

Szepesi Zoltán

Esztergom reneszánszkori bámulatos vízgépe

EVLIA CSELEBI az „istenfélő írástudó” 1660-1664 között járt Magyarországon és útleírásából, – melyet Karácson Imre orientalista fordított magyarra – vált teljes részletességgel ismertté számunkra, hogy az esztergomi Várhegy lábánál fakadó bővizű forrás vizét elődeink egy rejtélyesen működő vízemelő gépezet segítségével miként juttatták a 70 m magasan épült fellegvárba.

EVLIA CSELEBI der „Gott verehere Wissensreiber „war in Ungarn zwischen 1660-1664 und, von seine Reisebeschreibung – des Imre Karácson orientalist hat übersetzt ungarisch – wird ausführlich bekannt für uns, das in Esztergom unter den Berg wo das Burg-Zitadelle steht ist eine breite Quelle, welche hat für den Celepten, mit eine betätigt Maschinen haben sie das Wasser 70 Meter höche gebaut Burg-Zitadelle kommen lassen. In renesanse Zeit war diese „Wasserpumpe” gebaut, war noch nicht bekannt diese Technik, so das können sagen, wir da in Esztergom war eine technische Wunder.

Evlia Cselebi, a rendkívüli műveltségű török világutazó, aki Köprülü-záde Fázil Ahmed pasa haditudósítójaként 1663 augusztusában, Esztergomban járt, meglepően plasztikus leírást közölt az úti beszámolójában egy, a Várhegy lábánál rejtélyesen működő bámulatos vízgépről. Az írás alapján éles vita alakult ki a témakörrel foglalkozó kutatók között mind a vízgép működési elve, mind pedig annak építetője vonatkozásában. Álláspontunk szerint azt, hogy Vitéz János volt a reneszánsz vízgép építetője és egyben tervezője, Ritoókné Szalay Ágnes Esztergom, az ezeréves kulturális metropolis című munkájából vett Janus Pannonius idézete alapján véleményezhetjük. A nagybáty és öcs közötti meghitt kapcsolat és Janus ragaszkodó szeretetéről tanúságot tevő versek egyike Csonka Ferenc fordításában a következőképpen hangzik, amelyre állításunkat többek között alapozzuk:

*Most, amikor, boldog Magyarország, trónodon immár
Mátyás, hős apa hős sarja, dicső fia ül:
János, a pásztor, akolt épít, hogy a nyájnak a sikon
Biztonsága, el ne ragadja gonosz,
Tettéért, Péter, ki az égi bejáratot őrzöd,
Mennyed a pásztor előtt tárd ki a nyája előtt.*

Ezek a sorok (Ritoókné szerint) nem egy egyszerű erődítmény építésére utalnak, amely mögött a főpásztor biztonságban tudhatta nyáját (nobile septum), hanem minden bizonnyal az érseki palota és a királyi vár lakói számára az éltető vizet biztosító bámulatos gépezetre vonatkoztak. A vers keletkezésének időpontja az 1460-as évek második felére tehető, mely egybe esik az általunk is feltételezett vízgép építésének időpontjával. A „bámulatos vízgép” építésének feltételezett ideje az 1467 és 1469-es években lehetett, amely Vitéz János életének eseményei tükrében valószínűsíthető. Ismert, hogy lázadás címén Mátyás 1469-ben a főpapot fél évre a visegrádi várbörtönbe csukatta, majd élete végéig (1472. augusztus, 8) a primási palotában, házi őrizetre ítélte. Janus pedig, hogy elkerülje a börtönt, Firenzébe szökött. Az úton azonban tüdőgyulladást kapott, és meghalt. Ekkorra pedig már az események és a körülmények tükrében a vízgép készen lehetett.

Vitéz érsek európai és kelet-európai jelenség egyszerre. Kétségtelenül lángész, ki Hunyadi Mátyáshoz és Janus Pannoniushoz fogható, noha mindkettőjüknek mestere volt. Esztergom és a középkori magyar kultúra első számú pártfogója, kinek irányítása alatt a város a reneszánsz

kultúra hazai és egyben nemzetközi központjává vált. E dicső korszak reneszánsz erejét *Prokopp Mária* művészettörténész szerint „... az adta, hogy mi nem másoltunk senkit. Akkor már létezett egy ötszáz éves magyar állam, melynek sajátos történelme és szerepe ismert volt egész Európában. Egy nemrég megnyílt kiállításon derült ki, hogy Firenze a művészettörténet szempontjából a 15. században nem volt gazdagabb, mint mondjuk az akkori Kőszeg vagy Szeged. Esztergom pedig, mint érseki város természetesen még ezeknél is jelentősebb és tehetősebb település volt. Vitéz nem csak az építészeti remekművekben és a képzőművészeti alkotásokban varázsolta az újkor múzsáinak székhelyévé Esztergomot, hanem a természettudományokra is kiterjesztette figyelmét.”

Különösen a modern csillagászat volt kedvelt foglalkozása. Olyan csillagászati táblázatot készített, amelynek alapján előre ki lehetett számítani a nap- és holdfogyatkozások idejét. Ezt a kiváló matematikai-asztronómiai munkát a csillagászok még százötven évvel később, Kepler idejében is használták. Vitéz Jánost rendkívüli képességei szinte predesztináltak arra, hogy ezt az egyedülálló és személyiségére oly jellemző bámulatos vízgépet minden vonatkozásában megalkossa. Az volt a törekvése, hogy összegyűjtse maga köré a természettudományokkal foglalkozókat, mert tudta: „ők hozzák a bölcsességnek a legnagyobb hasznát.” Kiváló mesteremberek közreműködésével öntődét, valamint olyan asztalosműhelyt építtetett a malombástya közvetlen közelébe, ahol három év kemény munkájával elkészülhetett a világon máig egyedülálló vízgép, a bámulatos.

Bonfini szerint Vitéz János műízléssel épített érseki palotájához észak felől gyönyörű kettős erkéllyel ellátott folyosót kapcsolt, gömbölyű bástyatornyot és boltíves kápolnákat épített, amelyekben fürdőszobákról is gondoskodott. A sziklafal mellett pedig két kertet épített, amelyek közül az egyik függőkert volt. Ugyancsak Bonfinitől tudhatjuk, hogy a tűz pusztította székesegyházat teljesen felújította és tetőzetét tűzálló üvegmázaz cseréppel fedette.

Minden történelmi visszaemlékezés – Vitéz János érsek alkotói életútjának ismeretében – egyértelműen arra utal, hogy az esztergomi bámulatos vízgép építtetője maga az érsek volt.

Nemcsak a bámulatos vízgép születésének körülményeiről, hanem annak pusztulásáról is igen eltérő álláspontok ütköztek egymással, a témakörrel foglalkozó kutatók között. A vízgép megsemmisülésének időpontját a hivatásos szakemberek zömmel az *1683. szeptember 20-i párkányi csata* időpontjára teszik. Ezzel szemben az általunk végzett további kutatások azt sejtették számunkra, hogy a kuruc harcok utáni események vizsgálata során egyértelmű választ kaphatunk a bámulatos vízgép sorsáról. Kutatásaink eredményeként azt vártuk, hogy az 1707 és 1729-es évek között folytatott igen jelentős, a korszerű hadviselés szempontjait is kielégítő erődépítési munkálatok dokumentációiból választ kapunk a feltett kérdésre.

Feltételezéseink a vízgép pusztulásának időpontjára vonatkozóan beigazolódtak, amikor az 1756-ban *Krey János* mérnökkari főnök által a vár erődítéseiről és közvetlen környékéről készült munkájában a következőket olvashattuk a vízgépről: „... a vizivárvízmű segítségével ide hajtották fel a vizet. A gépezet idővel annyira elromlott, hogy (...) a vármegye hetenként két szekeret volt kénytelen az őrség rendelkezésére bocsájtani – vízfordás céljából. E szolgálattétel olyan terhes volt, hogy az 1721. júl. megyegyűlés erélyesen sürgeti az alispánt, hasson oda, hogy a már kész terv szerint a várbeli vízvezeték mielőbb elkészüljön. A törökök a jobb forrásvíz bevezetéséről gondoskodtak, a magyar érsek által nagy költséggel csináltatott Duna vízművet elhanyagolták. A XVII. sz. második felében legalább is már nem volt használható állapotban.”

A rejtélyesnek tűnő bámulatos vízemelőgép „halálának” titka (remélhetően a hivatásos szakemberek számára is) ezzel dokumentáltan feltárult. Bebizonyosodott, hogy nem a súlyos harcokban pusztult el ez a technikai csoda, hanem a Verpech forrás vízhozamának csökkenése okán fellépő működési zavarok miatt a törökök egyszerűen leszerelték.

A vízgép működési elvének tisztázása

A bámulatos vízgép működéséről számos korabeli leírás található, melyek egyben mindegyike megegyezik, nevezetesen a rendkívül hangos üzemmód említése. Szinte mindegyik leírás hordozott számunkra valamilyen fontos információt, amelyet felhasználhattunk Cselebi leírásához alkalmazva. Ilyen forrás volt *Wernherr György* tapasztalt útleíró munkája, aki a vízgép kör alakú medencéjében lévő edényt *tympanumnak*, azaz hidraulikus dobnak nevezte. Cselebi leírásában ez a gépelem a *sadirván* elnevezést kapta, mely az adott szövegkörnyezetben egyfajta hidraulikus tartályt jelent. 1595-ben a királyi seregek több mint két hónapig tartó esztergomi ostroma során a védők között harcoló *Pecsevi Ibrahim* török történetíró úgy emlékezik, hogy a vízgép „*csodás találmány volt. A bástyába vezetett víztömeg egy forgódobba zuhogott, amely önműködően sajtolta föl a vizet a várba, s közben olyan zajt vert és olyan látványt nyújtott, hogy:» örültté tette az embert «.*” A „*mennydörgő zakatolás és a víz zúgása, (...) zubogása*” visszatérő jellemzése a vízgépnek *Evlia Cselebi* írásában is. Talán a legszebb, amikor azt írja: „*Nagy Isten! Olyan zörgés keletkezett, mintha az utolsó ítéletnek hirdetője volna.*”

Ezek után számunkra nem volt kérdés, hogy a vízgép üzemében igen fontos szerepet kapott az erős hang keltése. Cselebi beszámolója szerint a friss forrásvizet egy zsiliplap nyitásával a lédás vízikerekbe engedték, amely így forgásba hozva a kapcsolódó fogaskerekes hajtás révén a vízgép azonnal beindult. A vízzel telt kör alakú medence közepén elhelyezkedő golyóemelő hengerkerek olyan fordulatszámra hozta, amely két másodpercenként párosával a rendszerben lévő bronzgolyókat a vízben lévő légharang (*tympanum*) tetejére dobta. Az így létrehozott erős hang által keltett longitudinális lökéshullám a légharangban lévő tiszta forrásvizet a fellegvárba vezető csővezetékbe lökte

Elképzelésünk igazolására a Rosenberg Hungária Kft. Támogatásával, közelítően a feltételezett eredeti méretekhez igazodva elkészítettük a modellkísérletek elvégzésére alkalmas berendezést. A harang, valamint a haranghoz kapcsolódó szerkezeti elemek együttese – megítélésünk és tapasztalataink szerint – egyértelműen alkalmas volt a modellkísérletek sikeres elvégzésére és teóriánk igazolására.

A kísérleti berendezés segítségével igazolt működési elv, valamint Cselebi által a vízgépről írottak ismeretében elkészítettük a bámulatos (*a vízellátó rendszer kivételével*) M1:10-es léptékű modelljének mintapéldányát. Az egyes gépelemek méretére utaló jelzők (*pl. kocsikerék, ágyúgolyó, emberi kar vastagságú stb.*) a korabeli mértékegység mérőszámaira történő átszámításával (*pl. öl, láb, hüvelyk stb.*) valósággal döbbenetes pontossággal egymáshoz illeszkedő gépláncot kaptunk.



Cselebi leírása alapján készített vízgép modell képe a vízellátó rendszerrel

A vízgéppel kapcsolatos rajzos és képes prezentáció a reneszanszvizgep.uw.hu web oldalon tekinthető meg, így a kísérleti modell kinematikai vázlata is itt követhető nyomon. A kísérleti medence átmérője 1000 mm, magassága 800 mm volt a légharang magasságáig vízzel töltött állapotban. A harang, NA300x700 mm-es acélcsőből és a fedlap, valamint a fenéklemez 6 mm lapvastagságú A34-es acéllemezből készült. A légharang alsó palástfelületén elhelyezett szívó, mind pedig a nyomószelep szerepét betöltő gépelem szabványos méretű, rugóterhelésű 3/4"-os visszacsapó szelep helyettesítette. A nyomó szelephez kapcsolódó csővezetékbe annak érdekében, hogy a folyadékoszlopban az elvárt min. **6 bar** túlnyomást létrehozhassuk, légüstöt csatlakoztattunk. A medencét feltöltő víz a hidrosztatikus nyomás hatására a szívószelepen át a légharang belsejébe tódult, melynek hatására a harangba zárt levegő túlnyomás alá került. A túlnyomás méréséhez Burdoncsöves nyomásmérőt alkalmaztunk. A vasgolyók helyett, amelyek az eredeti vízgép esetében a harang tetejére csapódtak, elfogadva a 100 mm átmérőjű, és 4 kg tömegű méretet, egy Farkas-kalapácsos mechanizmust csatlakoztattunk. Hajtóegységként frekvenciaszabályozós villamos motort alkalmaztunk. A gép indítása után a légharang fedelére mért ütések által keltett erős hang olyan longitudinális lökeshullámot hozott létre, mely az enyhe túlnyomású (0,07 bar) edényből a levegő közvetítésével a vizet a nyomóvezetékbe lökte. A kísérleti berendezés segítségével a bámulatos működési elvére vonatkozó teóriánk egyértelműen igazolást nyert. A mérési sorozat során tapasztalataink szerint a percnkénti 60-as ütésszám mellett dolgozott legmegbízhatóbban a berendezésünk, mely könnyedén teljesítette az elvárt túlnyomás szintjét.

● Az erős hang által keltett lökeshullám hatására működő áramlástechnikai gép üzemének magyarázata:

- az alacsony túlnyomású levegővel telt légharang (*tympanum*) terében a lökeshullám valósággal ütést mér a víz felszínére, majd haladási sebességét közel háromszorosára növelve a vízben, a nyomószelepen át azt a nyomóvezetékbe löki. A nyomóvezetékhez kapcsolódó energiatároló-légüst (amelyre csak a kísérleti mérések során van szükség) képes fogadni az ugrásszerűen meg növekedett nyomású- és mennyiségű vizet, a nyomásmérő pedig a nyomásnövekedés mértékét folyamatosan mutatja;
- a légharangban maradt vízben a visszaverődő lökeshullám a kismértékben lengésbe hozott tömeget a légtér felé mozdítva elősegíti a szívószelepen át a harangba tóduló víz beáramlását. Természetesen ez az áramlás elsődlegesen a légköri- és a medencében lévő víz hidrosztatikai nyomásának együttes hatására jöhet létre. Annál nagyobb a légharangba tóduló vízáram mennyisége, minél kisebb a belső térben uralkodó összes nyomás;
- a vízgép úgy működik, mint egy szabadlökötű dugattyús szivattyú (a dugattyúhoz nem kapcsolódik hajtókar). A longitudinális lökeshullám hatására a légharangban lévő víz, mint egy valóságos dugattyú kilöki (kinyomja) a nyomószelepen át maga előtt a vizet, majd a reflexiós jelenség hatására „beszívja” a medencéből a kiszorított víz térfogatával azonos mennyiséget.

A kísérleti mérések során igazolást nyert, hogy a bámulatos az erős hang által keltett lökeshullám hatására elvileg hasonlóan működik, mint a dugattyús szivattyúk. Az eltérés csupán abban mutatkozik, hogy míg a dugattyús szivattyúk esetében a dugattyú a hajtókaron át kapja a működéshez szükséges energiát, addig a bámulatos „dugattyúja” a hengertér felőli oldalról egy enyhén túlnyomásos légtéren keresztül lökeshullám formájában. Eltérés még, hogy a bámulatos üzemében az első ütem a *kinyomás*, és csak a második ütem a *beszívás* üteme. Az emelőmagasság hasonlóan a dugattyús szivattyúkhöz *elméletileg végtelen* és gyakorlatilag korlátot csak a bevezetett teljesítmény mértéke vagy a gép szilárdsági paraméterei jelentenek.

A vízgép szerkezeti felépítése és a gép vízellátó rendszere

• A Verpech forrás története és a bámulatos vízgép vízellátása

A malombástya belsejében a 26 °C hőmérsékletű, bőséges hozamú Verpech karsztforrás a Duna legmagasabb árvízszintje alatti magasságban a Várhegy északnyugati lábánál fakadt. A forrásvizet **4 m** magasságba duzzasztották, hogy egyrészt biztosított legyen a védelme a gyakori árvizekkel szemben, másrészt pedig, hogy a megemelt forrásvíz munkavégző képessége a nehézkedéssel növelésével hasznosíthatóvá váljék. A megnövelt energiaszintű forrásvizet a XIII. század elején már egy egykőves, a régészeti feltárások nyomaiból következtetve alulcsapott, esetleg középen csapott vízikerekkel hajtott egykőves malom működtetésére hasznosították. A történelmi kutatások a vízimalom létét az 1229-es évre teszik és a malom úgy 3-4 m távolságra lehetett a forrásfoglalótól.

Elődeink igen nagy becsben tartották a forrásvizeket, és fontosnak tartották azok tisztaságának megőrzését. A Verpech forrás védelmére és a mindenható Isten dicsőségére tornyot is építettek a foglaló fölé. A forrásfoglalót terméskő falazattal vették körül, amely a duzzasztáson túl egyúttal a Verpech torony alapzatát is adta. A duzzasztás érdekében a foglaló köré falazattal olyan vízaknát (ciszternát) alakítottak ki, amelyből a régi malom csökkentett mennyiségű vízellátása mellett még a hévízi fürdők termálvizét is biztosíthatták. Mind a malomtól, mind pedig a fürdőkből egyenesen a Dunába ömölhetett a lehűlt forrásvíz.

Cselebi a bámulatos vízgép leírásakor többször említi, hogy a Duna vizét emelték fel a fellegrábra. Még a hivatásos szakemberek is hajlamosak voltak ezt az állítást kritika nélkül elfogadni, ezzel figyelmen kívül hagyva azt a tényt, hogy a forrásvíz kifolyási szintjét elődeink jóval az árvízszint fölé emelték (4 m). Így még árvíz idején is biztosítva volt, hogy a bámulatos kör alakú medencéjébe csakis a kristálytisza forrásvíz jusson, még akkor is, amikor a gépházba tóduló Duna vize a medencét kívülről elárasztotta. Ha mást nem is, de azt mindenképpen megtanulták elődeink a rómaiaktól, hogy még hosszú kilométereken át is érdemes építeni aquaeductust (*régi rómaiak vízvezetéke*), amely segítségével biztosítani lehet a kristálytisza ivóvizet az emberek számára. Esztergomban is épült aquaeductus, mely a Jánoskúti forrás tiszta vizét vezette a szenttamási lakosság ellátására az égetett cseréppel bélelt, a leírás szerint nyitott csatornán.

A vízimalomhoz képest az 1460-as évek második felében a bámulatos vízellátására kb. 20⁰-os szögben, nyugati irányba a ciszternából bukógát által behatárolt szintmagasságból kiindulva egy, a mai szemmel is „csodálatra méltó”, téglából épített *víztömör* csatornát építettek. A malombástya belső udvarában, mely földdel volt feltöltve, az ásatások során került napvilágra az a közel 540 éves építmény, amelyen keresztül őseink (*megdöbbenő műszaki ismeretekről téve tanúbizonyságot*) a bámulatos vízgép „erővíz” ellátásáról 200 éven át, gondoskodtak. Bizonyosságot nyert, hogy ez az egyedülálló vízrendszer az évszázadok háborúi során –az 1595-ös ostromot kivéve– egyszer sem szenvedett olyan súlyos sérülést, amely a helyreállítás után veszélyeztethette volna a vízgép működését, és egyben bizonyítéka annak is, hogy a bámulatos egyértelműen nem a párkányi csata ágyútűzében pusztult el.

A víztömör csatorna egy négyszög keresztmetszetű, kötésbe rakott falazótéglából épített, kb.30 cm tiszta szélességű, és kb. 50 cm magassági mérettel készített remekmű volt. A csatornarész 2 db olyan négyszögletes, fedett üreget tartalmazott, amelyek egyértelműen a légüst feladatát voltak hivatottak ellátni. A ciszternától kb. négy ölnyi, azaz közel 8 m távolságra egy, a római kori építményekre jellemző, a csatornára merőlegesen elhelyezkedő egyaknás közkút épült. A két légüst szellőztetéséről a közkút légteréből a forrás felé kiinduló, a csatorna felső boltozatában kialakított, téglányi méretű légvezető csatorna (*kb. 6×15 cm*) gondoskodott. Becslés után a közkút térfogata úgy 10 ~ 15 m³ lehetett, melybe szorosan a vékony várfalnak épített őrszem állása és az őrhely mellé épített fülkéből lépcső vezetett a

belsejébe. A kút Ny-i oldalfala alsó részébe, a vízvezető csatornával szemben egy olyan méretű, zsiliplappal ellátott nyílást készítettek, amelyet csak akkor nyitottak meg, amikor a víztározóban a forrásvíz szintje elérte a légüstök levegőztető csatornájának alsó szintjét. Így a zsiliplap nyitásakor biztosított volt a kontinuitás törvénye, miszerint ugyanannyi víz folyt a forrásból a kútba, mint amennyi onnét adott időegység alatt távozott. Amikor ezt a zsiliplapot gyors mozdulattal elzárták, ugyanekkor a lejárati lépcső mellett kiépített kb. 30×30 cm-es csatorna kifolyónyílásába elhelyezett zsiliplap nyitása következett be. Így a kútból, valamint a forráshoz közelebbi légüsthöz csatlakozó, ugyancsak az előbbi mérettel készült oldalági vízvezető csatornából a kristálytisza forrásvíz a vízemelő gép felülcsapott ládás vízikerekébe folyhatott.

A kútból kiáramló víz útjának gyors elzárásakor ez a víztömeg a zsiliplapon felütközött, majd az eddigi áramlási iránnyal szembefordulva és a közeg nyomása kb. 50%-al meg növekedett szintre ugrott. A műszaki életben ezt a fizikai jelenséget a *vízütés* jelenségének nevezzük, mely jelenség romboló hatását már elődeink is jól ismerték. Ők úgy semlegesítették az ugrásszerűen fellépő túlnyomást, hogy energiaelnyelő légüstöket építettek a vízvezető csatornába. A ma mérnöke pedig úgy méretezi a csövezetékek falvastagságát a káros hatások kivédésére, hogy a névleges közegnyomás 1,5 szeresével számol. Természetesen a vízütés jelensége a vízgép leállításakor is hasonlóan jelentkezett az erővíz útjában lévő zsiliplap gyors zárásakor, mint ahogy az, az előzőekben ismertetett módon történt.

Cselebi leírása szerint a vízgép felett deszkából készített kupolás fedél épült, amelyen egy *„nyitható tetőablak és ebben egy kéménynyílást”* is készített az építő *„tudós mester”*. A vízgép indításakor a gépkezelő *„... a tetőn az említett kéménynyílás födelét felnyitván a gépházat kinyitotta s a meleg forrásnak a Dunába folyó útját elzárván a gépházban levő magas keréknek vizet befogadó kis ládái vízzel teltek meg, a mire a hengerkerekek azonnal forogni kezdtek”*. Teljesen egyértelmű, hogy indításkor a tető ablakának nyitásával a fűdémszerkezetbe épített gerendát mérlegkarként működtetve az egyik végével az alsó zsiliplapot zárta és ugyanakkor a másik végével a felső zsiliplapot azonnal nyitotta.

A felső zsiliplaphoz kapcsolódó surrantó erős lejtéssel, a relatív sebesség növelésével vezette a forrásvizet a vízikerekre. A vízsebesség növelése a *diffúzor* hatás kiegyenlítése végett volt szükséges, mivel a surrantó mérete a csatorna méretéhez képest kétszeresére szélesedett. A két láb, azaz a kb. 60 cm széles vízikerek méretével kellett, hogy egyezzen a surrantó mérete is. A szerkezeti elem végén egy olyan kazettát alakítottak ki, amelynek csak az alsó fenéklemezén volt a ládák irányába szabad kifolyás biztosítva. A nyílás mérete éppen akkora volt, amelyen keresztül a vízikerek három ládájába folyhatott csak a forrásvíz. Ugyanis a kívánt fordulatszám végett éppen ennyi időre volt szükség ahhoz, hogy egy láda teljesen feltöltődjék. Így a kiszélesedő csatorna a relatív sebességnövekedés, valamint a diffúzor hatás kioltása miatt bekövetkező nyomásállandóság mellett biztosította a vízikerek egyenletes és zavartalan vízellátását, a ládák teljes feltöltését, valamint a rendkívül egyenletes forgatónyomaték állandóságát. A zsiliplap nyitásakor a vízgép szinte késedelem nélkül azonnal elindult.

- A felülcsapott ládás vízikerek

Cselebi a vízikereket egy, a *„kocsikerék nagyságú hengerkerék”*-hez hasonlítja, amelyen *„ötven darab kis láda (...) helyezkedik el „körös-körül.”* A vízikerek valóban egy kocsikerékhez hasonlított, hiszen a kornak megfelelő méretével (*kb. 1 bécsi öl*) és a tölgyfából készült merevítő vázszerkezettel, amelyhez a vörösfenyőből készült ládák kapcsolódtak, küllős kerék látványát idézte. A modell készítésekor az SI mértékegység rendszer használatos hosszúsági méreteivel dolgoztunk, de a szükséges számításokat általában a reneszánsz korban használt mérőszámok alkalmazásával végeztük. Így a vízikerek méretezésekor annak

szélességét 2 láb, azaz 63,2 cm-ben számoltuk, míg az átmérőjét 189,64 cm-nek vettük. Mivel egészen bizonyos, hogy a vízikerek lapátjait, valamint az oldalfalakat is vörösfenyő deszkából készítették, a deszka vastagságát a kornak megfelelő *hüvelyk* mérettel, azaz 2,634 cm-rel számoltuk. Ezekkel az adatokkal dolgozva, meglepő eredményre jutottunk. A ládák száma valóban a leírásban említett 50 db lehetett és a lapátok falvastagságának figyelembe vételével a ládák tiszta osztástávolsága 9 cm volt.

A vízikerek lapátjai két sorban egymásra építve *hátrahajló lapátozással* készültek. A rövidebb sugarú belső lapátsor 10 cm-es lapát magasság mellett 125°-os, míg az erre a lapátsorra épülő külső lapátsor már 15 cm-es magassággal készült, amelynél a hátrahajlási szög 145°-os volt. Ez a két lapátsor egymásra építve éppen az *evolvens* -, vagy *lefejtett görbe* ismert képét mutatják. Erre a megoldásra általában azért van szükség, hogy a felülcsapott ládás vízikerekben lévő víz nehézkedési energiája maximálisan kihasználható legyen, másrészt pedig az elkészítés lehetősége is ezt igényli. Sugár irányú lapátozás esetén a ládás kerék vize alig 1/4 fordulatig volna hasznosítható, míg az evolvens görbe érintőjeként készített lapátsor 1/3-os kihasználtságot biztosít. A vonatkozó szakirodalom és a gyakorlati tapasztalatok alapján a vízikerek percenkénti fordulatszáma 66 fordulat volt. Ez a fordulatszám úgy volt biztosítható, ha a feltöltött ládák száma 22 db az 1/3-os vízikerek tartományban. Egyben ez az adat határozta meg az energiaközvetítő víz szükséges mennyiségét is.

- Az ovális alakú medence a víztorlasztó gátfallal, és az üzemi vízszintet szabályozó zsiliplap

Evliá Cselebi ugyan kerek vízmedencéről ír, de egészen bizonyos, hogy ez a megjegyzés nem a teljes medenceméretre vonatkozott. A ládás vízikerekről az alatta lévő vályúba kerülő víz a kb. 3 m hosszú, és a 2 m széles fehér márvánnyal burkolt medencébe jutott.

Hogy mégis kör alakúnak vélte Cselebi a medencét, az a vályúval szemben elhelyezkedő víztorlasztó gátfalnak volt köszönhető, mely alig 0,7 m távolságra épült a vályútól. A víztorlasztó gátfal is, mint ahogy a medence falazata, íves kialakítású volt, amely valóban olyan érzetet keltett, mintha a medence falazata kör alakú lett volna. A torlasztó gátfalnak igen fontos szerep jutott az áramló víz mozgásának irányításában. Egyrészt megakadályozta a vályúból kiömlő vizet abban, hogy az ágyúgolyó formájú bronzgolyók mozgásával szembe áramolva megzavarja azok rendezett mozgását, a másik oldaláról nézve pedig éppen, hogy a golyók helyes irányú mozgását segítse.

Mint a medencében minden szürkekőből készült falazatot, így a gátfalat is fehér márvánnyal burkoltak. Ennek egyik oka a forrásvíz tisztaságának rendkívül igényes védelme, a másik szempont pedig a medence vízzáró tömörségének a biztosítása volt. A burkolatot égetett mészkő és tojás keverékéből készített kötőanyaggal erősítették a falazatra.

A medencefal magassága bő 1 m körüli lehetett, míg a benne lévő víz 0,8 m mélységű volt. Ezt az állandó vízszintet a medence végén látható, bronzból készült zsiliplap biztosította. Felső peremét úgy alakították ki, hogy az bukógátként működhessen, amelyen az átfolyó vízfelesleg a medence szintjét állandósította. Az így átbukott vízfelesleg a célszerűen kialakított csatornába, majd csatlakozva a víztározó csatornájához, a lehűlt fürdők vizével együtt egyenesen a Dunába jutott.

- A medence víztelenítését biztosító zsiliplap a nyitáshoz szükséges emelőkarral, kötélzettel és a Dunába vezető csatornával

A medence víztelenítését akkor kellett elvégezni, amikor a légharang „levegőztetésére” volt szükség. Mint ahogy azt a tisztelt olvasó is ismeri, a levegő a vízben oldódik. A harang esetében ez a fizikai jelenség azt eredményezi, hogy a benne lévő víztömeg felett elfogy a levegő, vagy, ahogy mondani szoktuk, légüres tér keletkezik. Légüres térben pedig még a

hang sem terjed. A gázokban terjedő longitudinális hullámjelenség magyarázatára kísérleti példát is hoztunk, miszerint ha növeljük a kísérlet során pl. az éghető gáz nyomását, ezzel az energiasűrűség, azaz a láng magassága is növekedni fog. Ha pedig csökkentjük, vagy éppen elzárjuk a gázcsapot, az eredmény nem szorul magyarázatra. Amikor a légharangból elfogy a levegő, nincs, ami a lökéshullámot a víztömeg irányába továbbítsa, a gép vízszállítása megszűnik.

Mivel a légharang a vízzel telt medence közepén állt, levegőt csak úgy lehetett a belső terébe juttatni, ha a környezetéből, valamint a belsejéből is eltávolították a vizet. Ez utóbbi műveletet a későbbiekben ismertetésre kerülő, a gép *működése közben*, azaz a dinamikus állapotában bemutatásra kerülő, a *szökőkút* jelenségének leírását tartalmazó részben fogjuk tárgyalni.

A korszerű dugattyús szivattyúk esetében a szívóoldali légüst levegőztetésére az ún. *hörgőszepeteket* alkalmazták, amelyek a lecsökkent belső nyomás hatására önműködően kinyíltak és kellő mennyiségű levegőt engedtek beáramolni a légüstbe.

Ezen a helyen csupán annak adjuk magyarázatát, hogy miért volt szükség a zsiliplapot felemelő karra. Ha meggondoljuk, hogy a medencében a kb. 6-7 m³ víz nyomása és a szorosan illeszkedő zsiliplap nyitáskor fellépő súrlódó erő együttesen mekkora erőkifejtést igényelt, belátható, hogy az emberi erő ehhez kevés lett volna. Ezért elődeink a fogaskerék szekrény második módosító fokozatának tengelye - és a zsiliplapot emelő kar közé olyan kötéلكapcsolatot építettek, amelynek segítségével a gép lassú indításakor a zsiliplapot könnyedén megemelhették. Az emelőkar és a zsiliplap kapcsolatához olyan kétágú kötelet alkalmaztak, amely lehetővé tette az emelőkar íves, míg a zsiliplap egyenes vonalú elmozdulását. A gépet csak addig járatták, amíg az emelőkarhoz szorított kötél a zsiliplapot 25-30 cm magasra meg nem emelte. Ha ezt a rést elérték, a kötél szorításán engedtek, hogy a medencéből távozó vízáram ne lehessen olyan erős, hogy kárt tegyen a Duna felé vezető csatornában. Mivel a vízikerek nem állt meg azonnal, ahogy elvették róla a hajtóvizet, a laza emelőkötel még tovább haladva sem nyithatta a kívánt értéken túl a zsiliplapot.

- Az osztott-házás fogaskerék szekrény

Hogy a fogaskerekek méretezése számunkra kényelmesebb legyen, az egy, ill. kettő láb mérőszámokhoz közelítve a kisebb kerekék osztókörét 40 mm-nek, míg a nagyobbakét 80 mm-nek vettük. A méretezés után a kis kerekék fogszáma 10-re, a nagykerekék fogszáma pedig 20-ra adódtak. A módosítások közül az első két módosítás a vízikerek melletti, síkban osztott szekrénybe, míg a másik három fokozat az ovális alakú medencéhez képest közvetlenül a víz feletti vonalba kerültek. Egészen természetes, hogy ezeknek a fogaskerekeknek egyike sem érintkezett a forrásvízzel, hiszen mindegyik kerék siklócsapágyát, valamint fogprofilját kenni kellett a túlzott kopás, valamint a nagymérvű súrlódás csökkentése végett.

A fogaskerekék vázszerkezete általában tölgy-, illetve körtefából, maguk a fogak pedig vörös, illetve fekete ébenfából készültek. Ne feledjük, hogy ezek a nemes anyagok (mint pl. a fehér márvány is) az érseki palota építésénél nagy mennyiségben állt rendelkezésre, amelyből a vízgép építői is a szükségletek szerint használhattak. Csak így képzelhető el, hogy a vízgép fogaskerekéi és a bronzból (vagy inkább fekete ébenfából) készült tengelyei ilyen hosszú időn keresztül biztosították a zavartalan működést.

- A „teve nyaka módjára girbe-görbe” alakú hengerkerék

A bámulatosnak ez az eleme az, amely egyáltalán arra ösztönözött bennünket, hogy az érthetőség kedvéért modellt készítsünk magunknak e csodálatos technikáról. Cselebi a következőképpen emlékezik meg erről a gépelemről: „... a *fahengerkeréknek kerekéi és*

kötelei emberi ágyék vastagságú vaskerekek és kötelek. Némelyik kerék emberi kar vastagságú s teve nyaka módjára girbe-görbe, mesterséges kerék. A kovácmester eme bámulatos kerekeknél annyi ügyességet fejtett ki, hogy az elképzelhetetlen”.

Hiába próbálkoztunk a *kerék kerekeinek* megrajzolásával, minta nélkül sehogy sem boldogultunk. Elkezdtük az erőátviteli lánc méretezésével majd elkészítésével, közben nem kis aggodalommal közelítettünk a golyóemelő hengerkerék reprodukálása felé. Később beigazolódott, hogy felesleges volt az aggodalmunk. Munkánk során már nem volt gondunk a hengerkerék méretezésével, mivel annak szinte minden fontos mérőszáma valósággal adta önmagát.

Az első pillanattól kezdve meggyőződésünk volt, hogy nem *kovácmester* ügyességét, hanem *öntőmester* keze munkáját dicsérte ez a bámulatos hengerkerék. A vízgép minden fémből készült eleme bronzöntvény volt. Az öntvények vörösréz, valamint 22% ón összetételéből álltak. Igen valószínű, hogy szakrális indíttatásból az öntvény, ötvözőként 10% körüli ezüstöt is tartalmazott. Ez magyarázatát adhatja annak, hogy sok szemtanú – közöttük Cselebi is – az ezüst oxidációja miatt vasból készült elemnek ítélte több alkatrészt.

Ahogy azt már írtuk, a vízikerek percenkénti fordulatszáma (ma is élő tapasztalat) 66 volt. Mivel a fogaskerekek felező módosítással kerültek a hajtóműbe, az ötödik fokozatban, amely végül is a golyóemelő hengerkerék fordulatszámát adta, a percenkénti 4,125 fordulatra módosult. Ez a fordulatszám pedig forgattyús fokban értelmezve azt eredményezte, hogy a bronzgolyók a felső holtponthelyzet előtt kb. 5 forgattyús fokkal, biztosították a statikus kiegyensúlyozottságot. Az egyszerre két-két golyót emelő, és a hengerkerék peremén elhelyezkedő, hét darabból álló golyótartó fészkek percenként 30-szor kerülhetett a felső holtponthelyzetbe. A teve nyaka-formájú szegmensek golyóvezető csatornáiban a golyók legördülve „... a Dunára csapódván a Duna vizét erővel a vascsövekbe hajtották.” Nyilván nem a Dunára, hanem az ovális alakú medencében lévő légharang tetejére csapódtak és a golyók által keltett lökéshullámok a harangban lévő forrásvizet erővel a „vascsövekbe” lökték.

A golyóemelő hengerkerék tervezése során elődeink igen nagy figyelmet fordítottak mind a statikus, mind pedig a dinamikus kiegyensúlyozottság kérdésére. Megfigyelhető, hogy míg a függőleges felezővonalhoz képest az elem jobb oldalán a hétből négy, ezzel szemben a bal oldalán csak három szegmens található. Viszont e három szegmens golyótartó fészkeiben 6 db bronzgolyó helyezkedik el, amelyeknek az összes tömege éppen megegyezik a hiányzó negyedik szegmens tömegével. Tehát a hengerkerék statikus kiegyensúlyozottsága a bronzgolyókkal együtt minden helyzetben biztosított, mely állás a vízgép mindenkor leállításakor automatikusan biztosított.

Üzem közben, mivel a hengerkerék golyótartó fészkei úgy viselkednek, mint egy sugárirányú lapátzással készült szivattyú járókereke, a *kettős beömlésű örvényszivattyú* üzeméhez teszi hasonlóvá a bámulatos vízgépet. Ugyanis a kettős beömlésű szivattyúk esetében tökéletesen biztosított a tengelyirányú erők kioltása, a víztorlasztó gátfal pedig gondoskodik arról, hogy a hengerkerék mindkét oldalára azonos mennyiségű, de ellentétes áramirányú víz kerüljön.

• A kettős félgömbhéj fedelű légharang a golyóvezető csatornákkal és a bronzgolyókkal

Amikor a légharang méreteit adjuk, mindig a belső méretekről szólnunk. A golyóemelő hengerkerék felezősíkjára merőlegesen elhelyezkedő harang szélessége 2 láb, vastagsága pedig 1 láb mérettel bírt. Felülről az oválisra kialakított felületet 1-1 láb átmérőjű félgömbhéj fedél zárta. A félgömbhéjak belső tiszta magassága 2,5 láb volt. A félgömbhéjak felső palástjára egy-egy 0,5 láb belső méretű, ugyancsak öntvényből olyan golyófogó csövet

készítettek, amelynek a golyóemelő hengerkerék felőli oldalán a kb. 10 cm-es átmérőjű golyók éppen kifértek. Ehhez a nyíláshoz 4-4 darab olyan csövet öntöttek, amelyekhez a golyóvezető csatornákat illeszthették. Erre a helyzetváltoztatási lehetőségre azért volt szükség, hogy a golyóemelő hengerkerékhez képest mind a légharang tetején lévő golyófogó csövek, mind pedig a golyóvezető csatornák az optimális távolságba legyenek állíthatóak. A golyóvezető csatornában egyenként 18-18 db golyó helyezkedett el, amelyek a hullámterelő alaplemezhez lettek rögzítve.

A fentiek szerint elkészített légharang falvastagsága 30 mm-es volt, amelynek az alsó peremvastagsága is ezzel a mérettel azonos. Az öntömester szerint csak így volt elérhető a kívánt „d” hangmagasság. A légharangot egy ugyancsak öntvényből készített, peremmel ellátott tepsire állították. A két gépelem csatlakozásához cserzett marhabőrből készült tömítést helyeztek és így a harang alsó szoknyájába épített szívó és nyomó szelepek elhelyezésével magát a zárt légharangot kapták. A légharang és az alaplemez között a nagy tömeg miatt külön kötőelemre már nem volt szükség. Mindkét szelep ék szorítású bilincsel kapcsolódott a helyére. A szelepek közelítően 1 láb széles, és 3 hüvelyk magasságú, súlyterhelésű elemek voltak. Tömítőanyagként ugyancsak bőrt alkalmaztak.

Csak emlékeztetőül idézzük, hogy a golyóemelő hengerkeréken a golyók fészkeinek középvonalai közötti távolság 1 láb, mely méret éppen a légharang két félgömbhéj középvonalainak egymás közötti távolságával volt azonos. Mivel a két golyó egyszerre csapódott a hangvetőként működő félgömbhéjak közepére, az erős hang által keltett lökéshullám energiasűrűsége is több mint kétszeresére növekedett. Ez az energiatöbblet a vízgép teljesítményében is megmutatkozott, hiszen az így becsült térfogatáram a kísérleti példány teljesítményéhez képest akár háromszorosára is növekedhetett. Óvatos számításaink szerint az óránkénti szállított mennyiség így akár az 1000 liter vizet is könnyedén elérhette.

• A golyóemelő hengerkerék és a légüst összehangolt együttműködése

Cselebi szerint „... e vaskerekék szélein ágyúgolyó formájú, negyven-ötven darab kerek vasgolyó van; ezen eszközök – és kerekkel a különféle hengereket a víz erővel mozgásba hozza és a keréken levő golyók a Dunára csapódván a Duna vizét erővel a vascsövekbe hajtják és míg a kerekék forognak ezen golyók folyton egymást követik.

A hengerkerék felső állású golyótartó fészkeiből a két golyó a tevenyak formájú csatornán legördült és nagy sebességgel a *golyófogó csövekbe* csapódott. Ezek a „vascsövek” a vízfelszín felett helyezkedtek el, amelybe a becsapódó golyók látványa magyarázatát adja a Cselebi által írottaknak. Mint ahogy azt már az előzőekben írtuk, a golyók a légharang tetejére csapódtak, majd hatalmas hangot adva a vízfelszín alatti, ív alakú *golyóvezető csatornába* zuhantak. Nekiütkezve a 18-18 darabból álló golyósornak, a szilárd anyagokban lejátszódó longitudinális hullámjelenség szerint a sorban az utolsó golyó azonnal, késedelem nélkül kiugrott. Eközben a hengerkerék közelítően a 4, 6 és 8 óra irányába mutató fészkei mintegy *lapátos vízikerek a hullámterelő alaphoz* szorították a vizet. Az így mozgásba hozott vízáram valósággal alátámasztva a kiugró golyókat mindaddig úgy irányította azok mozgását, míg azok, az érkező golyótartó fészkekbe nem estek. A víz hullám elvesztve mozgási energiáját, a hullámterelő alap és a *víztorlasztó gátfal* közötti árokba hullott, ezzel előkészítve a következő golyók feladásának lehetőségét a hengerkerékre. Az ismertetett működési folyamat egy stacioner állapot kialakulását eredményezte a golyók folyamatos mozgásában.

Az ugyancsak íves alakú víztorlasztó gátfal mindkét oldalról úgy terelte a medence vizét a hengerkerékre, mint az a korszerű örvényszivattyúk esetében a kettős beömlésű szivattyúk esetében szokásos. Igazán csodálatos lehetett az örvénylő, zubogó- és kavargó víz, valamint a *folyton egymást követő golyók* látványa.

- A Várhegyre vezető, valamint az ég felé kimenő vízvezetéki elemek

A légharang nyomószelepétől egy *háromutas útszelepen* keresztül vezetett a fellegrába a vízvezetéki csővezeték. Természetesen a vízvezetéki elemek is bronzból készültek, melyek kapcsolódásához az un. *tokos* csőcsatlakozási módot alkalmazták. Így az elemek csatlakoztatásakor a szükséges iránytöréseket könnyedén elvégezheték a csővezetéki rendszer építése során. A helyes irány elérése után ólmot zömítettek az illesztésekbe és egy külön földalatti csatornában elhelyezve biztonságosan juttathatták a vizet a Várhegy csorgókútjába. A csővezetékek, amelyek Cselebi szerint „... *vas muskéta-puska alakú (...)* csekély értékű *vascsőből állanak*”, a kereskedelemben ma is kapható 1/2"-os vízvezetékcső méretével lehetett azonos.

- A szökőkút káprázatos jelenségének magyarázata

E bámulatos vízgép működésének megismeréséül szolgáló Evlia Cselebi igen részletes leírása mentén haladva készítettük el magát a bemutatott modellt. Ahol szükséges volt, szószerinti idézeteket vettünk állításunk igazolásául. Most, amikor a már előre jelzett, a *szökőkút* jelenségének szükséges magyarázatához és tisztázásához értünk, Karácson Imre OSB régész (1897) fordításából ezúttal egy hosszabb szakasz idézetét vesszük.

„... *E gépházban a kerekek kezelésére csakis egy ember van kirendelve. Miután a megszemlélést elvégeztük a molnár apónak (gépkezelő) néhány ákcset adván, így szóltam:» Öregem! engedd meg, hogy a kerekek- és hengereknek mozgását és megállását is megtekinthessük. «» Fiúk! – mondá ő, - ezeknek a kereknek a mennydörgő zakatolását és zúgását ti ki nem bírjátok és a szökőkutaknak az égig való felszökkenését megnézni nem lesz bátorságtok. «Én válaszoltam:» Lelkem apó! Mi világotató és értelmes emberek vagyunk. Vajha! Ezt is megláthatnánk. «- Erre mondá:» Tehát, ne féljetek fiúk; egy kissé hátrább!«; s először a tetőn az említett kéménynyílás födelét felnyitván a gépházat kinyitotta s a meleg forrásnak a Dunába folyó útját elzárván a gépházban lévő magas keréknek vizet befogadó kis ládái vízzel teltek meg, a mire a hengerkerekek azonnal forogni kezdtek. Nagy Isten! Olyan zörgés keletkezett, mintha az utolsó ítéletnek hirdetője volna. Némely kerekek jobbra, némelyek balra forogtak s valamennyi kerék, egyik a másikba kapcsolódván, óra módjára mind forogni kezdett. Az öreg molnár apó pedig egyszerre csak azt mondja: »Ne féljetek, ne féljetek fiúk!« s egy vízvezetéki vascső formájú csövet erősen forgatott s mihelyt megcsavarta, a várba vezető vízcsatornából a víz emberi nyak vastagságban a kéménynyíláson át egyenesen az ég felé kimenvén, három Szulejmánie mináretnél magasabbra emelkedett s zúgva, dörögve úgy ment ki, hogy midőn legmagasabb pontját elérte, szivárványt játszva szökőkútszerűen leesett s a Duna folyóba ömlött.”*

E hosszú idézetre azért volt szükség, hogy tudatosodjék bennünk: Cselebi és barátai látogatásakor a bámulatos maximális teljesítménnyel dolgozott, szállította a vizet a várba. A légharang nyomószelepétől érkező kb. 7 bar túlnyomású víz a háromutas szelep érintésével a nyomóvezetéken áramlott a Várhegy felé. Amikor pedig a vízgép kezelője a „*vízvezetéki vascső formájú csövet erősen forgatni kezdte*”, a háromutas szelep közepén egy *tolózarat* vagy *szelepet* nyitott, amellyel lehetővé tette, hogy a bámulatos által szállított víz (a kisebb ellenállás irányába) a kémény nyílásán át a szabadba, mint egy szökőkút látványát idézve távozzék. Ezzel a tolózár-nyitással egyúttal a várban lévő vízgyűjtő medence és egyben a nyomóvezetékéből visszaeső víz áramlásának az útját is szabaddá tette. Mivel ennek a lezúduló víznek a nyomása is kb. 7 bar körüli volt, a háromutas szelepleben a sorba kapcsolt nyomások összege, azaz két másodpercenkénti ciklikussággal közel 14 bar túlnyomás produkálta a kéménynyíláson át a Duna felé a szökőkút csodálatos látványát.

Ebben az igen látványos vízi parádében a legfontosabb mozzanat – az üzemelő gépen túl – a *tolózár* vagy esetleg egy *ferdeülékű szelep* működtetése, illetve léte. Ha ugyan is, pl. egy hordó csapjához hasonló elfordítható szelepet helyeztek volna őseink a háromutas szelepbe a tolózár helyett, ugyanazt a fizikai jelenséget idézték volna elő, mint amelyet még az első fejezetben a vezetékben lejátszódó *vízütés* jelenségéről írtunk. Ugyanis a kúpos illesztésű szelep gyors elfordításakor a levegőztetés befejeztével a lefelé zúduló víz hirtelen megtorpant volna, amelynek következtében a már ismert 50%-os ugrásszerű nyomásnövekedés, a vízütés jelensége lépett volna fel. Ezt az ütésszerű csúcsnyomást, pedig nem igazán bírta volna elviselni károsodás nélkül az ólomtömítésű és a tokos csökötésű nyomóvezeték.

Egyértelmű, hogy az igazán színes szökőkútszerű jelenség leírása nem a vízgép szokásos technológiai ciklusa volt. Normál üzemi körülmények között ugyanis a „szökőkút” csővezetéke a légharang levegőztetését volt hivatott segíteni. Őseink tökéletesen ismerték azt a fizikai jelenséget, miszerint a levegő oldódik a vízben, így a harangban lévő levegő is. A XX. század dugattyús szivattyúinak szívóoldali légüstjeiben bekövetkező léghiányt az úgynevezett „hörgőszelepek” segítségével könnyedén pótolták. Viszont ilyen állítható, rugóterhelésű elemet azonban az 1460-as évek végén még nem voltak képesek készíteni, ezért ismereteink szerint a világon elsőként megalkották a *víz sugár légszivattyút*.

Ehhez a technológiai művelethez szükséges volt az ovális alakú medence víztelenítése, amely a medencét lezáró zsiliplap nyitásával történt. Mivel pusztán emberi erővel ez a művelet a nagytömegű víz nyomása miatt igen nehéz lett volna, ezért egy egyszerű emelő és egy kötélcapsolat kiépítésével magát a vízgép hajtását használták fel a nyitáshoz. Ennek érdekében a felső fogaskerék-hajtás II. módosító fokozat tengelyének egy szakaszát kötél-dobba alakították, amelyhez a földemgerendázaton kötéltárcsákkal alátámasztott kenderkötél belső végét kötötték. A másik végét pedig az emelőkar ugyancsak kötéldobszerű kialakításán úgy vetették át, hogy a kötélsúrlódó erejét annak feszes tartásával biztosíthassák. A gép indításakor a kötélsúrlódó vége felcsavarodott a dobra, és rövidülése folytán a súrlódó erő szabályozásával könnyedén fel tudták nyitni a kívánt mértékig a zsiliplapot. A medence kiürülése után a háromutas szelep záró-elemének nyitására a Várhegyről lezúduló víz a zárt tetőszerkezet kéményén át a Duna irányába nagy sugárban és magasra emelkedve távozott.

Elődeink tökéletesen ismerték az energiamegmaradás törvényét: a nagy áramlási sebességhez kis nyomás tartozik, mely képes arra, hogy adott esetben a légharangból a víz sugár légszivattyú működési elve alapján kiszippantsa a vizet. Ha a harangból kiürült a víz, a szívószelepen keresztül friss levegő tódult annak helyére. Evvel a légharang levegőztetése megtörtént és a művelet a három utas szelep záró-elemének fokozatos zárásával befejeződhetett.

A vízgép újbóli üzembe helyezéséhez első lépésként a medencét lezáró zsiliplapot zárt állásba helyezték, és a zsiliplapot nyitó kötélcapsolatot a kiindulási helyzetébe hozták. Ez után a ládás vízikerek feletti gerendázaton elhelyezett igen erős kötéllal magát a vízikereket úgy rögzítették, hogy az a meleg forrásvíz rávezetésekor mozdulni sem tudott. A deszkakupola tetőablakának nyitására a víztározó medencéből a Duna felé vezető zsiliplap záródott, ugyanebben a pillanatban pedig a vízgép felé vezető felső csatornában a zsiliplap kinyílt. Mivel a vízikerek rögzített állapotban volt, a forrásvíz munkavégzés nélkül közvetlenül az ovális medencébe folyt. Amikor a medence megtelt, az optimális szint feletti mennyiség a medencét lezáró zsiliplap felett, a bukógáton átfolyva ugyancsak a Duna irányába távozott. A leírt művelet befejeztével a tetőablakot és evvel együtt a felső zsiliplapot is lezárták, a vízikereket rögzítő köteleket visszabontották és a bámulatot ismét készen állt a további szolgálatra.

Technikatörténeti vizsgálódások

A régészeti kutatás számára fontos kérdés, hogy vajon egyáltalán működött-e valahol Európában az esztergomi reneszánszkori bámulatos vízgéphez hasonló, az erős hang által keltett lökéshullámok segítségével üzemelő valamiféle áramlástechnikai gépezet. Mint ahogy - e dolgozat írása során számos alkalommal tettük, most is ennek az igen fontos kérdésnek az eldöntéséhez a *bányagépészet technikatörténeti ismeretei* felé kellett a figyelmünket fordítani.

Az imént ismertettük a légharang levegőztetésének folyamatát, amelyhez a vízgép csővezeték rendszerét használták fel, mint *víz sugár-szellőztető* berendezést. Ezeket a víz sugár-szellőztetőket egyszerűségük és viszonylag jó hatásfokuk miatt több mint három évszázadon keresztül részleges szellőztető berendezésként használták a bányászatban. Ott alkalmazták, ahol kellő mennyiségű, valamint esésű víz állt rendelkezésre az aknában, amelynek az elvezetése nem okozott gondot.

Ezek az ismeretek *Faller Jenő Jó szerencsét!* című munkájából kerültek elénk. Itt ismerhettük meg a szellőztetők technikatörténeti előzményeit is, amelyről Faller így ír: „... *Használatukról a XVI. század második felének évtizedeitől kezdődően tudunk, és szerkezetüket elsőnek Giambattista della Porta (1538-1615) olasz fizikus írta le 1589-ben megjelent Magia naturalis című munkájában.*”

Ezeket a rejtélyesnek tűnő berendezéseket a maguk korában működési elvük ismerete híján egyszerűen *Kunst*-oknak nevezték az emberek. *Bernard Forest de Belidor* (1693-1761) *Vízépítéstan* című munkájában szebbnél szebb *Kunstok* rajzai láthatóak. Ezeken a víz sugár szellőztetőt ábrázoló rajzokon látható, hogy a légfogó harang tetejére kalapáccsal ütések mértek, mégpedig éppen úgy, mint ahogy azt a bámulatos vízgép bronzgolyói is tették. A légharang belsejében az ütések hatására ugyanolyan longitudinális lökéshullám futott végig, mint amilyen a bámulatos légharangjában is, csak éppen ebben az esetben az egyébként is túlnyomásos levegőt és nem pedig a vizet lökte ki a légső irányába. Ezeket a légbefúvó gépeket kovácsműhelyekben alkalmazták.

Faller Jenő, *Hell József Károly* (1713-1789), a bányagépesítés úttörőjeként számon tartott *selmebányai* főgépmester munkásságát bemutató írásából tudhatjuk, hogy Hell számos találmánya között *szellőztetőgép* is volt. A leírásban ugyan nem szerepel, hogy *víz sugár szellőztetőről* szólna a szerző, de a gép jellemzője, amely akár 1000 ölnél nagyobb távolságra is képes volt befújni a friss levegőt, csakis az erős hang által keltett longitudinális hullámlökések segítségével lehet elképzelni. Hell tervei alapján 1760-ban a Ferenc-altáró kihajtásának munkálataihoz szereltek be olyan szellőztetőt, amellyel megtakarították az ilyenkor szokásos és rendkívül költséges légakna mélyítését. Az aknába épített gép 500 öl távolságra is tudta vezetni a friss levegőt.

Összefoglalásként valóságos élmény felsorolni azokat a fizikai jelenségeket, törvényszerűségeket, amelyekkel a vízgép működésének és üzemének vizsgálata során szembesülhettünk. Azt már szinte felesleges hangoztatnunk, hogy ezek mindegyike az általunk ismert törvényszerűségek születésének időpontját messze megelőző időpontban megvalósult ismeretekről tanúskodnak.

A megrendítően nagyszerű bámulatos vízgép felépítése és üzeme során megtapasztalt fizikai jelenségek és törvények sora:

- *elődeink ismerték a folyadékok egyensúlyának feltételét arra az esetre, amikor a folyadékra külső erő nem hat, azaz a hidrosztatikai nyomás állandó. A XVII. század első felében meghatározott Pascal-törvény szerint ma úgy mondjuk, hogy a folyadékban a nyomás egyenletesen terjed;*
- *ismerték a vízítés jelenségének okát és annak esetlegesen fellépő káros hatását.*

Tudatosan úgy építették meg a vízgépet, hogy a jelenség fel se léphessen, vagy ha végtelenül mégis kialakulhatott, a kritikus csúcsnyomást a légüstök elviselhető szintre csökkentették, pl. a téglából épített vízvezetési csatornában;

- *ismerték az energia-megmaradás törvényét. Biztonsággal alkalmazták a konfúzor és a diffúzor hatását a légszivattyú, ill. a surrantó kialakításakor;*
- *ismerték és hihetetlennek tűnő biztonsággal alkalmazták a longitudinális hullámjelenség terjedésének energiáját a szilárd testekben, a folyadékokban, valamint a gázokban;*
- *tökéletesen tisztában voltak azzal a fizikai jelenséggel, hogy a levegő oldódik a vízben;*
- *alkotó módon hasznosították azokat az ismereteket, amelyek szerint a hangos ütések által keltett lökéshullámok képesek voltak áramlástechnikai gépeket működtetni.*

Esztergom reneszánsz kori bámulatos vízgépének építői fölényes biztonsággal alkalmazták a gépgyártás-technológia ismereteinek szinte az összes követelményét. A fogaskerek méretezése és gyártása, a lédás vízikerek evolvens görbe érintőjeként megépített hátrahajló lapátozása, vagy éppen az elképesztően precíz öntészeti megoldás mind-mind hozzátartozik elődeink tiszteletreméltó alkotói zsenialitásához. A világhírű firenzei polihisztor, *Leonardo da Vinci* (1452-1519) a reneszánszkor eszményének megtestesítője mechanikai és szerszámgéptervei között tartják számon a fogaskerék, valamint a golyóscsapágy megalkotását. Az esztergomi bámulatos vízgép alkotói a fogaskerek gyártásában még a világhírű polihisztort is megelőzték, hiszen az 1460-as évek második felében a világon elsőként elemi fogazatú fogaskerekeket építettek.

A bámulatos vízgép vízellátási rendszere és működés összefoglaló leírása

A Várhegy ÉNy-i lábánál már az 1200-as évek elején a bővizű Verpech forrás (1) vizével egy egykőves vízimalmot (2) működtettek elődeink. Az 1460-as évek második felében – a fellegvár lakóinak vízellátására – Vitéz János bíboros, érsek olyan vízgépet építtetett, amely képes volt a 70 m magas Várhegyre egy mennydörgően zakatoló, erős hangot adó gépezet segítségével a 26 °C hőmérsékletű forrásvizet felpumpálni.

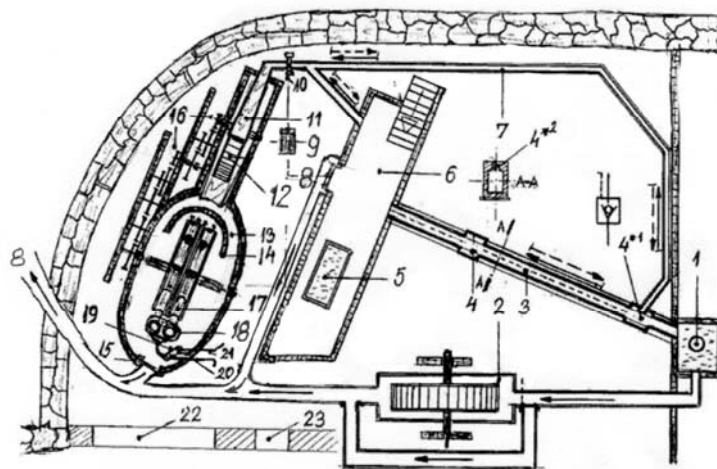
A vízgép hajtására is a forrásvizet használták. Hogy a gép zavartalan vízellátása biztosított legyen, a 2. ábra szerint olyan vízvezető rendszert építettek, amely az első ránézésre a *római kori nyitott kutakhoz* volt hasonló. A forrásfogalótól (1) négyzög keresztmetszetű és zárt szelvényű vízvezető csatornában (3) a nagy térfogatú tározómedencébe (6) vezették a vizet, amelynek a földem szerkezete a kút (5) nyílását foglalta magába. A vízvezető csatornába 2 db. téglából épült légüstöt (4) építettek, mely elemek levegőztetését a vízmedence légtérével összekötő légcsatorna (4²) biztosította. A foglalóhoz közelebb eső légüstből ugyancsak egy négyzögszelvényű, de az előbbi vízvezető csatorna keresztmetszeténél lényegesen kisebb, ún. oldalági csatorna (7) épült. Ez a csatorna a tározómedence (6) kifolyó csatornájával együtt a vízgép vízellátását szabályozó zsiliplaphoz (10) csatlakozott. Ha az üzemelő gép vízellátását a zsiliplap gyors zárásával megszüntették, a fellépő vízütés káros hatásának kivédésére a két vízellátó rendszerbe épített légüst közül a foglalóhoz közelebb eső, az oldalági csatornán „visszafutó” nyomáscsúcs hatására úgy viselkedet, mintha egy korszerű „vezérelt visszacsapó szelep” (4¹) lett volna. A tározó medence felől a foglaló felé induló túlnyomást a két légüst oly mértékben csillapította, hogy sem a téglából épült vízvezető csatornák, sem pedig a duzzasztott vízü forrásfogaló nem sérülhetett.

A tározómedence és az egész vezetékrendszer állandó vízszintjét a Duna felé nyitható zsiliplap (8) biztosította. Ha a deszkakupolás földemszerkezethez kapcsolódó és kéménnyel épült tetőablakot (9) gyors mozdulattal nyitották, a Duna felé vezető vízvezető nyílás (8) záródott, ugyanakkor a felső zsiliplap (10) nyitásával az „erővíz” a fokozatosan bővülő,

diffúzor hatású csatornába (11) futott. Itt az erővíz a relatív sebességnövekedés hatására elért egyenletes és nyugodt folyadékszinttel a vízikerek ládáiba (12) folyt, melynek következtében a bámulatos vízgép azonnal elindult. A hátrahajló lapátózással készített ládás vízikerek 1/3-os fordulat után a vizet ledobta, ami aztán az ovális alakú medencébe (13) került. Hogy a vízikerekről ledobott erővíz egyenletesen terüljön a medencébe, ívelt alakú torlasztó gátfalat (14) helyeztek el a vízárammal szemben. A medence állandó vízszintjét a kifolyó oldalon lévő, bukógátként is funkcionáló zsiliplap (15) biztosította.

Az egyenletes forgásba hozott vízikerek a kapcsolódó fogaskerekes hajtással (16) olyan fordulatszámra hozta a medence közepén lévő golyóemelő hengerkereket (17), amely két másodpercenként párosával a közel 5 kg tömegű bronzgolyókat az ugyancsak bronzból készült légharang (*tympanum*) (18) tetejére vetette. A 10 kg tömeg zuhanása olyan erős hangot váltott ki, hogy az így létrehozott longitudinális lökéshullám a légharangban lévő vizet a háromutas irányító szelep (19) csatornáján át, a fellegvárba vezető csővezetékbe (20) lökte. Így a percenként harmincszor a légharangra zuhanó bronzgolyók hatására a bámulatos vízgép óránként akár több mint 1000 liter friss forrásvizet volt képes a 70 m magasban élő vár lakóinak szállítani. Eközben a medence közepén álló harang tetejére csapódott bronzgolyók a golyóvezető csatornában az energia- és a vízáram hatására olyan irányú folyamatos mozgást végeztek, hogy a hengerkerék golyótartó fészkeibe jutva az előbbi jelenséget megismételve biztosíthatták a vízgép folyamatos működését.

Mivel a légharangba zárt levegő az ugyancsak jelenlévő vízben az üzemvitel során oldódott, hiánya a vízgép szállítóképeségét ellehetetlenítette. Ilyenkor a medence vizét a kifolyó oldalon lévő zsiliplap (15) felemelésével leengedték, majd a háromutas irányító szelep (19) nyitásával lehetővé tették, hogy a Várhegy ciszternájából a nyomóvezetéken (20) visszavezetve nagy nyomással alázúduló víz a Duna irányába álló csővezetéken (21) szökőkúthoz hasonló vízszugárral távozzon. Az így ideiglenesen létrehozott *vízszugár légszivattyú* friss levegőt szippantott a légharang belső terébe. A levegőztetés után a medencét (13) ismét feltöltötték forrásvízzel, majd az útirányító szelep óvatos zárásával, hogy a vízütés jelenségét elkerüljék, visszaállították az eredeti állapotot és így a bámulatos készen állt a Várhegy lakóinak friss vízzel való kiszolgálására. A vízgépház boltíves főbejárata (22) és a kút ugyancsak boltíves bejárata (23) a 2. ábra szerint helyezkedtek el egymás mellett.



2. ábra. A bámulatos vízgép és a vízellátó rendszer telepítésének vázlata

A vízellátó rendszer fő elemei:

1. Verpech forrás
2. Egyköves malom lapátos vízikereke;
3. Téglából épült vízvezető csatorna;
4. Téglából épült légüst;
- 4^{*1}. A légüst, mint „vezérelt áramirányító elem”;
- 4^{*2}. Légüst a *levegőztető csatornával*;
5. Római kori stílusú nyitott kút;
6. Római kori stílusú, nagy térfogatú víztározó, lépcső lejárattal;
7. Oldalági téglalap keresztmetszetű vízvezető csatorna;
8. Zsiliplap a Duna felé vezetett vízfolyás vezérléséhez;
9. A tetőablakot alátámasztó gerenda a zsiliplapok működtetéséhez;
10. A vízgép üzemét biztosító zsiliplap;
 - a folyamatos talpas nyíl az „erővíz” útját
 - a szaggatott vonalú talpas nyíl a „vízítés okozta megnőtt nyomású víz”,
 - a folyamatos nyíl a Duna felé vezetett víz útját jelzi;
 - a folyamatos szaggatott vonal a légüstök levegőztető csatornáját szemlélteti.

A bámulatos vízgép fő elemei:

11. Diffúzoros vízvezető csatorna (surrantó);
12. Hátrahajló lapátfalazatú ládás vízikerek;
13. Ovális alakú vízmedence;
14. Ívelt alakú vízterelő gátfal;
15. Medencezáró zsiliplap a bukógáttal;
16. Osztottházás fogaskerék szekrény;
17. Golyóemelő hengerkerék;
18. Bronz légharang a golyófogókkal;
19. Három utas útirányító szelep;
20. A fellegrárba vezető nyomóvezeték;
21. A „*vízszugár légszivattyú*” csővezetéke.

A Vízivár belső falazatából kiemelt részlet:

22. A vízgépház boltíves főbejárata;
23. A római kori várkút boltíves bejárata.