

Varga Nóra:

# A BIOTECHNOLÓGIA ÉS A HUMÁN TELJESÍTMÉNYTECHNOLÓGIA KATONAI SEKTORBAN TÖRTÉNŐ ALKALMAZÁSÁNAK LEHETŐSÉGEI

„Mert többre van szükségünk – több pszichológiára van szükségünk. Jobban meg kell értenünk az emberi természetet, mert az egyetlen létező valós veszély maga az ember.”<sup>1</sup>

Carl Gustav Jung, 1959

DOI: 10.35926/HSZ.2024.6.6

ÖSSZEFOGLALÓ: *Biotechnológia, humán teljesítménytechnológia és társai. Sci-fi-nek tűnő módszerek, szakterületek, ágazatok, melyek a jövőt vetítik előre – pedig már velünk vannak. Velünk vannak az egészségügyben, a mezőgazdaságban, az iparban, és egyre inkább megmutatják magukat a katonai szektorban is. Még akkor is, ha a legtöbb állam részére ezek a fejlesztések egyelőre nem relevánsak, a kíváncsiságot és az érdeklődést nem szabad elnyomni. A tanulás, ismeretszerzés, megtapasztalás mind fontos aspektusa annak, hogy a versenyben azok az államok se maradjanak le teljesen, amelyek lehetőségei korlátozottak e technológiák kutatása és fejlesztése tekintetében. Ez a tanulás és kíváncsiság az, ami ezt a cikket is ihlette, mely igyekszik összefoglalni ennek a titokzatos területnek a természetét, és vitára hívni az olvasót a potenciális jövőt illetően.*

KULCSSZAVAK: *biotechnológia, képességfejlesztés, hadviselés, ember, jövő*

## A SZERZŐRŐL:

Varga Nóra honvédelmi alkalmazott, Honvéd Vezérkar Vezérkari Iroda, Nemzetközi Kapcsolatok Osztály, főelőadó (ORCID: 0009-0004-7530-7864; MTMT: 10089398)

## BEVEZETŐ

A globális erőegyensúly alakításában, ezzel együtt a nagyhatalmi verseny soha nem nyugvó ringjében a technológiai fejlődés mindig is kulcsszerepet játszott. A nukleáris fegyverkezés hajnalától a kibertér önálló műveleti térré történő avanszálódásáig minden technológiai vívmány újradefiniálja a hadviselés jellemzőit, ezzel együtt pedig – mondhatni – a nagyhatalmi versengés természetét is.

2024-ben már megkérdőjelezhetetlen, hogy a világ nagy része – legalábbis elméleti síkon – túllépett ezeken a vívmányokon, és tekintetünket egy eddig még kevésbé ismert, titokzatos

<sup>1</sup> Because we need more — we need more psychology. We need more understanding of human nature, because the only real danger that exists is man himself. <https://www.mayooshin.com/carl-jung-bbc-interview> (Letöltés: 2024. 06. 05.)

terület felé fordítja, a felforgató és a forradalmi technológiák<sup>2</sup> világa felé. A NATO 2022-es stratégiai koncepciójában felvázolta azokat a kihívásokat, melyeket a megváltozott és komplex biztonsági környezetben mindenképp szemmel kell tartani.<sup>3</sup> A stratégiai koncepció jegyzi, hogy kiszámíthatatlan e kettős felhasználású innovációk alkalmazási repertoárja, melyek önmagukban nem jelentenek fenyegetést, de ártó szándékú felhasználásuk és ezek kezelésének elmulasztása az euroatlanti biztonságot veszélyeztetheti. A NATO megközelítése alapján e technológiáknak kilenc fő prioritási területe van, melyek közül az egyik a jelen írás témája: a biotechnológia és a humán teljesítménytechnológia (Biotechnology and Human Enhancement – BHE).<sup>4</sup>

Az e területeken elért eredmények és új ismeretek, sőt mi több, eredményes alkalmazásuk kétségkívül stratégiai előnyhöz juttatják az ismeretek birtokosát. Kiismerésük, „megszelidítésük” és tudatos alkalmazásuk nem csupán a konvencionális hadviselés karakterisztikáját torzíthatja el, hanem tovább mélyítheti a szakadékot a fejlett és a fejlődő államok között, ami hosszú távon megjósolhatatlan következményekkel jár.

## MIT ÉRTÜNK BIOTECHNOLÓGIA ÉS HUMÁN TELJESÍTMÉNYTECHNOLÓGIA ALATT?

Ahhoz, hogy megérthessük, milyen potenciál rejlik a biotechnológia és a humán teljesítménytechnológia katonai célokra történő alkalmazásában, mindenekelőtt a kérdés alapjait kell körbejárjunk, legalább alapszinten. Mit kell valójában biotechnológia alatt érteni, és melyek az általános alkalmazási területek? Miképp értelmezhető e technológia a biztonság és a védelem területén? Mit foglal magában a humán teljesítménytechnológia?

A biotechnológia ötvözi a biológiát a technológiával, hogy sejt- és biomolekuláris folyamatokat használjon fel különböző célokra. Ez magában foglalja az élő szervezetek vagy azok összetevőinek manipulálását olyan termékek és technológiák kifejlesztése érdekében, amelyek javítják az emberi életet.<sup>5</sup>

A biotechnológia általános alkalmazása számos iparágra kiterjed, beleértve az egészségügyet, ahol kulcsszerepet játszik gyógyszerek, vakcinák és génterápiák kifejlesztésében. A mezőgazdaságban a biotechnológiát genetikailag módosított növények létrehozására használják, melyek ellenállóbbak a kártevőkkel és a környezeti hatásokkal szemben. Emellett a környezetgazdálkodásban is alkalmazzák, például bioremediációra, amely mikroorganizmusok felhasználását jelenti a szennyező anyagok tisztítására.<sup>6</sup>

Az egészségügy és a mezőgazdaság mellett azonban a biotechnológia katonai alkalmazása is egyre relevánsabbá válik. A biotechnológia olyan innovatív megoldásokat kínál ebben a szférában, melyek egyaránt alkalmazhatók a személyi állomány egészségének és teljesítményének javítására, fokozására, illetve egyéb fejlett védelmi mechanizmusok kifejlesztésére.<sup>7</sup> Ezért és a már említett nagyhatalmi verseny fokozódása miatt a biotechnológia katonai

<sup>2</sup> Emerging and disruptive technologies. Szabad fordításban „felforgató és forradalmi technológia”, de nincs egy univerzálisan elfogadott definíció, mellyel leírható ezen technológiák jelentése. A Cambridge Dictionary alapján: „a new technology that completely changes the way things are done”. Forrás: <https://dictionary.cambridge>

<sup>3</sup> NATO 2022 Strategic Concept, 2024.

<sup>4</sup> Emerging and Disruptive Technologies, 2024.

<sup>5</sup> What is biotechnology?, 2024

<sup>6</sup> Bioremediáció, 2024.

<sup>7</sup> Summary of NATO's Biotechnology and Human Enhancement Technologies, 2024.

alkalmazása egyre nagyobb stratégiai jelentőséggel bír. A robusztus K+F-képességekkel bíró nemzetek célzottan fordítanak nagyobb figyelmet az ilyen irányú modernizációra, hiszen a jövőbeli konfliktusokat nem csupán hagyományos fegyverekkel, hanem e technológia által fejlesztett vagy támogatott eszközökkel, sőt emberekkel vívhatják meg.<sup>8</sup>

A humán teljesítménytechnológia fő célja az egyének hatékonyságának és eredményességének a javítása. A biotechnológiához köthető kapcsolata épp a két terület azonos céljában rejlik, azaz az emberi képességek optimalizálása konkrét eredmények elérése érdekében.<sup>9</sup> Hogyan viszonyul a két terület egymáshoz a gyakorlatban? A biotechnológia rendszerek és organizmusok manipulálása révén olyan eszközöket és technikákat kínál, melyek beépíthetők a humán teljesítménytechnológia stratégiájába. Például a különböző biotechnológiai fejlesztések – például a „neuroenhancement”, a génmódosítás és a viselhető bioszenzorok – hozzájárulnak a fizikai és a kognitív funkciók optimalizációjához, így támogatva a HPT céljait.

Említésre került, hogy a biotechnológia – nevéből fakadóan is – a biológiát és a technológiát ötvözi, míg a humán teljesítménytechnológia inkább tekinthető multidiszciplináris jellegűnek, ugyanis egyaránt megtalálható benne pszichológia, oktatástervezés és -szervezés, mérnöki tudományok és üzleti menedzsment is. Erre az összetett jellegre azért van szükség, hogy sikeresen azonosításra kerüljenek az emberi teljesítményben fennálló hiányosságok, és ezek célzott áthidalására konkrét megoldásokat lehessen kidolgozni.

## TÖRTÉNETI ÁTTEKINTÉS

A biotechnológia és a humán teljesítménytechnológia mint önálló „diszciplínák” kialakulása egyaránt hosszas folyamaton ment keresztül, nem egyik pillanatról a másikra, a semmiből kialakuló területekről van szó. Ebben a részben bemutatásra kerül, hogy milyen tényezők alakították e területeket, és honnan jutottunk el a jelen korunk fejlettségi szintjére.

Az ember alapvető adottságainak, képességeinek fejlesztése iránti igény már földi létünk kezdete óta velünk van.<sup>10</sup> Nem belemenve a történelem útvesztőibe, jelen fejezetben csak a katonai kontextusra fókuszálunk. Az ókorban a fő hangsúly még a fizikai adottságok fejlesztésén volt, ekkor gyógynövényekkel és meghatározott diétával<sup>11</sup> igyekeztek a katonák erejét és állóképességét növelni. Míg ezek a szervezetre hatottak és fejtették ki jótékony hatásait, addig a fegyverek és a páncélok a harci képességek kemény eszközeiként támogatták a katonákat. A biotechnológia konkrétan katonai közegben történő alkalmazásának története a 20. század elejére nyúlik vissza, amikor a biológia tudománya jelentős hatást kezdett gyakorolni a hadviselésre.<sup>12</sup>

Az első világháború alatt a mustárgáz és más kémiai anyagok használata rávilágított az orvosi ellenintézkedések és védőfelszerelések kifejlesztésének szükségességére, megalapozva a biológia tudománya katonai célokra történő alkalmazásának alapjait. A mustárgázt 1917-ben alkalmazták először, több mint 2100 sérülést eredményezve.<sup>13</sup> Általános hatásai között tartják

<sup>8</sup> CO24060 | New Biofrontiers, 2024.

<sup>9</sup> Pariseau-Legault P. – Holmes D. – Murray S. J, 2019.

<sup>10</sup> Human Performance.

<sup>11</sup> Étrendet jelent.

<sup>12</sup> Érdekeség, hogy a „biotechnológia” kifejezést 1919-ben alkalmazták először, amikor tudósok, kutatók enzimeket ismertek fel, és sikeresen elkülönítették azokat a természetben előforduló baktériumoktól. Ezt megelőzően az ókori civilizációk már alkalmaztak biológiai folyamatokat pl. kenyér kelesztésére, sör főzésére és bor erjesztésére. Forrás: National Research Council (US), 2024.

<sup>13</sup> A Brief History of Chemical War. 2024.

számon a légzőszervi irritációt, a bőregést, a szemgyulladást és egyéb belső szervei károsodásokat. A gáznak hosszú távú egészségügyi hatásai is vannak, beleértve a rosszindulatú daganatos és egyéb krónikus megbetegedéseket.<sup>14</sup> A mustárgáz és társai egyre elterjedtebb harcéri alkalmazása megnövelte a keresletet az ez irányú orvosi intézkedések és védőfelszerelések fejlesztése iránt. A különböző gázmaszkok, speciális ruházatok célja az volt, hogy az egyén gáznak való kitettségét markánsan csökkenteni lehessen. Nem volt ez másképp az orvosi ellátás és az egészségügyi kezelés területén sem, ahol elszaporodott az olyan gyógyszerek és kezelések fejlesztése, melyek igyekeztek enyhíteni az imént felsorolt hatásokat. Ezek az ellenintézkedések lefektették az alapot ahhoz, hogy később az orvostudomány képes legyen olyan antibiotikumok és vakcinák előállítására, melyek kémiai és biológiai fertőzések esetén menthetnek életeteket.

Az első világháború alatt szerzett tapasztalatok – különösen a biológiai fegyverekkel kapcsolatos kutatások – fokozott érdeklődést keltettek a mikroorganizmusokkal kapcsolatos tudományos munkák iránt, így a két világháború közötti időszak jelentős előrelépést hozott a mikrobiológia és a genetika területén. Az e korszakban végbemenő felfedezések nemcsak a tudományos ismeretek bővítéséhez járultak hozzá, hanem a katonai és az ipari alkalmazások terén is alapvető változásokat eredményeztek. A legjelentősebb esemény a mikrobiológia területén a penicillin Alexander Fleming általi felfedezése volt 1928-ban. Fleming felfedezése, miszerint a *Penicillium notatum* nevű gomba képes gátolni a baktériumok növekedését, forradalmasította az orvostudományt és a fertőző betegségek kezelését.<sup>15</sup>

A második világháború alatt mind a szövetséges, mind a tengelyhatalmak jelentős erőfeszítéseket fektettek be a biológiai fegyverek kutatásába és fejlesztésébe. A biológiai fegyverek célja az volt, hogy a hagyományos fegyverek mellett baktériumok és vírusok (pl. antrax) révén járványokat indítsanak útjukra, melyek nem csupán fizikailag veszélyeztetik az ellenséges haderőket, hanem demoralizáló hatással is bírnak.<sup>16</sup> Visszatérve az első világháborúnál már említett védőfelszerelések előállításának jelentőségére, tovább fejlődött az ilyen eszközök, ruházatok hatékonnyá tétele az egyre komolyabb biológiai veszélyekkel szemben.

A hidegháború utáni évek és a 21. század kezdetén új korszakot nyitott a biotechnológiai kutatás és alkalmazás, amelyet a genetikai mérnöki tudomány, a molekuláris biológia és a szintetikus biológia fejlődése hajtott.

## HUMÁN TELJESÍTMÉNYTECHNOLÓGIA – KORLÁTAINK LEKÜZDÉSE

A humán vagy emberi teljesítményfokozás fókuszában az a törekvés áll, hogy a teljesítményoptimalizáción túllépve az emberi test és elme korlátait legyőzzük. Ez a terület alapvetően a fizikai, a kognitív és a pszichológiai teljesítmény javítására épül.<sup>17</sup>

A fizikai teljesítmény növelését célzó kezdeményezések a protézisek feltalálásáig vezetnek vissza, ma már ezek mellett hallunk úgynevezett exoskeletonokról, agy-számítógép interfészekről stb. Napjainkban a modern protézisek azonban már nem „csupán” az alapfunkciók

<sup>14</sup> A vegyi fegyverek története I., 2024.

<sup>15</sup> Discovery and Development of Penicillin, 2024.

<sup>16</sup> Using anthrax as a weapon, 2024.

<sup>17</sup> Fontos megemlíteni, hogy ezt a területet is – legkevésbé – két „alterületre” oszthatjuk: a teljesítményoptimalizációra és a teljesítményfokozásra. Nevéből fakadóan látható, hogy az optimalizáció az ember egyéni képességeinek maximalizálásáig terjedő képességfejlesztést, míg a fokozás az egyéni képességeken túlnyúló lehetőségeket jelenti.

visszaállítását teszik lehetővé, hanem sokkal érzékenyebbek, és olyan szenzorokkal vannak ellátva, melyek lehetővé teszik az idegi jelek által történő irányítást, aminek köszönhetően viselésük és használatuk sokkal természetesebbé válik.<sup>18,19</sup> Gondoljunk csak bele, ez a megoldás lélektanilag is sokkal előremutatóbb, mint a hagyományos társaik esetében.

Szerte a világban az exoskeletonok váltak a legelterjedtebbé, melyek egyszerűen megfogalmazva olyan viselhető külső csontvázak, melyek a viselőjük erejét, állóképességét, mobilitásának javítását támogatják. Ez ideális esetben segíti a katonát, hogy például hosszabb, kimerítőbb távokat – akár szélsőséges körülmények között – hatékonyabban tudjon megtenni. Az Amerikai Egyesült Államok hadereje többféle ilyen eszközt tesztel folyamatosan, például a 2013-ban újtárra indított program keretében megalkotott TALOS-t (Tactical Assault Light Operator Suit), bár ez a prototípus az információk szerint nem váltotta be a hozzá fűzött reményeket. Emellett azonban a Lockheed Martin által fejlesztett ONYX a tesztek során rendkívül ígéretesnek bizonyult – többek között a fáradás csökkentésében.<sup>20</sup>

Említést kell még tennünk a regeneratív orvoslás „csodáiról”. A 3D bionyomatás – szigorúan kiemelve, hogy ez a technológia még kísérleti fázisban van –, például lehetővé tenné a sérült szövetek helyreállítását és pótlását bioprinter segítségével.<sup>21</sup> Képzelnék el azt a csodát, hogy egy transzplantációra váró egyén esélyei megsokasodnak a technológia fejlettségének köszönhetően, és nem a szervdonáció az egyetlen lehetséges megoldás a beteg problémájára. Azt gondolom, hogy ennek a technológiának a megismerése forradalmi, ugyanis adott esetben egy sérült, sebesült katona nem csupán fizikai orvoslásban részesülhet időben, hanem pszichológiai biztonságot is lelhet.

Térjünk át a kognitív képességek vonalára. Mindenekelőtt elengedhetetlennek tartom definiálni, hogy mit értünk kognitív képességek alatt. A kognitív képességek azok a mentális folyamatok és készségek, amelyek lehetővé teszik számunkra a tudás megszerzését, az információk megértését és feldolgozását, valamint problémák megoldását.<sup>22</sup> Ezek széles körű funkciókat ölelnek fel, például percepció, figyelem, memória, tanulás, érvelés, nyelv, illetve számos végrehajtófunkció (pl. döntéshozatal). Értelemszerűen a BHE esetében a cél e funkciók javítása. Miért fontos ez? Mondhatni vitán felül álló kérdés, hogy napjainkban és a jövőben egyre nagyobb szükség lesz olyan katonai vezetőkre, akik az információkat gyorsan tudják értelmezni, illetve gyorsan megalapozott és releváns döntést hoznak – akár állandó stresszes körülmények között is.

Ezeket a célokat szolgálják a különböző tabletták kifejlesztése és alkalmazása, továbbá az agy-számítógép interfészek is, melyek lényege, hogy közvetlen kommunikációs útvonalat hoznak létre az emberi agy és (külső) hardverek között. Ez hasonló a modern protézisek esetéhez, itt lehetővé válik a gondolatokkal történő távirányítás is (például drónok esetében). A világ különböző kutatóhelyei, laboratóriumai által vezetett programok révén pedig egyre közelebb kerülhetünk az ilyen és ehhez hasonló ember-gép interakciók gyakorlatba való átültetéséhez, ezzel pedig az emberi kogníció áthidalásához.

Végül, de nem utolsósorban térjünk rá a pszichológiai fejlesztés területére, mely – véleményem szerint – talán a legfontosabb tényező az emberi teljesítmény szempontjából. Empátiával, saját tapasztalat felhasználásával, megismeréssel mindenki magáénak tud vallani

<sup>18</sup> Bates T. J. – Ferguson J. R. – Pierre S. N., 2020.

<sup>19</sup> Ngan C. G. Y. – Kapsa R. M. I. – Choong P. F. M., 2019.

<sup>20</sup> Power Move, 2024.

<sup>21</sup> A 3D nyomtatás és a bioprinting, 2018.

<sup>22</sup> APA Dictionary of Psychology, 2024.

olyan érzelmeket, melyeket személy szerint nem élünk át, de hallunk róluk, látjuk azokat. Ilyen a háború esete is. Szerencsére azonban a katonák pszichés jólléte és ennek fenntartása, adott esetben helyreállítása egyre nagyobb figyelmet kap. Ezért az ilyen fejlesztések célja, hogy javítsák a mentális egészséget, növeljék a stressztűrő képességet, illetve csökkentsék a poszttraumás stressz szindróma (PTSD) kialakulásának kockázatát. Kifejezetten érdekes ez utóbbi kezelése esetében a VR (Virtual Reality), azaz a virtuális valóság technológiájának egyre elterjedtebb alkalmazása.<sup>23</sup> Ezeket a szimulációkat expozíciós terápiákban használják a PTSD kezelésére, melynek során fokozatosan teszik ki a traumatizált katonát olyan emlékeknek és helyzeteknek, melyek visszahozzák a traumához kötődő emlékeket, kiváltják a tüneteket, és mindezt úgy, hogy közben segítő szakemberek vigyáznak rájuk. Emellett a – rendkívül népszerű – reziliencia fejlesztése is állandó napirenden van a felkészítés során. Ezek a programok nagyrészt viselkedésterápiákon alapulnak, céljuk az úgynevezett „szívósság” fejlesztése és a pozitív szemléletmód kialakítása.

## TÖREKVÉS AZ ELŐNYÉRT – NAGYHATALMAK AMBÍCIÓI A BIOTECHNOLÓGIA TERÜLETÉN

A biotechnológia tudományába számos tevékenység beletartozik, közülük néhány:

- szintetikus biológia;
- biofarmácia;
- géntechnológia;
- fehérjemérnökség;
- molekuláris klónozás stb.

A cikkben nem kívánom sorra venni mindahány módszer, tevékenység működését, alkalmazását, inkább az a célom, hogy bemutassam – jelen esetben a géntechnológián és a szintetikus biológián keresztül –, hogy a világ vezető nagyhatalmai, nevezetesen az Amerikai Egyesült Államok, Kína és Oroszország milyen törekvéseket mutatnak, mi a stratégiai irány ezen a területen, mit várhatunk a jövőben, esetleg X év múlva deklaráltan műveleti térként tekinthetünk-e a biológiára.

A géntechnológia és a szintetikus biológia egyaránt olyan területek, ahol élőlények genetikai szintű módosításával foglalkoznak, de ezeknek különböző céljaik és megközelítései vannak. A géntechnológia olyan folyamat, melynek során egy élőlény DNS-ét módosítják azért, hogy új „tulajdonságokat” vagy képességeket alakítsanak ki bennük.<sup>24</sup> Képzeld el, hogy „A” növénybe „B” növény génjét illesztjük be, melynek eredményeképp „A” növény az eddiginél ellenállóbb lesz a rá veszélyes különböző kártevőkkel szemben. Ezt a folyamatot leginkább a mezőgazdaságban alkalmazzák, hogy a tápértékeket növeljék, és hogy a haszonállatokat minél hatékonyabban lehessen megóvni a betegségektől.

A szintetikus biológia ennél egy jóval tágabb területet fed le, itt ugyanis új biológiai rendszerek tervezéséről és „építéséről”, illetve a már meglévő rendszerek újratervezéséről is szó van.<sup>25</sup> Ebben a folyamatban egyesül a biológia, a mérnöki tudományok és az informatika annak a célnak az érdekében, hogy új biológiai funkciók jöjjenek létre, amelyek a természet-

<sup>23</sup> Varga, Nóra, 2024.

<sup>24</sup> Géntechnológia és fehérjemérnökség. <https://ttk.elte.hu/dstore/document/865/book.pdf> (Letöltés időpontja: 2024.06.10.)

<sup>25</sup> Szintetikus biológia. <https://mernokkapu.hu/szintetikus-biologia/> (Letöltés időpontja: 2024.06.10.)

ben nem fordulnak elő. Erre jó példa lehet egy olyan mikroorganizmus létrehozása, mely képes bioüzemanyagot előállítani egyszerű cukrokból.

Ezeknek a technológiáknak az alapvető működési elveit látva tekintsük át, hogy mire alkalmazhatók védelmi és biztonsági szempontból.

## Amerikai Egyesült Államok

Az Amerikai Egyesült Államok továbbra is vezető szerepet játszik a biotechnológia területén, nemrégiben több stratégia, politikai állásfoglalás és kezdeményezés látott napvilágot a szintetikus biológiával összefüggésben. 2022-ben a Kongresszus létrehozta a National Security Commission on Emerging Biotechnology nevű törvényhozó egyesületet, melynek feladata, hogy felügyelje a feltörekvő technológiák – kifejezetten a biotechnológia – fejlődését, és jelentést készítsen arról, hogy ez miképp befolyásolhatja a jövőben az Amerikai Egyesült Államok Védelmi Minisztériumának tevékenységét. A Kongresszus számára a jelentés várhatóan 2026-ra készül el.<sup>26, 27, 28</sup> Emellett a US Army Futures Command a szintetikus biológia kutatását a tíz legfontosabb prioritása közé sorolja, valamint létrehozta az Army Center for Synthetic Biology szervezetet, mely kutatási projekteket támogat.<sup>29</sup> Egyik területe a katonák túlélőképességének növelése innovatív, „rejtőzködő” anyagok kifejlesztése révén. A sikerhez természetesen elengedhetetlen a magasan képzett, valódi szakértőkből álló csapat. A „*right people right skills*” elveket szem előtt tartva az Amerikai Egyesült Államok fegyveres erőinek csapatai szoros együttműködésben állnak egymással a tudástranszfer biztosítása érdekében.

Az Amerikai Egyesült Államok szintén élen jár a CRISPR (Clustered Regularly Interspaced Short Palindromic Repeats – halmazottan előforduló, szabályos közökkel elválasztott palindromikus ismétlődések) technológia kutatásában és fejlesztésében is (egyelőre – ugyanis Kína jelentős lépéseket tesz ezen a területen). A CRISPR-technológia lehetővé teszi a DNS pontos módosítását, így elérhető az élőlények – beleértve az emberek – genetikai állományának megváltoztatása.<sup>30</sup> Feltehetjük a kérdést, mire jó ez? A sikeres tesztek és kísérletek lefuttatása esetén az egyén betegségekkel szembeni ellenálló képessége fokozható, illetve felgyorsítható a sérülésekből történő felépülés ideje és hatékonysága. A DARPA *Safe Genes* (Defense Advanced Research Projects Agency – Fejlett Védelmi Kutatási Projektek Ügynöksége) programjának épp ez (volt) a célja: megvédeni az állományt a különböző biológiai fegyverektől.<sup>31</sup> Hogyan teszi ezt? Biztosítja, hogy az offenzív szándékú szemben álló fél ne tudja a CRISPR-t ártalmas kórokozók létrehozására felhasználni, melyek célzott genetikai állományt támadnának.

## Kína

Kína ezen a területen is felvette a versenyt az eddig – mondhatni – globális hegemon státuszt gyakorló Amerikai Egyesült Államokkal, és Hszi Csin-ping elnök három célt tűzött ki az ország hegemonná válásához:

<sup>26</sup> Statement by the President, 2022.

<sup>27</sup> Armed Services, 2024.

<sup>28</sup> Charting the Future of Biotechnology, 2024.

<sup>29</sup> Army Center for Synthetic Biology, 2024.

<sup>30</sup> Future War Paper, 2024.

<sup>31</sup> Safe Genes, 2024.

- 2027 – a teljes katonai modernizáció elérése, a Népi Felszabadító Hadsereg képességeinek növelése, különösen a Tajvani-szorosban és az ázsiai–csendes-óceáni régióban;
- 2035 – a „szocialista modernizáció” megvalósítása, az egy főre jutó GDP megduplázása, globális vezető szerep megszerzése az innováció terén, a zöld fejlődés előmozdítása és egy világszínvonalú hadsereg kialakítása;
- 2049 – a „kínai álom” megvalósítása a nemzeti újjáéledésről, egy teljesen fejlett, virágzó globális hatalomként történő megjelenés, páratlan katonai erővel.<sup>32</sup>

A katonai szuperhatalommá válás mint cél egyik legfontosabb eszköze épp ezen a területen realizálódik. Kína a biotechnológia területén is vezető nemzetté kíván válni, az eredményeket és ismereteket mind civil, mind katonai célokra felhasználva. Egyre elterjedtebbé válnak a hírek, hogy Kína „szuperkatonák” létrehozásával kísérletezik, ami jelen esetben nem a humanoid robotok fejlesztésére utal, hanem az egyének fizikai és kognitív képességeinek javítására vonatkozik. Ez magában foglalja az izomtömeg növelését, a fáradás mértékének és idejének csökkentését, az érzékszervek pontosságának élesítését stb. Ezek az erőfeszítések kutatói programokban realizálódnak, a szintetikus biológia konkrétan szerepel a Kínai Tudományos Akadémia 2050-es innovációs ütemtervében; továbbá már 2008-ban létrehoztak ezzel foglalkozó laboratóriumot és kutatócsoportot.<sup>33</sup> Nem mellesleg a kínai tudósok nagy előrelépéseket tettek a CRISPR-technológia fejlesztésében és alkalmazásában is.

## Oroszország

Oroszország hosszú múltra tekint vissza a biológia tudományának katonai célokra történő alkalmazásában, gondoljunk csak a szovjet időkben zajló kiterjedt biológiai fegyverkezési programokra. Moszkva – hasonlóan az említett két másik hatalomhoz – szintén folytat kísérleteket az ember egyéni képességeinek (erő, állóképesség, fájdalommal szembeni ellenállás, szélsőséges körülmények közötti túlélés stb.) mesterséges fejlesztésére. 2019-ben Oroszország kormánya elfogadta azt a kutatói programtervet, mely a 2019 és 2027 közötti időszakra célozva kívánja megvalósítani a géntechnológiák (beleértve a génmódosítást) fejlesztését, hogy tudományos és technológiai alapot biztosítson az orvostudomány, a mezőgazdaság és az ipar számára a biológiai veszélyhelyzetek kezelése esetén.<sup>34</sup>

Oroszországban – ahogy a világ túlnyomó részén – felismerik a biotechnológiai fejlesztések szükségességét, amit egyébként az *Oroszországi Föderáció Nemzetbiztonsági Stratégiája 2020-ig* című dokumentum ki is emel.<sup>35</sup> A biotechnológia mint terület fejlesztésének tervezését és megvalósítását célzó törekvéseket egy 2012-ben elfogadott, *BIO2020* elnevezésű programban foglalták össze. A program stratégiai célja egy globálisan versenyképes, fejlett biotechnológiai ágazat létrehozása Oroszországban, amely az ország modernizációjának és a posztindusztriális gazdaság kiépítésének egyik elemévé válhat. A program középtávú célja volt, hogy ez a terület 2020-ra elérje az orosz GDP egy százalékát, hosszú távú célja pedig, hogy ez az arány 2030-ra legalább három százalékos legyen.<sup>36</sup> Oroszország azonban nem tudta teljesíteni az egy százalékos kitűzött célt a meghatározott időkereten belül. Az alultel-

<sup>32</sup> Three Dates, 2024.

<sup>33</sup> Pei L, Schmidt M, Wei W. Synthetic, 2011.

<sup>34</sup> Approval of the Federal Research..., 2024.

<sup>35</sup> National Security Strategy, 2024.

<sup>36</sup> BIO2020, 2024.



jesítés több tényezőnek tudható be, beleértve a nem megfelelő finanszírozást, a végrehajtási problémákat és az ágazat szerkezeti nehézségeit.<sup>37</sup>

## BIOTECHNOLÓGIA ÉS HUMÁN TELJESÍTMÉNYTECHNOLÓGIA A NATO SZEMPONTJÁBÓL

A NATO védelmi minisztereinek 2024 februárjában Brüsszelben tartott találkozásán „történelmi” lépésnek lehetett szemtanúja nem csupán a Szövetség, hanem talán az egész világ. Elfogadásra került az első nemzetközi stratégia, mely a biotechnológia és a humán teljesítménytechnológia felelős fejlesztésének és alkalmazásának szabályozását hivatott elérni. A stratégia egy relatíve rövid összefoglalója az interneten nyílt forrásból elérhető.<sup>38</sup>

A stratégiából kiolvasható, hogy a NATO semmiképp nem veti el ezeknek az innovációknak a kutatását és fejlesztését, hiszen tisztában van az euroatlanti biztonságot veszélyeztető szereplők ez irányú ambícióival és tevékenységével is. Épp ellenkezőleg. Ezeket a technológiákat kutatni, fejleszteni kell, a kézzelfogható eredményeket pedig minél gyorsabban és biztonságosan integrálni kell a NATO képességeibe. A stratégia elsősorú célja, hogy egy keretrendszert biztosítson a szövetségeseinek az ez irányú technológiák transzparens, megbízható és jogszerű fejlesztéséhez.

Leszögezhető, hogy minden haderő legfontosabb eleme maga az ember. A világ legerősebb haderői rendelkezhetnek a legfejlettebb technológiáival, robusztus harci-technikai eszközparkkal, ha nem áll rendelkezésükre optimális állapotban lévő (kreatív, agilis, fizikailag és mentálisan is egészséges, motivált stb.) személyi állomány, ez mind mit sem ér. Pozitívum azt látni, hogy világszerte egyre nagyobb figyelmet fordítanak az egyén jóllétének fenntartására, legyen szó a civil életről vagy a hivatásos szolgálatokról. Nincs ez másképp ezen a területen sem, és a NATO – a demokratikus elvekhez hűen – ebben a stratégiában is hangsúlyozza az egyéni jóllét fenntartásához és elősegítéséhez történő hozzájárulást e technológiák esetében. Hiszen a BHE nem csupán arra szolgál, hogy az egyes egyén a háborús célokat érvényre juttassa; hanem szolgál arra is, hogy segítse a trauma- és a gyászfeldolgozást, a civil társadalomba történő reintegrációt vagy épp a könnyebb felépülést az egészségügyi problémákból és sérülésekből, sebesülésekből.

A lehetőségek tárházának bővülésével sajnos számolni kell azzal, hogy ezeket a technológiákat nem csupán a „jóléti” államok tudják kifejleszteni, hanem nem állami szereplők – beleértve terroristacsoportok – is hozzájuthatnak a szükséges erőforrásokhoz, ami növeli a fenyegetettséget. A stratégia külön említi Oroszországot, mely – az előző fejezetben említetteknek megfelelően – a NATO ismeretei szerint agresszíven fektet erőforrásokat a BHE-fejlesztésbe, valamint továbbra is napirenden tartja a tömegpusztító fegyverek leszerelésére és tiltására vonatkozó nemzetközi szerződések és normák betartásának akadályozását.<sup>39</sup> Ezek a „jelek” további aggodalomra adnak okot, hogy Moszkva az ukrajnai agressziója során vegyi és biológiai fegyverek bevezetését tervezi a jövőben.

<sup>37</sup> Boyarov, A.–Osmakova, A.–Popov, A.: Bioeconomy in Russia, 2021.

<sup>38</sup> Summary of NATO's Biotechnology..., 2024.

<sup>39</sup> A hidegháború időszakában a vegyi és a biológiai fenyegetettség elharapódzása láttán született meg például az 1972-es biológiai- és toxinfegyver-tilalmi egyezmény, amely a biológiai fegyverek fejlesztését, tárolását és használatát tiltotta, valamint azok megsemmisítését kezdeményezte.

## ÖSSZEFOGLALÁS

A biotechnológia iparágának a védelmi szektorba történő begyűrűzése egy megállíthatatlan, de semmiképp sem természetellenes jelenség. Az ember ismereteinek bővülésével a technológia a történelem során folyamatosan fejlődött, és gyakorlatilag ez mára egy öngerjesztő folyamattá vált. A természetellenesség sokkal inkább abban nyilvánulna meg, ha ez nem így lenne. A biológia és a technológia összefonódásából eredő innovációk katonai alkalmazását – ugyanúgy, mint például a mesterséges intelligencia kérdését – nem lehet fekete-fehéren szemlélni. Az, hogy ezeket az újításokat lehetőségként vagy veszélyforrásként értelmezzük, attól függ, miképp és mire használjuk őket. Nem ördögtől való dolog, hogy a – szűkös – természetes erőforrásainkat mesterséges módszerekkel egészítjük ki vagy épp pótoljuk, mint ahogyan az sem elítélendő, hogy a hús-vér donorok hiányában szintén mesterséges anyagokkal mentjük meg embertársaink életét. E technológiák katonai célokra történő alkalmazásának lényege is – azt gondolom –, ezekben az elvekben kell, hogy megvalósuljon. A modern protézisek, exoskeletonok, VR/AR-eszközök (virtuális vagy kiterjesztett valóság) vagy interfészek bármelyikének azt kell céloznia, hogy az ember a lehető legbiztonságosabb körülmények között legyen. Segítse az embert, a katonát, és segítse a támogató szolgáltatókat a rájuk nehezedő traumák minél hatékonyabb kezelésében.

A nagyhatalmi verseny nem a mi asztalunk. A dominanciáért folyó küzdelem kezdetét vette, melynek jelen esetben kétséges, hogy lehet-e objektíve nyertese. Minden szereplőnek azt kell magáévá tennie ebből a végtelen választékból, amit a legjobban, számára legoptimálisabban tud hasznosítani. Amit pedig megszerzünk, azt a legemberibb módon kell felhasználni.

## FELHASZNÁLT IRODALOM

- A 3D nyomtatás és a bioprinting. [http://www2.szote.u-szeged.hu/dmi/downloads/informatika/2018\\_aok/hun1/OrvosiInf\\_EA11\\_3D\\_nyomtatás\\_2018.pdf](http://www2.szote.u-szeged.hu/dmi/downloads/informatika/2018_aok/hun1/OrvosiInf_EA11_3D_nyomtatás_2018.pdf)
- A Brief History of Chemical War. <https://www.sciencehistory.org/stories/magazine/a-brief-history-of-chemical-war/>
- A vegyi fegyverek története I. <https://www.haborumuveszete.hu/minden-ami-robban-es-mergez/127-a-vegyi-fegyverek-tortenete-i>.
- APA Dictionary of Psychology. <https://dictionary.apa.org/cognitive-ability>
- Approval of the Federal Research Programme for Genetic Technologies Development for 2019–2027. <http://government.ru/en/docs/36457/>
- Armed Services Committees Leadership Announces Selections for National Security Commission on Emerging Biotechnology. <https://www.armed-services.senate.gov/press-releases/armed-services-committees-leadership-announces-selections-for-national-security-commission-on-emerging-biotechnology>
- Army Center for Synthetic Biology. <https://arl.devcom.army.mil/collaborate-with-us/opportunity/army-center-for-synthetic-biology/>
- Arthur Boyarov, Alina Osmakova, Vladimir Popov, Bioeconomy in Russia: Today and tomorrow, *New Biotechnology*, Volume 60, 2021, Pages 36–43, ISSN 1871-6784. <https://doi.org/10.1016/j.nbt.2020.08.003>. (<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1871678420301680>)

- Bates TJ, Ferguson JR, Pierrie SN. Technological Advances in Prosthesis Design and Rehabilitation Following Upper Extremity Limb Loss. *Curr Rev Musculoskelet Med.* 2020 Aug;13(4):485-493. doi: 10.1007/s12178-020-09656-6. PMID: 32488625; PMCID: PMC7340716.
- Bioremediáció. <https://enfo.hu/index.php/keptar/4080>
- BIO2020 kak osnovnoj element sztrategyiji razvityija bioteyhnologij v Rossziji. <https://www.riss.ru/news/analysis/bio2020-kak-osnovnoy-element-strategii-razvitiya-biotekhnologii-v-rossii/>
- Charting the Future of Biotechnology. <https://www.biotech.senate.gov/>
- CO24060 | New Biofrontiers: Where Biotechnology, National Security, and Geopolitics Intersect. <https://www.rsis.edu.sg/rsis-publication/rsis/new-biofrontiers-where-biotechnology-national-security-and-geopolitics-intersect/>
- Discovery and Development of Penicillin. <https://www.acs.org/education/whatischemistry/landmarks/flemingpenicillin.html#alexander-fleming-penicillin>
- Emerging and Disruptive Technologies. [https://www.nato.int/cps/en/natohq/topics\\_184303.htm](https://www.nato.int/cps/en/natohq/topics_184303.htm)
- Albert, John, L, Major (2019): FUTURE WAR PAPER A New Model Army: The Impact of Human Genome Editing on U.S. Army Manning. <https://apps.dtic.mil/sti/trecms/pdf/AD1179109.pdf>
- Géntechnológia és fehérméreménökség. <https://ttk.elte.hu/dstore/document/865/book.pdf>
- <https://dictionary.cambridge.org/dictionary/english/disruptive-technology>
- Human Performance Optimization and Enhancement. [https://gids-hamburg.de/wp-content/uploads/2021/04/2021-03-22\\_MCDC\\_HPEO\\_Project\\_Report\\_final-1.pdf](https://gids-hamburg.de/wp-content/uploads/2021/04/2021-03-22_MCDC_HPEO_Project_Report_final-1.pdf)
- National Research Council (US) Committee on Opportunities in Biotechnology for Future Army Applications. *Opportunities in Biotechnology for Future Army Applications.* Washington (D.C.): National Academies Press (US); 2001. 2, Biotechnology and the Army. Available from: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK207444/>
- National Security Strategy of the Russian Federation to 2020. [https://thailand.mid.ru/en/o\\_rossii/vneshnyaya\\_politika/strategiya\\_natsionalnoy\\_bezopasnosti\\_rf/](https://thailand.mid.ru/en/o_rossii/vneshnyaya_politika/strategiya_natsionalnoy_bezopasnosti_rf/)
- NATO 2022 Strategic Concept. [https://www.nato.int/nato\\_static\\_fl2014/assets/pdf/2022/6/pdf/290622-strategic-concept.pdf](https://www.nato.int/nato_static_fl2014/assets/pdf/2022/6/pdf/290622-strategic-concept.pdf)
- Ngan CGY, Kapsa RMI, Choong PFM. Strategies for neural control of prosthetic limbs: from electrode interfacing to 3D printing. *Materials (Basel).* 2019 June 14;12(12):1927. doi: 10.3390/ma12121927. PMID: 31207952; PMCID: PMC6631966.
- Pariseau-Legault P., Holmes D., Murray S. J. Understanding human enhancement technologies through critical phenomenology. *Nurs Philos.* 2019; 20:e12229. <https://doi.org/10.1111/nup.12229>
- Pei L., Schmidt M., Wei W. Synthetic biology: an emerging research field in China. *Biotechnol Adv.* 2011 Nov-Dec;29(6):804-14. doi: 10.1016/j.biotechadv.2011.06.008. Epub 2011 June 25. PMID: 21729747; PMCID: PMC3197886.
- Power Move – Forging the future of endurance-boosting technology. <https://www.ucf.edu/pegasus/power-move-onyx-exoskeleton/>
- Safe Genes. <https://www.darpa.mil/program/safe-genes>
- Statement by the President on S. 1605, the National Defense Authorization Act for Fiscal Year 2022. <https://www.whitehouse.gov/briefing-room/statements-releases/2021/12/27/statement-by-the-president-on-s-1605-the-national-defense-authorization-act-for-fiscal-year-2022/>
- Summary of NATO's Biotechnology and Human Enhancement Technologies Strategy. [https://www.nato.int/cps/en/natohq/official\\_texts\\_224669.htm](https://www.nato.int/cps/en/natohq/official_texts_224669.htm)

- Szintetikus biológia. <https://mernokkapu.hu/szintetikus-biologia/>
- Ian M. Sullivan (2024): Three Dates, Three Windows, and All of DOTMLPF-P How the People's Liberation Army Poses an All-of-Army Challenge. <https://www.armyupress.army.mil/Portals/7/military-review/Archives/English/JF-24/Sullivan/Sullivan-ua.pdf>
- Using anthrax as a weapon. <https://www.ph.ucla.edu/epi/bioter/anthraxasweapon.html>
- Varga, Nóra (2024). The past, present and potential future of military psychology. *Lélektan és hadviselés – interdiszciplináris folyóirat*, VI. évf. 2024/1. szám. 51–66. DOI: 10.35404/LH.2024.1.51 [https://real-j.mtak.hu/27412/1/LH\\_2024\\_6\\_1.pdf](https://real-j.mtak.hu/27412/1/LH_2024_6_1.pdf)
- What is biotechnology? <https://www.bio.org/what-biotechnology>