

Dokument, który czytasz jest tłumaczeniem części podręcznika Orbitera zatytułowanej "Basic Flight Manoeuvres", wykonanym przez Szymona Ender „Enjo”. Ponieważ z czasem tłumaczenie to może się zdezaktualizować, odsyłam do oryginału znajdującego się pod następującym adresem:

<http://www.medphys.ucl.ac.uk/~martins/orbit/manual.html>

16 Podstawowe manewry lotu

Następujące techniki lotu są głównie moimi własnymi pomysłami. Wydają się prawdopodobne, lecz skoro nie jestem ekspertem lotów (choć entuzjastycznym amatorem) mogą być nieefektywne lub całkowicie błędne. Poprawki i sugestie są zawsze mile widziane.

16.1 Lot przy powierzchni

Przez wyrażenie „lot przy powierzchni” rozumiem trasę lotu blisko powierzchni planety, której w rzeczywistości nie orbitujesz, np. wtedy, gdy należy przeciwdziałać polu grawitacyjnemu planety przez zastosowanie wektora przyspieszenia, w przeciwieństwie do sytuacji wolnego spadku w czasie orbitowania. Loty powierzchniowe (z jednej bazy na powierzchni do drugiej) typowo obejmują loty przy powierzchni.

Jeśli planeta nie posiada atmosfery:

W tym przypadku jedyne siły, które działają na twój statek to pole grawitacyjne planety i jakiegokolwiek wektory siły ciągu, jakie przyłożysz. Najbardziej zauważalnie, nie ma żadnej siły tarcia atmosferycznego, która mogłaby zmniejszyć prędkość statku. To powoduje, że mamy do czynienia z modelem lotu nieco innym niż z modelem lotu normalnego samolotu. Najprostszą, lecz prawdopodobnie najbardziej wydajną strategią lotu przy powierzchni jest:

- Używanie pionowych silników (ang. hover thrusters) żeby zbalansować przyspieszenie grawitacyjne (można to zrobić automatycznie, używając trybu nawigacyjnego „Utrzymaj wysokość” <"Hold altitude" = A >). To również oznacza, że statek powinien być utrzymany w poziomie względem horyzontu (L).
- Nawiguj krótkimi strumieniami ciągu głównych silników
- Przy dużych prędkościach poziomych, tor lotu może zbliżać się do trajektorii orbitalnej. W tym przypadku ciąg silników pionowych powinien zostać zredukowany, aby utrzymać wysokość. W ekstremalnym przypadku, gdy prędkość pozioma przekroczy prędkość orbitalną orbity kołowej przy zerowej wysokości, statek zacznie zyskiwać coraz wyższą wysokość nawet przy wyłączonych silnikach pionowych. To będzie oznaczało, że wszedłeś na orbitę eliptyczną i znajdujesz się w jej perycentrum (ang. periapsis, czyli punkt na orbicie, który jest najbliższym ciału centralnego)

Jeśli planeta posiada atmosferę:

W przypadku przemieszczania się w atmosferze model lotu będzie podobny do modelu lotu samolotu, w szczególności, gdy twój statek w gruncie rzeczy *jest* samolotem to znaczy posiada powierzchnie nośne, które powodują powstawanie wektora wznoszenia (wynikającego z generowania przez te powierzchnie siły nośnej) w funkcji prędkości lotu.

Tak jak w samolocie, musisz zastosować stały ciąg żeby skontrolować tarcie atmosferyczne i utrzymywać stałą prędkość. Jeśli twój statek wytwarza siłę nośną, użycie silników pionowych nie jest konieczne, chyba że prędkość spada poniżej prędkości, w której twój statek zaczyna opadać (np. przy pionowym starcie i lądowaniu). Jeśli twój statek nie generuje siły nośnej, silniki pionowe muszą być użyte, lub statek musi być tak nachylony żeby główne silniki dostarczały składnika pionowego, który skonstruje pole grawitacyjne. Zauważ, że „wznoszenie” wytwarzane przez silniki jest niezależne od prędkości.

16.2 Wystrzelenie na orbitę

Startowanie z powierzchni planetarnej i wchodzenie na niską orbitę jest jednym z podstawowych problemów lotów kosmicznych. Podczas wczesnej fazy lotu, statek musi zastosować pionowy ciąg żeby przewyciężyć pole grawitacyjne i zwiększać wysokość.

W miarę jak statek osiąga pożądaną wysokość, wychylenie dzioba jest zmniejszane, żeby zwiększyć składnik poziomy przyspieszenia, ażeby uzyskać prędkość orbitalną. Stabilna orbita jest osiągnięta w momencie, gdy perycentrum jest na tyle wysoko powyżej powierzchni planety, że opór aerodynamiczny może zostać pominięty.

Orbita zwykle powinny być typu "prograde" tzn. powinny być zgodne z kierunkiem obrotu powierzchni planety, żeby wykorzystać początkowy wektor prędkości dany przez planetę (czyli na Ziemi statki powinny być wystrzeliwane na wschód). To również oznacza że miejsca startu bliskie równikowi są najefektywniejsze, ponieważ dostarczają największej prędkości początkowej

W praktyce:

(Zakładamy że statek jest początkowo umieszczony na powierzchni Ziemi).

- Ustaw wyświetlacz HUD na tryb powierzchniowy (naciskaj H). Wywołaj Surface MFD (LShift+S) i Orbit MFD (RShift+O)
- Uruchom silniki pionowe i ustaw je na przynajmniej 10m/s^2
- Kiedy będziesz parę metrów nad powierzchnią, obróć się na wschód (90° na kompasie HUD'a)
- Podnieś dziób na 70° , włączając w tym samym czasie główne silniki
- W miarę jak prędkość wzrasta, powoli gaś silniki pionowe aż osiągną przyspieszenie równe zero
- W miarę uzyskiwania wysokości, powoli zmniejszaj wychylenie dzioba (np. 60° na 20km, 50° na 50km, 40° na 80km, itp.).
- Kiedy pożądana wysokość będzie osiągnięta (np. 200km), prędkość i przyspieszenie pionowe powinno spaść do zera (poprzez zmniejszanie wychylenia dzioba a nie przez wyłączanie silników). Wychylenie dzioba może być ciągle > 0 ponieważ część wektora ciągu jest ciągle potrzebna, żeby skontrolować grawitację do momentu gdy osiągnięta zostanie pełna prędkość orbitalna
- W miarę jak prędkość styczna do orbity wzrasta, wychylenie dzioba powinno być zredukowane, by utrzymać stałą wysokość
- W momencie gdy osiągniemy prędkość styczną odpowiadającą orbicie kołowej (Ecc = 0 na Orbit MFD) silniki powinny zostać wyłączone.

16.3 Zmiana orbity

Żeby zmienić kształt orbity bez zmiany płaszczyzny orbitalnej, musi zostać zastosowany wektor ciągu wzdłuż płaszczyzny orbity. Najprostsze manewry obejmują modyfikowanie dystansu apocentrum (punkt na orbicie który jest najdalej ciała centralnego) i perycentrum.

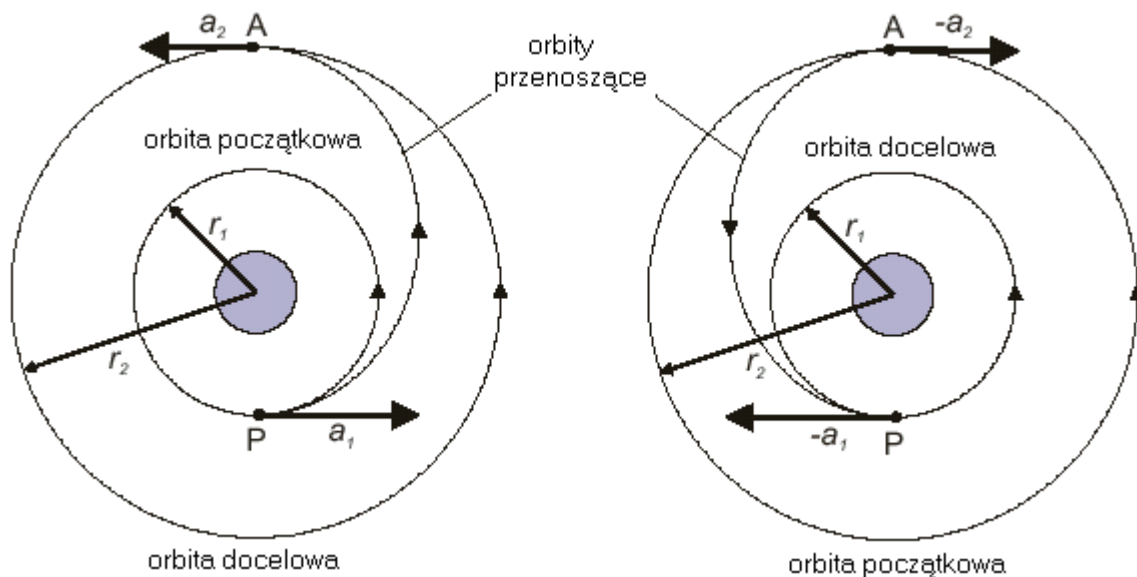
- Zwiększenie dystansu apocentrum: Zaczekaj aż statek osiągnie perycentrum. Zastosuj wektor ciągu w trybie "prograde" (I) czyli statek skierowany zgodnie ze zwrotem wektora prędkości.
- Zmniejszanie dystansu apocentrum: Zaczekaj aż statek osiągnie perycentrum. Zastosuj wektor prędkości w trybie "retrograde" (J) czyli statek skierowany przeciwnie do zwrotu wektora prędkości.
- Zwiększenie dystansu perycentrum: Zaczekaj aż statek osiągnie apocentrum. Zastosuj wektor ciągu w trybie "prograde"

- Zmniejszenie dystansu perycentrum: Zaczekaj aż statek osiągnie apocentrum. Zastosuj wektor ciągu w trybie "retrograde"

W praktyce:

Przypadek 1.: Załóżmy że chcesz wejść z niskiej orbity kołowej (200km) na wyższą orbitę kołową (1000km).

- Ustaw statek w trybie "prograde" i użyj głównych silników.
- Wyłącz silniki w momencie gdy apocentrum osiągnie 1000km + promień planety (np 7370km dla Ziemi). Użyj Orbit MFD żeby to monitorować.
- Czekaj aż osiągniesz apocentrum.
- Ustaw statek w trybie "prograde" i użyj głównych silników.
- Wyłącz silniki w momencie gdy perycentrum równa się apocentrum i ekscentryczność (mimośród) orbity (Ecc na Orbit MFD) jest znowu równa 0



Rysunek 23.: Przenoszenie się na wyższą orbitę wymaga przyspieszenia w trybie "prograde" w pkt. P i A (Perycentrum i Apocentrum orbity przenoszącej). Odwrotnie, przenoszenie się z orbity wyższej do niższej wymaga przyspieszenia w trybie "retrograde" w pkt. A i P.

Przypadek 2.: Obracanie momentu przejścia przez perycentrum orbity eliptycznej (np. obracanie orbitalnej elipsy w jej płaszczyźnie)

- Zaczekaj aż osiągniesz perycentrum.
- Ustaw statek w trybie "retrograde" , uruchom i utrzymuj włączone główne silniki do momentu gdy orbita będzie kołowa (ekscentryczność/mimośród = 0).
- Zaczekaj aż osiągniesz nową pożądaną pozycję perycentrum.
- Ustaw statek w trybie "prograde" , uruchom i utrzymuj włączone główne silniki do momentu gdy początkowa ekscentryczność i dystans apocentrum będą znowu ustawione.

16.4 Obracanie płaszczyzny orbity

Ażeby spotkać się z innym orbitującym ciałem (np. stacją kosmiczną) lub przygotować się do lotu na księżyc lub planetę, pierwszym krokiem jest wyrównanie płaszczyzny orbity (PO) twojego statku z orbitą celu. W momencie gdy będziesz w tej samej PO w jakiej jest cel, większość następujących problemów nawigacyjnych w gruncie rzeczy sprowadza się do problemów dwuwymiarowych, co powoduje że są o wiele prostsze do obliczenia.

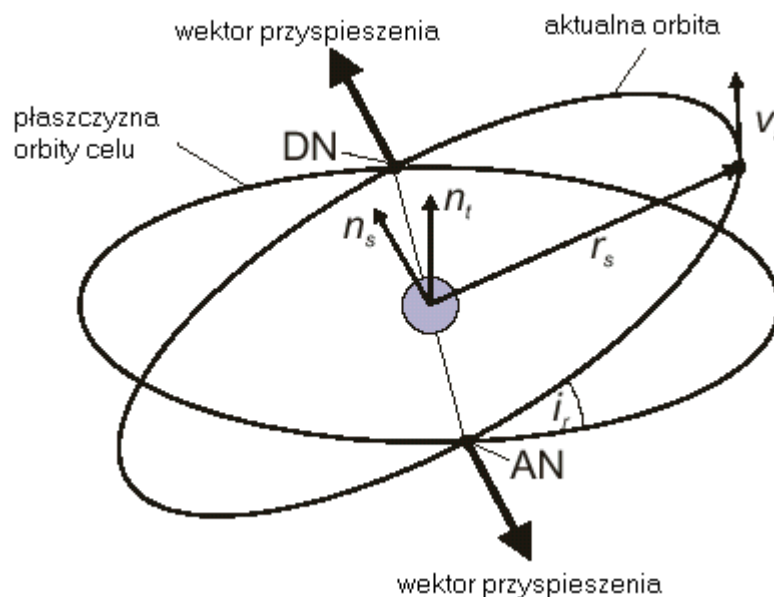
W kategoriach elementów orbity, wyrównywanie płaszczyzny orbity z celem oznacza dopasowanie dwóch elementów które definiują orientację orbity w przestrzeni: inklinacja (nachylenie) orbity i długość ekliptyczna węzła wstępującego (Longitude of Ascending Node = LAN).

Główną techniką obracania PO jest ustawienie statku zgodnie ze zwrotem wektora normalnego (prostopadłego) do aktualnej PO i uruchomienie głównych silników. To spowoduje obrót PO wokół osi zdefiniowanej jako twój aktualny wektor promienia. Dlatego też żeby wyrównać orbitę z daną celową płaszczyzną należy:

- Zaczekać aż twój statek osiągnie przecięcie (węzeł) twojej orbity z płaszczyzną celu
- Obrócić statek zgodnie ze zwrotem wektora normalnego do aktualnej orbity (;
- Uruchomić i utrzymywać włączone silniki do momentu gdy PO wyrówna się z płaszczyzną celu.

Uwaga:

- Jeśli kąt pomiędzy początkową i celową PO jest duży, może stać się konieczne korygowanie orientacji statku podczas manewru żeby utrzymywać go zgodnie ze zwrotem wektora normalnego do PO.
- Wyrównanie płaszczyzny podczas pojedynczego przejścia przez węzeł może być niemożliwe. Jeśli kąt w kierunku orbity celu nie może być już bardziej zredukowany przez przyspieszenie zg. ze zwr. w. normalnego do aktualnej orbity, wyłącz silniki i poczekaj aż dojdiesz do następnego węzła, w którym będziesz musiał przyspieszać ze zwr. przeciwnym do w. normalnego (')
- Ponieważ manewr ten zajmie skończony okres czasu ΔT , silniki powinny zostać włączone w czasie równym około $1/2 \Delta T$ przed dojściem do węzła.



Rysunek 24.: Wyrównywanie PO. r_s : wektor promienia. v_s : wektor prędkości, AN: węzeł wstępujący (Ascending Node), DN: węzeł zstępujący (Descending Node), n_s : wektor normalny aktualnej płaszczyzny, n_t : wektor normalny płaszczyzny celu.

Kierunek wektora normalnego jest definiowany przez kierunek iloczynu wektorowego $r_s \times v_s$. Przyspieszenie powinno być przyłożone w kierunku $-n_s$ w węźle wstępującym (AN) i w kierunku $+n_s$ w węźle zstępującym (DN) (Zobacz rysunek 24.)

W praktyce:

- Align orbital plane MFD (Shift+A) to urządzenie przeznaczone do pomocy przy wyrównywaniu płaszczyzn. Wybierz cel (Shift+T)
- HUD powinien być w trybie "Orbit". W miarę jak twój statek zbliża się do przecięcia z płaszczyzną orbity celu, obróć go normalnie (przy DN) lub przeciwnie do wektora normalnego (przy AN) do aktualnej PO. Użyj do tego drabinki inklinacji orbity na HUD.
- W momencie gdy czas pozostały do osiągnięcia węzła (ang. Time to Node = Tn) osiągnie połowę szacowanego czasu przyspieszania (Tth), zacznie się świecić wskaźnik "Engage thruster" ("Użyj silników"). Użyj głównych silników na pełnej mocy. Upewnij się że relatywna inklinacja (RInc) zmniejsza się, tzn. tempo zmian (Rate) jest ujemne, w przeciwnym razie możesz być skierowany w złym kierunku.
- Koryguj orientację statku tak aby był on skierowany normalnie do płaszczyzny orbity.]
- Wyłącz silniki w momencie gdy wskaźnik akcji znowu pokazuje tekst "Kill thruster" („Wyłącz silnik")
- Jeśli relatywna inklinacja nie była satysfakcjonująco zredukowana, powtórz procedurę przy następnym przejściu przez węzeł
- Podczas manewru upewnij się że twoja orbita nie staje się niestabilna. Obserwuj w szczególności ekscentryczność (Orbit MFD)

16.5 Synchronizacja orbit

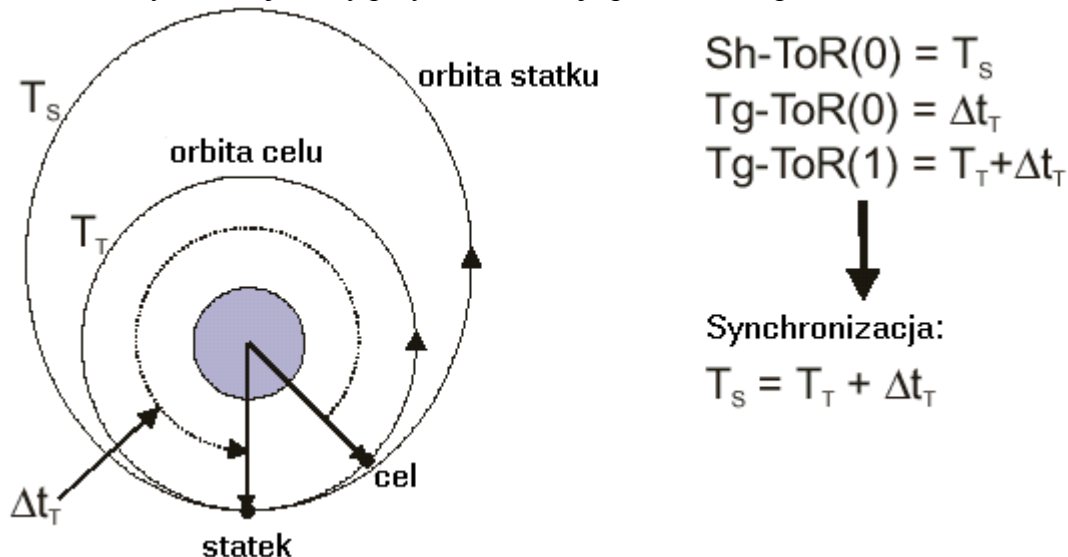
Ta część podręcznika zakłada że płaszczyzny orbit statku i celu zostały już wyrównane (zobacz poprzedni dział) (notka tłumacza - RInc musi być NAPRAWDE mała, w przeciwnym razie Synchronize MFD będzie wyświetlał nieprzydatne informacje. RInc = 0.07 to już za dużo!)

Następnym krokiem w manewrze spotkania z celem po wyrównaniu płaszczyzn orbit jest zmodyfikowanie orbity w jej płaszczyźnie tak że przechwytuje ona orbitę celu i zarówno twój statek jak i cel spotykają się jednocześnie w punkcie przechwycenia. Użyj Synchronize orbit MFD (Shift+Y) żeby obliczyć odpowiednią orbitę.

Dla uproszczenia najpierw zakładamy że zarówno twój statek jak i cel krążą po orbicie kołowej z o takim samym promieniu (żeby zsynchronizować promień orbity zobacz część 16.3) np. obydwa obiekty posiadają te same elementy orbity oprócz anomalii (Kątu określającego położenie ciała na orbicie). W tym przypadku metoda przechwycenia celu jest następująca:

- Przełącz tryb odniesienia (reference) urządzenia Synchronize MFD na ręczny ("Manual") i obróć oś do twojej aktualnej pozycji.
- Ustaw statek na tryb "prograde" (używając trybu HUD'a - Orbit) i odpal główne silniki.

- Orbita stanie się eliptyczna, ze zwiększającym się dystansem apocentrum. Perycentrum to twoja aktualna pozycja. Jednocześnie okres orbity i czasy które mają upłynąć do osiągnięcia osi odniesienia zaczną wzrastać.
- Wyłącz silniki w momencie gdy jeden z czasów Sh-ToR (ang. Ship's Time on Reference axis = czas na osi odniesienia dla statku) pokryje się z jednym z czasów Tg-ToR (ang. Target ToR = czas na osi odniesienia dla celu).
- Teraz musisz tylko czekać aż przechwycisz cel na osi odniesienia.
- W momencie przechwycenia odpal silniki w trybie "retrograde", żeby powrócić do orbity kołowej i żeby przyrównać swoją prędkość do prędkości celu.



Rysunek 25.: Orbita przejścia potrzebna by przechwycić cel przy następnym przejściu przez perycentrum.

Uwagi:

- Zamiast zwiększać dystans apocentrum, można by uruchomić silniki w trybie "retrograde" żeby zmniejszyć dystans perycentrum w tym manewrze. To może być skuteczne jeśli cel jest przed statkiem. Upewnij się jednak czy perycentrum nie spada za nisko!
- Zawsze powinno być możliwe przyrównanie twojego następnego czasu ToR (orbita nr 0) do czasu ToR przy orbicie nr 1. Jeśli jednak masz mało paliwa, może będzie lepiej przyrównać późniejsze orbity jeśli będzie to możliwe przy mniejszym zniekształceniu oryginalnej orbity. Na przykład jeśli cel jest marginalnie przed tobą, to żeby go przechwycić, musisz niemal podwoić twój okres orbity.
- Nie jest konieczne żeby orbity były identyczne lub kołowe przy początku manewru. Warunkiem wystarczającym jest, aby orbity te się przecinały. W takim przypadku najlepiej jest użyć trybów odniesienia "przecięcie 1" lub 2 ("Intersection 1/2") na urządzeniu Synchronize MFD.
- Nie musisz koniecznie czekać aż osiągniesz punkt odniesienia żeby odpalić silniki ale upraszcza to kwestię manewru bo w przeciwnym przypadku punkt przecięcia zacznie się poruszać, co skomplikuje dopasowanie czasów orbit.

16.6 Lądowanie (podchodzenie do pasów startowych)

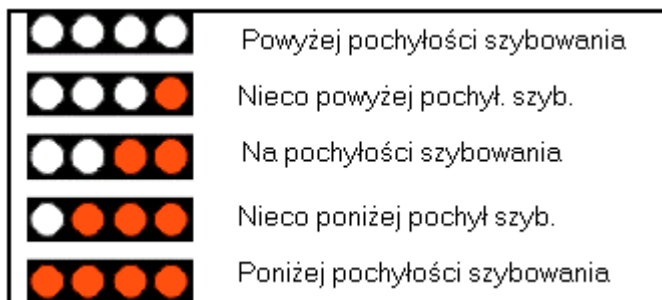
Niektóre statki w Orbiterze wspierają napędzane lub nienapędzane podchodzenia do pasów startowych, podobne do normalnych samolotów. Przykładami są Delta Glider lub Prom Kosmiczny. Centrum Lądowania Promów Kosmicznych (ang. Shuttle Landing Facility = SLF) przy Centrum Kosmicznym Kennedy'ego daje dobrą okazję do ćwiczenia podchodzenia do lądowania

Wizualne wskaźniki podchodzenia

Wizualne wspomaganie podchodzenia przy SLF są przeznaczone do lądowań promów kosmicznych. Zawierają Wskaźnik Ścieżki Precyzyjnego Podchodzenia (ang. Precision Approach Path Indicator = PAPI) i dla długo dystansowego dostrajania pochyłości szybowania i Wizualny Wskaźnik Pochyłości Podchodzenia (ang. Visual Approach Slope Indicator = VASI) dla krótko dystansowego dostrajania. PAPI jest ustawione na pochyłość szybowania równą 20° (około 6 razy bardziej stroma niż pochyłość szybowania standartowych samolotów!). VASI jest ustawione na 1.5° pochyłość podczas ostatecznego podniesienia przed dotknięciem pasów.

Wskaźnik Ścieżki Precyzyjnego Podchodzenia (ang. Precision Approach Path Indicator)

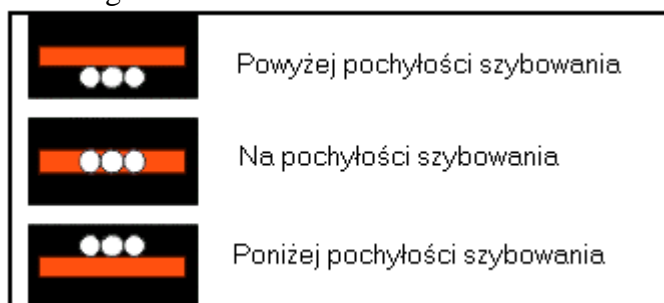
PAPI to tablica składająca się z 4 świateł, które świecą na biało lub czerwono w zależności od tego czy pilot jest powyżej lub poniżej ustalonej pochyłości szybowania. Przy poprawnej pochyłości będą widoczne 2 białe i 2 czerwone światła (zobacz rysunek). W Orbiterze są dwie jednostki PAPI na każdy kierunek podchodzenia do SLF, zlokalizowane około 2000 metrów przed progiem pasu startowego.



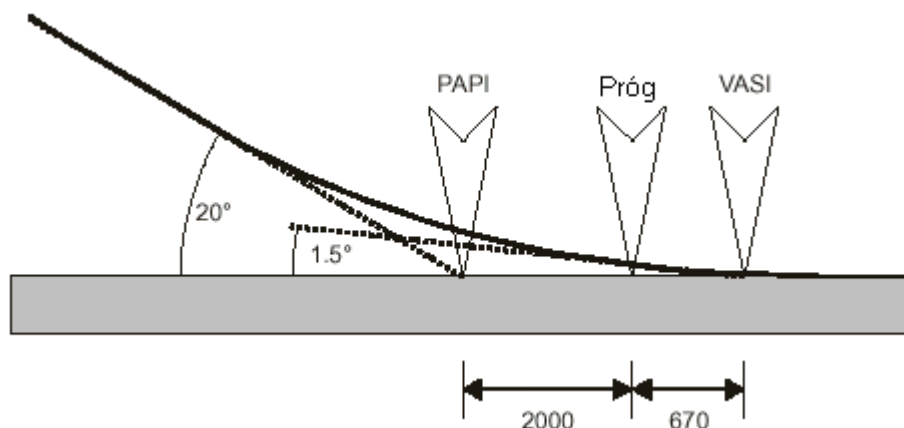
Rysunek 26.: Sygnały wskaźnika PAPI

Wizualny Wskaźnik Pochyłości Podchodzenia (ang. Visual Approach Slope Indicator)

VASI składa się z czerwonej szyny czerwonych świateł i zestawu białych świateł przed czerwonymi. Przy poprawnej pochyłości białe światła są wyrównane z czerwoną szyną (zobacz rysunek). Przy SLF, VASI jest zlokalizowane około 670 metrów za progiem pasu startowego.



Rysunek 27.: Sygnały wskaźnika VASI



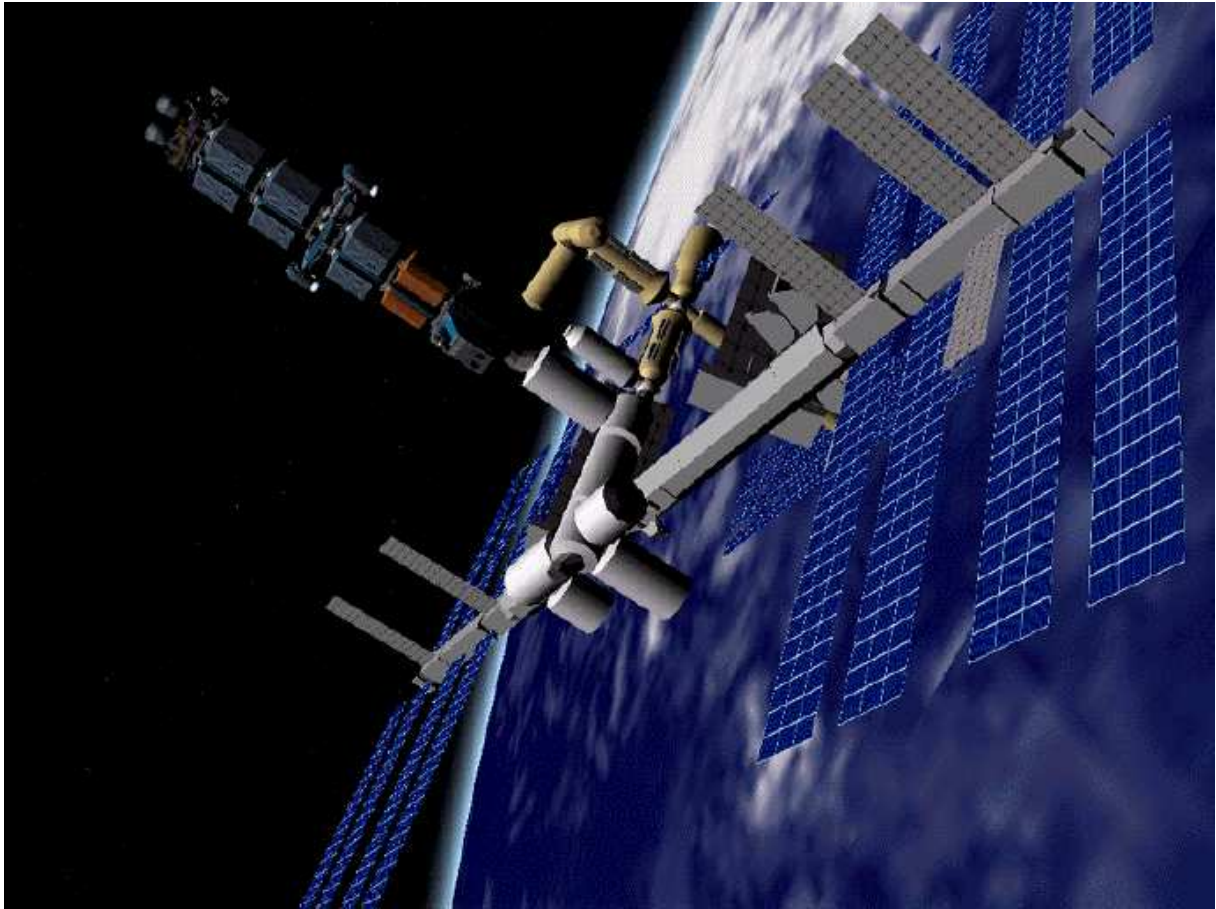
Rysunek 28.: Ścieżka podchodzenia promu przy SLF

16.7 Dokowanie

Dokowanie do stacji orbitalnej jest ostatnim krokiem manewru spotkania. Zakładając że przechwyciłeś stację w ślad za poprzednimi krokami, tutaj omówimy ostateczne podchodzenie do dokowania.

- Włącz Docking MFD (Shift+D) i ustaw HUD na tryb dokowania naciskając H do momentu gdy będzie wybrany tryb dokowania
- Nastaw jeden ze swoich odbiorników NAV na częstotliwość XPDR stacji, jeśli ta jest dostępna. Częstotliwość ta jest wylistowana na arkuszu informacyjnym stacji (Ctrl+i).
- Podporządkuj Docking MFD do HUD'a w trybie dokowania do tego odbiornika NAV (odpowiednio Shift+N i Ctrl+R).
- Jeśli jeszcze tego nie zrobiłeś, zsynchronizuj względną prędkość ustawiając statek na (\oplus), odpal główne silniki i utrzymuj je włączone do momentu gdy wartość prędkości będzie bliska zeru.
- Obróć statek dziobem do stacji ()
- Przy odległości około 10km ustaw jeden odbiornik NAV do częstotliwości IDS (Instrument Docking System) wybranego, wolnego portu dokowania. Przyporządkuj Docking MFD i HUD w trybie dokowania to tego odbiornika. To wyświetli orientację i informację o kierunku w MFD i wizualną reprezentację ścieżki podchodzenia w HUD'zie (prostokąty).
- Podleć do prostokąta najbardziej oddalonego od stacji i zatrzymaj się.
- Wyrównaj kierunek lotu statku z kierunkiem ścieżki podchodzenia używając wskaźnika 'X' na MFD
- Wyrównaj pozycję statku na ścieżce podchodzenia używając wskaźnika '+' na MFD. Przełącz silniczki pozycyjne (? ang. attitude thrusters) w tryb liniowy (/ na numerycznej)
- Wyrównaj rotację statku wzdłuż osi wzdłużnej używając wskaźnika strzałki na MFD.
- Podleć do stacji używając głównych silników przez krótkie okresy czasu. Podczas podejścia stale poprawiaj swoją pozycję używając liniowych silniczków pozycyjnych.
- Zmniejsz prędkość podchodzenia poniżej 0.1m/s przed zadokowaniem.

- Musisz podejść do doku na odległość mniejszą niż 0.3m żeby pomyślnie zakończyć manewr dokowania.
- Żeby odłączyć się od portu doku naciśnij Ctrl+D.



Rysunek 29.: Statek towarowy klasy Shuttle-A po pomyślnym zakończeniu podejścia do dokowania do ISS.

Uwagi:

- Żeby precyzyjnie kierować silnikami pozycyjnymi klawiaturą użyj trybu „niskiej mocy” (Ctrl + klawisz na numerycznej)
- Możesz dokować tylko do portu do którego dostałeś pozwolenia na dokowanie.
- Dostrajanie rotacyjne nie jest w tym momencie przymusowe, lecz może być w przyszłych wersjach.
- Aktualnie nie ma żadnych testów kolizyjnych, więc możesz przelecieć prosto przez stację jeśli twoje podejście do dokowania będzie nieprawidłowe.

Dokowanie do obracających się stacji

Stacje, takie jak Luna-OB1 obracają się żeby wykorzystać siłę odśrodkową do naśladowania grawitacji - co jest miłe dla jej mieszkańców lecz czyni dokowanie bardziej skomplikowanym. Dokowanie jest możliwe tylko wzdłuż osi obrotu więc mogą być najwięcej 2 porty. Procedura dokowania jest podobna do standardowej, lecz w momencie wyrównania ścieżki podchodzenia obrót wokół wzdłużnej osi statku musi być wyrównany z osią obrotu stacji.

Ważne:

- Zainicjuj wzdłużną rotację statku dopiero w momencie bezpośrednio przed dokowaniem (po przejściu przez ostatni znacznik podchodzenia). W momencie gdy zaczynasz się obracać, liniowe korekty stają się bardzo trudne.
- Kiedy rotacja jest zrównana z rotacją stacji, nie naciśnij przez przypadek „5” na numerycznej (zatrzymaj rotację) albo będziesz musiał zaczynać wyrównanie rotacyjne od nowa.

Oszustwo:

Z uwagi na to, że wyrównanie rotacyjne nie jest w tym momencie wymagane, możesz najzwyczajniej zignorować rotację stacji i lecieć prosto przed siebie