

◀	Tartalom	Fogalmak	Törvények	Képletek	Lexikon	▶
---	--------------------------	--------------------------	---------------------------	--------------------------	-------------------------	---

A hulladékgazdálkodás fizikai vonatkozásai

Az emberi tevékenység során (pl. mezőgazdasági termelésben, iparban, kereskedelemben stb.) számos hulladék keletkezik. Például a megtermelt búzának csak a magját fogyasztjuk, a szalma az élelmiszer előállítás szempontjából hulladék. Fémek esztergályozásnál a keletkező fémgorgács ugyancsak hulladék. A kereskedelemben és a szállításban a felhasznált csomagolóanyagok végül szintén hulladékká válnak. A hulladék elkerülésével, csökkentésével, újra történő használatával, újrafeldolgozásával és ártalmatlanításával kapcsolatos tevékenységeket együttesen *hulladékgazdálkodásnak* nevezzük. A hulladékgazdálkodásnak fontos szerepe van környezet megóvásában, mert a hulladékok kisebb-nagyobb mértékben mindig *szennyezik a környezetet*, és gyakran egészségkárosító hatásuk sem hanyagolható el. Ezen kívül az átgondolt hulladékgazdálkodással rengeteg *energia takarítható* meg. A következőkben áttekintjük a hulladékgazdálkodás néhány fizikai vonatkozását.

1. A megtettesült energia

Az emberi tevékenység során használt anyagok előállításához több-kevesebb energiára van szükség. Például a vasgyártáshoz ki kell bányászni a vasércet és a szenet, ezeket a vaskohóhoz kell szállítani, és a kohóban a szenet (energiahordozó) elégetve nyersvasat lehet előállítani. Az alumínium ipari előállítása során a bauxit kibányászásához, szállításához,



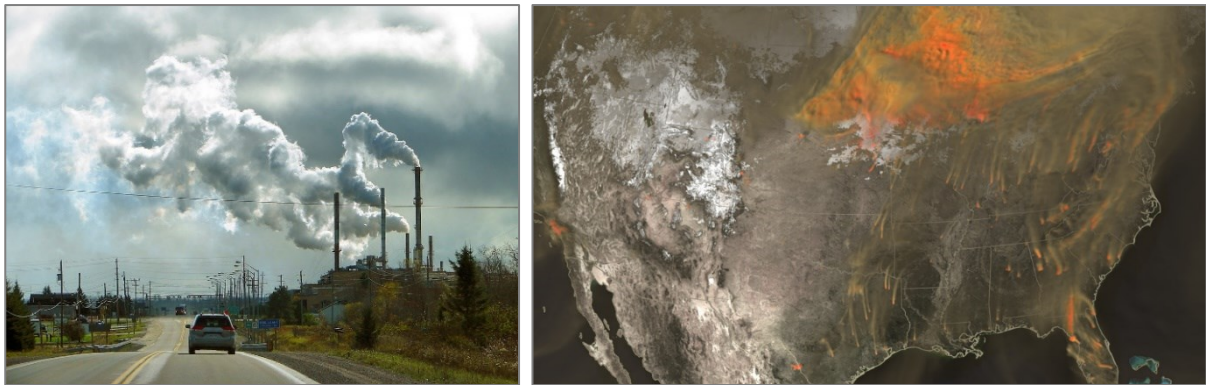
timföldé alakításához energia kell. Az *Áramvezetés folyadékokban*. Az *elektrolízis* című fejezetben láttuk, hogy a timföldből az alumíniumot elektrolízissel állítják elő, amely rendkívül sok elektromos energiát igényel. Egy épület, gépkocsi vagy számítógép előállításához is energiára van szükség. Általánosságban valamely *termék* előállításához, szállításhoz, tároláshoz, értékesítéshez és ártalmatlanításhoz felhasznált összes energiát *megtettesült energiának* nevezzük.

A különféle anyagoknál a megtettesült energia a test tömegétől is függ. Emiatt az *anyagok* jellemzésére többnyire a fajlagos megtettesült energia fogalmát használják. Egy anyag *fajlagos megtettesült energiájának* nevezzük az adott anyagból készült test megtettesült energiájának és tömegének a hányadosát. Néhány anyag fajlagos megtettesült energiája (és fajlagos szén-dioxid kibocsátása) a *Kiegészítések* 1. pontjában is megtalálható.

Egyszerűen belátható, hogy a hulladékok begyűjtésével és újrahasznosításával tekintélyes mennyiségű energia takarítható meg. Például az alumíniumból készült sörösdobozok, üdítőitalos dobozok begyűjtésével/visszaváltásával megtakarítható az alumínium elektrolízissel történő előállításának energiaköltsége. Hasonló, de kisebb megtakarítás érhető el más fémek újrahasznosítása során is.

2. Szén-dioxid kibocsátás

A különféle anyagok előállítása több-kevesebb szén-dioxid kibocsátásával jár együtt. Például a vasgyártáshoz ki kell bányászni a vasércet és a szenet, ezeket a vaskohóhoz kell szállítani, és a kohóban a szenet (energiahordozó) elégetve nyersvasat lehet előállítani. A bányákban használt munkagépek, és a szállítójárművek azonban többnyire üzemanyag elégetésével működnek, így szén-dioxidot bocsátanak ki. A vaskohóban szén elégetésével állítják elő a nyersvasat, ebben a folyamatban szintén szén-dioxid keletkezik.



Az egyes anyagok gyártásánál azonban a szén-dioxid-kibocsátás a test tömegétől is függ. Emiatt az *anyagok* jellemzésére többnyire a fajlagos szén-dioxid-kibocsátás fogalmát használják. Egy anyag *fajlagos szén-dioxid-kibocsátásának* nevezzük az adott anyagból készült test előállításakor kibocsátott szén-dioxid tömegének és a test tömegének a hányadosát. Néhány anyag fajlagos szén-dioxid kibocsátása (és fajlagos megtettesült energiája) a *Kiegészítések* 1. pontjában is megtalálható.

Az üvegházhatás című fejezetben láttuk, hogy az emberi tevékenység miatt megnövekedett szén-dioxid szint következtében a Föld átlaghőmérséklete folyamatosan emelkedik. Körültekintő hulladékgazdálkodással az emberi eredetű szén-dioxid-kibocsátás csökkenthető. Például a vashulladék visszagyűjtésével és újrafeldolgozásával elkerülhető a bányászattal és a nyersvasgyártással együttjáró szén-dioxid-kibocsátás (és energiafelhasználás). A műanyagok többségének (szelektív) gyűjtésével és újrahasznosításával szintén csökkenthető az emberi eredetű szén-dioxid-kibocsátás (és a környezet szennyezése is).

3. A hulladék keletkezésének elkerülése és csökkentése

Gyakran egy termék több különböző módon, különböző alapanyagokból is előállítható, és a különféle gyártási folyamatoknak eltérő anyag- és energiaszükséglete van. Ezek közül célszerű az anyag- és energiatakarékos eljárásokat választani. Például egy edény esztergályozással is elkészíthető lenne, de ehhez rengeteg anyagot kellene eltávolítani egy fémtömb belsejéből. Ez rendkívül sok hulladékkal járna, és rengeteg energiát kellene hozzá felhasználni. Öntéssel nem lehetne kellően sima és vékony fémfelületet előállítani, ezért az edényeket fémtömbből vagy fémlapból hidegalakítással (pl. mélyhúzással) alakítják ki. Így gyakorlatilag alig keletkezik hulladék, és a gyártás viszonylag kevés energiát igényel.

A keletkező hulladék mennyisége megfelelő informatikai támogatással szintén csökkenthető. Például számítógépes tervezőprogramokkal a bútorlapok, fémlemezek vagy textilszövetek *feldarabolása* megtervezhető úgy, hogy a lehető legkevesebb hulladék keletkezzen.

A csomagolóanyagok többsége a termék megvásárlása után szintén hulladékká válik. Az így keletkező hulladék mennyisége azonban gyakran lényegesen csökkenthető, ha az adott terméket nagyobb kiserelésben vásároljuk meg. Ennek alapvetően az az oka, hogy a *hasonló testek felszínei, illetve térfogatai* úgy aránylanak egymáshoz, mint a megfelelő hossz méreteik négyzetei, illetve köbei. Képlettel:

$$A_1 : A_2 = l_1^2 : l_2^2 \qquad \text{és} \qquad V_1 : V_2 = l_1^3 : l_2^3 .$$

A szükséges csomagolóanyag mennyisége megközelítőleg a felszínnel arányos, a tömeg viszont a térfogattal. Ha az első termék kétszer akkora tömegű (térfogatú), mint a második, akkor az előző képlet alapján:

$$V_1:V_2 = l_1^3:l_2^3 = (l_1:l_2)^3 = 2 \quad \Rightarrow \quad l_1:l_2 = \sqrt[3]{2}.$$

A szükséges csomagolóanyagok aránya tehát:

$$A_1:A_2 = l_1^2:l_2^2 = (l_1:l_2)^2 = (\sqrt[3]{2})^2 = 1,587 \dots \approx 1,6.$$

A kétszer nagyobb tömegű (térfogatú) termék becsomagolásához tehát nem kétszer, hanem csak 1,6-szor annyi csomagolóanyag kell. Ehhez hasonlóan belátható, hogy tízszer nagyobb tömegű termék becsomagolásához nem tízszer annyi, hanem csak $(\sqrt[3]{10})^2 \approx 4,6$ -szor több csomagolóanyag kell. (Geometriailag hasonló csomagolást feltételezve.)

4. A hulladék újra történő használata

Egyes gyártási folyamatoknál a keletkező hulladék azonnal, *további feldolgozás nélkül újra felhasználható*. Ezáltal a nyersanyagban megtestesült energia megtakarítható.

A folyadékok (például italok) csomagolására gyakran üvegpalackot használnak. Az üvegpalackok (tisztítás után) gyakorlatilag korlátlan alkalommal újratölthetők. Ezzel megtakarítható a palackban megtestesült energia, de ehhez vissza kell őket gyűjteni a fogyasztóktól a visszagyűjtés szállítással, és ebből adódóan energiateljesítéssel, valamint környezetszennyezéssel jár együtt. A visszagyűjtés tehát csak akkor gazdaságos, ha a szállítási távolság nem túl nagy. Egy ausztrál bor palackját például nem célszerű visszaszállítani Magyarországról Ausztráliába. (Kérdés persze az is, hogy környezetvédelmi szempontból érdemes-e palackozott bort szállítani Ausztráliából Magyarországra.)

4. A hulladék újrafeldolgozása

Bizonyos hulladékok csak *további feldolgozás után hasznosíthatók újra*. Ez a feldolgozás néha csak az anyag újraolvasztását jelenti, más esetekben bonyolultabb technológiai folyamatok is szükségesek. Az újrafeldolgozáskor azonban a hulladékban megtestesült energia egy része megtakarítható.

A fémöntvényekben általában a szükségesnél több fémet olvasztanak meg, hogy az elkerülhetetlen veszteség mellett is elegendő anyag maradjon az öntvény elkészítéséhez. A megmaradt olvadt fémet az öntés után erre a célra használt „vályúkba” öntik, ahol az megszilárdul. Az így keletkező fémrudakat (és az esetlegesen keletkező selejtes öntvényeket) későbbi öntéseknél újra megolvasztva hasznosítják.

Hasonlóan felhasználják az üvegyárak a selejtes (megrepedt vagy eltört) késztermékek anyagát. A műanyagokból gyakran fröccsöntéssel állítanak elő termékeket, a selejtes darabokat és a gyártás során keletkező hulladékot itt is felhasználják.

Az üvegből vagy műanyagból (PET) készült palackokat, az alumínium és acél italosdobozokat szelektív módon visszagyűjtve szintén megtakarítható az üveg, a műanyag, az alumínium és az acél előállítására fordított energia egy része. Az alumíniumnál ez különösen gazdaságos, mert annak fajlagos megtestesült energiája viszonylag nagy.



A papír szelektív gyűjtésével a papírgyárak faigénye számottevően csökkenthető. Ráadásul ez az eljárás jóval kevesebb energiát és vizet igényel, mint a papír fából történő előállítása



Az elektronikai hulladékok többféle fémeket, elsősorban rézet, ónt, cinket, vasat, alumíniumot, továbbá aranyat tartalmaznak, de jelentős a műanyag-tartalmuk is. A fémek újrahasznosítása gazdasági szempontból is jelentős, de környezetvédelmi okok miatt az elektronikai hulladékok szelektív gyűjtése kiemelten fontos.

Hasonló a helyzet az elemekkel, akkumulátorokkal, fénycsövekkel (higanytartalom!), gumiabronccsal és a leselejtezett járművekkel is. Ezek szelektív gyűjtésével és újrafeldolgozásával szintén jelentős energia takarítható meg, és csökkenthető a környezetszennyezés is. A szelektív visszagyűjtéssel kapcsolatban azonban figyelembe kell venni, hogy a visszagyűjtés is energiafelhasználással és környezetszennyezéssel jár.

4. A hulladék ártalmatlanítása

Bizonyos hulladékok nem hasznosíthatók újra, ezeket (különösen a veszélyes hulladékokat) ártalmatlanítani kell, hogy ne okozhassanak környezetszennyezést. Az ártalmatlanításnak a hulladék fajtájától függően több formája lehetséges.

A *komposztálás* a szerves, lebomló hulladékok (pl. konyhai zöldségek, élelmiszeriparban keletkező hulladékok, kerti- és növénytermesztési hulladékok stb.) ártalmatlanítására használható. A folyamat végterméke a komposzt, mely tápanyagdús talajjavító anyag.

A *biológiai kezelés* során mikroorganizmusok vagy enzimek segítségével bontják le a hulladékot. Biológiai kezelést alkalmaznak például a szennyvíztisztításnál is.

Égetéskor magas hőmérsékleten égetik el a (veszélyes) hulladékot, így abból kevésbé veszélyes, kevésbé szennyező vagy ártalmatlan égéstermék keletkezik, az égéskor felszabaduló hő pedig hasznosítható. Égetéssel ártalmatlanítják például a fel nem használt gyógyszereket, vegyi anyagokkal szennyezett hulladékokat, fertőző anyagokat. A mezőgazdasági hulladékok egy részét (faapríték, szalma) energiatermelés céljából szintén elégetik. Az égetés hatékonyan csökkenti a hulladék térfogatát, de az égéstermékek (gázok és hamu) kibocsátása komoly környezeti és egészségügyi kockázatot jelent, ezért szigorú kibocsátási határértékekhez kötöttek. (A lenti képeken a kommunális hulladékkal és földgázzal működő észtországi Iru Erömű épületei, illetve hulladékfogadó részlege látható.)



A *lerakás* akkor használható, ha más ártalmatlanítási módszerek nem lehetségesek. A hulladékot ebben az esetben speciális lerakókba helyezik, ahol biztosítják a környezetszennyezés megelőzését. Például a bányászat során keletkező *meddőt* (az adott ásványt nem tartalmazó kőzetet) meddőhányókban tárolják. Ugyancsak lerakóba kerül a timföldgyártás melléktermékeként keletkező vörösiszap, illetve a hőerőművekből kikerülő salak is. A különféle *radioaktív hulladékok* nagy részét speciális lerakókba

helyezik el, mert a radioaktivitás égetéssel vagy más vegyi folyamatokkal nem befolyásolható, így a hulladék aktivitása nem csökkenthető.

A komposztálásnál, a biológiai kezelésnél és a kommunális hulladék lerakókban *biogáz* keletkezik, amely többféle gáz keveréke. Ennek fő alkotóeleme a metán, amely levegővel keveredve robbanásveszélyes lehet, de oxigénmentes környezetben, zárt tartályban biztonságosan felfogható. A biogáz elégetve hőfejlesztésre vagy villamos energia termelésére is felhasználható.



Kiegészítések

1. Néhány anyag fajlagos megtettesült energiája és fajlagos szén-dioxid kibocsátása:

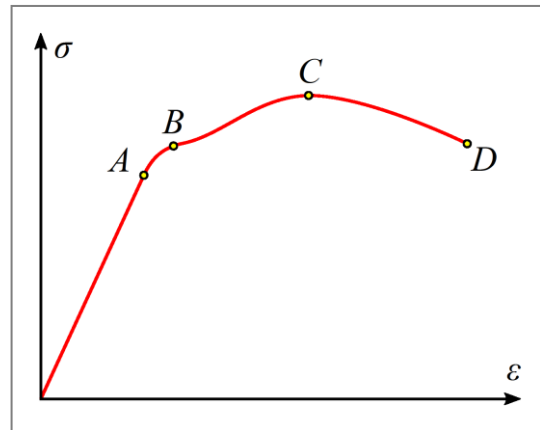
Anyag	Fajlagos megtettesült energia ($\frac{\text{MJ}}{\text{kg}}$)	Fajlagos CO ₂ kibocsátás ($\frac{\text{kg}_{\text{CO}_2}}{\text{kg}}$)
Alumínium (33%-ban újrahasznosított)	155	8,24
Habosított polisztirol szigetelés	88,6	2,55
PVC	77,2	2,41
Rozsdamentes acél	56,7	6,15
Réz (37%-ban újrahasznosított)	42	2,6
Vas	25	1,91
Acél (átlagosan újrahasznosított)	20,1	1,37
Üveg	15	0,85
Tégla	3	0,24
Beton	1,11	0,159

2. A mélyhúzás folyamatát bemutató *YouTube* videó itt található:

<https://youtube.com/shorts/BIZUR4olTlc?si=aDNdPn-WDD59wLVJ>.

3. Korábban *A rugalmas nyújtás törvényei* című fejezet *Kiegészítések 4.* pontjában láttuk,

hogy ha az alakváltozást okozó erők elég nagyok, akkor a szilárd test alakváltozása maradandó lesz. A mélyhúzásnál az alakváltozást okozó rugalmas feszültség (σ) meghaladja a *B* rugalmasság határát (ezért a fenti videóban fémlap nem nyeri vissza az eredeti alakját), de kisebb a *C* szilárdsági határnál (ezért nem szakad/törik el).



4. A bútortlapok, fémlemezek vagy textilszövetek optimális (legkevesebb hulladékot eredményező) feldarabolását megtervező programok adataival közvetlenül vezérelhetők a lapszabásgépek, lézeres vágógépek stb. Ezek a berendezések a képernyőn is információkat adhatnak a gép kezelőjének az elvégzendő feladatokról. Egy ilyen, bútortlapok darabolására használható lapszabásgép működését bemutató *YouTube* videó itt található: <https://www.youtube.com/watch?v=WvR2Pn0ldNCg>.

5. Láttuk, hogy nagyobb kiszereelésben árusított termék csomagolásához arányaiban kevesebb csomagolóanyag kell. Ezt szemlélteti a képen látható két tejfölöspohár is, melyek *geometriailag hasonlóak* egymáshoz. A két pohár legfontosabb adatait az alábbi táblázat tartalmazza.



	h (mm)	D (mm)	d (mm)	m (g)	m_0 (g)
Nagy	119	95	65	450	10
Kicsi	86	73	50	175	5,5
Arányuk	1,38	1,30	1,30	2,57	1,82

A nagyobb pohárban 2,57-szer nagyobb tömegű (és térfogatú) tejföl van. Ebből a hosszmeretek aránya kiszámítható:

$$V_1:V_2 = l_1^3:l_2^3 = (l_1:l_2)^3 = 2,57 \quad \Rightarrow \quad l_1:l_2 = \sqrt[3]{2,57} \approx 1,37.$$

A táblázat adatai alapján megállapítható, hogy a tejfölsopoharak magassága (h) szinte pontosan, a felső és alsó átmérője (D és d) közelítőleg megfelel ennek a feltételnek. A poharak felszínének aránya ebből az adatból szintén kiszámítható:

$$A_1:A_2 = l_1^2:l_2^2 = (l_1:l_2)^2 = \left(\sqrt[3]{2,57}\right)^2 \approx 1,88.$$

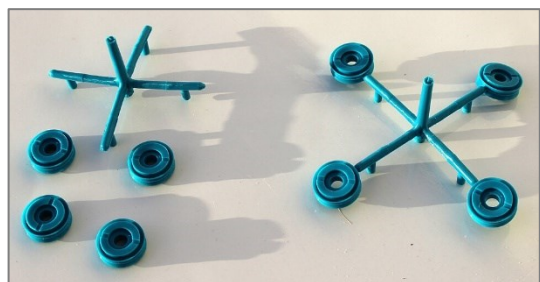
Ha a két tejfölsopohár anyaga megegyezik, és falvastagságuk is ugyanakkora, akkor a poharak tömegének (m_0) az aránya is ekkora, azaz 1,88. A táblázatból megállapítható, hogy a tejfölsopoharak ténylegesen mért tömegének aránya gyakorlatilag ugyanez az érték 1,82.

Mindezek az eredmények is azt szemléltetik, hogy a *nagyobb kiserelés csomagolásához arányaiban kevesebb csomagolóanyag szükséges*. A példában 2,57-szer több tejfölsopoharhoz csak 1,82-szer több csomagolóanyag kellett, ez 29%-kal kevesebb műanyag felhasználását eredményezi.

6. A *harangöntés* után a megmaradt bronzot fémvályúba öntik. Megszilárdulás után így az értékes bronz később újra felhasználható. A fotó az ausztriai Innsbruckban található *Grassmayer* harangöntő üzemben készült, melyben 1599 óta készítenek harangokat. A harangöntés közben megfigyelhető hőtani jelenségekről készült *PowerPoint* bemutató itt érhető el: https://www.fizkapu.hu/fiztan/toltes/t_0013.html.



7. A fröccsöntés során a megolvasztott műanyagot megolvasztják, majd nagy nyomással szétnyitható formába préselik. Apró termékeknél azonban többnyire egy formában egyszerre több terméket állítanak elő, ezekhez vékony csövek vezetik a



folyékony műanyagot. A csövekbe került műanyag megszilárdulás után összekötő rudakat képez az egyes termékek és a befecskendezés helye között. Ezeket eltávolítják (levágják, letörik) és később megolvasztva újra felhasználják.

8. A Magyarországon keletkező, *kis és közepes aktivitású radioaktív hulladékot a Bataapátiban található radioaktív hulladék-tárolóban* helyezik el. A hulladék számottevő része a *Paksi Atomerőmű* üzemeltetése során keletkezik, de a leszereléskor keletkező radioaktív anyagokat is itt kell majd elhelyezni. A szilárd halmazállapotú hulladék többségét 200 literes acélhordókban, tömörített formában tárolják. A folyékony radioaktív hulladékot szilárdítják, mielőtt a tárolóba szállítják.



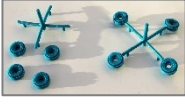
A tárolót a 360 millió éves *Mórággyi rög* nevű gránitképződményben alakították ki. A mintegy 250 méteres mélységben kialakított felszín alatti kamrákhoz 1,7 km hosszú lejtős akna vezet. Ez a természetes földtani gát és az alkalmazott mérnöki gátak (hordó, vasbeton konténerek, vasbeton medence, tömedékelés stb.) együttese szavatolja, hogy a radioaktív izotópok csak igen hosszú idő alatt juthatnak ki a tárolóból, és évezredekbe telik, mire a vízzel való érintkezés következtében, erősen lecsökkent koncentrációval eljuthatnak a felszínre. Ezalatt a radioaktív izotópok olyan mértékben lebomlanak, hogy a továbbiakban nem jelentenek kockázatot az egészségre.

9. *Nagy aktivitású radioaktív hulladékok* közé elsősorban a kiégett nukleáris fűtőelemek és azok feldolgozásából származó anyagok tartoznak. Ezek jelentős hőtermeléssel rendelkeznek, és hosszú felezési idejű izotópokat tartalmaznak, ezért különleges tárolást igényelnek. Ugyancsak nagy aktivitású radioaktív hulladéknak minősülnek egyes ipari vagy orvosi sugárforrások (pl. kobalt-60, cézium-137), amelyek hosszú élettartamúak és nagy aktivitásúak. A nagy aktivitású radioaktív hulladékot Magyarországon jelenleg (2025) csak *átmeneti tárolókban* őrzik, végleges mélységi geológiai tároló még nem épült. A hosszú távú megoldás előkészítése folyamatban van.

A *paksi atomerőmű* elhasznált nukleáris fűtőelemeit először a reaktorok mellett található *pihentetőmedencékben* tárolják. Ezekben vízűtés biztosítja az üzemanyagrudakban keletkező hő elvezetését, és a víz elnyeli az üzemanyagból származó neutronsugárzást is. Amikor az aktivitás kellően alacsony szintre csökken, a fűtőelemek a *Kiégett Kazetták Átmeneti Tárolójába* kerülnek. Itt levegőáramláson (hőáramláson) alapuló passzív hűtés elszállítja a maradékhőt, így nincs szükség aktív, árammal működő hűtőrendszerre. Ez a megoldás lényegesen biztonságosabb, mint az aktív hűtés, mert áramkimaradás esetén is működik.

Képek jegyzéke

	<p>Vasércbánya (Eisenerz, Ausztria) W https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Erzberg3_2017-04-31.jpg</p>
	<p>Ipari üzem szén-dioxid kibocsátása (Englehart, Canada) W https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Englehart_ON_2.JPG</p>
	<p>Műholdkép az USA szén-dioxid kibocsátásáról (NASA videó képkockája) © http://www.fizikakonyv.hu/fotok/0049.jpg <i>Videó:</i> © https://svs.gsfc.nasa.gov/5196/</p>
	<p>Újrafelhasználásra váró fém italosdobozok W https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Base_occupants_dispose_more_than_5_tons_of_trash_and_recyclables_at_Camp_Pendleton%27s_Recycling_Center_on_a_daily_basis.jpg</p>
	<p>Újrafelhasználásra váró papír egy papírgyárban (Fulda, Németország) W https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Fulda_-_Paper_Recycling_Centre_(2).jpg</p>
	<p>Elektronikai hulladék (hálózati adapterek) W https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Steckernetzteile.jpg</p>
	<p>Az Iru Hőerőmű épületei (Iru, Észtország) W https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Iru_power_plant.jpg <i>Az erőmű a Google térképen:</i> https://maps.app.goo.gl/bhNiNJbSekdVG3pz5</p>
	<p>Az Iru Hőerőmű hulladékfogadó csarnoka (Iru, Észtország) W https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Waste_hall_-_in_Iru_Thermal_Power_Plant.jpg</p>

	<p>Biogáz erőmű (Pasodėlė, Litvánia) W https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Pasodele-6.jpg <i>Az erőmű a Google térképen:</i> https://maps.app.goo.gl/KHBGYRtEVhXQYW8F9</p>
	<p>Feszültség–relatív megnyúlás grafikon © http://www.fizikakonyv.hu/rajzok/0204.svg</p>
	<p>Eltérő méretű tejfölöspoharak © http://www.fizikakonyv.hu/fotok/0050.jpg</p>
	<p>Maradék bronz kiöntése (Grassmayr harangöntöde, Innsbruck, Ausztria) © https://www.fizkapu.hu/fizfoto/fotok/fizf0460.jpg <i>Az öntöde a Google térképen:</i> https://maps.app.goo.gl/RwehACFvoMnU3m536</p>
	<p>Fröccsöntött alkatrészek (balra lent) és a hulladék (balra fent) W https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Spritzguss_teile.jpg</p>

Jelmagyarázat:

© **Jogvédelem** anyag, felhasználása csak a szerző (és az egyéb jogtulajdonosok) írásos engedélyével.

W A *Wikimedia Commons*-ból származó kép, felhasználása az eredeti kép leírásának megfelelően.