

A KERÉK KÉSŐI FELTALÁLÁSA ÉS A TERMÉSZETES MINTÁK HIÁNYA, MINT TECHNOLÓGIAI KORLÁT

THE LATE INVENTION OF THE WHEEL AND THE LACK OF NATURAL PATTERNS AS A TECHNOLOGICAL CONSTRAINT

Dr. Dömötör Csaba*

ABSTRACT

The article analyses the hypothesis that the main reason for the late appearance of the wheel for transportation is that there is no direct model in nature that humans could have copied. Therefore, the wheel is more of an abstract, engineering breakthrough than a biomimetic invention. In this study, we will see whether we can still recognise structures in nature that resemble wheels.

1. BEVEZETÉS

A mérnöki gyakorlatban gyakran létező megoldások másolásával, átalakításával, fejlesztésével, röviden adaptálásával hozunk létre új szerkezeteket. Az ötlet forrása sokszor a természet, hiszen benne az evolúció során kifejlődött és akár évezredek alatt tökéletesedett megoldások állnak rendelkezésünkre. Számos emberi találmány ezért a természet által inspirált tudatalatti intuíció hatására jött létre. A tengely-kerék kapcsolat azonban nem ilyen.

Ez a cikk azt a hipotézist vizsgálja meg, miszerint a kerék késői megjelenésének egyik oka az lehetett, hogy természetben nincs rá közvetlen minta, amit az ember lemásolhatott volna.

2. PROBLÉMAFELVETÉS

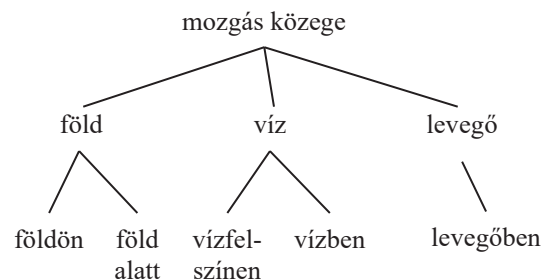
A történészek, antropológusok és mérnökök többsége egyetért abban, hogy a kerék feltalálása viszonylag későn történt meg az emberiség technológiai fejlődéséhez képest. Az első ismert kerék nyomai i.e. 3500 környékéről. Mezopotámiából származnak, de azt még nem köz-lekedésre, hanem fazekaskorongként használták. A helyváltoztatásra használt kerek járművek csak 500 évvel később, i.e. 3000 körül jelentek meg. Ekkorra az emberiség már:

- mezőgazdasági tevékenységet folytatott (kb.i.e.10000),
- több szintes épületeket épített (kb.i.e.7500),
- öntözőrendszereket használt (kb.i.e.6000),
- fémeket munkált meg (kb.i.e.5000),
- városokat alapított (kb.i.e.4000),
- írást fejlesztett ki (kb.i.e.3200),
- komplex társadalmakat hozott létre (kb.i.e.3000).

3. HELYVÁLTOZTATÁS KÖZEGEI

A természeti rendszerek többségének működéséhez hozzá tartozik a mozgás valamilyen szabad szemmel látható vagy mikroszkopikus formája. Ezek tanulmányozását jelen vizsgálat szempontjából célszerű leszűkíteni a kifejezetten helyváltoztatást megvalósító mechanizmusok vizsgálatára. A helyváltoztatás különböző halmazállapotú közegekben jöhet létre, ami az 1. ábrán bemutatott rendszerezés alapját jelenti.

A közeg halmazállapota, sűrűsége és egyéb jellemzői befolyásolják a rajta vagy benne történő mozgást. Egy test mindig részben vagy egészben egy másik közeg belsejében mozog, amiben rá olyan erő hat, amely a mozgását általában akadályozni igyekszik. Ez az elmozdulás irányával párhuzamos, de vele ellentétes irányú erőkomponens a közegellenállási erő, amit az élőlények energiafelhasználásuk optimalizálásához mindig minimálisra igyekeznek csökkenteni.



1. ábra A helyváltoztatás csoportosítása a mozgó test és a közeg viszonya szerint

De több lehetőség is kínálkozik a mozgásból származó járulékos jelenségek, így például a test adott közegben való relatív elmozdulásának irányára merőleges komponensek kiaknázására is. Megemlíthető a dinamikai felhajtóerő vagy a leszorító erő, melyek a mérnöki megoldásokban és az élőlények esetében egyaránt könnyen munkavégzésre bírhatók. Ehhez hasonlóan a nyugvó folyadékokban és gázokban megfigyelhető felfelé irányuló felhajtó erő, illetve a Föld tömegvonzásából származó lefelé irányuló nehézségi erő is mozgás elősegítője lehet, ahogyan az áramló közegek

* egyetemi docens, Miskolci Egyetem Gép- és Terméktervezési Intézet

impulzuserő hatására létrejövő szállítóképességének kihasználása is gyakori az élővilágban.

4. A KÖZEGELLENÁLLÁS LEGYŐZÉSE

Levegőben és vízben történő nagyobb sebességű mozgás esetén az egyik legfontosabb feladat a közegellenállás legyőzése. Az ember már nagyon hamar rájött arra, hogy a közegellenállási erő mértéke nagyban függ az azonos körülmények között mozgó objektumok alakjától. Mivel a közeg sűrűségén és a kívánt sebességen nehézkes változtatni, az erő csökkentéséhez célszerű a test alakjának minél áramvonalasabb kialakítása. Ez az oldalfelületen létrejövő súrlódási ellenállás csökkentésével, valamint a kialakuló áramlás test előtti lassulásának, illetve a test mögött létrejövő örvénylésnek minél hatékonyabb kiküszöbölésével érhető el. Amikor ezzel ellentétben a közegellenállási erő kihasználása a cél, akkor is a test alakjának megváltoztatása jelenti a legegyszerűbb megoldást, hiszen a relatív áramlás irányára merőleges keresztmetszet növelésével egyenes arányban nő a testre ható erő nagysága is.

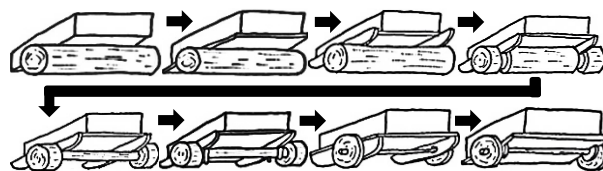
5. MOZGÁS SZILÁRD FELÜLETEN

Amikor szilárd felületen történik a helyváltoztatás, legegyszerűbb esetben a felület közel vízszintes, tömör és viszonylag nagy súrlódási tényezővel bír. A feladat specializálódik, ha a talaj kevésbé masszív (pl. homokdűne), ha nagyon kicsi a súrlódási tényező (pl. jég), vagy ha a felület a vízszinteshez képest nagyobb szöget zár be (pl. sziklafal). Szükségszerűen a természetben minden esetre alakultak ki megoldások.

A Mezopotámiából, azaz a mai Irak területéről származó régészeti bizonyítékok alapján szilárd talajon történő mozgáshoz a mérnökök az i.e. 3000-es évek óta terveznek kerekeken guruló járműveket. Egy 2015-ös kutatás szerint viszont akár már i.e. 3900 környékén is megjelenhetett az első helyváltoztatásra használt kerék a Kárpátok rézérc bányáiban Délkelet-Európában. A térségben végzett ásatások során több agyagból készült négykerékű kocsimodellt találtak a régészek, ami szintén megerősíti ezt a feltételezést [2, 3].

Ez alapján a kerék meglehetősen régi találmánynak tűnik, a kutatók mégis úgy vélik, hogy az emberi civilizáció technológiai színvonalának fejlődéséhez képest a tengely-kerék kapcsolatot viszonylag későn sikerült kifejleszteni [1].

Ennek oka bár összetett, viszont jelen vizsgálat feltételezéséből kiindulva egyértelműnek tűnik, hogy mindehhez nagyban hozzájárulhatott az a tény is, hogy a kerékre az élővilágban mai napig nem találtak olyan funkcionális analógiát, amely a természeti népek számára intuíción alapul szolgált volna ezen eszköz megalkotásához. A természetes mozgásformák (úszás, repülés, mászás) nem inspirálták a kerék koncepcióját. Ezért a kerék sokkal inkább egy absztrakt mérnöki áttörés lett, mintsem egy biomimetikus találmány.



2. ábra A kerék feltalálásának lehetséges állomásai [1]

Bár magára a guruló helyváltoztatásra a természet is mutat számos példát, mégis a valódi értelemben vett kerék napjainkig az emberiség egyedi találmánya maradt. Ennek fő oka gépszerkezettani szempontból az, hogy a tengely-kerék kapcsolat legalább két különálló, egymáson elforduló, ennek következtében folyamatosan súrlódó testet feltételez. Egy élő szervezetben az efféle kényszerkapcsolat problematikája abban keresendő, hogy elégséges kenés nélkül a nagy kopás miatt csak igen rövid élettartammal működhet, de ugyanígy felveti a meghajtásnak, valamint a testrészek működéséhez elengedhetetlen testnedvek keringetésének vagy épp az idegrendszeri ingerületek átadásának kérdését is.

6. INSPIRÁCIÓ A TERMÉSZETBŐL

Az emberi találmányok gyakran természetes minták utánzása révén születnek:

- repülés → madarak,
- hajók → vízi élőlények,
- házipírás → barlangok, fészkek,
- hálózatok → gombák, gyökérzet.

Ezzel szemben a kerék működése absztrakt mechanikai elvek összessége, amelyhez minta hiányában önálló geometriai és fizikai megértés szükséges (forgás, tengely, súrlódás csökkentése, anyagmegmunkálás). A kerék ráadásul nemcsak egy kör alakú tárgy, hanem egy működő rendszer része, ahol technikai nehézséget jelent a tengely és agy illesztése, a stabilitás kérdése (többnyire csak párban használható), vagy a teherbírás és önsúly problémaköre. Ezek felismeréséhez és megoldásához összetett mérnöki gondolkodás kellett, amit csak bizonyos társadalmi és technológiai fejlettségi szinten lehetett megvalósítani. [8, 9]



3. ábra Ókori gyermekjáték (ie. 950-900) [4]

A kerék technológiailag sem triviális, hiszen viszonylag precíz megmunkálást igényel a tengely és a kerék megfelelő illesztéséhez. Elkészítéséhez megfelelő anyag kellett, ami elég tartós, de megmunkálható (kő,

keményfa). Ráadásul a használhatósága is kérdéses, ha épp nincsenek kellően sima utak, amiket szintén ki kellett építeni. Érdekesség, hogy például az inka birodalomban, sosem használták a kereket közlekedésre, mivel a hegyes terepükön nem volt praktikus. Pedig magát a koncepciót ismerték és pl. játékokban alkalmazták is. (3. ábra)

A kerék tehát nem egyetlen nép vagy személy találmánya, hanem egy összetett technológiai fejlődés eredménye, amely több régióban párhuzamosan, illetve egymástól függetlenül alakult ki.

7. A KERÉK FEJLŐDÉSE

Az első kerekek tömör fából (helyenként kőből faragva) készültek. Az i.e. 2600-2500 környékéről ismert sumér harci szekerek is még ilyenekkel voltak szerelve. Ezek a járművek viszont nem voltak gyorsak, inkább a gyalogság támogatására szolgáltak.

A küllös kerék i.e. 2000 körül tűnt fel, szintén főként harci szekereken. Ekkor jelenik meg a középső kerékagy, amelyből küllök vezettek a peremhez. Ez tekinthető a kerék egyik legfontosabb technológiai újításának, amely jelentős előrelépést hozott a mobilitás, sebesség és hatékonyság terén, hiszen könnyebb volt, mint a korábbi tömör korongkerék, és jobban irányítható, ami különösen fontos volt a hadviselésben. A legkorábbi régészeti leletek Mezopotámiából, Óegyiptomból, a szkítáktól és ógörögöktől származnak [5].

Később a fakerék peremére vasabroncsot helyeztek. Ezt felhevítve illesztették rá, ami lehűtve szorosan összetartotta a szerkezetet. Hamar rájöttek, hogy a tengely és kerékagy a korábban megszokottnál komolyabb kenést igényel a súrlódás csökkentésére és a hatékonyság növelésére. Emiatt a korai időkben használt, víz és sár helyett áttértek a növényi olajok (pl. olívaolaj, lenolaj, ricinusolaj), az állati zsírok (pl. marhafaggyú vagy sertészsír), helyenként méhviasz, illetve fagyanta használatára. A 19-20. században robbanásszerű fejlődés következett be a kerékpárok és autók kifejlesztésekor, amikor megjelentek a modern drótküllös kerekek, valamint a légtömölös gumiabroncsok.

8. ANALÓGIÁK A TERMÉSZETBŐL

A kutatásokból egyértelműnek tűnik, hogy hagyományos tengely-agy kapcsolattal rendelkező kerék a természetben nem alakult ki. Azonban a guruló mozgás jelen van. A sima felületen történő kétdimenziós gördülésre a gömb a legalkalmasabb. Erre több megoldás található a természetben, ahogyan a csapágygolyók is a gépek alapvető alkotóelemeivé váltak.

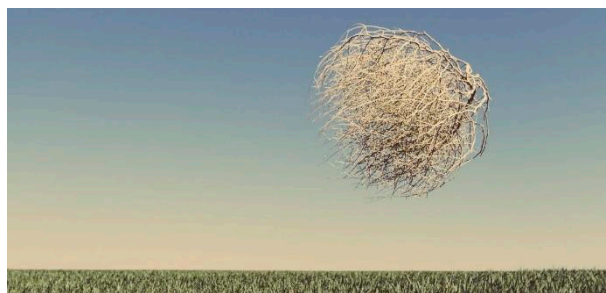


4. ábra Az aszkarák gömb alakja

Bár az első golyóscsapágy szabadalom a 18. század végén került bejegyzésre, az ötlet valójában a természet megfigyelésén alapuló ókori találmánynak tekinthető, hiszen i.e.100 körül a rómaiak, sőt görögök formában a vándorló gótok és vandálok is használták.

A gördülés kihasználásának passzív módja a természetben, amikor egy (akár védekezésért össze-gömbölyödő gömbászka vagy épp armadillo) golyót formáló teste önkéntelenül arrébb gurul (4. ábra).

Ugyanígy passzív, mégis tervezett a pusztákról és prériről ismert „ördögszekér”, ami a mezei iringó, (más területeken a homoki ballagófű) népies neve. Ez a növény ősszel a tövétől leszakadva gömb alakja lévén a szél által sodorva messzire tudja elszórni magjait, gondoskodva ezzel a populáció terjedéséről. (5. ábra)



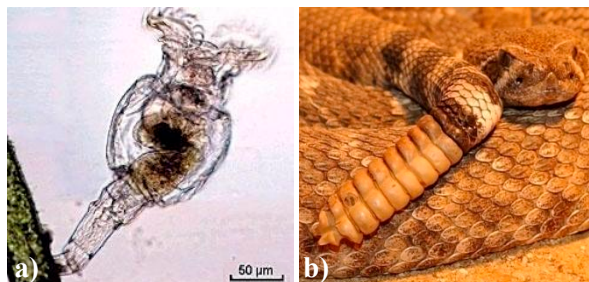
5. ábra Ördögszekér mozgásban

De egyes élőlények nemcsak hogy tudatosan, de önerejükkel képesek gördüléses helyváltoztatásra. A délnyugat-afrikai Namib-sivatagban, majd később a Szaharában is találtak olyan pókot (*Araneus rota*) (6. ábra), ami lábait kerékké gömbölyítve gurul a homokdűnéken. Erős lábai segítségével ezek a pókok futva másodpercenként 1 métert képesek megtenni, viszont ez az érték gurulva 2 méterre nő, ami komoly stratégiai előny a meneküléshez. [6]



6. ábra Szaharai gurulópók

A kerék analógiáját keresve az elsők között szokták említeni a kerekeshérgest (Rotatoria). Felfedezője, Anton van Leeuwenhoek kezdetben még úgy vélte, ezek

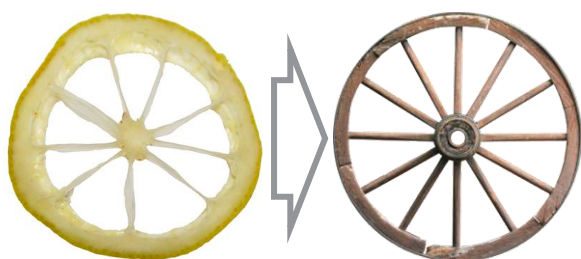


7. ábra a) Kerekeshérges b) A csörgőkígyó szarugyűrűi

a parányi állatok tényleg kerek segítségével közlekednek. A részletesebb vizsgálat során kiderült, hogy ez csak érzécsalódás, amit valójában a két, egymással szemben körbefutó csillógyűrű rendezett csapkodása kelt. (7.a ábra) [7]

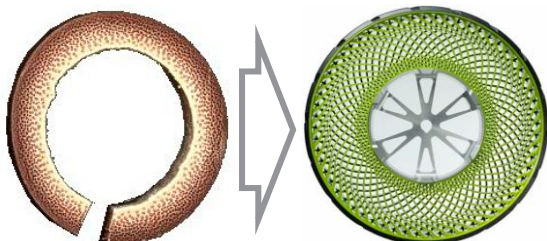
Ha viszont egymástól elkülönülve mozgó alkatrészeket keresünk, akkor a csörgőkígyók vedlésenként visszamaradó szarugyűrűi jelenthetnek jó példát. Azonban ezek a gyűrűk egymáshoz viszonyítva csak minimális mozgásra képesek, így nem jelenthettek inspirációt a forgó kerek feltalálásához. (7.b ábra)

Jóval látványosabb analógiát mutat a kerék küllős változatára a citrusfélék keresztmetszete (8. ábra). Az evolúciós konstrukció célja a szükséges merevség biztosítása mellett a közép vonaltól azonos távolságban tartani a külső felületet. Apró különbség, hogy a gyümölcs belső hátyái húzás igénybevételét felvéve biztosítják a termés merevségét. [8]



8. ábra A kerék formai megfelelője a citrusskarika

A legmodernebb levegőmentes kerekknél pedig a bambusz nád belső szerkezetével fedezhető fel formai hasonlóság. Itt teherviselés szempontjából sugárirányban szükséges rugalmasság és tengelyirányban megkövetelt oldaltartás jelent további párhuzamot. (9. ábra)



9. ábra A bambusz és a Bridgestone laprugós kereke

Havon, jégen vagy puha talajon, amikor a hajtóerő átvitelének feladatát is nehezebb megoldani, az ember számára a mélyen bordázott kerek vagy a lánc talpas eszközök biztosítják a haladás lehetőségét. Az állatok ezzel szemben kemény, puha vagy csúszós talajon is inkább lépkednek, ugrálnak, csúsznak vagy a feregmozgás változatait alkalmazzák.

A természetben igen elterjedt, de jóval több és bonyolultabb alkatrészrel és komplexebb vezérléssel megvalósítható lépegetést, mint helyváltoztatási elvet, robotokban és különleges gépekben az ember is alkalmazza, bár korántsem olyan széleskörűen, mint az élőlények. Mivel azonban speciális körülmények között megkerülhetetlen a lépegető robotok használata, így

napjainkban – a főként még mindig csak a kutatás-fejlesztés területein terjedőben lévő humanoid robotok mellett – már léteznek ipari feladatokat ellátó lépegető gépek is. (10. ábra)



10. ábra a) John Deere traktor b) Tesla Optimus Gen2

7. ÖSSZEFOGLALÁS

Belátható, hogy a kerék absztrakt, nem természet által ihletett konstrukció, ami az emberi leleményességet és kreativitást jól bizonyítja. De bármennyire is hízog ez ránk nézve, be kell látni, hogy a találmányaink nagyobbik része a természet által inspirálva, azt leutánozva született. Ennek megfelelően a modern mérnöktudományok sem nélkülözhetik a természet megfigyelését és az onnan merített adaptációt.

8. IRODALOM

- [1] Robert Krulwich: *Why'd it take so long to invent the wheel?*, NPR 2011.09.16., <http://www.npr.org/blogs/krulwich/2011/09/15/140508448/whyd-it-take-solong-to-invent-the-wheel>
- [2] Richard W. Bulliet: *The Wheel - Inventions and Reinventions*, Columbia University Press, 2016, eBook ISBN 9780231540612 <https://doi.org/10.7312/bull17338>
- [3] Kai James: *How was the wheel invented?*, The Conversation, 2025, <https://doi.org/10.64628/AAL.dg9nv76p7>
- [4] Rose Barfield: *Who Invented the Wheel - A Brief History*, Blog Bricsys, 2020, <https://www.bricsys.com/it-it/blog/who-invented-the-wheel-a-brief-history>
- [5] Tarr László: *A kocs története*, Corvina, Budapest, 1978, ISBN 9631300323
- [6] <https://www.haziallat.hu/terrarium/izeltlabu-fajok/gurulo-pokfaj-a-szaharaban/2426/>
- [7] Horváth Árpád: *Ötletadó kerekfűgerek*, National Geographic Magyarország, 2009. november
- [8] Dömötör Csaba: *A természeti intuíció hatása a termékfejlesztés gyakorlatára*, GÉP 65: 2 pp. 23-26. 2014
- [9] Dömötör Csaba: *Természeti analógiák adatbázisa, statisztikai elemzése és alkalmazási módszerei a koncepcionális tervezésben*. PhD értekezés ME 2015