

TANULÁSI GÖRBE ELEMZÉSEK A SPACEX PÉLDÁJÁN¹

LEARNING CURVE ANALYSES ON THE EXAMPLE OF SPACEX

Magyar AlexandraVállalatgazdaságtan MSc szakos hallgató
Debreceni Egyetem Gazdaságtudományi Kar
alexandra07638@gmail.com**ÖSSZEFOGLALÁS**

A kutatás célja az volt, hogy egy viszonylag új ágazaton, a magánűrriparon belül kimutassam a tanulási görbe jelenlétét. Két fő hipotézisem arra fókuszál, hogy létezik-e tanulási görbe a vizsgált vállalat összes rakéta fellövéseire nézve, valamint specifikusan, a Falcon 9-es rakéta esetében is. A vizsgálat során információt gyűjtöttem a SpaceX magánűrripari társaság nyilvános honlapjáról 2006-tól 2023. június 30-áig. Az eredmények alapján megállapítható, hogy létezik tanulási görbe mind a SpaceX fellövéseit, mind pedig ezen belül a Falcon 9 indításait tekintve. A fellövések gyakorisága és a két indítás között eltelt idő szignifikáns kapcsolata is megfigyelhető. Emellett összefüggés van a Falcon 9 sikeres landolásai között eltelt idő és a fellövések száma között. Összességében elmondható, hogy a SpaceX egy tanuló szervezet, amely nagy hangsúlyt fektet az új megoldások kidolgozására, miközben előtérbe helyezi a költségsökkentést és a hatékonyságot.

Kulcsszavak: tanulási görbe, űripar, SpaceX, Falcon 9, űrhajó

ABSTRACT

The aim of this research was to demonstrate the presence of the learning curve in a relatively new sector, the private industry. My two main hypotheses focus on the existence of the learning curve in all rocket launches of the company under this study, and more specifically, in the Falcon 9 rocket launches. For the study, I collected information from the SpaceX private space company's public website from 2006 to June 30, 2023. The results show the existence of a learning curve for both SpaceX launches and, within that, Falcon 9 launches. There is also a significant relationship between the frequency of launches and the time between the two launches. There is also a correlation between the time that passes between successful landings of the Falcon 9 and the number of launches. Overall, SpaceX is a learning organisation with a strong focus on developing new solutions while prioritising cost reduction and efficiency.

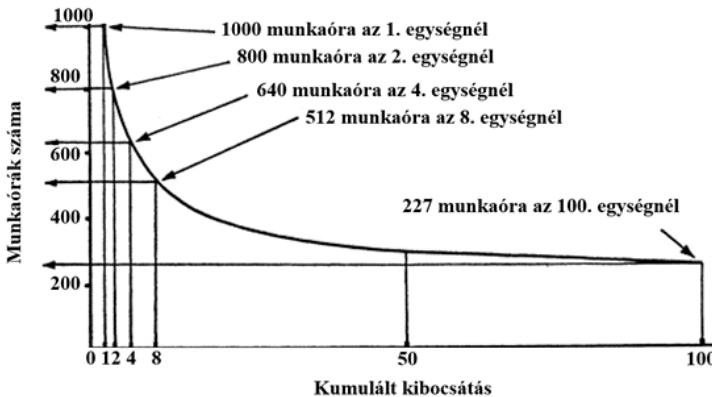
Keywords: learning curve, space industry, SpaceX, Falcon 9, spaceship

BEVEZETÉS

A tudás mennyisége és annak minősége gazdasági érték (Vass, 2020). A változó üzleti környezetben a fejlődés képessége, a rugalmasság és az előrelátó tervezés kritikus fontosságú a versenyben maradás szempontjából (Bencsik, 2015). A szervezeti tanulás egy olyan folyamat, amely során a szervezet képes a felhalmozódott tapasztalatok alapján új tudást, új ismereteket létrehozni és azokat a szervezeten belül elterjeszteni, hogy azok elérhetőek és felhasználhatók legyenek a többi munkatárs számára is (Bencsik & Bognár, 2003). A tapasztalatszerzés révén a szervezetek megtanulják, hogy hatékonyabban hajtsák végre a feladatokat, csökkentve az egységnyi kibocsátás előállításához szükséges időt. Ezt az egyszerű és intuitív koncepciót matematikailag a tanulási görbe segítségével fejezzük ki (Loerch, 2013).

¹ I A tanulmány a szerző „Tanulási görbe elemzések a SpaceX példáján” című szakdolgozata alapján készült (konzulens: Kun András István), amelyet 2023. 10. 25-én nyújtott be a Debreceni Egyetem Gazdaságtudományi Karán.

Szervezeti szinten a tanulási görbéket először Theodore Paul Wright dolgozta ki formálisan 1936-ban, amikor megfigyelte, hogy minél több repülőgépet gyártottak le, annál jobban csökkentek az összeszerelési költségeik (Jaber, 2011). Wright megfigyelte, hogy az egységenkénti kumulatív átlagos idő egy fix százalékkal csökken minden egyes alkalommal, amikor a kumulatív termelés megduplázódik (Steven, 1999). A 1. ábra egy 80 %-os tanulási görbét mutat be (Hartley, 1965). A görbe alakja a körülményektől függően változhat, de általában egy hatványfüggvényt követ, amely kezdetben a teljesítmény meredek javulását mutatja a tudás megszerzésével, majd ellaposodik, ahogy egyre inkább nő a tapasztalat. Idővel lassabb teljesítmény-növekedés (műveletidő-csökkenés következik be), ahogy a további tudás megszerzése egyre nehezebbé válik (Stevenson, 2018).



1. ábra: 80%-os tanulási ráta a repülőgép gyártásban

Forrás: Hartley, 1965

Az n -edik elem kibocsátásához szükséges idő meghatározására szolgáló egyenlet azon alapul, hogy az egységnyi műveleti idő és az ismétlések száma között lineáris kapcsolat áll fenn, ha e két változót logaritmusban fejezzük ki. Az egyenlet a következő (Stevenson, 2018):

$$T_n = T_1 \times n^b \quad (1)$$

ahol,

T_n = az n -edik egységhez szükséges idő

T_1 = az első egységhez szükséges idő

$b = \log_2(p)$

p = fejlődési ráta.

A tanulási görbéket gyakran jellemzik fejlődési rátával (p), amely azt mutatja meg, hogy megduplázva a végrehajtott feladatok számát, hányad részére csökken a fajlagos végrehajtási idő. Ez a jelenség az alábbi törvényszerűséggel írható le (Argote, 2013):

$$p = 2^b \quad (2)$$

ahol, 'b' a tanulási görbe egyenletében az ismétlésszám (n) kitevője.

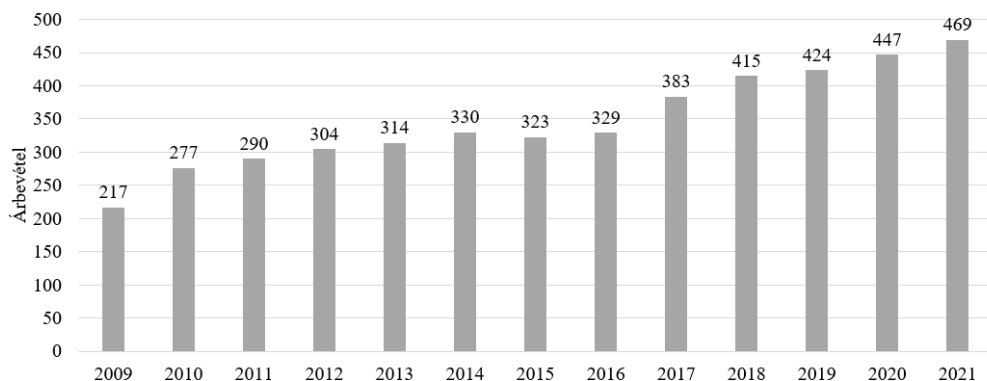
A tanulási görbéket a vállalatok belső működésének tervezésére és irányítására, valamint stratégiai döntések meghozatalára is használják (Argote, 2013). A tanulási hatás az ismétlődő összetett műveletekkel foglalkozó ágazatokban érvényesül, ilyen például a repülőgépipar, az elektronika, a gépjármű-gyártás és az építőipar. Egy másik ágazat, amely jelentős mértékben alkalmazza ezt az elemzési módszert, az űripár (Steven, 1999).

A II. világháború után Amerika és a Szovjet Unió vívta a legnagyobb versenyt az űr kutatás területén. Később több ország összefogásával, mint az USA, Oroszország, Japán, Kanada részvételével jött létre a Nemzetközi űrállomás, amely ma is kulcsfontosságú szerepet játszik a modern űrkutatásban (Tang & Wooten, 2018). Napjainkban a kormányzati szervezetek továbbra is szerves részét képezik az űrtevékenységeknek, azonban az elmúlt évtizedben egyre nagyobb támogatást nyert az az elképzelés, mely szerint a magánvállalkozások szerepe kiterjedhet az űrinfrastruktúra és a hordozórakéták irányítására (Genta, 2014).

A NASA kereskedelmi célú orbitális szállítási szolgáltatások (COTS) programja egy olyan kezdeményezés volt, amelynek célja a magánüzemeltetésű űrszállítási szolgáltatások fejlesztésének ösztönzése. A NASA 2006-ban indította el ezt a programot azért, hogy versenyképes piacot teremtsen a Nemzetközi Űrállomásra (ISS) irányuló teherszállítás számára. 2006-ban a NASA két vállalatot, a SpaceX-et és a Rocketplane Kistler-t választotta ki a COTS-programban való részvételre. A SpaceX sikeresen kifejlesztette a Falcon 1-es rakétát és a Dragon űrhajót, és végül 2012-ben az első magánfinanszírozású céggént szállítmányt küldött az ISS-re. Azóta is a vállalat a 2010-ben bemutatott Falcon 9-es típusú rakétájával szállítja a rakományt az űrállomásra (NASA, 2014).

Az űrügynökségek a tudományos és felfedező küldetések során a magánvállalkozásoktól vesznek igénybe indítási szolgáltatásokat. Ezek a vállalkozások pedig nemcsak megépítik a hordozórakétákat, hanem fel is juttatják őket az űrbe és a hasznos terhet pályára állítják a megrendelők igényei szerint. Szolgáltatásokat nem csak a kormányzati űrügynökségeknek nyújtanak, hanem kereskedelmi ügyfeleknek egyaránt, ezzel lehetővé téve az összekapcsolhatóságot, az időjárás-előrejelzést és az űrből történő adatgyűjtést (Genta, 2014).

Az űripár „olyan gazdasági szektor, amelynek termelési szolgáltatási profiljai, gazdasági érdekei, irányítási megoldásai, kapcsolatai az űrgazdasághoz, űrszektorhoz kötődnek” (KKM, 2021:105). Két fő részre osztható: „downstream” és „upstream”² szegmensre. A downstream szolgáltatások az űreszközök földi kommunikációjáért és az általuk biztosított adatok feldolgozásáért felelősek. Olyan tevékenységek tartoznak ide, amelyek űrtechnológiára épülő termékeket és szolgáltatásokat hoznak létre gazdasági és társadalmi haszon elérése érdekében (KKM, 2021). A downstream szolgáltatások jelenléte indokolja az upstream szegmens egyre nagyobb térnyerését és dinamikus növekedését. Az upstream ágazat növekedése és a világűrbe indított kis űreszközök – például az űrszondák vagy a műholdak – ugrásszerűen növekvő száma lendületet adott a megoldások – például a hordozórakéta-gyártás, vagy miniatürizált rendszerek – nyújtásában érdekelt vállalkozásoknak (Vernile, 2018).



² Az upstream és a downstream kifejezésre nem található magyar megfelelő, ezért a továbbiakban az angol megnevezéseket fogom használni.

2. ábra: **Az űrgazdaság globális árbevétele 2009 és 2021 között (milliárd dollárban)**

Forrás: Statista.com (2023)

A 2. ábra szemlélteti a globális űrgazdaság árbevételét 2009 és 2021 között, amely az évek során növekedést mutat és 2021-ben eléri a 469 milliárd dollárt. A globális űrgazdaság legfontosabb ágazata 2021-ben a kereskedelmi űrtermékek és -szolgáltatások voltak, amelyek a teljes forgalom közel 48%-át tették ki. A COVID-19 világvárvány ellenére az elmúlt években világszerte nőttek a kormányok űrprogramokra fordított kiadásai, melyek 2020-ban világszerte 82,5 milliárd amerikai dollárt tettek ki, ami mintegy 16,5%-os növekedést jelentett az előző évhez képest (Statista, 2023).

A dolgozat Kun és munkatársai (2019) alapján határozta meg hipotéziseit.

Az 1. táblázat úgy épül fel, hogy az első oszlop tartalmazza azt a megfigyelést, amely indokolja a második oszlopban felállított hipotéziseket. A harmadik oszlop pedig a hipotézisek alhipotéziseit tartalmazza, amelyek megvizsgálható részekre bontják az előbbieket.

1. táblázat: **Megfigyelések és a felállított hipotézisek**

Megfigyelés	Hipotézis	
A legtöbb olyan vállalatnál, ahol ismétlésszerűen végeznek összetett műveleteket megtalálhatók a tanulási görbék (Steven, 1999) és a magyarázó változó leggyakrabban a kumulált volumen (Stevenson, 2018).	H1: Létezik tanulási görbe a SpaceX vállalat esetében.	H1.1: Összefüggés van a kumulált fellövesszám és az egyes fellövések között eltelt idő között.
Egy év alatt több fellövés is történik a vállalatnál, azonban nem egyenlő idő telik el két indítás között. Az üzleti év egyenetlenségeinek kiküszöbölésére használhatjuk az éves fellövesszám inverzét ($1/\text{éves fellövesszám}$).		H1.2: Összefüggés van a kumulált fellövesszám és az egy évre eső fellövések számának inverze között.
A vállalat rakétái közül a Falcon 9-es rendelkezik a legtöbb fellövéssel, ezért erre a rakétára leszűkítve is érdemes elvégezni a vizsgálatot, mint a H1.1 és a H1.2 esetében.	H2: A tanulási görbe létezik a Falcon 9-es rakétára szűkítve.	H2.1: Összefüggés van a Falcon 9-es rakéta kumulált fellövesszáma és az egyes fellövések között eltelt idő között.
A Falcon 9-est megpróbálják visszatéríteni a Földre, hogy újra fel tudják használni.		H2.2: Összefüggés van a Falcon 9-es rakéta kumulált fellövesszáma és az egy évre eső fellövések számának inverze között.
		H2.3: Összefüggés van a Falcon 9 sikeres landolásai között eltelt idő és a kumulált fellövesszám között.

Forrás: Saját szerkesztés

Kun és társai (2019) 2019-ig elemezték a fellövések adatait, azonban a dolgozatomhoz négy évvel több fellövési adatot gyűjtöttem.

ANYAG ÉS MÓDSZER

Elon Musk 2002-ben alapította meg Space Exploration Technologies-t, más néven a SpaceX-et, ami új értelmet adott a modern űrverseny fogalmának (SpaceX, 2023a). A vállalat arra a filozófiára épült, mely szerint az egyszerűség, a megbízhatóság és a költséghatékonyság szorosan összefügg egymással és ezt szem előtt tartva fejlesztik rakétaikat (SpaceX, 2021). A Falcon 9 egy újrafelhasználható, kétfokozatú rakéta, amelyet a SpaceX tervezett és gyártott emberek és hasznos terhek megbízható és biztonságos szállítására (SpaceX, 2021). Az újrafelhasználhatóság lehetővé teszi a SpaceX számára, hogy a rakéta legdrágább részeit ne kelljen ismét legyártania, ezzel csökkentve az űrbejutás költségeit (SpaceX, 2021). A SpaceX meg tudja különböztetni magát a versenytársaktól az újrafelhasználhatóság segítségével és ki tudott építeni egy olyan márkát, aminek a középpontjában a küldetések, a saját berendezések és a fejlesztőcsapatok használata áll (Herbert, 2018). 2008-ban a NASA a SpaceX Falcon 9 hordozórakétát és Dragon űrhajót választotta a Nemzetközi Űrállomás teherszállítási szolgáltatási szerződéséhez és azóta is stratégiaileg fontos együttműködésben állnak (SpaceX, 2021).

A tanulás által elérhető alacsony költségek másik kulcstényezője a fiatal, motivált, felsőfokú végzettségű, jelentős fizetetlen, túlórákra is hajlandó munkaerő. A vállalati vezetés helyet biztosít a tudás megszerzésére, megosztására és arra biztatja a fiatal mérnököket, hogy tanuljanak másoktól és dolgozzanak ki új módszereket a problémák megoldására (Cantu & Lunsford, 2022).

A SpaceX közzé teszi fellövéseinek adatait, amellyel betekintést nyújtanak az űripar működésébe. Az általam gyűjtött információk a cég saját oldaláról, a <https://www.spacex.com/>-ról és a <https://nextspaceflight.com/> oldalról származnak. Ezekon az oldalakon megtalálható minden fellövés részletes leírása, amelyek az elemzés alapjául szolgálnak. A 2. táblázat szemlélteti az adatokat, amelyeket 2006-tól, az első SpaceX fellövéstől kezdve 2023. június 30-ig gyűjtöttem, majd Excel táblába rendeztem őket.

2. táblázat: Az elemzés alapjául szolgáló adatok

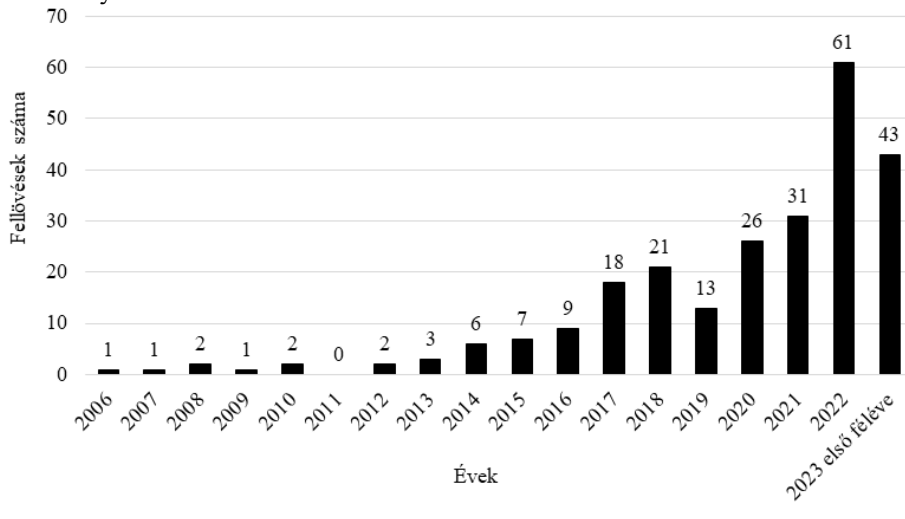
Változók	Leírás
Rakéta típusa	Falcon 1 / Falcon 9 / Falcon Heavy
Fellövés sorszáma	Hányadik SpaceX fellövés 2006 óta (a próba fellövések nem számítanak)
Dátum	Év, hónap, nap, perc
Kilövés eredménye	Sikeres / Sikertelen
Landolás eredménye	Sikertelen / Nem kísérelték meg / Óceáni landolás / Sikertelen óceáni platform landolás / Sikeres óceáni platform landolás / Sikertelen szárazföldi landolás / Sikeres szárazföldi landolás

Forrás: nextspaceflight.com és spacex.com adatai alapján saját szerkesztés

A tanulási görbe modelljét használtam a hatékonyság és a teljesítmény mérésére. A tanulási görbe matematikai számításaihoz a szakirodalmi részben ismertetett 1. és 2. egyenletet fogom használni. A vizsgálat lényege annak a ténynek a kimutatása, mely szerint ez a jelenség megfigyelhető a SpaceX vállalat fellövéseiben.

EREDMÉNYEK

Először az összes fellövést elemzem, majd a nagyobb fellövésszámmal rendelkező Falcon 9-es rakétával folytatom az eredmények bemutatását. A 3. ábrán az összes SpaceX fellövés száma látható 2006 és 2023 június 30. között éves bontásban. A hisztogram a Falcon 1-es, Falcon 9-es és a Falcon Heavy rakétákat tartalmazza.



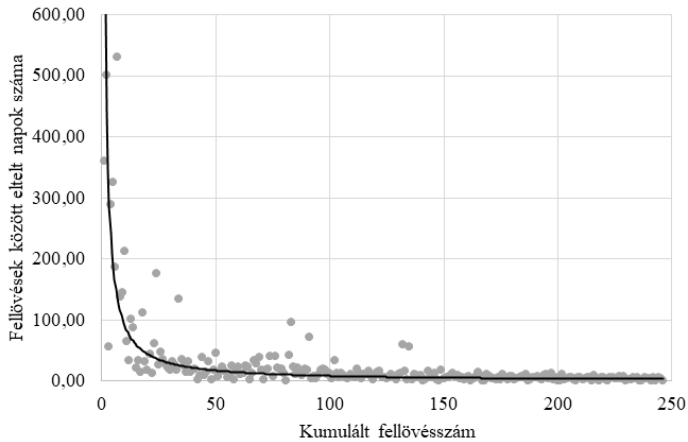
3. ábra: Az összes rakéta fellövéseinek száma 2006 és 2023 június 30. között évente

Forrás: Saját szerkesztés

A hordozórakéta fellövések kezdeti fázisaiban még csak 1-2 indítás volt megfigyelhető évente, azonban 2022-re ez a szám elérte a 61-et és folyamatosan növekedett tovább, ahogyan azt az ábra is mutatja. 2019-ben volt egy érdekes visszaesés, amikor mindössze 13 indításuk volt, szemben a 2018-as 21 indítással és a 2017-es 18 indítással. Bár több, mint 2016-ban és korábban, a tendenciának mégis növekedést kellett volna mutatnia az előző évekhez képest. Az okra nincs egyértelmű magyarázat, de az elmaradást valószínűsítik a cég egyéb olyan tevékenységei, amelyek nagyobb kockázattal és több technológiai fejlesztéssel jártak. Többek között két Falcon Heavy indításuk is volt 2019-ben és ekkor indult a Commercial Crew program részeként a Dragon 2 kapszula első, személyzet nélküli repülése. A Starlink program keretein belül 2 indítás is történt, amelyek egy év alatt a SpaceX-et a legnagyobb műholdhálózat üzemeltetőjévé tették, egy drámai új telepítési technológiának köszönhetően.

Az évek során Falcon 1-es, a Falcon 9-es és a Falcon Heavy rakétákat lőttek fel. A Falcon 1-es eszközt 2006-tól 2009-ig alkalmazták, majd 2010-ben mutatták be a Falcon 9-est, amellyel a mai napig dolgoznak. A Falcon Heavy első fellövése 2018-ban történt. Ez a típus nagyobb terhek feljuttatására képes és mivel a hasznos teher tömege nem minden esetben indokolja a nagyobb teljesítményű rakéta szükségességét, ezért ritkábban is használják. A 247 fellövésből 236 Falcon 9-es, 6 Falcon Heavy, 5 pedig Falcon 1-es típusal történt, vagyis a Falcon 9-es az indítások több, mint 95,55%-át teszi ki.

A 4. ábra az összes (sikeres és sikertelen) fellövés tanulási görbéjét ábrázolja 2006 és 2023. június 30. között, ahol a vertikális tengelyen a fellövések között eltelt tört napok száma, a horizontális tengelyen pedig a kumulált fellövésszám számai láthatók. Mivel előfordult, hogy egyetlen nap alatt két fellövést is végrehajtottak, így az indítások között eltelt idő egész napban kifejezve nulla lenne, ez indokolja a tört napok alkalmazását. Ezáltal eredményeink is pontosabbak lesznek.

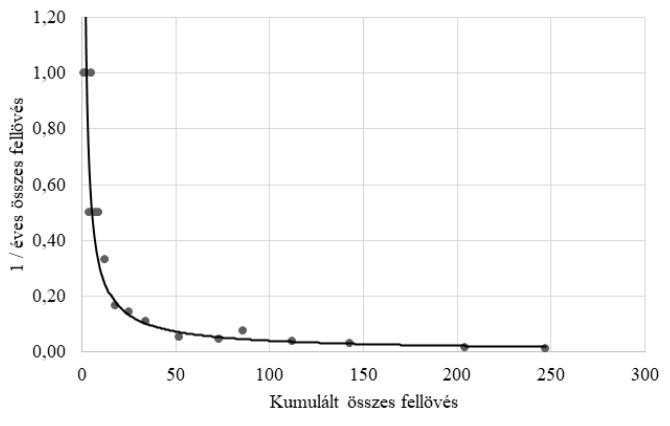


4. ábra: Az összes fellövés tanulási görbéje 2006 és 2023 június 30. között

Forrás: Saját szerkesztés

$$T_n = 966,66 \times n^{-1,028} \quad (3)$$

A függvényen megtalálhatók a tipikus tanulási görbe jellemzők. A fellövések kezdeti fázisában az eltelt napok száma magas, viszont az idő múlásával és az indítások gyarapodásával egyre csökken. Elérve a 150 fellövést, már nem látható olyan pont, amely abnormálisan messze áll a trendvonaltól. A tanulási görbéhez tartozó R^2 érték 0,5024, ami azt jelenti, hogy a függő változó, azaz a fellövések között eltelt napok számának varianciájából körülbelül 50,24%-ot sikerült megmagyarázni. A 'b' értékből a 2. egyenlet használatával meghatározható a fejlődési ráta, ami $2^{(-1,028)} = 49,04\%$. Ez az jelenti, hogy a fellövésszám duplázódásakor 50,96%-kal csökken a fellövések között eltelt idő. A T1 értékből pedig az is megállapítható, hogy az első indításhoz körülbelül 966,66 nap volt szükséges.



5. ábra: Fellövésekhez szükséges átlagos idő éves átlagban 2006 és 2023 június 30. között

Forrás: Saját szerkesztés

A 5. ábra szemlélteti, hogy milyen időközönként indítanak rakétákat éves vonatkozásban a kumulált fellövésszám függvényében. Ez a függvény a fellövések között eltelt átlagos időt mutatja éves szinten inverz módon, az invertálásra a hagyományos függvény alak eléréséhez van szükség. Ez azért fontos, mert ezáltal kiszűrhetők az éven belüli különbségek, ugyanis a fellövésszám

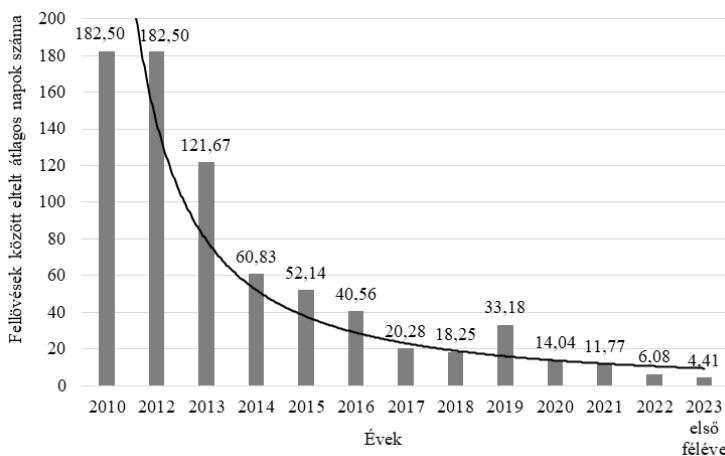
függhet az évszaktól, az időjárástól vagy attól, hogy éppen milyen üzleti év van és hány megrendelésük van. Emellett az ünnepnapokon nem hajtanak végre indításokat, elemezve a dátumokat észrevehető, hogy többek között sem karácsonykor és a függetlenség napján sem.

$$T_n = 2,0941 \times n^{(-0,855)} \quad (4)$$

Az R^2 érték alapján egy 70,25%-os magyarázó erő állapítható meg, ami 20 százalékponttal magasabb, mint a 11. ábrán látható tanulási görbéhez tartozó R^2 érték. A fejlődési ráta megállapításához a $2^{-0,855}$ képletet használva 55,29%-ot kapunk, amely 44,71%-os duplázódásonkénti csökkenést jelent.

Az összes fellövés elemzése után a nagyobb fellövésszámmal rendelkező Falcon 9-es rakéta indításainak vizsgálati eredményeit ismertetem. A SpaceX már számos sikeres fellövést hajtott végre az elmúlt évek során és ez a szám folyamatosan növekszik, ahogy a cég továbbra is aktív űrkutatási és űrhajzási projekteken dolgozik.

A 6. ábra azt szemlélteti, hogy évente átlagosan hány naponta lőnek fel rakétákat 2010 és 2023 június 30. között. Mivel az adatgyűjtést 2023 június 30-áig végeztem, ezért a számolást is a napokkal arányosan hajtottam végre, vagyis a fellövések számát (41) a 2023-ban addig eltelt napok számával osztottam (181), nem pedig 365-tel, mint a többi esetben. Trendvonal illesztéssel megmutatkozik a tanulási tendencia, mivel a tanulási görbe tipikus alakja rajzolódik ki. Jelentősen csökken az éves átlagos fellövésszám, mivel a kezdeti 182,5-ről lecsökkent egészen 4,41-re, ami azt jelenti, hogy nagyjából 4 és fél naponta indítanak Falcon 9-est 2023-ban. Ez 97,58%-os javulást jelent az első indításokhoz képest.



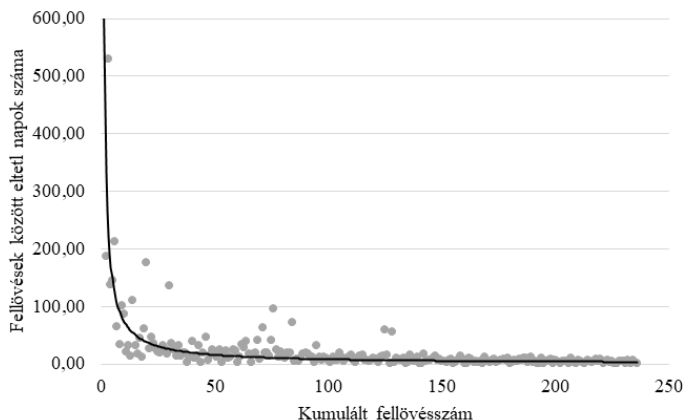
6. ábra: A fellövések között eltelt napok száma évente átlagosan 2010 és 2023 június 30. között

Forrás: Saját szerkesztés

$$T_n = 392,82 \times n^{(-1,457)} \quad (5)$$

Ahogy a 3. ábrán is látható, 2019-ben sokkal alacsonyabb volt a fellövésszám, mint az előző években. Ez az anomália a 6. ábrán is megmutatkozik, mert 2019-ben 33 naponta lőttek fel rakétákat, amely egy kiugró érték és nem illeszkedik a fejlődési rátához. Az R^2 érték 0,6968, ami 69,68%-os magyarázóerőt jelent, vagyis a fellövések között eltelt átlagos napok számát 70%-ban magyarázzák az eltelt évek. Ez 19,44% százalékponttal magasabb, mint a 5. ábrán látható tanulási görbéhez tartozó R^2 érték. A p érték 36,42%, ami azt jelenti, hogy duplázódásonként körülbelül 63,58%-kal csökken az éves átlagos fellövésszám.

A 7. ábra a Falcon 9-es fellövések tanulási görbét ábrázolja 2010 és 2023. június 30. között. A görbe és értékei hasonlóak az összes fellövés (lásd 5. ábra) görbéjének alakjához és értékeihez, ennek oka, hogy az indítások 95%-át a Falcon 9-es rakéták teszik ki.

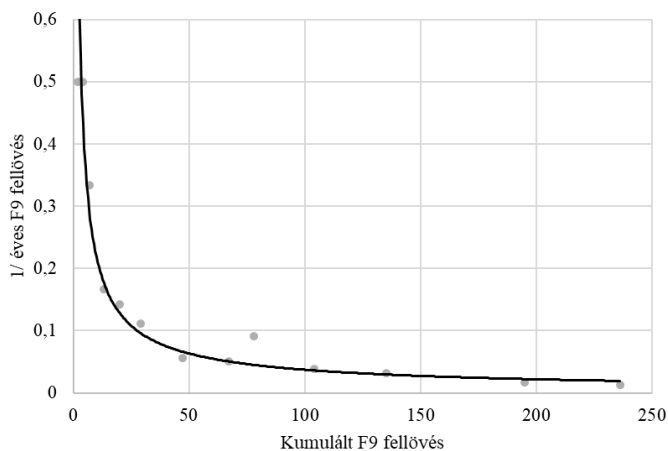


7. ábra: **Falcon 9 fellövéseinek tanulási görbéje 2010 és 2023 június 30. között**

Forrás: Saját szerkesztés

$$T_n = 670,9 \times n^{(-0,959)} \quad (6)$$

Az R^2 57,94%, azaz két Falcon 9-es kilövés között eltelt napok számának varianciájából körülbelül 58%-ot sikerült megmagyarázni. Ez 7 százalékponttal jobb magyarázó erőre utal az összes fellövéshez képest. A fejlődési ráta $p = 2^{(-0,959)} = 51,44$ %, amely duplázódásonkénti 48,56%-os csökkenést jelent. Ez az érték 2,4 százalékponttal rosszabb, mint az összes fellövésnél. Ebből megállapítható, hogy a vállalat egésze gyorsabban tanul, mint a Falcon 9-es. Ez részben azért lehetséges, mert az összes fellövésbe beletartoznak a Falcon 1-es kezdeti kudarcai, másrészt a Falcon 9-es rakéta megjelenése előtt sokkal több időt igényelt egy-egy indítás. A képlet alapján kiszámítható az első rakéta fellövéséhez szükséges idő. Az első Falcon 9-es indítására körülbelül 671 napot kellett várni, ezzel szemben az első SpaceX által indított rakétához 296-tal többet.



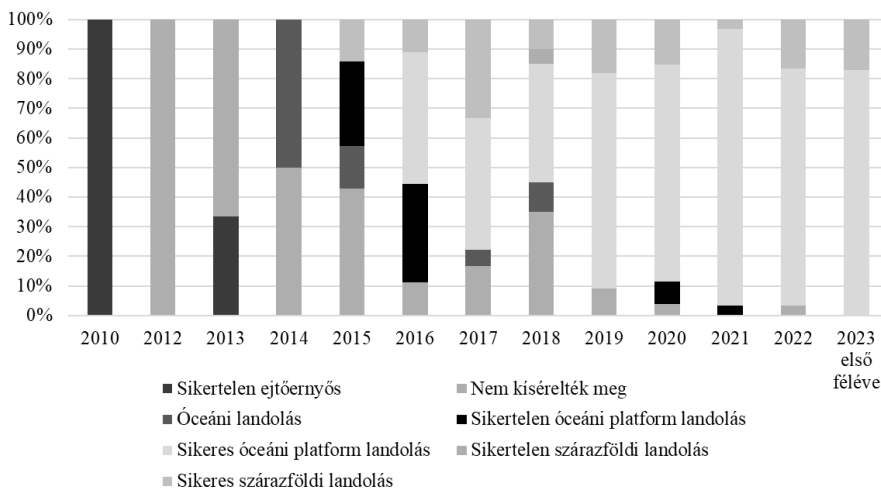
8. ábra: **Az összes Falcon 9-es fellövés között eltelt idő éves átlagban 2006 és 2023 június 30. között**

Forrás: Saját szerkesztés

A 8. ábra szemléletes, hogy milyen időközönként indítanak Falcon 9-es rakétákat éves vonatkozásban a kumulált fellövesszám függvényében. A magyarázó erő 88,93%, amely több mint 18% százalékponttal jobb az összes SpaceX fellövéshez képest (lásd 5. ábra). A fejlődési ráta $p = 2^{(-0,770)} = 58,64\%$, amely értelmében a duplázódásonkénti csökkenés csak 41,36%-os és 3,35 százalékponttal alacsonyabb, mint az összes indításé (lásd 5. ábra).

$$T_n = 1,2843 \times n^{(-0,770)} \quad (7)$$

A vállalat nem csak fellövi a rakétákat, hanem megpróbálja sértetlenül visszahozni őket. Erre azért van szükség, mert egy rakéta gyártási költsége nagyon magas. Költségeik csökkentése érdekében számos visszatérési technikával próbálkoztak az évek során. A 9. ábra a Falcon 9-es fellövések landolási eredményeinek megoszlását ábrázolja évekre bontva. Három sikertelen ejtőernyős landolási kísérletük volt, kettő 2010-ben, egy pedig 2013-ban. Összesen 25 esetben nem kíséreltek meg landolást, és 7 alkalommal kontrollált óceáni becsapódást hajtottak végre. Ekkor lényegében megpróbálták a rakétát függőlegesen a víz felszínéhez irányítani adatgyűjtés céljából, ez szolgált alapul a platformon való landolások tervezésénél. Később megpróbálkoztak az óceáni platformok használatával, ez 8 sikertelen és 158 sikeres landolást eredményezett, és mai napig legtöbbször ilyen drónhajókon landolnak a rakéták. A legnagyobb áttörés 2015-ben történt, amikor elsőként landoltak sikeresen szárazföldi platformon és ezt azóta 33-szor ismételték meg. A kezdeti sikertelen landolási kísérletek ellenére 2023-ban eddig 100%-os a visszatérések aránya.



9. ábra: Falcon 9 fellövések landolási eredményeinek éves megoszlása 2010 és 2023 június 30. között

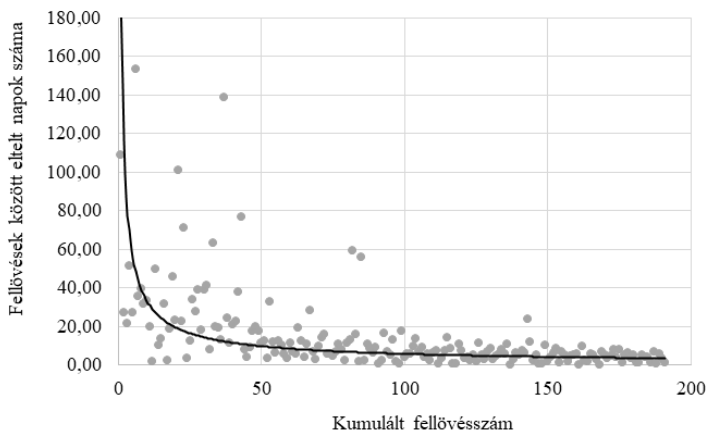
Forrás: Saját szerkesztés

A 10. ábra a Falcon 9-es sikeres landolásainak tanulási görbéjét ábrázolja. Sikeres landolás alatt a szárazföldi és az óceáni platformokra való földet érést értjük. A sikeres landolások aránya az összes Falcon 9-es fellövéshez képest 81,36%-os. Ha csak azt vesszük figyelembe, amikor ténylegesen megpróbálták a landolást, akkor 91,00%-os sikerességi arányt kapunk. Tehát, ha megkísérik a landolást, akkor 91%-os a valószínűséggel sikerrel is járnak.

$$T_n = 189,8 \times n^{(-0,759)} \quad (8)$$

A tanulási görbéhez tartozó R^2 érték 0,2554, ami azt jelenti, a fellövések között eltelt napok számának varianciájából csak 25,54%-ot sikerült megmagyarázni. Mivel ez az érték alacsony, ezért ahhoz, hogy meg tudjuk határozni a következő landolás idejét, más tényezőket is figyelembe

kell vennem. A fejlődési ráta $p = 2^{(-0,759)} = 59,09\%$, amely 40,91% duplázódásonkénti csökkenést jelent.



10. ábra: Falcon 9 fellővések sikeres landolásainak tanulási görbéje 2010 és 2023 június 30. között

Forrás: Saját szerkesztés

KÖVETKEZTETÉSEK ÉS JAVASLATOK

Ebben a fejezetben a hipotézisekkel kapcsolatos döntéseket magyarázom meg az eredményben kapott értékek alapján. 2006-tól 2023. június 30-ig összegyűjtött adatokon elvégzett trendvonal illesztés után megállapítható, hogy a vállalat fellővései között eltelt idő és a fellövészám kapcsolatából kirajzolódik a tanulási görbe általános alakja (1. ábra). Ez alapján nem vetem el az első hipotézist. Az R^2 érték alapján az egyes fellővések között eltelt időt 50,24%-ban magyarázza a kumulált fellövészám (lásd 4. ábra). A H1.1-es alhipotézist nem vetem el, mert összefüggés van a kumulált volumen és a fellővések között eltelt idő között. Az R^2 érték alapján az egy évre eső fellővések számának inverz értékeit 70,25%-ban magyarázza a kumulált fellövészám (lásd 5. ábra). A H1.2-es alhipotézist sem nem vetem el, mert összefüggés van a kumulált fellövészám és az egy évre eső fellővések számának inverze között.

A legnagyobb fellövészámmal rendelkező Falcon 9-es kumulált fellővéseinek száma és az indítások között eltelt idő kapcsolatából felállított trendvonal (7. ábra) a tanulási görbe alakját követi, mert megfigyelhető rajta a kezdeti magas érték, majd idővel ellaposodik és csökkenő ütemű csökkenést folytat. A H2-es hipotézist tehát nem vetem el, mert létezik tanulási görbe a Falcon 9-es rakétára szűkítve is. A 7. ábrán látható tanulási görbe R^2 érték alapján a fellővések között eltelt időt 57,94%-ban magyarázza a kumulált fellövészám. A H2.1-es alhipotézist nem vetem el, mert valóban van összefüggés. A H2.2-es alhipotézist nem vetem el, mert 88,93%-os összefüggés van a Falcon 9-es rakéta fellővéseinek volumene és az egy évre eső fellővések számának inverze között (lásd 8. ábra). A 10. ábrán látható tanulási görbe R^2 érték alapján a kumulált fellövészám 81,36%-ban magyarázza a sikeres landolások között eltelt időt. Az magyarázó erő jelenléte miatt a H2.3-as alhipotézist nem vetem el, mert van összefüggés. Az eredmények megerősítik Kun és társai (2019) korábbi eredményeit, illetve a hosszabb idősről miatti pontosítják és a landolási adatok tekintetében ki is egészítik azokat.

FELHASZNÁLT IRODALOM

- Argote, L. (2013). *Organizational learning: Creating, retaining and transferring knowledge*. Springer.
- Bencsik, A. (2015). *A tudásmenedzsment elméletben és gyakorlatban*. Akadémia Kiadó.
- Bencsik, A., & Bognár, K. (2003). Tanulószervezetek változásmenedzsmentje a tudásmenedzsment felé vezető úton. *IME – Az egészségügyi vezetők szaklapja*, 2(5), 24–30.
- Cantu, K., & Lunsford, R. B. (2022). Space travel privatization by SpaceX. *Review of Business & Finance Studies*, 13(1), 79–92.
- Genta, G. (2014). Private space exploration: A new way for treating a spacefaring society? *Acta Astronautica*, 104(2), 480–486.
- Hartley, K. (1965). The learning curve and its application to the aircraft industry. *The Journal of Industrial Economics*, 13(2), 122–128.
- Herbert, N. (2018). The corporate occupation of the final frontier; Emerging market analysis of SpaceX and the privatized race to space. *Honors Projects*. 686. <https://scholarworks.gvsu.edu/honorsprojects/686/>
- Jaber, M. Y. (2011). *Learning curves: Theory, models, and applications*. CRC Press.
- Külgazdasági és Külügyminisztérium. (2021). Magyarország Űrstratégiája. <https://space.kormany.hu/download/7/bd/c2000/Magyarorsz%C3%A1g%20C5%B0rstrat%C3%A9gi%C3%A1ja.pdf>
- Kun, A., Boros, J., & Gottfried, P. (2019). Tanulási görbék egy űripari magáncégnél: a SpaceX példája. In Debreceni Egyetem Műszaki Kar (Ed.), *Kihívások és tanulságok a menedzsment területén. Fókuszban a folyamatmenedzsment: az ipar 4.0 kihívásai. Ipar napjai konferencia absztraktkötet* (p. 56). Debrecen.
- Loerch, A. G. (2013). Learning curves. In S. I. Gass & M. C. Fu (Eds.), *Encyclopedia of operations research and management science* (pp. 871–874). Springer.
- NASA (2014). Commercial orbital transportation services: A new era in spaceflight. <https://www.nasa.gov/wp-content/uploads/2016/08/sp-2014-617.pdf>
- SpaceX (2021). Falcon user's guide. Space Exploration Technologies Corp. <https://www.spacex.com/media/falcon-users-guide-2021-09.pdf>
- SpaceX (2023). Falcon 9. Space Exploration Technologies Corp. <https://www.spacex.com/vehicles/falcon-9/>
- Statista Research Department. (2023). Global turnover of the space economy from 2009 to 2021 (in billion U.S. dollars). <https://www.statista.com/statistics/946341/space-economy-global-turnover/>
- Steven, G. J. (1999). The learning curve: From aircraft to spacecraft? *Financial Management –London–*, 77, 64–65.
- Stevenson, W. J. (2018). *Operations management*. McGraw-Hill Education.
- Szeleczki, Zs. (1999). A tudásmenedzsment koncepciója és háttere. *Vezetéstudomány*, 30(12), 22–30.
- Vass, V. (2020). A tudásgazdaság és a 21. századi kompetenciák összefüggései. *Új Munkaügyi Szemle*, 1(1), 30–37.
- Vernile, A. (2018). *The rise of private actors in the space sector*. Springer.
- Wooten, J. O., & Tang, C. S. (2018). Operations in space: Exploring a new industry. *Decision Sciences*, 49(6) 999–1023. <https://doi.org/10.1111/dec.12312>