

Rozs Bálint¹ 

A háború rejtett ára: környezeti károk az orosz–ukrán háború során

The Hidden Cost of War: Environmental Damage During the Russia–Ukraine War

Absztrakt

A fegyveres konfliktusok környezeti hatásai gyakran alulértékeltek, noha hosszú távon súlyosan befolyásolják az ökoszisztémákat és az emberi egészséget. Az orosz–ukrán háború során több mint 25 000 km² mezőgazdasági terület vált használhatatlanná robbanóanyagok és vegyi szennyeződések miatt, veszélyeztetve az élelmiszer-biztonságot és az ivóvízkészleteket. Az üvegházhatású gázok kibocsátása elérte a 200 millió tonnát, meghaladva számos iparosodott ország éves emisszióját. Az infrastruktúra pusztulása és a természeti erőforrások rombolása súlyosan fenyegeti Ukrajna ökológiai egyensúlyát és a globális klímavédelmi célokat. A konfliktus rávilágít a modern hadviselés hosszú távú, globális környezeti kockázataira.

Kulcsszavak: Oroszország, Ukrajna, környezeti problémák, háborús szennyezés

Abstract

The environmental impacts of armed conflicts are often underestimated, despite their long-term and severe effects on ecosystems and human health. During the Russia–Ukraine war, more than 25,000 km² of agricultural land became unusable due to explosive remnants and chemical contamination, endangering food security and water resources. Greenhouse gas emissions have reached 200 million tons, surpassing the annual emissions of several industrialised countries. The destruction of infrastructure and the depletion of natural resources pose a significant threat to Ukraine's ecological balance and global climate protection goals. This conflict highlights the long-term, global environmental risks associated with modern warfare.

Keywords: Russia, Ukraine, environmental problems, warfare pollution

¹ Doktori hallgató, Nemzeti Közszolgálati Egyetem Katonai Műszaki Doktori Iskola, e-mail: rozs.balint@gmail.com

Bevezetés

Az elmúlt három év során aligha telt el olyan nap, amikor ne szembesültünk volna a 2022. február 24-én kirobbant orosz–ukrán háború pusztító következményeivel. A konfliktus közvetlen emberi és anyagi veszteségei felbecsülhetetlenek, azonban mindemellett indokolt fokozott figyelmet fordítani a háború kevésbé nyilvánvaló, a gazdasági és katonai dimenziókon túlmutató környezeti hatásaira is. Bár a harcok és a romba dőlt települések megrázó képei sokak számára azt sugallhatják, hogy a környezeti károk számbavétele és elemzése jelen helyzetben másodlagos jelentőségű, e megközelítés súlyos tévedés lenne.

A fegyveres konfliktusok során kialakuló környezeti degradáció vizsgálata kritikus, mivel a háborús cselekmények esetleges hatásai a befejezését/lezárását követően is velünk maradhatnak.² Noha a háborút követően megindulnak az újjáépítési folyamatok, amelyek célja a konfliktus által érintett települési és infrastrukturális rendszerek helyreállítása, a természeti környezet rehabilitációja számos esetben csak erős korlátok között valósulhat meg.³ Különösen a szennyezett mezőgazdasági területek, valamint a vízkészletek esetében merülhetnek fel olyan technikai és gazdasági akadályok, amelyek megnehezíthetik, sőt akár teljesen ellehetetleníthetik a teljes körű helyreállítást.⁴ Ez elsősorban a rurális régiók esetében okozhat súlyos társadalmi és gazdasági hatásokat, felgyorsítva az érintett térségek elnéptelenedését. Ukrajna donyecki és luhanszki síkvidéki területei is jellemzően ebbe a kategóriába esnek. Ezért is adhatnak komoly aggodalomra okot azon szakértői becslések, amelyek szerint mintegy 139 300 km²-nyi terület van aknákkal és fel nem robbant lőszerrel szennyezve, amelyek nemcsak közvetlen életveszélyt jelentenek a civilekre nézve, hanem súlyosan akadályozzák a mezőgazdasági termelést és az ország gazdasági helyreállítását.⁵

A szennyezés ugyanakkor nem csak és kizárólag a szárazföldi területeket érintheti, ahogy erre a Volgoneft-212 és a Volgoneft-239 tartályhajók⁶ tragédiája is rámutat. 2024 decemberében a két előregedett orosz tartályhajó viharba került a Kercsi-szoros térségében, miközben fűtőolajat szállítottak az orosz katonai alakulatok számára a Krím félszigeten. A kedvezőtlen időjárási körülmények miatt a Volgoneft-212 kettétört, majd elsüllyedt, a Volgoneft-239 pedig súlyosan megrongálódott, ezzel pedig több mint 4000 tonna fűtőolaj került a tengerbe.⁷ Az olajszennyezés már most is jelentős környezeti károkat okozott, de hosszú távon veszélyeztetheti a Fekete-tenger ökoszisztémáját. Az olajszennyezés negatív hatásai közé tartozik a halászati tevékenységek ellehetetlenülése, a biodiverzitás csökkenése, valamint a helyi turizmus ellehetetlenülése, amely a Krím félsziget gazdaságának motorja.⁸ Könnyen belátható, hogy a konvencionális fegyverekkel történő hadviselés, különösen a tömeghadseregek

² PADÁNYI–FÖLDI 2023: 39.

³ MERRITT 2024.

⁴ SCHILLINGER et al. 2020: 5.

⁵ DUNAIS et al. 2024: 3.

⁶ A Volgoneft-212 és Volgoneft-239 Project 1577 típusú tartályhajók, amelyeket folyami és rövid tengeri utakra terveztek.

⁷ Russian Product Tanker Breaks Up Near Kerch Strait 2024.

⁸ ILYUSHINA–ABBAKUMOVA 2025.

hosszú ideig tartó összecsapásai, vegyi, biológiai vagy nukleáris fegyverek nélkül is súlyos környezetpusztítást eredményezhetnek.

A fegyveres konfliktusok által kiváltott környezeti hatások elemzése nem csupán lokális és regionális szinten indokolt, hanem a globális klímavédelmi törekvések összefüggésében is releváns, különösen a konfliktus további eszkalációjának kockázata mellett. Egyre több szakértő hívja fel a figyelmet arra, hogy az orosz–ukrán háború jelentős éghajlati hatásokkal is jár, amelyek hosszú távú következményei további tudományos vizsgálatot igényelnek.⁹

Klerk és munkatársai előzetes becslései szerint a háború első 24 hónapja (2022. február 24. – 2024. február 23.) során a katonai műveletek és a kapcsolódó infrastruktúra megsemmisülése számottevően növelte az üvegházhatásúgáz-kibocsátást, ami tovább súlyosbította a globális klímaváltozást.¹⁰ Különösen aggasztó, hogy 2024 a valaha mért legmelegebb évként vonult be a történelemlényekbe, amely során a globális átlaghőmérséklet először haladta meg az iparosodás előtti szinthez képest a 1,5 °C-os küszöbértéket.¹¹ Ez a tendencia fokozott kockázatot jelent az éghajlati katasztrófák – például extrém hőhullámok, árvizek és aszályok – előfordulásának szempontjából, tovább nehezítve a klímaváltozás mérséklésére irányuló globális erőfeszítéseket.

Földsáncoktól a modern hadviselésig

A háború és a fegyveres konfliktusok évszázadok óta formálják bolygónk természeti környezetét, gyakran olyan rejtett módon, hogy azt ma már nehéz észrevenni. A történelem során a különböző védelmi és támadó műveletek közvetlenül alakították a tájat. Elég csak a várak és erődök építésére gondolni, amelyeket gyakran kiterjedt védművek és sáncok vettek körül, átalakítva a természeti környezetét. Az ókori és középkori védelmi rendszerek sok esetben még ma is láthatók és felismerhetők, mint például a kínai nagy fal, a római limes vagy a Csörsz-árok. Ezek az emberi beavatkozások bár hosszú távon is meghatározták az érintett területek ökológiai és geomorfológiai viszonyait, azonban az idő múlásával beépültek a tájba. A 20. század elején a hadviselésben alapvető paradigmaváltás kezdődött, amely szorosan összefüggött az iparosodás eredményeinek egyre szélesebb körű katonai alkalmazásával. Az új technológiák és katonai eszközök bevezetése nemcsak a harcmodor átalakulását eredményezte, hanem új hadászati doktrínák kialakulásához is vezetett. Mindez a hadszíntéri katonai infrastruktúra radikális fejlődését idézte elő. A korábbi szórványos földmunkákat és elszigetelt erődítményeket egyre inkább az összefüggő, nagyléptékű katonai komplexumok és infrastruktúrák váltották fel. Ezek gyors és nagyszabású kiépítése jelentős környezeti változásokat idézett elő, amelyek révén új alapokra helyeződtek a hadviselés térbeli és ökológiai dimenziói.¹²

A környezet szempontjából a 20. század elején megjelenő új támadófegyverek és robbanóanyagok jelentették a legdrasztikusabb változást, radikálisan és végérvényesen

⁹ LAKHANI 2024.

¹⁰ KLERK et al. 2024: 21–64.

¹¹ CARRINGTON 2025.

¹² NAGY 2023: 104–107.

átalakítva mind a hadviselés, mind a táj viszonyait. Az első világháborúban a tüzérségi csapások és a tömeges bombázások példátlan mértékben pusztították a természeti környezetet, hatalmas bombatölcseket hagyva a csatatereken.¹³ Verdun esetében például a mikrotopográfiai vizsgálatok rámutattak, hogy a harcok által sújtott földterületeken az átlagos felszíni egyenetlenség mintegy 3,1-szer nagyobb, mint a nem érintett kontrollterületeken. Az új típusú robbanószerek, például a TNT alkalmazása pedig súlyos talaj- és légszennyezést eredményezett. A talaj szervesanyag-tartalma bizonyos helyeken akár 42%-kal is alacsonyabb volt a bombázások által súlyosan károsított régiókban, ami kedvezőtlenül befolyásolja mind a vegetáció vissztelepülését, mind az esetleges mezőgazdasági hasznosíthatóságot. Ezenkívül a területen detektált nehézfém-koncentráció – például az ólom (Pb), a réz (Cu) és a cink (Zn) – egyes vizsgálati helyszíneken akár 3–7-szeresen is meghaladta az EU által meghatározott talajszennyezettségi határértéket. Mindezen értékek a csata után közel 110 évvel is irányadók, tehát a szennyezés mértéke még ennyi idő után is jelentős mértékű. Bizonyos helyszíneken, mint például a Kieli-öböl egykori hadianyag-lerakóiban, a higany (Hg) jelenléte is súlyos problémákat okozhat, bár megemlítendő, hogy napjainkban már nem használunk higany-fulminát-tartalmú gyutacsokat.¹⁴ A nehézfémek ilyen magas koncentrációjú jelenléte különösen aggasztó lehet, ugyanis azok a táplálékláncba bekerülve akkumulálódhatnak az emberi szervezetben. A konvencionális fegyvereken túl érdemes még említést tenni azokról a nem hagyományos, kifejezetten a környezetet károsító hatóanyagokról is, mint például a vietnámi háború során használt herbicidek.¹⁵ 1961 és 1971 között az Egyesült Államok és a Vietnámi Köztársaság csapatai több mint 20,2 millió gallon katonai gyomirtót permeteztek szét az akkori Dél-Vietnám területén azzal a céllal, hogy letarolják a helyi mangroveerdőket, megfosztva ezzel az ellenséges csapatokat a fedezéktől, és láthatóvá téve a célpontokat a bombázók számára. A művelet a „narancs” fedőnevet kapta a kemikáliákat tároló hordók narancssárga színéről. Becslések szerint mintegy 3181 lakott települést érintett a művelet, amelynek következtében 2–5 millió ember került közvetlen kapcsolatba az egészségre fokozottan veszélyes vegyi anyagokkal.¹⁶

Nehézfémek és klímakárok

Ahogy azt már fentebb részletesen kifejtettem, számos szennyező anyag jelenhet meg a természetben a harci cselekmények következtében. Ezek közül a leggyakrabban előforduló egészségre ártalmas anyagok az ólom, a réz, a cink, illetve a higany. Bár ezen anyagok hosszú távú egészségkárosító hatásai különbözhetnek, a táplálékláncba történő bekerülésük nagyon is hasonló természetű.

Az ólom idővel felhalmozódik a talajban, ahonnan a csapadék vagy az öntözés hatására bejuthat a felszíni és felszín alatti vizekbe. A növények a gyökérzetükön keresztül felvehetik, azaz akkumulálhatják azt a talajból, míg leveleikre a légköri

¹³ HUPY 2008: 412–417.

¹⁴ GOSNELL et al. 2023: 2–5.

¹⁵ 2,4-diklórfenoxi-ecetsav (2,4-D); 2,4,5-triklórfenoxi-ecetsav (2,4,5-T); dimetil-arzinsav.

¹⁶ STELLMAN–STELLMAN 2018: 726.

lerakódás útján is kerülhet szennyeződés. Az állatok a szennyezett növényeket és vizet fogyasztva szervezetükben ugyancsak akkumulálják az ólmot, amely így felhalmozódik a húsban, tejben vagy tojásban. Az ember az ólomszennyezett élelmiszerek és ivóvíz fogyasztásával közvetlen egészségügyi kockázatnak van kitéve. Élettani hatásait tekintve súlyosan károsíthatja az idegrendszert, különösen gyermekek esetében, csökkentve a kognitív funkciókat, fejlődési zavarokat okozva. A vérkeringésbe kerülve gátolja a hemoglobin szintézisét, ami vérszegénységet és krónikus fáradékonyságot eredményezhet, míg a vesékben történő lerakódása hosszú távon vesekárosodáshoz és akár veseelégtelenséghez is vezethet. Az ólom a csontokban is jól raktározódik, ahonnan a terhesség alatt felszabadulhat, ezzel vetélést vagy fejlődési rendellenességeket okozva a magzatnál. Ezen túlmenően a kardiovaszkuláris rendszerre is káros hatással van, hozzájárulva a magas vérnyomás és különféle szív- és érrendszeri betegségek kialakulásához.¹⁷

A réz esetében is hasonló a táplálékláncba kerülés folyamata, kis mennyiségben esszenciális nyomelemről beszélünk, amely részt vesz számos, a szervezet szempontjából kulcsfontosságú enzimatis és biokémiai folyamatban, mint például a sejtlegzés, vasanyagcsere, azonban túlzott mennyiségben toxikussá válhat. A szükségesnél nagyobb mennyiségben oxidatív stresszt indukálhat, károsítva a sejteket és magát a DNS-t. Magas koncentrációja a májban raktározódik, amely hosszú távon májkárosodáshoz, neurológiai rendellenességekhez és emésztőrendszeri problémákhoz vezethet. Tipikus tünetei lehetnek a hasi görcsök, hányinger és *diarrhea*. Hosszú távon növeli a szív- és érrendszeri betegségek, valamint a neurodegeneratív elváltozások kockázatát.¹⁸ A rézhez kapcsolódóan érdemes megemlíteni a cink toxikózis tüneteit is, amely túladagolása gátolja az esszenciális, azaz a szervezet számára szükséges réz felszívódását, így további hiánybetegségek kialakulásában is szerepet játszhat.

A higany élettani hatásait tekintve súlyosan mérgező, különösen az úgynevezett metilhigany (MeHg), amely felhalmozódhat az élelmiszer-alapanyagokban. Jelentős neurotoxikus hatással bír, különösen magzatok és gyermekek esetében lehet veszélyes, ahol már kis dózisban is fejlődési és mozgáskoordinációs zavarokat okoz. A szervetlen higanyvegyületek hosszú távon vesekárosodást, májfunkciós zavarokat és immunrendszeri problémákat idézhetnek elő, míg a higanygőz belélegzése tüdőkárosodáshoz és légzőszervi betegségekhez vezethet. Érdemes megemlíteni, hogy csak a hosszú expozíció, illetve belégzés esetében jelent elsődleges és kritikus problémát. A higany szintén összefüggésbe hozható magas vérnyomással, szív- és érrendszeri betegségekkel, valamint hormonális zavarokkal, különösen a pajzsmirigy működését befolyásolva. Krónikus expozíció esetén látás- és halláskárosodás, emésztőrendszeri panaszok, termékenységi problémák és akár DNS-károsodás is kialakulhat, amely növelheti a daganatos betegségek kockázatát. A magzatkárosító hatásáról egy betegséget is elneveztek, az úgynevezett Minamata-kórt. A higany hosszú távú környezeti jelenléte és bioakkumulációja miatt jelentős közegészségügyi kockázatot jelent, különösen a tengeri táplálékláncon keresztül.¹⁹

¹⁷ COLLIN et al. 2022: 2–6.

¹⁸ SHABIR et al. 2020: 27–29.

¹⁹ HARADA 1995: 3–8.

A fegyveres konfliktusoknak az említett környezeti ártalmakon túlmenően egy további, legalább ilyen jelentős környezeti hatása is van, amely bár jól ismert, jellemzően nem kapcsolódik közvetlenül a háborúkhöz: ez pedig az éghajlatváltozás. Az iparosodás, a népességnövekedés és a gazdasági fejlődés következtében jelentős mennyiségű üvegházhatású gáz (elsősorban szén-dioxid [CO_2], nitrogén-dioxid [NO_2] és metán [CH_4]) került a légkörbe, amely a globális átlaghőmérséklet folyamatos emelkedéséhez vezetett. E gázok légköri koncentrációjának további növekedése az úgynevezett üvegházhatás kialakulását eredményezi, amelynek működési mechanizmusa a hőszigetelés egy részének visszatartásán alapul. Ennek következményeként a földfelszín és a troposféra hőmérséklete is emelkedik. Bár ezen folyamat nagyban hozzájárul az élet fenntartásához a bolygónkon, az üvegházhatású gázok fokozott kibocsátása jelentős negatív hatásokkal járhat a globális biodiverzitásra nézve.²⁰ A fegyveres konfliktusok pedig jelentősen megemelik a kibocsátás mértékét, ezáltal fokozzák a klímaváltozás ütemét. A háborúkhöz kapcsolható kibocsátásokat közvetlen és közvetett dimenziókban érdemes értelmezni. Egyrészt a közvetlen harci cselekmények következtében is jelentős kibocsátás történik, amelynek forrásai lehetnek maguk a harcjárművek, a logisztikai egységek vagy a harccselekmények következtében keletkezett tüzek. A legjelentősebb kibocsátás ugyanakkor a közvetett források révén kerül a légkörbe. A háborús „gépezetek” működtetése tetemes többletenergiával jár, ami messze túlmutat a társadalom természetes energiafelhasználási dinamikáján. A hadiipar és a hozzá kapcsolódó nehézipar fokozott aktivitása, az esetleges költséghatékonyan beszerezhető, ám szennyező energiahordozók mind hozzájárulnak az éghajlati károk fokozásához. Jellemzően az ezzel kapcsolatos adatok igen korlátozottan hozzáférhetők, hiszen minden hadviselő fél igyekszik elrejteni azokat az információkat, amelyek alapján az ellenfél a hadiipari termelésének volumenére következtethetne. Továbbá a harcok által sújtott térségek vagy akár teljes országok légtérhasználatának változásai, korlátozása ugyancsak hatással lehet a nemzetközi légi útvonalak tervezésére, ezáltal többletüzemanyag-felhasználást és újabb kibocsátásokat generálva.

Az ukrán–orosz háború környezeti hatásai

Az orosz–ukrán háború nem csupán közvetlen humanitárius és gazdasági következményekkel jár, hanem jelentős környezeti és éghajlati károkat is okoz, amelyre több szakértő is rámutat.²¹ Különösen aggasztó fejlemény, hogy a konfliktus hozzájárul a globális klímaváltozás fokozódásához, miközben az emberi civilizáció önmagában is komoly kihívásokkal küzd az éghajlatváltozás mérséklése terén.²² A becslésekhez használt eltérő módszertan okán a továbbiakban Lennard de Klerk és munkatársainak munkáját veszem alapul a háborúra vonatkozó környezeti hatások leírása során. A háború első 24 hónapja (2022. február 24. – 2024. február 23.) során a katonai tevékenységek és a kapcsolódó infrastruktúra pusztítása jelentős többletet eredményezett az üvegházhatású gázok (ÜHG) kibocsátásában, ami tovább fokozta a globális klímaváltozás

²⁰ MONTAVALLI 2003: 26–33.

²¹ BUN et al. 2024: 2.

²² LIU et al. 2024: 10.

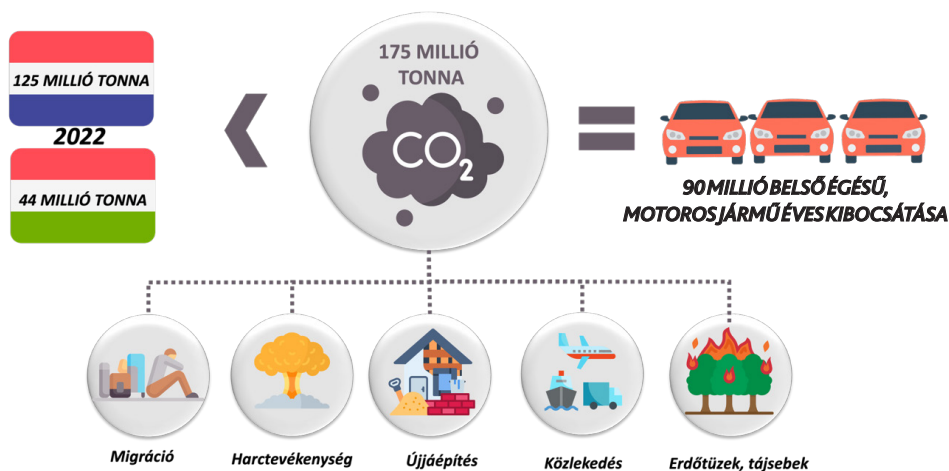
hatásait. Az említett időszakban az összesített kibocsátás mintegy 175 millió tonna szén-dioxid-egyenértékre (tCO_2e ²³) tehető, amely megközelítőleg egy fejlett iparosított ország éves kibocsátásának felel meg.²⁴ Ha európai országokra vonatkoztatnánk akár több kisebb népességű fejlett országgal is megfeleltethető ez a volumen.

Az 1. ábra szemléletesen mutatja be a többletkibocsátás nagyságrendjét és annak globális kontextusát.

Magyarország üvegházhatásúgáz-kibocsátása 2023-ban megközelítőleg 40,19 millió tCO_2e -t tett ki, míg Hollandia esetében ugyanez az érték 118,67 millió tonnára volt tehető. E két ország együttes éves kibocsátása sem érte el az orosz–ukrán háborúhoz köthető többletkibocsátás becsült mértékét.²⁵ Járművekre vonatkoztatva a 175 millió tonnás többletkibocsátás mintegy 90 millió belső égésű motorral működő személygépjármű éves kibocsátásával lenne egyenértékű.

Egy elhúzódó, eszkalálódó fegyveres konfliktus jelentős mértékben veszélyeztetheti a globális emissziócsökkentési törekvések eredményeit. Bár a kibocsátási többlet nem egyenletesen keletkezik, minden jel arra utal, hogy az emisszió növekedésének üteme gyorsulhat. A fegyveres konfliktus fokozódásával párhuzamosan a hadiipari beruházások világszerte egyre nagyobb gazdasági kapacitásokat kötnek le, amit a fegyver- és lőszergyártás bővítését célzó bejelentések is alátámasztanak mind a nyugati, mind a keleti országokban.²⁶ Emellett a konfliktus során tapasztalható rombolás mértéke is folyamatosan növekszik.

A kutatásom során alapul vett jelentés részletesen foglalkozik a kibocsátás forrásaival is, így lehetőség nyílik a többletkibocsátási volument differenciáltabban is áttekinteni, amelyet a 2. ábra szemléltet.



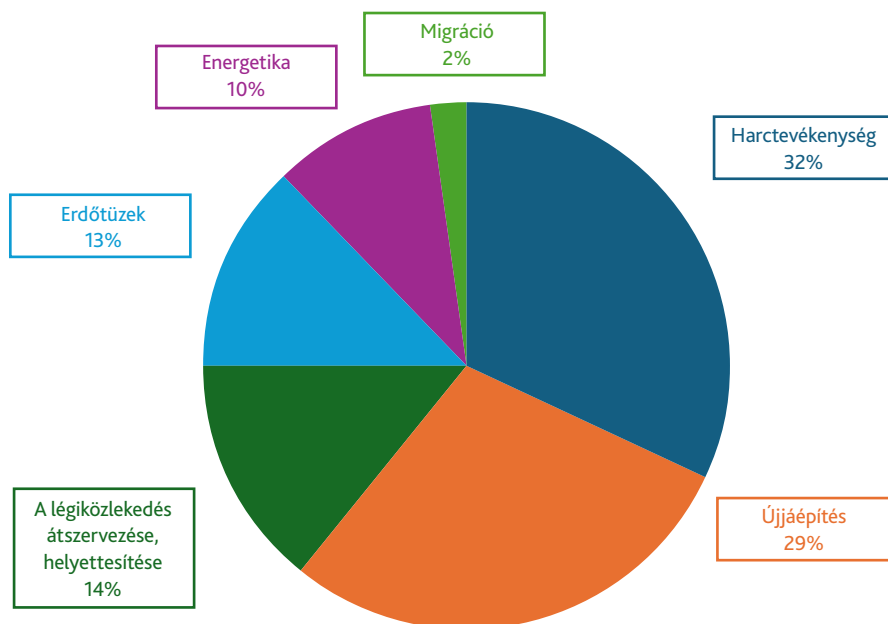
1. ábra: Az ukrán–orosz konfliktus üvegházgáz-kibocsátása az első 24 hónapban
Forrás: KLERK et al. 2024 alapján a szerző szerkesztése

²³ tCO_2e : A különböző üvegházhatású gázok eltérő globális felmelegedési potenciálja miatt hatásukat szén-dioxid-egyenértékben (CO_2e) fejezik ki, amelynek tonnában mért egysége a tCO_2e .

²⁴ KLERK et al. 2024: 21–64.

²⁵ Az adatokat a www.ourworldindata.org „Annual CO₂ emissions” országokra vonatkozó adataiból importáltuk.

²⁶ LONDON–SEO–ATAMAN 2022.



2. ábra: Az ukrán–orosz konfliktus üvegházgáz-kibocsátásának forrásai
 Forrás: KLERK et al. 2024 alapján a szerző szerkesztése

A katonai műveletek, valamint a haditechnikai eszközök gyártása, karbantartása és alkalmazása jelentős ÜHG-kibocsátással jár. A fosszilis tüzelőanyagok intenzív felhasználása, a lőszergyártás, valamint a hadiipari komplexumokat kiszolgáló nagy teljesítményű infrastruktúra együttesen 51,6 millió tCO₂e-nek megfelelő kibocsátást eredményezett.²⁷ A konfliktus következtében kialakuló erdő- és bozóttüzek, valamint az energia-infrastruktúra, például finomítók és egyéb stratégiai létesítmények, károsodása további jelentős ÜHG-kibocsátást eredményezett. Az ezen tényezőkből fakadó emisszió mintegy 40,1 millió tCO₂e-re tehető.²⁸ Az energia-infrastruktúrában keletkezett károk következtében kialakuló áram- és földgázhiány miatt a lakosság sok esetben alternatív fűtési megoldásokra, például tűzifa, szén vagy akár hulladék égetése, kényszerül, ami nemcsak további ÜHG-kibocsátással, hanem a levegőminőség jelentős romlásával is jár.

A háborús övezetekből elmenekülő lakosság további ÜHG-kibocsátást generálhat. Becslések szerint a belső és határon túli migrációval összefüggő kibocsátás elérheti a 3 millió tonna tCO₂e-t. Fontos azonban megjegyezni, hogy az elvándorolt személyek kibocsátása jellemzően a fogadó országok statisztikai adataiban jelenik meg.²⁹

²⁷ KLERK et al. 2024: 21–40.

²⁸ KLERK et al. 2024: 40–57.

²⁹ KLERK et al. 2024: 57–59.

Az emisszió pontos nagyságát az adott ország energiamixe és infrastruktúrája is jelentősen befolyásolja. A Németországba vagy Lengyelországba menekült ukrán állampolgárokhoz köthető kibocsátást ezen országok ÜHG-adataiban számolják el.

A háborús konfliktus következtében a közlekedési ágazat kibocsátása is drasztikusan megnövekedett. Számos vasútvonal és kikötői infrastruktúra súlyos károkat szenvedett el, ami azt eredményezte, hogy az egyébként ezen rendszereken keresztül szállított ömlesztett árukat közúti fuvarozással kell célba juttatni. Ez önmagában is jelentős többletkibocsátást eredményez. A légi közlekedés esetében még nagyobb mértékű emissziónövekedés figyelhető meg, amelyet a konfliktus hatásait elemző tanulmányok csak ritkán tárgyalnak részletesen. Bár Ukrajnában a polgári légi közlekedés jelenleg nem üzemel, így közvetlen kibocsátások nem mérhetők, az ország légterének lezárása jelentős közvetett hatásokkal jár. Több légitársaság az orosz légtér elkerülése miatt hosszabb útvonalakat kénytelen használni, ami megnövekedett üzemanyag-felhasználáshoz és ÜHG-kibocsátáshoz vezet. Ennek eredményeként a háború vizsgált időszakában a légi közlekedésből származó többletkibocsátás elérte a 23 millió tCO₂e-t.³⁰

Bár a háború kibocsátásnövelő hatásának pontos üteme nehezen becsülhető, ha a harci cselekmények intenzitása tovább fokozódik, az éves ÜHG-többletkibocsátás akár a 300 millió tonnát is elérheti. Ez az érték már Olaszország vagy Spanyolország éves teljes kibocsátásával korrelálna. Egy, a trendek igazolására szolgáló polinomiális³¹ trendbecslés segítségével kísérletet tettem a nagyságrendi volumenek előrejelzésére, amelyet a 3. ábra szemléltet.

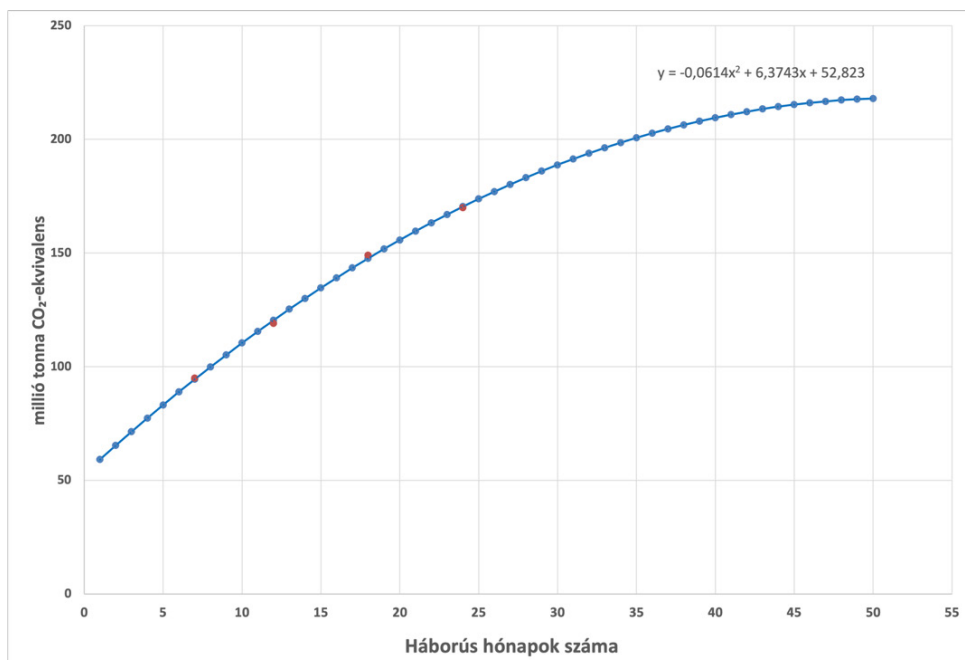
A trendbecslés során négy ismert adatpontot vettem figyelembe, amelyek a háború 7., 12., 18. és 24. hónapjára vonatkoztak. Érdemes megjegyezni, hogy a kibocsátások nem egyenletesen változnak, hiszen egy-egy nagyobb hadművelet során jelentős kiugrások lehetnek a tényleges volumenek tekintetében, azaz a növekedés se nem tisztán exponenciális, se nem tisztán lineáris. Ilyen esetekben lehet kézenfekvő a tárgyi modell alkalmazása, hiszen a polinommodell segít megtalálni egy köztes görbét.

Az adatok alapján jól látható, hogy a kibocsátás volumene folyamatosan emelkedik, bár megemlítendő, hogy a meredekség időszakosan változik. Az első 24 hónapra vonatkoztatott adatok alapján feltételezhető, hogy a háború 36. hónapjában elérhette, sőt akár meg is haladhatta a 235 millió tonnát. Amennyiben a háború még további legalább egy évig tart, úgy a teljes kibocsátási volumen megközelítheti a 300 millió tonnát. Ugyanakkor egy esetleges békekötés esetében sem várható a kibocsátás gyors és jelentős csökkenése, hiszen ekkor újfajta feladatok kerülnek majd a fókuszba.

A háború következtében az infrastruktúrában, ipari létesítményekben és lakóingatlanokban keletkezett károk helyreállítása jelentős ÜHG-kibocsátással jár. Az eddigi helyreállítási munkálatok mintegy 24 millió tCO₂e többletkibocsátást eredményeztek. Fontos azonban megjegyezni, hogy a jelenlegi újjáépítési erőfeszítések még korlátozottak, és a nagyszabású beruházások csak a fegyveres konfliktus lezárását követően kezdődnek meg. Az ezekhez kapcsolódó kibocsátás várhatóan többszörösen meghaladja majd a jelenlegi értékeket, mivel a helyreállítás hatalmas erőforrásokat és nyersanyag-felhasználást igényel. Ráadásul a háborús veszteségek miatt jelentős

³⁰ KLERK et al. 2024: 59–64.

³¹ A polinomiális modell egy olyan matematikai függvény, amely hatványokat használva írja le az adatok változását, illeszkedve az adott adatsorra.



3. ábra: Trendbecslés az üvegházgáz-kibocsátás alakulásáról

Forrás: KLERK et al. 2024 alapján a szerző szerkesztése

fegyverzetpótlásra lesz szükség, ami növeli az ipari termelésből származó ÜHG-kibocsátást. Mind az orosz, mind az ukrán és nyugati hadseregek számára új haditechnikai eszközök gyártása és hadrendbe állítása válik szükségessé.³²

Az Oryx³³ szakportál elemzése szerint Oroszország eddig elveszítette a háború előtti aktív harckocsiállományának több mint 90%-át, ami több mint 2000 darab harckocsi megsemmisülését jelenti. Bár az orosz hadiipar folyamatosan pótolja a veszteségeket, a harckocsigyártás jelentős acélfelhasználást igényel. Feltételezhető, hogy a pótlás nagy részét a jelenlegi sorozatgyártásban lévő T-90³⁴ típuscaláddal végzik majd. Ennek során mintegy 60–80 ezer tonna acél felhasználására lehet szükség, amely önmagában 130 ezer tonna tCO₂e kibocsátást eredményezhet. Az értékek kiszámításánál a harckocsi össztömegét vettem figyelembe az Army Recognition³⁵ adatai alapján, ami 46,5 tonna. Feltételezve, hogy az össztömeg legnagyobb része acélból készül, kiszámolható az iparági ÜHG-kibocsátási adatok alapján, hogy körülbelül mekkora emisszióval jár egy harckocsi gyártásához szükséges acél előállítás. A Sustainable Ships³⁶ acélgyártásra vonatkozó adatai, amelyek az IEA iparági becslésein alapulnak, mintegy 1,4 tonna ÜHG-kibocsátást feltételeznek egy tonna acél előállítása kapcsán,

³² KLERK et al. 2024: 64–67.

³³ Az Oryx független, nyílt forrásokon alapuló hírszerzéssel (*open source intelligence*, OSINT) foglalkozó szakportál, amely főként katonai konfliktusok vizuális dokumentációjára specializálódott.

³⁴ T-90: orosz harmadik generációs harckocsi.

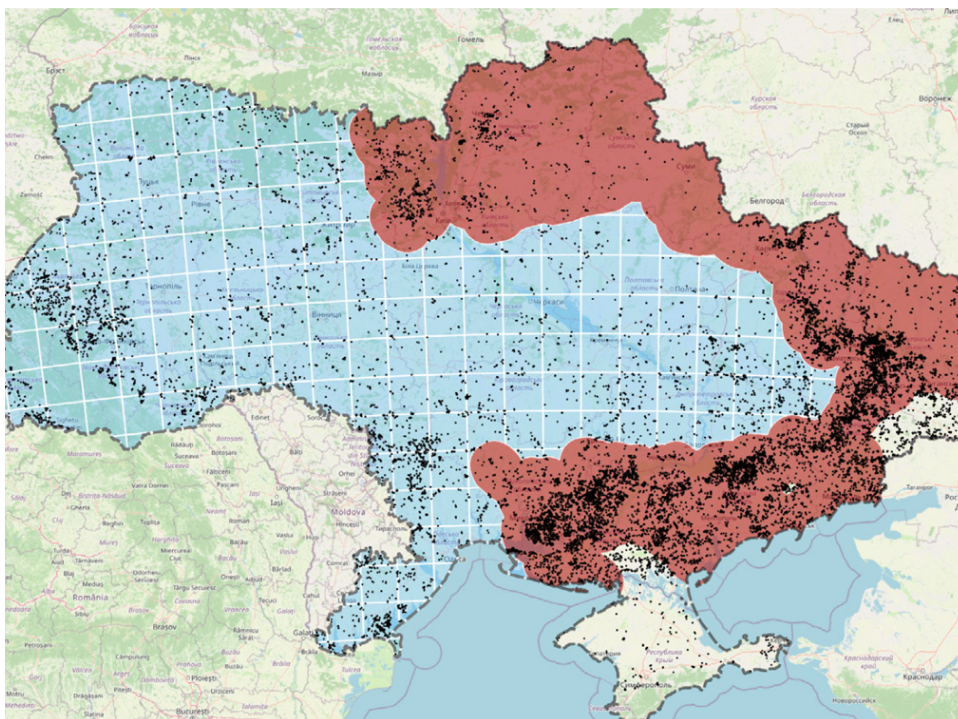
³⁵ Army Recognition Group 2025.

³⁶ Sustainable Ships 2024.

így megállapítható, hogy csak az acél-előállítás mintegy 65 tonna kibocsátást fog eredményezni. Ez az érték még nem tartalmazza más katonai járművek, lőszeres és egyéb hadianyagok gyártásának kibocsátását, amelyek tovább növelhetik az összesített emissziót.

A mezőgazdasági és erdőterületek károsodása

A háború jelentősen megnövelte Ukrajnában az erdőtüzek kialakulását, különösen a frontvonal mentén. A tűzvédelmi infrastruktúra meggyengült, mivel az illetékes erdészeti hivatalok megsemmisültek a harcokban, a tűzoltók létszáma pedig csökkent, sőt a technikai felszerelések egy részét átirányították katonai célokra. A katonai jelenlét, a bombázások és az ellenőrzőpontok miatt csökkent a tervezett mezőgazdasági tarlóégetések száma, ugyanakkor a kontrollálatlan tüzek keletkezése emelkedett. A klímaváltozás és az extrém időjárás tovább fokozza a helyzet súlyosságát, miközben a tűzoltó repülőgépek alkalmazása a rakétatámadások veszélye miatt nem lehetséges. A leginkább érintett területeket egy térképen jelölték meg Klerk és munkatársai, amelyet a 4. ábra szemléltet.



4. ábra: A harcokban leginkább érintett területek megjelölése
 Forrás: KLERK et al. 2024 alapján a szerző szerkesztése

A vizualizáció létrehozásához $50 \times 50 \text{ km}^2$ -es részegységekre osztották Ukrajna területét. A 4. ábrán ezt jelzi rácshálózat. A kék színnel az ország azon területeit jelölték, amelyeket nem érintenek a közvetlen harci cselekmények, ritkán ugyanakkor más területeken is elfordulhatnak távolsági csapások, jellemzően az energetikai infrastruktúrát illetően. A vörös színnel azon területeket jelölték, ahol jelentős harci cselekmények történtek a múltban, illetve a közvetlen frontvonalak 30 km-es körzete is ehhez az aggregált pufferezónához lett sorolva. A fekete pontokkal az erdő- és vegetációs tüzeket jelölték a térképen.³⁷

A vizsgált időszak során a vörössel jelölt pufferezónában mintegy 879 ezer hektárnyi területen pusztított a tűz, ami körülbelül Borsod-Abaúj-Zemplén vármegye területének feleltethető meg, sőt annál némiképp nagyobb is. A differenciáltabb adatsorok alapján az is megállapítható, hogy a legtöbb esetben a mezőgazdasági területeken, mintegy 502 ezer hektáron csaptak fel a lángok.³⁸

A tüzesetek mellett más jellegű súlyos környezeti károk is keletkeztek az ország mezőgazdasági területein, amelyek hosszú távon is befolyásolhatják Ukrajna élelmiszer-termelését és ökológiai stabilitását. A konfliktus következtében több mint $25\,000 \text{ km}^2$ termőföld szennyeződött, vagy vált ideiglenesen használhatatlanná. A földek károsodása részben a harci cselekményekhez kapcsolódik, beleértve a bombázások, tűzéségi támadások és aknatelepítések által okozott pusztítást. Az aknák és fel nem robbant lőszerrek által okozott kontamináció különösen jelentős probléma a frontvonalak közelében, mivel ezek a területek csak hosszadalmas és költséges mentesítési folyamat után válhatnak újra művelhetővé. Az Ukrajnai Agrárpolitikai és Élelmiszerügyi Minisztérium becslése szerint ezek eltávolítása több mint 10 millió ember napnyi munkát és legalább 2 milliárd eurónyi ráfordítást igényelne. A háborús tevékenység következtében nagymértékű talajromlás és vegyi szennyezés is tapasztalható, amely a mezőgazdasági termelés hosszú távú fenntarthatóságát is veszélyezteti. A robbanóanyagok, nehézfémek, üzemanyagok és egyéb toxikus anyagok felszabadulása közvetlen hatással van a termőföldek minőségére, csökkentve azok termőképességét, és hosszú távon károsítva a helyi ökoszisztémát. A talajszerkezet destabilizálódása különösen azokon a területeken súlyos, amelyeket intenzív katonai mozgások értek, hiszen a nehéz harcjárművek nyomán a talaj tömörödik, vízmegtartó képessége csökken, ami fokozza az erózió kockázatát. Emellett a mezőgazdasági létesítményeket ért támadások következtében jelentős mennyiségű műtrágya, növényvédő szer és egyéb mezőgazdasági vegyi anyag került a környezetbe. Ezek ellenőrizetlen elterjedése nem csupán a talaj- és vízszennyezést fokozza, hanem hozzájárulhat az emberi egészségre veszélyes légszennyezéshez is. A talajba jutó szennyező anyagok egy része a felszíni és felszín alatti vizekbe is beszivárog, veszélyeztetve az ivóvízbázisokat és az öntözési rendszereket. A háborús cselekmények során több víztározó és folyó is közvetlen támadások célpontjává vált, tovább súlyosbítva a vízkészletek védelmével és fenntartható hasznosításával kapcsolatos problémákat. Az agrárterületeket érő pusztítás ezen túlmenően a biodiverzitás jelentős csökkenéséhez is hozzájárult, különösen azokban a régiókban, ahol védett növény- és állatfajok éltek. A természeti élőhelyek sérülése és az ökológiai egyensúly felborulása/felbomlása hosszú távú hatásokkal járhat, amelyek a mezőgazdasági termelés újraindítását is befolyásolhatják.³⁹

³⁷ KLERK et al. 2024: 42.

³⁸ KLERK et al. 2024: 48.

³⁹ NEHREY-FINGER 2025: 2–9.

Konklúzió

A 20. századtól kezdődően az iparosított hadviselés súlyos és tartós környezeti károkat okozott. A modern fegyverrendszerek és robbanóanyagok alkalmazása jelentős talajdegradációval, toxikus szennyezéssel és az ökológiai rendszerek károsodásával jár. Az első világháború csataterein mért nehézfém és a vietnámi konfliktus során bevetett herbicidek jól példázzák e hatások hosszú távú következményeit. A háborúk során felszabaduló toxikus anyagok, különösen a nehézfémek, nemcsak a környezeti elemeket (talaj, víz, levegő), hanem az emberi egészséget is súlyosan veszélyeztetik.

E környezeti terhelések a jelenkori fegyveres konfliktusokban is egyre markánsabban mutatkoznak meg. Az orosz–ukrán háború nem pusztán humanitárius és gazdasági krízist generált, hanem számottevő és várhatóan hosszú távon is fennmaradó ökológiai következményekkel jár. A nagy hatótávolságú fegyverek intenzív alkalmazása, a robbanószerek környezeti terhelése, valamint a hadiipari logisztika és gyártási háttér fosszilisenergia-igénye együttesen járulnak hozzá Ukrajna természeti erőforrásainak kimerüléséhez és ökoszisztémáinak degradációjához, amely a jövőben az ország gazdasági újraépítésének lehetőségeit is jelentősen befolyásolhatja.

A jelenlegi konfliktus következtében több mint 25 000 km² ukrán mezőgazdasági terület szenvedett súlyos károsodást, amelynek jelentős része hosszú távon is alkalmatlanná vált a művelésre. A harci cselekmények során nagy mennyiségű nehézfém és egyéb toxikus anyag került a talajba, amelyek csökkentik annak termékenységét, valamint a táplálékláncba történő bekerülésük révén komoly egészségügyi kockázatokat is jelentenek. A katonai műveletek és bombázások nem csupán a talajt és a vegetációt érintették, hanem jelentős mértékben szennyezték a vízkészleteket is. A folyók és víztározók elleni támadások, valamint az ipari létesítmények és finomítók, olajraktárak megsemmisülése tovább növelheti a vízszennyezés mértékét, ami hosszú távon befolyásolhatja az ivóvízellátást és az öntözésre alkalmas vízkészletek rendelkezésre állását. Az erdőtüzek gyakorisága is jelentősen emelkedett, amelyek elfojtása a biztonsági kockázatok és az infrastruktúra sérülése miatt jelentős nehézségekbe ütközik. Az erdő- és mezőgazdasági területek pusztulása drasztikusan csökkenti a biodiverzitást, ami tartós ökológiai károkat eredményezhet. Emellett a háború jelentős üvegházhatásúgáz-kibocsátást generált, amely felgyorsítja a globális klímaváltozást. Becslések szerint az üvegházhatású gázok kibocsátása meghaladta a 200 millió tonnát, amely számos iparosodott ország éves emisszióját is felülmúlja. A fosszilis tüzelőanyagok széles körű katonai felhasználása, a hadiipar működtetése, az ipari létesítmények rombolása, valamint az energia-infrastruktúra pusztítása egyaránt hozzájárult ehhez a hatalmas környezeti terheléshez.

A fegyveres konfliktusok környezeti hatásainak vizsgálata kulcsfontosságú a jövőbeli újjáépítési és fenntarthatósági stratégiák kialakítása szempontjából. Ukrajna rekonstrukciója nem csupán gazdasági és infrastrukturális kihívás, hanem környezeti kérdés is, amely célzott szabályozási és technológiai intézkedéseket igényel. A jelenlegi helyzet rávilágít arra, hogy a fegyveres konfliktusok ökológiai következményeit hosszú távon kell kezelni, különös figyelmet fordítva a természeti erőforrások védelmére és a fenntartható fejlődés biztosítására. A modern hadviselés által okozott környezeti károk nem csupán az érintett régiókban okoznak problémát, hanem globális fenntarthatósági kockázatokat is jelentenek, amelyek hatásai messze túlmutatnak a konfliktusok közvetlen következményein.

Felhasznált irodalom

- Army Recognition Group (2025): T-90A. 2025. január 5. Online: <https://bit.ly/43h7Kn0>
- BUN, Rostyslav et al. (2024): Tracking Unaccounted Greenhouse Gas Emissions Due to the War in Ukraine Since 2022. *Science of The Total Environment*, 914(3), 2–12. Online: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2024.169879>
- CARRINGTON, Damian (2025): Hottest Year on Record Sent Planet Past 1.5C of Heating for First Time in 2024. *The Guardian*, 2025. január 10. Online: <https://www.theguardian.com/environment/2025/jan/10/world-temperature-in-2024-exceeded-15c-for-first-time>
- COLLIN, M. Samuel et al. (2022): Bioaccumulation of Lead (Pb) and Its Effects on Human: A Review. *Journal of Hazardous Materials Advances*, 7(8), 2–8. Online: <https://doi.org/10.1016/j.hazadv.2022.100094>
- DUNAIS, Nicolas et al. (2024): *From Economic Recovery to Global Food Security: The Urgent Need to Demine Ukraine*. Tony Blair Institute for Global Change. Online: <https://institute.global/insights/geopolitics-and-security/the-urgent-need-to-demine-ukraine>
- GOSNELL, Kathleen J. et al. (2023): World War Munitions as a Source of Mercury in the Southwest Baltic Sea. *Chemosphere*, 345(12), 2–6. Online: <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2023.140522>
- HARADA, Masazumi (1995): Minamata Disease: Methylmercury Poisoning in Japan Caused by Environmental Pollution. *Critical Reviews in Toxicology*, 25(1), 1–24. Online: <https://doi.org/10.3109/10408449509089885>
- HUPY, Joseph (2008): The Environmental Footprint of War. *Environment and History*, 14(3), 405–421. Online: <https://doi.org/10.3197/096734008X333581>
- ILYUSHINA, Mary – ABBAKUMOVA, Natalia (2025): As Russian Oil Spill Foul Beaches, Locals Fume over Official Response. *The Washington Post*, 2025. január 27. Online: <https://www.washingtonpost.com/world/2025/01/27/russia-crimea-oil-spill-birds-rescue/>
- KLERK, Lennard et al. (2024): *Climate Damage Caused by Russia's War in Ukraine. Initiative on GHG Accounting of War. Technical Report*. Online: https://en.ecoaction.org.ua/wp-content/uploads/2025/02/20250224_ClimateDamageWarUkraine-36monthsENprelim-1.pdf
- LAKHANI, Nina (2024): Russia's War with Ukraine Accelerating Global Climate Emergency, Report Shows. *The Guardian*, 2024. június 13. Online: <https://www.theguardian.com/environment/article/2024/jun/13/russia-war-with-ukraine-accelerating-global-climate-emergency-report-shows>
- LONDON, Brad – SEO, Yoonjung – ATAMAN, Joseph (2022): Poland to Buy Hundreds of South Korean Tanks, Howitzers after Sending Arms to Ukraine. *CNN*, 2022. július 27. Online: <https://www.cnn.com/2022/07/27/asia/south-korea-poland-tanks-howitzer-ukraine-intl-hnk-ml/index.html>
- LIU, Zhenjie et al. (2024): Prediction of Changes in War-Induced Population and CO2 Emissions in Ukraine Using Social Media. *Humanities and Social Sciences Communications*, 11(1), 1–11. Online: <https://doi.org/10.1057/s41599-024-03318-5>

- MERRITT, Jeff (2024): Even as the War Persists, Ukraine Is Rebuilding — Here's How. *World Economic Forum*, 2024. február 6. Online: <https://www.weforum.org/stories/2024/02/even-as-the-war-persists-ukraine-is-rebuilding-heres-how/>
- MONTAVALLI, Jim (2003): The Reckoning. *The Environmental Magazine*, 14(6), 26–33.
- NAGY Balázs (2023): Háború és környezetváltozás. A hadviselés hosszú távú környezeti hatásai. *Máltai Tanulmányok*, 4(3), 99–120. Online: <https://maltaitanulmanyok.hu/magazin/haboru-es-kornyezetvaltozas-a-hadviseles-hosszu-tavu-kornyeze-ti-hatasai/>
- NEHREY, Maryna – FINGER, Robert (2024): Assessing the Initial Impact of the Russian Invasion on Ukrainian Agriculture: Challenges, Policy Responses, and Future Prospects. *Heliyon*, 10(21), 2–9. Online: <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2024.e39208>
- PADÁNYI, József – FÖLDI, László (2023): The Effects of Armed Conflicts on the Environment. *Contemporary Military Challenges*, 25(1), 37–52. Online: <https://doi.org/10.2478/cmc-2023-0004>
- SCHILLINGER, Juliane et al. (2020): Water in War: Understanding the Impacts of Armed Conflict on Water Resources and Their Management. *WIREs Water*, 7(6), 5. Online: <https://doi.org/10.1002/wat2.1480>
- SHABBIR, Zunaira et al. (2020): Copper Uptake, Essentiality, Toxicity, Detoxification and Risk Assessment in Soil-Plant Environment. *Chemosphere*, 259(11), 27–29. Online: <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2020.127436>
- STELLMAN, Jeanne Mager – STELLMAN, Steven D. (2018): Agent Orange During the Vietnam War: The Lingering Issue of Its Civilian and Military Health Impact. *American Journal of Public Health*, 108(6), 726–728. Online: <https://doi.org/10.2105/AJPH.2018.304426>
- Sustainable Ships (2024): *What Is the Carbon Footprint of Steel?* Online: <https://www.sustainable-ships.org/stories/2022/carbon-footprint-steel>
- Russian Product Tanker Breaks Up Near Kerch Strait (2024). *The Maritime Executive*, 2024. december 15. Online: <https://maritime-executive.com/article/russian-product-tanker-breaks-up-near-kerch-strait>