

Ollári Viktor¹

EDT geopolitikai kitettségek

EDT Geopolitical Exposures

Korunk volatilis geopolitikai, geoökonómiai viszonyai és az MI-technológia fejlődésének exponenciális gyorsulása igazolni látszik Vernor Vinge 1993-as tételét, amely szerint a technológiai szingularitáshoz közeledve kidobhatóvá válnak a világunkat leíró, jövőnket előrejelző modellek. Az állami, inter- és szupranacionális entitások által meghatározott stratégiai, más megfogalmazással feltörekvő és diszruptív technológiák (EDT) jelentős hatást gyakorolnak már ma is a nemzeti és nemzetbiztonságra, mindennapi életünkre. Jelen publikációban, a releváns szakirodalom elemzésével, az EDT-k egyes geopolitikai, geoökonómiai aspektusait vizsgálom a technológiai szingularitás szűrőjén keresztül, hangsúlyozva, hogy az egyes országok geopolitikai érdekérvényesítő képességét az EDT-portfólió meghatározásánál alapvetően korlátozhatja a precíziós paradoxon figyelmen kívül hagyása, a technológiai szingularitást megalapozó technológiák K+F+I-kompetenciáinak hiánya, valamint a vonatkozó fejlődéstámogató geoökonómiai keretrendszer elégtelenségei.

Kulcsszavak: EDT, 5G/6G, mesterséges intelligencia, MI, IoT, geopolitika, geoökonómia

The volatile geopolitical/economic dynamics of our present and the exponential acceleration of the development of AI technology confirm Vernor Vinge's 1993 thesis that as we approach technological singularity, the models that describe our world and predict our future become obsolete. Strategic or, in other phrasing, emerging and disruptive technologies (EDTs), defined by state, inter- and supranational entities, are already having a significant impact on national and national security and our daily lives. The geopolitical and geo-economic aspects of EDTs are introduced through the filter of technological singularity in the present paper by analyzing the relevant literature, highlighting that the definition of the EDT portfolios may fundamentally constrain the geopolitical advocacy capacity of individual countries in case of the

¹ PhD-hallgató, Nemzeti Közzolgálati Egyetem Katonai Műszaki Doktori Iskola, e-mail: ollari.viktor@protonmail.com

absence of the consideration of precision paradox; the lack of R&D&I competences of the foundational technologies of the technological singularity, and the inadequacies of the relevant geo-economic development supporting framework.

Keywords: EDT, 5G/6G, Artificial Intelligence, AI, IoT, geopolitics, geo-economics

Bevezető

1957. október 4-én a szovjet Szputnyik műhold felbocsátása komoly aggodalmakat keltett az USA-ban („Szputnyik-pillanat”). A sajtóhírek hatására a közvéleményben egyrészt az a feltételezés alakult ki, hogy a szovjetek jelentősen megelőzték Amerikát technológiai téren. Másrészt a döntéshozók és a szakértők a nukleáris csapásmérés egy potenciálisan új formáját azonosították. Hasonló, de kisebb visszhangot keltett az orosz Szputnyik V Covid-19 elleni vakcina piacra dobása. Egyik esetben sem feltételezték, hogy a szovjetek, illetve az oroszok rendelkeznek az ehhez szükséges gazdasági, technológiai feltételekkel és kompetenciákkal.²

Habár úgy látszik, az ukrán–orosz konfliktus tapasztalatai megerősítik „a mennyiségnek megvan a maga minősége”³ megállapítás igazát, a „Szputnyik-pillanatokkal” kapcsolatos aggályok, a katonai és gazdasági mellett a technológiai vezető pozíció megtartásának deklarált céljai⁴ erőteljesen ösztönzik az úgynevezett feltörekvő és diszruptív technológiák (EDT⁵-k) kutatás-fejlesztését.

Habár a geoökonómiai eszköztár a végrehajtás szintjén nem szorult háttérbe az elmúlt években, a geopolitikai érdekérvényesítés keményebb elemei kerültek a média fókuszába. 2025 januárját követően a geoökonómiai nyomásgyakorló megoldások⁶ egyre nagyobb sajtónylátnosságot kaptak.

Jelen publikációban, a releváns szakirodalom elemzésével, az EDT-k egyes geopolitikai, geoökonómiai aspektusait vizsgálom a technológiai szingularitás (TS) szűrőjén keresztül, rámutatva arra, hogy alapvetően korlátozhatják az egyes országok geopolitikai érdekérvényesítő képességét:

- az EDT-portfólió meghatározásánál a precíziós paradoxon figyelmen kívül hagyása;
- a TS-t megalapozó technológiák⁷ K+F+I-kompetenciáinak hiánya;
- a vonatkozó fejlődéstámogató geoökonómiai keretrendszer létrehozásának és fenntartásának elégtelenségei.

² LOJDAHL 2010; NACZYK–BAN 2022.

³ Egyes források Sztálinnak vagy Leninnek tulajdonítják az idézetet, egy Hegel–Engels–Sztálin/Lenin filozófiai-logikai vonalat feltételezve (a minőségi változás a mennyiségi változás felhalmozódásának eredménye). Lásd például Sztálin 1948. Más források – habár ez nem zárja ki az Hegel–Engels logikai szálát – Sam Nunn szenátor szavainak parafrázálására vezetik vissza: „Egy adott ponttól a mennyiség számít. Egy adott ponttól a technológia nem képes ellensúlyozni a tömeget.” FOX–LORENZINI 1980.

⁴ Lásd a NATO washingtoni csúcstalálkozója után kiadott nyilatkozatot: NATO 2024.

⁵ *Emerging and Disruptive Technologies*.

⁶ Technológiatranszfer-korlátozások, büntetővámok stb.

⁷ MI, 5G/6G, érzékelő ökoszisztémák (például IoT).

EDT-alapok

Egyes szerzők már a 80-as évek végén is rávilágítottak a védelmi (katonai) és a civil szektor K+F+I-tevékenységei közti határvonalak halványulására. A kutatások kezdeti fázisaiban ma is szinte lehetetlen előrevetíteni,⁸ hogy a kutatási termék felhasználása tisztán civil vagy védelmi célú lesz-e. Sokkal inkább egyfajta szimbiotikus egymásra hatás jellemzi a két szféra technológiai K+F+I-folyamatait.

Barry Buzan (1987) munkájában a fegyverkezési verseny motivációs ökoszisztémáját leíró három fő modell (akció-reakció,⁹ hazai struktúra, a technológia elsődlegessége¹⁰) valójában nemcsak a védelmi technológiák fejlődése/fejlesztése kontextusában alkalmazható, de a civil, üzleti szféra technológiai fókuszú versenystratégiáinak elemzését is támogathatják. Az *akció-reakció technológiafejlesztési modell*, mondhatni, a nemzetközi kapcsolatok realista iskolájának eszközrendszeréhez sorolható. Az érintett felek aktuális céljait és képességeiket figyelembe véve reagálnak az ellenfél lépéseire – azaz versenyeznek. Az akció-reakció modellből származtatott *hazai struktúra modell* az államon belüli befolyásoló tényezőket nagyobb súllyal veszi figyelembe. Az 1970-es évekig a *szülőmodell* magas pontossággal írta le a nagyhatalmi egymásnak feszülés dinamikáit, de ezt követően az ellentét olyan szinten intézményesült a szemben álló országok társadalmaiban, amely már jelentős módosító befolyást gyakorolt a hazai és ezen keresztül a nemzetközi politikai folyamatokra. A hangsúly a győzelem kivívásáról az elrettentésre¹¹ helyeződik át, az ellenfél válik a legjobb ürüggyé a technológiai fejlődés eszközlésének igazolására.

A *technológia elsődlegessége modell* szintén inkább kiegészítő jellegű megközelítés, amely a technológia minőségi fejlődését emeli be az egyenletbe. Valódi mélységét az adja, hogy a technológia globális fejlődésének, állapotának szűrőjén keresztül, inter- és transzdiszciplináris jelleggel, a civil technológiák és a társadalom ráhatását szem előtt tartva vizsgálja a fegyverkezési verseny, a védelmi megoldások fejlődésének folyamatait.

A technológiai fejlődésben betöltött vezető pozíció előnye, hogy ennek birtokában, adott időintervallum erejéig, az adott technológia kompetenciamagaslatának birtoklója képes formálni annak fejlődési irányát és sebességét. Azonban az internet korától (Globalizáció 3.0, 2000 környéke) kezdődően a tudáshozzáférés demokratizálódásával ez az időintervallum jelentősen lecsökkent.¹² A technológiai vezető pozíció megőrzését, illetve megszerzését célzó törekvések a K+F+I eszkalációját vonták maguk után.¹³

Miért feltörekvő és diszruptív?

A technológiai vezető pozíció különösen az elmúlt 100–150 évben vált kiemelkedő fontosságvá. A 19. század második felétől datált technológiai robbanás nemcsak a civil társadalom

⁸ Ide nem értve az igen magas specializáltsági fokú K+F-projekteket.

⁹ Más megközelítéssel hatás-ellenhatás.

¹⁰ „Technológiai imperatívusz”.

¹¹ A forró konfliktus elkerülésének szándéka, a feszültség fenntartása mellett.

¹² FRIEDMAN 2005.

¹³ BUZAN 1987: 105.

gyökeres átalakulását vonta maga után, hanem számos forradalminak tekinthető változást,¹⁴ fejlődést is indukált a védelmi szférában. Figyelemmel ezen változások mélységére és turbulens voltára, a lehetséges technológiák folyamatos elemzése, kutatása¹⁵ alapvető elemévé vált az egyes államok, illetve szövetségek érdekérvényesítő képességének megőrzését és növelését célzó eszközportfólióban. Mivel még a gazdaságilag legerősebb országok esetében sem beszélhetünk korlátlan K+F+I-finanszírozási forrásokról, az érintett entitások jellemzően azon technológiákra fókuszálnak, amelyekről feltételezhető, hogy a jövő szűk keresztmetszeteként a legnagyobb hatást gyakorolják a biztonság öt szektorára,¹⁶ kiemelten a védelmi és gazdasági szektorokra, közvetlenül vagy más technológiákon keresztül.

Az EDT-kre irányuló stratégiai figyelem kétirányú (civil/védelmi) értékelése azonosítható. A kimeneti eredményekkel (nyereség) kapcsolatban támasztott elvárások között hangsúlybeli különbség figyelhető meg. A civil jellegű megközelítés elsődlegesen nyereség-alapú. Jelentős leegyszerűsítéssel: minden olyan új, továbbfejlesztett technológia, amely 1-nél szignifikánsan magasabb (összesített) ár-érték arány mellett biztosít nyereségnövekedést, az számára potenciális lehetőséget biztosíthat a geopolitikai/ökonómiai vagy üzleti pozíciók megerősítésére, fejlesztésére. A védelmi megközelítés a nyereség alternatív értelmezéséből, a fölény¹⁷ biztosításának szükségességéből indul ki. Mivel többen „kvázi szinonimaként”¹⁸ tekintenek a feltörekvő (E), illetve a diszruptív (D) technológiákra, érdemes megvizsgálni a két kategória közti különbséget.

Az E összetevő

A feltörekvő technológiák utáni kutatás a technológiai civilizációk *feltétlen reflex* jellegű cselekedetei közé sorolható. Történelmi háttére ellenére nem rendelkezünk a tudományos közösség által egységesen elfogadott, a feltörekvő technológiákat leíró meghatározással. A definíciós elméletekben közös metszetben található, hogy a feltörekvő technológiák szignifikáns befolyással vannak a gazdasági és társadalmi szférákra; illetve valós alkalmazhatóságuk erősen bizonytalan.¹⁹

A D összetevő

A diszruptív technológiák esetében feltételezik, hogy ezen technológiák képesek gyökeresen megváltoztatni jelenünket. A témakörrel kapcsolatos bizonytalanságot erősíti,

¹⁴ A teljesség igénye nélkül: a légierő fejlődése, a páncélozott harcjárművek térnyerése, telekommunikáció, internet stb.

¹⁵ Lásd például DARPA (Defense Advanced Research Projects Agency – Fejlett Védelmi Kutatási Projektek Ügynökség), amely az USA Hadügyminisztériumának stratégiai szempontból kiemelt jellegű kutatásokért felelős, független szervezeti egysége. A szervezet saját megfogalmazása szerint az 1957-ben létrehozott DARPA küldetése a technológiai „Szputnyik-meglepetések” elkerülése, az Egyesült Államok technológiai vezető szerepének támogatása.

¹⁶ Védelmi, politikai, társadalmi, gazdasági, környezeti. REMEK 2014.

¹⁷ Érdekérvényesítési, információs stb.

¹⁸ Együttesen értelmezve olyan technológiákra asszociálnak, amelyek forradalmi hatást gyakorolnak világunkra.

¹⁹ ROTOLO–HICKS–MARTIN 2015.

hogyan ez esetben sem rendelkezünk egységesen elfogadott definícióval. A fogalmat a múlt század utolsó évtizedében elsőként alkalmazó Clayton Christensen szerint a diszruptív technológiák alatt azon innovációk értendők, amelyek egy már létező technológiához/megoldáshoz jelentősen nagyobb felhasználói szegmens számára biztosítanak hozzáférést. Mint arra Christensen is felhívta a figyelmet 2015-ben, a diszruptió folyamata egy adott megoldás érett piacát feltételezi, amelyen jelentős szereplők K+F-folyamatai elsődlegesen a piac legigényesebb, egyben a legnagyobb profitot biztosító szegmenseinek igényeire összpontosítanak. Ebből fakadóan más szegmensek igényeit meghaladja a kínált megoldás, míg más igényeket figyelmen kívül hagy (piaci rés). Ezen szegmensek igényeit azonosítva, akár kisebb, erőforrások tekintetében szerényebb entitások is sikerrel megvethetik a lábukat az adott piacon, a piacvezető szempontjából másodlagos szegmensek igényeire fókuszáló megoldásokkal.²⁰

Lehet, hogy ehhez elégséges csak újragondolni az adott technológia funkcióportfólióját, és a hangsúlyokat máshová helyezni. Habár kezdetben főbb jellemzőikben általában nem érik el „fősodorbéli szüleik” teljesítményét/színvonalát, olcsóbbak, nem egy esetben könnyebben használhatók azoknál. A tömeges felhasználásnak köszönhetően a „gyermektechnológia” jelentősen elterjed, és amennyiben túléli a „gyermekbetegségeit”, majd életgörbéjének érettebb szakaszába lép, képességeit tekintve nagymértékben fejlődik, jó eséllyel befolyásolja, jelentősen vissza-, adott esetben kiszorítja a „szülőtechnológiát”, mivel annak hagyományos célszegmensei is egyre inkább átváltanak az új belépő által kínált megoldásra.²¹

Christensen elméletével kapcsolatosan számos kritikát fogalmaztak meg, több ízben alakult ki sajtóvita a diszruptív innováció (miben)létét illetően. A Christenseni diszruptivitás mellett érvelők arra mutattak rá, hogy az elmélet publikálása óta azt folyamatosan fejlesztik és eredményesen alkalmazzák az üzleti, illetve termék-életképeségek elemzéséhez, különösen a startupoknál, amelyek nem egy esetben pont az „épp elég a felhasználónak” elv mentén dobják piacra termékeik első verzióját.²²

Három kiragadott példával élve:

1. Az IBM olyan szinten biztos volt abban, hogy a személyi számítógépeknek nincs jövőjük, hogy kis túlzással átaludta az 1980-as évek PC-forradalmát. A céget egy Floridában létrehozott profitcentere tette fel a PC-térképre, amely függetlenedve a cég *mainframe*²³ üzletágától megalkotta a ma ismert nyílt architektúrájú PC-kategóriát, amely szoftveresen és hardveresen rugalmas konfigurációk (LEGO-szerű) összeállítását tette lehetővé. A PC-k teljesítményének és képességeinek fejlődése – egyebek mellett az integrálható szoftverek számának dinamikus bővülése miatt – apasztotta a hagyományos *mainframe* ügyfélkört, mivel sok esetben a PC költséghatékonyabb megoldást nyújtott. A PC-k mintájára megkezdődött a nyílt architektúrájú szerverek gyártása, ami megadta a végső lökést a hagyományos *mainframe* üzletág átszervezéséhez.

²⁰ CHRISTENSEN–RAYNOR–MCDONALD 2015.

²¹ CHRISTENSEN 1997.

²² GOBBLE 2015; MCCAUSLAND 2023b.

²³ Nagy teljesítményű.

2. A drónok, kiemelten az UAV-ok²⁴ esetében a katonai felhasználás dominanciája volt megfigyelhető a 2010-es évek közepéig. A polgári igényeknek megfelelően nagy tömegben jelentek meg a kis méretű, rövidebb hatótávolságú, kevésbé védett (másként fogalmazva: szabványosított) kommunikációs megoldásokkal rendelkező, igen alacsony autonómítással rendelkező UAV-ok. A polgári drónok kis mérete, moduláris felépítése és rendkívül alacsony ára, egyszerű összeszerelhetősége, szervizelhetősége a katonai felhasználás számára is vonzóvá tette alkalmazásukat, mint arra az ukrán–orosz konfliktus is rávilágított. A diszruptív innováció e területen napjainkban zajlik. A „hagyományos” katonai UAV-piac és -technológia közel sem a múlté, azonban a Class I²⁵ kategória alsó szegmensének feltételezhető, rövid és középtávú jövőjét az ukrán–orosz konfliktusban kiforró – az IBM fent vázolt példájából merített névvel jellemezve – a nyílt architektúrájú, olcsó, könnyen beszerezhető, összeszerelhető és szervizelhető UAV-ok jelentik.
 3. Végül, de nem utolsósorban épp napjainkban zajlik az MI „demokratizációja”. A nagy nyelvi modellek (LLM)²⁶ természetes nyelven megfogalmazott utasítások fogadásának képessége és a modellek publikussá tétele szinte egyik napról a másikra több száz millióra növelte az MI-felhasználók számát. Csak az USA-ban a felnőtt népesség 52%-a alkalmazza már valamelyik LLM-et.²⁷ A felhasználók egyre növekvő száma nemcsak a modellek fejlődéséhez járulhat hozzá, de rávilágított arra is, hogy jelentős igény van a szegmentált, célirányosan tanított és alkalmazható LLM-megoldásokra.²⁸ A piacvezető LLM-ek (ChatGPT, Gemini, Grok) fejlesztői elsődlegesen a modell méretének és komplexitásának növelésére törekedtek, így minden erőnyük mellett sokkal többet kínálnak, mint amire egy átlagos felhasználónak szüksége van. Továbbá a piacvezető LLM-ek kizárólagos online elérhetősége bizonyos kitettséget is jelent a felhasználók számára. A piaci rést meglátva, a Meta Llama modellje mellett egyre több, a nagyobb modellekkel sok szempontból összemérhető képességportfólióval rendelkező, a fejlesztők állítása szerint kedvezőbb költség-hányad mellett megalkotott és üzemeltethető, akár saját informatikai infrastruktúrára letölthető és azon futtatható modell jelenik meg.²⁹
- Más megközelítésben az LLM-ek alkalmazása a civil és állami szféra különböző területein, az általánosságban várt költséghatékonyabbá válás mellett, a már bejáratott eljárások és szoftveres/hardveres megoldások elavulását válthatja ki.³⁰

Habár a fent vázoltak közül a 2. és 3. példa esetében megalapozott becslésként feltételezhető a közeli jövőben megnyilvánuló diszruptív jelleg, jelen publikáció készítésének idején

²⁴ *Unmanned aerial vehicle*: vezető nélküli légi jármű.

²⁵ 150 kg saját tömeg alatti, max. 100 km/h sebesség elérésére képes, legfeljebb 12 órás repülési idejű drónok.

²⁶ *Large language model*.

²⁷ Elon University 2025.

²⁸ Például adott nyelveken hatékonyabban működő és/vagy szűk tematikai/felhasználási területű (például kutatástámogatás) kisebb modellek.

²⁹ GUO et al. 2025; HIGH 2025.

³⁰ STOREY et al. 2024.

leginkább a „fukar”³¹ innováció jelei azonosíthatók. A polgári felhasználású UAV-ok esetében alapvető cél volt a kedvezőbb, de még az elvárt profitabilitást biztosító árszint elérése; az ukrán–orosz konfliktusban különösen az ukrán fél számára létfontosságú a drónflotta minél kisebb beszerzési áron megvalósítható fejlesztése. Az LLM-ek vonatkozásában a szerényebb pénzügyi háttérrel rendelkező országok/vállalkozások számára egy ChatGPT színvonalú modell létrehozása nemcsak a félvezetőipar gyártókapacitásának lekötöttsége miatt jelent kihívást, de a szükséges hardver-ökoszisztéma árszínvonala is hátráltató tényező. Ennek leküzdésére az országok az évezredek óta bevált stratégiát követik, keresik azon kiskapukat, amelyek lehetővé teszik az adott részfunkciók tekintetében a fősodorbéli technológiák képességeihez közelítő, kedvezőbb árszínvonalú megoldások előállítását.³² Amennyiben az így létrehozott termékek a gazdaságilag fejlettebb piacok elvárásainak is megfelelnek, a „fukar” innováció révén megalkotott termékek megkezdhetik hódító útjukat, adott esetben diszruptív hatást kifejtve a minta/szülő kategóriákra.

Összegezve, mind a feltörekvő, mind a diszruptív technológiák esetében igen magas a bizonytalansági tényező. A feltörekvők esetében kvázi szerves fejlődésről beszélhetünk, és a jövőt vizsgálva arra szükséges fókuszálni, hogy mely technológiában van meg az üvegplafon áttöréséhez³³ szükséges potenciál. A diszruptív technológiáknál a *status quo*t elavulttá tevő, alternatív funkciók, felhasználási lehetőségek azonosítása jelenti a kihívást.

A feltörekvő és a diszruptív technológiákat jellemzően iparági szinten vizsgálják, azonosítják. Azonban a geopolitikai célok támogatása megköveteli, hogy az egyes államok, illetve államok feletti entitások aggregált vizsgálatokkal azonosítsanak technológiai portfóliókat, és rendszeres időközönként felülvizsgálják azokat. Mindezt úgy, hogy elkerüljék a precíziós paradoxont.

A precíziós paradoxon

Az említett paradoxont a Nyugat, elsődlegesen a NATO hidegháborút követő stratégiájának egyfajta kritikájaként fogalmazták meg. A harmadik világháború rémének halványulásával a katonai stratégiák egyre inkább a precíz (sebészi) pontossággal végrehajtott csapások végrehajtására alapoztak. Megfelelő felderítés birtokában végrehajtott, jellemzően egyetlen, nagy pontosságú csapással kiiktatni az ellenfél vezetőjét/vezetését, harcálláspontját; ezzel annyira meggyengíteni, hogy ellenálló képessége ezt követően könnyen megtörhető legyen, szerencsés esetben az magától megszűnjön. Ez a döntő ütközetre építő katonai stratégiák reinkarnációjának is tekinthető. Azonban a precíziós fegyverek igen költségesek is. Továbbá az ellenérdekelte felek viszonylag hamar megtalálták a precíziós csapások „orvosságát”. Némi decentralizációval és helyváltoztatási dinamizmussal kétséges hatékonyságúvá tehető ezen kockázatkerülő³⁴ stratégia. Azaz a precíziós csapás ugyan pontos marad, de a kívánt döntő fordulatot nem képes kikényszeríteni. Ebből fakadóan további csapásokat

³¹ A „fukar” (*frugal*) innováció folyamatait alapvetően befolyásolja és alakítja (korlátozza) az innovátor és/vagy a célpiac rendelkezésére álló pénzügyi források szűkössége; adott esetben rendkívül funkcióorientált, kreatív megoldásokat létrehozva.

³² MCCAUSLAND 2023a.

³³ Nélkülözhetetlenné, megkerülhetetlenné válás.

³⁴ BODA 2022.

kell mérni az ellenfélre, vagy egyéb katonai műveleteket végrehajtani a kívánt eredmény kikényszerítése érdekében, amelyek (jellemzően) növelik a civil áldozatok számát és/vagy a járulékos veszteségeket.³⁵

Mint arra az ukrán–orosz konfliktus is rávilágított, a HIMARS³⁶ platformról indított rakéták (ATACMS,³⁷ GMLRS³⁸) egyértelmű előnyei³⁹ mellett megjelentek a precíziós paradoxon kihívásai is. Az elektronikai hadviselés eszközein kívül az orosz fél többszörös mélységi tagozódású légvédelmi struktúrát kezdett alkalmazni, és ezzel hatékonyan kompenzálta a HIMARS-ok kezdeti sikereit; mindemellett ezen rendszerek magas beszerzési és üzemben tartási költségei az ukrán fél mellett a donorországokat is kihívások elé állították.⁴⁰

A fentiek tükrében az EDT-k meghatározása és a vonatkozó K+F+I-tevékenység támogatása, finanszírozása esetében szükségesnek tartom figyelembe venni a precíziós paradoxon jelenségét.

Egyes EDT-portfóliók

A Buzan művében⁴¹ vázolt fegyverkezési verseny motivációs komplexumát leíró modellek közül az akció-reakció verziót figyelembe véve különösebb meglepetést nem okoz, hogy technológiai világunk kiemelt entitásai más elnevezéssel, esetenként más csoportosítással, de jelentős átfedéseket mutató EDT-portfóliókban gondolkodnak (lásd 1. ábra és 1. táblázat).

Az Európai Bizottság 2025 elején közzétett, a versenyképesség megerősítését célzó iránytúje az MI erőteljes priorizálása mellett, a fejlett anyaggyártás, a kvantum-, űr-, biotechnológiák és a robotika jelentőségét emeli ki.⁴² A NATO 2030 jelentés stratégiai prioritásként jelölte meg a dominancia elérését az EDT-k területén, s ebben a folyamatban a NATO az ösztönző, koordináló szerepet azonosította magának.⁴³ A szövetség Tudományos és Technológiai Szervezetének 2023-as jelentése csak a kvantum-, bio-, új anyag- és gyártástechnológiákat sorolja a feltörekvők közé. A dokumentum továbbá felhívja a figyelmet az MI, az adattechnológiák és az EDT-portfólió további tagjai közti jelentős kölcsönös függőségekre, szinergiákra.⁴⁴

³⁵ Fox 2024.

³⁶ *High mobility artillery rocket system*: nagy mozgékonyaságú rakétatüzérségi rendszer.

³⁷ *Army tactical missile system*: harcászati ballisztikusrakéta-rendszer.

³⁸ *Guided multiple launch rocket system*: irányított rakéta-sorozatvető rendszer.

³⁹ Rendkívüli mobilitás. A kilőtt lövedék elleni védekezés, ha nem is lehetetlen, de problematikus. Magas precizitású célba érkezés.

⁴⁰ YANG et al. 2024.

⁴¹ BUZAN 1987.

⁴² European Commission 2025a.

⁴³ SIPOSNÉ KECSKEMÉTHY 2021.

⁴⁴ REDING et al. 2023.



Kína

- Új generációs információs technológiák
- Biotechnológia
- Fejlett anyagok és eszközök
- Új járműmeghajtási technológiák
- Környezetvédelmi, tengeri és űrtechnológiák
- Fejlett navigációs rendszerek
- „Agyszerű” intelligencia
- Kvantum- és genetikus technológiák
- Tenger alatti és űrkutatási technológiák
- Hidrogénenergia
- Új generációs energiatárolási technológiák



Oroszország

- Robotika
- Nagy teljesítményű számítástechnikai rendszerek
- Új anyagok és kémiai vegyületek
- MI-technológiák (kiemelten big data, gépi tanulás)
- Intelligens gyártástechnológiák
- Energiatechnológia
- Személyre szabott (genetikailag célzott) gyógyszerek, egészségmegőrző és más orvosi megoldások
- Fejlett mezőgazdasági és élelmiszeripari technológiák
- Védelmi technológiák teljes spektruma (hangsúly a hibrid fenyegetéseken)
- Intelligens szállítási megoldások (űr, levegő, tengerek, szárazföld)
- Környezetvédelmi technológiák
- Természeti folyamatokat másoló (így a természettel „harmonikusan” együttműködő) technológiák



USA

- Fejlett IT
- Fejlett anyagok
- Gázturbina-technológiák
- Hálózatba szervezett érzékelés és jelkezelés
- Fejlett gyártástechnológiák
- MI
- Biotechnológia
- Tiszta energia (termelés, tárolás)
- Adatvédelem és -biztonság (kibervédelmi megoldások)
- Irányított energia (lézer)
- Integrált kommunikációs technológiák
- Fejlett helymeghatározási és navigációs technológiák
- Kvantumtechnológiák
- Félvezetőgyártás és mikroelektronika
- Űrtechnológiák

1. ábra: Egyes országok EDT-listái

Forrás: a szerző szerkesztése Center for Security and Emerging Technology 2021, MALMLÖF 2024, National Science and Technology Council 2024 alapján

1. táblázat: Kiemelt nemzetközi szervezetek EDT-listái

Nemzetközi szervezetek	
Európai Unió	NATO
• Fejlett félvezető-technológiák	• MI
• MI	• Kvantumtechnológia
• Kvantumtechnológia	• Bio- és az emberi képességeket fejlesztő technológiák
• Biotechnológia	• Újgenerációs kommunikációs hálózatok
• Fejlett konnektivitás, navigációs és egyéb digitális technológiák	• Űrtechnológiák
• Fejlett érzékelési technológiák	• Fejlett energia- és meghajtástechnológiák
• Űr- és meghajtási technológiák	• Hiperszonikus rendszerek
• Fejlett energiastechnológiák	• Újgenerációs anyagok és gyártás
• Fejlett anyagok gyártási és újrafeldolgozási technológiái	• Autonóm rendszerek
• Robotika és autonóm rendszerek	

Forrás: a szerző szerkesztése a Bizottság (EU) 2023/2113 ajánlása és NATO 2024 alapján

A kínai 14. ötéves terv (2021) szerint az EDT egyik legfontosabb fokmérője, hogy a technológia 17%-ot meghaladó mértékben járuljon (majd) hozzá az ország GDP-jéhez. Érdemes kiemelni, hogy az 5G-hálózatok lefedettségi arányát közel 60%-ra tervezték növelni úgy, hogy a 6G-re való áttérés szervesen biztosított legyen.⁴⁵ Oroszország 2024 februárjában jóváhagyott releváns stratégiája célfókuszú megközelítést alkalmaz, erős hangsúlyt fektet a fejlesztendő technológiák által megvalósítandó eredményekre. Ezek közül messzemenően prioritizált az ország technológiai szuverenitásának megvalósítása; ebből kiindulva feltételezhető, hogy az ország nem számol a nyugati technológiai-tudományos ökoszisztémába való visszaintegrálódással az elkövetkezendő évtizedben.⁴⁶ Az USA Nemzeti Tudományos és Technológiai Tanácsa éves rendszerességgel frissíti a kritikus és feltörekvő technológiák listáját, amely (szintén) jelentős hasonlóságot mutat a NATO EDT-kkel.⁴⁷

Az EDT-k TS-fókusza

Mint arra a NATO Tudományos és Technológiai Szervezete is rámutatott, az EDT-k esetében az egyes technológiák fejlődése/fejlesztése, képességeik maximalizálása erős, kölcsönös függőségben áll az MI-vel. A tudományos és K+F+I-versenyben ma már elfogadott tény, hogy az MI alkalmazásának hiánya lassítja a kutatási és fejlesztési folyamatokat. Azonban az MI képességeinek maximalizálása, öngerjesztő fejlődése nem lehetséges egy alap támogató ökoszisztéma nélkül, amely ellátja a szükséges adatokkal és összeköti a globális kibertérrel.

⁴⁵ Center for Security and Emerging Technology 2021.
⁴⁶ Executive Order No 145 of the Presidents of the Russian Federation on the Scientific and Technological Development Strategy of the Russian Federation.
⁴⁷ National Science and Technology Council 2024.

A transzhumanizmustól⁴⁸ független technológiai szingularitás (TS) definíciója szerint az MI egy adott ponton képessé válik önmaga rekurzív fejlesztésére, önmagánál fejlettebb megoldások (gépek, mesterséges entitások) megalkotására.⁴⁹ Ennek alapját meglátásom szerint három, az EDT-portfóliókban közvetlenül vagy közvetve nevesített technológia,⁵⁰ az úgynevezett TS-triád szimbiózisa képezi.⁵¹ Az IoT az adatgyűjtő, érzékelő, végrehajtó elemet, az 5G/6G a mindenhol jelen lévő és egyben nagy kapacitású adattovábbító szegmenst alkotja, míg az MI az elemző, értékelő, tanuló, „döntéshozó” entitást képviseli. A TS-triád kiemelt eleme az MI, amelynek képessége csak az esetben maximalizálható, amennyiben minél több jó minőségű, valós idejű adathoz fér hozzá, továbbá szükséges, hogy a feldolgozott adatok alapján hozott döntései megfelelő gyorsasággal jussanak el a felhasználási, végrehajtási pontokra.

5G/6G

A mobil telekommunikáció nagy kapacitású, natív felhőalapú informatikai hálózattá vált napjainkra. A 4G-5G-6G fejlődési ütemet a 2. táblázat mutatja be.

A 6G a szabványtervezetek szerint nagy megbízhatóságú, a földfelszín és a légtér (valamint a földközeli űr) közel teljes szegmensében elérhető IKT-hálózat lesz. Ehhez a 6G-célzó szabványtervezetek integrálják a szolgáltatófüggetlen (például *mesh*) és a wifihálózatok, valamint a műholdas és magaslégköri átjátszóállomás⁵² technológiákat.⁵³ Az ITU (Nemzetközi Telekommunikációs Szövetség) 6G-ajánlása olyan elektronikus hírközlési ökoszisztémát vetít előre, amely a Föld teljes népessége számára biztosítja a kibertéri hozzáférést.⁵⁴

2. táblázat: Egyes 4G-, 5G- és 6G-mérőszámok összehasonlítása

	4G	5G	6G
Adatátviteli sebesség	1 Gbps	20 Gbps	1000 Gbps
Felcsatlakoztatható eszközök száma	100 000 / km ²	1 000 000 / km ²	100 / m ³
Késleltetési idő	10 ms	1 ms	0,1 ms
Mobilitás (eszközkövetés)	350 km/h	500 km/h	1000 km/h
Horizontális helymeghatározási pontosság	50 m	0,2 m	0,01 m
Vertikális lefedettség	n/a	300 m	10 000 m

Forrás: a szerző szerkesztése 3GPP 2022 és ETSI 2022 alapján

⁴⁸ Ember-gép hibridizáció.
⁴⁹ SEEWALD 2022: 94–95.
⁵⁰ Újgenerációs kommunikációs hálózatok (5G/6G), fejlett érzékelő technológiák, dolgok internete (IoT), MI.
⁵¹ OLLÁRI 2024.
⁵² High-altitude platform system (HAPS).
⁵³ TÓTH 2023b.
⁵⁴ ITU-R M.2160-0 (11/2023).

IoT

A dolgok internetét kiterjesztett módon közelítem meg. Elsődlegesen az érzékelő technológiákat veszem számításba, de mindazon eszközök ide csoportosíthatónak értelmezek, amelyek képesek egymással összekapcsolódva hálózatot alkotni, hozzáférést biztosítani a hálózati elemek által létrehozott, illetve tárolt adatokhoz és/vagy aktuátorként üzemelni.⁵⁵

MI

Az EU vonatkozó rendelete így definiálja az MI-t:

„[...] gépi alapú rendszer, amelyet különböző autonómiaszinteken történő működésre terveztek, és amely a bevezetését követően alkalmazkodóképességet tanúsíthat, és amely a kapott bemenetből – explicit vagy implicit célok érdekében – kikövetkezteti, miként generáljon olyan kimeneteket, mint például előrejelzéseket, tartalmakat, ajánlásokat vagy döntéseket, amelyek befolyásolhatják a fizikai vagy a virtuális környezetet”.⁵⁶

A szakértők által megkülönböztetett MI-generációk⁵⁷ közül a napjainkat jellemző ANI gyakorolja a legnagyobb befolyást világunk tudományos és technológiai fejlődésére. Azonban az eddig a közép- és hosszú távú jövőbe helyezett AGI kapcsán – köszönhetően a csúcsra járatott fejlesztési versenynek – egyre több szakértő vélelmezi, hogy az AGI már akár 2030-ig megvalósulhat.⁵⁸

EDT-alapú geopolitikai kitettségek

A geoökonómia esetében számos szerző ad hangot annak, hogy ez a geopolitikai érdekérvényesítés úgynevezett puha eszköztárhoz tartozik; mi több, ez a kompromisszumok világa, szemben a háború logikájával. E téren Luttwakkal (1990) értve egyet, valamint az elmúlt 10–15 év történelmét alapul véve, a geoökonómia sokkal inkább „a háború logikájának keveredése a gazdaság eszköztárával”.⁵⁹

Egészen nyers megfogalmazással: a nemzeti érdekek asszertív érvényesítése és védelme, geopolitikai előnyök megszerzése a gazdaság képességportfóliójának felhasználásával. A geopolitikai érdekek optimális érvényesítésének, a célirányos katonai erőkitetés

⁵⁵ TÓTH 2023a.

⁵⁶ Az Európai Parlament és a Tanács (EU) 2024/1689 rendelete.

⁵⁷ Célspecifikus, szűk MI (*artificial narrow intelligence*, ANI); az emberi intelligenciával egyenértékű, általános MI (*artificial general intelligence*, AGI); az emberi értelmet meghaladó MI (*artificial super intelligence*, ASI). BÁNKUTY-BALOGH 2022; KOVÁCS–GURÁLY 2023.

⁵⁸ ASCHENBRENNER 2024; RODRÍGUEZ 2025.

⁵⁹ LUTTWAK 1990: 19.

képességén túl, feltétele a megfelelő gazdasági erő megléte, és az erre épülő befolyásolási képesség a geoökonómia „szűken értelmezett portfóliójának”⁶⁰ célirányos alkalmazásával. A bővített eszköztár felöleli a regionális és globális ellátási és értékláncok⁶¹ kialakításának, működtetésének, befolyásolásának képességét, illetve a gazdasági befolyás érvényesítését a kibertér ökoszisztémáját kiaknázva. A geoökonómia eszköztárai egyaránt tartalmaznak puha⁶² és kemény⁶³ eszközöket.

A geoökonómia az érdekérvényesítés támogatásán túl egyértelműen támogatja az adott állam gazdasági stabilitását, fejlődését. Ezt azért is szükséges hangsúlyozni, mert a geopolitika, a geoökonómia eszköztárai akkor alkalmazhatók teljes hatékonysággal, ha az érdekérvényesítő ország, inter- vagy szupranacionális entitás gazdasága (diplomáciai és katonai erőketítő kompetenciáival együtt) ennek hátteret biztosít.⁶⁴

Az MI hatékony alkalmazása – a kibertér nyújtotta lehetőségek kiaknázásával – a kisebb geopolitikai játékosok számára is lehetőséget biztosít ahhoz, hogy méretüket meghaladó mértékben legyenek képesek érdekeiket érvényesíteni.⁶⁵ Az EDT-k vázolt kölcsönös függőségeiből kiindulva, a TS-triád fókuszát tovább desztillálva a tudásáramlás, a humán erőforrás és főként a félvezető-technológiák kiemelt jelentősége azonosítható, a finanszírozási háttér *sine qua non*⁶⁶ jellege mellett.

A TS-triád valamennyi eleme alapvetően függ a megfelelő mennyiségű és minőségű félvezető rendelkezésre állásától. Az IoT- és 6G-fejlesztések sajtóvisszhangja ugyan kisebb, de a fent vázolt 6G-jövőkép és az MI-információigény a következő szintre húzhatja az IoT-technológiát. Az egyre nagyobb fordulatszámú pörgő MI-fejlesztések további szűk keresztmetszete (egyelőre) a megfelelő kompetenciákkal rendelkező emberi erőforrás. Ahhoz, hogy az MI-fejlesztési versenyben biztosítható legyen bármely entitás fölénye, rendelkezni kell a csúcscategóriás félvezetőgyártáshoz és -fejlesztéshez szükséges nyersanyagok és ismeretek felett gyakorolt ellenőrzés képességével.

Kiragadott, de aktuális példaként Dél-Korea, amely a félvezetőgyártás terén dobogós helyen szerepel, olyan objektív kihívásokkal küzd, mint a japán exportkorlátozások a gyártáshoz szükséges kémiai vegyületek (például hidrogén-fluorid, fluorozott polimerek) terén, az USA bizonyos technológiákra (például extrém ultraibolya litográfia⁶⁷) bevezetett exportkorlátozásai, illetve Kína válaszintézkedésként bevezetett gallium- és germániumkorlátozásai.⁶⁸ Mindhárom összetevő a félvezetőgyártás és -fejlesztés folyamatai, az ellátási láncok stabilitása szempontjából jelent kihívást. Japán a gyártási folyamatra helyezett nagyobb nyomást, az USA bizonyos megközelítésből a tudásra, a kompetenciákra, míg Kína a beszállítási láncra.

⁶⁰ Kereskedelmi, befektetési, pénzügyi és monetáris, támogatási (segélyezési), energiaügyi és nyersanyag-, valamint szankciós politikák.

⁶¹ Idesorolva a kritikus technológiákkal (például MI, félvezetőgyártás) kapcsolatos tudásmegosztást és a felhasználási jogok biztosítását és korlátozását, alkalmazásuk ösztönzését vagy korlátozását.

⁶² Támogatás, együttműködés, együttműködési rendszerek és hálózatok kialakítása stb.

⁶³ Szankció, embargó, kizárás.

⁶⁴ BLACKWILL–HARRIS 2016; TROXELL 2018.

⁶⁵ OLLÁRI 2024; OSECH et al. 2025.

⁶⁶ Elengedhetetlen feltétel.

⁶⁷ A nagy teljesítményű chipek gyártásának nélkülözhetetlen eljárása, amely biztosítja a tranzisztorok sűrűbb elhelyezését, méreteik csökkentését.

⁶⁸ JANJEVA et al. 2024.

A nyersanyagok stratégiai jelentősége

Ez utóbbi abból a szempontból kiemelt jelentőségű, hogy Kína rendelkezik a világ ritka-földfém érceinek kiemelkedő hányadával (44 millió tonna), további jelentős készleteket birtokol még Vietnám (22 millió tonna), Brazília (21 millió tonna) és Oroszország (10 millió tonna). Kitermelés szempontjából Kína 69,77%-kal vezeti a piacot, tőle jelentősen lemaradva következik az USA (11,6%), illetve Mianmar (7,97%) és Ausztrália (3,3%). További jelentős tényező a feldolgozó kapacitás, amelyet tekintve Kína biztosítja a piac ellátásának 90%-át.⁶⁹

Az EDT-k, az elektronikai ipar és a chipgyártás szempontjából némileg bővítve a kritikus nyersanyagok körét, globális függőségek hálózata rajzolódik ki (3. táblázat).

3. táblázat: Egyes kritikus EDT-alapanyagok

Nyersanyag	Származási hely szerint (az első három ország)	Globális piaci részesedés (%)
Ritkaföldfémek (kitermelés szerint)	Kína	69,77
	USA	11,6
	Mianmar	7,97
Gallium (kitermelés szerint, 2024. évi becslés)	Kína	87,3
	Németország	4,7
	Kazahsztán	2,9
Kobalt (kitermelés szerint, 2024. évi becslés)	Kongó	72,1
	Indonézia	7,7
	Oroszország	2,6
Hélium (finomítási kapacitás, 2024. évi becslés)	USA	54,2
	Katar	19,1
	Algéria	13,3
Lítium (termelés, 2024. évi becslés)	Ausztrália	40,1
	Chile	19,9
	Kína	18,8
Magnézium (kitermelés szerint, 2024. évi becslés)	Kína	85,7
	Oroszország	3,9
	USA	3,0
Palládium (kitermelés szerint, 2024. évi becslés)	Dél-Afrika	40,2
	Oroszország	36,5
	Kanada	9,1
Platina (kitermelés szerint, 2024. évi becslés)	Dél-Afrika	70,7
	Oroszország	11,6
	Zimbabwe	8,3
Titán (kitermelés szerint, 2024. évi becslés)	Kína	65,8
	Japán	13,4
	Oroszország	9,6

⁶⁹ Mining Technology 2025; JAGANMOHAN 2025, FLECK 2025.

Nyersanyag	Származási hely szerint (az első három ország)	Globális piaci részesedés (%)
Réz (kitermelés szerint, 2022.)	Chile	23,98
	Kongó	11,32
	Peru	11
Ezüst (kitermelés szerint, 2023.)	Mexikó	28,08
	Kína	14,92
	Peru	13,6
Arany (kitermelés szerint, 2023.)	Kína	11,05
	Oroszország	9,4
	Ausztrália	8,59

Forrás: a szerző szerkesztése ALONSO et al. 2025, *World Population Review* [é. n.] alapján

A 3. táblázatot áttekintve, részletekbe menő elemzés nélkül is megállapítható néhány lényeges tény:

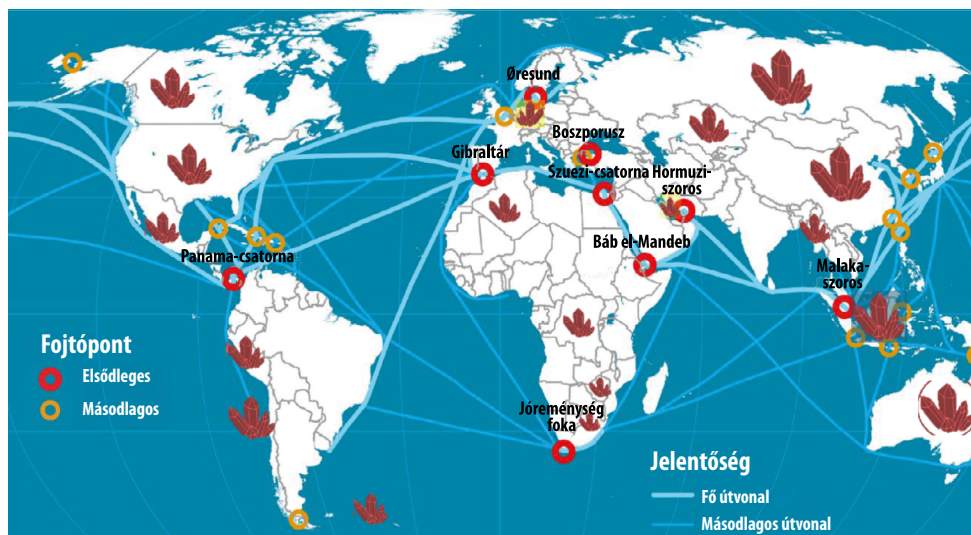
1. A ranglisták első helyezettjei – a palládium, az ezüst és az arany kivételével – minimum kétszeres (átlagosan 6,51-szeres) előnyt élveznek a második helyezettekhez képest,⁷⁰ míg a második és a harmadik pozíció közti átlagos különbség 1,56-szoros.
2. Az első helyen
 - két nyersanyag⁷¹ esetében áll az euroatlanti szférához köthető ország (USA, Ausztrália);
 - hét nyersanyag⁷² tekintetében található BRICS-tagország (Kína, Dél-Afrika).
3. Második és harmadik helyen
 - hat nyersanyagnál találunk euroatlanti szférához köthető országot;
 - tizenegy nyersanyagnál BRICS- vagy azzal együttműködő/aspiráns ország szerepel.
4. Nincs olyan nyersanyag, amely esetében kettő vagy több euroatlanti szférához köthető ország található az első három helyezett között.
5. Egyetlen EU-tagország található a listában: Németország, amely a gallium tekintetében a világranglista 2. helyezettje, 18,57-szeres hátrányban Kínával szemben.

A 4. táblázat szerinti egyes nyersanyagok túlnyomó része tekintetében az Európai Unió is importra szorul jelenleg. Az elektronikai megoldások komplex, globális értékláncában a tengeri szállítás elsősége továbbra is töretlen. Figyelembe véve a 12-es lista nyersanyagainak földrajzi elérhetőségét, a finomítási kapacitások lokációit, az érvényben lévő szankciós rezsimeket, az EU vonatkozásában a Dél-kínai-tenger – Indiai-óceán – Vörös-tenger – Földközi-tenger, valamint az atlanti hajózási útvonalak fontossága rajzolódik ki, kiegészülve olyan stratégiai

⁷⁰ Az 1. és 3. helyezettek közti átlagos különbség 10,56-szoros.

⁷¹ Hélium, lítium.

⁷² Ritkaföldfémek, gallium, magnézium, palládium, platina, titán, arany.



2. ábra: Fő tengeri szállítási útvonalak és stratégiai pontok

Forrás: a szerző szerkesztése Notteboom – Pallis – Rodrigue 2022:89 és a 4. táblázat alapján

pontok jelentette kihívásokkal, mint a Panama-csatorna, a Malaka-szoros, a Hormuzi-szoros, a Vörös-tenger bejáratát jelentő Bab el-Mandeb (könnyek kapuja), a Szuezi-csatorna és a Gibraltári-szoros (lásd 2. ábra). Az EU jelenlegi képességei erősen korlátozottak ezen hajózási útvonalak és stratégiai pontok felügyeletére. A szomáliai kalózok megregulázását célzó EU-műveletben⁷³ részt vevő két fregatt műveleti költségeinek fedezésében képességei kimerülnek. A térség másik komoly kihívását jelentő jemeni húsz felkelők „kezelését” az EU nem lenne képes megoldani az USA tényleges támogatása nélkül. Kijelenthető, hogy egyelőre az USA látja el a globális tengeri útvonalak és stratégiai pontok többsége átjárhatóságának (biztonságának) ellenőrzését, szükség esetén kikényszerítését (lásd Bab el-Mandeb és a húsz lázadók).⁷⁴

Habár napjainkban a félvezető-technológiai *know-how* és gyártás tekintetében követő pozíciót foglal el Kína, a feldolgozó kapacitások terén, több nyersanyagnál azonosítható az ország jelentős dominanciája. Kiragadott példákkal megvilágítva, réz esetében a globális finomító kapacitások 44%-a, a lítium tekintetében a 65%-a, a ritkaföldfémeknél a 92%-a Kínában található. Mindez azt jelenti, hogy a nagyobb gyártási kapacitással rendelkező országok (Japán, Korea, USA) adott mértékben ki vannak téve mind Kínának, mind a szállítási útvonalakat felügyelni, biztosítani képes országoknak.⁷⁵

⁷³ EUNAVFOR Operation Atalanta.

⁷⁴ ŽUPAC 2024.

⁷⁵ IEA 2024.

A stratégiai nyersanyagkitettséget csökkentő, potenciális félvezető-technológiák

Az erőkivetítési és a gazdasági, politikai nyomásgyakorlás egyéb eszközei mellett a hatékonyabb újrahasznosítás, újrafelhasználás, még inkább az új alapanyagokra épülő félvezető-technológiák jelenthetnek – mérsékelt szabatossággal élve – elegáns megoldást a nyersanyagkitettség enyhítésére; mérsékelt konfrontációs szint mellett csökkentve a stratégiai nyersanyagok felett jelentős kontrollal rendelkező entitások nyomásgyakorló képességét.

Az újrahasznosítás, újrafelhasználás, különösen a ritkaföldfémek esetében azok bányászatával és feldolgozásával egyenértékű környezeti terheléssel jár. Számos kutatás folyik például a ritkaföldfémek tekintetében olyan új, polimeralapú újrahasznosítási eljárások kifejlesztésére,⁷⁶ amelyek alacsonyabb környezeti terhelés mellett, költséghatékony módon lehetnek képesek kiváltani az oldószeres és ioncserén alapuló technológiákat.⁷⁷ Azonban az elektronikai ipar igénye exponenciálisan növekszik, így a kitettségek mérsékelhetők, de kizárólag erre nem lehet stratégiai függetlenséget alapozni.

A stratégiai nyersanyagok alternatív forrásait tekintve olyan elméletek is születtek, amelyek például a tengeri és folyami üledék, a szénpor, szénhamu, kimerült bányák törmelékeinek és a vörösiszap feldolgozásában, a foszforlelőhelyek kettős kiaknázásában⁷⁸ rejlő lehetőségekre hívják fel a figyelmet.⁷⁹ A vázolt lehetőségek elméleti megvalósíthatósága ugyan nem kérdéses, azonban a költséghatékony technológia rendelkezésre állása igen, és kifejezetten az üledékkitermelés és -feldolgozás számos környezetvédelmi kérdést vet fel.

Az újgenerációs félvezető-technológiák tekintetében érdemes különválasztani a szerves fejlődési (tervezett K+F) folyamatok eredményeként már elérhető harmadik generációs⁸⁰ és a piaci bevezetéshez közel álló negyedik generációs⁸¹ félvezetőket, illetve a feltörekvő-technológia-gyanús grafénalapú megoldásokat. A harmadik generációs szilícium-karbid és a negyedik generációs gyémánt és alumínium-nitrid esetében részben csökkenthető a korábbi generációs félvezetők alapanyag-kitettsége. A szilícium-karbid alapanyaga a homok és a koks, egy japán startup pedig a levegőből kivont metán és szén-dioxid révén kíván félvezetőgyártáshoz szükséges mesterséges gyémántot előállítani.⁸² Jelentős potenciált azonosítottak még a „köbös bór-arzenid”⁸³ kapcsán, azonban a jelenlegi kutatási eredmények gyakorlati eredményekre váltása még várat magára.⁸⁴ A jelen publikáció elkészítéséig közzétett kutatási eredmények alapján 10 év feletti időtávlatban potenciális alternatívát jelenthetnek az úgynevezett szerves elektronikához sorolt technológiák (vezető tulajdonságokkal rendelkező polimerek, kismolekulás félvezetők, szerves fotovoltaiikus anyagok).⁸⁵

⁷⁶ Jellemzően a kivonni kívánt nyersanyagokra fókuszált membrános, felület- és üregcsapdás megoldások. CROFT et al. 2024.

⁷⁷ ZHANG–GAO 2023.

⁷⁸ A tengeri származású foszfor viszonylag jelentős arányban tartalmaz például ritkaföldfémeket.

⁷⁹ BALARAM 2023.

⁸⁰ Gallium-nitrid, szilícium-karbid félvezetők. YU 2024.

⁸¹ Gallium-oxid, gyémánt, alumínium-nitrid. LI–GAO–ZENG 2025.

⁸² KIZUNA 2025.

⁸³ Az atomok egy kocka alakú molekulaszervezet csúcaiban helyezkednek el.

⁸⁴ ZHOU et al. 2025.

⁸⁵ LIU 2024.

A publikált kutatási eredmények szerint a grafénalapú technológia kvantumugrás-jellegű fejlődést jelenthet a félvezető-megoldások terén.⁸⁶ Az EU Graphene Flagship K+F-kezdményezésében részt vevő, aacheni székhelyű Black Semiconductor GmbH nyilatkozata szerint olyan grafénalapú megoldás nagytömegű gyártását tervezik megkezdeni 2031-ig, amely támogatja a chipen belüli és a chippek közti, akár 10 Pbit/s⁸⁷ sebességű optikai jelátvitelt, mindemellett kompatibilis a hagyományos félvezető-technológiákkal.⁸⁸

Technológiai és financiai kompetenciák versenye

Az MI-technológia fejlesztése terén az USA vezető szerepe mellett Kína második helyét emelik ki a források.⁸⁹ Habár az EU-tagállamok aggregált eredményei alapján a harmadik hely biztosított lehetne, tagállami szinten a hatodik helytől (Franciaország) találhatók EU-tagországok.⁹⁰

A 2025 elején tett nagyívű bejelentések az MI stratégiai szerepének dinamikus erősödésére utalnak. A 2025. január 21-én bejelentett *Stargate Project*, illetve az EU „MI Kontinens Akcióterv”⁹¹ programja egyaránt az MI K+F+I-folyamatainak felgyorsítását célozza. Jobban megvizsgálva a két programot néhány jelentős különbség azonosítható. Részben az USA (és Kína) esetében egyetlen állam testesíti meg a globális MI-kompetenciaverseny első két helyezettjét. Továbbá a Stargate 500 milliárd amerikai dolláros költségvetéssel számol olyan finanszírozó és technológiai partnerekkel a háttérben, mint az OpenAI, a SoftBank,⁹² az Oracle és az MGX,⁹³ NVIDIA, Arm. Az EU projektje pedig 200 milliárd euró allokálását tervezi a *Digitális Európa Program* és *Horizon Europe* kereteit felhasználva, illetve létrehoz egy külön alapot 20 milliárd euró értékben (InvestEU). Ez utóbbi „MI-gigagyarak” létrehozását lesz hivatott támogatni. Az EU számít tagállami hozzájárulásokra a kohéziós fejlesztések terhére, illetve a versenyszféra befektetéseire.⁹⁴

Az USA már a 2010-es évek közepétől fokozatosan életbe léptetett korlátozó intézkedéseket a kínai félvezető- és az infokommunikációs technológiák korlátozása érdekében. Azonban a Covid-19-pandémia kapcsán előállott chiphiány döbbsentette rá az USA-t és az EU-t jelentős távol-keleti kitettségre és Kína megerősödött geoökonómiai szerepére. Az egyre szélesebb körre kiterjesztett tudás- és technológiai export kontrolljának célja részben a hazai gyártási kompetenciák megerősítése volt, részben a potenciális versenytárs blokkolása.⁹⁵ Az USA intézkedései eredményesnek, ugyanakkor megkésettnek tekinthetők, mivel a nyomás alá helyezett fél részben képes volt készletek felhalmozására, az USA intézkedéseinek megkerülésére (azok további szigorításáig); illetve rendelkezett azon

⁸⁶ FU et al. 2025.

⁸⁷ 10 × 1015 bit/s.

⁸⁸ CLARKE 2025.

⁸⁹ OMAAR 2024.

⁹⁰ MASLEJ 2024.

⁹¹ European Commission 2025c

⁹² A brit ARM chipgyártó japán tulajdonosa.

⁹³ Az Egyesült Arab Emírségekben bejegyzett, MI-technológiákba fektető alap.

⁹⁴ OPENAI 2025; European Commission 2025b.

⁹⁵ KIM-RHO 2024.

kompetenciákkal, amelyek lehetővé tették, hogy alternatív kutatási irányokkal kísérletezzenek, amelyek jelentősnek tűnő, azonban még visszaigazolást igénylő eredményekre vezettek.⁹⁶

Félvezető-kitettségeinek mérséklése érdekében az első és második chiptörvény keretében 2030-ig az USA megközelítőleg 53 milliárd dolláros (~48 milliárd euró) keretet⁹⁷ szánt központi költségvetéséből chiptechnológiai fejlesztések támogatására, illetve a gyártás amerikai földre csábítására.⁹⁸ Ezzel közel egy időben az Európai Bizottság STEP (*Stratégiai technológiák az európai egységért*) kezdeményezése 11 uniós finanszírozási programra építve, a Védelmi Alap költségvetését 1,5 milliárd euróval tervezte bővíteni a chipszuverenitás érdekében.⁹⁹ Emellett a *Horizon Europe* rendeletet kiegészítő *EU Chips Act* 3,3 milliárd euró közösségi (EU) finanszírozást és 40 milliárd euró magántőkét tervezett allokálni az uniós chip-K+F+I és -gyártás felfuttatására 2030-ig.¹⁰⁰

A fent jelzett összegek alapján megállapítható, hogy az USA finanszírozási téren is jelentős előnnyel indult a hazai chipgyártás megvalósítása terén. Nem melleleg ezen összegeket érdemes a nagyobb gyártók K+F-ráfordításainak tükrében is megvizsgálni. Csak 2024-ben a globális chipipar gerincét adó tajvani TSMC 6,77 milliárd, az Intel 16,5 milliárd, az MI-technológiák alapját adó NVIDIA 8,68 milliárd dollárt költött K+F-re.¹⁰¹

Jelentős kérdés a jövő, benne a *ReArm Europe* program, amelynek részeként az egyes EDT-kkel kapcsolatos kompetenciák növelését is célul tűzte ki az EU,¹⁰² 150 milliárd euró induló (közösségi költségvetéséből alapuló)¹⁰³ finanszírozás mellett, amelyet a tagállamok a GDP-arányos államháztartási hiánykorlát 1,5%-os célirányos emelésével¹⁰⁴ egészíthetnek ki. Ez összesen 800 milliárd eurós fejlesztési alapot képezne az elkövetkező 4 évben.¹⁰⁵

A két fő technológiai játékos (USA, Kína), valamint az EU összesített K+F-ráfordításait vizsgálva, az USA költségeinek (532 milliárd euró) 46%-át teljesítve áll a második helyen az EU (235 milliárd euró), és 41%-kal (216 milliárd euró) a harmadik helyen Kína. A leginnovatívabb vállalatok 34,1%-ának az USA-ban, 26,2%-ának Kínában és 16,1%-ának az EU területén van a székhelye.¹⁰⁶ Nem csak a Draghi-jelentés¹⁰⁷ mutatott rá az EU csökkenő tudományos és technológiai területen tapasztalt befolyáscsökkenésére; a Szellemi Tulajdon Világszervezetének (WIPO) jelentése szerint a top 100 tudományos-technológiai (S&T100)¹⁰⁸ klaszterek számát tekintve 2023-ra Kína vette át a vezető szerepet 26 S&T100 klaszterrel, az EU a második helyre szorult (24 klaszter), míg a harmadik helyen az USA áll (20 klaszter). Azonban a legjobb 10 között már nincs uniós klaszter. Az élmezőnyt Kína

⁹⁶ Például a Google Willow porcesszorával versenyző, 105 qubites kvantumchip. GAO et al. 2024.

⁹⁷ Egyéb források és pénzügyi eszközökkel ~250 milliárdra duzzasztva.

⁹⁸ A gyártókapacitások támogatását 35,7 milliárd euró értékben tervezték. ZIMMERMANN 2022.

⁹⁹ Az Európai Parlament és a Tanács (EU) 2024/795 rendelete (2024. február 29.).

¹⁰⁰ Council of the European Union 2023.

¹⁰¹ Macrotrends [é. n. a], [é. n. b]; ALSOP 2025.

¹⁰² Jelenleg nem ismert részesedési aránnyal a tervezett finanszírozási keretből.

¹⁰³ Hitel

¹⁰⁴ Szintén hitel.

¹⁰⁵ European Commission 2025c.

¹⁰⁶ European Commission 2024a: 18.

¹⁰⁷ European Commission 2024b.

¹⁰⁸ Komplex értékelés (publikációs teljesítmény, szabadalmak száma, tudományos és üzleti szféra együttműködési eredményei stb.) alapján összeállított ranglista.

(4 klaszter), az USA (3 klaszter), Japán (2 klaszter) és Dél-Korea (1 klaszter) alkotja.¹⁰⁹ A 4. táblázat is rámutat arra, hogy gazdasági és technológiai szempontból az USA befolyásolási kompetenciája ma még megkérdőjelezhetetlen.

4. táblázat: Az EU, Kína és az USA egyes jellemzőinek összehasonlítása 2024 adatai alapján

	GDP (Mrd USD)	GDP növekedés (%)	Népesség (M fő)	S&T100 klaszterek száma (db)	TOP 30 félvezető- technológiai cég (db)
EU	18 590	0,4	449	24	4
Kína	17 795	5,2	1411	26	1
USA	27 721	2,9	335	20	16

Forrás: a szerző szerkesztése World Bank [é. n.], WIPO 2024, Largest Semiconductor Companies by Market Cap [é. n.] alapján

Természetesen a Kína sorában megjelenített egyetlen félvezető-technológiai cég nem azt jelenti, hogy nincsenek további kompetenciái e területen, mindössze a globális ranglista top 30-ában egyetlen kínai vállalatot jegyeznek, szemben az USA-ban bejegyzett 16-tal. A tudományos és technológiai kompetenciákat tekintve kiegyensúlyozottnak tűnhet a verseny, azonban a fentebb jelzettek alapján (az S&T100 első 10 helyén nincs EU-s klaszter) árnyaltabb a kép.

Összegzés

A felvázolt és egymással jelentős átfedést mutató EDT-portfóliók jelenünk technológiai tudására épülő lehetséges jövőképet vázolnak fel. Tekintettel arra, hogy világunk vezető hatalmai ezeket helyezik tervezési – így finanszírozási – folyamataik fókuszába, a nemzeti és nemzetbiztonságra, EDT-k esetében mindennapi életünkre gyakorolt hatásuk egyre erőteljesebb lesz.

Jelen cikkben bemutattam a precíziós paradoxon elkerülésének fontosságát az EDT-portfóliók meghatározása, a K+F+I-finanszírozási politikák céljainak meghatározása kapcsán. A jelentős kompetenciákkal és/vagy erőforrásokkal rendelkező államok esetében is kontraproduktív a csodafegyver megalkotására irányuló tervezési mentalitás, kisebb államok esetében azonban végzetes, erőforrás-pazarló hibának bizonyulhat.

Az EDT fogalmi kifejtését alapul véve megállapítható, hogy a feltörekvő (E) technológiákkal kapcsolatos számos kutatás fontos, de elsősorban a jelentős erőforrásokat birtokló államok és entitások „boldog vadászezeje”. Ellenben a diszruptív (D) technológiák területén akár a kisebb, szűkösebb költségvetéssel és erőforrásokkal rendelkező államok is komoly eredményeket érhetnek el, „Szputnyik-pillanatokat” okozva a jelentősebb szereplőknek. Felmerülhet a kérdés, hogy hol vannak ezek a technológiák, fejlesztő entitások. A teljesség

¹⁰⁹ WIPO [é. n.].

igénye nélkül, számos esetben vásárolták fel őket nagyobb piaci szereplők,¹¹⁰ gyakran elhagyták az alapítás helyét, és migráltak az üzlet szempontjából előnyösebb országba, illetve számos piac vezető entitása – hasonlóan a fent említett IBM-példához – szándékosan viszi K+F+I-tevékenységét feltörekvő országokba.¹¹¹

Tekintettel az MI és az EDT-k közti erőteljes szinergiára, jelen publikációban rámutattam a TS jelentőségére. Az EDT K+F+I-versenyben napjainkra megkerülhetetlen elemmé vált a mesterséges intelligencia, és jelentős valószínűséggel az MI-fejlesztési verseny eszkálosítását vonja maga után. Ez azonban feltételezi, hogy az MI képessé válik (alkotói képessé teszik) önmaga fejlesztésére. Ez azonban, egy szervesen fejlődő „entitást” feltételezve, nem megvalósítható globális, nagy stabilitású és masszív adatátviteli képességgel rendelkező IKT-hálózatok (például 5G, 6G), valamint egy adatgyűjtő, érzékelő, végrehajtó ökoszisztéma (IoT) fúziója nélkül.

Mindennek alapvető feltétele a félvezetőgyártással kapcsolatos kompetenciák, nyersanyag és erőforrások birtoklásának, ellenőrzésének képessége. Az MI/IT szempontból kritikus nyersanyagok kinyerése és finomítása tekintetében a BRICS-országok (kiemelten Kína) elsősége azonosítható, míg a *know-how*-t az euroatlanti szféra és szövetségesei (például Japán, Dél-Korea) kontrollálja napjainkban.

Habár ígéretes technológiai fejlesztések azonosíthatók a félvezetőgyártás területén, amelyek enyhíthetik például az EU stratégiai alapanyag-kitettséget, a komplex gyártási alkalmazási ökoszisztéma, a felhasználási területek szerteágazósága, valamint az értéklán-cok összetettsége okán az új technológiák – megvalósulásuk esetén is – több mint 10 éves távlatban fejthetik ki ez irányú hatásaikat. A tengeri kereskedelmi útvonalak globális ellenőrzésére az USA aktív részvétele nélkül más játékos egyelőre nem képes. Mindezeket figyelembe véve, gazdasági, technológiai, erőkitívítési képességeket komplexen vizsgálva, az USA globális geopolitikai, -ökonómiai nyomásgyakorló képessége jelenleg megkérdőjelezhetetlen. Habár Kína jelentős nyersanyag- és erőforrások felett opponál, a *know-how* tekintetében még van ledolgozni való hátránya; továbbá a kereskedelmi útvonalak ellenőrzésére is csak korlátozottan képes. A gazdasági teljesítményeket figyelembe véve elmondható: az EU válaszüthöz érkezett. Vagy sikerül növekedési pályára állnia, vagy tovább gyengül helyzete a globális geoökonómiai versenyben. Ez utóbbit valószínűsíti az EU nyersanyag-szegénysége; a K+F-forrásainak relatív szűkössege, különösen a félvezető-technológiák gyártását és fejlesztését illetően; az USA, a BRICS-tagállamok és -aspiránsok által kontrollált nyersanyagvagyon; az USA által ellenőrzött és biztosított szállítási útvonalak ténye.

Azonban szükséges figyelembe venni, hogy korunk volatilis geopolitikai, geoökonómiai viszonyai és az MI-technológia fejlődésének exponenciális gyorsulása igazolni látszik Vernor Vinge 1993-as tételét, amely szerint a TS-hez közeledve kidobhatóvá válnak a világunkat leíró, jövőnket előrejelző modellek. A TS – valódi diszruptivitást gyakorolva – gyökerestül szervezi újra technológiai ökoszisztémánkat és mindennapi életünk szövetét egyaránt.¹¹²

¹¹⁰ Lásd például a svéd–dán alapítású, észt fejlesztésű, a telefonos távolsági hívások nyugdíjazását elősegítő Skype, amelyet felvásárolt a Microsoft.

¹¹¹ Egy kiragadott példával élve, a szoftverrobotika (robotikus folyamatautomatizálás) legnagyobb globális játékosát (UiPath) Romániában alapították, és kezdetben olyan cégeknek épített automatizációs könyvtárakat, mint az IBM, a Microsoft és a Google. A piaci részt azonosítva a szoftverrobotika felé vették az irányt, majd a céget New Yorkba költöztették. GHEORGHE 2018.

¹¹² VINGE 1993.

Felhasznált irodalom

- 3GPP (2022): 3GPP TR 21.916 V16.1.0 3rd Generation Partnership Project; Technical Specification Group Services and System Aspects; Release 16 Description; Summary of Rel-16 Work Items (Release 16). Sophia Antipolis Valbonne: 3rd Generation Partnership Project. Online: https://tacr.gov.cz/wp-content/uploads/documents/2022/05/10/1652185181_3GPP.pdf
- ASCHENBRENNER, Leopold (2024): *Situational Awareness: The Decade Ahead*. 2024. június. Online: <https://situational-awareness.ai/>
- ALONSO, Elisa et al. (2025): *World Minerals Outlook to 2029 – Cobalt, Gallium, Helium, Lithium, Magnesium, Palladium, Platinum, and Titanium*. U.S. Geological Survey. Online: <https://doi.org/10.3133/sir20255021>
- ALSOP, Thomas (2025): Nvidia Research and Development Expenses Worldwide from Fiscal Year 2017 to 2025. *Statista*, 2025. március 4. Online: <https://www.statista.com/statistics/988048/nvidia-research-and-development-expenses/>
- BALARAM, Vysetti (2023): Potential Future Alternative Resources for Rare Earth Elements: Opportunities and Challenges. *Minerals*, 13(3), 425. Online: <https://doi.org/10.3390/min13030425>
- BÁNKUTY-BALOGH Lilla (2022): A mesterséges intelligencia elterjedésének geoökonómiai hatásai és Magyarország. *Külgazdaság*, 66(7–8), 102–130. Online: <https://doi.org/10.47630/KULG.2022.66.7-8.102>
- BLACKWILL, Robert D. – HARRIS, Jennifer M. (2016): *War by Other Means. Geoeconomics and Statecraft*. Cambridge: The Belknap Press of Harvard University Press. Online: <https://doi.org/10.4159/9780674545960>
- BODA Mihály (2022): A hibrid háború etikája: az igazságos hibrid háború elmélete. In M. SZABÓ Miklós (szerk.): *A hadtudomány aktuális kérdései I.* Budapest: Ludovika Egyetemi Kiadó, 95–108.
- BUZAN, Barry (1987): *An Introduction to Strategic Studies: Military Technology and International Relations*. Basingstoke: MacMillan Press.
- Center for Security and Emerging Technology (2021): *Outline of the People's Republic of China 14th Five-Year Plan for National Economic and Social Development and Long-Range Objectives for 2035*. Online: https://cset.georgetown.edu/wp-content/uploads/t0284_14th_Five_Year_Plan_EN.pdf
- CHRISTENSEN, Clayton (1997): *The Innovator's Dilemma: When New Technologies Cause Great Firms to Fail*. Boston: Harvard Business School Press.
- CHRISTENSEN, Clayton M. – RAYNOR, Michael E. – McDONALD, Rory (2015): What Is Disruptive Innovation? *Harvard Business Review*, 2015. december. Online: <https://hbr.org/2015/12/what-is-disruptive-innovation>
- CLARKE, Peter (2025): Black Semi Posts Timetable for Making Graphene Optical Chips. *EE News Europe*, 2025. február 17. Online: <https://www.eenewseurope.com/en/black-semi-posts-timetable-for-making-graphene-optical-chips/>
- Council of the European Union (2023): Chips Act: Council Gives Its Final Approval. *Consilium.europa.eu*, 2023. július 25. Online: <https://www.consilium.europa.eu/en/press/press-releases/2023/07/25/chips-act-council-gives-its-final-approval/>

- CROFT, Charles F. et al. (2024): Polymer-Based Extracting Materials in the Green Recycling of Rare Earth Elements: A Review. *ACS Omega*, 9(39), 40315–40328. Online: <https://doi.org/10.1021/acsomega.4c06990>
- Elon University (2025): Survey: 52% of U.S. Adults Now Use AI Large Language Models Like ChatGPT. *Today at Elon*, 2025. március 12. Online: <https://www.elon.edu/u/news/2025/03/12/survey-52-of-u-s-adults-now-use-ai-large-language-models-like-chatgpt/>
- ETSI (2022): *ETSI TS 138 104 V17.7.0, 5G; NR; Base Station (BS) Radio Transmission and Reception (3GPP TS 38.104 version 17.7.0 Release 17)*. Sophia Antipolis Cedex: ETSI. Online: https://www.etsi.org/deliver/etsi_ts/138100_138199/138104/17.07.00_60/ts_138104v170700p.pdf
- European Commission (2024a): *The 2024 EU Industrial R&D Investment Scoreboard*. Luxembourg: Publications Office of the European Union. Online: <https://data.europa.eu/doi/10.2760/0775231>
- European Commission (2024b): *The Draghi Report: A Competitiveness Strategy for Europe*. Luxembourg: Publications Office of the European Union. Online: https://commission.europa.eu/topics/eu-competitiveness/draghi-report_en#paragraph_47059
- European Commission (2025a): *An EU Compass to Regain Competitiveness and Secure Sustainable Prosperity*. 2025. január 29. Online: https://ec.europa.eu/commission/presscorner/detail/en/ip_25_339
- European Commission (2025b): *EU Launches InvestAI Initiative to Mobilise €200 Billion of Investment in Artificial Intelligence*. 2025. február 11. Online: https://ec.europa.eu/commission/presscorner/detail/en/ip_25_467
- European Commission (2025c): *Joint White Paper for European Defence Readiness 2030*. JOIN(2025) 120 final. Online: https://defence-industry-space.ec.europa.eu/document/download/30b50d2c-49aa-4250-9ca6-27a0347cf009_en?filename=White%20Paper.pdf
- FLECK, Anna (2025): Where Are the World's Rare Earth Metals? *Statista*, 2025. április 14. Online: <https://www.statista.com/chart/33754/countries-with-the-greatest-known-reserves-of-rare-earths/>
- FOX, Amos C. (2024): Precision Paradox and Myths of Precision Strike in Modern Armed Conflict. *The RUSI Journal*, 169(1–2), 62–74. Online: <https://doi.org/10.1080/03071847.2024.2343717>
- FOX, Charles L. – LORENZINI, Dino A. (1980): How Much Is Not Enough? The Non-Nuclear Air Battle in NATO's Central Region. *Naval War College Review*, 33(2), 58–78.
- FRIEDMAN, Thomas L. (2005): It's a Flat World, After All. *The New York Times Magazine*, 2005. április 3. Online: <https://www.nytimes.com/2005/04/03/magazine/its-a-flat-world-after-all.html>
- FU, Shuai et al. (2025): Tracking and Controlling Ultrafast Charge and Energy Flow in Graphene-Semiconductor Heterostructures. *The Innovation*, 6(3), 100764. Online: <https://doi.org/10.1016/j.xinn.2024.100764>
- GAO, Dongxin et al. (2024): Establishing a New Benchmark in Quantum Computational Advantage with 105-qubit Zuchongzhi 3.0 Processor. *ArXiv*, 2024. december 16. Online: <https://doi.org/10.48550/arXiv.2412.11924>

- GHEORGHE, Georgeta (2018): The Story of UiPath – How Did It Become Romania's First Unicorn? *Business Review*. 2018. április 9. Online: <https://business-review.eu/news/the-story-of-uipath-how-it-became-romanias-first-unicorn-164248>
- GOBBLE, MaryAnne M. (2015): The Case Against Disruptive Innovation. *Research-Technology Management*, 58(1), 59–63. Online: <https://doi.org/10.5437/08956308X5801005>
- GUO, Daya et al. (2025): Deepseek-r1: Incentivizing Reasoning Capability in LLMs via Reinforcement Learning. *ArXiv*, 2025. január 22. Online: <https://doi.org/10.48550/arXiv.2501.12948>
- HIGH, Matt (2025): Foxconn Unveils First Large Language Model 'FoxBrain'. *AI Magazine*, 2025. március 10. Online: <https://aimagazine.com/articles/foxconn-creates-the-first-traditional-chinese-llm-foxbraint>
- IEA (2024): *Global Critical Minerals Outlook 2024*. Online: <https://www.iea.org/reports/global-critical-minerals-outlook-2024>
- JAGANMOHAN, Madhumitha (2025): Rare Earth Mining Global Distribution 2024, by Country. *Statista*, 2025. február 25. Online: <https://www.statista.com/statistics/270277/mining-of-rare-earths-by-country/>
- JANJEVA, Ardi et al. (2024): *Semiconductor Supply Chains, AI and Economic Statecraft. A Framework for UK-Korea Strategic Cooperation*. Centre for Emerging Technology and Security. Online: <https://cetas.turing.ac.uk/publications/semiconductor-supply-chains-ai-and-economic-statecraft>
- KIM, Yongshin – RHO, Sungho (2024): The US–China Chip War, Economy–Security Nexus, and Asia. *Journal of Chinese Political Science*, 29, 433–460. Online: <http://dx.doi.org/10.1007/s11366-024-09881-7>
- Kizuna (2025): Diamond Semiconductors: Turning Crisis into Innovation with Ultimate Deep Tech. *The Government of Japan*, 2025. február 7. Online: https://www.japan.go.jp/kizuna/2025/02/diamond_semiconductors.html
- KOVÁCS Zoltán – GURÁLY Roland (2023): A mesterséges intelligencia és egyéb felforgató technológiák hatásait vizsgáló munkacsoport eredményei. In KOVÁCS Zoltán (szerk.): *A mesterséges intelligencia és egyéb felforgató technológiák hatásainak átfogó vizsgálata*. Budapest: Katonai Nemzetbiztonsági Szolgálat, 7–26.
- Largest Semiconductor Companies by Market Cap* [é. n.]. Online: <https://companiesmarketcap.com/semiconductors/largest-semiconductor-companies-by-market-cap/>
- LI, Shuo – GAO, Peng – ZENG, Guosong (2025): Investigation of the Machinability of (001) Single-Crystal β -Ga₂O₃ via Tribological Methodology. *Nanotechnology and Precision Engineering*, 8(3), 033010. Online: <https://doi.org/10.1063/5.0253608>
- LIU, Chenchen (2024): Organic Electronics: Material Innovations, Synthesis Strategies, and Applications as Flexible Electronics. *Highlights in Science, Engineering and Technology*, 106, 332–337. Online: <https://doi.org/10.54097/zn612t89>
- LOJDAHL, Franz (2010): *Future U.S. Space Launch Capabilities*. Hauppauge: Nova Science Publishers.
- LUTTWAK, Edward N. (1990): From Geopolitics to Geo-Economics: Logic of Conflict, Grammar of Commerce. *The National Interest*, (20), 17–23.
- MacroTrends [é. n. a]: *INTEL Research and Development Expenses 2012–2025 | INTC*. Online: <https://www.macrotrends.net/stocks/charts/INTC/intel/research-development-expenses>

- Macrotrends [é. n. b]: *Taiwan Semiconductor Manufacturing Research and Development Expenses 2012–2025* | TSM. Online: <https://www.macrotrends.net/stocks/charts/TSM/taiwan-semiconductor-manufacturing/research-development-expenses>
- MALMLÖF, Tomas (2024): *A New Strategy for Russian Science. Game Changer or More of the Same?* Online: <https://www.foi.se/rest-api/report/FOI%20Memo%208674>
- MASLEJ, Nestor (2024): *The AI Index 2024 Annual Report*. Stanford: AI Index Steering Committee, Institute for Human-Centered AI, Stanford University. Online: <https://hai.stanford.edu/ai-index/2024-ai-index-report>
- MCCAUSLAND, Tammy (2023a): Reverse Innovation, Frugal Innovation, and Jugaad. *Research-Technology Management*, 66(1), 68–70. Online: <https://doi.org/10.1080/08956308.2023.2142444>
- MCCAUSLAND, Tammy (2023b): Is Christensen's Theory of 'Disruptive Innovation' Still Relevant? *Research-Technology Management*, 66(4), 51–55. Online: <https://doi.org/10.1080/08956308.2023.2211898>
- Mining Technology (2025): China Currently Controls Over 69% of Global Rare Earth Production. *Mining Technology*, 2025. január 18. Online: <https://www.mining-technology.com/analyst-comment/china-global-rare-earth-production>
- NACZYK, Marek – BAN, Cornel (2022): The Sputnik V Moment: Biotech, Biowarfare and COVID-19 Vaccine Development in Russia and in Former Soviet Satellite States. *East European Politics*, 38(4), 571–593. Online: <https://doi.org/10.1080/21599165.2022.2121117>
- National Science and Technology Council (2024): *Critical and Emerging Technologies List Update*. Online: <https://www.govinfo.gov/content/pkg/CMR-PREX23-00185928/pdf/CMR-PREX23-00185928.pdf>
- NATO (2024): *Washington Summit Declaration*. 2024. július 10. Online: https://www.nato.int/cps/en/natohq/official_texts_227678.htm
- NOTTEBOOM, Theo – PALLIS, Athanasios – RODRIGUE, Jean-Paul (2022): *Port Economics, Management and Policy*. London: Routledge. Online: <https://doi.org/10.4324/9780429318184>
- OLLÁRI Viktor (2024): A technológiai szingularitás egyes biztonsági kihívásai. *Nemzetbiztonsági Szemle*, 12(3), 64–81. Online: <https://doi.org/10.32561/nsz.2024.3.5>
- OMAAR, Hodan (2024): How Innovative Is China in AI? *Information Technology & Innovation Foundation*, 2024. augusztus 26. Online: <https://itif.org/publications/2024/08/26/how-innovative-is-china-in-ai/>
- OpenAI (2025): Announcing The Stargate Project. *OpenAI*, 2025. január 21. Online: <https://openai.com/index/announcing-the-stargate-project/>
- OSECH, Sean et al. (2025): Agentic AI and the Cyber Arms Race. *ArXiv*, 2025. február 10. Online: <https://doi.org/10.48550/arXiv.2503.04760>
- REMEK Éva (2014): Mekkora a „biztonságunk árnyéka” globalizált világunkban? In BORDÁS Sándor – GLAVANOVICS Éva (szerk.): *Nemzeti és etnikai konfliktusok a Kárpát-medencében*. Székesfehérvár: Kodolányi János Főiskola, 67–78.
- REDING, Dale F. et al. (2023): *Science & Technology Trends 2023–2043*. Brussels: NATO Science & Technology Organization. Online: https://www.rmc-cmr.ca/sites/default/files/documents/nato_science_and_technology_trends_2023-2043_-_volume_2_analysis.pdf

- RODRÍGUEZ, Elio Quiroga (2025): Critical Analysis of a Militaristic Approach in the Context of AGI: A Postcolonial Perspective. *AI & Society*, 40, 2335–2337. Online: <https://doi.org/10.1007/s00146-024-02069-w>
- ROTOLO, Daniele – HICKS, Diana – MARTIN, Ben R. (2015): What is an Emerging Technology? *Research Policy*, 44(10), 1827–1843. Online: <https://doi.org/10.1016/j.respol.2015.06.006>
- SEEWALD, Alexander K. (2022): A Criticism of the Technological Singularity. In DINGLI, Alexiei et al. (szerk.): *Disruptive Technologies in Media, Arts and Design*. Cham: Springer, 91–119. Online: https://doi.org/10.1007/978-3-030-93780-5_8
- SIPOSNÉ KECSKEMÉTHY Klára (2021): A NATO 2030 jelentés – stratégiai prioritások új megközelítésben. *Honvédségi Szemle*, 149(4), 3–16. Online: <https://doi.org/10.35926/HSZ.2021.4.1>
- STOREY, Margaret-Anne et al. (2024) A Disruptive Research Playbook for Studying Disruptive Innovations. *ACM Transactions on Software Engineering and Methodology*, 33(8), 1–29. Online: <https://doi.org/10.1145/3678172>
- SZTÁLIN, Jozsif Visszarionovics (1948): *A dialektikus és történelmi materializmusról*. Budapest: Szikra Kiadó.
- TÓTH András (2023a): Az Internet of Things rendszerek biztonsági kihívásai. In TÓTH András (szerk.): *Új típusú kihívások az infokommunikációban*. Budapest: Ludovika Egyetemi Kiadó, 99–136.
- TÓTH András (2023b): Az 5G-technológia jellemzői és a kialakításában rejlő kihívások. In TÓTH András (szerk.): *Új típusú kihívások az infokommunikációban*. Budapest: Ludovika Egyetemi Kiadó, 51–98.
- TROXELL, John F. (2018): Geoeconomics. *Military Review*, (január–február), 6–22. Online: <https://www.armyupress.army.mil/Journals/Military-Review/English-Edition-Archives/January-February-2018/Geoeconomics/>
- YANG, Chuanchun et al. (2024): Study on the Countermeasures Against HIMARS from the Air Defense Operations of Russia-Ukraine Conflict. In LONG, Shengzhao – DHILLON, Balbir S. – YE, Long (szerk.): *Man-Machine-Environment System Engineering. Proceedings of the 24th Conference on MMESE*. Singapore: Springer, 821–825. Online: https://doi.org/10.1007/978-981-97-7139-4_111
- YU, Qingyuan (2024): Comparative Analysis of Sic and Gan: Third-Generation Semiconductor Materials. *Highlights in Science, Engineering and Technology*, 81, 484–490. Online: <https://doi.org/10.54097/2q3qy85>
- VINGE, Vernor (1993): The Coming Technological Singularity: How to Survive in the Post-Human Era. In *Vision 21: Interdisciplinary Science and Engineering in the Era of Cyberspace*. NASA, 11–22. Online: <https://ntrs.nasa.gov/citations/19940022856>
- WIPO [é. n.]: *Global Innovation Index 2024*. Online: <https://www.wipo.int/web-publications/global-innovation-index-2024/en/index.html>
- World Bank (2025): GDP (current USD). Online: <https://data.worldbank.org/indicator/NY.GDP.MKTP.CD>
- World Population Review [é. n.]: *Country Rankings*. Online: <https://worldpopulationreview.com/>
- ZHANG, Hongtao – GAO, Yongfeng (2023): Polymeric Materials for Rare Earth Elements Recovery. *Gels*, 9(10), 775. Online: <https://doi.org/10.3390/gels9100775>

- ZHOU, Shuxiang et al. (2025): Impacts of Point Defects on Shallow Doping in Cubic Boron Arsenide: A First Principles Study. *Computational Materials Science*, 247, 113483. Online: <https://doi.org/10.1016/j.commatsci.2024.113483>
- ZIMMERMANN, Alessandra (2022): R&D Funding Breakdown Chips and Science Act. AAAS, 2022. augusztus 26. Online: <https://www.aaas.org/sites/default/files/2023-01/CHIPS%20AAE.pdf>
- ŽUPAC, Srđan (2024): The Red Sea Crisis: Geopolitical Background and Impact on the Global Economy. *Zbornik radova – VI Kongres geografa Srbije sa međunarodnim učešćem – zbornik radova*, 412–421. Online: <https://doi.org/10.5937/KonGef24105Z>

Jogi források

- Executive Order No 145 of the Presidents of the Russian Federation on the Scientific and Technological Development Strategy of the Russian Federation. Online: https://gsom.spbu.ru/images/cms/data/29_06_2012_international_week_for_participants_of_chinese_university_of_hong_kong_mba_programs/sd/en_ukaz_o_strategii_nauchn-tehn_razvitiya_rf.pdf
- A Bizottság (EU) 2023/2113 ajánlása az EU gazdasági biztonsága szempontjából kritikus és a tagállamokkal közös további kockázátértékelés tárgyát képező technológiai területekről (2023. október 3). Online: https://eur-lex.europa.eu/legal-content/HU/TXT/HTML/?uri=OJ:L_202302113#tit_1
- Az Európai Parlament és a Tanács (EU) 2024/795 rendelete (2024. február 29.) a Stratégiai Technológiák Európai Platformjának (STEP) létrehozásáról és a 2003/87/EK irányelv, valamint az (EU) 2021/1058, az (EU) 2021/1056, az (EU) 2021/1057, az 1303/2013/EU, a 223/2014/EU, az (EU) 2021/1060, az (EU) 2021/523, az (EU) 2021/695, az (EU) 2021/697 és az (EU) 2021/241 rendelet módosításáról. Online: <https://net.jogtar.hu/jogszabaly?docid=a2400795.eup>
- Az Európai Parlament és a Tanács (EU) 2024/1689 rendelete (2024. június 13.) a mesterséges intelligenciára vonatkozó harmonizált szabályok megállapításáról, valamint a 300/2008/EK, a 167/2013/EU, a 168/2013/EU, az (EU) 2018/858, az (EU) 2018/1139 és az (EU) 2019/2144 rendelet, továbbá a 2014/90/EU, az (EU) 2016/797 és az (EU) 2020/1828 irányelv módosításáról (a mesterséges intelligenciáról szóló rendelet) (EGT-vonatkozású szöveg). Online: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/HU/TXT/?uri=CELEX:32024R1689>