

Programm „Constellation“

V.-V. Pustõnski

Sissejuhatus

Inimene kõndis Kuul viimati 1972. aastal, kuuenda „Apollo“ ekspeditsiooni käigus. Alates 1968. aastast kuni 1972. aastani lendasid 9 mehitatud kosmoselaeva Kuu poole. Esialgu oli kavas 10 ekspeditsiooni laskumine Kuule kuid 3 neist jäeti ära programmi täitmise käigus, 6 korral läks see õnneks aga üks lõppes avariiga teel Kuule (**Apollo-13**), mille tõttu jäi laskumine ära. Aktiivselt töötati välja ka nn. „peale Apollo“-t (ingl. post-Apollo) programmi, mille käigus planeeriti ehitada baas Kuule ning uurida aktiivselt Maa looduslikku kaaslast. Aga üldsuse huvipuuduse tõttu ei leidnud see programm rahalist toetust, ning USA mehitatud astronautika läks korduvkasutatava kosmosesüstiku „Shuttle“ loomise teele.

Kuid ka „Shuttle“ ei õigustanud täielikult talle pandud lootusi kuna süsteem oli äärmiselt kallis ja ebapiisava töökindlusega. Juba konstrueerimise ajal oli loobutud täielikust korduvkasutatavusest ja esialgselt planeeritud startide sagedusest. Kaks kosmosesüstiku katastroofi tegid alternatiivse transpordimeetodi leidmise eriti teravaks. Ilmselt just viimane „Shuttle“-i katastroof, süstiku **Columbia** kaotamine 2003. aastal õhutas USA presidenti esitama 14. jaanuaril 2004. aastal uut nägemust Ameerika kosmoseuurimise programmist (*new Vision for Space Exploration*). Selle sisu oli järgmine: lõpetada aastaks 2010 „Shuttle“-i programm ja selle asemel luua uus mehitatud kosmoselendude süsteem, mis täidaks jooksvaid „Shuttle“-i ülesandeid (nt. Rahvusvahelise kosmosejaama valmis ehitamine) ning kindlustaks uute eesmärkide täitmise: viia ameeriklased uuesti Kuule ja tulevikus ka Marsile. Kuule tagasimineku on plaanis lähema viieteistkümne aasta jooksul ja Marsi lendu ei kavandata enne 2030. aastat. Tulevased kuulennud ei kujuta endast „Apollo“ lühiajaliste „luurerünnakute“ kordamist vaid kuubaasi ehitamist ning pikaajalisi ekspeditsioone Kuu ja kosmilise ruumi teaduslikeks ja tehnoloogilisteks kompleksuuringuteks.

Nendest seisukohtadest lähtudes sündis programm „Constellation“ (tähtkuju). Selle raames on kavandatud terve kosmoselaevade ja nende kanderaketide „tähtkuju“ loomine. Ehitatavate kosmoselaevade ja kanderaketide hulgas on mehitatud laev maaorbiidile ja Kuule lendudeks (orbitaallaev), kuulaev, orbitaallaeva kanderakett ja võimas kanderakett. Uue tehnika ehitamisel kavatakse suurel määral kasutada olemasolevat „Shuttle“ ning „Apollo“ materiaalosa ning kogemust.

Programm „Apollo“

Kahtlemata oli programmi „Constellation“ eelkäijaks „Apollo“ programm, mis käivitati 25. mail 1961. aastal president J.F. Kennedy ettepanekul vastuseks Nõukogude Liidu kosmonautika algusaastate kosmoselendude edule. Meenutame lühidalt, mida kujutas endast see programm.

Kuule lendamiseks töötati välja ja ehitati ülivõimas kolmeastmeline kanderakett, mille nimeks sai **Saturn V**. Selle abil oli võimalik ~160 km kõrgusele orbiidile viia kuni 130 tonni kasulikku koormat.



Joonis 1: „Saturn-Apollo“ kompleksi skeem.

1. Meeskonnamooduli päästesüsteem.
2. „Apollo“ meeskonnamoodul (Command Module).
3. „Apollo“ abimoodul (Service Module).
4. Kuumooduli tõusuaste.
5. Maandumisaste.
6. Raketi navigatsiooni- ja juhtimisseadmete sektsioon.
7. Kolmas aste **S-IVB**.
8. Kolmanda astme mootor **J-2**.
9. Teine aste **S-II**.
10. Viis **J-2** mootorit.
11. Esimene aste **S-1C**.
12. Viis **F-1** mootorit.

Kanderaketi stardimass oli ligikaudu kolm tuhat tonni (võrdluseks on „Shuttle“-i stardimass natuke üle 2200 tonni), kõrgus oli 110 meetrit („Shuttle“-i kõrgus on 60 meetrit). Viie **F-1** (iga mootori tõukejõud oli ~700 tonni) mootoriga esimene aste kasutas kütuseks petrooleumi ning vedelhapnikku. Teine aste oli varustatud viie **J-2** (iga mootori tõukejõud oli ~100 tonni) mootoriga ja kütuseks oli vedelhapnik ja -vesinik. Kolmandas astmes kasutati ühte **J-2** mootorit. **Saturn V** kanderaketiga paralleelselt konstrueeriti veel kaks kanderaketti, **Saturn I** ning **Saturn IB**, mida kasutati ka lendavate katseendidena. Kaheastmelise **Saturn I** abil katsetati „Apollo“ kosmoselaeva erinevaid elemente. Kaheastmeline **Saturn IB** (mille kasulik koormus madalal Maa orbiidil oli ~18 tonni) kujutas endast **Saturn I** esimest astet koos **Saturn V** kolmanda astmega. Seega, **Saturn IB** täitis korrakaht rolli: tema abil prooviti kuuraketi viimast astet ja seda kasutati ka „Apollo“ kosmoselaevade maaorbiidile viimiseks lennukatsete käigus. Pärast kuulendude lõppemist kasutati **Saturn IB** kanderaketti „Apollo“ kosmoselaevade viimiseks kosmosejaamale „Skylab“ ning ühislennuks „Sojuz“-ga rahvusvahelise projekti „Sojuz-Apollo“ raames.

Mehitatud kosmosesüsteem Kuule maandumiseks koosnes kahest laevast: orbitaallaevast ja kuulaevast. Orbitaallaev, mis täislastis kaalus ~30 tonni, koosnes silindrikujulisest abimoodulist (see kandis mootorit, kütusepaake, 4 kaupa plokkides juhtimismootoreid ja hulk teisi abisüsteeme) ning meeskonnamoodulist. Koonusekujuline meeskonnamoodul (massiga ~5,5 tonni) oligi koht, kus viibis meeskond Kuule- ja tagasilennu jooksul. See oli kogu süsteemi ainuke element, mis Maale tagasi pöördus. Selles moodulis asusid kolmeliikmelise meeskonna istmed, elutalitussüsteem, juhtsüsteemid ja muu aparatuur. Meeskonnamoodulil olid pökkumissõlm, mootorid atmosfääris manööverdamiseks, kuumakaitsekilp ning langevarjude süsteem. Kuulaev (mille mass oli esimestes ekspeditsioonides umbes 15 tonni, viimastes aga natuke üle 16 tonni) koosnes maandumisastmest ning tõusuastmest.

Maandumisastmel oli reguleeritava tõukejõuga mootor, kütusepaagid ning süsteemid laeva töö tagamiseks kuupinal. Selles paiknes ka teaduslike seadmete sektsioon, viimastel missioonidel sellele oli kinnitatud ka kokkupandav elektriauto. Maandumisastmel oli amortisaatoritega telik pehmeks maandumiseks. Meeskond asus tõusuastmes, kus asusid juhtimissüs-

teemid ja elutalituse tagamise süsteemid, see oli varustatud põkkumissõlmega ning luugi-
ga kuupinnale väljumiseks. Tõusuastmel olid mootor, paagid kütusega ja juhtimissüsteemi mootorid (4 plokki, igas plokkis 4 mootorit). Maalt startimisel oli kuulaev kinnitatud kanderaketi kolmanda astme ja orbitaalmoduli vahel olevasse adapterisse. Orbitaallaeva peale oli kinnitatud päästesüsteem, mis pidi päästma meeskonnamooduli koos astronau-
tidega raketi esimese astme avarii korral.

Tüüpiline kuuekspeditsiooni lennuplaan oli järgmine (**Apollo-11** ja **Apollo-12** puhul): startis kolme astronautiga Canaverali neeme (mille nimi oli siis Kennedy neem) kosmodroomilt. Esimene aste töötas 2,5 minutit, viies **Saturn V** ~65 km kõrgusele kiirusega 8600km/h. Teise astme 6 minutilise töö jooksul suurenes kiirus 24600 km/h ja kõrgus umbes 180 kilomeetrit. Teise astme töö alguses eraldati päästesüsteem. Seejärel hakkas tööle kolmas aste, mis aga kasutas vaid osa selles olevast kütusest. Kolmanda astme mootor lülitus välja, kui kogu süsteem jõudis 180 km kõrgusele ringorbiidile. Sellel vaheorbiidil tegi süsteem ligi kaks tiiru ümber Maa, mille jooksul kontrolliti kõikide süsteemide korrasolekut. Ettenähtud ajal käivitati kolmanda astme mootor teistkordselt, mis andis süsteemile Kuule lendamiseks vajaliku kiiruse. Varsti peale mootori väljalülitamist toimus süsteemi ümberasetumine: orbitaallaev eraldus kolmandast astmest, tegi 180-kraadilise pöörde ning põkkus kuulaevaga, mis senini oli kinnitatud kolmanda astme külge. Siis eraldus orbitaallaev koos kuulaevaga kolmandast astmest (alates **Apollo-13** ekspeditsioonist suunati kolmas aste Kuule seismoeksperimentideks, selle kukkumise energia oli võrratav 10-tonni trotüüli plahvatuslega), ning kuulaevaga ühendatud orbitaallaev jätkas iseseisvat lendu Kuu poole. Kuu tagaküljel olles vähendati süsteemi kiirust orbitaallaeva mootori abil, mille tagajärjel läks süsteem elliptilisele orbiidile 110×316 km. Pärast kahte tiiru ümber Kuu manööverdati süsteem madalamale (kõrgusega umbes 100×120 km orbiidile, mis muutus kuulaeva tagasituleku ajaks umbes 110 km ringorbiidiks (Kuu gravitatsioonivälja mõjul). Peale mõnda tiiru ümber Kuu, mille jooksul astronautid valmistusid maandumiseks eelnevalt valitud kohale (**Apollo-11** maandumiskoha valik toimus mehitamata sondide **Lunar Orbiter** ja eelnevate „Apollo“ lendude (**Apollo-8** ja **Apollo-10**)¹ poolt tehtud fotode alusel, iga järgneva lennuga täpsustati edasiste ekspeditsioonide maandumispäiku). Kaks meeskonnaliiget läksid kuulaeva, eraldusid orbitaallaevast ning pidurdasid laskumismootori abil, minnes 110×15 km kõrgusele orbiidile. Kui kuulaev oli jõudnud umbes 360 km kaugusele maandumiskohast, algas aktiivne laskumine maandumismootori abil. Maandumiseelset manööverdumist oli võimalik teostada nii automaatselt kui ka käsitsi. Tegelikult maandusid astronautid käsitsi igal ekspeditsioonil. Vähendades horisontaalkiiruse peaaegu nullini ja vertikaalkiiruse 1 meetri sekundis, kuulaev maandus. Astronautid väljusid üks (esimesel ekspeditsioonil) kuni kolm korda Kuu pinnale. Enne iga väljaminekut panid nad skafandrid selga ning lasksid õhu tervest laevast välja, kuna sellel puudus õhulüüs. Väljumised kuupinnale kestsid kuni 7,5 tundi (viimastes ekspeditsioonides), astronautid tegid Kuu pinnal uuringuid: seadsid üles aparatuuri, kogusid pinnaseproove, eemaldasid elektrisõidukil kuni 10-ne kilomeetri kaugusele laevast. Orbitaallaeva jäänud astronaut ootas kuuorbiidil oma kaaslaste naasmist. Kuu pinnal viibimine kestis kuni kolm ööpäeva. Peale töö lõppu Kuu pinnal valmistasid astronautid tõusuastme ette stardiks. Stardil eraldus tõusuaste maandumisastmelt, viimane mängis sellega stardiplatformi rolli. Tõusuaste suundus orbiidile, ligines orbitaallaevale ja põkkus sellega. Meeskond naasis orbitaallaeva, viies sinna pinnaseproovid ja fotomaterjalid. Siis suleti luuk ning orbitaallaevast eraldati oma

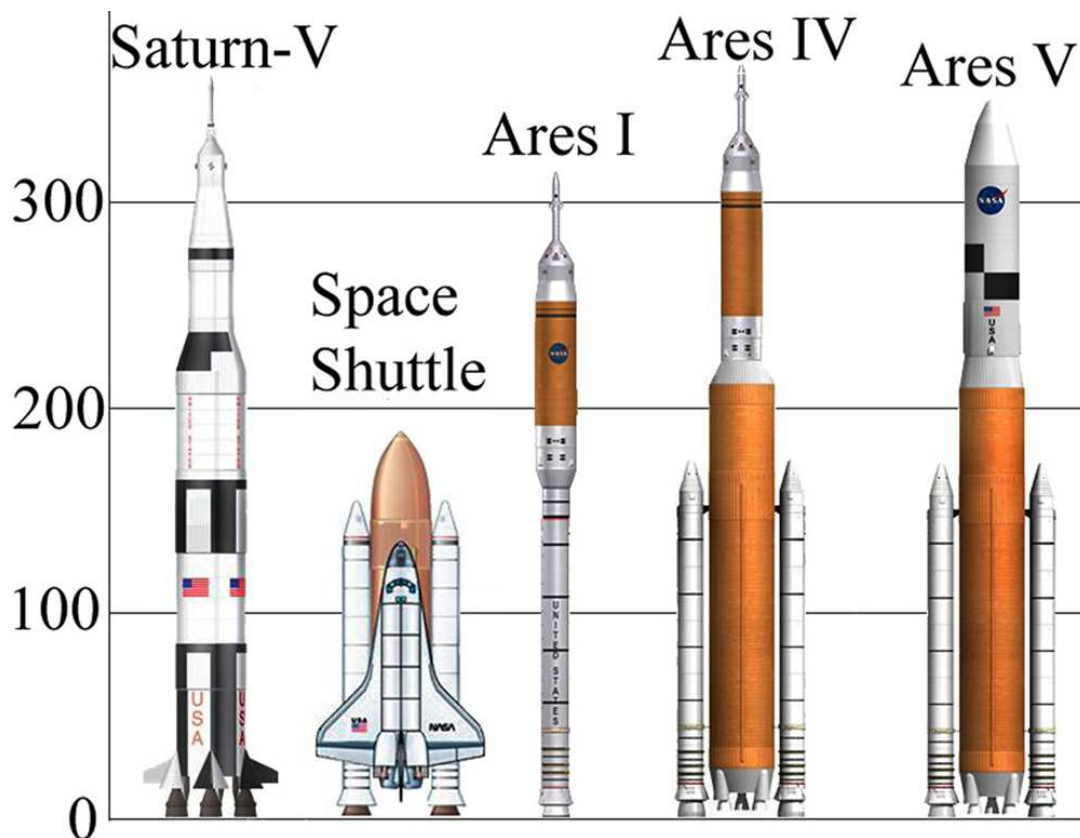
¹Need olid maandumiseta proovilendud Kuule, **Apollo-8** lendas kuulaevata, tehes 10 tiiru ümber Kuu, **Apollo-10** lendas kuulaevaga ja astronautid proovisid läbi peaaegu kõik reaalse ekspeditsiooni etapid, kaasaarvatud päästemeetodid. Juba mainitud kahe missiooni vahele jäi **Apollo-9** lend, kus maaorbiidil katsetati **Saturn V**-t, orbitaallaeva ja kuulaeva.

otstarbe täitnud tühi tõusuaste. Tühi tõusuaste kukutati tagasi Kuule, simuleerides nõnda „kuuvärinat“, mida registreeriti eelnevalt Kuule paigaldatud seismomeetriga. Seejärel käivitas orbitaallaev Kuu tagaküljel lennates peamootori ning võttis kursi Maale. Teel Maale korrigeeriti vajadusel traektoori, et orbitaallaev siseneks atmosfääri õigel kõrgusel ning õige nurgaga (122 km kõrgusel ja $6.2 \pm 1^\circ$ nurga all puutuja suhtes). Pisut aega enne atmosfääri sisenemist eraldati nüüd juba mittevajalik abimoodul. Meeskonnamoodul koos astronautidega pöördus kuumakaitsekiilbiga ettenähtud nurga all lennu suunas ning sisenes atmosfääri kiirusega üle 10 km/s, mis on lähedane teisele kosmilisele kiirusele. Toimus juhitav pidurdamine, et jõuda võimalikult lähedale eeldatud maandumiskohale ookeanis ning ka hoida ebasoovitavaid ülekoormusi ohutuse piires (vähem kui 7 g). Peale ligi teise kosmilise kiiruse mahapidurdamist atmosfääris käivitus langevarjude süsteem, mille abil toimus sujuv laskumine vette. Maandumine toimus Vaikses ookeanis, meeskonnamoodul maandus tavaliselt vaid mõnekümne kilomeetri kaugusel teda ootavatest päästelaevadest. Astronautid viidi laevale helikopteriga, hiljem toodi sinna ka meeskonnamoodul.

Uus aeg, uued eesmärgid

„Saturn-Apollo“ süsteemi konfiguratsioon oli täielikult määratud ülesandega: viia inimene Kuule ja tuua sealt tagasi (*Perform a manned lunar landing and return*). See ülesanne oli puhtalt välispoliitiline: oli vaja võimalikult kiiresti viia ameeriklased Kuule, edestades sellega NSV Liitu ning näidates sellega kogu maailmale, et USA kosmonautika (ja seega ka üldine tehniline võimsus) ei jää maha Nõukogude omast, vaid ületab seda, vaatamata asjaolule, et esimesed kosmosesaavutused kuulusid NSVL-le. Sellest ülesandest lähtudes kavandati kogu „Apollo“ programm. Kosmosetehnika projekteerimisel lähtusid konstruktorid ja insenerid mitte säästlikkusest või tehnilise perspektiivi kaalutlustest, vaid lihtsuse ning töökindluse nõuetest hoolimata maksumusest. Sellest tuleneb ühekordselt kasutatava skeemi valik (vähem starte), lihtsad ja kindlad lahendused mootorite konstrueerimisel. Ühelt poolt lihtsustas see kõik kosmosetehnika loomist ja katsetamist, teiselt poolt aga takistas selle kasutamist peale „Apollo“ programmi lõppu. See oligi üheks põhjuseks, miks programmi tarvis loodud kosmosetehnika osutus peaaegu kasutuks peale Kuu ekspeditsioone. Kanderakett **Saturn V** oli liiga suur igaks mõeldavaks tolleaegseks kasutuseks, „Apollo“ orbitaallaev oli liiga suur ja kallis tavalendudeks maalähedasel orbiidil. Kosmosesaam „Skylab“, mis oli ehitatud „Apollo“ programmist ülejäänud tehnika baasil (jaam oli valmistatud **Saturn V** kolmandast astmest ning **ATM** - *Apollo Telescope Mount* korpus, nn. „canister“ oli ehitatud kuulaeva maandumisastmest ja kuhu lennati järelejäänud „Apollo“ orbitaallaevadega), tõmbas joone alla sellele programmile, mille loomiseks oli kulutatud ligi 25 miljardit dollarit (tolleaegses vääringus).

Tagasipöördumine Kuule pole enam välispoliitiliselt vaid sisepoliitiliselt motiveeritud. Kuid ka tänapäeval tahab maksumaksja teada, mida ta saab pikaajalises perspektiivis. Igal juhul tuleb talle pakkuda midagi perspektiivset, sest 40-ne aasta taguste saavutuste lihtne kordamine vaevalt kellelegi huvi pakub. Sellest lähtudes kavandatakse uut Kuu uurimise programmi. Esiteks, orbitaallaev peab sobima mitte ainule Kuule lendamiseks, vaid erinevateks ülesanneteks kosmoses näiteks Maa orbiidile kosmosesaama ehitamiseks, veoste ja meeskonna transpordiks ning baasi ehitamiseks Kuule. See laev ei tohi olla liiga kallis, aga peab mahutama piisavalt suurt meeskonda. On soovitatav laeva osaline korduvkasutatavus. Kuule naasmise programm peab sisaldama pikaajalisi uuringuid ja kuubaasi ehitamist. Seega on vaja transpordivahendit ka kuubaasi varustamiseks. Peale selle on kavas kaugemas perspektiivis mehitatud ekspeditsioonid Marsile, ning konstrueeritav tehnika peab tulevikus olema osaliselt sobiv lennuks Marsile. Kogu projekt peab



Joonis 2: Vanad ja uued kanderaketid ühes mõõtkavas. Vertikaalteljel on pikkus antud jalgades (0.3048m). <http://en.wikipedia.org> materjalide alusel.

kasutama võimalikult ulatuslikult juba olemasolevat kosmosetehnikat ning -tehnoloogiat kulutuste vähendamiseks.

Vaatame, millist kosmosetehnikat projekteeritakse „Constellation“ programmi raames, ja kuidas see vastab ülaltoodud nõudmistele.

Uued ülesanded, uus tehnika

Lend Kuule nõuab palju kütust, seega on lennuks vajalik ülivõimas kanderakett. On võimalik hakkama saada ka mitme keskmise kandevõimega raketiga, aga see viib arvukatele pökkumistele süsteemi koostamisel kosmoses ja see vähendab kasuliku koormat ning kogu missiooni töökindlust. Tänapäeval USA-s kasutatavatest kanderakettidest kõige võimsam on 'Shuttle', mis viib maaorbiidile umbes 110 tonni kasulikku koormust (sealhulgas süstikise). Seega viitab nõue kasutada võimalikult palju juba olemasolevaid varusid loomulikult asjaolule, et tuleviku ülivõimast kanderaketti projekteeritakse „Shuttle“-i süsteemi baasil. Tulevase kanderaketi nimeks saab **Ares V**. Tänapäevase seisuga näeb selle konstruktsioon välja järgmiselt: See on kolmeastmeline kanderakett, mille esimese astme moodustavad kaks stardikiirendit. Stardikiirenditena kasutatakse modifitseeritud „Shuttle“-i tahkekütusekiirendeid **SRB**, kuhu praegusele neljale sektsioonile on lisatud viies sektsioon. Kuna kõik sektsioonid on standartiseeritud, siis ei suurene kiirendite hind märgatavalt. Ka praegu demonteeritakse pärast kasutamist „Shuttle“-i stardikiirendid ja iga sektsioon kontrollitakse üle enne taaskasutusse minekut. Mõõtmel ja massilt suurenenud kiirendid nõuavad langevarjsüsteemi uuendamist. Otsus nende stardikiirendite korduvkasutatavusest ei ole veel langetatud. Ei ole välistatud, et kiirendite korduvkasutusest loobutakse, kuid see

ei paista kuigi tõenäolisena.

Ares V teine aste konstrueeritakse „Shuttle“-i vedelhapnik ja -vesiniku paagi baasil. Esiialgu plaaniti teises astmes kasutada „Shuttle“-i **SSME** moderniseeritud mootoreid nende ühekordses variandis (süstiku **SSME**-d on korduvkasutatavad). Aga et isegi ühekordsete **SSME**-de kasutamisel hind tõuseb liiga kõrgeks, siis tehti järgmine loogiline samm: otsustati kallite **SSME**-de asemel asetada **RS-68** mootoreid, mis on praegu kasutusel **Delta IV** esimesel astmel. **RS-68** on kõige võimsam kasutusel olevatest vesinik-hapnik mootoritest, seda projekteeriti algusest peale lähtudes maksimaalse lihtsuse ning odavuse printsiibist. Selle lihtsuse ja odavuse eest maksti mootori omaduste (nimelt eriimpulsi) teatud halvenemise hinnaga. Seega on **RS-68 SSME**-st veidi vähem efektiivne kuid võimsam ning palju odavam, mis on eriti tähtis. **Ares V** teisele astmele monteeritakse neid mootoreid 5 tükki. Siirdumine **RS-68** mootoritele sundis veidi suurendama esimese astme läbimõõdu (8,7 meetrist 10 meetrini „Shuttle“-i vedelhapnik ja -vesiniku paagiga võrreldes).

Ares V kolmandat astet tuleb välja töötada nullist peale. Kütusena kasutatakse samuti vesinikku ja hapnikku, aga mootorit laenatakse... **Saturn V** raketilt. Täpsemalt öeldes, see on mootori **J-2** uuendatud versioon (mille nimetus on **J-2X**), see mootor oli **Saturn V** teisel ning kolmandal astmel. Esiialgu planeeriti **Ares V** kolmandas astmes kahte sellist mootorit. Aga võimsamate mootorite kasutamine raketi teises astmes lubab hakkama saada ühe **J-2X** mootoriga.

Erinevalt **Saturn V**-st, mis viis orbiidile nii kuu- kui ka orbitaallaeva ja lendas koos meeskonnaga, **Ares V** hakkab orbiidile viima ainult kuulaeva ja lendab mehitamata. Sellele vaatamata, saab **Ares V** ilmselt võimsamaks raketiks kui **Saturn V**.

Kanderaketi **Ares V** kõrgus on ligi 110 meetrit, nagu **Saturn V**, aga stardimass ületab 4000 tonni (**Saturn V** oli umbes 3000 tonni).

Orbitaallaeva orbiidile viimiseks on mõeldud palju väiksem kanderakett, mille nimeks saab **Ares I**. Nagu tema „vanem vend“, konstrueeritakse **Ares I** „Shuttle“-st pärandiks jäänud tehnika baasil. Selle kaheastmelise raketi esimene aste kujutab endast sedasama moderniseeritud „Shuttle“-i tahkekütusekiirendit, samuti viienda lisasektsiooniga, nagu **Ares V**. Teine aste on täiesti uus, ühe **J-2X** mootoriga, mille kütuseks on vesinik ja hapnik. Esiialgu planeeriti konstrueerida seda astet „Shuttle“-i vedelhapnik ja -vesiniku paagi tehnoloogia alusel ning **SSME** ühekordse versiooni mootoriga, aga hiljem loobuti sellest plaanist kergema astme kasuks odavamama mootoriga. **Ares I** saab viia madalale maaorbiidile umbes 25 tonni kasulikku koormat. Raketi esiossa monteeritakse orbitaallaev „Orion“ koos päästesüsteemiga.

Peale **Ares I** ja **Ares V**, on kaalutud ka vahepealse tõstejõuga raketi loomist. Selle nimeks saab **Ares IV**, ning see koosneks **Ares V** kahest esimesest astmest ja **Ares I** teisest astmest. See tagab umbes 40-tonnise koormuse saatmist Kuu poole. **Ares IV** saab kasutada „Orion“ orbitaallaeva otseseks saatmiseks Kuule, ning selle katsetamiseks atmosfääri sisenemisel teise kosmilise kiirusega.

Hästi unustatud vana

Kuule lendamiseks on vajalikud mehitatud kosmoselaevad, mis oleksid võimelised viima astronauate meie kaaslase pinnale ja tooma Maale tagasi. Missugusteks saavad „Apollo“ järglased?

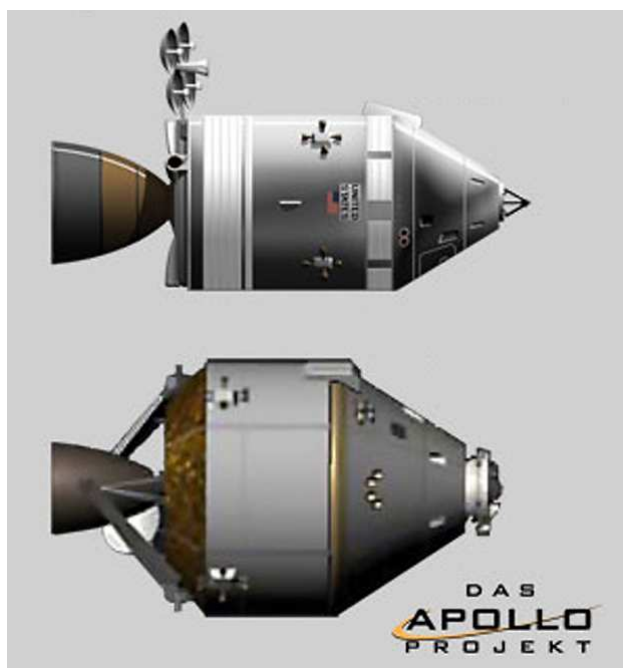
Õeldakse, et kõik uus on hästi unustatud vana. NASA administrator Michael Griffin kirjeldab „Orion“-i kui „steroide söönud Apollo’t“. Ilma naljata, uue orbitaallaeva nii väline kui ka konstruktsiooniline sarnasus on 40 aastat vana „Apollo“ laevaga ilmne.

Uus orbitaallaev, mille nimeks on „Orion“, koosneb samuti meeskonnamoodulist ning abimoodulist. Kui „Apollo“ meeskond koosnes kolmest inimestest, siis Orion peab mahutama 6-liikmelist meeskonda (Kuu ekspeditsioonides vähendatakse meeskonnaliikmete arvu neljani). Seetõttu ehitatakse meeskonnamoodul tunduvalt suurem. Samas mooduli konfiguratsioon jääb peaaegu muutusteta: see on vana tuntud koonus põkkamissõlme eesosas (selle taga asub erisektsioonis langevarjude süsteem, nii nagu „Apollo“-l) ning kuumakaitsekilbiga tagaosas. Mooduli välispinnal asuvad väikeste mootorite düüsid atmosfääris manööverdamiseks. Võrreldes „Apollo“ meeskonnamooduliga, on „Orioni“ meeskonnamooduli mass umbes poolteist korda suurem ning ületab 8 tonni, läbimõõt suureneb ~5 meetrini. Muudetakse ka meeskonnamoodulis olevat atmosfääri: puhta hapniku asemele tuleb hapniku-lämmastiku segu, nagu „Shuttle“-l.

„Orion“-i meeskonnamooduli tähtsamaks erinevuseks „Apollo“-ga on see, et nüüd saab moodulit osaliselt korduvkasutada: seda hakatakse kasutama mitmekordselt. Esialgu oli plaanis maanduda maismaale, nii nagu vene kosmoselaevad „Sojuz“ (kõik varasemad Ameerika kosmosekapslid maandusid vette, maandumine maismaale oli võimalik, kuid ainult erakorralisel juhul). Hiljem langetati otsus loobuda maismaale maandumisest, sest siis tuleb konstruktsioon lihtsam ja odavam. Seega sarnaneb „Orion“ veelgi oma eelkäijaga. „Orioni“ abimoodul tuleb „Apollo“ analoogilisest moodulist väiksem. Selle pikkus on umbes kaks korda väiksem, läbimõõt on aga veidi suurem. Abimoodulis asuvad kütusepaagid (nagu „Apollo“-l, kütusena kasutatakse hüd-rasiinil ja lämmastiktetraoksiidil põhinev segu, aga selle varu on kaks korda väiksem), mootor (**Delta II** kanderaketi teise astme mootori **AJ-10** baasil), neli juhtimissüsteemi mootorite plokki, ning muud abisüsteemid. Lisaks sellele, hakkab abimoodul kandma kahte päikesepatareipaneeli. Seega saab „Orion“ esimeseks ameerika mehitatud kosmoselaevaks, mis kasutab päikesepatareisid elektrienergia saamiseks, kõik varasemad ameerika kosmoselaevad said elektrienergia akudest ja vesinik-hapnik kütuseelementidest.

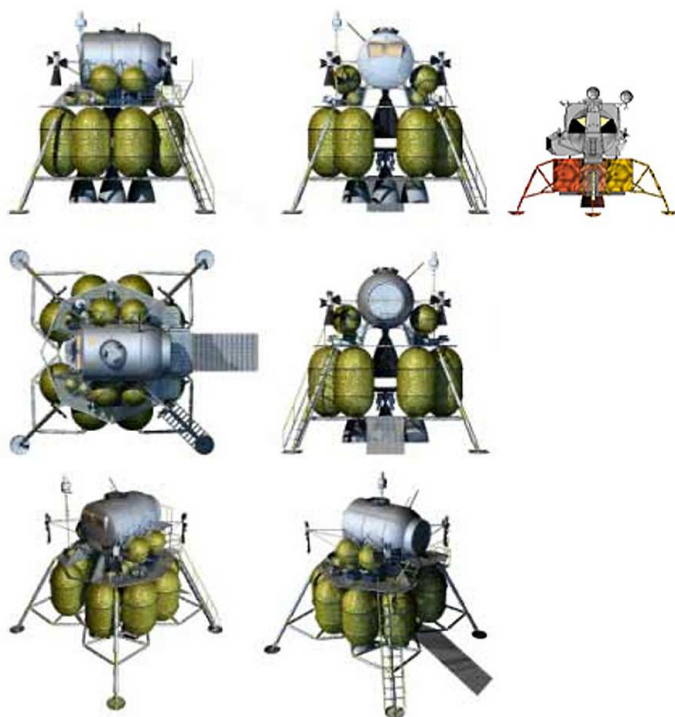
Seega tuleb „Orion“ mõõtmete poolest „Apollo“ orbitaallaevast suurem, aga massi poolest väiksem, ~20 tonni 30 tonni vastu. Massi vähenemine on saavutatud kütusepaakide mõõtmete ja kütusevaru vähendamise, mõõtmed aga suurenevad tänu meeskonnamooduli suurendamisele. See on kooskõlas kosmoselaeva uute ülesannetega: see sobib piisavalt suure meeskonna säästlikuks viimiseks maaorbiidile, kui missioon on seotud ainult kosmosejaama teenindamisega, kaob vajadus võtta orbiidile kaasa üleliigseid tühje paake. Kuid kütusevaru vähenemine teeb võimatuks orbitaal- ning kuulaevast koosneva kompleksi Kuu juures pidurdamise orbitaallaeva mootori abil, nagu see toimus „Apollo“ ekspeditsioonides. Nüüd see on kuulaeva mootorite ülesanne.

Vastavalt NASA poolt kavandatud uue programmi kontseptsiooniga, hakkab kuu-



Joonis 3: „Apollo“ orbitaalmodule (üleval) ja „Orion“ (all). <http://www.apolloprojekt.de> materjalide alusel.

laev koosnema maandumis- ja tõusastmest, kusjuures meeskond asub tõusastmes. Nagu „Apollo“ kuulaeva oma, on uus tõusuaste silindrilise kujuga, ülal asuva luugiga põkkumissõlmes ning külguksena Kuu pinnale väljumiseks. Uus tõusuaste tehakse vanast palju suurem, kuna meeskond hakkab koosnema neljast liikmest. Peale elutalituse süsteemi, asuvad siin juhtsüsteem, sidesüsteem ja teised seadmed. Välistel konsoolidel asuvad juhtsüsteemi mootorid. Eeldatakse, et erinevalt „Apollo“-st, ehitatakse uus aste õhulüüsiga. Vanas kuulaevas pidid astronautid selga panema skafandrid ja laskma kogu õhu astmest välja. Maandumisaste on mehitamata, nagu „Apollo“ kuulaeval, seal paiknevad mootorid, kütusepaagid, maandumistelik ja palju muid seadmeid.



Joonis 4: Programmi „Constellation“ kuulaev. Võrdluseks on paremal samas mõõtkavas „Apollo“ programmi kuulaev. <http://www.spaceref.com> ja <http://www.tallgeorge.com> materjalide alusel.

tide keskmine tihedus umbes kolm korda väiksem kui kõrge keemistemperatuuriga kütusel. Seepärast läheb vaja väga suuri kütusepaake. Meenutagem ka, et uues ekspeditsiooniskeemis peab kuulaeva maandumisaste pidurdama orbitaal- ja kuulaevast koosnevat kompleksi Kuu juures, et viia see kuuorbiidile („Apollo“ missioonides täitis seda ülesandet orbitaallaev). Kõik see tähendab, et uues kuulaevas on palju rohkem kütust, kui vanas, ja selle kütuse madala tiheduse tõttu kuulaeva paagid on palju suuremad. Nii maandumiskui ka tõusuaste on varustatud **RL-10** modifitseeritud mootoriga. Selle mootori erinevaid versioone kasutatakse kuuekümnendatest aastatest alates ameerika kanderaketide ülemistel astmetel (näiteks. **Centaur**-il). Maandumisastmel on neli **RL-10** mootorit, tõusastmel üks. Kuid uuritakse ka kõrge keemistemperatuuriga kütusega tõusastme variante, see lihtsustaks kütuse säilitamist Kuu pinnal viibimise ajal. See saab eriti tähtsaks siis, kui projekt siirdub üksikutest missioonidest kuubaasi ehitamise staadiumile. Baasi elanikel peab alati olema käepärast päästelaev, millega saaksid nad tõusta kuuorbiidile.

Tuleb mainida, et esialgu ei olnud plaanis kasutada vesinikku kuulaeva kütusena. Kavas oli konstrueerida täiesti uus mootor, mis tarvitaks veeldatud metaani ning vedelhap-

Uue kuulaeva suurim erinevus vanast laevast on kütuse valik. „Apollo“ kuulaeval kasutati kütuseks nn. kõrge keemistemperatuuriga isesüttivat kütuse segu, kus põlevaks aineks oli hüdrasiini derivaadid ja oksüdeerijaks lämmastiktetraoksiid. Uue kuulaeva kütuseks on vedelhapnik ja -vesinik, millel on palju kõrgemad energeetilised näitajad (eriimpulss) kõrge keemistemperatuuriga kütusega võrreldes. See oluline eelis toob kaasa ka probleeme: hüdrasiini derivaate ja lämmastiktetraoksiidi saab hoida nii kõrgel kui ka madalal temperatuuril, siis ei nõua nad keerulisi süsteeme temperatuuri säilitamiseks. Aga hapnik-vesinik kütust saab säilitada vaid väga madalal temperatuuril (alla -250°C vedelvesiniku korral) ja selletõttu on vajalik pidev termostateerimine. Lisaks on nende komponentide

nikku. Metaanil töötavatel raketimootoritel on eriimpulss on kõrgem kui kõrge keemistemperatuuriga kütusega mootoritel, isegi kõrgem kui petroolemil ja hapnikul töötavatel mootoritel kuid jääb madalamaks vesinik-hapnik mootoritega võrreldes. Vedel metaan nõuab termostateerimist, kuigi mitte nii madalal temperatuuril kui vedel vesinik, ja tema tihedus on samuti madal (see on vesinikkütuse omast veidi kõrgem aga ikkagi kaks korda madalam kui kõrge keemistemperatuuriga kütustel). Peamiseks argumendiks metaankütuse kasuks oli perspektiiv selle tootmiseks Marsil: kuna seal on peamiselt süsihapegaasist koosnev atmosfäär, siis keemiliselt saab atmosfääri gaasidest toota metaani. Kuulendude puhul see argument puudub ja nii loobuti metaanist vesiniku kasuks: võrreldatavate puuduste juures ületavad vesiniku energeetilised omadused suurel määral metaani omi.

Erinevalt vanast kuulaevast, saab uus laev lennata ka meeskonnata, ja see lubab konstrueerida mehitamata transportlaeva kuubaasi varustamiseks. 70-ndatel aastatel „Apollo“ programmi lõppemisel tehti ettepanek teha kuulaeva baasil veolaev, et jätkata kuubaasi ehitamise programmi. Kuid „Saturn-Apollo“ süsteemi iseärasuste tõttu tuli igal lennul Kuule saata ka mehitatud orbitaallaev ja see asjaolu oleks teinud kogu ettevõtmise äärmiselt kalliks. Nii need plaanid jäidki sinnapaika. Uus kuulaev võib raketil **Ares V** lennata ilma meeskonnata, seega saab võimalikuks ainult kauba transportimine.

Tuleb mainida, et kirjeldatud kuulaeva kontseptsioon ei ole ainuvõimalik. See pole veel kinnitatud NASA poolt ja konstrueerimise eest vastutav firma pole veel valitud, erinevalt orbitaallaevast „Orion“ (selle konstrueerimine ja ehitamine on tehtud ülesandeks firmale **Lockheed Martin Corp.**).

Tagasipöördumine Kuule

Kuidas siis hakkavad välja nägema uue tehnikaga lennud Kuule?

Nagu oli juba mainitud, „Apollo“ programmis kasutati nn. Kuu orbiidil kohtumise meetodit. Orbitaal- ja kuulaevast koosnev kompleks startis Maalt ühe kanderaketiga, suundus Kuule ja läks kuuorbiidile, kus kuulaev eraldus orbitaallaevast, maandus Kuule, startis Kuult, põkkus teda ootava orbitaallaevaga, ja viimane naasis Maale, jättes kuuorbiidile tühja kuulaeva. „Apollo“ programmi kavandamisel vaadeldi ka teisi meetodeid, nt. kuukompleksi kokkupanemist maaorbiidil, kus orbitaal- ja kuulaev startivad eraldi raketitel. Need meetodid lükati aga tagasi, sest need olid palju keerulisemad kui ühe kanderaketi kasutamine.

Tulevaste kuulendude skeem ühendab kuuorbiidil kohtumise meetodit maaorbiidil kohtumise meetodiga. Selle põhiline erinevus „Apollo“ programmist seisneb selles, et orbitaal- ja kuulaevast koosnevat kompleksi hakatakse kokku panema maaorbiidil, kusjuures iga laev stardib omaette raketil. Tüüpiline ekspeditsioon Kuule algab **Ares V** stardiga, ainsaks koormaks on kuulaev. Umbes 2 minutit peale stardi eraldatakse tühjad kiirended, mõne minuti pärast lõpetab oma töö esimene aste ja eraldub koos aerodünaamilise kattega. Teise astme mootor lülitakse sisse ja kuulaev asetub maaorbiidile, olles kasutanud ainult osa teise astme kütusest. Teine aste saab orbiidil viibida kuni 2 nädalat (esialgu planeeriti isegi kuni 90 päeva). „Orion“ orbitaallaev neljaliikmelise meeskonnaga pardal stardib juba järgmisel päeval **Ares I** kanderaketiga. Stardiaknad korduvad iga nelja päeva järel, nii et missiooni juhtidel on kuni kolm võimalust orbiidile saata **Ares I**, kuni **Ares V** teisest astmest ja kuulaevast ei aurustu liiga palju kütust.

Maaorbiidile viidud „Orion“ põkkub teda ootava kuulaevaga, ning **Ares V** teise astme mootor käivitatakse uuesti, saates kompleksi Kuu poole. Olles kompleksile andnud vajaliku kiiruse, **Ares V** teine aste eraldub, ning kokkuühendatud laevad jätkavad lendu Kuule. Kui kompleks satub Kuu gravitatsioonivälja ning lendab Kuu taga, peab ta

pidurdama, et jääda kuuorbiidile. Aga kuna orbitaallaeva kütusevaru ei jätku selleks manöövriks, siis kasutatakse pidurdamiseks kuulaeva mootoreid. Kuulaeva maandumistasme mootorid vähendavad kiirust ~ 1 km/s võrra. Peale vastavat ettevalmistust läheb kogu meeskond orbitaallaevast kuulaeva ning nad eraldavad kuulaeva, jättes orbitaallaeva kuuorbiidile mehitamata režiimis („Apollo“ ekspeditsioonidel läksid kuulaeva vaid kaks meeskonnaliiget kolmest, üks jäi orbitaallaeva). Maandumistasme mootorid viivad kuulaeva orbiidilt ja see maandub Kuule. Mõne päeva jooksul väljuvad astronautid Kuu pinnale ja tegelevad uurimistöödega.

Muuseas, maandumiskohad on ka eeldatavalt erinevad põhimõtteliselt 35 aasta tagustest. „Saturn-Apollo“ süsteemi võimsus oli piisav vaid selleks, et viia kuukompleks Kuu ekvaatori tasandi lähedasele orbiidile. Seetõttu toimusid laskumise ekvaatorilähedastes regioonides. See piirang ei olnud suure tähtsusega lühiajaliste ekspeditsioonide puhul. Kuid uute missioonide üheks ülesandeks on kuubaasi loomine, kuid sel juhul on sobiva koha valimine põhimõttelise tähtsusega. Ekvaatorilähedastes regioonides kahe nädala pikkune päev pinnatemperatuuridega üle 120°C vaheldub sama pika ööga temperatuuridega alla -120°C . Pooluse ümbruses päikesekiirte langemismurk on palju väiksem, ning päevased temperatuurid võivad olla palju mõõdukamad. Pooluste lähedal võivad olla kõrgustikud, kus päike ei looju mitte kunagi, ning temperatuur ei lange liiga madalaks. Sealgi asuvad kraatrid, mille põhi on päikese eest alati varjatud valliga ja kus temperatuur on alati madal. Eeldatakse, et mõnede selliste kraatrite põhjas võib olla jäätunud vett. Seda jääd võiks kasutada nii baasi vajadusteks kui ka, perspektiivis, vesinik-hapnik raketikütuse tootmiseks. Optimistlikul juhul võib ette kujutada baasi niisuguse kraatri vallil. Siis baas on alati valgustatud päikesega poolt ja kasutab jääd kraatri põhjas. See sobivad kuubaasi jaoks pooluselähedased regioonid kõige paremini. Uue kuusüsteemi võimsus on piisav selleks, et saata kompleks Kuu polaarorbiidile ning tagada kuulaevade maandumised pooluste lähedal.

Maale tagasipöördumine toimub samuti kui „Apollo“ ekspeditsioonidel. Tõusuaste stardib, kasutades maandumistaset stardiplatsina. Kuule jäänud maandumistaset võib hiljem kasutada Kuubaasi konstruktsiooni osana. Kuuorbiidil läheneb tõusuaste orbitaallaevale ja põkkub sellega, astronautid lähevad orbitaallaeva ning eraldavad mittevajaliku tõusuastme. Varsti stardivad nad Maa poole, kasutades selleks orbitaallaeva mootorit. Maale lähenemisel orbitaallaevast eraldatakse abimoodul, mis põleb atmosfääris ära, aga meeskonnamoodul siseneb atmosfääri teise kosmilise kiiruse lähedase kiirusega, pidurdub atmosfääris ning laskub juhitud. Trajektoori lõpposas kasutatakse langevarjude süsteemi, mille abil toimub pehme maandumine veepinnale (või vajaduse korral maismaale).

Mis saab edasi?

Loomulikult, kirjeldatud stsenaarium on vaid osa ambitsioonikast programmist, mis eeldab mitte ainult piiratud ühekordseid „rännakuid“ meie loodusliku kaaslase pinnale, vaid selle sihipärasest uurimist: baasi ehitamist pooluselähedastes regioonides, kus igavesti Päikese eest varjatud kraatrite põhjas võib olla jääd, teenindava aparatuuri asetamine jne. Lähemas perspektiivis on ette nähtud Rahvusvahelise kosmosejaama (**ISS**) teenindamine, kaugemas perspektiivis aga mehitatud lennud Marsile kosmosetehnika abil, mis põhineb „Constellation“ programmi raames konstrueeritavatel kanderaketidel ja kosmoselaevadel. Aga kõik see on tulevik, täna on need projektid vaid paberil. Pole välistatud isegi see võimalus, et Kuule tagasipöördumine ei toimugi, juhul kui projekt ei saa piisavat rahalist toetust. Kuid selle projekti teoks saamise šansid tunduvad piisavalt suured, nii et me võime vaid oodata: veidi rohkem kui 10 aasta pärast astuvad Kuule jälle inimesed.