



DEMONSTRÁCIÓS KÉSZÜLÉKBŐL IGAZI ERŐGÉP

## Segner-kerekek a nagyvilágban

**2. RÉSZ** Segner János András (1704–1777) a Pozsonyi Evangélikus Líceumban, valamint a Debreceni Református Kollégiumban tanult. A Jénai Egyetemen szerzett orvosdoktori diplomát és egy éven át Debrecen tisztiorvosaként dolgozott. 1732-től három évig a Jénai, majd húsz éven keresztül a Göttingeni Egyetem professzoraként orvoslástant, matematikát és fizikát oktatott. 1755 tavaszán családjával Halléba költözött, ahol a Friedrich Egyetem professzoraként 22 éven keresztül, elsősorban matematika és fizika témában adott elő. Számos orvosi, matematikai és fizikai eredményét igen jelentősnek értékeli a tudománytörténet, legismertebb azonban egy műszaki alkotása, az akció-reakció elvén működő Segner-kerék, melynek ipari alkalmazásait is ismerjük.

Segner a vízikerekről élénk eszmecsere-t folytatott Leonhard Eulerrel, aki azonnal meglátta az ötlet nagyszerűségét. Szoros kapcsolat alakult ki a két tudós között, folyamatosan leveleztek, személyesen is találkoztak. Segnernek 159 Eulerhez írott levelét ismerik, és eddig nem találtak válaszleveleket. A teljes Euler életmű kiadása során 1975-ben rövid tartalmi kivonattal felsorolták az összes Eulerhez írt tudományos jellegű magánlevelet. A levelek teljes szövegének megjegyzésekkel ellátott, úgynevezett kritikai kiadására 2018-ban került sor.

### A Segner-kerék fejlesztései

Euler már 1750-ben hírt adott a vízikerék felfedezéséről a Berlieni Királyi Akadémián, előadásában pedig már fontos átalakításokat javasolt: „Ami a vízszintes

*kifolyócsöveket illeti, azokra Segner egyenes tengelyeket alkalmazott, én ugyanezeknek hajlított, kör alakú formát adtam, és az azokhoz csatlakozó kis csöveknél az egyik oldalon fűrt lyuk helyett a kifolyónyílásnál levő, külső végükön is meghajlított formát alkalmaztam. Azonban ha hagyjuk, hogy a víz ezen új javaslat szerint fejtesse ki hatását, akkor annak a teljesítménynek, ami hatni tud, semmi része haszontalanul el nemvész, és a gép erőhatását a gép mozgásánál nem csökkenti.”*

Elmondhatjuk, hogy Euler Segnerrel közös munkájuk alapján írta fel a turbinák fejlesztésének elméleti alapjául szolgáló turbinaegyenletet. Ehhez hasonlóan Segner legjelentősebb fizikai eredménye, a pörgettyű három egymásra merőleges szabad tengelyének felfedezése adott indítékot a forgó merev test Euler-féle mozgásegyenleteinek felírásához. Annak ellenére, hogy Euler jelentős módosításokat alkalmazott az eredeti

Segner-féle berendezésen, írásaiban, valamint akadémiai előadásaiban (Berlin, Szentpétervár) újra és újra – legtöbbször már a dolgozat címében – hangsúlyozta Segner elsőbbségét, így ezek az előadások és publikációk nagyban hozzájárultak Segner nemzetközi hírnevéhez.

Itt kell megjegyezni, hogy közel 200 évvel Euler építési javaslatainak bejelentése után, 1943-ban, az eredeti adatok alapján építettek egy másolatot. Jakob Ackeret (1891–1981) neves svájci aerodinamikai mérnök-professzor pedig 71 százalékos hatásfokot mért a berendezésen. Ezt a jelentős hatásfokot Euler egyik életrajzírója, a svájci tudománytörténész Emil Alfred Fellmann (1927–2012) szenzációs eredménynek minősítette, tekintettel arra, hogy a mai legmodernebb eszközökkel megépített, ilyen típusú és méretű turbinának a hatásfoka 78 és 82 százalék közötti. Ackeret modern turbinájának fotóján még látni lehet az eredeti euléri építési gondolatot, azonban ez már egy átstrukturált, masszív, komoly XX. századi mérnöki alkotás.

1964-ben a Miskolci Nehézipari Műszaki Egyetem Gépelemek Tanszékének két oktatója, Szota György és Tatár Iván Ackerettel közel azonos eredményre jutottak, és 77 százalékos összhatásfokot mértek Segner-rendszerű turbinamodelljükön. Ehhez teljesen az eredeti Segner-féle elrendezést használták, forgócsövük a későbbiekben tárgyalásra kerülő Kempelen-féle hodrusi, illetve a Puerto Ricó-i rotorhoz hasonlított. Tanulmányukban a kísérleti berendezés fotója mellett Euler turbinaegyenletére alapozott szerteágazó elméleti megfontolásokat, levezetések is közöltek, majd pedig igen alapos, sok szempontú, jól dokumentált mérést végeztek.

## Ipari alkalmazások a XIX. században

Érdekes, hogy a felsorolt előnyök alapján mégsem terjedt el a Segner–Euler-féle vízikerek. Csak magát az elvet használták, így fejlesztették tovább a vízierővel működő forgó berendezéseket. Ennek egyik oka az lehet, hogy a hajlított csővégeknél történő kiáramlaskor mindenképpen forognia kell a hatást létrehozó víznek. A Földhöz viszonyított koordináta-rendszerhez képest (épp a csővég kerületi sebességével) kisebb a kiáramlási sebesség, mint a Segnernél és Jedliknél is bemutatott esetben, amikor a kerék állt. A Segner-féle vízikerek elterjedését akadályozhatta az is, hogy jóval nehezebb volt megépíteni, mint a hagyományos vízimalmok kerekeit. Segner is utalt a kivitelezés nehézségeire, és az építkezés gondjaira. A felülcsapott vízikereknek jobb a hatásfoka az alulcsapotténál, mégis ez utóbbiból is sokat építettek, mert egyszerűbb volt: a mederben folyó víz egyszerűen alulról

hajtja a kereket, míg a felülcsapottnál külön vályúban kell a vizet a lapátokra vezetni. Természetesen az alkalmazás helye is meghatározó volt: nagy vízhozamú, kis sebességű folyónál az alulcsapott kerék célszerű. Végezetül azt is fontos megjegyezni, hogy akkor még nem álltak rendelkezésre megfelelő anyagok és szerszámok egy ilyen összetett berendezés kivitelezésére.

1740-ben – néhány évvel Segner előtt és tőle függetlenül – az angol feltaláló, Robert Barker primitív reakciós turbinát tervezett abból a célból, hogy ellenőrizze az Antoan Parent (1666–1716) francia matematikus által kiszámított, maximális hatásfokot adó „egyharmad vízfolyási sebesség” érvényességét. Elképzelése egy S-alakúra meghajlított cső volt, amelyből az S két ellenkező végén áramlott volna ki a víz. Nem találtak rá azonban írásos bizonyítékot, hogy Barker és barátja, a mérnök John Theophilus Desaguliers (1683–1744), aki Newton „laboránsa” volt, ténylegesen is elvégezték a kísérleteket. Franciaország nem esik messze Göttingentől

1. ábra. Segner János mellszobra (Debrecen)







2. ábra. Segner-kerék  
a ziegenrücki vízenergiái múzeumban

vagy Nörtentől, Párizsban mégsem tudtak a XIX. század elején Segner találmányának sikeres gyakorlati alkalmazásáról. A Ludwig Wilhelm Gilbert (1769–1824) által szerkesztett *Annalen der Physik* folyóirat 1813-ban közölte a legjelentősebb három francia mérnök, fizikus és hidraulikus írásának kivonatát a szerkesztő szabad fordításában a francia *Moniteur* folyóirat 1813. január 6-i száma alapján [1].

A tanulmányt a legjelesebb szerző, Nicolas Léonard Carnot (1796–1832) ismertette a Francia Intézet (a nagy francia forradalom után a Tudományos Akadémia utóda) 1812. december 28-i ülésén. A szerzők a francia feltaláló, Jean-Charles-Francois Mannory-Dectot (1778–1822) újnak mondott hidraulikus gépeit tárgyalják. Számunkra a negyedik új gép, az őrlőmalom érdekes, melyből 14 működött szerte Franciaországban: Bretange-ban és Paimpont-ban, azután Orne, Manche és Calvados megyékben. A szerzők leírják, hogy ezek a malmok „szerecsés alkalmazásai a Segner által kigondolt reakciós gépek, mellyel kapcsolatban több híres matematikus, Euler és fia, valamint Bossut végzett számításokat. A reakciós gép hatásfoka felülmúlja a felülcsapós vízikerekekét.” A szerkesztő és fordító Gilbert megjegyzést is fűzött a tanulmányhoz: „Már Segner idejében volt olyan őrlőmalom, amelyet az ő reakciós turbinája hajtott a Göttingen melletti Nörtenben. Ez a malom éveken át működött.”

Párizsban kiállításon is megtekinthették az érdeklődők Mannory-Dectot új gépeinek modelljeit a Montgolfier-fivérek hőlégballon tartozékai mellett, amint erről John Scott írása tudósít [2]. Szívesen írnánk, hogy Segner vízimalmának működő példánya megtalálható valahol Németországban, de sajnos nem bukkanunk ilyen tudósításra az interneten. Ezt a mondatot találtuk viszont a Fizikai Szemlében: „a vízenergiái múzeumban még működő Segner-kereket is láttunk.” (Museum für Wasserkraftnutzung, Lobensteiner Straße 6., Ziegenrück) [3]. Andreas Schmidt, a múzeum munkatársa megírta, hogy 1999 óta van külön vízikerekmódel-részlegük. Saját maguk építették a nyolc különböző, működő eszközt, melyek közt szerepel Segner-kerék is (2. ábra).

### A hodrusi Segner-turbina

A föld alatti bányák régi nagy problémája a bányavíz elvezetése. Bizonyos esetekben egy mélyebben fekvő, már nem használt tárnába vezették a vizet. Ez azonban csak átmeneti megoldás, a bányavizet előbb-utóbb a felszínre kellett hozni, ehhez pedig a szivattyúkat sokféleképpen működtették. A XVIII–XIX. században, ahol kellő mennyiségű tüzelőanyag állt rendelkezésre, ott gőzgépet alkalmaztak. Ha a felszínen vízenergia állt rendelkezésre, akkor bizonyos esetekben egyszerű felülcsapós vízikerekeket alkalmaztak. Magasabb vízszintkülönbségnél vízoszloggépeket használtak. Ezek a közlekedőedények működési elve alapján a magas vízoszlop nyomását, vagyis a folyadékfelszín süllyedését használták a szivattyúk dugattyúinak működtetésére.

Külön feladatot jelentett a kiszivattyúzott víz tárolása, illetve arra a helyre vezetése, ahol vízoszloggépeket akartak vele működtetni. „Mikoviny Sámuel itt építette ki a 26 tavat 120 kilométernyi csatornával összekötő, híres selmeci bányató-rendszert” – amint azt Márki-Zay János *Selmecbánya, az ezüst városa* című könyvében írta. Forradalmi változást jelentett Segner vízikereke, amely az akció-reakció elve alapján hozott létre forgómozgást és ezt alakították át a dugattyúk működtetéséhez szükséges periodikus fel-le mozgássá. A gőzmozdonyok kerekeinél ennek éppen a fordítottja történik: a csuklós hajtókarok a gőz ereje által mozgatott dugattyúk adott szakaszon történő mozgását alakítják át forgómozgássá.

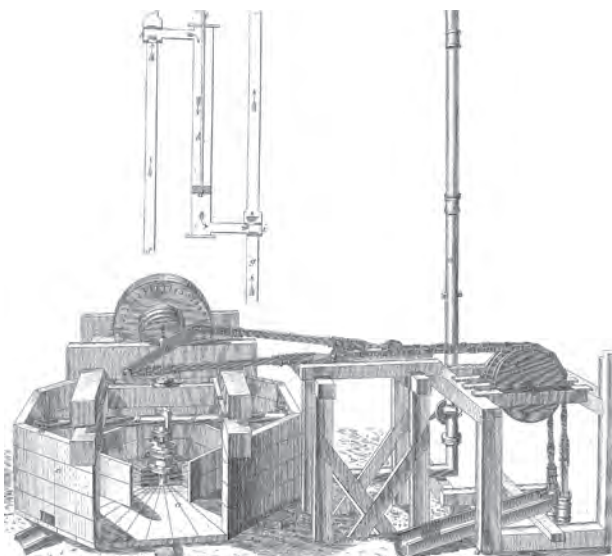
A vízszintes síkban forgó Segner-kerék sem Németországban, sem másutt Európában nem terjedt el széleskörűen a gyakorlatban, mert nem álltak rendelkezésre a kivitelezéshez megfelelő anyagok és gépek. Érdekes ugyanakkor, hogy a felfedezés után mintegy hatvan évvel később, 1819-ben Kempelen Farkas (1734–1804),

a sokoldalú tudós és feltaláló tervezett egy nagy teljesítményű Segner-féle vízikereket a Selmezbányához tartozó Hodrusbányán, a József császár-tárnához vezető Mihály-aknába. Hodrusbánya település területén nemesfémekben gazdag bányák voltak, 1600 és 1936 között a számítások szerint 47 tonna aranyat és 2577 tonna ezüstöt bányásztak. 1751-ben I. Ferenc császár, majd 1764-ben József és öccse, Lipót főherceg (a későbbi II. József és II. Lipót császárok) személyesen látogattak ide. Ennek emléket őrzi a József császár-tárna elnevezés. A trianoni békeszerződés előtt Hodrusbánya a Hont vármegye területén fekvő Selmec- és Bélabánya törvényhatósági jogú városhoz tartozott.

Kempelen Farkasnak a sakkautomata és a beszélőgép megalkotásán, valamint a hodrusi Segner-turbinán kívül még rengeteg vízzel kapcsolatos műszaki megoldását ismerjük: Buda vízellátásának javítására tervezett vízemelő, Pozsony várának vízszükségletét kielégítő vízmerítő gépek és kütszerkezetek, a pozsonyi hajóhíd, a schönbrunni császári palota szökőkútjai és látványos vízesése. Schitko József (1776–1833), a Selmezbányai Akadémia tanszékvezető professzorának bányagéptan könyvében részletesen tárgyalta a hodrusi Segner-gépet, a benne szereplő ábrán jól láthatóak a berendezés részletei (3. ábra). Azt írta, hogy 1819-ben helyezték üzembe a berendezést. Eugen Kladvík (1939-), a selmezbányai Szlovák Bányászati Múzeum egykori munkatársa tanulmányában bemutatta Schitko könyvének Segner-kerékre vonatkozó részét és gazdagon kiegészítette azt levéltári kutatásai alapján.

Kladvík írásából megtudhatjuk, hogy a tizennégy napos próbaüzem már 1816. május 10-én megkezdődött Schitko József, a hanstadi N. J. Lang bányászati tanácsadó, Hell Ferenc, valamint Joseph Chernot jelenlétében.

3. ábra. A hodrusi Segner-turbina



4. ábra. Örlőmalom Hacienda Buena Vistán

Chernot főgépész irányította a gép gyártását és szerelését. Ilyen jellegű meghajtó egység korábban még nem működött, így rengeteg nehézséggel járt az építkezés. Nagyon sok alkatrészt újra kellett gyártatni, illetve menet közben cserélni. A vasalkatrészek korrodálódtak, a fa állványok kezdtek elrohadni és lopások is történtek. 1819-ben még mindig csak a gép hasznosságának, hatásfokának vizsgálatai folytak, melyekről Schitko részletesen írt az említett bányagéptan könyvében.

A gépet működtető vízoszlop magassága három, részletesen elemzett kísérletben 407,17 láb, átszámítva 135,451 méter volt, amint azt Schitko, illetve Kladvík írta. A túlzott mérnöki pontosságra való törekvés elrettentő példáját láthatjuk itt. Hogyan lehet, és miért kellene milliméter pontossággal megadni olyan vízszintkülönbséget, ahol nem is lehet pontosan meghatározni a mérendő távolság két végpontjának a helyét, azon kívül a mérés ideje alatt biztosan változtak ezek a pontok, végül alkalmas volt-e a mérőberendezés arra, hogy közel 140 méter távolság esetén milliméter pontosságot adjon. Mindenesetre ebből a közel 140 méter magasságból két esetben másodpercenként mintegy 20 liter víz zúdult alá. Ez meghajtotta a Segner-kereket, amely másodpercenként 5-6 liter vizet emelt 30 méter magasra. Ez bizony csak közel 6 százalékos hatásfokot jelentett. A legsikeresebb kísérletnél Schitko csaknem 15 százalékos hatásfokot mért, ekkor mintegy 28 méter magasból áramlott le 35 liter víz másodpercenként, ami ekkor 26 méter mélységből 5,5 liter vizet emelt. Nincs értelme tehát nagyon magasról venni a működtető vizet, inkább annak mennyiségét célszerű megemlíteni. Kicsit talán az a cirkuszi mutatvány juthat eszünkbe, amikor nagy magasságból két artista egyszerre ráugrik a mérleghinta egyik végére azért, hogy a másik végén álló egy társukat a magasba repítsék.

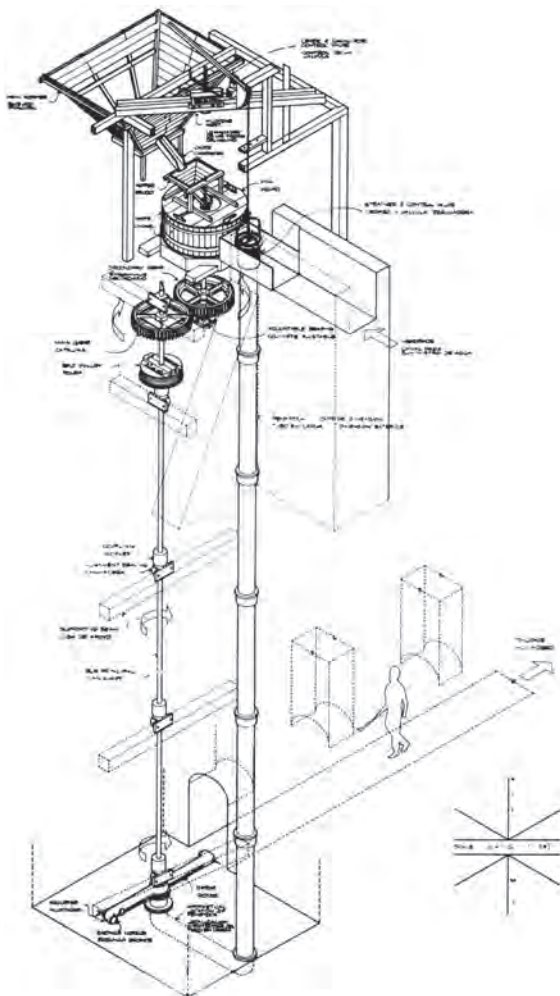


Érdeemes megjegyezni, hogy a lezúduló víz reaktív ereje csupán egyetlen, de igen nagy méretű csövet forgatott meg. A cső átmérője közel 10 centiméter volt, a két, ellentétes oldalon lévő kifolyónyílás távolsága pedig 4 méter. Úgy tűnik, hogy nagy teljesítmény esetén nem volt célszerű Euler ötleteit, a sok csöves levezetést és több kis kifolyócsövet alkalmazni, műszakilag egyszerűbb volt egyetlen robosztus cső. Ebbe, Kempelen terve alapján, alulról ömlött be a meghajtó víz.

### Segner-kerékkel hajtott őrlőmalom Puerto Ricóban

Mintegy harminc évvel a hodrusi Segner-turbina üzembe helyezése után ugyancsak egyetlen, erős meghajtó csövet, rotort és alulról történő táplálást alkalmaztak 1851-ben a Puerto Ricó-i Ponce helységhez tartozó kávéültetvény, Hacienda Buena Vista Barker-turbinájában. A birtokot Don Salvador de Vives alapította 1833-ban, ezért Hacienda Vives-nek is hívják a települést és Vives-turbinának a gépet. Az 1840-es években a Vives-család engedélyt kapott a spanyol gyarmati kormánytól,

5. ábra. A Puerto Ricó-i turbina műszaki rajza



6. ábra. A Barker-turbina kerékgödre 1851 körül Hacienda Buena Vistán

hogy a birtokán (Hacienda) átfolyó Cañas folyó vizét használva őrlőmalom építsen. Ezt a malmot működtették a Barker-féle turbinával. A teljes berendezés New Yorkban készült. Az erről szóló tanulmány azt írja, hogy Amerikában három skót-turbina létezéséről tudnak, melyeket a XIX. században már lebontottak és modern turbinákkal pótolták azokat. (A skót-turbina elnevezés onnan ered, hogy 1843-ban két Skóciában élő mérnök szabadalmaztatta a Segner-féle turbinát). A Hacienda Vives-ben megvalósult felfedezésig azonban nem tudtak a skót típust megelőző turbina létezéséről. Más írásokban viszont már a címben is kiemelik, hogy a legkorábbi gyakorlati célra használt turbináról van szó [4].

Emellett hangsúlyozzák, milyen hatalmas technikatörténeti jelentőséggel bír, hogy első üzembe állítása után 134 évvel is fennmaradt ez a turbina, 1978-ban történt restaurálását követően pedig újra működőképes. Megjegyzik, hogy csak az 1960-as évektől kezdve létezik az ún. „ipari archeológia”, vagyis a régi műszaki eszközök felkutatásának és konzerválásának tudománya. Az őrlőmalom a mai napig működik turisztikai látványosságként, gyönyörű környezetben, a Cañas folyó

vízese utáni szakaszon, a hegyek között (4. ábra). A turbina egyetlen forgó, meghajtó csővének középpontjától mintegy 110 centiméterre csatlakoznak mind a két végén – a cső szerves folytatásaként, kis méretű szűkítéssel – a közel 15 centiméter átmérőjű, ívesen meghajló kifolyónylások. A vízfelhasználás másodpercenként körülbelül 85 liter. A berendezés egyéb méreteit a tanulmány ábráiról nem tudtuk leolvasni. Kenneth Nyirádi, a Kongresszusi Könyvtár könyvtárosa azonban talált egy rajtot (5. ábra) a teljes műszaki alkotásról, valamint egy fotót az eredeti turbina forgórészéről (6. ábra). A rajz alapján a vízszintkülönbséget 15 méterre becsüljük [5]. Végül is igazuk lehet az amerikai tanulmány szerzőinek: skót típusú vagy azt megelőző turbina nem volt, csak „*neue hydraulische Maschine*” 1753-ban Nörtenben, 14 működő „*la machine hydraulique de Segner*” 1815-ben Franciaországban, „*eine reactions-Maschine*” 1819-ben Hodruson és néhány ilyen berendezés Oroszországban és Nepálban.

Az első részben demonstrációs Segner-kerekek ismertetésével kezdtük, s Segnernek, a kiváló tanárnak a tiszteletére, ezzel is zárjuk tárgyalásunkat. A Kossuth- és Mikola-díjas Vermes Miklós, sokunk mestere, Mikola utóda a Fasori Gimnáziumban „tüzes Segner-kereket” mutatott nekünk az egyetemi szakmódszertan előadásán. Fonálra függesztett hurkapálca végeire vízszintes síkban csillagszórókat erősített, ezeket meggyújtotta és szépen körbejárt a „kerék”. A tananyagtól függetlenül karácsony előtt mindig bemutattam fizika órák végén ezt a kísérletet. Ronyecz József, az ugyancsak Mikola-díjas nagy kísérletező középiskolai, majd főiskolai tanár „légpárnás Segner-kereket” szerkesztett (7. ábra). Légpárnán forgott a függőleges csőre, mint tengelyre

illesztett henger, melyet a rotor meghajlított csővégein kiáramló levegő működtetett. Az „elektromos Segner-kerek” szép régi rézpéldányai minden fizikaszertárban ott voltak. Az iránytű elrendezéséhez hasonlóan kis kihegyezett vason foroghatott a végein ellentétes irányba mutató hegyes tűkben végződő kerék, amely egy Van de Graaff-generátorhoz kapcsolva heves forgásba kezdett.

Segner emlékének ápolása ezen berendezések létrehozásában és működtetésében valósul meg a legméltebb formában. Napjainkra szerencsés módon újjáéledt Segner tisztelete. 2017 őszén restaurálták és újraavatták debreceni szobrát, 2018 tavaszán pedig monográfia jelent meg róla (Kovács László: Segner János András, egy jeles hungarus a 18. századból, MATI, Budapest). Ugyancsak 2018 elején emléktáblával jelölték meg a mai napig is eredeti formájában álló göttingeni házát.

KOVÁCS LÁSZLÓ

## IRODALOM

1. <http://bit.ly/2mB7s8z>
2. John Scott: A Visit to Paris in 1814: Being a Review of the Moral, Political and Social Condition of the French Capital, Paris, 1815
3. Lengyel Zoltán – Karády Pál: Beszámoló a Halle-i Segner-Konferenciáról. Fizikai Szemle, 1978. 28. évf. 6. sz. 235. old.
4. „Barker Turbine/Hacienda Buena Vista, 1853 only known example of a Barker hydraulic turbine, the earliest practical reaction type”: <https://www.asme.org/about-asme/who-we-are/engineering-history/landmarks/177-barker-turbine-hacienda-buena-vista>
5. <http://www.jstor.org/stable/40967957>
6. Kovács László: Segner János András – Egy jeles hungarus a 18. századból. Magyar Tudománytörténeti és Egészségtudományi Intézet, Bp., 2018. <http://real.mtak.hu/74845/>
7. Wolfram Kaiser: Johann Andreas Segner, Der „Vater der Turbine”, Teubner, 1977.
8. Karol Prikkel: Ján Andrej Segner, Otec vodnych turbin, PopVat, Bratislava, 1977.
9. J. A. Segner: Eine von dem Hr. Prof. Segner in Göttingen eingesandte Beschreibung der von ihm erfundenen hydraulischen Maschine. (A göttingeni Segner professzor úr által beküldött leírás az általa megalkotott hidraulikus gépről) Hannoversche Gelehrte Anzeigen 1750, 1. Bd., St.35. 137-140
10. Joseph Schitko: Beiträge zur Bergbaukunde insbesondere zur Bergmaschinenlehre, Bd. 1. Hydrodynamik. Wien, 1833. Sollinger.
11. Eugen Klavívik: Prvé použitie reaktívneho stroja v baníctvena Slovensku, Z histórie baníctva. Acta Montanistica Slovaca Ročník 2 (1997) no. 1. pp. 81–84.
12. Hacienda Buena Vista, Barker's Hydraulic Turbine, 1851, A Nationalhistoric Mechanical Engineering Landmark, Ponce, Puerto Rico, July 16, 1994, The American Society of Mechanical Engineers, The Conservation Trust of Puerto Rico, Ed. Carlos R. Garrett

7. ábra. Légpárnás Segner-kerek

