

37. Országos Tudományos Diákköri Konferencia
Had- és Rendészettudományi Szekció
Budapest, 2025. április 22-24.
Nemzeti Közsolgálati Egyetem
Hadtudományi és Honvédtisztképző Kar

Atmoszférikus rakéta indítás biztonsági követelményei és azok betartásának kihívásai

Jelige: *Magasra törekvő fejlesztések*

Pályamunka lezárásának időpontja: 2023.11.

2024.

Köszönetnyilvánítás

Ezúton szeretnénk köszönetet mondani témavezetőnknek, dr. Szűcs Endre adjunktus úrnak a hasznos ötleteiért és tanácsaiért, amivel nagyban hozzájárult ennek a tudományos diákköri dolgozatnak az elkészüléséhez.

Tartalomjegyzék

Bevezetés.....	1
Hobbirakéta történet	4
Hobbirakéta típusok	6
BME Suborbitals csapatfelmérés	10
CanSat követelmények	12
Biztonsági procedúrák kihívásai.....	16
Az Abort lista ismertetése megjegyzésekkel	20
Potenciális fejlődési lehetőségek és lezárás	35
Irodalomjegyzék.....	39
Ábrajegyzék.....	39

Bevezetés

A modern rakéták lenyűgöző megnyilvánulásai az emberi találékonyságnak, amelyek gyökerei a múlt tudományában és technológiájában gyökereznek. Ezek a rakéták a rakétahajtás kutatásának és kísérletek százainak természetes eredményei.

Az első eszközök egyike, amely sikeresen alkalmazta a rakétarepüléshez nélkülözhetetlen elveket, egy fából készült madármakett volt. A római Aulus Gellius írásai mesélnek egy görög nevű emberről, Archytasról, aki Tarentum városában élt, ami ma dél-Olaszország része. Valamikor i. e. 400 körül Archytas lenyűgözte és szórakoztatta a Tarentum polgárait egy fából készült galambbal. A gőz által hajtott madarat drótokon függesztették fel. A galamb az akcióreakció elvet használta, amit tudományos törvényként csak a 17. században fogalmaztak meg és melyet ma Sir Isaac Newton harmadik törvényeként ismerünk.[3]

A galamb után mintegy háromszáz évvel egy másik görög, Alexandriai Hérón, feltalált egy hasonló rakétát utánzó eszközt, amit Aeolipilenek neveztek. Ez is gőzt használt hajtóanyagként.

Hérón egy gömböt szerelt egy vízkazán tetejére. A kazán alatt lévő tűz a vizet gőzzé alakította, és a gázcsöveken keresztül jutott el a gömbbe. A gömb két L alakú csövet tartalmazott az ellentétes oldalakon, amelyeken keresztül a gáz távozott, és ezzel egyidejűleg tolóerőt adott a gömbnek, ami forgásba hozta azt.



[1.kép] Hérón gömbje

A mai napig nem tudjuk, hogy mikor jelentek meg az első mai szempontok szerint is rakétának nevezhető tárgyak. Azonban vannak teóriák. Az I. században kínaiak állítólag egyszerű puskaporral rendelkeztek, amit salétrom, kén és szénpor keverékéből készítettek. Vallási ünnepeken bambuszcsövek segítségével petárdaszerű játékokat készítettek, amiket tűzbe dobtak és várták a hangos durranást. Talán néhány ilyen cső nem robbant fel, hanem az égéskor keletkezett gázok a bambusz egyik oldalán szöktek el, mely látványosan kivetette a csövet a tűzből. A kínaiak végül elkezdtek kísérletezni a puskaporral teli csövekkel. Egy ponton hozzátették a bambuszcsöveket nyilakhoz, majd íjak segítségével indították el őket. Hamarosan rájöttek, hogy ezek a „szerszámok” képesek magukat elindítani csak a gázok kiszabadulása által létrehozott erővel.[1]

Ezt a kezdetleges fegyvert először a 13. században használták a kínai-mongol háborúban, mely során a kínai győzelemhez nagyban hozzájárulhatott, hogy a mongolok féltek a „hangosan robbanó, nyílszerű fegyvertől”, ami nem volt más, mint egy kezdetleges rakéta, melyet feketelőpor hajtott. Habár a pusztító erejük és pontosságuk erősen megkérdőjelezhető, pszichológiai hatásuk minden bizonnyal hatásos volt a nomád életmódot folytató ellenséggel szemben.

A szóban forgó csatát követően a mongolok saját rakétákat készítettek, és lehet, hogy ők voltak felelősek a rakéták elterjedéséért Európában. Az 13. és 15. század között számos kísérletről maradt fent írásos emlék. Angliában egy szerzetes, Roger Bacon újra dolgozta a puskaapor összetevőinek arányát, ami nagyban növelte a később épített rakéták hatásosságát.

A 16. századra a rakéták háborús fegyverként már nem használták, bár még mindig alkalmazták tűzijáték bemutatókra. Egy német tűzijátékkészítő, Johann Schmidlap, kifejlesztett egy többlépcsős rakétát, amely a tűzijátékokat nagyobb magasságokba emelte. Schmidlap ötlete az alapja minden mai rakétának is, mely hatására később elérhetővé vált az űr az emberiségnek.[1]

A 17. század második felében a modern rakétatechnika tudományos alapjait az angol fizikus, Sir Isaac Newton (1642-1727) rakta le. Newton három tudományos törvénybe foglalta ezeket, melyek magyarázzák, hogyan működnek a rakéták, és miért képesek működni az űr vákuumában. Newton törvényei hamarosan gyakorlati hatást gyakoroltak a rakéták tervezésére.

Az 18. század végén és a 19. század elején a rakéták rövid ideig visszatértek háborús fegyverként. 1792-ben a különleges szerkezet felkeltette egy brit lövészeti szakértő, William Congreve ezredes érdeklődését. Fejlesztéseinek hála a brit hadsereg képes volt rakétákkal megszórni Napóleon seregeit a Féliszigeti Háborúk (1807-1814) során.[2]



[2.kép] Congreve rakéta

1898-ban az orosz Konstantin Tsiolkovsky (1857-1935) javasolta a rakéták segítségével végzett űrkutatást. Egy 1903-ban közzétett jelentésében Tsiolkovsky azt javasolta, hogy rakétákhoz folyékony hajtóanyagokat használjanak a nagyobb távolságok elérésének érdekében. Tsiolkovsky azt állította, hogy a rakéta sebessége és hatótávolsága csak az elszabaduló gázok kibocsátási sebességétől függ. Az ötletei, alapos kutatása és nagy víziója miatt Tsiolkovsky-t a modern rakéta atyjának nevezik.[2]

A 20. század elején egy amerikai, Robert H. Goddard (1882-1945), gyakorlati kísérleteket folytatott a rakétatechnikában.

Goddard legelső kísérletei szilárd hajtóanyagú rakétákkal voltak. 1915-ben kezdett különböző típusú szilárd tüzelőanyagokat kipróbálni és mérni az égő gázok kibocsátási sebességét. Miközben a szilárd hajtóanyagú rakétákon dolgozott, Goddard meggyőződött arról, hogy egy rakétát folyékony üzemanyaggal lehet hatékonyabban hajtani.

Senki sem volt korábban képes sikeresen folyékony hajtóanyagú rakétát építeni. Ez a feladat jóval bonyolultabb volt, mint a szilárd hajtóanyagú rakéták létrehozása. Ehhez üzemanyag- és

oxigéntartályok, turbina és égéstér kellett. Annak ellenére, hogy számos nehézséggel szembesült, Goddardnak 1926. március 16-án sikerült az első sikeres folyékony hajtóanyagú rakéta repülése. A rakéta folyékony oxigén és benzin segítségével 2,5 másodpercig emelkedett, 12,5 métert, majd 56 méterre landolt egy káposztaföldön. Bár a mai mérőszámok alapján a repülés nem tűnt lenyűgözőnek, de hasonlóan a Wright testvérek által 1903-ban végrehajtott első motoros repüléshez, Goddard benzin hajtóanyagú rakétája is új korszakot nyitott a rakétarepülés területén.

Ahogy korábbi munkáink során is kitértünk rá, a rakétatudomány messze nem Robert Goddard munkásságával érte el a csúcspontját. Azonban ennek a cikknek a témája a hobbirakéták és „nagyközönség” számára is elérhető, törvényesen beszerezhető alkatrészekon alapuló rakéták története és kezelésének biztonsági tényezői. A modern rakétatudomány napjainkban is hatalmas átalakuláson megy át. Ebből kifolyólag a hobbisták nehezen, vagy egyáltalán nem képes követni a legújabb fejlesztéseket, így mi is megpróbálunk történelmi szempontból megállni annál a pontnál, ahol a legtöbb hobbirakéta tart napjainkban. Míg egy modern rakéta célja legtöbbször feljuttatni saját hasznos terhét vagy legénységét az űrbe, egy hobbirakétának ennél jóval szerényebb, ám a rendelkezésre álló erőforrások tekintetében nem könnyebb célja szokott lenni.

Hobbirakéta történet

Az 1950-es években sok fiatal érdeklődött az űrutazás lehetőségei iránt, és sokan saját rakétát és üzemanyagot kezdtek építeni, mindenféle előképzés nélkül. Sokan sérüléseket vagy maradandó károkat szereztek ezekben a kísérletekben, és néhányan életüket is veszítették. A katonaság szerette volna ezeket a fiatal tehetségeket kiaknázni, azonban korlátozott sikereket értek el néhányuk valamilyen képzési programba terelésében. A népszerű Októberi égbolt című film egy viszonylag sikeres modellező karriert mutatott be. A film valós történeten alapul, Homer Hickamról szól, aki fiatal korában foglalkozott ilyen rakétákkal, majd később sikeres pályát futott be a NASA mérnökeként.[10]



[3. kép] Fiatal hobbirakétások az ötvenes évekből

A modellező rakétázás, ahogyan mi értjük az USA-ban, 1954-ben kezdődött, amikor Orville Carlisle, egy pirotechnika hobbista, kifejlesztett egy papírból és balsafából készült kis rakétát, amelyben egy egyszerhasználatos hajtóművet használt, ami újító jellegű késleltetéssel és egy ejtőernyő kilövésére alkalmas töltettel rendelkezett, hogy a rakéta biztonságosan visszatérhessen a felszínre és újra használható legyen. A következő néhány évben küzdött azzal, hogy módót találjon a rakéta piacra dobására.

1957-ben Carlisle elolvasta egy *Mechanix Illustrated* című magazinban megjelent cikket, amit G. Harry Stine, a New Mexico-i White Sands Missile Range civil biztonsági tisztje írt. Stine aggodalmát fejezte ki a rakétakísérletezők sérüléseivel és halálaival kapcsolatban. Arra ösztönözte őket, hogy használják azokat a biztonsági előírásokat, amelyeket a profi rakétások alkalmaznak.

Carlisle egy levélben leírta Stine-nek a rakétája rendszerét, és küldött neki néhány prototípust. Stine meglepődött, hogy a rakéták milyen jól és megbízhatóan működtek. Hamarosan közösen kezdtek üzletet építeni, és létrehoztak a *Model Missiles* nevű céget, amelyen keresztül kereskedelmi forgalomban kínálták az első modellező rakéta készletet és egyszer használatos hajtóműveket.

A Model Missiles nem tudott elég hajtóművet gyártani az igények kielégítéséhez, és kapcsolatba lépett egy fiatal mérnökkel és alkatrészgyártóval, Vern Estes-szel, aki tervezett egy gyártósort, amely megbízhatóan és gyorsan gyárt hajtóműveket. Rájött, hogy sokkal több hajtóművet tud előállítani, mint amennyire a Model Missilesnek szüksége volt, így saját vállalkozást indított, és megalapította az Estes Industries nevű céget, amely ma is a világ legnagyobb modellező rakéta cége.

Eközben G. Harry Stine megalapította a National Association of Rocketry-t (Rakétások Országos Szövetsége) annak érdekében, hogy támogassa az új hobbit, elősegítse a klubok létrehozását és egy egységes jogi keretrendszer hozzon létre az országban, amely lehetővé teszi bárki számára, hogy modell rakétákat indítson, még azokban az államokban is, ahol szigorú tűzijáték törvények vannak.

Mégis, a hobbi első húsz évében a rakéták tolóerejét és méretét törvények korlátozták, mindössze egy font tömegre és néhány font tolóerőre. Azonban találékony hobbisták találtak kiskapukat, amelyeken keresztül lehetővé vált a sokkal nagyobb rakéták gyártása és használata, amelyek továbbra is a kisebb rakéták tervezési elveit alkalmazták. Mivel a NAR óvatoss volt az új rakéták engedélyezésével kapcsolatban, egy másik szervezet, a Tripoli Rocketry Association (TRA), eredetileg egy középiskolai modellező rakéta és tudományos szakkörként működött, az 1980-as évek közepén alkalmazkodott ehhez az új verzióhoz a hobbiból.[10]

A 1990-es években a TRA és a NAR együttműködtek annak érdekében, hogy kiterjesszék az már meglévő Modellező Rakétázási jogi kereteket az új High Power rakéta hobbira, és gyakran hivatkoznak a hobbira Sport Rakétázás néven.

A SoAR-nál az összes rakétát a NAR és a Tripoli Rocketry Association (TRA) biztonsági szabályzatai alapján indítják. Ezek az irányelvek lehetővé tették az 1950-es évek óta több mint félmilliárd biztonságos modell rakétaindítást a hobbisták részéről.

Hobbirakéta típusok

A hobbirakéták motorjait többféleképpen csoportosítjuk. Lehet ez a felhasznált hajtóanyag, tolóerő, vagy akár újrahasználhatóság alapján. A hajtóanyagok szerint két dőbb típus van, azok, amelyek feketelőport használnak és azok, amelyek kompozit hajtóanyagot. A fekete lőpor alapú mindössze három alapanyagból tevődik össze, mégpedig faszénből (C), kénből (S) és salétromsóból (KNO_3). Ezen üzemanyag az egozikusabbakhoz képest nem rendelkezik olyan

sok energia/tömeg aránnyal. Előnye viszont, hogy a keverék egyszerűsége miatt könnyen és konzisztensen gyűjthető, egyszerű fokozatokat alkalmazni, hiszen nem kell közvetlen nyílt láng a begyűjtáshoz, elég a magas környezeti hőfok. Hátránya viszont, hogy a környezeti hatásokra igen érzékeny. A nedvességet nem tűri, ahogy érintkezik vele rögtön használhatatlan lesz, illetve a szállíthatósága is veszélyekkel jár nagy mennyiségben, mert ütés hatására sérülhet. Annak a hajtóanyagnak a használata, amelyik komoly fizikai behatást szenvedett el, igen kockázatos, mivel a tömörített por meglazulhat és ennek a következménye a gyorsabb égés lehet, amely viszont robbanással járhat. Van olyan lőpor alapú hajtóanyag, amely jobban ellenáll a hatásoknak és nagyobb égési sebességgel bír. Ez az üzemanyag az úgy nevezett rocket candy, azaz "rakéta cukorka". Nevét onnan kapta, hogy a gyártási folyamat során a kikevert lőport cukorral vegyítve közösen felhevítve egy karamellára igencsak hasonlító masszát kapunk. Újabb kísérletek során bebizonyosodott, hogy ha némi vasoxidot (Fe_2O_3) keverünk hozzá melegítéskor, jótékony hatással van az égési sebességre, mert a vasoxidban lévő oxigén oxidáló hatással bír, és ezzel létrejön a következő kategóriába tartozó hajtóanyag, a kompozit.[4]

A kompozit hajtóanyag egy viszonylag tág fogalom, de ami közös az összes ilyenben, hogy alapvetően éghető anyagból és oxidáló anyagból áll. Amikor ezek összekeverésre kerülnek és reakcióba lépnek egymással, megszilárdulnak a kétkomponensű epoxi gyantához hasonlóan. Előnye, hogy a korábban említettekhez képest, jóval több energiát tárol, a lőpornak közel kétszeresét. Rugalmas, gumyszerű, ennek az a következménye, hogy ütés hatására jóval kisebb az esély, hogy széteszen ezzel befolyásolva az égés minőségét. A kompozit alapú motor hátránya egyrészt a költségek terén mutatkozik, másrészt pedig az indításnál. Igaz, hogy biztonságosabb, hiszen a hőhatás önmagában nem elégséges a gyűjtáshoz, szűrőláng szükséges. Viszont ennél a hajtóanyagnál jóval nehezebb fokozatokat alkalmazni, mert nem lehet közvetlenül, azaz az első fokozat hőjének a hatására elindítani a másodikat. Szintén nehezebb több kompozitos motort szimultán alkalmazni, mivel ha nincs tökéletes szinkronban a gyújtás, az nem megfelelő tolóerő egyensúlyt eredményez, ami pedig rossz repüléshez vagy akár balesethez vezethet. A legelterjedtebb kompozit hajtóanyag az APCP, amelynek a fő összetevője az ammónium-perklorát (NH_4ClO_4). Ahhoz, hogy egy tömbbé szilárduljon, hozzáadnak elasztomer anyagot, tipikusan HTPB-t (terminált hidroxil-polibutadién) vagy PBAN-t (Akrilnitril-butadién polimer), majd alumíniumot és égés katalizáló anyagot. Ezt a szilárd üzemanyagot használják a high power modell rakétáktól kezdve egészen a NASA-ig, ahol az űrsiklók gyorsítórakétáinál és a marsi roverek retro rakétáinál is

alkalmazásra került. Atmoszférikus rakétáknál használnak még a korábban említett “rocket candy” üzemanyag egy módosított változatát, melynek három összetevője van: salétromsó (KNO_3), szorbit ($\text{C}_6\text{H}_{14}\text{O}_6$) és alumínium (Al). A különböző változatokban a kálium-nitrát 55-67,5%, a szorbit 30-40% és az alumínium 2,5-5%-át teszi ki a keveréknek.[8]

A rakéták motorjainak típusait három csoportba soroljuk újra felhasználhatóság alapján. A közepes és nagy tolóerejű rakétáknál már szinte kizárólag többször felhasználható motorkat használnak. Az első, és legegyszerűbb típus az egyszerhasználatos. Ezeket a motorokat a gyártók egy darabban adják el, így nem lehet elrontani összeszerelésnél. Használható lőporos és kompozit üzemanyaggal egyaránt. A késleltetés előre meghatározott és nem állítható. Gazdaságilag jobban megéri rövidtávon, mivel nincs szükség olyan borításra, amelybe be lehetne építeni. Hosszú távon azonban, átlagosan három indítás felett jobban megéri újratölthetőben gondolkodni. A második típusa a tölthető egyszerhasználatos, amely annyit tesz, hogy a gyártó úgy küldi, hogy a hajtóanyag olyan darabokban legyen szállítható, hogy az ne tartozzon veszélyes anyag kategóriába szállításkor. Mindenben megegyezik az egyszerhasználatossal azzal a különbséggel, hogy indítás előtt összeszerelés szükséges. A harmadik, egyben legsokoldalúbb típus az újrafelhasználható. Ezeket a motorokat a legköltséghatékonyabb üzemeltetni. Kötelező tartozéka az olyan burkolat, amelybe beépíthető a hajtómű és a hozzá tartozó üzemanyag. Pontosan állítható a késleltetés és a gyújtási idő ezzel segítve elő, hogy használható legyen több fokozatnál. Ez a típus többféle hajtóanyaggal is működik. Többször felmerült a késleltetés fogalma. Ez annyit tesz, hogy ahhoz képest, hogy a rakéta felhasználta az összes üzemanyagát mennyi ideig tart a lángnak elérni és meggyújtani azt a töltetet, amely az ejtőernyőt hivatott bontani.[7]

Az utolsó osztályozási lehetőség a hobbirakéták tolóerő alapján történő megkülönböztetése. Rendkívül fontos a rakétamodell-tervezés és repülés során. A tolóerő alapján történő osztályozás lehetővé teszi a hobbirakéták szétválasztását méret, teljesítmény és alkalmazás szerint.



[4. kép] Hobbirakéta típusok

Biztonsági szempontból is lényeges, hiszen a kategóriákba sorolás segít megakadályozni a túl erős hajtóművek használatát olyan rakétákon, amelyek nem képesek biztonságosan kezelni a nagy tolóerőt. Ez csökkenti a balesetek kockázatát. Számos országban és államokban szabályozzák a hobbirakéták használatát, és az osztályozás lehetővé teszi a hatóságoknak a rakéták szigorúbb ellenőrzését és engedélyezését azok számára, akik magasabb tolóerőt használnának a repülés során. Az osztályok lehetővé teszik továbbá a hobbirakéta versenyek szervezését, ahol azonos teljesítményű rakéták versenyeznek egymással. Ezen besorolások lehetőséget nyújtanak a kreativitásra a hobbirakéta-tervezés során, mivel a tervezőknek lehetőségük van különböző méretű és teljesítményű hajtóművek kipróbálására. Az osztályozás általában a rakéták tolóerője alapján történik, és a hajtóművek teljesítményének mérése adja a

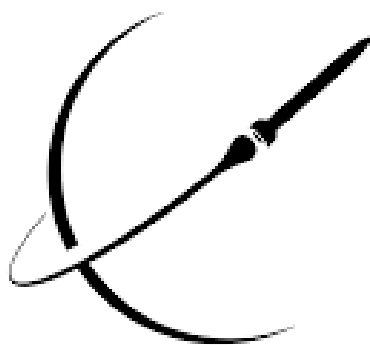
kulcsot az osztályba soroláshoz. Ezt specifikus impulzusban mérjük, melynek a jele I_{sp} , mértékegysége pedig a $N \cdot s$. A specifikus impulzus fizikai tartalma az az, hogy egy kémiai hajtómű milyen hatékonyan képes erőt kifejteni a másodpercenkénti elfogyasztott üzemanyag függvényében. Magas I_{sp} értékű hajtóművek hatékonyabban használják a rakéta üzemanyagát, így hosszabb repülési időt és magasabb magasságot tesznek lehetővé. Az osztályok[9]:

1. Osztály (1/2A, A, B): Ezek a rakéták általában kisebb tolóerőt használnak, és gyakran kezdők számára ajánlottak. Ezek a rakéták könnyen kezelhetők és jó választás az első tapasztalatok számára. Az I_{sp} tartománya $0,313-5 N \cdot s$. Ezen rakéták motorjának az átmérője 18-20 mm közötti tartományban mozog.
2. Osztály (C, D, E): Ezek a hobbirakéták már nagyobb tolóerővel rendelkeznek, és a magasabb teljesítményű hajtóművek használatával repülnek. Az 2. osztályú rakéták alkalmasak középfaladó és tapasztalt hobbirakéta-modell-tervezők számára. Az I_{sp} tartománya $5,01-40 N \cdot s$. Ezen rakéták motorjának az átmérője 20-25 mm közötti tartományban mozog.
3. Osztály (F, G, H): A 3. osztályú rakéták már nagyobb méretűek és tolóerősek. Ezek a rakéták kihívást jelenthetnek a tervezők és a pilóták számára, és rendszerint nagyobb területeken repülnek. Az I_{sp} tartománya $40.01-320 N \cdot s$. Ezen rakéták motorjának az átmérője 25-29 mm közötti tartományban mozog.
4. Osztály (I - S): A 4. osztályba tartozó rakéták a legnagyobb tolóerővel rendelkeznek, és gyakran speciális engedélyekre és területekre van szükség az indításukhoz. Ezek a rakéták a legprofibbak, és rendszerint komoly kihívást jelentenek a tervezők és a pilóták számára. Az I_{sp} tartománya $320,1-655\ 360 N \cdot s$. Ezen rakéták motorjának az átmérője 29 mm vagy nagyobb, egészen 280 mm-ig.

BME Suborbitals csapatfelmérés

A BME Suborbitals a Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem hobbi és modell rakétatervezéssel, építéssel és indítással foglalkozó versenycsapata. 2021-es alakulását követően a csapat számos európai versenyen indult és ért el eredményeket. A nagyjából 50 fős csapat legnagyobb eredményei közé sorolható a 2022. októberében elnyert ötödik hely a "European Rocketry Challenge"-n, portugáliában, valamint a 2023-as CanSat verseny megszervezése. (Utóbbit részletezzük a későbbiekben).

Cikkünk szempontjából fontos kitérni a versenycsapat belső felépítésére, mely dolgozat megírásának idejében 4 munkacsoportra volt tagolható. Project Athena, mely a CanSat Hungary műhold szimulációs verseny modelljeit volt hivatott célmagasságba (1,5 kilométer) juttatni. A második a Prometheus Project, ami a soron következő European Rocketry Challenge (EuRoC) verseny rakétáit tervezi és gyártja, valamint a Project Kratos, ami hajtómű tervezéssel és építéssel foglalkozik. A negyedik az Operatív munkacsoport, ami a szervezet működéséért felel. A csoport tagjai pénzügyi, biztonsági, szervezési és logisztikai feladatokat látnak el.[5]



BME S U B O R B I T A L S

[5. kép] BME Suborbitals csapatlogója

A rakétafejlesztő projektek tagjait további öt különálló, de összehangolt munkacsoportra osztja a versenycsapat, mindegyikük különböző, de egyenként elengedhetetlen feladatokért felel. Az első munkacsoport, a Struktúra Csoport (Structural team), a rakéta felépítéséért és alkatrészeinek tervezéséért felel. Ők azok, akiknek a feladata a rakétatest összeszerelése és biztosítása annak, hogy minden elem tökéletesen illeszkedjen egymáshoz. A struktúra kritikus fontosságú, mivel az egész rakétát tartja össze és garantálja annak stabilitását a repülés során. A második csoport, az Avionika Csoport (Avionics team), a rakéta repülésének és a rakéta földi állomással történő kommunikációjának és nyomkövetésének biztosításáért felel. GPS-alapú megoldások segítségével követik a rakéta pozícióját és repülési paramétereit, és biztosítják a kapcsolatot a földi irányító központtal. A harmadik csoport, a Visszatérési Csoport (Recovery team), felel a rakéta földi visszanyeréséért vagy lezuhanása esetén annak begyűjtéséért. Ezen kívül felelősek az ejtőernyők tervezéséért és elkészítéséért, valamint a kivetőmechanizmus működésének biztosításáért. Ők gondoskodnak arról, hogy a rakéta biztonságosan térjen vissza

a Földre. A negyedik csoport, a Szimulációs Csoport (Simulations team), olyan szimulációkat hoz létre, amelyek modellezik a különböző indítási kimeneteket, beleértve a lezuhanást, különböző indítási szögeket, hibás vagy épp a tökéletesen működő rakéta motorokat és sok más szempontot. Ez lehetővé teszi a csapat számára, hogy előre felkészüljön a változó körülményekre, és biztonsági zónákat határozzon meg. Az ötödik csoport, a Rakomány Csoport (Payload team), felel a rakéta rakományáért. Ezek lehetnek egyszerű súlyok, amelyek segítik a rakéta megfelelő kiegyensúlyozását, vagy akár műholdak, amelyeket a rakéta szállít a repülés során. A rakományok lehetnek a különböző versenykiírásoknak megfelelően változatosak. Mindezek a csoportok összehangoltan dolgoznak együtt annak érdekében, hogy a Prometheus projekt sikeresen repülhessen és megfeleljen a versenykiírásban foglalt követelményeknek. Közös munkájuk lehetővé teszi a csapattagok számára a műszaki területeken való tapasztalatszerzést és együttműködést, miközben aktívan hozzájárulnak az űrkutatás és űrtechnológia fejlődéséhez.

Ahogy a BME Suborbitals és más űrkutatással foglalkozó egyetemi versenycsapatoknál, nálunk is meghatározott és szigorúan szervezett pozíciók léteznek minden rakétaindítás során. Ezek a feladatkörök kritikus szerepet játszanak az esemény során, biztosítva a hatékony és biztonságos lebonyolítást. Az összeszerelő csapat (Assembly Crew) felelős a rakéta és az állvány összeszereléséért, garantálva, hogy minden alkatrész pontosan és biztonságosan illeszkedjen egymáshoz. Az avionikai csapat (Avionics Crew) feladata az avionikai komponensek összeszerelése és az elektromos rendszer megfelelő működése. A Flight Control Crew a szimulációk és trajektória számítások területén tevékenykedik, biztosítva a rakéta tervezett útvonalának pontos követését. A rakétaindítás folyamatát és dokumentációját a Launch Coordinator irányítja, aki gondoskodik a zökkenőmentes és dokumentált előkészületekről, továbbá ő vezeti a "go-no go" döntéseket a start előtt. A Recovery Crew az indítás után követi és lokalizálja a földet érő rakétát, majd begyűjti azt. Az External Relations csapat felelős a kommunikációért a helyszínen lévő partnerekkel és a közönséggel, biztosítva a megfelelő kapcsolattartást és információáramlást. A Press részleg képeket és videókat készít az eseményről, dokumentálva azt. A Range Safety Officer felügyeli a szerelési folyamatot és az esemény területének biztonságát, hogy elkerülje a baleseteket és veszélyeket. Ezen pozíciókban dolgozó csapattagok harmonikus együttműködése biztosítja, hogy a rakétaindítás zökkenőmentesen és biztonságosan menjen végbe.

CanSat követelmények

A CANSAT egy rövidítés, amely a "Can Satellite" szavak összevonásából származik, és egy olyan versenyt és projektet jelöl, amelynek során diákok saját, kisméretű műholdakat terveznek, építenek és indítanak a világűrbe. A CANSAT projekt általában középiskolás diákoknak szól, és célja a tudományos és műszaki ismeretek fejlesztése, valamint az űrkutatás és az űrtechnológia iránti érdeklődés növelése.[6]

A CANSAT projekt során diák csoportok tervezik meg saját műholdjukat, figyelembe véve a műhold méretét, súlyát, szenzorokat és kommunikációs rendszereket. Ez a tervezési folyamat magában foglalja az űreszköz kialakításának, funkcióinak és működési paramétereinek meghatározását. A tervek kidolgozása után a diákok nekilátnak az építésnek. Az építés során a diákok a műholdat kis dobozba vagy konzervdobozba helyezik, amelynek köszönhetően kapja a "Can Satellite" elnevezést. Ezután a tervek alapján beépítik a megfelelő szenzorokat és műszereket, amelyek szükségesek az adatok gyűjtéséhez. Miután a műhold elkészült, következik a tesztelés szakasza. A diákok tesztelik a műholdat a működési körülményeknek megfelelően, például magassági ballonokról való leengedéssel vagy speciális szimulátorok segítségével. A tesztek során ellenőrzik a műhold működését, és gyűjtik az adatokat a tervezett feladatok végrehajtása során. A sikeres tesztet követően jön az indítási fázis. A műholdat egy rakétával, ballonnal vagy más indítóeszközzel felviszik a magasabb légkörbe, ahol végrehajtják a küldetést vagy a tervezett feladatokat. Az indítás lehetővé teszi a diákok számára, hogy valós környezetben ellenőrizzék a műhold működését és gyűjtsenek további adatokat a küldetés sikerességéről.

A megmérettetés során a résztvevőknek több követelménynek kell megfelelniük, amelyek meghatározzák a projekt célját és a verseny szabályait. Először is, a műholdnak a verseny szabályzatában meghatározott méret- és súlykorlátoknak kell megfelelnie, amelyek általában igen korlátozottak. Ez biztosítja, hogy a műhold kompakt és könnyű legyen. Másodszor, a műholdnak tartalmaznia kell szenzorokat és műszereket, amelyek segítségével adatokat gyűjtenek a műhold környezetével kapcsolatban, például hőmérséklet, páratartalom, légnyomás és pozíció. Ezek az eszközök kulcsfontosságúak a műhold tudományos céljainak eléréséhez. Harmadszor, a műholdnak képesnek kell lennie kommunikálni a földi állomással, és továbbítani az adatokat és információkat. A kommunikációs rendszer lehetővé kell, hogy tegye a diákok számára, hogy monitorozzák a műholdat a verseny során. Negyedszer, a műholdnak biztonságosan kell működnie, és nem szabad veszélyeztetnie az embereket vagy a műhold közvetlen környezetét. Végül, a műholdnak tudományos értéket kell képviselnie, és hozzá kell járulnia az űrkutatás területéhez.

A CANSAT projekt célja, hogy diákokat bevonja az űrkutatásba és a műszaki tudományokba, és lehetőséget adjon nekik arra, hogy saját műholdakat tervezzenek és indítsanak el. A versenyeken való részvétel lehetőséget kínál a diákoknak a problémamegoldó készségeik fejlesztésére és együttműködésre csapatban, miközben elmélyülnek az űrkutatás és űrtechnológia világában.



[6.kép] Project Athéna rakéta az indítóállványon a 2023-as CANSAT versenyen

Biztonsági procedúrák kihívásai

A hobbi rakétaindítás első hallásra nem tűnik veszélyesnek, azonban a hozzáértés nélküli szervezés vagy a biztonsági előírások betartása nélkül komoly sérülések, esetlegesen akár halál is bekövetkezhet. Ne felejtsük el, hogy ezek a rakéták képesek átlépni a hangsebességet is a megfelelő körülmények között.

Az előzőleg említett CanSat Hungary verseny során alkalmazott szabályzatok és iránymutatások kiemelkedő fontosságúak voltak az esemény sikeres és biztonságos lebonyolításához. Ezek között szerepel a Rakétaindító állványszerelő útmutató és biztonsági leírás, amely irányítja és felügyeli a rakétaindító állvány biztonságos felállítását és működtetését. A LaTeX szövegszerkesztő segítségével készült szabályzatok gondosan formázottak és részletesek, amelyek a versenyzők és a szervezők számára egyaránt könnyen értelmezhetők és követhetők.

A Csomagolási leírás (checklist) részletesen meghatározza, hogy mely elemeket kell becsomagolni a rakétához és a kísérő alkatrészekhez a szállítás előtt. Ez a rész garantálja, hogy minden szükséges eszköz és felszerelés rendelkezésre álljon az indítás során, és elkerülhetők legyenek az esetleges problémák vagy hiányosságok. Az Abort lista azokra az esetekre vonatkozik, amikor a rakétát valamilyen okból nem lehet elindítani, azonban már megkezdődött a kilövési szekvencia. Ennek a listának a segítségével a csapat gyors, hatékony de főleg biztonságos módon állíthatja le az indítást, minimalizálva ezzel a potenciális veszélyeket. Az Ignition Box Checklist a csapat által épített gyújtó mechanizmus ellenőrzését végzi, és garantálja a gyújtás biztonságos lefolytatását, amely kritikus a rakéta indításánál. A MAIN checklist, azaz “fő” lista a teljes indítási folyamatot felöleli. Az Avionika és szerkezet munkaállomás felállításával kezdődik, majd ellenőrzi a szükséges felszerelést és eszközöket, a rakéta és a kisegítő alkatrészek összeszerelését, valamint a pre-flight checklisten keresztül az esetleges hibák felderítését. Ezt követően gondoskodik a Payload töltési listáról a Cansat műholdak átvizsgálása után, és az egész indítási folyamatot lefedi a rakétaindítási szekvenciával, az adatgyűjtési szekvenciával és a recovery szekvenciával. Az ilyen részletes és precíz szabályzatok és iránymutatások kulcsfontosságúak ahhoz, hogy a versenycsapat projektjei sikeresen záruljanak. Valamint, hogy a többi résztvevő csapat biztonságosan és hatékonyan indítson, és sikeresen teljesítse a versenykiírásban foglalt követelményeket. A LaTeX szövegszerkesztőnek köszönhetően a szabályzatok pontos és rendezett formában

kerültek rögzítésre, és segítik a versenyzőket és a szervezőket egyaránt az esemény sikerességében.

Dolgozatunkban szeretnénk részletesen kitérni a csapat által gyártott, frissített és használt biztonsági listákra és azok tartalmára, valamint használatuk módjára. A munka az operatív csoport mérnökeivel kezdődik. Az ő feladatuk, hogy az adott projekten dolgozó rakétaépítő csapattal közösen kidolgozzák az indításhoz szükséges lépéseket a szállítástól egészen a nap végi szét-szerelési procedúráig.

6. Recovery

6.1. Recovery procedure

Description: Locating the landing site. Locating all parts of the rocket on the landing site. Documenting the status of the landed parts before moving them. Preparing landed parts for safe transportation. Recovering the landed parts for further inspection.

Team Members:

Estimated Time: 30 minutes

Safe Handling: The damaged parts of the rocket might be sharp. There might be loose or damaged batteries in the rocket. Wear safety equipment whenever possible! In case of battery fire, abandon equipment and leave the area as fast as possible!

Ref. No.	☑	Task	Assigned members
0192		Landing area is confirmed.	
0193		Transportation to landing site arranged.	
0194		Landing site is reached.	
0195		Landing position found.	
0196		Critical: Landing position logged.	
0197		All rocket parts found.	
0198		Safe status of all energetic devices confirmed.	
0199		The status of the landed parts is documented.	
0200		Critical: All rocket parts are retrieved for inspection.	

Notes:

[7.kép] BME Suborbitals biztonsági jegyzőkönyv részlet

Ezt követően az operatív csapat kidolgozza a szükséges biztonsági és ellenőrzési listákat az egyeztetett lépések alapján. A képen látható, hogy a lista elnevezése alatt a bevett szokása a csapatnak, hogy elhelyez egy rövid, általában néhány mondatos leírást arról, hogy mit tartalmaz az adott checklist. Ez rendkívül hasznos azok számára, akik a csapattagokon kívül hozzáférhetnek a listákhoz. (Főleg azon személyek akik a például a helyszín biztosításáért felelnek). Fontos kiemelni, hogy a biztonsági leírások és szabályzatok minden esetben angolul

készülnek, mivel a BME Suborbitals minden tagja beszél angolul, azonban a csapat külföldi tagjai nem értenek magyarul megfelelő szinten. A biztonsági listák nem értése pedig a legtöbb esetben balesetet eredményez (ahogy a kommunikációs problémák az esetek nagytöbbségében).

A leírást követő részt kézzel kell a helyszínen kitöltenie a listával dolgozó biztonsági tisztnek. Ez rendszerint a versenycsapat egyik operatív mérnöke. A “Team Members” kiemeléskor szükséges felsorolni a helyszínen az adott munkafolyamaton dolgozó csapattagot neveit. Erre azért van szükség, mert egy esetleges balesetnél, ahol felmerül az emberi mulasztás lehetősége is, le lehet szűkíteni a potenciális “felelősök” listáját.

Az “Estimated Time”, tehát a becsült idő természetesen az adott feladat végrehajtásához szükséges időt jelzi. Ez a szám folyamatosan változik a csapattagok tapasztalatától függően. A biztonságért felelős személyek minden folyamatot stopper órával mérnek, lejegyeznek, majd ezeket az adatokat elemzik az indítást követően.

A “Safe Handling” résznél a listát kidolgozó csapat azokat a veszélyforrásokat sorolta fel az adott területen, amik kiemelt odafigyelést igényelnek, hogy ne történjen semmilyen baleset. Továbbá itt kerül felsorolásra minden “egyéb” fontos információ amit fontos tudnia a feladatot végrehajtó csapatnak.

A táblázat négy oszlopból áll. Az elsőben az adott feladatok egyéni azonosító ID-je szerepel. Ennek a funkciója az, hogy a segítségével könnyen és precízen be lehet azonosítani minden folyamatot, továbbá segíti a kommunikációt is a biztonsági tisztek között, valamint az adatok feldolgozásánál és elemzésénél is jelentős szerepet játszik. A második oszlopba kerül a jelölés, hogy a feladat elvégezve sikeresen. Ez rendszerint egy pipa, vagy egy “X” jelölés, amennyiben a feladatot nem kellett vagy nem lehetett elvégezni.

A harmadik oszlop a feladat rövid leírása. Ezeket a kifejezéseket minden tagunknak meg kell tanulnia a sikeres végrehajtás érdekében. A “CRITICAL”, sárgával kiemelt jelölés azok a feladatok ahova nem kerülhet “X” jelölés, míg a sima fehér-szürke sorok esetében nem feltétlen jelenti az indítás kudarcát, ha nem kivitelezhető némely feladat.

Az utolsó oszlopban, az “Assigned members” elnevezés megnevező lehet az olvasó számára. Azonban ebbe az oszlopba nem a feladat elvégzésére kijelölt személy neve kerül, hanem a feladat sikeres elvégzésének a felügyeletére kiválasztott személy (rendszerint a biztonsági tiszt)

aláírása. Természetesen az aláíró személy szintén felelősséget vállal, amikor igazolja, hogy a feladatot sikeresen elvégezte a munkacsoport.

A versenycsapat filozófiája az, hogy minden tag igyekszik betartani a biztonsági procedúrákat mind a rakétaszerelő műhelyben, mind az indítási helyszínen. A biztonsági tisztnek kijelölt tagok pedig igyekeznek betű szerint betartani a szóban forgó biztonsági listákat.

Azonban van egy probléma ezzel a mentalitással. A dolgok gyakran nem fekete-fehérek és a szituációk, amiben a csapat találja magát legtöbbször nem megoldható (vagy nem logikusan végrehajtható) a biztonsági előírások teljes betartásával. Például egy gimnazistákkal együtt szervezett rendezvényen, ahol rengeteg néző van és mindenki vállán hatalmas a felelősség teljesen más szinten kell betartani azokat a szabályokat például, hogy ki milyen pozíciót tölt be, hisz a pozíciók véletlen felcserélése könnyen vezethet olyan balesethez, ami egyébként fel sem merült volna, esetleg könnyedén elkerülhető lett volna az elkövetett figyelmetlenség nélkül. Ezzel szöges ellentétben van egy olyan tesztindítás, amin csak a versenycsapat tagjai vannak jelen. Mindenki ismer mindenkit és nincs esély arra, hogy egy szakképzetlen megfigyelő rossz helyre téved, sem arra, hogy nem odafigyelés következtében esetleg megsérül valaki. Természetesen balesetek bármikor előfordulhatnak. A szabályozások betartása mindenkinek közös célja, azonban számos szabály csupán azért létezik, hogy a csapat tagjai saját magukat újra ellenőrizzék. Ezért a zártkörű tesztindításokon gyakran "követnivaló segédanyag"-nak van a biztonsági szabályzat elnevezve. A tagok nem lépésről lépésre végzik a folyamatokat, hanem tapasztalatból dolgoznak, végül pedig egyszerre ellenőrzik az elvégzett munkát (még mielőtt bármit kockáztatnának a tagok, továbbá a biztonsági tisztek MINDEN esetben ellenőrzik a végrehajtott folyamatok helyes sorrendjét és végrehajtásának minőségét).

A másik problémaforrás az, hogy bármennyire is hajszolja a feladatok tökéletes végrehajtását a versenycsapat, nem szabad szem elől téveszteni a tényt, hogy továbbra is egy egyetemistákból álló rakétacsapatról beszélünk, nem a NASA-ról. Habár rengeteg tag beletesz számtalan munkaórát egyes projektekbe, senkinek nem ez az első számú munkahelye. A tagok ideje véges, tapasztalatuk egyénenként rendkívül széles skálán mozog, és ebből kifolyólag előfordulhat, hogy néhány témakörben a csapat elméleti síkon nem közelíti meg a problémát megfelelő felkészültséggel. Ennek a cikknek a célja felhívni a figyelmet a hobbirakéták versenyszintű fejlesztésének izgalmas ámde rossz felfogással rendkívül veszélyes világára.

A versenycsapat büszke rá, hogy számtalan rakétatesztje és versenye során nem történt ezidáig komoly baleset. Természetesen a fő irányvonal minden szerveződés legelején, hogy a személyi és tárgyi biztonságot maradéktalanul biztosítani lehessen.

Az Abort lista ismertetése megjegyzésekkel

A CanSat verseny és általában ezeken az eseményeken uralkodó biztonsági helyzet is rávilágított arra, hogy a kilövés megszakítását tartalmazó lista bővítésre szorul, illetve ez az a létfontosságú dokumentum, mely ezen dolgozat kedvéért magyarul is elkészült, hiszen a veszélyes üzem jellegéből kifolyólag nem lehetett a véletlenre és esetleges nyelvi félreértésekre bízni a repülés biztonságát. Ebben a listában a leggyakoribb meghibásodási lehetőségek kaptak helyet, ezekre reflektálva készült el a nyolc pontból álló intézkedési terv.

Abort 1: Az indítás környezetében lévő idegen tárgyak eltávolítása

A helyzet felmérése

Esemény leírása: A munka megkezdése előtt a terület biztonságának értékelése.

Valószínű okok: A műveletek fizikailag akadályozottak, a műveleteket át kell helyezni.

A feladat elvégzésének becsült ideje: 5 perc

Vonatkozó figyelmeztetések: Ügyeljen a területen harmadik fél által hátrahagyott potenciális veszélyforrásokra!

<i>Hivatkozási szám</i>	<i>Feladat</i>
0001	A terület elérhető.
0002	Nincs tűzveszély a területen.
0003	Nincs vegyi vagy biológiai veszély a területen.
0004	Nincs elektromos veszély a területen.
0005	Nincs fizikai veszély a területen.
0006	Kritikus döntés: A terület biztonságos, a munka folytatható.
IGEN	Folytassa!
NEM	Állj! Hagyd el a területet és kérj segítséget a megoldáshoz!

Ez az első lépése annak, hogy a repülés biztonságát szavatolni lehessen. Itt bizonyosodunk meg róla, hogy a választott terület nem rejteget olyan veszélyforrásokat, amelyek veszélyt jelenthetnek rakétára és emberre egyaránt. Ha az első öt feltételből bármelyik is hiányzik, akkor már rögtön a legelején le kell fűjni az indítást.

Idegen tárgyak szállításra való előkészítése

Esemény leírása: A leszerelendő laza felszerelés kiválasztása és a szállítás előkészítése.

A feladat elvégzésének becsült ideje: Nem megbecsülhető.

Vonatkozó figyelmeztetések: Ügyeljen azokra a veszélyekre, amelyeket korábban az idegen tárgy jelentett! Vigyázzon a törékeny felszerelésekre!

Hivatkozási szám	Feladat
0007	Azonosítsa az eltávolítandó idegen tárgyat.
0008	Döntse el, hova kell elszállítani.
0009	Jelöljön ki embereket a szállításhoz.
0010	Jegyezze fel az elszállítandó tárgyat és a feladatot végre hajtó személyeket.
0011	Kritikus döntés: A tárgy biztonságosan szállítható.
IGEN	Folytatás!
NEM	Állj! Menjen vissza az 0007. lépéshez, és értékelje újra a döntését.

Ennél a pontnál eljutottunk oda, hogy a környezetet felmértük, és jó esetben megállapítottuk, hogy biztonságos a terület, rosszban viszont, hogy van a közvetlen környezetben eltávolítandó elem. A döntés lényege itt az, hogy ki és milyen módon szállítsa el az idegen tárgyat, már amennyiben lehetséges. Olyan esetben, amikor nem mozgatható, vagy több erőforrást igényel mozgatni, mint a kilövés helyét megváltoztatni, a felszereléseket szükséges költöztetni.

Előkészített felszerelés áthelyezése

Esemény leírása: Az azonosított tárgya elszállítása. Az abort befejezésének megerősítése.

A feladat elvégzésének becsült ideje: Nem becsülhető meg.

Vonatkozó figyelmeztetések: Vigyázzon a törékeny felszerelésekre! Ne feledkezzen el a hátrahagyott dologról!

Hivatkozási szám	Feladat
0012	Gyűjtse össze az eszköz listán szereplő szállítandó felszereléseket.
0013	Hozza el az eszköz listán szereplő szállítandó felszereléseket.
0014	Győződjön meg róla, hogy mindent sikerült elszállítani az eszköz lista alapján.
0015	Jegyezze fel az átmozgatott tételeket az előkészített listán.
0016	Bizonyosodjon meg róla, hogy nincs több felszerelés, amit el kell távolítani a területről.

0017	Kritikus döntés: A terület tiszta az indításhoz, vagy átadható az illetékeseknek.
IGEN	Az Abort 1 folyamat lezárult!
NEM	Állj! Menjen vissza az 0007. lépéshez, és értékelje újra a döntését.

Ennél a pontnál zárul le a terület biztosításának a folyamata, mert itt sikerül biztonságba helyezni a hozott eszközöket és/vagy megtisztítani a környezetet a veszélyforrásoktól.

Abort 2: A kezdeti összeszerelés megszakítása

A helyzet felmérése

Esemény leírása: A munkaterület biztonságának kiértékelése. Felkészülés a leszerelésre.

Valószínű okok: Az esemény szervezője megszakítást kér, kritikus rendszerhibát hiba észleltek, és az inicializálást nem lehet befejezni, egyéb előre nem látható esemény megakadályozza az összeszerelést, például személyi sérülés.

A feladat elvégzésének becsült ideje: 5 perc

Vonatkozó figyelmeztetések: Ügyeljen arra, hogy ne veszítsen el alkatrészeket! Vigyázzon a törékeny felszerelésekre!

Hivatkozási szám	Feladat
0018	Dokumentálja az inicializálás megszakításának okát és idejét.
0019	A terület elérhető.
0020	Kritikus döntés: A területen nincs szükségtelen szétszórt felszerelés.
IGEN	Folytassa!
NEM	Indítsa el az Abort 1 folyamatot: Idegen tárgy eltávolítása, majd folytassa!
0021	Döntse el, hogy szükséges-e a leszerelés. Ha nem, lépjen tovább a 0024. lépésre.
0022	Döntse el a leszerelés sorrendjét.
0023	Jelöljön ki embereket a leszerelésre.
0024	Jelöljön ki embereket a leszerelendő alkatrészek dokumentálására.
0025	Jelöljön ki embereket az alkatrészek tárolására.

Ebben a szcenárióban külső, vagy műszaki okok miatt meg kell szakítani a kezdeti összeszereléseket. A folyamat ezen részénél főleg az indítóállvány szerelése zajlik, így a műszaki probléma azzal lehet kapcsolatos. A szervező sokféle okra hivatkozva szakíthatja meg, leggyakoribb ok az időjárás.

Leszerelés és tárolás

Feladat leírása: A korábban megjelölt eszközök leszerelése és tárolása. Annak megerősítése, hogy minden kiválasztott felszerelés leszerelésre került, és minden alkatrészre gondosan ügyeltek.

A feladat elvégzésének becsült ideje: 10-től 60 percig

Vonatkozó figyelmeztetések: Ügyeljen arra, hogy ne veszítsen el alkatrészeket! Vigyázzon a törékeny felszerelésekre!

Hivatkozási szám	Feladat
0026	Kezdje el a leszerelést az előkészített terv alapján.
0027	Kezdje el minden eltávolított alkatrész elhelyezését a kijelölt tárolóban.
0028	Kezdje el az egyes alkatrészek eltávolításának és tárolásának dokumentálását.
0029	Kritikus döntés: Minden felszerelés leszerelésre került, és el van helyezve a tárolóban.
IGEN	Folytassa!
NEM	Állj! Menjen vissza az 0021. lépéshez, és ismételje meg a folyamatot a többi alkatrészre vonatkoztatva is!
0030	Döntse el, hogy szükséges-e a szállítás. Ha nem, lépjen tovább a 0035. pontra.
0031	Döntse el, mit kell szállítani és hová.
0032	Dokumentálja a szállítást.
0033	Jelöljön ki embereket a szállításra.
0034	Az intézkedési terv alapján szállítsa el a felszerelést.
0035	Kritikus döntés: Az összes megjelölt eszköz eltávolításra került.
IGEN	Az Abort 2 folyamat lezárult!

NEM	Állj! Menjen vissza az 0030. lépésre, és ismétlje meg a folyamatot a még hátralévő felszerelés esetében!
További tárgyak eltávolítására alkalmazza az Abort 1 eljárást!	

Ennél a pontnál az idáig előkészített vagy felszerelt tételeket sikerült biztonságosan elhelyezni az arra kijelölt tárolóban, amennyiben jelentkezett valamilyen probléma.

Abort 3: Az összeszerelési folyamat megszakítása elektronikai eszköz miatt

A helyzet felmérése

Valószínű okok: Sok elektronikai rendszer megléte miatt nem tipizálható.

A feladat elvégzésének becsült ideje: Nem megbecsülhető.

Vonatkozó figyelmeztetések: Óvja az elektronikát hőtől és elektrosztatikus töltéstől! Kerülje a rövidzárat! Óvatosan kezelje az elektronikát és az akkumulátorokat!

Hivatkozási szám	Feladat
0036	Nincs akkumulátor tűzveszély.
0037	Nincs elektromos tűzveszély.
0038	Az áramütés veszélye nem áll fenn.
0039	Kritikus döntés: Az elektronikán való munka biztonságos.
IGEN	Folytassa!
NEM	Állj! Kérjen segítséget!
0040	Döntse el, mely elektronikai alkatrészeket kell leválasztani az áramellátásról.
0041	Határozza meg a szükséges minimális szétszerelés lépéseit az adott alkatrészek eléréséhez.
0042	Dokumentálja a szétszerelést.
0043	Jelöljön ki embereket az elektronika szerelésére.
0044	Jelöljön ki embereket a szétszerelésre.
0045	Jelöljön ki embereket a leszerelendő alkatrészek dokumentálására.
0046	Jelöljön ki embereket az alkatrészek tárolására.

Ez a pont arra az eshetőségre nyújt vészeseti tervezetet, amikor a számos elektronikai rendszer közül egy vagy több meghibásodik. Többnyire gyengeáramú rendszerek kerülnek beszerelésre, viszont így is a legnagyobb veszélyforrást az esetleges áramütés jelenti.

Az elektronika áramtalanítása és eltávolítása

A feladat elvégzésének becsült ideje: Nem megbecsülhető.

Vonatkozó figyelmeztetések: Óvja az elektronikát hőtől és elektrosztatikus töltéstől! Kerülje a rövidzárat! Óvatosan kezelje az elektronikát és az akkumulátorokat!

Hivatkozási szám	Feladat
0047	Hajtsa végre a minimális szükséges szétszerelést, hogy hozzáférhető legyen a hibás alkatrész.
0048	Áramtalanítsa az elektronikai alkatrészt a terv szerint.
0049	Távolítsa el az alkatrészt, ha lehetséges.
0050	Szállítsa a tárolóba az eltávolított elektronikát, ha lehetséges.
0051	Dokumentálja az alkatrész eltávolítását és tárolását.
0052	Dokumentálja a sikeres áramtalanítást.
0053	Kritikus döntés: Győződjön meg róla, hogy nincs semmi áram alatt.
IGEN	Az Abort 3 folyamat lezárult!
NEM	Állj! Menjen vissza az 0053. lépéshez, és ismételje meg a folyamatot a többi felszerelés esetében!
Az szétszerelés folytatásához alkalmazza az Abort 2-t.	

Ennek a pontnak a végére biztonságos lett újra a munkakörnyezet, mivel nem maradt áram alatt elektromos komponens és sikerült is izolálni a problémát.

Rakomány eltávolítása

A helyzet felmérése

Esemény leírása: Az rakéta összeszerelési állapotának meghatározása. Döntés arról, hogy az rakéta biztonságos-e a munkavégzéshez. A rakéta szétszerelésére való felkészülés.

Valószínű okok: A rakéta raktárba helyezésére kérelem érkezett. Belső alkatrészhez való hozzáférés szükséges.

A feladat elvégzésének becsült ideje: 5 perc

Vonatkozó figyelmeztetések: Óvja az elektronikát hőtől és elektrosztatikus töltéstől! A hajtómű sérülékeny és veszélyes robbanóanyagot tartalmaz! Győződjön meg róla, hogy a hajtómű ki van szerelve a rakétából! Figyeljen arra, hogy ne károsítsa az illesztéseket azokat nem megfelelően szétválasztva!

Hivatkozási szám	Feladat
0054	A hajtómű nincs a rakétában.
0055	Nincs akkumulátor tűzveszély.
0056	Nincs elektromos tűzveszély.
0057	Az áramütés veszélye nem áll fenn.
0058	Kritikus döntés: A rakéta biztonságos a munkavégzéshez.
IGEN	Folytassa!
NEM	Állj! Kérjen segítséget a probléma megoldásához!
0059	Jelöljön ki embereket az elektronika szerelésére.
0060	Jelöljön ki embereket a szétszerelésre.
0061	Jelöljön ki embereket a leszerelendő alkatrészek dokumentálására.
0062	Jelöljön ki embereket az alkatrészek tárolására.
0063	Kritikus döntés: Az rakéta összeszerelési állapotának meghatározása.
0113.1	Hajtómű és a sárkányszerkezet össze van szerelve. Az ejtőernyő alrendszer nincs beépítve.
0113.2	Hajtómű és a sárkányszerkezet össze van szerelve. Az ejtőernyő alrendszer beépítésre került.
0113.3	Hajtómű és a sárkányszerkezet össze van szerelve. Az ejtőernyő alrendszer beépítésre került. A CanSat-ek a raktérben vannak.
0113.4	Hajtómű és a sárkányszerkezet össze van szerelve. Az összes alrendszer a fedélzeten van. Az orr rész csatlakoztatva van.
0064	Kritikus döntés: Az előző pontok alapján válassza ki a legjobb megszakítási lépéseket.
0114.1	Hajtsa végre a 0123. lépést.

0114.2	Hajtsa végre a 0118. lépést.
0114.3	Hajtsa végre a 0115. lépést.
0114.4	Állj! Rossz folyamatot futtat, váltson az Abort 7-re: Az indítás megszakítása.

Ennél a pontnál tudjuk, hogy biztonságos a terület, megépült az indítóállvány és a rakéta külső alkatrészei is rendben vannak. Innen már főleg az irányító rendszerekkel lehetnek problémák és ebben a pontban pontosan ezt járjuk körbe.

A rakéta szétszerelése a rakomány eltávolításához

Esemény leírása: A rakéta két fő részre való szétszerelése. Az irányítórendszereket és a CanSat-eket eltávolítják.

A feladat elvégzésének becsült ideje: 10 perc

Vonatkozó figyelmeztetések: Óvja az elektronikát hőtől és elektrosztatikus töltéstől! A hajtómű sérülékeny és veszélyes robbanóanyagot tartalmaz! Győződjön meg róla, hogy a hajtómű ki van szerelve a rakétából! Figyeljen arra, hogy ne károsítsa az illesztéseket azokat nem megfelelően szétválasztva!

Hivatkozási szám	Feladat
0065	Kezdje el feljegyezni az egyes alkatrészek eltávolítását és mozgatását.
0066	Válasszák le a fő repülőgépváz és az orrkúp közötti csúszó illesztést
0067	Tegye félre a fő repülőgépvázat és a meghajtási elemet
0068	Távolítsa el a csavarokat, amelyekkel az orr részét a repülésirányítási gyűrűhöz rögzítették.
0069	Távolítsa el az avionikát az orr részéből.
0070	Kapcsolja ki az avionikát.
0071	Helyezze félre az avionikát.
0072	Szerelje vissza a fő repülőgépváz- és hajtómű-részeket.
0073	Távolítsa el az első CanSat-tartót félig.
0074	Tartsa zárva a CanSat-tartót.
0075	Távolítsa el az első CanSat-tartót teljesen.

0076	Nyissa ki óvatosan az első CanSat-tartót, és vegye ki az első CanSat-ot.
0077	Tegye félre az első CanSat-ot.
0078	Távolítsa el az második CanSat-tartót félig.
0079	Tartsa zárva a CanSat-tartót.
0080	Távolítsa el a második CanSat-tartót teljesen.
0081	Nyissa ki óvatosan a második CanSat-tartót, és vegye ki az első CanSat-ot.
0082	Tegye félre a második CanSat-ot.
0083	Kritikus döntés: Az összes rakomány eltávolításra került, és biztonságba helyezve. Az összes rakétaalkatrész készen áll a további szétszereléshez.
IGEN	Az Abort 4 folyamat lezárult!
NEM	Állj! Menjen vissza a 0079. lépéshez, és ismételje meg a folyamatot a hátralévő felszereléssel!
A visszatérési alrendszer szétszereléséhez hajtsa végre az Abort 2-t.	
A repülésirányítási rendszerek szétszereléséhez hajtsa végre az Abort 4-et.	
A hajtómű eltávolításához hajtsa végre az Abort 2-t.	

A motor összeszerelésének megszakítása

Helyzet felmérése

Esemény leírása: A motor állapotának felmérése és meghatározása, hogy biztonságos-e a rajta végzett munka. Felkészülés a motor raktárba helyezésére.

Valószínű okok: Az esemény szervezője az előkészületek megszakítását kéri. A motor raktárba való helyezésére kérvény érkezett. Olyan környezeti veszélyek fenyegetnek, hogy biztonságosabb raktárban tartani.

A feladat elvégzésének becsült ideje: 10 perc

Vonatkozó figyelmeztetések: Tilos a nyílt láng használata! Tilos az elektrosztatikusan töltött tárgyak közelbe hozatala! A motor rendkívül sérülékeny és veszélyes! Motor tűz esetén hagyja ott az eszközt és meneküljön, majd kérjen segítséget!

Hivatkozási szám	Feladat
0084	Kritikus döntés: A motor biztonságos. Nincs tűzveszély.

IGEN	Folytassa! Ez a legveszélyesebb rész, még egy ellenőrzés szükséges!
NEM	Állj! Hagyja ott a motort, és fusson! Kérjen segítséget!
0085	Vizsgálja meg a motort bármilyen látható fizikai sérülés után.
0086	Dokumentálja a motor állapotát.
0087	Dokumentálja az inicializálás megszakításának okát.
0088	Jelöljön ki embereket a leszereléshez.
0089	Jelöljön ki embereket a kapcsolódó alkatrészek dokumentálásához.
0090	Jelöljön ki embereket az eszközök tárolásához.

Leszerelés és tárolás

Feladat leírása: A motor leszerelése és szállítása a tárolóba.

A feladat elvégzésének becsült ideje: 5 perc

Vonatkozó figyelmeztetések: Tilos a nyílt láng használata! Tilos az elektrosztatikusan töltött tárgyak közelbe hozatala! A motor rendkívül sérülékeny és veszélyes! Motor tűz esetén hagyja ott az eszközt és meneküljön, majd kérjen segítséget!

Hivatkozási szám	Feladat
0091	Kezdje el a leszerelést.
0092	Helyezzen el minden eltávolított alkatrészt a raktárban.
0093	Kezdje el az egyes alkatrészek eltávolításának és tárolásának dokumentálását.
0094	Kritikus döntés: A motort biztonságosan tárolják el.
IGEN	Folytassa!
NEM	Állj! Menjen vissza az 0043. lépéshez, és ismételje meg a folyamatot a hátralévő felszerelés esetében!
0095	Szállítsa el a motort, ha szükséges.
0096	Az Abort 5 folyamat lezárult!

A leszerelés folytatásához hajtsa végre az előzőleg javasolt Abort folyamatot a fő ellenőrző listán.

Indítási előkészületek megszakítása

A helyzet felmérése

Esemény leírása: Döntés születik arról, hogy a rakéta biztonságos-e a munkavégzéshez. Meggyőződni, hogy van-e engedély a munkavégzésre a rakétán. Felkészülés a rakéta kikapcsolására.

Valószínű okok: Az indítást azután törölték, hogy a rakétát az indítóállványra helyezték. Bármely komplikáció, ami indítás megszakítását indokolja felszínre került.

A feladat elvégzésének becsült ideje: 10 perc

Vonatkozó figyelmeztetések: Tilos a nyílt láng használata! Tilos az elektrosztatikusan töltött tárgyak közelbe hozatala! A hajtómű sérülékeny és veszélyes robbanóanyaggal van töltve! Győződjön meg arról, hogy a motor biztonságos, és nincs gyújtásveszély! Győződjön meg arról, hogy a visszatérési biztonsági tű a helyén van! Figyeljen oda a környezetére! Motor tűz esetén hagyja ott az eszközt és meneküljön, majd kérjen segítséget!

Hivatkozási szám	Feladat
0097	Nincs tűzveszély a hajtóműben.
0098	Nincs véletlen gyújtásveszély.
0099	Nincs akkumulátor tűzveszély.
0100	Nincs elektromos tűzveszély.
0101	Az áramütés veszélye nem áll fenn.
0102	Kritikus döntés: Az rakéta biztonságos a munkavégzéshez.
IGEN	Folytassa!
NEM	Állj! Hagyja ott a rakétát, és fusson! Kérjen segítséget!
0103	Erősítse meg, hogy van a területen való munkavégzésre engedély.
0104	Erősítse meg, hogy a rakétán való munkavégzésre van engedély.
0105	Jelöljön ki embereket a rakéta leállítására.

A rakéta leállítása

Feladat leírása: Korábban észrevétlen veszélyek felkutatása munka előtt. A motor hatástalanítása. Visszatérési rendszer hatástalanítása. A rakéta leválasztása a földi berendezésekről. A rakéta eltávolítása az indítóállásról. A motor eltávolítása a rakétáról. Azonnal folytassa a motor biztonságos tárolásba helyezésével.

A feladat elvégzésének becsült ideje: 20 perc

Vonatkozó figyelmeztetések: Tilos a nyílt láng használata! Tilos az elektrosztatikusan töltött tárgyak közelbe hozatala! A hajtómű sérülékeny és veszélyes robbanóanyaggal van töltve! Győződjön meg arról, hogy a motor biztonságos, és nincs gyújtásveszély! Győződjön meg arról, hogy a visszatérési biztonsági tű a helyén van! Figyeljen oda a környezetére! Motor tűz esetén hagyja ott az eszközt és meneküljön, majd kérjen segítséget!

Hivatkozási szám	Feladat
0106	Kritikus döntés: Határozza meg a motor biztonsági állapotát.
BIZTONSÁGOS	Folytassa a 109. lépéssel!
ÉLESÍTETT	Állj! Tiltsa le a motort, mielőtt folytatná! Menjen a 107. lépésre!
EGYÉB	Állj! Hagyja ott a rakétát, és fusson! Kérjen segítséget!
0107	Kapcsolja ki a gyújtást!
0108	Távolítsa el az E-Match-ot a rakétából!
0109	Távolítsa el a rakétát az indítóállványról.
0110	Távolítsa el a motort a rakétából.
0111	Tegye félre a motort a szétszereléshez.
0112	Kritikus döntés: A rakéta biztonságos állapotban van.
BIZTONSÁGOS	Hajtsa végre haladéktalanul az Abort 3 protokollt.
NEM	Állj! Kérjen segítséget a megoldáshoz!
A rakéta többi részének szétszereléséhez hajtsa végre az Abort 6-ot.	

Az indítás megszakítása

A helyzet felmérése

Esemény leírása: A rakéta állapotának meghatározása. Döntés arról, hogy a rakéta biztonságos-e a munkavégzéshez. Megerősíteni, hogy van-e engedély a munkavégzéshez a rakétán. Felkészülés az rakéta leállítására.

Valószínű okok: Az indítási engedély visszavonásra került az indítás közben. Bármely komplikáció, ami indítás megszakítását indokolja felszínre került.

A feladat elvégzésének becsült ideje: 20 perc

Vonatkozó figyelmeztetések: Tilos a nyílt láng használata! Tilos az elektrosztatikusan töltött tárgyak közelbe hozatala! A hajtómű sérülékeny és veszélyes robbanóanyaggal van töltve! Győződjön meg arról, hogy a motor biztonságos, és nincs gyújtásveszély! Győződjön meg arról, hogy a visszatérési biztonsági tű a helyén van! Figyeljen oda a környezetére! Motor tűz esetén hagyja ott az eszközt és meneküljön, majd kérjen segítséget!

Hivatkozási szám	Feladat
0113	Az indítás megszakításáról azonnal adjon ki egyértelmű közleményt a nyilvánosság számára!
0114	Győződjön meg arról, hogy az evakuáció folyamatosan biztosítva van!
0115	Kritikus döntés: Értékelje az aktuális vészhelyzet súlyosságát.
0147.1	TŰZ- Azonnal jelentse be! Kérjen segítséget!
0147.2	INDÍTÁS- Azonnal jelentse be! Próbáljon adatot gyűjteni!
0147.3	BEHATOLÁS- Azonnal jelentse be! Adjon szóbeli figyelmeztetést!
0147.5	EGYÉB Azonnal jelentse be! Kérjen segítséget!
0116	Dokumentálja az inicializálás megszakításának okát és eljárását.
0117	Kritikus döntés: Értékelje a gyújtás veszélyeit. Ha gyújtási kísérlet történt, a 0149.2 lépés lép életbe
0149.1	NEM SZÁNDÉKOS - Állj! Kérjen segítséget!
0149.2	KÉSLELTETETT - Állj! Kérjen segítséget!
0149.3	NINCS - Folytassa! Csak akkor, ha nem történt gyújtási kísérlet!
0118	Kritikus döntés: Értékelje a további veszélyeket.
0150.1	ELEKTROMOS TŰZ - Állj! Kérjen segítséget!
0150.2	ÁRAMÜTÉS - Állj! Kérjen segítséget!
0150.4	EGYÉB - Állj! Kérjen segítséget!
0150.5	NINCS - Folytassa!
0119	Kritikus döntés: A rakéta biztonságos a munkavégzéshez. A munkaterület biztonságos.

IGEN	Folytassa!
NEM	Állj! Kérjen segítséget!
0120	Erősítse meg a rakéta megközelítésének engedélyét.
0121	Erősítse meg a rakétán való munkavégzés engedélyét.

A rakéta leállítása

Esemény leírása: Keressen korábban nem észrevett veszélyeket munka előtt. A motor hatástalanítása következik. A visszatérési rendszer letiltása. A rakéta leállítása utáni biztonságos státusz megerősítése.

A feladat elvégzésének becsült ideje: 20 perc

Vonatkozó figyelmeztetések: Tilos a nyílt láng használata! Tilos az elektrosztatikusan töltött tárgyak közelbe hozatala! A hajtómű sérülékeny és veszélyes robbanóanyaggal van töltve! Győződjön meg arról, hogy a motor biztonságos, és nincs gyújtásveszély! Győződjön meg arról, hogy a visszatérési biztonsági tű a helyén van! Figyeljen oda a környezetére! Motor tűz esetén hagyja ott az eszközt és meneküljön, majd kérjen segítséget!

Hivatkozási szám	Feladat
0123	Közelítse meg a rakétát.
0124	Kritikus döntés: Győződjön meg róla, hogy a rakéta biztonságos a munkavégzéshez. Az előző értékelés helyes.
IGEN	Folytassa!
NEM	Állj! Hagyja ott az eszközt, és meneküljön!
0125	Távolítsa el az E-Match-ot a rakétából!
0126	Kritikus döntés: A rakéta biztonságos állapotát.
IGEN	Folytassa!
NEM	Állj! Hagyja ott az eszközt, és meneküljön!
A rakéta eltávolításához az indítóállványról hajtsa végre az Abort 7 protokollt.	

Az indítás utáni megszakitás

A helyzet felmérése

Esemény leírása: A rakéta elindítását követően a sikertelen gyújtás miatt az indítási procedura véghezvitele. A gyújtás újra megkísérlése, ha biztonságos és ésszerű. Segítség kérése a rakéta biztonságos eltávolításához.

Valószínű okok: Sikertelen gyújtás.

A feladat elvégzésének becsült ideje: 30 perc

Vonatkozó figyelmeztetések: Ebben a pontban a rakétáról ismert, hogy veszélyes állapotban van!

Ne menjen közel a rakétához semmiképp! Hagyatkozzon az esemény szervezőjére a útmutatásért!

Ha nem kap segítséget, hagyja békén a rakétát, és várjon!

Hivatkozási szám	Feladat
0127	Az indítás megszakításáról azonnal adjon ki egyértelmű közleményt a nyilvánosság számára!
0128	Győződjön meg arról, hogy az evakuáció folyamatosan biztosítva van!
0129	Dokumentálja az indítás megszakításának okát és az eljárások betartását!
0130	Kritikus döntés: Ismert a sikertelen gyújtás oka.
IGEN	Folytassa!
NEM	Állj! Kérjen segítséget!
0131	Kritikus döntés: A sikertelen gyújtás okát biztonságosan meg lehet oldani.
IGEN	Folytassa!
NEM	Állj! Kérjen segítséget!
0132	Próbálja meg megoldani a sikertelen gyújtás okát!
0133	Kérjen engedélyt egy második gyújtási kísérlethez!
0134	Kritikus döntés: A második gyújtási kísérlet.
IGEN	Kövesse az ellenőrző lista 3. pontját: Indítás azonnal!
NEM	Állj! Kérjen segítséget!
0135	Kritikus döntés: A második gyújtási kísérlet sikeres.
IGEN	Az Abort 8 folyamat lezárult!

NEM	Állj! Tartsa fenn az evakuációt! Kérjen segítséget!
Nincs további eljárás! Forduljon az esemény szervezőjéhez utasításokért!	

Potenciális fejlődési lehetőségek és lezárás

A BME Suborbitals legnagyobb rendezvényén, a 2023-as CanSat Hungary versenyen hat indítási kísérlet zajlott le. Sajnálatos módon az első rakéta ejtőernyője beszorult a rakéta testbe még a két hordozott CanSat kivetése előtt ezért a rakéta és a két műhold is megsemmisült, amikor a földre csapódott.



[8.kép] A CanSat verseny első rakétájának roncsai

A soron következő három rakéta sikeresen szállt fel és hajtotta végre a küldetését. A CanSat párokat a célmagasságban (ezeröttszáz méter) problémamentesen kivetette, majd ernyőt nyitott és a kijelölt landolási zónában sérülésmentesen földet ért. A negyedik rakéta azonban a start

pillanatában nem indult el. A versenycsapat tagjai, a Magyar Honvédség katonái és tüzéserei, valamint számos szemlélődő is szemtanúja volt, hogy a rakéta motorja nem gyulladt be. Ennek számos oka lehet. Hibás gyutacs, rossz érintkezés, tönkrement gyújtószerkezet, stb. Azonban mindegyik forgatókönyv egyezik egy valamiben: Ez a legveszélyesebb típusú hiba az összes közül, ugyanis nem tudni, hogy a motor teljesen tönkrement, vagy még mindig működőképes, netán a szilárd hajtóanyag már izzik, és bármelyik pillanatban végbemehet a láncreakció, ami felemeli a rakétát az indító állványról. Ha pedig ez akkor következik be, amikor a mérnökök közel merészkednek ismét az állványhoz, az rendkívül súlyos sérülést eredményezhet.

Szerencsére a versenycsapat rendelkezik egy rendkívül széleskörben alkalmazható “Abort” listával, ami pontosan ilyen helyzetekre készíti fel a csapattagokat. A Magyar Honvédség tüzészeivel közös megegyezés alapján harminc percet várakozott a csapat, hátha elindul a rakéta. Miután ez nem történt meg, óvatosan megközelítették a rakétát és áramtalanították az indítószerkezetet. (ahogy az “Abort” lista ezt előírta).

A hibát a gyújtószerkezet nem tökéletes gyulladása okozta, ami miatt a motor nem indult el. A csapat kijavította a problémát és a nap utolsó rakétája is sikeresen elindult majd elvégezte a feladatát és visszatért a földre.



[9.kép] Athéna Projekt rakéta elhagyja az indítóállványt

A hobbirakéta-kilövési biztonsági előírások folyamatos fejlesztése és javítása kulcsfontosságú annak érdekében, hogy a tevékenység továbbra is biztonságos maradjon, miközben lehetőséget biztosít a csapatok számára a versenyzésre és a tapasztalatszerzésre. Az eddigi munka és az extra információk alapján néhány javaslat és megfontolás merülhet fel a biztonsági előírások fejlesztésére. Rugalmas és alkalmazkodó szabályozások, mely során fontos figyelembe venni, hogy a különböző események és helyzetek különböző szintű biztonsági előírásokat igényelhetnek. A szabályozásoknak lehetővé kell tenniük a rugalmas alkalmazkodást az adott helyzetekhez és a körülményekhez. Képzés és tapasztalatszerzés, mely során a csapat tagjainak rendszeresen részt kell venniük továbbképzésen a biztonsági előírások és a feladatok végrehajtásával kapcsolatban. Az ellenőrzés és a visszajelzés mechanizmusainak továbbfejlesztése segíthet a munka minőségének ellenőrzésében és a hibák kijavításában, továbbá a listák struktúráját úgy tervezhetjük meg, hogy lehetőséget adjanak a feladatok szigorú sorrendben vagy prioritás alapján történő végrehajtására, a helyzettől függően. Végezetül, felkészültség és csoportdinamika: A versenycsapatnak fel kell készülnie a különböző helyzetekre, és tisztában kell lennie a személyi felelősségeikkel és a csoportdinamikával. Ez elősegíti a hatékony együttműködést és a felelősségi kérdések tisztázását. A hobbirakéta-kilövési biztonsági előírások folyamatos fejlesztése és finomhangolása segíthet abban, hogy a tevékenység biztonságos legyen, miközben lehetővé teszi a csapatok számára a kreativitás kibontakozását. Fontos, hogy a csapatok és a szervezők folyamatosan tanuljanak az előző tapasztalatokból és az esetleges problémákból, hogy továbbra is fejlesszék a biztonsági előírásokat és folyamatokat. A legfontosabb azonban a folyamatos odafigyelés és a biztonság iránti elkötelezettség, hogy mindenki biztonságban érezhesse magát a rakéta-kilövések során.

A CanSat verseny lebonyolítása rávilágított, hogy a BME Suborbitals egy olyan foglalkozást űz, amit megfelelő felkészüléssel, tapasztalattal, odafigyeléssel és elhivatottsággal könnyen lehet biztonságosan gyakorolni. Azonban bármely, most felsorolt tényező hiányzik vagy nem elégséges, az potenciálisan vezethet olyan balesetekhez, aminek hallására az egyetemi hallgatók inkább messziről elkerülik ezt a csodás elfoglaltságot, ami nem melleleg sok tagnak lényegesen több mint szimpla hobbi. Habár a hobbirakétázás lehet egyszerű szabadidős tevékenység is, amit lekicsinyített keretek között lehet akár a hátsó kertben is végezni, manapság az egyetemi versenycsapatok tagjai közül sokan ideális jövőképet látnak e hobbi mögött, mely annak tudható be, hogy a szóban forgó keretek felnagyításával olyan rakétákat lehet létrehozni és reptetni, mely valós tapasztalatot ad a projekten dolgozó mérnököknek. Ezt

a tapasztalatot számos űrügynökség keresi és támogatja a felvételi eljárásuk során. A Portugál Űrügynökség például aktívan támogatja az ország hobbirakétás csapatait, továbbá szervezője és támogatója európa legnagyobb rakétás versenyének is, az EuRoC (European Rocketry Challenge)-nek, amin a BME Suborbitals 2022-ben ötödik helyezést ért el.

Irodalomjegyzék

- 1: Hobbyrakéta történelem, Letöltve: <https://rocketeers.in/the-rise-and-rise-of-model-rocketry-a-brief-history-of-model-rockets/> (2023.10.05)
- 2: Brief history of rockets, Letöltve: https://www.grc.nasa.gov/www/k-12/TRC/Rockets/history_of_rockets.html (2023.10.07)
- 3: David E Brown (1989) Students' concept of force: the importance of understanding Newton's third law, Letöltve: <https://sci-hub.se/https://iopscience.iop.org/article/10.1088/0031-9120/24/6/007/pdf> (2023.09.10)
- 4: Ujhegyi Bence, Molnár Krisztián (2022): Űrsikló balesetek és okainak feltárása
- 5: BME Suborbitals, Letöltve: <https://suborbitals.bme.hu/#rolunk> (2023.10.10)
- 6: CanSat verseny információk, Letöltve: <https://www.esa.int/Education/CanSat> (2023.10.12)
- 7: Heister, Stephen D; Anderson, William E; Pourpoint, Timothée L; Cassady Joe; Cassady, Joseph R: „Rocket Propulsion”, 2019, Cambridge University Press, ISBN: 978-1-108-42227-7
- 8: PUKÁNSZKY BÉLA, MÓCZÓ JÁNOS: „Műanyagok” 2011, Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem Vegyészmérnöki és Biomérnöki Kar Fizikai Kémia és Anyagtudományi Tanszék, ISBN: 978-963-279-481-5
- 9: Brinley, Bertrand R: „Rocket Manual for Amateurs”, 1960, Ballantine Books,
- 10: Hickam, Homer H (2000). Rocket Boys. Random House Publishers, Inc. ISBN 0-385-33321-8.

Ábrajegyzék

- 1.kép: Hérón gömbje: <https://modelengines.info/aeolipile/>
- 2.kép: Congreve rakéta: <https://jamsedlacek.blog.idnes.cz/blog.aspx?c=204322>
- 3.kép: Fiatal hobbirakétások az ötvenes években: <http://hararocketry.org/hara/rockets-and-pants/>
- 4.kép: Hobbirakéta típusok: https://www.apogeerockets.com/Rocket_Motors/Rouse-Tech_Casings/29mm_Casings/RMS-29_100

5.kép: BME Suborbitals csapatlogó: Saját kép

6.kép: Project Athéna rakéta az indítóállványon a 2023-as CANSAT versenyen: Saját kép

7.kép: BME Suborbitals biztonsági jegyzőkönyv részlet: Saját kép

8.kép: A CanSat verseny első rakétájának roncsai: Saját kép

9.kép: Projekt Athéna rakéta elhagyja az indítóállványt: Saját kép