

Csató Péter

A Single Fuel Concept realitásai a fenntarthatóság tükrében

A NATO Single Fuel Concept (SFC) célja az üzemanyag-ellátási logisztika egyszerűsítése és a szövetséges haderők interoperabilitásának biztosítása a szárazföldi, légi és tengeri platformokon, egy egységes tüzelőanyag – jellemzően JP-8 – alkalmazásával. A klímaváltozás jelentette kihívások és a fenntarthatósági célkitűzések azonban új irányokat jelölnek ki a katonai energiafelhasználás terén. Jelen tanulmány áttekinti az SFC kialakulását, jelenlegi alkalmazási gyakorlatát, valamint vizsgálja, hogyan illeszthetők be a fenntartható repülési tüzelőanyagok a koncepcióba anélkül, hogy sérülne a hatékonyság vagy az interoperabilitás.

Kulcsszavak: egyetlen üzemanyag koncepció, fenntartható repülőgép-üzemanyag, interoperabilitás, klímaváltozás, károsanyag-kibocsátás, NATO-dekarbonizáció

1. Bevezetés

Az energiabiztonság és az interoperabilitás kiemelt jelentőségű tényezők a katonai műveletek tervezésében és végrehajtásában, ezért is alapvető pillérjei az Észak-atlanti Szerződés Szervezete (NATO) katonai erejének. 1986-ban a NATO az üzemanyag-logisztika terén is érvényesítette ezeket az elveket a Single Fuel Concept¹ (SFC) bevezetésével, amely azóta is meghatározza a szövetséges haderők üzemanyag-ellátási politikáját. Az SFC lényege, hogy minden hadszíntéren egységes tüzelőanyagot – jellemzően JP-8 (F-34) – alkalmazzanak a szárazföldi, légi és vízi járművek meghajtására egyaránt. Ez jelentősen leegyszerűsíti az ellátási láncokat, és növeli a szövetséges rendszerek közötti együttműködési képességet.

A 21. század második évtizedében azonban új stratégiai és környezeti kihívások jelentek meg: a klímaváltozás elleni fellépés, a fosszilis energiahordozóktól való függőség csökkentése, azaz a fenntartható üzemanyagokra való áttérés igénye. A NATO 2022-es Stratégiai Koncepciója már világosan kijelölte ezt az irányt. A szövetségesek felismerték, hogy a klímaváltozás „korunk meghatározó kihívása”, így hozzá kell járulniuk az üvegházhatású gázok kibocsátásának csökkentéséhez, javítaniuk kell az energiahatékonyságot és megkezdeni a fenntartható energiaforrásokra való fokozatos átállást a hatékonyság és az elrettentés,

¹ Single Fuel Concept: egyetlen tüzelőanyag koncepció.

valamint a védelmi képesség megőrzése mellett [1]. Ebben az új kontextusban a Single Fuel Concept jövője is kérdésessé válhat, különösen a fenntartható repülőgép-üzemanyagok (SAF²) megjelenésével és terjedésével [2].

2. A NATO Single Fuel Concept történeti áttekintése

Az egységes katonai tüzelőanyag használatának gondolata a II. világháború után merült fel, azzal a céllal, hogy egyszerűsítse a hajtóanyagok logisztikai ellátási láncát. A NATO szárazföldi erői az 1960-as évek közepén tértek át az F-34 típusú kerozin használatára, majd az 1970-es években történt meg a döntő lépés az üzemanyagok egységesítésére, amikor a szövetséges légierők úgy határoztak, hogy az F-40 típusú kerozint a biztonságosabb, kevésbé gyúlékony F-34-re cserélik. Az F-34 kerozin a polgári repülésben használt JET A-1 üzemanyagon alapul, és világszerte elérhető.

A NATO-országok 1988-ban állapodtak meg abban, hogy az egységes üzemanyag koncepcióját hosszú távú célként fogadják el. Ez a koncepció arra az elvre épül, hogy az F-34 típusú kerozin használható legyen a NATO-erők földi járműveiben, berendezéseiben, valamint a földi (nem hajófedélzeti) katonai repülőgépekben is. A koncepció nem terjed ki a haditengerészeti műveletekre, sem a speciális célokra használt, nagy energiasűrűségű üzemanyagokra [4].

Az SFC megvalósításával kapcsolatos technikai megfontolások a NATO-tagországok által használt három különböző üzemanyagtípust érintettek:

- Benzin – NATO F-57: Az Otto-motorok működtetésére szolgál. Rendkívül illékony, gyúlékony üzemanyag, és nem alkalmas dízelmotorokban vagy gázturbinákban való használatra. (Később az F-67 típusú ölommentes benzin váltotta fel.)
- Dízel – NATO F-54: A kompressziós gyújtású motorokban használt kereskedelmi dízelolaj katonai megnevezése. Megfelel az EN 590 európai szabványnak, és egyenértékű az amerikai DF-2 néven ismert dízelolajjal.
- Különböző típusú kerozinok:
 - F-35: Katonai repülőgépek gázturbinás hajtóműveihez használt kerozin, amely egyenértékű a legtöbb polgári gázturbinás repülőgép üzemeltetője által használt üzemanyaggal (JET A-1 vagy AVTUR).
 - F-34: Az F-35 típusú kerozinból, különböző adalékanyagok hozzáadásával létrehozott tüzelőanyag. Azonos a JP-8 vagy AVTUR/FSII típusú üzemanyaggal.
 - F-40: Benzin és kerozin keveréke, amely gázturbinás hajtóművek táplálására szolgál. Már csak néhány nemzet használja, főként kiképzési célokra. JP-4 vagy AVTAG/FSII néven is ismert. A NATO-n belül az F-34/F-35 vészhelyzeti helyettesítője.
 - F-44: Speciális, magas lobbanáspontú üzemanyag, főként repülőgép-hordozókon használt repülőgépekhez. Csak néhány finomítóban állítják elő világszerte, és korlátozottan beszerezhető. JP-5 vagy AVCAT/FSII néven is ismert.

² Sustainable Aviation Fuel: olyan megújuló vagy hulladékból származó repülőgép-üzemanyagok, amelyeknek legalább 10%-os karbonlábnym-csökkenést kell elérniük a fosszilis tüzelőanyagok 89 g CO₂ e/MJ-os értékéhez képest [3].

Az F-35 átalakítása F-34 típusú üzemanyaggá az alábbi adalékanyagok hozzáadásával történik:

- korróziógátló, kenőképeség-javító;
- tüzelőanyag-rendszer jegesedésgátlója (FSII³);
- sztatikus feltöltődést csökkentő adalék (SDA⁴).

Mind a négy fő típusú kerozin használható gázturbinás hajtóművekben, kisebb berendezésmódosítással, de csak az F-44, az F-35 és az F-34 alkalmas dízelmotorokban történő felhasználásra is. Ezeket alacsony dermedéspont és jó termikus stabilitás jellemzi [5].

3. A Single Fuel Concept előnyei és hátrányai

A koncepció elsődleges célja a NATO-erők szárazföldi és légi műveleteiben alkalmazott üzemanyag-logisztika egyszerűsítése annak érdekében, hogy lehetővé váljon az üzemanyag egységes elosztása és felhasználása minden NATO-tagállamban, valamint hogy az üzemanyag fogadása, tárolása, szállítása és elosztása a NATO rendszerén keresztül történjen.

Természetesen továbbra is a legfontosabb szempont maradt, hogy az F-34 vagy az F-35 üzemanyag minősége a légi közlekedésben semmilyen körülmények között ne sérüljön. Emellett az is kiemelendő, hogy a minőség-ellenőrzési eljárásokon sem szabad változtatni egészen az F-34 vagy F-35 földi felhasználási pontig történő eljuttatásáig.

Az SFC elfogadása a NATO-műveletek során technikai, logisztikai, hadműveleti és gazdasági előnyöket is kínál:

- A JET A-1 (F-35) világszerte beszerezhető, és az F-34-re könnyen átalakítható adalékok hozzáadásával.
- Az F-34 és az F-35 dermedéspontja jelentősen alacsonyabb (körülbelül $-47\text{ }^{\circ}\text{C}$), kevésbé hajlamos mikrobiológiai szennyeződésre, és stabilabb tárolási jellemzőkkel bír, mint a dízel, valamint a kenőképesége is jobb.
- Csökkenti az ellátási problémákat, valamint egyszerűbb logisztikai beszerzési láncot és infrastruktúrát tesz lehetővé, ezáltal csökkennek a szállítási és elosztási költségek is.
- Jelentősen növeli a fenntarthatóságot, javítja a felszerelések közötti interoperabilitást, és nagyobb rugalmasságot biztosít a harcrend kialakításában, valamint gyorsabb csapatáthelyezést tesz lehetővé.
- Csökken az üzemanyag-szennyezés (interkontamináció) kockázata [6].

A koncepció bevezetése három szakaszban történik:

Az elsőben – amely mára már lezárult – az F-40 üzemanyag kiváltása történt meg F-34-gyel és F-35-tel a NATO európai országaiban állomásozó repülőeszközök esetében.

A második fázisban a dízel (F-54) üzemanyagot váltották ki F-34-gyel vagy F-35-tel szárazföldi járművekben és dízelmotoros vagy gázturbinás repülőeszközökben. Ezt a szakaszt minden tagország önállóan hajtja végre a saját eszközcsereprogramjaival összhangban. A folyamat előrehaladásáról szóló részletes jelentéseket, valamint az eközben szerzett tapasztalatokat kétfévente teszi közzé az Üzemanyag és Kenőanyag Munkacsoport (F&LWG).

³ Fuel System Icing Inhibitor.

⁴ Static-Dissipator Additive.

Végül a harmadik szakasz a benzin katonai célú használatának megszüntetését célozza, olyan mértékben, hogy az igény annyira alacsonnyá váljon, hogy az nemzeti vagy kétoldalú megállapodások révén is biztosítható legyen [7].

A Single Fuel Concept implementálásának megkönnyítésére több szabványosítási dokumentum készült. Ilyenek a:

- **STANAG 3149:** Célja a NATO fegyveres erői által használt üzemanyagok minimális minőség-ellenőrzési követelményeinek meghatározása békeidőben, válsághelyzetben és konfliktus során.
- **STANAG 4362:** Irányelveket ad a jövőbeli haditechnikai eszközök számára használatos üzemanyagokra vonatkozóan, amelyek dízelmotorral vagy gázturbinás hajtóművel működnek.
- **STANAG 3747:** Útmutatást nyújt a gázturbinás hajtóművek üzemanyagainak minimális minőségi követelményeiről (1. táblázat), mint például az F-24, F-27, F-34, F-35, F-37, F-40, F-44 hajtóanyagok [8].

1. táblázat
Gázturbinás repülőgép-hajtóművek tüzelőanyagai [9]

Tüzelőanyagok megnevezése					
NATO	F-34	F-35	F-40	F-44	F-45
USA	MIL-T-83133 (JP-8)	ASTM JET A-1	ASTM JET B	MIL-T-5624G (JP-5)	MIL-T-5624D (JP-4)
Anglia	D. Eng. R. D. 2453	D. Eng. R. D. 2494	D. Eng. R. D. 2486	D. Eng. R. D. 2498	D. Eng. R. D. 2486
Franciaország	AIR3405	AIR3405	AIR3407	AIR3404	AIR3407
Kanada	3-GP-23	3-GP-23	3-GP-22	3-GP-24	3-GP-23
Oroszország		T-1, TSZ-1	RTt	T-7	
Alapvető jellemzők					
Sűrűség (15,56 °C-on) [g/cm ³]					
közepes	0,806	0,806	0,764	0,816	0,776
maximális	0,825	0,825	0,802	0,845	0,802
Kinetikai viszkozitás (-34,4 °C-on) [cSt]	15	15	3	16	2,5
Fagyáspont [°C]	-50	-54	-60	-56	-60
Égéshő [kJ/kg]	42 738	42 738	42 738	42 612	42 738

Az eddigi tapasztalatok azt mutatják, hogy az új üzemanyag alkalmazásának hatására egyes járművekben teljesítménycsökkenés tapasztalható. Bizonyos esetekben pedig módosítások szükségesek a járműveken vagy a berendezéseken, illetve további adalékok használatára van szükség. Noha az egyféle üzemanyag alkalmazása számos logisztikai előnnyel jár, a dízelolaj kerozinnal való helyettesítése több kompatibilitási problémába ütközött. Ezek közül az egyik az 1990–1991-es Desert Shield és Desert Storm hadműveletek során észlelt, alacsony kenőképességű üzemanyag miatti meghibásodások az adagolóban [10].

A kerozin viszkozitása alacsonyabb, mint a dízel üzemanyagé, és tovább csökken, ahogy nő a hőmérséklet. Alacsony viszkozitás esetén nem biztosít megfelelő kenést, így jelentősen nő a kopás lehetősége, mivel a csúszó alkatrészek felületei érintkezhetnek egymással. Ez belső szivárgást eredményezhet, ami csökkenti az égéstérbe juttatott üzemanyag mennyiségét, és meghibásodáshoz vezet.

Másik probléma, hogy noha a dízel üzemanyagnak kisebb a fajlagos égéshője, mint a JP-8-nak, magasabb sűrűsége miatt térfogategységre vetítve nagyobb égéshővel rendelkezik. Ezért a kerozin kisebb energiabevitelt eredményez a motorba, ami jellemzően alacsonyabb hengernyomást és kisebb teljesítményt jelent.

A JP-8 nagyobb összenyomhatósága miatt lassabb a nyomás felépülése az üzemanyag-szivattyúban. Emellett alacsony cetánszáma gyulladási késedelmet okoz, így több üzemanyag kerül a hengerbe, mielőtt meggyullad, ami durvább égést eredményez. Hidegindítás esetén a motor nehezen vagy egyáltalán nem indul be [4].

A régebbi dízelüzemű motorok teljes optimalizálása lehetséges, azonban sok esetben igen költséges lenne. A szabványos dízel és a kereskedelmi repülőgép-üzemanyag jellemzően könnyebben beszerezhető, valamint előállítása és adalékolása is olcsóbb, mint a JP-8-é különösen nagy mennyiségben, így a nem kimondottan katonai célokra használt járműveknél (például logisztika, kiképzés, bázison belüli mozgás) felesleges költségnövekedést jelentene az átállás.

Ezért az egyes országok fenntarthatják saját ellátási láncukat, nemzeti szabványukat anélkül, hogy sérülne az interoperabilitás, és csak műveleti környezetben, illetve többnemzeti gyakorlatokon térnek át teljesen a JP-8 használatára.

4. Új kihívások

A klímaváltozás napjaink egyik legégetőbb problémája, amelynek hatásai mára már elvitathatatlanok. A bolygó újra és újra figyelmeztet, hogy a felmelegedés elérte a kritikus pontot. Már nincs meg az a luxusunk, hogy késlekedjünk e kihívás kezelésében. Az ipari és kereskedelmi szektornak együtt kell működnie, hogy drasztikusan csökkenthessük az üvegházhatású gázok kibocsátását. Ez alól nem kivétel a hosszú ideig figyelmen kívül hagyott globális védelmi ipar sem, amely hatalmas mennyiségű fosszilis tüzelőanyagot használ fel (1. ábra). A világ hadseregeinek pontos hozzájárulását a globális emisszióhoz rendkívül nehéz kiszámítani, mivel eddig kevés adatot rögzítettek és tettek közötté.



1. ábra

A USS Ronald Reagan vezette kötelék 2018-ban a Valiant Shield hadműveletben [11]

Ennek ellenére becslések szerint a világ fegyveres erőinek és az ezeket kiszolgáló iparágaknak a teljes szén-dioxid-termelése akár a globális érték 5%-át is elérheti. Ez a mérték nagyjából megfelel a polgári légi közlekedés és hajózás együttes kibocsátásának [12].

2015-ben az IPCC⁵ megállapodott abban, hogy a globális átlaghőmérséklet-emelkedést az iparosodás előtti szinthez képest legfeljebb 1,5 °C-ra kell korlátozni. Ahhoz, hogy ezt a célt esélyünk legyen elérni, az üvegházhatású gázok globális kibocsátásának a század közepéig nettó nullára kellene csökkennie [13].

Habár a NATO kulcsszerepet tölt be a globális béke és biztonság fenntartásában, a 21. század második évtizedében rá kellett eszmélnie, hogy katonai tevékenységéből származó károsanyag-kibocsátásának csökkentése már nem opció, hanem a fennmaradáshoz szükséges alapvető feladat. Ahogy Jens Stoltenberg, a NATO főtitkára figyelmeztetett a 2021-es glasgow-i ENSZ-klimacsúcson (COP26): „Lehetetlen elérni a nettó nulla emissziót anélkül, hogy a katonai kibocsátásokat is belevonnánk.” [14]

A közelmúlt geopolitikai feszültségei, mint például az orosz–ukrán háború következtében fellépő üzemanyaghiány, ezáltal a fogyatkozó kőolajforrásoktól való függőség még sürgetőbbé teszi a probléma kezelését.

A NATO 2022-es Stratégiai Konceptiójába már beemelték az éghajlatváltozást mint korunk meghatározó kihívását, amely jelentős hatással van a szövetségesek biztonságára. A Konceptió meghatározza a Szövetség előtt álló legfontosabb kihívásokat a következő tíz évre. Ennek eredményeként a klímavédelmi szempontok minden eddiginél hangsúlyosabbak lettek. A NATO célkitűzése, hogy 2030-ig 45%-kal csökkentse a károsanyag-kibocsátását, és 2050-re karbonsemlegessé váljon. (Habár ez a cél csak a NATO létesítményeire és eszközeire vonatkozik, és nem a tagállami hadseregekre, amelyek jóval nagyobb karbonlábnnyommal rendelkeznek [1].) Mindezek megvalósítása érdekében ki kell alakítani a NATO jövőbeli (kőolaj utáni) energiamixének felépítését.

5. Kilátások

A fosszilis tüzelőanyagoktól eltérő energiaforrásokra való átállás a közeljövőben egyszerre kínál lehetőségeket és jelent kihívásokat a NATO katonai üzemanyag-ellátása számára.

Egyrészt az új üzemanyagtípusok, mint a fenntartható repülőgép-üzemanyag (SAF), a hidrogén és az elektromos meghajtás, csökkenthetnék a függést olyan külső beszállítóktól, amelyek ellenségesek vagy indifferensek a NATO-val szemben. Azonban ez nagymértékben megbolygatná az ellátási láncot, ami pedig ellentétes az SFC alapvető céljaival.

Másrészt a katonai eszközök hosszú fejlesztési folyamatai és élettartama miatt a védelmi szféra jellemzően késéssel követi a polgári szektor új energiaforrásainak alkalmazását. Ez azt jelenti, hogy a következő 10–15 évben az új típusú katonai üzemanyagok csak marginális szerepet fognak játszani. Ez pedig egyre nagyobb kihívást jelent majd, hiszen a fosszilis tüzelőanyagokhoz kapcsolódó infrastruktúra fokozatosan visszaszorul a polgári szektorban, így a katonai logisztika fenntartása költségesebbé és nehezebbé válik. Ráadásul az európai és észak-amerikai szövetségesek között jelenleg eltérő elképzelések mutatkoznak a jövőbeni hajtóanyagok alkalmazását illetően.

⁵ Intergovernmental Panel on Climate Change: Éghajlatváltozási Kormányközi Testület.

Az Egyesült Államok hadserege 2035-re hibrid meghajtású harcászati járműveket kíván hadrendbe állítani, míg teljesen elektromos járműveket 2050-re terveznek (2. ábra) [15]. Az Európai Bizottság ellenben abban reménykedik, hogy a hidrogéntechnológia teszi lehetővé a közlekedési szektor szén-dioxid-mentesítését [16].



2. ábra
Az Egyesült Államok hadseregének hidrogénhajtású kamionja [17]

Hasonló különbségek mutatkoznak a légi közlekedési szektorban is. Európában az Airbus hidrogénhajtású üzemanyagcellás hajtóművet fejleszt, amit az egyik lehetséges megoldásként vizsgál a 2035-re tervezett, zero kibocsátású repülőgépekhez (3. ábra) [18].



3. ábra
Az Airbus ZEROe hidrogénhajtású repülőgépének koncepciója [18]

Az Egyesült Államokban a Boeing a hidrogén- és elektromos meghajtással való kísérletezéssel (4. ábra) párhuzamosan a fenntartható repülőgép-üzemanyagokra történő fokozatos áttálláson is dolgozik [19].



4. ábra

A Boeing és a JetBlue Airways által támogatott Zunum Aero hidrogénhajtású repülőgép koncepciója [20]

Azonban amíg a hidrogén- és elektromos meghajtás technológiája el nem éri a megfelelő fejlettségi szintet – ami a 21. század második harmadára becsülhető –, más alternatívák kifejlesztésére van szükség. A SAF térnyerése – kereskedelmi és katonai használatban egyaránt – várhatóan középtávon (10–15 év) lesz meghatározó az európai üzemanyag-ellátásban, hiszen *drop-in* jellegük révén közvetlenül helyettesíthetik a JP-8-at, és biomasszából, növényi olajokból, állati zsírokból vagy zöldhidrogénből készülnek kőolaj helyett, valamint a meglévő repülőgéppüzemanyag-tárolókban is elhelyezhetők, némi átalakítással. Ez a könnyű integrálhatóság enyhíti az új technológia hosszú bevezetési idejéből fakadó problémákat, hiszen nem igényelnek új platformokat. A norvég, a svéd és a brit légierő például már sikeresen tesztelte a SAF-ot az F-35, F-18 és JAS 39 Gripen vadászrepülőgépeken (5. ábra) [21].



5. ábra

Bioüzemanyaggal hajtott JAS 39 Gripen [22]

Sajnos a jelenleg rendelkezésre álló alternatívák nagy része az érvényes nemzetközi szabványok alapján (ASTM D1655 és D5766), a 2. táblázatban láthatóan maximum fele-fele arányban keverve használható hagyományos kerozinnal, így amennyiben nem történik további fejlesztés, ezek csupán átmeneti megoldást jelentenek.

2. táblázat
A SAF-ek előállítási módjai és keverési arányuk [23]

Üzemanyag típusa	Nyersanyag	Keverési arány
Fischer–Tropsch szintetikus paraffin kerozin (FT-SPK)	Biomassza (erdészeti maradványok, szilárd városi és mezőgazdasági hulladék)	Legfeljebb 50%
Hidrogénezett észterek és zsírsavak (HEFA)	Olajtartalmú biomassza (jatropha, camelina, algák)	Legfeljebb 50%
Hidrogénezett erjesztett cukrokból szintetizált izoparaffinok (HFS-SIP)	Cukor átalakítása szénhidrogénné mikrobiális módszerrel	Legfeljebb 10%
FT-SPK aromás vegyületekkel (FT-SPK/A)	Megújuló biomassza (erdészeti maradványok, energianövények, mezőgazdasági és városi szilárd hulladék)	Legfeljebb 50%
Alkoholból előállított szintetikus paraffin kerozin (ATJ-SPK)	Mezőgazdasági hulladékok, melléktermékek (erdészeti fahulladék, szalma, fű)	Legfeljebb 30%
Alacsony dermedéspontú hidrogénezett észterek és zsírsavak (HFP-HEFA)	Olajtartalmú biomassza (jatropha, camelina, algák)	Legfeljebb 50%

Ugyanakkor a SAF termelésének továbbra is nagyon alacsony az aránya a teljes kereslethez képest: a világon a repülőgép-üzemanyag előállításának kevesebb mint 2%-át teszi ki. Látható, hogy rövid távon nincs reális esély arra, hogy a nagyobb katonai járművek – mint a harckocsik, a vadászrepülőgépek és a páncélozott csapatszállítók – fosszilis tüzelőanyagok nélküli hajtással működjenek [21].

Mivel a védelmi szféra az üzemanyagokat civil kereskedelmi csatornákon keresztül szerzi be, a polgári kínálat és infrastruktúra visszaesése súlyosbíthatja az ellátási problémákat. Így elképzelhető, hogy a következő évtizedekben „duplikált” tüzelőanyag-infrastruktúrát kell fenntartani a katonai logisztika biztosítására, amelyben helyet kap a megőrzött fosszilis üzemanyag-ellátás és az új típusú alternatív infrastruktúra is. Ezzel pedig ismét csak az SFC elveivel ellentétes hatást érünk el.

A NATO-szövetségek fegyveres erőinek dekarbonizálása a jövőben drasztikusan bonyolíthatja az energiaellátás logisztikáját. Ugyanakkor a fokozódó társadalmi nyomással szembenező államok akár elhamarkodottan is választhatják az azonos célt szolgáló, de egymással versengő technológiák beemelését, ami veszélyeztetheti a NATO-haderők interoperabilitását, és ezáltal gyengítheti elrettentő és védelmi képességét. Ezért rendkívül fontos, hogy a Szövetség tagjai közös jövőképet fogalmazzanak meg a leendő üzemanyag- és energiarendszerek kialakításáról, valamint még nagyobb hangsúlyt helyezzenek az interoperabilitási szabványok fejlesztésére. Ezzel garantálhatják azt is, hogy a haderők dekarbonizációja ne veszélyeztesse a NATO kollektív védelmi képességeit [2].

Az átmenet folyamata megindult: a 2023-as vilniusi NATO-csúcstalálkozón a tagállamok megállapodtak egy kezdeményezés, a *Military Energy Transition by Design* végrehajtási tervének kidolgozásában, célul tűzték ki a katonai energiafelhasználás átalakítását, beleértve az alternatív üzemanyagok integrálását a NATO logisztikai rendszerébe. Azonban egyelőre a tagállamok közötti eltérő megközelítések és a növekvő katonai kibocsátások kihívást jelentenek a felállított célok elérésében, ami az üvegházhatású gázok kibocsátásának legalább 45%-os csökkentését jelentené 2030-ig, valamint nettó zero kibocsátást 2050-re [24].

Látható, hogy a Single Fuel Concept jelenlegi állapotában elavult politikává vált, és hosszú távon már nem tartható elveket is tartalmaz. Azonban az alapvető elgondolások, mint az üzemanyag-ellátó logisztika egyszerűsítése és a tagországok haditechnikai eszközeinek rendszerszintű együttműködése a mai napig fontos, releváns célok. Emellett viszont nem szabad elfeledkezni a kor előrehaladtával megjelenő újabb és újabb kihívások figyelembevételéről sem.

Hosszú távon az SFC rugalmasabbá tétele, modernizálása – például lehetőséget adva a tagállamoknak alternatív üzemanyagtípusok alkalmazására – kulcsszerepet játszhat az energetikai átmenetben. Az egyes tagállamok különböző ütemben távolodnak el a szénalapú üzemanyagoktól, és az ukrajnai háborúból fakadó hatások ezt a folyamatot csak tovább gyorsítják [25]. Ahogy a tagállamok diverzifikálják az üzemanyagtípusokat és a beszerzési forrásokat, egyre nehezebbé és kevésbé relevánssá válhat az egységes fosszilis üzemanyag-politika fenntartása. A NATO ehelyett ösztönözhetné a kutatás-fejlesztést a fenntartható repülőgép-üzemanyagok területén. Végül pedig sor kerülhetne a „Single SAF Concept”, az SFC korszerűsített változatának kidolgozására.

6. Összegzés

A JP-8 típusú üzemanyag világszintű, egységes minőségi szabvány szerinti előállítása, könnyű, gyors elérhetősége tette lehetővé az SFC alkalmazását. Az egyféle üzemanyag használata számos technikai, műveleti, gazdasági és környezetvédelmi előnyt biztosít, de a leglényegesebb ezek közül a NATO üzemanyag-ellátási láncának leegyszerűsítése. Annak ellenére, hogy életre hívása óta számos problémába ütközött, bizonyos mértékig elérte célját, hiszen a műveleti területen, többnemzeti gyakorlatokon napjainkban is a JP-8 az általánosan alkalmazott tüzelőanyag. Éppen ezért a NATO továbbra is fenntartja a koncepciót, hiszen ilyen esetekben a logisztika egyszerűsége, a hibalehetőségek minimalizálása és a magas fokú interoperabilitás létfontosságú. Békeidőben, saját területen végzett feladatok végrehajtása során azonban a nemzetek jellemzően visszatérnek a hagyományos üzemanyagok használatához, mert azok olcsóbbak és jobban elérhetők a civil infrastruktúrából.

A jövőben a fenntartható alternatív tüzelőanyagok felé való elmozdulás várható. A cél, hogy ezek kompatibilisek legyenek a JP-8 szabványokkal, így az új üzemanyagok beilleszthetők legyenek a meglévő SFC-rendszerbe is. Ezeket a szempontokat már a járművek és a hajtóművek fejlesztésekor figyelembe kell venni.

A termelés méretezhetőségével, a költséghatékonysággal, valamint az ellátási lánc ellenálló képességével kapcsolatos kihívások kezelése kulcsfontosságú lesz a további fejlődés szempontjából. Ugyanakkor kétségtelen, hogy megfelelő kutatás-fejlesztés mellett a SAF hosszú távú megoldást jelenthet, és e technológia katonai alkalmazásának fokozatos elterjedése hozzájárulhat egy hatékonyabb, fenntarthatóbb és ellenállóbb védelmi infrastruktúra kialakításához a jövőben.

Azonban a NATO-nak átfogó energiaalkalmazkodási tervre van szüksége annak érdekében, hogy továbbra is képes legyen feladatait betölteni. Ezért a tagállamoknak sürgősen lépéseket kell tenniük a szövetség jövőbeni energiaszükségletének kialakítása, ezáltal annak biztosítása érdekében, hogy a NATO elrettentő és védelmi képességei fennmaradjanak [2].

Felhasznált irodalom

- [1] NATO 2022 Strategic Concept, Madrid, 2022. Online: https://www.nato.int/nato_static_fl2014/assets/pdf/2022/6/pdf/290622-strategic-concept.pdf
- [2] D. P. Jankowski, J. Wieczorkiewicz, „Energy Transition: How NATO Can Get It Right,” Britain's World, Council on Geostrategy, 2023. Online: <https://www.geostrategy.org.uk/britains-world/energy-transition-how-nato-can-get-it-right/>
- [3] J. Pechstein, A. Zschocke, „Blending of Synthetic Kerosene and Conventional Kerosene,” in *Biokerosene: Status and Prospects*, M. Kaltschmitt, U. Neuling szerk. Berlin, Springer, 2018, pp. 665–686. Online: https://doi.org/10.1007/978-3-662-53065-8_25
- [4] G. Fernandes et al., „Impact of Military JP-8 Fuel on Heavy-Duty Diesel Engine Performance and Emissions,” *Proceedings of The Institution of Mechanical Engineers Part D-Journal of Automobile Engineering*, 221. évf. 8. sz. pp. 957–970. 2007. Online: <https://doi.org/10.1243/09544070JAUTO211>
- [5] NATO Logistics Handbook, NATO Headquarters, Brüsszel, 2012.
- [6] R. Spudić, S. Krešimir, V. Kovačević, „Single Fuel Concept for Croatian Army Ground Vehicles,” *Promet-Traffic & Transportation*, 20. évf. 3. sz. pp. 181–187. 2008. Online: <https://doi.org/10.7307/ptt.v21i3.1000>
- [7] F. Work, „Development of Multi-Fuel, Power Dense Engines for Maritime Combat Craft,” *Journal of Marine Engineering & Technology*, 10. évf. 2. sz. pp. 37–46. 2011. Online: <https://doi.org/10.1080/20464177.2011.11020246>
- [8] MIL-STD-3004-1: 2020 Quality Assurance for Bulk Fuels, Lubricants and Related Products, U.S. Department of Defense Standard Practice.
- [9] Óvári Gy., Szegedi P., „Alternatív üzemanyagok alkalmazásának lehetőségei a repülésben,” *Repüléstudományi Közlemények*, 22. évf. 2. sz. pp. 1–12. 2010. Online: http://www.repulestudomany.hu/kulonszamok/2010_cikkek/Ovari_Gyula-Szegedi_Peter.pdf
- [10] M. E. Le Pera, „The Reality of the Single-Fuel Concept,” *Army Logistician*, 37. évf. 2. sz. pp. 40–44. 2005.
- [11] Online: <https://www.af.mil/News/Photos/igphoto/2002044407/mediaid/2950584/>
- [12] D. Depledge, „Low-Carbon Warfare: Climate Change, Net Zero and Military Operations,” *International Affairs*, 99. évf. 2. sz. pp. 667–685. 2023. Online: <https://doi.org/10.1093/ia/iia001>
- [13] V. Masson-Delmotte et al., *Global warming of 1.5°C. An IPCC Special Report on the Impacts of Global Warming of 1.5°C Above Pre-Industrial Levels and Related Global GHG Emission Pathways, in the Context of Strengthening the Global Response to the Threat of Climate Change, Sustainable Development, and Efforts to Eradicate Poverty*, Cambridge, Cambridge University Press, 2018. Online: <https://doi.org/10.1017/9781009157940>
- [14] M. John, „NATO Chief: Armies Must Keep Pace With Global Climate Efforts,” *Reuters*, 2021. november 2. Online: <https://www.reuters.com/business/environment/nato-chief-armies-must-keep-pace-with-global-climate-efforts-2021-11-02/>
- [15] C. Cranston, *Driving Innovation: Propelling the US Department of Defense's Acquisition of Hybrid-Electric Tactical Vehicles to Win the Wars of Tomorrow*. Charlottesville, Virginia, Judge Advocate General's Legal Center and School, 2024. Online: <http://dx.doi.org/10.2139/ssrn.4872900>

- [16] Y. Zabanova, „The EU in the Global Hydrogen Race: Bringing Together Climate Action, Energy Security, and Industrial Policy,” in *The Geopolitics of Hydrogen*, R. Quitzow, Y. Zabanova szerk. Cham, Springer, 2024, pp. 15–47. Online: https://doi.org/10.1007/978-3-031-59515-8_2
- [17] M. A. Vaughan, „H2rescue mission,” *U.S. Army*, 2024. április 18. Online: https://www.army.mil/article/275433/h2rescue_mission
- [18] Airbus S.A.S., „Airbus Showcases Hydrogen Aircraft Technologies During Its 2025 Airbus Summit,” 2025. Online: <https://www.airbus.com/en/newsroom/press-releases/2025-03-airbus-showcases-hydrogen-aircraft-technologies-during-its-2025>
- [19] A. Jankovsky, C. Andrews, B. Rogers, „Fly the Hybrid Skies: NASA, GE Aerospace, and Boeing are Collaborating on a Hybrid-Electric Airliner,” *IEEE Spectrum*, 61. évf. 2. sz. pp. 28–34. 2024. Online: <https://doi.org/10.1109/MSPEC.2024.10418951>
- [20] J. Benett, „Boeing-Backed Electric Plane Could Fly in 2020s,” *Popular Mechanics*, 2017. október 6. Online: <https://www.popularmechanics.com/flight/news/a28540/boeing-backed-electric-plane-fly-2020s/>
- [21] R. Stoop, I. Patrahau, C. Cassidy, „Securing European Military Fuels in a Tense Security Environment Supply, Distribution and Storage,” The Hague Centre for Strategic Studies, 2025. Online: <https://hcss.nl/report/securing-european-military-fuels-in-a-tense-security-environment-supply-distribution-and-storage/>
- [22] „Gripen Completes Test Flights With 100% Biofuel,” *Saab*, 2017. április 4. Online: <https://www.saab.com/newsroom/stories/2017/april/gripen-completes-test-flights-with-100-biofuel>
- [23] Fehér K., „A katonai légijárművek üzemeltetési hatékonyságának, gazdaságosságának javítási lehetőségei az üzemeltetés eszközeinek, eljárásainak korszerűsítésével, valamint alternatív energiaforrások alkalmazásával,” Disszertáció, Nemzeti Közszolgálati Egyetem Katonai Műszaki Doktori Iskola, 2024. Online: <https://doi.org/10.17625/NKE.2024.041>
- [24] K. Kertysova, „Towards a Greener Alliance: NATO's Energy Efficiency and Mitigation Efforts,” in *Climate Change, Conflict and (In)Security: Hot War*, T. Clack, Z. Meral, L. Selisny szerk. London, Routledge, 2023, pp. 171–189. Online: <https://doi.org/10.4324/9781003377641>
- [25] A. Farhan, S. Kossmann, A. van Rij, „Preparing NATO for Climate-Related Security Challenges,” London, Royal Institute of International Affairs, 2023. Online: <https://doi.org/10.55317/9781784135799>

Realities of the Single Fuel Concept in Terms of Sustainability

The NATO Single Fuel Concept (SFC) aims to simplify fuel logistics and ensure interoperability among allied armed forces by using a single type of fuel – typically JP-8 – across land, air, and maritime platforms. But the challenges of climate change and sustainability objectives are setting new directions for military energy use. This paper reviews the development of SFC, its current application practices and examines how sustainable aviation fuels can be integrated into the concept without compromising efficiency or interoperability.

Keywords: *single fuel concept, sustainable aviation fuel, interoperability, climate change, harmful gas emission, NATO decarbonisation*

Csató Péter, MSc

doktori hallgató

Nemzeti Közszerológati Egyetem

Hadtudományi és Honvédtisztképző Kar

Katonai Műszaki Doktori Iskola

csato.peter@stud.uni-nke.hu

orcid.org/0000-0002-9515-5376

Péter Csató, MSc

PhD student

Ludovika University of Public Service

Faculty of Military Science and Officer Training

Doctoral School of Military Engineering

csato.peter@stud.uni-nke.hu

orcid.org/0000-0002-9515-5376
