

Gáti Balázs

## UAV INNOVATÍV INDÍTÁSA – KORSZERŰ MEGOLDÁS A KÖZÉPKORBÓL

*A hajtógép a középkorban használatos ostromgép volt, amely a lövedéket az ellensúly helyzeti energiája segítségével indította magasán a föld fölött. Az AMORES (Autonomous MOBILE RE mote Sensing) projekt keretében kidolgoztunk egy erre alapuló módszert merevszárnyú, pilótánélküli eszközök biztonságos magasságban történő indítására. Elméleti kutatásaink szerint az UAV rendszer szállítógépjárművének helyzeti energiáját felhasználva elérhető a szükséges indítási sebesség, és megfelelő állásszög, hosszólésszög valamint pályaszög is biztosítható. Az elméletet terepi tesztek sorozatával ellenőriztük, és fejlesztettük tovább. Így a középkori példánál jelentősen egyszerűbb támaszrendszert és egy elektromos csörlővel működtetett mechanizmust fejlesztettünk ki, amely a berendezés telepítését és feljázását is el tudja végezni. Végeredményben egy egyszerű, karbantartásmentes és költséghatékony megoldást dolgoztunk ki merevszárnyú UAV-ok indítására, amely biztonságos magasságba képes emelni a légi eszközt az indítás során. A berendezés szabadalmi oltalom alatt áll.*

**Kulcsszavak:** UAV, katapult, trebuchet, többletest modell, prototípus, szabadalom

### BEVEZETŐ

A hajtógép („trebuchet”) olyan középkori ostromgép, amely egy parittyás mechanizmusból és egy ellensúlyból állt. A lövedék energiaszükségletét az ellensúly helyzeti energiájában tárolták. [1]



1. ábra Középkori hajtógép (trebuchet) [2]

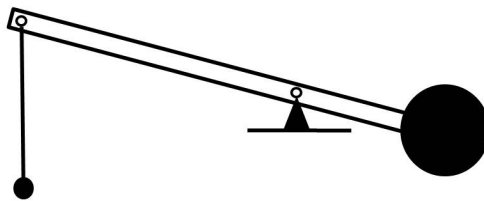
A hajtógépet jellemző, magasán történő indítás hasznos képesség a mai, merevszárnyú robotrepülőgépek indításánál is, mivel a széles körben alkalmazott katapultok [3][4][5], gumikötél indítás (bungee start), csak alacsonyan és kis pályaszöggel tudják indítani a légi eszközöket, amely így nagy, akadálymentes területet igényel. Ezzel ellentétben egy hajtógép jópár méter magasán, azaz bokrok, kisebb fák, tábori berendezési tárgyak, kisebb épületek fölött bocsájtotta pályára a lövedéket. Így elkezdtek vizsgálni, hogy a hajtógép elve használható-e merevszárnyú robotrepülőgépek indítására.

## PARITTYÁS MECHANIZMUS

A megnövekedett indítási magasság a hajtógép parittyás mechanizmusának eredménye, amely nehéz, falromboló lövedékek indítására volt ideális. Első lépésként azt vizsgáltuk, hogy egy hajtógépet optimalizálni lehet-e a viszonylag könnyű és lassú UAV-k céljára.

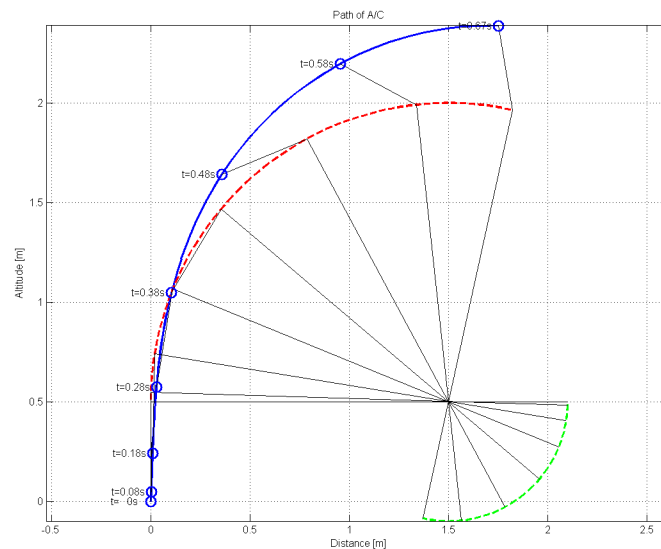
### Szimuláció

Az első közelítő vizsgálatok céljából az ellensúlyt és a repülőgépet is pontszerű tömegnek feltételeztük, és felállítottunk egy két testből álló rendszert. Az első testet a pontszerű repülőgép és a vele merev kapcsolatban álló, de tömeggel nem rendelkező parittyakötél alkotta, míg a másikat a pontszerű ellensúly és a tömeggel szintén nem rendelkező hajtókar.

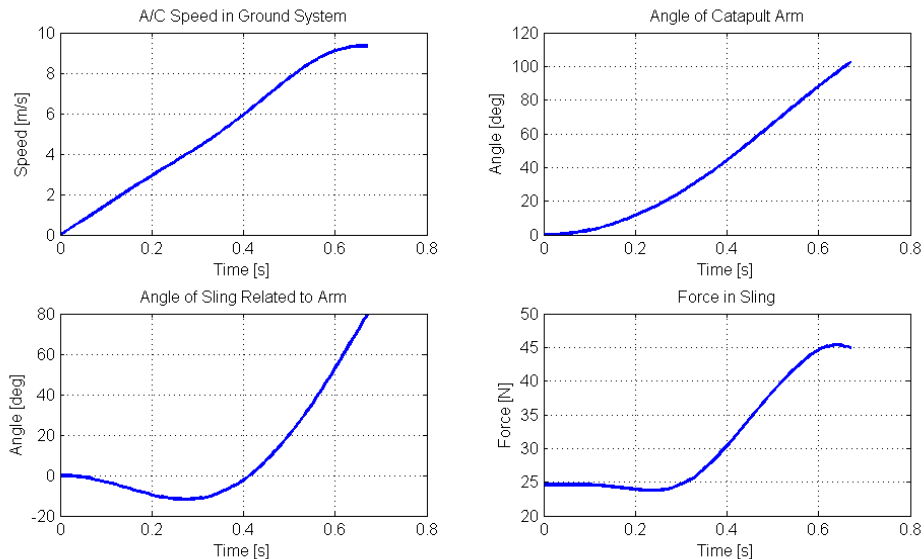


2. ábra Parittyás mechanizmus és ellensúly egyszerűsített modellje

A modell mozgását egy differenciálegyenlet rendszer segítségével számoltuk, melyet MATLAB környezetben implementáltuk, és a 4–5 rangú Runge-Kutta megoldóval integráltuk.



3. ábra A hajtógép egyszerűsített modelljével végzett szimuláció vázlatja



4. ábra Az indítási jellemzők alakulása az idő függvényében

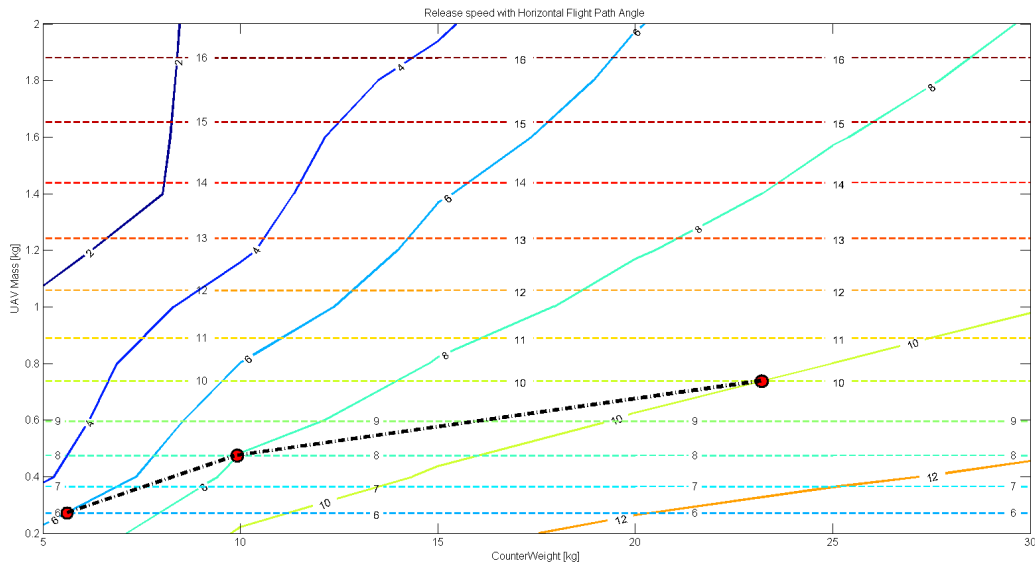
A 3. ábra mutatja be az indítás folyamatát, míg a 4. ábra a fontosabb jellemzők alakulását az indítás során. A hajítókar vízszintes helyzetben indul, majd az ellensúly elindul lefelé, és elfordítja a kart a forgástengely körül. Az indítás első fázisában a parittyakötél közel függőleges helyzetben marad, de  $t=0,4s$  környékén elkezd kilendülni az UAV-ot jelképező tömeggel együtt. A szimuláció végén a parittyá közel párhuzamos lesz a hajítókarral, és az UAV eléri a pálya felső holtpontját.

A szimulációk szerint a hajítókar és a parittyá közötti szög az indítás második fázisában szigorúan monoton nő, amely az UAV leoldása miatt fontos szempont. Az UAV sebessége a kezdeti pillanattól közel állandó gyorsulással növekszik, amely kedvezőbb a gumiköteles indításhoz, ahol rögtön a kioldás után kiemelkedő gyorsulás tapasztalható. A parittyában ébredő erő eleinte közel állandó, majd fokozatosan emelkedni kezd a második fázisban, de kiugró érték itt sem tapasztalható.

Ezek alapján folytattuk a vizsgálatot, és a szimuláció bemenő paramétereinek hatását vizsgáltuk a szimuláció eredményére:

- ellensúly tömege;
- hajítókar hossza;
- forgástengely helye;
- parittyá hossza;
- UAV tömege.

majd felállítottunk egy táblázatot a sikeres indítást eredményező paraméterkombinációról.



5. ábra A szükséges és a rendelkezésre álló sebesség alakulása adott geometriájú UAV esetén

Az 5. ábrán látható diagram a szükséges és a rendelkezésre álló sebesség kapcsolatát mutatja egy adott geometriájú hajtógép és UAV (szárnyfelület  $S=0,1\text{m}^2$ , max. felhajtóerő tényező  $C_{L\text{max}}=1,2$ , tengerszint feletti magasság  $H=0\text{m}$  MSL) esetében különböző nagyságú ellensúly (vízszintes tengely) és felszálló tömeg (függőleges tengely) esetében. A színes folytonos vonalak kötik össze azokat a felszálló tömeg – ellensúlytömeg értékpárral jellemzett pontokat, melyek esetében a hajtógép ugyanakkora indítási sebességet biztosít (isovelocity görbék). A vonalakon látható szám az elérhető sebességet mutatja m/s mértékegységben. A szaggatott vonalak egy adott (a függőleges tengellyel alkotott metszéspontjukban leolvasható) felszálló tömeg esetén érvényes átesési sebességet mutatják, és azért vízszintesek, mert ez nem függ a katapult jellemzőitől, így az ellensúly tömegétől sem. Három vörös pontot helyeztünk el a diagramban, ahol azonos sebességhez tartozó folytonos és szaggatott vonalak metszik egymást (6 m/s, 8 m/s, 10 m/s) Ezekben a pontokban a hajtógép által biztosított sebesség megegyezik az UAV minimális sebességével. A diagramból kiolvasható, hogy a vizsgált szárnyfelülettel rendelkező UAV 0,5 kg felszálló tömeg esetén 10 kg ellensúllyal indítható. (Középső vörös pont.) Ha a felszálló tömeget 50%-kal megnöveljük (0,75 kg), akkor a sikeres indításhoz már 23,5 kg ellensúlyra van szükségünk, mivel nemcsak a gép tömege növekszik, hanem az átesési sebessége is, és ezzel az indításhoz szükséges sebesség is.

## Validáció

A szimuláció eredményének validálása érdekében építettünk egy kis hajtógépet, melyet különböző ellensúlyokkal lehetett felszerelni. Figyeltünk rá, hogy az ellensúlyok a rögzítés tengelye körül csapágyazva el tudjanak fordulni, és így az ellensúly ne forduljon el a hajtókarral az indítások során, mivel ebben az esetben a forgásból származó redukált tömeg gyorsítását is figyelembe kellett volna venni, amit a szimulációban elhanyagoltunk (pontoszerű ellensúly).

Egy strapabíró, EPP habból készült szabadon repülő modellel végeztük az első indításokat.



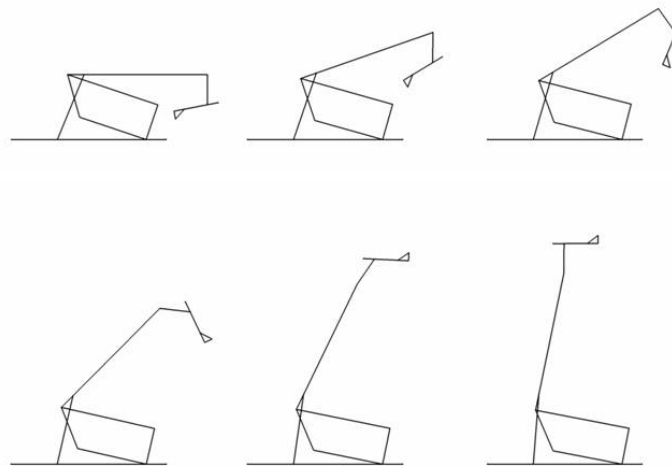
6. ábra Indítás a hajtógép kicsinyített modelljével

Az UAV egyszerű leoldását a katapult kar és a parittyá kötél közötti szög szigorú, monoton növekedése teszi lehetővé. (4. ábra) A megoldás szintén a közepkorból származik, és csak enyhén kellett módosítani az UAV alkalmazásokhoz, miközben meg lehetett tartani az egyszerűségét és megbízhatóságát: a hajtókar végére egy fémtüskét helyeztünk el (kioldótüske), melyre ráhúzzuk a parittyá végére rögzített fém karikát. A kioldás akkor történik, amikor a parittyakötél olyan szögbe ér a karhoz képest, hogy a karika lecsúszik a kioldótüskéről. A kioldás pillanatát a kioldótüske szögével lehet pontosan behangolni.

## MOBIL HAJÍTÓGÉP

### Felépítés

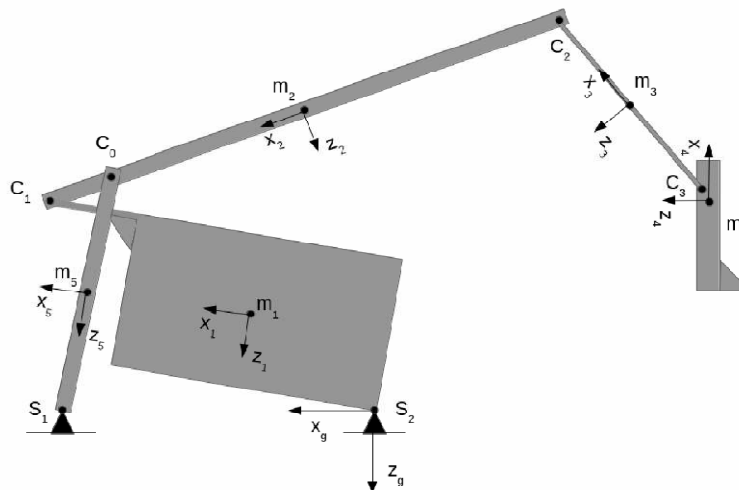
A kicsinyített modellel végzett ígéretes kezdeti tesztek után összegyűjtöttük egy ésszerűen használható, 1:1 arányú hajtógéppel szemben elvárt követelményeket, amellyel egy kb. 10 kg tömegű UAV indítható. A legfontosabb követelmény a mobilitás volt: az eszköznek könnyen szállíthatónak és könnyen telepíthetőnek kell lennie, hogy versenyképes legyen a jelenlegi megoldásokkal szemben. Ez a középkori hajtógépekről nem jelenthető ki az ellensúly és a robosztus állvány miatt (1. ábra). Azonban a követelmények teljesíthetőnek tűntek, ha a szállító jármű (szgk., terepjáró, kisteherautó) alkotja az ellensúlyt, amely az UAV rendszer elemeit és személyzetet is szállítja. Ezen kívül a középkori hajtógép nehéz állványzatát is könnyíteni és egyszerűsíteni kellett, mert nem lesz versenyképes a megoldás, ha több ember vagy drága motorok és/vagy aktuátorok szükségesek a mozgatáshoz, telepítéshez. A 7. ábrán látható szabadalmaztatott megoldás a szállító járművet ellensúlyként is használja, ugyanakkor kiváltja vele az állvány nagy részét is. A hajtógép működése a „lebegő karos” hajtógéphez áll a legközelebb [6], mivel nincs egy központi forgástengely, de itt görgők és pálya helyett továbbra is egyszerű csapágyak biztosítják a kapcsolatot az elemek között.



7. ábra A mobil hajtógép kinematikai vázlata

Ez a megoldás meglehetősen rendhagyónak tűnik, de ötvözi a magasan történő indítás biztonságát a várhatóan alacsony beszerzési és fenntartási költségekkel. Nincs szükség különleges, nagy teljesítményű energiatermelő eszközökre (pneumatika, hidraulika, elektromos gyorsító motor, gumikötegek stb.), amely tény alacsony gyártási költségeket és költséghatékony üzemeltetést vetít előre. A hagyományos katapultokra jellemző görgős kocsihoz szerelt bölcső, valamint a szennyeződésekre és sérülésekre érzékeny pálya elhagyása, illetve a végtelenül egyszerű karikás leoldó pedig a megbízhatóság terén bíztat jelentős előrelépést a jelenlegi katapultokhoz képest.

## Szimuláció



8. ábra A mobil hajtógép többtest modellje

A mobil hajtógép tipikus, több testből álló rendszer, melyek elmélete jól ismert. (Pl. [7]). A 8. ábra szerint a rendszer öt merev testtel modellezhető. Az  $m_1$  test a szállító jármű. Csak az egyik (első vagy hátsó) tengelye támaszkodik a talajra, míg a másikat felemeli az utólagosan rászertelt  $C_1$  kapcsolódási pontban ébredő erő. Az  $m_2$  test a hajtókar, az  $m_3$  test a parittyakötél. Az  $m_5$  test a támaszrúd, amely az  $m_2$  test  $C_0$  középső tengelyéhezkapcsolódik, miközben másik végével a talajra támaszkodik az  $S_1$  pontban. Ezeket és a többi kapcsolódási pontot is ideá-

lis csuklókkal modelleztük. Minden testre a saját súlya és a kapcsolódási pontokban ébredő erők hatnak. Az UAV ( $m_i$ ) az egyetlen tömeg, amelynél figyelembe vettük a rajta ébredő légerőket is.

A rendszer mozgásának leírásához az impulzus törvényt írhatjuk fel minden egyes testre a saját magához kötött súlyponti koordinátarendszerben.

$$m_i \cdot [\underline{\dot{V}}_i + \underline{\Omega}_i \times \underline{V}_i] = \underline{M}_{iG} \cdot \underline{G}_i + \sum_j (\underline{r}_{iCF_j} \times \underline{CF}_j) + \underline{SF}_k + \underline{M}_{iAi} \cdot \underline{AF}_i \quad (1)$$

ahol:

- $m_i$  –  $i$ . test tömege;
- $\underline{V}_i$  –  $i$ . test sebessége a saját, testhez kötött koordinátarendszerében;
- $\underline{\Omega}_i$  –  $i$ . test szögsebessége a saját, testhez kötött koordinátarendszerében;
- $\underline{M}_{iG}$  – transzformáló mátrix a földhöz kötött koordinátarendszerből az  $i$ . testhez kötött koordinátarendszerbe;
- $\underline{G}_i$  –  $i$ . test súlyereje a földhöz kötött koordinátarendszerében;
- $\underline{r}_{iCF_j}$  – kapcsolati erő a  $C_j$  kapcsolódási pontban az  $i$ . testhez kötött koordinátarendszerben;
- $\underline{SF}_k$  – kapcsolati erő az  $S_k$  támaszpontban az  $i$ . testhez kötött koordinátarendszerben;
- $\underline{M}_{iAi}$  – transzformáló mátrix az  $i$ . test mozgásvektorához kötött koordinátarendszeréből a saját magához kötött test koordináta rendszerbe;
- $\underline{AF}_i$  –  $i$ . testen ébredő légerő a saját mozgásvektorához kötött koordinátarendszerében.

A perdület egyenletet is fel kell írni minden testre szintén test koordinátarendszerben.

$$\underline{I}_i \cdot \underline{\dot{\Omega}}_i + \underline{\Omega}_i \times \underline{I}_i \cdot \underline{\Omega}_i = \sum_j (\underline{r}_{iCF_j} \times \underline{CF}_j) + \underline{r}_{iSF_k} \times \underline{SF}_k + \underline{r}_{iAi} \times (\underline{M}_{iAi} \cdot \underline{AF}_i) + \underline{AM}_i \quad (2)$$

ahol:

- $\underline{I}_i$  –  $i$ . test tehetetlenségi nyomatéka a saját, testhez kötött koordinátarendszerében;
- $\underline{r}_{iCF_j}$  –  $i$ . test súlypontjából a  $C_j$  kapcsolódási pontba mutató helyvektor a saját test koordinátarendszerében felírva;
- $\underline{r}_{iSF_k}$  –  $i$ . test súlypontjából az  $S_k$  támaszpontba mutató helyvektor a saját test koordinátarendszerében felírva;
- $\underline{r}_{iAi}$  –  $i$ . test súlypontjából a saját aerodinamikai középpontjába mutató helyvektor a saját test koordinátarendszerében felírva;
- $\underline{AM}_i$  –  $i$ . testre ható aerodinamikai nyomaték a saját test koordinátarendszerében felírva.

Az UAV-ra ható  ${}_i AF_i$  és  ${}_i AM_i$  értékét egy általános, 10kg-os kategóriába eső UAV-nak az XFLR5 alkalmazás [8] segítségével kiszámolt tényezői ( $C_L$  felhajtóerő tényező,  $C_D$  ellenállás tényező,  $C_m$  nyomatéki tényező) alapján számoltuk. A tényezők meghatározásához az állásszöget minden időlépésben kiszámítottuk az UAV-ot modellező  $m_5$  test mozgásjellemzői alapján.

A kapcsolódási pontok által létrehozott kényszereket egy-egy ideális csuklóval modelleztük, amely megakadályozza a két test elmozdulását egymáshoz képest, így a kapcsolódási pont gyorsulása a két testben felírva egyenlő:

$$\underline{M}_{Gi} \left[ {}_i \dot{V}_i + {}_i \Omega_i \times {}_i V_i + {}_i \dot{\Omega}_i \times {}_i r_{iCk} + {}_i \Omega_i \times ({}_i \Omega_i \times {}_i r_{iCk}) \right] = \underline{M}_{Gi} \left[ {}_i \dot{V}_i + {}_i \Omega_i \times {}_i V_i + {}_i \dot{\Omega}_i \times {}_i r_{iCk} + {}_i \Omega_i \times ({}_i \Omega_i \times {}_i r_{iCk}) \right] \quad (3)$$

ahol:

- ${}_i r_{iCk}$  –  $i$ . test súlypontjából a  $C_k$  kapcsolódási pontba mutató helyvektor a saját test koordináta rendszerében felírva;
- $\underline{M}_{Gi}$  – transzformáló mátrix az  $i$ . testhez kötött koordináta rendszerből a földhöz kötött koordináta rendszerbe.

Az  $S_1, S_2$  támaszpontok olyan kapcsolódási pontok, ahol az egyik test a talaj, így itt a gyorsulás zérus:

$$\underline{M}_{Gi} \left[ {}_i \dot{V}_i + {}_i \Omega_i \times {}_i V_i + {}_i \dot{\Omega}_i \times {}_i r_{iSFk} + {}_i \Omega_i \times ({}_i \Omega_i \times {}_i r_{iSFk}) \right] = \underline{0} \quad (4)$$

Végeredményben az egyenletrendszer öt impulzus egyenletet (1) és öt perdület egyenletet (2) tartalmaz a rendszert alkotó öt testnek megfelelően, valamint hat kényszer egyenletet a négy kapcsolódási pontnak (3) és a két támaszpontnak (4) megfelelően. Az egyenletek átrendezésével a következő alakú differenciálegyenlet rendszerre juthatunk:

$$\underline{A} \cdot \dot{x} = \underline{b}(x) \quad (5)$$

Az ismeretleneket illetve azok deriváltjait tartalmazó vektor a következőképpen néz ki:

$$\dot{x} = [{}_1 \dot{V}_1; {}_1 \dot{\Omega}_1; \dot{\psi}_1; \dot{\theta}_1; \dot{\phi}_1; \dot{P}_1; \dots; \dots; \dots; \dot{\psi}_5; \dot{\theta}_5; \dot{\phi}_5; \dot{P}_5; {}_0 CF_0; {}_1 CF_1; {}_2 CF_2; {}_3 CF_3; {}_1 SF_1; {}_2 SF_2] \quad (6)$$

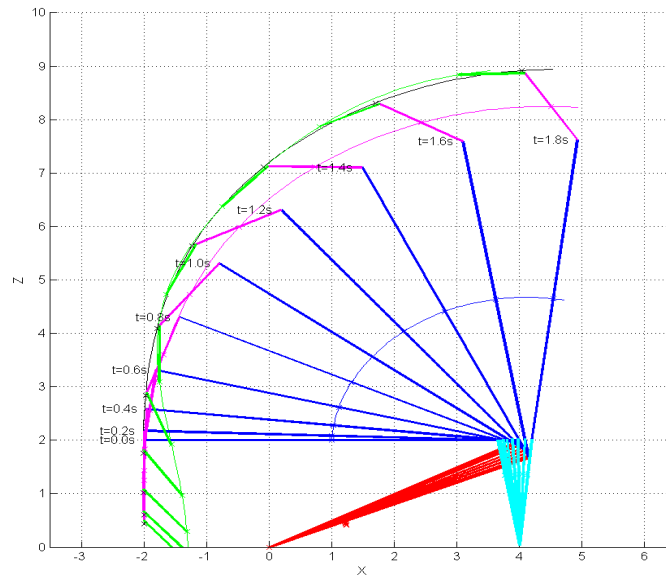
ahol:

- $\psi_i, \theta_i, \phi_i$  – az  $i$ . test helyzetét leíró Euler szögek;
- ${}_i P_i$  – az  $i$ . test súlypontja a saját magához kötött koordináta rendszerben leírva;
- ${}_i CF_k$  – kapcsolati erő a  $C_k$  kapcsolódási pontban az  $i$ . testhez kötött koordináta rendszerben;
- ${}_i SF_k$  – kapcsolati erő az  $S_k$  támaszpontban az  $i$ . testhez kötött koordináta rendszerben.

Az ismeretlenek deriváltjait tartalmazó vektor csak azért tartalmazza az erőket, hogy minden lépésben rendelkezésre álljanak. Az így kialakult egyenletrendszer (5) mindkét oldalát meg-

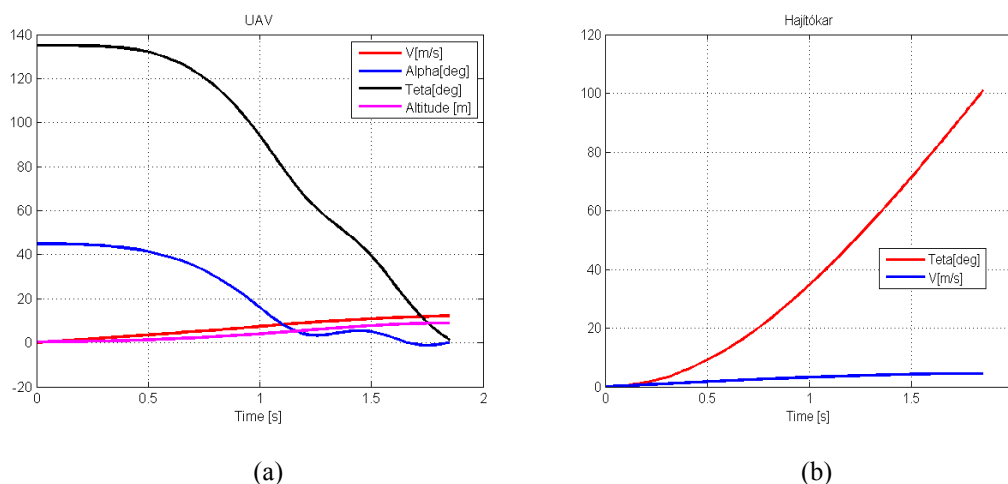


szorozva az  $\underline{A}$  mátrix numerikusan számított inverzével megkapjuk az ismeretlenek deriváltját. A már említett Runge-Kutta megoldót alkalmazva az ismeretlenek alakulása kiszámítható.



9. ábra Mobil hajtógép működésének szimulációja

A 9. ábra egy tipikus indítási folyamatot mutat be a mobil hajtógéppel. A zöld vonalak az UAV-ot jelképezik, a lilák a parittyakötelet, a kékek a hajtókart, a világoskékek pedig a támasz rudat. A járművet a piros vonal érzékelteti, amely a jármű kerekének földre támaszkodó pontját (vonal bal végpontja) köti össze az utólag felszerelt kapcsolódási ponttal (vonal jobb végpontja), amihez a hajtókar is csatlakozik.



10. ábra Az UAV (a) és a hajtókar (b) paramétereinek alakulása az indítás során

A szimuláció kiszámítja az indítás összes jellemzőjét, és így lehetővé teszi, hogy kiterjedten vizsgáljuk a szimuláció paramétereinek hatását az UAV leoldására és önálló repülésének kezdetére. A „Parittyás mechanizmus” főfejezet „Szimuláció” alfejezetében említett paramétereken túl már az UAV paramétereinek hatását is tudtuk vizsgálni, úgymint:

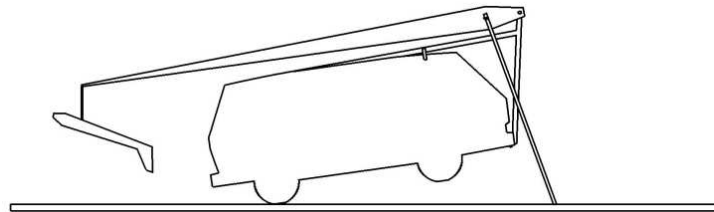
- felületi terhelés;
- poláris;
- súlypont;
- magassági kormány szöge;

- parittyakötél pozíciója a repülőgépen;
- kiinduló pozíció és helyzet.

Ugyanis ezek a paraméterek mind befolyásolják az UAV pályaszögét, sebességét és az állás-zögét az önálló repülés első pillanatában. A vizsgálatra a parittyaleoldásának optimális pillanatának meghatározásához van szükség. Ha túl korán válik önállóvá az UAV, akkor túl kicsi lesz a sebessége és túl meredek a pályaszög, amely az átesés veszélyét hordozza magában. Túl későn történő leválás esetén a pályaszög negatívvá válhat, és az UAV a talaj felé indul nagy sebességgel, amely szintén géptöréshez vezethet, annak ellenére, hogy az UAV viszonylag magasan indul.

### **A teljes méretű „proof-of-concept” változat megvalósítása**

A sikeres szimulációk alátámasztották, hogy a mobil hajtógép működőképes, így megkezdtük a teljes méretű változat kifejlesztését. Ennek első változatát a számítások alapján optimálisnak tűnő méreteknél nagyobbra terveztük, hogy lehetőségünk legyen különböző kar arányokkal és forgástengely pozíciókkal is tesztek végezni a szimuláció validálására (11. ábra). Szállító gépjárműnek (és ellensúlynak) egy öreg, harmadik generációs VW Transportert választottunk, mert alacsony ára mellett a robosztus és a kevésbé formatervezett karosszéria ideális volt a szükséges csatlakozás pontok kialakítására, továbbá kellő térfogatot biztosított a felszerelések és a személyzet szállítására.



11. ábra A teljes méretű mobil hajtógép elrendezése

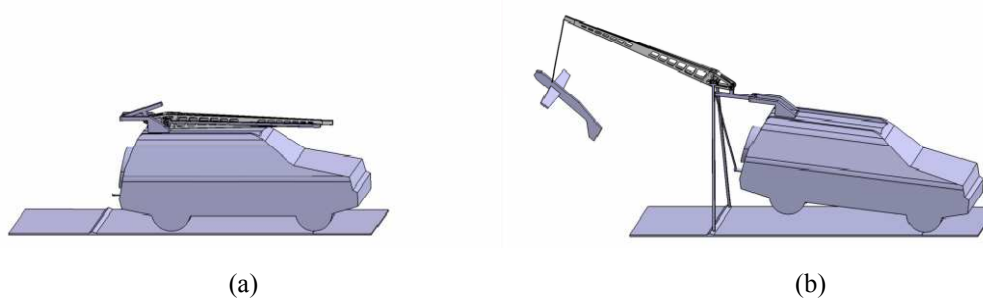
Az első teszt alkalmával lépésről-lépésre növeltük a karok arányát, és ezzel a gyorsító nyomatékot, illetve csak ballaszt súlyokat hajtottunk. Ezzel a valóságban is meggyőződünk a berendezés kellő szilárdságáról és megbízhatóságáról. Ezzel validáltuk is a szimulációt, mert megbizonyosodtunk, hogy a valóságban is képesek vagyunk nagyobb tömegeket hajítani. Következő lépésként megkezdtük a beállítások megkeresését a kívánt tömeg, sebesség, és pályaszög eléréséhez. Erre a szimuláció több bizonytalan bemenő paramétere miatt volt szükség, ugyanis nem ismertük pontosan a gépjármű tömegét, súlypontját, tehetetlenségi nyomatékát. A videófelvevételek elemzésével végzett verifikálás tapasztalatai alapján kiegészítettük a modellt a hajtókar légellenállásával is. Miután a szimuláció megegyezett a valósággal, áttértünk szabadon repülő és távirányítású repülőgépek indítására, hogy a repülőgépek modelljét verifikáljuk. A verifikálás módszerére a cikk terjedelmi korlátai miatt nincs lehetőség kitérni (12. ábra).



12. ábra Távirányítású repülőgép indítása

## Prototípus

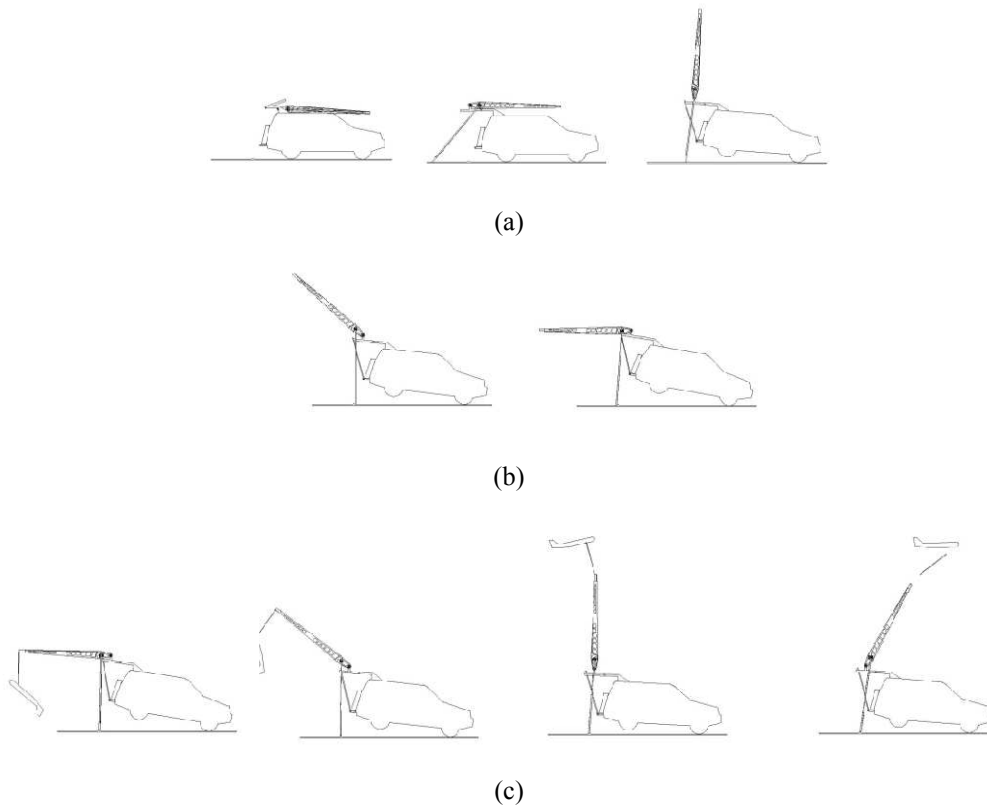
A teljes méretű, proof-of-concept változat ígéretes eredményei alapján eldöntöttük, hogy egy gazdaságosan üzemeltethető, optimális prototípust is fejlesztünk, melynek alkatrészei felhajthatók a tetőcsomagtartóra, hogy a gépjármű így megfeleljen a közúti közlekedés szabályainak, de ugyanakkor egy fő személyzet 5–10 perc alatt telepíteni tudja. A cél egy 10kg tömegű robotrepülőgép indítására alkalmas rendszer megvalósítása. Első lépésként már a gazdaságossági és a műszaki szempontokat is együtt értelmezve kerestünk optimális szállítóeszközt az UAV rendszer és a hajtógép prototípus számára. Ennek során kiderült, hogy át kell dolgoznunk a mobil hajtógép eredeti elrendezését, ha a közúti közlekedés szabályait, a gyors telepítés követelményét és a gazdaságosan üzemeltethető jármű iránti igényt is ki akarjuk elégíteni. A prototípus koncepcióját a 13. ábra szemlélteti.



13. ábra Prototípus koncepció rajza szállítási (a) és telepített (b) helyzetben

A prototípus esetében a kart le kellett rövidíteni az ilyen célra szóba jöhető, mai gépjárművek kisebb tömege miatt. Ez az indítási irány megváltoztatását is maga után vonta, azaz a hajtókar egyrészt a gépjármű hátulját emeli, másrészt indítási helyzetben a gépjárműtől elfele mutat, hogy több hely álljon rendelkezésre az UAV felkészítésére (13.b ábra). Ezzel a megoldással a potenciális közlekedési baleset során a gyalogosok vagy a szembe jövő járművekre veszélyt jelentő támaszrudak is távolabb kerülhetek a gépjármű elejétől. A teljes rendszer a tetőcsomagtartó rögzítési pontjaira csatlakozik kivéve a felfüggesztési pontot, amely a gépjármű alvázat emeli. A hajtógép telepítéshez elegendő egy fő, mivel a támaszrudak lehajtása után egyszerűen a gépjármű hátramenetével alaphelyzetbe hozható a rendszer (14.a ábra). A hajtógép feljázásához (14.b ábra) szükséges teljesítményt már egy tetőcsomagtartóra rögzített, kereskedelembe kapható gépjármű csörlő biztosítja, amely igény szerint az alaphelyzet-

be telepítést is el tudja végezni. Ennek meghibásodása esetén kétfős személyzet kézi erővel is fel tudja íjazni a hajtógépet. Az indítás menetét a 14.c ábra mutatja be.



14. ábra A telepítés (a), az íjazás (b) és az indítás (c) menete

A tervezési fázis után egy négy kerék meghajtású Honda CRV típusú járművet választottunk szállítójárműnek. A cikk írásáig kb. 30 indítást végeztünk [9], melyből 10 indítás már egy kétmotoros, 10 kg felszállótömegű, 3m fesztávolságú saját tervezésű és építésű robotrepülőgépet emelt a magasba.(15. ábra)



15. ábra Indítás a prototípussal

## ÖSSZEFOGLALÁS

A projekt célja egy indítóeszköz kifejlesztése volt, amely nemcsak felgyorsítja, hanem biztonságos magasságba is emeli a robotrepülőgépet. Megvalósíthatósági vizsgálatokat, modellkísérleteket, többlest szimulációkat, és validálást is elvégeztünk, hogy optimális megoldást találjunk. Végül egy újdonságerejű megoldás született, amely egyszerűbb, megbízhatóbb, gazdaságosabb a jelenleg alkalmazott megoldásoknál, és rendelkezik a biztonságos magasságban történő indítás képességével is. A megoldás szabadalom oltalom alatt áll.

***A kutatást a Nemzeti Kutatási, Fejlesztési és Innovációs Hivatal támogatta a KMR\_12-1-2012-0121 „Piacorientált kutatás-fejlesztési tevékenység” projekt keretében.***

### FELHASZNÁLT IRODALOM

- [1] SAIMRE, T.: Trebuchet – a gravity-operated siege engine. In Estonian Journal of Archaeology, 2006, vol. 10, No.1, pp. 61-80,ISSN 1406-2933
- [2] WIKIPEDIA THE FREE ENCYCLOPEDIA: Trebuchet, (online) url:<https://en.wikipedia.org/wiki/Trebuchet> (2015.03. 21.)
- [3] RECK, R. First Design Study of an Electrical Catapult for Unmanned Air Vehicles in the Several Hundred Kilogram Range. *IEEE Transactions of Magnetics*, 2003, vol. 39, No.1, pp. 310-312, ISSN 0018-9464
- [4] AIR & SPACE EUROPE: UAVs: Launch and recovery., 1999, vol. 1, No. 5–6, pp. 59-62, ISSN 1290-0958
- [5] MILLER, B., VALORIA, C., WARNOCK, C, COUTLEE, J.:Lightweight UAV Launcher. Final project report. San Luis Obispo, California, USA, California Polytechnic State University, 2014, 51 p.
- [6] WIKIPEDIA THE FREE ENCYCLOPEDIA: Floating arm trebuchet, (online) url:[https://en.wikipedia.org/wiki/Floating\\_arm\\_trebuchet](https://en.wikipedia.org/wiki/Floating_arm_trebuchet)(2015.04.20.)
- [7] SHABANA A. A.: Dynamics of Multibody Systems. Chicago, Cambridge University Press, 1989, 384 p. , ISBN 978-1-107-04265-0
- [8] MESCHIA, F.: Model analysis with XFLR5. In RC Soaring Digest, 2008, vol. 25, No. 2, pp. 27-51.
- [9] VIMEO Assisted Vertical Take-off (online) url:<https://vimeo.com/148018204> (2015. 11. 02.)

---

### ***INNOVATIVE LAUNCH OF A UAV – UP-TO-DATE SOLUTION FROM THE MIDDLE AGES***

*A trebuchet was a kind of siege engine in the Middle Ages that launched the projectiles well above the ground. The AMORES (Autonomous MOBILE REmote Sensing) project found a trebuchet-like solution to launch UAVs in safe altitude. The feasibility studies were based on a multibody model described with a non-linear differential equation system. Studies showed, that proper angle of attack, pitch angle, flightpath angle and airspeed can be provided for the UAV, while the energy demand of the launch can be stored in the potential energy of the transport vehicle of the UAS. The theory was verified by a series of launch tests. Subsequently a simplified supporting structure was constructed and a commercial car winch was applied to provide power for the installation and arming of the device. This way the device became a simple, maintenance free and cost effective solution for UAV launch with unique high release feature. The patent of the solution is pending.*

***Keywords:*** UAV, launching device, trebuchet, multibody system, prototype, patent

---



[http://www.repulestudomany.hu/folyoirat/2015\\_3/2015-3-03-0229\\_Gati\\_Balazs.pdf](http://www.repulestudomany.hu/folyoirat/2015_3/2015-3-03-0229_Gati_Balazs.pdf)

