

Daruka Norbert¹ – Dénes Kálmán² – Ember István³ – Kovács Zoltán⁴ – Vég Róbert⁵

A 3D NYOMTATÁS ALKALMAZÁSÁNAK LEHETŐSÉGEI AZ ELLÁTÁSI LÁNC KOCKÁZATAINAK CSÖKKENTÉSE ÉRDEKÉBEN

THE POSSIBILITIES OF APPLYING 3D PRINTING TO REDUCE SUPPLY CHAIN RISKS

[HTTPS://DOI.ORG/10.30583/2024-1-2-248](https://doi.org/10.30583/2024-1-2-248)

Összefoglalás

A cikkben ismertetett kutatás célja a 3D nyomtatási technológia alkalmazási lehetőségeinek vizsgálata az ellátási lánc kockázatainak csökkentése érdekében. A cikk első részében bemutatjuk a fejlett társadalmak különböző igényeinek kiszolgálásához szükséges ellátási lánc kialakulását, fejlődését és szerepét, továbbá annak elemeit. Ezt követően ismertetjük azokat a biztonsági kockázatokat, amelyek hátrányosan befolyásolhatják az ellátási folyamatokat. A dolgozat fő részében bemutatjuk a biztonságos anyagellátást elősegítő egyik alternatívát, az additív gyártási eljárások egyik fontos fajtáját, a 3D nyomtatási technológiát, továbbá annak előnyeit és korlátait. Ezt követően ismertetjük azokat az alkalmazási lehetőségeket és területeket, vagyis az ellátási láncnak azokat az elemeit, ahol a biztonságos anyagellátás érdekében hatékonyan és eredményesen lehet használni ezt a gyártási eljárást.

¹ Dr. Daruka Norbert őrnagy, robbanóanyag-ipari szakmérnök, e-mail: daruka.norbi@gmail.com, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7102-1787>

² Dr. Dénes Kálmán, építőmérnök, e-mail: denes.kalman.1975@gmail.com, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2951-7172>

³ Dr. Ember István alezredes, NKE HHK Műveleti Támogató tanszék, tanársegéd, e-mail: ember.istvan@uni-nke.hu, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9877-0366>

⁴ Dr. Kovács Zoltán alezredes, NKE HHK Műveleti Támogató tanszék, egyetemi docens, e-mail: kovacs.zoltan@uni-nke.hu, ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9098-1997>

⁵ Dr. Vég Róbert alezredes, NKE HHK Haditechnikai tanszék, egyetemi docens, e-mail: vegh.robert@uni-nke.hu, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9786-6702>

Kulcsszavak: logisztika, ellátási lánc, additív gyártástechnológia, 3D nyomtatás, 3D nyomtatási képesség

Abstract

The purpose of the research presented in the article is to examine the application possibilities of 3D printing technology for reducing the risks in the supply chain. In the first part of the paper, we introduce the formation, development, and role of the supply chain necessary to meet the various needs of advanced societies, along with its elements. Subsequently, we discuss the security risks that can adversely affect supply processes. In the main part of the paper, we present one alternative that promotes secure material supply - 3D printing technology, an important type of additive manufacturing process - along with its advantages and limitations. Finally, we outline the application possibilities and areas, namely the elements of the supply chain, where this manufacturing process can be effectively and efficiently used to ensure secure material supply.

Keywords: logistics, supply chain, additive manufacturing, 3D printing, 3D printing capability

Bevezetés

A logisztikai rendszer a társadalom különféle igényeinek kiszolgálását, ellátását biztosítja a szükséges folyamatok optimalizálása révén. A legfontosabb feladata, hogy a megfelelő anyag a megfelelő helyen, minőségben, mennyiségben és költségen álljon rendelkezésre a megfelelő vevő (igénylő) számára úgy, hogy az a megfelelő információval legyen ellátva. Ennek végrehajtása érdekében cikkünkben a 3D nyomtatási technológia katonai alkalmazásának lehetőségeivel foglalkozunk azért, hogy csökkenteni tudjuk a jelenlegi ellátási rendszer lehetséges kockázatait. A logisztikai rendszerrel éppen ezért csupán a szükséges és elégséges mértékben, részletességgel és mélységben foglalkozunk, amely a dolgozatunk elsődleges céljának eléréséhez szükséges.

A társadalom egyes tagjainak szükségletei jövedelmi helyzetüktől függően jelentős mértékben eltérhetnek egymástól, emiatt az ellátási feladatokat a változatos igények figyelembevételével kell végrehajtani. Az emberek különböző életszínvonala és az ebből adódó igénybeli különbségek megjelennek pl. a közműszolgáltatások területén, az élelmiszerellátásban, az egészségügyben és az oktatásban, a sportban, a

gépjárművásárlások során és a digitális technológiában egyaránt. Számos tekintetben kivételt jelentenek ez alól az állami szervezetek, így a Magyar Honvédség is, mivel a katonai szervezetek tagjainak pl. élelemmel, ruházattal, fegyverrel vagy gépjárművel történő ellátása egységes szabályok és normák alapján történik, amelynek során egyre nagyobb hangsúlyt fektetnek a környezetvédelmi szempontokra is.⁶ Mindezek teljesítéséhez a versenyképes hadiiparnak rendelkeznie kell a kor követelményeinek megfelelő technológiai színvonallal annak érdekében, hogy ellátásbiztonságot garantáljon a haderő számára békében és háborúban egyaránt.⁷

Függetlenül a fogyasztói igényekben megjelenő különbségektől, az ellátási feladatok végrehajtására ellátási láncot kell szervezni és működtetni, amelyet az esetlegesen változó igényekhez kell folyamatosan alakítani. Az ellátási lánc hatékony működtetésének számos különböző, de nem egységes módja van, mivel a külső és belső információk, a gazdasági folyamatok, a katonai műveletek jellege folyamatosan befolyásolják vagy befolyásolhatják a lánc menedzselését.⁸ Az ellátási lánc létrehozása, de legfőképpen vezetése éppen ezért komplex feladat, mivel többszintű beszállítói és fogyasztói hálózatokat kell menedzselni.

Az ellátási lánc szerepe

A fogyasztói igények kielégítésére szolgáló megoldás rendszerint több vállalat értékláncainak, ezen belül értékteremtő folyamatainak összekapcsolásával jön létre. Az értékteremtő folyamatok vállalati határokon átívelő, összekapcsolódó sorozatát nevezzük ellátási láncnak.⁹ Alapvető célja a fogyasztók igényeinek kiszolgálása, amely érdekében több piaci szereplő is együttműködik. Az ellátási láncnak több fontos szerepe is van hazánk nemzetgazdaságának és vállalatainak működésében, amelyek közül az alábbiakat emeljük ki:

- Hatékonyság növelése: Az ellátási láncok egyik célja a folyamatok hatékonyságának növelése. Azáltal, hogy optimalizálják a gyártást, raktározást és szállítást, a vállalatok csökkenthetik a

⁶ ROMVÁRI – SZAJKÓ – PAP 2023: 25–38.

⁷ TAKSÁS 2021: 57–61.

⁸ VENEKEI 2013: 108–119.

⁹ CHIKÁN 2008: 400.

költségeiket, javíthatják a termékek minőségét és növelhetik a versenyképességüket.

- Készletezés optimalizálása: Az optimális készletezés lehetővé teszi a vállalatok számára, hogy elkerüljék a túlkészletezés okozta gondokat, csökkentsék a tárolási költségeket és gyorsabban reagáljanak a piaci változásokra.
- Piachoz való alkalmazkodás, fenntarthatóság növelése: A vállalatok a rugalmas ellátási láncoknak köszönhetően gyorsabban tudnak reagálni a változó piaci körülmények miatt nehezen előre jelezhető keresletre. Ez növeli a vállalat versenyképességét és biztosítja a fenntartható működését.
- Minőségellenőrzés és biztonság: Az ellátási láncoknak fontos szerepük van a minőségellenőrzésben és a termékek jogszabályokban előírt biztonságának garantálásában.
- Innováció támogatása: Az ellátási láncokban alkalmazott új technológiák és innovatív megoldások segíthetnek a vállalatoknak a termékfejlesztésekben vagy a hatékonyabb működésben.
- Kockázatkezelés: Az ellátási láncoknak kulcsszerepük van a különböző kockázatok kezelésében, ideértve a természeti katasztrófákat, a geopolitikai feszültségeket vagy akár a globális gazdasági változásokat. A megoldást jelentő diverzifikált ellátási láncok vagy az ellátási láncok jelentős lerövidítése nagymértékben segíthetnek csökkenteni a kockázatokat és növelni a vállalatok ellenálló képességét.

Az ellátási lánc tehát nemcsak egy egyszerű logisztikai rendszer, hanem olyan stratégiai eszköz, amely alapvető hatással van a vállalati teljesítményre és a nemzetgazdaságra egyaránt, ezeken keresztül pedig a társadalom egészére. Az ellátási lánc hatékonysága és sikere a benne résztvevőktől függ, akiknek egyaránt érdekük a lánc egészének eredményes működése, mivel a saját jólétük és sokszor a fennmaradásuk múlik rajta. Ennek következtében az ellátási láncot és annak egyes elemeit a fogyasztók, mint ügyfelek igényeinek megfelelően kell optimalizálni és menedzselni, hogy a megrendelt termékek és szolgáltatások biztosítása az elvárásoknak megfeleljen.

Különösen fontos ez katonai feladatok során, amikor a végrehajtáshoz nélkülözhetetlen logisztikai támogatás alapelvei a legszélesebb körben ölelik fel azokat az elvárásokat, amelyek ahhoz szükségesek,

hogyan a műveletek és a katonai szervezetek feladatainak végrehajtásakor a logisztikai támogatás maradéktalanul biztosított legyen.¹⁰ Nem hagyhatjuk figyelmen kívül ugyanakkor azt, hogy hazánk logisztikai képessége – a többi tagállaméhoz hasonlóan – hozzájárul a NATO logisztikai rendszere egészének működéséhez. A nemzeti szempontok mellett így megjelennek a tagállamok szövetségének közös irányelvei is. NATO-értelmezés szerint az ellátási lánc a szükséges anyagok, cikkek, felszerelések előállításától annak végső felhasználójáig történő eljuttatását jelenti.¹¹ Az értéklánc annyival több ennél, hogy magában foglalja azokat a folyamatokat is, amelyek ahhoz szükségesek, hogy ezek az anyagok, cikkek, felszerelések elkészüljenek. Látni kell, hogy a végtermék előállítását megelőző folyamatok nélkül a műveleti támogatási lánc teljesen működésképtelen.¹²

Az ellátási lánc kockázatai

A közelmúltban kialakult geopolitikai feszültségek, háborús konfliktusok, gazdasági válságok és járványok következtében kialakult ellátási zavarok rávilágítottak az ellátási láncok sérülékenységre. A volatilisá váló pénzpiacok, az autógyártásban kialakult chiphiány, az alapanyag- és nyersanyagellátási problémák, valamint a globálisan megugró szállítmányozási költségek hatásai közvetlenül érintették a vállalkozásokat és az ügyfeleket egyaránt. 2022-ben pl. nem volt ritka, hogy a nem készleten lévő új személyautókra 6–10 hónapot kellett várni. A globális termelési láncok zavarainak, megbomlásának hatása emellett azonban a fogyasztói árakban is megjelent. Az új autókért 2021-ben 9,2%-kal,¹³ 2022-ben már 24,1%-kal,¹⁴ 2023-ban pedig 2,3%-kal¹⁵ kellett átlagosan többet fizetni. Fokozta a problémát, hogy az elmúlt néhány évtizedben, főként a globális vállalatok jelentős része a feladatainak nagyrésztét kiszervezte, és csupán az alaptevékenységére fókuszált. Csökkentették a beszállítóik számát és a készleteiket egyaránt, és a just-in-time filozófiát¹⁶ követték, amely tovább erősítette

¹⁰ ROMVÁRI – SZAJKÓ – PAP 2023: 25–38.

¹¹ VENEKEI 2012: 62–74.

¹² TAKSÁS 2017: 105–117.

¹³ <https://www.ksh.hu/docs/hun/xftp/stattukor/fogyar/fogyar2021/index.html>

¹⁴ <https://www.ksh.hu/docs/hun/xftp/gyor/far/far2212.html>

¹⁵ <https://www.ksh.hu/gyorstajekoztatok/far/far2312.html>

¹⁶ A just in time (JIT) jelentése: éppen-időben-elv; ez egy készletezési stratégia, amely pontosan összehangolja a szállítóknak leadott nyersanyag- vagy alkatrészrendelést a gyártási ütemtervvel. A szállítmányt nem raktározzák sokáig, a termé-

az ellátási lánc szereplői közötti függőségi viszonyt; ez egyúttal jelentősen fokozta az ellátási láncok sérülékenységet. A lánc egészének működését ugyanis akár egyetlen szereplő hibája is negatívan befolyásolhatja.

Annak érdekében, hogy a sérülékenységet okozó kockázatokra megtaláljuk a legmegfelelőbb kezelési módot, szükség van az ellátási-lánc-kockázatok felmérésére, megismerésére és osztályozására. Ennek megfelelően a kockázat helye szerint megkülönböztetünk: vállalaton belüli, vállalaton kívüli, de az ellátási láncban belüli, valamint az ellátási láncban kívüli kockázatokat.¹⁷ Ez a megközelítés mutatja meg leginkább, hogy a vállalatnak van-e befolyása a kockázatokat kiváltó tényezőkre, vagy nincs. Ennek a honvédelemben minősített időszakokban kiemelten nagy jelentősége van, éppen ezért az alábbi felsorolásban azokat az ellátási-lánc-kockázatokat ismertetjük, amelyek a kutatásunk szempontjából releváns területet, a védelmi ipart és annak fontos részét, a honvédséget érinthetik:

- Készletezési kockázatok: A túlkészletezés vagy a készlethiány egyaránt kockázatot jelenthet. Az elhibázott készletkezelés ugyanis növelheti a vállalat költségeit, csökkentheti a likviditását, és akadályozhatja a gyors reagálását a piaci változásokra.
- Beszállítói kockázatok: A szállító megbízhatatlansága, fizetési nehézsége, csődje vagy a minőségi problémák jelenthetnek kockázatot az ellátási láncban. Ennek következtében előfordulhat, hogy a megrendelt terméket nem kapja meg az alakulat.
- Külső kockázatok: Természeti katasztrófák, globális politikai feszültségek, gazdasági válságok, kereskedelmi háborúk vagy járványok olyan külső tényezők, amelyek jelentős hatással lehetnek az ellátási láncokra. Például egy nem várt esemény a szállító országában leállíthatja a gyártási folyamatokat.
- Logisztikai kockázatok: A szállítmányozási nehézségek, a késedelmek, az infrastrukturális problémák vagy a szállítási költségek emelkedése, vagy a szállítási útvonalak hosszának növekedése mind olyan tényezők, amelyek kockázatot jelenthetnek az ellátási láncban.

kek rövid időn belül gyártósorra kerülnek. A just in time legfőbb előnye a készlet-tartási költségek közel nullára történő csökkentése. A stratégia hátrányai között fontos megemlíteni a magas szintű koordináció szükségességét a vállalat és a szállítók között, továbbá a keresleti és a kínálati sokkok okozta kitettséget.

¹⁷ CHRISTOPHER – PECK 2004: 1–14.

- Technológiai kockázatok: Az informatikai rendszerek meghibásodása, a kiberbiztonsági fenyegetések egyaránt technológiai kockázatokat hordozhatnak, amelyek negatívan befolyásolhatják az ellátási láncot.
- Piaci kockázatok: A változó fogyasztói igények, a szükségletingadozás, az árképzési változások vagy piaci szabályozások változása mind olyan tényezők, amelyek piaci kockázatokként jelentkezhetnek, és negatívan érinthetik a katonai feladatokat.
- Minőségi kockázatok: A minőségi szabványok betartásának hiánya, a gyártási hibák vagy a termékek hamisítása mind minőségi kockázatokat hozhat létre az ellátási láncban.
- Termék- és nyersanyaghiány: A volatilis pénzpiacok, a járványok vagy a katonai konfliktusok miatt leálló kitermelési, gyártási tevékenységek az ellátási lánc időleges leállításához vezethetnek.

A felsorolt kockázatok következtében kialakult logisztikai zavarok, de legfőképpen azok következményei felhívták a figyelmet az ellátási lánc-kockázatok kezelésének szükségességére. A vállalatoknak éppen ezért különféle stratégiákkal, rendszerekkel és módszerekkel kell felkészülniük ezekre a kockázatokra és haváriákra.

Az ellátási láncok kockázatcsökkentő stratégiái

A vállalatoknak időről időre szembesülniük kell a még oly stabil és megbízható ellátási láncok sérülékenységével is, mint amilyenek a sajátjukat gondolják. Az előzőekben felsorolt kockázati tényezők megismerése és azok várható hatásainak vizsgálata a vállalat működésére az első lépés abba az irányba, hogy a megfelelő kockázatkezelési stratégiát ki lehessen dolgozni azokra. Tekintettel arra, hogy a különböző vállalatok megbízható és hatékony működése nem csupán vállalati, hanem nemzetgazdasági érdek is egyben, a kockázatkezelési folyamatot vállalati, nemzeti és nemzetközi szabályozások is segítik. Ezek közül az ISO 31000 vállalati kockázatkezelési szabványt emeljük ki, amely általános elveket és módszereket határoz meg azzal a céllal, hogy növelni lehessen a működési hatékonyságot, a menedzsmentet és a bizalmat, továbbá minimalizálni lehessen az összes veszteséget.

Katonai ellátási, beszállítási feladatok végrehajtásával kapcsolatban pl. a 164/2002. (VIII.2.) Kormányrendelet előírásai mérvadók, amely

deklarálja az NSIP¹⁸ beszerzési eljárásokban való részvétel feltételeit annak érdekében, hogy a pályázatokon indulni kívánó magyar vállalkozások elnyerhessék a „NATO beszállításra alkalmas” tanúsítást. Az említett jogszabály a kockázatcsökkentő megoldások egyik eleme, mivel azok a vállalkozások, amelyek teljesítik a jogszabály előírásait, szakmailag és gazdaságilag is megfelelnek a követelményeknek, amelynek eredményeként nagyobb biztonsággal teljesítik a vállalásait. „Azonban a nemzetközi védelmi ipari versenyben küzdő zászlóshajó vállalatok számára csakis a legmagasabb minőségi követelményeket teljesíteni tudó, innovációra és kooperációra képes cégek felelhetnek meg beszállítói partnerként.”¹⁹

Az ellátási láncok zavartalan, rugalmas működése minden szereplőnek egységes, közös érdeke, mint ahogyan az is, hogy a lehetséges problémák kezelésére rendelkezzenek intézkedési tervvel. Az ellátási láncok kockázatainak kezelésére az alábbi stratégiák alkalmazhatók:

- kockázatelkerülés;
- kockázatcsökkentés (kármegelőző, kárcsökkentő intézkedések);
- kockázatmegosztás, kockázatáthárítás.

Az ellátási lánc egészére és annak minden egyes elemére kockázatelemzést (fenyegetésazonosítás, gyakoriság, következmény, kockázatszámítás) kell végezni azért, hogy a lehetséges kockázatok elemzését, értékelését és prioritizálását követően hatékony és sikeres kockázatkezelést lehessen végrehajtani.

A fenntarthatóság és rugalmasság képességének kialakítása és megerősítése, az ellátási lánc sérülékenységeinek csökkentése, az ellátási lánc működésének kiszámíthatósága az ellátásilánc-vállalatok összes érintettjének közös érdeke. Ennek a közös érdeknek a követését testesíti meg az ellátásilánc-kockázat menedzsmentje, amelynek célja preventív²⁰ és reaktív²¹ intézkedések segítségével befolyásolni

¹⁸ NATO Biztonsági Beruházási Program.

¹⁹ TAKSÁS – HEGEDŰS 2022: 9–26.

²⁰ Preventív intézkedés: A beavatkozások során a negatív események megelőzésére helyezik a hangsúlyt azért, hogy az esemény be se következzen, azt valamilyen módon elkerüljék.

²¹ Reaktív intézkedés: A beavatkozások során a legfontosabb feladat a bekövetkezett negatív esemény következményeinek csökkentése, illetve a bekövetkezett károk felszámolása annak érdekében, hogy az ellátási rendszer az eredeti szintre minél hamarabb visszaálljon.

az ellátásilánc-kockázat jellemzőit (valószínűségét, hatását, az esemény gyorsaságát, a veszteségkeletkezés gyorsaságát, a felderítési időt, a kijavítási időt vagy a gyakoriságot), hogy javuljon az ellátási lánc fenntarthatósága és rugalmassága.²²

A Magyar Honvédségben alkalmazott preventív kockázatkezelő intézkedések közé tartozik többek között:

- saját gyártókapacitás létrehozása;
- a jogszabályban rögzített követelmények megfogalmazása a beszállítókkal szemben;
- a beszállítók minősítése, folyamatos monitorozása;
- a beszállítói bázis diverzifikálása;
- logisztikai központok létrehozása;
- készletek felhalmozása és kezelése;
- a digitalizáció és a mesterséges intelligencia mind szélesebb körű alkalmazása;
- az ellátási láncok egyszerűsítése, rövidítése.

Az ellátási láncok rövidítése, valamint a saját gyártókapacitás létrehozása jelentősen csökkentheti a lehetséges kockázatokat, továbbá lényegesen növelheti a honvédség ellátásbiztonságát, amely mindezekelőtt különleges jogrend²³ kihirdetése idején alapvető fontosságú.

A közelmúlt katonai, geopolitikai és migrációs problémái miatt hazánk Nemzeti Katonai Stratégiájának²⁴ célkitűzési alapján a Magyar Honvédségnek a képességek fejlesztésével, valamint a haditechnikai fejlesztések végrehajtásával a kor követelményeinek megfelelő, korszerűen felszerelt, hatékonyan alkalmazható haderővé kell válnia. A korszerű haderőhöz elengedhetetlen a kor követelményeinek megfelelő, folyamatosan megújulni képes nemzeti védelmi ipar kialakítása és fenntartása is, amelyhez hozzájárul a saját gyártókapacitás létrehozása

²² SZÁSZ – DEMETER (szerk.) 2017.

²³ Különleges jogrend (Magyarország Alaptörvénye 48. cikk alapján): a hadiállapot, a szükségállapot és a veszélyhelyzet.

²⁴ 1393/2021. (VI. 24.) Korm. határozat Magyarország Nemzeti Katonai Stratégiájáról; <https://njt.hu/jogszabaly/2021-1393-30-22>

A diszruptív technológiák²⁵ fokozatos terjedése ugyanis tovább növeli hazánk biztonsági kockázatát, mivel pl. a mesterséges intelligenciával rendelkező robotok, a drónok, valamint az általunk is kutatott terület, a 3D nyomtatás katonai alkalmazása alapjaiban változtatják meg a jelenlegi hadviselés szabályait és eljárásrendjét.

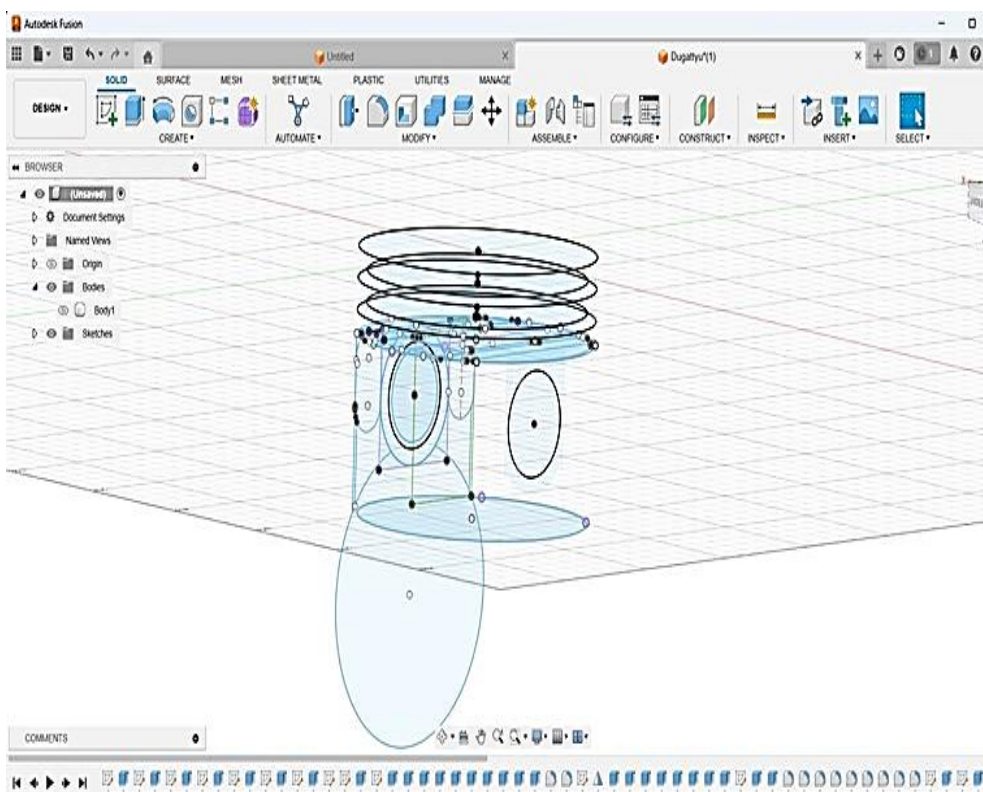
Az additív gyártástechnológiában végzett kutatásunk elért eredményei alapján az a meggyőződésünk, hogy a Magyar Honvédségben működtetett ellátási láncok preventív kockázatkezelő intézkedéseinek teljesítéséhez jelentős mértékben hozzájárulhat a 3D nyomtatási technológia katonai követelményeknek is megfelelő alkalmazása. Dolgozatunk következő fejezeteiben bemutatjuk a 3D nyomtatást, továbbá annak alkalmazási lehetőségeit az ellátási láncok kockázatainak csökkentése érdekében.

A 3D nyomtatási technológia bemutatása

Az additív gyártást biztosító 3D nyomtatási eljárás során a nyomtató tetszőleges formájú és anyagú tárgyat vagy akár összetett – hagyományos gyártási eljárással nem elkészíthető – szerkezetet anyag hozzáadásával rétegről rétegre épít fel egy digitális CAD-modell alapján. A nyomtatáshoz használt CAD-fájlok elkészítése a megrendelői igények alapján, a tervező elképzelésének és lehetőségeinek megfelelően az alábbi módokon történhet:

- tervezés CAD-szoftver használatával (1. ábra): A tervező új elemet tervez CAD-szoftverben (pl.: AutoCAD, Solid Edge, FreeCAD), majd ezt követően a 3D-nyomtató által támogatott digitális fájlt készít (pl.: STL).
- szkennelés 3D szkennerral: A tervező 3D szkennerral digitalizálja a meglévő tárgyat (amely akár törött vagy hiányos is lehet), majd ebből 3D modellt készít. Szükség esetén szerkeszteni tudja azt, részeket adhat hozzá, hibákat javíthat ki stb. A végeredmény itt is egy 3D nyomtató által támogatott digitális fájl.

²⁵ Diszruptív technológia: Az olyan innovatív technológiai változásokat, szolgáltatásokat vagy megoldásokat, amelyek által hozott eredmények viszonylag rövid idő alatt alapvetően átrendezik a piaci erőviszonyokat, először munkahelyek tömegének elvesztésével, meglévő üzleti modellek lerombolásával, felforgatásával járnak, ezzel kiszorítva a korábbi technológiai környezetben biztos pozícióval rendelkező szereplőket, diszruptív technológiáknak nevezzük.



1. számú ábra. Tervezés CAD-szoftverrel.

Forrás: a szerzők felvétele

Napjainkra a gazdasági élet számos területén valamilyen formában jelenlévő additív gyártástechnológia elsőszámú megoldásának, a 3D nyomtatásnak alaposabb megismeréséhez először is nélkülözhetetlen a különféle nyomtatási eljárások rendszerezése, azaz valamilyen szempontok (pl. bekerülési költség, nyomtatható méret, nyomtatási sebesség stb.) szerinti felosztása. Ezt az osztályozást a kutatásunk tekintetében releváns szempontok szerint a felhasználási terület alapján (pl.: oktatás,²⁶ kutatás, prototípusgyártás stb.), a nyomtatás folyamata alapján (pl.: szálhúzásos, porágyas stb.) és a felhasznált nyomtató-alapanyagok fajtái alapján (pl.: műanyagok, fémek, kompozitok stb.) végeztük el. A dolgozat következő fejezeteiben bemutatott vizsgálatok alapját ezek a csoportok alkotják. Véleményünk szerint ez a rendszerezés ad leginkább hasznos információt kutatásunk céljainak eléréséhez, a 3D nyomtatás felhasználási lehetőségeinek vizsgálatához az el-látási láncok kockázatainak csökkentése érdekében.

²⁶ GYARMATI – HEGEDŰS – GÁVAY 2022: 113–126.

A 3D nyomtatási technológia katonai alkalmazása

Az ipari-gazdasági élet szereplői a fenntartható cégműködés és a nagyobb nyereség elérése érdekében szívesen használják azokat a termelést segítő, javító megoldásokat, amelyek segítségével hatékonyabban, gyorsabban és gazdaságosabban tudnak dolgozni. Természetesen a védelmi szféra, így a honvédség is nagymértékben támaszkodik az innovációk és a technológiai fejlesztések²⁷ eredményeire, ezért – a katonai stratégia célkitűzéseivel összhangban – a 3D nyomtatási technológia egyre nagyobb hangsúllyal van jelen a honvédelmi célú oktatási, kutatási, valamint ellátási és utánpótlási rendszerben.

Nem meglepő, hogy a 3D nyomtatási technológiát a különböző ipari szereplők és a védelmi szféra (pl. rendőrség, honvédség²⁸) mellett egyre többen és egyre szélesebb körben alkalmazzák, mivel a folyamatos fejlesztések eredményeként további előnyök érhetők el.



2. számú ábra. Nyomtatás különböző alapanyagokkal.

Forrás: a szerzők felvétele

²⁷ HEGEDŰS – GYARMATI 2022: 17–32.

²⁸ VÉGVÁRI – HEGEDŰS – ZENTAY 2023: 56–60.

Ezek közül fontos megemlíteni a nyomtatók árának csökkenését, a nyomtatható méret növekedését, a nyomtató alapanyagok fajtájának bővülését, valamint a gyártási hibák hatásának mérséklési lehetőségeit.²⁹ Az újabbnál újabb nyomtatási eljárások,³⁰ valamint a szavatolt, állandó minőségű nyomtató-alapanyagok elérhetővé válnak a felhasználók számára, amely a nyomtatott alkatrészek mechanikai tulajdonságainak javulását³¹ eredményezik. (lásd 2. sz. ábra) A védelmi ipar, de a honvédelem is a technológiában rejlő kedvező lehetőségek miatt használja ezt a gyártási eljárást számos területen.

A közelmúlt geopolitikai feszültségei és válságai, az orosz-ukrán háború vagy az izraeli háború a Hamász terrorszervezet ellen Gázában olyan kiszámítható és kiszámíthatatlan biztonságpolitikai kockázatot jelent Európára és a NATO-ra nézve, amelyre a szövetségnek és annak részeként hazánknak is időben fel kell készülnie. Korszerű haderő nélkül ugyanis nincs sem biztonság, sem pedig autonómia. A Magyar Honvédségnek éppen ezért a kor követelményeinek megfelelő, a jövő kihívásaira reagálni képes modern haderővé kell válnia. Ennek eléréséhez többek között jól képzett, felkészült személyi állomány, modern haditechnika és jól szervezett ellátórendszer szükséges.

A napjainkban zajló háborús cselekmények igazolják, hogy a mesterséges intelligencia alapú célpontkiválasztás, a tömegesen alkalmazott drónok,³² továbbá az általunk kutatott terület, a 3D nyomtatás katonai alkalmazása alapjaiban változtatják meg a hadviselés eddig alkalmazott szabályait és eljárásrendjét. A különböző katonai konfliktusok eseményeiről szóló híradások részletesen beszámoltak a 3D nyomtatási eljárás hatékony alkalmazásáról a harctéren. A kifejezetten katonai használatra szánt 3D nyomtatókkal pót- és fegyveralkatrészeket gyártottak szinte a fronton, azaz helyben és azonnal. A technológia fejlesztéseinek eredményeként építőipari alkalmazásra szánt nagyméretű 3D nyomtatóval a tervek szerint lerombolt iskolákat építenek újjá. Ezek a példák a 3D nyomtatási eljárás katonai alkalmazásának létjogosultságát és a katonai képesség kialakítását még tovább erősítik.

A 3D nyomtatási technológia katonai alkalmazása³³ ugyanakkor számos lehetőséget kínál a logisztikai kihívások kezelésére, azon belül

²⁹ ZENTAY – HEGEDŰS – VÉGVÁRI 2023: 57–62.

³⁰ KARA et al. 2023.

³¹ ZENTAY – HEGEDŰS – VÉGVÁRI 2023: 49–55.

³² HEGEDŰS – HENNEL – VÉGVÁRI 2023: 33–36.

³³ NÉMETH – GÁL 2019: 231–249.

pl. az ellátási és utánpótlási problémák megoldására, amely a hatékonyság és a biztonság növelését egyaránt szolgálja. Ez nagyban hozzájárul az ellátási láncok kockázatainak csökkentéséhez, amely a katonai feladatok végrehajtásának sikeréhez nélkülözhetetlen.

Az ellátási lánc kockázatainak csökkentése, optimalizálásának lehetőségei a 3D nyomtatási technológia alkalmazása által

A 3D gyártási eljárás már jelenleg is számos lehetőséget kínál egyes logisztikai feladatok hatékonyabb és gyorsabb végrehajtására, mint pl. a haditechnikai alkatrészellátási problémák megoldása, a hatékonyság növelése vagy a logisztikai ellátási problémák kezelése és minimalizálása. A fejlesztési folyamat során helyben és azonnal ki lehet nyomtatni a prototípusokat (3. sz. ábra), akár különböző alapanyagok felhasználásával, amely lehetővé teszi a gyorsabb tesztelést és szükség esetén a módosítást.

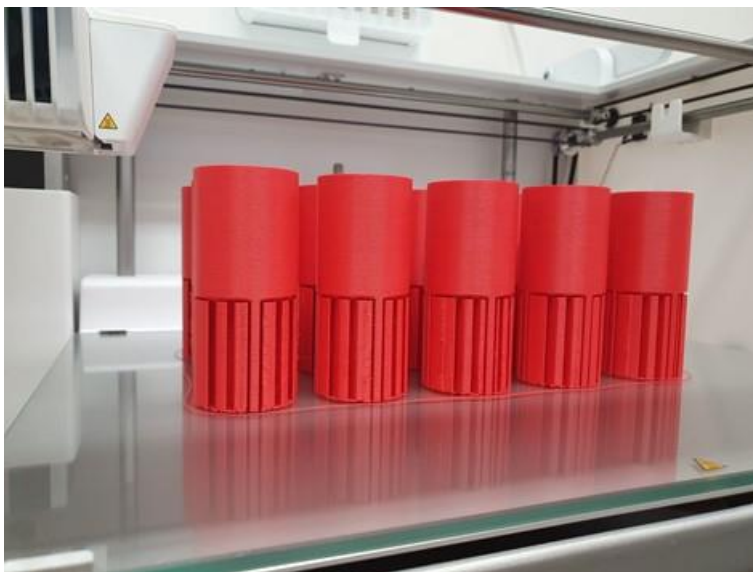


3. számú ábra. Munkahenger készítése 3D nyomtatással.

Forrás: a szerzők felvétele

A 3D gyártástechnológia alkalmazásával biztosítható az egyedi, akár személyre és méretre szabott felszerelések előállítása, természetesen a vonatkozó katonai követelmények egyidejű teljesítése mellett. Lehetőség van kis sűrűségű nyomtató-alapanyagok felhasználásával töltethetők³⁴ gyártására tűzszerész feladatokhoz (4. sz. ábra), legyen szó tartószerkezet rombolásáról vagy robbanótestek hatástalanításáról.

³⁴ EMBER – ÁDÁM 2022: 35–44.



4. számú ábra. Kumulatív töltetházak 3D nyomtatása.
Forrás: a szerzők felvétele

A katonai műveletek sikeres végrehajtásához hasznos lehet a vonatkozó térképek³⁵ és más tájékoztató tereptani elemek 3D nyomtatással történő elkészítése a domborzati viszonyok vagy a település-szerkezet egyszerűbb megértése érdekében. Végezetül nem szabad megfeledkezni a harcot megvívó végrehajtó alegységek zavartalan logisztikai ellátásáról, amelyhez lehetőség van a szükséges alkatrészek, felszerelések és egyéb eszközök helyszíni additív gyártására. Ez nemcsak lerövidíti és biztonságosabbá teszi az ellátási láncot, hanem csökkenti a szállításra fordított időt és a költségeket is.

A 3D nyomtatási technológia katonai alkalmazása az ellátási láncok optimalizálásában és lehetséges kockázatainak minimalizálása érdekében számos lehetőséget kínál, amelyek közül az alábbiakat emeljük ki:

- rugalmas gyártási folyamatok;
- gyártási folyamatok optimalizálása, gyorsítása;
- on-demand (pl. igény szerinti) gyártás;
- digitális adatbázis használata a gyártáshoz;
- optimalizált készletezés;
- beszállítói hálózatok optimalizálása;

³⁵ KÁLLAI 2023: 330–392.

- igénybe vett szolgáltatások mennyiségének csökkentése;
- komplex, összetett alkatrészek egyszerű gyártása,
- szállítási kockázatok és költségek csökkentése;
- innovációs és tervezési szabadság;
- környezetkárosítás csökkentése.

A 3D gyártási technológia tehát lehetővé teszi az innovatív, korszerű és rugalmas megoldások alkalmazását az ellátási láncok optimalizálásában, amelyek hozzájárulhatnak a katonai feladatok hatékonyabb végrehajtásához. Az additív gyártási eljárás szélesebb körű katonai alkalmazása hozzájárulhat a honvédség saját gyártási kapacitásának kialakításához és fejlesztéséhez, az igénybe vett szolgáltatások mennyiségének csökkentéséhez, ezáltal az abból eredő kockázatok csökkentéséhez is. A függetlenséget és önállóságot biztosító gyártási képesség kialakítása hozzájárul a kiképzéshez és a műveletekhez szükséges készletek csökkentéséhez, valamint rugalmasabbá teheti a katonai ellátási láncokat.

Összefoglalás

A Magyar Honvédség számos tevékenysége – már csak a rendeltetéséből fakadóan is – kockázatot jelent, amelyet a feladatok végrehajtásának sikere érdekében azonosítani, elemezni, értékelni és kezelni kell. Nem jelent kivételt ez alól a katonai logisztika sem, amelynek fontosabb feladatai közé tartozik a személyi állomány felszereléssel való ellátása, a harci és a harckiképzési feladatok támogatása, szállítási feladatok végrehajtása, továbbá a harci technikai eszközök, anyagok, gépjárművek hadrafoghatóságának biztosítása. A logisztikai feladatok mindenoldalú biztosítása a katonai feladatok sikerének alapfeltétele. Ennek megfelelően kulcsfontosságú, hogy a célokat hátrányosan befolyásoló azonosított kockázatokat a logisztikai szervezetek megfelelő stratégia alkalmazásával kezeljék, az esetleges negatív hatásokat és a károkat minimalizálják.

A 3D nyomtatás széleskörű, katonai követelményeknek is megfelelő alkalmazása véleményünk szerint biztosítja azokat a gyártási lehetőségeket és ellátási előnyöket, amelyek igazolják a technológia létjogosultságát, továbbá a 3D nyomtatási képesség kialakításának szükségét a Magyar Honvédségben. Természetesen ennek a képességnek a

létrehozása további kérdéskörök figyelembevételét és vizsgálatát indukálja. Ilyenek többek között a nyomtatást végző szakállomány felkészítése és kiképzése, a termék utómunkálatokat követő megfelelő minősége, a gyártás jogi aspektusai, illetve a szükséges energiaigény folyamatos rendelkezésre állása.

Összességében, ez a gyártási eljárás hozzájárul a honvédség saját gyártókapacitásának kialakításához, továbbá lehetőséget teremt az ellátási láncok rövidítésére, amelyek egyaránt az ellátásbiztonságot szolgálják. A 3D nyomtatási képesség létrehozása hozzájárulhat a kor követelményeinek megfelelő, önálló ellátóképességgel rendelkező modern Magyar Honvédség kialakításához.

A cikk az alábbi támogatás révén született:

„A 2022-2.1.1-NL-2022-00012 számú "Kooperatív Technológiák Nemzeti Laboratórium" projekt a Kulturális és Innovációs Minisztérium Nemzeti Kutatási és Fejlesztési és Innovációs Alapból nyújtott támogatásával, a Nemzeti Laboratóriumok pályázati program finanszírozásában valósult meg.”

Irodalomjegyzék

ROMVÁRI Lilla – SZAJKÓ Gyula – PAP Andrea (2023): A Magyar Honvédség 15M gyakorló egyenruházat tervezésének környezetvédelmi aspektusai, 2. rész. Hadtudományi Szemle 16:3 pp. 25–38. Online: <https://doi.org/10.32563/hsz.2023.2.3> (Letöltve: 2024. 04. 02.)

TAKSÁS Balázs (2021): Újjászülető hadiipar. Haditechnika 55:1 pp. 57–61. Online: <https://doi.org/10.23713/HT.55.1.11> (Letöltve: 2024. 04. 02.)

VE NEKEI József (2013): Az ellátási lánc kialakulása, fejlődése a polgári és a katonai logisztika elméletében és gyakorlatában. Hadmérnök 8:2 pp. 108–119. Online: http://hadmernok.hu/132_10_venekeij.pdf (Letöltve: 2024. 03. 12.)

CHIKÁN Attila (2008): Vállalatgazdaságtan, 4. kiadás, 400 p. Aula Kiadó

VE NEKEI József (2012): NATO logisztika és a NATO Műveleti Támogatási Lánc Menedzsment. Hadmérnök 7:4 pp. 62–74. Online: http://hadmernok.hu/2012_4_venekeij.pdf (Letöltve: 2024. 04. 16.)

TAKSÁS Balázs (2017): A védelmi ipar és a katonai logisztika rejtett biztonsági kockázatai napjaink globalizált világában. Honvédségi Szemle 145:6 pp. 105–117. Online:

<http://hdl.handle.net/20.500.12944/20870> (Letöltve: 2024. 04. 16.)

CHRISTOPHER, Martin– PECK, Helen (2004): Building the Resilient Supply Chain. The International Journal of Logistics Management, Vol. 15 No. 2, pp. 1–14. Online:

<https://doi.org/10.1108/09574090410700275> (Letöltve: 2024. 03. 13.)

TAKSÁS Balázs – HEGEDŰS Ernő (2022): A magyar védelmi ipar jövőképe. Közgazdaság 17:1 pp. 9–26. Online:

<https://doi.org/10.14267/RETP2022.01.02> (Letöltve: 2024. 04. 16.)

SZÁSZ Levente – DEMETER Krisztina (szerk.) (2017): Ellátásilánc-menedzsment. Akadémiai Kiadó, ISBN: 9789634540335, Online:

<https://doi.org/10.1556/9789634540335> (Letöltve: 2024. 04. 09.)

GYARMATI József – HEGEDŰS Ernő – GÁVAY György (2022): Automata sebességváltóban alkalmazott kapcsolt bolygóművek – Wilson-váltó: Harckocsi-sebességváltó modell kialakítása 3D nyomtatással oktatási célból. Műszaki Katonai Közlöny 32:3 pp. 113–126. Online:

<https://doi.org/10.32562/mkk.2022.3.7> (Letöltve: 2024. 01. 20.)

HEGEDŰS Ernő – GYARMATI József (2022): A haditechnikai kutatás-fejlesztés helye, szerepe és sajátosságai. Hadmérnök 17:2 pp. 17–32. Online:

<https://doi.org/10.32567/hm.2022.2.2> (Letöltve: 2024. 01. 21.)

VÉGVÁRI Zsolt – HEGEDŰS Ernő – ZENTAY Péter (2023): A 3D-s nyomtatás és katonai alkalmazásának lehetőségei I. rész. Haditechnika 56:6 pp. 56–60. Online: <https://doi.org/10.23713/HT.56.6.09> (Letöltve: 2024. 04. 29.)

ZENTAY Péter – HEGEDŰS Ernő – VÉGVÁRI Zsolt (2023): A 3D-s nyomtatás és katonai alkalmazásának lehetőségei III. rész: A gyártási hibák hatásának mérséklése, hibakiküszöbölési megoldások. Haditechnika 57:2 pp. 57–62. Online: <https://doi.org/10.23713/HT.57.2.11> (Letöltve: 2024. 05. 09.)

KARA, Yahya – KOVÁCS Norbert Krisztián – NAGY-GYÖRGY Péter – BOROS Róbert – MOLNÁR Kolos (2023): A novel method and printhead for 3D printing combined nano-/microfiber solid structures. Additive Manufacturing 61 Paper: 103315, 13 p. Online:

<https://doi.org/10.1016/j.addma.2022.103315> (Letöltve: 2024. 01. 19.)

ZENTAY Péter – HEGEDŰS Ernő – VÉGVÁRI Zsolt (2023): A 3D nyomtatás és katonai alkalmazásának lehetőségei II. rész.: 3D-s nyomtatott

alkatrészek mechanikai tulajdonságai minőségjavításának lehetőségei. Haditechnika 57:1 pp. 49–55. Online:

<https://doi.org/10.23713/HT.57.1.09> (Letöltve: 2024. 05. 08.)

HEGEDŰS Ernő – HENNEL Sándor – VÉGVÁRI Zsolt (2023): A Bayraktar drónok II. rész. Haditechnika 57:3 pp. 33–36. Online:

<https://doi.org/10.23713/HT.57.3.06> (Letöltve: 2024. 01. 16.)

NÉMETH András – GÁL Bence (2019): Additív gyártástechnológiák katonai alkalmazásának vizsgálata, különös tekintettel a katonai elektronika területére. Hadmérnök, 14:1 pp. 231–249. Online:

<https://doi.org/10.32567/hm.2019.1.19> (Letöltve: 2024. 01. 15.)

EMBER István – ÁDÁM Balázs (2022): Kumulatív töltetházak 3D nyomtatása. Hadmérnök, 17:3 pp. 35–44. Online:

<https://doi.org/10.32567/hm.2022.3.2> (letöltve: 2024. 01. 02.)

KÁLLAI Attila (2023): Térkép és tereptani alapismeretek, Honvédelmi alapismeretek tankönyv, HM Zrínyi Térképészeti és Kommunikációs Szolgáltató Nonprofit Kft., 556 p. pp. 330–392. ISBN: 9789633279007

Jogi források

1393/2021. (VI. 24.) Korm. határozat Magyarország Nemzeti Katonai Stratégiájáról; Online: <https://njt.hu/jogszabaly/2021-1393-30-22> (letöltve: 2023. 12. 03.)

Internetes források

Központi Statisztikai Hivatal, Fogyasztói árak alakulása, Online: <https://www.ksh.hu/docs/hun/xftp/stattukor/fogyar/fogyar2021/index.html> (Letöltve: 2024. 03. 18.)

Központi Statisztikai Hivatal, Fogyasztói árak alakulása, Online: <https://www.ksh.hu/docs/hun/xftp/gyor/far/far2212.html> (Letöltve: 2024. 03. 18.)

Központi Statisztikai Hivatal, Fogyasztói árak alakulása, Online: <https://www.ksh.hu/gyorstajekoztatok/far/far2312.html> (Letöltve: 2024. 03. 18.)