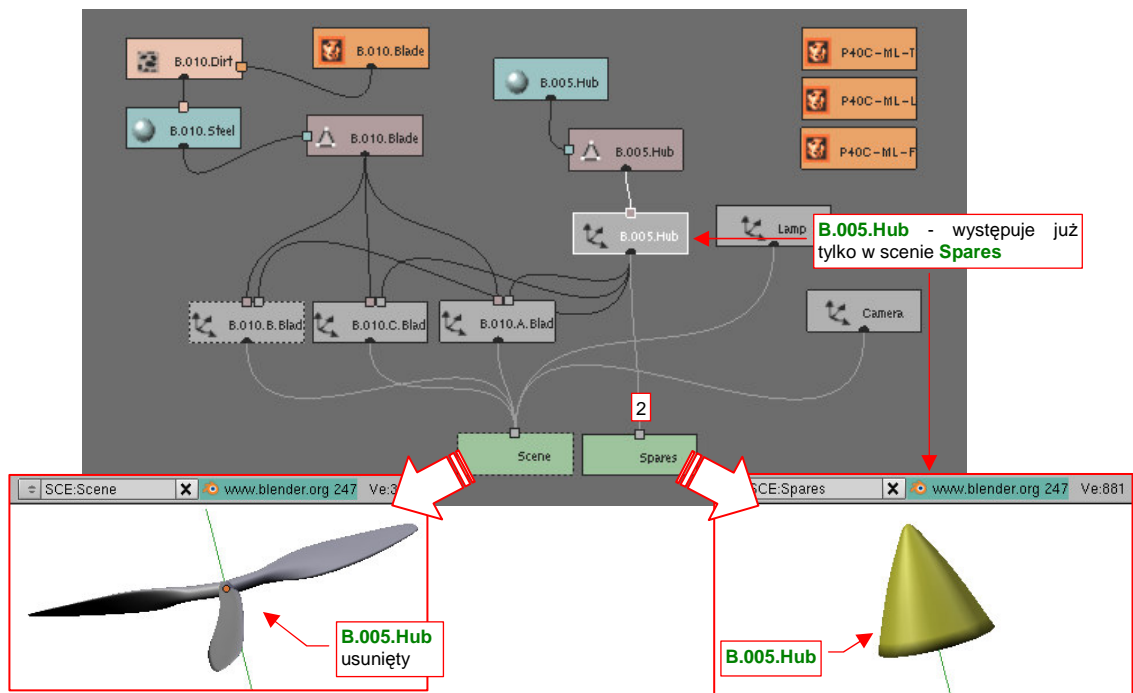
Scena — to brzmi dumnie. W tym przypadku jednak to tylko nowa, pusta przestrzeń, w której umieściłem drugi raz kołpak śmigła¹. Popatrz na schemat *Oops* (Rysunek 10.1.8) — obiektowi **B.005.Hub** przybyła jeszcze jedna linia, czyli jeszcze jedno "użycie". Jeżeli teraz nawet usunę ten obiekt ze sceny **Scene**, to pozostanie w drugiej scenie — **Spares**. Zawsze mogę go stamtąd przywołać. W ten sposób można używać drugiej sceny jak "podręcznego składziku". W przestrzeni **Spares** można przechowywać różne obiekty, które się jeszcze przydadzą, a których nie chcę widzieć w podstawowej scenie.

Obiekt, który jest użyty na wielu scenach, w każdej z nich ma to samo położenie, obrót, skalę. W końcu nic dziwnego — każda ze scen zawiera tylko odnośnik do jednego bloku danych, opisującego obiekt.

Rysunek 10.1.9 przedstawia strukturę pliku po usunięciu ze sceny **Scene** kołpaka śmigła (obiektu **B.005.Hub**). Usunięcie spowodowało zmniejszenie licznika użycia obiektu **B.005.Hub** o 1. Gdyby występował tylko na jednej scenie — zostałby pominięty przy najbliższym zapisie na dysk². Tak się jednak nie stanie, gdyż **B.005.Hub** nadal występuje w drugiej scenie, i jego licznik jest nadal większy od 0.

¹ poleceniem *Object→Make Links→To Scene*

² Zauważ, że mimo usunięcia ze przestrzeni **Scene**, obiekt **B.005.Hub** pozostał obiektem nadrzędnym (*parent*) dla łopat śmigła (Rysunek 10.1.9). Dzięki temu ma trzy dodatkowe "użycia". To wygląda trochę na jakieś niedopatrzenie w Blenderze, gdyż w sytuacji jak na rysunku te powiązania nie działają poprawnie. (Gdy w przestrzeni **Spares** przesuń lub obróć **B.005.Hub**, nie spowoduje to żadnych zmian w położeniu łopat w przestrzeni **Scene**). W dodatku, gdyby **B.005.Hub** istniał tylko na scenie **Scene**, jego usunięcie usunęłoby także powiązania typu "*parent*" z łopatami. W efekcie zostałyby "wyrugowane" z pliku, tak jak to opisałem.



Rysunek 10.1.9 Struktura pliku po usunięciu obiektu B.005.Hub ze sceny Scene

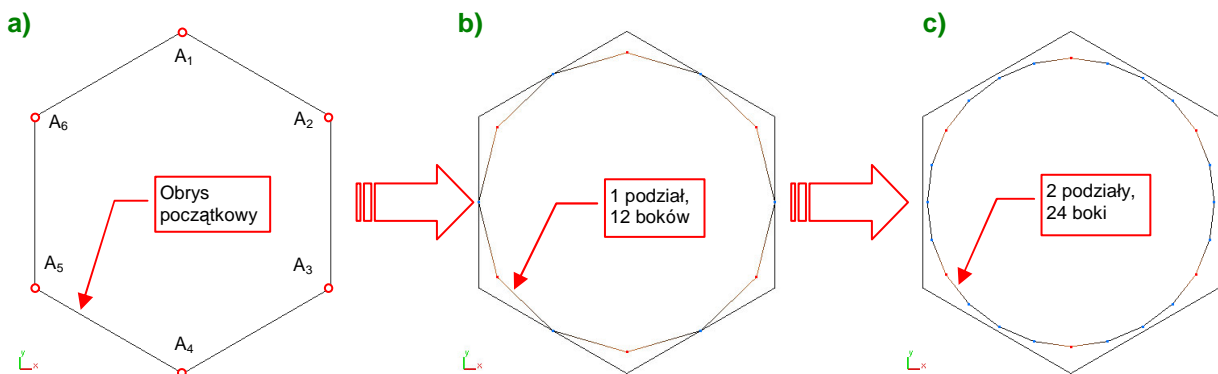
- Plik Blendera może zawierać wiele scen. Te same elementy modelu może występować w każdej z nich. Można ich także użyć tylko w jednej ze scen.

Za pomocą scen można przechowywać w jednym pliku różne wersje samolotu. Części wspólne dla wszystkich wersji są wówczas współdzielone pomiędzy scenami. Części specyficzne — występują tylko w jednej scenie.

10.2 Powierzchnie podziałowe (modyfikator *Subsurf*)

Nim opowiem o powierzchniach podziałowych, zacznijmy od przypadku prostszego — linii (krzywej) podziałowej. Linia taka powstaje w Blenderze wówczas, gdy zastosujesz modyfikator *Subsurf* do siatki, składającej się z tylko jednej linii wierzchołków. *Subsurf* w pojedynczym kroku dzieli każdą krawędź oryginalnego wieloboku na dwie, tworząc nową, bardziej "gładką" linię.

Rysunek 10.2.1 pokazuje przykład podziału. Sześciokąt (Rysunek 10.2.1a) jest linią przed wygładzeniem. Będę ją określał dalej jako **wielobok oryginalny**. Każda zmiana położenia któregoś z jego wierzchołków ($A_1..A_6$) zmieni kształt wyznaczonej linii podziałowej. Z tego powodu wielobok oryginalny jest także nazywany **wielobokiem sterującym** (ang. *control polyigon*)¹. Punkty $A_1..A_6$ to **punkty sterujące**.



Rysunek 10.2.1 Linie podziałowe sześciokąta — wyjściowa i po kolejnych podziałach

Każda kolejna linia podziałowa to wielobok, który ma dwa razy więcej wierzchołków niż ten, z którego powstał. Rysunek 10.2.1b) przedstawia rezultat pierwszego podziału sześciokąta. (W Blenderze, w ustawieniach modyfikatora *Subsurf*, odpowiada to wartości *Level* = 1). Jest to regularny wielobok, o dwunastu wierzchołkach. Rysunek 10.2.1c) przedstawia rezultat kolejnego podziału, tym razem wieloboku z rysunku b). (W Blenderze, w ustawieniach modyfikatora *Subsurf*, odpowiada to wartości *Level* = 2). Jest to obrys o 24 wierzchołkach, bardzo zbliżony do okręgu!

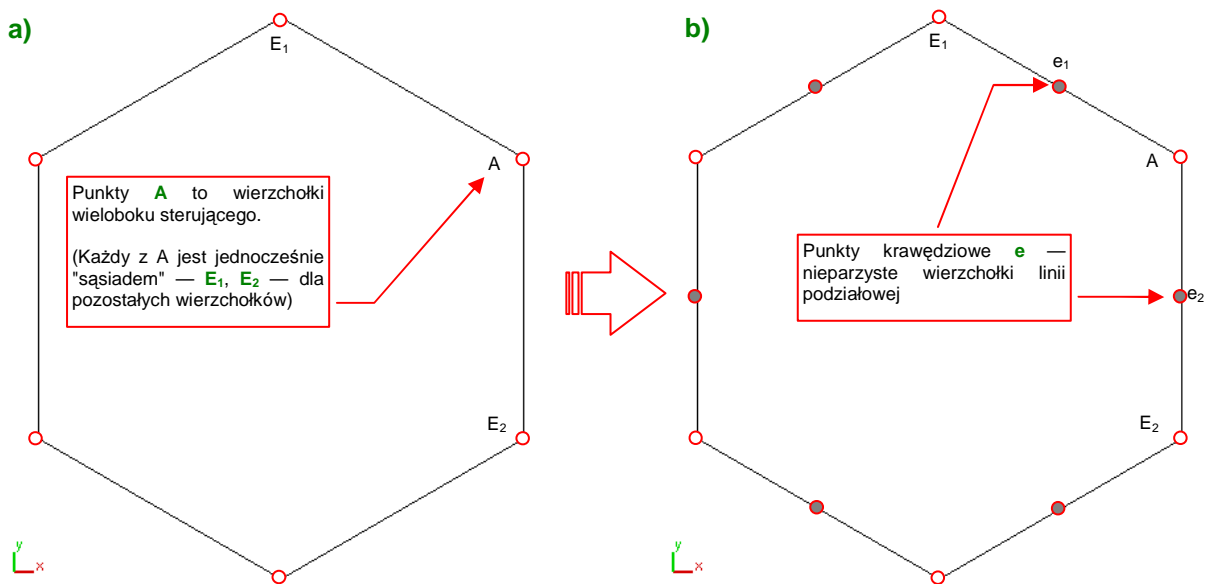
Krzywa, którą stałaby się linia podziałowa w wyniku nieskończonej liczby podziałów, nazwijmy krzywą "**ostateczną**". Zazwyczaj już po dwóch - trzech podziałach oryginalnego wieloboku, linie podziałowe osiągają kształt niewiele różniący się od ostatecznego. Dzięki tej właściwości, w wyniku niewielkiej liczby obliczeń można uzyskać dobre przybliżenie właściwego kształtu. To duża zaleta tego modelu matematycznego.

Według jakich reguł są wyznaczane wierzchołki krzywych podziałowych? Przedstawię je na przykładzie wyznaczania nowych punktów wokół pojedynczego wierzchołka oryginalnego sześciokąta (Rysunek 10.2.2). (Taki sam proces podziału zachodzi we wszystkich wierzchołkach).

Analizowany wierzchołek oryginalnego wieloboku oznaczmy jako **A** (Rysunek 10.2.2a). Sąsiednie wierzchołki oznaczyłem jako **E₁** i **E₂**. (Każdy z nich odegra identyczną rolę jak wierzchołek **A**, wobec "swojego" fragmentu linii podziałowej. Dla wierzchołka **A** są jednak tylko "sąsiadami").

Co drugi wierzchołek linii podziałowej leży w środku boku oryginalnego wieloboku. W przykładzie (Rysunek 10.2.2b) to sześć wierzchołków (wśród nich punkty **e₁**, **e₂**, związane z wierzchołkiem **A**). Nazwijmy je "**krawędziowymi**", bo leżą na krawędziach wieloboku sterującego.

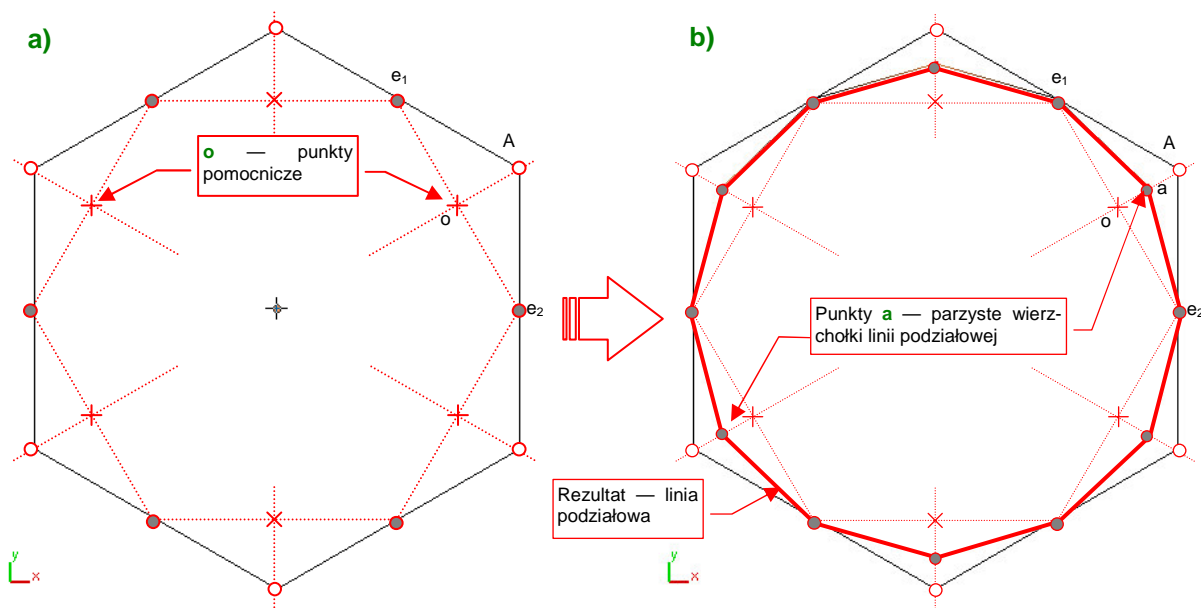
¹ W wielu polskich publikacjach używane jest także inne określenie — punkty kontrolne. Uważam to za nieszczęśliwą kalkę z języka angielskiego. Angielskie *control* oznacza po polsku *sterowanie*, a "kontrola" w naszym języku oznacza raczej *sprawdzanie*, *weryfikację*. "Punkty kontrolne" krzywych (podziałowych, Beziery, B-sklejanych) wcale nie służą do jakiegokolwiek kontroli!



Rysunek 10.2.2 Wyznaczenie wierzchołków **e** — "krawędziowych" punktów linii podziałowej

Aby znaleźć pozostałe wierzchołki, wyznacz najpierw pomocnicze punkty o_k , leżące w połowie odległości pomiędzy odpowiednimi punktami krawędziowymi e_k i e_{k+1} . (Rysunek 10.2.3a pokazuje jeden z nich jako punkt o , umieszczony w połowie odcinka $|e_1 e_2|$).

Pozostałe sześć punktów linii podziałowej — **a**, "wierzchołkowych" — leży w połowie odpowiednich odcinków $|A o|$ (Rysunek 10.2.3b). Łącząc wierzchołki **a** i **e** uzyskamy linię podziałową:

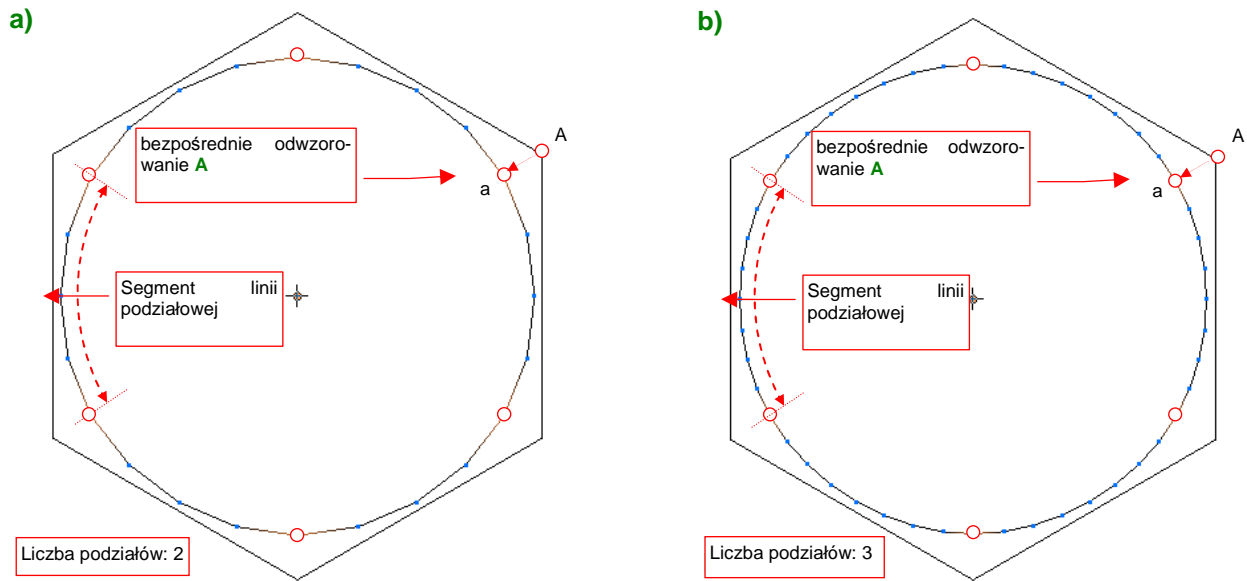


Rysunek 10.2.3 Wyznaczenie wierzchołków **a** — "wierzchołkowych" punktów linii podziałowej

Rysunek 10.2.3b pokazuje, że z wierzchołka **A** oryginalnej siatki powstały:

- wierzchołki e_1 i e_2 (współdzielone z rezultatami podziału sąsiednich wierzchołków);
- wierzchołek **a**, który można traktować jako odwzorowanie oryginalnego wierzchołka **A** na nowym wieloboku.

W każdym kolejnym podziale można wskazać taki punkt wierzchołkowy **a**, który jest bezpośrednim odwzorowaniem oryginalnego wierzchołka wieloboku sterującego **A** (Rysunek 10.2.4):



Rysunek 10.2.4 Segmenty linii podziałowej dla różnych poziomów podziału

Te "bezpośrednie odwzorowania" punktów **A** pozwalają wyróżnić na linii podziałowej tyle **segmentów**, ile boków ma wielobok sterujący (Rysunek 10.2.4).

Rysunek 10.2.2 i Rysunek 10.2.3 podały "wykreślną" metodę wyznaczenia nowej linii podziałowej. Komputery nie jest jednak maszyną "geometryczną", tylko "algebraiczną". Jego procesor oblicza linie i powierzchnie podziałowe w oparciu o współrzędne wierzchołków wieloboku sterującego. W porównaniu z innymi krzywymi stosowanymi w grafice komputerowej (*Beziera*, *B-sklejanymi*), wzory te są bardzo proste. Sądzę, że pozwalają dostrzec zależności linii podziałowej od wieloboku sterującego, które nie są oczywiste w metodzie "wykreślniej":

$$e_1 = \frac{1}{2}(E_1 + A); \quad e_2 = \frac{1}{2}(A + E_2) \quad (\text{p. Rysunek 10.2.2})$$

Wyr. 10-1 Współrzędne punktów krawędziowych¹

$$a = \frac{1}{8}E_1 + \frac{6}{8}A + \frac{1}{8}E_2 \quad (\text{p. Rysunek 10.2.3})$$

Wyr. 10-2 Współrzędne punktów wierzchołkowych

Matematycy dowiedli, że krzywa ostateczna, do której zbiegają linie podziałowe opisane Wyr. 10-1 i Wyr. 10-2, to tzw. jednorodna linia B-sklejana (*uniform B-spline* — *UB*), trzeciego stopnia (*cubic*). Oznacza to tyle, że linie podziałowe są dobrym przybliżeniem pewnej odmiany stosowanych od lat w grafice komputerowej krzywych NURBS².

¹ Wszystkie wyrażenia w tej sekcji tekstu operują na zapisie wektorowym. Symbole, które w nich występują, to w istocie wektory trzech współrzędnych: $\{x, y, z\}$. Stąd np. wzór na e_i z Wyr. 10-1 może być zapisany jako układ trzech niezależnych równań, dla każdej współrzędnej oddzielnie:

$$x_e = \frac{1}{2}(x_E + x_A); \quad y_e = \frac{1}{2}(y_E + y_A); \quad z_e = \frac{1}{2}(z_E + z_A);$$

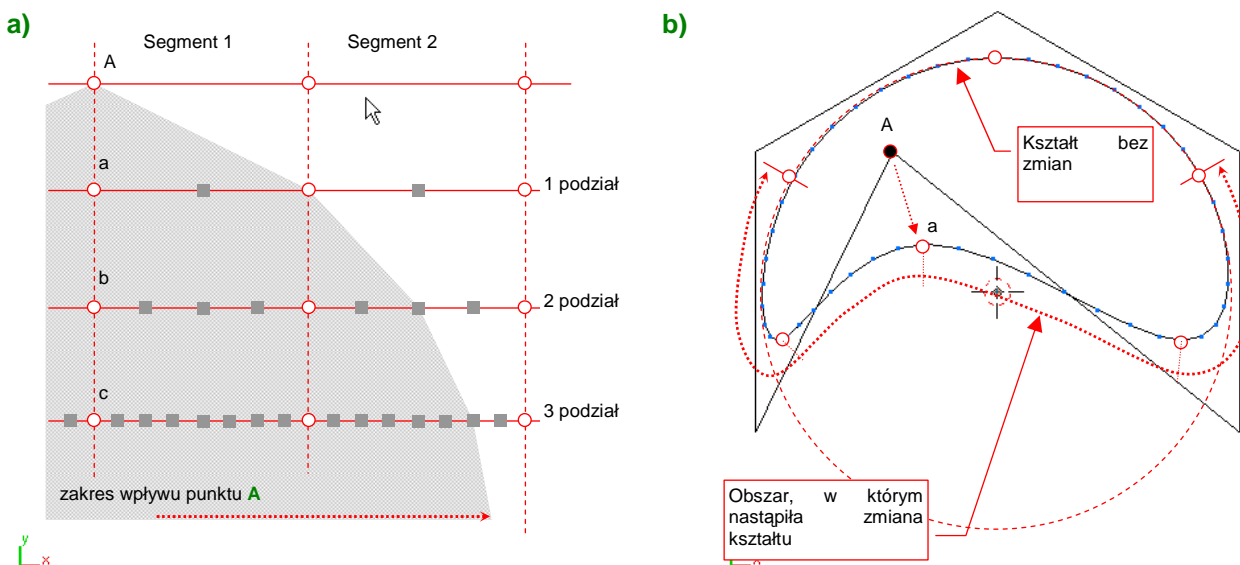
gdzie $e_i = \{x_e, y_e, z_e\}$, $E_i = \{x_E, y_E, z_E\}$, $A = \{x_A, y_A, z_A\}$

² Dokładniej: NURBS oznacza "**N**on-**U**niform, **R**ational **B**-**S**pline" — "niejednorodna, ułamkowa krzywa B-sklejana". Jest to szeroka rodzina różnorodnych linii. Wśród nich są także "jednorodne krzywe B-sklejane" (oznaczane czasami jako UB). Tak więc ostatecznym kształtem, do jakiego dąży każda linia podziałowa, jest krzywa UB, której punktami sterującymi są wierzchołki oryginalnego wieloboku linii podziałowej.

Linie podziałowe zachowują właściwości NURBS, m.in. :

- ciągłość promienia krzywizny wzdłuż całej linii (dzięki temu krzywa wydaje się być bardziej "płynna" od np. połączenia kilku łuków);
- sterowanie kształtem linii poprzez zmianę położenia wierzchołków oryginalnego wieloboku (punktów sterujących);
- "lokalność" zmian: przesunięcie pojedynczego punktu sterującego wywołuje zmianę kształtu linii podziałowej tylko w pobliżu tego punktu.

Ta ostatnia z wyliczonych właściwości — ograniczony zasięg wpływu punktu sterującego na kształt krzywej — bardzo się przydaje w praktyce. Ale co to właściwie znaczy "w pobliżu punktu sterującego"? Otóż z Wyr. 10-1 i Wyr. 10-2 wynika, że położenie każdego wierzchołka linii podziałowej zależy od (co najwyżej) trzech sąsiednich punktów sterujących (E_1 , A , E_2). Ta reguła dotyczy pojedynczego podziału. A gdzie się kończy wpływ punktu A na krzywą podziałową, która powstała w wyniku dwóch lub więcej podziałów? Rysunek 10.2.5a) pokazuje rozszerzanie się obszaru wpływu oryginalnego wierzchołka A na kolejne linie podziałowe. Wygląda na to, że wpływ ten nigdy nie osiągnie granicy drugiego segmentu linii:



Rysunek 10.2.5 Granica wpływu punktu sterującego na kształt krzywej

Rysunek 10.2.5b) pokazuje tę właściwość w praktyce. Zmieniłem położenie wierzchołka A oryginalnego sześciokąta. Krzywa podziałowa zmieniła swój kształt z "prawie idealnego okręgu" (por. Rysunek 10.2.4b) na coś mniej regularnego. Przyjrzyj się temu kształtowi dokładnie. Zauważ że zmianie uległ kształt tylko 4 segmentów najbliższych wierzchołkowi A (po dwa z każdej strony). Segmenty bardziej odległe (mierząc wzdłuż linii) są bez zmian!

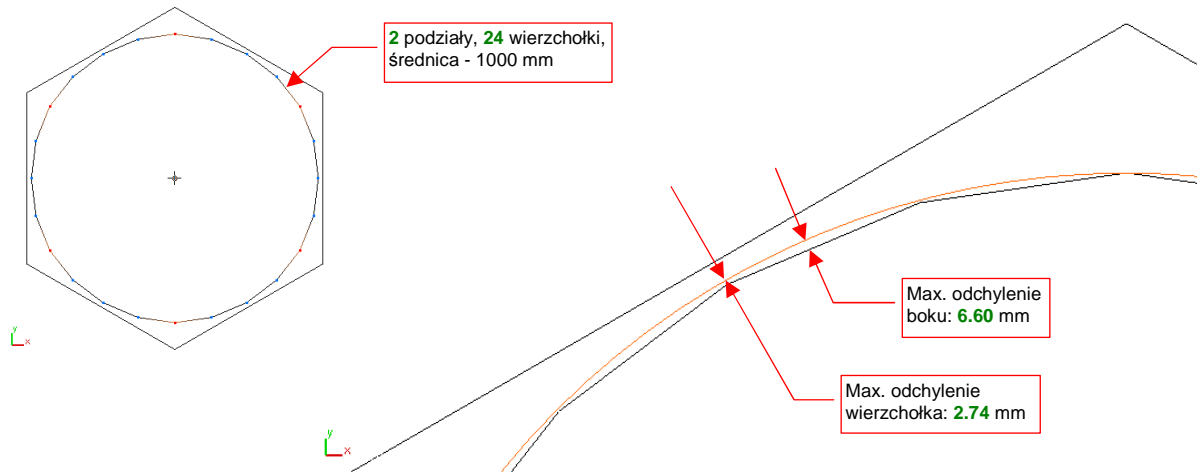
- Wpływ każdego punktu sterującego na kształt linii podziałowej jest ograniczony tylko do czterech najbliższych segmentów tej linii (po dwa z każdej strony punktu).

Podczas modelowania różnorodnych konstrukcji mechanicznych trzeba tworzyć różne okrągłe elementy, lub otwory. Im mniej punktów ma ich wielobok sterujący, tym lepiej (szybszy rendering, mniej pracy z modelowaniem). Z drugiej strony rezultat podziału powinien być jak najbardziej zbliżony do okręgu. Warto więc sprawdzić, na ile dokładne "koło" można uzyskać z podziału jakiejś figury o niewielkiej liczbie boków, np. sześciokąta.

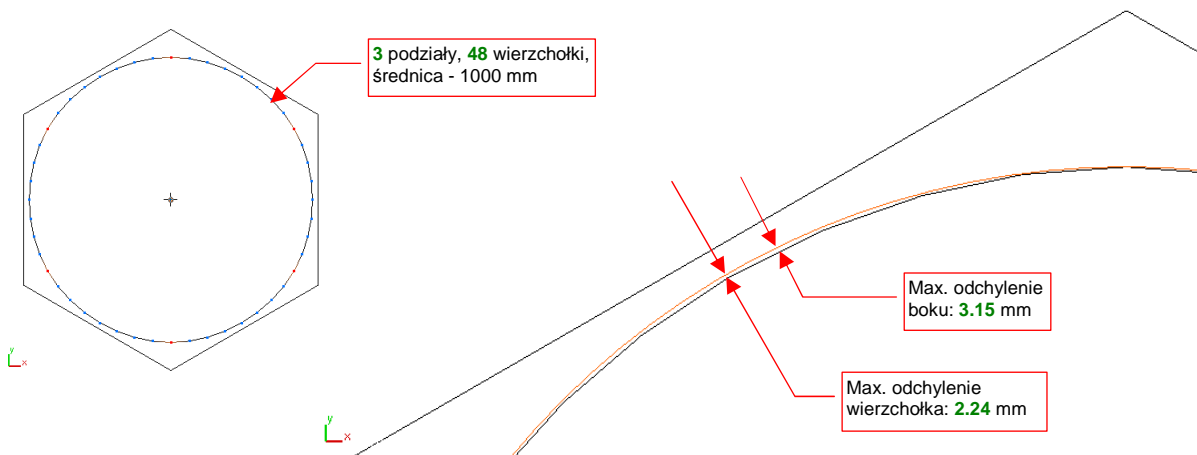
Aby sprawdzić odchylenia od regularnego kształtu, porównamy kształt kilku linii podziałowych, wpisanych w okrąg o promieniu 1000 jednostek. Zmierzymy dwa rodzaje różnic:

- max. odległość wierzchołka linii podziałowej do okręgu (idealnie — powinna być =0);
- max. odległość boku linii podziałowej do okręgu (zależy od liczby wierzchołków linii);

Rysunek 10.2.6 i Rysunek 10.2.7 pokazują wartości odchyień dla podziału sześciokąta:



Rysunek 10.2.6 Odchylenie od okręgu dwukrotnego podziału sześciokąta

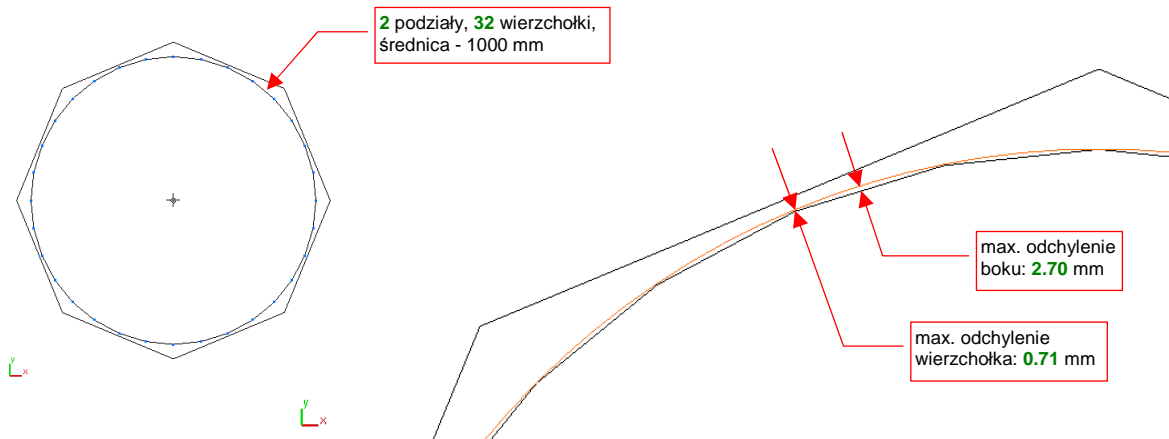


Rysunek 10.2.7 Odchylenie od okręgu trzykrotnego podziału sześciokąta

Linia podziałowa regularnego wielokąta jest nieco spłaszczona w środku każdego segmentu. Stąd w tym miejscu występują największe odchylenia (p. Rysunek 10.2.6 i Rysunek 10.2.7). Należy zdawać sobie sprawę, że odsunięcie wierzchołka linii podziałowej od okręgu wynika wyłącznie z różnicy kształtu krzywej ostatecznej. Drugie odchylenie, które mierzyliśmy — odległość środka boku od okręgu — zależy także od liczby wierzchołków linii podziałowej. Będzie zawsze większe od odchylenia wierzchołka. (Im linia ma więcej wierzchołków, tym jest mniej "graniasta"). Błąd położenia wierzchołków przy zwiększeniu poziomu podziału sześciokąta z 2 (Rysunek 10.2.6) do 3 (Rysunek 10.2.7) zmniejszył się tylko o kilkanaście procent (z 0.274% do 0.224%). W związku jednak z dwukrotnym wzrostem liczby boków, trzykrotny podział sześciokąta ma dwukrotnie mniejsze odchylenie ściany (0.66% dla podziału dwukrotnego, 0.315% dla trzykrotnego).

Czy trzykrotny podział sześciokąta jest dobrym kandydatem na siatkę, którą warto stosować do modelowania okręgów? Niestety nie: w praktyce naszego modelowania nie stosujemy trzykrotnych powierzchni podziałowych. Mają zbyt wiele ścian, a kształt, który uzyskamy, nie jest zdecydowanie lepszy od powierzchni dwukrotnych. Podział dwukrotny sześciokąta, z poziomem odchyień w granicy 0.7%, jest dobry do modelowania małych elementów. (Wyposażenie kabiny, drobne otwory, różnego rodzaju rury). Aby dokładnie zamodelować większe okręgi — o średnicy ok. 80 cm (kołpak śmigła, koła podwozia głównego) — potrzebne jest odchylenie rzędu

0.3%. Powinna je posiadać jakaś dwukrotna linia podziałowa. Cóż, skoro sześciokąt nie spełnił naszych oczekiwań, sprawdźmy dwukrotny podział ośmiokąta (Rysunek 10.2.8):



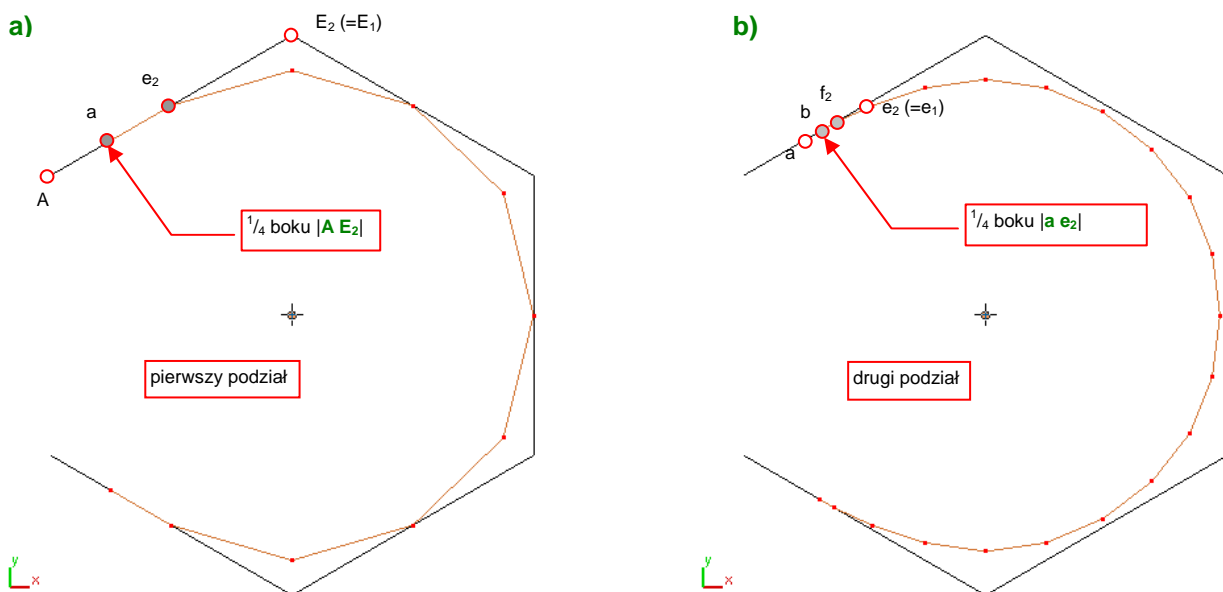
Rysunek 10.2.8 Odchylenie od okręgu dwukrotnego podziału ośmiokąta

Wygląda na to, że dwukrotny podział ośmiokąta jest zadowalająco dobrym przybliżeniem okręgu. Odchylenia wierzchołków są na poziomie 0.07%, a odchylenie boku też leżą w zakresie tolerancji: 0.27%.

- Do zamodelowania mniejszych okręgów wystarczy użyć dwukrotnego podziału sześciokąta (max. odchylenie kształtu rzędu 0.66%). Do większych okręgów lepiej użyć dwukrotnego podziału ośmiokąta (max. odchylenie kształtu rzędu 0.27%).

Do tej pory zajmowaliśmy się wyłącznie krzywymi podziałowymi, które powstały poprzez podział jakiejś linii zamkniętej. Skoncentrowałem się na nich, gdyż większość linii podziałowych, które napotkasz w Blenderze, to krzywe zamknięte. (Linia podziałową jest kraniec każdej powierzchni podziałowej, a granica każdej powierzchni musi być obrysem zamkniętym).

Na koniec jednak, dla porządku, wspomnę o krzywych podziałowych opartych o siatkę, której końce nie są ze sobą połączone (Rysunek 10.2.9):



Rysunek 10.2.9 Linia podziałowa dla obrysu otwartego — wyznaczanie punktów końcowych

Dla końca otwartego wieloboku sterującego **A** nie można wyznaczyć punktu wierzchołkowego **a** według Wyr. 10-2 (str. 573). Brak jest kolejnego wierzchołka, który powinien istnieć z lewej strony **A** — jakiegoś punktu **E₁** (por. Rysunek 10.2.9a) i Rysunek 10.2.3). Autorzy Blendera przyjęli, że w takim przypadku brakujący punkt **E₁** leży w tym samym miejscu, co **E₂**. W tym przypadku krańcowy punkt wierzchołkowy **a** leży na $\frac{1}{4}$ boku $|\mathbf{A E}_2|$:

$$a = \frac{3}{4}A + \frac{1}{4}E_2$$

Wyr. 10-3 Współrzędne końca linii podziałowej (ostatni punkt wierzchołkowy)

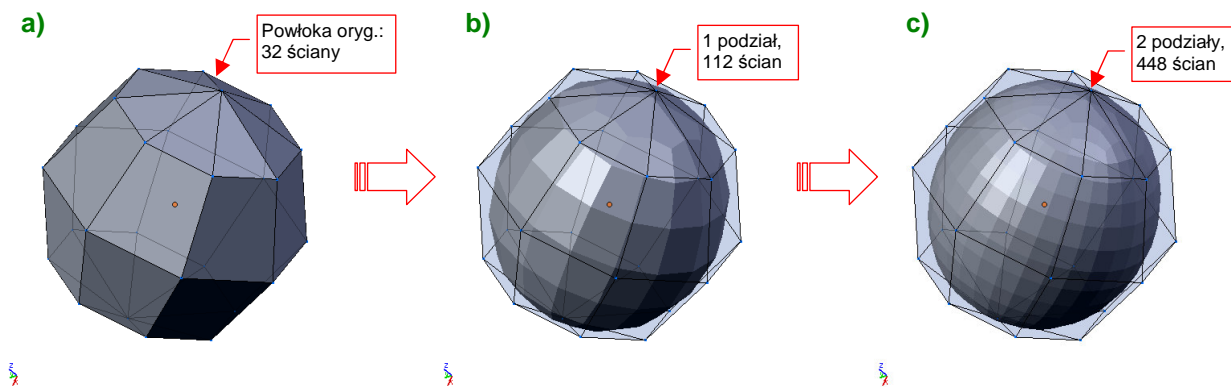
Zwróć uwagę, że z każdym kolejnym podziałem koniec linii podziałowej będzie się zbliżał do środka ostatniego boku oryginalnej linii. Rysunek 10.2.9b) pokazuje wyznaczenie punktu **b** — ostatniego punktu wierzchołkowego dla drugiego podziału. Punkt **b** leży na $\frac{1}{4}$ boku $|\mathbf{a e}_2|$.

Końce otwartej linii podziałowej mają następujące właściwości:

- w trakcie kolejnych podziałów oryginalnego wieloboku długość ostatniego boku linii podziałowej szybko się skraca;
- leżą zawsze pomiędzy $\frac{1}{4}$ (pierwszy podział) a $\frac{1}{3}$ (krzywa ostateczna) ostatniego boku oryginalnego wieloboku;
- krzywa ostateczna jest na końcach styczna do krańcowych boków oryginalnego wieloboku.

* * *

Powierzchnie podziałowe powstają w wyniku podziału oryginalnej powłoki (siatki). Wierzchołki oryginalnej powłoki to punkty sterujące powierzchni podziałowej. Podczas podziału każda czworokątna ściana dzieli się na cztery nowe ściany, a trójkątna - na trzy. Rysunek 10.2.10 przedstawia kolejne podziały powłoki, "rozpiętej" na wierzchołkach czterech ośmiokątów. (Z powodu układu ścian, biegnących jak południki i równoleżniki, nazwaliśmy ją "globusem"):

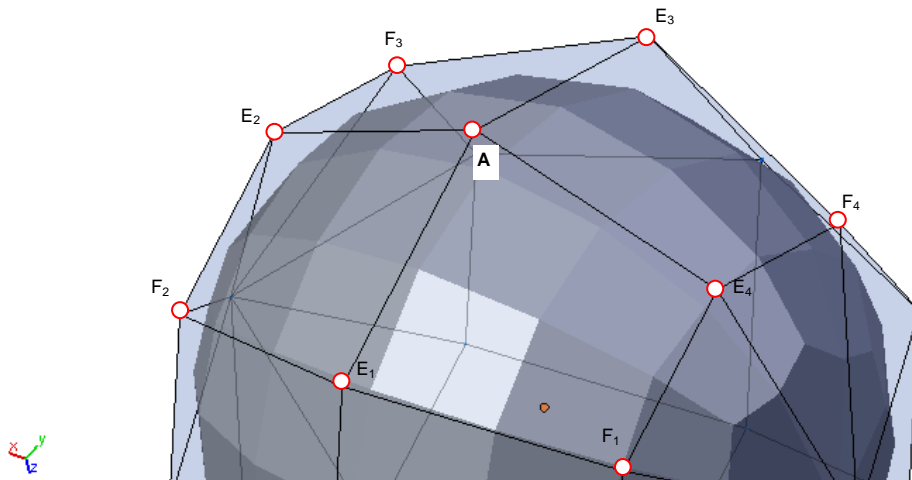


Rysunek 10.2.10 Podział 32-ściennego "globusa"

Rysunek 10.2.10a) przedstawia oryginalną powłokę, złożoną z 32 ścian. Jej 26 wierzchołków (zbyt wiele, aby je na tej ilustracji zaznaczać) to punkty sterujące powierzchni podziałowej. Rysunek 10.2.10b) przedstawia rezultat pierwszego podziału tej siatki. Zwróć uwagę na kształt podziału ścian w okolicach "biegunów" oryginalnej powłoki. Rysunek 10.2.10c) to wynik dwukrotnego podziału. Kształt powłoki stał się już zbliżony do kształtu powierzchni **ostatecznej**. W przypadku naszego "globusa" wcale nie jest to kula, tylko elipsoida. (Przekrój w płaszczyźnie równoleżnika jest okręgiem, a w płaszczyźnie południka - elipsą)

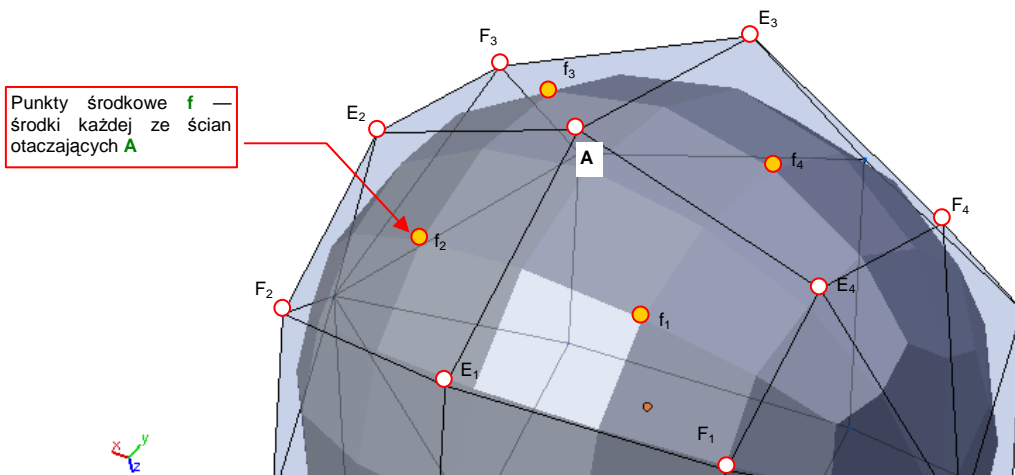
Istnieje wiele metod (nazywanych także "schematami") podziału powierzchni. Blender wykorzystuje schemat **Catmulla - Clarka**. Opublikowany po raz pierwszy w 1978r, przeleżał "na półce" ponad dwadzieścia lat, zanim

go "odkurzono" i zastosowano¹. Reguły wyznaczania wierzchołków powierzchni podziałowej w tym schemacie podam na przykładzie pojedynczego punktu sterującego **A** i sąsiednich wierzchołków (Rysunek 10.2.11):



Rysunek 10.2.11 Punkt sterujący **A** i jego otoczenie

Wierzchołek **A** łączy kilka krawędzi. Na ilustracji — Rysunek 10.2.11 — są to cztery krawędzie, na których leżą punkty **E₁**, **E₂**, **E₃**, **E₄**. Otacza go także kilka innych punktów, z którymi nie jest bezpośrednio połączony. Są to pozostałe wierzchołki ścian, do których należy **A**. Na ilustracji oznaczyłem cztery takie punkty: **F₁**, **F₂**, **F₃**, **F₄**. Pierwszą grupą wierzchołków powierzchni podziałowej leży w pośrodku każdej ze ścian powłoki kontrolnej. Oznaczmy je jako punkty "środkowe" (Rysunek 10.2.12):



Rysunek 10.2.12 Wyznaczanie wierzchołków **f** — "środkowych" punktów powierzchni podziałowej

Punkty środkowe można wyznaczyć wg Wyr. 10-4:

$$\text{dla ściany czworokątnej: } f_k = \frac{1}{4} (F_k + E_k + A + E_{k+1})$$

$$\text{dla ściany trójkątnej: } f_k = \frac{1}{4} (E_k + A + E_{k+1})$$

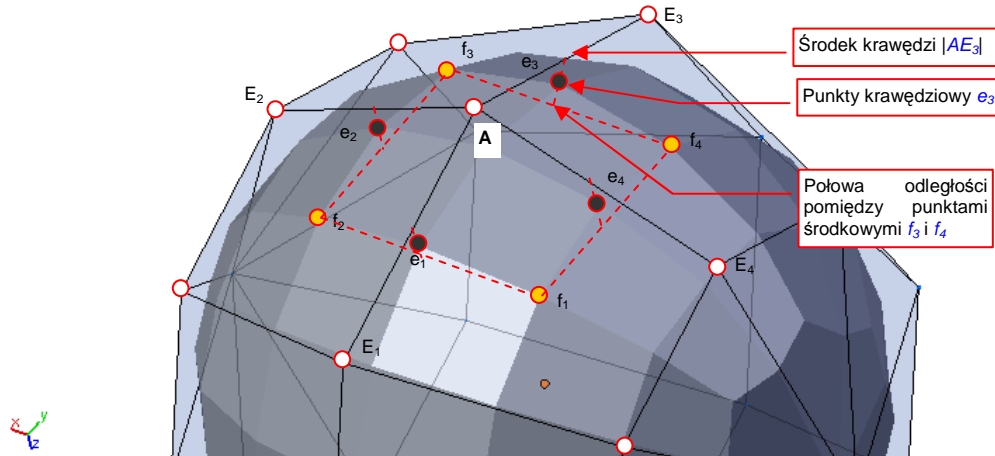
gdzie² **k** = 1,2,...,**n**; a **n** — to liczba ścian wokół wierzchołka **A**.

¹ Zrobiło to studio Pixar, do modelowania postaci w "Toy Story 2". Przyczyną było "pękanie na szwach" powierzchni NURBS podczas animacji bohaterów ich pierwszego filmu - "Toy Story". W ten sposób ktoś wreszcie "odstawiono do kąta" powierzchnie NURBS, do których mankamentów cały przemysł CAD/CAM zdążył się już przyzwyczaić.

² Wierzchołki wokół **A** ponumerowałem cyklicznie — gdy **k** = **n**, to przyjmujemy, że **k+1** = 1. Na przykład w Wyr. 10-4, przy obliczaniu **f₄**, punkt **E_{k+1}** powinien nosić oznaczenie **E₅**, podstawiamy jednak na to miejsce **E₁**.

Wyr. 10-4 Współrzędne punktów środkowych ścian wokół wierzchołka A

Kolejne wierzchołki powierzchni podziałowej to punkty krawędziowe — e_k . Każdy z nich leży w połowie odległości pomiędzy środkiem odcinka $|AE_k|$, a środkiem odcinka $|f_k, f_{k+1}|$ (Rysunek 10.2.13):


Rysunek 10.2.13 Wyznaczanie wierzchołków e — punktów "krawędziowych" pow. podziałowej

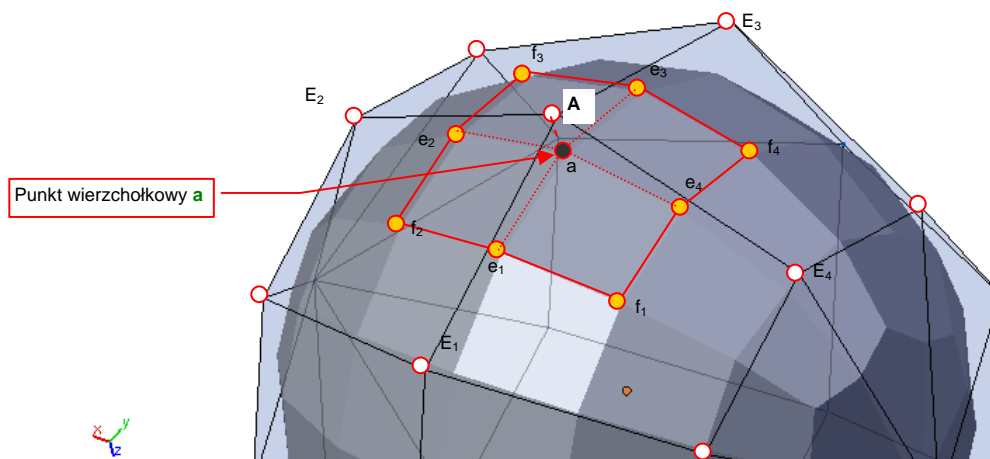
Każdy z punktów krawędziowych — e_1, e_2, e_3, e_4 — może być wyznaczony wg Wyr. 10-5:

$$e_k = \frac{1}{4}(f_k + f_{k+1} + E_k + A)$$

gdzie $k = 1, 2, \dots, n$, a n — to liczba ścian wokół wierzchołka A.

Wyr. 10-5 Współrzędne punktów krawędziowych wokół wierzchołka A

Punkty środkowe f_k i krawędziowe e_k wyznaczają zewnętrzną krawędź nowych ścian, które powstają wokół wierzchołka A (Rysunek 10.2.14). (Ta krawędź jest "współdzielona" ze ścianami podziałowymi sąsiednich wierzchołków). Do zakończenia wyznaczenia czterech ścian brakuje już tylko ostatniego punktu — a. Punkty a, tak jak w przypadku krzywych, nazywamy punktami wierzchołkowymi:


Rysunek 10.2.14 Punkt a — punkt "wierzchołkowy" pow. podziałowej

Punkt wierzchołkowy a leży zawsze pomiędzy punktem A, końcami krawędzi oryginalnej powłoki E_k , oraz punktami środkowymi f_k . Dokładną zależność pomiędzy nimi opisuje Wyr. 10-6:

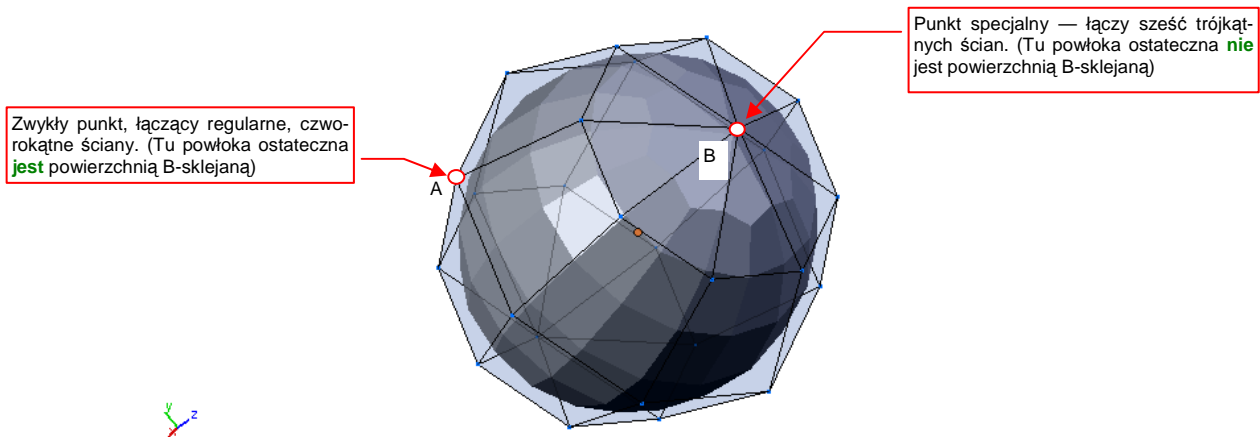
$$a = \frac{(n-2)}{n} A + \frac{1}{n^2}(E_1 + E_2 + \dots + E_n) + \frac{1}{n^2}(f_1 + f_2 + \dots + f_n)$$

gdzie n — to liczba ścian wokół wierzchołka A

Wyr. 10-6 Współrzędne punktu wierzchołkowego a — odwzorowania punktu sterującego A

Powstanie powierzchni podziałowej pokazałem na przykładzie wierzchołka łączącego cztery czworokątne ściany. Dla tak zbudowanych powierzchni sterujących, powłoka ostateczna, do której zbiegają kolejne podziały *Catmull-Clarka*, jest jednorodną powierzchnią B-sklejaną, trzeciego stopnia¹.

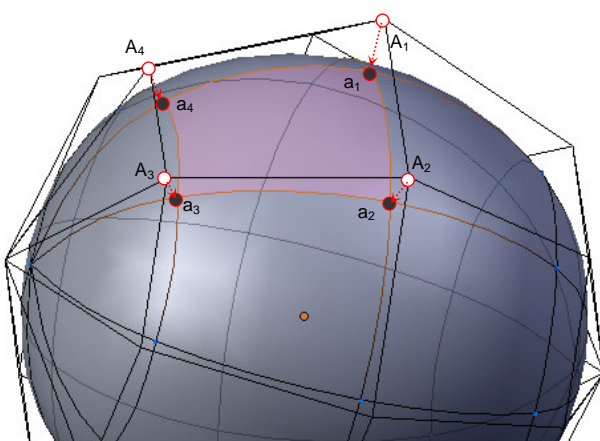
Powierzchnie podziałowe potrafią jednak utworzyć gładką powłokę z dowolnej kombinacji ścian, z których każda może mieć inną liczbę boków². Przykładem takiego "trudnego" wierzchołka są chociażby "bieguny" siatki o układzie "globusa" (Rysunek 10.2.15). Co prawda w okolicach takich punktów nie jest gwarantowana ciągłość promienia krzywizny (w tych miejscach powierzchnia ostateczna nie jest powłoką B-sklejaną). Na pewno jednak powierzchnie podziałowe pozostają "gładkie". (Wokół wierzchołków "specjalnych" zachowują przynajmniej ciągłość stycznych do powierzchni).



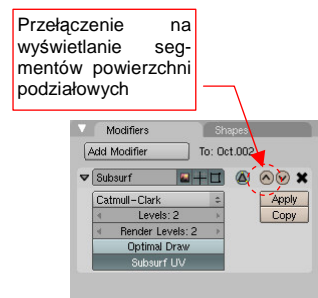
Rysunek 10.2.15 Zwykłe i "specjalne" wierzchołki powłoki sterującej

Wyrażenia opisujące powierzchnie podziałowe (Wyr. 10-4, Wyr. 10-5, Wyr. 10-6) są podane w sposób ogólny, dla dowolnej liczby ścian wokół wierzchołka oryginalnej powłoki. Używając ich, można także wyznaczyć wierzchołki siatki wokół takich "specjalnych" wierzchołków jak punkt **B** (Rysunek 10.2.15).

Na każdej powłoce podziałowej Catmull-Clarka można wskazać krawędzie, stanowiące bezpośrednie odwzorowanie ("ślad") krawędzi powłoki sterującej (Rysunek 10.2.16):



Rysunek 10.2.16 Segment powierzchni podziałowej



Rysunek 10.2.17 Blender: przełącznik wyświetlania segmen-

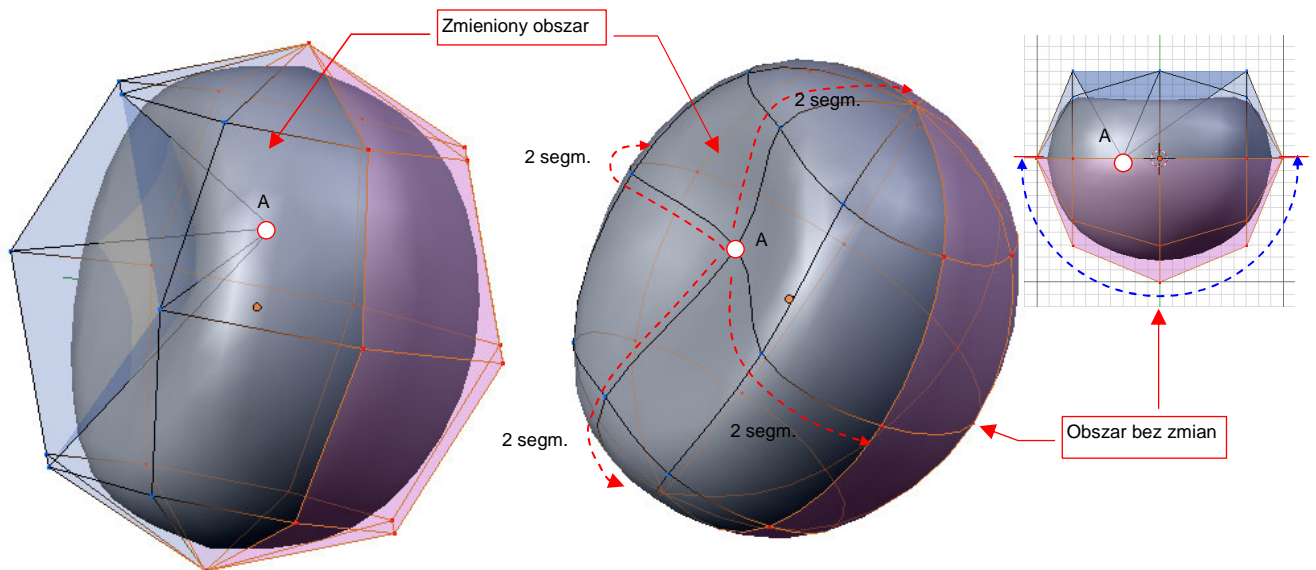
¹ Jest to więc jeden z rodzajów powierzchni NURBS.

² Tego powierzchnie B-sklejane, nawet tak "elastyczne" jak NURBS, nie są w stanie obsłużyć. Powłoki NURBS są powłokami parametrycznymi, przez co wymagają siatek punktów sterujących, w których wszystkie ściany mają taką samą liczbę boków. Skomplikowane, rzeczywiste kształty są więc "szyte" z czworokątnych lub trójkątnych "skrawków" powierzchni (*patches*). I właśnie te "szywy" były horrorem programistów. W dodatku "pękały" podczas animacji.

tów powierzchni podziałowych

Fragment powierzchni podziałowej ograniczony "śladami" krawędzi powłoki sterującej nazwiemy **segmentem**. Każda powłoka podziałowa ma tyle segmentów, ile ścian ma jej powierzchnia sterująca. (Jest to analogia do segmentów krzywych podziałowych — p. str. 573).

- W Blenderze, podczas edycji siatki, możesz się swobodnie przełączać pomiędzy ścianami powłoki sterującej i jej segmentami. Służy do tego niepozorny przełącznik w panelu modyfikatora *Subsurf* (Rysunek 10.2.17).
- Zakres wpływu pojedynczego punktu sterującego na kształt powierzchni podziałowej jest ograniczony. Zmiany nigdy nie przekroczą obszaru sąsiednich 4 x 4 segmentów. (Po dwa segmenty w każdą stronę, licząc od odwzorowania zmienionego wierzchołka — p. Rysunek 10.2.18).

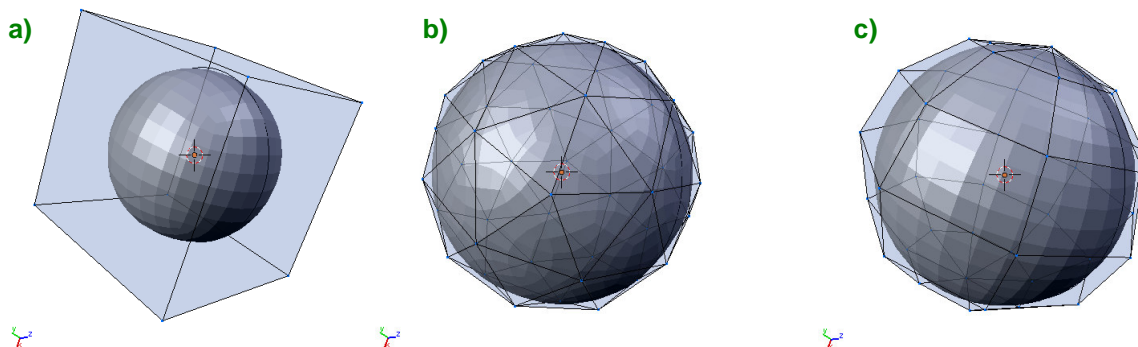


Rysunek 10.2.18 Granica wpływu punktu sterującego A na kształt powierzchni podziałowej

Wspomniałem wcześniej, że siatki typu "globus", na których do tej pory eksperymentowaliśmy, pozwalają uzyskać elipsoidę, a nie kulę. Są dwie drogi, aby uzyskać za pomocą powierzchni podziałowych kształt kuli:

- zastosować jako powłokę sterującą jakiś wielościan foremny (powierzchnię, której wszystkie ściany są jednakowe);
- zwiększyć liczbę, oraz zmienić położenie "równoleżników" na powłoce typu "globus";

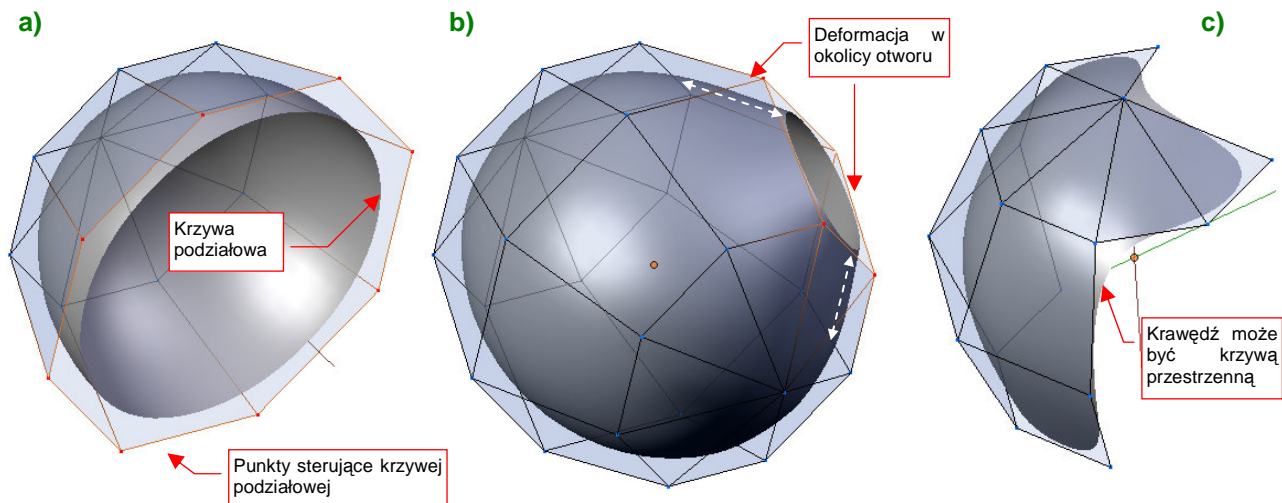
Najprostszym przykładem pierwszej metody — użycia wielościanów foremnych — jest sześciąt Rysunek 10.2.19a). Innym, lepszym przybliżeniem jest powłoka o większej liczbie ścian (Rysunek 10.2.19b):



Rysunek 10.2.19 Powłoki, pozwalające uzyskać powierzchnie podziałowe zbliżone do kuli

Rysunek 10.2.19c) przedstawia przykład drugiego rozwiązania — modyfikację siatki typu "globus". Mimo, że okolice "biegunów" mają w takiej powłoce największe odchylenie od kształtu kuli, w praktyce często stosuje właśnie to rozwiązanie. Dlaczego? Zazwyczaj modelujemy nie pełną kulę, ale jej fragment — jakieś zaokrąglenie. Fragment siatki typu "globus", zawierający punkt biegunowy, łatwo jest "wyprowadzić" z fragmentów innych siatek. A odchylenie w okolicy bieguna? Cóż, jest to pewien problem, ale zazwyczaj wystarcza dodać jeden - dwa dodatkowe równoleżniki, i kształt staje się wystarczająco "kulisty".

Do tej pory demonstrowałem wyłącznie powierzchnie zamknięte. Rysunek 10.2.20 pokazuje przykłady powierzchni podziałowych dla powłok, które są otwarte:



Rysunek 10.2.20 Powierzchnie podziałowe dla powłok otwartych

Rysunek 10.2.20a) przedstawia efekt usunięcia połowy "globusa". Pozostała powłoka sterująca w kształcie czaszy. Jej krawędź jest krzywą podziałową — taką jaką analizowaliśmy w pierwszej części tej sekcji. O kształcie tej linii decydują wyłącznie punkty krawędzi powłoki sterującej. (W tym przypadku jest okręgiem, powstałym w wyniku podziału ośmiobocznej krawędzi czaszy).

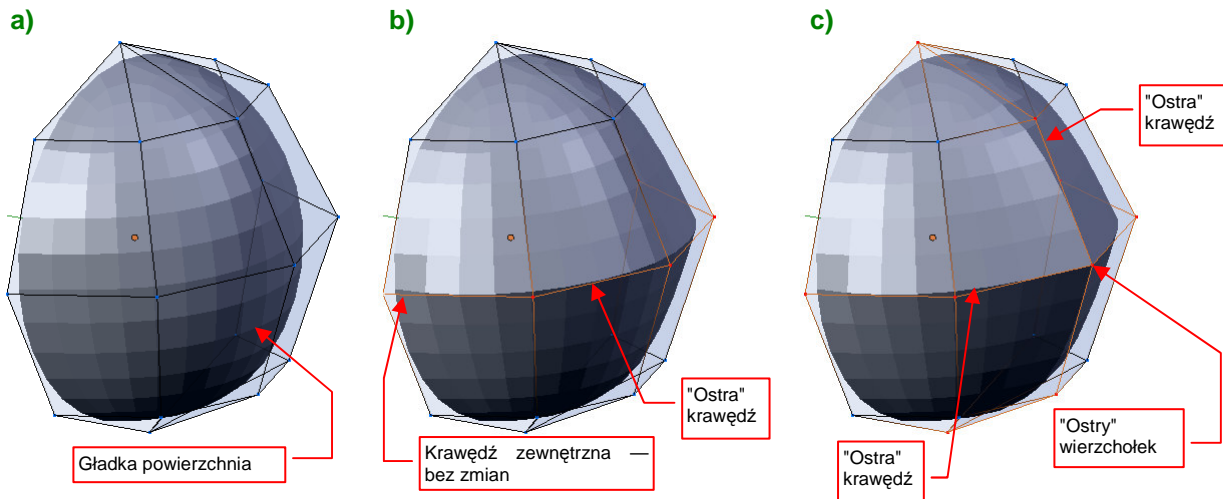
Czasza z przypadku a) ma nieco większą średnicę, niż elipsoida, z której powstała. Ten efekt widać dobitniej w drugim przykładzie. Rysunek 10.2.20b) przedstawia powierzchnię, która także powstała z siatki "globusa". Tym razem nie usunęliśmy żadnego wierzchołka. Usunięta została tylko pojedyncza ściana — i powstał w powłoce otwór. Jego krawędź zależy tylko od wierzchołków tej usuniętej ściany, więc leży w ich płaszczyźnie. W efekcie krawędź otworu znalazła się powyżej oryginalnej powłoki, i "pociągnęła" za sobą inne ściany z otoczenia. Wygląda to trochę jak krawędź "formującego się wulkanu". Dla powłok o niewielkim zaokrągleniu ten efekt jest praktycznie niewidoczny. Może stanowić problem, gdy będziesz próbował wykonać większy otwór w bardziej zaokrąglonej powierzchni — np. kadłuba (por. Rysunek 10.2.28, str. 587).

Abyś nie odniósł mylnego wrażenia, że krawędź powierzchni podziałowej zawsze jest jakimś płaskim obrysem, przygotowałem ostatni, trzeci przykład. Rysunek 10.2.20c) pokazuje nieregularną powierzchnię, w której jedne ściany są trójkątne, a inne — czworokątne. Krawędź takiej powłoki jest także krzywą podziałową — tyle, że tym razem przestrzenną¹.

- Krawędzią powierzchni podziałowej jest zawsze krzywa podziałowa. Wielobokiem sterującym tą krzywą jest krawędź powłoki sterującej.

¹ Krzywej podziałowej tak naprawdę jest "wszystko jedno", czy leży na jednej płaszczyźnie, czy nie. Każda z nich jest tak naprawdę krzywą przestrzenną — por. str. 573.

Krawędzie otwartych powłok podziałowych przyjmują opisany powyżej kształt, bo zastosowano do ich podziału inne wyrażenia, niż dla pozostałych wierzchołków powierzchni. Ich punkty krawędziowe są wyznaczone według Wyr. 10-1 (str. 573) a nie Wyr. 10-5 (str. 579). Podobnie punkty wierzchołkowe — ich współrzędne opisuje Wyr. 10-2, a nie Wyr. 10-6. W sumie to program obliczający wierzchołki podejmuje decyzję, według jakiego wyrażenia podzieli daną krawędź. W związku z tym programiści stworzyli dodatkową możliwość: użytkownik może sam oznaczyć niektóre krawędzie oryginalnej powłoki jako "ostre" (*cearses*). Zostaną wówczas potraktowane jak gdyby były krawędziami zewnętrznymi, mimo że leżą pośrodku powierzchni. Ich odwzorowaniem na powłoce podziałowej jest ostra krawędź, o kształcie krzywej podziałowej (Rysunek 10.2.21):



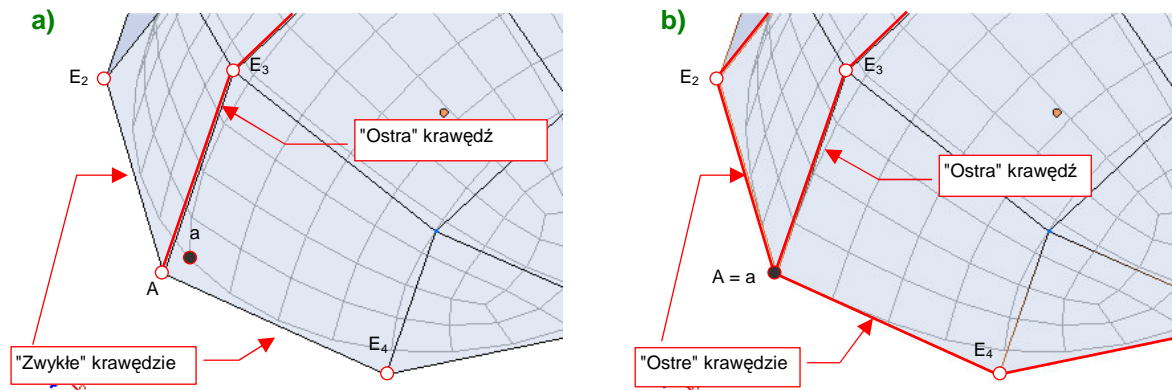
Rysunek 10.2.21 Ostre krawędzie wewnątrz powierzchni podziałowych

Rysunek 10.2.21 a) przedstawia sytuację wyjściową — zwykłą, gładką powłokę. Rysunek 10.2.21 b) pokazuje, jak zmieni się ten kształt, gdy "równik" powłoki sterującej został oznaczony jako "ostry" (*cearse*). Pojawiło się w tym miejscu ostre załamanie kształtu powłoki podziałowej (nie jest zachowana ciągłość stychnych). Kształt końcowych krawędzi powłoki nie uległ zmianie, mimo że mają wspólny punkt przecięcia z "ostrą" krawędzią.

Rysunek 10.2.21c) demonstruje efekt przecięcia się dwóch krawędzi oznaczonych jako "ostre". Oprócz "równika", oznaczyłem jako "ostry" jeden z południków. Punkt, w którym przecięły się te dwie krawędzie, znalazł się na powłoce sterującej.

- Jeżeli z punktu sterującego wychodzą co najmniej trzy "ostre" krawędzie, to taki wierzchołek także nazywamy "ostrym", albo "narożnym". Każda powierzchnia podziałowa (dowolnego poziomu) ma w takim punkcie odpowiedni punkt wierzchołkowy.

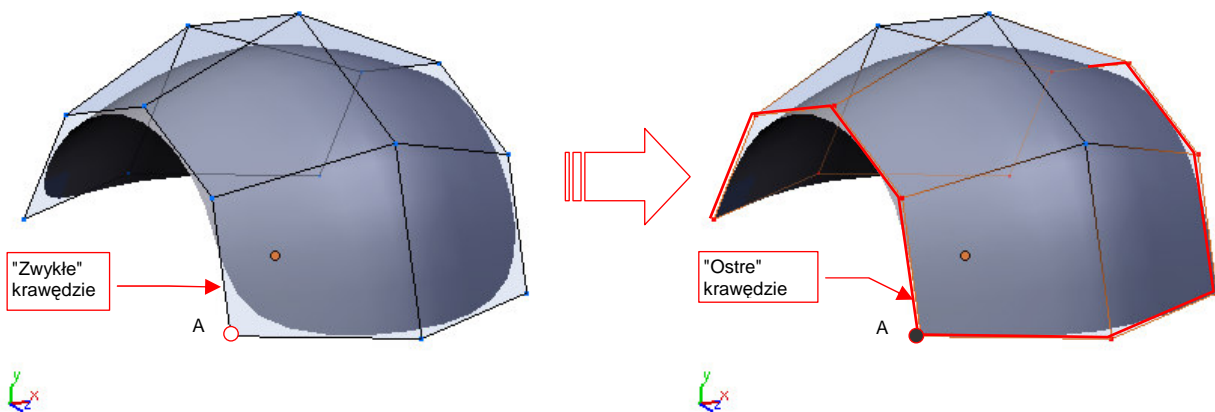
Na pierwszy rzut oka powyższa reguła wydaje się nie obowiązywać na przecięciu "ostrej" krawędzi z krawędzią powłoki (Rysunek 10.2.22a). W punkcie **A**, gdzie krawędź zewnętrzna styka się z równoleżnikiem, oznaczonym jako "ostry" (krawędź $|AE_3|$), powinien się pojawić wierzchołek narożny. Nic takiego jednak nie wystąpiło — ostra krawędź płynnie "rozmywa" się w krawędzi powłoki. Punkt wierzchołkowy **a** leży nadal na nie zdeformowanym okręgu podstawy. Dlaczego?



Rysunek 10.2.22 Uzyskanie narożnika na krawędzi powłoki

Krawędź powłoki jest wyznaczana w taki sam sposób (według tych samych wzorów), co krawędzie "ostre". Sposób obliczeń nie czyni z niej jednak samoczynnie krawędzi "ostrej". Dopóki użytkownik nie oznaczy jej w ten sposób, będzie przez program traktowana jak gładka. Dlatego z wierzchołka **A** wychodzi tylko jedna ostra krawędź — $|AE_3|$, i nie ma tu narożnika (Rysunek 10.2.22a)¹. Aby uzyskać w punkcie **A** narożnik, należy oznaczyć krawędzie $|AE_2|$ i $|AE_4|$ jako "ostre" (Rysunek 10.2.22b).

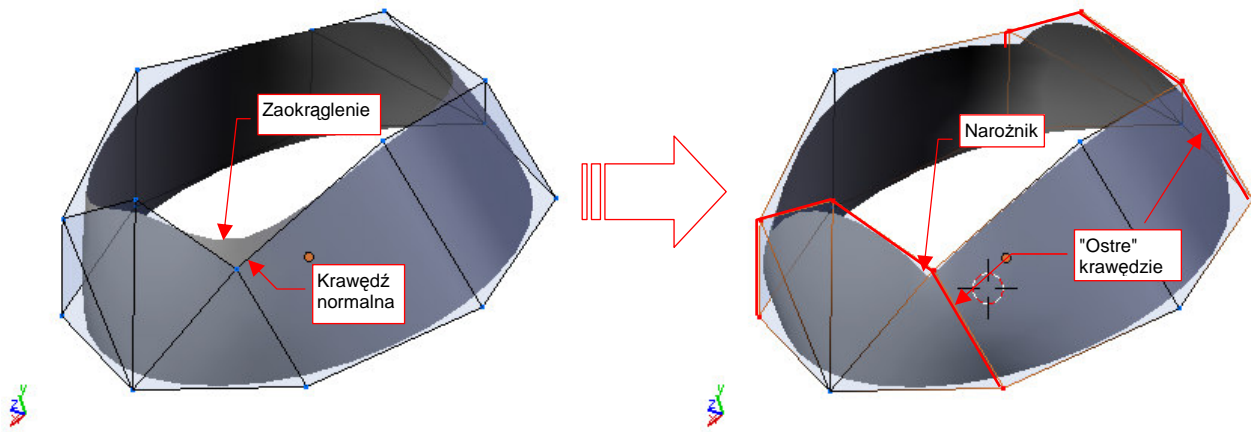
Faktycznym wyjątkiem od reguły "punktu narożnego" jest narożnik prostokątnej ściany, leżący na krawędzi powłoki. Rysunek 10.2.23 przedstawia taki punkt **A**: "gładka" krawędź powłoki omija go szerokim łukiem. Gdy jednak "wyostrzymy" jego obydwie krawędzie — stanie się narożnikiem:



Rysunek 10.2.23 Uzyskanie narożników na zewnętrznej krawędzi powłoki prostokątnej

Wyostrenie krawędzi umożliwia także uzyskanie prostokątnego otworu wewnątrz powłoki podziałowej. W takim przypadku wystarczy "wyostrzyć" tylko dwie przeciwległe krawędzie otworu (Rysunek 10.2.24). Spowoduje to uzyskanie ostrych narożników, mimo że nie są to punkty narożne, i nie leżą na powierzchni siatki sterującej. Zazwyczaj taki efekt oznacza mniejsze deformacje oryginalnego kształtu siatki, i jest często bardzo pożądany. (Wyostrenie krawędzi zawsze zmienia kształt powłoki — różnica polega tylko na tym, jak duża jest to deformacja)

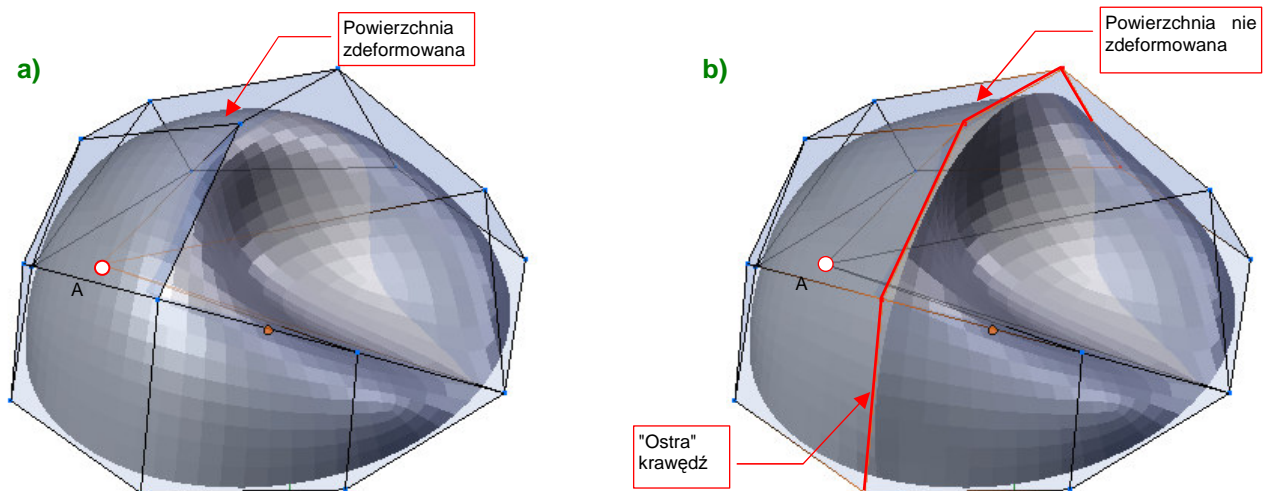
¹ Inna sprawa, że jeżeli wzdłuż krawędzi $|AE_2|$ biegnie linia podziałowa, to jej koniec — dwa ostatnie wierzchołki (Rysunek 10.2.22a) zostały wyznaczone według innych reguł, niż te, które podałem na str. 577. Wygląda na to, że w charakterze brakującego wierzchołka E_1 został tu wykorzystany środek odcinka $|E_2E_4|$



Rysunek 10.2.24 Uzyskanie narożników na krawędzi wewnętrznej, prostokątnego otworu

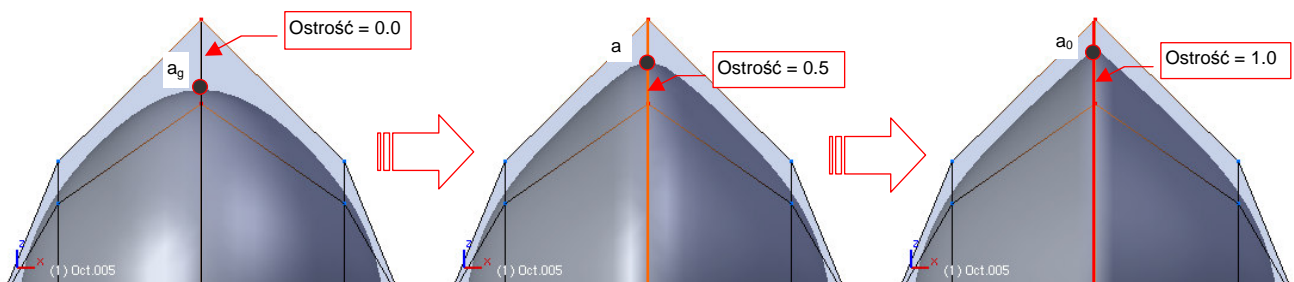
- "Ostra" krawędź ogranicza także wpływ punktów sterujących na kształt powierzchni. Punkty sterujące po jednej stronie "ostrej" krawędzi nie mają żadnego wpływu na kształt powierzchni po drugiej stronie.

Rysunek 10.2.25 ilustruje, jaką "barierą dla zmian" jest ostra krawędź. Przedstawiona powłoka zawiera dużą deformację, wywołaną przesunięciem punktu sterującego **A**. Przypadek a) to kształt gładkiej, zdeformowanej powierzchni. Przypadek b) — powierzchni, w której wpływ punktu **A** został ograniczony przez "ostrą" krawędź.



Rysunek 10.2.25 Ograniczenie wpływu punktu sterującego **A** przez "ostrą" krawędź

Krawędzie nie muszą być zawsze "całkiem ostre" lub "całkiem gładkie". W istocie Blender pozwala na płynną regulację "ostrości" w zakresie od 0 (zwykła, gładka krawędź) do 1 (krawędź ostra) (Rysunek 10.2.26) :



Rysunek 10.2.26 Stopniowa zmiana ostrości krawędzi

Wierzchołek a_g leży na zwykłej, gładkiej powierzchni, a_o — na zupełnie ostrej (Rysunek 10.2.26). Jak wyznaczony jest a — wierzchołek krawędzi o "częściowej" ostrości ($cearse = 0.5$)? Współrzędne punktów krawędzi-

wych i wierzchołkowych wzdłuż takiej krawędzi są "średnią ważoną" współrzędnych punktów a_g i a_o . "Wagą" w tej średniej jest wartość "ostrości" — od 0.0 do 1.0:

$$a = \sigma a_o + (1 - \sigma) a_g \quad (\text{p. Rysunek 10.2.26})$$

gdzie: σ — "ostrość": od 0.0 (całkowicie gładkie) do 1.0 (całkowicie ostre);

a_o — punkt wierzchołkowy dla krawędzi całkowicie "ostrej", wg Wyr. 10-2;

a_g — punkt wierzchołkowy dla krawędzi całkowicie "gładkiej" wg Wyr. 10-6;

Wyr. 10-7 Współrzędne punktów wierzchołkowych a dla krawędzi "półostrych"

$$e = \sigma e_o + (1 - \sigma) e_g$$

gdzie: σ — "ostrość": od 0.0 (całkowicie gładkie) do 1.0 (całkowicie ostre);

e_o — punkt krawędziowy dla krawędzi całkowicie "ostrej", wg Wyr. 10-1;

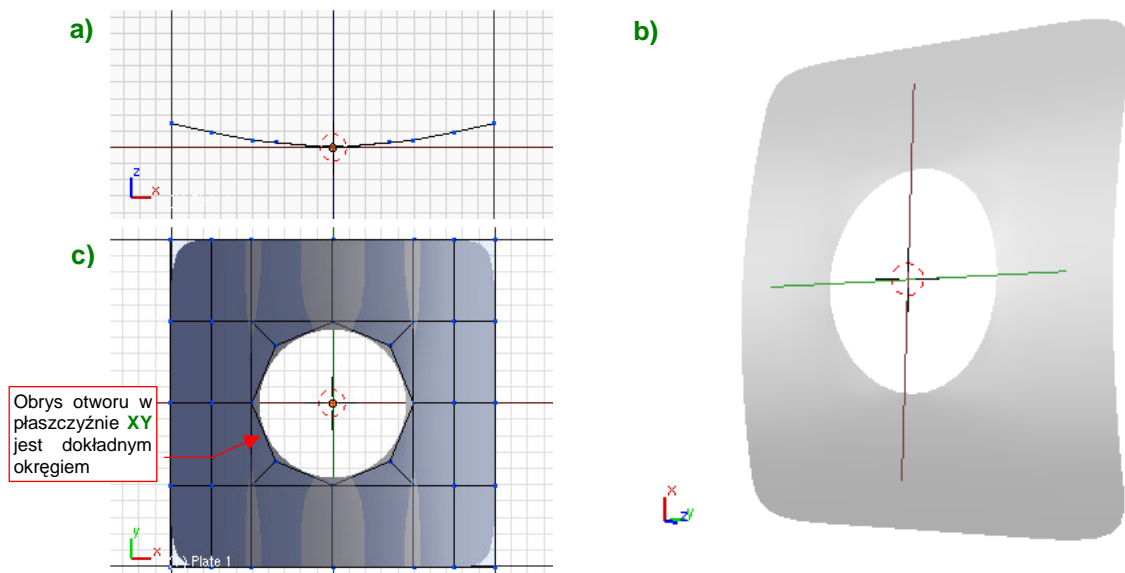
e_g — punkt krawędziowy dla krawędzi całkowicie "gładkiej", wg Wyr. 10-5;

Wyr. 10-8 Współrzędne punktów krawędziowych e dla krawędzi "półostrych"

Pamiętasz, jak podkreślałem, że współrzędna X każdego punktu powłoki podziałowej zależy tylko od współrzędnej X odpowiednich punktów sterujących (str. 573)? Podobnie współrzędna Y takiego wierzchołka zależy od Y, a Z od współrzędnej Z punktów sterujących.

- Kształt rzutu powierzchni podziałowej na płaszczyznę zależy tylko od kształtu rzutu jej punktów sterujących na tej płaszczyźnie.

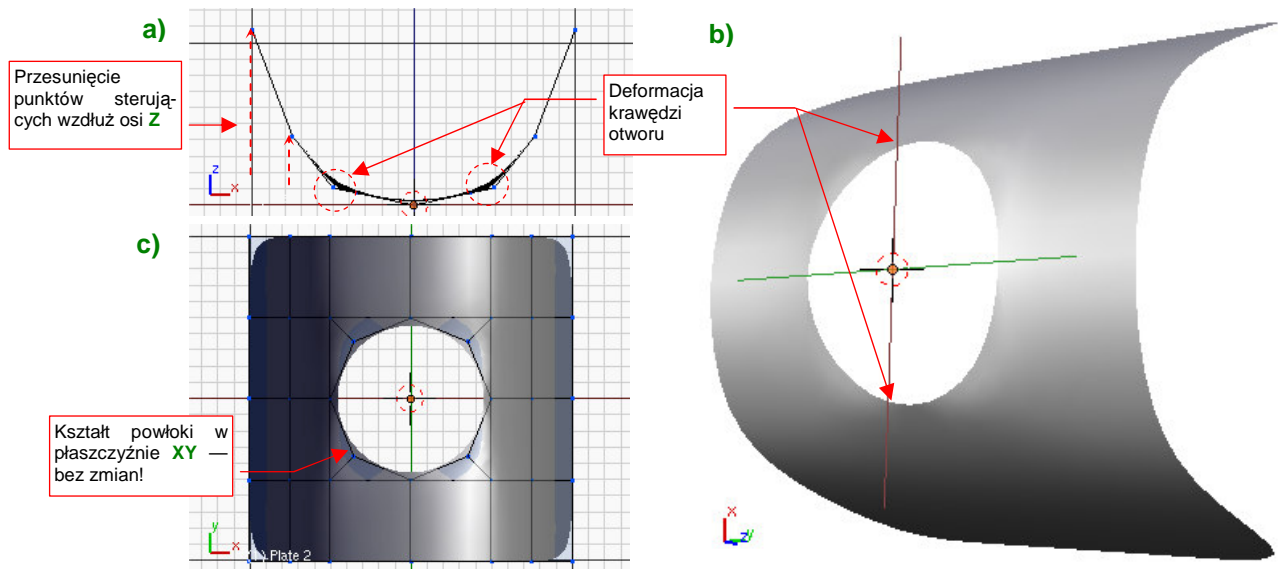
Ta reguła nie wygląda dość przejrzysto, ale jej znajomość bardzo ułatwia modelowanie. Postaram się ją pokazać na przykładzie. Rysunek 10.2.27 pokazuje lekko wygiętą powłokę, w której wykonałem otwór. Krawędź otworu w płaszczyźnie **XY** jest okręgiem (Rysunek 10.2.27c):



Rysunek 10.2.27 Okrągły otwór w lekko wygiętej powłoce

Jak się zmieni kształt tej powierzchni w rzucie z góry (płaszczyźnie **XY**), gdy wygnę tę powierzchnię (Rysunek 10.2.28)? Wygięcie uzyskałem, przesuując punkty sterujące w kierunku prostopadłym do **XY** (wzdłuż osi **Z**). Rysunek 10.2.28c) pokazuje, że jej rzut z góry nie uległ żadnej zmianie! (Porównaj Rysunek 10.2.28c i Rysunek 10.2.27c.)

Ta właściwość jest nieoceniona szczególnie w przypadku konieczności dokonania jakichś niewielkich poprawek kształtu. Możesz je zazwyczaj zaplanować jako przesunięcia wierzchołków wzdłuż pojedynczej osi. W ten sposób masz gwarancję, że kształt obiektu w kierunku prostopadłym nie ulegnie żadnej zmianie.



Rysunek 10.2.28 Okrągły otwór w bardzo wygiętej powłoce

Na koniec mała dygresja o otworach w powierzchniach o małym i dużym promieniu krzywizny. Każda krawędź otworu w wygiętej powłoce podziałowej wywołuje lokalne zaburzenia kształtu. Wspomniałem to zjawisko na str. 582 (Rysunek 10.2.20b), używając nieco romantycznego określenia "efekt krawędzi wulkanu". Efekt ten jest praktycznie do zaniedbania na powierzchniach o małej krzywiznie, jakiej przykład pokazuje Rysunek 10.2.27. Taką niewielką krzywizną ma np. skrzydło samolotu (poza krawędzią natarcia). Stąd bardzo łatwo w skrzydle wykonać różnego kształtu otwory i wycięcia.

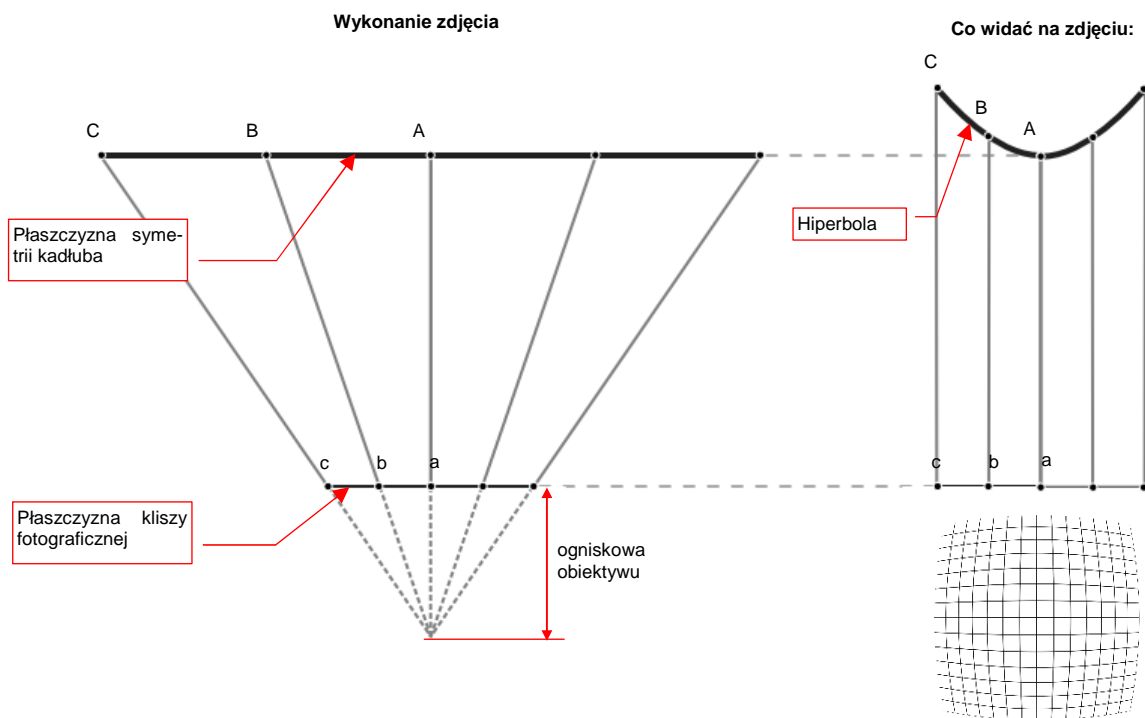
Problem jednak narasta, gdy rośnie krzywizna powierzchni. Na powłoce wygiętej tak, jak bywa często wygięty przekrój kadłuba, wypukłości wokół otworu stają się widoczne (Rysunek 10.2.28a). Jak napisałem wcześniej, nie wpływają na kształt powierzchni w rzucie prostym, ale na pewno nie można ich tak zostawić. Z tym problemem możesz sobie poradzić, zagęszczając siatkę punktów sterujących w okolicy deformacji. Takie odchylenia powłoki szybko znikają. Już przy dwukrotnym zwiększeniu liczby ścian w takim miejscu deformacja jest o wiele mniejsza.

Podsumowanie

- Oryginalna siatka, z której powstaje powłoka podziałowa, nazywa się **siatką sterującą**, a jej wierzchołki — **punktami sterującymi** (*control points* — str. 571).
- Krzywe i powłoki podziałowe można podzielić na segmenty. Każdy segment odpowiada krawędzi (dla krzywych) lub ścianie (dla powłok) siatki sterującej (str. 573, 580).
- Wpływ przesunięcia pojedynczego punktu sterującego na kształt krzywej / powłoki podziałowej nie przekracza dwóch segmentów (w każdym kierunku) (str. 574, str. 581).
- Do dobrego odwzorowania okręgu wystarczy dwukrotny podział sześciokąta. Dla bardzo dokładnego okręgu — dwukrotny podział ośmiokąta (str. 576)
- Krawędzią każdej powierzchni otwartej jest krzywa podziałowa (str. 582).
- Powierzchnie podziałowe mogą zawierać krawędzie oznaczone jako "ostre" (str. 583). Możliwa jest także ostrość częściowa (str. 585)
- Ostra krawędź jest "barierą" dla propagacji zmiany kształtu powłoki (str. 585)
- Rzut powierzchni podziałowej na płaszczyznę zależy wyłącznie od rzutu jej punktów sterujących na tę płaszczyznę (str. 586). Dzięki tej właściwości można bez problemu "wycinać" okręgi w powierzchniach, które nie są zbyt wygięte. przy większym wygięciu pojawiają się deformacje na brzegu otworu.

10.3 "Zniekształcenie beczkowate" fotografii

Fotografia utrwała rzeczywisty obiekt w ściśle określonym ujęciu perspektywicznym. Podstawowym parametrem tego ujęcia jest długość ogniskowej obiektywu (patrz Rysunek 10.3.1). Powiedzmy, że wynosi 50mm. Wymiary kliszy były standardowe (wysokość 35mm, szerokość 48mm). Obraz na odbitce 10x15cm wyglądałby "zupełnie jak prawdziwy", gdybyś oglądał go z odległości 30 cm, zamknąwszy przy tym jedno oko. Oczywiście, nigdy tak zdjęć nie oglądamy. Napotykając je na co dzień, przyzwyczailiśmy się nawet do takich drastycznych deformacji beczkowatych jak "rybie oko". (Mimo, że nie mamy szans zobaczyć świata w ten sposób — wyklucza to budowa ludzkiego oka).



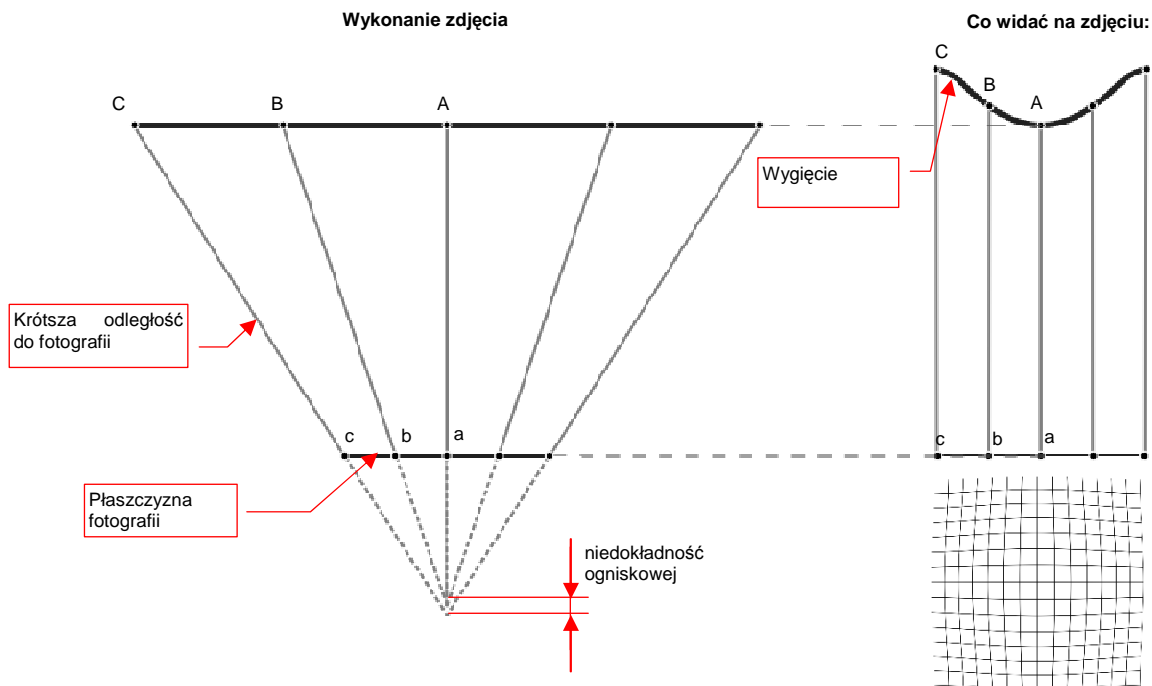
Rysunek 10.3.1 Zniekształcenie beczkowate na fotografii

Rysunek 10.3.1 pokazuje:

- po lewej: geometrię projekcji podczas wykonywania zdjęcia. Linia z punktami **A**, **B**, **C** to np. oś symetrii prawdziwego samolotu. Linia z punktami **a**, **b**, **c** to obraz tej osi na zdjęciu. Zwróć uwagę, że odcinek **|Cc|** jest o wiele dłuższy od **|Aa|**;
- po prawej: sytuację, gdybyśmy odbitkę tej fotografii obserwowali z nieskończonej odległości (czyli nie byłaby to w ogóle perspektywa, a techniczny rzut z lewej). Dlatego tu wszystkie odcinki **|Aa|**, **|Bb|**, **|Cc|** są równoległe. Różne odległości pomiędzy obiektem a jego obrazem, występujące w perspektywie, zrobiły jednak już swoje. Jeżeli wysokości oryginału (np. kadłuba) w punktach **A** i **C** są identyczne, to w punkcie **c** (na zdjęciu) jest ona mniejsza niż w pkt. **a**.

Linie, demonstrującą stopień zniekształcenia beczkowatego, można uzyskać ustawiając linie **|Cc|**, **|Bb|**, **|Aa|** pod kątem 90° do płaszczyzny zdjęcia (Rysunek 10.3.1). Długość tych odcinków jest taka sama jak podczas tworzenia zdjęcia. Ich końce wyznaczają teraz **krzywą deformacji**. Krzywa deformacji ma w tym przypadku kształt hiperboli.

W rzeczywistości soczewki obiektywu nie mają idealnych ogniskowych. Na większości zdjęć krzywa deformacji nie jest idealną hiperbolą — może być dodatkowo wygięta na krańcach. Rysunek 10.3.2 pokazuje, jak powstaje taki efekt:

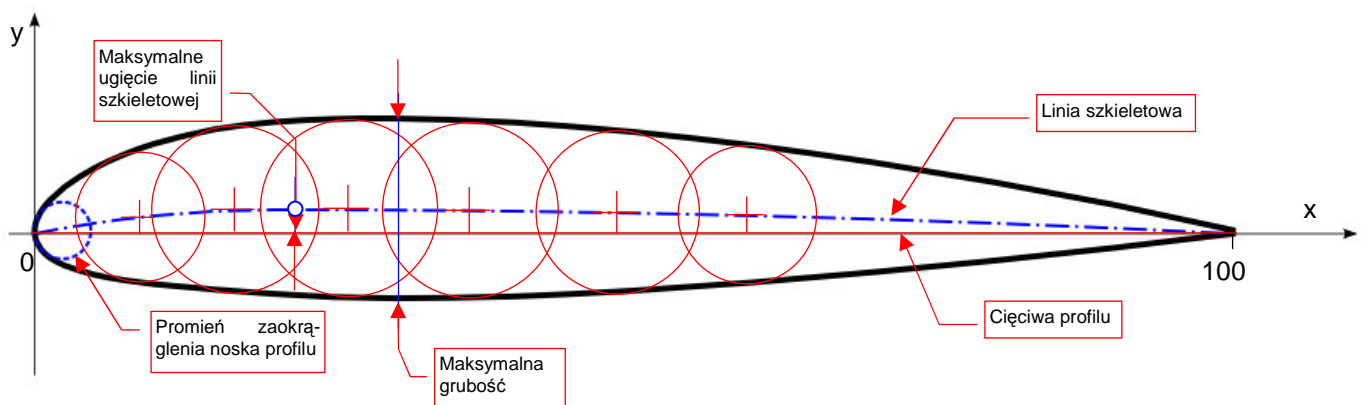


Rysunek 10.3.2 Przykład złożonego zniekształcenia beczkowatego

10.4 Kształt profili lotniczych (metody odwzorowania)

Wśród konstruktorów lotniczych funkcjonuje powiedzenie "the wing is the king". Ma to znaczyć, że geometria płata ma decydujący wpływ na wszelkie charakterystyki samolotu. Na przykład — P-40E "Warhawk" i P-51A "Mustang" miały niemal identyczną powierzchnię płata, i zbliżoną powierzchnię poprzeczną kadłuba. Używały takich samych silników *Allison*, miały bardzo podobną powierzchnię czołową — chłodnic, kadłuba, skrzydeł. Różniły się jednak drastycznie oporem, jaki stawiały podczas lotu. Współczynnik oporu P-40E wynosił 0.0242¹. Ten sam współczynnik dla P-51A wynosił 0.0176. Co powodowało tę różnicę? Przede wszystkim profil płata! W wyniku zastosowania skrzydła o profilu laminarnym pierwsze "Mustangi" był o 45 km/h szybsze od "Warhawków"².

Profil płata jest odwzorowywany w lotnictwie bardzo dokładnie — nawet nieznaczne różnice kształtu mogą w znaczny sposób zmienić np. charakterystyki przeciągnięcia. Rysunek 10.4.1 wyjaśnia podstawowe pojęcia, używane w opisie geometrii profili lotniczych:



Rysunek 10.4.1 Geometria profilu lotniczego

Tradycyjnie profile lotnicze rysuje się w płaszczyźnie **XY**. Z lewej strony, w punkcie (**X=0, Y=0**), znajduje się zawsze tzw. nos profilu, określający kształt krawędzi natarcia płata. Nos jest zazwyczaj zaokrąglony. Czasami jest podawany promień tego zaokrąglenia. Profil jest zawsze zakończony w punkcie (**X=100, Y=0**). Linia profilu jest często dzielona na dwie części: **obrys górny** i **obrys dolny**. Obrisy łączą się na krańcach profilu (w **X = 0** i **X=100**).

Prosty odcinek, łączący nos z krawędzią spływu nazywamy **cięciwą**. Drugą linią charakterystyczną jest **szkieletowa**. Punkty tej linii leżą w równej odległości od górnej i dolnej krawędzi profilu. Można ją sobie wyobrazić jako linię przechodzącą przez środki okręgów, wpisanych w obrys profilu (Rysunek 10.4.1).

Dla profilu podawana jest często także:

- maksymalną grubość (informacyjnie — chodzi tu o wysokość, mierzona wzdłuż osi Y);
- punkt maksymalnego ugięcia linii szkieletowej (Rysunek 10.4.1).

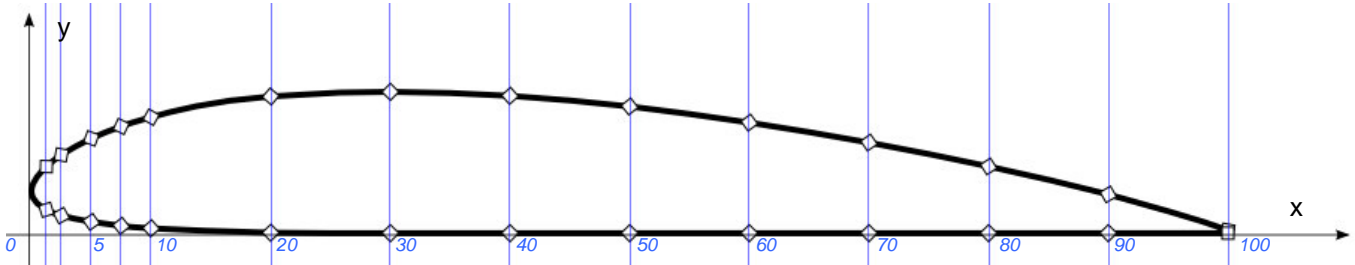
Gdzieś tak do lat dwudziestych XX wieku profile płatów opracowywali sami konstruktorzy. Robili to metodą prób i błędów. Na przykład popularny profil Clark Y powstał właśnie w tym czasie (opracował go w 1922 r. Virginus A. Clark) . Użyto go w dziesiątkach samolotów z lat dwudziestych. Aby inżynierowie na całym świecie byli w stanie poprawnie odtworzyć kształt profili, zaczęto publikować współrzędne ich obrysów (Tabela 10.4.1, Rysunek 10.4.2):

¹ Współczynnik "czystego oporu" mierzony w sytuacji, gdy płat nie wytwarza siły nośnej (samolot jest wówczas pochylony o 2—3° do dołu).

² Z prędkością wznoszenia już nie było tak dobrze: obydwa samoloty nie były pod tym względem najlepsze. Przy praktycznie takiej samej masie całkowitej (porównywany "Warhawk" był nieznacznie — o 120 kg — lżejszy) "Mustang" osiągał 610 m/min, a "Warhawk" — 670 m/min. (Profil laminarny "Mustanga" miał o wiele niższy opór, ale także wytwarzał relatywnie niższą siłę nośną.) Dla porównania — Messerschmitt Bf 109E miał prędkość wznoszenia 1020 m/min, a Bf 109F — 1260 m/min (ta ostatnia była jedną z najlepszych w ciągu całej wojny).

Tabela 10.4.1 Współrzędne profilu Clark Y

| X | 0 | 1.25 | 2.5 | 5 | 7.5 | 10 | 20 | 30 | 40 | 50 | 60 | 70 | 80 | 90 | 100 |
|----|------|------|------|------|------|------|-------|-------|-------|-------|------|------|------|------|------|
| Yg | 3.49 | 5.53 | 6.50 | 7.87 | 8.86 | 9.63 | 11.35 | 11.73 | 11.40 | 10.52 | 9.18 | 7.72 | 5.54 | 3.32 | 0.25 |
| Yd | 3.49 | 1.94 | 1.46 | 0.94 | 0.61 | 0.40 | 0.04 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |



Rysunek 10.4.2 Profil Clark Y, wykreślony na podstawie współrzędnych z Tabela 10.4.1

Gdzieś w latach dwudziestych coraz szerzej zaczęto używać profili, opracowanych przez placówki naukowe. Na przykład publikował je niemiecki uniwersytet w Getyndze. (Były oznaczane np. "Götingen - 623", albo "Götingen - 543".) W 1933 r. finansowana przez rząd USA NACA opublikowała istotny raport, zawierający geometrię i charakterystyki 78 profili lotniczych. Były to tak zwane "profile rodziny 4-cyfrowej". Od tamtej pory profile te były szeroko wykorzystywane w wielu konstrukcjach lotniczych, nie tylko amerykańskich¹. Do rodziny tej należą także profile płata P-36 i P-40: NACA 2215 i NACA 2209.

Czy wiesz, że numer profilu NACA nie jest wcale numerem kolejnym? Tak naprawdę zawiera opis jego kluczowych parametrów geometrycznych:

- 1 cyfra: największe ugięcie szkieletowej (czyli wartość Y max. ugięcia w %).
- 2 cyfra: odległość punktu o największym ugięciu szkieletowej od nosa profilu, podzielona przez 10. Na przykład — "2" oznacza, że max. ugięcie szkieletowej znajduje się 20% od krawędzi natarcia.
- 3 i 4 cyfra: grubość profilu (%).

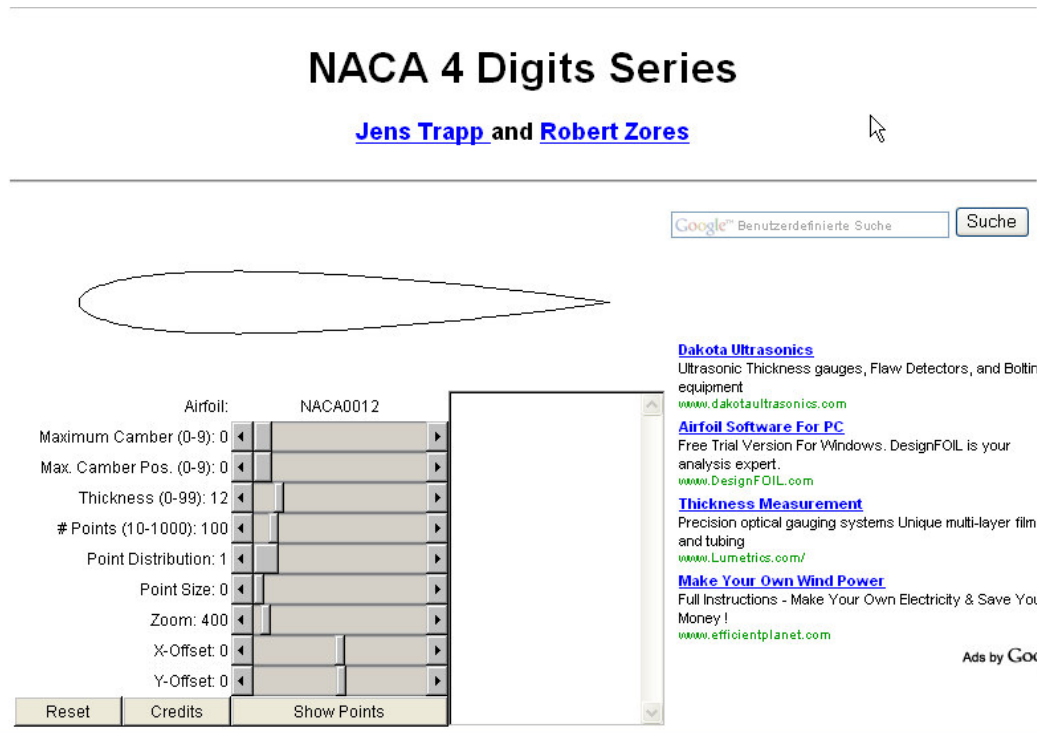
Tak więc symbol profilu P-40 — "NACA 2215" — oznacza profil o grubości 15% i maksymalnym ugięciu szkieletowej 2%, w X = 20% cięciwy. W istocie kształty NACA 2215 i NACA 2209 różnią się tylko grubością. Gdy przeskalujesz rysunek NACA 2209, rozciągając go w pionie, uzyskasz NACA 2215. (Na odwrót to także działa!)

Co więcej — NACA opublikowało wzory matematyczne, które pozwalają odwzorować kształt profilu z dowolną dokładnością. (Trzydzieści punktów, jakie Tabela 10.4.1 dla profilu Clark Y, pozostawia jeszcze pole do pewnej dowolności).

- NACA opublikowała parametry także tzw. "rodziny 5-cyfrowej", ale nie będziemy się nią tu zajmować. Poza tym istnieją także profile NACA, noszące inne oznaczenia. Na przykład — laminarny profil płata "Mustanga" to NACA 45-100. A profil skrzydła Messerschmitta Bf 109 jest podany jako NACA 2R₁14.2 (to oznacza podwójne załamanie szkieletowej).

¹ Skąd tak wielka popularność? Sekret kryje się w sposobie pomiaru. NACA dysponowało wówczas jedynym w świecie pełnowymiarowym tunelem aerodynamicznym, w którym się mieścił np. cały myśliwiec. Charakterystyki opublikowanych profili były zmierzone na dużych płytach, w warunkach zbliżonych do rzeczywistego lotu. Wcześniej wszyscy "dmuchali" (tak to się mówi w lotnictwie) płyty o rozmiarze niewielkiego modelu w małych tunelkach aerodynamicznych. Potem starano się te "modelarskie" charakterystyki przeliczyć na prawdziwe warunki lotu. Zdradzę tu wszystkim tym, którzy nie zetknęli się z praktyką inżynierską, mały sekret: obliczenia aerodynamiczne, szczególnie bez użycia komputerów, są strasznie niedokładne! Profile NACA były więc w oczach konstruktorów o wiele bardziej "pewne", niż wszystkie inne.

Gdy zaczniesz szukać w Internecie hasła "NACA, airfoil", znajdziesz szybko kilka stron podających współrzędne wielu różnych profili lotniczych. Uważam, że godny polecenia jest w szczególności serwis dostępny pod adresem <http://www.ppart.de//programming/java/profiles/NACA4.html>:

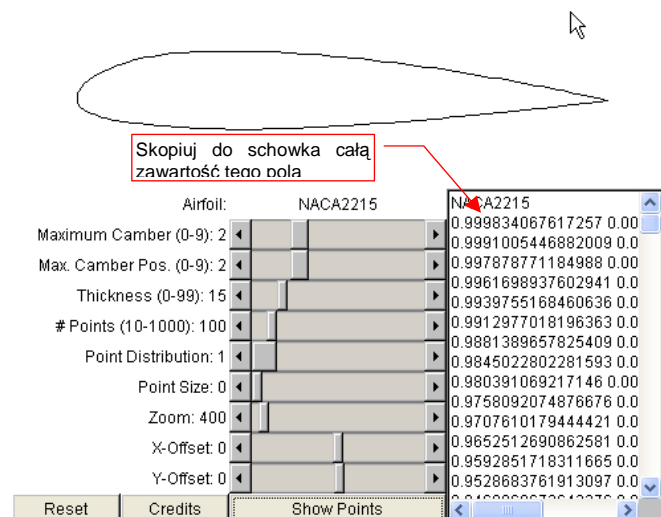


Rysunek 10.4.3 Serwis internetowy — generator współrzędnych 4-cyfrowych profili NACA

Gdy ustawisz na tej stronie odpowiednio parametry:

- **Maximum Camber**: ugięcie szkieletowej (1-sza cyfra);
- **Max. Camber Pos**: pozycja ugięcia szkieletowej (2-ga cyfra);
- **Thickness**: grubość profilu (dwie ostatnie cyfry).

i naciśniesz przycisk **Show Points**, w polu po prawej stronie ekranu zobaczysz współrzędne. Wygenerowano je dla profilu o długości cięciwy = 1.0. (Po 100 pkt na obrys).

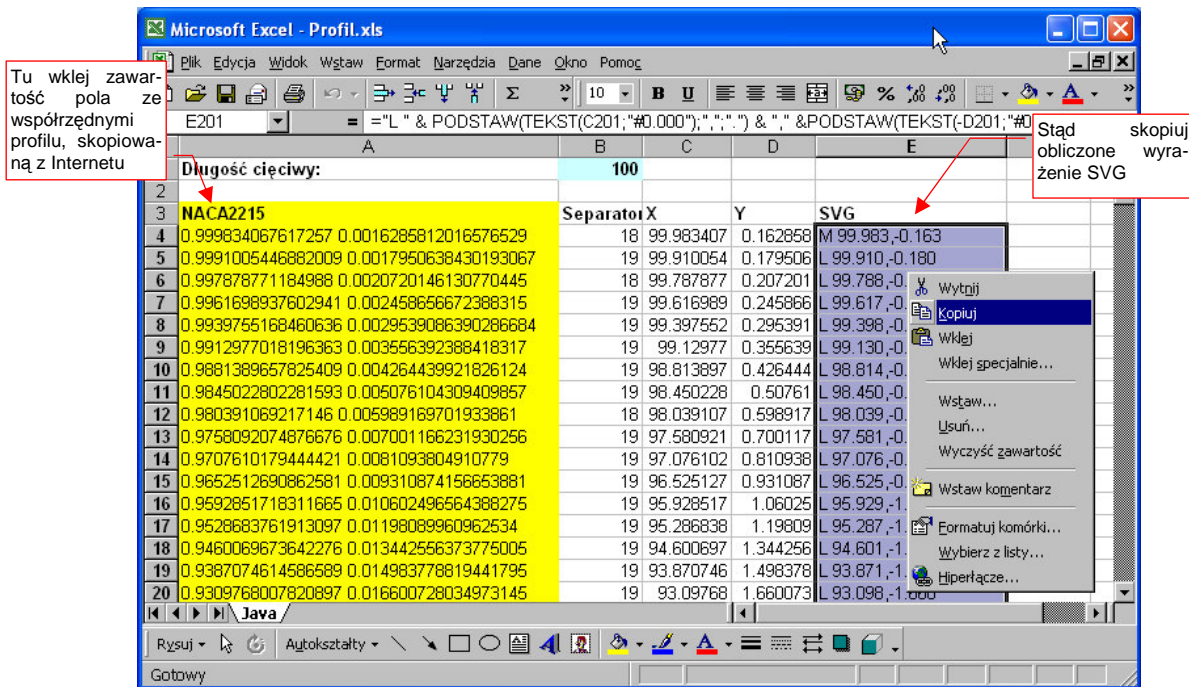


Rysunek 10.4.4 Wygenerowane współrzędne profilu NACA 2215

Zaznacz całą zawartość pola tekstowego ze współrzędnymi (**Ctrl-A**) i skopij ją do schowka (**Ctrl-C**).

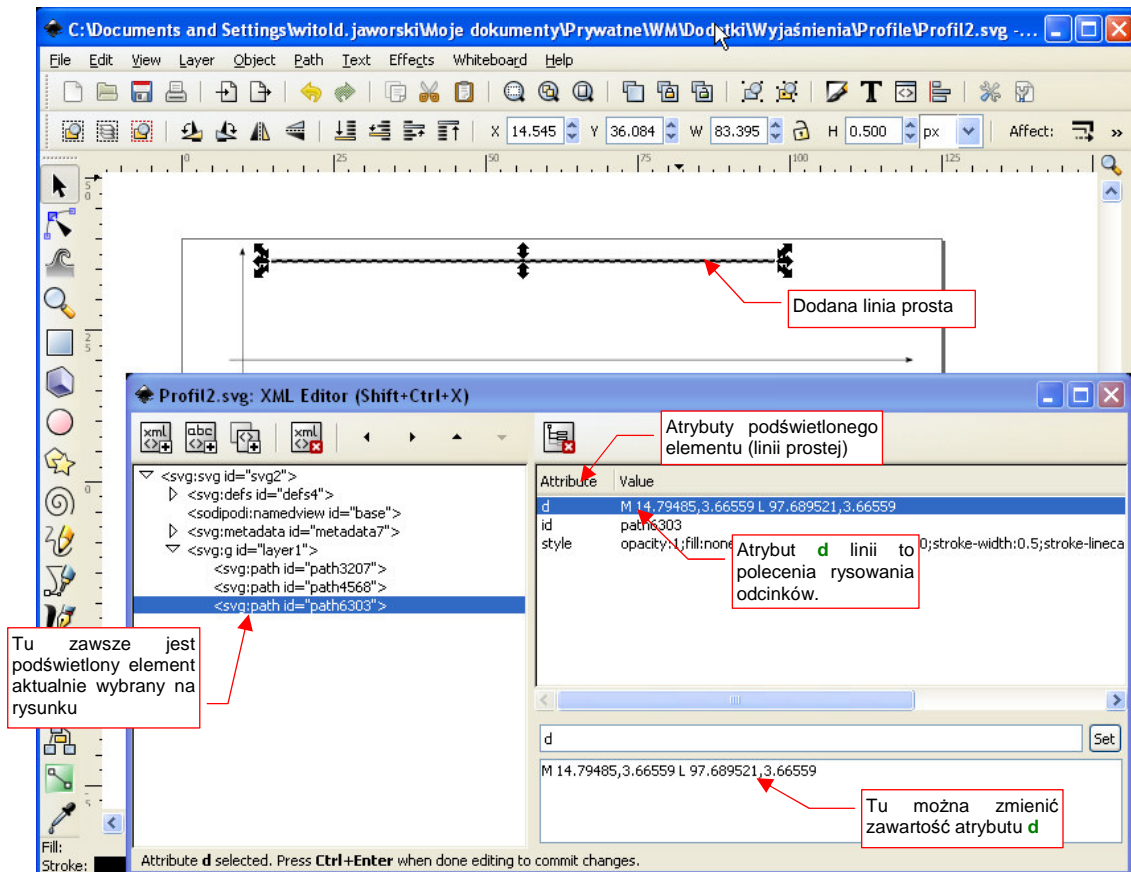
Co dalej zrobić z tymi współrzędnymi? Będziemy pracować rysować w Inkscape ten profil, "punkcik po punkciu"? Na szczęście nie — istnieje szybsza droga.

Otwórz arkusz kalkulacyjny, który przygotowałem specjalnie tym celu (*SourceToolsAirfoil.xls* z pliku *source.zip* — Rysunek 10.4.5):



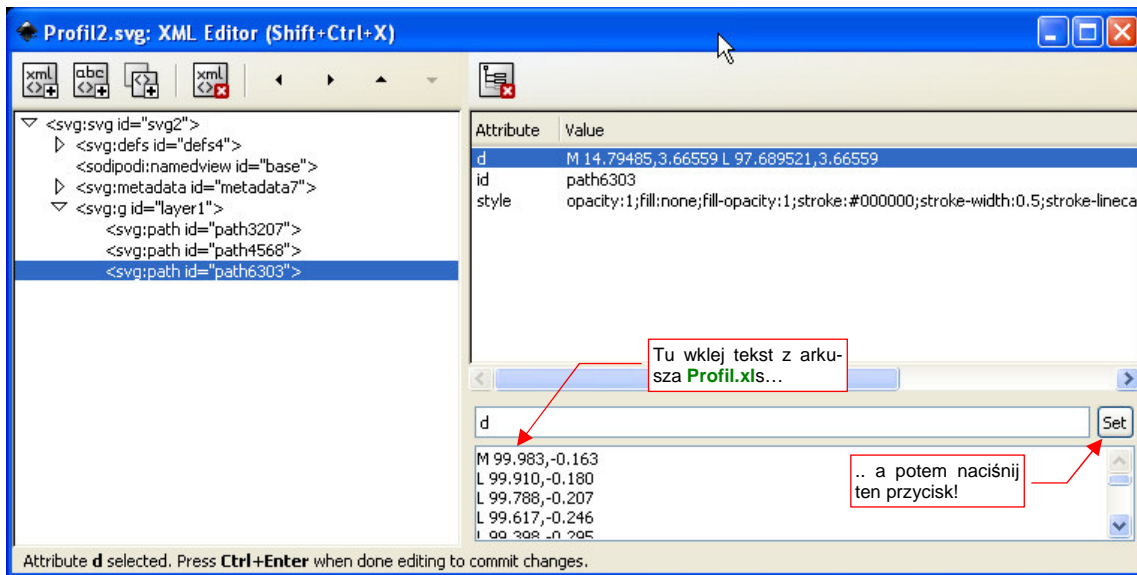
Rysunek 10.4.5 Arkusz kalkulacyjny — przygotowanie wyrażenia SVG

Teraz przełącz się do Inkscape, i: narysuj w nim dowolną linię prostą. Następnie przełącz się na tryb selekcji i otwórz okno edytora XML (*Edit→XML Editor...*)



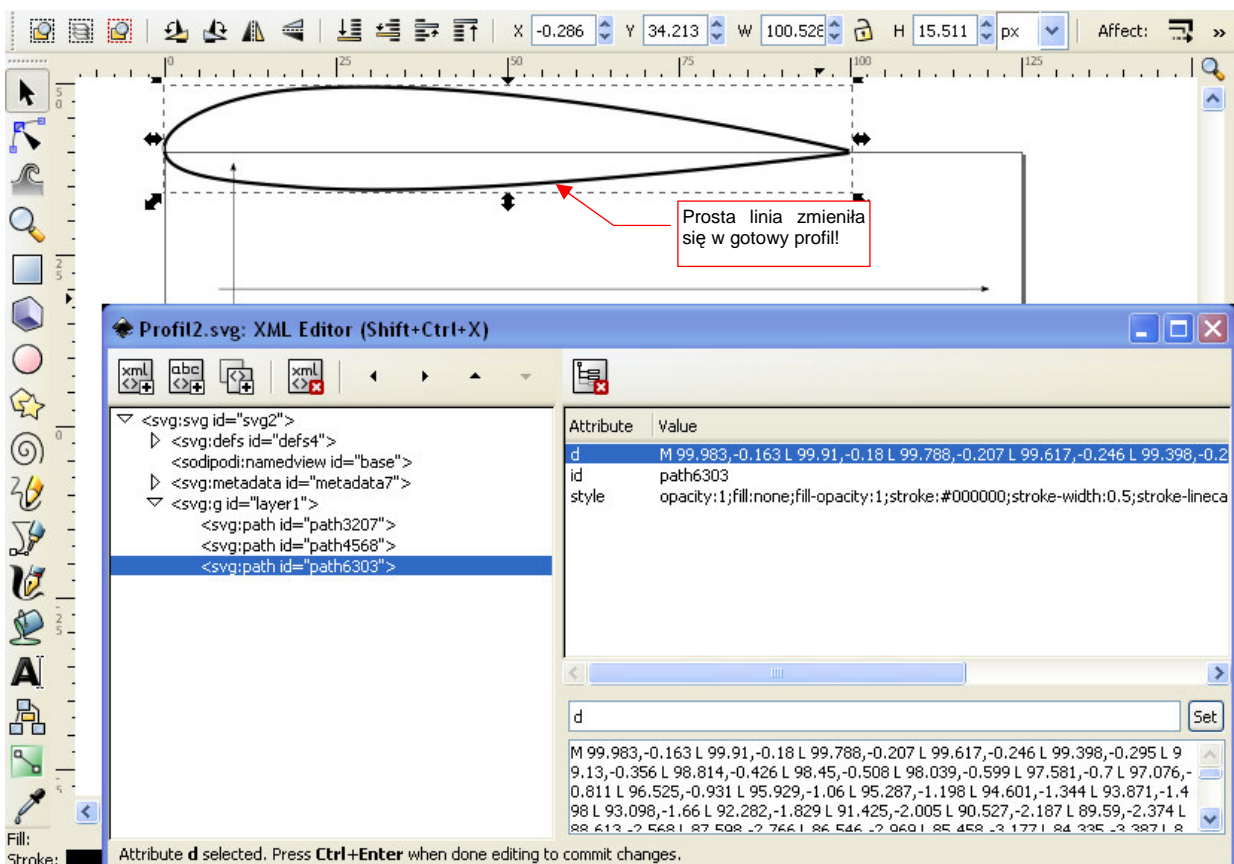
Rysunek 10.4.6 Linia na rysunku i jej definicja w edytorze XML (SVG)

Wklej zawartość schowka (kopię obszaru "SVG" z arkusza Profil.xls — por. Rysunek 10.4.5) jako nową wartość atrybutu **d**¹ (Rysunek 10.4.7):



Rysunek 10.4.7 Wartość atrybutu **d** (wierzchołki linii) przeniesiona z arkusza Profil.xls

Gdy naciśniesz przycisk **Set**, wprowadzisz nowe wartości do dokumentu Inkscape (Rysunek 10.4.8):

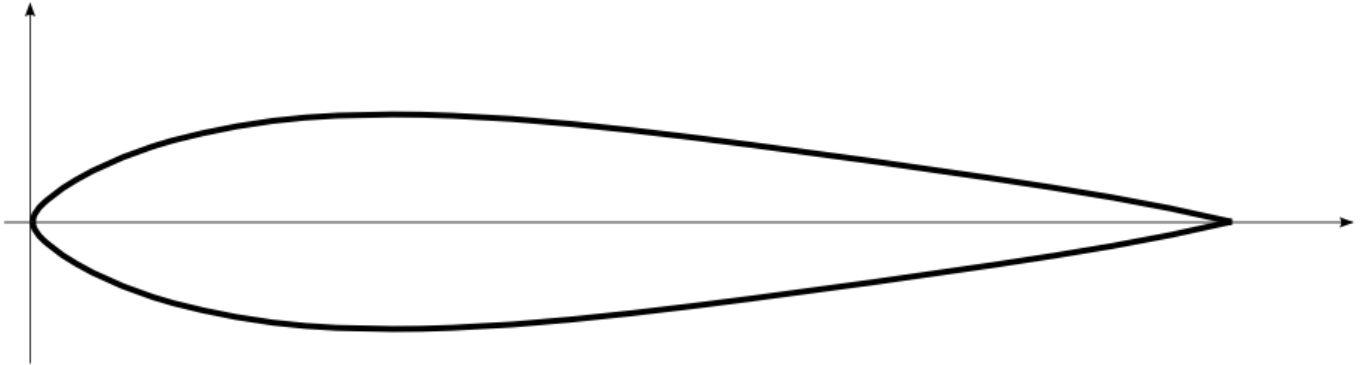


Rysunek 10.4.8 Uzyskany w Inkscape profil NACA 2215

¹ Inkscape zapisuje dokumenty w standardzie SVG (*Scalable Vector Graphics*). Są to w istocie pliki tekstowe, przypominające trochę sposobem zapisu strony HTML. Możesz je nawet otworzyć w zwykłym Notatniku (*notepad.exe*) i coś w nich zmienić — pod warunkiem, że wiesz, co robisz. Do tego także służy okno *XML Editor*. Za jego pomocą możesz zmieniać w Inkscape "surową" zawartość aktualnego dokumentu. Jest to o tyle prostsze od użycia notatnika, że przed zapisem jest sprawdzana poprawność danych.

W ten sposób nasza linia nagle zmieniła się w gotowy rysunek profilu NACA 2215! Pozostaje teraz tylko zmienić jego skalę i przesunąć w odpowiednie miejsce rysunku.

Na koniec warto wspomnieć o odmianie profili NACA, z końcówką "T". Są to wersje o zmniejszonym promieniu noska. Wersje "T" mają promień noska zmniejszony o 75% w stosunku do promienia noska użytego w serii NACA 00xx (bez końcowej litery). Odpowiednio do tego jest także zmodyfikowany cała kształt przedniej sekcji - na "ostrzejszą". "T" w zamyśle twórców mogło to znaczyć tyle, co angielskie "thinner", czyli "cieńszy" (albo, równie dobrze, "tapered"). Przykładem profilu "T" jest NACA 0018T (Rysunek 10.4.9):



Rysunek 10.4.9 Profil NACA 0018T ("T" oznacza zmieniony przód — zmniejszony promień noska)

Nigdzie nie znalazłem opisu, jaki profil użyto w usterzeniu P-40. Przymierzałem do rysunków fabrycznych (np. owiewki usterzenia) wiele profili. Ostatecznie doszedłem do wniosku, że była to właśnie rodzina NACA 00xxT. W P-40 wykorzystano "cieńsze" wersje profilu, jaki pokazuje Rysunek 10.4.9:

- usterzenie pionowe, u nasady: NACA 0008T;
- usterzenie poziome, u nasady: NACA 0010T;
- usterzenie poziome, u końca: NACA 0009T.

Tabela 10.4.2 określa współrzędne obrysu profilu NACA 0018 T dla piętnastu punktów. Wykorzystałem je do wyznaczenia obrysu profilu. Aby uzyskać z tych współrzędnych cieńszą wersję, wystarczy przeskalować je w kierunku pionowym. Na przykład, po "ściśnięciu" NACA 0018T o 50% uzyskamy NACA 0009T, wykorzystywany w końcówce usterzenia poziomego.

Tabela 10.4.2 Współrzędne profilu NACA 0018T (cieńsze wersje profilu są używane w usterzeniach).

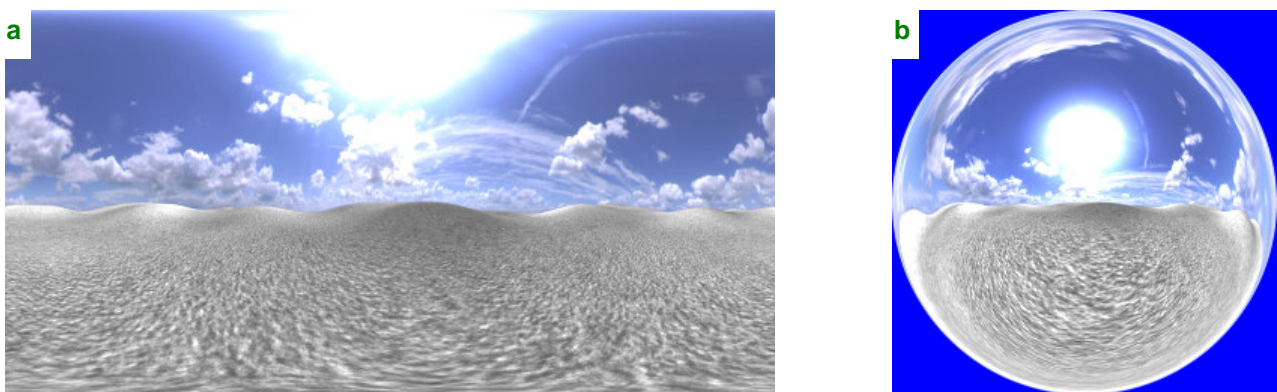
| X | 0 | 1.25 | 2.5 | 5 | 7.5 | 10 | 20 | 30 | 40 | 50 | 60 | 70 | 80 | 90 | 100 |
|----|------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|------|
| Yg | 0.00 | 1.87 | 2.83 | 4.28 | 5.41 | 6.32 | 8.46 | 9.00 | 8.62 | 7.67 | 6.44 | 5.09 | 3.65 | 2.05 | 0.00 |
| Yd | 0.00 | -1.87 | -2.83 | -4.28 | -5.41 | -6.32 | -8.46 | -9.00 | -8.62 | -7.67 | -6.44 | -5.09 | -3.65 | -2.05 | 0.00 |

10.5 Panoramy otoczenia w Blenderze

W scenach "na wolnym powietrzu", jakimi zazwyczaj są sceny lotnicze, trzeba umieścić wokół modelu imitację otoczenia. Najprościej jest "wstawić" za model jakąś fotografię — tak jak jest to opisane na str. 998. Jeżeli jednak coś na scenie ma wyglądać jak metal, albo odbijać obraz otoczenia jak lustro — potrzebujemy czegoś więcej. Zamiast płaskiego zdjęcia, "postawionego za modelem", potrzebujemy obrazu, który zostanie rozpostarty wokół sceny. Takiej kulistej "panoramy", obejmującej 360° równika, i 180° południków (od zenitu do nadiru) . Obrazy tego rodzaju można znaleźć w Internecie, ale nie ma ich tak wiele, jak zwykłych zdjęć. Zazwyczaj, te dostępne za darmo mają niewystarczającą rozdzielczość, by można je było zastosować do pełnego odwzorowania tła (do tego celu potrzebne są obrazy rzędu 4000x4000 pikseli lub większe). Stąd — nadal będziesz potrzebować "płaskiego zdjęcia za modelem". Na szczęście do uzyskania lustrzanego odbicia nie potrzeba aż takich rozdzielczości, i darmowe pliki, znalezione w Internecie, zupełnie do tego wystarczą. W dalszej części tekstu będziemy się koncentrować właśnie na odbitym obrazie otoczenia, dodającemu realizmu metalicznej powierzchni samolotu.

Panoramy, przeznaczone do zastosowania w komputerowych scenach, to dość nietypowe obrazy. Zwykły plik graficzny przechowuje informację o barwach w postaci tzw. "8-bitów na składnik" („*per channel*”). (Oznacza to przypisanie każdemu ze składników: **R,G,B** 8-bitowej intensywności — więcej na ten temat na str. 604). Taki zapis umożliwia odwzorowanie do 24 milionów barw. Zazwyczaj to wystarcza (oko ludzkie nie rozróżnia ich więcej). Ale nie w przypadku panoram! Ich barwy są zapisane z większą dokładnością: 10, 12 i więcej bitów na składnik. Oznacza to, że potrafią odwzorować nie miliony, a miliardy odcieni. Ma to znaczenie przy zaawansowanych technikach imitacji oświetlenia (tzw. *global illumination* — *GI*). Stąd panoramy są zapisywane w specjalnych formatach — ***.HDR**, ***.EXR**. To obrazy określane jako *High Dynamic Range Image* — **HDRI**. Nie wszystkie programy graficzne potrafią obsłużyć pliki o takich "rozszerzonych" kolorach. (Nasz GIMP jeszcze nie potrafi). W związku z tym możesz mieć problem z ewentualnymi zmianami zgromadzonych plików.

Póki co, znalazłem na <http://qtpfsgui.sourceforge.net> program o niemożliwej do zapamiętania nazwie **Qtpfsgui**, który jest edytorem plików HDR. **Qtpfsgui** jest udostępniony na zasadach Open Source. Możesz stamtąd pobrać jego pliki, które wystarczy umieścić na dysku (nie wymaga żadnego instalatora). Za pomocą **Qtpfsgui** można dokonać z plikiem HDR, takich operacji, jak zmiana projekcji (Rysunek 10.5.1) :



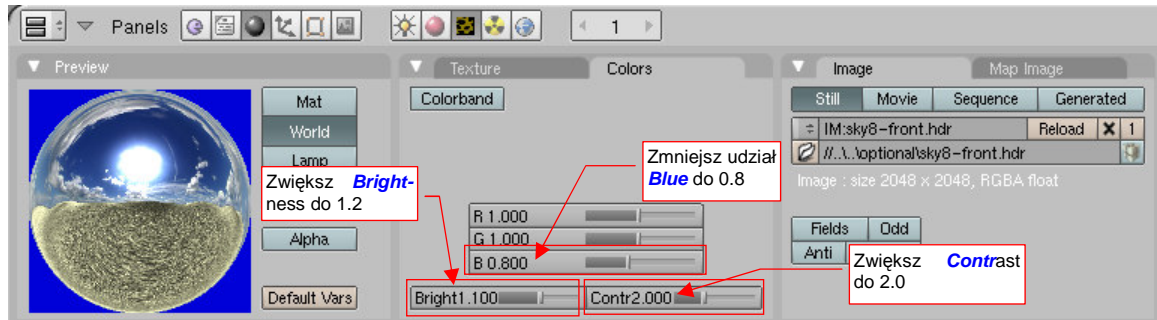
Rysunek 10.5.1 Przykładowa tekstura otoczenia — w mapowaniu *cylindric* (a) i *angular map* (b).

Rysunek 10.5.1a przedstawia przykładową panoramę, którą znalazłem w Internecie, w tzw. rozwinięciu (mapowaniu) cylindrycznym. To takie dobrze znane rozwinięcie Merkatora, stosowane od wieków w geografii. W Blenderze istnieje jedyne rozwinięcie, mapujące obraz zarówno na górną, jak i dolną hemisferę sceny: to rozwinięcie (mapowanie) kątowe (*angular map*). Rysunek 10.5.1b przedstawia ten sam obraz w mapowaniu kątowym. Za pomocą **Qtpfsgui** możesz przekształcić jedno rozwinięcia na drugie. Przy okazji możesz także obrócić panoramę wokół horyzontu. (Chodzi o to, aby słońce, widoczne na wielu obrazach, umieścić raczej za obserwatorem, a nie na wprost — tam, gdzie jeszcze pokazuje je Rysunek 10.5.1).

Obrazy, na których będziemy ćwiczyć w tej sekcji, nie są niezbędne do wykonania modelu. Stąd umieściłem je w oddzielnym pliku. Zawiera elementy opcjonalne, które można pominąć. Można go pobrać z <http://www.samoloty3d.pl/downloads/wm/optional.zip>.

- Nie musisz pobierać pliku *optional.zip*. Do "opanowania materiału" wystarczy, abyś uważnie przeczytał dalsze strony i przyjrzał się umieszczonym na nich ilustracjom

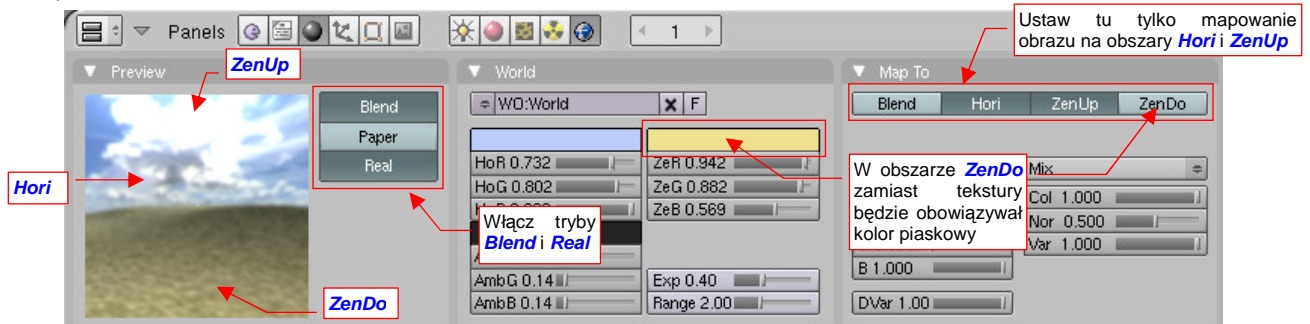
Zacznijmy od załadowania pliku *optional/sky8-front.hdr* jako tekstury (jak to zrobić — patrz str. 962). Bezpośrednio po załadowaniu obrazu możemy nieco poprawić jego ogólne barwy, zwiększyć kontrast oraz rozjaśnić (w zestawie *Shading:Texture buttons* — Rysunek 10.5.2):



Rysunek 10.5.2 Drobne poprawki obrazu otoczenia.

Taka poprawka jest potrzebna — co prawda podgląd w panelu *Preview* (Rysunek 10.5.2) wygląda tylko trochę "żywiej" od oryginalnego obrazu (Rysunek 10.5.1b). Spróbuj jednak załadować ten plik *.hdr, a przekonasz się, jak bardzo domyślne kolory były szare i wyblakłe.

Teraz, w zestawie *Shading:World buttons*, ustaw parametry nałożenia tekstury na otoczenie sceny (Rysunek 10.5.3):



Rysunek 10.5.3 Mapowanie tekstury na otoczenie.

Rysunek 10.5.3 nie pokazuje panelu *Texture and Input* (nie zmieścił się na ilustracji). Co prawda, niewiele na nim jest do zmiany: należy tylko zaznaczyć rozwinięcie typu *AngMap* (jak na str. 987, Rysunek 17.14.5).

Upewnij się, że w panelu *Preview* masz włączone ustawienia *Blend* i *Real*. To "przymocuje" horyzont do globalnego (niezmiennego) układu współrzędnych, niezależnego od kamery. Aby ożywić jakąś ciepłą barwą szary piach na obrazie, proponuję nanieść teksturę tylko na zenit (*ZenUp*) i boki (*Hori*) kuli otoczenia. Rysunek 10.5.3 pokazuje, gdzie to należy zaznaczyć na panelu *Map To*. Nadir (*ZenDo*) pozostaw wyłączony: tam ma się pojawić żółtawa barwa piasku, którą ustawimy w panelu *World* jako barwę *Zenitu* (Rysunek 10.5.3)¹. Efekt widać w panelu *Preview*. W razie czego nie przejmuj się, że na podglądzie widać tak mało — to tylko fragment z centrum obrazu.

¹ W związku z tym, że masz włączone w panelu *Map To* nałożenie tekstury na zenit (*ZenUp*) i boki (*Hori*) otoczenia, barwa *Zen* nie ma na nie żadnego wpływu. Pozostaje jej tylko nadir.

Przyjrzyjmy się teraz, jak wygląda na tle takiej tekstury model. Pozostawiłem powierzchnię tego samolotu ustawioną na idealnie lustrzane odbicie ($Ray Mir = 0.5$, $Gloss = 1.0$ — por. str. 985, 987). Zrobiłem tak, gdyż tekstur otoczenia będziesz używał w Blenderze głównie do uzyskania realistycznych odbić na powierzchniach modelu. Przeanalizuj, jak takie odbicia wyglądają dla tekstury *sky-front.hdr* (Rysunek 10.5.4) :

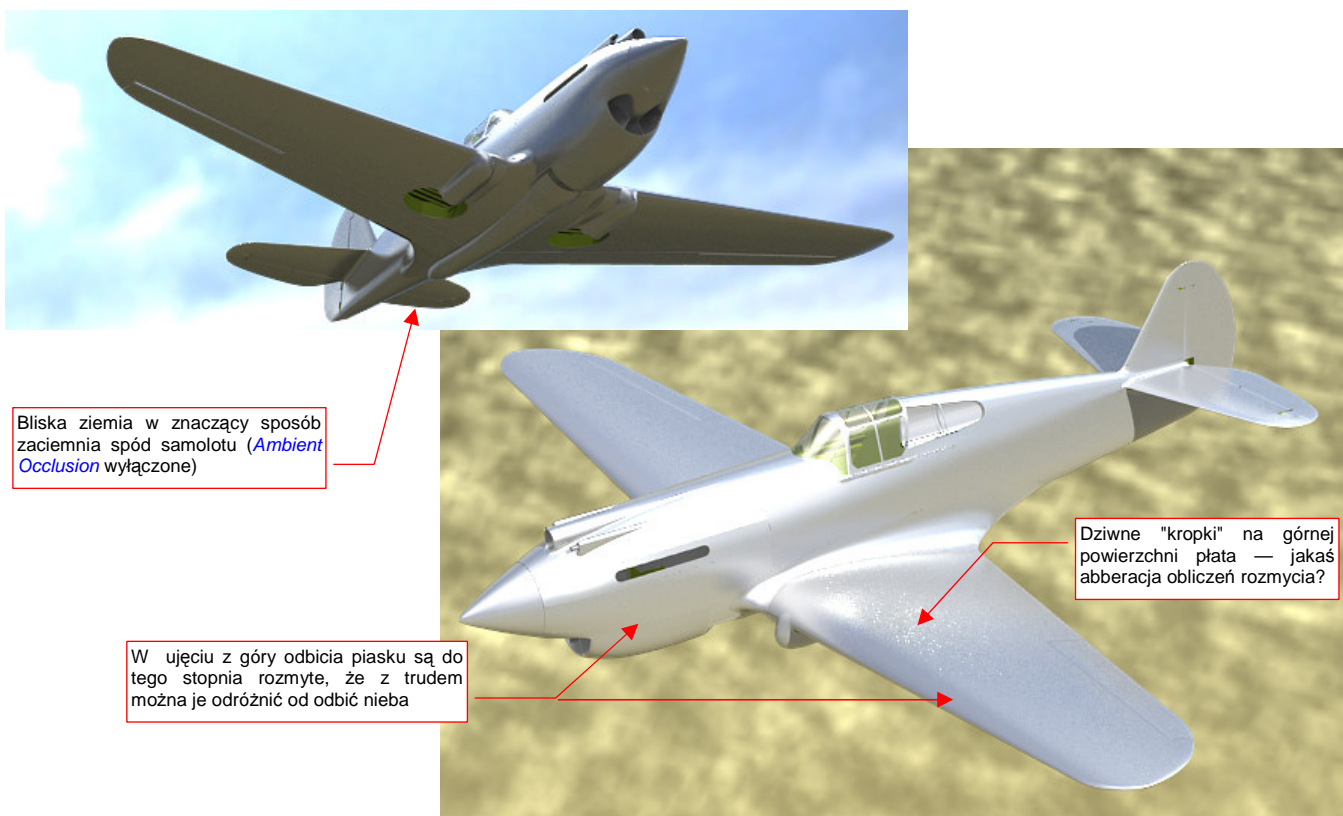


Rysunek 10.5.4 Testowy model na tle zwykłej panoramy (linia horyzontu w połowie wysokości obrazu, $Gloss = 1.0$)

W ujęciu z dołu model widać ładnie na tle nieba (Rysunek 10.5.4a). Widok z boku wygląda tak, jak gdyby samolot leciał lotem koszącym nad pustynią (Rysunek 10.5.4b). Gdy podniesiemy kamerę jeszcze wyżej — wrażenie lotu koszącego jest nadal bardzo silne: widać bliskie szczegóły ziemi (Rysunek 10.5.4c). (O ile tak się można wyrazić o tych zbyt rozmytych, z powodu zbyt małej rozdzielczości tekstury, tekselach, widocznych pod samolotem). Taką sytuację napotkasz z większością map HDR: są zazwyczaj robione z perspektywy obserwatora stojącego na ziemi. Linia horyzontu (rozumiem przez to "krawędź ziemi") leży w połowie wysokości obrazu.

- Zazwyczaj panoramy są wykonywane z perspektywy obserwatora stojącego na ziemi. Ich horyzont, położony w środku obrazu, kwalifikuje je jedynie do scen "w locie koszącym".

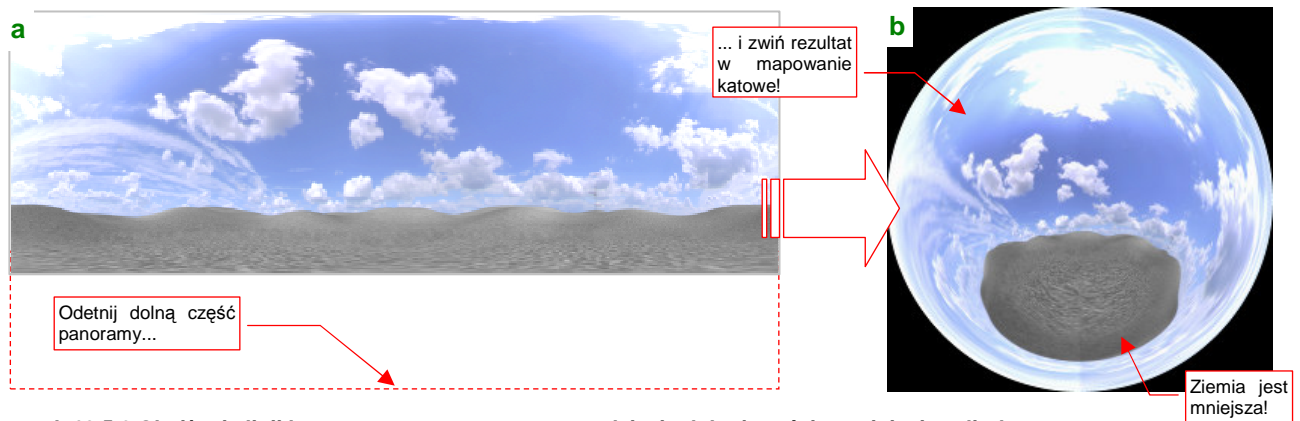
Przyjrzyjmy się jeszcze uważniej realistycznym (tzn. rozmytym) odbiciom takiej panoramy z "wysokim" horyzontem na powierzchni samolotu (Rysunek 10.5.5):



Rysunek 10.5.5 Testowy model na tle panoramy z horyzontem w połowie obrazu, odbicia rozmyte ($Gloss = 0.85$)

Samolot zazwyczaj lata wyżej, niż kilka metrów nad ziemią. Do uzyskania panoramy odpowiedniej dla pułapu rzędu jednego — dwóch kilometrów, powinniśmy zdecydowanie obniżyć linię horyzontu. Wówczas powierzchnie samolotu będą odbijać głównie otaczające go niebo, a nie — jak na poprzednich ilustracjach — w połowie ziemię.

Gdy nie dysponujemy gotowym obrazem, możemy sztucznie dostosować „zwykłą” panoramę — poprzez odcięcie dolnej części rozwinięcia cylindrycznego (Rysunek 10.5.6) :

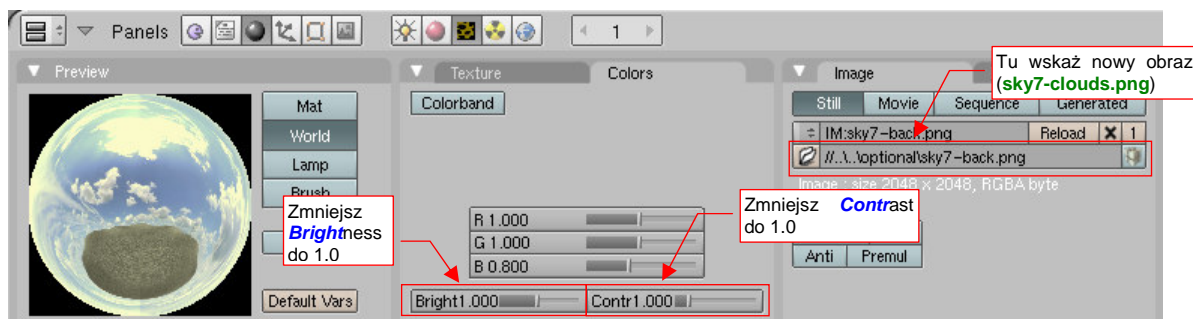


Rysunek 10.5.6 Obniżenie linii horyzontu panoramy poprzez odcięcie dolnej części rozwinięcia cylindrycznego

Nie miej złudzeń — taka adaptacja musi się odbić na jakości tekstury. Najpierw przekształciłem rozwinięcie za pomocą Qtpfsgui z kąтового na cylindryczne. (Przy okazji obróciłem całość wokół horyzontu o 180° — aby mieć słońce z tyłu kamery — porównaj Rysunek 10.5.6a i Rysunek 10.5.1a). Potem wyeksportowałem całość do zwykłego pliku rastrowego (*.png). Podczas tej operacji następuje "obcięcie" barw do 8 bitów na składnik¹. Plik *.png zmieniłem za pomocą Gimp'a i zapisałem (do formatu *.tif, bo tylko taki Qtpfsgui potrafi wczytywać). Następnie w Qtpfsgui przekształciłem ten obraz z powrotem w mapę kątową. Porównaj Rysunek 10.5.6b i Rysunek 10.5.1b. Czy widzisz, że rozmiar "ziemi" znacznie się zmniejszył?

Nie będę udawał, że tak przekształcony obraz jest nadal plikiem HDRI. To zwykły plik z obrazem po 8 bitów na każdy ze składników R, G, B. Dlatego towarzyszy tej książce jako plik *.png, a nie *.hdr. Znajdziesz go pod [optional/sky7-clouds.png](#).

załaduj obraz [sky7-clouds.png](#) do tekstury, na miejsce poprzedniego ([sky8-front.hdr](#)). Tym razem, ze względu na nieuniknione "spłaszczenie" barw na obrazie *.png, trzeba zmniejszyć jasność i kontrast do wartości 1.0 (Rysunek 10.5.7):



Rysunek 10.5.7 Zmniejszenie jasności i kontrastu dla tekstury z obrazem [sky7-clouds.png](#).

¹ Już po napisaniu tej sekcji zorientowałem się, że najmniejsze straty zapewni Ci wyeksportowanie obrazu w tak dobranej jasności, by żaden piksel nie był zupełnie czarny ani biały. W Qtpfsgui służy do tego cały zestaw kontrolerek.

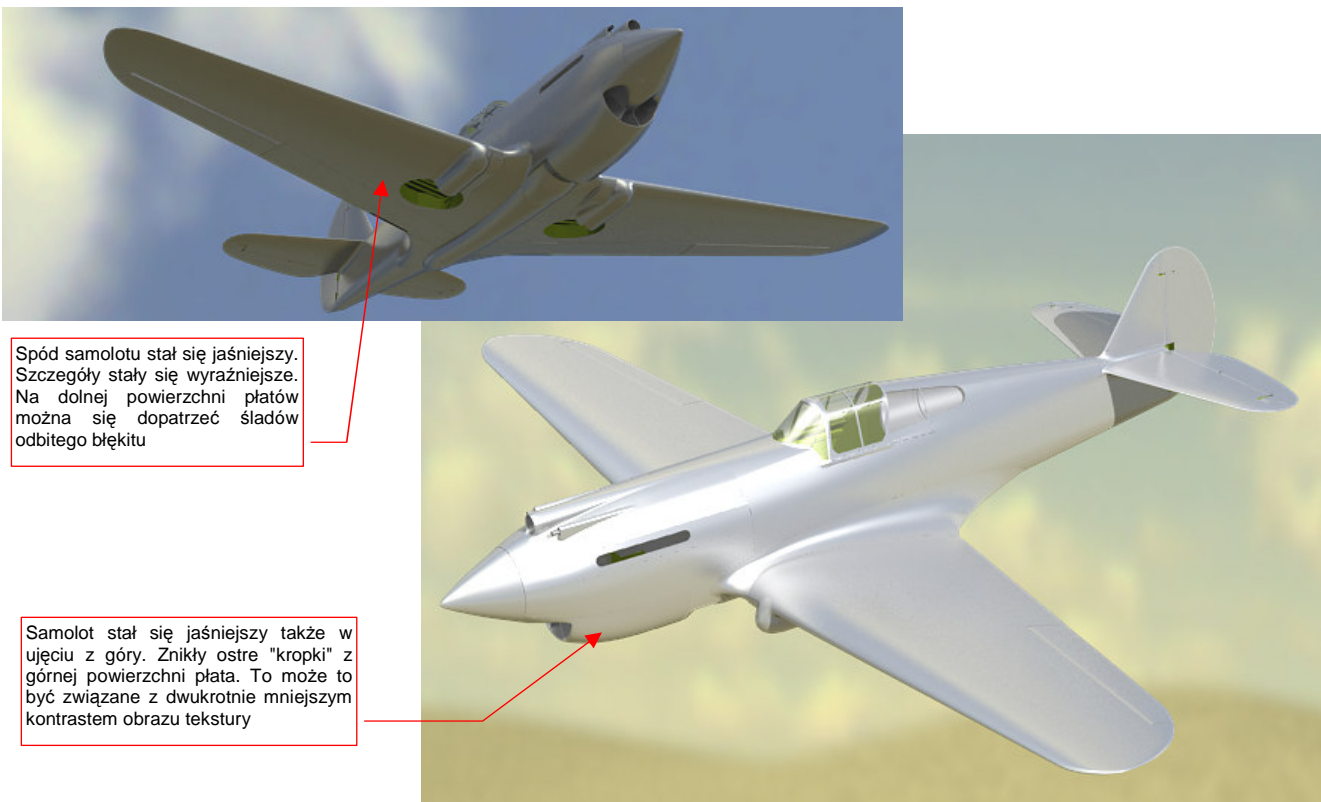
Jak na tle takiej tekstury wygląda model? Najpierw przyjrzyjmy się wersji "lustrzanej" (*Gloss* = 1.0) (Rysunek 10.5.8) :



Rysunek 10.5.8 "Lustrzany" samolot na tle panoramy z obniżonym horyzontem ([sky7-clouds.png](#)).

Mówiąc krótko, jest lepiej. Większa powierzchnia nieba rozjaśniła spód płatów i poprawiła odbicia w ujęciu z dołu (Rysunek 10.5.8a). W ujęciu z boku samolot jest już na tle nieba, choć na masce silnika widać jeszcze odbicia leżącej niżej ziemi (Rysunek 10.5.8b). Linia horyzontu pojawia się dopiero w ujęciu z góry (Rysunek 10.5.8c). (Płaty w ujęciu z góry odbijają teraz obraz chmur, które są nad nimi. To wynik obrócenia całej panoramy o 180°, które wykonaliśmy przy okazji odcinania dolnej części obrazu).

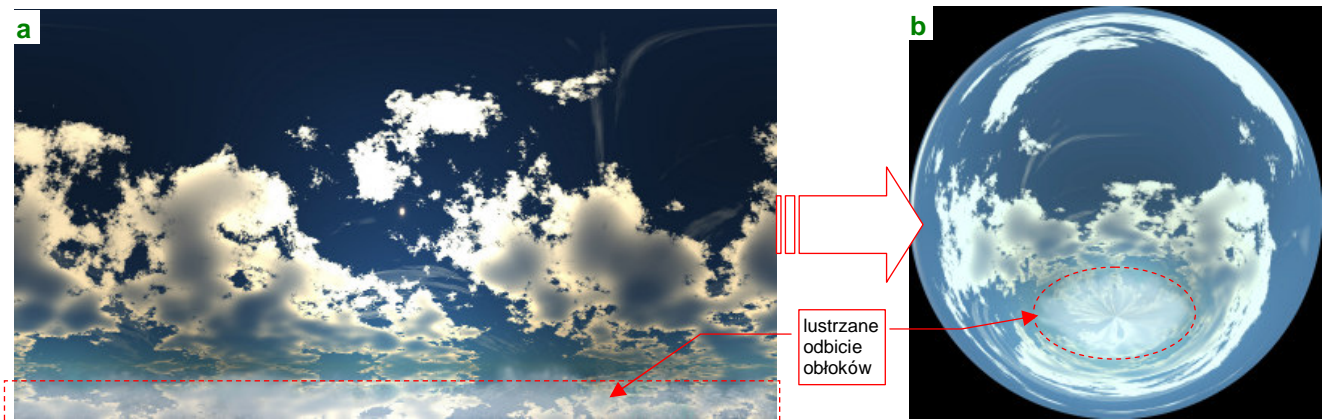
A jak wyglądają rozmyte odbicia tego nowego otoczenia? Rezultat przedstawia Rysunek 10.5.9:



Rysunek 10.5.9 Testowy model na tle panoramy z obniżonym horyzontem, odbicia rozmyte (*Gloss* = 0.85)

Podsumowując: do scen w locie zawsze staraj się znaleźć panoramę z obniżonym horyzontem. Będziesz jej potrzebował do modeli, których poszycie było utrzymane w naturalnej barwie metalu. (Dotyczy to także starszych konstrukcji — czasami dwupłaty były po prostu pomalowane na srebrno). Jeżeli powierzchnia Twojego modelu nie była "wypolerowana na lustro" — a zazwyczaj nie były — to panorama użyta do odbić może nie mieć dużo wspólnego ze zdjęciem otoczenia, które podłożysz jako tło renderingu. Ot, dopilnuj by barwa ziemi była zbliżona do tej na tle, a linia horyzontu na odpowiednim poziomie. "Rozmyte" odbicia na powierzchni samolotu są stosunkowo nieczułe na pozostałe szczegóły.

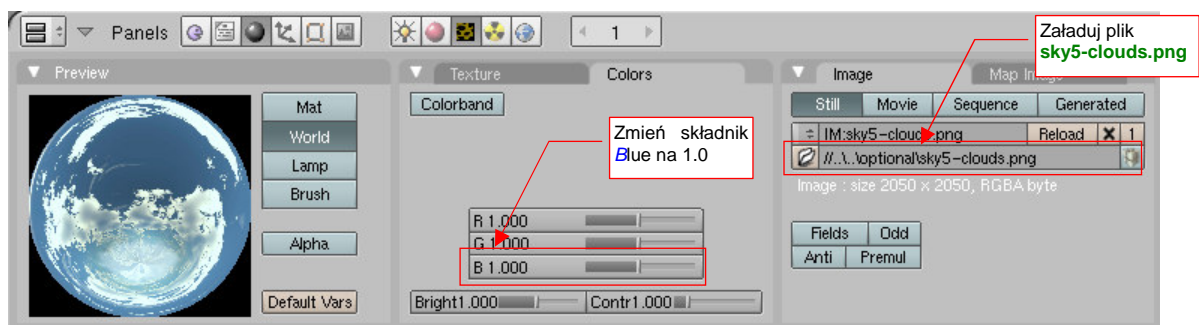
Skoro nasz model lepiej wyglądał na tle panoramy "z dużą ilością nieba", to jak by wyglądał, gdyby w ogóle pozbyć się ziemi? Pytanie nie jest teoretyczne — w powietrzu często możesz uchwycić samolot ponad białą, odbijającą słońce powierzchnią stratusów, zakrywających wszystko, co się znajduje poniżej. Spróbujmy przygotować taką właśnie "niebiańską" panoramę (Rysunek 10.5.10) :



Rysunek 10.5.10 przygotowanie panoramy zawierająca wyłącznie chmury

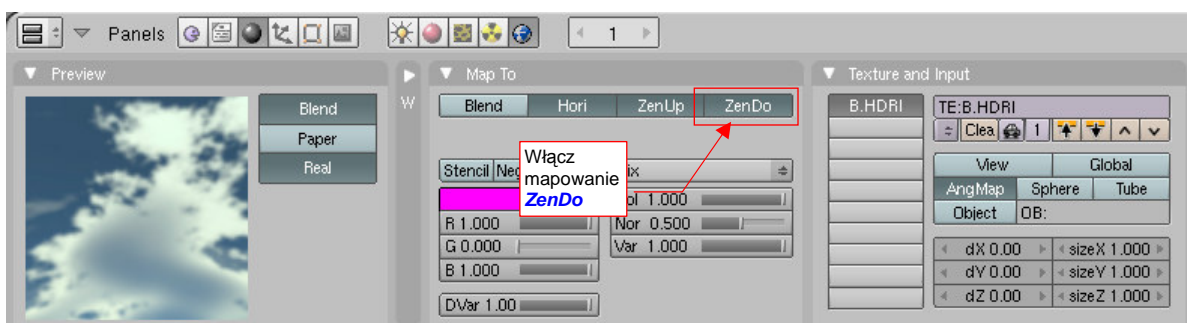
Na <http://lfggrafix.com/> możesz znaleźć wiele darmowych obrazów nieba w rozwinięciu cylindrycznym. Nie mają barw HDRI, tylko zwykłe 8 bitów na składnik. Są za to dość duże — 2050 x 1050 pikseli. Właśnie jeden z takich obrazów odrobinę "spreparowałem" w Gimpie: dodałem u dołu rozjaśnione lustrzane odbicie chmur (Rysunek 10.5.10a). Na razie to nie wygląda w ogóle na stratusy. Jednak nie ma potrzeby jakiegось artystycznego malowania powierzchni obłoków u dołu panoramy. I tak podczas "zwinięcia" w mapę kątową, cały ten obszar ulegnie daleko posuniętemu "zgnieceniu". Następnie, za pomocą Qtpfsgui, przekształciłem tę mapę cylindryczną na kątową (Rysunek 10.5.10b).

Obraz, jaki pokazuje Rysunek 10.5.10b, znajdziesz w opcjonalnych dodatkach do tej książki, pod nazwą *optionalsky5-clouds.png*. Wstaw go jako obraz tekstury. Teraz nie trzeba "zażółcać" obrazu, więc zmień globalny składnik *Blue* z powrotem na 1.0 (Rysunek 10.5.11) :



Rysunek 10.5.11 Drobne poprawki obrazu otoczenia.

Ta tekstura ma pokryć całą kulę otoczenia, więc włącz także jej mapowanie *ZenDo* (Rysunek 10.5.12):



Rysunek 10.5.12 Drobne poprawki mapowania tekstury otoczenia.

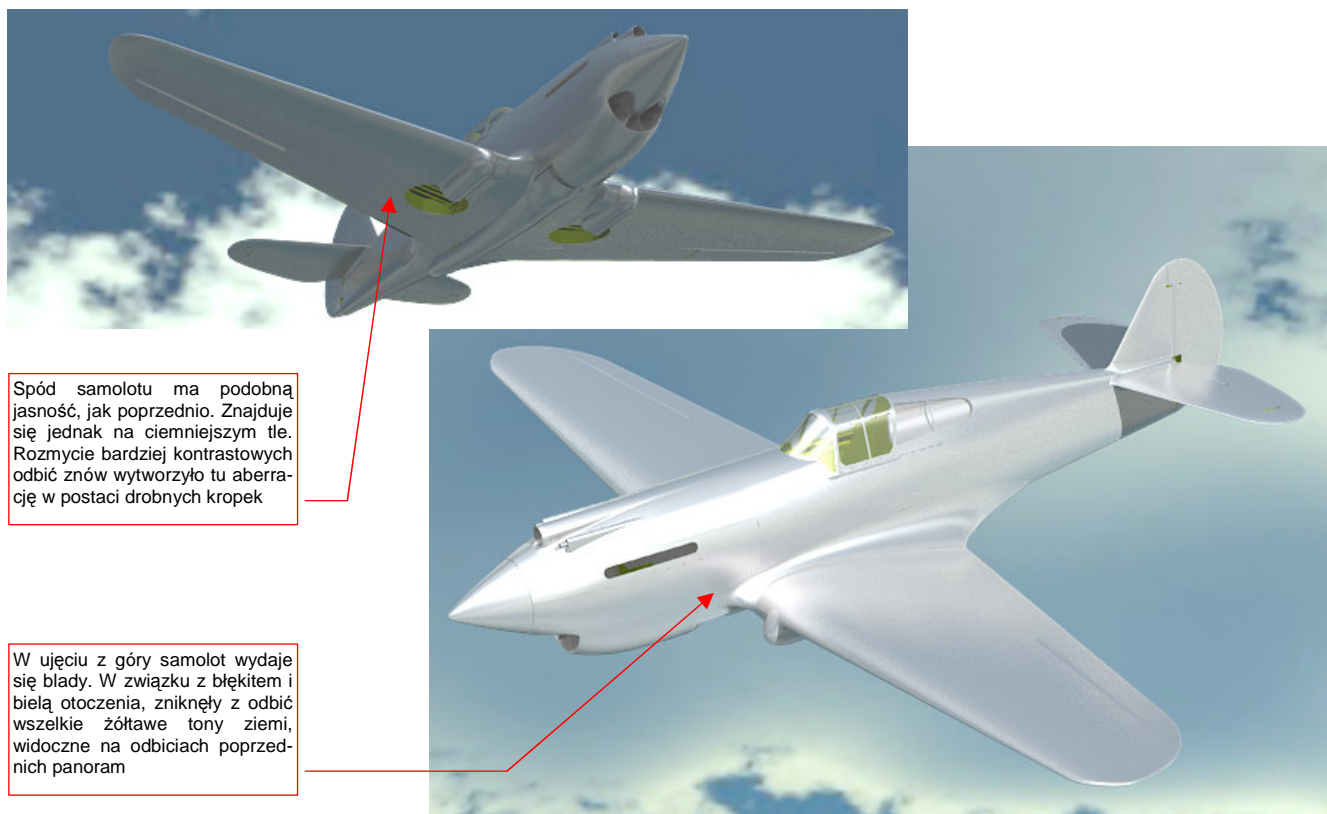
Jak będą wyglądały odbicia takiego "morza chmur" na naszym "lustrzanym" ($Gloss = 1.0$) modelu, pokazuje Rysunek 10.5.13:



Rysunek 10.5.13 "Lustrzany" samolot na tle panoramy z samymi chmurami (sky5-clouds.png).

Ciemniejsze niebo spowodowało ciemniejsze i bardziej kontrastowe odbicia na spodzie samolotu (Rysunek 10.5.13a). Do ujęcia "poziomego" (Rysunek 10.5.13b) nie mam właściwie zastrzeżeń. W ujęciu z góry (Rysunek 10.5.13c) płyty powtórnie odbijają bezchmurny fragment nieba, tak jak to już było w przypadku pierwszej panoramy (por. Rysunek 10.5.4c).

Rysunek 10.5.14 pokazuje, jak wygląda obraz takiej panoramy na powierzchniach z nieostrym ($Gloss = 0.85$) odbiciem:



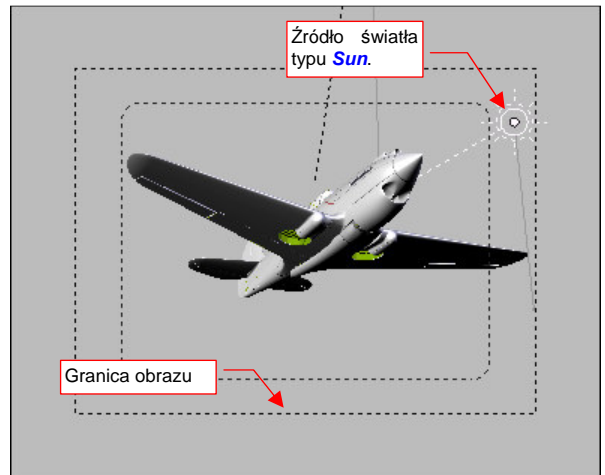
Rysunek 10.5.14 Testowy model na tle panoramy "chmur", odbicia rozmyte

W ujęciu z góry samolot prezentuje się poprawnie. Wydaje się jakby jaśniejszy i bladejszy. To wynik zniknięcia z panoramy ostatnich śladów ziemi. Wraz z nią znikły cieplejsze, żółtawe tony barwy piasku, którą poprzednio przypisywaliśmy do nadiru (por. str. 597, Rysunek 10.5.3).

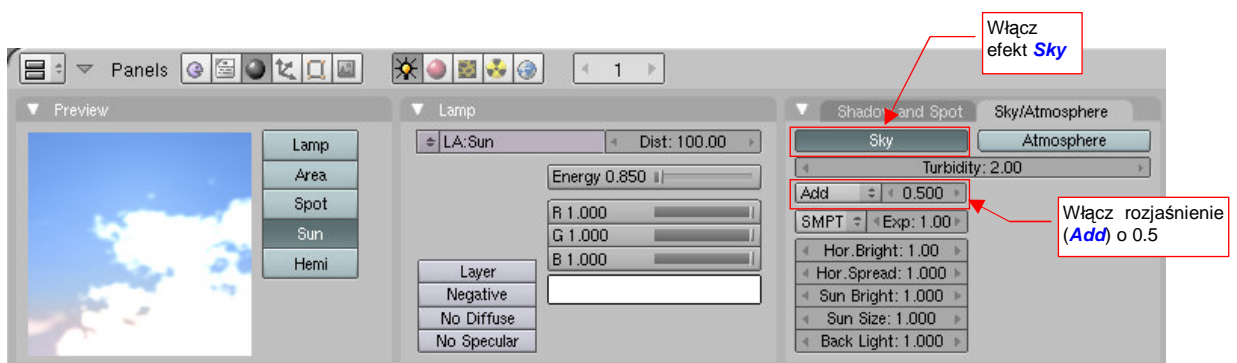
Ujęcie z dołu znów się stało ciemniejsze. Przyczyną jest zapewne ciemniejszy odcień błękitu tej panoramy. Na dolnej powierzchni skrzydeł widać także artefakty w postaci drobnych kropek. Są co prawda mało kontrastowe, ale to ślad po bardzo ostrych granicach barw w rozmytym odbiciu.

Czy można jakoś rozjaśnić ujęcie z dołu? Pierwszą metodą jest użycie efektu *Ambient Occlusion* (por. str. 968). Czasami jednak możemy nie chcieć go stosować, gdyż, w wyniku błędu w programie, zaciemnia wszystko to, co jest pod przezrystym oszkleniem kabiny (por. str. 979). W przypadku ujęcia z dołu istnieje alternatywa: włączenie efektu "oświetlonego słońcem nieba" (*Sky*). Efekt jest związany ze źródłem światła typu *Sun*. To "słońce" musi być widoczne w obiektywie — a tak się szczęśliwie składa, że w ujęciu z dołu jest to możliwe (Rysunek 10.5.15).

We właściwościach lampy typu *Sun* znajduje się panel *Sky/Atmosphere*. Wystarczy w nim włączyć efekt *Sky* (Rysunek 10.5.16). Nie zaszkodzi także zmniejszyć intensywności do 0.5 lub niższej (inaczej prześwietlisz cały rendering):

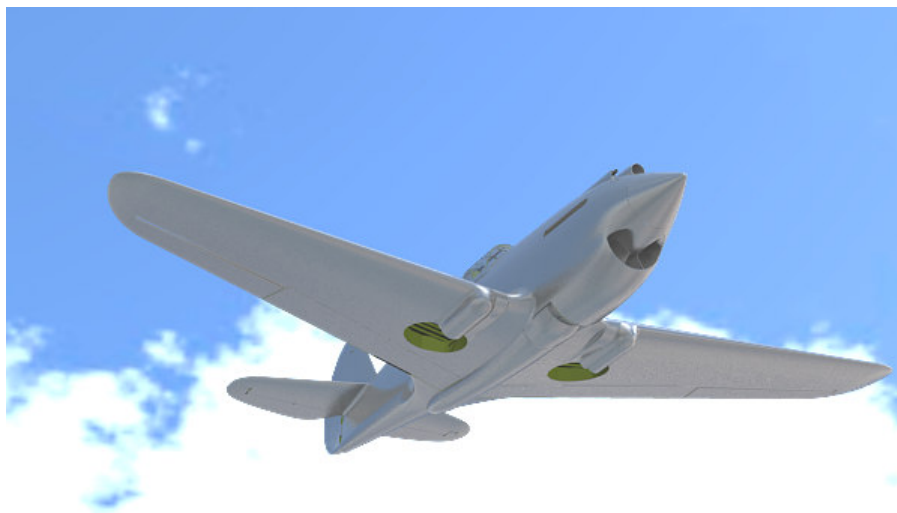


Rysunek 10.5.15 Położenie lampy *Sun* w ujęciu z dołu



Rysunek 10.5.16 Włączenie dla lampy *Sun* efektu *Sky* ("słońca na niebie")

Rezultat przedstawia Rysunek 10.5.17:



Rysunek 10.5.17 Rezultat efektu *Sky* — rozjaśniony spód samolotu

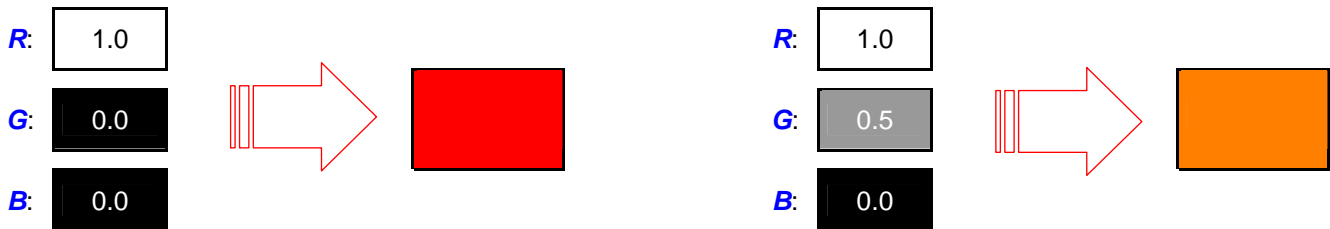
Co prawda rozjaśnione barwy nieba "spłaszczyły" się zupełnie w prostą biel i jasny błękit. Nie ma co się tym zbyt przejmować, bo zapewne wstawisz na ich miejsce jakieś zdjęcie. Za to spód modelu zdecydowanie zyskał — rozjaśniły się wszystkie dolne powierzchnie, szczegóły stały się bardziej widoczne.

Niestety, tak na efekt *Sky* „reaguje” tylko materiał „lustrzany” — jak wypolerowany dural. Materiały matowe pozostają, mimo jego użycia, ciemne.

10.6 Arytmetyka barw

Każdy z programów, wykorzystywanych w tej książce, używa barw wyrażonych poprzez intensywność trzech niezależnych składników (kanałów): czerwonego (**R**), zielonego (**G**) i niebieskiego (**B**). Taki model często określa się jako „RGB”, i jest niezwykle popularny w grafice komputerowej.

Intensywność każdego ze składników barwy jest wyrażona liczbą od 0.0 (brak) do 1.0 („najjaśniejszy”). Rysunek 10.6.1 pokazuje, jak z wartości składników **R**, **G**, **B** jest tworzona barwa:



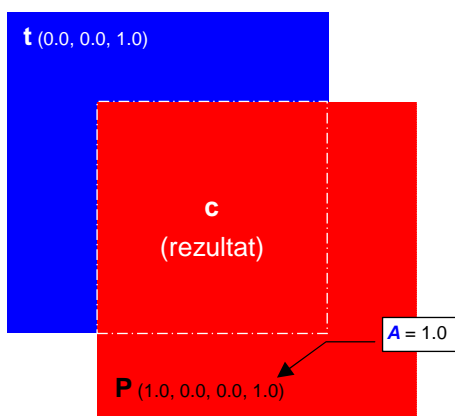
Rysunek 10.6.1 Przykład zakodowania barwy za pomocą składników RGB — różne odcienie czerwieni

Czasami wraz z trójką **R**, **G**, **B** występuje czwarty składnik — nieprzejrzystość. Oznaczany jest jako „alfa” (**A**) i używany jako dodatkowy czynnik przy łączeniu barw. Steruje udziałem każdego ze składników. $A = 1.0$ oznacza kompletną nieprzejrzystość, $A = 0.0$ — zupełną przejrzystość.

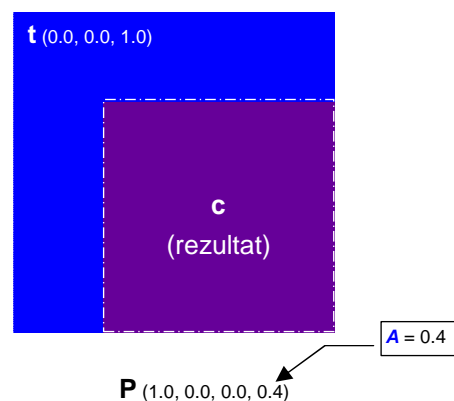
Aby przyspieszyć obliczenia i zmniejszyć ilość pamięci, potrzebnej do przechowywania obrazu, składniki **R**, **G**, **B**, **A** zapisuje się w obrazie jako 8-bitowe liczby całkowite (o wartościach od 0 do 255). W takim przypadku 255 odpowiada oryginalnej wartości 1.0. Z zapisu barw na liczbach całkowitych wziął się, występujący w GIMP i Inkscape, zwyczaj podawania intensywności składnika barwy w skali od 0 do 255.

We wszystkich programach, opisywanych w tej książce, pojawiają się nazwy operacji, przeprowadzanych na barwie (lub intensywności) pikseli: **Add**, **Multiply**, **Subtract**, W przypadku Blendera jest to tryb nakładania tekstury na podłoże — czyli sumę ogólnej barwy materiału i nałożonych wcześniej tekstur (por. str. 295, Rysunek 6.1.11). W przypadku Gimpa to tryb *Mode* (str. 641, Rysunek 11.14.2), a w Inkscape — *Blending Mode* (str. 686, Rysunek 12.9.1). Wszystkie służą do nakładania obrazu z aktualnej warstwy na warstwy poprzednie (czyli sumę warstw leżących „poniżej”). Postaram się w tej sekcji wyjaśnić efekty każdego z tych trybów, gdyż czasami nie są intuicyjne.

Zacznijmy od zwykłego złożenia dwóch warstw — w Blenderze to nazywa się *Mix*, a w Gimpie i Inkscape — *Normal*. Rysunek 10.6.2 pokazuje przykład prostego nałożenia czerwonej, całkowicie nieprzejrzystej warstwy **P**, na niebieskie tło **t**. Rysunek 10.6.3 przedstawia tę samą sytuację, ale z częściową przejrzystością warstwy **P**. Jak programy obliczają kolor złożenia tych dwóch warstw (obszaru rezultatu — **c**)?



Rysunek 10.6.2 Złożenie podłoża **t** i warstwy **P** w trybie *Mix/Normal*. **P** zupełnie nieprzejrzysta



Rysunek 10.6.3 Złożenie podłoża **t** i warstwy **P** w trybie *Mix/Normal*. **P** o nieprzejrzystości = 0.4

Przyjrzyjmy się dokładniej przypadkowi, który pokazuje Rysunek 10.6.3. W metodzie **Mix/Normal** składniki **R, G, B** barwy wynikowej **c** są wyznaczone jako tzw. „średnia ważona” składników barw **t** i **P**. „Wagą” tej średniej jest nieprzejrzystość **A** warstwy leżącej „na wierzchu” — **P**¹:

$$c = (1 - A)t + AP$$

gdzie: **c** — rezultat nałożenia barw (por. Rysunek 10.6.3);
t — barwa tła (por. Rysunek 10.6.3);
P — barwa warstwy nakładanej (por. Rysunek 10.6.3);
A — nieprzejrzystość (składnik **Alfa**) warstwy **P**;

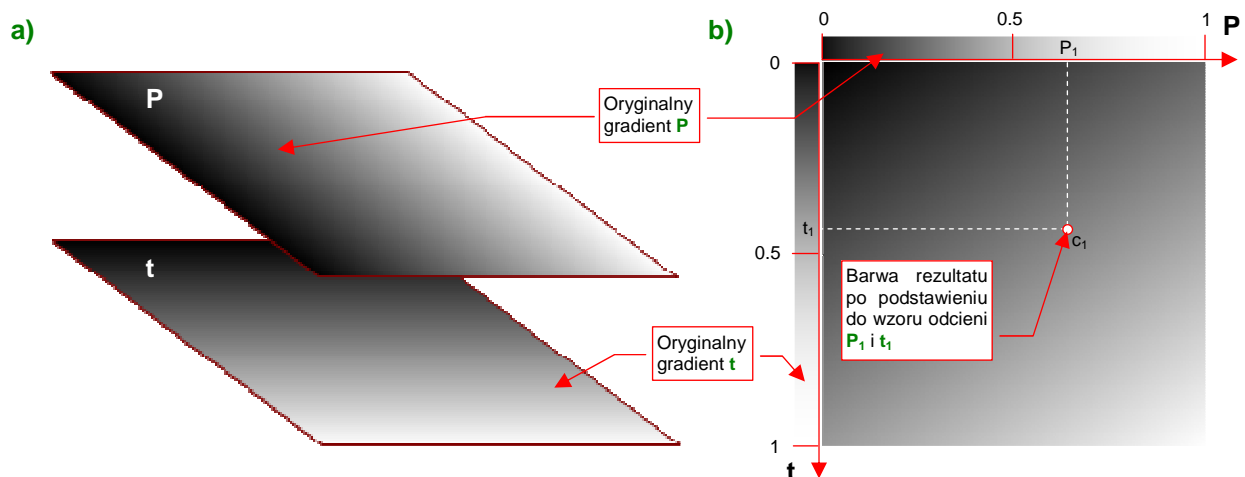
Wyr. 10-9 Wyznaczenie rezultatu „zwykłego” mieszania barw (operacja nazywana **Mix lub **Normal**)**

Jak „działa” Wyr. 10-9? Podstawmy do niego wartości, jakie podaje Rysunek 10.6.3. Na niebieskie ($R = 0, G = 0, B = 1$) tło **t** została nałożona półprzezroczysta ($A = 0.4$) warstwa **P**, w kolorze czerwonym ($R = 1, G = 0, B = 0$). Komponenty **R, G, B** barwy **c** wyznaczamy, podstawiając do Wyr. 10-9 odpowiednie komponenty barw **t** i **P** (Rysunek 10.6.4):

| | | | | | | | |
|--------------|-------------|---|---|-----|---|---|---|
| R: | (1.0 - 0.4) | 0.0 | + | 0.4 | 1.0 | = | 0.4 |
| G: | (1.0 - 0.4) | 0.0 | + | 0.4 | 0.0 | = | 0.0 |
| B: | (1.0 - 0.4) | 1.0 | + | 0.4 | 0.0 | = | 0.6 |
| ----- | | | | | | | |
| sumarycznie: | (1.0 - 0.4) | t | + | 0.4 | P | = | c |

Rysunek 10.6.4 Wyznaczenie nałożenia barw warstwy **t i **P** ($A = 0.4$ — por. Rysunek 10.6.3) w trybie **Mix/Normal**.**

Rysunek 10.6.4 pokazuje, że każdy z komponentów barwy można traktować jako intensywność — czyli odcień szarości. Komponenty rezultatu **c** są wyznaczone niezależnie, poprzez podstawienie do odpowiedniego wzoru. Dlatego w dalszej części tej sekcji, każdą z operacji na barwach będę omawiał, przedstawiając jej ogólny wzór (taki, jak ten z Wyr. 10-9), oraz rezultat — w postaci złożenia dwóch prostopadłych gradientów szarości (Rysunek 10.6.5a):



Rysunek 10.6.5 Sposób prezentacji wyników nałożenia dwóch warstw, z różnymi kierunkami gradientu szarości.

Rezultat nałożenia — z odpowiednim operatorem — warstwy **P** na **t** (Rysunek 10.6.5a) będą pokazywać na schematycznym kwadracie (Rysunek 10.6.5b). Możesz na nim zobaczyć wynik połączenia każdego odcienia

¹ Uwaga: wydaje się, że w Blenderze wartość **A** jest wcześniej mnożona przez parametr: **Col** z panelu **Map To** (dla mapowania barw) lub **Var** dla pozostałych wartości (**Ref, Spec**).

szarości **P** z każdym odcieniem szarości tła **t**. Z góry i z lewej strony kwadratu są pokazane oryginalne kolory pikseli z warstw **P** i **t**. To jakby osie układu współrzędnych, z których możesz wybrać interesujący Cię odcień pikseli wejściowych. Na przecięciu prostopadłych do osi **P** i **t** widzisz barwę rezultatu operacji (por. Rysunek 10.6.5b).

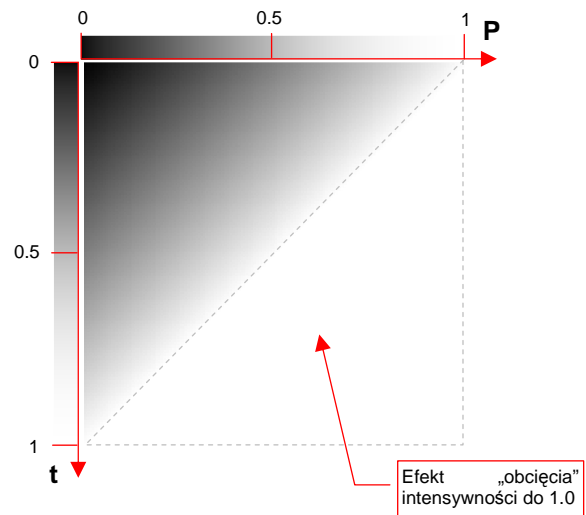
Domyślną operację — **Mix / Normal** — już omówiliśmy. Rysunek 10.6.6 przedstawia operację dodawania:

Dodawanie:

$$c = \text{Clip}(t + AP)$$

gdzie: **c** — rezultat nałożenia barw;
t — barwa tła;
P — barwa warstwy nakładanej;
A — nieprzeźrystość (składnik **Alfa**) warstwy **P**;

Clip: funkcja „obcinająca” do 1.0 wartości > 1.0 .



Wyr. 10-10 Dodawanie wartości pikseli (**Add** lub **Addition**)

Rysunek 10.6.6 Przykład dodawania pikseli

Dodawanie wartości pikseli rozjaśnia obraz. Charakterystyczne dla dodawania jest „obcinanie” rezultatu do 1.0. (Nie ma nic „bielszego od bieli”). Tę operację zapisaliśmy w Wyr. 10-10 jako funkcję **Clip**. Rysunek 10.6.6 pokazuje efekt jej „załączenia” — pół testowego kwadratu jest biała. To obszar, gdzie suma składników barwy **t** i **P** była > 1.0 .

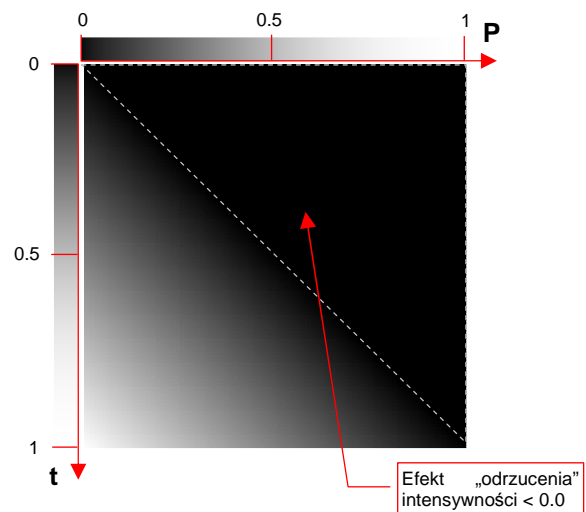
A teraz odwrotność dodawania: — **Subtract**. Rysunek 10.6.7 przedstawia rezultaty tej operacji:

Odejmowanie:

$$c = \text{Clip}(t - AP)$$

gdzie: **c** — rezultat nałożenia barw;
t — barwa tła;
P — barwa warstwy nakładanej;
A — nieprzeźrystość (składnik **Alfa**) warstwy **P**;

Clip: funkcja „obcinająca” do 0.0 wartości < 0.0 .



Wyr. 10-11 Odejmowanie wartości pikseli (**Subtract** lub **Subtraction**)

Rysunek 10.6.7 Przykład odejmowania pikseli

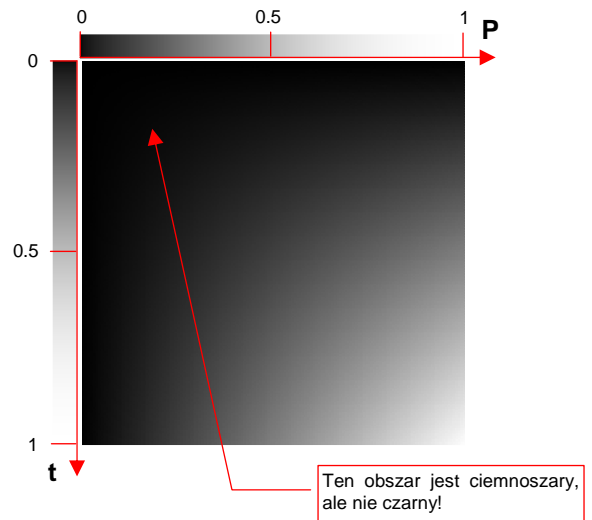
Odejmowanie wartości pikseli ściemnia obraz. Charakterystyczne dla odejmowania jest „odrzucaenie” rezultatów < 0 . (Nie ma nic „czarniejszego od czerni”). Tę operację zapisaliśmy w Wyr. 10-11 jako funkcję **Clip**. Rysunek 10.6.7 pokazuje efekt jej „załączenia” — pół testowego kwadratu jest całkowicie czarne. To obszar, gdzie różnica składników barwy **t** i **P** była < 0 .

Kolejną typową operacją jest mnożenie — **Multiply**. Rysunek 10.6.8 przedstawia rezultaty tej operacji:

Możenie:

$$c = tAP$$

gdzie: **c** — rezultat nałożenia barw;
t — barwa tła;
P — barwa warstwy nakładanej;
A — nieprzejrzystość (składnik **Alfa**) warstwy **P**;



Wyr. 10-12 Mnożenie wartości pikseli (**Multiply**)

Rysunek 10.6.8 Przykład mnożenia pikseli

Mnożenie wartości pikseli ściemnia obraz (gdyż mnożysz przez wartości poniżej 1.0). W odróżnieniu od odejmowania, żadna część testowego kwadratu, który przedstawia Rysunek 10.6.7, nie jest czarna. To są obszary zabarwione na bardzo ciemny kolor szary.

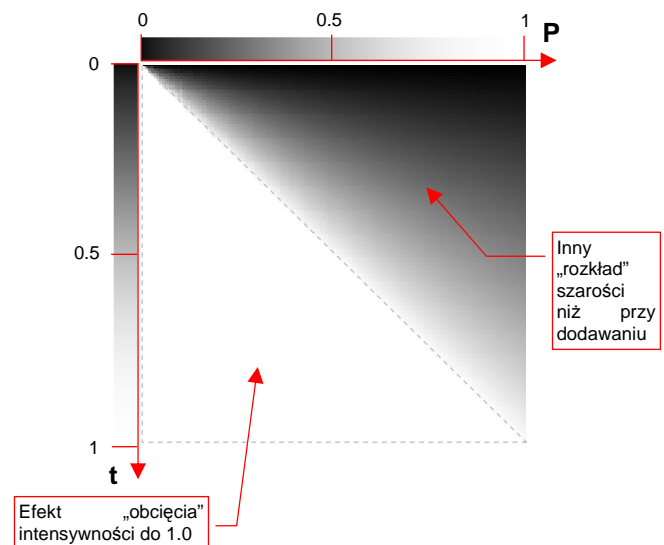
Kolejną typową operacją jest dzielenie — **Divide**. Rysunek 10.6.9 przedstawia rezultaty tej operacji:

Dzielenie:

$$c = \text{Clip}\left(\frac{t}{AP}\right)$$

gdzie: **c** — rezultat nałożenia barw;
t — barwa tła;
P — barwa warstwy nakładanej;
A — nieprzejrzystość (składnik **Alfa**) warstwy **P**;

Clip: funkcja „obcinająca” do 1.0 wartości > 1.0 , w tym także nieskończoność (gdy $AP = 0$)



Wyr. 10-13 Dzielenie wartości pikseli (**Divide**)

Rysunek 10.6.9 Przykład dzielenia pikseli

Dzielenie wartości pikseli rozjaśnia obraz (gdyż dzielisz przez wartości poniżej 1.0). Charakterystyczne dla dzielenia jest „obcinanie” rezultatu do 1.0. (W tym także nieskończoności, występującej dla $A = 0$ lub $P = 0$). Tę operację zapisaaliśmy w Wyr. 10-13 jako funkcję **Clip**. Rysunek 10.6.9 pokazuje efekt jej „załączenia” — pół testowego kwadratu jest biała. To obszar, gdzie suma składników barwy **t** i **P** była > 1.0 . Zwróć uwagę, że rozkład szarości na przeciwległej połowie jest inny, niż w przypadku dodawania (por. Rysunek 10.6.6)

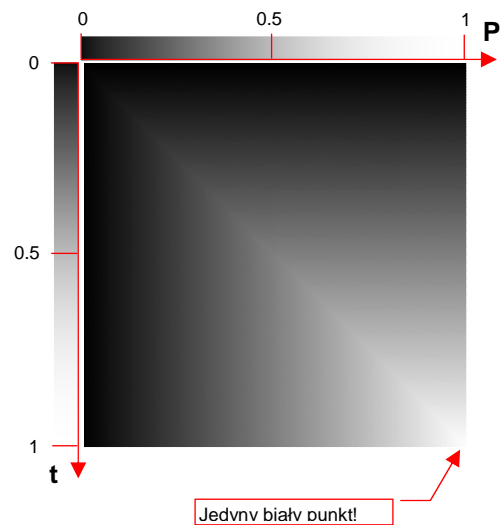
Kolejną typową operacją jest przyciemnienie — **Darken**. Rysunek 10.6.10 przedstawia rezultaty tej operacji:

Zaciemnienie:

$$c = \text{Min}(t, AP)$$

gdzie: **c** — rezultat nałożenia barw;
t — barwa tła;
P — barwa warstwy nakładanej;
A — nieprzejrzystość (składnik **Alfa**) warstwy **P**;

Min: funkcja, zwracająca wartość mniejszego z dwóch argumentów



Wyr. 10-14 Ściemnianie wartości pikseli (**Darken**)

Rysunek 10.6.10 Przykład ściemniania pikseli

Ściemnianie obrazu jest operacją dość intuicyjną. Z każdej pary pikseli (jeden należy do tła, drugi — do nakładanej warstwy) wybiera ten ciemniejszy.

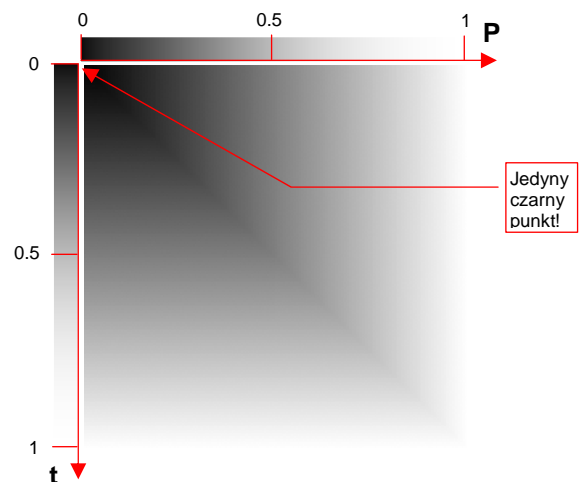
Operacją odwrotną do ściemnienia jest rozjaśnienie — **Lighten**. Rysunek 10.6.11 przedstawia rezultaty tej operacji:

Rozjaśnienie:

$$c = \text{Max}(t, AP)$$

gdzie: **c** — rezultat nałożenia barw;
t — barwa tła;
P — barwa warstwy nakładanej;
A — nieprzejrzystość (składnik **Alfa**) warstwy **P**;

Max: funkcja, zwracająca wartość większego z dwóch argumentów



Wyr. 10-15 Rozjaśnianie wartości pikseli (**Lighten**)

Rysunek 10.6.11 Przykład rozjaśniania pikseli

Rozjaśnianie obrazu jest operacją dość intuicyjną. Z każdej pary pikseli (jeden należy do tła, drugi — do nakładanej warstwy) wybiera ten jaśniejszy.

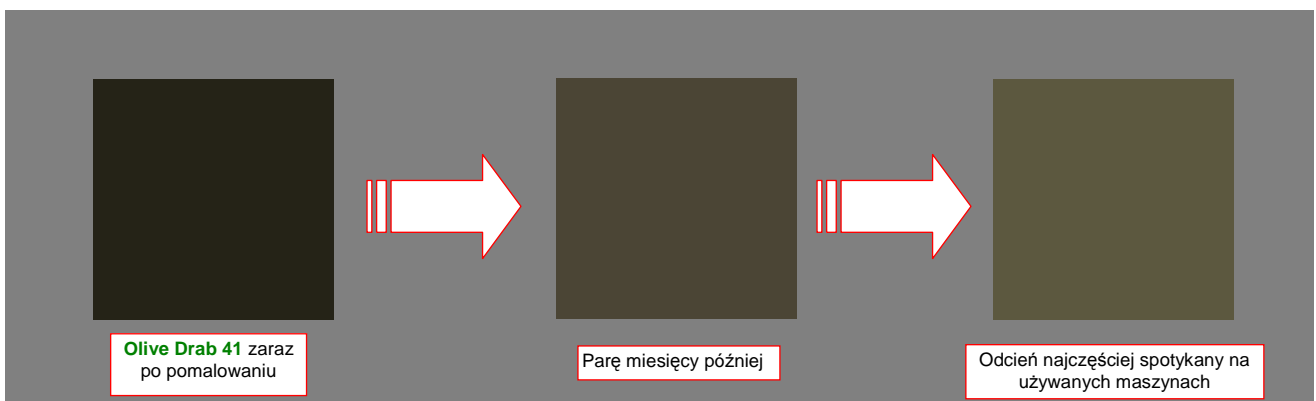
Na listach rozwijalnych Blendera i Gimpa znajdziesz więcej operacji, niż omówiłem w tym dodatku. Mówiąc szczerze, nie miałem okazji ich do tej pory używać. Jeżeli jednak chciałbyś sprawdzić, jak każda z nich działa — możesz skorzystać z pliku [optional/pixel_operations.xcf](#). To obraz Gimpa, zawierający dwie warstwy, odpowiadające gradientom **t** i **P**. Wykorzystywałem go do wygenerowania ilustracji dla tej sekcji. Możesz go otworzyć i wybrać w Gimpie, z zakładki **Layers** jakiś inny tryb mieszania barw. Sam się wtedy przekonasz, jak działa.

10.7 Określanie dokładnych barw samolotu

Jak przełożyć typowy opis barw samolotu — „górne powierzchnie w kolorze **Olive Drab**, dolne — **Neutral Gray**, wewnętrzne — **Zinc Chromate**” — na konkretne wartości **R**, **G**, **B**, które można wpisać w program komputerowy?

Omówię to właśnie na przykładzie podanego powyżej, regulaminowego maglownia P-40 w USAAC¹. Sprawa wydaje się prosta jak drut: znamy nazwy farb, więc wystarczy gdzieś znaleźć obraz ich próbek, zidentyfikować wartości komponentów **R**, **G**, **B**, i po sprawie. Regulamin to regulamin!

No właśnie — regulamin regulaminem, a w rzeczywistości nic nie jest takie oczywiste. Farby stosowane w latach 40-tch XXw. w lotnictwie to nie współczesne lakiery samochodowe! Z upływem czasu zmieniały barwę — na skutek długotrwałego działania promieni słonecznych, wilgoci, różnic temperatur występujących na różnych pułapach lotu. Zazwyczaj kolory blakły (Rysunek 10.7.1):



Rysunek 10.7.1 Zmiany odcienia **Olive Drab** w zależności od stopnia zużycia powierzchni.

Farby pochodziły od wielu dostawców (każdy producent samolotów miał ich prawdopodobnie paru). Po rozpoczęciu wojny przez USA wystąpiły braki komponentu stabilizującego barwę, opartego na kadmie. (Ten rzadki metal zawłaszczył przemysł ciężki do uszlachetniania pancerzy czołgów). Substytuty nie pozostały bez wpływu na jakość pokrycia samolotów. W szczególnych przypadkach na ich powierzchni mogły zajść dziwne reakcje chemiczne. Na przykład **Olive Drab** na wczesnych modelach P-38 „Lightning” z 14 FG, walczącej w Afryce Północnej, osiągnął po jakimś czasie odcień jaskrawej purpury!

Dolne powierzchnie samolotu nie są prawie nigdy poddane działaniu promieni słonecznych, stąd nie ulegają tak intensywnemu wietrzeniu, jak powierzchnie górne. Rysunek 10.7.2 przedstawia kolor, który według modelarzy najlepiej odpowiada „eksploatacyjnemu” **Neutral Gray**.

Na tej ilustracji (Rysunek 10.7.2) specjalnie umieściłem go na tle „komputerowej” barwy szarej (50% czerni i 50% bieli). Widzisz, że ten kolor ma jakiś błękitnawy odcień? Gdybyś zasugerował się nazwą, na pewno użyłbyś prostej mieszanki bieli i czerni! Świat nazw barw, określonych regulaminami, pełen jest takich pułapek.

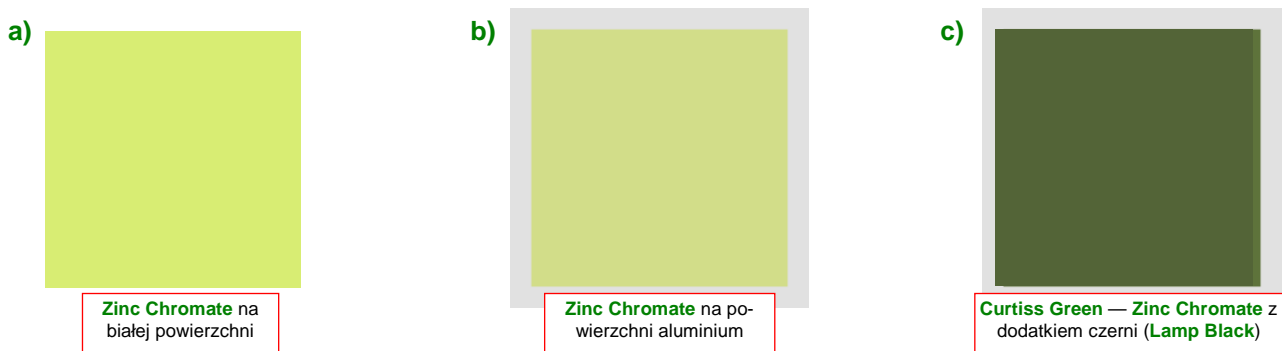


Rysunek 10.7.2 Przyjęty w modelarstwie odcień, odpowiadający barwie **Neutral Grey**.

Swoją drogą — to była dość ciemna farba, jak na dolne powierzchnie. W pozostałych armiach używano do tego celu o wiele jaśniejszych odcieni (no, może poza **Azure Blue** RAF z Afryki Północnej).

¹ Do 1942r. siły powietrzne armii USA nosiły nazwę **USA Air Corps** — USAAC. Dopiero potem zmieniono je na **USA Air Force** (USAAF).

A jaką właściwie miał barwę miała farba podkładowa **Zinc Chromate**? Tu się zaczynają jeszcze większe kłopoty, bo to właściwie nie była farba w pełnym tego słowa znaczeniu, tylko dość rzadki i przezroczysty podkład, o właściwościach antykorozyjnych. Jego barwa zależała od barwy pomalowanego materiału: żółtozielona na białej kartce papieru, stawała się bardziej zielona na powierzchniach aluminiowych¹ (Rysunek 10.7.3a,b):



Rysunek 10.7.3 Barwy podkładów **Zinc Chromate** w zależności od zastosowanych dodatków i powierzchni.

„Surowy” **Zinc Chromate** nie nadawał się do pomalowania wnętrza kabiny — był zbyt jasny i, w pewnych sytuacjach, kontrastowy. Siły powietrzne zalecały używać do malowania takich miejsc **Zinc Chromate** zaciemnionego za pomocą czerni **Lamp Black**. Curtiss uprościł sobie malowanie, zamawiając u dostawcy gotową, zaciemnioną farbę. Używał jej jako podkładu oraz do zabezpieczenia wszelkich powierzchni wewnętrznych, nie tylko kabiny (chyba nakładał tam drugą warstwę?). Barwa ta była często określana jako **Curtiss Green** (Rysunek 10.7.3c). Różniła się nieco odcieniem od ostatecznie ustalonej regulaminem z 1943r barwy **Interior Green** (Rysunek 10.7.4), która także była po prostu zaczerpniętym **Zinc Chromate** — tyle, że w nieco innej proporcji.



Rysunek 10.7.4 Przepisowa barwa **Interior Green**.

Skąd właściwie wzięłem przedstawione tu próbki kolorów? No cóż, w różnorodnych modelarskich opisach dość często jest podawany ekwiwalent barwy, wyrażony za pomocą symbolu z jednego z powszechnie używanych wzorców. Najczęściej chyba stosowany jest amerykański **Federal Standard 595B**, określany także skrótem **FS**. Na przykład na stronie <http://www.fed-std-595.com/FS-595-Paint-Spec.html> można znaleźć listę stosowanych w modelarstwie nazw farb, wraz z próbką koloru i wartościami **RGB** (Rysunek 10.7.5):

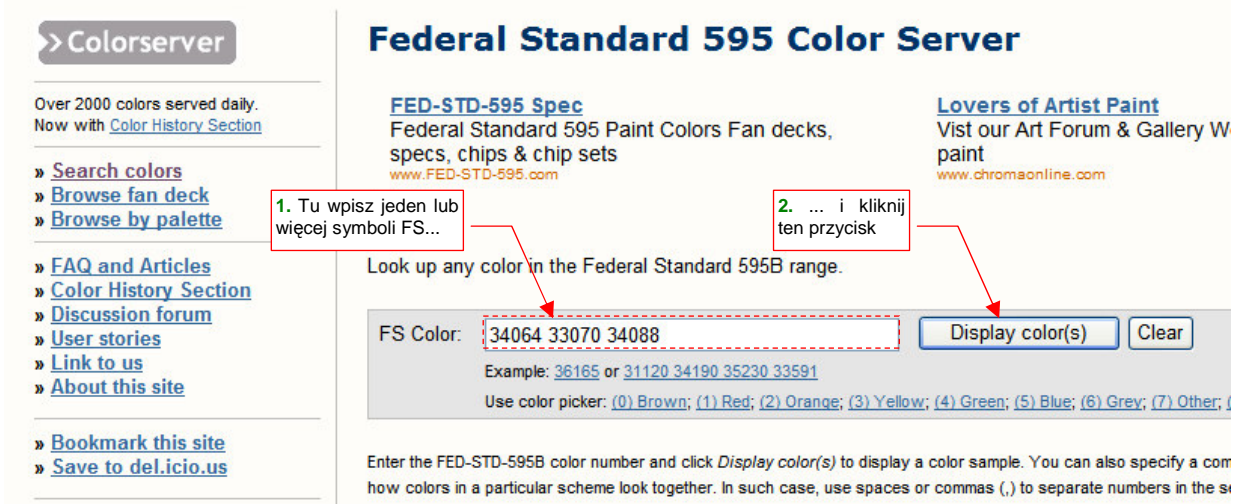
| | | | |
|---------------|----------|--------------------------------|-----------------|
| Próbka koloru | FS 34088 | 3C341F | Olive Drab |
| | FS 34092 | 364A41 | Dark Green |
| Symbol barwy | | Wartości RGB (heksadecymalnie) | Popularna nazwa |

Rysunek 10.7.5 Fragment listy wybranych barw (tzw. „Fan Deck”) z serwisu www.fed-std-595.com.

¹ W budownictwie i przemyśle stalowym lokalne odmiany **Zinc Chromate** nadal są stosowane (oczywiście, pod różnymi nazwami). Prawdopodobnie widziałeś nie raz stalowe elementy konstrukcji, pokryte czerwonawą, matową farbą. To właśnie **Zinc Chromate**, z dodatkiem czerwonego tlenku żelaza. O ile się nie mylę, taki podkład nazywany jest w Polsce „minią”.

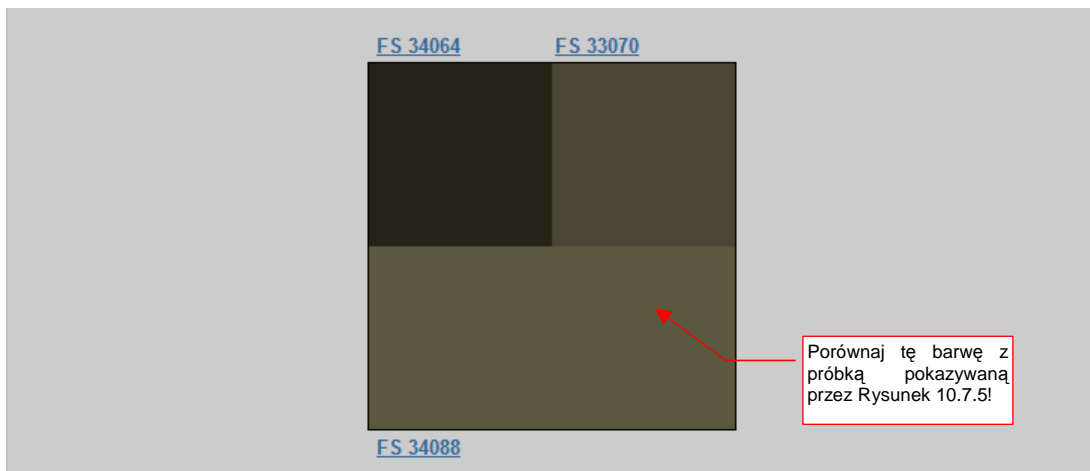
Wartości **R,G,B** są w serwisie www.fed-std-595.com podawane w postaci szesnastkowej (heksadecymalnej). Wartość składnika **R** to pierwsze dwa znaki, określające liczbę od 0 do 255, wartość składnika **G** to dwa znaki środkowe, a **B** — dwa ostatnie. Gdy podzielisz każdą z tych liczb przez 255, uzyskasz wartości z zakresu 0..1, takie jak te używane do „arytmetyki barw” (por. str. 604). Zresztą — nie musisz się nawet tak wysilać, bo i w Inkscape, i w GIMP, i w Blenderze można wpisać wprost te heksadecymalne kody. Nazywa się to tam [HTML notation](#), czy jakoś podobnie.

Serwis www.fed-std-595.com udostępnia tylko za darmo wybór najczęściej spotykanych wzorów barw. Aby uzyskać próbki dowolnego z istniejących symboli **FS**, skorzystaj z innego serwisu: <http://colorserver.net> (Rysunek 10.7.6):



Rysunek 10.7.6 Początkowy ekran serwisu colorserver.net.

Na ekranie początkowym możesz wpisać w pole **FS Color** jeden lub więcej (gdy chcesz zobaczyć próbki obok siebie) symboli FS. Po naciśnięciu przycisku **Display color(s)** zobaczysz rezultat (Rysunek 10.7.7):

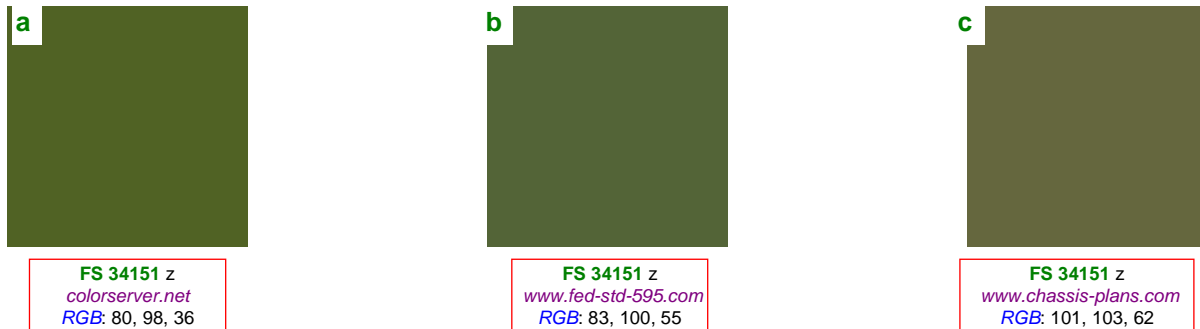


Rysunek 10.7.7 Przykładowa próbka, zwrócona przez serwis colorserver.net.

Mówiąc szczerze, rozmyślnie umieściłem na ilustracji powyżej próbkę **FS 34088** (typowy, najczęściej spotykany odcień **Olive Drab**). Porównaj odcień tę próbkę z próbką tego samego symbolu, przedstawioną przez serwis www.fed-std-595.com (Rysunek 10.7.5). Różnią się zdecydowanie! I która z tych próbek jest prawidłowa? W takich sytuacjach możesz „sprawdzić zeznania trzeciego świadka”, np. serwisu http://www.chassis-plans.com/paint_fed-std-595.html (myślnik występuje w oryginalnym adresie). Wydawałoby się, że powinna się tam znajdować kopia www.fed-std-595.com, bo strona wyraźnie mówi że skorzystała z tych zasobów. Ku mojemu zaskoczeniu, **FS 34088** ma tam jasny odcień — taki jak ten pokazywany przez colorserver.net!

- Zawsze warto sprawdzić próbkę barwy, odpowiadającą danemu symbolowi FS, w co najmniej dwóch źródłach. W przypadku różnicy — warto sprawdzić jeszcze w trzecim, i wybrać najbardziej prawdopodobny kolor. Dopóki można, kieruj się wiedzą historyczną. Gdy wszystko zawiedzie — zdej się na wyczucie ☺.

Po wielu próbach odnoszę wrażenie, że na www.fed-std-595.com wiele barwy jest ciemniejsza — wzorowali się na odcieniach widocznych w otwartej puszcze ze świeżą farbą, czy jak? Serwisu colorserver.net też nie należy traktować jako wyroczni: zdarzają się im błędy. Na przykład barwa **Interior Green (FS 34151)**, podana przez każdy z tych trzech serwisów wygląda inaczej (Rysunek 10.7.8):



Rysunek 10.7.8 Próbka Interior Green, wg trzech różnych serwerów barw.

Ciekawe, prawda? Każda z próbek ma inny odcień. Wartości **R,G,B**, podane explicite przez www.fed-std-595.com i www.chassis-plans.com są potwierdzeniem, że to nie jest przypadek. Być może cały problem z odwzorowaniem cyfrowym polega na tym, że *Federal Standard 595b* jest oparty na zestawie fizycznych wzorników (można je kupić po 158 USD za komplet). Barwy, pokazywane w Internecie, mogły powstać poprzez skanowanie powierzchni tych wzorników. Wygląda na to, że każdy z użytych skanerów był nieco inaczej skalibrowany ☺. Próbka z www.chassis-plans.com jest najbardziej żółta. Znajac „pochodzenie” Interior Green (zacerniony Zinc Chromate) — można przypuszczać, że ta właśnie wersja (Rysunek 10.7.8c) jest najbliższa prawdy.

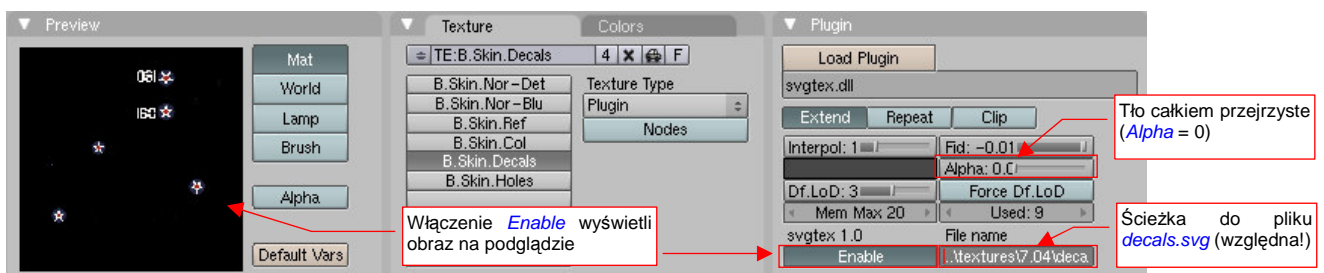
- Jak na razie, w literaturze modelarskiej nikt nie podaje barw posługując się wprost wartościami **R,G,B**. Odniesienia do takich wzorców, jak barwy FS, traktuj jako pewne przybliżenia. Dla tego samego symbolu FS próbki barw, pokazywana przez różne serwisy internetowe, mogą się różnić!

Jedno z podanych tu źródeł — colorserver.net — pokazuje tylko próbki koloru, bez podawania wartości liczbowych **R, G, B**. Na szczęście nie jest to duże utrudnienie. Możesz załadować do GIMP „zrzut ekranu” z oknem przeglądarki. Potem w GIMP pobrać próbkę barwy za pomocą narzędzia **Color Picker**, i sprawdzić w oknie właściwości koloru wartości liczbowe jego komponentów (szczegóły — str. 658):

10.8 Tekstury wektorowe

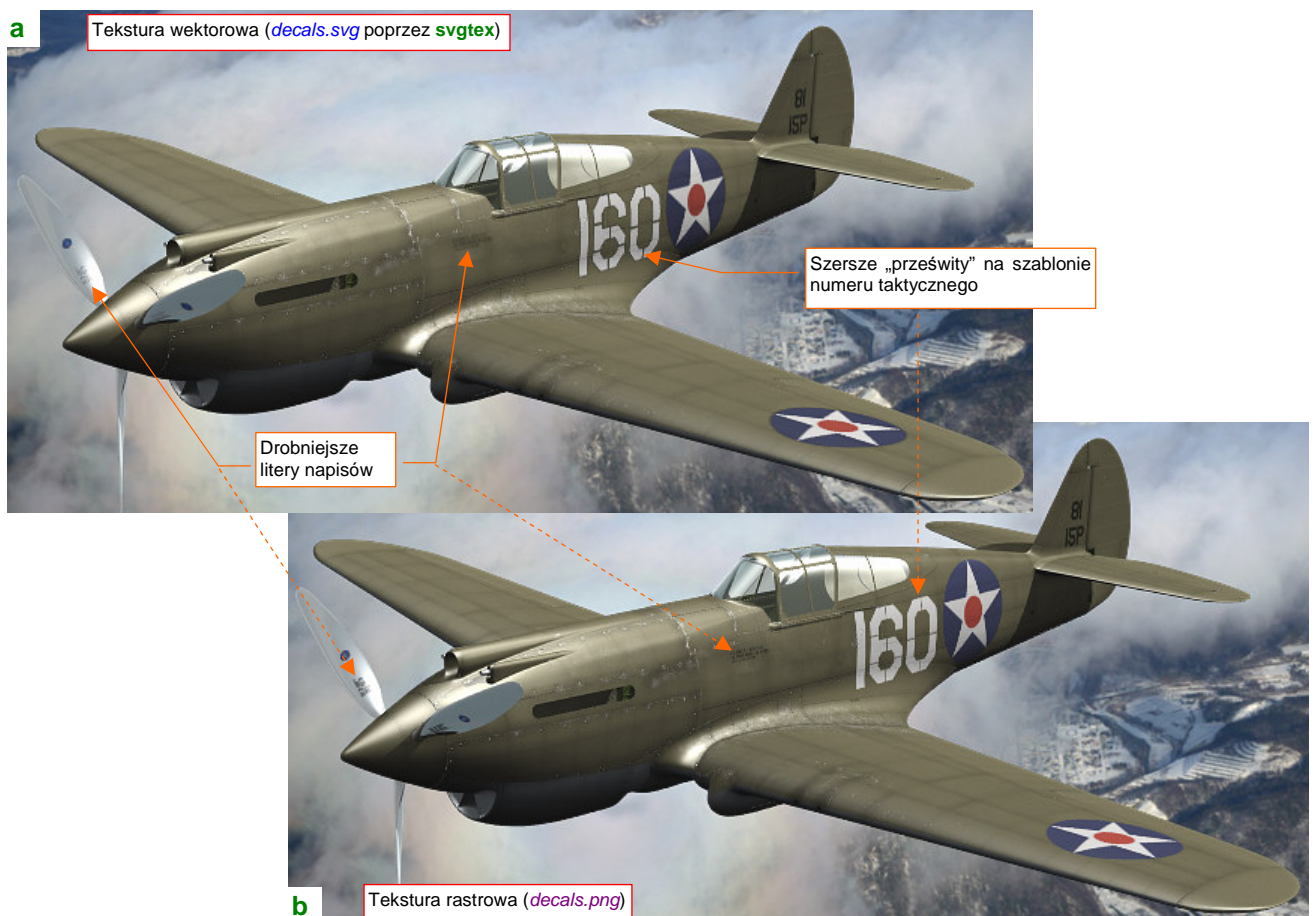
Aby uzyskać w Blenderze „teksturę, która nie boi się zbliżeń” napisałem wtyczkę (*plugin*) podstawiającą jako teksturę zawartość pliku **.svg*. Nadałem jej nazwę **svgtex**. Statyczny obraz rastrowy ma skończoną rozdzielczość. **Svgtex**, korzystając z wektorowej definicji rysunku z pliku **.svg*, generuje żądne przez Blender fragmenty tekstury z dowolną rozdzielczością.

Aby przekonać się, jak działa **svgtex**, proponuję użyć go w teksturze **B.Skin.Decals**. W miejsce statycznego pliku rastrowego *decals.png* podstawimy bezpośrednio jego wektorowe źródło — plik *decals.svg*. Aby to zrobić, zmień typ tekstury **B.Skin.Decals** z *Image* na *Plugin*, i załaduj wtyczkę *svgtex.dll* (szczegóły — patrz str. 1017) (Rysunek 10.8.1):



Rysunek 10.8.1 Tekstura **B.Skin.Decals** — wersja wektorowa (plik *decals.svg*)

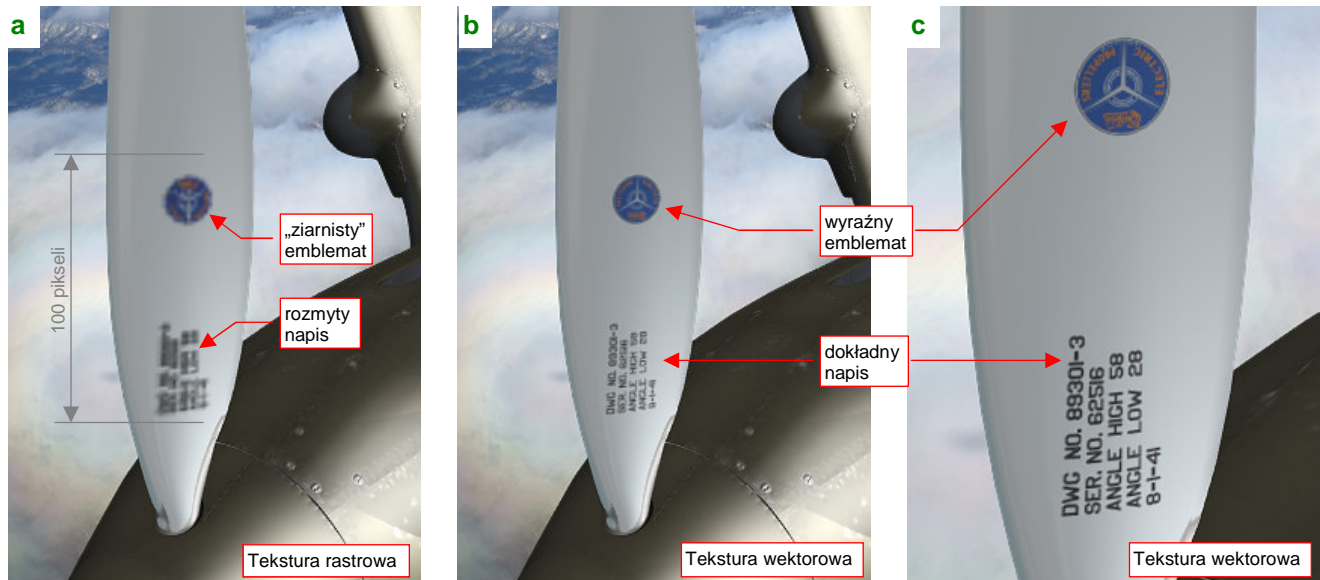
W pole **File name** wpisz ścieżkę do pliku *decals.svg*. (Należy wpisywać ścieżki względne — względem pliku, który masz otwarty w Blenderze). Zmień jeszcze tło na ciemnoszare, **Alpha** na 0, i możesz już włączyć **Enable**. W panelu **Preview** pojawi się podgląd tekstury. Na renderingu nie widać specjalnych różnic (Rysunek 10.8.3):



Rysunek 10.8.2 Porównanie renderingu w wersji wektorowej (*decals.svg*) i rastrowej (*decals.png*)

Porównywanie rezultatów renderingu, pokazywanych przez Rysunek 10.8.3a) i Rysunek 10.8.3b) przypomina trochę łamigłówki typu „znajdź różnice pomiędzy obrazkami”. Znalazłem dwie: na teksturze wygenerowanej przez **svgtex** litery napisów są drobniejsze, a „prześwity” pozostawione przez szablon numeru taktycznego — szersze. Obydwie różnice wynikają przypuszczalnie z użycia w **svgtex** prostszego algorytmu uśredniającego wartości sąsiednich pikseli.

Efekt zastosowania tekstury wektorowej stanie się od razu widoczny, gdy zbliżymy kamerę do modelu. Rysunek 10.8.3 przedstawia zbliżenie łopaty śmigła:



Rysunek 10.8.3 Porównanie małych napisów w wersji rastrowej (*decals.png*) i wektorowej (*decals.svg*)

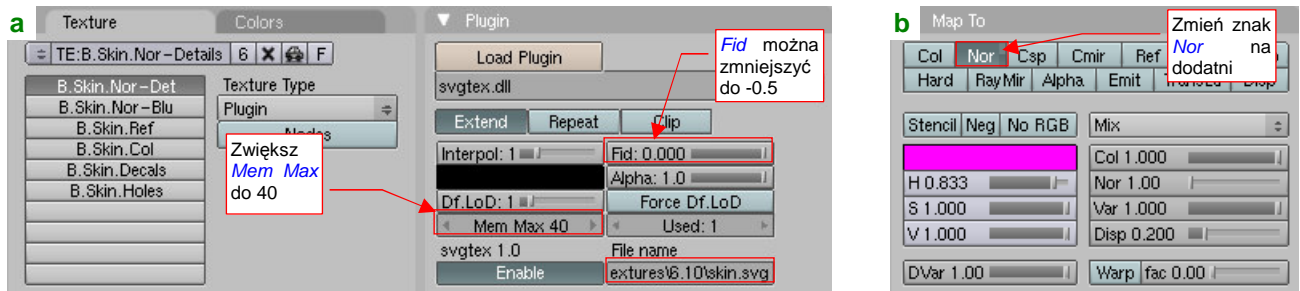
Na łopate, pokazaną przez Rysunek 10.8.3a), jest naniesiona tradycyjna tekstura rastrowa (plik *decals.png*, o rozmiarach 2048x2048 pikseli). Plik z oznaczeniami jest jeden dla całego samolotu, więc efektywna długość rozwinięcia całej łopaty śmigła nie przekracza na nim 200 pikseli. Miejsca na znaczki firmowy „*Electric Curtiss Propellers*” i napis znamionowy jest jeszcze mniej — to obszar rzędu 40x100 pikseli. Trudno się spodziewać cudów po takiej rozdzielczości, spotykanej zazwyczaj w co większych ikonach. Tu widać już pojedyncze piksele, stąd „ziarnistość” granic emblematu Curtissa, i kompletnie zamazane kwadraciki liter. To rozmycie dodatkowo kontrastuje z całkiem jeszcze wyraźnymi zarysami śrub i nitów na powierzchni. (To efekt podstawowej tekstury nierówności, która jest naniesiona z dwukrotnie większą rozdzielczością: plik *nor_details.png* ma rozmiar 4096x4096 pikseli). Najprostszym rozwiązaniem problemu, pokazanego przez Rysunek 10.8.3a), byłoby zwiększenie rozdzielczości pliku *decals.png* — do, powiedzmy, 4096x4096 pikseli. To jednak metoda „siłowa” — większy plik tekstury to więcej zużytych zasobów komputera. W dodatku prawie cała powierzchnia *decals.png* jest pusta (przejrzysta), więc ciężkie megabajty RAM będą poświęcone w ten sposób na przechowywanie niczego. Zresztą — w jeszcze większym zbliżeniu i ten obraz stanie się „ziarnisty”.

Rysunek 10.8.3b) i c) pokazują efekt zastosowania wtyczki **svgtex**. Widać na nich, że, mimo kolejnych zbliżeń kamery, szczegóły emblematu i napisów pozostają ostre i wyraźne. Rysunek 10.8.3c) umożliwia wręcz odczytanie znaku firmowego „Curtiss”. Cały zespół (wtyczka + załadowany do pamięci plik **.svg*) zajmują w pamięci mniej więcej połowę tego, co rastrowy plik *decals.png*. Czas renderingu modelu z zastosowaniem wektorowej tekstury oznaczeń praktycznie jest taki sam, co tekstury rastrowej¹.

¹ Pewnym mankamentem jest tylko „przeñośność” pliku Blendera, używającego wtyczki. Można go renderować tylko pod Windows, i trzeba mieć do tego plik *svgtex.dll*. Komponent jest oczywiście ogólnodostępny (na zasadach licencji GPL), ale zawsze jest to jakieś utrudnienie. Być może ktoś przerobi jego kod na wersję dla Linuxa (źródła, udostępniane na zasadzie licencji Open Source na <http://airplanes3d.net>, są w zasadzie do tego przygotowane).

Skoro użycie tekstury wektorowej poprawiło rendering zbliżenia tekstów i emblematów, to może użyć **svgtex** do obsługi podstawowej tekstury nierówności (**B.Skin.Nor-Det**)? Mówiąc szczerze, specjalnie z myślą o tym eksperymencie przygotowałem w modelu dwie tekstury nierówności: podstawową, zawierającą wyłącznie elementy wektorowe, i pomocniczą, „rozmytą” (**B.Skin.Nor-Blur**), w której na pewno lepiej się sprawdza obraz rastrowy.

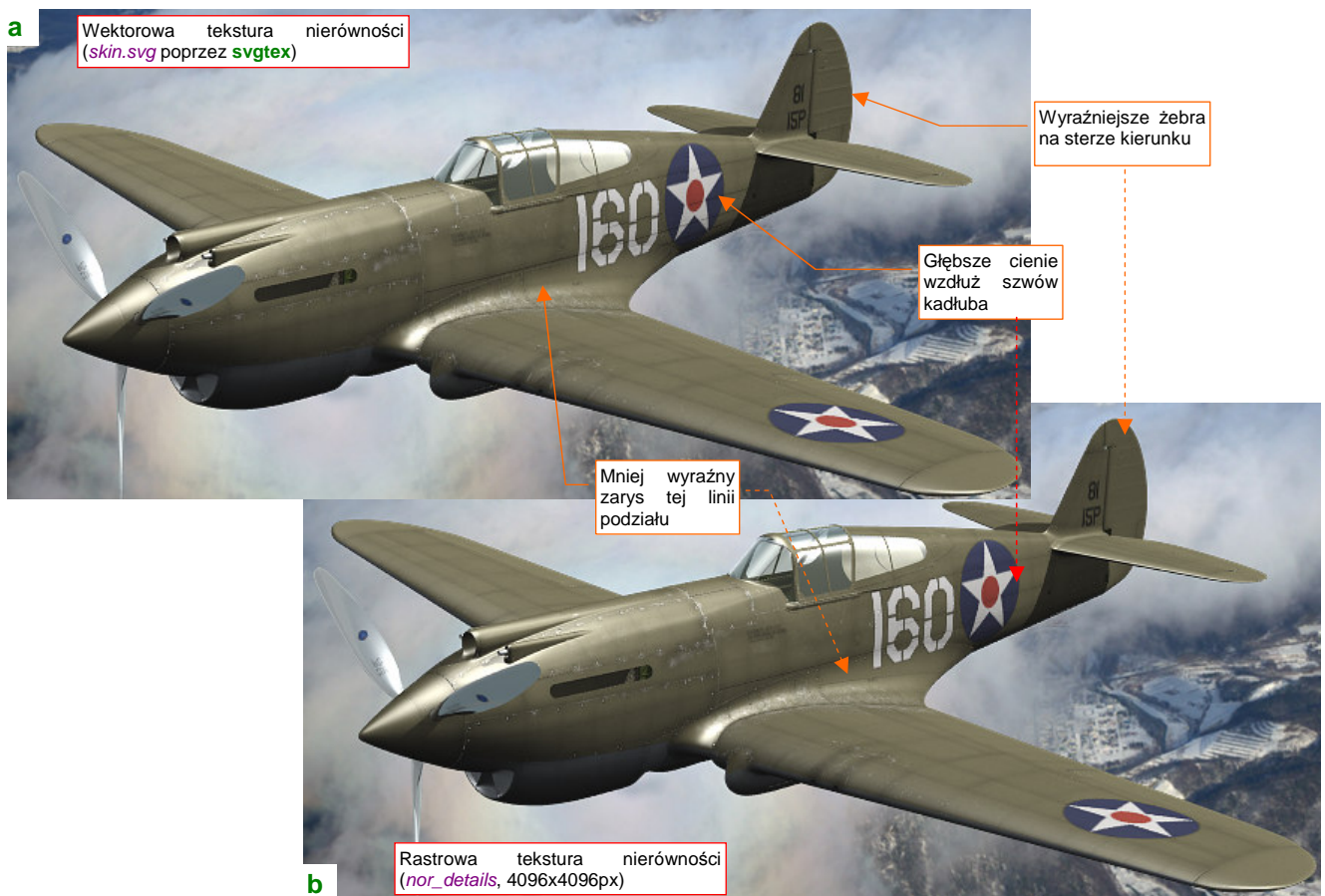
Przygotuj najpierw plik **skin.svg**: wyłącz widoczność wszystkich warstw poza **Result:Nor-Details** (por. str. 375), oraz szarym tłem **Bkg-Grey**. (Przy okazji upewnij się, że nieprzezroczystość **Bkg-Grey** jest ustawiona na 100%). Potem, podobnie jak zmieniliśmy typ tekstury **B.Skin.Decals** na początku tej sekcji, zmień teraz teksturę **B.Skin.Nor-Details**. Przypisz ją do pliku **skin.svg** (Rysunek 10.8.4a):



Rysunek 10.8.4 Podstawowa tekstura nierówności (**B.Skin.Nor-Det**) w wersji wektorowej

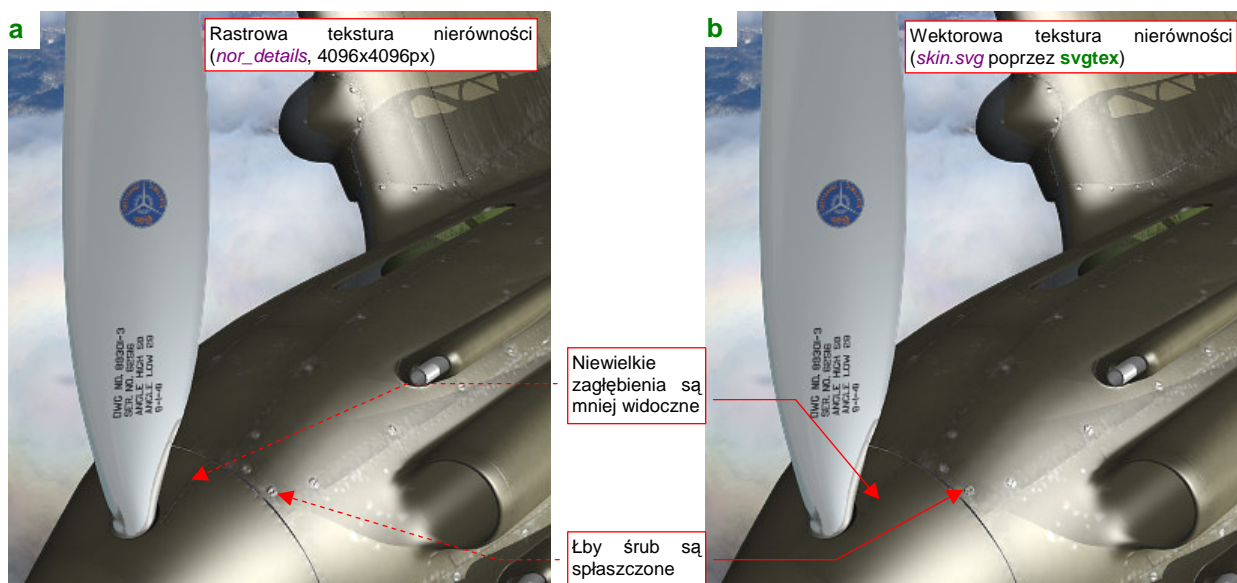
W odróżnieniu od **decals.svg**, ten rysunek ma tło (dzięki warstwie **Bkg-Grey**). Nie musisz się więc przejmować ustawieniami koloru i nieprzezroczystości tła w panelu **Plugin**. To duża tekstura, więc warto zwiększyć **Mem Max** do 40 MB. Możesz także zmniejszyć **Fidelity** do -0.5, aby zaokrąglić i podkreślić nierówności. Oprócz tych ustawień, zmień jeszcze w zestawie **Shading:Material buttons**, panelu **Map To**, znak mapowania normalnych **Nor** z ujemnego (żółtego) na dodatni (biały) (Rysunek 10.8.4b). (Szczerze mówiąc, nie mam pojęcia dlaczego obraz rastrowy wymagał mapowania odwrotności **Nor** — wydaje mi się to nielogiczne).

I jak wygląda rezultat? Porównajmy najpierw rendery modelu z normalnej odległości (Rysunek 10.8.5):



Rysunek 10.8.5 Porównanie nierówności powierzchni w wersji wektorowej (**decals.svg**) i rastrowej (**decals.png**)

Tak jak poprzednio — nie widać specjalnych różnic. (Na obydwu rysunkach wykorzystano wektorową wersję oznaczeń i napisów, by te, omówione wcześniej, efekty nie były widoczne). Różnicy także nie widać nawet przy pierwszym zbliżeniu (Rysunek 10.8.6):



Rysunek 10.8.6 Porównanie nierówności powierzchni w wersji rastrowej (*decals.png*) i wektorowej (*decals.svg*)

Z porównania rezultatów wygląda na to, że **svgtex** tworzy nieco delikatniejsze nierówności. Najprawdopodobniej znów, podobnie jak w przypadku różnic oznaczeń, to kwestia filtra. Widać to, czym sterują kontrolki *Interpol* i *Fid*, jest jeszcze dość „toporne”. Nie są to jednak znaczące różnice.

W zasadzie wygląda na to, że w zakresie typowych zbliżeń kamery rastrowa tekstura nierówności o rozmiarach 4096x4096 daje zadowalający efekt. W dodatku wykorzystanie tak złożonej tekstury wektorowej, jak plik *skin.svg*, ma wpływ na czas redneringu. (Chodzi tu szczególnie o pierwszą próbę, gdy **svgtex** generuje potrzebne fragmenty). O wektorowych teksturach nierówności można więc pamiętać jako o alternatywnym rozwiązaniu do jeszcze większych zbliżeń (wnętrze kabiny?) niż te, pokazywane przez Rysunek 10.8.6.