



AZ ELMÉLETI ALAPOKTÓL
A GYAKORLATI ALKALMAZÁSIG

Segner-kerekek és vízimalmok

1. 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.

Szerte a világban számos elnevezése létezik a találmánynak. Az interneten, angol nyelven beütve a „Barker's Mill” kifejezést, ezt olvashatjuk: „The demonstration apparatus below is variously called Segner's Reaction Turbine, the Scotch Turbine, Parent's Mill, the



1. ábra. Segner János portréja

Hydraulic Tourniquet or Barker's Mill. It was probably first invented in 1760 by Andreas Segner using Hero's steam reaction turbine as a model. „Az alább bemutatott demonstrációs készüléket sokféleképpen nevezik: Segner reakciós turbina, skót turbina, Parent-malom, hidraulikus forgó vagy Barker-malom. Valószínűleg 1760-ban Andreas Segner találta fel először, modellként használva a Heron-féle gőzreakciós turbinát.” A számos demonstrációs készülék közül az egyik szép állapotban lévő, régi eszközt a Debreceni Református Kollégium Gimnáziumának iskola-történeti múzeumban őrzik (2. ábra). Pontosán ennek az eszköznek a stilizált ábrázolása látható magyar szelvényes ünnepi bélyegen és szlovák emlékérmén is (3. ábra).



2. ábra. Demonstrációs Segner-kerék Debrecenből
(Ősz Attila felvétele)

A debreceni eszköz sokoldalúan használható. Az alsó csövek végére csapokat szereltek. Ha ezeket elzárjuk, vizet öntünk a hengeres edénybe, majd a henger alatt lévő tálkába éghető folyadékot töltünk és begyújtjuk, akkor a keletkező gőz a felső két kivezetésen (amelynek végéről hiányzik a toldalék) kiáramolva Heron-labdaként működteti a berendezést. A csapok helyzetének állításával szabályozhatjuk a kiáramló víz mennyiségét. Az alsó csapos részek oldhatóan csatlakoznak a kis csőhöz, azaz például el tudjuk forgatni az egyik részt úgy, hogy az üzemszerű működéshez szükséges iránnyal éppen ellenkező irányba áramoljon ki a víz. Ekkor a berendezés állva marad. Meggyőződésünk, hogy az alkotó ismerte Segnernek a kerékről publikált korabeli, eredeti írásait, ugyanis ott olvashatunk ilyen kísérleti elrendezésekről. A budapesti Fasori Evangélikus Gimnázium régi fizika szertárának leltárkönyve tartalmazza az 1876-ban beszerzett fém és az 1892-ből származó üveg Segner-kerékekről szóló bejegyzéseket. Sajnos az eszközöket már nem sikerült megtalálnunk (4. ábra).

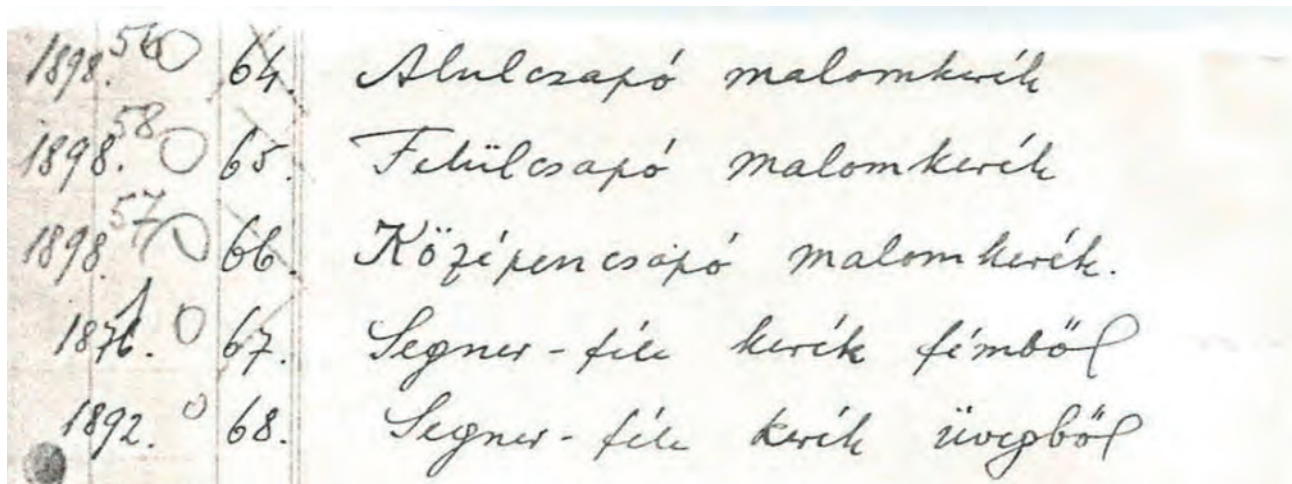
A Mikola- és Kossuth-díjas legendás fizikatanár, Vermes Miklós (1905–1990) elmondta, hogy akkor készült a leltárkönyv, mikor átvette a szertárat. A polcokon

gondosan, témák szerint elrendezett tárgyak neveit kollégája, Levius Ernő (1907-1993) tanár úr jegyezte fel. Annak ellenére, hogy már maga Segner négy vagy hat kifolyócsövet is alkalmazott – a múzeumokban a régi darabokon és a jelenleg gyártott iskolai példányokon is –, a kerékmodelleken általában csak két kivezetés látható, igaz, annak végeit a legtöbb esetben minden idők egyik legnagyobb matematikusa, örökérvényű műszaki alkotások megálmodója, Leonhard Euler (1707–1783) javaslatának megfelelően meghajlították.

A szentpétervári Georg Thomas von Asch (1729–1807) Segner egyik göttingeni dékánusa idején és előzetesével védte meg doktori értekezését 1750. augusztus 19-én. Az iménti, angol nyelvű internetes szövegben azonnal javítanunk kell az évszámot, ugyanis 10 évvel korábban, ennek az értekezésnek a függelékeként jelent meg nyomtatásban Segner *Programma quo theoriam mashinae cuiusdam hydraulicae praemittit* (Leírás, melyben egy bizonyos hidraulikus gép elméletét előre bocsátja) című műve [1]. A hidraulikus eszközzel foglalkozó következő alkotása, amely szintén 1750-ben, Göttingenben jelent meg, a *Programma in quo computatio formae atque virium machinae hydraulicae nuper descriptae* (A nemrégiben leírt hidraulikus gép formájára és erejére vonatkozó számításról) címet viseli. Ezekkel egyidejűleg a *Hannoverischen Gelehrten Anzeigen* című folyóirat 35. és 38. számában német nyelvű, népszerűsítő összefoglalót közölt, ahol ábrákkal is bemutatta az egyszerű konstrukciót és próbaméréseit.

3. ábra. Szlovák emlékérem





4. ábra. Segner-kerék bejegyzések a Fásori Gimnázium fizika szertárának leltárkönyvében

Részlet az *Anzeigen* 35. folyóiratszámából:

„Ennek a vízműnek lényeges része a tetszőleges alakú és nagyságú AB edény, amelyet úgy helyezünk el, hogy könnyen foroghasson a függőlegesen álló CD tengely körül. Ennek az edénynek az alján lévő nyíláshoz csatlakozik az EF toldalék, amelynek a végén oldalt található a tetszőleges nagyságúra fűrt F lyuk, amint az a rajzon látható. Ha ebbe az edénybe vizet öntünk, és azt állandó utántöltéssel pótoljuk, akkor a víz az F lyukon át kifolyik, és az edény a CD tengelye körül forogni kezd, mégpedig az F -nél kifolyó vízzel ellenkező irányba; ez a mozgás mindig gyorsabb és gyorsabb lesz, míg végül egy meghatározott nagyságú sebességet ér el. Ezzel egyidejűleg F -nél a víz kifolyása is erősebb és erősebb lesz, tehát az utántöltést is növelni kell, ha azt akarjuk, hogy az edény mindig tele legyen vízzel” (5. ábra).

Az eszköz működését – Segner leírása szerint – „nagyon éleselméjű és okos emberek is” („auch von recht scharfsinnigen, einsichtsvollen Männern”) a levegő ellenállásával magyarázták. Légritka térben elvégzett kísérletével azonban igazolta, hogy ebben nincs szerepe a levegőnek. Kis méretű, 38 mm átmérőjű és 64 mm magas, hengeres edényt készített, hogy beférjen a légszivattyú burája alá. A méreteket azzal is csökkentette, hogy nem alkalmazott sugárirányban kinyúló toldalékokat, hanem az edény aljához, egymással szemben, tehát az alapkör átmérőjének két végén, az edény légteréhez kapcsolódó, két kicsi, zárt hengeres toldalékot illesztett. Mind a két toldalékba, egymással ellentétes irányba néző, egy-egy lyukat fűrt oly módon, hogy az ezeken kiáramló víz az alapkör érintőjének irányába tudjon távozni. Az edényt fonálra függesztette, vízzel telt edénybe mártotta, majd

a légszivattyú burája alá helyezte. A légritka térben a kis edény mindaddig forgott, amíg a megcsavarodó fonál ellentétes előjelű forgatónyomatéka a rendszert meg nem állította. Ezután megismételte a kísérletet a szabad levegőn is. A fonál megcsavarodása a mai napig leállítja a legtöbb iskolai Segner-kerék működését. Csak néhány gyártó vagy ügyes fizikatanár alakítja ki úgy a berendezést, hogy a fonál alul egy szegben végződjön, amelynek fején kis gyűrű foroghat, s ehhez csatlakoznak a hengert tartó fonalak. Segner ezzel a kísérletével kimutatta, hogy a fellépő forgás az edény és a víz kölcsönhatásának következtében jön létre. Ennek az észrevételnek napjainkban többek között az űrhajók rakétameghajtásánál van szerepe, a rakéták ugyanis légüres térben is működnek, szemben mondjuk a repülőgépekkel, melyek működéséhez a levegő dinamikus felhajtóereje szükséges.

Segner vákuumos kísérlete után ezt írta: „Az okot, amely az edénynek forgást kölcsönöz, csakis a nyílásokon kifolyó víznél kell keresnünk, összhangban azzal, amit Newton, Bernoulli és más jól ismert fizikusok tanítanak. Az ok, amiért az egyik irányba kifolyó víz az edényt a másik irányba mozgatja, a következő: a vizet, amely meghatározott sebességgel sugárban kilép, a felette levő vízoszlop súlya mozgatja; és ugyanaz a nyomás, ami a víznek a kilépési sebességét kölcsönzi, ezt nem tudja más módon megtenni, minthogy a másik irányba is hat, és az edény falának a nyílással szemközti részét is nyomja. Ebből a nyomás nagyságát, amely által a vizes edény az ellenkező irányba üzetik, ki is lehet számolni.” Hidraulikus eszközénél a víz kifolyási sebességét először egy csőre, majd n számú csőre általánosítva is kiszámította. A hatásfokszámítást négy kifolyócsőves változatra készítette el.

Segner legnagyobb érdeme, hogy igazi tanár volt, kimagaslott társai közül. A kerék működésének magyarázatánál is írt további magyarázó kísérleteiről és

gondolatairól. Például később a rajzon látható EF tolalék végén, az F nyílással ellentétes oldalon is kialakított egy, az F-el azonos keresztmetszetű G nyílást. Vízrel feltöltve a rendszert azt tapasztalta, hogy a forgás nem indult meg, a berendezés nyugalomban maradt. Megállapította, hogy kísérlete összhangban van a sztatika alaptörvényével (a testre ható erők eredője zérus), vagyis az F-nél fellépő erővel azonos nagyságú, de ellentétes irányú erő hatott G-nél. Ha G-nél csökkentette a kifolyónyílás méretét, vagy a forgástengelyhez közelebb fűrt az F-fel megegyező méretű G' lyukat, akkor a berendezés a két különböző nagyságú forgatónyomaték különbségének megfelelő, a korábbinál kisebb sebességgel forgott. Segner megjegyezte, hogy ennek az elrendezésnek akkor lehet szerepe, ha öntöző berendezésként kívánják a vízikereket használni.

Segner hidraulikus eszközének működéséről szóló első német nyelvű tanulmányában a jól ismert kétcsónakos példát is tárgyalta. Nyugvó vízen, utasával együtt azonos tömegű, két csónak van. Ha az egyik utas ellöki a másik csónakot, akkor a vízhez képest azonos sebességgel fognak egymástól eltávolodni. Ha az egyik csónak, utasával együtt kétszer akkora tömegű, mint a másik, akkor az a csónak csak fele

akkora sebességgel halad az ellökés után, mint a másik. Emellett kitért a forgó, együttmozgó rendszerben tapasztalható centrifugális erőre is. Megállapította, hogy mivel ez az erő a középponttól kifelé mutat, növeli a kifolyó csöveknél a víznyomást.

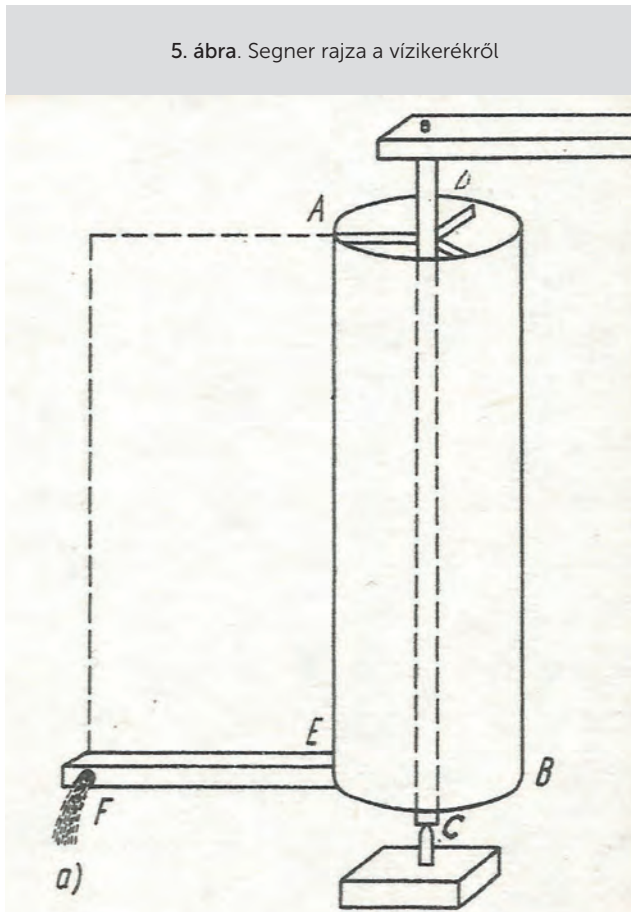
Érdeemes megnéznünk, hogy miként tárgyalta a Segner-kereket Jedlik Ányos:

„468) Ha az edény, mellynek oldalnyílásán a víz kifoly, elegendő mozgékony, az a kilövellő vizsugar' irányával ellenkező irányú mozgásba hozatik; mert minekelötte a fölfüggesztett AB (250. rajz) edény m oldalnyílásán a víz kibocsáttatnék, világos, hogy ezen nyílás' területére ható nyomás az általellenben létező és egyenlő n területre gyakorlott nyomás által megsemmisítettik; de mihelyt a víz m nyíláson ömleni kezd, a reá hatott nyomás megszűnik, n-re működő nyomás pedig azután is fennmaradván az edényt függélyes állásból valamennyire félre tolja. Ezen igazságon alapszik az ugynevezett Segner' vízkereke is; ez nem egyéb mint egy AB (251. rajz) tengely körül forogható és feneke fölött C, D, E, F, csöökkel ellátott hengeralakú G edény, melly azonnal gyors forgásba jő mihelyt a bevezetett víz a nevezett csöökön elegendő sebességgel a nyílás által leirandó kör' érintőinek irányában összhangzólag foly ki; ellenben a legyorsabb kifolyás' dacára sem mozdulna meg, ha a csöökön kifolyó vizsugarak' irányai egymással ellenkezők volnának” [2] (6. ábra).

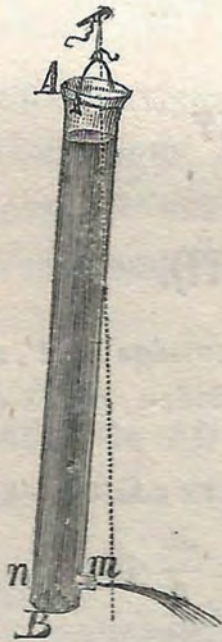
Jedlik leírása talán picit jobb is, mint Segneré, mivel először a lineáris mozgás esetét mutatja be. Ugyanakkor ő is ír – Segner művének ismeretében, vagy saját ötlet alapján – arról az esetről, amikor a kerék nyugalomban marad. Figyelemre méltó, hogy a hidrosztatikai indíttatás miatt mind Segner, mind pedig Jedlik csak a víz nyomásáról beszél. Egyéb leírásoknál is csak Newton harmadik axiómájának megfelelően a vízszugárra ható erőt, és a csőre ható ellenerőt említik. Manapság szívesebben magyarázzuk a kerék működését a mozgásmennyiség (impulzus, lendület) megmaradásának elvével. Végül is azonos dologról van szó, azaz a mozgásmennyiség megváltozásának és a változás idejének hányadosa (pontosabban a mozgásmennyiség idő szerinti deriváltja) jelenti az erőt. Segnernél csak két esetben találkoztunk – a fogalom megnevezése nélkül – a mozgásmennyiségre történő hivatkozással. Az iménti csónakos magyarázatnál, illetve a gép teljesítőképességének számításakor írja le, hogy mérni kell a kiáramló víz tömegét és annak sebességét.

Célszerű az energiaviszonyokat is átgondolni. A lezúduló víz helyzeti energiájának megváltozása szolgáltatja a forgó kerék mozgási energiáját, amely azután működtetni lehet a géphez kapcsolt berendezéseket.

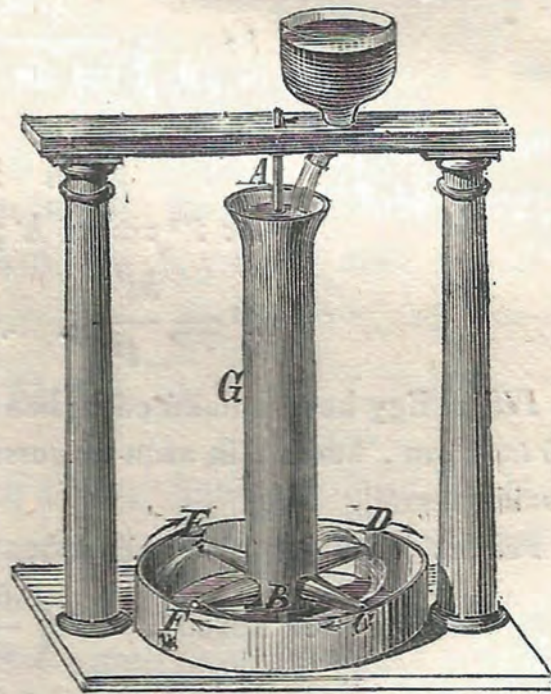
5. ábra. Segner rajza a vízikerekről



250. rajz.



251. rajz.



6. ábra. Rajzok Jedlik Ányos fizikatankönyvéből a Segner-kerékhez

Segner János a vízikerek ötletének megszületésekor azonnal gondolt arra, hogy a berendezést gyakorlati célokra is fel lehet majd használni. A hatás növelése érdekében ezért négy toldalékot, négy vízkivezetést használt. Ezekhez csöveken folyt le a víz, és csak a berendezés tetején volt víztartály. Így nem kellett nagy vízmennyiséget forgásba hozni úgy, mint az eredeti, a működési elvet bemutató modellnél. Emellett gondolt a légellenállás csökkentésére is. Abban, hogy Segner a vízikereket gyakorlati célokra is fel akarta használni, biztosan szerepet játszott az a tény, hogy a Segner-családban több molnár foglalkozású személyről tudunk, akik saját vízimalmokkal is rendelkeztek Pozsonyban, a Vödric-patak (Vydrica) partján. Egyebek mellett a pozsonyi iskolatárs, a neves geográfus, Mikoviny Sámuel (1698–1750) könyvében is megtalálhatjuk a nagy esésű Vödric-patak metszeti rajzát. A patakra telepített malmok elhelyezkedését az egykori, 1900-ban kiadott pozsonyi térkép is mutatja. Mindkét ábrát tartalmazza Juraj Potočan írása [3], aki levéltári adatokra támaszkodva felsorolja, hogy Georg Andreas Segner (szül. 1742), Erhardt Segner (szül. 1752) és Paul Segner (szül. 1758) molnárok voltak.

A régi korok kiváló műszaki érzéssel megáldott hajóskapitányai a menettulajdonságok javítása érdekében nagyon sok átalakítást eszközöltek hajóikon, így ők voltak az első hajóépítő mérnökök. Ugyanígy, az eszelebb molnárok sok évtizedes tapasztalataik alapján változtattak a malmok szerkezetén, ezért a vízépítő

mérnökök előfutárainak tekinthetjük őket. Segnerék egyik malma a Vydrica dunai torkolatától számított harmadik malom volt. Juraj Potočan 1977-es tanulmányában azt írja, hogy ekkoriban a malom pincéjét és az alapok romjait lehetett már csak látni a festői környezetű malomvölgyben. A családi címerrel díszített malmot Segner János 1594-ben született ükapja, András építette, feltehetően 1648-ban, melyet tanuló ideje alatt egyik nagybácsija működtetett. A pozsonyi líceum igazgatója, Segner nagy hatású tanára, Bél Mátyás (1684–1749) adatai szerint közvetlenül a patak torkolatánál is állt egy malom, 500 lépéssel feljebb egy másik, és a harmadik, a Segner-malom, újabb ötszáz lépéssel feljebb.

A történész és geográfus Ortvy Tivadar (1843–1916) *Pozsony utcái* című kiváló monográfiájában azt írja, hogy „*Segnerék címere a Malomvölgyi ötödik malomnál is látható*”, tehát ez a malom is a Segner-család valamelyik tagjának a tulajdonában volt. A Malomvölgyi műszaki emlékek közt is így tartják számon az ötödik malmot, amelyről azt írják, ez az utolsó malom, amelynek még ma is található fizikai nyomai. A környező gazdasági épületeket lebontották, a lakóépületeket pedig a híres építész, Emil Bellus (1899–1979) tervei alapján, 1932-ben újjáépítették. Misád Katalintól, a szlovák nyelvű

Segner-életrajzot magyarra fordító pozsonyi kollégánótól tudom, hogy Pozsony régi ipari negyedében, a Patrónka nevű városrészben, a brünni autópálya kezdete előtt, a Malomvölgy utca és a Habán malom utca sarkán („*ulic Mlynska dolina a Pri Habanskom*”) valamikor egy malom működött. Ennek helyén áll egy előkertes ház, a kert bejárata mellett pedig egy kő dombormű, mely a Segner-címet ábrázolja. Felül jól kivehető az „*Ora et labora*” — „Imádkozzál és dolgozzál” felirat, az alsó sorban pedig az 1665-ös évszám. A kőtáblát néhány éve ásták ki a kertben a földből, amely az ötödik malmot díszíthette (7. ábra).

Segnerék malmát felülcsapott vízikerek hajtotta, melyet a felduzzasztott patak vizével működtettek. Potočan és munkatársainak becslése szerint a szerkezet 10 kW teljesítményű lehetett, közel 6 méteres vízszintkülönbség és 120 liter másodpercenkénti vízbocsátás feltételezésével. Ez utóbbi értéket az Állami Hidrológiai Intézet 1952-ben elvégzett vizsgálatai alátámasztották: évi átlagos 115 liter/s értéket mértek. Az interneten ezt olvashatjuk: „*Segner a Vödric-pataknál lévő családi malomban próbálta ki annak a vízikereknek az első példányát, melyet később róla neveztek el.*” Ez azonban feltehetően csak legenda. A valóság viszont az, hogy Segner tanulmányt írt a Göttingentől 10 km-re, északra fekvő Nörtenben (ma Nörten-Hardenberg) létesített olajütőmalomról, amelyet az általa feltalált és Euler által tökéletesített vízikerekkel működtettek [4]. Az olajmalmot Nörtenben, Hardenberg báró („*Herr Geheimtenrath von Hardenberg*”, „*Herr Geheimte Rath*”)

birtokán és támogatásával építették meg. A báró az építkezés megkezdése előtt szakvéleményt kért Eulertól, és csak a pozitív állásfoglalás után kezdték meg a munkát. Segner írásában név szerint említi a kivitelezőt és az építőmestert, emellett beszámol az építkezés gondjairól és műszaki nehézségeiről. A berendezés valószínűleg erős, de mérnöki túlméretezett és nehéz volt, emiatt, valamint a fellépő nagy sebességek következtében jelentős súrlódási és légellenállási veszteségek jellemezték.

Segner a vízáramlás sebességét a Henri Pitot (1695–1771) által megalkotott eszközzel mérte. Úgy tudják, hogy ez volt az első eset, amikor a Pitot-cső az áramló víz sebességének mérésére szolgált. Később összehasonlította gépének adatait egy másik, Felső-Hardenbergben jól működő, felülcsapós vízikerekkel hajtott olajmalommal, amelynél 15 láb magasból 200 font víz zúdult alá. Saját malma 11 láb magasból 140 font vizet használt másodpercenként. Segner gépe percenként 136, míg a régi típusú gép 264 ütést mért a magokra. Megállapítja, hogy a felsorolt mennyiségek arányosak egymással, így gépe felveheti a versenyt a régi típusú malmokkal. Sőt, azt állítja, hogy további finomításokkal elérhető, hogy egy régi típusú malom vízfelhasználásával akár 4 vagy 6 új gép működtethető. Végül, mint „molnár-ivadék”, büszkén állapítja meg, hogy a gépe — ellentétben a régi vízikerekkel — szép egyenletesen jár, „mint egy óramű”, és ez a szépség („*diese Schönheit*”) a működtető molnárokat meglepéssel töltheti el.

Nincs tudomásunk arról, hogy az eredeti olajmalomból valami is megmaradt volna, és őriznék valahol egy múzeumban. A müncheni Deutsches Museum tulajdonában is csak egy modellváltozat található, amely jelenleg raktárban pihen. A katalógusban Reaktionsrad, illetve Turbine elnevezéssel szerepel Segner neve alatt BN 127/05252 jelzettel [5].

KOVÁCS LÁSZLÓ

7. ábra. Segner-címeres kőtábla



IRODALOM

- 1 <http://resolver.sub.uni-goettingen.de/purl?PPN60971935>
- 2 Jedlik Ányos: Természettan elemei. Első könyv. 'Sulyos testek' természettana. Pest, Emich, 1850. 374. p.
- 3 Juraj Potočan: Der Beitrag von Johann Andreas Segner zur Entwicklung des Wasserturbine, in Johann Andreas Segner (1704–1777) und seine Zeit, Hallisches Segner Symposium 1977, Halle/Saale Ed.: Wolfram Kaiser, Burchard Thaler. — A szerző a pozsonyi Műegyetem tanára.
- 4 J. A. Segner: Von der zu Nörten bey einer Oelmühle angebrachten neuen hydraulischen Maschine. Hannoversche Gelehrte Anzeigen, 1753. 3. Bd. St. 60. pp. 881–888
- 5 Register zur Microfiche-Edition, K. G. Saur, München, 1997