

## 3D NYOMTATÁS ÉS ADDITÍV GYÁRTÁS – MUNKAVÉDELMI VONATKOZÁSOK

### Bevezetés

Ez a 3D nyomtatásról szóló cikk az Európai Munkahelyi Biztonsági és Egészségvédelmi Ügynökség (EU-OSHA) megbízásából készült. A feltörekvő 3D nyomtatási ágazatban rejlő lehetőségekkel, kihívásokkal kapcsolatos egyes kulcskérdéseket vizsgálja a munkáltatók, munkavállalók, valamint az otthon vagy informális munkahelyeken dolgozó új vállalkozók szempontjából. A jelen vitaanyag célja, hogy bemutassa a 3D nyomtatást, feltárva annak lehetséges hatását úgy a meglévő, mint az új munkakörnyezetre. Végül néhány európai szintű ajánlást fogalmaz meg azokról a meghozandó intézkedésekről, amelyekkel biztosítani lehet a 3D nyomtatás hozzájárulását a biztonságosabb, egészségesebb és nagyobb elégedettséget nyújtó munkakörnyezethez, a munkáltatók és munkavállalók között már fennálló, valamint az új, informális „önfoglalkoztatói” forma összefüggéseiben egyaránt.

### Mit is jelent a 3D nyomtatás?

A 3D nyomtatás az innovációs és kreatív ágazatok aktuális témája. Ugyanakkor a nagyközönség számára tisztázatlan, hogy mit is jelent valójában. Additív gyártás, desktop termelés, gyors prototipizálás, digitális termék-előállítás: eltérő elnevezések születtek az új technológiára.<sup>1</sup> A terméktervezési és gyártási folyamat teljes körűen számítógépesített, ennek eredményeként a 3D nyomtatás a digitális termék-előállítás tágabb értelemben vett fejlődésének a része.<sup>2</sup> Azonban a „3D nyomtatás” kifejezésnek az új digitális termelés széles vertikumát – pl. CNC (Computer Numerical Control) esztergákat, lézervágókat, számítógépes acéplottereket stb. – felölelő gyűjtőfogalomként történő használata félrevezető. A CNC például hagyományos esztergálási technika, amelynél a gép mozgása digitálisan vezérelt. Noha a formák és egyediség tekintetében megegyező mértékű szabadságot kínálnak, a digitális termék-előállítási megoldás alapja, hogy valamilyen tömbből anyagot vesz el, pl. esztergálás, fűrészelés vagy vágás útján. A 3D nyomtatás esetén a termék nulláról áll elő, tehát anyag hozzáadásával. A legpontosabb lényegi leírás tehát az additív gyártás.<sup>3</sup> A jövőben ezt a két digitális technikát (a kivonást és a hozzáadást) rugalmasan fogják alkalmazni: egy CNC berendezés és a robotika a munkafej cseréjével egyszerűen átalakítható anyagkivonásról hozzáadásra, azaz additív gyártásra.

Cikkünkben a „3D nyomtatás” kifejezést az olyan termékgyártásban használt különböző technikákra korlátozzuk, amelyek pusztán számítógépes állományként léteznek, és olyan géppel valósulnak meg, amely rétegesen hordja fel a nyersanyagokat addig, ameddig a készterméket ki nem alakította.<sup>4</sup> Mindez az adott termék számítógépes megtervezésével kezdődik. A számítógéppel segített tervezés végén előálló dokumentum (egy CAD-fájl) alapvetően nem több, mint egy aprólékosan kidolgozott nyomtatványrendelés.

### A működési elv

1 <https://3dprint.com/82272/what-3d-printing-works/>

2 <http://www.wired.co.uk/article/digital-fabrication>

3 <https://3dprint.com/82272/what-3d-printing-works/>

4 <http://additivemanufacturing.com/basics/>

A számítógéppel előállított tervet digitálisan több ezer rétegre osztják; ezt a szeletelést a nyomtatványrendeléshez szükséges tervet előkészítő szoftver végzi. A létező tárgyak térbeli szkennelése a másik megoldás a termékek digitális nyomtatási fájljának elkészítésére. Az ilyen adatokat külön szoftverrel nyomtatványrendeléssé lehet alakítani. A szkennerek ára széles skálán mozog, 50 és 50 000 euró között bármennyi lehet. Egy asztali 3D nyomtató nagyjából 1000 euróba kerül.

A prototipizálást és korlátozott darabszámú gyártást lehetővé tevő professzionális 3D nyomtatók ára 2000 és 20 000 euró között mozog. Amikor már létező ipari léptékű termelés 3D nyomtatással történő kiváltásáról van szó, 1 millió euró körüli vagy akár ezt meghaladó mértékű beruházásra van szükség.

A tényleges 3D nyomtatási technika két különböző technikai folyamatra osztható. Ezeknek az árutervezés, -előállítás és -forgalmazás jövőjére gyakorolt hatása szintén más és más: a kötési technikát a magasan fejlett professzionális ipari alkalmazásoknál használják, míg az extrudációs technika durvább, alkalmazása a fogyasztói piacon és az alulról szerveződő 3D nyomtatásos kísérletek területén elterjedtebb.<sup>5</sup>

## Kötés

A kötési technika (lézerrel, ultraibolya (UV) vetítővel, hevítővel stb. felszerelt) nyomtatófejet használ a kipermetezett szintetikus anyag megkötéséhez. Így jobb minőség érhető el, és az anyagok szélesebb választéka használható. Emellett magas fokú szaktudást és precizitást is igényel, valamint költségesebb. Az ilyen típusú 3D nyomtatók drágábbak, ahogyan a felhasznált anyagok is. Emiatt a kötési megoldást főként a fokozottan fejlett és (fél)ipari eljárásokhoz használják.

## Extrudálás

Az extrudációs technika a pontos idő- és térbeli koreográfia szerint extrudált anyag megkötésével jár. Ez a nyílt forráskódú és fogyasztóbarát, általában furnérlemezből készült összeszerelhető készletekben szállított 3D nyomtatókban (pl. Makerbot, Ultimaker, Airwolf) leggyakrabban használt eljárás. Az extrudált anyag lehet folyadék, por, szintetikus szál vagy szerves anyag is, például kerámia vagy gumi. Az ilyen nyomtatók közül sokat „csináld magad” készletben árúsítják. A termelés gyorsabb és olcsóbb, de a végtermék kevésbé kifinomult.

## Régi és új anyagok

A 3D nyomtatáshoz először alkalmazott anyagok a műanyagok (szintetikumok) voltak. Az elmúlt 10 évben viszont nagy mértékben megnőtt a 3D nyomtatókkal használható anyagok száma. Manapság a „hagyományos” anyagokat, pl. porcelánt, acélt, üveget, sőt, még a fát is széles körben használják. A kutatások kimutatták, hogy az asztali 3D nyomtatók a nagy mennyiségű ultra finom szemcsék (UFP-k, azaz 100 nm-nél kisebb részecskék), valamint egyes veszélyes illékony szerves vegyületek (VOC-k) nyomtatás közbeni kibocsátása miatt jelenthetnek kockázatot, habár eddig csak igen kevés végtelen elemi szákkal működő 3D nyomtatót vizsgáltak be.<sup>6</sup>

A ipari célú 3D nyomtatás során felhasznált anyagok eltérnek az otthoni környezetben használtaktól. Az utóbbinál a leggyakrabban használt anyagok a biológiai úton lebomló politejsav (PLA) és az olajalapú, ezért használat során inkább toxikus műanyag, az akrilnitril-butadién-sztirol (ABS). A szellőztetés PLA esetén ajánlott, ABS esetén pedig szükséges.<sup>7</sup>

Az ipari 3D nyomtatási eljárásokban leggyakrabban poliamidot (pl. nejlon), azaz olajalapú műanyagot használnak folyékony és por formában. Melegítésük közben mérgező füstgáz szabadul fel, ezért

<sup>5</sup> <http://3dprinting.com/what-is-3d-printing/>

<sup>6</sup> <http://pubs.acs.org/doi/abs/10.1021/acs.est.5b04983>

<sup>7</sup> <https://all3dp.com/pla-abs-3d-printer-filaments-compared/>

szellőztetni szükséges. Ennél is jobb, ha a nyomtató köré burkolat kerül, amely megelőzi a kibocsátások munkahelyi környezetbe terjedését.

Műanyag vegyszereket, pl. epoxi gyantákat a sztereolitográfiában és a nyomtatott tárgyak felületkezelése céljából is használnak. Ezek allergiás kontakt bőrgyulladást okozhatnak. A nem hőkezelt műanyag vegyszerek megérintése tilos, és meg kell előzni a felületek és ruházat szennyeződését is. Az utólagos feldolgozáshoz és felületkezeléshez használt más vegyszerek szintén veszélyesek lehetnek, ezért azokat óvatosan kell kezelni.

A por alakú poliamidot esetenként alumíniummal keverik (alumid), és bár kevésbé toxikus, ennek az anyagnak a használata akkor is külön biztonsági és egészségi megelőző intézkedéseket igényel. További iparban alkalmazott anyag a polisulfon (PSU) és polifenilsulfon (PPSU), amelyek a szellőztetés és kezelés szempontjából egyaránt biztonsági intézkedéseket igénylő szintetikus műanyagok.<sup>8</sup> A 3D nyomtatásban a leggyorsabban fejlődő szegmens a fémek használata.<sup>9</sup> Itt szellőztetéssel kapcsolatos intézkedések szükségesek, mivel a fémeket olajalapú szintetikumokkal kombinálják. A magas hőmérsékletek szintén biztonsági és kezelési intézkedéseket igényelnek. Fémnyomtatás esetén figyelembe kell venni, hogy az anyagok rákkeltők lehetnek, valamint azt is, hogy emiatt az ilyen porok kezelése során légzésvédelmet kell alkalmazni.

Az új anyagok olyan „okos anyagok”, amelyek gyártás után reagálnak a hő-, nyomás- vagy fénykülönbségre. A nanokarbonok szintén újdonságnak számítanak, nagyobb, ipari méretű felhasználásuk a közeljövőben várható. Mindezeknek a csúcstechnológiájú anyagoknak a bevezetése alapos biztonsági vizsgálatot igényel, hiszen az anyagok többsége egyelőre kísérletinek tekinthető.<sup>10</sup>

A nyomtatáshoz használt anyagok és nyomtatott tárgyak elő- és utókezelése további lényeges vizsgálandó szempont. Por formában lévő anyagok nyomtatása esetén fontos a porok terjedésének megelőzése például helyi füstgáz- és porelszívás használatával, ezáltal pedig a megfelelő munkamódszerek védelmével. A (fém)porok öngyulladásának kockázata is fennáll, amelyet figyelembe kell venni, pl. EX-minősítésű, robbanásveszélyes térben alkalmazandó különleges minősítésű eszközök használatával.

## Az új ipari forradalom ígérete

Digitális korban élünk. A közösségi média megrendíti a hagyományos újságírást.<sup>11</sup> Az internetes vásárlás miatt hagyományos üzletek mennek csődbe, egykoron élettelt telt belvárosaink felörlődnek. Még az internetes vásárlás is megváltoztatja a munkakörülményeket, hiszen magas fokú automatizáltság jellemzi. A robotika megváltoztatja autó- és háztartásvezetési szokásainkat. Mindezek mellett végül a 3D nyomtató átalakítja azt is, ahogyan a digitális érában megtervezünk, előállítjuk és forgalmazzuk fogyasztási cikkeinket. Az elmúlt években olyan magasra szöktek a 3D nyomtatással kapcsolatos elvárások, hogy nem kisebb horderejű dolog, mint egy új ipari forradalom látszott elkerülhetetlennek. Legalábbis ez volt a *The Economist*-ben 2012-ben megjelent befolyásos, 12 oldalas riport üzenete.

<sup>8</sup> <http://www.stratasys.com/materials/material-safety-data-sheets/fdm>

<sup>9</sup> <https://www.3dprintingmaterialsconference.com/3d-printing-materials/metals-are-the-fastest-growing-segment-of-3d-printing-metal-sales-growing-by-32/>

<sup>10</sup> <https://www.sculpteo.com/blog/2016/09/28/top-10-future-3d-printing-materials-that-exist-in-the-present/>

<sup>11</sup> <http://reutersinstitute.politics.ox.ac.uk/news/how-journalism-faces-second-wave-disruption-technology-and-changing-audience-behaviour-0>



The Economist, 2012. április

Akkoriban azt jósolták, hogy a 3D nyomtató hamarosan minden háztartásban fellelhető új digitális eszközzé fog válni. Ez pedig a tömeggyártás végét jelentené. Pontosabban megfogalmazva a *The Economist* posztipari forradalmat jósolt. Az internetről bárki letölthetné az adott termék digitális tervrajzait, és otthon egyetlen gombnyomásra ki is nyomtathatná. Lehetőség volna a termékek megváltoztatására: pl. szélesebb cipőt tudnának nyomtatni azok, akiknek szélesebb a lábfeje. Az ilyen egyedi és testre szabott termék előállítására pontosan ugyanannyiba kerülne, mint a tömeggyártás egy kínai gyárban, és ezáltal aláásná a termelés terén fennálló gazdasági status quot. Az új termékek iránti kereslet csökkenne; a javítás végre széles körben elterjedne, hiszen a meghibásodott készülékek cserealkatrészeit szintén egyszerűen elő lehetne állítani az otthoni 3D nyomtatóval. Minthogy a termelés beköltözne az emberek otthonába, az áruterítésre, forgalmazásra fordított idő és energia szintén korlátozottá válna. Továbbá kézben lehetne tartani a kínálatot és keresletet, mivel az emberek csak azt nyomtatnák ki, amire szükségük van. Mindez a készletezés és túlgyártás végét is jelentené, tehát az új ipari forradalom zöld is lehetne.<sup>12</sup>

A *The Economist*-ban közölt cikk időzítése korántsem volt véletlen. A 3D nyomtatási technika már az 1980-as évek közepén létezett. A sztereolitográfiát 1984-ben szabadalmaztatta Alain Le Mehaute francia kutató. A „3D nyomtatás” kifejezés megszületéséig mégis eltelt még 10 év. Akkoriban kizárólag a magas fokon specializált iparágak, pl. az egészségügy, az autógyártás, valamint a repülőgép- és űripar mérnök tervezői kísérleteztek csúcstechnológiájú 3D nyomtatókkal prototípusok és rugalmas gyártás céljából. Azonban a 21. század első évtizedében végre eljött a nagyobb előrelépések ideje. A nagyüzemi 3D nyomtatás ekkortól már nemcsak műanyagokkal, hanem fémekkel, vezetőképes anyagokkal, üveggel, kerámiákkal, sőt, akár szerves szövetekkel is lehetővé vált. A nagyobb vállalatok, pl. a Canon és a Siemens elkezdtek kutatni a fogyasztóbarát 3D nyomtatók piacát. A Makerbot, egy amerikai vállalat, az első asztali 3D nyomtatót kicsivel több, mint 1000 euróért adta el 2008-ban, ezáltal elérhetővé tette a 3D nyomtatási technológiát a nagyközönség számára. Nagyjából ugyanekkor zajlott a RepRap (replikáló rapid prototípuskészítő-berendezés) kutatási projekt, amely többségében asztali nyomtatóval előállítható műanyag alkatrészekből álló, kezdetleges asztali nyomtatót fejlesztett ki. A RepRap mechanikai alkatrészeit előre, az interneten lehet megrendelni. Más szóval a RepRap az első 3D nyomtató, amely önmagát képes replikálni – mindezt alig több, mint 200 eurós költségen. A RepRap eszközön futó szoftver nyílt forráskódú és szabadon letölthető.

Röviden tehát a 3D nyomtatás egyetlen évtized alatt a kizárólag kocka számítógépesek, a legmodernebb formatervezők és csúcstechnológiájú iparágak által használt futurisztikus gyártási módszerből kommersz, fogyasztóbarát eszközzé vált az otthoni gyártáshoz. Vagy, amint a *The Economist* fogalmazott: „az új ipari forradalom kezdetévé”. A 3D nyomtatásnak gazdasági, valamint társadalmi és emberi hatásai vannak. A legszembetűnőbb a jólét növekedése, valamint a hatékony és testre szabott gyártásból származó haladás, amelyek jelentősek is lehetnek. A 3D nyomtatás helyi és keresletvezérelt, ezáltal fenntarthatóbb termelési módszert vezet be. Mivel a 3D nyomtatás nyílt

12 <https://3dprint.com/144928/3d-printing-environmental/>



forráskódú architektúrából ered, az új vállalkozások és kisméretű innováció számára nyitottabb a hagyományos gyáripárnál. Emiatt tehát nemcsak zöldebb, hanem pártatlanabb, a fogyasztó számára nagyobb szabadságot biztosító ipari forradalom lesz.

A 3D nyomtatás hatása két szintre bontható:

#### ▪ Társadalmi

A 3D nyomtatás erősíteni fogja a társadalmi befogadottságot. Minimális beruházással bárki kisvállalkozást indíthat saját pincéjében. Csupán egy számítógépre, egy 3D nyomtatóra és gyors internetkapcsolatra van szükség. A szükséges szaktudás, ötletek és nagy mértékben a szoftverek térítésmentesen cserélnek gazdát. A digitális termék-előállításból kialakult a termékeket gyártó fogyasztókból szerveződő „gyártói mozgalom”. Noha a gyártói mozgalom a hekkelés, a hagyományos szakipar és a tudományos kísérletek metszetét képezi, mégis a 3D nyomtatót tekinthetjük a világméretű trend mozgatórugójának. A gyártói mozgalom gazdasági és társadalmi szintű hatása aligha túlbecsülhető. A 3D nyomtatás ugyanolyan változást hozhat az ipari gyártásban, mint amit az Airbnb hozott a szállodaiiparban: a formatervezés, gyártás és forgalmazás radikális demokratizálódását. Emellett ugyanúgy bekövetkezhet a tevékenységek feltételrendszere fölötti ellenőrzése elvesztése is.

#### ▪ Egyéni

Röviden összefoglalva a 3D nyomtatás egyéni szinten teremt lehetőséget a jobb termékek elérésére. Az egyéni vágyak és igények könnyebben kielégíthetők. Ezen túlmenően a termékek csereszabatos és letölthető alkatrészekből fognak készülni, ezáltal könnyen javíthatók lesznek. A termékeket gyártó fogyasztó szabadon képessé válik hétköznapi életének jobbá tételére. A 3D nyomtatás egyénekre gyakorolt legerőteljesebb hatása valószínűleg pszichológiai lesz. Ahogy Richard Sennett szociológus *The Craftsman (A kézműves)* című könyvében rámutatott: az áruk előállítása mélyről fakadó emberi szükséglet. Lehetőséget teremt az önfejlesztésre, önbecslésre és az önaktualizálásra. Azok vagyunk, úgymond, amit készítünk. Modern korunkban a hozzáférhető digitális termék-előállítás, pl. a 3D nyomtatás révén lehetővé váló gyártói mozgalom egyéni autonómiát biztosít, és lehetőséget teremt az emberek számára, hogy életüket pszichológiai és anyagi értelemben is maguk alakíthassák. A gyártói mozgalom emellett új kapcsolatrendszereket és összetartást is biztosít, hiszen az információk és ismeretek megosztása szabadon történik. A csináld magad termékgyártók pedig világszerte megtartott gyártói vásárokon találkoznak egymással. Kijelenthetjük, hogy a 3D nyomtatással megjelenik a csináljuk *magunk* mozgalom is.



Gyártói vásár

## Forradalom helyett fejlődés

Ám ma, öt évvel azután, hogy megjelent a *The Economist* cikke, még mindig nem tört ki ez a bizonyos forradalom. Sőt. A 3D nyomtatás még csak elterjedt sem vált.<sup>13</sup> A Makerbot 2015-ben a csőd szélére került, és RepRap készüléke a megjelenése óta alig fejlődött. A 3D nyomtatóipar szervezetlen és elaprózott jellege miatt alig áll rendelkezésre adat hozzájárulásáról az európai gazdasághoz. Azonban megbízható becslések születtek arról, hogy a fejlettebb európai országokban a lakosság legfeljebb 1%-a rendelkezik ténylegesen 3D nyomtatóval. Ennek ellenére a 3D nyomtatott termékek többségét házilag gyártják, és a közösségi gazdaságban forgalmazzák. Az ipari 3D nyomtatás továbbra is kisebb mértékű az otthoni gyártásnál. Például Hollandiában a teljes 3D nyomtatóipar gazdasági hozzájárulását 2015-ben 45 millió euró körül becsülték, ami az ország 888 milliárd eurós bruttó nemzeti össztermékének (GNP) 0,005%-át jelenti. Semmilyen bizonyíték sem utal arra, hogy ez az adat jelentősen magasabb lenne az Európai Unió (EU) többi tagállamában. A 3D nyomtatóipar átlagosan 30%-kal növekedett az elmúlt öt évben. Még ha ez az adat megduplázódik, akkor is legalább öt évbe telik majd, hogy a 3D nyomtatás versenyképessé váljon a gazdaság olyan ágazataival, mint például a könnyűzene-ipar. A 3D nyomtatás hatását nehéz megjósolni. Azonban egy valami biztos: nem fogja átvenni egyetlen létező iparág helyét sem, inkább kiegészíti azt.

A 3D nyomtatás használatában egyre nagyobb szakadék rajzolódik ki. Egyfelől megjelent egy új, magasan fejlett és rugalmas iparág. Vállalatai az egészségügyi ellátásban, a járműiparban és hasonló területeken, valamint a divatágazatban és hétköznapi fogyasztói árucikkek területén is tevékenykednek. Másfelől növekszik a kisméretű és időnként már-már alacsony technológiájú csináld magad termelés. Az ilyen mikroyáratok és startup cégeket tervezők, szövetkezetek, kisvállalkozások és informális hálózatok alapítják. Azonban mind a mai napig hiányzik a 3D nyomtatás fogyasztók általi, széles körben elterjedt használata. A gyártói mozgalmat tehetséges műkedvelők és a technológia korai felkarolói alkotják.

## Új iparág 3D nyomtatókkal

### Lehetőségek és kockázatok munkáltatók számára

A 3D nyomtatás új üzleti modelleket kínál. Az Open Desk nevű londoni online platformnak még csak termelőegysége sincs. A világ minden pontjáról származó tervezők bútorait kínálja. Az összes bútor falapokból készül. Amikor az ügyfél leadja rendelését, az Open Desk megkeresi az ügyfélhez legközelebb működő, digitális termék-előállítással foglalkozó munkahelyet. Miután megtörtént a termelési költségek kifizetése az adott munkahelynek, a profiton az Open Desk és a tervező osztozkodik. Ily módon egy nemzetközi szinten működő bútorcégnek alig van szüksége másra, mint egy ügyfélszolgálatra. A Shapeways globális vállalat, ahol bárki megrendelheti saját terve nyomtatását. Hivatásos tervezők is feltölthetik terveiket, amelyeket így a fogyasztók is megrendelhetik. Rendelés esetén a tervező jogdíjat kap a Shapeways-től. Az igény szerint termelő üzem jelenleg csak New Yorkban működik, de hamarosan világszerte több helyen is létesítenek hasonlókat.

A 3D nyomtatókkal ilyen nagyüzemi léptékben dolgozó vállalatok számára a munkahelyi egészség és biztonság új kihívásokat támaszt.<sup>14</sup> Ilyenek lehetnek például a gázokkal és egyéb anyagokkal érintkezés, az anyagmozgatás, a statikus elektromosság, a mozgó alkatrészek és a nagy nyomások.<sup>15</sup>

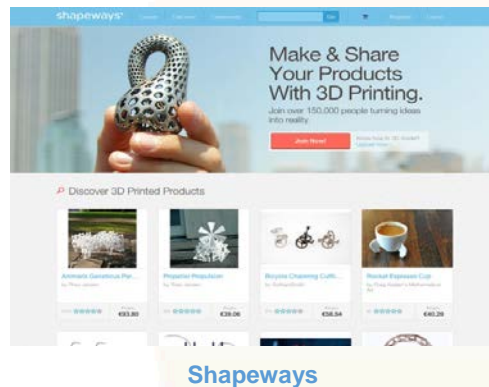
Szerzői jogi és az illegális gyártással kapcsolatos okok miatt a munkavállalók szigorú felügyelete is szükséges. Egy Csillagok háborúja replika játékfigura legyártása a szerzői jogok megsértésével járhat. De vajon ki a felelős: a tervező, a Shapeways vállalat vagy a vevő? Mivel a 3D nyomtatás precíziós folyamatot igényel, a munkavégzés helyét tiszta, rendezett állapotban kell tartani, a

13 <http://www.techrepublic.com/article/why-desktop-3d-printing-still-sucks/>

14 <http://www.cmu.edu/ehs/fact-sheets/3D-Printing-Safety.pdf>

15 <http://www.additivemanufacturing.media/articles/changing-the-rules>

felhasználói felületeken tisztán érthető és értelmezhető utasításoknak kell megjeleníteniük. Könnyen előfordulhatnak programozási vagy a nyomtató beállításával, kalibrálásával kapcsolatos hibák. Ráadásul valamilyen hibásan működő végtermék könnyebben vonhat maga után jogi lépéseket, hiszen a modern fogyasztó nagy mértékben emancipált.



Shapeways

A biztonság szintén külön odafigyelést igényel az új termékek bevezetése során. Vegyük például a „De Kamermarkt”, a holland DUS Architects építész-mérnöki iroda által építészeti célokra kifejlesztett 3D nyomtató berendezést. Ezzel a rendkívül nagy méretű 3D nyomtatóval 50 cm x 50 cm méretű szerkezeti elemek nyomtathatók. Vajon mit jelent ez az építőmunkások biztonsága szempontjából? A bostoni Massachusetts Institute of Technology-n (MIT) Neri Oxman irányításával működik egy Mediated Matters elnevezésű kutatócsoport, amely természetes formákon és konfigurációkon alapuló 3D nyomtatott konstrukciókkal végez kísérleteket. A hibrid gyártás, tehát amikor csak a termék egyes részeit állítják elő 3D nyomtatással, szintén egyre terjed.

A 3D nyomtatóiparban a magánszemélyek és a feltörekvő ágazat által egyaránt használható, univerzális szabályrendszer szintén olyasmiról hiányzik. Kialakításával megoszthatóvá válnának az alkatrészek, ez pedig nemcsak a fenntarthatóság, hanem a biztonságosság javára is válna.

Az olasz-japán Minale Maeda tervezőiroda gyártja a Keystones elnevezésű 3D nyomtatott kötőelemet, amellyel szabványos falapokból bárki összeállíthatja saját bútorait. Az ilyen alkatrészek szilárdságát és szakítószilárdságát validálni és tanúsítani kell. Az effajta új termékeket és módszereket gyakran különleges szakképzettségű munkatársak fejlesztik a vállalatoknál. Felmerül azonban a kérdés, hogy az újítások vajon kinek a szerzői tulajdonát képezik? A megfelelő szabályozás hiánya könnyen feszültségekhez vezethet a munkáltató és munkavállalók között.

A meglévő gyártólétesítmények megújítása 3D nyomtatással költséges nagyberuházásokat igényel. Az előnyt az jelenti, hogy a prototípusok teszteléséhez a későbbiekben nincs szükség az öntőformákkal vagy különleges berendezésekkel kapcsolatos befektetésekre. Az új termékek piaci bevezetése szinte azonnal, viszonylag alacsony költséggel történhet. Az új technikák új lehetőségeket is kínálnak. A 3D toll például egy golyóstoll kinézetű nyomtató, amellyel térben lehet rajzolni. Egészségi és biztonsági okokból az ilyen kézbeillő új 3D nyomtatókat alaposan be kell vizsgálni és szigorúan szabályozni kell, mivel melegeedésük biztonsági kockázatokat rejthet. Egyre több ilyen toll UV fényt használ.

Az ezredfordulón született nemzedék vonzónak tartja az innovatív digitális iparágakat, így a 3D nyomtatást is, ugyanakkor a munkavégzés minőségével kapcsolatos elvárásaik is mások. Általában véve ez azt jelenti, hogy növekvő kereslet lesz a munkavégzésre másképp tekintő fiatalabb munkavállalók iránt, akik a szabadidőt és önfejlesztést nagyobbra becsülik a pénznél és a munkahely biztonságánál. A rövid időtartamú megbízások válnak új etalonná. Ellentételezéseként a fiatal munkavállalók (kreatív) részvételt és dinamikus környezetet igényelnek.

Az effajta állandó újítások és fejlesztések folyamatos kutatás-fejlesztést, valamint befektetést igényelnek a magasan képzett dolgozókból, akiket a betanítás és oktatás során mindvégig naprakészen is kell tartani.<sup>16</sup>

Az alábbi táblázat a 3D nyomtatás biztosította rugalmas és igény szerinti, valamint a hagyományos ipari termelés közötti eltérő munkakörülményeket mutatja.

1. táblázat: Változó munkakörülmények

Hagyományos ipar	Digitális termékelőállítás
Hierarchia	Demokratizált
Központosított	Nyitott
Szabályozott	Felelősség
Termelés központú	Kommunikáció központú
Előléptetés	Képzés
Pénzügyi biztonság, biztos munkahely	Szabadság és rugalmasság

## Mit jelent mindez a munkavállalók és munkahelyeik szempontjából?

A munkahelyek jövője vonatkozásában a 3D nyomtatás (amint a robotika és egyéb automatizált gyártás) kapcsán az a kulcskérdés, hogy vajon kiváltja vagy megváltoztatja-e a munkavégzés jelenlegi formáit? A válasz: igen is, meg nem is.<sup>17</sup>

Igen, mert a gépek átveszik a rugalmas, kézműves termelés helyét. A kézzel végzett munka digitalizálódik. A 3D nyomtatókkal lehetőség nyílik olyan bonyolult és kidolgozott formájú tárgyak gyártására, amelyeket korábban csak képzett iparosok tudtak előállítani. Az anyagok, például a fémek és fa 3D nyomtatásának bevezetésével a hagyományos szakipari munkák elavulttá válnak.

Másfelől nem, mindez nem feltétlenül vezet még nagyobb munkanélküliséghez. Először is: a 3D nyomtatás szintén új munkahelyeket teremt, például a hardvertervezés és gyártás (pl. 3D nyomtatók) és ennél is lényegesebben az olyan szoftverek létrehozása terén, amelyek lehetővé teszik, hogy a gépek végrehajtsák a különböző feladatokat.<sup>18</sup> Emellett a 3D nyomtatás könnyen megnyithatja a világgpiacot is. Ugyanakkor a termelés egyre növekvő mértékben helyben történik. Ennélfogva a korábban alacsonyabb bérszínvonalú országokba kiszervezett munkavégzés visszatérhet Európába. Tehát a szakképzett munkások iránt megnő a kereslet, bár az egyszerű kisipari termékeket előállító munkások iránti kereslet csökkenni fog. Ez a tanult és kevésbé képzett munkások közötti rés növekedését jelenti.

A tényleges munkakörülményeket érintő jelentős változást a műanyagok túlnyomó használata jelenti majd a 3D nyomtatásban. A szintetikus anyagok megfelelő szabályozása és tanúsítása elengedhetetlen. 3D nyomtatással a termelés költséges és időigényes.

Más digitális technológiákhoz hasonlóan (robotok, mesterséges intelligencia stb.) a rutinszerű feladatokat végzők számára a következmények mélyrehatóak lehetnek. A munkavégzés unalmas és

16 <http://www.pwc.com/us/en/technology-forecast/2014/3d-printing/features/future-3d-printing.html>

17 <http://www.tandfonline.com/doi/pdf/10.5437/08956308X5606193>

18 <http://www.forbes.com/forbes/welcome/?toURL=http://www.forbes.com/sites/louiscolumbus/2014/09/15/demand-for-3d-printing-skills-is-accelerating-globally/&refURL=https://www.google.nl/&referrer=https://www.google.nl/>



egyáltalán nem kreatív, amikor száradó festéket bámul az ember. Ugyanakkor a 3D nyomtatás technikailag még mindig viszonylag összetett, és nagy fokú összpontosítást igényel. Könnyű hibázni, és a legapróbb tévedés is a végtermék komoly minőségromlásához vezet.

Az innovációval kapcsolatos hírverés vonzó iparággá teszi a 3D nyomtatást. Sok startup vállalkozáshoz hasonlóan a munkatársak hajlamosak hosszú túlórákat vállalni, emellett könnyen elmosódhat a munkavégzési és nem munkával kapcsolatos tevékenységek közötti határ. A 3D nyomtatásban működő vállalatok többsége fiatal és gyorsan növekvő, ennél fogva alacsonyabb szervezettségű. A munkavállalók szervezését a munkatársak cserélődése nehezíti meg. Mindez az elfogadható fizetések, a munkaidő, valamint a biztonságos és „tiszta” munkakörülmények szempontjából aggályos.

## Saját otthoni vállalkozás indítása

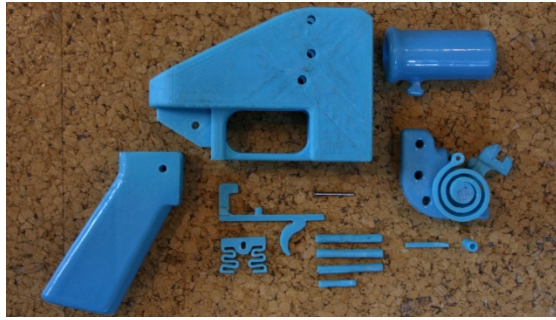
A 3D nyomtatás új, informális termelési láncot vezet be. A demokratikus alapokon szerveződő „gyártói mozgalom” lehetővé teszi az otthoni vállalkozások indítását. A 3D nyomtatásban működő legtöbb kisvállalkozást és startup céget félprofi irányítják, ugyanúgy mint Steve Jobs, aki maga is tapasztalt számítástechnikai vállalkozó volt, amikor garázsából elindította cégét. Együttesen nagy mértékben szervezetlen, nehezen szabályozható ágazatot alkotnak. A 3D nyomtatással foglalkozó egyéni vállalkozók dolgozhatnak otthon vagy informális, professzionális környezet kialakítására alkalmatlan munkahelyen (pl. a garázsban). Nehéz helyzetbe kerül az ergonómia, a tiszta levegő, a munkaidő, valamint az otthon és a munkahely közötti egészséges egyensúly.

Önálló vállalkozóknak a 3D nyomtatásban a bizonytalanság jelenti messze a legnagyobb kihívást. Ha bárki 3D nyomtatással dolgozó gyártóvá válhat, az ilyen *közösségi dolgozók* között kialakuló konkurencia komoly feszültségeket szülhet. A piacon mérhetetlen nehézségek mutatkoznak a 3D nyomtatási szolgáltatások árának szabályozása kapcsán. A gazdasági feszültséget tovább fokozza a szociális jogok és pénzügyi szabályozás hiánya. Ami a kreatív élvonalnak tűnik valójában az új digitális proletariátussá válhat. Ebben a – ahogy az Egyesült Államokban hívják – *giggazdaságban* az önálló vállalkozóként működő 3D nyomdászok egyik megbízatásról ugrálnak a másikra. Komoly a kockázata annak, hogy megjelenik a „vándornyomdászok” modern új osztálya. Még azok az otthoni gyártók sincsenek biztonságban, akik termékük internetes platformokon, pl. az Etsy-n vagy eBay-n történő kínálásával kézben tartják az értékesítést és terjesztést. A régi vágású blokkolóórát leváltja az internetes minősítések miatti stressz. A posztkapitalista gazdaság ígérete a hiperkapitalizmus olyan formáját szülheti, amelyben ugyan sokak irányítják a termelést, de senki sem felügyeli a szociális és gazdasági biztonság alsó határát.

Az ilyen újfajta kisvállalkozások dinamikus, de kimagaslóan bizonytalan munkalehetőségeket kínálnak. Ebben a gyorsan fejlődő iparágban a ma újítása holnapra elavulhat. Azoknál a vállalatoknál, ahol a tervező, gyártó és vállalkozó közötti jogi választóvonal homályos, nem egyértelmű az sem, hogy ki viseli a helytállási felelősséget meghibásodás vagy silány minőség esetén. Ez pedig bizonytalanságot szül a felelősség terén. Azzal, hogy az internetről (illegálisan) letöltve mindenféle termék szabadon elérhetővé vált, felmerülnek a kalózkodás és a szerzői jogi jogsértések is.<sup>19</sup> Szabályozásra és megbízható munkavállalói szerződésekre van szükség. A fenti jogi problémákon kívül felmerül az új etikai dilemmák kérdésköre is. A Liberator Gun maroklőfegyver, amely az ingyenes nyomtatási utasítás internetről letöltése után asztali 3D nyomtatóval kinyomtatható.<sup>20</sup>

19 <https://www.technologysleageedge.com/2015/09/top-3-legal-issues-of-3d-printing/>

20 <http://www.3ders.org/articles/20151130-what-are-the-legal-aspects-of-3d-printing-a-european-law-firm-weighs-in.html>



Liberator Gun

Külön említést igényelnek az ún. „fab-labok” (az angol fabrication lab, azaz gyártólabor kifejezés rövidítése), amelyek digitális és analóg eszközökkel felszerelt szövetkezeti munkatérként működnek. A fab-labok fontos szerepet játszanak az önrendelkezés elősegítésében azzal, hogy bárkinek lehetővé teszik okos eszközök önálló megalkotását. Mondhatnánk, hogy a személyes célokat szolgáló otthoni 3D nyomtatás és az új vállalkozások között hiányzó láncszem. A fab-labok a nagyközönség előtt is nyitva állnak, azzal a feltétellel, hogy a gyártási folyamatot dokumentálni kell. A világszerte működő több, mint 250 fab-lab (Európában 100-nál több van) létrehozta az egyik legnagyobb nyílt forráskódú 3D nyomtatási és egyéb digitális termék-előállítási adatbázist. A fab-labok száma tovább nő. A legtöbb non-profit alapon működik, térítésmentes szolgáltatásokat, pl. tanfolyamokat és workshopokat kínálnak magánszemélyeknek, de a kereskedelmi fab-labok száma is emelkedik. Mivel ezek a munkaterek informális alapon üzemelnek, az előírt munkakörülményeket nem minden esetben elégitik ki. Az ilyen munkahelyeken található érzékeny készülékek, pl. lézervágók és számítógépes esztergagépek miatt külön megfontolást igényel a biztonság. Ezenkívül nem könnyű betartani az alsó korhatárt és munkaidő maximumot.



Fab-lab

## A jövő jelei

Az újabb innováció mélyreható hatást fog gyakorolni a 3D nyomtatásra és a munkakörnyezetre. A bevezetés előtt álló öt legfontosabb innováció:

### Élelmiszerek

A rugalmas gyártás és az alkotói szabadság nagyszerű lehetőségeket kínál az élelmiszeripar számára. Jelenleg főként cseppfolyós élelmiszereket, pl. csokoládét és palacsintatésztát használnak 3D nyomtatáshoz. A közeljövőben a 3D nyomtatást nyers élelmiszerekhez használják majd, amelyek a későbbiekben pl. hőkezelést kapnak, vagy amelyeket természetes eljárásokkal, így például

fermentációval vagy csírázattal dolgoznak fel. Ez új kihívásokat fog támasztani a higiénia, biztonság és általában a munkakörülmények (tisztá levegő, ergonómia stb.) szempontjából.

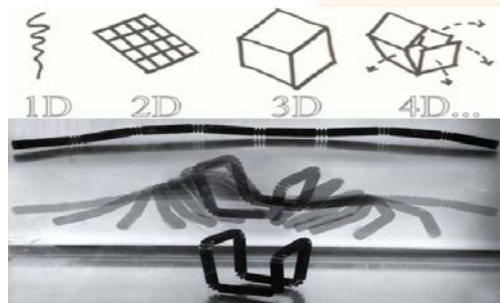


3D élelmiszernyomatás

## 4D nyomtatás és okos anyagok

Az okos anyagoknak egy vagy több olyan tulajdonsága van, amelyek külső hatásra, pl. hőmérsékletre, erőhatásra, fényre, nedvességre, pH-értékre, valamint elektromos vagy mágneses mezőkkel érintkezve jelentősen és szabályozottan megváltoztathatók. 3D nyomtatóval történő gyártás esetén az okos anyagok a környezetükre a külalakjuk, tapintásuk vagy keménységük megváltoztatásával reagáló tárgyakat képesek alkotni. A folyamatot 4D nyomtatásnak hívják, mivel a tárgyak az idő múlásával újra átalakulnak. A változások származhatnak fényvel, nyomással vagy hőmérséklettel szembeni érzékenységből. Az anyagok egy része „emlékező” lehet, azaz a körülmények ismételt megváltozásakor visszaveszik eredeti alakjukat. Sok ilyen anyag nagy mértékben kísérleti, így az egészségi és higiéniai kockázataik bizonytalanok. A szabályozást többször szorgalmazták.<sup>21</sup>

## 4D nyomtatás



4D nyomtatás

## Bioprinting

A szerves és/vagy élő szövetek 3D nyomtatását bioprintingnek nevezik. A bioprinterek jobbra-balra, előre-hátra, illetve fel-le mozgatható bio-nyomtatófejéből adagolnak sejteket pontosan oda, ahol azokra szükség van. Bizonyos idő elteltével ez lehetővé teszi szerves tárgyak felépítését megannyi nagyon vékony rétegből.<sup>22</sup> A sejtek adagolása mellett a bioprinterek nyomtatás közben vagy azután a sejtek megtartása és védelme céljából oldható gélt is ki tudnak préselni. Számos sikeres kísérletet végeztek már el, amelyekben gombákat vagy algákat tartalmazó „élő” anyagokat nyomtattak. Csakúgy, mint az

21 <http://journal.georgetown.edu/programmable-matter-4d-printings-promises-and-risks/>

22 <http://www.explainingthefuture.com/bioprinting.html>

okos anyagok esetén, ez a technika is egészségi és higiéniai kockázatokkal jár. Továbbá etikai kérdéseket is felvet.<sup>23</sup>



Bioprinting

## Nanoprinting

A 3D nyomtatás és a nanotechnológia egyesítésével lehetőség nyílik a tárgyak nano- vagy molekulaszinten történő alakítására. Elméletben ez azt jelenti, hogy az additív gyártás révén lehetséges lesz bármilyen formájú tárgyat legyártani bármiféle anyagból, bármilyen alakban és mennyiségben. Ugyanakkor ez a technika jelenleg csak elméleti lehetőség, tehát minden tekintetben megjósolhatatlan a nanoprinting munkakörnyezetre gyakorolt hatása.

## Következtetések

A 3D nyomtatók hétköznapi hatása a munkahelyek fizikai biztonságára valószínűleg korlátozott marad. Lesznek kockázatok, de aligha várható, hogy a fizikai biztonsággal kapcsolatos új veszélyek jelenjenek meg. Végző soron csupán egy viszonylag kevés manuális szerepvállalást igénylő gépről van szó. Emellett a 3D nyomtatás során felhasznált anyagok többsége és az egészségre – gázkibocsátás, anyagterhelés, anyagkezelés és statikus elektromosság révén – gyakorolt hatásaiik egyaránt ismertek.

A munkavállalók jóllétére kifejtett hatás azonban számottevő lehet. A technológia új kockázatokat teremt a munkahelyi bizonytalanság, a munkaidő, a felelősségvállalás, a feladatok egységisége és rutinszerűsége, az új fejlesztések oktatással és képzéssel történő követése, és a kísérleti berendezések bevezetéséből fakadó biztonsági veszélyek szempontjából. Erősen ajánlott, hogy a munkakörnyezetet érintő mindezen változásokra európai, nem pedig tagállami szinten szülessen válaszintézkedés, mivel a 3D nyomtatás globális gazdasági ágazat. A szerepvállalásnak három szinten kell manifesztálnia:

### 1. Monitoring és ellenőrzés

Milyen újítások várhatók? Mennyire valószínűsíthető az újítás nagy léptékű megvalósítása? A technika szabadalmaztatott vagy egyébiránt le van védve? Meghibásodások esetén ki tartozik helytállási felelősséggel? A felhasznált anyagok eredete ellenőrizhető?

Ez csupán néhány az idővel felmerülő kérdések közül. A 3D nyomtatásban bekövetkező változások figyelemmel kísérése folyamatos párbeszédet igényel az iparággal. Ez legegyszerűbben és legolcsóbban olyan internetes platform megvalósításával érhető el, amelyben a munkavállalók és munkáltatók egyaránt részt vehetnek. Egyéni szinten, például a termékgyártó fogyasztók (öntermelő fogyasztók) eléréséhez a fab-labok óriási európai hálózata vehető igénybe.

### 2. Szabályozás és tanúsítás

<sup>23</sup> <http://www.computerworld.com/article/2486998/emerging-technology/bio-printing-human-parts-will-spark-ethical--regulatory-debate.html>



A 3D nyomtatás dinamikus, alulról szerveződő és időnként kísérleti jellege miatt a szabályozás hiányos. A tanúsítás erőteljes eszköz lehet. Tanúsítással jelenleg csak csúcstechnológiával foglalkozó, a hatalmas beruházásokkal kifejlesztett gyártási módszereiket féltve őrző vállalatok foglalkoznak. Titkolózásuk és szabadalmaztatási gyakorlataik általában nem mozdítják előre a 3D nyomtatást. A 3D nyomtatás munkakörnyezetben történő szabályozását az alábbi okok miatt kell megvalósítani:

#### ▪ **Minőség- és biztonsági ellenőrzés**

A 3D nyomtatást állandóan befolyásolja az új technikák és anyagok fejlesztése. Ez a 3D nyomtatók és a gyártott termékek kapcsán egyaránt biztonsági kockázatokat teremt.

#### ▪ **Felelősség**

Az új technikák és anyagok bevezetése szellemi tulajdonjogi, valamint a munkáltatók és munkavállalók közötti, az alkotások tulajdonjogával kapcsolatos ellentétekhez vezethet. Emellett azzal, hogy a tervek az interneten (többnyire) ingyen elérhetők, a szerzői jogi jogsértésekkel, valamint a hibásan működő vagy silány termékek miatti felelősséggel kapcsolatban új kockázatok is felvetődnek. Típus szerződésekre és jogi tanácsadásra lehet szükség.

#### ▪ **A munkavállalók jólléte**

A világgazdaság és a 3D nyomtatást körülvevő dinamikus startup-hangulat stresszes lehet a munkavállalók számára, akik nagyobb igényekkel szembesülnek a munkaidő, a rugalmasság és felelősségvállalás terén. Mivel a 3D nyomtatóipar leginkább startup-cégekben és új típusú mikrogyárakból tevődik össze, a munkavállalók hagyományos szakszervezeti keretek közötti szervezettsége korlátozott.

#### ▪ **Egészségvédelem és biztonság**

Az anyagfelhasználás és kibocsátások egészségi kockázatokat jelenthetnek.

#### ▪ **A munkahely bizonytalansága**

A kimagaslóan innovatív ágazatokban a munkahelyi bizonytalanság magas lehet. Ez a munkavállalói ismeretek naprakészen tartását célzó képzési lehetőségekkel csökkenthető.

#### ▪ **Szerepvállalás**

Az automatizált gépekkel, például 3D nyomtatókkal végzett munka unalmas és stresszes tud lenni. Az oktatások pozitívan befolyásolhatják a munkavállalók motiváltságát. A 3D nyomtatásban dolgozó munkavállalók általában aránylag fiatalok. Motivációjuk fenntartása érdekében a munkáltatóknak a felelősségmegosztást és a rugalmas munkakörülmények nyújtását célzó külön intézkedéseket kell bevezetniük.

### 3. Képzés és oktatás

Az egyéni munkakörnyezetre vonatkozó kihívások mellett a 3D nyomtatás hihetetlen lehetőségeket is rejt a munkaerőpiaci egyenlőség általános javítására. Hálózati kapcsolatokra és technológiára épülő tudásalapú társadalomban élünk. A technológiát elérők és ismerők, valamint a hozzáférést nélkülözők közötti szakadék egyre nő. Azonban a 3D nyomtatással és a mögötte meghúzódó gyártói mozgalommal az ismeretek elérhetősége az internetnek köszönhetően olcsó és viszonylag egyszerű. A gyártói mozgalomban a legfontosabb kapcsolatrendszerek a fab-labok köré szerveződnek. A fab-labokkal ismeretterjesztési és képzési célból kialakított együttműködés révén a növekvő „technológiai olló” áthidalható, ez pedig egyenlőbb munkaerőpiachoz fog vezetni. Az európai gazdaság

szempontjából ez különösen releváns, hiszen ebben az összefüggésében az egyén szerepe, a nyitottság és az innováció jelentik a fő célokat.

## További információ

- *Printing Things. Visions and Essentials for 3D Printing.* Dries Verbruggen (editor). ISBN 9783899555165. Gestalten, 2015
- *Open Design Now: Why Design Cannot Remain Exclusive.* Lucas Evers & Bas van Abel (editors). ISBN 9789063692599. BIS Publishers, 2011
- *The Third Industrial Revolution: How Lateral Power Is Transforming Energy, the Economy, and the World.* Jeremy Rifkin. ISBN 9780230341975. St. Martin's Griffin, 2013
- *Fabricated: The New World of 3D Printing.* Hod Lipson & Melba Kurman. . ISBN 9781118350638. Abe Books, 2013
- *Makers: The New Industrial Revolution.* Chris Anderson. ISBN 9780307720962. Crown Business Publishers, 2012
- *The Maker Movement Manifesto: Rules for Innovation in the New World of Crafters, Hackers, and Tinkerers.* Mark Hatch. . ISBN 9780071821124. MacGraw-Hill Education, 2013
- *3D Printing: The Next Industrial Revolution.* Christopher Barnatt. . ISBN 9781484181768. Create Space Independent Publishers, 2013
- *Postcapitalism: A Guide to our Future.* Paul Mason. ISBN 9781846147388 Allen Lane Publishers, 2011

*A jelen vitaanyag a Jeroen Junte által jegyzett hosszabb cikk összefoglalóján alapul, és magában foglalja az ügynökség fókuszpont-hálózatából érkezett anyagokat.*

*A cikk az Európai Munkahelyi Biztonsági és Egészségvédelmi Ügynökség (EU-OSHA) megbízásából készült. Tartalmáért, beleértve a benne megfogalmazott véleményeket és/vagy következtetéseket a szerző(k) felel(nek), és nem feltétlenül tükrözik az EU-OSHA álláspontját.*