

Szilágyi Dénes

Számítógépes teljesítményanalízis helyettesítő függvényekkel

Az eddig alkalmazott és a hatóság által elfogadott módszerek hatalmas munkával előállított diszkrét értékhalmozokból választották ki a megadott peremfeltételek alapján az eredményeket (legtöbb esetben teljesítménykorlátozott tömegértékeket) a repülés különböző fázisaiban. Többnyire az így kapott értékek elemzése történt meg algoritmusok segítségével, megadva az üzemeltetőnek az adott feladatra vonatkozó MATOM¹ és az OM² ismeretében a legfontosabb értéket, az ATL³-t. Egy szofisztikált megoldásnak ezek figyelembevételével kell segítséget nyújtani a terhelési dokumentáció elkészítéséhez is.

Kulcsszavak: repülőgép, hajtóműhiba, akadálymentesség, teljesítmény, analízis, függvények, közelítés, tömegkorlátok

1. Bevezetés

A 965/2012 EU rendelet más néven AIR-OPS kereskedelmi és nem kereskedelmi műveletek esetére is egyaránt előírja, hogy a repülési feladat egyik fázisában sem lehet nehezebb a légi jármű, mint amekkora tömeggel egy bekövetkező hajtóműleállás esetén a légi jármű képes végrehajtani a tervezett eljárást, amely biztosítja:

- 1 hajtóműves légi járművek esetén a kényszerleszálláshoz megfelelő felület elérését;
- 2 vagy több hajtóműves légi járművek esetén a vészhelyzeti eljárás végrehajtását úgy, mint egy EOSID,⁴ biztosítja az útvonalon az akadálymentességet hajtómű hiba esetén az útvonal folytatása, avagy kitérő repülőtérre való eljutás során, hogy bármely cél, vagy kitérő repülőtér esetén a hajtóműhibás gép képes legyen végrehajtani a megszakított megközelítéseket is, illetve le tudjon szállni és meg tudjon állni.

¹ MATOM: *Maximum Allowable Take-Off Mass* – maximálisan megengedhető felszállótömeg, amely a repülési feladat bármelyik fázisában a teljesítménykorlátok és a szerkezeti korlátok által megengedhető legkisebb érték.

² OM: *Operating Mass* – Üzemeltetési tömeg. A légi járműnek legalább ilyen nehéznek kell lenni a repülési feladat megkezdésekor, amelyet lényegileg a személyzet, a feladatspecifikus felszerelések és a feladathoz szükséges üzem- és egyéb fogyóanyagok mennyisége befolyásol.

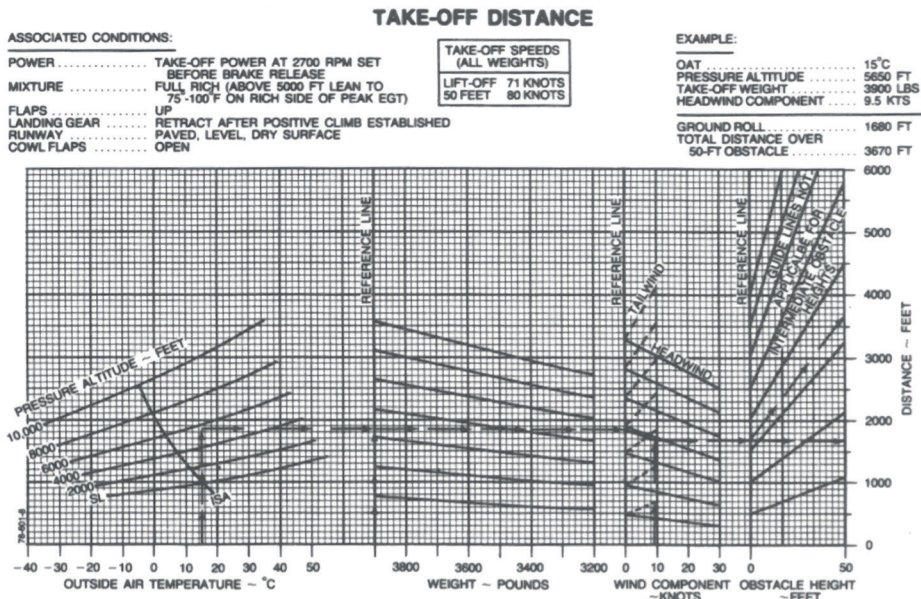
³ ATL: *Allowable Traffic Load* – megengedhető forgalmi terhelés. A MATOM és az OM különbségeként számított érték. Ekkora tömegű utas, poggyász, teheráru stb. vihető a légi jármű fedélzetére.

⁴ EOSID: *Engine-out Standard Instrument Departure* – hajtóműhiba esetén végrehajtandó műszeres indulási eljárás, amely biztosítja a lecsökkent teljesítménnyel a visszatérést az induló repülőtérre.

Ebből látható, hogy a repülés minden fázisára el kell végezni a megengedhető tömeg meghatározását. Ehhez szükség van nagy mennyiségű teljesítményadatra, a környezeti jellemzőkre és a navigációs (domborzati, légi közlekedési) adatokra is, amelyek jó része állandóan változik. Így tehát nemcsak egy új útvonal esetén, hanem egy már korábban megtervezett útvonal esetén is szükség van e számítások elvégzésére. Ezeknek a számításoknak, szerkesztéseknek a kézzel való elvégzése még gyakorlott ember esetén is annyi időt vesz igénybe, hogy a tervezett indulási idő előtt legalább egy nappal korábban el kell kezdeni a tervezési feladatot. Ez viszont azt a veszélyt hordozza magában, hogy hosszabb távon előrejelzett értékekkel kell számolni, amelyek pontossága romlik, amennyiben az előrejelzés intervalluma nő. Nem véletlenül a korszerű számítógépes tervezőrendszerek az indulás előtt átlagosan 30 perccel, tehát friss adatokból készítik el az útvonaltervet, amely mögött ott kell lennie a teljesítményanalízisnek. Sajnos ilyen komplex analízist lehetővé tevő alkalmazások csak a nagy kereskedelmi gépek esetén állnak rendelkezésre. A kisgépes szektorban jobb esetben a rendelkezésre álló teljesítménydiagramokból, az üzemeltetési szükségletnek megfelelő tartományban és finomsággal előre meghatározott diszkrét értékhalmozokon alapuló megoldásokat lehet találni, mint például az [1]. A megfelelő értékek kiválasztásához szükséges diszkrét értékhalmozok előállítása hatalmas munkát igényel a megalkotandó logikai függvények sora mellett. Ettől a megoldástól egyszerűbb, ha folytonos függvények alkalmazásával próbálkozunk. Természetesen ebben az esetben is kell élni közelítésekkel, de a ráfordított munka sokkal kevesebb, a pontossága ugyanakkor vetekszik a másik megoldásával, és a bevitt értékeket nem kell kerekíteni. A szoftveres környezetnek ebben az esetben is a mindenütt fellelhető MS-Excel tűnik a legalkalmasabbnak.

2. A rendelkezésre álló adatok és a helyettesítő függvények

A légi járművek építési előírásainak tartalmaznia kell a típusgazda által (kötelezően) elkészített teljesítményadatokat, amelyeket a légi járművet alkalmazónak használnia kell. Ezek az adatok a fel- és leszállás, az emelkedés és az útvonalrepülés számításához nyújtanak segítséget. Természetesen tartalmazniuk kell a vészhelyzeti (elsősorban hajtóműleállítás) teljesítményjellemzőket is. E munka célkitűzése, hogy illusztrálja, hogyan lehet a rendelkezésre álló teljesítménydiagramokat zárt alakos függvényekkel helyettesíteni. Ezt egy fel- és leszállási úthossz számító diagram helyettesítésén keresztül mutatom be (1. ábra).



1. ábra

Felszálló úthossz által korlátozott PLTOM meghatározására szolgáló diagram (PLTOM: Performance Limited Take-Off Mass – teljesítmény által korlátozott felszállótömeg) [2]

2.1. Az értelmezési tartomány megállapítása

Ahogy az a mintául szolgáló diagramban is látszik, a hőmérséklet és a nyomásmagasság széles tartományban változhat, és e jellemzők függvényében a görbék lefutási jellemzői, például meredekség is jelentősen változnak. Általában – de Európában mindenképp – nem jellemző a repülőterek nagy tengerszint feletti magassága, így az üzemeltetőnek célszerű kijelölni a jellemző alkalmazási tartományt, amivel a feladat egyszerűsödik. Esetünkben ez 4000 ft⁵ alatti nyomásmagasság és -15 °C-tól +40 °C-ig tartó hőmérséklet-tartomány. Természetesen ez ugyanúgy megadható a teljesítmény-adatbázis többi eleménél is. Valamennyi korlátot kell tüntetni az alkalmazás adatbeviteli felületén és a működési leírásban.

2.2. A helyettesítés kivitelezése

A következő bemenő paraméter a TODR_{max}⁶ érték, amelyet a rendelkezésre álló pályahosszból kell meghatározni a jogszabály [3] által előírt tényezők segítségével. Ennek értéke függ attól

⁵ ft: feet – láb.

⁶ TODR_{max}: Take-off Distance Required max – a maximálisan szükséges felszállási távolság.

is, hogy a TODA⁷ tartalmaz-e SWY⁸-t, illetve CWY⁹-t. Az 1. táblázat jeleníti meg az ezzel kapcsolatos szabályozást.

1. táblázat
A TODA faktorálása a SWY/CWY függvényében [3]

Ha nincs SWY és CWY	TODR x 1,25 < TORA
Ha van SWY, de nincs CWY	TODR x 1,3 < ASDA
Ha van CWY, de nincs SWY	TODR x 1,15 < TODA
Ha van SWY és CWY is	TODR < TORA

Tekintettel arra, hogy a kisgépes adatbázisok csak tiszta, vízszintes, szilárd burkolatú pályára vonatkoznak, a jogalkotó bevezetett az ettől eltérő esetek kezelésére szabványtényezőket, amelyeket a 2. táblázat tartalmaz.

2. táblázat
A TODA faktorálása a pályaállapot és pályalejtés függvényében [3]

Rövid száraz fű	1,2
Rövid nedves/hosszú száraz fű	1,25
Hosszú nedves fű	1,3
Laza talaj vagy hó	1,25*
Lejtés 1%	5%

* Kiegészítés: lehet, hogy nem is tud felszállni a gép.

A fenti táblázatnak megfelelő TODR_{max} érték egy MS Excel munkalapon, a vizsgálandó futópálya távolságadatainak (TORA¹⁰/TODA/ASDA¹¹) és állapotának megfelelően könnyen generálható. A 2. ábrából látható, hogy minden egyes jellemző hozzájárul a TODR-értékhez, növelve vagy csökkentve a maga részével azt. A számítási modell lényege, hogy ezeket az összetevőket kell függvényekkel meghatározni, és onnan kezdve az értékek ismeretében a végeredmény – jelen esetben a TODA által korlátozott felszállótömeg (jele: PLTOM¹²) – meghatározható.

2.2.1. A nyomásmagassághoz tartozó $\Delta D1$ érték meghatározása

Itt egy olyan függvényt kell felírni, amely megmutatja, mennyivel változik a szükséges felszállási úthossz a nyomásmagasság függvényében. Az alkalmazás legalsó hőmérséklete $-15\text{ }^{\circ}\text{C}$, tehát ettől csak nagyobb hőmérsékletek jöhetnek számításba, így célszerű a nyomásmagasság hatását kifejező függvényt e hőmérsékletnél a különböző nyomásmagasságokhoz

⁷ TODA: *Take-off Distance Available* – a rendelkezésre álló felszállási távolság.

⁸ SWY: *Stopway* – végbiztonsági sáv.

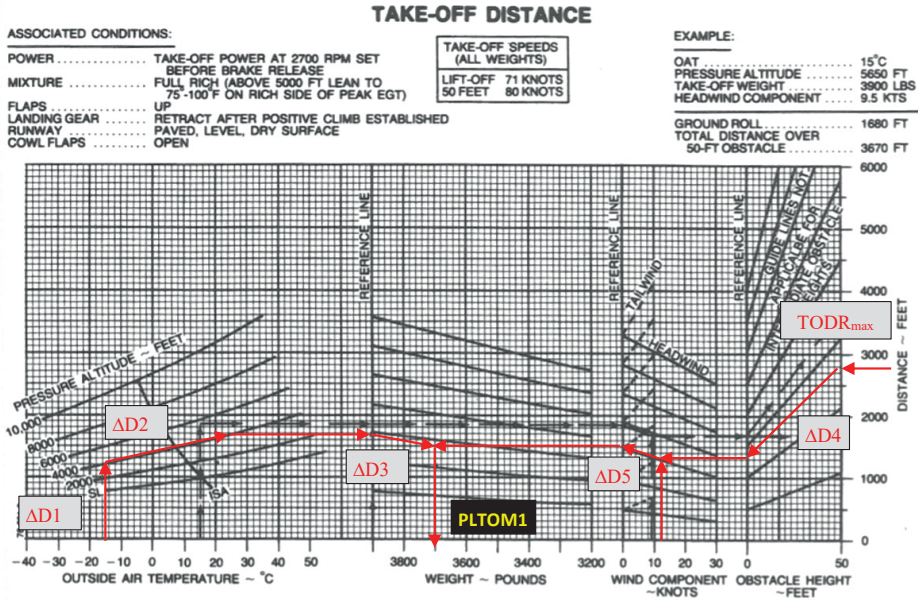
⁹ CWY: *Clearway* – akadálymentes terület.

¹⁰ TORA: *Take-off Run Available*.

¹¹ ASDA: *Acceleration Stop Distance Available* – gyorsításhoz és megálláshoz rendelkezésre álló távolság. Mivel az ASDR számításához van külön diagram, ezért a ASDR \leq ASDA feltételt is vizsgálni kell.

¹² PLTOM: *Performance Limited Take-Off Mass* – teljesítmény által korlátozott felszállótömeg.

tartozó értékek alapján meghatározni (3. ábra). Innen ugyanis a hőmérséklet hatását kifejező függvény megalkotása is egyszerűbbé válik. A $-15\text{ }^{\circ}\text{C}$ -nál húzott függőleges vonal az alábbi értékpárokat eredményezi (3. táblázat):



2. ábra

A TODA által korlátozott PLTOM meghatározásának menete [2]

3. táblázat

A $\Delta D1$ értékpárok [4]

H_p (ft)	$\Delta D1$ (ft)
Sea Level	780
2000 ft	970
4000 ft	1200

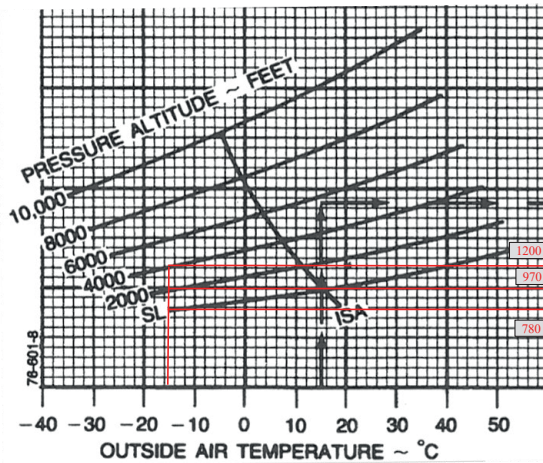
Amennyiben ezeket az értékpárokat egy grafikonban ábrázoljuk (4. ábra) láthatjuk, hogy nem lineáris a kapcsolat közöttük. Az MS Excel diagramszerkesztője lehetővé teszi a trendvonal felvételét, amelynek egyenletét meg is lehet jeleníteni a diagramon. A kapott függvény a következő:

$$\Delta D1 = 0,000005H_p^2 + 0,085H_p + 780 \quad (1)$$

ahol H_p a nyomásmagasság ft¹³-ben megadva és az eredmény mértékegysége is ft. Ez a függvény tehát meghatározza, hogy a H_p milyen mértékben növeli a TODR értékét,

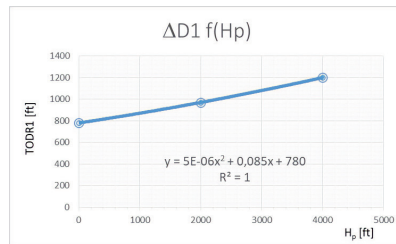
¹³ 0,3048 m.

OAT = -15 °C esetén. Ezt a távolságot a következő lépésben az OAT¹⁴ és a -15 °C közötti hőmérséklet-különbség függvényében kell korrigálni.



3. ábra

A nyomásmagasság hatása a TODR értékére [2]



4. ábra

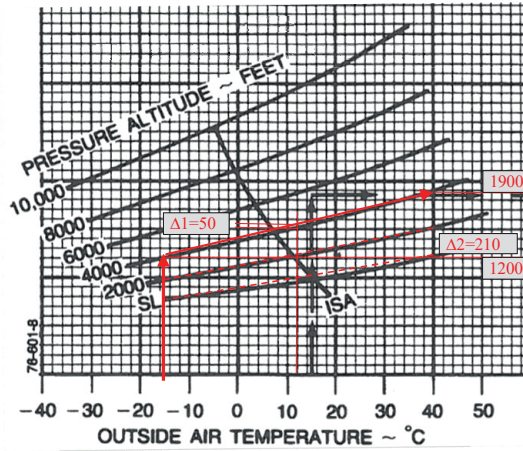
A H_p trendvonalának egyenlete

2.2.2. A hőmérséklethez tartozó $\Delta D2$ érték meghatározása

A -15 °C-nál nagyobb OAT-értékek miatti felszállási úthosszváltozást $\Delta D2$ jelöli (2. ábra). A két hőmérsékleti végpont a már korábban meghatározott -15 °C és a +40 °C. Az OAT hatásánál a 4000 lábhoz tartozó vonalat (5. ábra) célszerű figyelembe venni, mert annak a meredeksége a legnagyobb. A vonalat lineárisnak tekintem, mivel a legnagyobb eltérés az eredetihez képest 12 °C esetén $\Delta 1 = 50$ ft TODR-növekményt jelent (körülbelül 3%), amivel ismét a biztonság felé térünk el. Látható, hogy alacsonyabb H_p esetén a kalkuláció nagyobb TODR-értékkel számol a ténylegesnél, a maximális eltérés tengerszinten +40 °C esetén $\Delta 2 = 210$ ft (70 m) TODR-többletet eredményez a valóságnál. Ennek kiküszöbölésére meg

¹⁴ OAT: Outside Air Temperature – külső levegő-hőmérséklet.

kell találni az iránytangensek H_p függését, amelyet ismét csak az értékpárok közötti kapcsolat feltárásával célszerű megoldani.



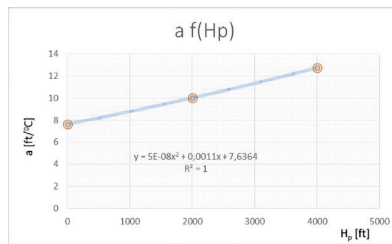
5. ábra

Az OAT hatása és lineáris közelítése [2]

4. táblázat

A H_p meredekség-értékpárok [a szerző]

H_p (ft)	Δz (ft)	meredekség (a) (ft/°C)
4000 ft	700	12,72
2000 ft	530	9,63
Sea Level	420	7,63



6. ábra

Az OAT-vonalak meredekségének H_p függése [a szerző]

Az 5. ábra csak a 4000 lábhoz tartozó TODR-szélsőértékeket tartalmazza a zsúfoltság elkerülése érdekében. Az ábrában 1 osztás a függőleges tengelyen 100 ft TODR-értéknek felel meg. A 4. táblázat mutatja az értékpárokat és a hozzájuk tartozó 55 °C széles értelmezési tartományra számított iránytangens értékeket. Ezeket ábrázolva (6. ábra) a pontokra trendvonalat illetve megkapjuk a meredekség és a H_p kapcsolatát leíró másodfokú függvényt:

$$a = 0,00000005H_p^2 + 0,0011H_p + 7,6364 \quad (2)$$

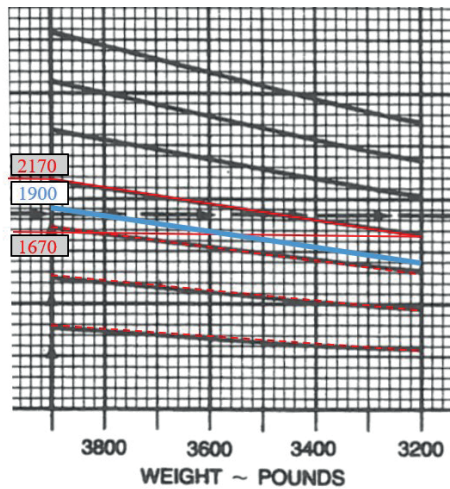
Ennek ismeretében egy adott nyomásmagasságon az OAT által okozott TODR-változás felírható az alábbiak szerint:

$$\Delta D2 = (OAT + 15)(0,00000005H_p^2 - 0,0011H_p + 7,6364) \quad (3)$$

Az $R^2 = 1$ -nek köszönhetően gyakorlatilag nincs eltérés, +40 °C esetén visszakapjuk a $\Delta 2$ értékeket. Ezzel tehát a hőmérsékletfüggés a H_p függvényében változó meredekségű egyenesekkel van meghatározva, amelyek által okozott legnagyobb eltérés az ISA¹⁵-vonal környékén található, és maximum 50 ft TODR-többletet eredményez, ami ismét a biztonság felé való eltérést jelent.

2.2.3. A tömeghez tartozó $\Delta D3$ érték meghatározása

A repülőgép tömege a TODR értékére jelentős hatást gyakorol. A kisebb tömegű repülőgépek a gyorsulása nagyobb lesz, az átesési sebessége pedig kisebb, így a nagyobb gyorsulással kisebb átesési sebesség eléréséhez hatványozottan rövidebb úthosszra van szükség, és fordítva.

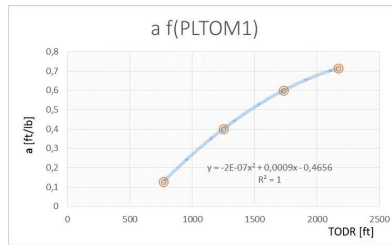


7. ábra
A TOM hatása és lineáris közelítése [2]

¹⁵ ISA: International Standard Atmosphere – Nemzetközi Egyezményes Légkör.

5. táblázat
A $\Delta D3$ meredekség-értékpárok [a szerző]

$\Delta D1+\Delta D2$	$\Delta D3$	meredekség (a)
2170	500	0,714285714
1730	420	0,6
1250	280	0,4
770	90	0,128571429



8. ábra
A TOM-vonalak meredekségének TODR-függése [a szerző]

A szerkesztésünk során ebben a fázisban fordul elő először, hogy a TODR-érték bemenő adat lesz a TODR-érték módosításának kiszámolandó. Ugyanis ebben a fázisban ez a TODR, ami bemenő érték a diagramban bal oldalról a H_p és OAT figyelembevételével kapott értékek összege az alábbiak szerint:

$$TODR3 = \Delta DR1 \text{ és } \Delta DR2 \quad (4)$$

Emiatt gyakorlatilag implicit függvényt kapunk, tehát az előző lépések eredményeinek összege szükséges ennek a fázisnak a kiszámításához. Ez azt is jelenti, hogy zárt alakban egyetlen függvényként ezt a problémát nem lehet megoldani. Szerencsére az MS Excel alapon semmiféle problémát nem okoz az egyes lépések értékeinek külön kiszámítása, és utána ezen értékek összegeivel a további számítások elvégzése. Mint látható a 7. ábrán, ennek a belépő TODR-értéknek a függvényében változnak a referenciavonal-meredekségek. A legegyszerűbb módszer ebben az esetben, ha az értelmezési tartományunkban található legmeredekebb referenciavonalat helyettesítő egyenessel dolgozunk. Ez az értelmezési tartományunkban a legnagyobb H_p , OAT és az MTOM-értékekhez tartozó $TODR3 = 1900$ ft távolsághoz tartozó egyenes lenne (7. ábra, kék vonal). Ettől azonban pontosabb megoldást kaphatunk, amennyiben a TODR-értékekhez igazítjuk az alkalmazott egyenes meredekségét. Az 5. táblázat tartalmazza az értelmezési tartományunkat teljesen lefedő 4 referenciavonalat helyettesítő egyenesek paramétereit. A $TODR3$ -értékek a $PLTOM1 = MTOM = 3900$ lb értéknél megállapítottak és a meredekséget a 3900 lb és a 3200 lb közötti 700 lb TOM-tartományra határoztam meg. A korábbi módszernek megfelelően ábrázoltam az értékeket (8. ábra), és a trendvonal segítségével elkészítettem a célfüggvényt:

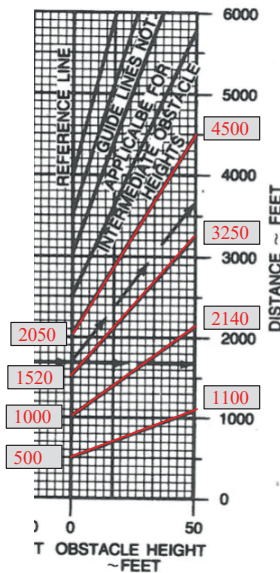
$$\Delta D3 = (3900 - PLTOM1)(-0,0000001642 TODR3^2 + 0,0009 TODR3 - 0,4656) \quad (5)$$

Az $R^2 = 1$ -nek köszönhetően ismét nagyon pontos a közelítés, gyakorlatilag nincs eltérés, TOM = 3200 lb esetén visszakapjuk a $\Delta D3$ értékeket. Ezzel tehát a PLTOM1 függés a TODR3 függvényében változó meredekségű egyenesekkel van meghatározva, amelyek által okozott legnagyobb eltérés a PLTOM1 = 3500 lb-nál húzott vonal környékén van, és csak a legalsó vonal esetén eredményez elhanyagolható mértékű (10–20 ft) TODR-többletet.

2.2.4. Az 50 ft magasság eléréséhez tartozó $\Delta D4$ érték meghatározása

A [3] szerint B teljesítményosztályba tartozó repülőgépek esetén – a kisgépes szektor alapvetően ilyenekből áll – a felszállási úthossz a fékoldástól az 50 ft magasság eléréséig tart (9. ábra). Természetesen a diagram tartalmazza a levegőben megtett távolságot is. Itt is változó meredekségű referenciavonalak vannak, amelyek okozta problémát az előzőekben látott módszerrel célszerű megoldani. Az OAT, a H_p és a PLTOM1 értelmezési tartományának legmagasabb értékei, valamint a HWC = 0 megadják azt a legnagyobb TODR_{max} értéket, amelynél nagyobb értékekkel nem szükséges foglalkozni, mivel már elértük a PLTOM1 = MTOM határt, amely fölé úgysem mehetünk. Így a TODR_{max} = 4500 ft-hez tartozó referenciavonal a legfelső, amellyel számolni kell. A 6. táblázat tartalmazza az egyes referenciavonalak okozta TODR_{max} változást ($\Delta D5$) és a hozzájuk tartozó TODR_{max} értékeket. A 10. ábra mutatja ezek ábrázolását és a trendvonal egyenletét, amely másodfokú. Ez alapján az 50 ft elérését biztosító távolságot leíró egyenlet:

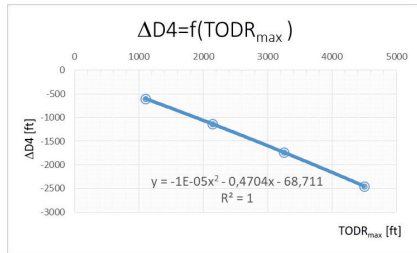
$$\Delta D4 = -0,000013TODR_{max}^2 - 0,4704TODR_{max} - 68,711 \quad (6)$$



9. ábra
Akadálymentesség hatása és lineáris közelítése [2]

6. táblázat
A $\Delta D4$ meredekség értékpárok [a szerző]

TODR _{max}	$\Delta D4$
4500	-2500
3250	-1730
2140	-1140
1100	-600



10. ábra
Akadálymentességet biztosító korrekció [a szerző]

A legnagyobb TODR_{max} megadása mellett szükség van a legkisebb érték megadására is, ahol még egyáltalán képes a repülőgép felszállni a legkisebb PLTOM1 = 3200 lb tömeggel, tengerszinten, -15 °C hőmérsékletnél, és HWC = 30 kt esetén. Ez pontosan TODR_{max} = 1100 ft értéket jelent. A TODR_{max} szélsőértékeit szintén meg kell jeleníteni az adatbeviteli felületen figyelmeztetésként.

2.2.5. A szélhez tartozó $\Delta D5$ érték meghatározása

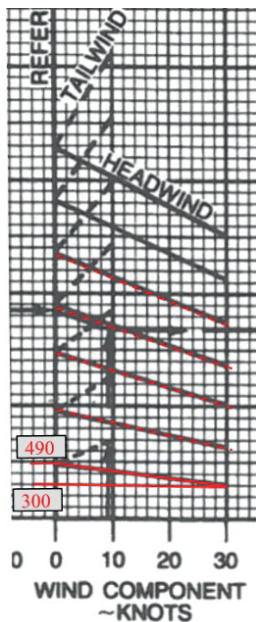
Valamennyi fel- és leszálló teljesítményszámító diagram tartalmazza a szél hatásának figyelembevételét. Minden esetben pályairányú szélkomponenssel kell számolni. Azért, hogy ne kelljen külön hátszélfüggvényeket előállítani, az alkalmazás csak szélcsendben vagy szembe-szélkomponens (HWC) esetén alkalmazható. A tervezett alkalmazásban a futópálya iránya (RWD), a szél iránya (WD) és nagysága (WS) alapján szögfüggvények segítségével egyszerűen meg lehet határozni a pályairányú komponens:

$$HWC = \cos(\text{RADIÁN}(WD - RWD)) \cdot WS \quad (7)$$

A [3] szerint a szembeszélkomponensnek csak az 50%-át vehetjük figyelembe, ezért az alkalmazás csak a HWC felével számolhat. Itt megint az a helyzet, mint a 2.2.3 pontnál, hogy a bemenő paraméter ebben a fázisban már az előző pont eredményével korrigált TODR_{max} az alábbiak szerint:

$$TODR5 = TODR_{max} + \Delta D4 \quad (8)$$

A 11. ábrán látható, hogy a szél hatását figyelembe vevő referenciavonalak meredeksége szintén változik a TODR5-értékek függvényében. Ezért a fentiekben alkalmazott módszer kell használni ennek a kérdésnek a megoldására is. Az alkalmazható szélesebbesség-tartomány 0–30 kt.¹⁶ Az értelmezési tartományunkat teljesen lefedi alulról az első 5 referenciavonal. Ezek adatait tartalmazza a 7. táblázat.



11. ábra

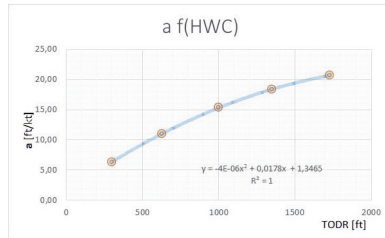
A HWC hatása és lineáris közelítése [2]

7. táblázat

A $\Delta D5$ meredekség értékpárok [a szerző]

TODR _{max}	$\Delta D4$	$\Delta D5$	meredekség (a)
300	190		6,33
630	330		11,00
1000	460		15,33
1350	550		18,33
1730	620		20,67

¹⁶ kt: Knot – csomó, 1 tengeri mérföld/óra, 1853 m/h.



12. ábra

A HWC-vonalak meredekségének TODR-függése [a szerző]

Az értékeket és a trendvonalat mutatja a 12. ábra. Ez alapján a szél hatását figyelembe vevő egyenlet:

$$\Delta D5 = HWC(-0,000004 TODR5^2 + 0,0178 TODR5 - 1,3465) \quad (9)$$

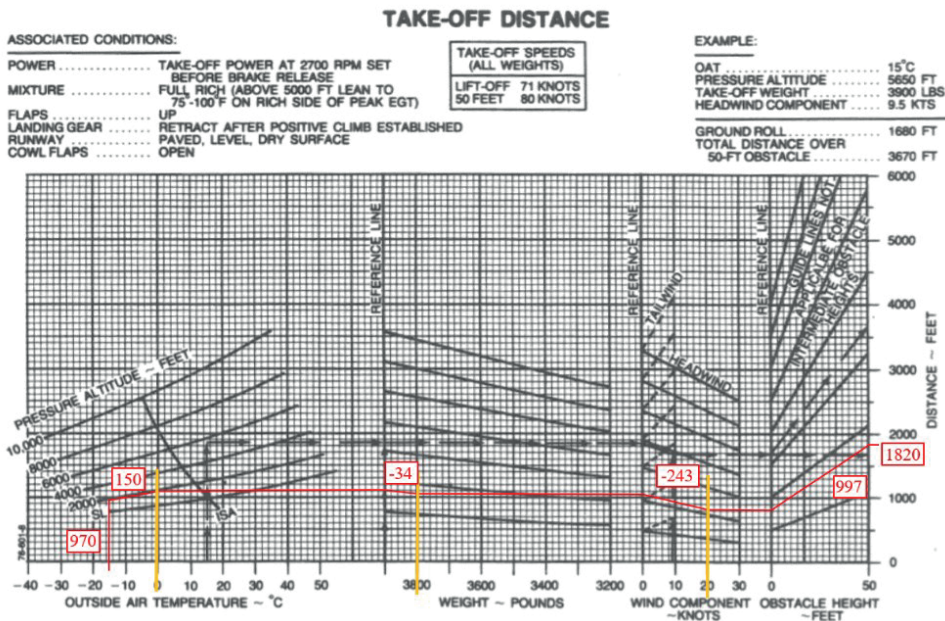
Ebben az esetben az $R^2 = 1$ és emiatt az ellenőrzés során a táblázatban szereplő valamenynyi TODR5-értéknél az eltérés 2-nél kevesebbre adódik HWC = 30 kt esetén. Ez pedig elhanyagolható.

2.2.6. A teljes kalkuláció ellenőrzése

Az eddig meghatározott összetevők összegeként meg kell kapnunk az elemzés bemenő adatát képező $TODR_{max}$ értékét:

$$\Delta D1 + \Delta D2 + \Delta D3 + \Delta D4 + \Delta D5 = TODR_{max} \quad (10)$$

Ennek ellenőrzésére próbaszerkesztést végeztem, a következő paraméterekkel: $H_p = 2000$ ft, $OAT = 0$ °C, $HWC = 20$ kt és a $TOM = 3800$ lb. A 13. ábrán látható szerkesztés eredménye $TODR_{max} = 1830$ ft és a számítási eredmény is 1820 ft. Ez gyakorlatilag 0,6% hibát jelent. Az ábrába beírtam az egyes fázisokban számított ΔD eredményeket is a jobb összehasonlíthatóság érdekében.



13. ábra

A számított és szerkesztett eredmények összehasonlítása [a szerző]

2.2.7. A PLTOM1 meghatározása

Miután mindegyik fázis jellegre és mennyiségre is jól számol és az összegük is pontos, elérkeztünk a végcélhoz, a PLTOM1 kifejezéséhez. Ehhez először a (10) egyenletet rendezni kell $\Delta D3$ -ra mivel abban van a PLTOM1, majd ki kell belőle azt fejteni:

$$PLTOM1 = 3900 - \frac{TODR_{max} - \Delta D1 - \Delta D2 - \Delta D4 - \Delta D5}{-0,0000001642 TODR3^2 + 0,0009 TODR3 - 0,4656} \quad (11)$$

Az implicit forma miatt nem érdemes tovább bontani, hanem MS Excel segítségével kiszámoltatni az összetevőket, és utána kiszámoltatni a PLTOM1 értékét.

3. A módszer hitelesítése

Használatbavétel előtt a hatóság – teljes joggal – megköveteli e módszerek validációját. Ezen túlmenően gondoskodni kell az ilyen alkalmazás módosítás elleni védelméről is, és a használat során féltve végre kell hajtani az alkalmazás helyes működésének és pontosságának ellenőrzését a megfelelőségbiztosítási felülvizsgálati program részeként. Validációs céllal elvégeztem számításokat és szerkesztéseket a 8. táblázat szerint, igyekezve egyenletesen lefedni

a H_p és OAT értelmezési tartományt. A szerkesztett és a számított eredmények különbségét is tartalmazza ez a táblázat. A pontosság érzékeltetése érdekében képeztem a különbségértékek abszolútértékeit, és vettem azok átlagát, ami 27,5 lb. Ezt az értéket viszonyítottam a szerkesztéssel kapott értékek átlagához, ami 3524 lb. Az így kapott eltérés 0,8%-os, ami a gyakorlati élet szempontjából teljesen megfelelő.

8. táblázat
A mért és számított PLTOM1-értékek összehasonlítása [szerző]

H_p	0	H_p	1000	H_p	2000	H_p	3000	H_p	4000
OAT	20	OAT	10	OAT	10	OAT	0	OAT	-10
TODR _{max}	1820	TODR _{max}	1900	TODR _{max}	2000	TODR _{max}	2000	TODR _{max}	2500
HWC	10	HWC	5	HWC	15	HWC	10	HWC	0
PLTOM1	3579,393	PLTOM1	3384,326	PLTOM1	3634,43	PLTOM1	3391,597	PLTOM1	3577,501
Szerk.	3560	Szerk.	3400	Szerk.	3620	Szerk.	3400	Szerk.	3620
Eltérés	19,39285		-15,6742		14,43002		-8,40266		-42,4993
H_p	0	H_p	1000	H_p	2000	H_p	3000	H_p	4000
OAT	35	OAT	40	OAT	40	OAT	35	OAT	30
TODR _{max}	2000	TODR _{max}	2500	TODR _{max}	2500	TODR _{max}	2500	TODR _{max}	3000
HWC	5	HWC	10	HWC	10	HWC	15	HWC	10
PLTOM1	3375,502	PLTOM1	3781,183	PLTOM1	3475,417	PLTOM1	3435,146	PLTOM1	3520,481
Szerk.	3420	Szerk.	3720	Szerk.	3480	Szerk.	3480	Szerk.	3540
Eltérés	-44,4981		61,18337		-4,5829		-44,8538		-19,5189

4. Komplex analízis készítése

Az előzőekben ismertetett módszer csak a felszállásra rendelkezésre álló távolság által korlátozott tömeget adja meg. Ehhez képest további feladat többhajtóműves repülőgépek esetén az ASDA, a műszeres indulási eljárások gradiens követelményei, az EOSID végrehajthatósága, az útvonali OEI¹⁷-követelmények, a cél és valamennyi kitérő repülőtér esetén a futópálya és az EOMA¹⁸ által korlátozott fel- és leszállótömegek meghatározása. Ezért jelöltem a TODA/TORA által korlátozott értéket PLTOM1-gyel. A fentebb említett fázisok alapján legalább 5 db PLTOM- (lásd 14. ábra) és 2 db PLLM-értéket határoztam meg, utóbbiakból szintén PLTOM-értékeket célszerű képezni, és végül ezek közül kiválasztani a legalacsonyabb értéket. Ez után a BEM¹⁹ és a szükséges üzem- és kenő-, valamint egyéb fogyóanyagok ismeretében meghatározható az ATL értéke, amely az egyetlen paraméter, amellyel egy repülési feladat kapcsán tudjuk változtatni a légi jármű tömegét. Ezért is célszerű a teljesítmény és M&B-számításokat²⁰ végző alkalmazást egyben elkészíteni, amelyre az MS Excel kitűnő lehetőséget ad.

¹⁷ OEI: *One Engine Inoperative* – egy üzemenkéntelen hajtómű

¹⁸ EOMA: *Engine Out Missed Approach* – egy üzemenkéntelen hajtóművel végrehajtott megszakított megközelítés.

¹⁹ BEM: *Basic Empty Mass* – alap üres tömeg: a légi jármű tömege az összes alapfelszereléssel és a ki nem fogyasztható üzemanyaggal

²⁰ M&B: *Mass and Balance* – tömeg és kiegyensúlyozás.

Keywords: *aircraft, engine failure, accessibility, performance, analysis, functions, approximation, mass limits*

Dr. Szilágyi Dénes főiskolai docens Nyíregyházi Egyetem Műszaki és Agrártudományi Intézet Közlekedéstudományi és Infotechnológiai Tanszék szilagyι.denes@nye.hu orcid.org/0000-0001-6055-0010	Dénes Szilágyi, PhD College Associate Professor University of Nyíregyháza Institute of Engineering and Agriculture Department of Transportation and Infotechnology szilagyι.denes@nye.hu orcid.org/0000-0001-6055-0010
---	--

