

## Rozdział 4. Formowanie samolotu

W tym rozdziale zaczynamy "regularną" pracę z Blenderem. Z własnego doświadczenia radziłbym zapisywać stan pracy, osiągnięty na koniec każdego dnia, do oddzielnego pliku. (Więcej na ten temat znajdziesz na str. 765).

Na wszelki wypadek zapoznaj się także ze sposobem odzyskiwania danych — na str. 769. (Choć na tym etapie nie spodziewam się żadnych kłopotów z Blenderem — to naprawdę stabilny program)

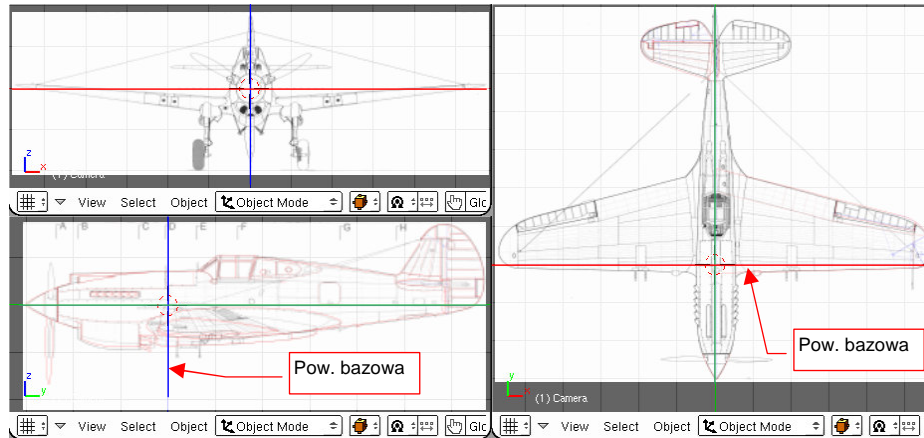
Pierwsze sekcje tego rozdziału będą bardzo szczegółowo opisywać poszczególne kroki w formowaniu geometrii. Chcę w ten sposób zaznajomić Czytelników, którzy to robią po raz pierwszy, z typowymi sposobami pracy z siatkami Blendera. Zaczniemy więc od nieskomplikowanej bryły obrotowej - kołpaka śmigła. Potem do tego dodamy coś bardziej skomplikowanego — łopatę (śmigła, oczywiście). Następnie zajmiemy się formowaniem płata. Skrzydło ma w zasadzie obrys (w rzucie z góry) trapezu, któremu zaokrąglono końcówkę. Końcówka płata w P-40 jest dość trudna do prawidłowego uformowania<sup>1</sup>, więc omówiłem ją w oddzielnej sekcji. Stosuję tam m.in. odcinanie powierzchni inną powierzchnią (stworzyłem specjalny skrypt Pythona, który do tego służy). Sądzę, że po ukończeniu skrzydła będziesz już dobrze znał większość "tricków" pozwalających uzyskać w Blenderze kształt, który jest potrzebny. Stateczniki to właściwie powtórzenie w uproszczonej wersji formowania płata, więc nie poświęcam im wiele miejsca. Potem uformujemy najbardziej złożony kształt — kadłub.

---

<sup>1</sup> Jest zadarta do góry, jakby ucięto płat pod dużym kątem, a potem zaokrąglono brzegi i uwypuklono dolną powierzchnię. Podobne zakończenie miały płaty *F4U Corsair* i *P-38*. Jeśli pominiemy eliptyczne skrzydło *Spitfire*, to inne samoloty z tego okresu mają prostsze kształty zakończeń.

#### 4.1 Przygotowanie pliku Blendera

Skonfiguruj środowisko Blendera tak, jak jest to podane na str. 758. Do odtworzenia geometrii samolotu, wykorzystamy rysunki przygotowane wcześniej<sup>1</sup>. Umieść je w odpowiednich oknach Blendera (**View→Background Image...** — szczegóły na str. 770 i dalszych). Rysunek 4.1.1 pokazuje zawartość pliku, jaki powinieneś przygotować<sup>2</sup>.



Rysunek 4.1.1 Pusty rysunek, z przygotowanym tłem (kursor 3D jest w środku układu współrzędnych)

Podczas wstawiania rysunków tła, musisz zdecydować, jaką długość "w świecie rzeczywistym" ma reprezentować 1 jednostka długości w Blenderze.

- Przyjąłem, że 1 jednostka Blendera = 10 cm "na prawdziwym samolocie".

Dlaczego akurat taka skala? Obraz tła można maksymalnie powiększyć do prostokąta, w którym dłuższy bok ma rozmiar 500 jednostek. To za mało, by dla 10 - metrowego samolotu zastosować np. skalę 1 jednostka = 1cm. (Obraz tła musiałby mieć wtedy rozmiar dwa razy większy, niż dopuszcza Blender: 1000 jednostek)<sup>3</sup>.

Obrazy, podstawione na wszystkich rzutach, muszą być umieszczone w przestrzeni w sposób spójny. Środek układu współrzędnych Blendera musi być w każdej sylwetce umieszczony w tym samym miejscu. (Rysunek 4.1.1 pokazuje w tym punkcie kursor 3D). Z osią **Y** nie ma problemu — leży w osi śmigła (kadłuba). W jakim jednak punkcie kadłuba umieścić powierzchnię "bazową" — płaszczyznę **XZ**? Proponuję, by leżała na linii, użytej na rysunkach fabrycznych jako baza do wymiarowania płata: wzdłuż przedniego dźwigara skrzydła (Rysunek 4.1.1). Kadłub posiada w tym miejscu główną wręgę (tę, do której były przyłączone: łożo silnika i przedni dźwigar). W przypadku innych samolotów często jako powierzchnię bazową przyjmowałem płaszczyznę podstawy kołpaka śmigła. Dla tej konstrukcji wolę jednak ustalić "bazę" w takim miejscu kadłuba, które nie ulegało zmianie pomiędzy kolejnymi wersjami. (Nosy P-40 uległy zmianie trzy razy, a licząc to z P-36 — aż pięć). W obszarze za wręgą, w której umieściłem środek układu współrzędnych, zmiana kształtu kadłuba zaszła tylko raz — i to dość późno. (Mam na myśli wydłużenie ogona w P-40L). Kształt skrzydeł P-36/P-40, i kształt usterzenia poziomego, oraz ich wzajemne położenie, nie uległo zmianie przez całą historię konstrukcji<sup>4</sup>.

<sup>1</sup> Chodzi oczywiście o Rozdział 2 (str. 26 - 54)

<sup>2</sup> Znajdziesz go także w pliku *p40.zip*, towarzyszącemu tej książce — w folderze *History/40C-4.1.blend*. (Bez rysunków tła).

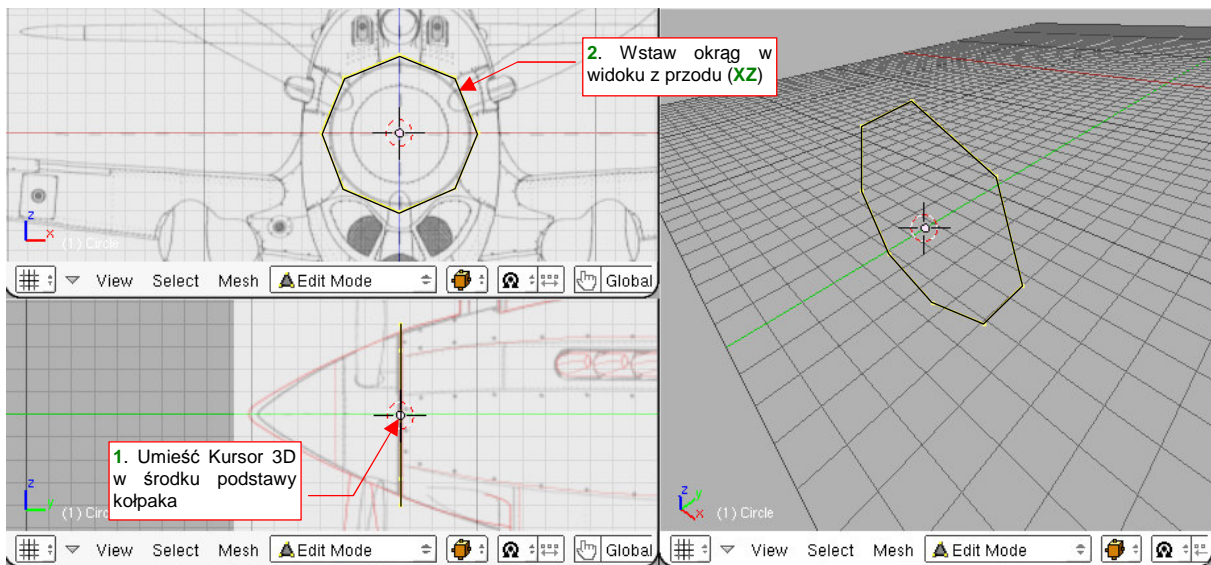
<sup>3</sup> Pomysł użycia w charakterze jednostki cali także zarzuciłem — jednostki Blendera są dziesiętne, a wszelkie wymiary P-40 były wyrażane w calach i stopach (cal to  $\frac{1}{12}$  stopy). W dodatku, przynajmniej w latach 40-tych, w USA, ułamki cala wyrażano na rysunkach technicznych nie jako ułamki dziesiętne, lecz zwykłe:  $\frac{1}{4}$ ,  $\frac{9}{16}$ , ... Musieli mieć chyba specjalne podziałki na swoich linijkach, by się w tym połapać!

<sup>4</sup> P-36 różnił się od P-40 innymi osłonami podwozia. P-40 miał także większe koła podwozia głównego. (Do tego stopnia, że trzeba było lokalnie wygiąć tylny dźwigar, który w P-36 był prosty). W P-40 usunięto także część wyważenia aerodynamicznego steru wysokości. W sumie - nie były to poważne zmiany kształtu płata i usterzenia.

## 4.2 Kołpak śmigła

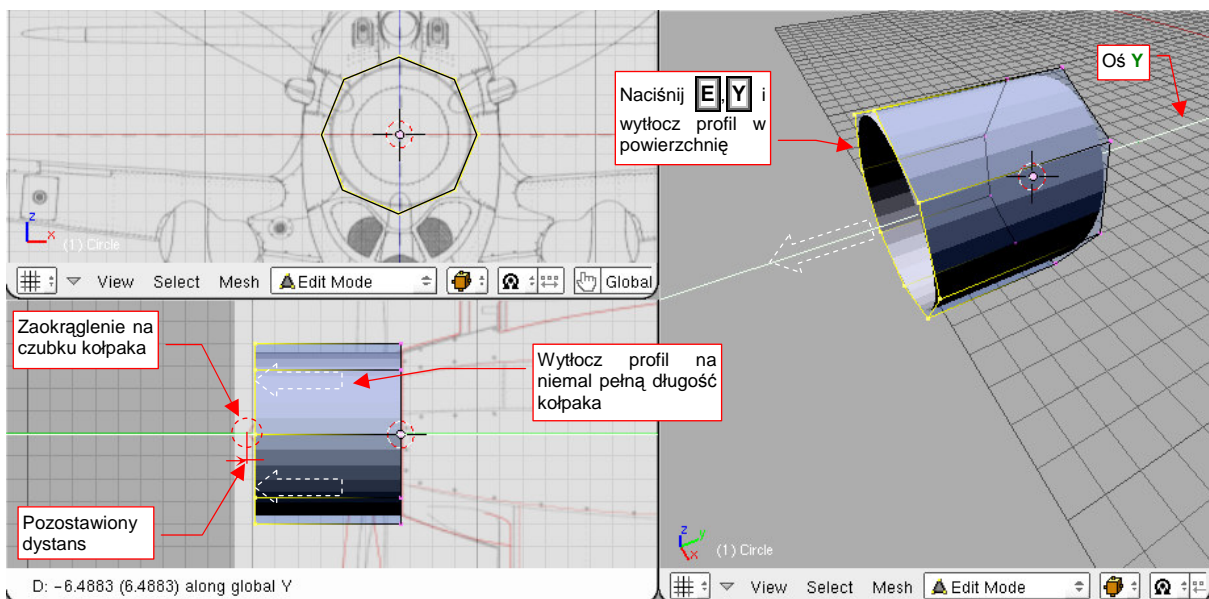
Modelowanie zaczniemy od kołpaka śmigła. Specjalnie wybrałem na początek tak nieskomplikowany kształt. Opiszę jego formowanie trochę dokładniej, abyś, jeżeli jest to Twoja pierwsza praca w Blenderze, miał okazję poznać podstawowe techniki kształtowania powierzchni. Obowiązkowo korzystaj, w takim przypadku, z odsyłaczy do szczegółowych opisów czynności!

Kołpak śmigła zacznij od umieszczenia kursora 3D tam, gdzie ma się znaleźć środek jego podstawy (jak — str. 770). (Pamiętaj, że to miejsce stanie się środkiem nowo utworzonego obiektu). Następnie, w rzucie z przodu, utwórz okrąg o promieniu nieco większym od podstawy kołpaka ([Add→Mesh→Circle](#) — str. 786). Liczba wierzchołków nie musi być zbyt duża — uważam że 8 zupełnie dobrze odwzoruje okrąg. Rysunek 4.2.1 pokazuje, jak powinien wyglądać efekt tych dwóch czynności:



Rysunek 4.2.1 Początkowy okrąg, z którego powstanie kołpak śmigła

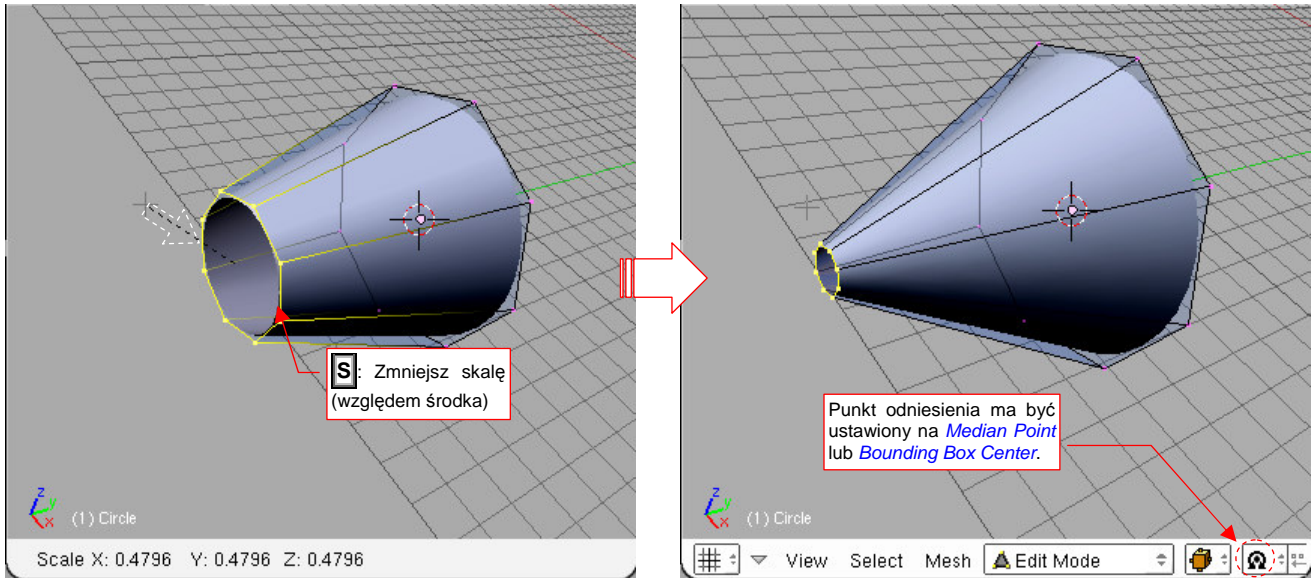
Teraz utwórz z bazowego okręgu powierzchnię: wytłocz go na całą długość kołpaka wzdłuż osi Y ([E](#) lub [Mesh→Extrude](#) — str. 866) . Rysunek 4.2.2 pokazuje przebieg operacji:



Rysunek 4.2.2 Wytłoczenie ([Extrude](#)) okręgu w początkową powierzchnię

Po wytłoczeniu warto poprawić metodę cieniowania, aby powierzchnia wydawała się doskonale gładka ([Mesh](#)→[Faces](#)→[Set Smooth](#), patrz str. 869) .

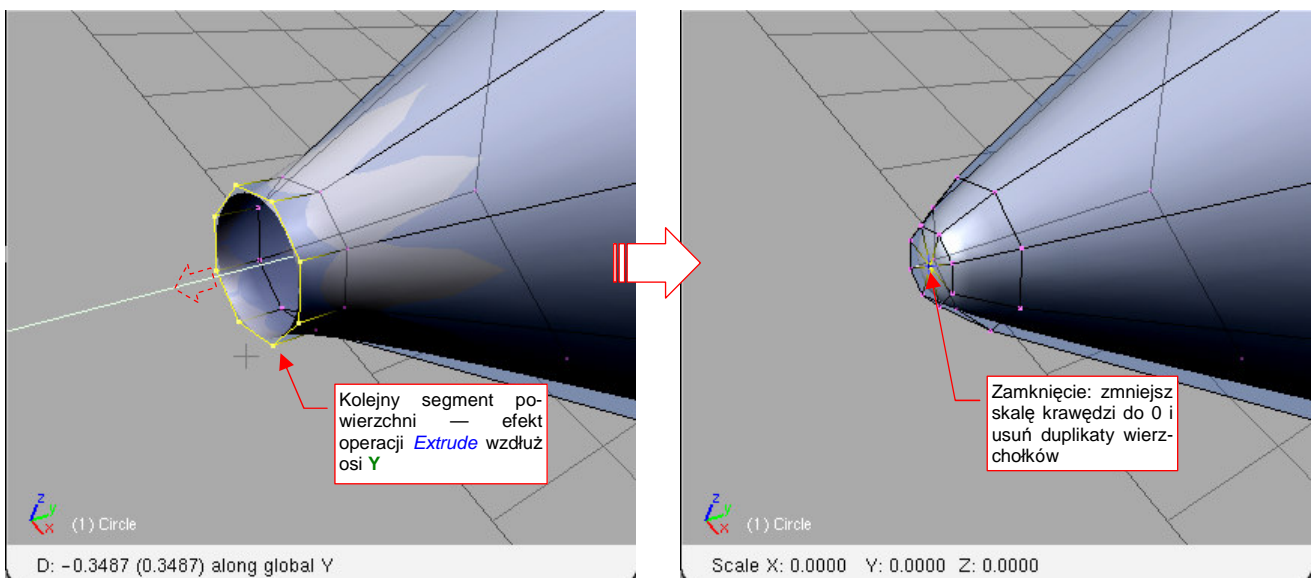
Ustaw tryb środka transformacji na [Bounding Box Center](#) (☐, Rysunek 4.2.3) . Następnie zaznacz przednią krawędź powierzchni. i zdecydowanie zmniejsz ją poprzez zmianę skali (S, albo [Mesh](#)→[Transform](#)→[Scale](#) — str. 862) . Rysunek 4.2.3 pokazuje przebieg operacji:



Rysunek 4.2.3 Wygładzenie powierzchni i uformowanie zarysów kształtu kołpaka

Rozmiar końca stożka dobierz tak, by był zbliżony do zaokrąglenia końcówki kołpaka (skorzystaj z rysunków widocznych na rzucie z boku).

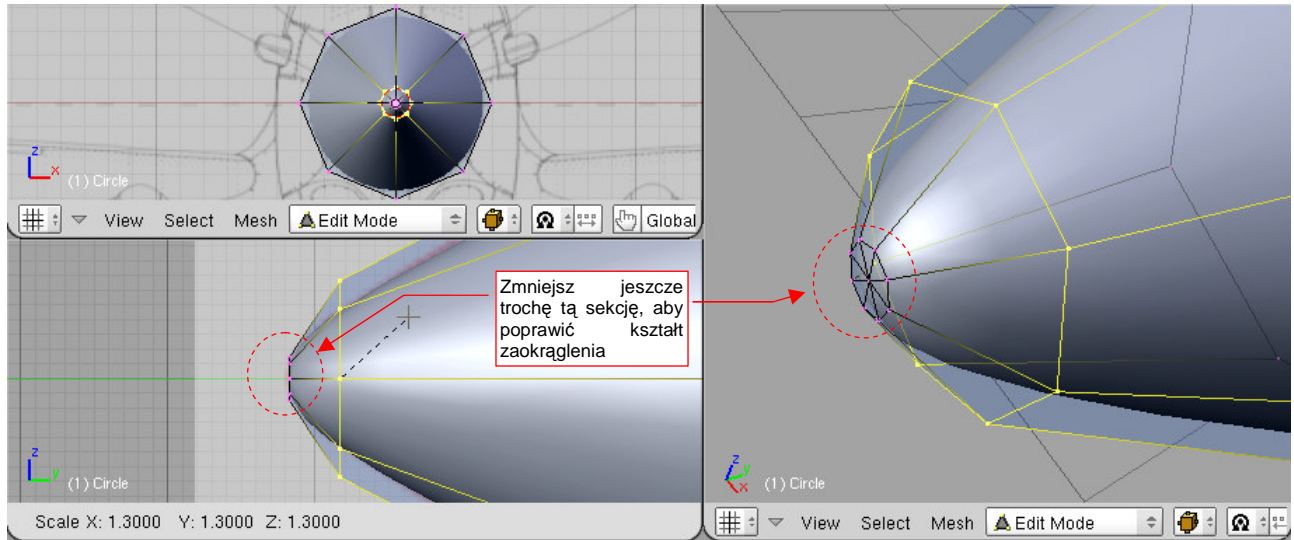
Zaokrąglenie noska formujemy poprzez "wytłoczenie" (str. 866) z końcówki powierzchni jej kolejnego segmentu (Rysunek 4.2.4). Przesuń nową krawędź do przodu o promień nosa kołpaka. Zmniejsz ją (poprzez zmianę skali) do mniejszej średnicy. Aby zamknąć siatkę, wygeneruj jeszcze jedną krawędź, poprzez kolejne wytłoczenie. Potem jej nie przesuwaj, tylko "zsuń" wszystkie wierzchołki (poprzez zmianę skali do 0) w jeden punkt. Zamień je w pojedynczy wierzchołek poprzez scalenie ([Mesh](#)→[Vertices](#)→[Remove Doubles](#), str. 870) . Rysunek 4.2.4 pokazuje rezultat tej operacji:



Rysunek 4.2.4 Formowanie zaokrąglonego noska



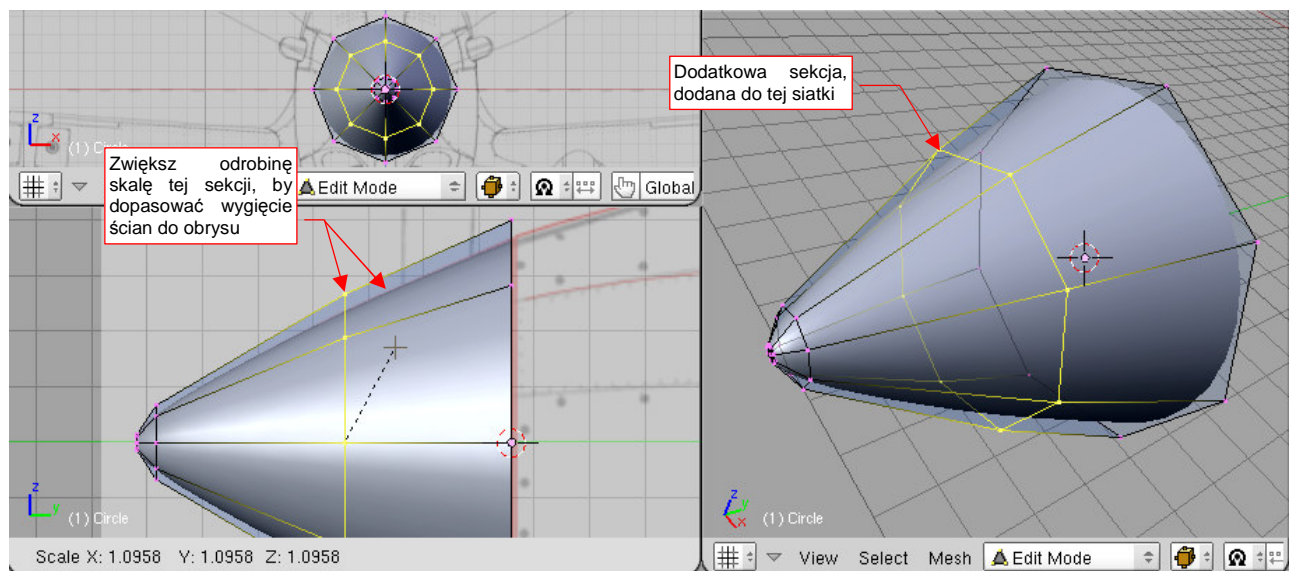
Zaokrąglenie, jakie uzyskaliśmy, warto jeszcze zestawzić z rzutem z boku (sylwetką narysowaną czerwoną linią — poprawialiśmy plany w tym miejscu). W przypadku naszej siatki konieczne okazało się dodatkowe zmniejszenie ostatniej (nie licząc końcowego wierzchołka) sekcji siatki (Rysunek 4.2.5):



Rysunek 4.2.5 Dopasowywanie zaokrąglenia do zadanego obrysu

Zwróć uwagę, że ostatnia sekcja i wierzchołek zamykający cały stożek leżą na tej samej płaszczyźnie. Taką "tarczkę" najlepiej jest umieszczać jako zakończenie wszelkich kulistych zaokrągleń.

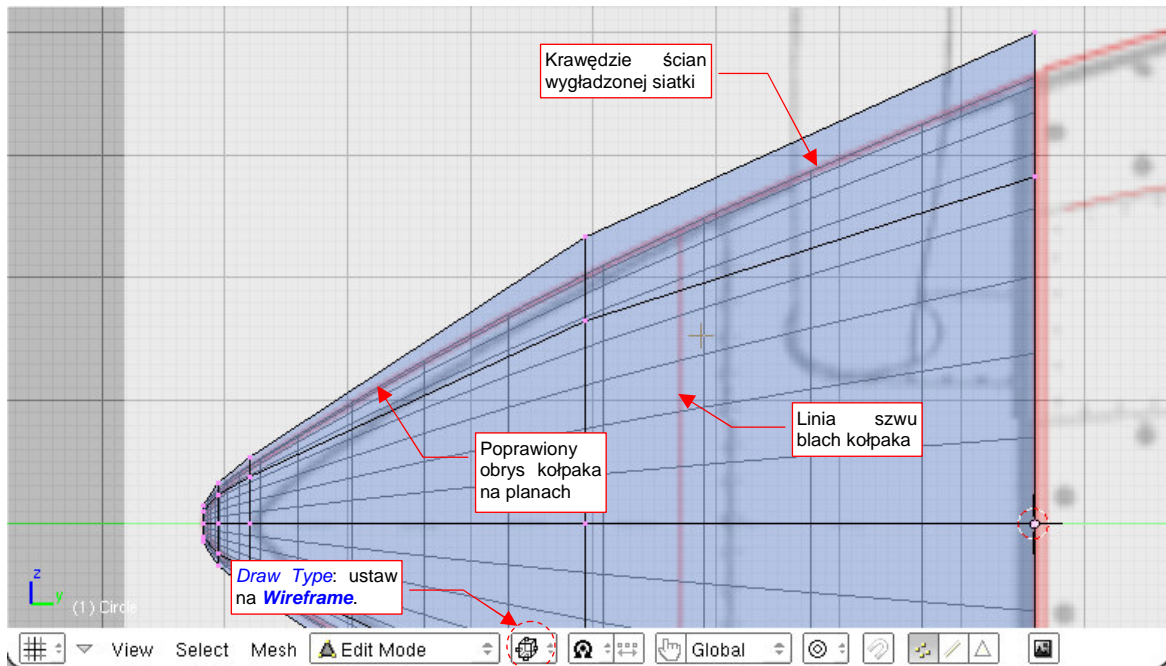
Gdy uporządkowaliśmy końcówkę stożka, warto poprawić także ściany boczne. Wstaw mniej więcej pośrodku nową sekcję (tzn. rząd wierzchołków — *Loopcut*, str. 875) . Po wstawieniu zwiększ odrobinę jej średnicę poprzez zmianę skali, by dopasować wygięcie ścian stożka do założonego obrysu (Rysunek 4.2.6):



Rysunek 4.2.6 Lekkie wygięcie ścian kołpaka — poprzez dodatkową linię siatki

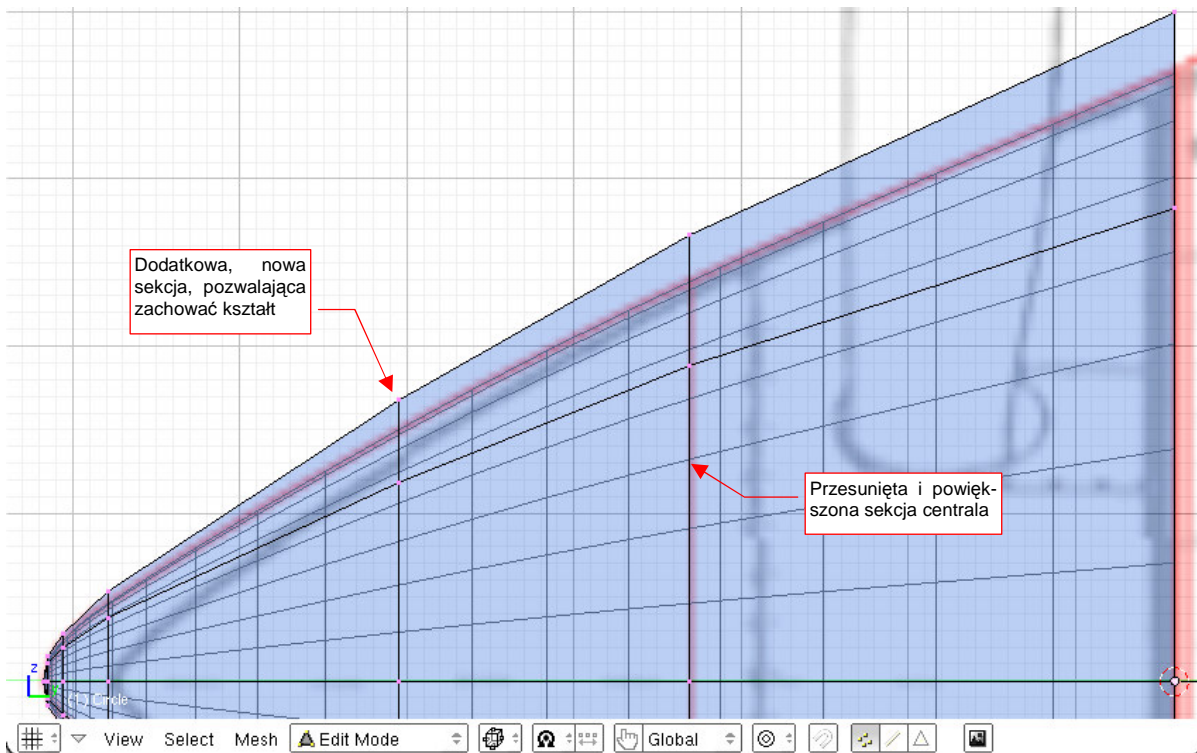
Czas przejść do ostatniej fazy formowania kształtu — dokładnego uzgodnienia z planami. Najłatwiej jest to robić po przełączeniu sposobu reprezentacji (*Draw Type*) siatek z *Solid* na *Wireframe* (por. str. 77) .

Rysunek 4.2.7 przedstawia siatkę kołpaka w trybie *Wireframe*, nałożoną na rzut z boku.



**Rysunek 4.2.7** Wstępne dopasowanie do zadanego obrysu (czerwona linia)

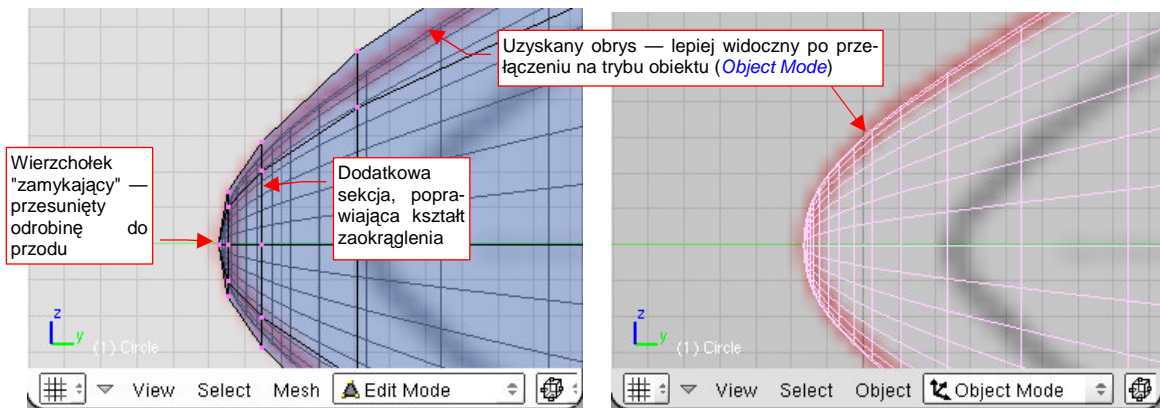
Jak widać, zarys siatki pokrywa się już z konturem na rysunku. Dokonamy jednak jeszcze drobnych zmian. Pierwsza jest związana z przystosowaniem do późniejszej pracy. Dopóki nie jest to zbyt kłopotliwe, warto jest mieć linię siatki w miejscu, gdy przebiegało łączenie blach na prawdziwym samolocie. W związku z tym przesunąłem jedną z sekcji w takie miejsce, narysowane na planach. Aby zachować poprawny kształt kołpaka, konieczne stało się dodanie jeszcze jednej sekcji: z przodu, przed końcem stożka (Rysunek 4.2.8):



**Rysunek 4.2.8** Ostateczne dopasowanie do zadanego obrysu

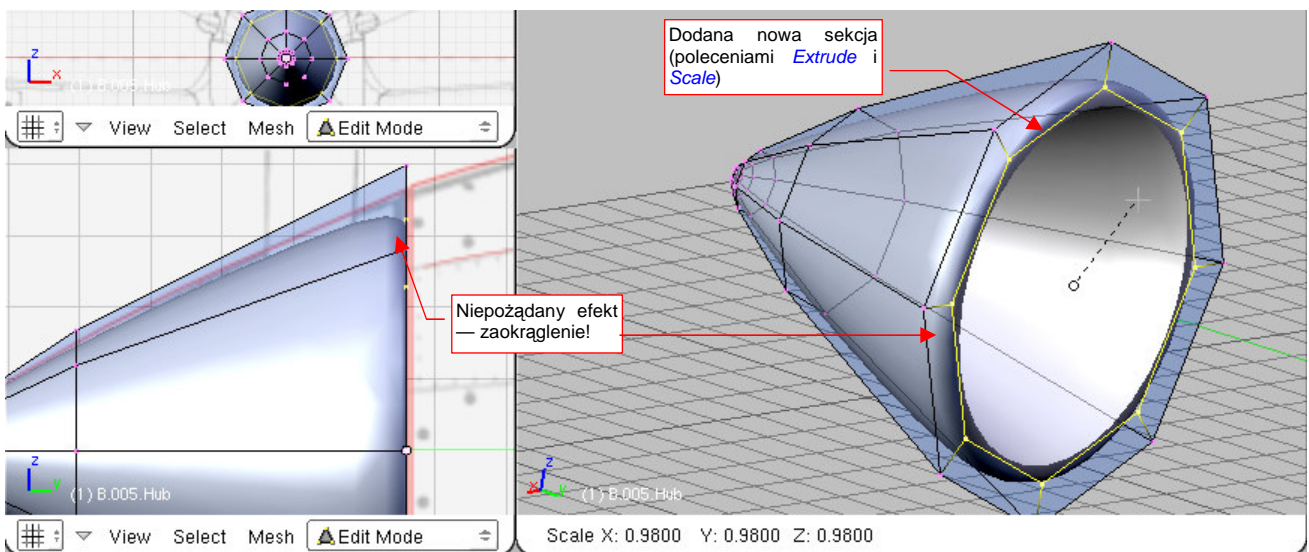
Po uzgodnieniu ścian stożka, powiększ obraz w okolicy jego czubka. Tu, aby jak najdokładniej oddać obrys założony na planach, także dodałem jeszcze jedną sekcję. Oprócz tego odrobinę wysunąłem do przodu wierz-

chołek, zamykający stożek (Rysunek 4.2.9). Obydwie zmiany pozwoliły uzyskać właściwy (założony) kształt tej części:



**Rysunek 4.2.9 Szczegóły zaokrąglenia czubka kołpaka**

Gdy kształt obiektu jest już zgodny z planami, pozostał do utworzenia ostatni szczegół: zamknięcie podstawy tego kołpaka. W prawdziwej konstrukcji było umieszczone w tym miejscu okrągłe żebro. Nie będziemy go teraz dokładnie modelować (zresztą - brak jest jakichkolwiek zdjęć tego elementu, więc nie wiadomo, jak wyglądał). Zadowolimy się prostym "wytlóceniem" kolejnej sekcji z dotychczasowej podstawy stożka (Rysunek 4.2.10). Krawędź, dodaną w wyniku wytłoczenia, nie przesuwaj, tylko zmniejsz (poprzez zmianę skali).



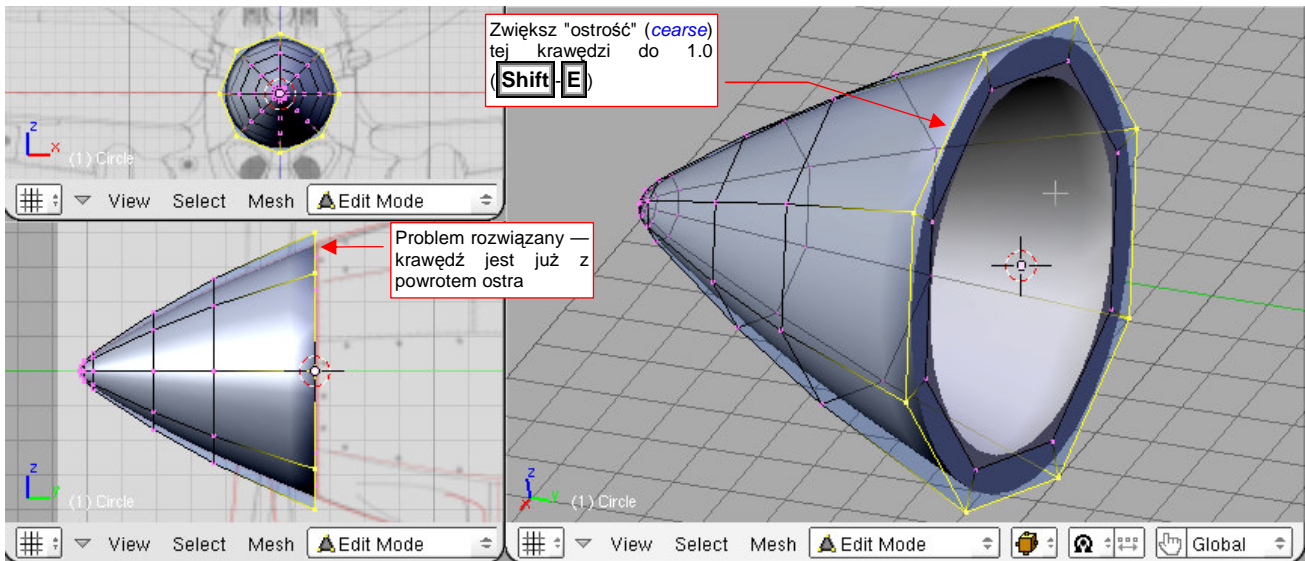
**Rysunek 4.2.10 Wstawienie dodatkowej powierzchni u podstawy stożka**

W rezultacie wydłużenia siatki podstawowej o dodatkową sekcję, krawędź podstawy stożka uległa zaokrągleniu (Rysunek 4.2.10). Pamiętaj, tak się będzie dziać zawsze — powierzchnia podziałowa stara się wygładzić każdą nierówność<sup>1</sup>.

<sup>1</sup> Czasami możesz ten efekt zachować celowo, gdy potrzebujesz odtworzyć zaokrąglenie w rzeczywistej konstrukcji. Możesz także uzyskać zaokrąglenia o profilu okrągłym (przynajmniej w przybliżeniu). Wystarczy się postarać, by kolejne sekcje po obydwu stronach zaokrąglanej krawędzi, były równo od niej oddalone. (Rysunek 4.2.10 pokazuje sytuację, gdy nowo dodana sekcja (ta z prawej) jest o wiele bliżej krawędzi podstawy stożka, niż sekcja z przeciwnej strony. To spowodowało, że zaokrąglenie ma kształt wyciągniętej elipsy lub też paraboli).

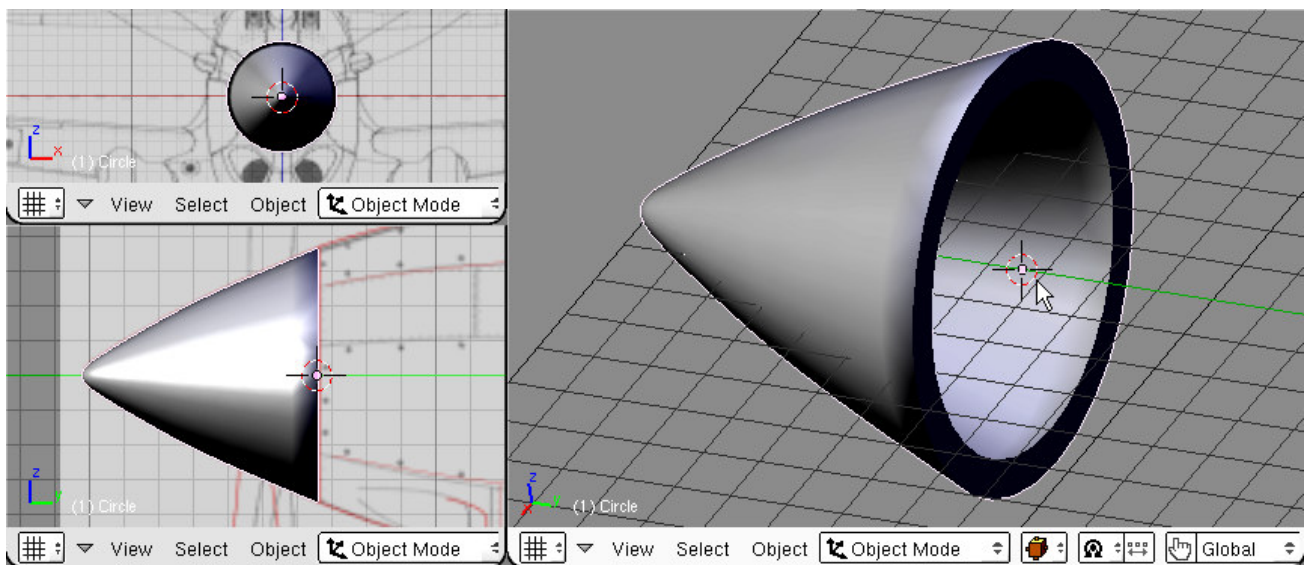


W P-40 krawędź podstawy kołpaka była ostra, więc musisz ją "przywołać do porządku". Zmień ostrość krawędzi, którą pokazuje Rysunek 4.2.11, z 0.0 do 1.0 (*Mesh*→*Edges*→*Cease Subsurf* — patrz str. 877) . Wraz ze zmianą sposobu cieniowania ścian podstawy na *Solid* bryła uzyska właściwy kształt (Rysunek 4.2.11).



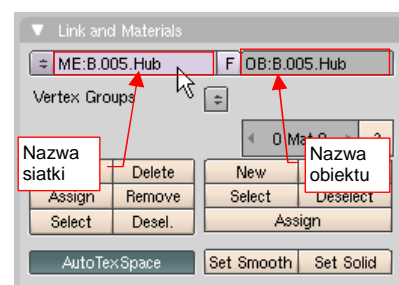
Rysunek 4.2.11 Usunięcie niepożądanego zaokrąglenia krawędzi kołpaka

Rysunek 4.2.12 pokazuje efekt — uformowany kołpak śmigła. (W tym modelu nie będziemy w nim wycinać otworów na łopaty — to nieznaczny szczegół, który zbyt skomplikowałby siatkę).



Rysunek 4.2.12 Uformowany kołpak

Na koniec pozostało nadać nowej części nazwę. W panelu *Link and Materials* wpisz identyczną nazwę w obydwa pola: nazwy siatki i nazwy obiektu (Rysunek 4.2.13). Zgodnie z przyjętymi dla tego modelu regułami, nadałem kołpakowi nazwę **B.005.Hub**. (Reguły i szczegóły nazewnictwa — patrz str. 798)



Rysunek 4.2.13 Ustalenie nazwy — obiektu i siatki



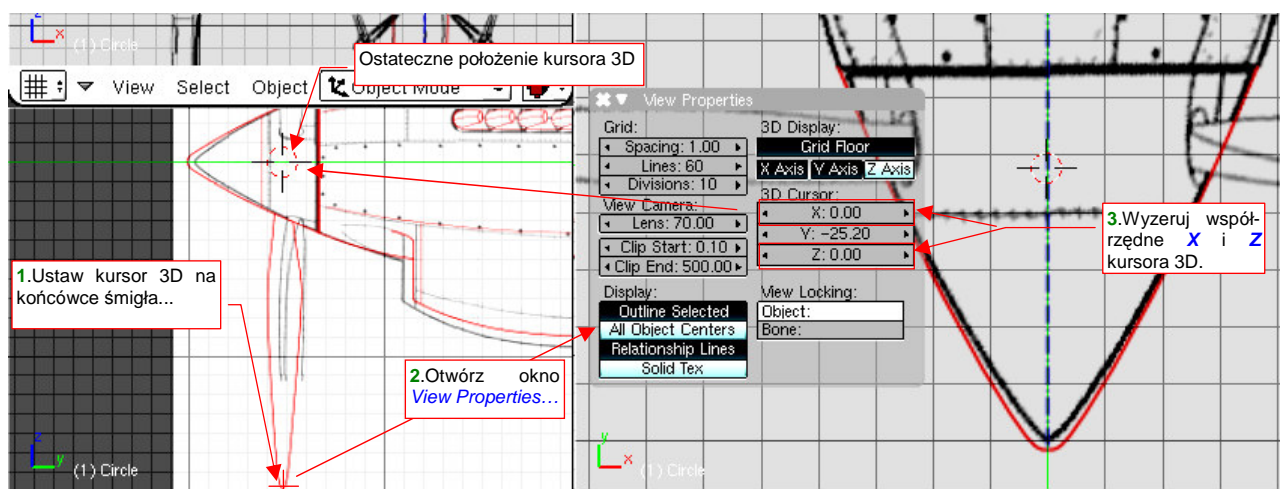
**Podsumownie**

- Siatki, które formuję, są wygładzone za pomocą powierzchni podziałowych *Catmulla-Clarka* (*Subsurf*)
- Metoda formowania, którą przedstawiam w tej książce, polega na osiągnięciu zamierzonego kształtu poprzez kolejne deformacje prostej siatki początkowej. Uważam, że ta droga jest wygodniejsza i bardziej elastyczna, od formowania "wszystkiego od razu" za pomocą siatek NURBS. Siatki uzyskane w ten sposób zawierają mniej błędów — znasz ich wszelkie "ukryte zakamarki".
- Do ostatecznego kształtu dochodzimy poprzez dodawanie i formowanie kolejnych sekcji (linii wierzchołków) siatki. Dodawanie odbywa się poprzez wytłoczenie krawędzi (*Extrude* — str. 93) lub wstawienie w środek siatki nowej sekcji (*Loopcut* — str. 95). Dalsze zmiany kształtu powierzchni realizuje się przekształcając poszczególne linie wierzchołków — zazwyczaj za pomocą przesunięcia lub zmiany skali. (W przyszłości dojdą jeszcze: obrót i przesuwanie pojedynczych węzłów siatki).
- Mimo wygładzenia powierzchniami podziałowymi, wybrane krawędzie można oznaczyć jako ostre (*cearse* — str. 98). Będzie to potrzebne, bo nawet opływowe kształty samolotów mają mnóstwo ostrych krawędzi.
- Każdy obiekt musi mieć nazwę. Proponuję przyjąć regułę: **<przedrostek>.<numer>.[p.]<nazwa>**, np. **B.005.Hub** (Szczegóły — str. 798)

### 4.3 Łopaty śmigła

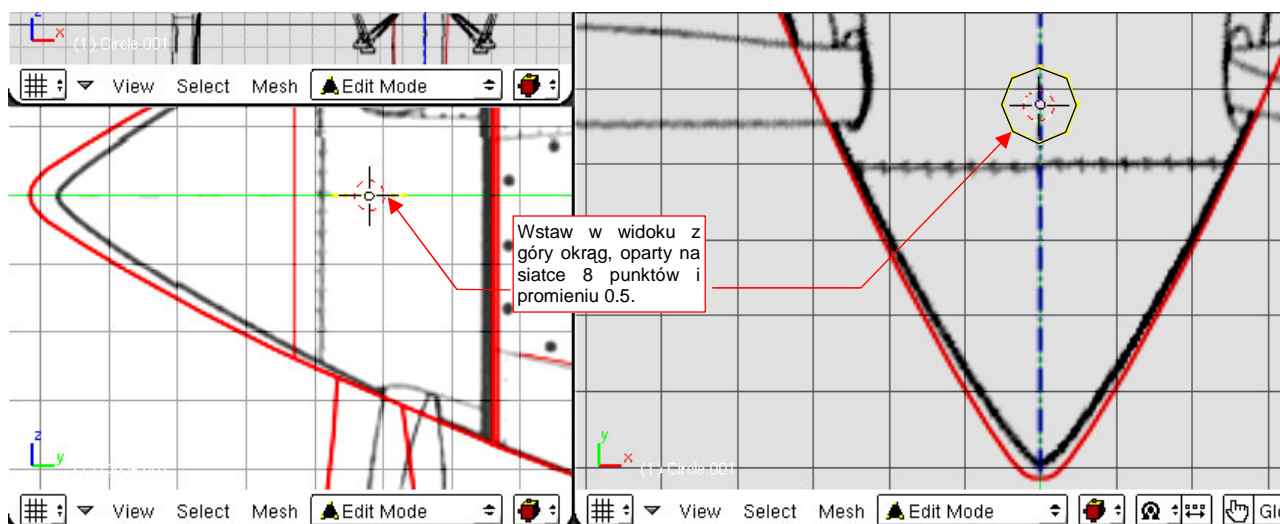
Zacniemy od ukształtowania pojedynczej łopaty śmigła. Będzie skierowana w dół, wzdłuż osi **Z**. Następnie powielimy ten obiekt dwa razy, tworząc zespół trzech łopat. Podobnie jak w przypadku kołpaka, na podstawie zdjęć naniosłem na plany zmodyfikowane kształt i położenie śmigła. Wśród fotografii wyszukałem ujęcie, w którym łopata była ustawiona (przynajmniej w przybliżeniu) prostopadłe do obiektywu. Jej obrys naniosłem na rzut z przodu. Obrys łopaty w rzucie z boku, oraz określenie położenia śmigła na kołpaku pochodzi ze zdjęcia z boku (Rysunek 9.2.12, str. 553)<sup>1</sup>.

Zmień widoczną warstwę z **1** na **2** (p. str. 75). Ustaw kursor 3D w miejscu, które odpowiada końcówce łopaty. Następnie w oknie *View Properties* wyzeruj współrzędne kursora: **X** i **Z**. W ten sposób najłatwiej jest umieścić kursor w odpowiednim miejscu na osi **Y** (Rysunek 4.3.1) :



Rysunek 4.3.1 Ustalenie środka łopaty śmigła — poprzez wyzerowanie wybranych współ.

Po ustaleniu pozycji kursora 3D wstaw początek łopaty — okrąg o promieniu 0.5 jednostki. Wystarczy, jeżeli będzie miał 8 wierzchołków. Okrąg wstaw w rzucie z góry (Rysunek 4.3.2):



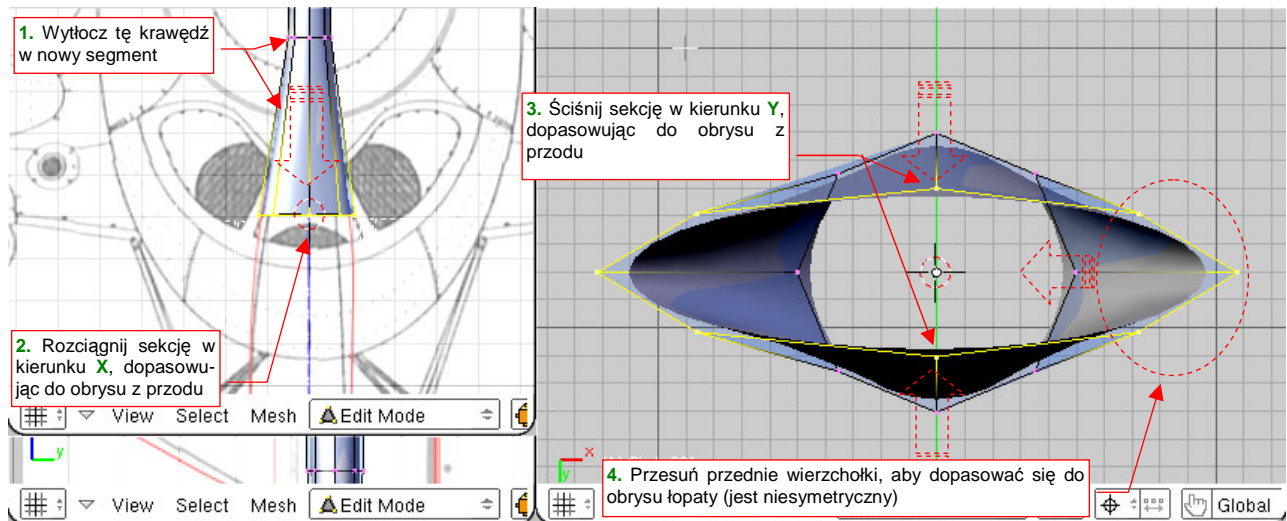
Rysunek 4.3.2 Wstawienie początkowego okręgu

<sup>1</sup> Śmigło jest bardzo skomplikowanym kształtem, traktowanym "po macoszemu" przez twórców planów modelarskich. Z dokładniejszymi rysunkami tego elementu, podającymi kolejne przekroje i kąty skręcenia, spotkałem się tylko na planach samolotów Ła-5 i MiG-3. Pochodziły z bardzo starych numerów miesięcznika "Modelist Konstruktor", wydawanych jeszcze w latach 80-tych, w ówczesnym ZSRR.

Wytłocz (**E** — *Extrude*) okrąg w dół osi **Z**, na odległość 2 jedn. Potem wytłocz kolejną krawędź wzdłuż osi **Z**, na odległość ok. 4 jednostek, tworząc kolejny segment (Rysunek 4.3.3). Następnie:

- rozciągnij ostatnią sekcję (poprzez zmianę skali) w kierunku **X** tak, by osiągnęła taką szerokość, jak szeroka była w tym miejscu łopata;
- spłaszcz tę sekcję w kierunku **Y**, tak by osiągnęła 30% szerokości;
- przesunij trzy wierzchołki z lewej trochę bliżej środka (by dopasować ich kształt do obrysu łopaty śmigła).

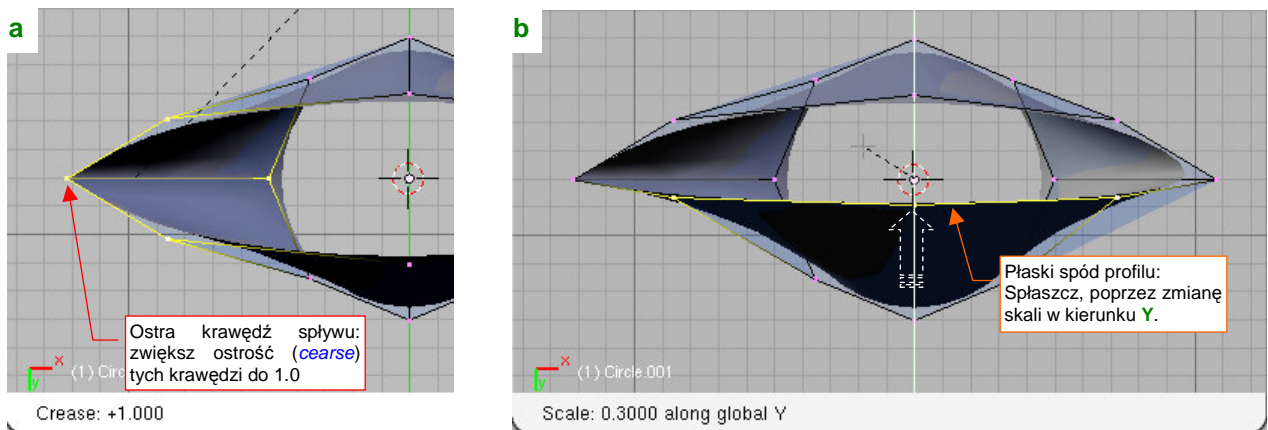
Powinien powstać kształt, przypominający końcówkę odkurzacza (Rysunek 4.3.3):



Rysunek 4.3.3 Początek formowania łopaty — pierwszy istotny przekrój poprzeczny.

Teraz przekształcimy kształt sekcji w coś, co będzie przypominać gruby profil lotniczy. W tym celu:

- zaznacz krawędzie wychodzące z punktu, który na profilu jest ostrym wierzchołkiem (Rysunek 4.3.4a), i zwiększ ich ostrość (**Shift-E**) do 1.0;
- zaznacz trzy dolne wierzchołki sekcji i spłaszcz je za pomocą zmiany skali (Rysunek 4.3.4b);



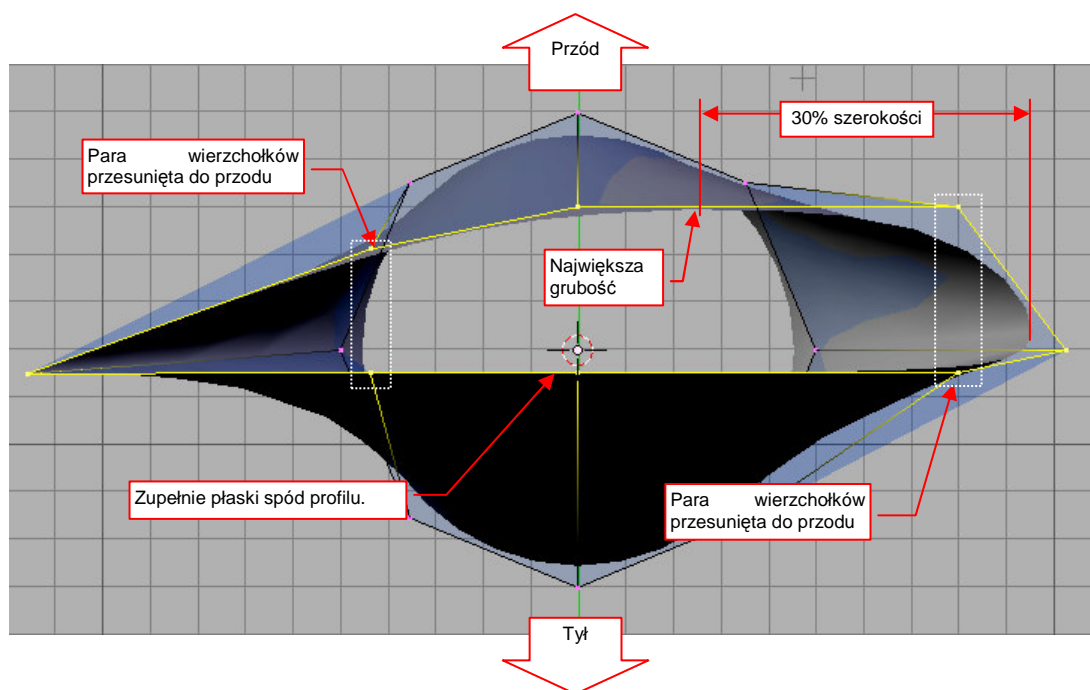
Rysunek 4.3.4 Przekształcanie elipsy w profil lotniczy

Nie wiem, jaki profil miało śmigło P-40. Zakładam, że był to, najczęściej spotykany w śmigłach, profil płasko-wypukły. (Tylna powierzchnia łopaty z takim profilem jest płaska)<sup>1</sup>.

<sup>1</sup> Takie profile są najczęściej stosowane w śmigłach, gdyż posiadają wyraźną płaszczyznę, względem której można określić kąt skręcenia łopaty. Śmigło ma na tyle skomplikowany kształt — skręconego, eliptycznego płata — że jego dokładne zamodelowanie jest trudne. Profil płasko-wypukły daje szansę warsztatowi wykonawczemu na dokładniejsze rozmieszczenie przekrojów wzdłuż osi podłużnej łopaty. Czasami można jednak spotkać profil wklęsło-wypukły (np. w śmigle *Heinkel He-111*)

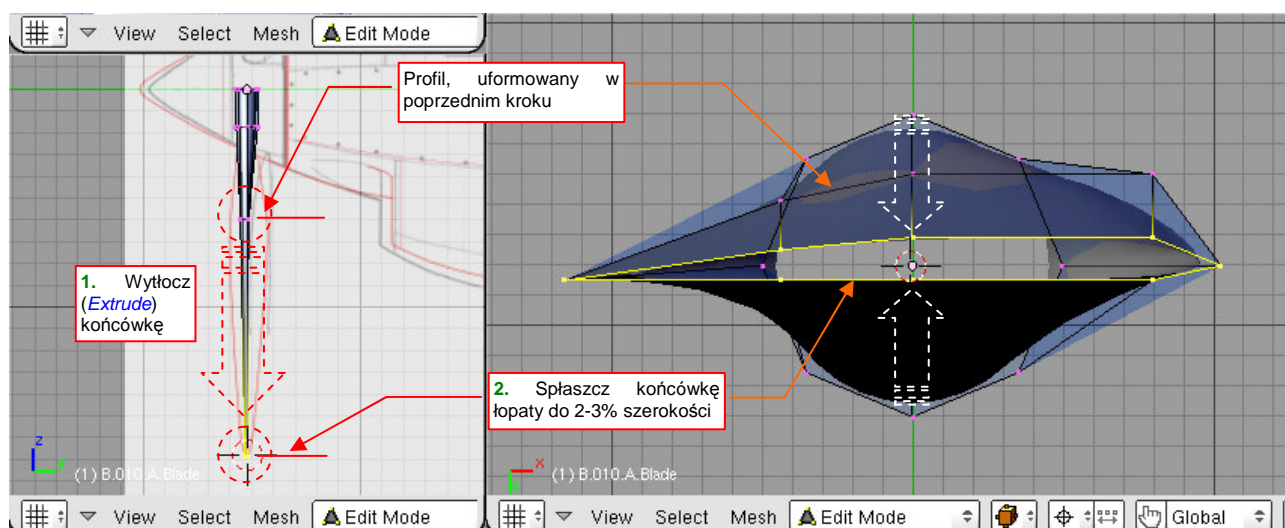
Rysunek 4.3.5 pokazuje ostateczny kształt przekroju łopaty śmigła. To profil, jaki występuje w okolicach 30% promienia (mierząc od osi obrotu). Możesz ten zarys traktować jako wzór dla innych śmigieł, których dokładna geometria nie jest Ci znana. Spód profilu tworzy linię prostą. Punkt, w którym przekrój jest najgrubszy, znajduje się w odległości ok. 30% od krawędzi natarcia.

Ostateczny kształt uzyskałem za pomocą kilku przesunięć wierzchołków siatki. Przesunięcia w kierunku **X** wykonałem parami — razem wierzchołki: górny i dolny<sup>1</sup>. Przedni, górny wierzchołek przesunąłem do góry (wzdłuż osi **Y**), aby przemieścić największe wybrzuszenie przekroju z 50% do 30% szerokości łopaty.



Rysunek 4.3.5 Uformowany profil przekroju łopaty

Wytłocz tak przygotowany profil do końca łopaty. Grubość łopaty śmigła wzdłuż osi **Z** ma się szybko zmniejszać. Zmniejsz więc grubość końcówki (poprzez zmianę skali w kierunku **Y**) do 2-3% szerokości (Rysunek 4.3.6):

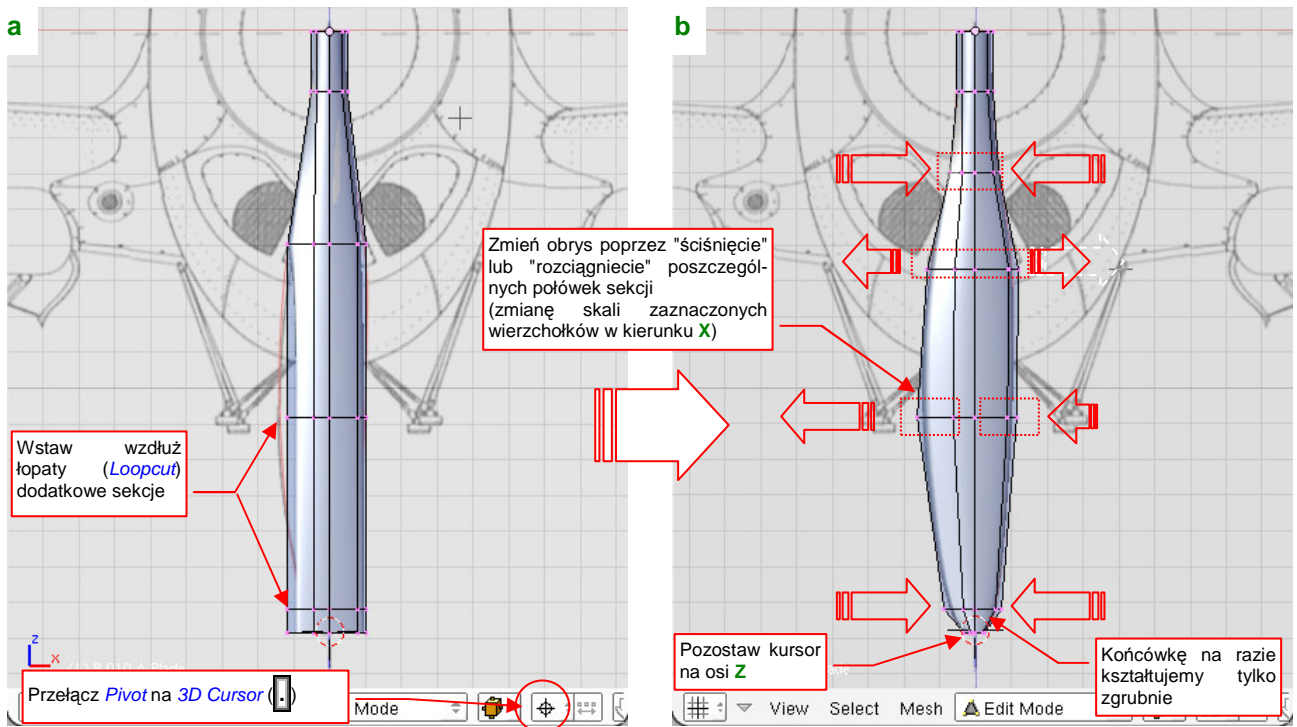


Rysunek 4.3.6 Wytłoczenie łopaty śmigła

<sup>1</sup> Przesuwanie takimi parami nie jest konieczne. Przydaje się jednak bardzo podczas dalszych przekształceń — np. bez tego nie wyjdzie uformowanie końcówki płata metodą, którą pokazuję na następnych stronach tej książki.

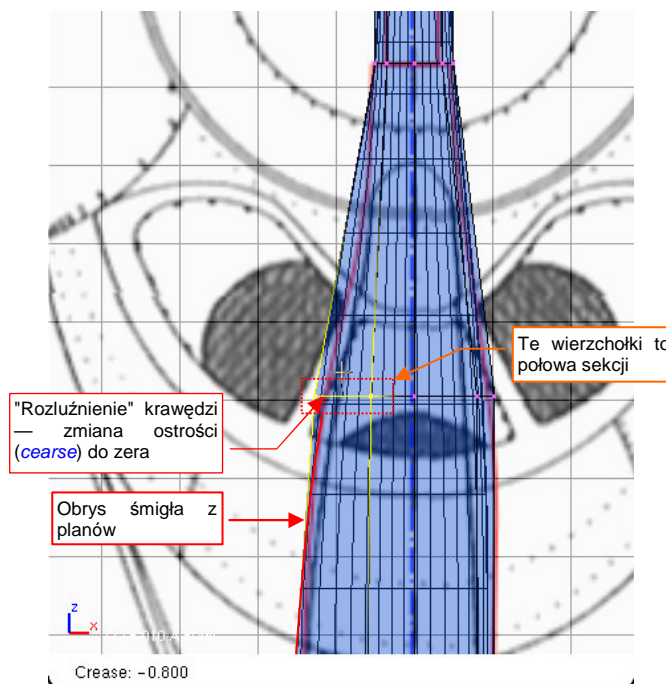


Po rozciągnięciu profili łopaty na pełną długość, wstaw w nią trzy dodatkowe sekcje (Rysunek 4.3.7a). Dalsze formowanie najwygodniej jest przeprowadzić w trybie wyświetlania *Wireframe*. W tym trybie dobrze widać w nim narysowany kształt, do którego mamy dopasować krawędzie siatki (Rysunek 4.3.8). Do docelowego obrysu najłatwiej się dopasować, zmieniając skalę (w kierunku **X**) połówek poszczególnych sekcji łopaty (Rysunek 4.3.7b). Punktem odniesienia skalowania musi być koniecznie kursor 3D, umieszczony na osi **Z!** (Przełącz *Pivot* na *3D Cursor* — Rysunek 4.3.7a). Dodatkowo niektóre sekcje można także nieco przesunąć wzdłuż osi **Z**.



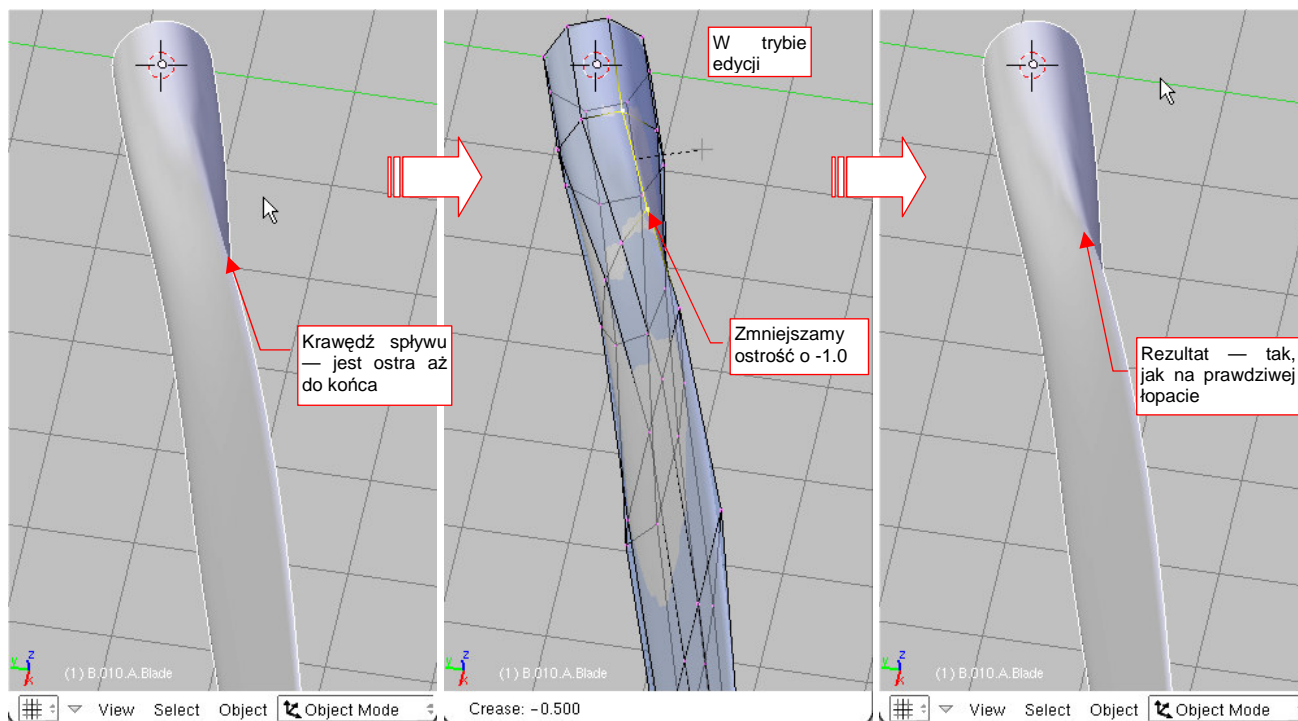
Rysunek 4.3.7 Kształtowanie obrysu łopaty z przodu

Przy okazji usuń "ostrość" z dwóch krawędzi, na których nie jest już potrzebna, a na których ją ustawiliśmy (p. Rysunek 4.3.4a, str. 101). Zmniejsz tam wartość *crease* o **-1.0** (z 1.0 do 0.0 — Rysunek 4.3.8):



Rysunek 4.3.8 Szczegóły kształtowania obrysu łopaty

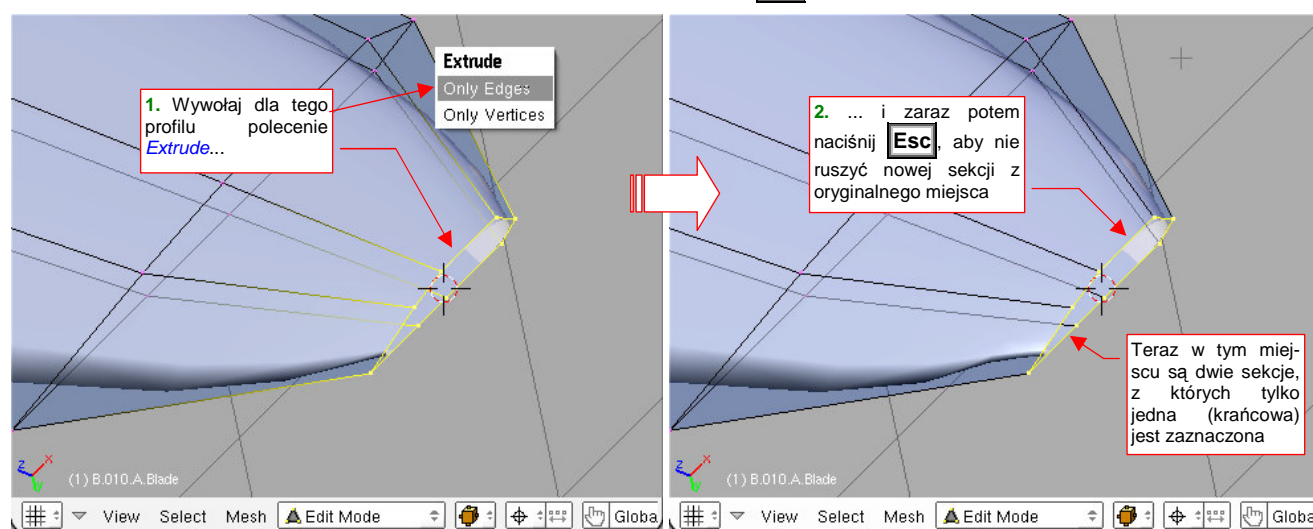
Obiekt zaczyna już przypominać swój pierwowzór. Gdy obejrzysz go ze wszystkich stron, znajdziesz miejsca, gdzie są potrzebne drobne korekty. Popatrz, na przykład, na początek krawędzi spływu (Rysunek 4.3.9). W naszym modelu krawędź spływu zachowuje ostrość niemal do końca — do osi obrotu. Ze zdjęć wynika jednak, że w pobliżu kołpaka śmigła rozchodziła się bardziej płynnie, przechodząc w coraz większy promień krzywizny. Należy to poprawić, poprzez zmianę ostrości (*crease*) jednej z krawędzi siatki:



Rysunek 4.3.9 Zaokrąglanie przejścia krawędzi spływu w podstawę płata

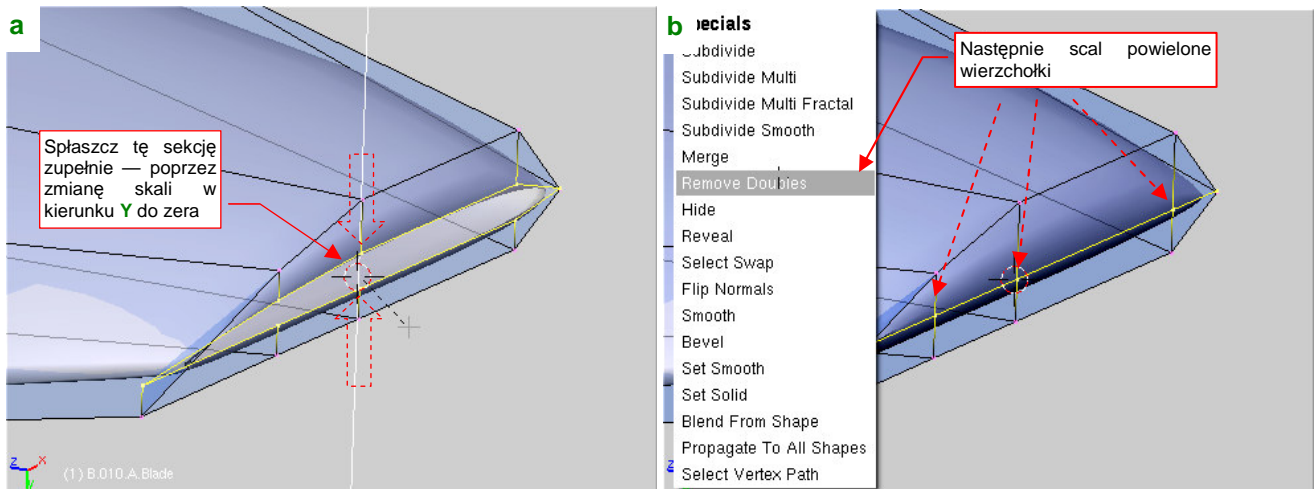
Pora na uformowanie zaokrąglonej końcówki łopaty. Metod uzyskania takiego kształtu jest wiele, tu zaproponuję jedną z nich. Uważam, że jest dobra, gdyż nie wymaga dodania zbyt dużej liczby nowych wierzchołków.

Zaczynamy od wytłoczenia końcówki w nową sekcję. Tym razem jednak nie przesuwaj nowego rzędu wierzchołków w jakieś inne położenie: zaraz po wytłoczeniu naciśnij **Esc** (Rysunek 4.3.10):



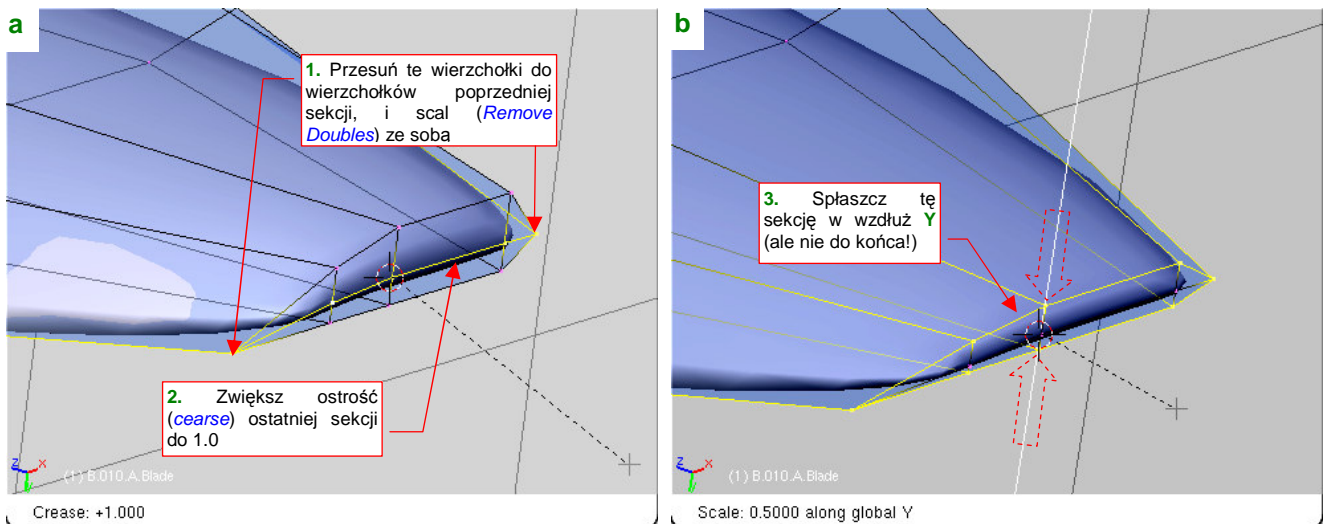
Rysunek 4.3.10 Dodanie nowej sekcji — wytłoczenie i pozostawienie jej w tym samym miejscu

Zaraz potem (nowa sekcja jest nadal zaznaczona) włącz zmianę skali w kierunku **Y** (**S**, **Y**), i zmniejsz grubość sekcji do zera (Rysunek 4.3.11a):



Rysunek 4.3.11 Przekształcanie ostatniej sekcji z pętli w pojedynczą linię

W tej chwili w każdym miejscu "ściśniętej" linii znajdują się dwa wierzchołki. Scalmy je ze sobą (**W**, **Remove Doubles** — Rysunek 4.3.11b) .



Rysunek 4.3.12 Kształtowanie sekcji końcówki łopaty — c.d.

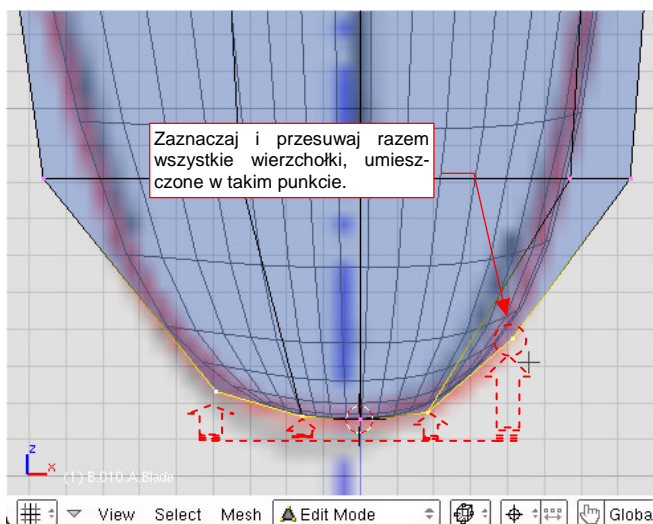
W ten sposób przekształciliśmy ostatnią sekcję z "pętli" w pojedynczą "linię" wierzchołków. Następnie:

- Przesuń końce krańcowej linii tak, by znalazły się w tym samym miejscu, co końce poprzedniej sekcji (Rysunek 4.3.12a);
- Scal te wierzchołki (**Remove Doubles**), aby krańcowa linia stała się przedłużeniem krawędzi natarcia i krawędzi spływu;
- Zwiększ ostrość (**cearse**) tej linii do 1.0 (Rysunek 4.3.12a);
- Zmniejsz grubość poprzedniej sekcji, aby zmniejszyć promień zaokrąglenia końcówki (Rysunek 4.3.12b).

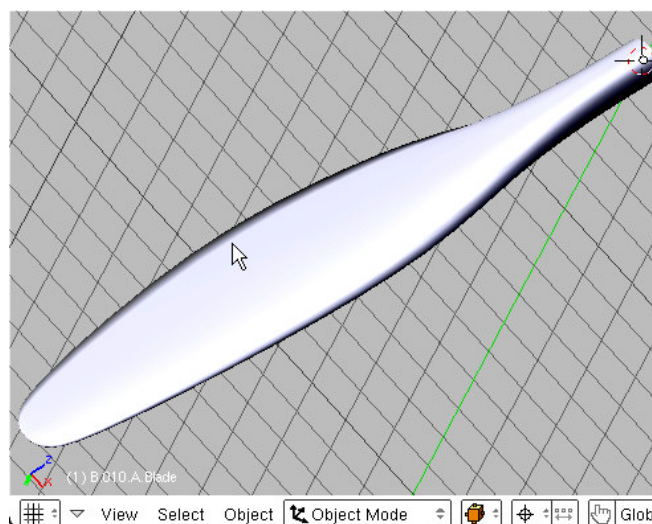
Zamkniliśmy w ten sposób siatkę łopaty śmigła, uzyskując na końcu odpowiednią grubość.



Pozostaje tylko poprzesuwać odpowiednie grupy wierzchołków w rzucie z przodu, by dopasować się do obrysu z planów (Rysunek 4.3.13):



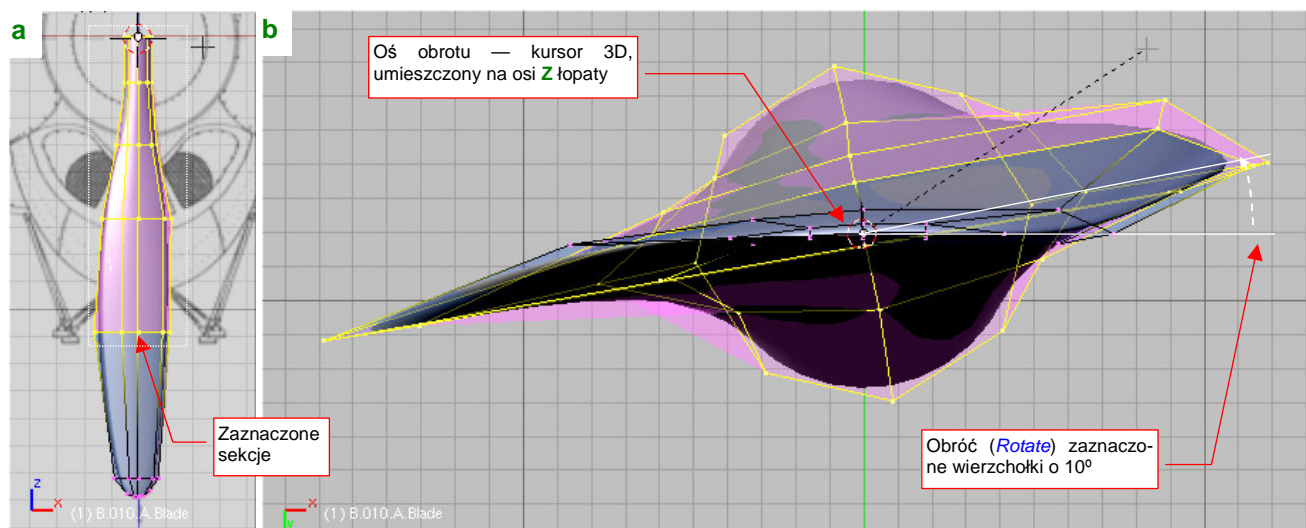
Rysunek 4.3.13 Zaokrąglanie końcówki łopaty.



Rysunek 4.3.14 Uformowana łopata śmigła.

Na tym etapie uzyskaliśmy już właściwie uformowaną łopatę śmigła (Rysunek 4.3.14).

Pozostaje ją skrócić wzdłuż osi **Z**. Końcówkę łopaty pozostawimy nie skręconą — to będzie nasza "baza". Całkowity kąt skręcenia łopaty śmigła — od końca do nasady — to zazwyczaj 30-40°. Rośnie w miarę równomierne wzdłuż osi **Z**, choć nieco szybciej w pobliżu osi obrotu. Najprościej takie narastające skręcenie uzyskać metodą kolejnych skręceń o podobny kąt. Na początek zaznacz prawie wszystkie sekcje, poza końcówką (Rysunek 4.3.15a):

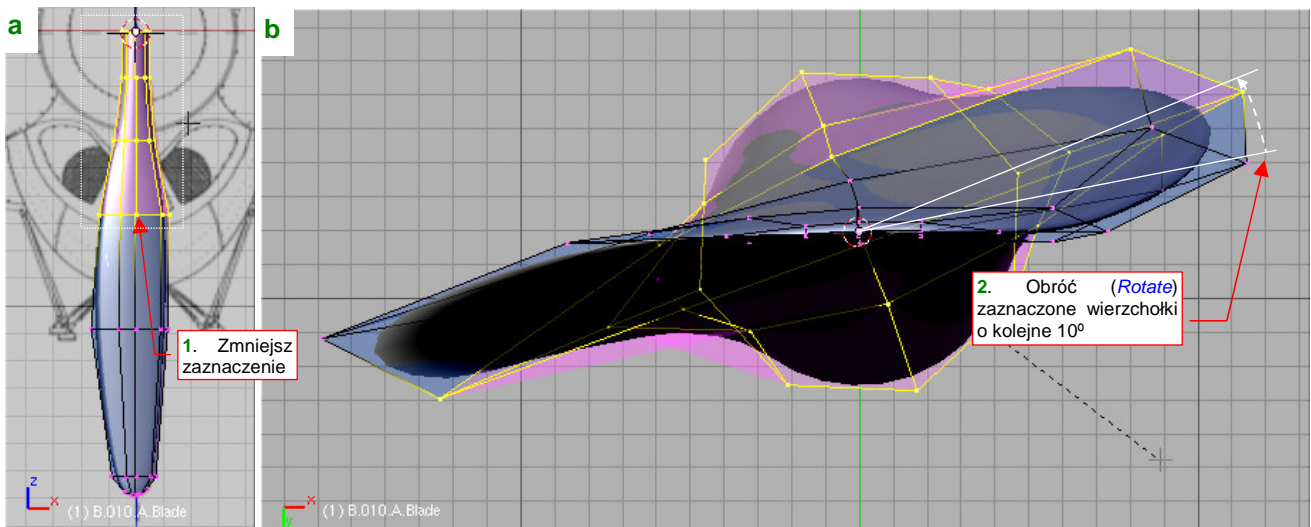


Rysunek 4.3.15 Skręcanie łopaty śmigła — początek

Punktem odniesienia obrotu ma być kursor 3D, umieszczony w środku łopaty. Obróć (**R**), szczegóły — str. 864) zaznaczone sekcje o 10° (Rysunek 4.3.15b).

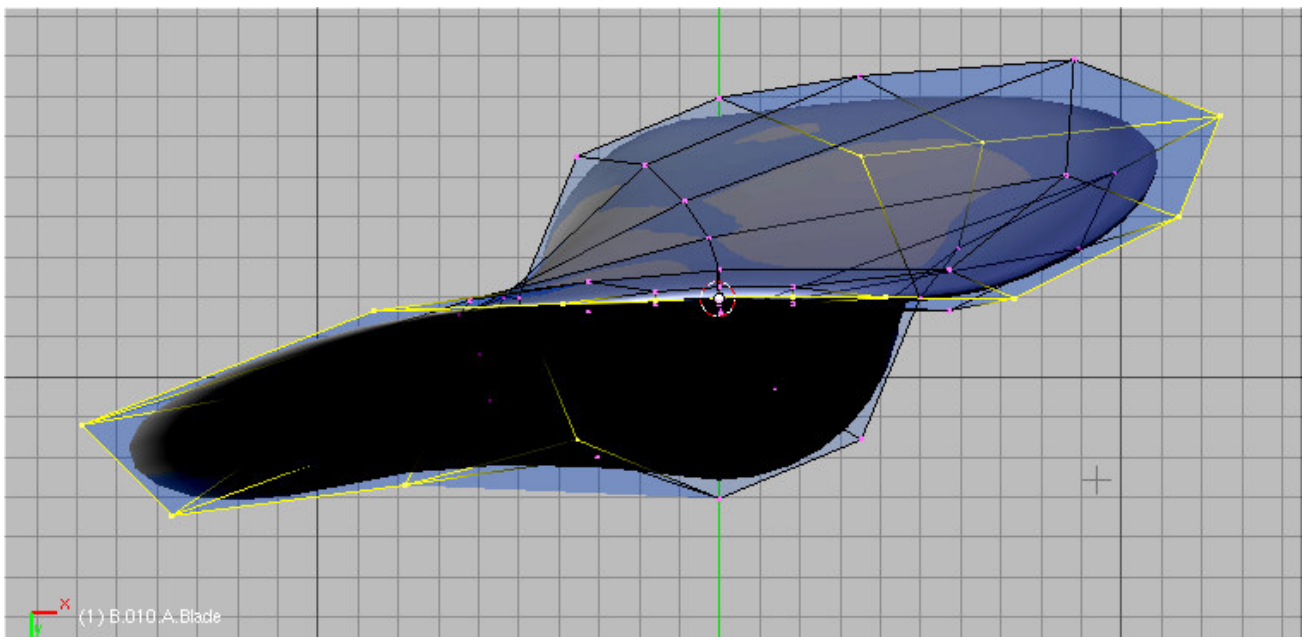


Teraz wyklucz z zaznaczenia krańcową sekcję (Rysunek 4.3.16a), i powtórnie wykonaj obrót zaznaczenia o kolejne  $10^\circ$  (Rysunek 4.3.16b):



Rysunek 4.3.16 Skręcanie łopaty śmigła — następny krok

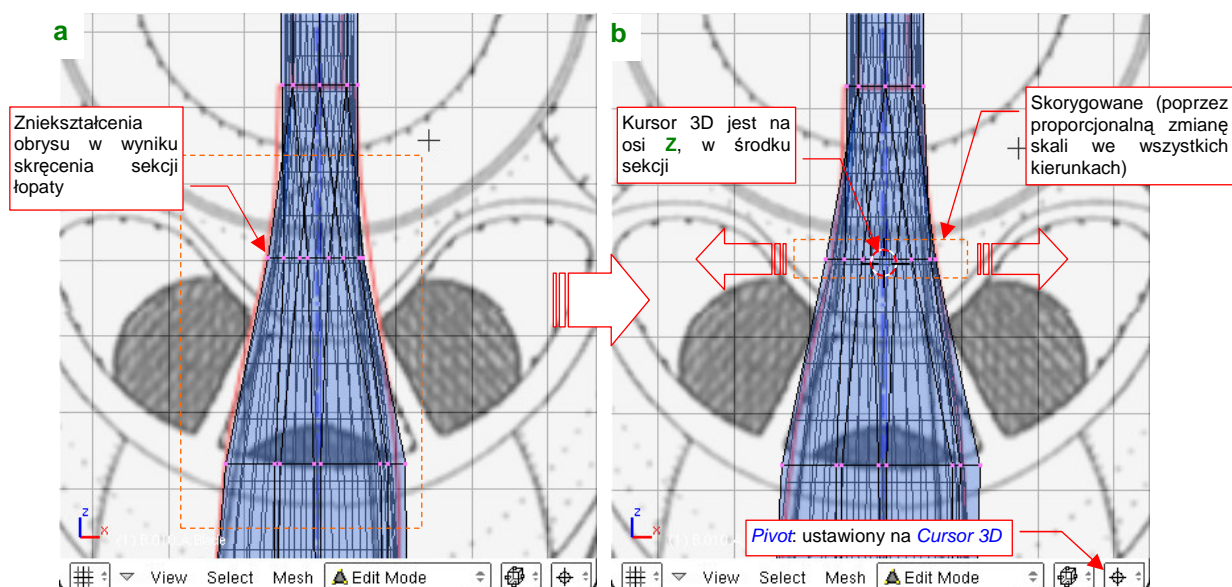
Powtórz tę operację, za każdym razem zmniejszając obszar selekcji o kolejną sekcję. Rysunek 4.3.17 pokazuje ostateczny efekt skręcenia (osiągnięty po obróceniu ostatniej sekcji)



Rysunek 4.3.17 Ostateczny efekt skręcenia łopaty śmigła

Skręcenie łopaty nie spowodowało zaburzeń w większej części obrysu z przodu. Problemy tego typu wystąpią w pobliżu nasady śmigła, gdzie kat obrotu sekcji jest już duży (waha się pomiędzy  $30$  i  $45^\circ$ ). To spowodowało pewne zmiany w obrysie śmigła, która przestała "pasować" do planów (Rysunek 4.3.18a).

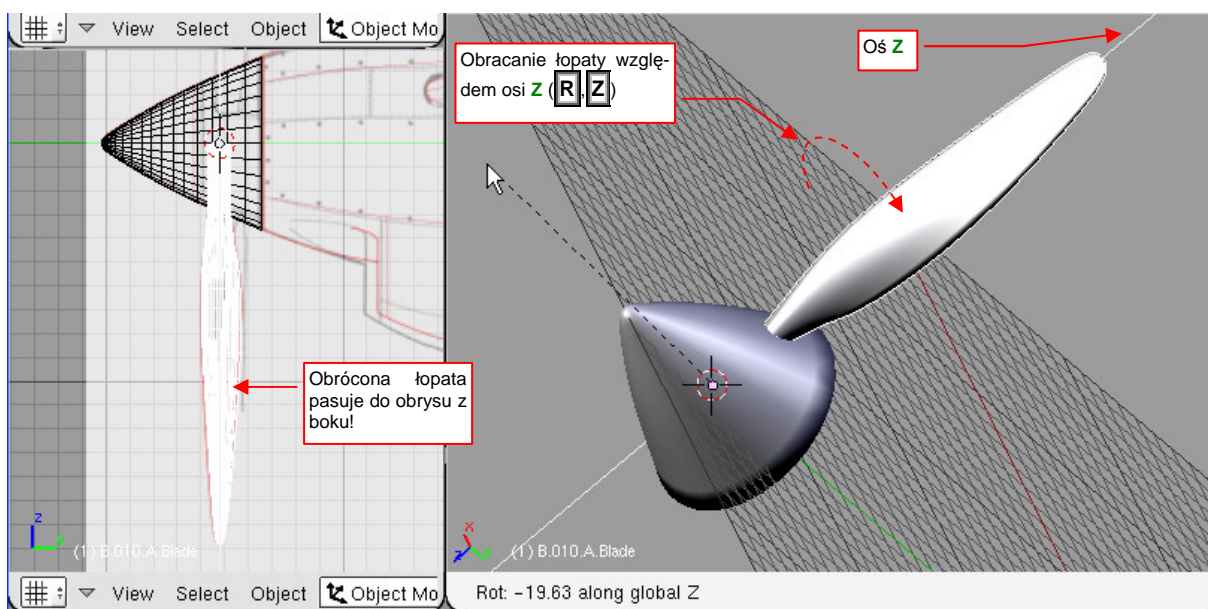
Najprościej jest to poprawić, zmieniając skalę sekcji, która się znajduje w tym obszarze (Rysunek 4.3.18b). Aby nie naruszyć osi łopaty, należy wcześniej umieścić kursor 3D na osi **Z**, w miejscu gdzie przecina zmienianą sekcję. Podczas skalowania punktem odniesienia musi być oczywiście kursor 3D (*Pivot: 3DCursor*).



Rysunek 4.3.18 Poprawianie obrysu w miejscu, gdzie łopata wyraźnie zmieniła kształt (w wyniku skręcenia)

Pierwsza łopata śmigła jest gotowa! Przełącz się z trybu edycji w tryb obiektu (*Object Mode*, **Tab**). Włącz dodatkowo widoczność warstwy 1, na której umieściliśmy kołpak śmigła, aby zobaczyć rezultat.

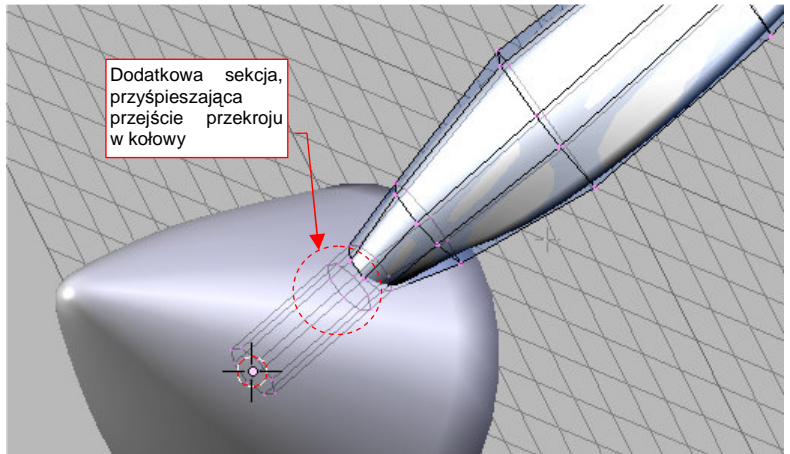
P-40 miał śmigło o zmiennym skoku. Oznacza to, że podczas lotu łopata mogła się obracać wokół osi  $Z^1$ . W jakim zakresie kątów? Na pewno większym, niż ten, w którym formowaliśmy łopatę — na razie kąt natarcia końcówki wynosi  $0^\circ$ . W niektórych źródłach można się doczytać, że w użytym śmigle *Curtiss Electric* kąt zaklinowania łopaty można było zmieniać od  $24$  do  $49^\circ$ . Obróćmy więc nasz obiekt o  $24^\circ$  wokół osi Z (**R**, **Z**) — w "położenie startowe" (Rysunek 4.3.19):



Rysunek 4.3.19 Ustawianie kąta natarcia łopaty

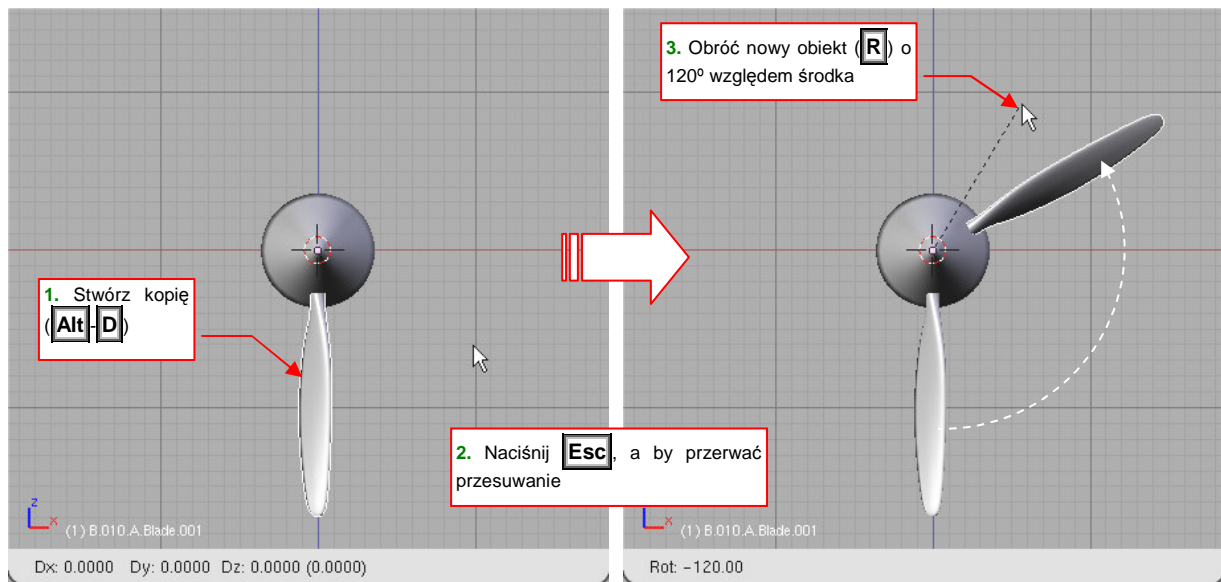
<sup>1</sup> Tylko w ten sposób można przynajmniej zbliżyć śmigło do optymalnych warunków pracy. Podczas startu łopaty są ustawione pod niewielkim kątem w stosunku do płaszczyzny śmigła (mały skok). Podczas lotu z prędkością maksymalną łopaty są ustawione pod największym kątem. Dzieje się tak dlatego, że śmigło najlepiej pracuje, gdy powietrze opływa jego sekcję pod kątem kilku stopni. Kąt napływu powietrza na łopatę śmigła zależy od prędkości lotu i liczby obrotów silnika.

Jak zwykle po wykonaniu jakiegoś detalu warto go obejrzeć z różnych stron. W wyniku porównań ze zdjęciami, stwierdziłem że łopata śmigła w P-40B/C miała, w okolicy kołpaka śmigła, przekrój niemal okrągły. Musiałem więc dodać (*Loopcut*) dodatkową sekcję tuż za dotychczasową. W ten sposób przyspieszyłem w tym miejscu przejście kształtu z "profilu lotniczego" w "rurę" (Rysunek 4.3.20).



Rysunek 4.3.20 Drobne poprawki u podstawy

Czas nazwać nasz obiekt — niech to będzie **B.010.A.Blade**. Litera "A" w nazwie wynika stąd, że śmigło miało trzy łopaty: rozróżnimy je literami **A**, **B**, **C**. Drugą i trzecią łopatę stworzymy jako powiązaną kopię (**Alt-D**: *Duplicate Linked* — str. 786) łopaty A (Rysunek 4.3.21):



Rysunek 4.3.21 Powielanie łopaty śmigła

Nowo stworzony obiekt obracamy (względem kursora 3D, umieszczonego w osi śmigła) o  $120^\circ$ . Nadaj mu nazwę **B.010.B.Blade**. Podobnie utwórz trzecią łopatę — **B.010.C.Blade**.

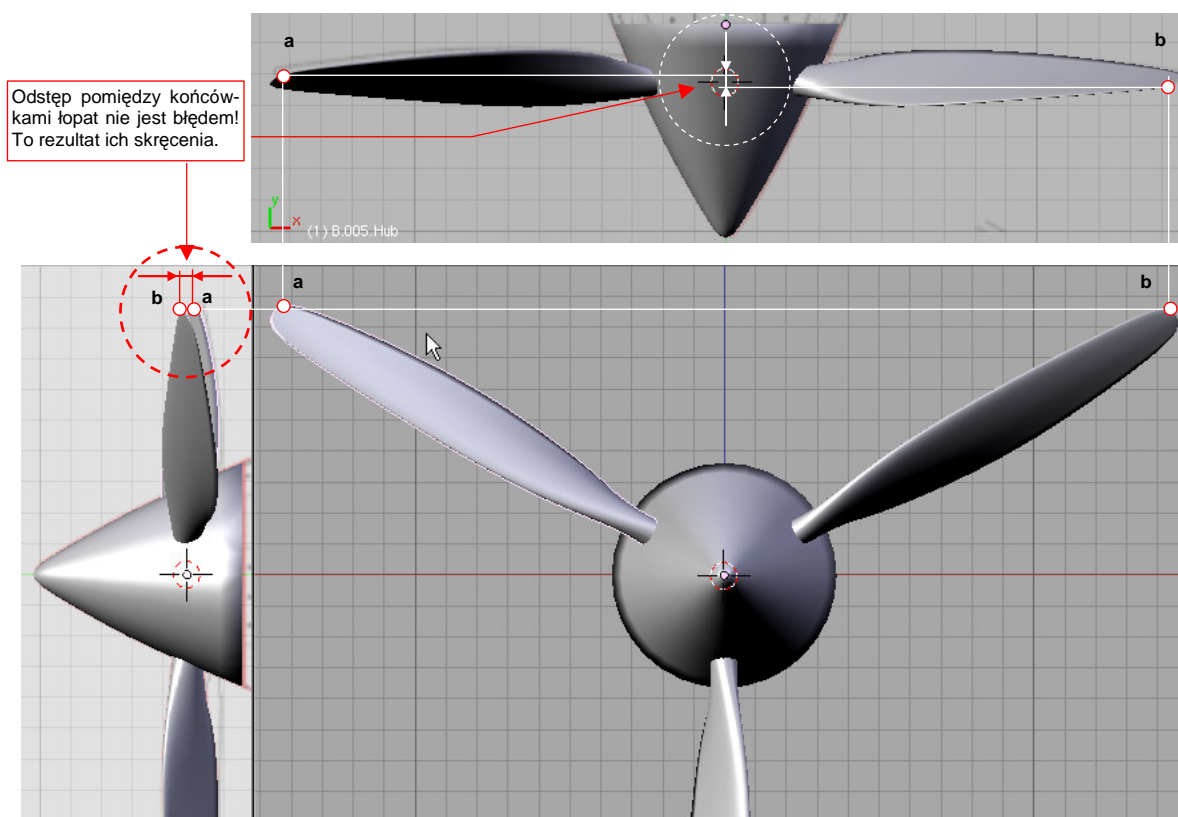
Każda z łopat jest połączoną kopią pierwowzoru. Dzięki temu zmiana kształtu siatki jednej z nich zmieni natychmiast kształt pozostałych (gdyż używają tej samej siatki). Jeżeli jesteś ciekaw, dlaczego — patrz "Struktura modelu w Blenderze", str. 565. Pewnym mankamentem takiego "klonowania" jest brak możliwości przypisania każdej z łopat indywidualnych tekstur czy współrzędnych UV. Na ostatecznym renderingu będą musiały wyglądać identycznie<sup>1</sup>.

Od razu po stworzeniu nowego elementu, należy wskazać mu jego miejsce w hierarchii części. Przypisz wszystkie trzy łopaty do kołpaka (**Ctrl-P**: *Make Parent* — str. 800).

<sup>1</sup> Jeżeli to Ci przeszkadza — zawsze możesz "odłączyć" taki obiekt od pierwowzoru. Wystarczy utworzyć lokalną kopię siatki (p. str. 565 i dalsze)



Na zakończenie warto wspomnieć o zaskakującym (przynajmniej dla mnie) efekcie geometrycznym. Zawsze na rysunkach samolotu, jakie widziałem, trójłopatowe śmigła rysowane były tak, że w rzucie z boku jedna łopata zasłaniała drugą. Gdy po raz pierwszy stworzyłem trójłopatowe śmigło w Blenderze, i obejrzałem je w widoku z boku (jak Rysunek 4.3.22), byłem zaskoczony, że łopaty nie do końca się zasłaniają. Czy to miałyby znaczyć, że się gdzieś pomyliłem?



Rysunek 4.3.22 Zaskakujący efekt geometryczny — odsunięcie końcówek łopat!

Sprawdziłem wówczas wszystkie kąty skręcenia, położenia, środki — i nic! Potem zacząłem dokładnie analizować sprawę. Rysunek 4.3.22 pokazuje rezultat analizy — jest to zupełnie poprawny efekt skręcenia łopat śmigła. Nie występuje tylko wtedy, gdy skok śmigła jest równy zero. Wygląda na to, że nikt z kreślarzy planów modelarskich nie uświadomił sobie wcześniej, że trójłopatowe śmigło w rzucie z boku właśnie tak wygląda!

### Podsumownie

- Nawet najbardziej skomplikowane kształty — jak łopata śmigła — można uzyskać drogą stopniowego przekształcania bardzo prostego kształtu "wyściowego".
- Na razie poznałeś dwie metody dodawania nowych wierzchołków: na krawędzi — wyłaczanie (*Extrude* — str. 102). W środku siatki — wstawianie (*Loopcut* — str. 103).
- Podstawowymi metodami edycji wierzchołków są: przesunięcie (*Grab* — str. 860), zmiana skali (*Scale* — str. 105), obrót (*Rotate* — str. 106). Dodatkowo często stosuję zmianę ostrości krawędzi (*cearse*), oraz scalanie (*Remove Doubles*).
- Elementy, których kształt się powtarza (jak łopata śmigła) opłaca się tworzyć jako kopie powiązane (*Duplicate Linked* — str. 109). W ten sposób łatwiej jest je zmieniać, gdyż zmiana jednej powoduje zmianę pozostałych.
- Ważnym elementem formowania modelu jest tworzenie hierarchii obiektów, poprzez przypisanie nowo utworzonego obiektu do obiektu nadrzędnego (*Parent*) (str. 800).
- Końcówki łopat śmigła w rzucie z boku mogą się nie pokrywać — i to nie jest błąd (str. 110).

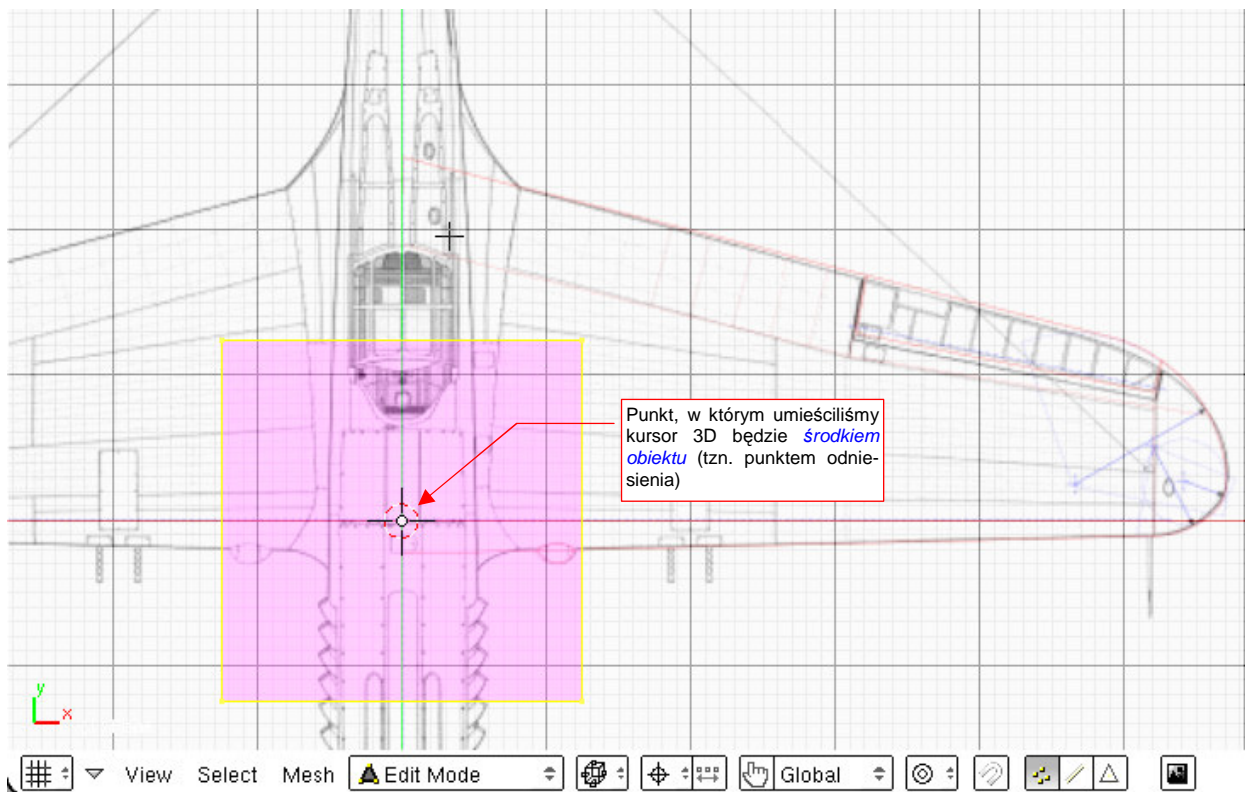


#### 4.4 Skrzydło — kształt podstawowy

Skrzydło można by w zasadzie uformować w sposób podobny do tego, który zastosowaliśmy do stworzenia łopaty śmigła. Zaczniemy od stworzenia profilu początkowego, który później wyłoczymy (*Extrude*) w podstawowy kształt płata — trapez. Zazwyczaj w opisach konstrukcji samolotu można znaleźć szczegółowe informacje, jaki profil lotniczy został w niej zastosowany. W przypadku P-40 był to: NACA-2215 u nasady i NACA-2209 na końcówkach. Obrys NACA-2215 centroplata naniósłem na plany (por. Rysunek 9.2.14, str. 555). NACA-2209 to w istocie "spłaszczony" o 40% NACA-2215 (więcej na ten temat znajdziesz na str. 590, w dodatku "Kształt profili lotniczych (metody odwzorowania)", a o rodzinie profili NACA — na str. 592).

Kształt profilu płata można odwzorować za pomocą linii podziałowej, opartej na siatce złożonej z niewielu (nawet kilkunastu) punktów. Czy należy się koncentrować na uzyskaniu siatki o jak najmniejszej liczbie wierzchołków? Można do tego dążyć. Tylko, mimo pozorów, taki efekt nie będzie najwygodniejszy na dalszych etapach pracy. Najlepiej jest, gdy jak najwięcej linii siatki skrzydła pokrywa się z głównymi liniami konstrukcyjnymi, widocznymi na planach. To ułatwia rysowanie tekstur łączenia blach i nitów, a także wykonywanie otworów - lotki, klapy, czy podwozia. Formowanie płata zaczniemy więc od narysowania płaskiego, "testowego" trapezu, który pozwoli nam "przymierzyć" położenie wierzchołków wzdłuż profilu płata.

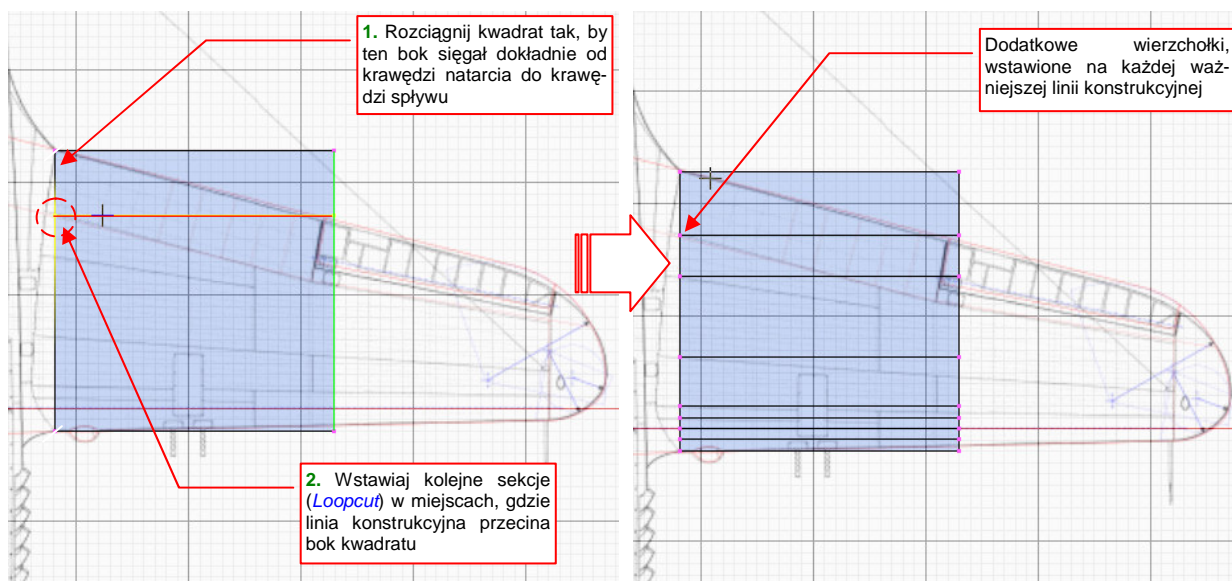
Sądzę, że najlepszym miejscem na środek (punkt odniesienia) płata będzie punkt o współrzędnych  $X=0, Y=0$ <sup>1</sup>. Umieść tam kursor 3D. Następnie wstaw w tym punkcie, w rzucie z góry, kwadrat (*Add→Mesh→Plane* — str. 788). W trybie edycji powiększ go do rozmiarów porównywalnych z płatem (Rysunek 4.4.1):



Rysunek 4.4.1 Początek formowania płata — kwadrat

<sup>1</sup> W końcu od początku to planowaliśmy — por. wybór punktu "bazowego" na str. 92.

Przesuń kwadrat ponad płat. (w trybie edycji — środek obiektu pozostaje w tym samym miejscu!) Powiększ go proporcjonalnie (względem lokalnego środka - ustaw *Pivot* na *Bounding Box Center*) tak, by jeden z jego boków stał się cięciwą płata w pobliżu kadłuba (Rysunek 4.4.2):

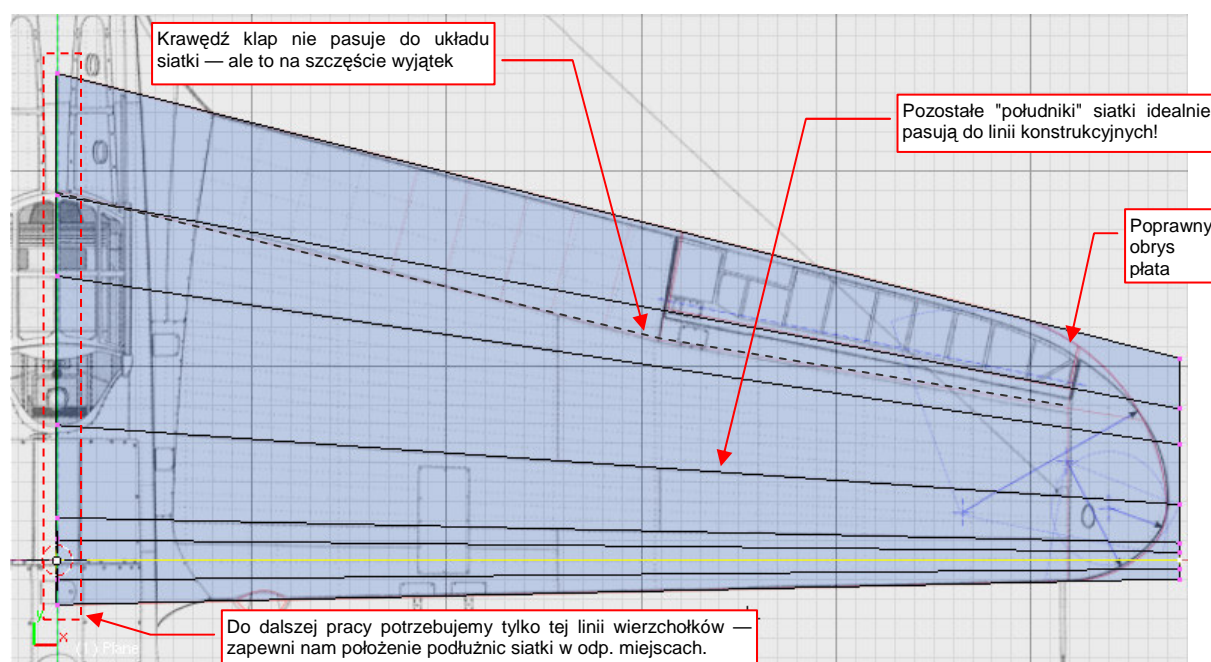


Rysunek 4.4.2 Nanoszenie linii, odpowiadających podłużnicom płata

Wstaw (za pomocą polecenia *Loopcut*) dodatkowe sekcje, dzielące obrys. Umieść je wszędzie tam, gdzie linia konstrukcyjna przecina lewy bok kwadratu (Rysunek 4.4.2). Potem:

- przesuń prawy bok kwadratu do końca rozpiętości płata (tzn. w kierunku **X**, w lewo);
- zmniejsz jego rozmiar (względem kursora 3D, **Y=0**) w kierunku **Y** tak, by obrys trapezu pokrył się z krawędziami płata;
- dosuń lewy bok kwadratu do osi kadłuba;
- zwiększ jego rozmiar (względem kursora 3D, **Y=0**) w kierunku **Y** tak, by obrys trapezu pokrył się z krawędziami płata;

Rysunek 4.4.3 pokazuje efekt tych operacji:

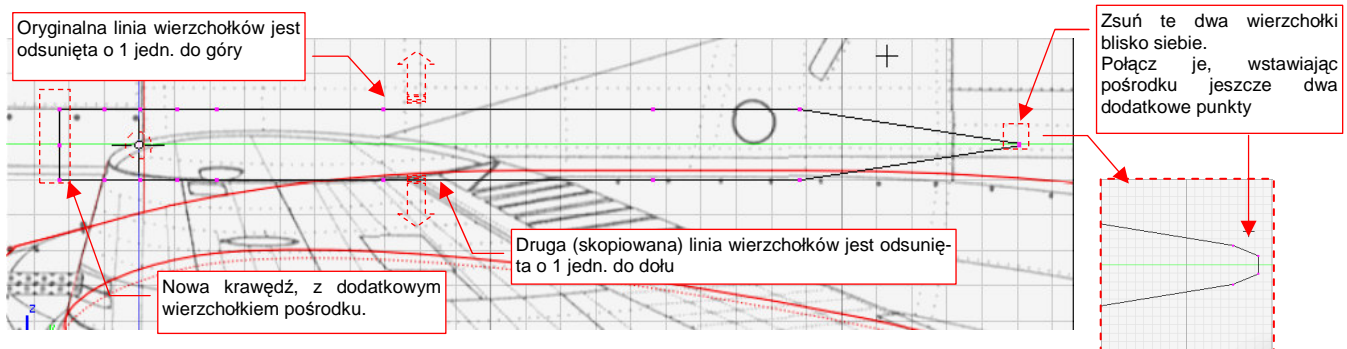


Rysunek 4.4.3 Trapez "testowy" — sprawdzania możliwości odwzorowania podłużnic płata

Wierzchołki, połączone liniami siatki, są umieszczone w tej samej proporcji (% ciętywi płata) na obydwu krańcach trapezu. Rysunek 4.4.3 pokazuje, że te "południki" niemal idealnie pasują do odpowiednich linii konstrukcyjnych (bo je zasłaniają). Ten efekt nie jest przypadkowy. Każdy inny kierunek na wypukłej powierzchni płata nie jest linią prostą. Podłużnica, która nie biegnie w kierunku "południkowym" jest w prawdziwym samolocie o wiele trudniejsza do wykonania. Co prawda tam, gdzie wypukłość płata jest niewielka — w pobliżu krawędzi spływu — mogą się zdarzyć podłużnice biegnące w innym kierunku. Rysunek 4.4.3 pokazuje, że w P-40 były to krawędzie klap. Technolodzy zgadzają się na takie rozwiązania, gdyż krzywizna takich linii jest niezwykle mała. W praktyce to są także linie proste.

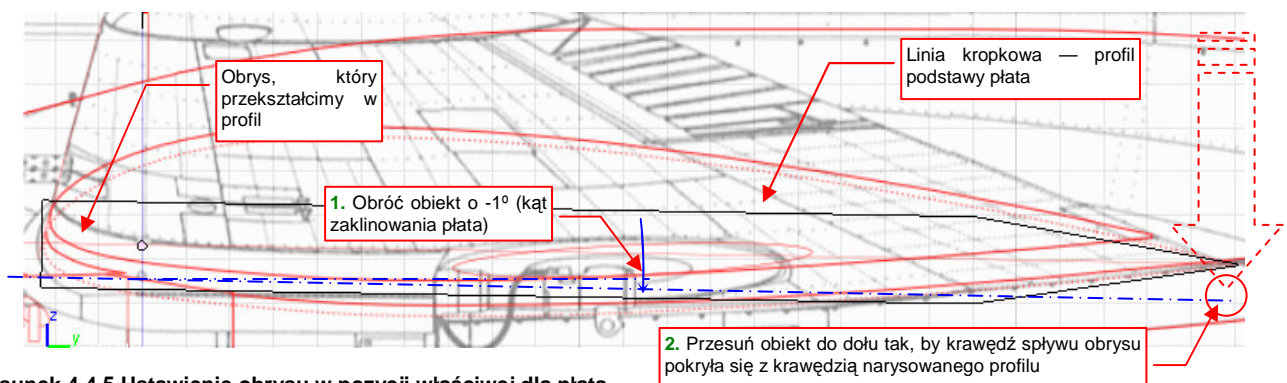
Jedynym elementem testowego trapezu, którego potrzebujemy do dalszej pracy, jest linia biegnąca wzdłuż osi samolotu, u nasady płata (Rysunek 4.4.3) . Przekształcimy ją w profil centroplata. Usuń wszystkie pozostałe wierzchołki siatki. Następnie, w rzucie z boku:

- skopiuj wierzchołki pozostawionej linii w nową linię (**Shift-D**, *Mesh→Duplicate*, str. 871) , i przesun o 1 jednostkę do dołu;
- połącz obydwa krańce tych linii dodatkowymi krawędziami (**F**, *Mesh→Edges→Make Edge/Face*, str. 885) ;
- podziel te nowo utworzone krawędzie za pomocą dodatkowych wierzchołków (**W**, *Mesh→Edges→Subdivide*, str. 873) .



Rysunek 4.4.4 Obrys, przygotowany do przekształcenia w profil

Rysunek 4.4.4 przedstawia obrys, który powinieneś przygotować . Przednia krawędź ma wierzchołek dokładnie w połowie długości, czyli dla  $Z = 0$ . Powstanie z niego linia krawędzi natarcia. Tylne połączenie obrysów: górnego i dolnego, składa się aż z 4 wierzchołków. Powstanie z nich krawędź spływu. Te cztery wierzchołki ustaw tak, jak na ilustracji — ich wysokość nie powinna przekroczyć 0.05 jednostki Blendera (czyli 5 mm na "prawdziwym" samolocie). Po włączeniu wygładzenia powierzchni, utworzą zaokrąglenie o promieniu ok. 0.03 jednostek Blendera (czyli 3 mm na "prawdziwym" samolocie)<sup>1</sup>.



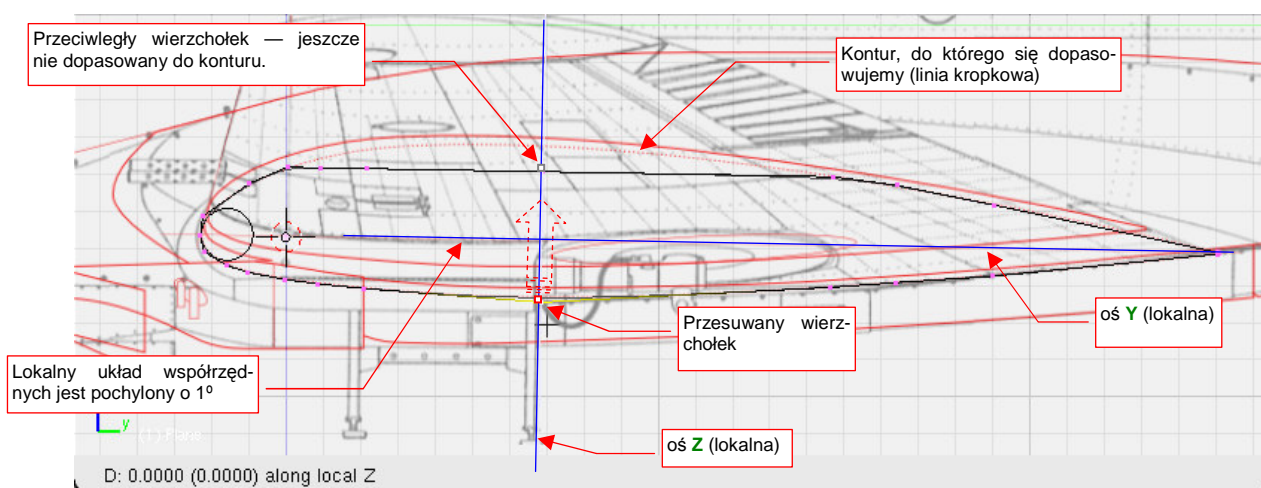
Rysunek 4.4.5 Ustawienie obrysów w pozycji właściwej dla płata

<sup>1</sup> Krawędź spływu nie jest nigdy idealnie ostra — z przyczyn technologicznych jest albo zaokrąglona niewielkim promieniem, albo "ścięta" na jakąś niewielką grubość (rzędy kilku milimetrów)



Teraz przekształcimy obrys w poprawny profil płata. Przełącz się w tryb obiektu (*Object Mode*). Obróć obrys wokół osi **X** o  $-1^\circ$ . Następnie przesuń go do dołu, aby znalazł się w osi płata (Rysunek 4.4.5). (Najłatwiej jest to zrobić, ustawiając krawędź spływu w punkcie, gdzie na planach jest krawędź spływu profilu centropłata)

Przełącz się z powrotem w tryb edycji (*Edit Mode*). Włącz wygładzenie linii (modyfikator *Subsurf*) i ustaw jego poziom (*Level* = 2). Na ekranie, oprócz linii siatki, powinieneś zobaczyć także cienką, wygładzoną linię efektywnego kształtu. Spróbuj najpierw odwzorować profil płata, przesuając tylko istniejące wierzchołki. Nie zmieniaj ich pozycji względem cięciwy profilu (lokalnej osi **Y**), gdyż pod tym względem zostały już "ustawione". Możesz je jedynie przesuwać wzdłuż lokalnej osi **Z** (kombinacja **G,Z,Z** — Rysunek 4.4.6):



Rysunek 4.4.6 Formowanie profilu — przesuwanie wierzchołka wzdłuż lokalnej osi **Z**

Czasami jednak do uzyskania ostatecznego kształtu okaże się konieczne dodanie do obrysu dodatkowego wierzchołka. Najłatwiej to zrobić poprzez podział odpowiedniej krawędzi (*Subdivide*). Te dodatkowe wierzchołki nie mają odwzorować żadnej konkretnej linii konstrukcyjnej. Możesz więc je swobodnie przesuwać, zarówno wzdłuż lokalnej osi **Z**, jak i osi **Y**.

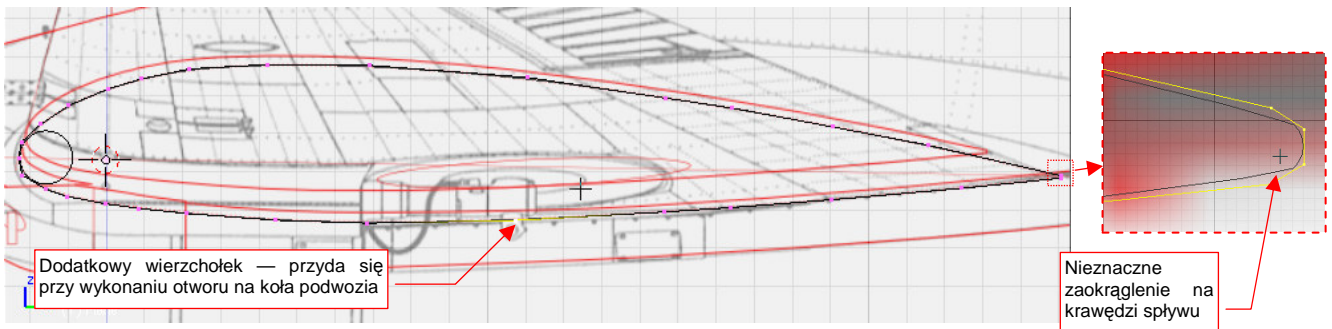
- Oryginalne wierzchołki, które możesz tylko przesuwać w kierunku **Z**, poznasz po tym, że występują "parami". Każdemu takiemu wierzchołkowi na dolnym obrysie profilu odpowiada wierzchołek na górnym obrysie profilu. Obydwa leżą w tym samym miejscu lokalnej osi **Y** (Rysunek 4.4.6).

Rysunek 4.4.7 przedstawia zbliżenie na obrys profilu płata, w trakcie dopasowywania do zadanego konturu. Jako pomoc w uzyskaniu odpowiedniego kształtu, umieściłem w nosie profilu pomocniczy okrąg (usunę go, gdy skończę). Podczas formowania okazało się, że niezbędne jest dodanie dodatkowego wierzchołka, pokazanego na ilustracji.



Rysunek 4.4.7 Formowanie nosa profilu — przykład wstawienia dodatkowego wierzchołka

Przesuwając się z formowaniem od krawędzi natarcia do krawędzi spływu profilu, szybko dopasujesz obrys do założonego konturu (Rysunek 4.4.8) :



Rysunek 4.4.8 Uformowany profil płata

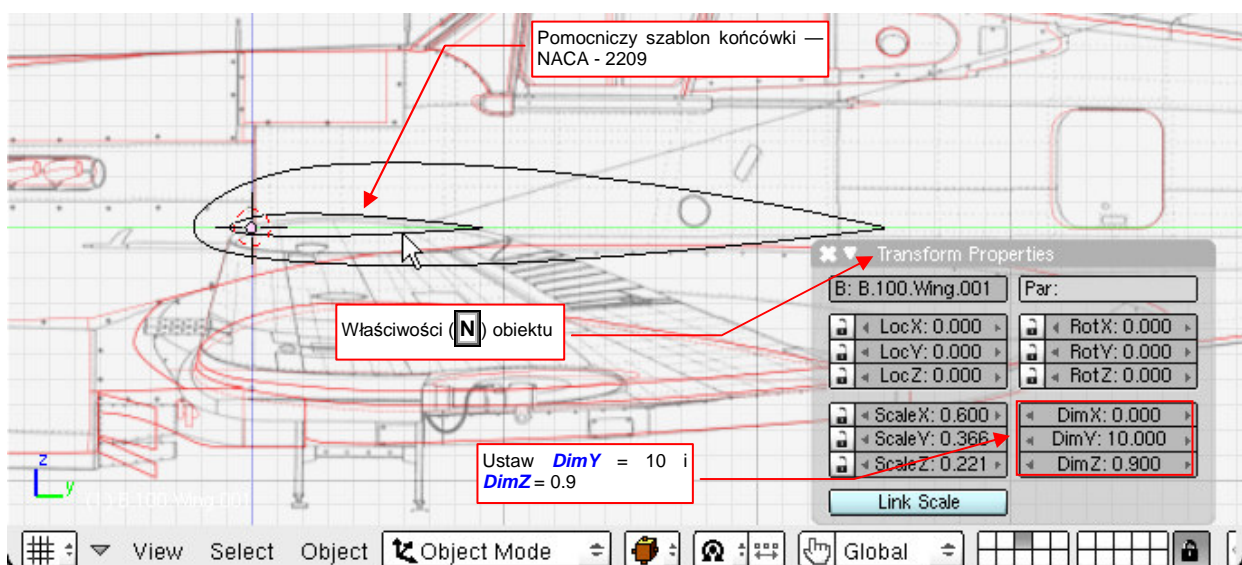
W tym przykładzie udało nam się odwzorować dokładnie początkowy profil płata za pomocą 32 wierzchołków. To dość typowy rezultat. Większość dalszych prac będzie nam łatwiej wykonywać, gdy płatek nie będzie pochylony o  $-1^\circ$ .

W związku z tym przełącz się w tryb obiektu i wyprostuj obrys. Przesuń go także z powrotem do środka układu współrzędnych. To ułatwi odczyt współrzędnych góry i dołu płata (jedne będą dodatnie, a drugie — ujemne). Dalsze przekształcenia siatki będą wykonywane w oparciu o rzut z góry. Dopiero po ostatecznym uformowaniu umieścimy płatek w docelowym miejscu konstrukcji i tam go "zaklinujemy" pod kątem  $-1^\circ$ .

Zgodnie z dokumentacją, profilem końcówki płata był NACA-2209. Ten symbol oznacza taki sam kształt, jak NACA-2215, tylko "spłaszczony" o 40%. Podczas ustalania grubości płata przyda nam się jakiś dokładny "przymiar", aby sprawdzić, czy osiągnęliśmy właściwą grubość. Na plany nie ma w tym przypadku co liczyć — rzuty z przodu zazwyczaj pokazują grubość płata niepoprawnie. Zresztą, nawet gdyby autor starał się być dokładny, to powinien narysować kształt pochylonego (o  $1^\circ$ ) płata. Zrobmy więc nasz własny "szablon" grubości skrzydła. Będzie to kopia obrysu, który właśnie ukończyliśmy:

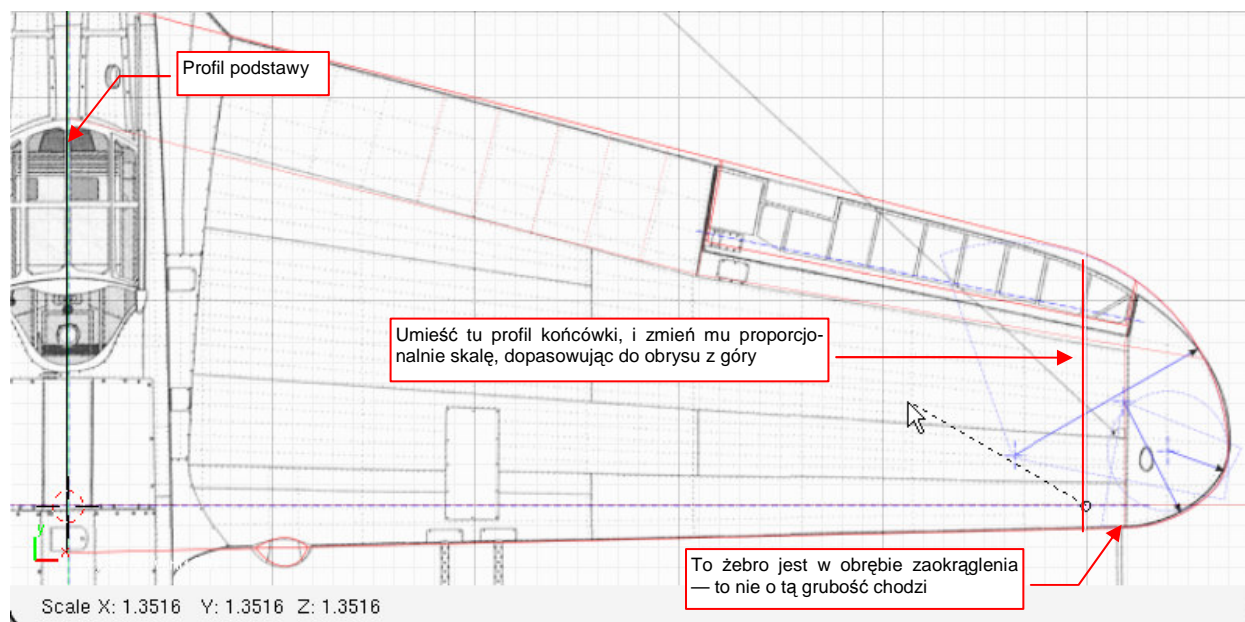
- skopiuj (**Shift-D**) profil podstawy w nowy obiekt;
- otwórz okno właściwości tej kopii (**N**) i zmień rozmiar w kierunku **Y** (**DimY**) do 10.0, a w kierunku **Z** (**DimZ**) — do 0.9 (w ten sposób uzyskujemy kształt profilu końcówki: NACA-2209).

Rysunek 4.4.9 pokazuje, jak na tym etapie powinien wyglądać nowy profil:



Rysunek 4.4.9 Stworzenie szablonu profilu końcówki płata

O jakim konkretnie miejscu płata myślał autor opisu, mówiąc o końcówce, która powinna mieć grubość względną 9%? Proponuję założyć, że chodzi tu o ostatnie żebro, które nie leży w obszarze eliptycznego zaokrąglenia. Przesuń wzorec końcówki w to miejsce (współrzędne **Y** i **Z** środka mają pozostać = 0,0). Następnie powiększ cały obiekt — we wszystkich kierunkach, względem środka obiektu — aby wpasować krańce profilu w obrys płata (Rysunek 4.4.10):

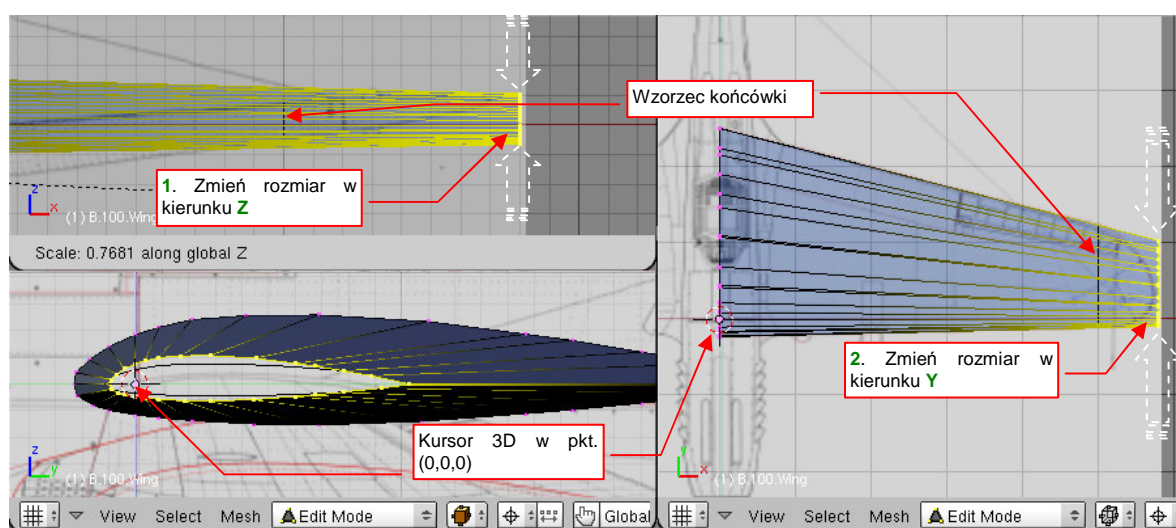


Rysunek 4.4.10 Ustalenie położenia i rozmiaru wzorca końcówki

Dzięki proporcjonalnemu powiększeniu profilu we wszystkich kierunkach, masz pewność, że jego grubość względna nadal wynosi 9%. Jest już gotowy do użycia.

Stwórz podstawowy obrys skrzydła, wytłaczając profil centropłata wzdłuż osi **X** (**E**, **X**). Sekcję końcową pozostaw nieco poza konturem skrzydła, przedstawionym na planach (Rysunek 4.4.11). (Ten nadmiar zostanie usunięty przy okazji odcinania końcówek płata).

Następnie upewnij się, że kursor 3D jest w środku układu współrzędnych (Rysunek 4.4.11). Zmniejsz skalę końcówki w kierunku **Y** tak, by pasowała do konturu płata w rzucie z góry. Potem zacznij zmieniać skalę końcówki w kierunku osi **Z**. W rzucie z przodu obserwuj położenie końców szablonu i linii siatki:



Rysunek 4.4.11 Wytłoczenie (*Extrude*) podstawowego kształtu płata



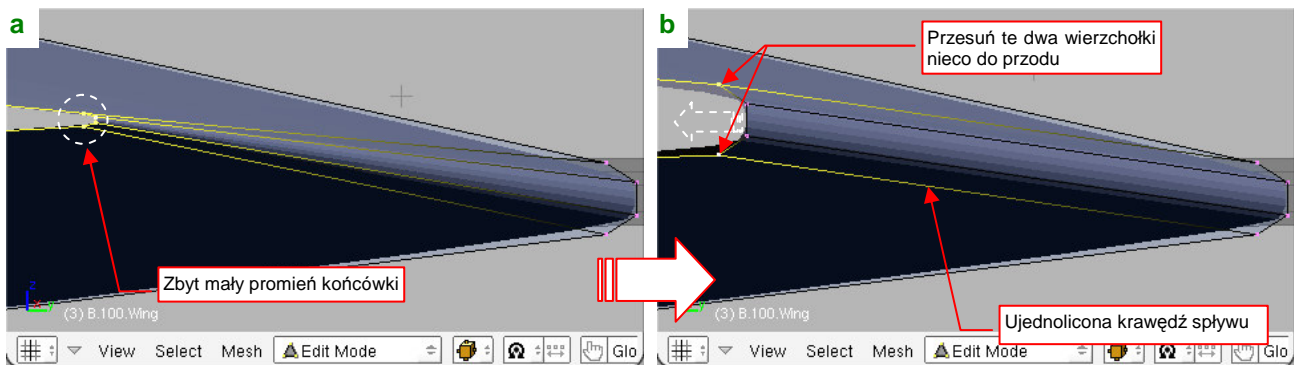
Dochodzenie do właściwej grubości końcówki można wykonać stopniowo, w kilku krokach. Podczas ostatniej fazy śledź jedną z końcówek wzorca w możliwie dużym powiększeniu (Rysunek 4.4.12). Dzięki temu będziesz miał pewność, że uzyskałeś właściwy kształt.



Rysunek 4.4.12 Dopasowanie grubości końcówki płata do zadanego wzorca

Ten etap formowania skrzydła jest zakończony, gdy grubość płata u końca osiągnęła założone 9%. Usuń tymczasowy obrys — profil końcówki płata — który pozwolił uformować skrzydło. Wykonał już swoje zadanie, i nie jest dłużej potrzebny.

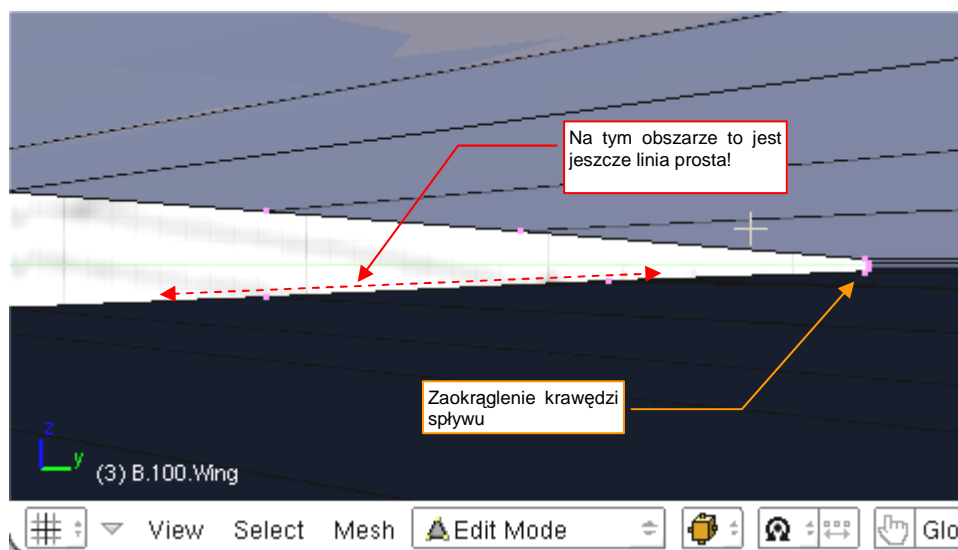
Pozostało uporządkować jeszcze sprawę kształtu krawędzi spływu. Obróć aktualną projekcję i ustaw ją tak, by krawędź spływu stała się niemal prostopadła do płaszczyzny widoku. Zobaczysz wówczas to, co pokazuje Rysunek 4.4.13a: promień zaokrąglenia na końcówce jest kilka razy mniejszy od analogicznego zaokrąglenia u nasady płata. Technologicznie jest to niemożliwe — krawędź spływu jest zazwyczaj uformowana przez wygięcie blachy pokrycia, z jakimś stałym promieniem. Powiększ wszystkie cztery punkty końcówki względem ich naturalnego środka (*Pivot: Bounding Box Center*) w kierunku osi **Z**. Dodatkowo przesunij odrobinę dwa zewnętrzne wierzchołki do przodu (wzdłuż osi **Y**). Utworzą w ten sposób identyczny obrys, jak na początkowym profilu skrzydła (Rysunek 4.4.13b):



Rysunek 4.4.13 Ujednolicenie promienia na krawędzi spływu

W efekcie uzyskałeś wzdłuż krawędzi spływu stały promień zaokrąglenia — w realnym samolocie miałyby średnicę ok. 3mm. To bardzo mały promień - nie jestem pewien, czy można aż tak zagiąć blachę pokrycia (zazwyczaj ok. 1mm grubości) bez ryzyka pęknięcia duralu. Mimo ogromnej liczby zdjęć konstrukcji nie byłem w stanie określić, czy krawędź spływu była uzyskana poprzez zagięcie, czy też znitowanie górnej i dolnej powłoki płata. Zresztą nawet taką "kanciastą", znitowaną krawędź często poddaje się oszlifowaniu, uzyskując koniec końców zaokrąglenie.

Czy powiększenie promienia krawędzi spływu bardzo zaburzyło profil tylnej części końcówki? Gdy zmniejszysz nieco powiększenie, zobaczysz że na szczęście nic takiego się nie stało (Rysunek 4.4.14). Tylna, dolna krawędź przekroju płata z lekko wypukłej linii stała się linią prostą — ot, i wszystko:



Rysunek 4.4.14 Rozmiar zaokrąglenia końcówki — ujęcie, pozwalające ocenić skalę.

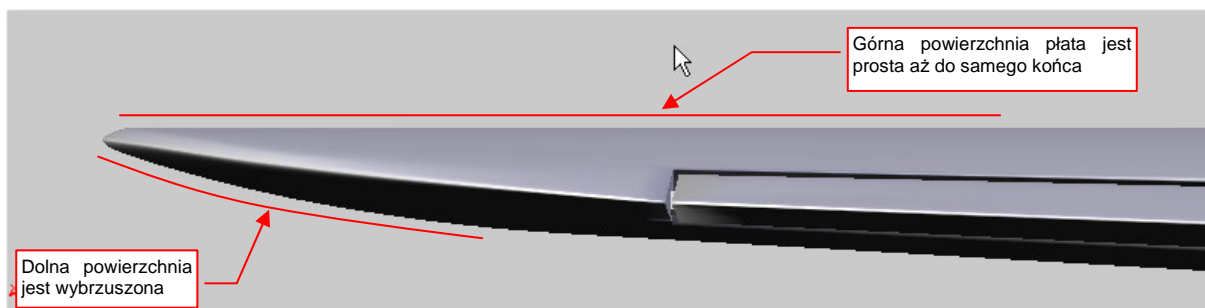
### Podsumownie

- Warto się postarać, by jak najwięcej linii siatki skrzydła — "zeber" i "podłużnic" — pokrywało się z łączeniami blach i liniami nitów, widocznymi na planach. To ułatwi w przyszłości przygotowanie tekstur, odwzorowujących te detale.
- Zaczęliśmy się od "testowego", płaskiego obrysu skrzydła. Posłużył nam do podjęcia decyzji o rozłożeniu wierzchołków wzdłuż profilu płata (str. 112). Efektem tego "studium" było przygotowanie odpowiedniego rozkładu podłużnic siatki skrzydła.
- Właściwe formowanie skrzydła zaczynamy od uformowania profilu jego podstawy (zazwyczaj podstawa płata leży w osi samolotu). Profil to linia zamknięta, wygładzona modyfikatorem *Subsurf*. Podczas kształtowania tej linii dodajemy do wcześniej przygotowanych wierzchołków dodatkowe, aby uzyskać odpowiedni kształt krzywej (str. 115).
- Po stworzeniu profilu podstawy płata należy przygotować profil końcówki (str. 115)
- Podstawowy kształt płata — trapez — uzyskujemy poprzez wytłoczenie (*Extrude*) profilu podstawy, rozciągając go na całą rozpiętość skrzydła. Potem dopasowujemy koniec (poprzez zmianę skali) do zadanych rozmiarów profilu końcówki (str. 116).
- Na krawędzi spływu lepiej pozostawić małe, "technologiczne" zaokrąglenie. Powinno mieć promień rzędu milimetrów (wyrażając to w jednostkach rzeczywistego samolotu).
- Do powielenia wierzchołków służy polecenia *Duplicate* (**Shift-D**, str. 113). Powielane są także całkowicie zaznaczone krawędzie i ściany.
- Podczas pracy z linią wierzchołków przydatne są operacje: stworzenia nowej krawędzi (**F**, *Make Edge*, str. 113), wstawienia nowego wierzchołka w krawędź (*Subdivide*, str. 114).



## 4.5 Końcówka skrzydła

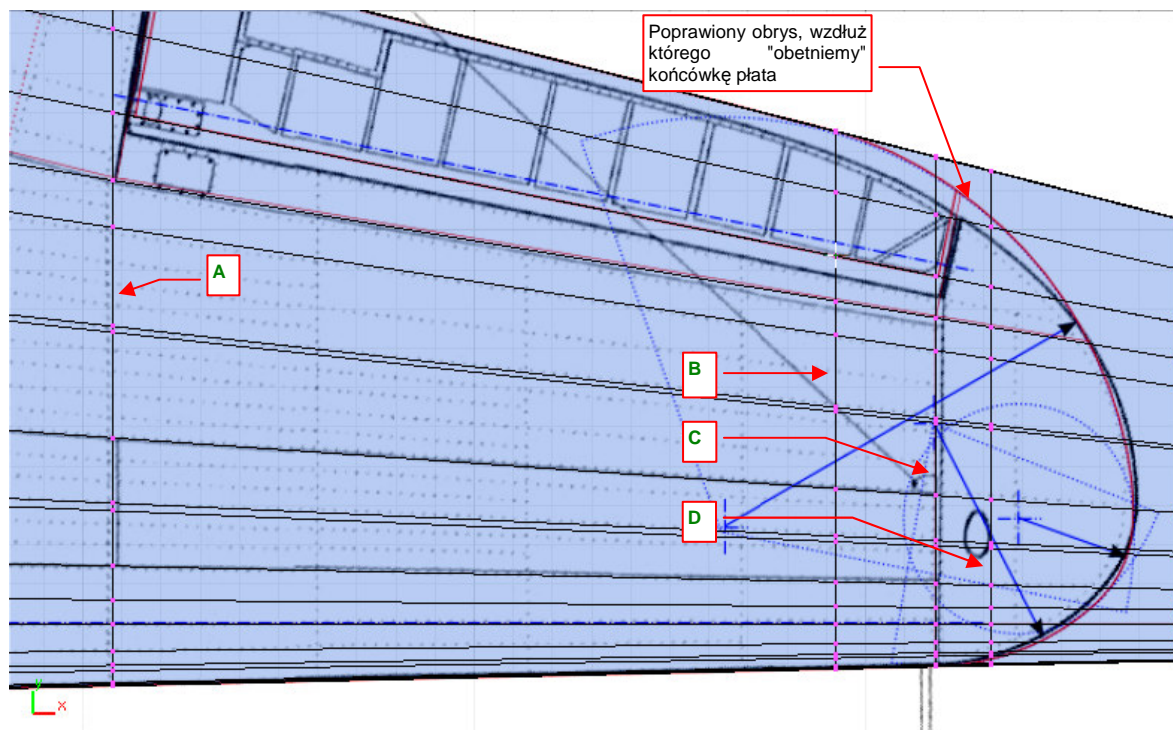
Końcówki płata P-40 nie da się uformować tak łatwo, jak końcówki łopaty śmigła. Po pierwsze, jest o wiele większa. Drobne nieścisłości kształtu, które "uchodzą" w przypadku małej końcówki łopaty, tu stałyby się zbyt widoczne. Po drugie, końcówka płata P-40 jest lekko wygięta do góry. Zrobiono to jednak w taki sposób, że linia górnej powierzchni płata pozostaje prosta (Rysunek 4.5.1):



Rysunek 4.5.1 Specyficzny, wygięty do góry kształt końcówki płata P-40

Przyjrzałem się temu fragmentowi na wielu zdjęciach. Doszedłem do wniosku, że najbezpieczniej będzie uzyskać ten obrys poprzez "odcięcie" nadmiaru siatki, tak, by górna krawędź płata pozostała nie zdeformowana. Potem "wygnę" dolną krawędź końcówki do góry, tworząc w rzucie z przodu charakterystyczne, lekkie wybrzuzszenie. Nie dziw się, że na rysunku z góry widzisz dwie linie obrysu końcówki. Pierwsza pochodzi z oryginalnych planów, które okazały się niedokładne (por. str. 558). Ten drugi obrys — to moja poprawka.

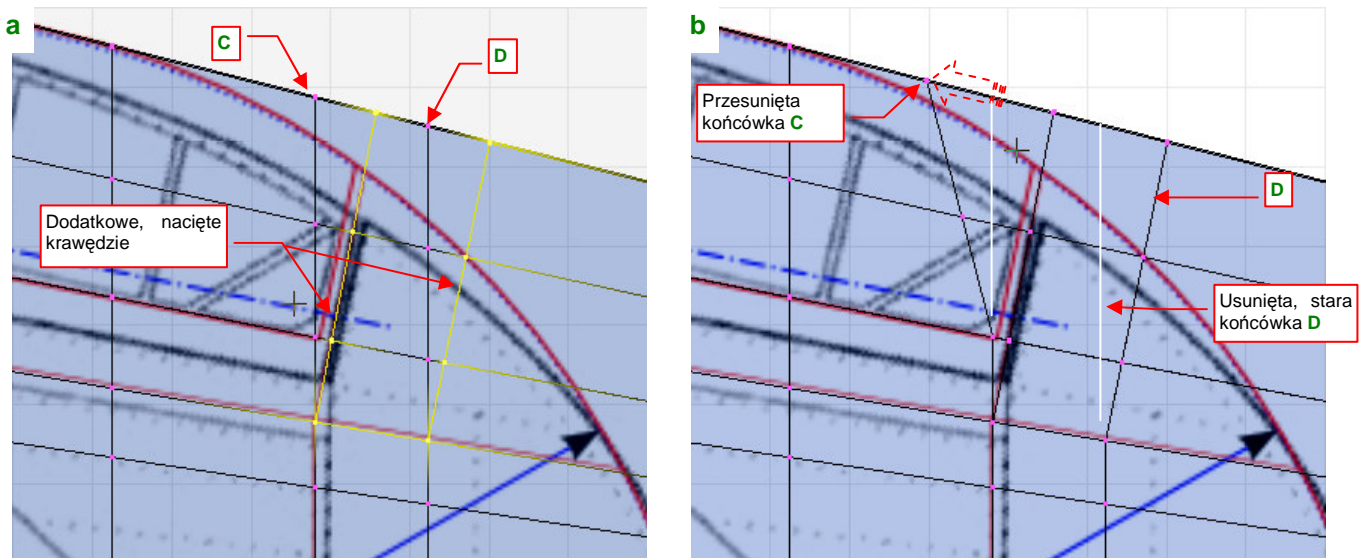
Nim "obetniemy" końcówkę, nanieśmy na ten obszar siatki kilka dodatkowych sekcji ("żeber") — za pomocą polecenia *Loopcut* (Rysunek 4.5.2):



Rysunek 4.5.2 Dodatkowe sekcje, dodane do siatki płata

Sekcję **A** nanieśliśmy z myślą o przyszłości — przyda się przy formowaniu lotki, a **B** — tam, gdzie się zaczynają zaokrąglania. Sekcję **C** wstawiłem u podstawy końcówki płata, a **D** — tam, gdzie się później przyda do kształtowania obrysu.

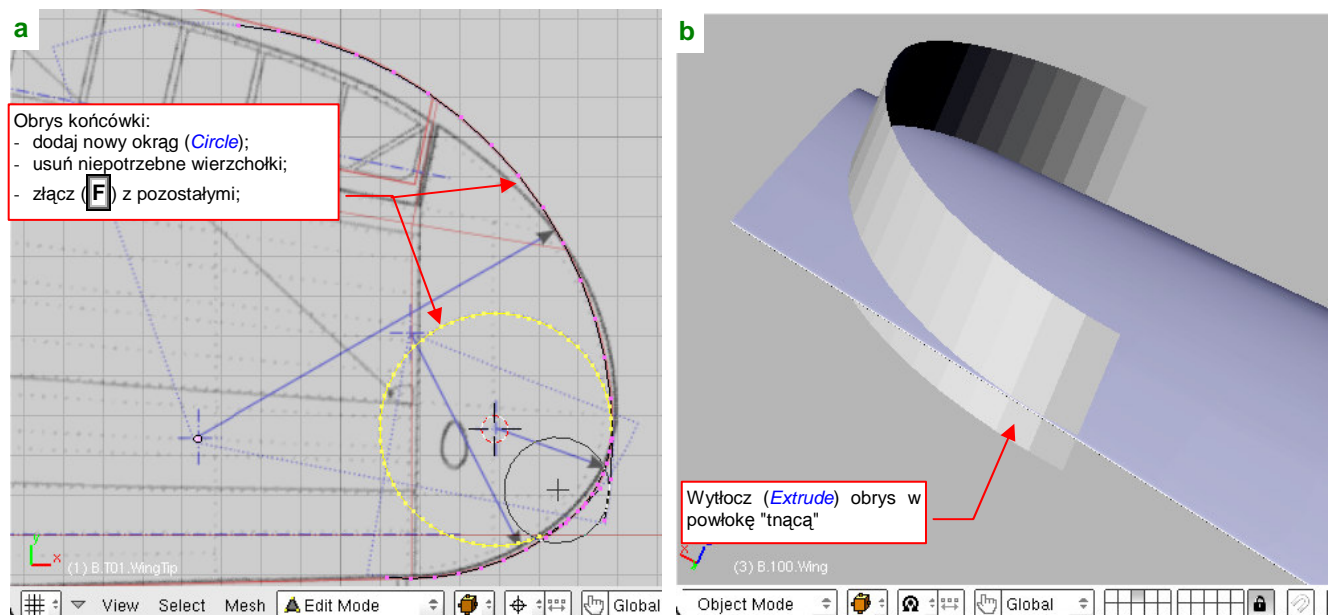
W ramach dalszych przygotowań krawędź spływu końcówki zmodyfikujemy, by stworzyć na niej jeszcze jeden punkt, i rozłożyć pozostałe bardziej równomiernie. (Inaczej trudno byłoby uzyskać odpowiedni kształt obrysu). Utwórz przy sekcjach **C** i **D** dwie dodatkowe, lokalne linie wierzchołków — poprzez nacięcie (**Shift-K**, *Knife* — str. 871) . Obydwie powinny być równoległe do widocznej na planie krawędzi lotki (Rysunek 4.5.3a):



Rysunek 4.5.3 Pochylenie żeber w tylnej części skrzydła

Potem zaznacz i usuń (**X**, *Erase* → *Edgeloop*, str. 879) ostatnie wierzchołki sekcji **D**, aby włączyć w nią nową krawędź (Rysunek 4.5.3b) . Przesuń także (*Edge Slide*, str. 874) ostatnie wierzchołki sekcji **C**, by na krawędzi spływu znalazły się mniej więcej w połowie odległości od sąsiednich sekcji (Rysunek 4.5.3b). Zwróć uwagę, że żadna z tych zmian nie zmieniła kształtu górnej powierzchni płata!

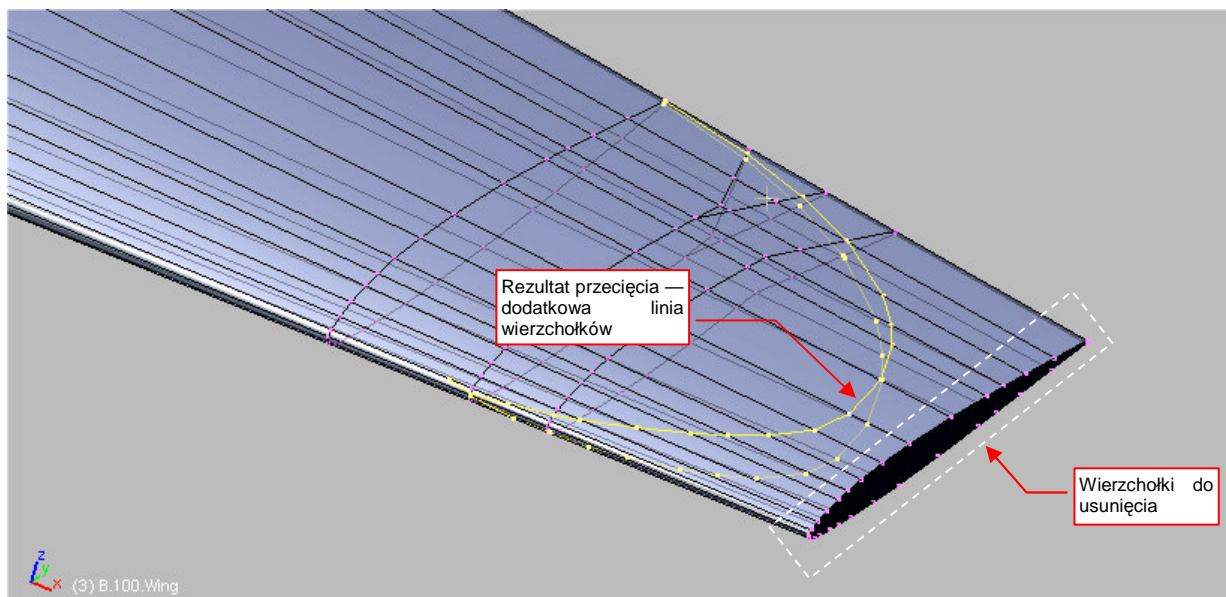
Przygotuj pomocniczy "nóż" do odcięcia końcówki. Siatkę tego obiektu utwórz poprzez złożenie fragmentów kilku okręgów (o środkach jak na planach) (Rysunek 4.5.4a):



Rysunek 4.5.4 Przygotowanie obiektu odcinającego końcówkę płata

Uzyskaną linię wytłocz (*Extrude*). Obiekt umieść w odpowiednim położeniu (Rysunek 4.5.4b).

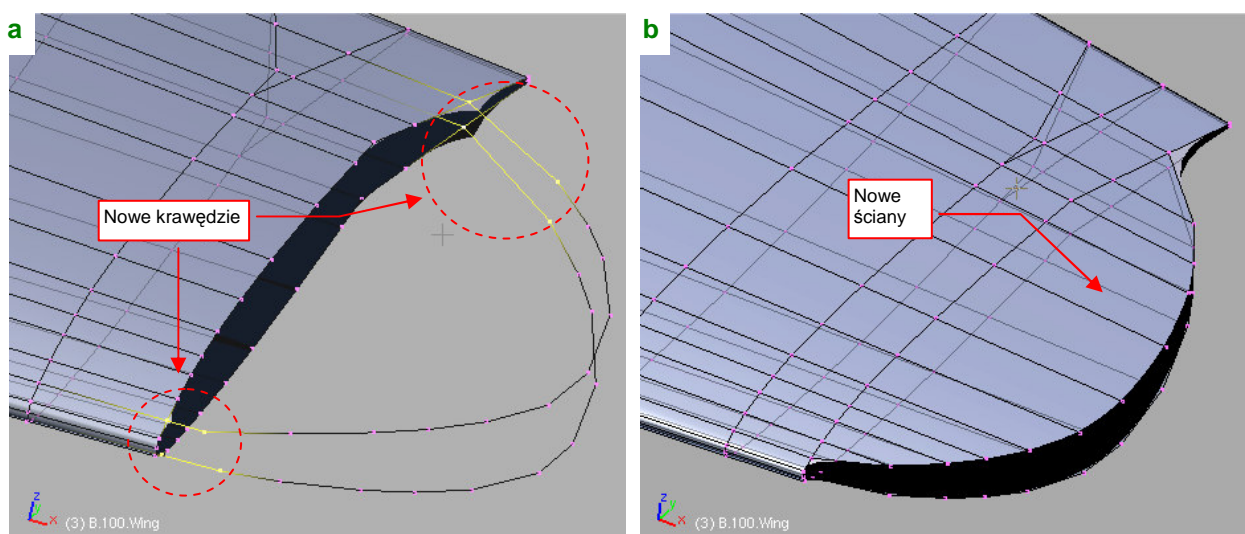
Teraz czas na cięcie! Wyznacz krawędź przenikania pomocniczego obiektu z powierzchnią płata (**Object**→**Scripts**→**Cross Section** — str. 802) . Opcje skryptu ustaw tak, by uzyskać wyłącznie punkty przecięcia z krawędzi skrzydła (Rysunek 4.5.5):



Rysunek 4.5.5 Rezultat przecięcia - nowa krawędź

Po wyznaczeniu krawędzi przecięcia, możesz już usunąć obiekt, którego użyliśmy jako "noża". Uzyskana krawędź nie należy na razie do żadnej ściany siatki skrzydła. Aby ją do niej włączyć:

1. Zaznacz i usuń ostatnią sekcję płata (p. Rysunek 4.5.5);
2. Usuń także niepotrzebne, krańcowe wierzchołki z linii przecięcia;
3. Złącz linię przecięcia z odpowiednimi "podłużnicami" skrzydła za pomocą czterech nowych krawędzi (Rysunek 4.5.6a)
4. Utwórz z poszczególnych wierzchołków nowe ściany (zaznaczając po trzy lub cztery i naciskając **F** — str. 883). Wkomponuj w ten sposób krawędź w płat;



Rysunek 4.5.6 Scalenie nowej krawędzi z resztą siatki

Rysunek 4.5.6b) przedstawia efekt operacji. Mówiąc szczerze, napisałem skrypt **Cross Section**, ponieważ nigdy nie lubiłem efektów operacji **Boolean** w Blenderze. Zawsze lepiej mieć pełną kontrolę nad siatką, i nadać jej dokładnie taki układ wierzchołków, jaki sobie życzymy.

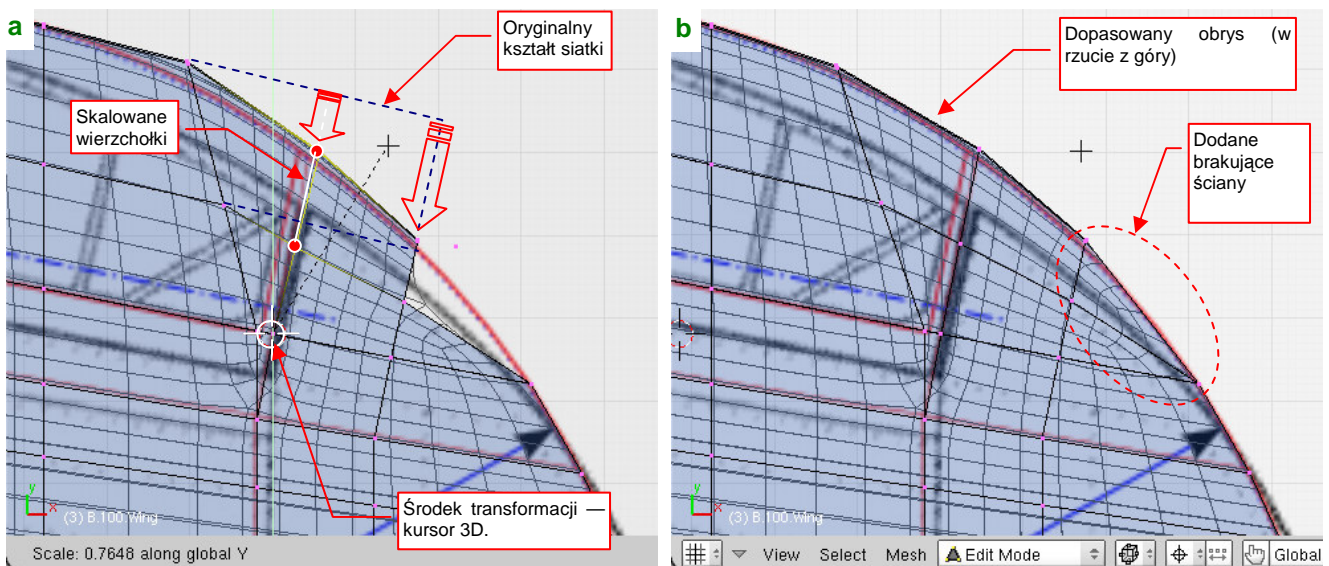


Teraz dopasujemy do obrysu w rzucie z góry krawędź spływu końcówki. Zaczniemy od dwóch nie naruszonych sekcji z oryginalnej siatki. Należy przemieścić ostatnie wierzchołki tych "żeber" tak, by znalazły się tylko odrobinę poza obrysem (Rysunek 4.5.7a).

Pamiętaj, że każdy z węzłów siatki, widoczny w rzucie z góry, to dwa wierzchołki — na górnej i dolnej powierzchni płata. Zaznaczaj je więc jako grupę, używając **B** (*Border select* — str. 857). Należy przesunąć je tak, by wygięcie siatki było płynne. Wierzchołki po przesunięciu powinny leżeć na tej samej linii żebra, tylko bliżej środka. Można to zrobić poprzez przesunięcie (**G**) — zaznaczając oddzielnie każdy z węzłów. To najbardziej oczywista, ale trudniejsza droga (trudno zachować dokładną współliniowość z linią żebra. Znam szybszą metodę:

- zaznacz wierzchołki końcówki żebra (Rysunek 4.5.7a pokazuje, o które chodzi);
- umieścić w pierwszym z wierzchołków linii, który nie jest przesuwany, kursor 3D (wykorzystać możliwości *Snap to* — **Shift** - **S**);
- zmień skalę zaznaczonych wierzchołków najpierw wzdłuż osi **Y**, a następnie wzdłuż osi **X** tak, by znalazły się w nowym miejscu. (Zmieniaj zawsze o ten sam współczynnik). Pod żadnym pozorem nie zmieniaj po prostu skali we wszystkich kierunkach, bo niepotrzebnie spłaszczysz powłokę (wzdłuż osi **Z**);

Powyższą metodą dopasuj po kolei każde z żeber (zaczynj od zewnętrznego). Rysunek 4.5.7a pokazuje rezultat, który powinieneś osiągnąć:



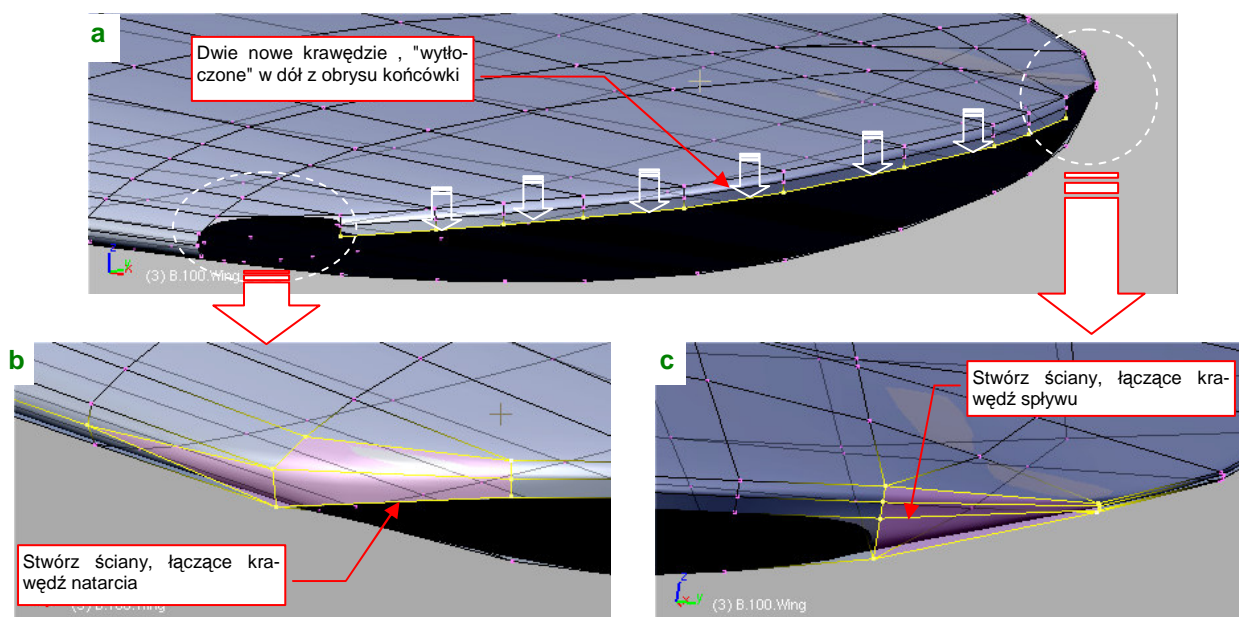
Rysunek 4.5.7 Dopasowanie tylnej krawędzi końcówki do obrysu w rzucie z góry

Potem pozostają doszlifowanie szczegółów (Rysunek 4.5.7b):

- stwórz dwie brakujące, trójkątne ściany (na górnej i dolnej powierzchni płata);
- poprzesuważ wierzchołki krawędzi spływu tak, by dokładnie dopasować obrys wygładzonej siatki do rysunku;

Pamiętaj, że krawędź spływu każdego żebra to cztery, blisko siebie leżące wierzchołki! Zaznaczaj je jako grupę i tak też przesuważ.

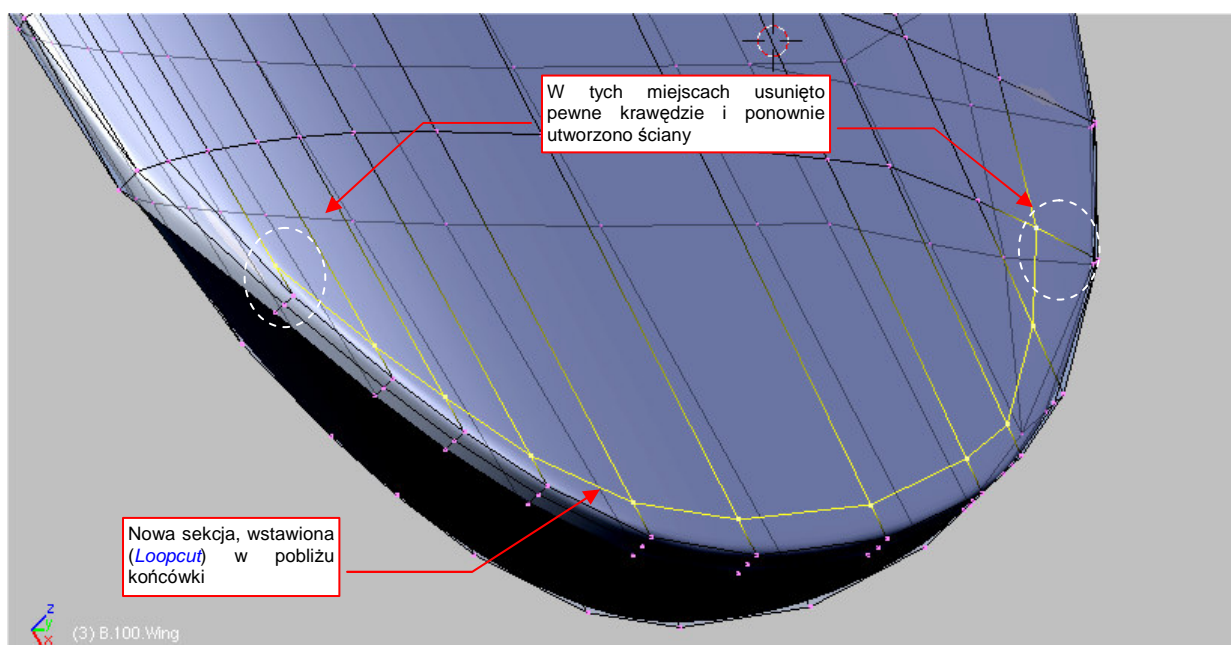
Czas dodać ściany, z których (w rzucie z przodu) za chwilę powstanie zaokrąglenie końcówki płata. Zaokrąglenie to było niewielkie — miało promień rzędu centymetra. Nowe krawędzie stwórz wytlaczając (*Extrude*) krawędź końca płata do dołu, wzdłuż osi **Z**. Zachowaj niewielką odległość pomiędzy tymi liniami — około 0.1 jednostki Blendera (Rysunek 4.5.8a):



Rysunek 4.5.8 Łączenie krawędzi — natarcia i spływu

Z przodu i z tyłu pozostały w siatce luki, które aż się proszą o uzupełnienie. Utwórz w tych miejscach nowe ściany (Rysunek 4.5.8b, c).

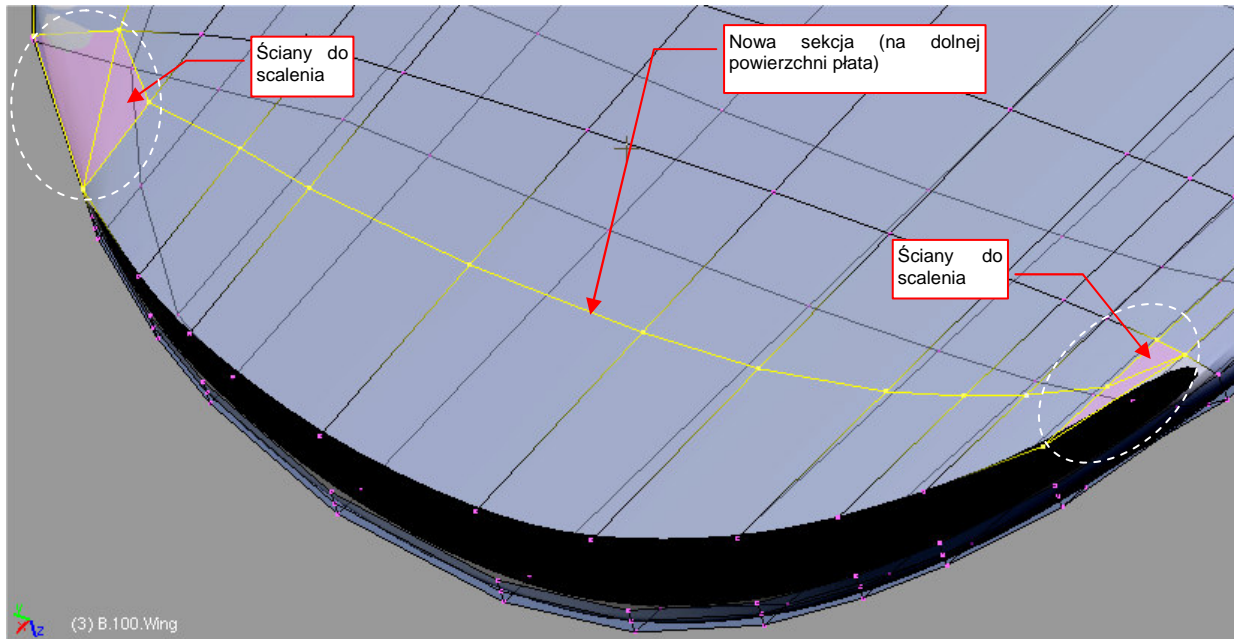
Dodaj teraz do górnej powierzchni płata nową sekcję (Rysunek 4.5.9). Użyj w tym celu polecenia **Loopcut**, by nie zmienić kształtu górnej powierzchni skrzydła. Nową sekcję umieść w pobliżu końcówki — będzie wyznaczała poprzeczną granicę zaokrąglenia.



Rysunek 4.5.9 Dodatkowa sekcja na powierzchni górnej

Rysunek 4.5.9 pokazuje linię po scaleniu trójkątnych ścian w okolicach jej końcówek (**Alt-J**, p. str. 886). Dzięki tej operacji ta sekcja jest połączona z "podłużnicami".

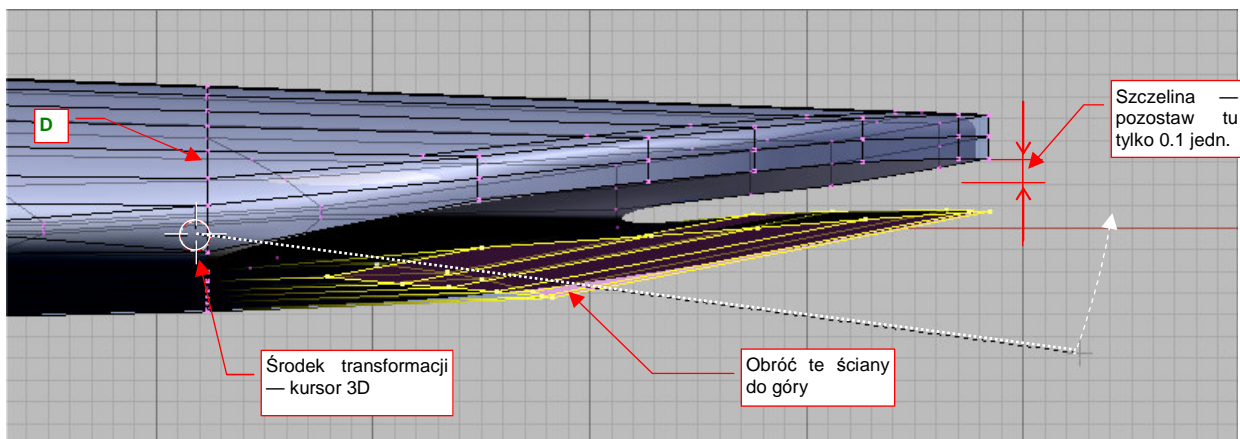
Podobną operację wykonamy także na dolnej powierzchni: wstaw nową sekcję za pomocą polecenia **Loopcut**. Uzyskaną linię umieść jednak w połowie odległości pomiędzy sąsiednimi sekcjami — posłuży nam do sterowania wygięciem tej powłoki (Rysunek 4.5.10):



Rysunek 4.5.10 Dodatkowa sekcja na powierzchni dolnej

Tak, jak w przypadku sekcji z powierzchni górnej, scal trójkątne ściany na jej końcach w czworokąty (**Alt-J**, p. str. 886). Usuniemy w ten sposób z siatki wierzchołki, z których wychodzi więcej niż 4 krawędzie. (Takie punkty zazwyczaj odrobinę zaburzają kształt wygiętej powłoki podziałowej).

Powoli zbliżamy się do uzyskania ostatecznego kształtu. Teraz dokonamy wygięcia dolnej powierzchni końcówki, zbliżając ją do górnej. Przełącz się na rzut z przodu (**ZX**). Rysunek 4.5.11 pokazuje, gdzie należy umieścić kursor 3D. Obróć wokół tego punktu ostatni "pas" ścian dolnej powierzchni:



Rysunek 4.5.11 Wyginanie powierzchni dolnej (poprzez obrót wybranych sekcji)

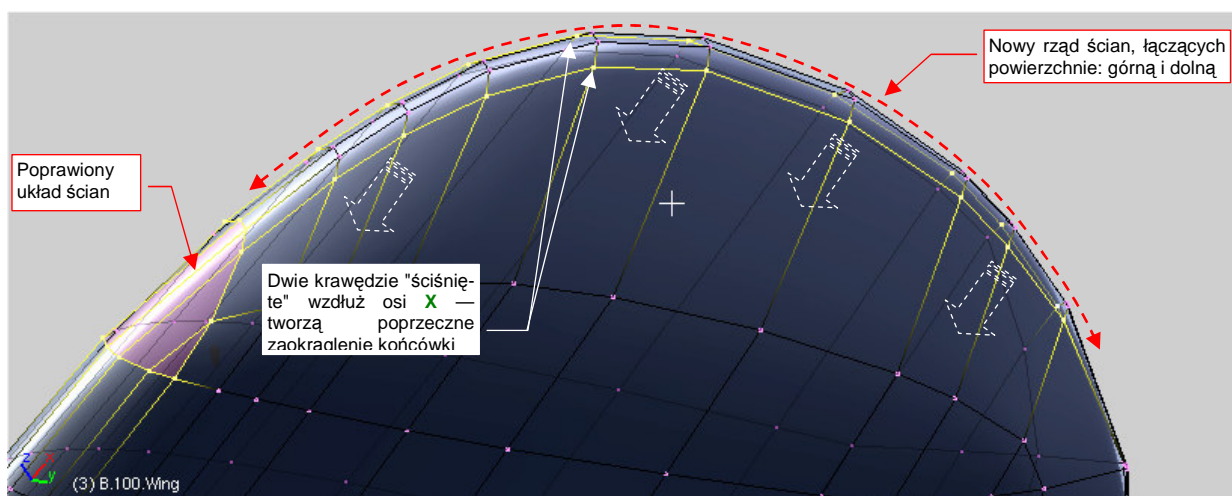
(W tym rzucie wygląda to trochę jak zamykanie szczęk krokodyla). Nie "domykaj" jednak ich do końca — pozostaw pomiędzy górną i dolną krawędzią odstęp rzędu 0.1 jednostki Blendera.

Szczelinę, która pozostała, "zabudujemy" rzędem nowych ścian, zamykając w ten sposób siatkę (Rysunek 4.5.12).

Gdy domknęliśmy siatkę końcówki, możemy przesunąć wzdłuż osi **X** górną i dolną krawędź obrysu (nie więcej niż o 0.1 - 0.2 jedn.) (Rysunek 4.5.12). Uzyskamy w ten sposób zaokrąglenie krawędzi płata. Najlepiej to zrobić



poprzez nieznaczną zmianę skali zaznaczonych wierzchołków wzdłuż osi **X**. (Tylko w ten sposób zapewnisz sobie stopniową zmianę kształtu.

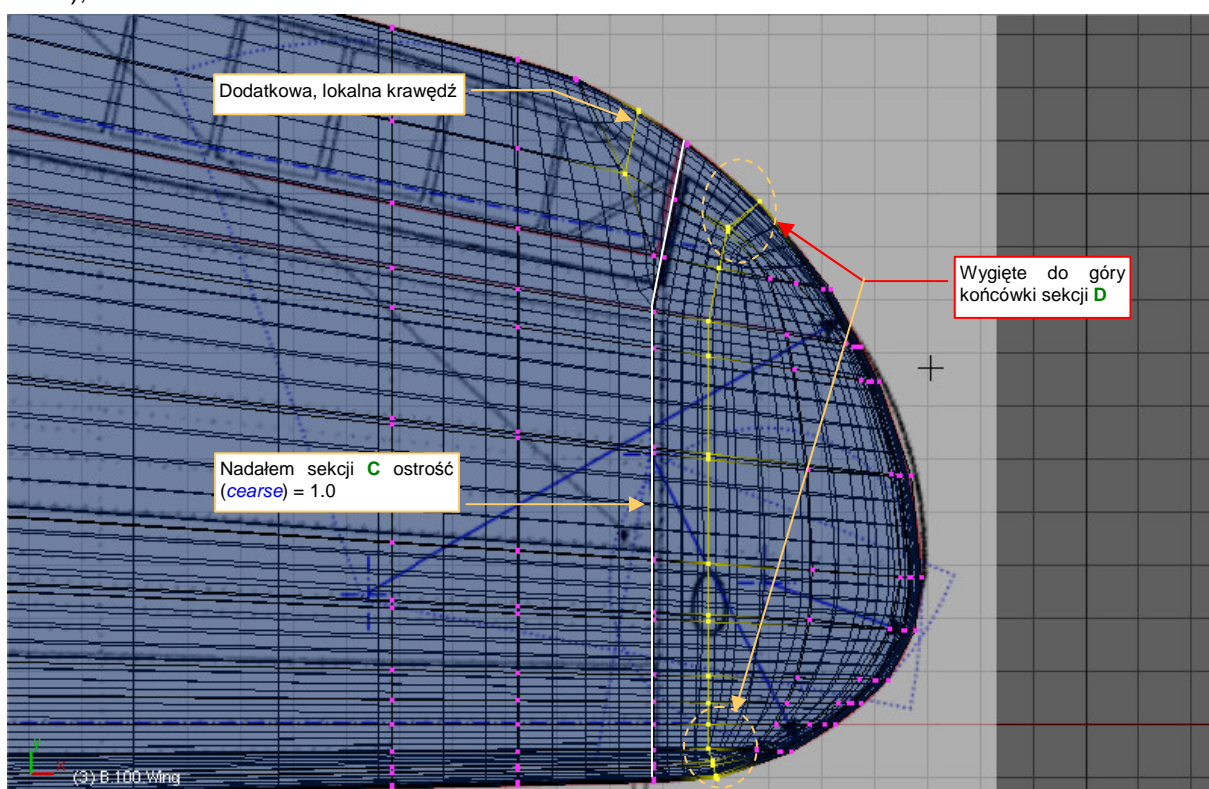


Rysunek 4.5.12 Ostateczne domknięcie końcówki rzędem ścian wzdłuż obwodu

Przy okazji zdecydowałem się usunąć trójkątną ścianę z krawędzi natarcia. Po przemyśleniu udało mi się dobrać w tym miejscu układ ścian czworokątnych (Rysunek 4.5.12).

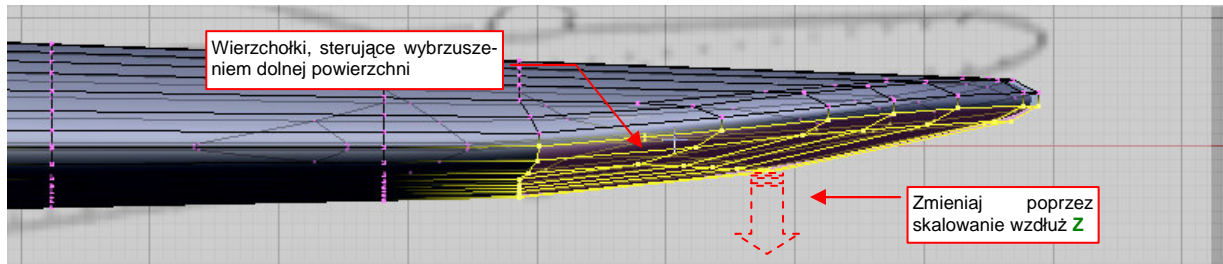
Pozostało dokonać ostatnich dopasowań do obrysu z góry (Rysunek 4.5.13). W ich trakcie:

- oznaczyłem całą sekcję **C**, biegnącą jako podstawa końcówki, jako "ostrą" (*cearse* = 1.0). W ten sposób wszelkie zmiany końcówki nie zmienią kształtu reszty skrzydła;
- wygiąłem ("do góry") końce sekcji **D**, aby uzyskać lepsze dopasowanie do konturu płata, przedstawionego na planach (uzyskać punkt sterujący w odpowiednim miejscu);
- dodałem lokalną, małą krawędź na krawędzi spływu lotki. (W wyniku "wyostrenia" krawędzi wzdłuż granic lotki potrzebny był dodatkowy punkt sterujący, aby odtworzyć w rzucie z góry krzywą obrysu płata);



Rysunek 4.5.13 Ostateczne dopasowanie krawędzi końcówki do obrysu z góry

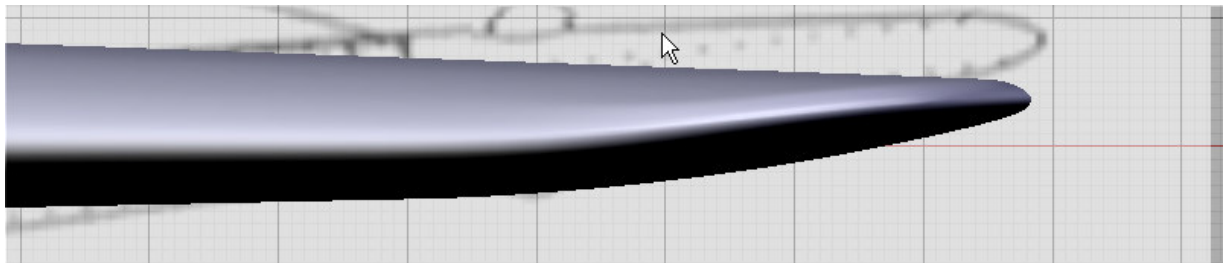
Wybruszeniem dolnej powierzchni końcówki można sterować za pomocą skalowania (wzdłuż osi **Z**) krawędzi, pokazanych na ilustracji (Rysunek 4.5.14):



Rysunek 4.5.14 Możliwe kształtu wybruszenia powierzchni dolnej

Na koniec obejrzyj ze wszystkich stron uzyskany kształt. Nie sugeruj się w tym przypadku planami samolotu, bo akurat w tym szczególe są błędne. Porównuj go raczej ze zdjęciami.

Rysunek 4.5.15 przedstawia ostateczny efekt (widziany z przodu):



Rysunek 4.5.15 Rezultat — uformowana końcówka (widziana z przodu)

### Podsumownie

- Końcówka płata P-40 jest dość trudna do uformowania, ponieważ jej górna powierzchnia jest prostą kontynuacją górnej powierzchni płata. Większość końcówek w innych samolotach ma mniej skomplikowany kształt.
- Zawsze należy umieścić nowe sekcje siatki ("żebra") tam, gdzie znajdują się ważne miejsca konstrukcji. (Ważne zarówno pod względem budowy płatownca — np. krawędź lotki, jak i geometrycznym — np. początek zaokrąglenia). Czasami także dodajemy żebro dla uzyskania równomiernego rozkładu wierzchołków wzdłuż krzywizny (str. 120).
- Niektóre krawędzie (sekcje) siatki mogą być lokalne (tzn. istnieć tylko na obszarze kilku sąsiednich ścian). Niezastąpionym narzędziem do ich tworzenia jest *Knife* (**Shift-K**, str. 121). Często "przy okazji" usuwamy fragmenty innych sekcji (*Erase* → *Edgeloop*).
- Zasadniczy kształt końcówki uzyskaliśmy przez odcięcie części siatki pomocniczym obiektem o kształcie założonego obrysu (str. 121). Wykonane to zostało w trzech krokach. Najpierw wyznaczyliśmy krawędź przecięcia za pomocą skryptu *Cross Section* (str. 122). Potem usunęliśmy niepotrzebne wierzchołki (*Erase* → *Vertices*). Na koniec połączyliśmy krawędź przecięcia z resztą siatki, tworząc nowe ściany (**F**, *Make Face* — str. 122)
- Ostateczne "zamknięcie" siatki końcówki nastąpiło po dosunięciu kilku dolnych sekcji do górnych (str. 125), i uzupełnieniu brakujących ścian.
- Podczas pracy z siatką w dużym zakresie używaliśmy ograniczenia transformacji (przesunięcia, skalowania) do pojedynczej osi **X**, **Y**, **Z**. Taka technika pozwala "pracować w przestrzeni" bez konieczności ciągłego korzystania z rzutów z góry, przodu czy boku.
- Zwróć uwagę, że można bezpiecznie podzielić kształtowanie powierzchni podziałowych na oddzielne płaszczyzny. Najpierw uformowaliśmy obrys z góry końcówki (płaszczyzna **XY**). Potem ukształtowaliśmy ten sam element w rzucie z przodu (**ZX**). Kształt w rzucie z góry, nie ulegał żadnej zmianie, dopóki przesuwaliliśmy wierzchołki obrysu wyłącznie wzdłuż osi **Z**. To żaden przypadek, tylko reguła, której znajomość może Ci bardzo ułatwić modelowanie (szczegóły — str. 586).

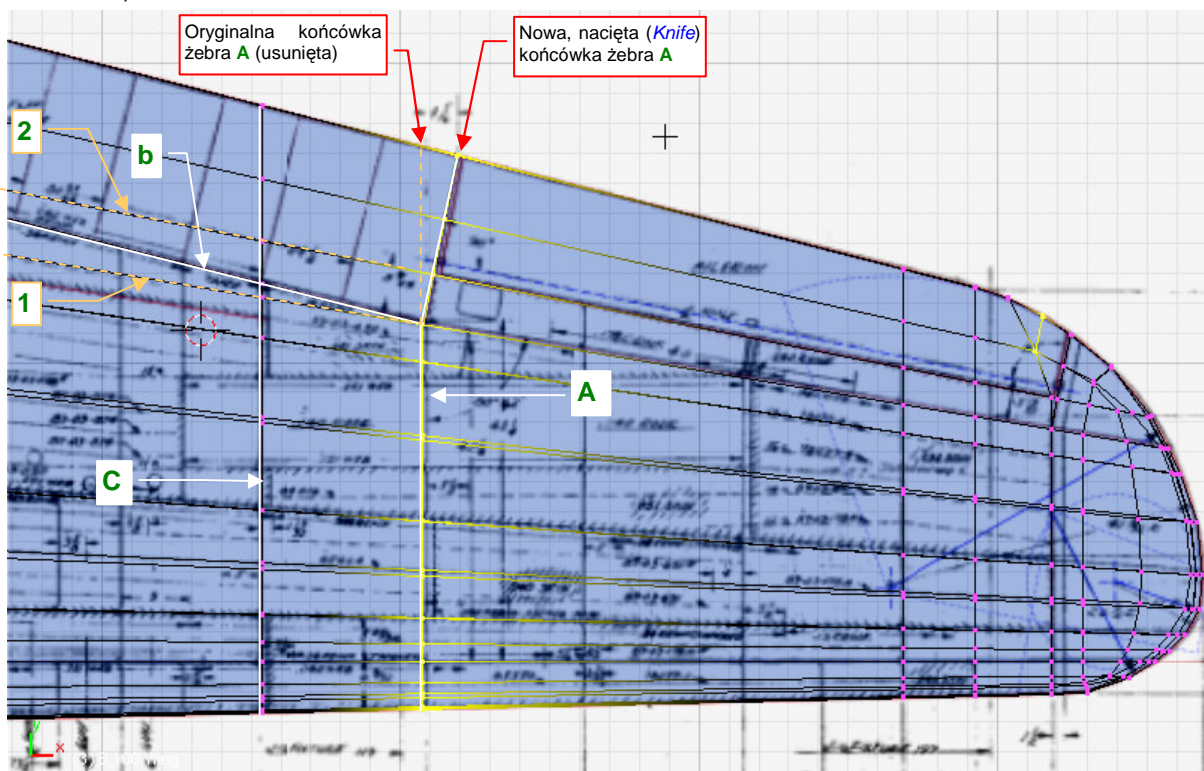


## 4.6 Lotka

Lotkę warto wydzielić z płata jako oddzielny obiekt. Dlaczego? Po pierwsze — zazwyczaj jest w ruchu. Model będzie wyglądał bardziej realistycznie z nieco poruszonymi lotkami. Po drugie — w samolotach opracowanych w po roku 1930 (a do nich zalicza się P-40) stosowane były tzw. lotki szczelinowe. Ich nazwa wzięła się od dużej szczeliny pomiędzy krawędzią lotki i płatem<sup>1</sup>.

Szczelina lotki ma dość znaczne rozmiary na dolnej powierzchni płata, i pominięcie jej w modelowaniu byłoby poważną niedokładnością. Na pewno to zbyt duża "dziura", aby ją zbyć w uproszczony sposób, np. linią na teksturze. "Zbijemy" za to w ten sposób inny element mechanizacji płata — kłapy<sup>2</sup>. Aby w przyszłości łatwiej było je dodać w ramach uszczegóławiania modelu — umieszczę na siatce dodatkową krawędź, biegnącą wzdłuż ich osi.

Przygotowując lotkę, dodamy do siatki płata dwie następne sekcje, pełniące rolę "żebier", i jedną "podłużnicę" (Rysunek 4.6.1):



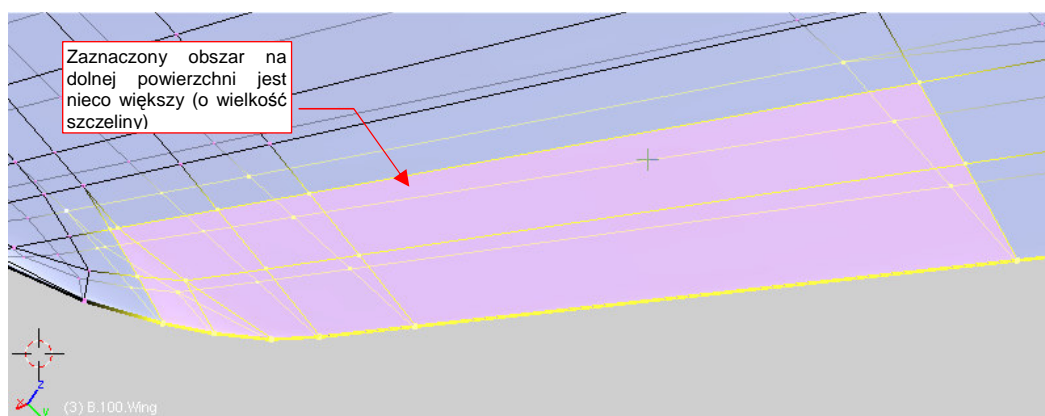
Rysunek 4.6.1 Dodatkowe sekcje, związane z przygotowaniem lotki

Żebro **A** już istnieje (utworzone w poprzedniej sekcji - p. str. 120, Rysunek 4.5.2). Istniały już także podłużnice **1**, **2**, biegnące wzdłuż dolnej i górnej krawędzi lotki. Jakoś tak się szczęśliwie złożyło, że krawędź kłap (krawędź **b**) to przekątna pomiędzy tymi podłużnicami (por. Rysunek 4.6.1). Aby ją dodać, z dolnej powierzchni płata usuń pomiędzy podłużnic **1** i **2** czworokątną ścianę. Zamiast niej utwórz w tym miejscu dwie ściany trójkątne. Łącząca je krawędź (**b**) — to krawędź kłap. Potem wstaw (*Loopcut*) żebro **C** — tylko po to, aby następne żebra centroplata były proste. Przy końcówce żebra **A**, natnij (*Knife*) dodatkową, pochyloną krawędź lotki. Na koniec usuń prostą końcówkę żebra **A** (por. Rysunek 4.6.1) — tak jak poprzednio, na str. 121.

<sup>1</sup> Ta szczelina jest najszersza na dolnej powierzchni skrzydła. W pewnych warunkach lotu (podczas lądowania lub ostrego zakrętu) pełni rolę "dyszy", nadmuchującej powietrze na górną krawędź płata. Takie rozwiązanie bardzo poprawia skuteczność sterowania samolotem.

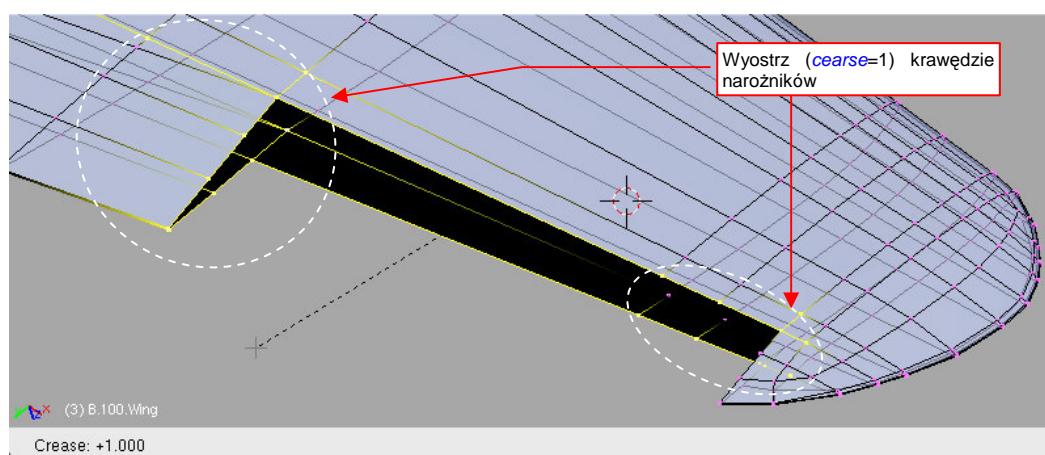
<sup>2</sup> P-40 miał tzw. kłapy krokodylowe. Konstrukcyjnie są to płaskie płyty — fragmenty dolnej powierzchni skrzydła — wypuszczane przy starcie i lądowaniu. Po wypuszczeniu we wnętrzu kłapy krokodylowej widać masę żebier i siłowniki. Ich uformowanie w 3D wymaga dużo pracy. Jeżeli nie zamierzasz robić ujęcia P-40 podczas startu i lądowania — nie ma potrzeby wydzielenia z naszego modelu realistycznych kłap. W razie czego zawsze możesz je zawsze dodać — pozostawię w siatce skrzydła dodatkową krawędź, biegnącą wzdłuż ich osi.

Teraz zaznacz obszar siatki, zajmowany przez lotkę (Rysunek 4.6.2). (Zwróć uwagę, że na dolnej powierzchni jest to "o podłużnicę" więcej, niż na górnej):



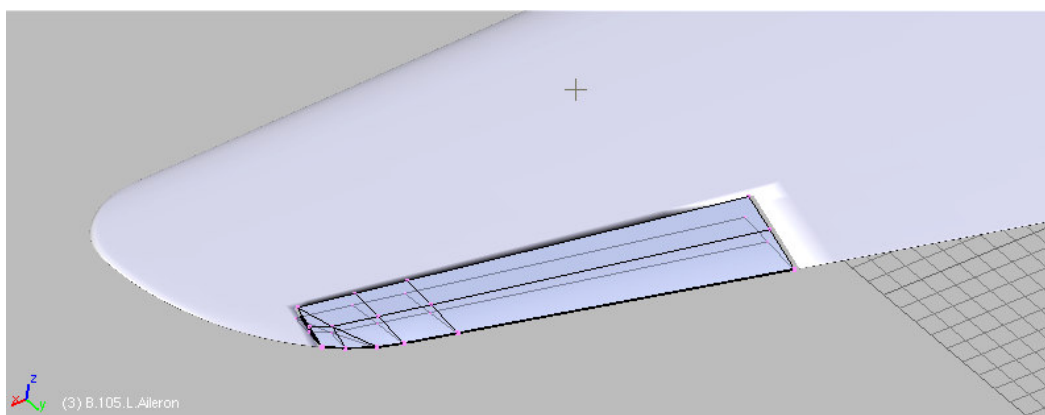
Rysunek 4.6.2 Obszar lotki — do wydzielenia w nowy obiekt

Zaznaczony obszar wydziel w nowy obiekt (**P**, **Separate** — szczegóły na str. 887). W efekcie w płacie powstanie "otwór po lotce". Wyostrz (**crease** = 1.0) krawędzie na jego narożnikach, aby nabrał regularnego wyglądu (Rysunek 4.6.3):



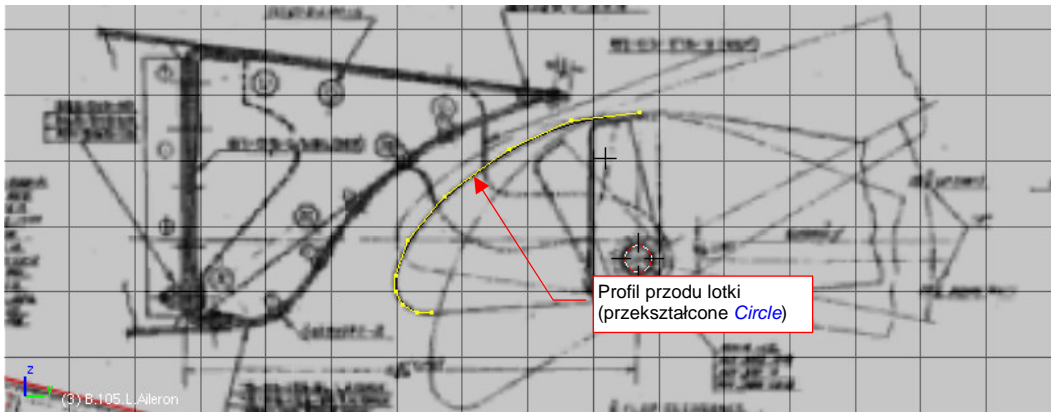
Rysunek 4.6.3 Skrzydło po wydzieleniu lotki — "wyostrenie" (**crease**) narożników

Fragment, który znikł z siatki skrzydła, stał się nowym obiektem (Rysunek 4.6.4), o nazwie **B.100.L.Wing.001**. Znajduje się nadal w tym samym miejscu. Zaznacz go i czym prędzej zmień jego nazwę na odpowiednią dla lewej lotki: **B.105.L.Aileron** (dlaczego i jak — str. 798).



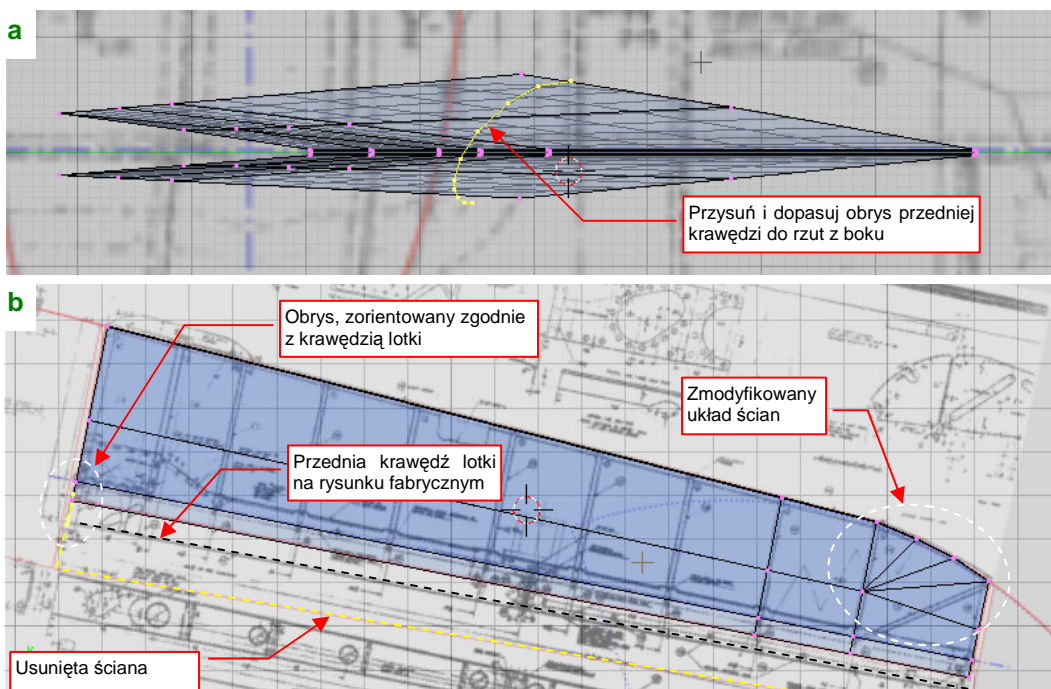
Rysunek 4.6.4 Lotka, po oddzieleniu od skrzydła

Na razie siatka lotki przypomina "uchylony zeszyt" (por. Rysunek 4.6.6a). Dodajmy do niej krawędź natarcia. Aby mieć jej wzorec, zastąp w widoku z boku (YZ) rysunek tła plikiem [source\blueprints\P40E-Wing-Details.png](#) (plik [source.zip](#)). To fragment rysunków konstrukcyjnych skrzydła. W jego górnej części znajduje się przekrój poprzeczny lotki i współpracującego z nią fragmentu płata. Traktując go jako wzór, stwórz linię profilu przedniej krawędzi lotki (Rysunek 4.6.5):



Rysunek 4.6.5 Przygotowanie obrysu przodu lotki

Blender nie ma specjalnego polecenia do rysowania dowolnych linii. Możesz jednak łatwo "obejść" to ograniczenie, wstawiając w tym miejscu nowy okrąg (*Circle*), złożony z dziesięciu wierzchołków. Potem go "rozerwij", usuwając jedną krawędź, poprzesuwnij w odpowiednie miejsce wierzchołki — i profil gotowy (Rysunek 4.6.5). Z siatki lotki usuń najbardziej wysuniętą do przodu dolną krawędź (Rysunek 4.6.6b) (to miejsce m. in. zajmie szczelina). Następnie dosuń do jej wewnętrznego krańca przygotowany profil, i odpowiednio przeskaluj, dopasowując rozmiarem do reszty siatki (Rysunek 4.6.6a). Zorientuj go tak, by leżał w płaszczyźnie ostatniego żebra lotki, i aby dotykał jej przedniej krawędzi (Rysunek 4.6.6b):



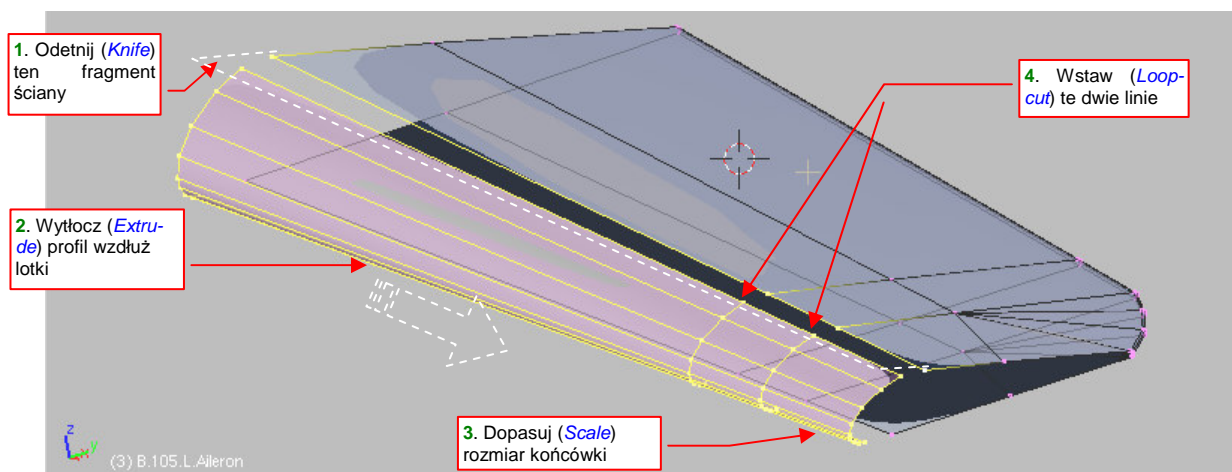
Rysunek 4.6.6 Ustawienie obrysu przodu lotki na wewnętrznej krawędzi

(Rysunek 4.6.6 ma za tło kolejny rysunek fabryczny — [Source\Blueprints\P40E-Aileron.png](#) z pliku [source.zip](#)). Zwróć także uwagę, że poprawiłem nieco układ ścian na końcówce lotki (Rysunek 4.6.6). Usunąłem jeden wierzchołek i utworzyłem w tym miejscu nowe, trójkątne ściany. W ten sposób z krawędzią natarcia styka się czworokąt, a nie trójkąt (por. Rysunek 4.6.4).



Takie czworokątne ściany są w tym miejscu potrzebne, gdyż teraz odetniemy (*Knife*) ich przednie części (Rysunek 4.6.7, krok 1). W ten sposób przygotowaliśmy tylną powierzchnię lotki do połączenia.

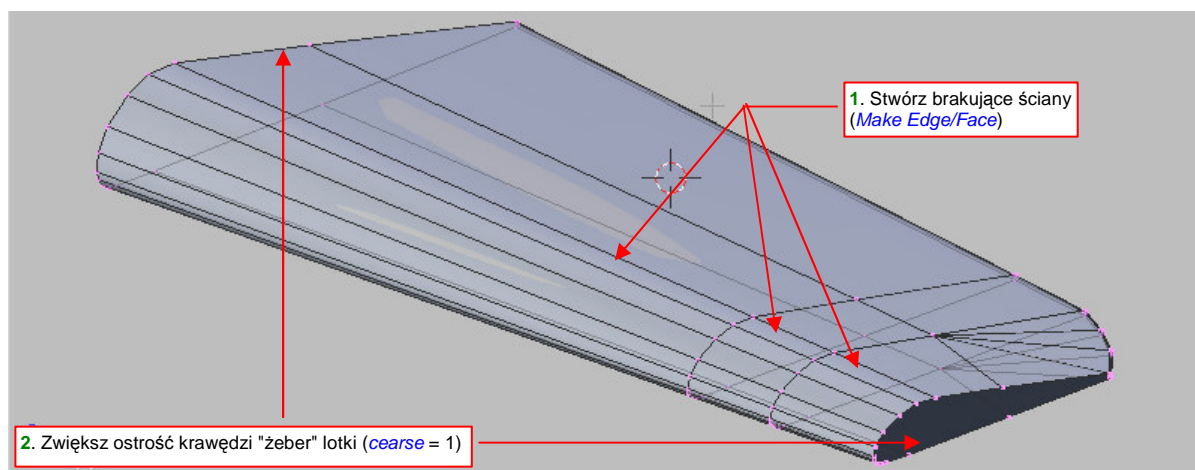
Teraz wytłocz (*Extrude*) profil wzdłuż lotki. Po wytłoczeniu zmniejsz (*Scale*) rozmiar końcówki, aby dopasować ją do rozmiaru lotki (Rysunek 4.6.7, kroki 2,3).



Rysunek 4.6.7 "Wytłoczenie" (*Extrude*) przedniej powierzchni lotki

Na koniec wstaw (*Loopcut*) w nowo powstałe ściany dwie dodatkowe sekcje. Umieść je tak, by były przedłużeniem dwóch linii wierzchołków biegnących przez tylną część siatki i (Rysunek 4.6.7, krok 4).

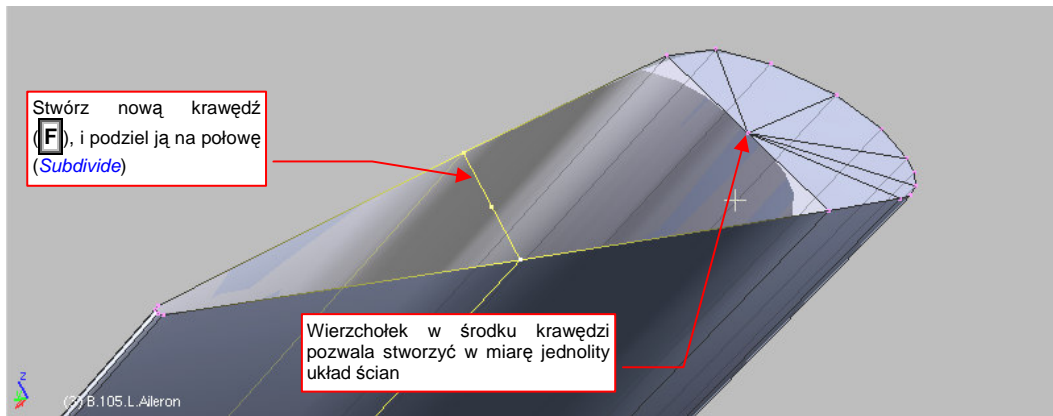
Po takim przygotowaniu przedniej i tylnej krawędzi lotki nie pozostaje nic innego, jak je połączyć. Wystarczy utworzyć sześć brakujących ścian (trzy z góry i trzy z dołu) (Rysunek 4.6.8):



Rysunek 4.6.8 Scalenie przedniej powierzchni lotki z resztą siatki

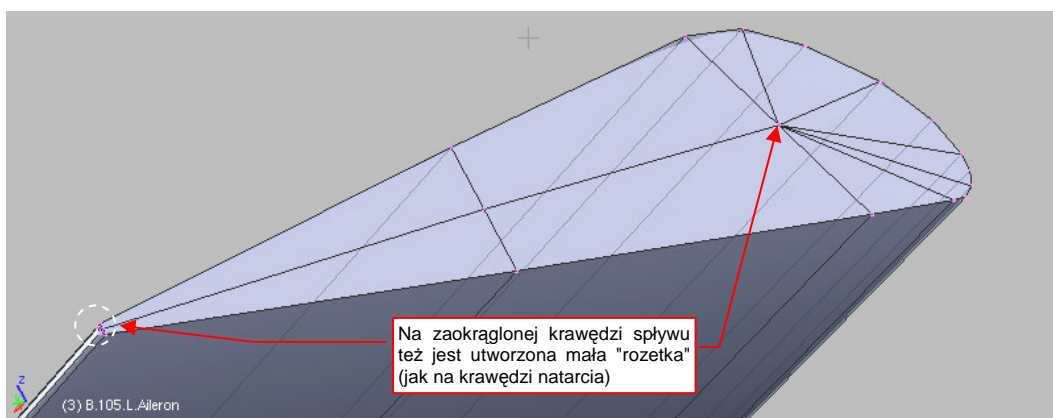
Pozostaje jeszcze "zamknąć" lotkę ścianami dwóch żeberek — zewnętrznym i wewnętrznym. Nim je stworzymy, zwiększ ostrość ich krawędzi do (*cearse*) do 1.0. Dzięki temu nie wystąpią na nich żadne przypadkowe zaokrąglenia.

Formowanie żebra końcowego zaczynamy od stworzenia pojedynczych krawędzi (**F**, *Make Edge/Face*), łączących odpowiednie wierzchołki górnej i dolnej powierzchni (Rysunek 4.6.9). Następnie podziel każdą z nich na dwie równe połówki (poleceniem *Subdivide*). Uzyskałeś w ten sposób wierzchołki, na których możesz "rozpiąć" kolejne ściany (Rysunek 4.6.9):



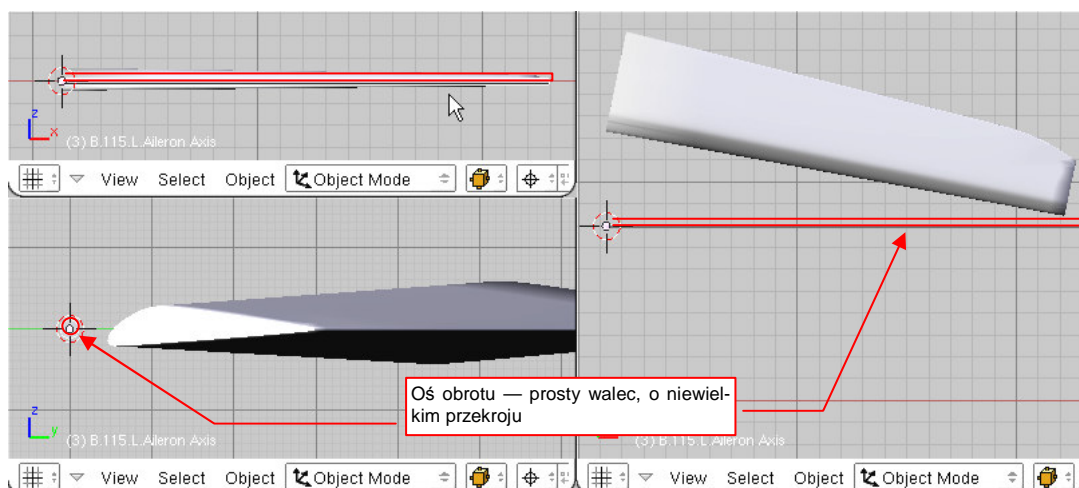
Rysunek 4.6.9 Przygotowanie płaszczyzny żebra, zamykającego lotkę

Rysunek 4.6.10 pokazuje ukończoną ścianę lotki:



Rysunek 4.6.10 Domknięcie żebra lotki

Lotka jest gotowa, teraz warto dodać jej oś obrotu. Taki obiekt będzie "rodzicem" lotki. Obracając oś, będziemy obracać lotkę<sup>1</sup>. Na początek stwórz gdzieś w pobliżu, w rzucie z boku (ZY), niewielki walec (Cylinder — str. 789) (Rysunek 4.6.11):

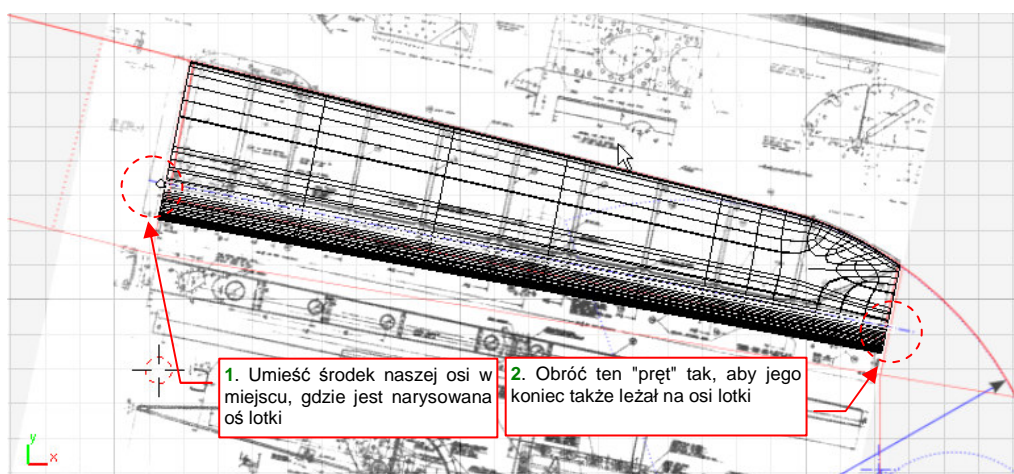


Rysunek 4.6.11 Stworzenie osi lotki

Po stworzeniu przesunij środek walca (jak — str. 808) na wewnętrzną krawędź, i rozciągnij go wzdłuż osi X. Oś nabrała kształtu pręta (Rysunek 4.6.11). Nadaj temu obiektowi nazwę **B.106.L.Aileron Axis**.

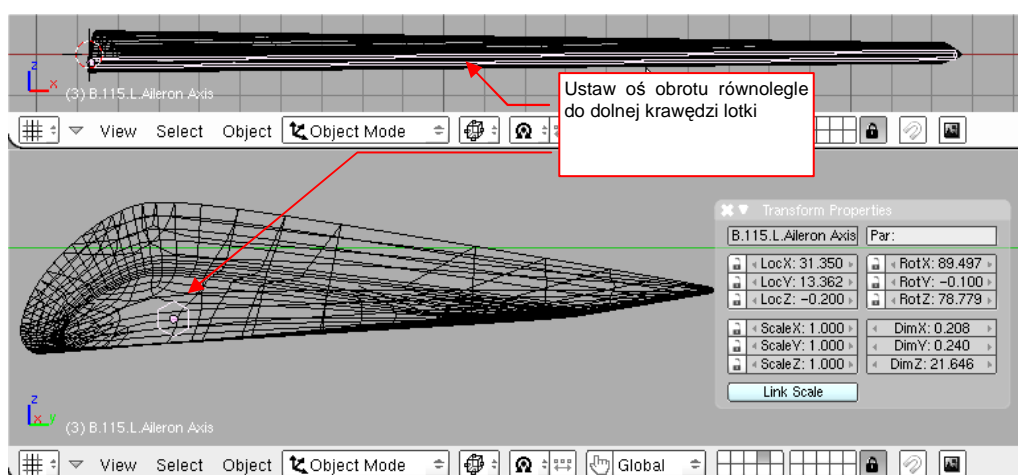
<sup>1</sup> Oś obrotu lotki jest pochylona w dwóch płaszczyznach. Taki zespół "oś - obiekt" jest najprostszą drogą osiągnięcia właściwego efektu.

W rzucie z góry, przesuń ten "pręt" i obróć tak, by biegł wzdłuż osi lotki (widocznej na rysunkach fabrycznych) (Rysunek 4.6.12):



Rysunek 4.6.12 Ustawienie osi lotki (widok z góry)

Z rysunków fabrycznych wynika, że oś obrotu biegła równoległe do dolnej powierzchni lotki. Aby osiągnąć ten efekt, w rzucie z przodu (ZX) przesuń oś nieco do dołu i odpowiednio pochyl (Rysunek 4.6.13):



Rysunek 4.6.13 Ustawienie osi lotki (widok z przodu i wzdłuż osi obrotu)

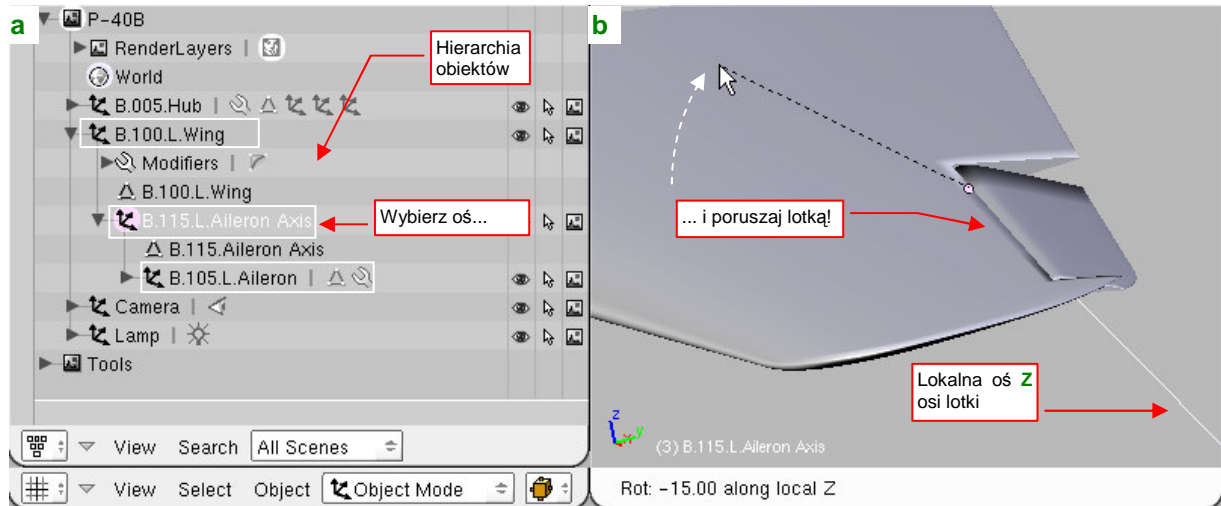
Jak wysoko umieścić oś obrotu ponad dolną powierzchnią lotki? Ustaw ją tak, jak pokazują z rysunki fabryczne (por. Rysunek 4.6.5, str. 131). Wynika z nich, że w rzeczywistej konstrukcji oś obrotu lotki była rurką o średnicy ok. 1cm. Jej końce widać było w szczelinach na krańcach lotki. Dopasuj średnicę naszego obiektu do tego rozmiaru. Co prawda to mały detal, który prawie nigdy nie będzie widoczny, ale w końcu nie jest to specjalnie trudne. Z odwzorowania nawet takich właśnie szczegółów składa się końcowy efekt modelu.

Pora teraz ustalić, co do czego należy:

- przypisz lotce (**B.105.L.Aileron**) jako "rodzica" (*Parent* — str. 800) przygotowaną przed chwilą oś (**B.106.L.Aileron Axis**);
- przypisz osi (**B.106.L.Aileron Axis**) jako "rodzica" skrzydło (**B.100.L.Wing**);



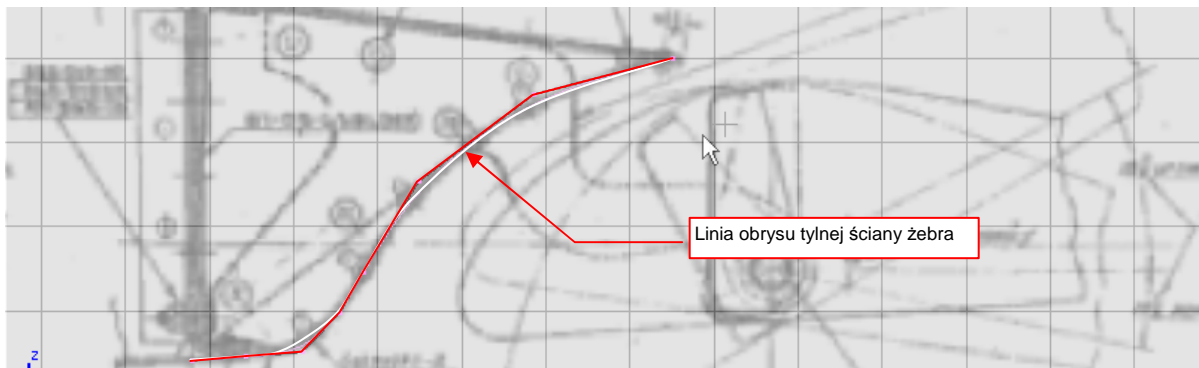
Rysunek 4.6.14a) pokazuje, jaką hierarchię części powinieneś uzyskać:



Rysunek 4.6.14 Hierarchia — lotka, oś, skrzydło, i jej efekty

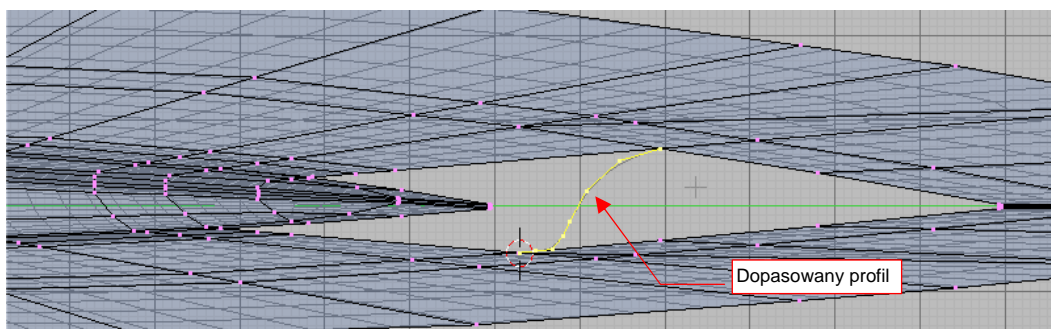
Czy wiesz, jak to działa? Zaznacz w oknie hierarchii (*Outliner*, Rysunek 4.6.14a) oś lotki. (W oknie widoku jest zasłonięta, więc nie ma co klikać na oślep). Teraz w oknie *3D View* włącz jej obrót dookoła lokalnej osi Z (**R**, **Z**, **Z** — Rysunek 4.6.14b) — i możesz ruszać lotką! Przyznasz, że obraca się całkiem realistycznie. Muszę przyznać, że zawsze lubiłem zabawki, a później modele, z dużą liczbą ruchomych części ☺. W dalszych rozdziałach pokażę, jak wygodniej sterować o wiele bardziej złożonymi efektami: różnicowym wychylaniem lotek, składaniem i rozkładaniem podwozia.

Lotka jest gotowa i zamontowana. Wróćmy teraz do siatki płata: trzeba oprofilować wewnętrzne ściany wycięcia na lotkę. Robimy to w ten sam sposób, co krawędź natarcia lotki. Zaczynamy od przygotowania profilu ściany, wykorzystując rysunki fabryczne (Rysunek 4.6.15):



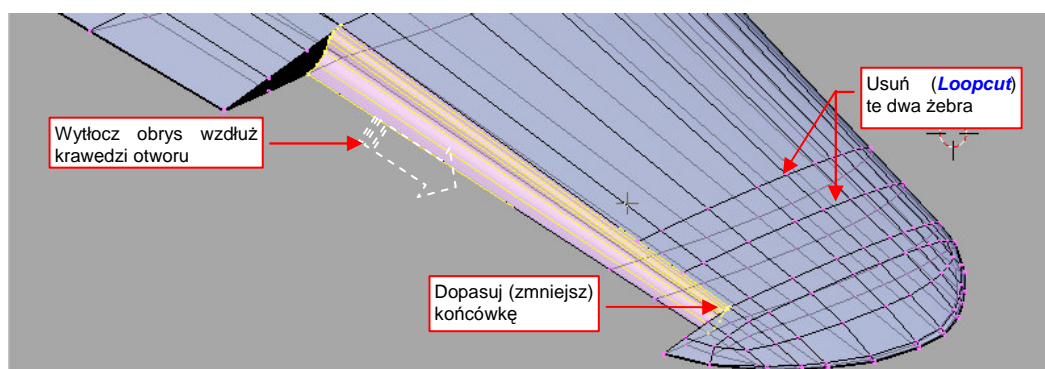
Rysunek 4.6.15 Przygotowanie obrysu szczeliny lotki

Następnie ustawiamy ją w płaszczyźnie wewnętrznego zębca, i dopasowujemy rozmiar do reszty siatki (Rysunek 4.6.16):



Rysunek 4.6.16 Dopasowanie obrysu szczeliny lotki

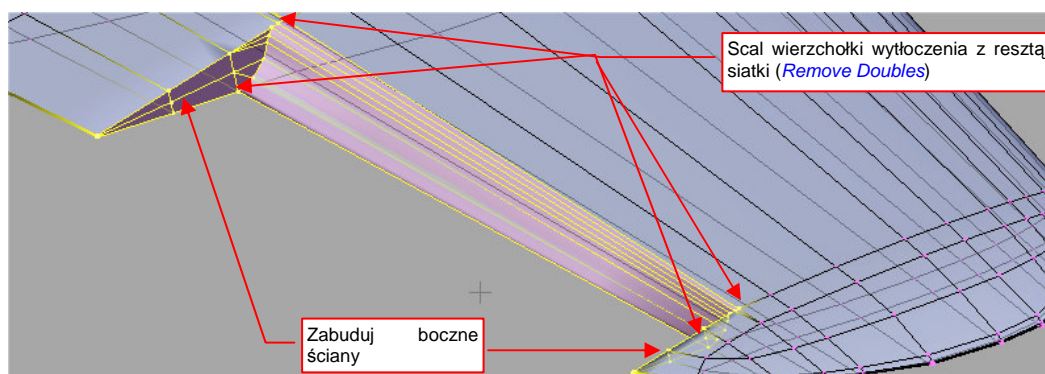
Kolejnym krokiem jest wytłoczenie wzdłuż krawędzi otworu lotki, oraz dopasowanie (zmniejszenie) rozmiaru końcówki (Rysunek 4.6.17):



Rysunek 4.6.17 Wytłoczenie powierzchni w szczelinie lotki

Przy okazji usuń (*Loopcut*) dwa żebra, wskazane na ilustracji (Rysunek 4.6.17). Pozostały z czasów sprzed oddzielenia lotki, i teraz już tylko przeszkadzają.

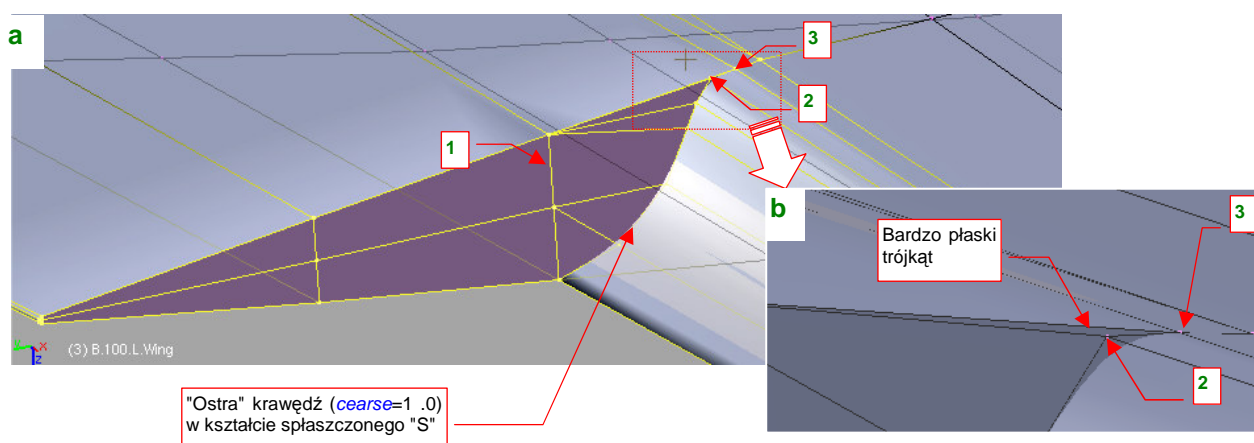
Po usunięciu niepotrzebnych żeber scal (*Remove Doubles*) wytłoczoną powierzchnię z resztą siatki. "Zabuduj" także boczne ściany (Rysunek 4.6.17) — w ten sam sposób, jak boczne ściany lotki.



Rysunek 4.6.18 Zamknięcie wycięcia na lotkę

W konstrukcji tego fragmentu jest pewien szczegół, na który chciałbym zwrócić uwagę. Aby uzyskać ładną, ostrą krawędź ściany, o kształcie spłaszczonego "S", w dość specyficzny sposób ułożyłem w tym miejscu krawędzie.

Gdy popatrzysz na ilustrację poniżej (Rysunek 4.6.19a), możesz odnieść wrażenie, że wierzchołki **1**, **2**, **3** leżą na wspólnej krawędzi.



Rysunek 4.6.19 Szczegóły ściany żebra

Tak jednak wcale nie jest. To są dwie oddzielne krawędzie: |1-3| i |2-3|. Zbliżenie pokazuje, że w istocie wierzchołki 1, 2, 3 tworzą bardzo płaski trójkąt, leżący w płaszczyźnie żebra (Rysunek 4.6.19b). Taki układ siatki pozwala uzyskać na powierzchni podziałowej dwie ostre krzywe, zbiegające się ładnym łukiem w jednym punkcie<sup>1</sup>.

### Podsumownie

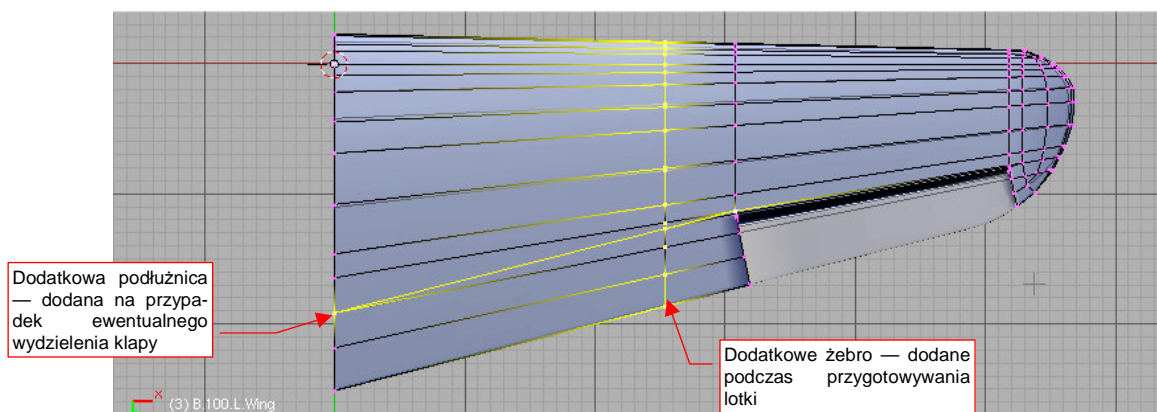
- Lotki w konstrukcjach z okresu II WŚ miały konstrukcję szczelinową. Z tego powodu warto je modelować jako oddzielny element skrzydła.
- Siatkę lotki najprościej jest uzyskać poprzez wydzielenie z siatki płata. Służy do tego polecenie *Separate* (str. 130).
- Przednią krawędź lotki i tylną krawędź skrzydła modelujemy w taki sam sposób — wytłaczamy profil wzdłuż przedniej krawędzi lotki.
- Oś obrotu lotki warto jest stworzyć jako oddzielny obiekt. Zorientowanie samej lotki wzdłuż takiej osi stwarza dużo problemów.
- Skrzydło, oś lotki i samą lotkę łączymy więzami *Parent* (str. 135) w hierarchię. Dzięki temu będziesz mógł przesuwac i obracać cały płatek bez martwienia się o położenie jego komponentów. Lotkę można obracać poprzez obrót jej osi (brzmi to jak oczywistość, ale ten efekt jest możliwy dzięki hierarchii).

<sup>1</sup> Nie zdecydowałem się umieścić punktów 1, 2, 3 w jednej linii. Żaden program renderujący "nie lubi" takich "zdegradowanych" ścian. Nie chciałem ryzykować jakichś lokalnych problemów z barwą czy teksturą.



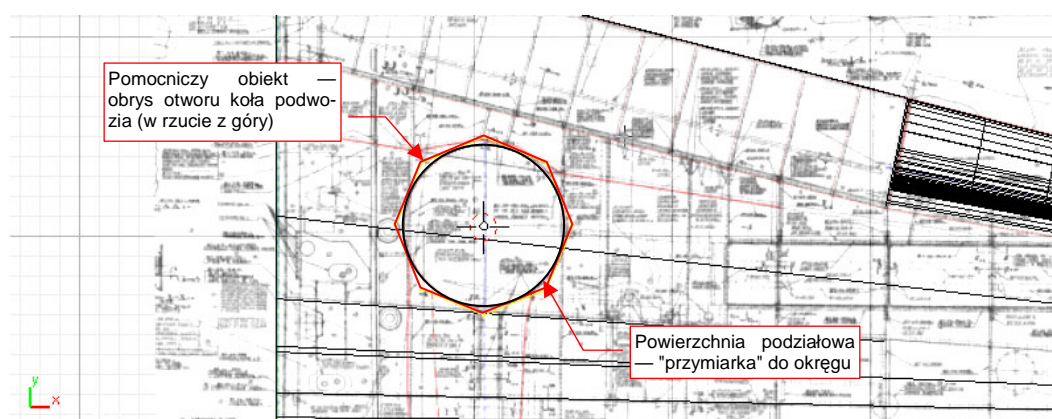
## 4.7 Skrzydło - kształt ostateczny

Rysunek 4.7.1 pokazuje układ siatki skrzydła, jaki do tej pory uzyskaliśmy (por. str. 129):



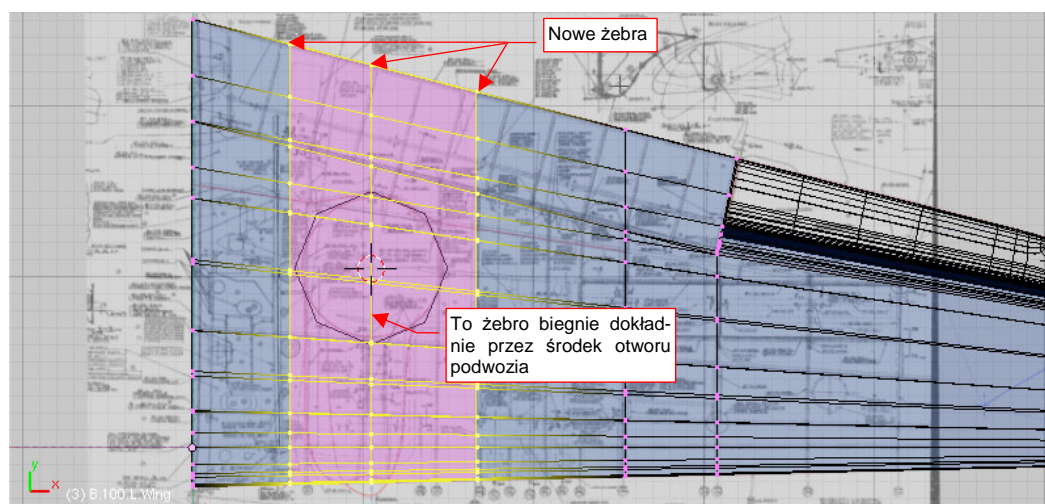
Rysunek 4.7.1 Wyjściowy układ siatki skrzydła

Pozostało jeszcze kilka drobiazgów, z których największym jest otwór na koła podwozia głównego. Przygotowałem, jako oddzielny obiekt, obrys jego krawędzi (Rysunek 4.7.2) :



Rysunek 4.7.2 Narzędzie do wycięcia otworu podwozia głównego: ośmioboczna "rura"

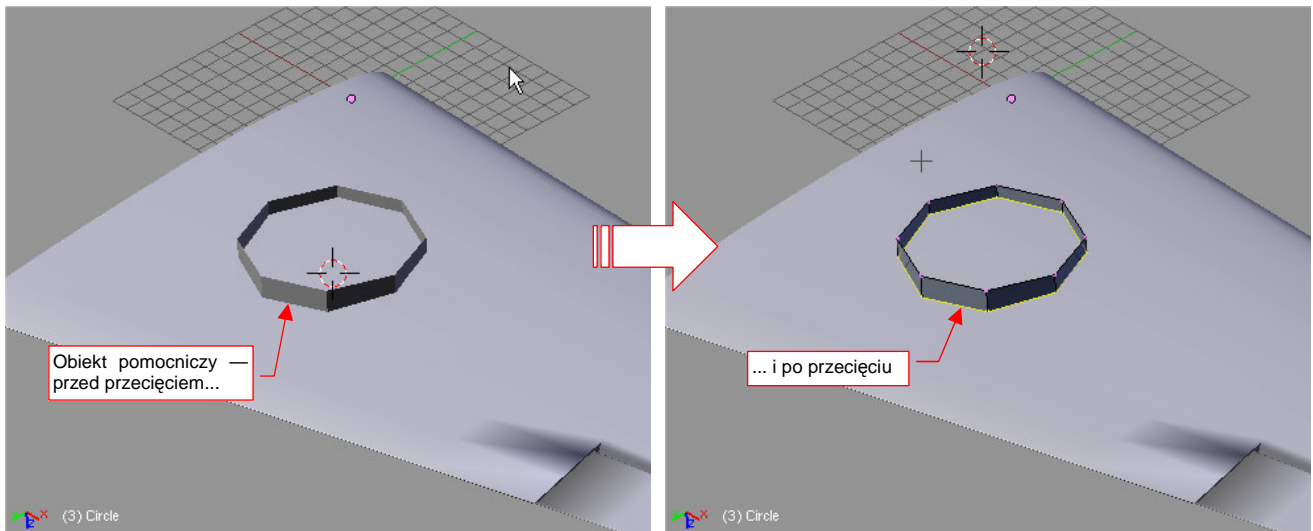
W ramach przygotowania siatki płata wstawiłem trzy nowe żebra. Jedno z nich dokładnie w środku otworu, a pozostałe dwie — na zewnątrz (Rysunek 4.7.3):



Rysunek 4.7.3 Dodatkowe sekcje siatki płata — przygotowanie do wykonania otworu

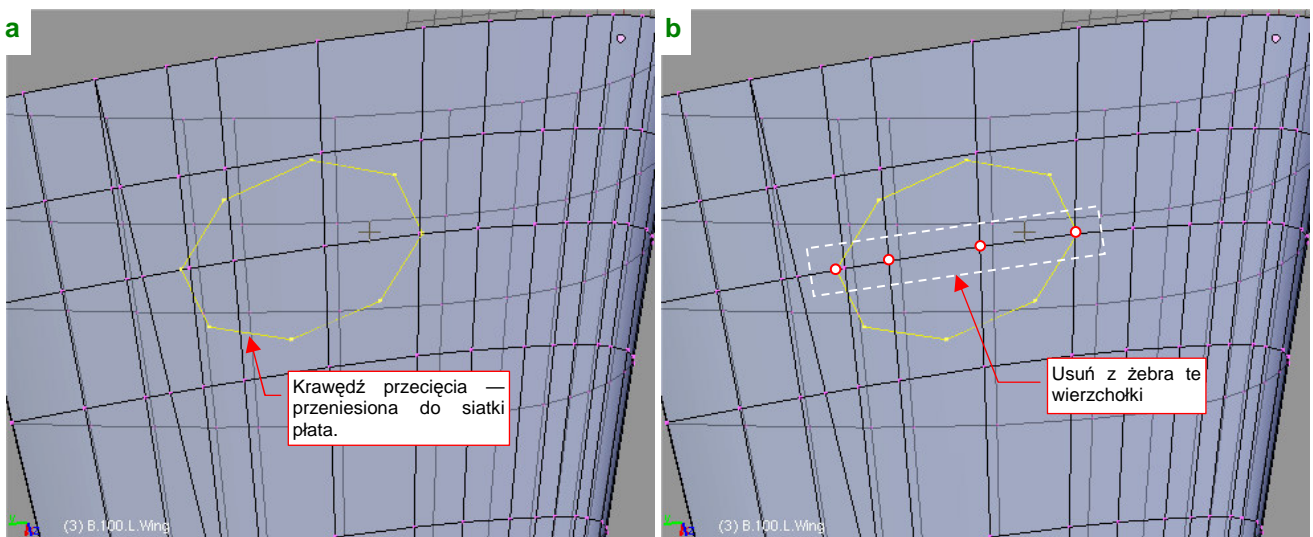
Dlaczego do odwzorowania okręgu posługuję się ośmiobokiem? Dlatego, że więcej krawędzi tu nie trzeba. Dwukrotna powierzchnia podziałowa (*Subsurf, Level = 2*), wytworzy na takim obrysie w miarę gładki 32-kąt. Największe odchylenie wierzchołków tej linii od "idealnego" okręgu będzie na poziomie 0.71% (więcej na ten temat — str. 576). Na pewno blacha na prawdziwym samolocie była wycinana z podobną, lub mniejszą tolerancją.

Po tych przygotowaniach czas na cięcie (*Cross Section*). Tym razem skorzystaj wyłącznie z ośmiu punktów krawędzi przecięcia pomocniczego obiektu z powierzchnią płata (Rysunek 4.7.4):



Rysunek 4.7.4 Wyznaczenie krawędzi otworu na koło podwozia

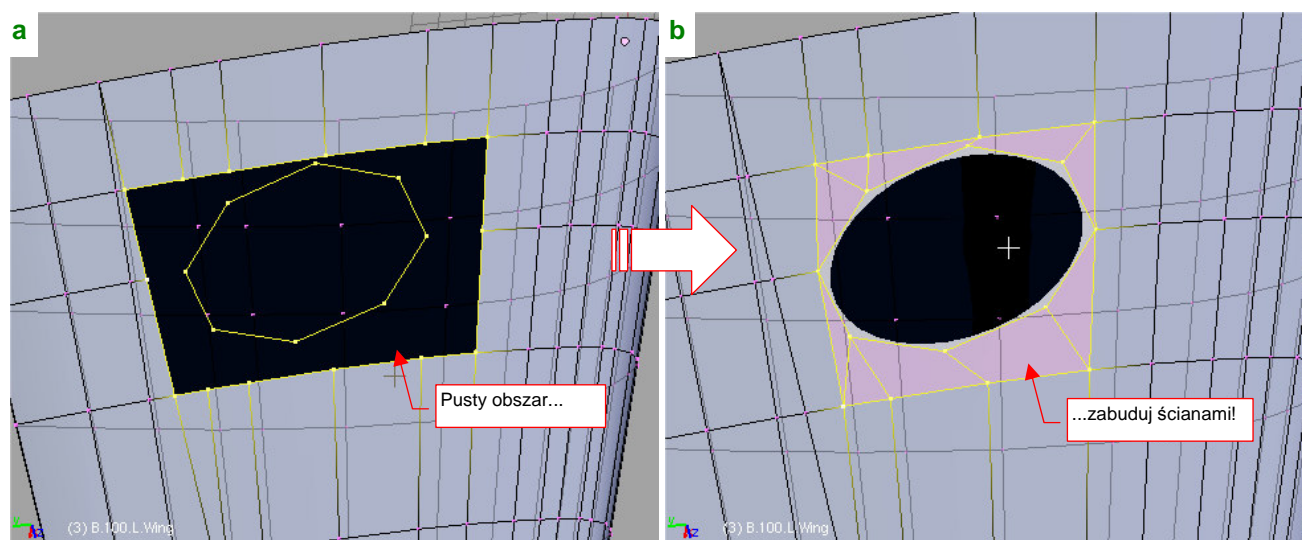
Siatka ośmiobocznego graniastosłupa zyskała dodatkową linię wierzchołków — krawędź przecięcia. Scal ją teraz z siatką skrzydła (**Ctrl-J** — *Join Objects*, str. 806). Po scaleniu usuń wszystkie niepotrzebne wierzchołki. Z pomocniczego graniastosłupa pozostaw z tylko samą krawędź przecięcia (Rysunek 4.7.5a):



Rysunek 4.7.5 Wyznaczenie krawędzi otworu na koło podwozia

Teraz usuń cztery wierzchołki zebra płata, leżące wewnątrz i na granicy krawędzi przecięcia (Rysunek 4.7.5b).

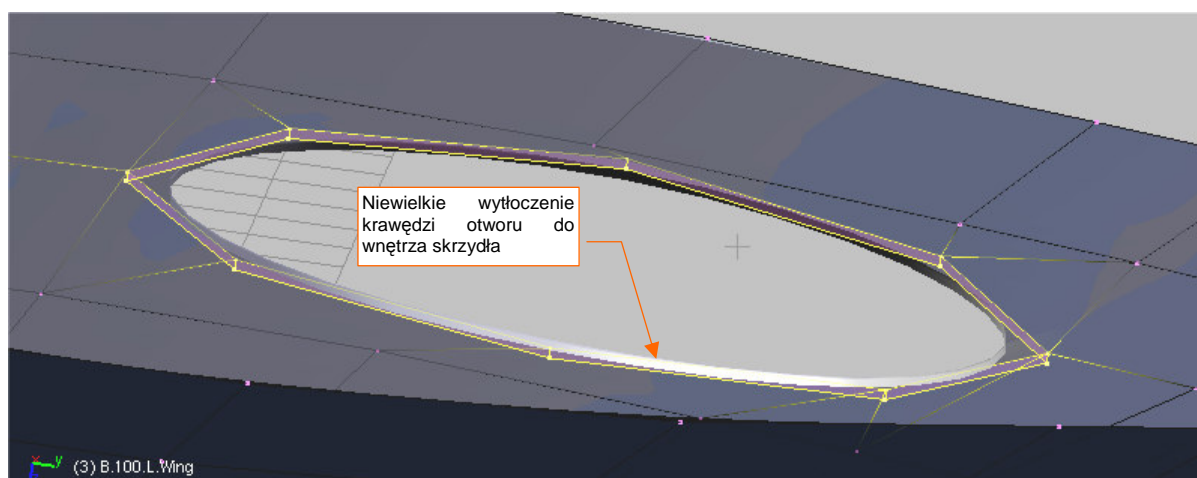
W rezultacie zrobiło się wokół krawędzi otworu w skrzydle pusto (Rysunek 4.7.6a):



**Rysunek 4.7.6** Wkomponowanie nowej krawędzi w siatkę płata

Wystarczy zabudować tę przestrzeń, tworząc nowe ściany łączące krawędź przecięcia z resztą siatki. I już mamy ładny, okrągły otwór! (Rysunek 4.7.6b)

Aby nie "straszyć" pokryciem o zerowej grubości, wytłocz krawędź tego otworu do wnętrza skrzydła o ok. 0.1 jednostki (Rysunek 4.7.7). (W rzeczywistym samolocie to ok. 1 cm):



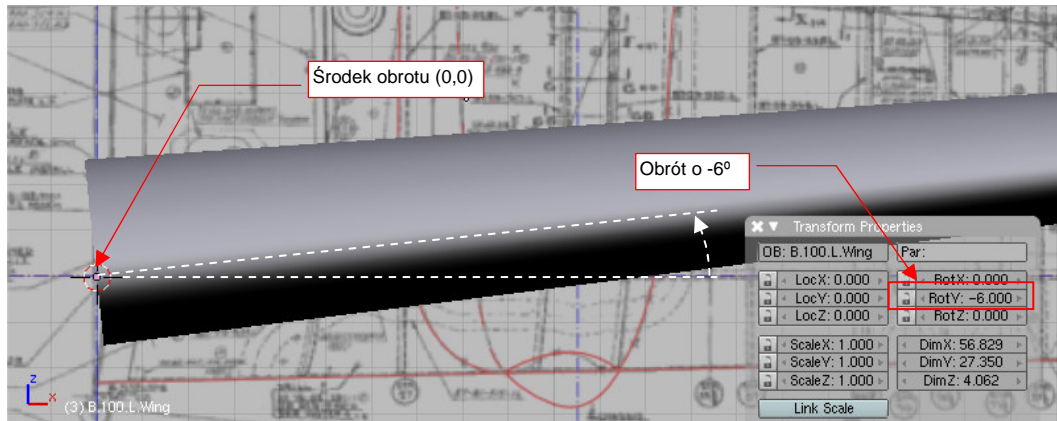
**Rysunek 4.7.7** Wygięcie krawędzi otworu do wnętrza skrzydła

Możesz sprawdzić, że kształt otworu w rzucie z góry nadal jest okręgiem. Skąd wiedziałem, że tak się zachowa powierzchnia skrzydła? W końcu jest wygładzoną powłoką podziałową (*Subsurf*)... Otóż wynika to właśnie z jednej z właściwości powierzchni podziałowych. Brzmi ona: "kształt rzutu powierzchni podziałowej na płaszczyznę zależy tylko od rzutu jej siatki". Jeżeli rzut z góry ośmioboku był okręgiem, to okręgiem w rzucie z góry jest także jego krawędź przecięcia ze skrzydłem. (Dlatego podczas operacji przecinania użyliśmy wyłącznie punktów leżących na krawędziach pomocniczego obiektu, a nie płata). Gdy połączymy uzyskaną krawędź przecięcia z siatką skrzydła nowymi ścianami — rzut z góry tego otworu także pozostanie okręgiem. (Nie zmieniliśmy przecież w żaden sposób położenia jego wierzchołków). Więcej na temat właściwości "materiału", jakim są linie i krzywe podziałowe, znajdziesz w sekcji 10.2, na str. 571.



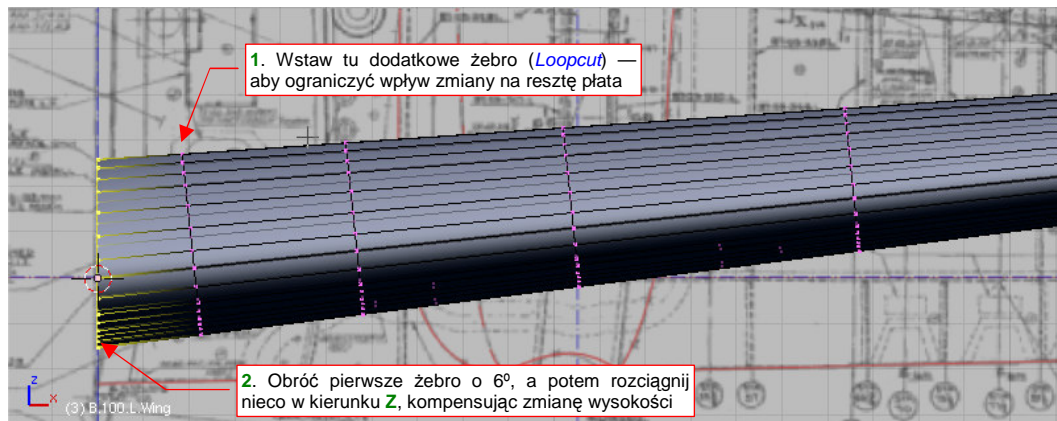
Zbliżamy się już do końca prac nad kształtem płata. Pozostaje jeszcze tylko pochylić początkowe żebro o  $6^\circ$ . (Płat P-40 miał wznios  $6^\circ$  i składał się z dwóch połówek, złączonych śrubami. Aby do siebie pasowały, pierwsze żebro musi być o ten kąt pochylone).

Obróć cały obiekt w rzucie z przodu (ZX) o  $6^\circ$  do góry (Rysunek 4.7.8):



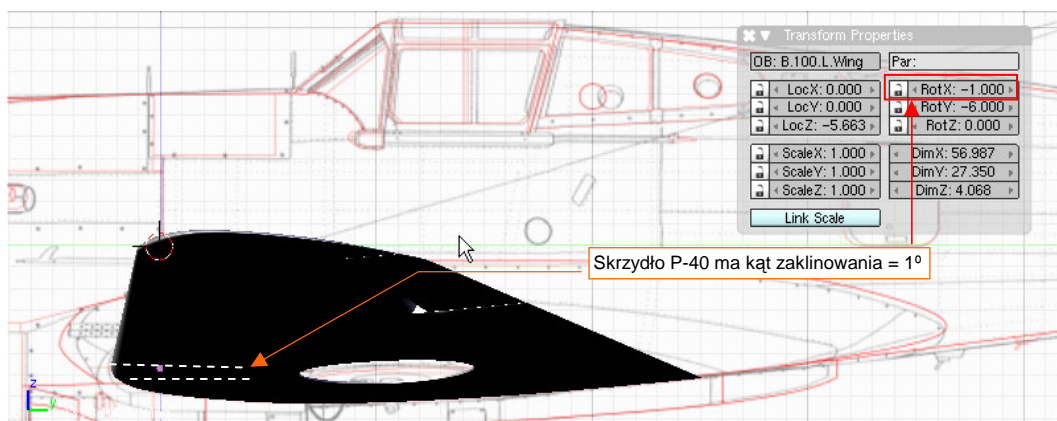
Rysunek 4.7.8 Pochylenie płata ( $6^\circ$ )

Potem przełącz się w tryb edycji. Wstaw (*Loopcut*) dodatkowe żebro w tym obszarze płata, który będzie w całości zastąpiony przez kadłub (Rysunek 4.7.9). Potem obróć żebro początkowe tak, by było pionowe. Na koniec "rozciągnij" (*Scale*) je trochę w kierunku Z, aby obrys dolnej i górnej krawędzi płata nie był załamany (Rysunek 4.7.9):



Rysunek 4.7.9 Pochylenie pierwszego żebra

I to wszystko! Pozostaje teraz jeszcze pochylić płat w rzucie z boku (ZY) o kąt zaklinowania ( $1^\circ$ ), i umieścić w docelowym położeniu (Rysunek 4.7.10):



Rysunek 4.7.10 Ustawienie płata w położeniu docelowym

**Podsumownie**

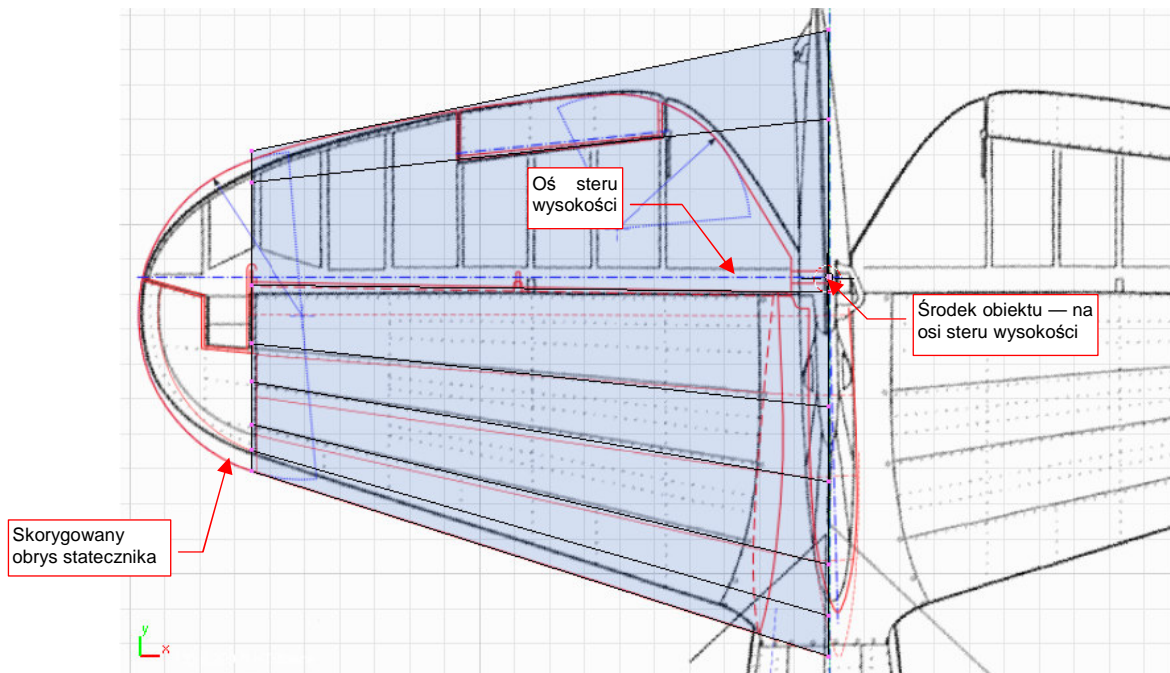
- Otwór na podwozie można wyciąć w powierzchni płata. Zazwyczaj otwory takie mają kształt będący pochodną okręgu.
- Do zamodelowania całkiem dokładnego okręgu za pomocą linii/powierzchni podziałowych wystarczy ośmiokąt.
- Obiekty (a dokładniej - ich siatki) można scalać. Służy do tego polecenie [Join Objects](#) (str. 139).

## 4.8 Usterzenie poziome

Usterzenie poziome naszego modelu będzie się składać ze statecznika, steru wysokości i jego osi obrotu. Podobnie jak w przypadku płata, na plany samolotu naniosłem skorygowany (na podstawie zdjęć i rysunków fabrycznych) obrys kształtu. Miejscami różni się w dość dużym stopniu od oryginalnych rysunków — zarówno J. Jackowskiego jak i M. Łukasika (por. str. 561).

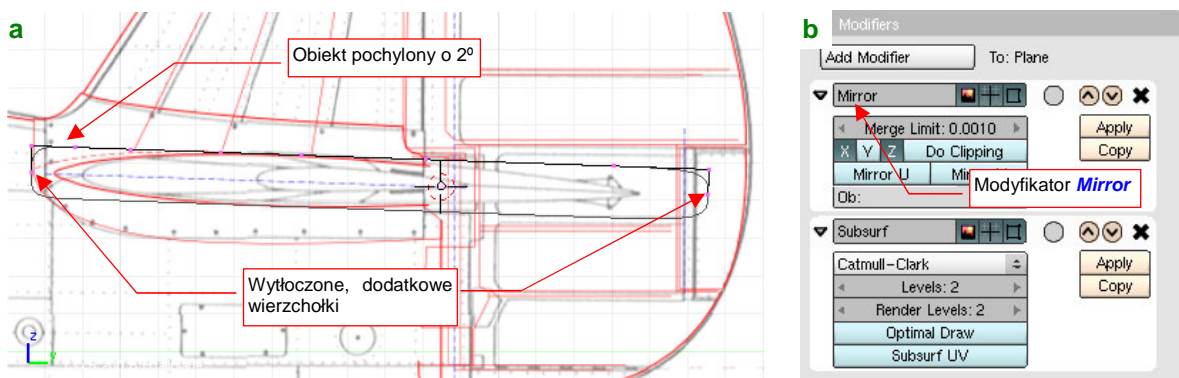
Usterzenie poziome wygląda jak małe skrzydło, i tworzymy je w ten sam sposób. Będzie łatwiejsze do uformowania niż płat, gdyż profil statecznika jest symetryczny, a końcówka ma konwencjonalny kształt. (Bez takich udziwnień, jakie wystąpiły w skrzydle).

Zaczynamy tak samo jak poprzednio — od przybliżonej płaskiego trapezu do położenia podłużnic (Rysunek 4.8.1) :



Rysunek 4.8.1 Przybliżenie do rozłożenia podłużnic na stateczniku

Środkiem nowego obiektu jest punkt przecięcia osi obrotu steru wysokości z osią symetrii kadłuba. Z trapezu pozostawiamy tylko profil początkowy (Rysunek 4.8.2a), dla którego włączamy odbicie lustrzane (modyfikator *Mirror* — p. Rysunek 4.8.2b, szczegóły: str. 889) :

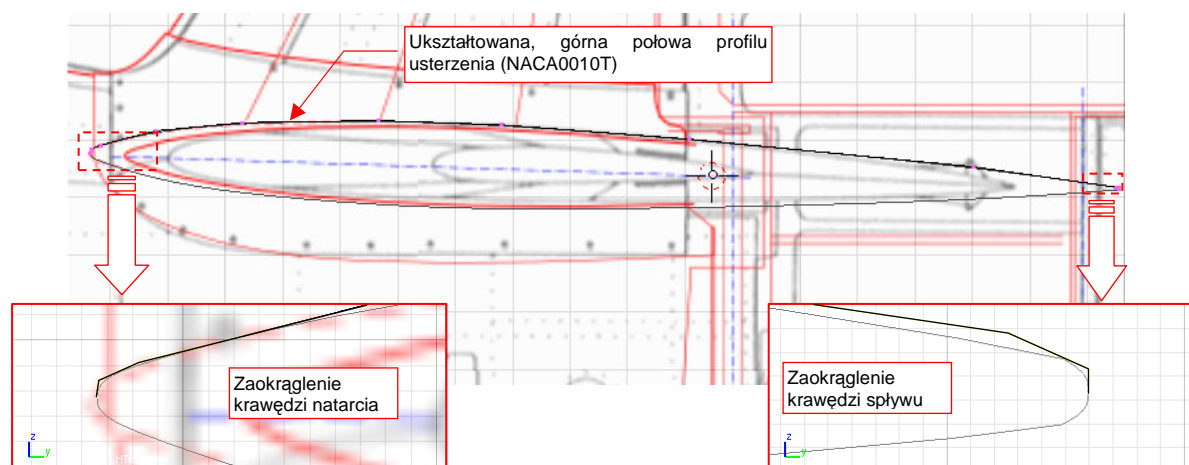


Rysunek 4.8.2 Początkowa postać profilu (włączone "lustrzane odbicie" siatki)

Nim przełączysz się do trybu edycji, ustaw cały obiekt wzdłuż osi usterzenia, czyli pod kątem  $2^\circ$ . Następnie, w trybie edycji, przekształć początkowy prostokąt w kształt obrysu górnej powierzchni usterzenia, zgodnie z rysunkiem. (Na plany naniosłem profil z rodziny NACA 00xxT, o zmniejszonym promieniu noska — taką "ostrą"



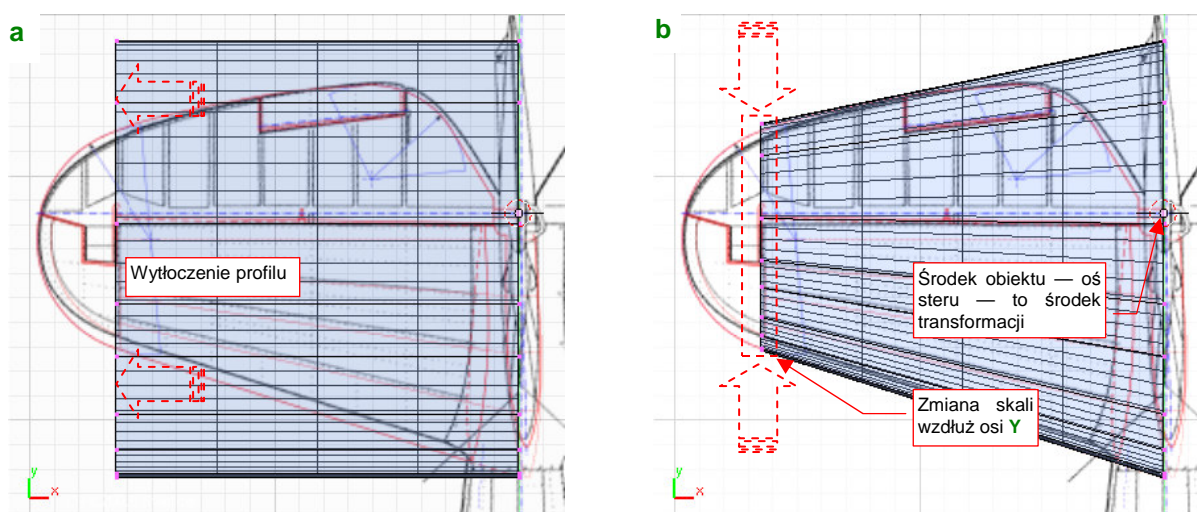
krawędź natarcia widać na zdjęciach.) Dolna połówka obrysu jest zawsze odbiciem górnej, dzięki modyfikatorowi *Mirror* (Rysunek 4.8.3):



Rysunek 4.8.3 Przygotowany profil statecznika

Pamiętaj, aby podczas formowania profilu przesuwając oryginalne wierzchołki, rozłożone wzdłuż poziomego boku prostokąta, tylko wzdłuż lokalnej osi **Z**. W ten sposób zachowasz położenie podłużnic tam, gdzie je zaplanowałeś. Nowe wierzchołki, które dodałeś później, możesz przesuwać w sposób dowolny. Podobnie jak na płacie, zastosuj niewielkie zaokrąglenie na krawędzi spływu (Rysunek 4.8.3).

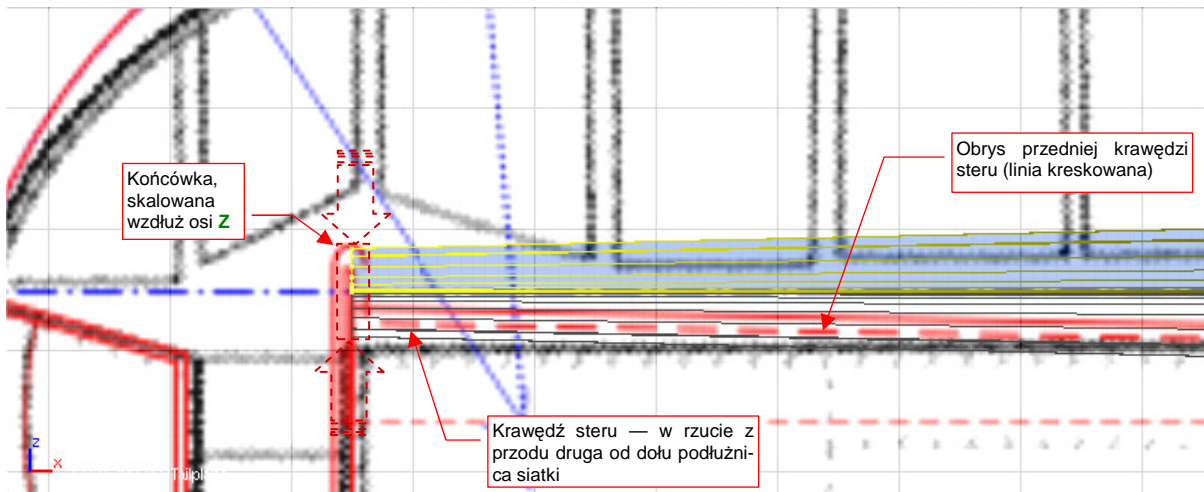
Po uformowaniu profilu "wyprostuj" z powrotem cały obiekt (zmień obrót dookoła osi **X** z  $2^\circ$  na  $0$ ). Następnie wróć do trybu edycji i wytłocz profil wzdłuż osi **X** (Rysunek 4.8.4a). Teraz upewnij się, czy kursor znajduje się w środku obiektu. (Mam na myśli punkt odniesienia — por. Rysunek 4.8.4b — a nie geometryczny środek siatki!) Ustaw tryb środka obrotu — *Pivot* — na *3D Cursor*. Potem "ściśnij" końcówkę, zmieniając jej skalę wzdłuż osi **Y** (Rysunek 4.8.4b) :



Rysunek 4.8.4 Wytłoczenie (a) profilu i zmiana rozmiaru (b) końcówki

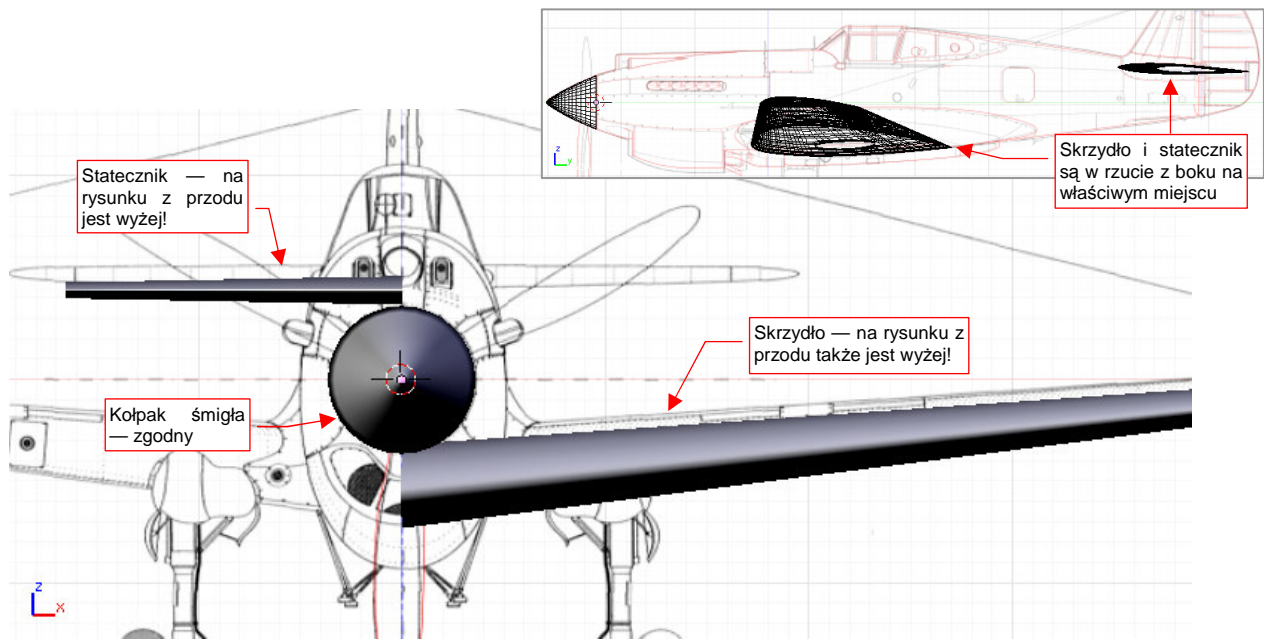
Przy formowaniu usterzenia nie jestem już tak dokładny, jak w przypadku skrzydła: nie przygotowałem pomocniczego profilu. Zamiast tego naniosłem na obrys z góry zarys przedniej krawędzi steru wysokości, uzyskany z rysunków fabrycznych tego elementu. Ster wysokości P-40 nie miał wyważenia krawędziowego, więc zakładam, że jego przednia krawędź miała przekrój kołowy (por. Rysunek 4.8.17, str. 150). Przy takim założeniu odległość przedniej krawędzi steru od osi obrotu określa także grubość usterzenia w tym miejscu.

Potraktowałem więc obrys przedniej krawędzi steru w rzucie z góry jak ekwiwalent obrysu w rzucie z przodu. Dopasowałem do niego grubość końcówki, zmieniając skalę jej wierzchołków wzdłuż osi  $Z$  (Rysunek 4.8.5):



Rysunek 4.8.5 "Spłaszczenie" końcówki (obiekt w rzucie z przodu, rysunek to rzut z góry)

Czy nie popełniliśmy jakiejś poważnej pomyłki? Ustaw elementy, samolotu, które już mamy, w odpowiednich miejscach na rzucie z boku ( $YZ$ ). Potem porównaj je z rzutem z przodu (Rysunek 4.8.6):

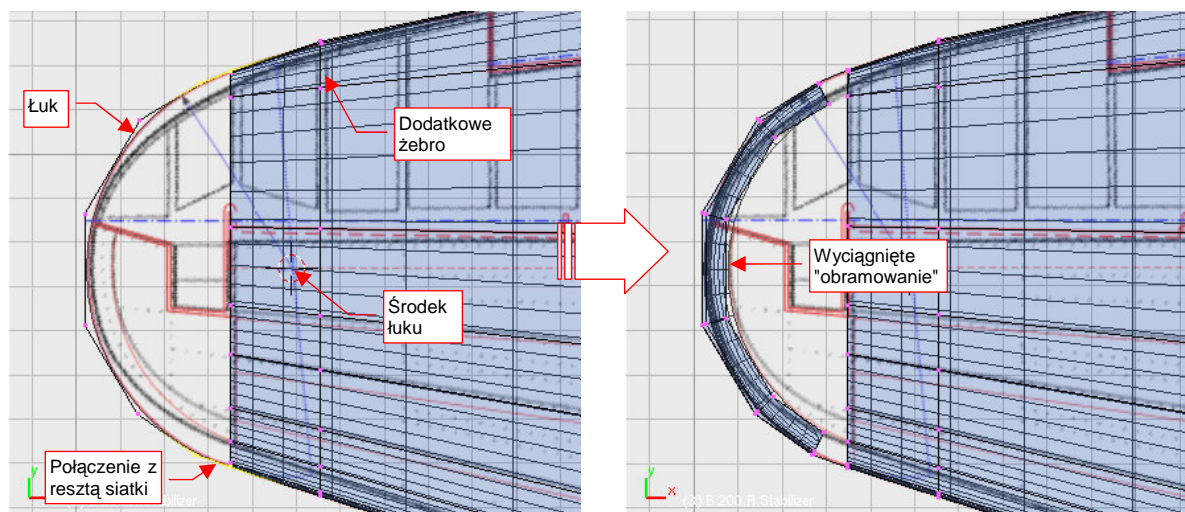


Rysunek 4.8.6 Mała weryfikacja rzutu z przodu — różnice (w porównaniu z rzutem z boku)

Wygłąda na to, że grubości statecznika i skrzydła są podobne do tych, na planach modelarskich. Widać jest za to, że obydwie te elementy są w stosunku do rzutu z przodu przesunięte do dołu. (Kołpak śmigła jest we właściwym miejscu). Czy ta różnica wynikała z przyjęcia przez autora planów innego przebiegu osi samolotu? W takim przypadku statecznik byłby dwa razy bardziej odległy od swojego pierwowzoru na rysunku, niż skrzydło. Tak jednak nie jest. To raczej błąd rysunków — niewłaściwe położenie śmigła, wraz z kołpakiem, w płaszczyźnie  $ZX$ .

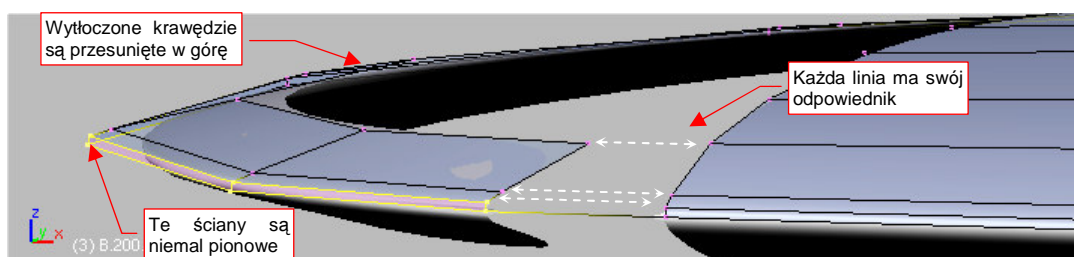
- Rzuty z przodu mogą zawierać więcej błędów niż pozostałe, i należy traktować je z dużą rezerwą. Często będziesz się spotykał z różnicami na planach. Należy wówczas przyjąć, że w pierwszej kolejności "rację ma" rzut z boku, później — rzut z dołu lub góry. Rysunki w pozostałych projekcjach są mniej ważne.

Czas stworzyć zaokrągloną końcówkę usterzenia. Na początek dodaj przy końcu siatki dodatkowe "żebro" (Rysunek 4.8.7). Według rysunków, obrys końcówki był fragmentem łuku. Dołącz więc do siatki, w płaszczyźnie symetrii statecznika, pojedynczy łuk (uzyskany z 12 - wierzchołkowego *Circle*). Połącz jego końce z siatką, dokonując drobnych przemieszczeń wierzchołków, aby zneutralizować odchylenia linii od wzorcowego okręgu (Rysunek 4.8.7):



Rysunek 4.8.7 Końcówka usterzenia — naniesienie obrysu z góry

Następnie wytłocz wierzchołki łuku w pierścień (zmieniając skalę względem środka okręgu) (Rysunek 4.8.7). Wytłoczoną krawędź unieś nieco do góry (tzn. przesunij wzdłuż osi *Z*) (Rysunek 4.8.8):



Rysunek 4.8.8 Końcówka usterzenia — szczegóły zaokrąglenia

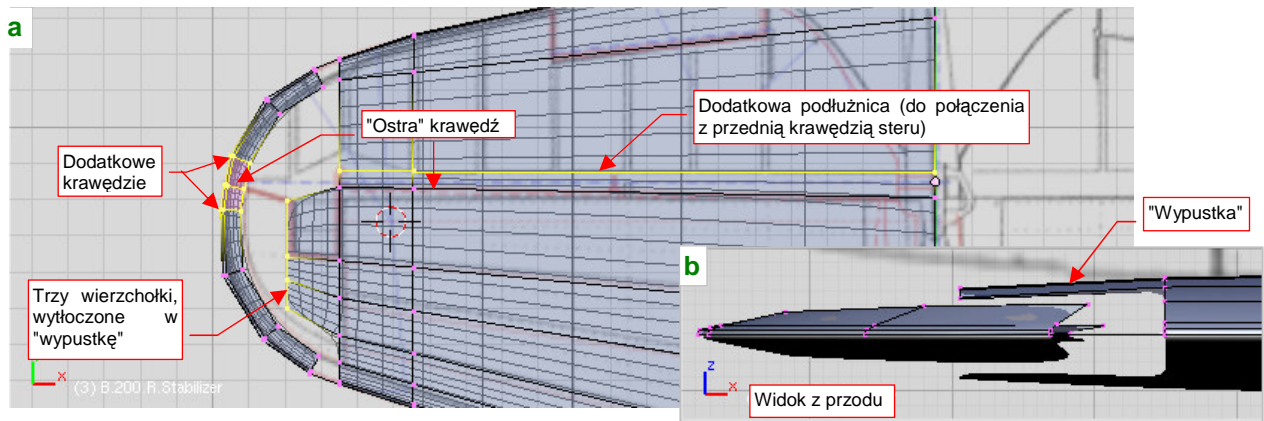
Jednocześnie dodaj do pierścienia kolejne linie wierzchołków (poleceniem *Loopcut*). Ustawiam je tak, by każda z nich odpowiadała jednej z podłużnic z reszty siatki (Rysunek 4.8.8).

W ten sposób mamy już przygotowane końcowe zaokrąglenie statecznika i steru. Zwróć uwagę, że już przygotowując pierwszy profil, zapewniłem sobie taką samą liczbę wierzchołków na krawędzi natarcia i spływu. Zrobiłem to z myślą o wygodnym i płynnym włączeniu pierścienia końcówki do reszty siatki.

W prawdziwym P-40 na końcu statecznika był zamocowany wygięty pierścień z blachy, o takim samym kształcie i rozmiarze jak nasz. Przyznam się, że zdjęcia z dwóch rekonstrukcji P-40 różnią się promieniem zaokrąglenia przekroju końcówki. Rekonstrukcja z Nowej Zelandii ma stosunkowo ostre końce, a inna, z USA — bardziej zaokrąglone. Wybrałem wersję z Nowej Zelandii, bo bardziej mi pasowała do promienia nosa profilu statecznika.

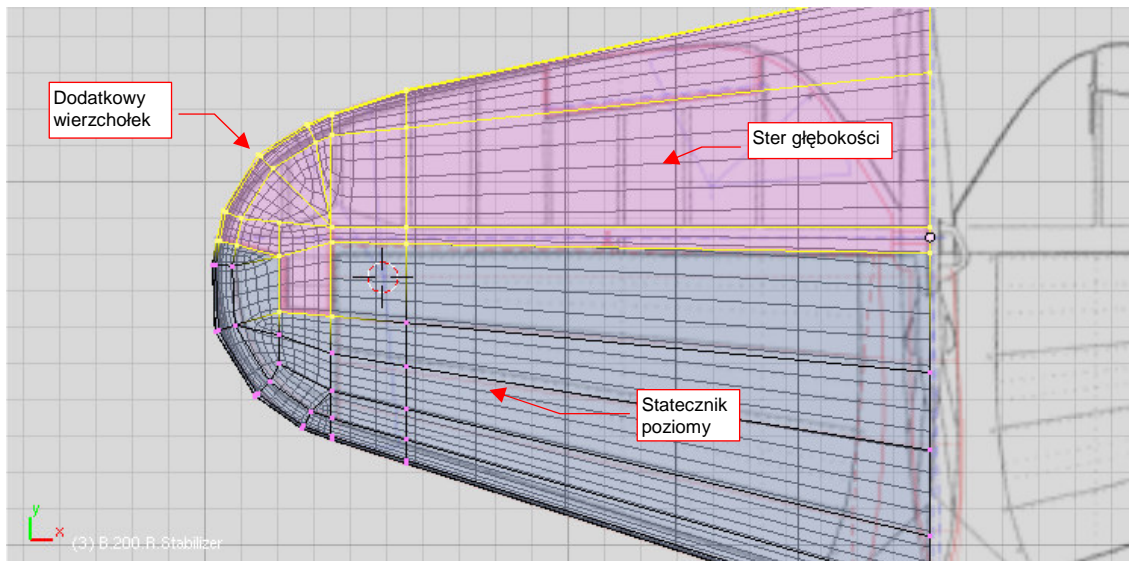


Od razu warto się przygotować do podziału usterzenia na statecznik i ster. Jeżeli zaznaczysz wcześniej krawędź podziału jako "ostrą" (*cearse* = 1.0), to taki podział nie wpłynie na kształt każdej z części. W związku z tym oznaczyłem jako "ostrą" odpowiednią krawędź, w tym także odcinek na pierścieniu końcówki usterzenia. Oczywiście, zmieniło to obrys powierzchni podziałowej w tym obszarze. Przywracając mu z powrotem kształt łuku, dodaj w pobliżu dwie dodatkowe krawędzie (Rysunek 4.8.9a). (Łatwiej je dodać na tym etapie — poleceniem *Loopcut* — niż po wypełnieniu końcówki ścianami.)



Rysunek 4.8.9 Końcówka usterzenia — dodatkowe krawędzie

Aby zapełnić pustą przestrzeń końcówki, wytłocz trzy wierzchołki siatki w "wypustkę", lekko zaginiją do dołu (Rysunek 4.8.9b,a). Już widzisz o co chodzi? Teraz wystarczy "rozpiąć" ściany na sąsiednich wierzchołkach, i końcówka jest zbudowana (Rysunek 4.8.10):

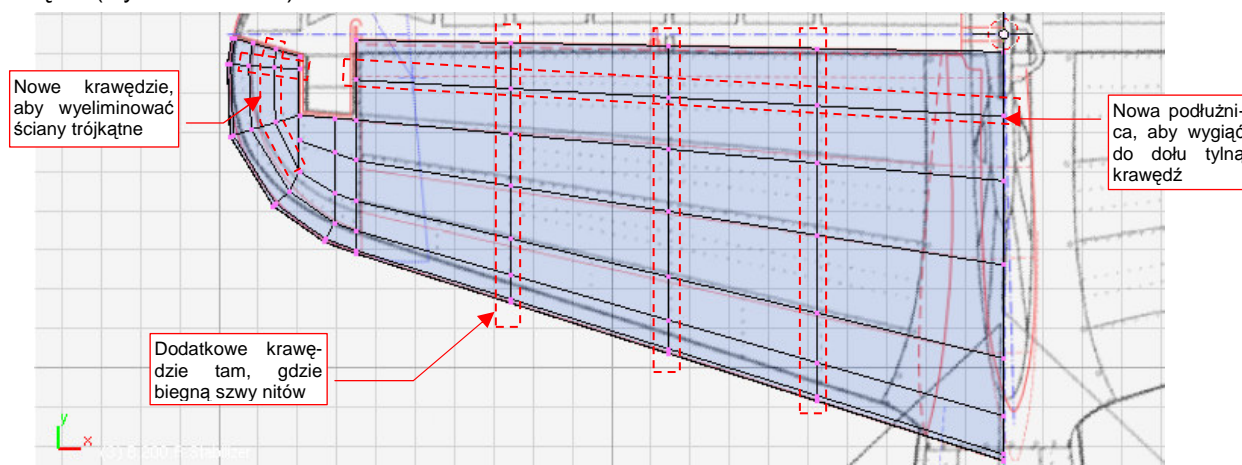


Rysunek 4.8.10 Siatka usterzenia — gotowa do wydzielenia steru

Zaznacz obszar siatki, z którego powstanie ster (Rysunek 4.8.10), i wydziel z niej nowy obiekt — **B.205.R.Elevator**. Jednocześnie nadaj nazwę statecznikowi: **B.200.R.Stabilizer**.

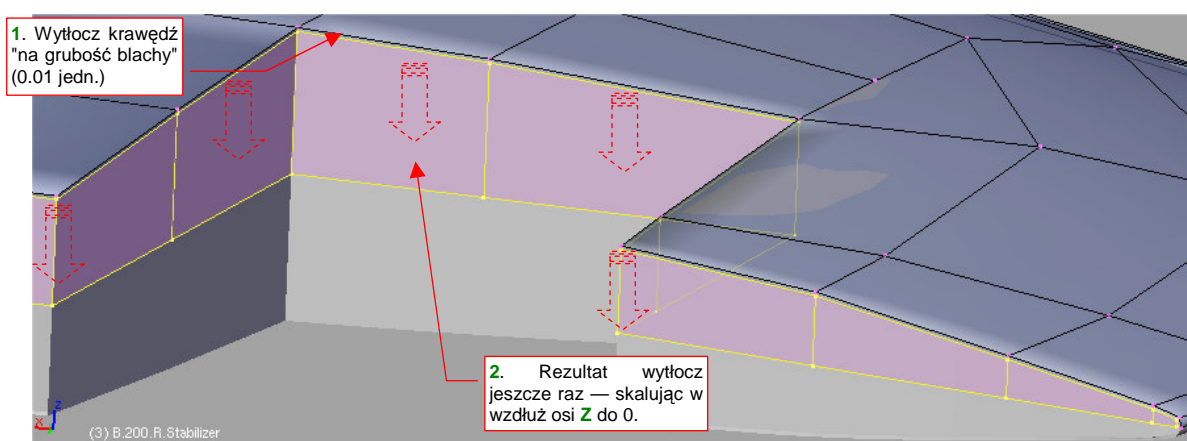
Podział siatek otwiera nowe możliwości uporządkowania każdej z nich. Chodzi tu przede wszystkim o wyeliminowanie wszystkich, lub prawie wszystkich ścian trójkątnych. (Powierzchnie podziałowe *Catmull-Clarka* generują się najlepiej w oparciu o ściany czworokątne).

Po oddzieleniu steru użyłem *Knife* i scalania ścian trójkątnych, aby zmienić wszystkie ściany statecznika w czworokątne (Rysunek 4.8.11) :



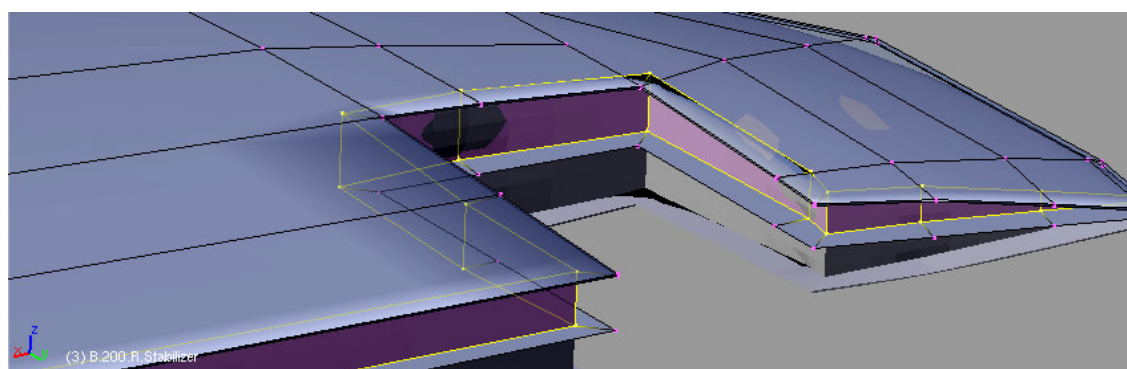
Rysunek 4.8.11 Uzupełniona i poprawiona siatka statecznika

Pozostało jeszcze dobudować tylną ścianę statecznika. Zaczynij od wytłoczenia tylnej krawędzi "na grubość blachy" — powiedzmy że będzie to 0.01 jedn. Blendera. Potem tę nową krawędź wytłocz jeszcze raz — tym razem aż do płaszczyzny symetrii (poprzez zmianę skali wzdłuż osi **Z** — Rysunek 4.8.12):



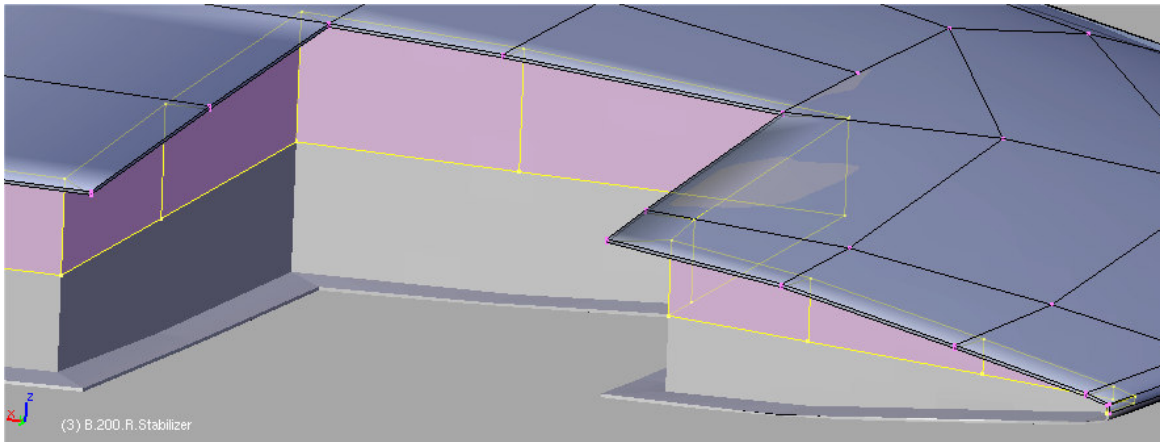
Rysunek 4.8.12 Przygotowanie tylnej ścianki statecznika

Ściany, zaznaczone jak na ilustracji (Rysunek 4.8.12), wytłocz jako region (**E,1** — *Extrude* → *Region*), ale nie przesuвай. Odsuń je "w głąb statecznika" poleceniem **Alt-S** (*Mesh* → *Transform* → *Shrink/Fatten Along Normals*, str. 890), na odległość ok. 0.2 jedn. Blendera. Bezpośredni rezultat operacji nie wygląda jeszcze olśniewająco (Rysunek 4.8.13):



Rysunek 4.8.13 "Surowy" efekt wytłoczenie wewnętrznych ścianek

Spokojnie, wystarczy teraz usunąć niepotrzebne wierzchołki, oraz wyprostować nieco "pokrzywione" ścianki, by rezultat wyglądał tak, jak powinien (Rysunek 4.8.14):

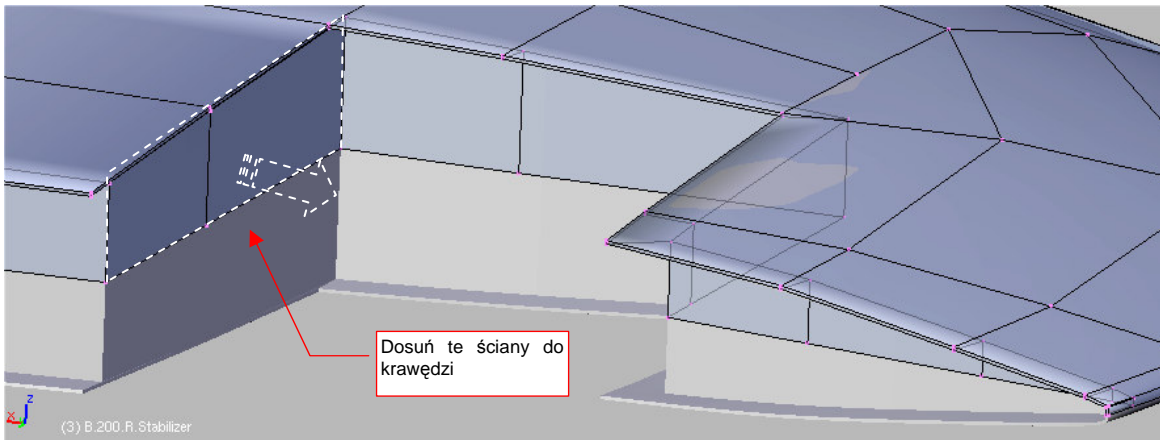


Rysunek 4.8.14 Efekt po poprawkach

Aby szybko wyprostować ścianki:

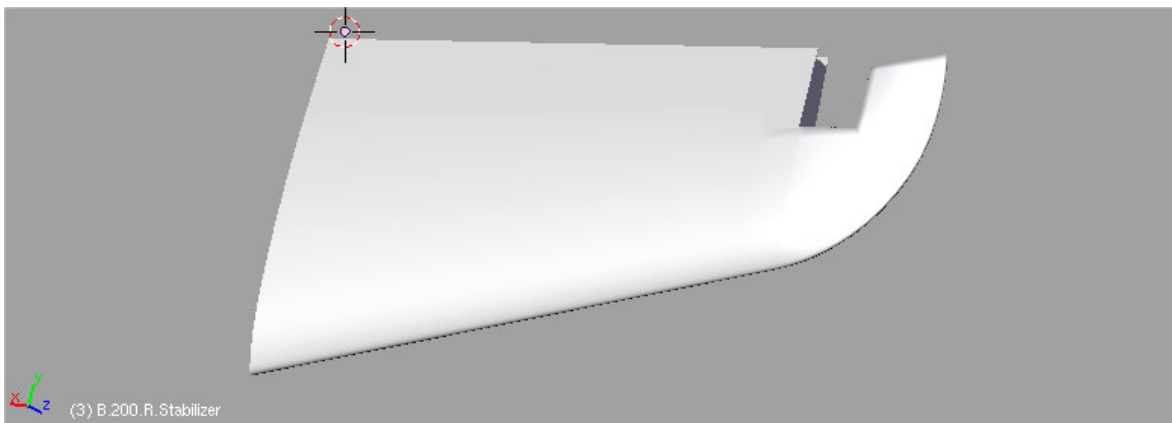
- przełącz tryb **Pivot** na **Bounding Box Center**;
- zaznacz wierzchołki ściany;
- zmień ich skalę względem osi prostopadłej (**X** lub **Y**) do 0.

Na koniec przesuń lewą ścianę do samej krawędzi wycięcia (Rysunek 4.8.15). Z fotografii wynika, że do tego żebra było przymocowany jeden z zawiasów steru wysokości. Stąd ta powierzchnia nie była "schowana" we wnętrzu statecznika, tak jak pozostałe ściany:



Rysunek 4.8.15 Uwzględnienie wewnętrznego żebra

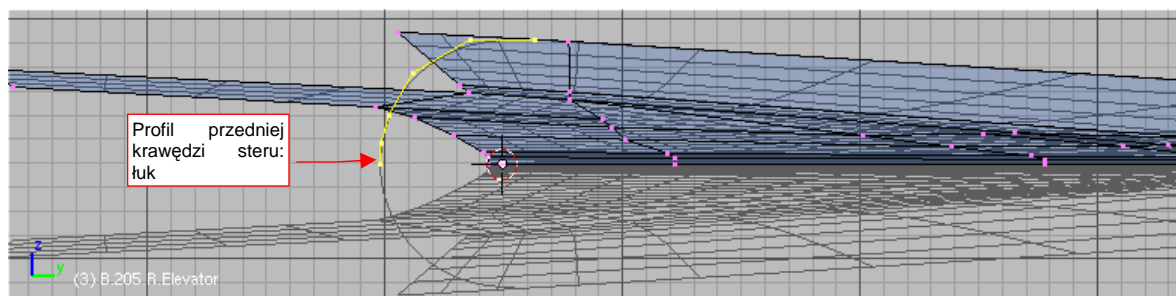
Rysunek 4.8.16 pokazuje, jak powinien wyglądać gotowy statecznik:



Rysunek 4.8.16 Gotowy statecznik poziomy

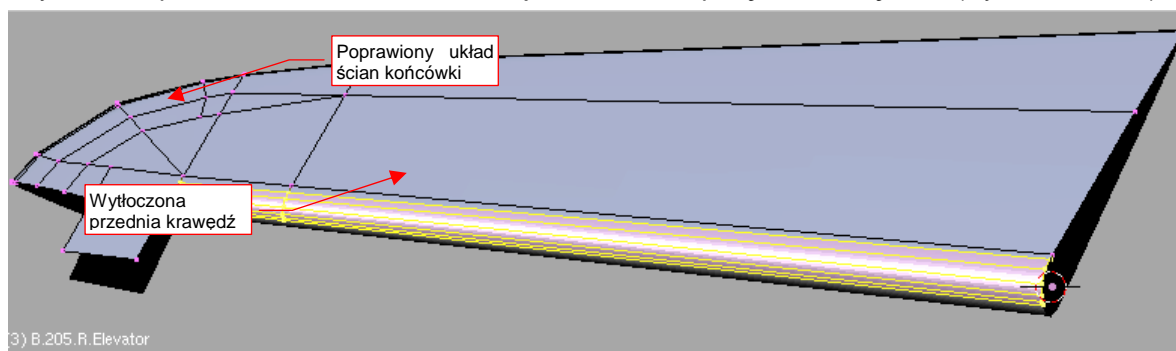


Pora się zabrać za formowanie steru. Praca nad nim bardzo przypomina tworzenie lotki. Zaczniij od przygotowania profilu przedniej krawędzi (Rysunek 4.8.17) :



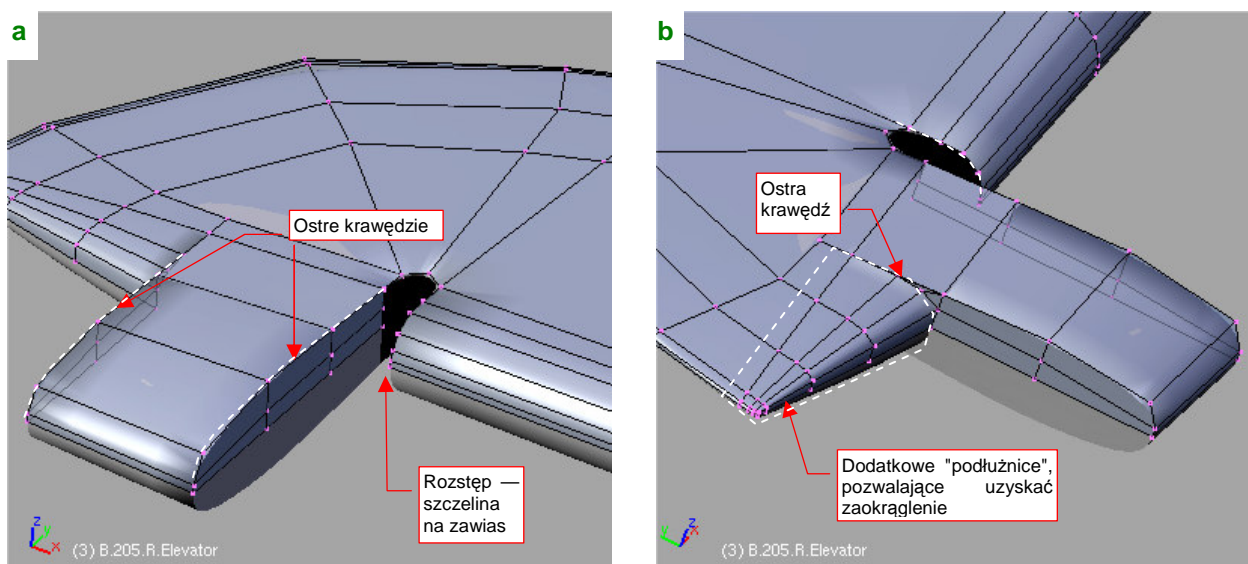
Rysunek 4.8.17 Ster wysokości — przygotowanie profilu przedniej krawędzi

Potem wytłocz ten profil wzdłuż osi **X** steru, zmniejsz na końcu, i połącz z resztą siatki (Rysunek 4.8.18):



Rysunek 4.8.18 Dodana przednia krawędź

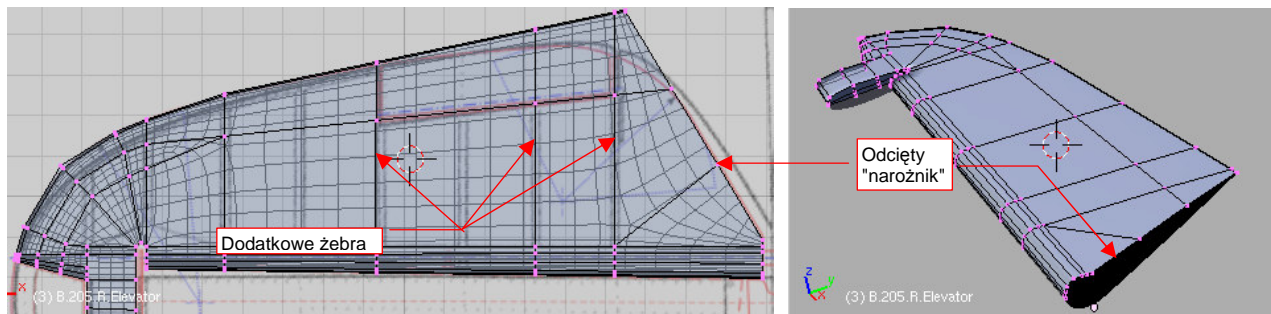
Przy okazji, podobnie jak w przypadku statecznika, zmień układ krawędzi, by wyeliminować jak najwięcej ścian trójkątnych. Jest to wstęp do ukształtowania wyważenia masowego i aerodynamicznego, zlokalizowanego na końcówce steru (Rysunek 4.8.19a,b) :



Rysunek 4.8.19 Wyważenie steru — szczegóły siatki

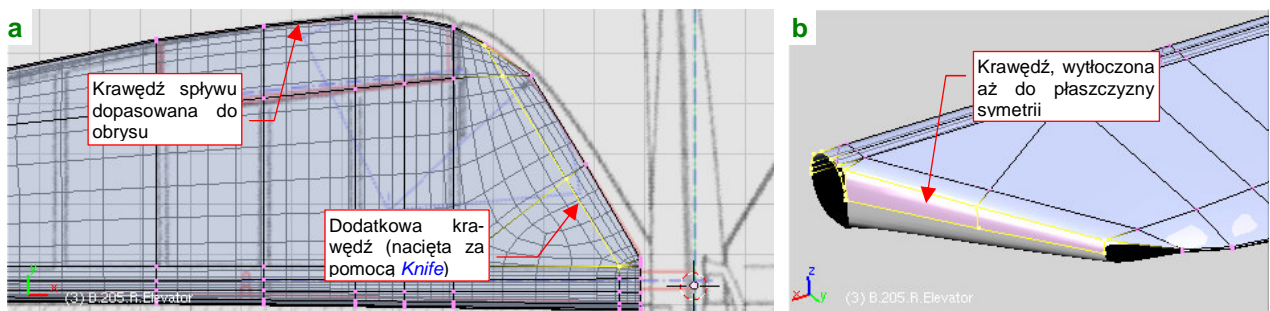
W okolicy wyważenia odsuń od siebie krawędzie, tworząc otwór na zawias steru (Rysunek 4.8.19a). (Same okucia zawiasów dodamy później, przy okazji uzupełniania szczegółów). Ten "rozstęp" pozwoli zastosować inny układ "podłużnic" na końcówce steru (Rysunek 4.8.19b). Wykorzystaj tę możliwość, formując wystające wyważenie, i dodając dodatkowe podłużnice na końcówce. Nie zapomnij także o wytłoczeniu wzdłuż krawędzi otworu okucia małej falki "na grubość blachy" (0.01 jedn.).

Pozostało jeszcze tylko uformować krawędź spływu steru. Jest to krzywa, więc dodaj do siatki kolejne żebra, oraz odetnij (*Knife*) niepotrzebny narożnik (Rysunek 4.8.20) :



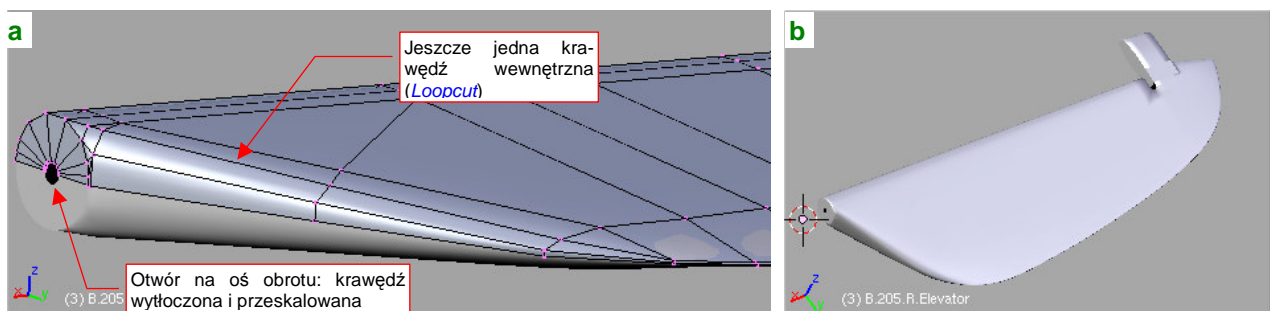
Rysunek 4.8.20 Przygotowanie do ukształtowania krawędzi spływu

Wykorzystując nowe żebra, wygnij krawędź spływu tak, by pasowała do obrysu na rysunku (Rysunek 4.8.21a):



Rysunek 4.8.21 Formowanie "wcięcia" steru wysokości

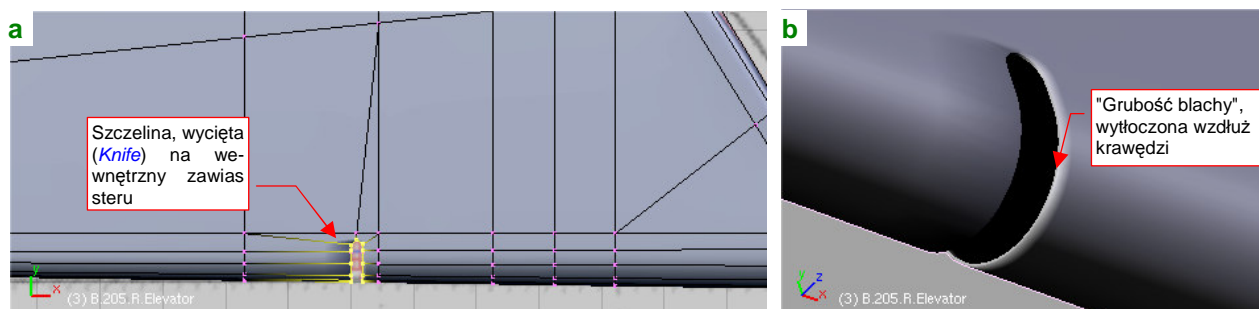
Musimy jeszcze zamknąć siatkę od strony kadłuba. Zdjęcia pokazują, że przekrój poprzeczny w tego fragmentu był zaokrąglony. "Natnij" (*Knife*) w pobliżu tego miejsca kolejną krawędź (Rysunek 4.8.21a). Umożliwi nam uzyskanie zaokrąglenia. Wyłocz także końcową krawędź tak, by zamknąć siatkę (Rysunek 4.8.21b). (Nową krawędź najłatwiej dosunąć do płaszczyzny symetrii, zmieniając skalę wierzchołków względem osi **Z** do zera). Skopiuj także wierzchołki łuku z przedniej krawędzi siatki, aby uzyskać u nasady steru okrąg. Poprzesuwałem wzdłuż osi **Z** i **X** poszczególne wierzchołki, aby stworzyć zaokrąglenie. Dodaj (*Loopcut*) jeszcze jedną krawędź wewnętrzną (Rysunek 4.8.22a) — aby wszystkie krawędzie zaokrąglenia były kontynuacją odpowiednich podłużnic siatki.



Rysunek 4.8.22 "Zamknięcie" powłoki steru

Na koniec wyłocz i zmień skalę ścianek wokół otworu na oś obrotu (ustawiając wcześniej kursor 3D w środku tego okręgu). Nasz ster jest już niemal skończony (Rysunek 4.8.22b).

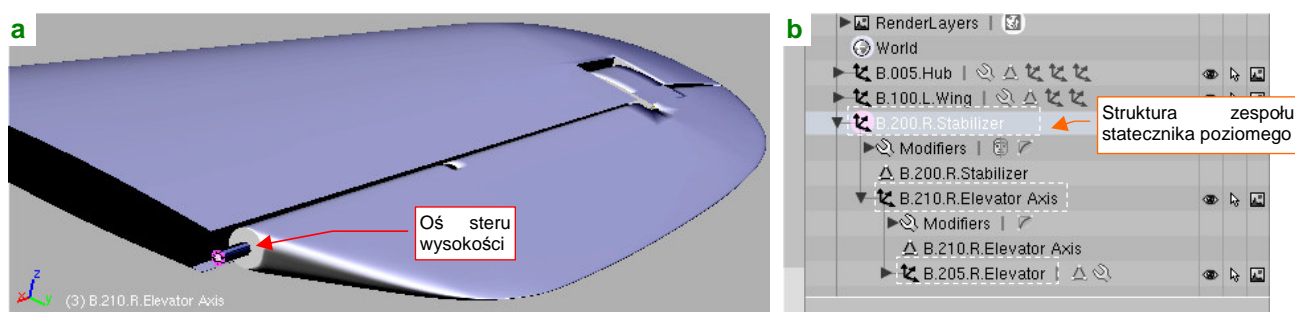
Pozostał jeszcze drobiazg — szczelina na drugi zawias. Utwórz ją, nacinając (*Knife*) przód steru — najpierw pośrodku szczeliny, później, o jedną podłużnicę "płycej", wzdłuż krawędzi (Rysunek 4.8.23a). Potem pozostało uporządkować ściany (wewnętrzne usunąć, inne scalić) :



Rysunek 4.8.23 Wycięcie szczeliny na drugi zawias

Wytoczyłem także wokół tego otworu zawiasu dodatkową krawędź "na grubość blachy" (Rysunek 4.8.23b).

Statecznik i ster są już uformowane. Teraz trzeba je ze sobą połączyć. Podobnie jak w przypadku lotki i skrzydła, posłużymy nam do tego obiekt pomocniczy — oś steru. Utwórz odpowiednią "rurkę", i nadaj jej nazwę **B.210.R.Elevator Axis** (Rysunek 4.8.24a). W odróżnieniu od osi lotki, część osi steru będzie widoczna, więc powinna mieć średnicę jak na planach. Warto ją także wygładzić modyfikatorem *Subsurf*.



Rysunek 4.8.24 Dodanie osi obrotu i połączenie w jeden zespół

Uczyń oś "rodzicem" steru głębokości (**Ctrl-P**, *Make Parent*, str. 800). "Rodzicem" osi ma być z kolei statecznik. Rysunek 4.8.24b pokazuje hierarchię części, jaką powinieneś uzyskać. Potem pozostaje już tylko umieścić statecznik (**B.200.R.Stabilizer**) w docelowym miejscu modelu. Nadaj mu kąt zaklinowania (*RotX*)  $-2^\circ$ , jak w oryginalnej konstrukcji (Rysunek 4.8.25):



Rysunek 4.8.25 Umieszczenie usterzenia w docelowym miejscu modelu



### Podsumownie

- Usterzenie wykonujemy według tego samego wzorca postępowania, co skrzydło.
- Tak jak skrzydło ma wydzieloną, ruchomą lotkę, tak usterzenie dzieli się na statecznik, ster, i łączącą je oś.
- Usterzenia mają zazwyczaj profil symetryczny, stąd wystarcza uformować tylko jedną z dwóch powierzchni obrysu — górną lub dolną. Drugą "załatwia" modyfikator *Mirror* (str. 889)
- Do formowania wewnętrznych ścianek przydatne jest polecenie "odsunięcia" od powierzchni o zadaną odległość. W Blenderze jest to komenda **Alt-S** (*Mesh→Transform→Shrink/Fatten Along Normals*, str. 890).
- Rzut z przodu na planach modelarskich może zawierać więcej błędów niż inne rzuty (por. str. 145). Należy więc traktować go z rezerwą. Najlepiej przyjąć zasadę, że w przypadku stwierdzenia różnic najważniejszy jest rzut z boku, a potem rzut z góry.
- Warto zorientować się (na podstawie opisów konstrukcji, planów), jaki rodzaj kompensacji aerodynamicznej miało usterzenie samolotu. W przypadku P-40 wychylenie steru wysokości było kompensowane tylko przez prostokątny występ na jego końcu. W takiej sytuacji można założyć, że przekrój przedniej krawędzi steru jest okrągły. To z kolei pozwoliło użyć obrysu z góry tej linii także w charakterze obrysu z przodu (por. str. 145). To zawsze lepsza alternatywa niż ślepe zawierzenie pod tym względem rzutowi z przodu z planów modelarskich.

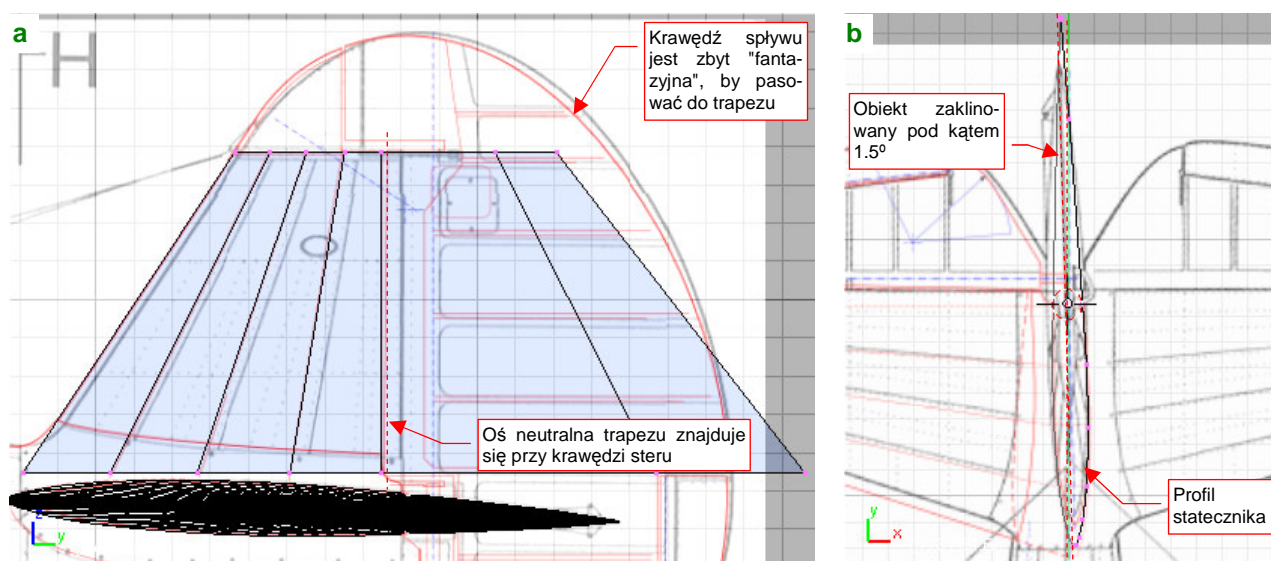
## 4.9 Usterzenie pionowe

Usterzenie pionowe, składające się ze statecznika, steru kierunku i jego osi, wykonujemy tak samo jak usterzenie poziome.

Miałem pewne problemy z ustaleniem poprawnego profilu usterzenia. Profil na planach modelarskich Mariusza Łukasika nie wyglądał zbyt poprawnie. Od razu zwróciłem uwagę na zbyt gruby (w porównaniu ze zdjęciami) promień noska. Wśród rysunków fabrycznych, jakimi dysponowałem, znalazłem rysunek oprofilowania połączenia usterzenia i kadłuba. Pozwoliło mi to nanieść na plany poprawiony profil podstawy, wyznaczony na podstawie krawędzi blachy oprofilowania. Jest tu oczywiście także trochę moich domysłów. Zdecydowałem się użyć profilu NACA-0008T, gdyż pasował do fragmentu obrysu z rysunków fabrycznych. (Nieco grubszy profil tego samego typu zastosowałem w usterzeniu poziomym).

Także grubość końcówki statecznika pionowego na planach Mariusza Łukasika jest zdecydowanie przesadzona (por. str. 159). Na rysunkach Jacka Jackowskiego statecznik pionowy jest o wiele cieńszy, ale autor przerysował z kolei efekt jego zaklinowania pod kątem  $1.5^\circ$  od osi samolotu. W tej sytuacji pozostało mi już tylko wzorować się na zdjęciach.

Rysunek 4.9.1a) pokazuje pierwsze "przymiarki" do ułożenia podłużnic siatki wzdłuż podłużnic rzeczywistej konstrukcji. Pionowa "linia neutralna" biegnie wzdłuż przedniej krawędzi steru.

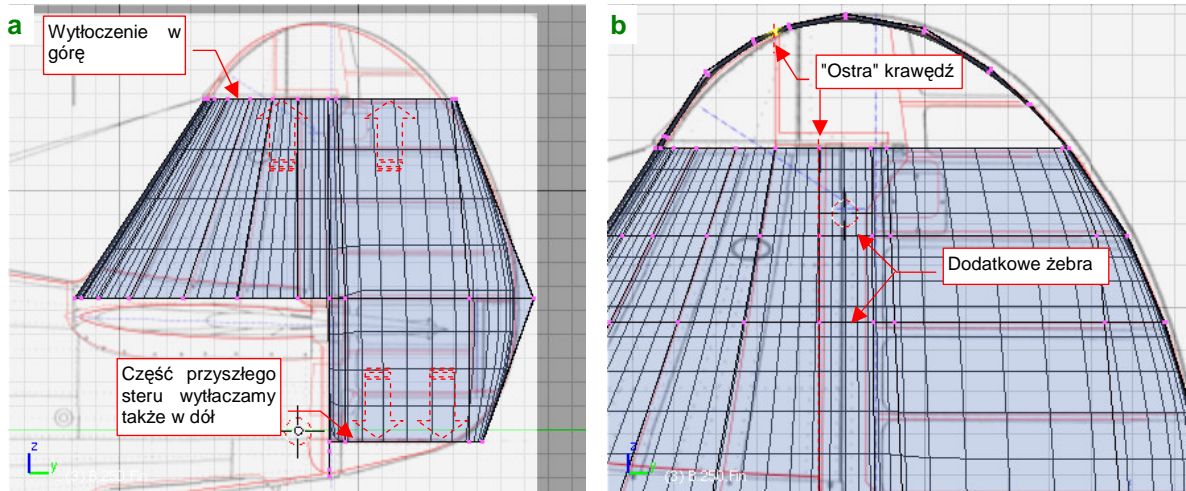


Rysunek 4.9.1 Początkowe fazy budowy usterzenia pionowego

Krawędź spływu steru kierunku okazała się zbyt "fantazyjna", by dać się przybliżyć jakimkolwiek regularnym trapezem. Proponuję się na tym etapie nie zawracać nią głowy, koncentrując się na fragmencie odwzorującym przednią część usterzenia — statecznik pionowy.

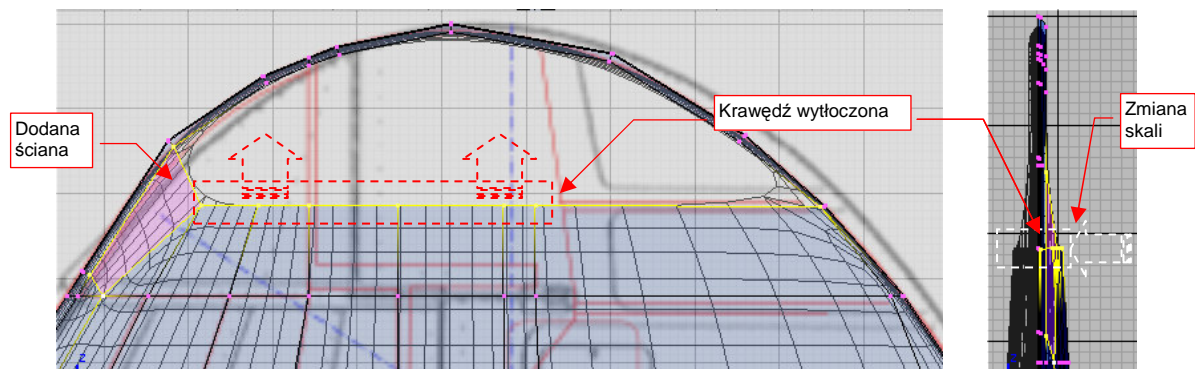
Po ustaleniu położenia początków podłużnic wzdłuż cięciwy profilu, pozostaw z trapezu tylko dolną linię wierzchołków. W trybie obiektu (*Obect Mode*) obróć obiekt o  $1.5^\circ$  wokół osi **Z** (usterzenie pionowe było tak zaklinowane, by równoważyć efekt wirowania śmigła). Włącz do obiektu modyfikatory *Mirror* i *Subsurf*, i wygnij linię wierzchołków w profil usterzenia (Rysunek 4.9.1b). Potem usuń skrócenie o  $1.5^\circ$  (utrudniałoby dalszą pracę).

Uzyskany profil wytłocz wzdłuż osi **Z**. Zmniejsz także rozmiar żeber końcowych (Rysunek 4.9.2a). Zaczynj formować końcówkę usterzenia pionowego — jako cienki pierścień ścian, tak samo jak to robiliśmy w usterzeniu poziomym (Rysunek 4.9.2b):



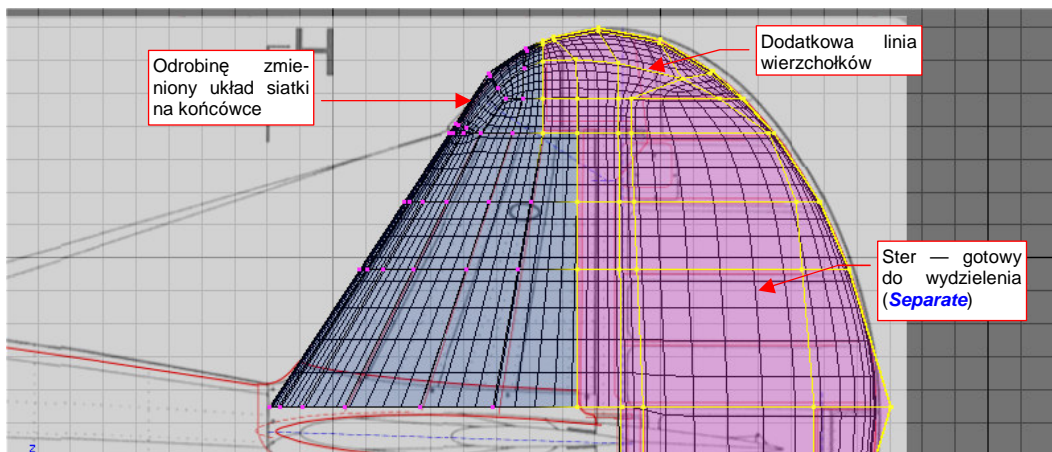
Rysunek 4.9.2 Wytłoczenie profilu i przygotowanie obrysu końcówki

Wytłocz teraz "w górę", wzdłuż osi **Z**, kilka środkowych wierzchołków żebra. Przesuń je nieco względem osi **X**, aby nie odstawały na boki od reszty powierzchni statecznika (Rysunek 4.9.3):



Rysunek 4.9.3 Zbudowanie ścian końcówki

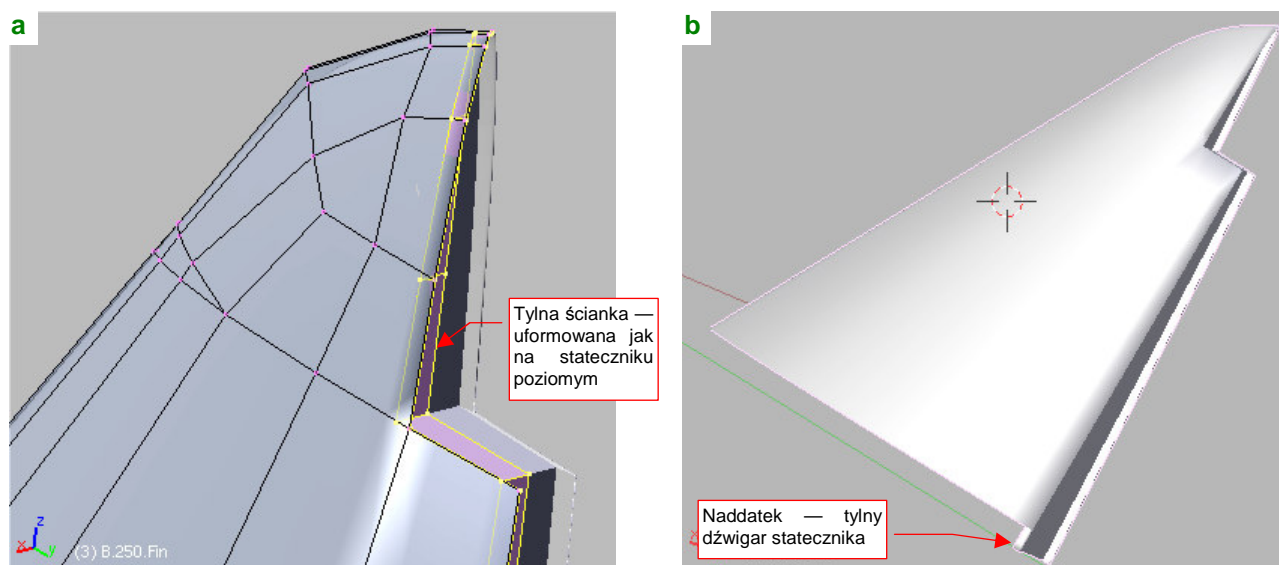
W oparciu o wierzchołki wytłoczonej krawędzi zbuduj nowe ściany (Rysunek 4.9.3). Dla uzyskania odpowiedniego kształtu okazuje się konieczne dodanie pomiędzy "pierścieniem" a resztą siatki jeszcze jednej linii wierzchołków (*Loopcut*). Rysunek 4.9.4 pokazuje układ ścian uformowanej końcówki. Taką powierzchnię podziel (**P**, *Separate*) na ster i statecznik.



Rysunek 4.9.4 Podział na ster i statecznik



Statecznikowi pionowemu nadaj nazwę **B.250.Fin**, a sterowi kierunku — **B.255.Rudder**. Sam statecznik jest prawie gotowy. Do wykończenia pozostało tylko dodanie tylnej ścianki (Rysunek 4.9.5a). Uzyskasz ją w ten sam sposób, co w stateczniku poziomym (por. str. 148).

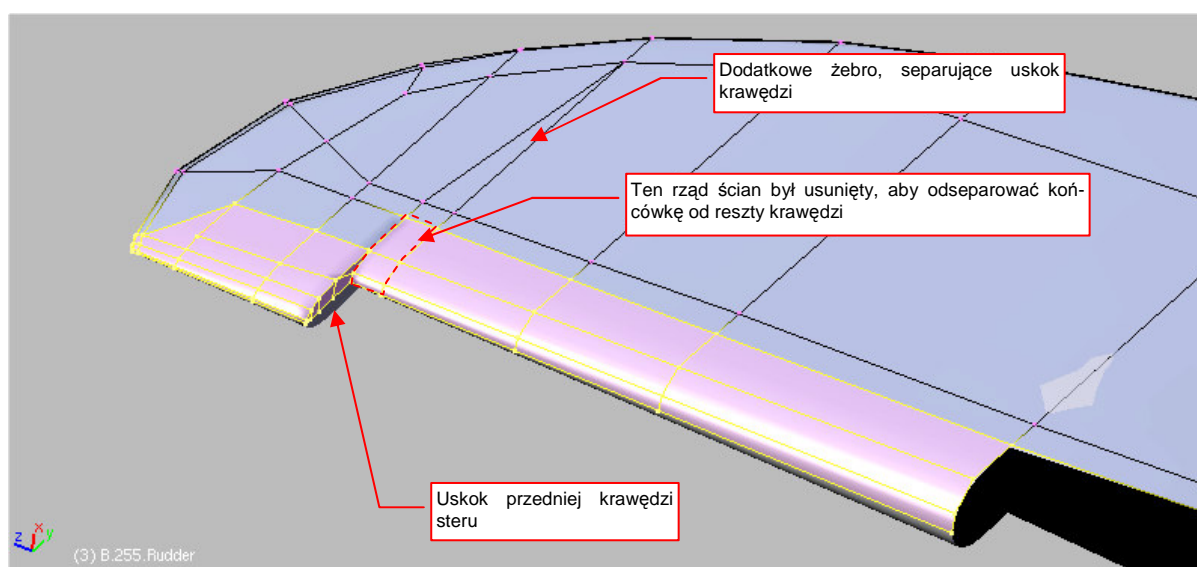


Rysunek 4.9.5 Szczegóły tylnej ścianki statecznika i gotowy element

W P-40 statecznik poziomy był wytworzony jako jedna całość. Trzy dźwigary statecznika pionowego były do niego przymocowane śrubami, ukrytymi pod oprofilowaniem. Ostatni z dźwigarów jest jednak widoczny w szczelinie pomiędzy statecznikiem i sterem. Odpowiednio wydłużyłem dół tylnej ścianki, by uzyskać ten efekt (Rysunek 4.9.5b).

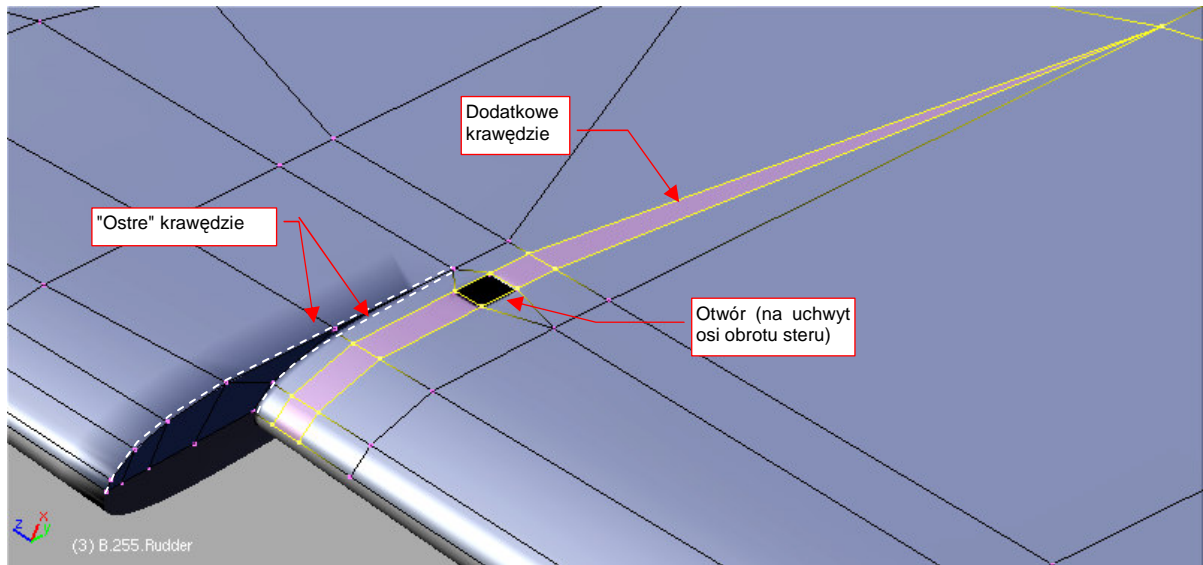
Statecznik jest gotowy, przejdźmy więc do formowania steru kierunku. Zaczniemy od górnej części jego przedniej krawędzi. Jest tu zastosowana kompensacja masowa (bardzo wysunięta do przodu końcówka), jaki i aerodynamiczna (pozostała część przedniej krawędzi jest także nieco wysunięta).

Dodaj dodatkowe żebro, separujące uskoki krawędzi. Następnie usuń w miejscu uskoku rząd ścian, by dodać (poleceniem *Loopcut*) nowe podłużnice (odrębnie do każdego z tych dwóch obszarów). Po zaokrągleniu każdej z krawędzi oddzielnie, z powrotem "zabuduj" tę przerwę, tworząc za pomocą dwóch "ostrych" krawędzi (*cearse* = 1) uskoki (Rysunek 4.9.6):



Rysunek 4.9.6 Szczegóły przedniej krawędzi steru kierunku (część górna)

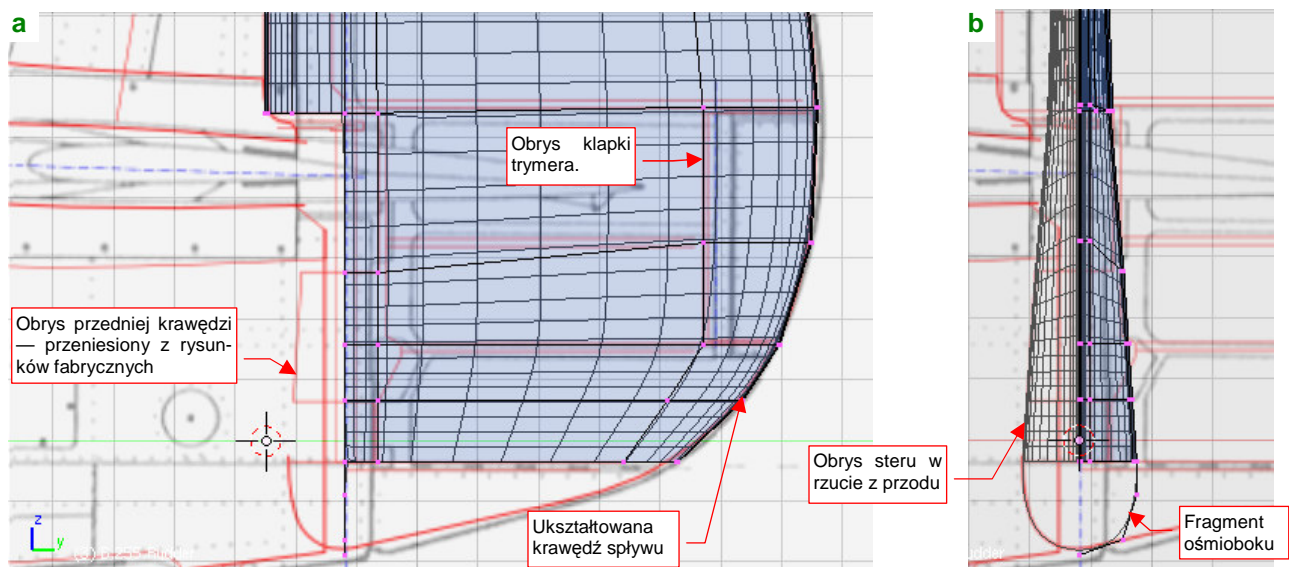
Zawias steru kierunku był, w związku z zastosowaniem kompensacji aerodynamicznej, zamocowany inaczej niż zawias steru wysokości. Zastosowano tu rodzaj "wysięgnika", po lewej stronie steru (dodamy go później). Na razie przygotuj tylko otwór w miejscu, gdzie to ramię przenikało przez powierzchnię (Rysunek 4.9.7) :



Rysunek 4.9.7 Szczegóły przedniej krawędzi steru kierunku

Oczywiście, wokół tego otworu także nanieś fazkę "na grubość blachy" (0.01 jedn.).

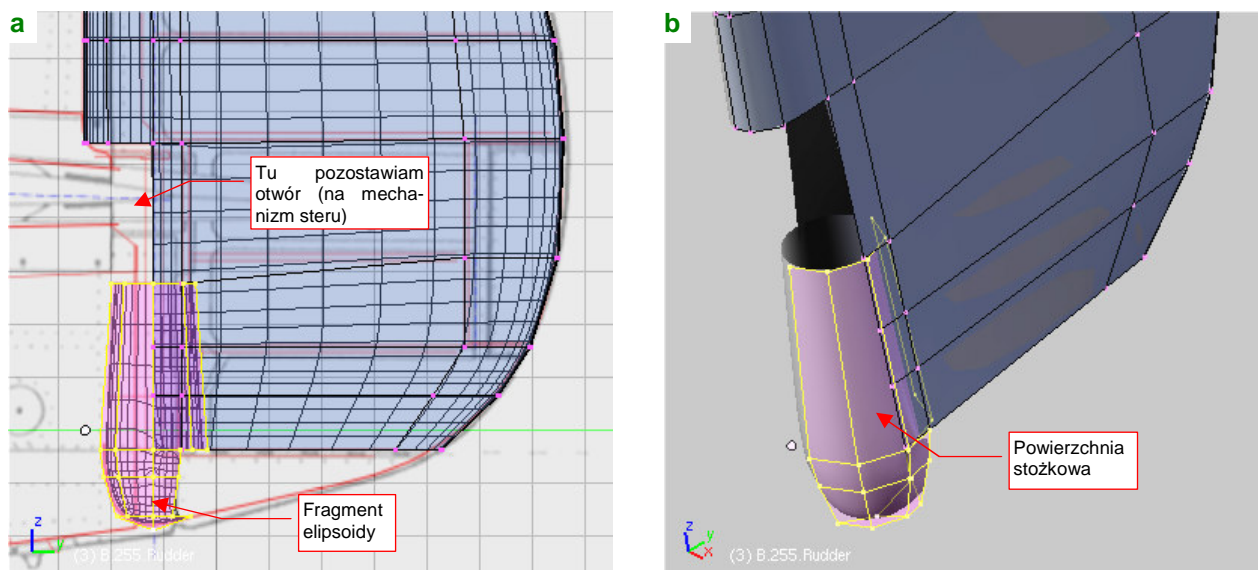
Czas przejść do formowania dolnej części steru kierunku. Po dodaniu kilku dodatkowych żeber można uformować krawędź spływu (Rysunek 4.9.8a). Zrób to tak, by ująć w krawędzie obrys klapki trymera. (Na wypadek, gdybyś w przyszłości chciał ją wydzielić) . Prząd steru kierunku w tym obszarze był schowany w kadłubie i miał przekrój okrągły. Przenieś na plany modelarskie obrys tej krawędzi, skopiowany z rysunków fabrycznych (Rysunek 4.9.8a). Teraz możesz z niego skorzystać: nie zmieniając obrazu tła, zmień projekcję widoku Blendera na rzut z przodu. Następnie pochyl boczne powierzchnie steru, by pokryły się z obrysem (Rysunek 4.9.8b):



Rysunek 4.9.8 Szczegóły przedniej krawędzi steru kierunku (część dolna)

Dodatkowo u dołu dodaj "ćwiartkę" nieco spłaszczzonego ośmioboku. To pierwsza z krawędzi, które w tym miejscu mają uformować coś w rodzaju fragmentu elipsoidy (Rysunek 4.9.8b).

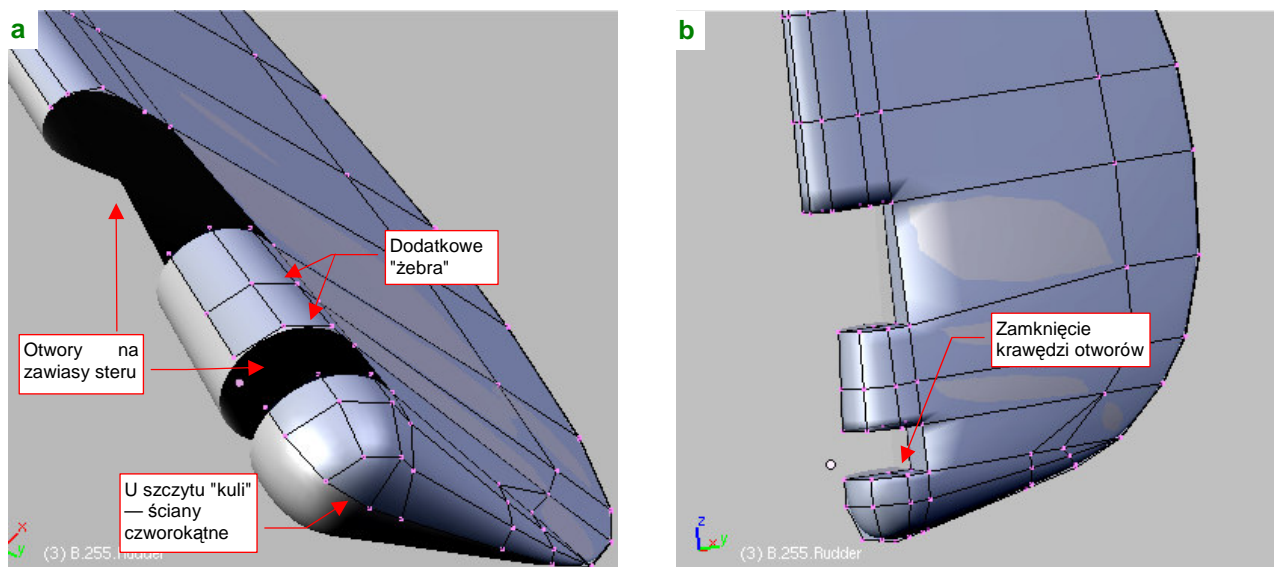
Przednia, dolna część steru ma kształt przypominający końcówkę kija używanego w baseballu: stożek zakończony kulą. Fragment kuli uformuj powielając i obracając wokół osi **Z** dodaną przed chwilą ćwiartkę ośmiokątą (Rysunek 4.9.9a):



Rysunek 4.9.9 Formowanie przedniej krawędzi steru kierunku (część dolna)

Część stożkową uzyskasz poprzez wytłoczenie i zmniejszenie skali krawędzi stworzonej przed chwilą kuli (Rysunek 4.9.9b). Nie będziemy jej "dociągać" do reszty siatki — P-40 miał w tym miejscu duży otwór. (Obsługa techniczna miała w nim łatwy dostęp do popychaczy sterów).

Scalenie tak przygotowanej przedniej krawędzi z resztą siatki wymaga uprzedniego dodania dwóch dodatkowych "żebra" (Rysunek 4.9.10a). (Aby można było je połączyć z odpowiednimi krawędziami na powierzchni steru):



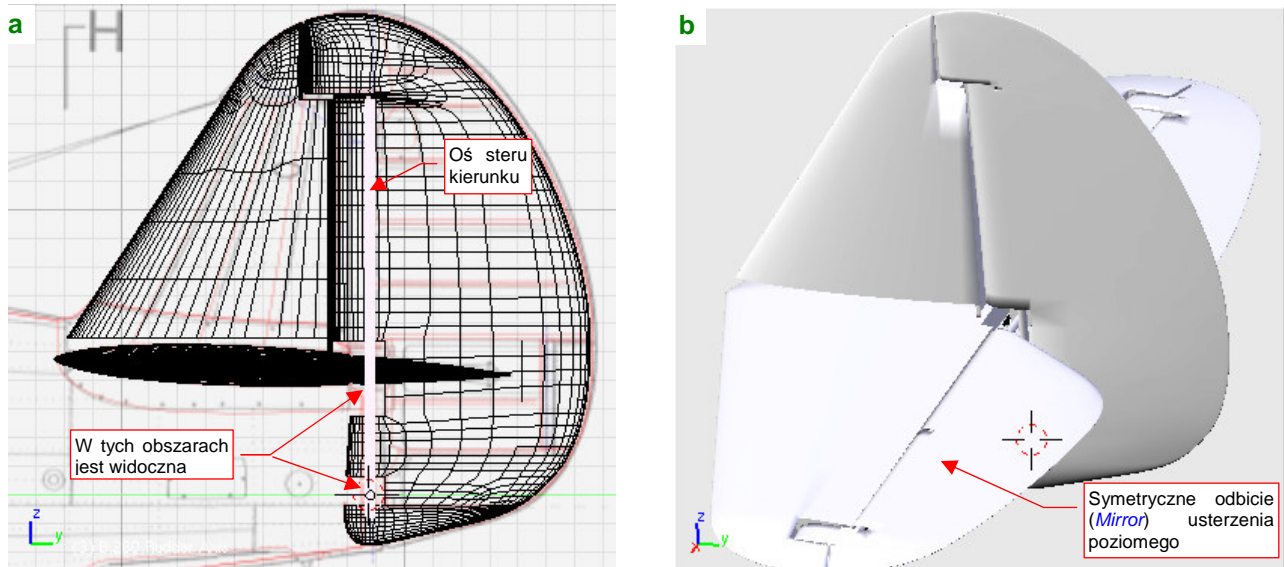
Rysunek 4.9.10 Szczegóły przedniej krawędzi steru kierunku (część dolna)

Potem usuń tylną, schowaną w sterze, część stożka, i scal resztę z powierzchnią steru. Zwróć uwagę na układ ścian na powłoce kuli, u dołu siatki. "Ćwiartka" powierzchni kulistej, utworzona z trzech "ćwiartek" ośmioboków ma wszystkie ściany czworokątne (Rysunek 4.9.10a). Uzyskasz dzięki temu ładny, regularny kształt bez wypiętrzenia w okolicach "bieguna" tej sfery.

Usuń jeden z rzędów ścian, by w tym miejscu był drugi otwór na zawias steru. Obydwa otwory zabuduj "na płasko" dodatkowymi ścianami (Rysunek 4.9.10b).

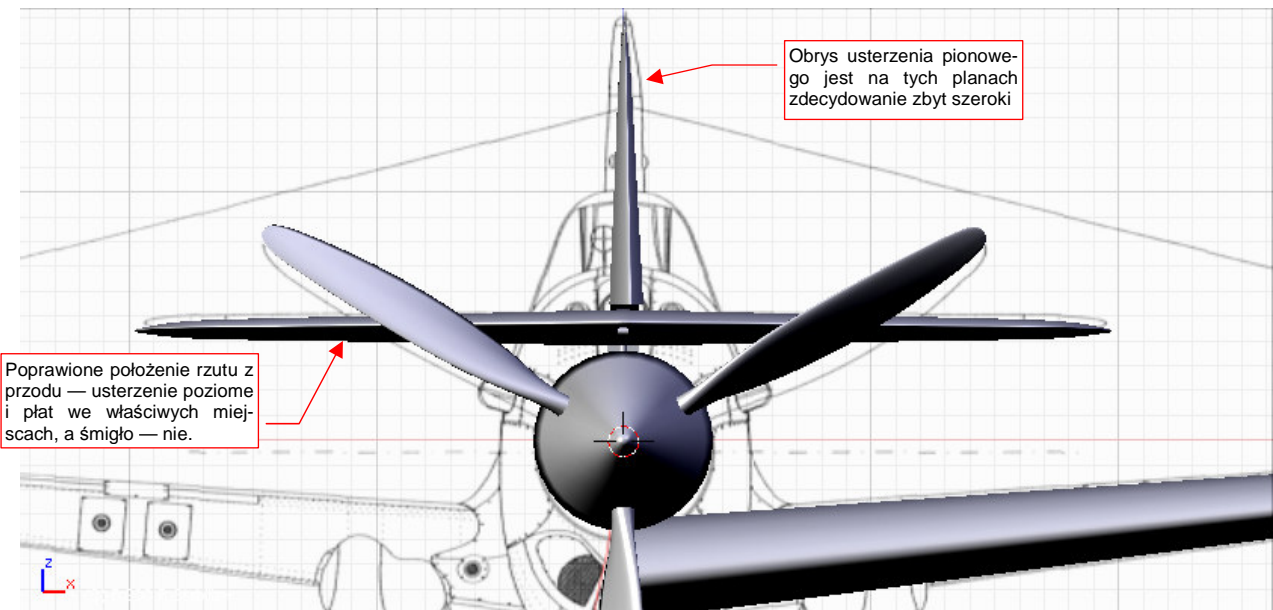


Ster jest już uformowany, pozostaje tylko dodać mu oś. Wstaw w odpowiednie miejsce "rurkę" o nazwie **B.260.Rudder Axis** (Rysunek 4.9.11a):



Rysunek 4.9.11 Wykończenie podzespołu — dodanie osi steru, wygląd ostateczny

Połącz cały podzespół w hierarchiczną całość, analogicznie jak usterzenie poziome: oś jest "rodzicem" steru, a "rodzicem" osi jest statecznik. Następnie "zaklinuj" (obrót wokół osi **Z**) statecznik pionowy pod kątem  $1.5^\circ$ . Rysunek 4.9.11b) przedstawia gotowy zespół usterzenia.



Rysunek 4.9.12 Porównanie szerokości statecznika z planami modelarskimi

Porównamy rezultat naszej pracy z rzutem z przodu z planów Mariusza Łukasika. (Poprawiłem już ich położenie względem modelu, uwzględniając niepoprawną pozycję kołpaka śmigła — por. str. 152). Rysunek 4.9.12 pokazuje, że usterzenie pionowe na planach jest zdecydowanie za grube.

**Podsumownie**

- Wobec bardziej "fantazyjnych" kształtów steru kierunku, metoda wstępnego przybliżenia trapezem całego usterzenia może zawieść (str. 154). Warto spróbować wtedy przybliżyć choć kształt statecznika.
- Ster kierunku P-40 jest przykładem powierzchni sterowej, w której zastosowano kompensację aerodynamiczną. (W takim rozwiązaniu przednia krawędź steru jest przesunięta do przodu względem osi obrotu. Przekrój takiej krawędzi raczej nie jest okrągły, a np. eliptyczny).
- Czasami warto usunąć na chwilę kilka ścian, gdy otwiera to nowe możliwości wstawiania krawędzi poleceniem *Loopcut* (np. przy uskoku przedniej krawędzi — p. str. 156).
- Powłokę kuli można dobrze przybliżyć za pomocą czterech ośmiokątów (p. str. 158). Kwadratowe ściany w okolicach "biegunów" takiej powłoki uzyskasz, rezygnując z jednej przekątnej w każdej z takich ścian. (Scalając po dwie trójkątne ściany w jedną czworokątną).