

Razvoj simulatorja vesoljskega plovila za projekt Evropske vesoljske agencije ESMO

Matevž Bošnjak, Drago Matko, Sašo Blažič

Univerza v Ljubljani, Fakulteta za elektrotehniko, Tržaška 25, 1000 Ljubljana, Slovenija
E-pošta: matevz.bosnak@fe.uni-lj.si

Povzetek. V letu 2009 je Univerza v Ljubljani vstopila v projekt izdelave simulatorja vesoljskega plovila za evropski projekt ESMO. Namen razvoja simulatorja je bila izdelava simulacijskega orodja, s katerim se bodo preverjali pravilno dimenzioniranje podsistemov, identifikacija primernih mejnih vrednosti in kritičnih točk ter ustreznost sistema v celoti. V sodelovanju z drugimi študentskimi ekipami pri projektu so bili razviti simulacijski modeli za podsisteme vesoljskega plovila, ki bodo združeni v simulacijsko shemo vesoljskega plovila. Poleg pridobivanja simulacijskih modelov podsistemov je bilo treba določiti in realizirati arhitekturo za izvajanje simulacij. Ta obsega povezovalne programe, uporabniški vmesnik, podatkovno bazo, bazo združenih simulacijskih modelov, sistem za shranjevanje in obdelavo rezultatov simulacije ter sistem za avtomatsko generiranje poročil o rezultatih simulacije.

Ključne besede: simulator, vesoljsko plovilo, satelit

Development of the orbiter simulator for the ESA project ESMO

Extended abstract. The European Student Moon Orbiter (ESMO) is planned to be the first European student mission to the Moon. ESMO represents a unique and inspirational opportunity for university students, providing them with a valuable and challenging hands-on space project experience in order to fully prepare a well qualified workforce for future ESA missions in the next decades.

ESMO student teams, supported by the faculty staff, will produce a complete satellite from scratch. Their mission will be to fly towards the Moon, enter the Moon's orbit and execute scientific experiments while orbiting around the Moon. These experiments will be performed with a narrow angle camera, a microwave radiometer and a radar as the main satellite payload.

In October 2009, new team from the University of Ljubljana entered the ESMO project. Their aim was to produce a Functional Engineering Simulator (FES) that will allow the project teams to model the spacecraft functions and performance at various stages in the mission and simulate the operational environment including ground station contacts. In later stages, it is to be evolved into a real-time simulator with first the on-board computer hardware and later the breadboard / engineering / flight hardware in the loop via an avionics test bench.

The simulator is critical to verify the correct sizing of sub-systems in the design and in the identification of adequate design margins and criticalities, especially in the worst-case scenarios and in the presence of failures leading to off-nominal situations. It will also be used to determine the telecommands to be generated, to test for potential failures and recovery scenarios and to provide overall validation of the system functions including data handling and attitude control.

In this paper a concept of FES will be presented along with the work that has already been done on the subject.

Key words: European Student Moon Orbiter, Functional Engineering Simulator

1 Uvod

Z izstrelitvijo prvega umetnega satelita in vstopom v vesolje pred nekaj več kot 50 leti je človek odprl novo smer v znanosti. Omogočeno je bilo opazovanje površja, komuniciranje med celinami in v končni fazi tudi obiskovanje sosednjih nebesnih teles ter bivanje človeka v vesolju.

S skupnimi močmi se je Evropa v zadnjih desetletjih postavila na vodilni položaj tehnološkega napredka in vesoljske znanosti. Kar posameznim državam ne bi uspelo, je omogočila Evropska vesoljska agencija, ESA. Danes ima Evropa eno najuspešnejših sodobnih raket, raziskuje vesolje z največjimi teleskopi in obiskuje planete z vesoljskimi sondami. Taki uspehi ne bi bili mogoči brez tehnološkega razvoja in veliko raziskav ter primernih naložb v infrastrukturo in znanje.

Projekti izdelave vesoljskih plovil so v večini precej kompleksni in morajo biti zelo dobro organizirani in vodeni. V ta namen je nastal skupek standardov ECSS (angl. *European Cooperation on Space Standardization*), ki določa potek dela v vseh fazah projekta. V grobem je vsak projekt razdeljen v faze O/A do F, ki obsegajo izvedljivostno študijo (faza O/A), predhodni razvoj (faza B), detajlni razvoj (faza C), izdelavo in validacijo (faza D), obratovanje (faza E) ter študijo odstranitve (faza F) [5].

ESMO (angl. *European Student Moon Orbiter*) je tretji projekt oddelka za izobraževalne projekte agencije

ESA (angl. *ESA Education Projects Unit*), v katerem ESA vodi evropske študente pri zasnovi in izdelavi vesoljskega plovila. Če bo projekt uspešen, bo to prvo evropsko vesoljsko plovilo, delo študentov, ki bo zapustilo Zemljo in se utirilo v orbito okoli nekega drugega nebesnega telesa. Razvito plovilo bo v letu 2012 izstreljeno proti Luni, v njeni orbiti bo opravljalo meritve z mikrovalovnim radiometrom[4] in radarjem ter zajemalo posnetke Luninega površja s pomočjo ozkokotne kamere. V Lunini orbiti bo aktiviran tudi eksperimentalni sistem, imenovan LunaNet, ki bo omogočal internetu podobno komunikacijo med lunarnim orbiterjem in Zemljo.

Projekt ESMO v večini temelji na več kot 200 prostovoljnih študentih iz 10 evropskih držav ter manjšega deleža fakultetnega osebja, ki vodi delo študentskih ekip. Delo pri projektu ESMO je razdeljeno med ekipe na 19 evropskih univerzah in je prvi projekt tovrstne narave. V primeru uspešne misije bo to šele drugi evropski satelit v Lunini orbiti. Glavni cilji projekta ESMO so:

- zasnova, izdelava in testiranje vesoljskega plovila, delo študentskih ekip ter lansiranje plovila v vesolje,
- utirjenje vesoljskega plovila v lunarno orbito,
- zajem slik površine Lune ter prenos le-teh na Zemljo,
- izvedba meritev z znanstveno opremo na vesoljskem plovilu.

Delo pri projektu ESMO se je začelo že v letu 2006 z zbiranjem prijav zainteresiranih univerz in njihovih predlogov. Na podlagi teh predlogov se je izvedla študija izvedljivosti projekta, pri kateri se je preverjala izvedljivost celotne misije ter posameznih sistemov in podsistemov. Na podlagi potrjenih predlogov so na univerzi v Madridu začeli zbirati in sistemsko urejati podatke o posameznih podsistemih za zbiranje dokumentacije za gradnjo simulatorja. Jeseni 2009 je ekipa univerze v Ljubljani prevzela razvoj simulatorja.

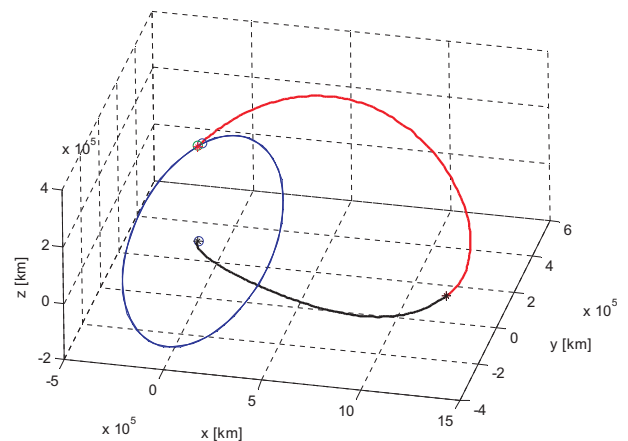
Sočasno z vstopom univerze v Ljubljani je projekt ESMO kot glavni izvajalec prevzelo podjetje SSTL (Surrey Satellite Technology), ki se ukvarja z izdelavo in lansiranjem majhnih satelitov. To podjetje je za projekt ESMO zagotovilo, da bo vesoljsko plovilo izdelano in izstreljeno po predvidenih načrtih. Podjetje SSTL pri izdelavi in študiji vesoljskih plovil ne uporablja enotnega simulatorja, zato razvoju simulatorja v sklopu projekta ESMO namenjajo veliko pozornost. Simulator je namreč pomembno orodje pri načrtovanju misije in preverjanju energijskega in Δv -proračuna, ki sta močno povezana s stroški misije in se jih želi čim bolj zmanjšati. Proračun Δv izraža skupno potrebno spremembo vektorja hitrosti vesoljskega plovila s pogonskim sistemom, ki je potrebna za uspešno izvedbo misije, energijski proračun pa obravnava bilanco generirane, shranjene in porabljene elek-

trične energije. V tem članku sta predstavljena projekt ESMO ter zgradba in delovanje simulatorja.

2 Potek misije

Začetek misije pomeni sprostitve vesoljskega plovila iz nosilne rakete v geostacionarno transportno orbito (angl. *Geostationary transfer orbit - GTO*), pri čemer se bodo aktivirali osnovni sistemi vesoljskega plovila in vzpostavili komunikacijo z bazno postajo na Zemlji. Izveden bo manever stabilizacije plovila in usmeritve sončnih celic proti Soncu. Z zagotovitvijo napajanja se bo začela faza testiranja vseh sistemov plovila, v kateri bodo med preleti plovila prek bazne postaje s telemetrijskimi ukazi vklopili posamezne podsisteme ter preverili njihove odzive. Da se zmanjša obsevanost vesoljskega plovila, je zaželeno, da ta faza traja čim manj časa.

V naslednji fazi bo vesoljsko plovilo s pomočjo več sunkov raketnega pogona pospešeno proti nestabilni Langrangeovi točki L1. Langrangeova točka L1 je točka, kjer sta gravitacijski sili Zemlje in Sonca enaki. Čeprav je vesoljsko plovilo v točki L1 bližje Soncu kot Zemlja, še vedno oba krožita z enakim obhodnim časom okoli Sonca. Ko bo Luna v ugodnem položaju, se bo z dodatnimi manevri vesoljsko plovilo usmerilo proti njej. Trajektorija, ki nastane kot posledica takšnih manevrov (slika 1), zmanjša potreben Δv v zameno za daljši čas poto- vanja.



Slika 1. Trajektorija vesoljskega plovila
Figure 1. Orbiter trajectory

V tretji fazi misije bo poudarek na manevrih, ki so potrebni za uspešno utirjenje v eliptično operativno Lunino orbito z najnižjo točko okoli 100 km nad južnim polom Lune. Tej fazi sledi glavna faza misije, v kateri se bodo izvajale meritve v Lunini orbiti. Predvidena življenjska doba vesoljskega plovila v tej Lunini orbiti je šest mesecev.

Misija bo končana z zadnjo fazo, ko bo vesoljsko plovilo zaradi izgubljanja višine padlo na Luno.

3 Zgradba vesoljskega plovila

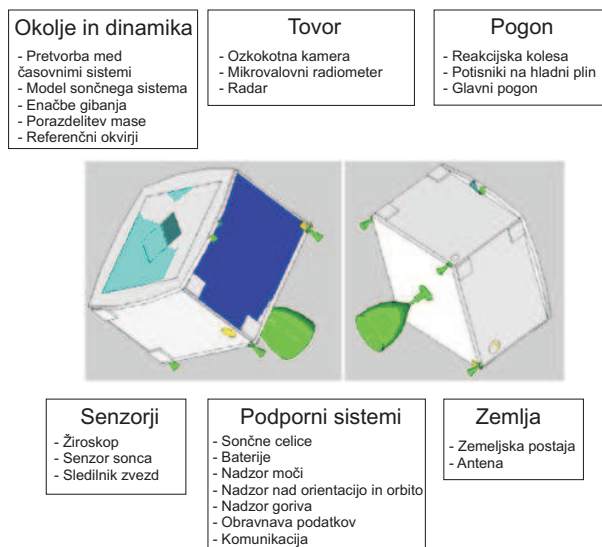
Vesoljsko plovilo ESMO (slika 2) bo imelo obliko kvadra v velikosti 762 mm x 438 mm x 738 mm in končno maso približno 190 kg. Zaradi relativno majhne velikosti in mase bo spadalo v kategorijo mini satelitov in bo izstreljeno kot sekundarni tovor na eni izmed nosilnih raket. Ker bo vesoljsko plovilo izstreljeno kot sekundarni tovor, je pri planiranju misije upoštevano katerokoli časovno okno za izstrelitev.

Za glavni pogon vesoljskega plovila je izbran raketni pogon na tekoče gorivo. Gorivi MON (mešani dušikovi oksidi) in MMH (monometilhidrazin) bosta shranjeni v štirih ločenih rezervoarjih. Pri aktivaciji pogona bosta gorivi iztisnjeni iz rezervoarja s pomočjo potisnega plina, ki ga bodo uporabljali tudi za vzdrževanje in spreminjanje orientacije vesoljskega plovila prek štirih potisnih šob (angl. *cold gas thruster*). Za fino regulacijo orientacije bodo uporabljana štiri reakcijska kolesa (angl. *reaction wheels*), ki bodo v namene redundance nameščena tako, da bo regulacija orientacije vesoljskega plovila mogoča tudi v primeru okvare enega izmed koles.

Orientacijo in položaj plovila bodo spremljali s pomočjo senzorskega dela plovila, ki ga bodo sestavljali senzori za položaj Sonca (angl. *sun sensor*), sledilniki zvezd (angl. *star tracker*) ter inercialna merilna enota (angl. *inertial measurement unit – IMU*), sestavljena iz žiroskopskih senzorjev.

Avtonomno delovanje plovila bo zagotovljeno z naprednimi sončnimi celicami, nameščenimi na dveh straneh plovila, ki bosta med misijo proti soncu obrnjeni pod kotom 45°, s čimer bo zagotovljena največja prečna površina, ki bo osvetljena s soncem. Napredni algoritmi bodo poskrbeli za sledenje točke največje moči na sončnih celicah. Presežna energija se bo shranjevala v šest Ah-akumulatorskem paketu, ki bo temeljil na litij-ionskih celicah. Ta paket bo zagotavljal neprekinjeno napajanje za čas, ko bo potreba po električni energiji večja od generirane iz sončnih celic, kar bo predvsem v prvi fazi poleta, ko bo vesoljsko plovilo lansirano v orbito in regulacijski sistemi še ne bodo delovali, ter v nadaljnjih fazah, ko bo plovilo zašlo v Zemljino ali Lunino senco. Električna energija iz baterij bo uporabljena tudi pri vklopu energijsko potratnih naprav.

Tovor vesoljskega plovila so ozkokotna kamera, ki bo uporabljena za snemanje luninega površja z višine 200 km, pasivni mikrovalovni radiometer, s katerim se bo merila temperatura regolita nekaj metrov pod Luninim površjem, ter pulzni frekvenčno modulirani radar, ki bo lahko uporabljen za širokopasovno komunikacijo s plovilom in ob vrtenju satelita omogočal skeniranje želenega dela površja Lune tudi na senčni strani.



Slika 2. Grafični prikaz zgradbe vesoljskega plovila ESMO
Figure 2. Graphical presentation of the ESMO orbiter

4 Nameni uporabe simulatorja

Agencije ESA je podala zahteve za simulator v obliki namenov uporabe simulatorja. Primarno bo simulator uporabljen za preverjanje pravilnega dimenzioniranja podsistemov, identifikacijo primernih mejnih vrednosti in kritičnih točk ter za splošno preverjanje celotnega sistema.

Naloga simulatorja je simulacija vesoljskega plovila v orbiti GTO (angl. *Geostationary transfer orbit*), potovalni trajektoriji proti Luni ter v lunarni orbiti, v kateri se bodo opravljali poskusi. Pri tem mora simulator omogočati simulacijo vseh manevrov s pogonskim sistemom. Rezultati te simulacije bodo pokazali, ali je sistem za vodenje pravilno dimenzioniran in nastavljen, da zagotavlja želen položaj in orientacijo plovila. Poleg Δv -proračuna mora simulator omogočati analizo energijskega proračuna, ki predstavlja vpogled v generacijo in porabo električne energije v različnih razmerah.

Poseben poudarek med nalogami simulatorja je v možnosti simuliranja okvar tako na pogonskem sistemu kot tudi v senzorskem in napajalnem sistemu, na podlagi katerih se preverja robustnost celotnega sistema.

5 Zgradba simulatorja

Ker je delo na vesoljskem plovilu razdeljeno na funkcionalne podenote, je bilo smiselno enako razdelitev upoštevati tudi pri simulatorju. Delo je bilo razdeljeno med 10 ekip študentov, ki so si prosto izbrali podsisteme. Te študentske ekipe so imele nalogo proučiti že pripravljeno dokumentacijo, jo ustrezno dopolniti ali popraviti ter na podlagi te dokumentacije pripraviti modele podsistemov. Študentske ekipe, ki se ukvarjajo z izdelavo realnih sistemov, so med drugim imele nalogo, da posredujejo

svoje modele, ki so jih že pripravili za študijo izvedljivosti ali za pomoč pri razvoju. Ker vseh modelov podsistemov nismo prejeli, je bilo treba za manjkajoče podsisteme narediti poenostavljene modele glede na podane specifikacije, ki se odzivajo podobno kot pravi podsistemi [2]. V nadaljnjem razvoju bodo ti poenostavljeni modeli s pomočjo ekip, ki razvijajo podsisteme, dopolnjeni.

Simulator za vesoljsko plovilo ESMO je v celoti zgrajen v okolju Matlab. Modeli podsistemov so realizirani v obliki simulacijske sheme z orodjema Matlab Simulink in Stateflow. Izbira okolja je pogojena s specifikacijami iz agencije ESA, kjer je tudi določeno, da morajo vsi modeli uporabljati standardne knjižnice in orodja. Za obsežnejše dele modelov ali modele, vodene s sekvenčno logiko, so uporabljeni bloki tipa Embedded Matlab Function, ki omogočajo izvajanje vgrajene kode med simulacijo. Celotna simulacijska shema je porazdeljena in združena v funkcionalne oz. logične podenote. Z izbiro različnih kombinacij podenot je mogoče prilagajati simulacijsko shemo namenu uporabe.

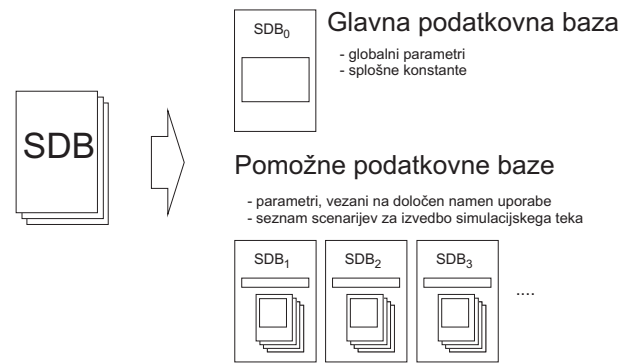
Ker je pri gradnji simulacijskih modelov podenot potrebno poglobljeno znanje o delovanju, je bila naloga modeliranja prepuščena ekipam, ki se ukvarjajo z izdelavo realnih sistemov plovila. Pri takšni porazdelitvi dela se je treba zavedati, da ekipa, ki gradi realni sistem, ponavadi nima poglobljenega znanja o modeliranju in samem delovanju simulatorja [3]. Zato tako pridobljeni simulacijski modeli ponavadi še niso ustrezni za takojšnjo vključitev v arhitekturo simulatorja in je potrebno dodatno prilagajanje same strukture modela. Primer takšnih neustreznosti so modeli, ki so vsebovali algebrajske zanke. Te zanke smo lahko odstranili le z reorganizacijo modela ali z uporabo rahlo drugačnega pristopa pri modeliranju.

Še večji problem pa je združevanje simulacijskih modelov, ki vsebujejo zelo različne časovne konstante. Pri tem dobimo t. i. toge sisteme, ki so svojevrsten problem pri izvajanju simulacije [6]. Zaradi delov modela, ki imajo majhne časovne konstante, je računski korak zmanjšan, kar privede do podaljšanja izvajanja simulacijskih tekov in povečanja problema numeričnih napak pri integriranju.

Takšne situacije ni lahko rešiti, zato smo se odločili za pogojno izvajanje modelov posameznih podsistemov. Modeli, ki vsebujejo zelo kratke časovne konstante, bodo vključeni le v scenarije, kjer so ti modeli aktivirani (npr. aktivacija glavnega raketnega pogona, uporaba potisnih šob na hladni plin ipd.).

Končnemu uporabniku simulatorja je celotna simulacijska shema prikrita z uporabo grafičnih vmesnikov. Ti omogočajo izbiro simulacije enega izmed prednastavljenih primerov uporabe po določenem scenariju. Uporaba prednastavljenih primerov uporabe je mogoča, ker se vsi parametri, specifični za določen scenarij, nahajajo v bazi podatkov. S tem je zagotovljena ponovljivost vsakega

izmed testov, ki je nujna, če simulator uporablja večja množica uporabnikov. Zato je tudi onemogočena vsaka interakcija med uporabnikom in modelom med simulacijo. Vsi dogodki, ki se sprožijo med simulacijo, so točno določeni v bazi podatkov med parametri za posamezen scenarij.



Slika 3. Struktura sistemske baze podatkov
Figure 3. System database structure

Baza podatkov (slika 3) je zaradi lažjega urejanja s strani končnih uporabnikov realizirana v obliki preglednic Microsoft Excel. Podatki so shranjeni v več datotekah tipa Excel. Glavna baza parametrov vsebuje vse tiste parametre, ki se med izvajanjem simulacije ne spreminjajo in so neodvisni od izbire primera uporabe. Vsak zapis v bazi je označen z edinstveno oznako, ki je izpeljanka iz kratic podsistema, v katerem je uporabljen, kratkega opisa ter dimenzij spremenljivke. Oblika oznak je določena v eni izmed specifikacij za poimenovanje uporabljenih spremenljivk v simulatorju.

Organizacija podsistemov je podrejena prejetim specifikacijam za primere uporabe simulatorja (angl. *simulator use cases*). Ti primeri uporabe vsebujejo opis funkcionalnosti simulatorja za posamezne poskuse, ki jih bodo opravili končni uporabniki.

Vsak posamezen primer uporabe ima svojo bazo podatkov, ki v glavni tabeli vsebuje vse parametre, vezane na ta določen primer uporabe. Med parametri je tudi izbira simulacijske sheme za izbran primer uporabe, kar omogoča optimalno izbiro simulacijske sheme glede na časovno in numerično zahtevnost simulacije. Študij določenih podsistemov je namreč mogoč brez simulacije za ta podsistem nepomembnega simulacijskega bloka.

Različni scenariji za izvedbo posameznega primera uporabe so določeni v dodatnih tabelah, ki vsebujejo dodatne parametre, vezane na scenarij ter seznam dogodkov. Seznam dogodkov je sestavljen iz specifikacije časa izvedbe in tipa dogodka. S pomočjo dogodkov je omogočeno simuliranje ukazov, poslanih prek telemetrije, okvar na sistemu ter drugih dogodkov, vezanih na specifične modele.

6 Potek simulacije

Določanje simulacijskega scenarija se začne z opisovanjem le-tega v bazi podatkov. Glede na zahteve po obsegu simulacije in dogodkih, ki jih je treba simulirati, se ustrezno izpolni nova tabela v bazi podatkov pod ustreznim namenom uporabe. Uporabnik, ki načrtuje simulacijo, mora navesti časovni okvir simulacije, vsa začetna notranja stanja sistema, ki vplivajo na položaj delovne točke plovila ter dodatne parametre, specifične za ta scenarij. Tabela se lahko nato dopolni s seznamom dogodkov.

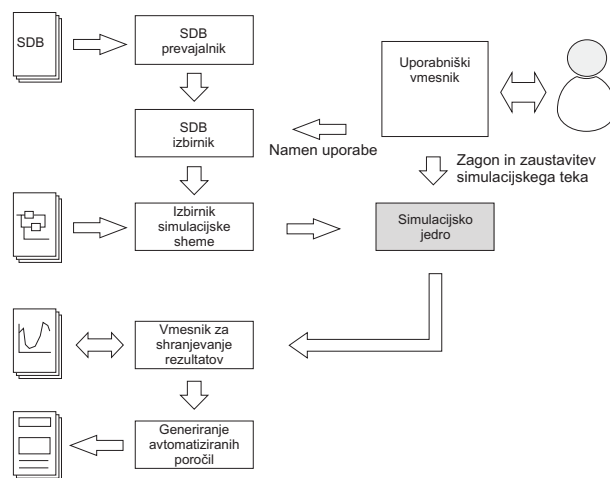
Izvajanje simulacije (slika 4) po tako pripravljenem scenariju se začne v okolju Matlab z zagonom glavne M-skripte, ki poskrbi za naložitev glavne baze podatkov iz datoteke v delovni spomin Matlaba in prikaz uporabniškega vmesnika za izbiro namena uporabe. Ko uporabnik opravi to izbiro, se iz ustrezne pomožne baze podatkov naloži seznam scenarijev, ki se prikaže uporabniku v novem oknu. Po izbiri scenarija se začne avtomatiziran postopek izvedbe simulacije. Na podlagi izbranega namena uporabe se izbere primerna simulacijska shema, ki vsebuje le za ta namen uporabe nujne modele podsistemov. Iz baze podatkov se naložijo v delovni spomin tudi vsa začetna stanja sistema.

Poskus, ki se ga simulira v enem simulacijskem teku, je razdeljen v več simulacijskih etap, katerih dolžina je določena v bazi podatkov kot parameter simulacije. Prva simulacijska etapa se požene po uspešni inicializaciji. Simulacija je izvedena s prilagodljivim korakom in integracijsko metodo ode45. Po izvedbi ene etape se vsa končna stanja sistema shranijo v delovno okolje Matlaba, vrednosti relevantnih signalov pa se z izbranim časom vzorčenja shranijo v datoteko rezultatov. Če pogoj za zaustavitev simulacije ni izpolnjen, se naslednja simulacijska etapa začne z nalaganjem končnih stanj sistema iz prejšnje simulacijske etape. Pogoj za zaustavitev simulacijskega teka je lahko vezan na čas simulacije ali na določen dogodek, ki lahko sproži predčasno zaustavitev.

Ob koncu simulacijskega teka se izvede analiza zapisanih vrednosti, na podlagi katere se generira poročilo o simulaciji. Vsebina poročila je odvisna od namena uporabe, ki je bil izbran ob zagonu simulacije, in lahko vsebuje seznam vrednosti konstant in parametrov, uporabljenih pri simulaciji, podatke o izbranem namenu uporabe ter tabelarični in/ali grafični prikaz rezultatov, dobljenih s simulacijo. Pri vsakem simulacijskem teku se generira nov par datotek z rezultati in poročilom.

7 Vodenje dokumentacije

Pomemben vidik pri sodelovanju pri projektu, kot je ESMO, je vodenje dokumentacije (slika 5). Ker gre za projekt, pri katerem sodeluje velika množica ljudi, je dokumentacija osnova za izmenjavo informacij. Pri izdelavi simulatorja je potrebno tesno sodelovanje z ekipami, ki so zadolžene za izdelavo realnih sistemov

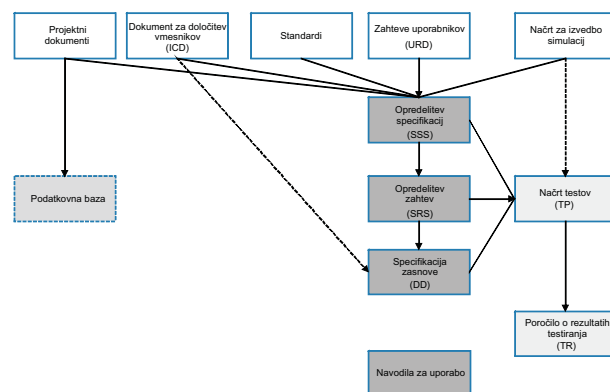


Slika 4. Struktura simulatorja Figure 4. Simulator structure

vesoljskega plovila, saj imajo ti največ vpogleda v naravo delovanja posameznega podsistema. Te ekipe so bile tudi zadolžene za izdelavo začetnih specifikacij o podsistemih, na podlagi katerih so se izdelali modeli podsistemov.

Za simulator je treba izdelati še dodatno dokumentacijo, ki natančneje določa specifikacije modelov podsistemov, arhitekture simulatorja in namene uporabe. Dokumentirano je tudi delo na posameznih fazah razvoja simulatorja. V sklepni fazi izdelave simulatorja bo dokumentacija dopolnjena z navodili za uporabo simulatorja. V teh navodilih bodo poleg zahtev za poganjanje simulatorja opisani postopki za izvajanje simulacijskih tekov ter načrtovanje in vpisovanje dodatnih simulacijskih scenarijev v sistemsko podatkovno bazo.

Pri izdelavi dokumentacije je treba upoštevati standarde za pisanje projektne dokumentacije, ki sta jih določila agencija ESA in podjetje SSTL.



Slika 5. Potek dokumentiranja Figure 5. Documentation progress

8 Sklep

Trenutno se projekt ESMO nahaja v sklepnem delu faze B, kjer se začetne zasnove sistemov začenjajo realizirati z realnimi sistemi. Predstavljen simulator je prav tako v gradnji in bo izpopolnjen v naslednjih fazah projekta. Največ pozornosti bo namenjene uporabi čim bolj točnih modelov realnih sistemov, s katerimi bomo lahko zagotovili, da bodo rezultati, pridobljeni s pomočjo izvajanja simulacij, zelo podobni tistim iz realnih sistemov.

Na podlagi izpopolnjenega simulatorja bo v naslednjih fazah potekalo delo na simulacijskem okolju, ki bo teklo v realnem času in bo omogočalo testiranje in preverjanje realnih sistemov. V takem simulacijskem okolju bo potekalo tudi izobraževanje operaterjev vesoljskega plovila ter v končni fazi preverjanje delovanja plovila v realnem času.

9 Literatura

- [1] Andrej Čadež. *Uporaba vesoljskih tehnologij*, poglavje Gibanje vesoljskih sond in fizikalne osnove astronavitike, str. 1–52. Didakta, 1996.
- [2] Maja Atanasijević-Kunc. *Modeliranje procesov*. Založba FE in FRI, Ljubljana, 2005.
- [3] Sašo Blažič, Drago Matko. The training simulator for the ghazi-barotha hydro-powerplant. Borut Zupančič, Rihard Karba, Sašo Blažič, uredniki, *Proceedings of the 6th EU-ROSIM Congress on Modelling and Simulation*, Volume 2, str. 1–7, 2007.
- [4] M. Montopoli, P. Tognolatti, F.S. Marzano, M. Pierdicca, G. Perrotta. Remote sensing of the moon sub-surface from a spaceborne microwave radiometer aboard the european student moon orbiter (esmo). *Geoscience and Remote Sensing Symposium, 2007. IGARSS 2007. IEEE International*, str. 4451–4454, july 2007.
- [5] ECSS Secretariat. *Space Engineering - System Modelling and Simulation*. ESA-ESTEC, Requirements & Standards Division, Noordwijk, The Netherlands, 2006. Published by: ESA Publication Division.
- [6] Borut Zupančič. *Simulacija dinamičnih sistemov*. Fakulteta za elektrotehniko in računalništvo, Ljubljana, 1995.

Matevž Bošnjak je diplomiral leta 2009 na Fakulteti za elektrotehniko v Ljubljani, zdaj je podiplomski študent in je kot mladi raziskovalec zaposlen v Laboratoriju za avtonomne mobilne sisteme na isti fakulteti.

Drago Matko je redni profesor na Fakulteti za elektrotehniko Univerze v Ljubljani. Izpopolnjeval se je na Inštitutu za regulacijsko tehniko v Darmstadtu in na Inštitutu za vesoljske in astronavične znanosti v Tokiu. Objavil je petinpetdeset člankov v strokovnih revijah in več kot 270 prispevkov na konferencah. Napisal je šest učbenikov za študente in enega prevedel. Je soavtor dveh knjig, tiskanih pri založbi Prentice Hall. Bil je gostujoči profesor na tehniški strokovni šoli v Gelsenkirchnu (Nemčija), Tuzli (Bosna in Hercegovina) in Bahii Blanci (Argentina). Leta 1989 je prejel nagrado ministrstva za znanost in tehnologijo za svoje delo na področju adaptivnega vodenja sistemov, leta 2000 Vidmarjevo nagrado Fakultete za Elektrotehniko univerze

v Ljubljani za pedagoško delo in leta 2003 najvišje slovensko priznanje za znanstvene dosežke, Zoisovo nagrado.

Sašo Blažič je izredni profesor na Fakulteti za elektrotehniko Univerze v Ljubljani. Na omenjeni fakulteti je diplomiral, magistriral in doktoriral v letih 1996, 1999 in 2002. Njegovo raziskovalno delo vključuje adaptivno, mehko in prediktivno vodenje, modeliranje nelinearnih sistemov ter vodenje avtonomnih mobilnih sistemov.