

SZEGEDI TUDOMÁNYEGYETEM

Természettudományi Kar

Kísérleti Fizikai Tanszék

Fizika-matematika szak

SZAKDOLGOZAT

Mérnöki alkotások tegnap és ma

Motivációs példák a fizika tanításához

Készítette: Horváth Mónika

Témavezető: Dr. Papp Györgyné Dr. Papp Katalin, egyetemi docens

Szeged, 2007.

Tartalomjegyzék

BEVEZETŐ	3
1. ÓKORI TALÁLTMÁNYOK.....	4
1. 1. Vízóra	4
1. 2. Az ókori vízorgona	5
1. 3. Tintatartó	6
1. 4. Philón szökőkútja	6
1. 5. Aeolus-labda.....	7
1. 6. Szenteltvíz-adagoló automata.....	7
1. 7. Önműködő templomajtó	8
1. 8. Bor-automata	9
1. 9. Homokmotor.....	10
2. MÉRNÖKI ALKOTÁSOK TEGNAP ÉS MA	11
2. 1. Nagy távolságok mérése a Földön.....	11
2. 2. Az ókori távolságmérő, a hodométer.....	12
2. 3. Az ágyúzás tudománya.....	13
2. 4. Az ókori földrengésjelző	15
2. 5. A rázócsúszda és a lengővályú	16
2. 5. Hidak	18
2. 6. Csigákkal működő felvonó.....	27
2. 7. Az Arkhimédészi csavar.....	29
2. 8. A budapesti Szabadság-híd.....	31
2. 9. Vetőgép a 19. századból	32
2. 10. Az ókori Egyiptom mérnökei	32
2. 11. Mesterséges vízi utak, a Panama csatorna.....	35
2. 12. Szökőkutak	39
2. 13. Az esztergomi reneszánsz vízgép.....	44
2. 14. A kémény működése	48
2. 15. Padlófűtés az ókorban.....	49
3. PÉLDÁK A TERMÉSZETES ENERGIAFORRÁSOK KORAI FELHASZNÁLÁSÁBÓL.....	51
3. 1. Vízimalmok	51
3. 2. Szélimalmok	55
MOTIVÁCIÓS PÉLDÁK A MECHANIKA TANÍTÁSÁHOZ.....	61
ÖSSZEFOGLALÁS	62
KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS.....	63
FELHASZNÁLT IRODALOM	64

BEVEZETŐ

A természet törvényeivel - észrevevesszük vagy sem – nap, mint nap találkozunk. A fizika vívmányainak nagy részét közvetlenül is használjuk, élvezzük, így annak fontosságát, szerepét nem kell hangsúlyoznunk. Sajnálatos tény azonban, hogy a diákok körében a fizika nem tartozik a legkedveltebb tantárgyak közé. A többség csak megtanulandó tantárgynak tekinti, nem ismervén fel a kapcsolatot a mindennapok fizikájával. A tanulók figyelmét felkelteni nem egyszerű dolog. Kísérletekre, szemléltetésre sokszor nincs lehetőség, s a diákok érdeklődési köre is változó. A felvételi jelentkezési adatokból arra következtethetünk, hogy a műszaki tanulmányok iránt nőtt az érdeklődés, bár ennek oka talán nem csak a műszaki tudományok népszerűségében keresendő, hanem a munkaerőpiacon a mérnöki szakma iránti kereslet növekedésében is.

Az alábbiakban néhány érdekes mérnöki alkotást gyűjtöttünk össze a teljesség igénye nélkül, remélve, hogy tanárok és diákok hasznát vehetik a fizika tanítása és tanulása során. Ebben a segédanyagban található példák felkelthetik egyrészt a műszaki érdeklődésű, műszaki szakközépiskolákban tanuló diákok érdeklődését, másrészt viszont a történelmi vonatkozások miatt érdekesek lehetnek a humán érdeklődésű gyerekek számára is. Fontos megmutatni, hogy az elsajátítandó tananyag valójában a mindennapunk része, az ismeretek gyakorlati alkalmazása tetten érhető környezetünkben.

A történelmi távlatokban bemutatott szerkezetek és építmények működésének leírása mellett szó esik keletkezésükről, építésük történetének érdekességeiről, a fejezetek végén pedig működésük fizikai elvéhez kapcsolódó iskolai tananyagot is ismertetjük. Bizonyos eszközök és jelenségek esetében egyszerű számítási feladat és könnyen elvégezhető kísérlet vagy szemléltetés is a bemutatás része, melyekkel a tanuló is aktív szereplő lehet a tananyag feldolgozásában. A téma jellegéből adódóan, az egyes szerkezetek összetettsége miatt a csoportokba sorolás nem merev szabályok szerint történt, a leírások sorrendje szubjektív szempontok alapján készült. Az első fejezet az európai technikatörténet kezdeti időszakának szerkezeteit mutatja be, amelyek inkább szórakoztatóak és érdekesek voltak még, mintsem hasznosak, de jelentőségük mégis vitathatatlan. Az emberi elme és gondolkodás leleményességét és fantáziadús világát példázzák már a kezdetektől. A második fejezet sokoldalúsága miatt a dolgozat címét viseli. Itt találkozhatunk egy egyszerű távolságmérővel, olvashatunk a monumentális Panama-csatornáról, de megismerhetjük a kémény működési elvét is. Az utolsó fejezet, bár két történelmi szerkezet, épülettípus elemzésére vállalkozik, a megújuló energiaforrások felhasználása miatt mégis napjaink egyik problémájára utal, és így a múltból a jövő felé mutat.

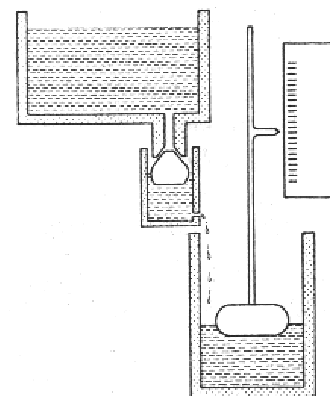
1. ÓKORI TALÁLmányok

Az európai technika történetének kezdete az i.e. 6. századra tehető, s az első, technikátörténeti szempontból érdekes adatok Hellász térségéből származnak. Bár a műszaki feladatok gyakorlatias problémákat vetettek fel, a megoldásuknál a filozófusok vitték a vezető szerepet. Nem ismeretlen, hogy az ókori görögök a gondolat erejét nagyra értékelték, de általában lealacsonyítónak tekintették, ha valaki gépeket használt a munka megkönnyítésére. A rabszolgatartó társadalomban rendelkezésre álló olcsó emberi munkaerő, valamint az ipari technikával kapcsolatosan kialakult általános szemlélet többnyire nem volt alkalmas arra, hogy a technikai felismeréseket elméletileg megalapozzák, széles körben gyakorlatilag is alkalmazzák. A görög feltalálószellem ötleteiből igen kevés valósult meg a gyakorlatban, s ha igen, az is jórészt a játékot, szórakozást, mulattatást szolgálta, s nem az emberi élet és munka megkönnyítése volt elsődleges célja.

Az i. e. 3. századtól kezdve azonban már egyre nagyobb az érdeklődés a technika iránt. *Ktészipiosz* (i. e. 3. század), a híres alexandriai mérnök és feltaláló egymás után szerkeszti meg találmányait, így például a vízórá, az orgonát és a tűzifecskendőt. Ktészipiosz egy alexandriai borbély fia volt, aki egész életét gépek és mechanikai szerkezetek fejlesztésének szentelte, alkotásairól azonban csak Vitruvius és Philón krónikáiból szerezhethünk tudomást. Lényeges szemléletbeli változás, hogy nem osztotta Arkhimédész álláspontját, miszerint az alkalmazás, a megvalósítás szükségtelen, inkább arra törekedett, hogy tanítványai útján is ezeket a szerkezeteket pontosítsa, finomítsa és széles körben terjessze. [1.], [26.]

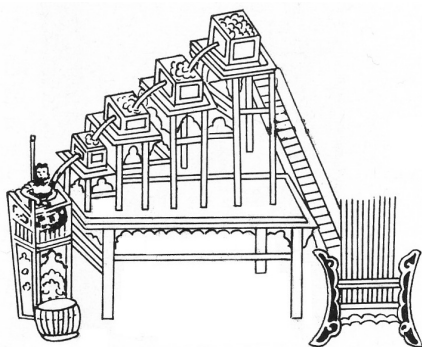
1. 1. Vízóra

A görögül *klepszüd్రának* (vízlopó edény) nevezett ókori időmérő eszközt már Mezopotámiában, Egyiptomban és Kínában is használták. Az ókori görögök leginkább a bíróságokon alkalmazták, ugyanis a beszédekre csak meghatározott idő állt a szónokok rendelkezésére. Az athéni Agora feltárásakor találtak is ilyen edényeket, melyek alján, oldalt egy kis nyíláson keresztül az edénybe öntött víz kifolyt, így mérve az eltelt idő tartamát.



1. ábra. Ktészipiosz vízórája

Ktészipiosz vízórájának (1. ábra) működési elve azon az egyszerű tényen alapszik, hogy egy vízzel töltött edény, azonos körülmények között egyenlő idő alatt ürül ki, vagy egy üres edény egyenlő idő alatt telik meg vízzel. Kialakítása nagyon hasonlít a 20. századi vízöblítéses WC tartályához annyiban, hogy az úszó-zárású szelepet mindkettőben megtaláljuk.[25.], [26.]



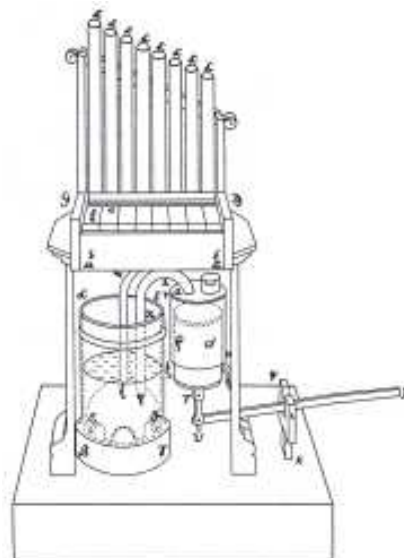
2. ábra. Kínai vízóra

Ebben az időben, i.e. 200 körül a *Kínában* használt vízóra működése is a fentihez hasonló. A régi kínai vízórák több, lépcsőzetesen egymás fölé helyezett rézedényből készültek, a 2. ábrán látható elrendezésben. A víz a legfelső edényből a középső edényeken keresztül csurgott a legalsóba, amelyben az úszót és az órákra beosztott skálát helyezték el.[1.]

1. 2. Az ókori vízgorgona

A Ktészipiosz által megalkotott vízgorgona, a *hydraulis* szerkezetét, mint sok más ókori találmányt Vitruvius leírásából ismerjük. *Marcus Vitruvius Pollio* valószínűleg i.e. 80 körül született, és Julius Caesar, majd Augustus seregében szolgált hadmérnökként. Az ókor egyik legfontosabb műszaki dokumentuma a *De architectura libri decem* című műve (Tíz könyv az építészetről), amely tíz kötetben ismerteti az i.e. 4-1. évszázad műszaki irodalmát és a legjelentősebb technikusok munkásságát.

Ktészipiosz orgonájának (3. ábra) működése közben, a sípokba fújtatott levegőt a pedál által működtetett dugattyús szivattyú szolgáltatta. A lábbal, kétkarú emelő áttétellel mozgatott dugattyú a levegőt egy vízbe merülő harang alá nyomta. A közel állandó nyomású préslevegő a billentyűk által nyitogatott szelepeken át a sípokba jutott és ott hangokat keltett. A hydraulis volt az első billentyűs hangszer és minden bizonnyal a templomi orgonák elődje is. Hasonló rendszerű vízgorgonákat egészen a 14. századig használtak. Egy római korból származó, orgonát az aquincumi ásatások során is találtak és ez a maga nemében egyedülálló lelet az Aquincumi Múzeumban megtekinthető. [1.], [26.]



3. ábra. Ókori vízgorgona

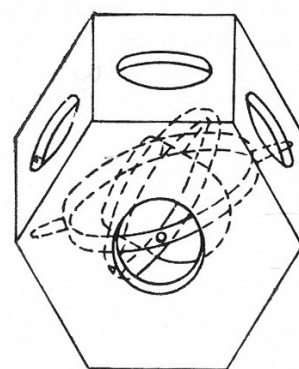
A bizánci *Philón* (i.e. 230 körül) filozófiai és vallási munkái mellett számos fizikai és technikai témájú könyvet is írt. Sok szerkezet leírásánál azonban nem derül ki egyértelműen, hogy ő maga a feltaláló, vagy csak bemutatja kora ismereteit; mindenesetre ezek a találmányok - mint például a sípoló torony vagy a tintatartó - általa váltak ismertté.

1. 3. Tintatartó

Philón bemutatott eszközei közül az egyik legérdekesebb szerkezet egy olyan tintatartó, amely bármely lapjára állítva használható a tinta kifolyásának veszélye nélkül. (4. ábra)

A tintatartó minden oldalán található egy nyílás a toll bemártásához. A tartó belsejében egy tengely körül forgatható gyűrű helyezkedik el, amelyben ismét található egy tengely körül forgatható gyűrű. Ez utóbbiban helyezkedik el a szintén tengely körül forgatható tintatartályt. Bármelyik lapjára fordítva a tartót, a három irányban beálló gyűrűk segítségével a tartály mindig függőleges helyzetű.

Philón szerkezeti leírásából arra kell következtetnünk, hogy a *Cardano-féle felfüggesztést* (az olasz Geronimo Cardano a 16. században élt matematikus, fizikus, orvos és jós) már az i.e. 3. században is ismerték. [1.]



4. ábra. Philón-féle tintatartó

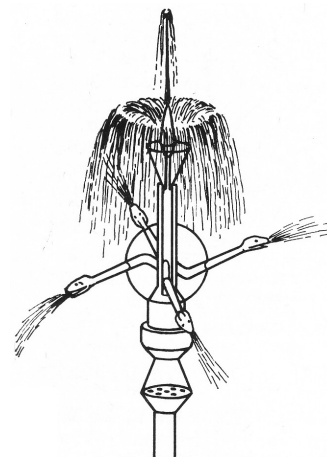
Tananyag: Az erőmentes pörgettyű

„Erőmentes pörgettyűnél” a külső erőknek egy *O* pontra vonatkozó forgatónyomatéka zérus. Ezért, hogy a nehézségi erő forgatónyomatékot ne gyakorolhasson, *O* pontnak egybe kell esnie a test súlypontjával. Ez megvalósítható a Cardano-féle felfüggesztéssel. A Cardano-féle felfüggesztés esetén a test két vagy három, egymásra merőleges tengely körül foroghat. Budó Ágoston: Kísérleti fizika I.

Tankönyvkiadó, Budapest, 1992

1. 4. Philón szökőkútja

Az 5. ábrán látható szökőkút működése során a kígyófejes, vízszintes csövek vizet fecskendeznek, és forgásba hozzák a szerkezetet. Ehhez hasonló a vízturbina első alapformája a *Segner-kerek*. (Segner András, 1750. Göttingen) [1.]

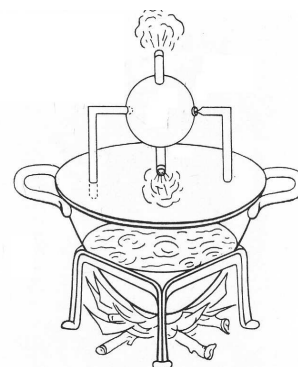


5. ábra. Philón szökőkútja

Kteszibiosz egyik érdeme tehát, hogy széles körben felkeltette a figyelmet a technika vívmányai iránt, s ennek az általános érdeklődésnek köszönhető, hogy tanítványa az alexandriai Héron (i.e. 3. század) találmányai már nagy népszerűségnek örvendtek az akkori közönség körében.

1. 5. Aeolus-labda

A Héron által szerkesztett aeolus-labdát (6. ábra) tekinthetjük a gőzturbina legősibb alakjának. Az üstben keletkező gőz az üres fémgolyóhoz csatlakozó hajlított csöveken távozva a golyót gyors forgásba hozza. [1.]



6. ábra. Aeolus-labda

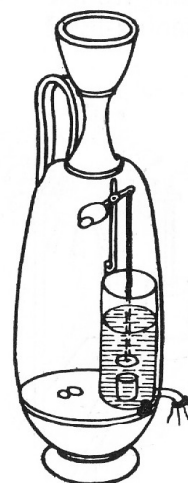
Tananyag: Az impulzusnyomaték tétele

A víz- vagy a gőzsugár kiáramlásakor fellépő reakcióerő forgatónyomatékot fejt ki. Az így létrejövő forgó mozgás az impulzusnyomaték megmaradásának tétele alapján tárgyalható.

Budó Ágoston: Kísérleti fizika I. Tankönyvkiadó, Budapest, 1992

1. 6. Szenteltvíz-adagoló automata

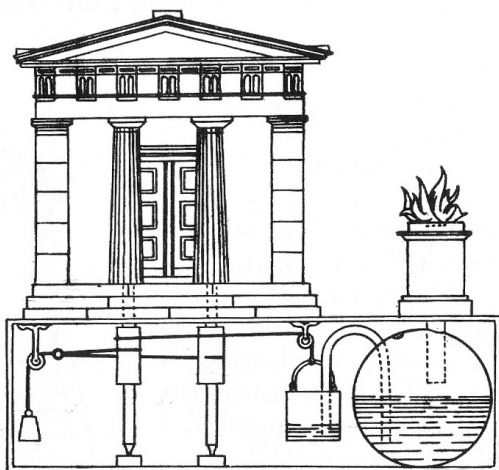
Az egyiptomi Ízisz-kultusz egyik fontos eleme volt, hogy a hívők mielőtt belépnek a templomba, meghintsék magukat szenteltvízzel. Hérontól tudjuk, hogy a papok kitaláltak egy szenteltvíz-osztogató készüléket, melyet végül az alexandriai mechanikusok meg is szerkesztettek (7. ábra). Az egyiptomi templomok előtt megtalálható volt ez az automata, amely már gyakorlati jelentőségű találmány volt, s lényegében minden mai automata ezen az egyszerű szerkezeten alapul. A készülék lényegében egy persely, felső lapján nyílással. Ebben található egy vízzel telt edény, melynek alján egy kis doboz helyezkedik el, a dobozból pedig cső vezet ki a persely oldalán. A vízzel telt edény oldalához kampóban végződő, függőleges rúd van erősítve, amely egy mérlegkart tart egyensúlyban. Ennek a karnak egyik végén kis kerek lap található, erre a lapra hull a bedobott pénzdarab. A pénzérme lenyomja a serpenyőt, közben a másik kar felemelkedik és leemeli a doboz fedelét.



Ekkor a víz kifolyik a kivezető csövön, a hívő pedig felfogja tenyerében. Mire azonban lehull a pénzdarab az alatta levő kis ládába, a mérlegkar egyensúlyba kerül, leengedi a doboz fedelét, s ezzel elzárja a víz útját. [1.]

1. 7. Önműködő templomajtó

A tudás birtokában lévő papok gyakran használták ismereteiket a hit erősítésére. Héron munkáiban olvashatunk olyan rejtett szerkezetekről, amelyek a templomi szertartások során félelmetes hangokat adtak ki, rémítették, lenyűgözték és befolyásolták a tudatlan hívőket. Ilyen szerkezet volt például az önműködő templomajtó is (8. ábra), melynek két szárnya önműködően feltárult az áldozati tűz meggyújtásakor.



8. ábra. Templomajtót nyitó automata

A templomban álló oltár egy félig vízzel telt, gömb alakú edénnyel volt összeköttetésben. Az ajtószárnyak tengelyei a pince padló szintjéig lenyúltak, ahol megfelelő alátétbe illeszkedtek. A tengelyekre két lánc volt feltekerve. Az egyik lánc végére nehezéket kötöttek, amely súlyánál fogva zárva tartotta az ajtót. A másik láncot ellentétes irányban csavarták fel a tengelyekre, és a végére erősítettek egy vödört, amely üres állapotban könnyebb, mint a nehezék. Ezt a

vödört egy U alakú cső köti össze a gömb alakú edénnyel. A tűz meggyújtása után az oltár felmelegedik, a felmelegedett levegő kitágul, és nyomást gyakorol a gömbben lévő vízre. A víz az U alakú csövön keresztül a felfüggesztett vödörbe ömlik, amely leereszkedik, és súlyánál fogva kinyitja az ajtó szerkezetet. [1.], [3.]

Tananyag: Gázok állapotváltozása állandó nyomáson

Állandó tömegű ideális gáz állandó nyomáson történő állapotváltozásakor a gáz térfogata egyenesen arányos a gáz abszolút hőmérsékletével. (Gay – Lussac első törvénye)

Dr. Jurisics József-Dr. Szűcs József: Fizika, 10. évfolyam. Mozaik Kiadó, Szeged, 2006.

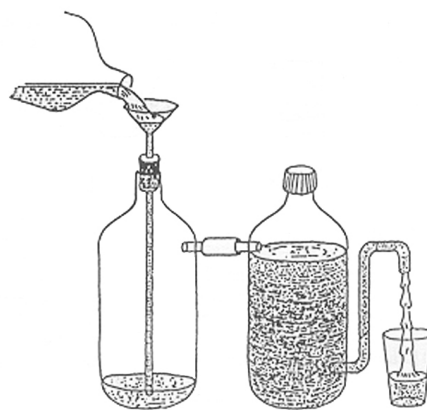
Tananyag: A gázok belső energiája, a hőtan I. főtétele

A gázok belső energiájának megváltozása egyenlő a gáznak termikus úton átadott Q hőmennyiség és a gáz belsőenergia-változását okozó W mechanikai munka előjeles összegével: $\Delta E_b = E_{b2} - E_{b1} = Q + W$

Dr. Jurisics József-Dr. Szűcs József: Fizika, 10. évfolyam. Mozaik Kiadó, Szeged, 2006.

1. 8. Bor-automata

Héron egyik leleményes találmánya ez az automata, amely „a vizet borrá tudja változtatni”. A szerkezet a közlekedőedények elvén működik, s mi is könnyedén elkészíthetjük a 9. ábrán látható egyszerű elrendezésben. Ehhez szükségünk lesz két egyforma, műanyag palackra, melyek oldalán, azonos magasságban, a felső részen lyukat fúrunk. A két palackot összekötjük egy rövid, kis belső átmérőjű csővel (üvegcső), melyet vízszintes helyzetben a



9. ábra. Héron bor-automatája

lyukakba rögzítünk. Az egyik palackot lezárjuk egy átfúrt dugóval. A dugón keresztül vezetünk egy függőleges helyzetű, felső részén tölcserben végződő hosszú csövet, amely egészen a palack aljáig leér. A másik palackot az összekötő csővel szemkötti oldalfalának alsó részén átfúrjuk, s a lyukba egy olyan csövet helyezünk, amely derékszögben meghajlik és felfelé irányul. Ez az automatánk kifolyó nyílása, mely alá egy átlátszó üveg poharat helyezünk. A második palackot a felső cső nyílásáig töltjük festett vízzel (vörösborral), majd lezárjuk a palackot. Az egész elrendezést egy kartondobozzal elfedjük úgy, hogy csak a tölcser és a második palack kifolyónyílása legyen látható. Töltsünk vizet a tölcserbe! Azt tapasztaljuk, hogy a bor-automatából festett víz (vörösbor) folyik a pohárba és a kifolyó vörösbor mennyisége megegyezik a tölcserbe töltött víz mennyiségével. Az első palackba töltött víz térfogatával egyenlő térfogatú levegő áramlik át a másik palackba, ahol ez a levegőmennyiség ugyanakkora térfogatú vörös bort szorít ki a pohárba. [2.]

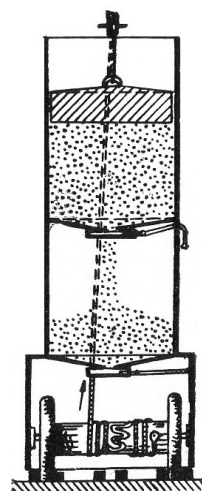
Tananyag: Nyugvó folyadékok és gázok mechanikája, a közlekedőedények.

A közlekedő edényekben lévő egynemű folyadék egyensúly esetén mindegyik ágban egyenlő magasan áll, feltéve, hogy az edény szárai nem nagyon szűkek. Két különböző sűrűségű folyadék (gáz) egyensúlya esetén az érintkezési felülettől számított magasságok a sűrűséggel fordítva arányosak.

Budó Ágoston: Kísérleti fizika I. Tankönyvkiadó, Budapest, 1992

1. 9. Homokmotor

A különböző játékos szerkezetek halmozásával és egymásba kapcsolásával egész jelenetsorokat elő lehetett adni automatával. Hérón automata színháza is ilyen összetett szerkezet volt, amely bizonyára csak gazdag gyermekek játéka lehetett. Érdekes szerkezet a színház továbbmozgatására szolgáló, a 10. ábrán látható homokmotor. Miközben a homoktartály alsó nyílásán a homok lassan kiürül, a homok felületére nehezedő súly lassan süllyed és kötél-dobos áttétel segítségével, a síneken gördülő kerekeken továbbmozgatja a színházat. [1.]



10. ábra. Homokmotor

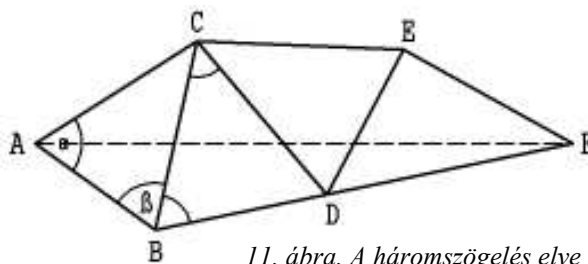
2. MÉRNÖKI ALKOTÁSOK TEGNAP ÉS MA

Többek szkepticizmusával szemben vallom, hogy életünkben meghatározó és többségében pozitív szerepet tölt be a technika és a tudomány. A technika a tapasztalat által megismert és ösztönszerűen felhasznált, valamint a rendszeres tudományos kutatás által felismert törvényszerűségeken alapszik. Ezek révén az ember eszközöket, szerszámokat, gépeket készít, amelyek új lehetőségeket nyitnak, megkönnyítik munkáját, ezzel teljesítményét növelik, a mindennapi életet pedig kényelmesebbé és kellemesebbé teszik.

2. 1. Nagy távolságok mérése a Földön

A *geodézia* – földméréstan - a legrégebb tudományok egyike. Kialakulása, alkalmazásának kezdetei az ősi folyami kultúrák idejére tehető, amikor a földterületeket, telkeket minden áradás után újra ki kellett jelölni. A csatornák és gátak építése, a monumentális épületek megalkotása szintén jelentős geodéziai ismereteket feltételez. Az ókori világ pusztulásával azonban együtt járt a tudományok hanyatlása is, a geodézia középkori színvonala meg sem közelíti az ókori geodéták munkáit. A reális, pontos térképek iránti igény a 15. század végén jelent meg, miután 1453-ban az Oszmán Birodalom elfoglalta Bizáncot. Az Európát Indiával összekötő szárazföldi kereskedelmi út átvezetett a Boszporuszon, de ennek használata a megváltozott hatalmi viszonyok miatt egyre nehezebbé és veszélyesebbé vált. Előtérbe került a tengeri hajózás, a tengeri utak felkutatása és használata, amely azonban a partvidékek pontos felmérését igényelte. A gyarmatosítás idejében a földméréstan felvirágzik, fejlődnek a műszerek és új mérési módszerek jelennek meg. A hosszak mérése ekkor még sokkal fáradságosabb és nehezebb volt, mint a szögek meghatározása, így az 1615-ben a holland *Snellius* által kidolgozott módszer - a háromszögelés - szögmérésre vezeti vissza a távolságmérést.

A *háromszögelés* azon a geometriai tételen alapszik, hogy egy háromszög összes adata meghatározható, ha ismerjük az egyik oldalát és két szögét. Egy kiinduló háromszög egyik oldalát, az A-B távolságot mérőruddal vagy mérőlánccal

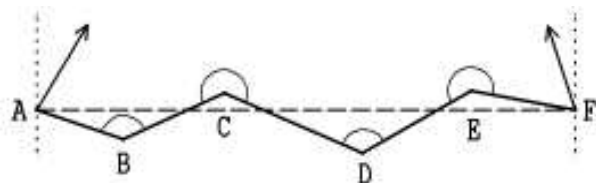


nagy pontossággal megmérték, majd az oldal két végéről a szögmérő műszert a harmadik, C pontra ráirányították, így megmérték az oldalon fekvő két szöget (α és β). Ezen adatok

ismerete után a háromszög másik két oldalának hossza kiszámítható, és a továbbiakban a B-C oldal szerepel, mint az új háromszög ismert oldala. A háromszögláncolatot továbbfejlesztve eljutunk a végső F ponthoz, és az A-F távolság szerkesztéssel vagy számítással meghatározható. A háromszögek csúcspontjai lehetnek meglévő, jól látható „pontok”, mint például templomtornyok, vagy helyszínen emelt hatalmas gúlák. Ez a mérési módszer egyszerű, de rengeteg hibalehetőséget rejt magában, mint például a szintkülönbségek vagy a fénytörés, amiket figyelembe kell venni. Amikor Snellius az első háromszöget kitűzte, még nem vette figyelembe azt sem, hogy ezek a háromszögek a Föld felületéből adódóan gömbháromszögek, s ezek belső szögeinek összege több mint 180° .

Napjainkban a számítógépek és a műholdak világában már igen nagy pontosságú térképek készülnek, de a régi módszerek még mindig helytállóak. Magyarországon 1976-ban vezették be azt a szabványosított viszonyítási rendszert (Egységes Országos Vetületi rendszer), amely az ország teljes területére egységes koordináta-rendszert biztosít. Egy teodolit (irányzó távcsővel ellátott szögmérő műszer) és a koordináta-geometria segítségével könnyedén és pontosan meghatározhatunk nagyobb távolságokat.

A háromszögelésnél egyszerűbb módszer a *sokszögelés*, ahol a sokszögvonalak lényegében ugyanazt a szerepet töltik be, mint a háromszögláncolatok. A pontok koordinátáit szög- és távolság meghatározásokból vezetik le, majd a kívánt távolság egyszerűen kiszámítható.



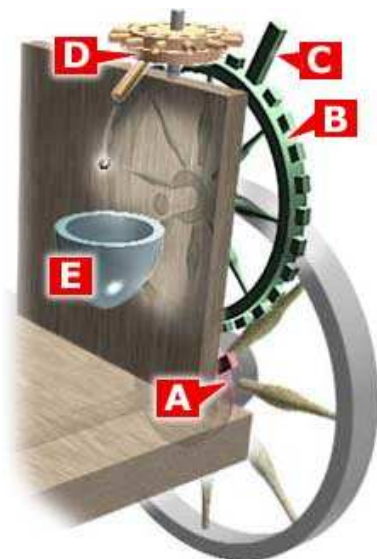
12. ábra. A sokszögelés elve

[4.], [6.]

2. 2. Az ókori távolságmérő, a hodométer

A földmérésen kívül, a mindennapi életben is szükségünk van egyszerű távolságmérésre, s ez így volt régen is. A rómaiak által használt távolságmérőt, a *hodométert* szintén Vitruvius művéből ismerhettük meg. A 13. ábrán látható, a mai taxaméter őseinek tekinthető hodométer kerekének átmérője 4 láb (118,28 cm), kerülete 12,5 láb (3,70 m) volt. A kocsierek 400 fordulata 5000 láb távolságnak felelt meg, ami 1 római mérföld, azaz 1480 méter. (1 római láb = 29,57 cm)

A legsó (A) fogaskereket a kocsierekre erősített rúd fordítja el minden kerékfordulásnál. Egy teljes fordulat után a hosszabb fog fordít egyet a felső (B) fogaskeréken. A kocsierek 400 fordulatára a felső fogaskerék egyszer körülforgott, s a hosszabb fog (C) fordított

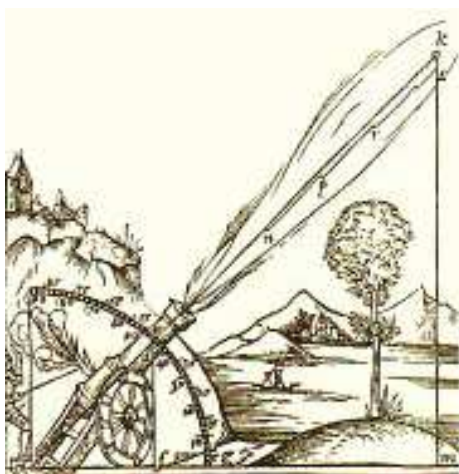


13. ábra. A hodométer szerkezete

egyét a legfelső fogaskeréken (D). A legfelső fogaskerék alatti számlálólapon körben lyukakat vágtak. Mindegyik lyukba golyót helyeztek, s amint a lap fordult, egy golyó leesett a lap alá helyezett csövön át a készülék aljában levő fémdobozba, így az utasoknak hangosan jelezte, hogy megint túl vannak egy mérföldön. Az út végén a leesett golyók számából is megállapíthatták a megtett mérföldek számát. Vitruvius közli, hogy a hodométert a hajózásban is alkalmazták, oly módon, hogy a hajó oldalára erősítették, s ilyenkor lapátos kereket szereltek rá, amelyet a víz forgatott. [1.], [7.], [27.]

2. 3. Az ágyúzás tudománya

Az ősember nap, mint nap szembesült a problémával: milyen szögben, mekkora sebességgel kell eldobni a dárdát, hogy a kiszemelt zsákmányt elejtse? Már korán felfedezték, hogy ha a nyílvevő, vagy az ágyúgolyó pályáját pontosan ki lehetne számítani, a fegyverek jóval hatékonyabbak lennének. A technika története során a



14. ábra Az arisztotelészi röppálya, 16. sz.

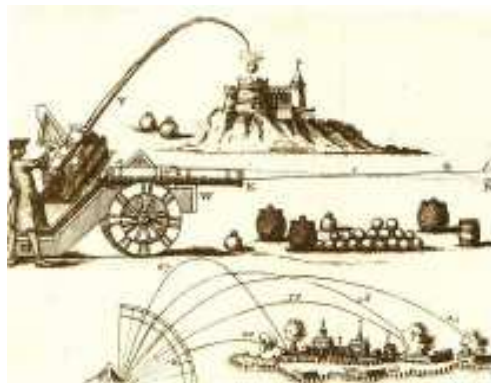
tüzérség matematikai és fizikai problémáival a legkitűnőbb gondolkodók, fizikusok foglalkoztak. A mozgásban levő, azaz kilőtt, eldobott, elhajított testek röppályájának tana a ballisztika.

Az évszázadok során számos elmélet született, az elhajított testek mozgásának leírására. Kezdetben az egyes jelenségeket spekulációval, csak elméleti úton próbálták megmagyarázni, ezért sokszor helytelen következtetésre jutottak.

Arisztotelész (i.e. 384 - i.e. 322) szerint bármely hajtás két egyenes vonalból tevődik össze. Ezt a gondolatmenetet ábrázolja a 14. ábrán látható 1561-es nyomat, amelyen a golyó egy egyenes mentén hagyja el az ágyút, majd függőlegesen leesik. Arisztotelész úgy gondolta, hogy egy test egyszerre csak egy mozgásban vehet részt.

Egy másik elmélet szerint az ágyúgolyó egy egyenes pályán kezd mozogni, majd egy körív mentén halad, végül pedig függőlegesen esik le.

A helyes megoldást végül *Galileo Galileinek* (1564 – 1642) köszönhetjük. A fizika, mint tudomány tulajdonképpen az ő munkásságával kezdődik; rendszeres, kísérleti alapon folyó tudományos fizikai kutatásról csak ezután lehet beszélni. Galilei legfontosabb kutatásai a szabadesés vizsgálatával kezdődtek. Később a toszkánai udvar matematikusaként ballisztikával is foglalkozott, és ekkor vizsgálta az ágyúzás problémáját, a ferde hajítást.



A 15. ábrán látható, 18. századi képen már helyesen rajzolták az ágyúgolyók pályáit. A rajz szerint 45° -os kilövési szög esetén ágyúzunk a legtávolabb. [8.]

15. ábra Tudományos bombázás a 18. században

Az első világháború (1914-1918) legérdekesebb fegyveréről, a *párizsi nagyágyúról* csak leírásaink maradtak, mert a háború után mindet megsemmisítették. A német hadvezetőség a tengerpartok védelmére 40 kilométeres hatótávolságú ágyút kívánt kifejleszteni. A próbálövésre az Északi-tenger mellett került sor, ahol azonban meglepetés érte a mérnököket. Az ágyút megtöltötték, elsütötték, de hiába figyeltek távcsövekkel, nem láttak becsapódást. Később 120 km távolságra, a tengeren lévő halászhajók számoltak be becsapódásról. A különös jelenség okát később megfejtették. Eszerint az ágyú lövedéke olyan magasságba repült fel, ahol a levegő ritka, s emiatt a légellenállás egészen kicsiny, aminek következtében a gránát a tervezettnél jóval messzebbre repült. A történetek után, további fejlesztéseket végeztek, ezek eredményeképp megszületett a párizsi nagyágyú, amit elsőként Párizs ostrománál (1914) vetettek be, nem kis meglepetést és riadalmat okozva, bár a francia fővárost bevenni nem, csak 20 kilométerre megközelíteni sikerült.

Az ágyúknál számos műszaki és fizikai probléma adódott. A löveg megfelelő sebességű kilövéséhez például óriási nyomásra és magas gázhőmérsékletre volt szükség, emiatt azonban az ágyú csőanyaga gyorsan elhasználódott. Minden lövés után mérhetően megnőtt a cső keresztmetszete, ezért pontos számítások után az egyes lövedékeket valamivel nagyobb átmérőjűre esztergálták, mint az előzőt. A gránátok számozottak voltak, és ennek megfelelő sorrendben kellett kilőni őket. [4.]

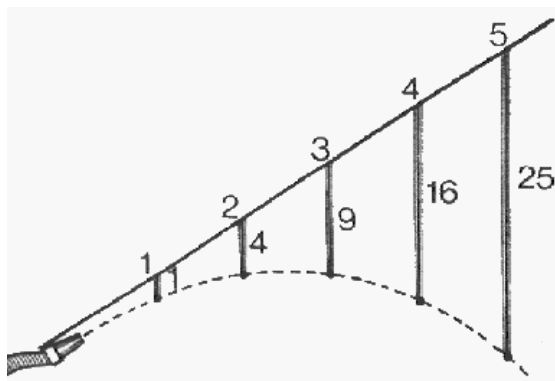
Tananyag: Hajítás

A ferde és a vízszintes hajítás egy egyenes vonalú egyenletes mozgás és a szabadesés együttesének, tehát összetett mozgásnak felel meg. A mozgás pályája függőleges tengelyű parabola, az ún. hajítási parabola. A pontos eredményhez azonban a röppályát esetlegesen befolyásoló valamennyi tényezőt számításba kell venni: a célpont távolságát, a szelet, a hőmérsékletet, a légnyomást, sőt még a Föld forgását is. A valóságos pálya a megfelelő hajítási parabola alatt futó, a leszálló ágon meredekebben eső „ballisztikus görbe”.

Dr. Szalay Béla: Fizika. Műszaki Könyvkiadó, Budapest, 1982.

Kísérletezzünk!

A ferde hajítás jelenségét, a hajítási parabolát szemléltethetjük vízszugárral is a 16. ábrán felvázolt módon.



16. ábra. A ferde hajítás szemléltetése vízszugárral

Az ábrán látható kísérlet arra szolgál, hogy megmutassa, hogy a vízszugár pályája egy parabola. A vízszugár erősségét, hogy a kiömlő víz súrolja a pálcák alsó végét! A rúd meredekségének változtatásával meggyőződhetünk arról, hogy a vízszugár bármely szögállásban súrolja a pálcák végét, vagyis a röppálya egy parabola. [28.]

2. 4. Az ókori földrengésjelző

A földrengés egyike a legszörnyűbb csapásoknak a Földön. Becslések szerint a történelmi feljegyzések kezdeteitől máig körülbelül 75 millió emberi életet követelt. Bár a jelenséggel már az ókorban is foglalkoztak, a földrengések előrejelzésének pontos fizikai mechanizmusát még ma sem ismerjük teljesen, csupán empirikus megközelítést alkalmaznak az ezzel foglalkozó különböző kutatócsoportok.

Az ókori kínai tudomány és kultúra fejlettségét számos megfigyelés és felfedezés is bizonyítja. Csillagkatalógust például már az i.e. 4. században készítettek, a Halley-üstököst pedig i.e. 204-től megfigyelték és megjelenésének idejét ki is számolták. A Keleti Hándinasztia (i.sz. 25-220) idején, Zhang Heng csillagász megalkotta az első földrengésjelző-

készüléket (i.sz. 132). A 17. ábrán az ősi földrengésjelző reprodukciója látható, amely működése során a középben lévő inga tehetetlenségét használta ki. Ha az edény megbillent, az inga a hozzá kapcsolt emelők segítségével a lengés irányának megfelelő sárkányok száját kinyitotta, így a golyók nagy zajt keltve a békák szájába estek. Ez az egyszerű készülék tehát a rengés irányát is megmutatta. [8.], [29.]



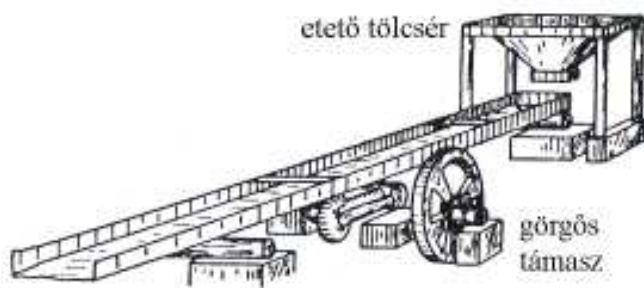
17. ábra. Az ókori földrengésjelző reprodukciója

2. 5. A rázócsúszda és a lengővályú

Malmokban, raktárakban a gabonát és egyéb ömlesztett, darabos árut kisebb távolságokra többek között rázócsúszdával vagy lengővályúval szállítanak. A 20. század elején megjelenő rázócsúszdát gyakran használták bányákban a kitermelt szén szállításához is.

A forgattyús hajtóművekkel (szerkezetek, amelyek alkalmasak forgó mozgást haladó- vagy lengőmozgássá alakítani vagy fordítva) mozgatott *rázócsúszda*, vagy rázócsatorna nem más, mint egyenes vonalon, lengőmozgást végző vályúrendszer. (18. ábra) Az egyenes vonalú lengőmozgás során a löket első felében a csatorna lassan mozog előre, majd a löket második felében gyorsan mozog vissza. *Mi történik közben a vályúban lévő áruval?*

A löket elején az áru együtt halad a csatornával, mert a súrlódás legyőzi az anyag tehetetlenségét. A löket második felében viszont a már mozgó anyag tehetetlensége legyőzi a súrlódást, s bár a vályú visszafelé halad, az anyag folytatja az útját



18. ábra. Egy rázócsúszda vázlatos rajza

előre, a szállítás irányába. Ekkor azonban az árut az ellentétes irányban mozgó csatorna súrlódása fékezi, s amikor az anyag sebessége a csatorna sebességét eléri, ismét a csatornával halad.

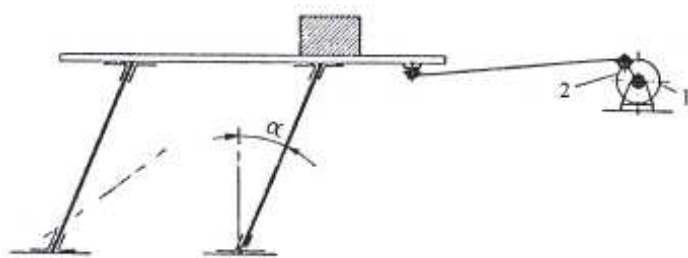
A berendezést mozgató forgattyú fordulatszáma csak akkora lehet, hogy a löket első felében a súrlódási erő nagyobb legyen, mint az áru tehetetlenségéből adódó erő, különben a csatorna nem viszi magával az árut, hanem kiszalad alóla.

Mi a feltétele az áru elmozdulásának?

Az árut gyorsító erőknek kisebbnek kell lennie a súrlódási erőnél, azaz $a * m < \mu * G$, ahol a : a csatorna gyorsulása, μ : a súrlódási tényező, m : az áru tömege, G : az áru súlya.

Tehát az áru elmozdulásának feltétele: $a < \mu * g$.

Hasonló elv érvényesül a *lengővályús anyagszállításnál* is. Ennél a szerkezetnél a vályút a függőlegessel α szöget bezáró farugók tartják, s a hajtórúddal ide-oda lengetett vályú vízszintes és függőleges mozgást végez. (19. ábra)



19. ábra. A lengővályú működési elve

Amíg a forgattyú a külső holtponthelyzetéből (1) a belső holtponthelyzetébe (2) kerül, addig a vályú felfelé is mozog. Emeli az árut, így az áru és a vályú közötti nyomás növekszik. Az áru súlyából adódó nyomást a vályú nyomása fokozza.

Mivel a súrlódási erő a nyomóerővel arányos, előrehaladáskor a súrlódási erő megnő.

Amikor a forgattyú a belső holtponthelyzetéből (2) külső holtponthelyzete (1) felé halad, a visszafelé haladó vályú lefelé is mozog, emiatt az áru és a vályú között a nyomás, és így a súrlódási erő is csökken. A kisebb súrlódási erő már nem képes a tehetetlenségénél fogva előrehaladó árut visszafelé mozgatni, legfeljebb fékezni annak mozgását. Az áru tehát a rugók ferdesége miatt változó súrlódási erő és saját tehetetlensége következtében előre halad. [4.], [30.],

Tananyag: A tehetetlenség törvénye (A Newton-féle első axióma)

Minden test nyugalomban marad vagy egyenes pályán egyenletesen mozog mindaddig, míg közvetlen környezete meg nem változtatja mozgásállapotát.

Az egyik testnek nehezebb megváltoztatni a sebességét, mint a másiknak. A testeknek ezt a tulajdonságát tehetetlenségnek nevezzük.

Dr. Jurisics József-Dr. Szűcs József: Fizika, 10. évfolyam. Mozaik Kiadó, Szeged, 2006.

2. 5. Hidak

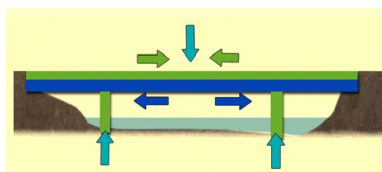
A híd az emberiség egyik legősibb és legnagyobb szerűbb találmánya. Egy híd építészeti megjelenése, műszaki és technológiai minősége egy-egy korszak, ország, civilizáció fejlettségét jellemzi. A legelső, legegyszerűbb gerendahidak a folyón keresztbefektetett fatörzsek voltak. A római korban épült hidak közül több megmaradt (Ponte Fabricio, Róma), melyek kitűnő építőmestereiknek köszönhetően még ma is használhatóak. A régi időkben csupán gyakorlati megfigyelésekből és meggondolásokból kiindulva építkeztek, még semmit sem tudtak az erők összetevéséről, egyensúlyáról, de a generációról-generációra örökített többszáz-éves építési tapasztalat ma is lenyűgöző alkotások építésére tette őket képessé. Mivel a statika törvényeivel még nem voltak teljesen tisztában, építményeiket túlméretezték, ezért találunk a régi hidaknál, boltozatoknál szokatlan vastagságú falakat. A legrégebbi hidak fából épültek, később kőből és téglából. Az ipari forradalom idején az új építőanyagok –az öntöttvas, majd az acél- megjelenése az építőipar egyéb területei mellett a hídépítést is forradalmasította. E két anyag már nagyobb teherbírású és nagyobb fesztávú hidak építését tette lehetővé. [1.]

A hídszerkezeteknek a főtartó statikája szerint osztályozva öt alapvető típusa van. A leggyakrabban *gerendahidakat* használnak, amelyek lehetnek tömörgerincűek, vagy rácsos szerkezetűek. A hídszerkezetben függőleges terhelés hatására függőleges támaszerő ébred. Ezek a hidak elsősorban funkcionális követelményeket elégítenek ki, formálhatóságuk korlátozott. (20. és 21. ábra)

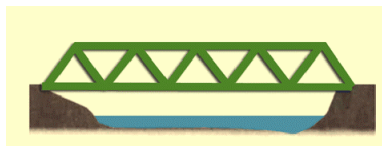
Csak nagyon ritkán építenek *kerethidakat*, használatuk a gerendában fellépő hajlító-nyomatékok előnyösebb elosztásához vezet. (22. ábra)

Nagy fesztáv és sík terep esetén legelőnyösebb *függőhidat* építeni. A függőhíd fő ismertetője, hogy a fő tartókötelek rendszerint a legnagyobb mezőben görbe alakúak és diszkrét pontokban a függőleges köteleken keresztül terheltek. (23. ábra)

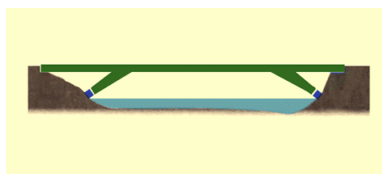
Az *ívhidaknak* többféle változata ismert. A 24. ábrán egy manapság gyakran használt típus látható, amelyen a merev ívre a főtartó (a gerenda) kötelekkel van felfüggesztve.



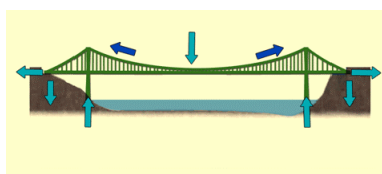
20. ábra. Tömörgerincű gerendahíd



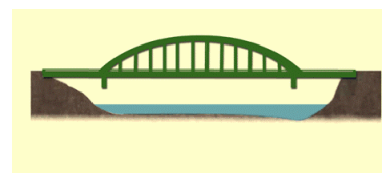
21. ábra. Rácsos szerk. gerendahíd



22. ábra. Kerethíd

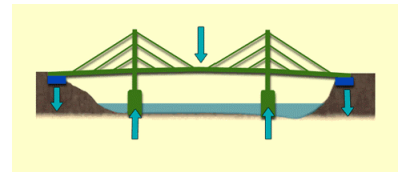


23. ábra. Függőhíd



24. ábra. Ívhíd

A *ferdekábeles* hidak főleg a II. világháború után a Rajna-hidak felújításánál terjedtek el. Napjainkban közepes nagyságú fesztávolságok esetében ez a leginkább használt hídtypus. (25. ábra)



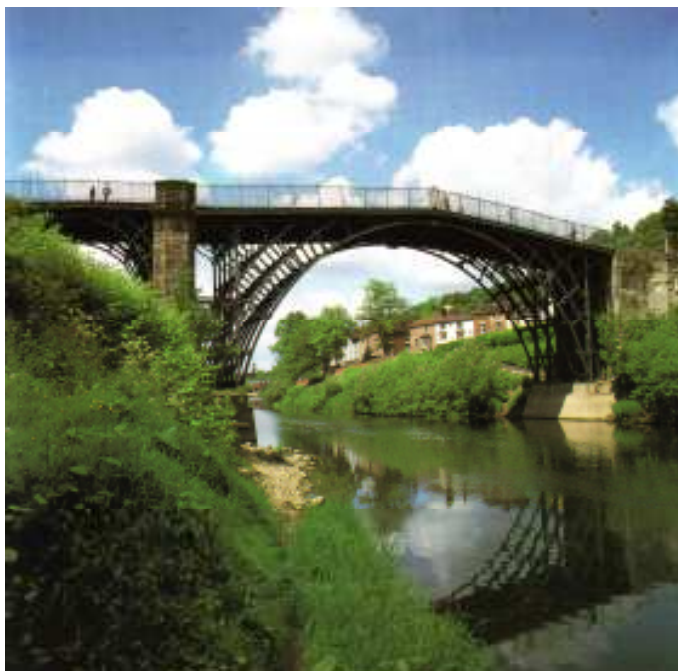
25. ábra. Ferdekábeles híd

Magyarországon, Budapest és Budakalász területén most épül az első ferdekábeles híd, az Északi M0-s, vagy Megyeri-híd, melynek látványterve a 26. ábrán látható.[31.], [32.]



26. ábra. A Megyeri-híd terve

Az első öntöttvas-hidat 1777-79-ben építették Angliában a Severn folyó felett. (27. ábra) Az *öntöttvas-ív*híd kivitelezését heves vita előzte meg, a híd anyagának kiválasztását illetően. A hídépítő társaságban belül sokan szerettek volna hagyományosabb megoldást, de szerencsére az *Abraham Darby* vasöntő mester által vezetett csoport szerzett érvényt akaratának, így a 30 m hosszú híd öntöttvasból épült. Az építkezést a szüntelen pénzügyi



27. ábra. Darby öntöttvas-ívhidja

problémák mellett, az is nehezítette, hogy a korabeli kohók nem voltak alkalmasak ekkora szerkezeti elemek elkészítésére. Valószínűleg úgy jártak el, hogy a folyó partján felállítottak egy újraolvasztó kohót, amiben megolvasztották a korábban elkészült vasat, és a helyszínen öntötték formákba. Ennek az eljárásnak meg volt az előnye is, hogy a súlyos és törékeny öntvényeket nem kellett szállítani, mert bár a nyomásnak erősen

ellenáll, az öntöttvas törékeny anyag, óvatosan kell kezelni, míg a helyére nem kerül.

A híd terve meglehetősen hagyományos volt. A szerkezet kissé túl is biztosított, mivel akkoriban még nem voltak teljesen tisztában az öntöttvas teherbírásával. Azzal sem számoltak, hogy az öntöttvas-híd sokkal könnyebb, mint a kőhidak. A kőből épült hidak nagyon súlyosak, ezért a part felé irányuló nyomásuk meglehetősen nagy, így erős támfalakra van szükség. A vashidaknál ez a nyomás sokkal kisebb, amit a támfal építésénél

nem vettek figyelembe, ezért a túlméretezett támfal enyhén befelé nyomja a hidat és kissé megemeli az ívet. A szerkezet ipari forradalomban betöltött jelentőségét mutatja az is, hogy az UNESCO a világörökség részévé nyilvánította. [8.]

A nagyobb fesztávok áthidalását *függőhidak* építésével oldották meg. A függőhidakat, vagy lánchidakat az ókori Kínában is építettek szakadékok felett, erős kötelekből, összesodrott növényi rostokból és pallókból. A kötélhidaknál a tartókötélről rövidebb kötélrészecskék lógnak le, s ezekre függesztik fel a hídpályát, a járómezt. Az újkori lánchíd valójában ezeket, az ősi függőhidakat mintázza, csak nem kötél, hanem kovácsoltvasból, később pedig acélból készült lánc tartja a hídpályát. Európában az első kovácsoltvas láncokból álló függőhíd 1741-ben épült Angliában, mely egy bányászok számára készült gyaloghíd volt. Az öntöttvas ívhíddal szemben a lánchíd előnye, hogy a szerkezetben az erőjáték könnyebben követhető és a szerkezet könnyebben méretezhető.

Hazánk első folyami állóhídja, a *Lánchíd* építése a reformkorban kezdődött. (28. ábra) Építését gróf Széchenyi István kezdeményezte és báró Sina György finanszírozta. A munkálatok 1839-ben kezdődtek, a kész hidat 1849-ben avatták fel. Tervezője az angol *Tierney W. Clark*, a kivitelezés irányítója a skót *Adam Clark* volt. A Lánchíd hídpályáját



28. ábra. A budapesti Lánchíd

két óriási acélból készült lánc tartja. A láncok a hídfők alatti lánc-kamrákban lévő horgonyszékhez csatlakoznak. A láncok gránitból készült, klasszicizáló, diadalív formájú hídpillérek tetején, görgős láncnyergeken mennek át. Görgős alátámasztásra van szükség, mert a hőtágulás és a terhelés változásának következtében a láncokban

hosszirányú elmozdulások történnek. A hídpályát végül vonóvasakkal függesztették fel a láncokra.

A szerkezet a maga idejében világcsoda volt, hasonló híd csak Londonban épült. A hidat 1913-15 között átépítették, majd a II. világháború után 1949-ben újjáépítették, miután a pesti lánckamrákat a németek 1945-ben felrobbantották. Az újjáépült híd hídpályája alatt szélrácsosztást építettek az oldalirányú elmozdulások csökkentésére, mivel az eredeti híd állandóan enyhén hintázó mozgást végzett. [1.], [4.], [35.]

A függőhidak építésénél idővel vasláncok helyett acélhuzalokból épített kábeleket alkalmaztak. Talán az egyik legismertebb kábelhíd a 29. ábrán látható, San Francisco-ban található *Golden Gate (Aranykapu) híd*, amely a Csendes-óceánt és a San Franciscoi-öblöt elválasztó szorost íveli át. [36.]



29. ábra. A Golden Gate-híd



30. ábra. Acélhuzalokból készült kábel

A függőhidak történetéhez hozzátartozik, hogy a 19. század elején épült hidak közül néhány a kábelhuzalok korróziója, valamint a megfelelő vízszintes merevítés hiányában a szél által előidézett rezgések következtében összedőlt. Különösen súlyos következményekkel járt a franciaországi Maine folyót áthidaló kábelhíd 1851-ben bekövetkezett összeomlása. A híd a heves szélről erős ingásba jött. A hídon éppen egy gyalogsági század haladt át. Minél jobban előrehaladtak, annál erősebbé vált a hídpálya mozgása, s amikor a hidat a katonaság teljes hosszában megterhelte, a kábelek elszakadtak és a pályaszerkezet a folyóba zuhant. A szerencsétlenségben 216 katona vesztette életét. A vizsgálatok szerint a kábelhuzalok korrózió következtében elvékonyodtak és a fokozott igénybevétel következtében elszakadtak.

Az Egyesült Államokban egy szélorkán hatására dőlt össze a *Tacoma-híd* 1940-ben, melynek leomlását egy videofelvétel is megörökítette. A sajnálatos esemény jól szemlélteti a rezonancia jelenségét. [37.]

A függőhidakra ható szélerő okozta fokozott igénybevételek kiszámítására csak a II. világháború után, a gyakori újjáépítésekből levont tapasztalatok felhasználásával és szélcsatornában végzett kísérletek után találtak megoldást.

A vasútvonalak kiépítése a hídepítőknél is újabb problémákat vetett fel, miután felmerült az igény a vasúti hidak iránt. A súlyos, mozgó terhelés nagyobb igénybevételnek tette ki a szerkezeteket. Nagy lehajlásuk és oldalingásaik miatt a függőhidak nem voltak alkalmasak a vasút számára, a nagy terhelés miatt pedig az öntöttvas sem volt megfelelő szilárdságú

építőanyag. Kezdetben kovácsoltvas, zárt szekrénytartókat építettek, mint a 31. ábrán látható *Britannia-híd* esetében, majd acél rácsostartók építésével oldották meg a problémát. [1.], [38.]

A különböző tartószerkezeteket csak pontos számítások alapján lehet méretezni és felépíteni. Így lett az újkori mérnöki építés nélkülözhetetlen segédtudománya a statika, amely merev testek, szerkezetek egyensúlyának feltételeivel foglalkozik. [1.]



31. ábra. A Britannia-híd egy régi képeslapon

Tananyag: Merev testek egyensúlya

A merev test akkor van egyensúlyban, ha a testre ható erők eredője és ezen erők, bármely pontra felírt forgatónyomatékainak összege is nulla. $\sum M_A = 0$, $\sum F_x = 0$ és $\sum F_y = 0$.

Dr. Jurisics József-Dr. Szűcs József: Fizika, 10. évfolyam. Mozaik Kiadó, Szeged, 2006.

Egy kis betekintés a statika világába

A *tartószerkezetek* (tartók) azok a szerkezetek, amelyek az építményre ható terheket viselik, továbbítják. Ilyen szerkezetek például a teherhordó falak és a födémek is. Velük szemben támasztott követelmény, hogy ne törjenek el, helyzetileg „állékonyak” legyenek (ne csússzanak el, ne boruljanak el), alakváltozásaik a megengedett mértéken belül legyenek. A számításokat, méretezéseket a valóságos szerkezetek *erőtani modellje* alapján végezzük. Az erőtani modell a szerkezeteket tengelyvonalával, illetve tengelyfelületével ábrázolja, a támaszok és terhek szimbolikus jelölésével. A *támasztóelemek* (támaszok) a szerkezet elemeit kapcsolják a szilárd környezethez. Ilyen támasz például a kötél is egy hidroglóbusz rögzítésénél, vagy a gördülősarú egy híd megtámasztásánál (32. ábra). A támaszokban ébredő erők és a terhelő erők egyensúlyban lévő erőrendszert alkotnak.



32. ábra. Gördős támasz

A *terheket* két csoportba oszthatjuk. Megkülönböztetünk állandó terheket, amely nem más, mint a szerkezetre és a rajta állandó jelleggel elhelyezett szerkezetekre ható nehézségi erő, és beszélhetünk esetleges terhekről, amelyek a tartószerkezet rendeltetésétől függően

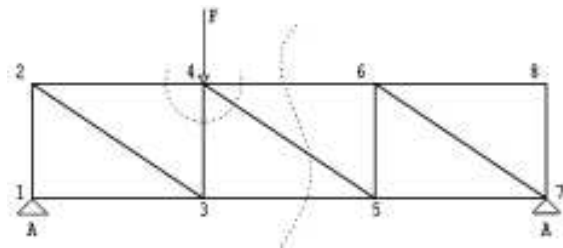
kerülnek számításba. Esetleges terhek például a meteorológiai terhek, a szélteher vagy hóteher, amit csak külső szerkezeteknél veszünk figyelembe. (A meteorológiai terhek attól is függenek, hogy az építmény milyen éghajlaton található.) Tehereloszlás szempontjából megkülönböztetünk koncentrált terhet és megoszló terhelést. Egy pillér födémeire kifejtett terhet koncentrált erővel vehetjük figyelembe, míg egy padlószerkezet egyenletes terhelést jelent a födém számára, tehát e terhet megoszló erőnek tekinthetjük.

Mint már említettük a tartószerkezetek a terhek és a támaszerők (együttes néven: *külső erők*) hatására egyensúlyban vannak. A szerkezetek belsejében azonban *belső erők*, feszültségek ébrednek, amelyek ismerete a megfelelő méretezéshez elengedhetetlen. [10.]

Számoljunk!

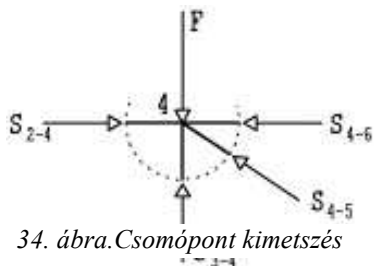
A *rácsostartók* rudakból álló szerkezetek, melyekben az egyes rudak egymáshoz súrlódásmentes csuklókkal kapcsolódnak. (34. ábra) A csuklópontokban nyomaték nem lép fel, a külső erők csak csomópontban működnek, ebből következik, hogy a rudakban csak rúdírányú erők ébrednek.

A tartót és a rajta levő külső erőrendszert képzeletben kettévágjuk. Az egyes tartódarabok egyensúlyát a belső erők biztosítják, melyeknek hatásvonalát minden esetben ismerjük.

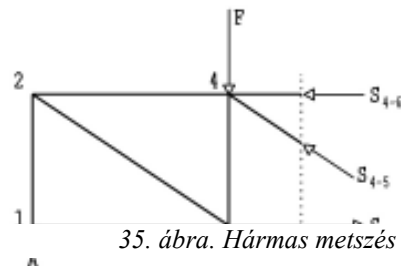


33. ábra. Egy rácsostartó erőtanai modellje

A feladat: adott erőrendszer egyensúlyozása ismert hatásvonalú erőkkel. A keresett erők irányát minden esetben feltételezzük, majd a számítás végén pontosan meghatározzuk. (A statikában az „y” tengely lefelé mutat, az „x” tengely jobbra.) Ha egy erő a csomópont felé, s így a rúd felé mutat (hatás-ellenhatás), akkor nyomó erőről, illetve nyomott rúdról beszélünk, ellenkező esetben húzó erőről, húzott rúdról. Az egyensúlyozandó tartódarab lehet a szerkezet egy kivágott csomópontja (csomópont-kimetszés, 34. ábra), vagy a tartó teljes átvágásával nyert önálló rész (hármasmetszés, 35. ábra).



34. ábra. Csomópont kimetszés



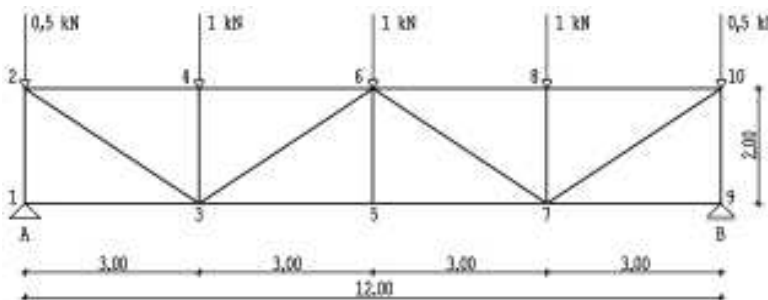
35. ábra. Hármasmetszés

A csomópont-kimetszés esetében pontra ható erőrendszer egyensúlyát vizsgáljuk, az ismeretlen erőhatások száma legfeljebb kettő lehet. A hármas átmetszés esetében az erőrendszer általános elrendezésű, az ismeretlen erőhatások száma három lehet, feltéve, hogy ezeknek nincs közös metszéspontjuk. [10.]

Számítsuk ki a 36. ábrán látható rácsos tartó rúdjaiban ébredő belső erőket!

Első megállapításunk, hogy a tartó és terhelése szimmetrikus, az egymásnak megfelelő rudak erői azonosak, így a rúderő-számítást elegendő a tartó egyik felén elvégezni.

A két támasz egyike egy fix csukló, a másik egy görgő. A támaszokban csak függőleges erők ébrednek a terhelés hatására, és a



szimmetriából adódóan a

36. ábra. Számítsuk ki a rácsostartó belső erőit!

támaszerők is egyformák, egyenként a fél terheléssel egyenértékűek. $A = B = 2,00 \text{ kN} (\uparrow)$.

(A támaszerők az egyensúlyi feltételekből is egyszerűen meghatározhatóak:

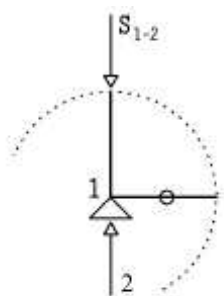
$$\sum M_A = 0 \Rightarrow B \text{ és } \sum F_x = 0 \Rightarrow A)$$

Keressük meg a szerkezet *vakrúdja*it, azaz azokat a rudakat, amelyekben nem ébrednek belső erők. Esetünkben a szerkezet vakrúdjai a 1-3 és 7-9 rudak (csak az egyik rúd irányában terhelt V- csomópontok) és az 5-6 rúd (terheletlen T – csomópont).

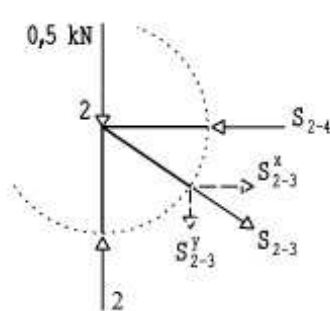
Alkalmazzuk a csomópont-kimetszés módszerét a (1) csomópontra (37. ábra)!

$$\sum F_x = 0 \Rightarrow S_{1-2} = 2,00 \text{ kN} - \text{nyomóerő}(-)$$

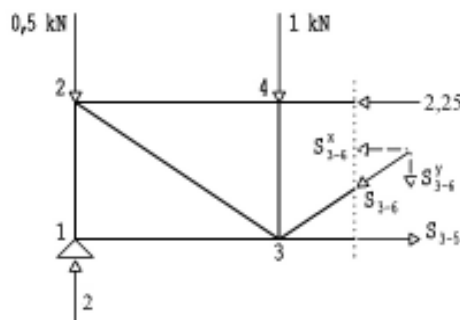
Alkalmazzuk a csomópont-kimetszés módszerét az (2) csomópontra (38. ábra)! A 2-3 rúderőt merőleges komponenseire bontjuk, így a csomópontban két ismeretlen vízszintes és egy ismeretlen függőleges erő működik.



37. ábra. (1) csp kimetszése



38. ábra. (2) csp kimetszése



39. ábra. A hármas-metszés alkalmazása

$$\sum F_y = 0 \Rightarrow S_{2-3}^y = 1,50 \text{ kN}(\downarrow) \Rightarrow S_{2-3}^x = 2,25 \text{ kN}(\rightarrow), \text{ azaz } S_{2-3} = 2,70 \text{ kN-húzóerő}(+)$$

$$\sum F_x = 0 \Rightarrow S_{2-4} = 2,25 \text{ kN} - \text{nyomóerő}(-)$$

A csomópont-kimetszés módszerét alkalmazva a (4) csomópontra:

$$\sum F_x = 0 \Rightarrow S_{4-6} = 2,25 \text{ kN} - \text{nyomóerő}(-)$$

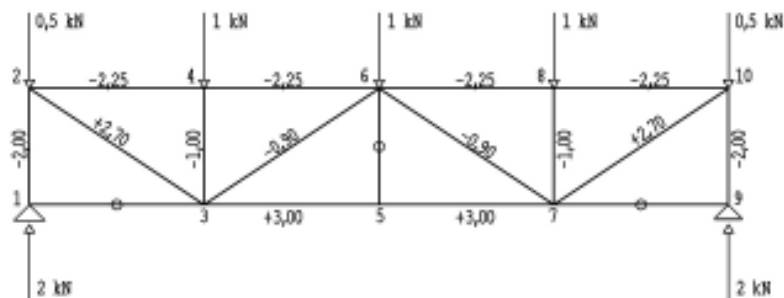
$$\sum F_y = 0 \Rightarrow S_{4-3} = 1,00 \text{ kN} - \text{nyomóerő}(-)$$

Alkalmazzuk a hármas metszést a (3) és (4) csomópont után (39. ábra)!

$$\sum M_A = 0 \Rightarrow S_{3-6}^y = 0,5 \text{ kN}(\downarrow) \Rightarrow S_{3-6}^x = 0,75 \text{ kN}(\leftarrow), \text{ azaz } S_{3-6} = 0,90 \text{ kN-nyomóerő}(-)$$

A csomópont-kimetszés módszerét alkalmazva a (3) csomópontra, megkapjuk az utolsó keresett rúderőt is. $\sum F_x = 0 \Rightarrow S_{3-5} = 3,00 \text{ kN} - \text{húzóerő}(+)$

A rácsos tartó rúdjaiban ébredő belső erőket, a 40. ábrán látható módon, megoldásvázlaton ábrázoljuk



40. ábra. Megoldásvázlat

Kísérletezzünk!

Sodorj össze hengerré 4 darab egyforma címletű papírpénzt, bankjegyet! Egy négyzet alakú hungarocell darab négy csúcsába fúrj egy-egy megfelelő méretű lyukat, ezekbe állítsd bele a felsodort bankjegyeket. A kapott négy "oszlop" tetejére tegyél egy kartonlapot. A kartonlapra helyezz különböző tömegű tárgyakat, és mérd meg, hogy mekkora nagyságú tömeget képes így a négy papírpénz maximálisan megtartani! Mi a jelenség magyarázata? (A feladat a „Játszunk fizikát!” 2007. évi verseny második fordulójában került kiírásra.) [33.]

Néhány megoldás a versenyben részt vett diákok munkáiból:

Balla Regina 9/a. Csongrád, Batsányi János Gimnázium, Szakközépiskola és Kollégium

A nagyobb teherbírás érdekében a papírpénzt benedvesítette, majd kivasalta. A hungarocell darabbal elvégzett kísérlet után az összesodort bankjegyeket egy falap furataiba is beállította. Ebben az esetben az „oszlopok” merőlegesen álltak, s így, több mint 30 kg terhet viseltek.



41. ábra. Balla Regina megoldása



42. ábra. Jámbor Attila eredménye

Jámbori Attila 10/b. Csongrád, Batsányi János Gimnázium, Szakközépiskola és Kollégium

Tapasztalatai szerint a kísérlet eredménye nagymértékben függ a bankjegy állapotától, és hogy milyen mélyen van beleillesztve a hungarocellbe. A bankjegyek kivasalása után a legnagyobb elviselt terhelés 21 kg volt

Velez Dániel, 11/a. Szeged, SZTE Ságvári Endre Gyakorló Gimnázium [34.]



43. ábra. Velez Dániel megoldásai

2. 6. Csigákkal működő felvonó

Az ókori civilizációk, többek között Egyiptom monumentális építészeti emlékei, azt bizonyítják, hogy az ember már több ezer évvel ezelőtt is ismert és használt egyszerű emelőszerveket, bár a Stonhenge, a zikkuratok, a piramisok építésének titkát eddig még nem sikerült megfejtenünk, csak különböző elméletek születtek keletkezésükre.

Az ókorban valószínűleg a szirakuzai *Arkhimédész* (i.e. 287 - i.e. 212) fejlesztett ki elsőként egy kötelekkel és csigákkal működő emelőszerveket, amelyben a kötél egy emelőkarokkal ellátott csörlődob köré volt tekercselve.

A római építészet lenyűgöző alkotásában, a *Colosseumban* (i.sz. 1. század) a gladiátorok és a vadállatok emelőszerveket segítségével jutottak az aréna szintjére az alagsorból. A középkorból is számos rajz, feljegyzés ismeretes, amelyek emberek és eszközök emelésére alkalmas berendezéseket mutatnak be, melyeknél még emberi vagy állati erőt alkalmaztak a teher emeléséhez. A feljegyzések szerint kezdetleges felvonók működtek már a francia királyok *Versailles*-i kastélyában is a 17-18. század fordulóján. Az első említésre méltó ellensúllyal ellátott felvonót a „Napkirály” dédunokája, XV. Lajos (1715 – 1774) használta, hogy - a legenda szerint- szeretőit a lakosztályába csempéssze.

A 19. század elején különféle meghajtással működő emelőszerveket készítettek. Az első hidraulikus - vízzel működő – felvonó 1846-ban tűnt fel, majd a vizet - a gépek és mérnöki tudományok fejlődése nyomán - hamarosan más motoros emelő-berendezések követték.

A fejlődés ellenére a kötél és a csiga mindvégig szerves része volt a felvonóknak, így a kezdetek óta meglévő probléma továbbra is megoldatlan maradt: ha az emelőkötél elszakadt, nem tudták megakadályozni a berendezés lezuhanását. Ez a hiányosság tette a felvonók működtetését és használatát kockázatosná.

Egy Amerikában élő gépészmérnök, *Elisha Graves Otis* ismerte fel, hogy egy biztonsági fékre van szükség, amelynek szükség esetén automatikusan, azonnal működésbe kellett lépni, megóvva ezzel az emberi életet és vagyontárgyakat. Otis találmánya után lehetőség nyílt egyre magasabb épületek, felhőkarcolók építésére is. A megfelelő anyagminőség és a fejlett építéstechnika mellett a biztonságos felvonóra is szükség volt a toronyházak megépítéséhez, mivel addig olyan magasra épültek a házak, ameddig az emberek hajlandóak voltak gyalogosan felmászni. New Yorkban 1857-ben egy nagyáruházban építették fel az első biztonságos személyfelvonót, Magyarországon az egyik első ilyen szerkezet a budai Királyi Várban létesült 1890-ben. [39.], [40.]

A 44. ábrán egy 19. századi, vízzel hajtott lift tervrajza látható. Az emelőszerkezetnél a csigákat kétféle módon is felhasználták. A felvonó fülkéjének tetejétől egy kábel fut fel egy csigáig, majd onnan le egy mozgócsigához, amely egy hengerben mozgó dugattyúhoz kapcsolódik. A dugattyút a hengerben lévő víz mozgatja fel-, illetve lefelé. Egy másik csiga-páron átfutó kötél lehetővé teszi, hogy a fülkében lévő liftkezelő az alul lévő csapot állítva a vizet a henger alsó vagy felső részébe irányítsa, aminek következtében a dugattyú fel- vagy lefelé mozdul, s ez szabja meg, hogy a lift fülkéje emelkedik, vagy süllyed.

Noha a felvonók meghajtásának módozatai sokat változtak napjainkig, a szerkezet alapelve lényegében változatlannak tekinthető. A legkorszerűbb berendezésekben is csigák és kötelek, kábelek jelentik a rendszer „lelkét”. [8.]



44. ábra. 19. századi lift

Tananyag: Az egyszerű gépek – csigák, csigasorok

A csiga egyszerű gép, erőátviteli eszköz, amelynek segítségével a munkavégzéshez szükséges erő nagyságát, irányát a célnak megfelelően megváltoztathatjuk. Az állócsiga csupán az erő irányának megváltoztatására szolgál, az erő nagysága nem változik.

A mozgócsigán a teher a csiga tengelyéhez erősített horgonyon függ. Ez az elrendezés egykarú emelőnek tekinthető, amelynél a forgáspont a csiga és a kötél érintkezési pontja. Ha a kötélrészek párhuzamosak, a terhet fele akkora erővel lehet kiegyensúlyozni.

Az azonos számú (n) álló- és mozgócsigákból álló emelőszerkezet a közös csigasor, amelynél egyensúly esetén az erő $2n$ -ed része a tehernek. Az archimédeszi, vagy hatvány csigasorban n számú mozgócsiga van, vagyis az erő $F = G/2^n$, mivel minden mozgócsiga a terhet „felezi”. A csigasorokban a csigák számát egy bizonyos határon túl nem érdemes növelni, mert a súrlódás hatása is egyre nagyobb lesz.

Dr. Szalay Béla: Fizika. Műszaki Könyvkiadó, Budapest, 1982.

2. 7. Az Arkhimédészi csavar

A víz szállítása, magasabban fekvő területekre való eljuttatása nem könnyű műszaki feladat. A legrégebbi ismert vízemelő szerkezet, vagy szivattyú, az Arkhimédészi csavar (45. ábra). Spanyolország területén, egy ókori római rézbányában megtalálták az egykori csavarszivattyúk maradványait, melyeket víz kiemelésére használtak. Ez az egyszerű eszköz



nem más, mint egy ferdén fekvő teknőben vagy csőben, ferdén elhelyezett tengelyre felfűzött csavarmechanizmus. A csavarmenet által alkotott résekben a szállított anyagot a gravitáció tartja meg, és a tengely forgatása szállítja tovább. A víz hosszú utat tesz meg az emelkedéshez képest, a csavart többször is körbe kell forgatni ahhoz, hogy a víz kis mértékben felemelkedjék. Ez a módszer tehát több időt vesz igénybe a vízemeléshez, mintha a vizet kézi erővel, függőlegesen emelnénk fel, de a teher emeléséhez szükséges erő kisebb. A dolgunkat nehezítheti, hogy a spirál és a cső fala között súrlódás léphet fel, aminek legyőzéséhez szintén befektetett energiára van szükség. [5.], [8.]

Az ismert források szerint a legvalószínűbb, hogy ezt az eszközt Arkhimédész találta fel, innen az elnevezés. A találmány előnye, hogy egyszerű és megbízható, így a csavar, mint szivattyú, a mai napig is használatos. Főként porhanyós anyagok vagy szennyezett folyadékok szivattyúzására használható, de megtalálható mindennapi életünkben is, hiszen a konyhai húsdarálóban lévő végtelen csavar is a szállítás szerepét tölti be.[41.], [42.]

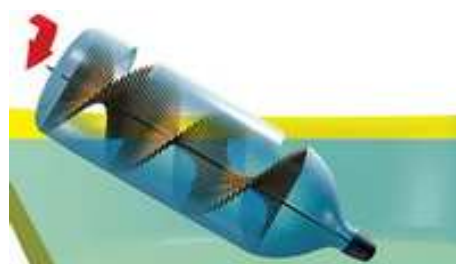
Tananyag: Az egyszerű gépek – A csavar

A csavar lejtőrendszerű egyszerű gép, hiszen a csavar vonala lényegében egy hengerpalástra felcsavart lejtő vonala. A hengert a csavarvonal mentén bevéssük, így kapjuk a csavarorsót, az orsóra illő kivájt test a csavartok vagy csavaranya.

Az erő annyiszor kisebb a tehernél, ahányszor kisebb a menetmagasság az orsó sugarához képest. Dr. Szalay Béla: Fizika. Műszaki Könyvkiadó, Budapest, 1982.

Készítsünk házilag csavarszivattyút!

Kis kezűességgel otthon is készíthetünk csavarszivattyút. Az alábbiakban egy lehetőséget ismertetünk, melynek végeredménye a 46. ábrán látható. Arkhimédész csavarjának elkészítéséhez szükségünk van egy üres másfél liter űrtartalmú műanyag flakonra, hurkapálcikára vagy drótra, amely



16. ábra. A házilag elkészíthető szivattyú

legyen hosszabb a flakonnál, kb. 120 db falapkára, ilyen például a lapos jégkrém-kanál, faragasztóra, szintelen lakkra és vízálló ragasztószalagra.

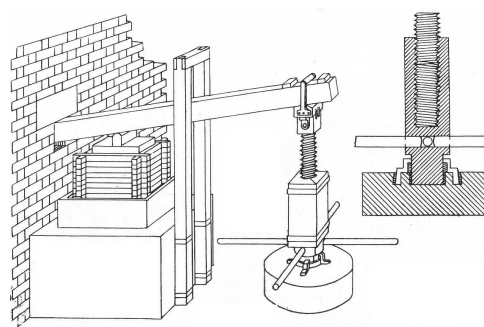


47. ábra. A csavar készítése

A 47. ábrán látható módon fűzzük fel az átfúrt falapkákat a drótra vagy a hurkapálcikára. A következő lépésben a falapkákat sorban elforgatjuk, ragasztóval rögzítjük, kialakítva ezzel a „végtelen” csavart, melyet lakkal tartósabbá tehetünk. A műanyag flakon alját levágjuk, az oldalán a 46. ábrán látható módon nyílást vágunk, hogy a szivattyúzandó víz a szerkezetbe jusson. Végül a csavart behelyezzük, s az átfúrt kupakba rögzítjük. [41.], [42.]

Érdekesség:

Az 1. évszázad közepén jelent meg Itáliában vagy Hellász területén, a nagy jelentőségű erőátviteli mechanizmus, a *csavarprés* (48. ábra). A szerkezetet egyrészt az olajbogyó levének kisajtolására használták a korábbi olajütő helyett, másrészt szőlőprésnek. Az i.sz. 79-ben a Vezúv áldozatául esett *Herculaneumban* megtaláltak egy teljesen ép, fából készült csavarorsós posztóprést. [1.]



48. ábra. Csavarorsós prés rajza

2. 8. A budapesti Szabadság-híd

Budapest legrövidebb hídja, a Feketeházy János mérnök által tervezett Szabadság-híd 1996-ban volt száz éves (49. ábra). A második világháború pusztítását ez, az akkor még Ferenc Józsefről elnevezett híd sem kerülte el, de a két parti nyílása a híd eredeti szerkezete.



49. ábra. A budapesti Szabadság-híd

A híd főtartója két, egy-egy mederpilléren nyugvó kétoldalú emelőből áll. A rácsos szerkezetű emelők külső végeit a partpillérekhez rögzítették, a belső meder feletti végeket pedig a hídmező egy darabja köti össze. Az ilyen tartószerkezetet nevezik statikusok *Gerber-tartónak* (50. ábra).

Ha a hidat középen megterhelik, a középső hídmező kis mértékben lehajlik, s a kétkarú emelők a terhelést átviszik a partpillérekre, és emelik azokat. Ha a part és a mederpillérek között terhelik a hidat, a középső mező emelkedik, de sokkal kisebb mértékben. [4.], [43.]



50. ábra. Gerber-tartó erőtani modellje

Tananyag: Az egyszerű gépek – Emelők

Az emelő merevnek tekinthető test, mely tengely körül foroghat. Az erő és a teher a megfelelő rúd hosszakkal (karokkal) fordítottan arányos.

Dr. Szalay Béla: Fizika. Műszaki Könyvkiadó, Budapest, 1982.

2. 9. Vetőgép a 19. századból

Az 51. képen látható vetőgépet a 19. század második felében használták a mezőgazdasági munka megkönnyítésére. A felül lévő gabonás zsákból a magok ráesnek, a hajtókarral megforgatott tányérra. A forgótányéron lévő bordák körmozgásra kényszerítik a gabonaszemeket, a centrifugális erő hatására a szemek kisodródnak a tányér szélére, ahonnan szétrepülnek. [8.]



51. ábra. 19. századi vetőgép

Tananyag: Forgó koordináta-rendszerek, a centrifugális erő

A forgó koordináta-rendszerben lévő megfigyelő egy radiálisan kifelé irányuló tehetetlenségi erőt tapasztal. Ezt, az $m\omega^2 r$ nagyságú erőt centrifugális erőnek nevezzük. Csak a forgó rendszerben helyet foglaló megfigyelőnek kell ezzel az erővel számolnia, inercia rendszerben ilyen erő nincs. Budó Ágoston: Kísérleti fizika I. Tankönyvkiadó, Budapest, 1992

2. 10. Az ókori Egyiptom mérnökei

Az ókori Egyiptomot nem ok nélkül nevezték a Nílus ajándékának, mivel gazdaságának és kultúrájának alapja a rendkívül fejlett vízgazdálkodás volt. Nyár elején a Nílus áradni kezd, elborítja a földeket, s termékeny iszapot terít rájuk. A magas vízállás 6-8 hétig tart, majd a víz visszahúzódik.

Az egyiptomi öntözés fokozatosan alakult ki. Első lépésben a Nílust töltésekkel látták el, hogy magasabb vízszint alakuljon ki, így a magasabb vízállás után meginduló áradás a termékeny iszapot a távolabb, alacsonyabban fekvő földekre is eljuttatta. Második lépésben alakították ki a medencés (vízterelő) öntözési rendszert, ahol az egyes medencecsoportokat öntöző főcsatornák látták el vízzel.

Az öntözés lebonyolítása nemcsak erős államot, hanem fejlett tudományos ismereteket is kívánt. Az áradásra megfelelően fel kellett készülni, s ehhez előre meg kellett jövendőlni az áradás kezdetét. Sok évszázados tapasztalat alapján megfigyelték, hogy az áradás napján a Szíriusz csillag közvetlenül napfelkelte előtt jelenik meg az ég alján. Emellett a víz emelkedését is ismerniük kellett, így a vízállás megfigyelése céljából vízmércéket állítottak

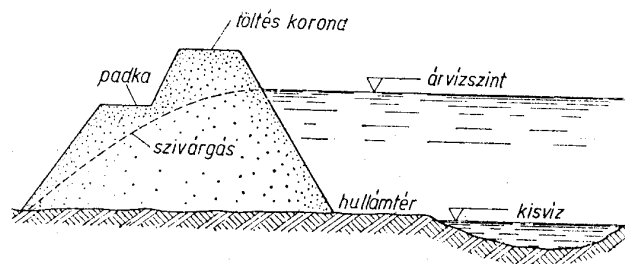


52. ábra. A Nilométer lépcsősora

fel, már 4000 évvel ezelőtt is. A legdélebbre fekvő, ezért a legfontosabb vízmércét az un. *Nilométert* Elephantine szigetén III. Amenemhet fáraó (i.e. 1413-1375) építtette, s ez még napjainkban is megtekinthető (52. ábra). A vízmércéhez fedett folyosón 95 lépcső vezet le, de ide csak a beavatottaknak, Serapis papjainak volt bejárásuk. A nyilvánosságot kizárták, mivel az adókat a Nílus mindenkor vízállásának megfelelően vetették ki. Az uralkodók megpróbálták minél nagyobb adókat beszedni, ezért igyekeztek a valóságos vízállást eltitkolni a nép elől.

A gátak építése nehéz feladat elé állította az egyiptomiakat. Úgy kellett őket megtervezni, méretezni, hogy ellenálljanak a hullámoknak, a víznyomásnak, mégis könnyen megnyithatók legyenek. Ha a folyóvizet töltések közé szorítják, a töltést a lehető legnagyobb vízálláshoz kell méretezni, a legnagyobb oldalnyomást kell figyelembe venni. A folyó szélessége az oldalnyomás szempontjából közömbös, de szélesebb folyam esetén a szélviharok által keltett hullámváz erősebb, így a gátak építésénél a valóságban mégsem hagyható figyelmen kívül. [1.], [6.], [44.], [45.]

A tervezésnél az oldalnyomás mellett, figyelembe kell venni a víz szivárgását is. (53. ábra) A töltésekben a víz ív alakban szivárog, így a töltést olyan szélesre kell építeni, hogy a szivárgási ív a töltés anyagába essék, különben a víz áttör. A méretek meghatározásánál azonban azt is figyelembe kell venni, hogy a túlméretezett, túl széles gát felesleges anyag- és költségtöbbletet jelent. [5.],



53. ábra. A vízszivárgás görbéje a töltésen belül

Tananyag: A nyomás a nyugvó folyadékokban, a hidrosztatikai nyomás

A folyadék felszínére gyakorolt nyomás az ideális folyadékban minden irányban egyenletesen terjed. (Pascal-törvénye)

A nyugvó folyadék belsejében ható, a folyadék súlyából származó nyomás (p) értéke független a „tartóedény” alakjától, a folyadékoszlop magasságával (h) és sűrűségével (ρ) egyenesen arányos: $p = \rho gh$. A nyomott felület helyzete, ill. a nyomóerő iránya szerint

megkülönböztetünk lefelé, felfelé és oldalirányba ható nyomóerőt, nyomást. A felszíntől számított h mélységben a hidrosztatikai nyomás $p=p_0+\rho gh$, ahol p_0 a külső nyomás.

Dr. Szalay Béla: Fizika. Műszaki Könyvkiadó, Budapest, 1982.

Egyiptomban a földek, az öntözőcsatornák, a víztározók elsődleges tulajdonosa az uralkodó volt. A földművesek csak bérelték a földterületet, és a birtokjog megváltása mellett fizettek az igénybevett vízmennyiségért is. Az elhasznált öntözővíz mennyiségét a fáraó emberei, mérnökei mérték, akik egy adott méretű lyukat vájtak a csatorna falába, majd megnézték, hogy adott idő alatt mekkora vízmennyiség folyik ki a nyíláson.

Egy legenda szerint egy egyiptomi földbérlő olyan „szerkezetet” eszelt ki, amivel több vizet nyert ki a csatornából, mint amennyiért fizetett. A szerkezet nem volt más, mint egy tölcsér, amelyet a nyíláshoz illesztett, s így megnövelte a vízhozamot. A fáraó emberei nem vették észre a tölcsért, vagy nem gondolták, hogy az módosítja az átáramló víz mennyiségét. [46.]

Tananyag: Folyadékok és gázok áramlása

Változó keresztmetszetű csőben az áramlás sebessége a keresztmetszettel fordítottan arányos, $A \cdot v = \text{const.}$ (Kontinuitási egyenlet)

Súrlódásmentes és összenyomhatatlan folyadék stacionárius áramlásánál egy vékony áramfonal mentén $p + \frac{1}{2} \rho v^2 + \rho gh = \text{const.}$ (Bernoulli-féle egyenlet)

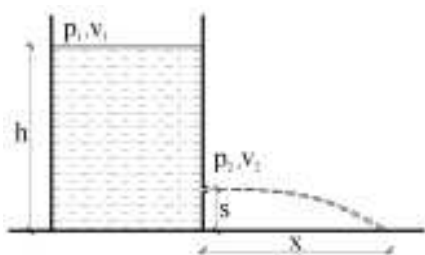
A kis nyíláson kiáramló folyadék kiömlési sebessége, a sűrűségtől függetlenül a h magasságból szabadon eső test sebességével egyenlő, iránya vízszintes, így a vízszög pályája a vízszintes hajításnak megfelelően parabola. (Torricelli – törvénye)

Budó Ágoston: Kísérleti fizika I. Tankönyvkiadó, Budapest, 1992

Dr. Szalay Béla: Fizika. Műszaki Könyvkiadó, Budapest, 1982.

Számoljunk!

a.) Határozzuk meg a kis nyíláson kiáramló folyadék sebességét (54. ábra)!



A sebesség Bernoulli-törvénye alapján könnyen kiszámolható.

A csatornában a vízmagassága gyakorlatilag nem változik, tehát a vízszintsüllyedés sebessége $v_1 = 0$. A kiáramlási sebesség $v_2 = v$.

54. ábra. Kis nyíláson kiáramló folyadék

A felszínen és a nyílásnál a nyomás egyenlő a külső légnyomással: $p_1 = p_2 = p_0$. A folyadékoszlop magassága a csatornában $h_1 = h$, a nyílás felett pedig $h_2 = 0$.

Bernoulli törvénye: $p + \rho gh + \frac{1}{2} \rho v^2 = \text{const}$.

Esetünkben $\rho gh = \frac{1}{2} \rho v^2$, ahonnan $v = \sqrt{2gh}$. [46.]

b.) Milyen távolságra éri el a vízsugár a vízszintes talajt?

A vízsugár a nyílást vízszintes irányú, v nagyságú sebességgel hagyja el. A vízszintes hajításnak megfelelően a pályája parabola, amelynek egyenletét a meghatározhatjuk.

$$x = vt, y = \frac{1}{2} gt^2, \text{ azaz } x = v \sqrt{\frac{2y}{g}}.$$

A vízsugár esetén $y = s$, $v = \sqrt{2gh}$, így a keresett távolság $x = 2\sqrt{(h-s)s}$.

Érdekesség

Az épületek tartószerkezetének erőtanai számítása során az állandó terhek mellett az esetleges terhek közé tartozó meteorológiai terheket is figyelembe kell venni. Meteorológiai teher a hőmérséklet változása, a hóteher és a szélteher. A szél hatására az építményeket nyomó-, szívó és súrlódási erők terhelik, melyeknek intenzitása a szél sebességétől, áramlási irányától, az épület magasságától és alakjától függ. Nagy viharban a szél „leszívhatja” a háztetőt, vagy a nem megfelelően rögzített homlokzati elemeket.

A szél „szívóhatása” is a Bernoulli-törvénnyel magyarázható, miszerint az áramló közegben szűkületeknél a nagyobb áramlási sebességhez kisebb nyomás tartozik.

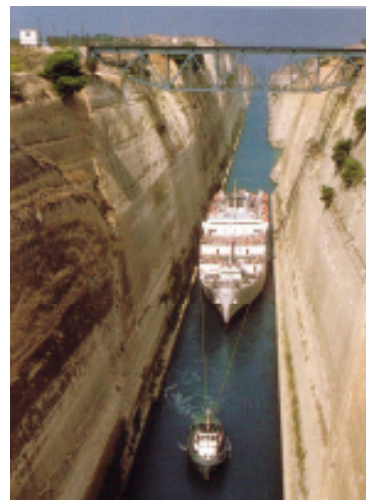
2. 11. Mesterséges vízi utak, a Panama csatorna

Gyakran rövidebb úton juthatunk célunkhoz hajóval, s a vízi úton való szállítás lényegesen olcsóbb is, mint a szárazföldön. A mesterséges vízi utak, a csatornák építése azonban az egyik legnehezebb mérnöki vállalkozás. A hatalmas földkitermelés, hegyek átvágása és a bonyolult építkezés során törvényszerűen fellépő egyéb nehézségek lassítják a kivitelezést, és az egekbe emelik a bekerülési költséget. Emiatt az építkezések sokszor évekre, évszázadokra függőben is maradtak.

Az első csatornákat valószínűleg a kínaiak építették, de ismeretes egy i.e. 4000 körül, Mezopotámiában épült csatorna is. A legrégebbi ma is használt csatorna a Kínában található, Tian-jin és Hang-csou folyók közötti *Nagy Csatorna*, amely a kínai Nagy Falhoz

hasonlóan folyamatosan, évszázadokig épült (i.e. 485 - i.sz. 283). A kb. 1760 km hosszú csatorna rendeltetése az volt, hogy segítse az adószedők munkáját, akik rizs és gabona formájában szedték be az adókat.

Az ókori Egyiptom legjelentősebb csatornaépítése a Földközi-tengert a Vörös-tengerrel összekötő hajózó csatorna létesítése volt. A két tenger közötti kapcsolatra azért volt szükség, hogy Egyiptom Arábiával és Indiával közvetlen kapcsolatba kerüljön. Az építkezést már az i.e. 7. században kezdték, de félbeszakították. Többször is újraindították a munkálatokat, de csak az i.e. 3. században fejezték be az építkezést. A csatornát 250 évig használták, majd elhanyagolták, így a *Szuezi-csatorna* 19. századi megépítéséig nem volt közvetlen kapcsolat a két tenger között.



Az Égei- és az Ion-tengert összekötő *Korinthoszi-csatorna* (55. ábra) építése Néró császár uralkodásának idejében kezdődött, i.sz. 67-ben, de halála után leállt a munka. Csak a 19. század vége felé, 1882-ben fogtak neki újra, a magyar mérnök Türr István irányításával. A csatorna 6,4 km hosszú, átlagos mélysége 57 méter.

55. ábra. A Korinthoszi-csatorna

Az Atlanti-óceánt a Csendes-óceánnal összekötő *Panama-csatorna* (56. ábra) építése a maga idejében a világ legköltségesebb beruházása volt. Mivel New Yorktól San Franciscóig a hajóút a Horn-fok megkerülésével 20 800 km hosszú, és egy hónapot vett igénybe, az Egyesült Államoknak szüksége volt egy csatornára, melynek megépítésével ez az út 8000 km-re rövidíthető. A vízi út vonalát 1870-ben jelölték ki az ekkor Kolumbia fennhatósága alá tartozó területen, a beruházás megépítésének jogát azonban francia pénzemberek egy csoportja megszerezte. A munkálatokat Ferdinand de Lesseps mérnökre bízta, aki diplomáciával és politikával is foglalkozott, s kinek nevét a Szuezi-csatorna



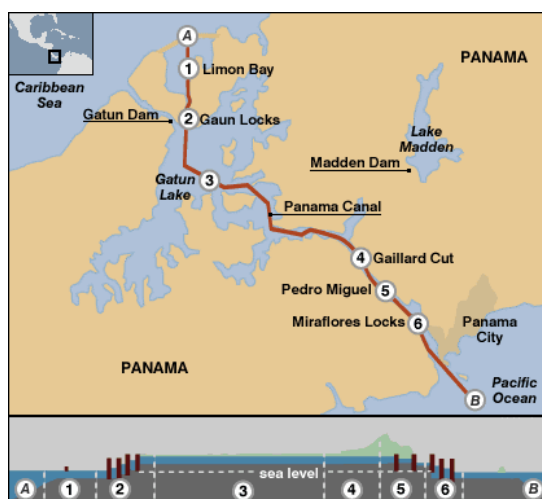
56. ábra Panama-csatorna elhelyezkedése

tette ismerté. Lesseps úgy döntött a Chagres-folyó és a Rio Grande mentén fogja vezetni a csatornát, a korábban épült vasútvonal mentén, és a tenger szintjének magasságában köti össze a két óceánt. Az építkezés 1881-ben kezdődött, s azonnal elkezdődtek a problémák. A

munkások egymás után haltak meg. Sárgalázat és maláriát terjesztő moszkítók milliói nyüzsgtek a mocsarakban, a korabeli orvostudomány pedig nem tudta elejét venni a

járványoknak. Egy ideig *Paul Gauguin* is dolgozott a csatorna építésén, aki 1887-ben nagy reményekkel és letelepedési szándékkal érkezett ide. Rövidesen azonban meggyűlölte a helyet, s amint elegendő pénzt kereset, tovább utazott Martinique szigetére. 1889-ben a csatornaépítő társaság - Lesseps cége - a rossz gazdálkodás miatt csődbe ment, s bebizonyosodott, hogy a tengerszint magasságában vezető csatorna ötlete sem volt a legszerencsésebb. Az építkezésre 287 millió dollárt költöttek - ami jóval több, mint amennyit békeidőben egy vállalkozásra szántak-, és legalább 20 000 ember vesztette életét a munkák során. A társaság kiszármazott, szinte egész vagyonukat elvesztették, s a Panama-csatorna körüli botrány válságba sodorta Franciaországot is. Számos képviselőt azzal vádoltak, hogy kölcsönt vettek fel az elfogadott részvényekre, amikor a pénzügyi helyzet már nyilvánvaló volt, Lessepst pedig korrupcióval gyanúsították. A Panama-botrány kirobbanása után, 1893-ban lemondott a kormány, Lessepst 5 évi börtönre ítélték, de végül az ítéletet hatálytalanították.

A századfordulón az Egyesült Államok ismét érdeklődni kezdett a csatorna építése iránt. Egy panamai csoport 1903-ban az Államok hallgatóságos beleegyezésével kikiáltotta Panama függetlenségét, s Washington két napon belül elismerte az új panamai kormányt. Megegyezésüket követően 1904-ben a csatorna építése folytatódott. Első lépésben kiirtották a moszkítókat, így megteremtették a megfelelő munkakörülményeket. Az amerikai mérnökök nem kísérelték meg a tengerszint magasságában megépíteni a csatornát, ők több *zsilipkaput* terveztek, ami egy sokkal gyakorlatiasabb megoldás, de még így is hatalmas mennyiségű földet kellett kitermelni, nem kis nehézségek árán. Hajózsilipekre abban az esetben van szükség, ha a két tenger között jelentős szintkülönbség van, vagy ha egy közbülső emelkedést kell legyőzni. Feltalálását *Leonardo da Vincinek* tulajdonítják, de valószínűleg sokkal régebb óta ismerjük. (57. ábra)



- A – Karib-tenger
- 1 – Citrom-öböl
- 2 – Gatúni zsilipkapuk
- 3 – Gatún-tó
- 4 – Gaillard-árok
- 5 – Pedro Miguel-i zsilipkapuk
- 6 – Mirafloresi zsilipkapuk
- B – Csendes-óceán

57. ábra. A Panama-csatorna térképe és metszete

A zsilipkamrák hatalmas méretű, bonyolult gépezetek. A betonból készült zsilipkapukat hatalmas formákban öntötték ki. A kamrák padozata 4-6 m vastagságú, a falak legalul 15 m szélesek, majd lépcsőzetesen vékonyodnak, felül már csak 2,5 m a vastagságuk. A víz a Gatún- és a Miraflores-tóból érkezik, áramlását acélkapuk szabályozzák. A tavak vize a kamrák alján, hetven nyíláson folyik be, és fokozatosan megemeli a hajókat. Alacsonyabb vízszintre helyezés esetében ugyanilyen nyílásokon át lehet lecsapolni a kamrákat.

Minden kamra végén hatalmas, több száz tonnás kapu van. A kapuszárnyak 19,5 m szélesek és 2 m vastagok, magasságuk a pozíciótól függően változik, a legnagyobb kapu Mirafloresnél 24,6 m magas. Biztonsági okokból a hajók saját meghajtással nem haladhatnak át a zsilipeken, ezért kis vonatok vontatják őket, melyek a kamrák tetején lefektetett síneken futnak. (58. ábra)



58. ábra. Hajó vontatása egy zsilipkapunál

A gatúni túlfolyón átömlő vizet elektromos energia termelésére is használják, ez az áram működteti a csatorna minden gépezetét. A kis vonatok kivételével mindent úgy terveztek, hogy egyetlen ember és egyetlen műszerfal irányíthassa. A kapcsolók csak egy meghatározott sorrendben működtethetők, így például, nem történhet meg, hogy a kapukat a víznyomással szemben akarnák kinyitni.

A csatornát 1914-ben adták át és még ma is kifogástalanul működik.

Bár a Panama-csatorna és a hozzá hasonló mérnöki alkotások lenyűgöző szerkezetek, mégsem hagyható szó nélkül a természeti környezetre tett káros hatásuk és sokszor kifogásolható esztétikai megjelenésük. (59. ábra)



59. ábra A Gillard-árok a csatorna legszebb szakasza

[1.], [9.], [47.],

Tananyag: A hidrosztatikai felhajtó erő, az úszás.

A folyadékba mártott testre felhajtó erő hat – a test látszólag súlyvesztéseget szenved -, amely nagyságra nézve egyenlő a test által kiszorított, azaz a test bemerülő részével egyenlő térfogatú folyadék súlyával. (Arkhimédész törvénye)

Úszás esetén a test súlya egyenlő nagyságú a felhajtó erővel, vagyis a test bemerülő része által kiszorított folyadék súlyával. Megfelelő alakú üreges testek, pl. hajók akkor is úszhatnak, ha anyaguk sűrűsége a folyadék sűrűségénél sokkal nagyobb.

Budó Ágoston: Kísérleti fizika I. Tankönyvkiadó, Budapest, 1992

Kísérletezzünk!

Alufóliából hajtogassunk hajót, és öntsünk egy nagy tálba vizet. A hajó vízre bocsátása után azt tapasztaljuk, hogy annak ellenére, hogy fémből készült úszik a vízen. Ha azonban a hajót összegyűrjük, a fém „gombócok” már elsüllyednek. [48.]

2. 12. Szökőkutak

A víz, mint az élet forrásának szimbóluma épített környezetünk fontos része. A szökőkutak, díszkutak, nagyobb vízfelületek több ok miatt is kedvezően hatnak a városi mikroklímára. A nyári csapadékszegény időszakban a vízfelület párolgása hőt von el közvetlen környezetéből, s ezzel hűti azt. A víz látványa, csobogása pszichésen hat kedvezően az emberre. Ezen túlmenően pedig a vízben, vagy környezetében élő állatok és növények változatosabbá teszik a környezetet, másfajta színeket, tónusokat jelentenek.

A római kultúra mediterrán éghajlati környezetben alakult ki, amelyre az év nagyobb részében a meleg, csapadékszegény időjárás jellemző. Korán felismerték, hogy lakókörnyezetük temperálásának egyik kézenfekvő módja, a vízfelületek alkalmazása. Ez a gondolkodásmód a birodalom terjeszkedésével Európa más, nem mediterrán klímájú vidékein is elterjedt. (60. ábra)

Mint ismeretes, a Római Birodalom városai (köztük Aquincum), polgárai számára vízvezetékek szállították - akár több kilométeres távolságból - a forrásvizet. Appius Claudius, cenzor határozta el és irányította az első vízvezeték építését Rómában. Amíg Róma szerény, kis város volt a Tiberis vize, néhány forrás és kút kielégítette a lakosság vízszükségletét. A város fejlődésével azonban a vízigény megnőtt, a Tiberis vízének minősége pedig, főként forró



60. ábra. A Faun házának átriuma, rekonstrukció, Pompeji

nyári napokon, nem volt kielégítő. Mivel a források és kutak idővel nem voltak képesek a vízellátást biztosítani, i.e. 4. században Ap. Claudius megépítette az első vízvezetékét az Aqua Appiát, amely egy távoli forrás vizét szállította Rómába. A vezetéket megfelelő lejtéssel építették, így a szállítást gravitációs úton oldották meg. Az égetett agyagból, vagy ólomból készült csöveket a föld alatt vezették, de a domborzati viszonyoktól függően, a megfelelő lejtés biztosítása érdekében, illetve a városban magas, boltíves alépítményekre fektették. Ezek az *aquaeductusok* napjainkban is a római építészet magas technikai fejlettségéről tanúskodnak. (61. ábra) A város fejlődésével a vízvezetékek száma is egyre nőtt, Constantinus császár korában már tizenkilenc aquaeductus vize látta el a Rómát, benne a nagy vízigényű fürdőkkel. A bő vízellátás Rómának különösen elragadó vonást adott, számtalan kút, szökőkút díszítette a város tereit, utcáit.



61. ábra. Aquaeductus maradványa, Aquincum



62. ábra. Szökőkút egy peristylumban, Pompeji.

A vizet a lakosság többnyire díszes, márvány közutakból vagy közvetlenül a lakóházakba bevezetve kapta. A lakóházak központi helyisége az *átrium*. Az átrium középső része nyitott, s a négy oldalról befelé lejtő tetőről a csapadék a nyílás alatt kiképzett díszes medencébe, az *impluviumba* folyik. A gazdagabb, fényűzőbb lakóházakban portikuszokkal körülvett udvar, a *peristylum* is megtalálható volt. Az udvarban szobrokat, díszes medencét, szökőkutat, dísznövényeket helyeztek el. (62. ábra) [11.], [12.], [13.], [16.]

A szökőkutak a középkor skolasztikus gondolkozás számára jobbára felesleges „evilági hívságoknak” minősültek, s csak a reneszánsz beköszöntével lettek ismét népszerűek.

A magyarországi reneszánsz művészet kiemelkedő emléke a visegrádi *Hercules-kút*. (63. ábra) Az olasz művészek vörösmárványból kifaragott alkotása a visegrádi királyi palota díszudvarán állt, ma a töredékes állapotban a Mátyás Király Múzeumban tekinthető meg. A palota helyreállítása során a kút rekonstrukciója is elkészült, s a díszudvar eredeti pompáját idézi elénk. A Mátyás király (1458-1490) uralkodása idején készült reneszánsz

kút különös jelentőséget nyer azáltal, hogy hasonlóak még Olaszországban is (e típus kialakulási helye) csak ábrázolások formájában maradtak fenn. Oláh Miklós esztergomi érsek 1536-ban, Brüsszelben leírta hazája történetét, értékeit, részletesen megemlékezett a visegrádi palotáról, amelyet még ifjúként teljes pompájában látott.

„Középen forrás tör elő a csodás művészettel kifaragott vörösmárvány kútból, melyet a múzsák domborműves alakjai díszítenek. Tetejében Cupido alakja ül, s egy márványtömlőből szorítja ki a jóízű hideg vizet, mely a szomszédos hegyiforrásból folyik ide, csatornán keresztül, s kellemes csobogással hull a csövekből a márványtálba, innen pedig a kerek medencébe. Ez a forrás ama Hollós Mátyás királyunk parancsára (...) győzelemünnepek alkalmából bort folytatott és pedig hol fehéret, hol vöröset, amint azt az öregektől hallottam. A bort feljebb a hegy tövében töltötték ügyesen a csövekbe.”



63. ábra. A Hercules-kút rekonstrukciója

A palotában feltárt díszkútak és a kútház egyaránt arra utal, hogy a palotát a kor színvonalának megfelelő vízvezetékrendszer hálózta be. Ennek maradványai, nyomai a feltárások során előkerültek. Ma még nem tudni, hogy az azóta eltűnt forrás segítségével működött-e, vagy a budai és az esztergomi vízszolgáltatási-rendszerhez hasonlóan, a patak energiáját felhasználva emelték fel a vizet a kellő magasságba, hogy a palotát és a szökőkutakat vízzel ellássa. [14.], [49.]

A Róma közelében fekvő Tivoli központjában, 1549-ben felépülő reneszánsz villa, a *Villa d'Este* igazi érdekessége a kert (64. ábra). A szigorúan geometriai formákba rendezett, ötszintes, teraszokkal tagolt arborétum a víz játékára épül. A villának több alkalommal vendége volt Liszt Ferenc (1811-1886) is, akire a kert és szökőkútjai nagy hatást gyakoroltak, és élményeiből egy zenemű is született *A Villa d'Este szökőkútjai* címmel. [50.]



64. ábra. A Villa d'Este szökőkútjai

A szökőkutak tárgyalása során nem hagyható szó nélkül *Peterhof*, az orosz uralkodók Szentpétervár körüli, nyári rezidenciáinak gyöngyszeme. Nagy Péter (1682/96-1725) az új főváros megalapítása után határozta el a palota építését, melyet végül 1723-ban adtak át. Tervei szerint az utazgatásai alkalmával, Franciaországban látott királyi palotákhoz hasonló épületet szeretett volna, s bár Péterhof megkapta az „orosz Versailles” címet, ennek a tengerparti rezidenciának jól meghatározható, sajátos arculata van. (65. ábra) A település szépségéhez földrajzi helyzete is hozzájárult, mivel teraszosan a Finn-öbölhöz húzódik. Az első szint, a tenger közelében, 500 m szélességben elterülő Alsó-park. A második teraszon áll az Alsó- és a Felső-park közötti, barokk stílusban épült Nagy Palota, 18 méter magasságban. Ez a fantasztikus és összetéveszthetetlen épület a Nagy vízlépcső



65. ábra. A cári palota szökőkútjai, Peterhof

Sámson-kút is, ahol az oroszlánok szájából kilövellő vízszugár 20 m magasra tör fel. A vízlépcsőt a tengerrel csatorna köti össze, amely a víz számára levezető utat biztosít. A tengerszint felett 100 méterrel húzódik a harmadik terasz, melynek forrásai az alsóbb régió szökőkútjait táplálták.

A szökőkutakat napjainkban már elektromos gépészeti berendezések működtetik, míg régen valószínűleg csupán a közlekedőedények elvét használták ki az építőmesterek. Ahol domborzati viszonyok miatt hegyi forrás nem adatott meg, ott víztornyot emeltek a kutak közelében. [15.], [51.]

Tananyag: Nyugvó folyadékok és gázok mechanikája, a közlekedőedények.

A közlekedő edényekben lévő egynemű folyadék egyensúly esetén mindegyik ágban egyenlő magasan áll, feltéve, hogy az edény szárai nem nagyon szűkek. Két különböző sűrűségű folyadék (gáz) egyensúlya esetén az érintkezési felülettől számított magasságok a sűrűséggel fordítva arányosak.

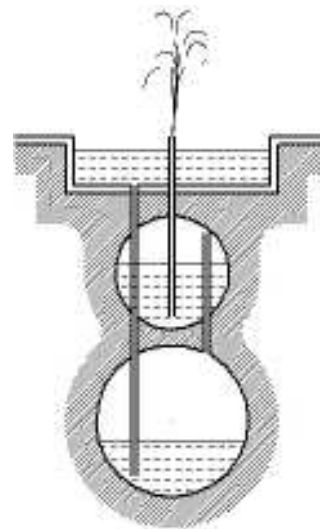
Budó Ágoston: Kísérleti fizika I. Tankönyvkiadó, Budapest, 1992

fölött emelkedik, amely a svédek fölött 1709-ben Poltava mellett aratott győzelemre emlékeztet. A vízlépcső és az épületegyüttest díszítő szökőkutak szerepe alapvető az egyedülálló arculat megteremtésében. A 64 szökőkút között található a

Héron kútja

A közlekedőedények elvén működő, egyszerű kis szökőkutak könnyen elkészíthetők, de a gond ezekben az egyszerű elrendezésekben, hogy folyamatosan pótolni kell a magasabb edényben a vizet. Viszonylag hosszú ideig működő szökőkutat először Héron szerkesztett.

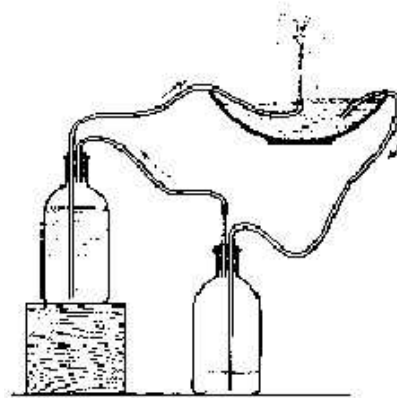
A 66. ábrán látható kút egy nyitott felső edényből (ez a szökőkút medencéje) és két gömbszerű, légmentesen elzárt tartályból áll. Az edényeket három cső köti össze. Kezdetben, a középső tartályban van a víz, az alsóban a levegő, a felsőben pedig csak egy kevés víz. A felső medencéből a víz súlyánál fogva az alsó tartályba csurog, és kiszorítja onnan a levegőt, amely a csövön keresztül a középső tartályba szorul. Itt megnövekszik a levegő nyomása a külső nyomáshoz képest, és a vizet "kihajtja" a középső csövön keresztül, a szökőkút működni kezd. Héron kútjának ebben a formájában még nincs körforgása. A szökőkút megáll, amint a középső gömb kiürül, azaz az egész vízmennyiség az alsó gömbbe áramlik.



66. ábra. Héron kútja

Készítsünk házilag önműködő szökőkutat!

Az szökőkút elkészítéséhez szükségünk lesz két palackra, gumicsőre és egy tálra, mely a medencét hivatott modellezni. A két palackot és a tálat a 67. ábrán látható módon kell összekötni a gumicsövekkel. Ha a középső palackból kifogy a víz, fel kell cserélni a két edényt, és a csövek végeit is át kell helyezni, így a szökőkút tovább működik. [52.]



67. ábra. Az önműködő szökőkút modellje

2. 13. Az esztergomi reneszánsz vízgép

A középkori várépítők számára mindig nagy dilemmát jelentett a hegyi várak egészséges ivóvízzel való ellátása. A védelmi stratégia érdekei megkívánták, hogy az erődítmények lehetőleg magaslatra, a támadók által nehezen megközelíthető, tűzérőségük által nem belőhető helyre épüljenek. Ugyanakkor néhány ritka kivételtől eltekintve a hegytetőkön az összegyűjtött esővízen túl más vízforrás nem állt rendelkezésre. A probléma megoldásával Európa szerte és hazánkban is többféle módon kísérleteztek. A középkori skolasztikus gondolkodás dogmáitól megszabaduló, a természettudományos szemlélet iránt fogékony reneszánsz korszakban több érdekes szerkezetet is létrehozta a probléma megoldására. Magyarországon ezek legérdekesebb példája a Duna melletti sziklára épült esztergomi vár vízműve, melyhez hasonló pillanatnyilag nem igazán ismerünk. A szivattyú közel 210 éven át működött, s bár a szerkezet nem maradt fent napjainkra és régészeti feltárása is várat még magára, több korabeli szemtanú beszámolóját ismerjük. Ezek alapján annyi bizonyos, hogy a szerkezet valóban létezett, de a kissé pontatlan, laikus leírások alapján működési elve nem rekonstruálható egyértelműen.



68. ábra. Az esztergomi vár helyén épült bazilika

Ami a források és a helytörténeti kutatások alapján biztos, hogy a szerkezet az esztergomi vár északi bástyája alatt, a Duna-parti Veprectorony, Malom bástya belsejében volt. Az épület alatt hajdan egy bővizű karsztforrás tört a felszínre, amelyet már a 14. században is malomkerék meghajtására használtak. A vízgépnek innen, közel 60 méter magasra kellett feljuttatnia a vizet. (68. ábra)

A rejtélyes szerkezet keletkezéséről, építéséről nem sokat tudunk. Feltehetjük azonban, hogy építtetője *Hyppolit de'Este* (1486-1497) esztergomi érsek lehetett, építője pedig a firenzei reneszánsz építész *Chimenti Camicia*. Camiciáról tudjuk, hogy Mátyás király szolgálatában 1479-től palotákat, kerteket, szökőkutakat és templomokat épített, a fenti hipotézist azonban egyértelműen alátámasztani nem tudjuk.

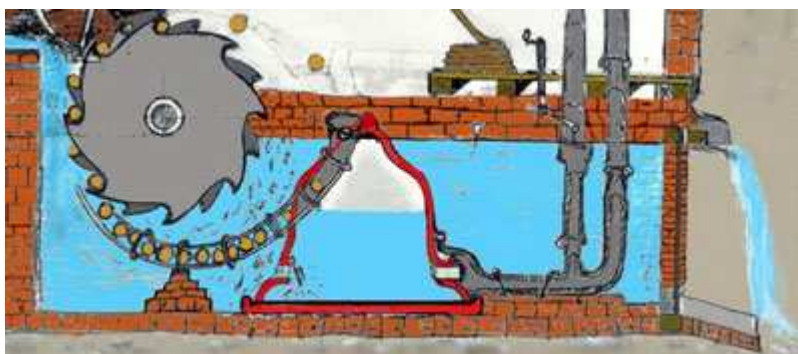
Evliya Cselebi török világutazó és kém, így ír „az esztergomi bámulatos vízhajtó gépről”:

„E vaskerekek szélein ágyúgolyó formájú, negyven-ötven darab kerek vasgolyó van, ezen eszközökkel és kerekkel a különféle hengereket a vízerővel mozgásba hozza, és a keréken lévő golyók a Dunára csapódván a Duna vizét erővel a vascsövekbe hajtják, és míg a kerekek forognak, ezen golyók folyton egymást követik. A Duna vize ily módon fenn a belső várban lévő csorgókút víztartójába ömlik. Némely kerekek jobbra, némelyek balra forogtak, s valamennyi kerék egyik a másikába kapcsolódván óra módjára mind forogni kezdett. Nagy Isten! Olyan zörgés keletkezett, mintha az utolsó ítéletnek hirdetője volna.”
(Evlia Cselebi: Magyarországi Utazások 1660-1664. Ford.: dr. Karácson Imre régész, orientalista 1897.)

Wernher György eperjesi várkapitány *Pannoniae Luctus* című munkájában számol be az esztergomi vízgépről. A szerző egy általa *tympanumnak* nevezett, vízben elhelyezett harang formájú dobüregre tesz említést, melyre vasgolyók zúdultak, igencsak nagy hangzavart, lármát keltve.

Az ismert forrásokra támaszkodva a reneszánsz vízgép működésére több elmélet is született.

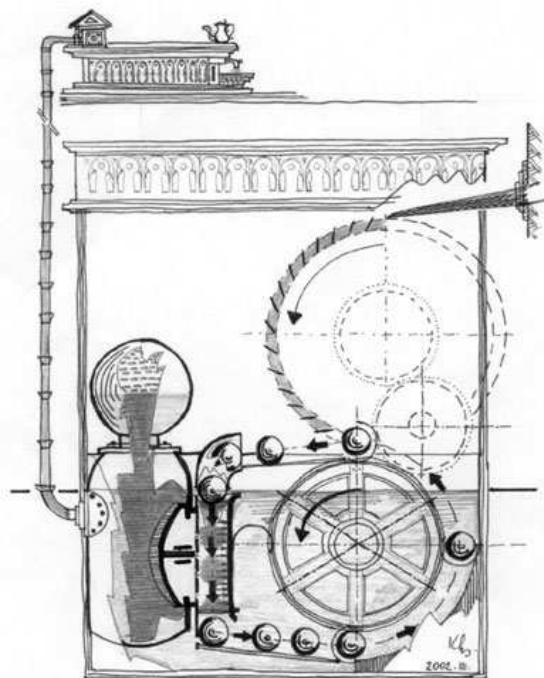
Szepesi Zoltán gépész üzemmérnök, műszaki tanár, a Duna Múzeum munkatársa Wernher György beszámolójára támaszkodik. Véleménye szerint a harangformájú dobüregre becsapódó percenként mintegy 150-160 vasgolyó keltette *hanghullámok nyomási energiája* révén volt képes funkcióját ellátni a szerkezet, s a vízgép mennydörgés-szerű zajára is ez lehet a magyarázat. A feltehetően bronzból készült légüstre zuhanó ágyúgolyók rezonanciát keltettek, s ez préselte be a hidraulikus dob alatt, légmentesen lezárt medencéből a forrásvizet a hajdani csővezetékbe. (69. ábra)



69. ábra. Szepesi Zoltán elméletének rajza

Cselebi elbeszélésére hivatkozik elmélete ismertetésekor a helytörténészként is ismert esztergomi ügyvéd, dr. Kolumbán György. A vízgépet a forrás vizével meghajtott verpeci malom forgatta, s a gépezet a vízzel teli kerek medencében működött. Egy hagyományos

vízimalomkerékkel forgásban tartott forgó elevátorkerék ágyúgolyó-szerű vasgolyókat emelt ki a víz alól és azt felső holtpontjára emelte. A felemelt vasgolyók a medence vizére



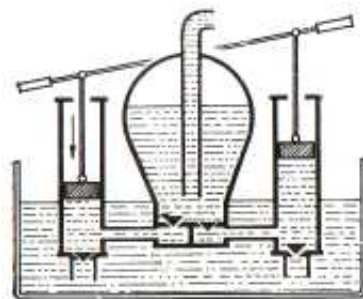
csapódva longitudinális lökéshullámot keltettek, mely a vizet a felvezető csőbe préselte. A cső oldalán visszacsapó-szelepet alakítottak ki. A szelep a lökéshullám hatására nyit, majd a lefutó nyomáshullám után zár. A gépezet működésével járó erős zaj, melyről minden elbeszélő említést tesz az ágyúgolyók vízre csapódásából és a visszacsapó-szelep csattogásából fakad. A vízgép tehát véleménye szerint a *Montgolfier-féle vízlökő kost*, (1796). 300 évvel megelőző, de azzal azonos elven működő víznyomó szerkezet. (70. ábra)

70. ábra. Kolumbán György elméletének rajza

A feltalálók elméleteik alátámasztására működő modelleket is készítettek, s a probléma megoldására még két további személy állt elő elképzelésével.

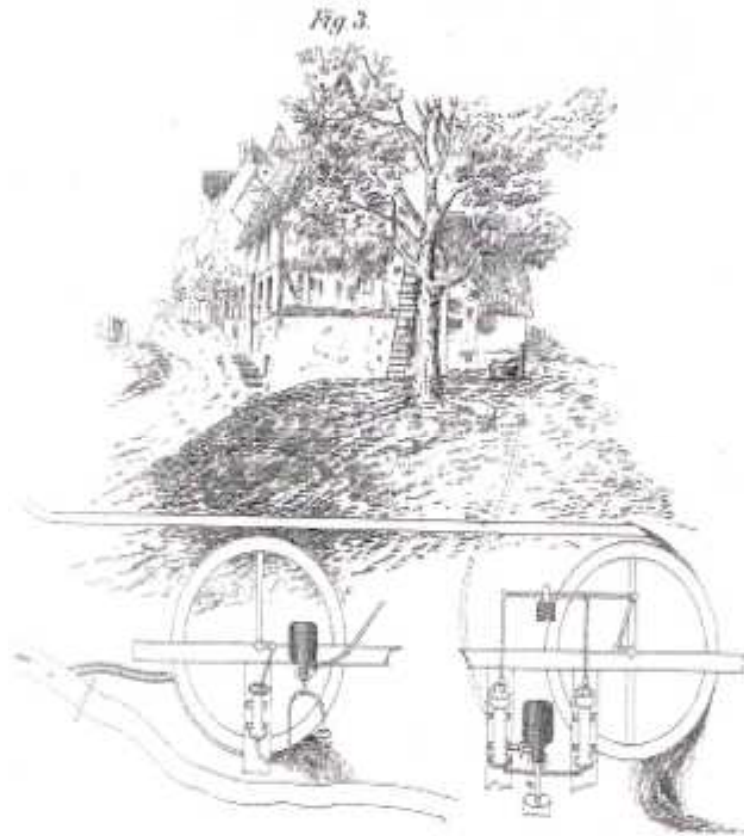
Károlyi András okleveles gépészmérnök szerint egy membrán szivattyú volt a szerkezet „lelke”, míg *Tóth Péter* „golyókkal működtethető merülőhengeres vízpumpát” tart elképzelhetőnek.

Dr. Deák Antal András, történész, muzeológus tanulmányában feltárta az elérhető szakirodalmi forrásokat, hogy kiderítse melyek azok a szerkezetek, amelyek ebben a korban egy ilyen feladat esetében szóba jöhetnek. Kutatása eredményeképp feltételezhető, hogy az Esztergomban működő vízgép lényege Kteszibiosz két dugattyús vízemelője, melyet Vitruvius leírásából már ismertek és alkalmaztak. (71. ábra) *Winfried Müller: A Heidenheim melletti hellensteini kastély vízműve* című munkájában az esztergomihoz hasonló szerkezet leírását találta. Ezt a szerkezetet 1606-ban helyezték működésbe, és az akkori viszonyokhoz képest rendkívül magasra, 100



71. ábra. A két dugattyús vízemelő

méterre nyomta fel a vizet. A 19. századi szerző és szakíró Stefan Hopferwieser, mint elterjedt gyakorlatot a *Der Führer im Gebiete des Wasserleitungwesens...* című művében rajzon is illusztrálja. (72. ábra)



72. ábra. Stefan Hopferwieser illusztrációja

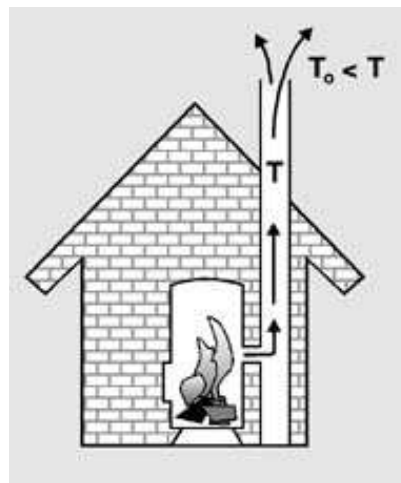
Dr. Deák Antal András kutatása szerint Esztergomban a vízemelés két fázisban történhetett.

Az első fázisban a Duna (vagy a forrás) vizét *labdás vízemelővel* a Veprec-torony belsejébe emelték, erre a célra épített ciszternába. A vasgolyók alulról terelték a vizet a csőbe. A malomkerék hajtott egy kereket, amelyen „tevenyakhöz hasonló” karok nyúltak a láncsal vagy kötéllel fűzött vasgolyók alá, így módon „pater noster”- szerűen továbbították egyiket a másik után. A labdák által a csőbe terelt vízoszlop dugattyúként folyamatosan szívta maga után lentől a vizet, amelyet aztán abba a ciszternába vezettek, amelyben a vár vízellátását biztosító dugattyú vagy dugattyúk működtek.

A vízemelés második fázisát pedig a Vitruvius leírásából ismert, Ktészibiosz találmányaként számon tartott két dugattyús szivattyú végezte. [17], [18.], [19.]

2. 14. A kémény működése

A különböző tüzelőberendezésekben az égés során mérgező füstgázt keletkezik, amit az épületből el kell távolítani. Egy jól működő kémény feladata, hogy a füstgázt a szabadba vezesse energia-befektetés nélkül. A kémény és a környezete valójában nem más, mint egy mindkét végén nyitott, levegővel telt közlekedőedény. Az égés során keletkező gázkeverék hőmérséklete magasabb, mint a kéményt körülvevő levegőé, azaz a kéményben levő gázok sűrűsége kisebb, mint a kinti levegőé. A kémény felső nyílásával egy magasságban, a kémény felett a légnyomás ugyanakkora, mint máshol, mivel a kiáramló gázok gyorsan összekeverednek a kinti levegővel, lehűlnék, vagy a légáramlat sodorja őket másfelé. A kályha nyílásánál a fűtendő helyiségben a levegő nyomása nagyobb, mint a kályha belsejében a meleg levegőé, ugyanis a kémény felső nyílásától lefelé haladva a ritkább gázok nyomása lassabban nő, mint a kéményen kívül a hűvös levegőé. Üzemelés közben tehát ebben a közlekedőedényben nem lesz egyensúly, mert a füstgázok nyomása nem tart egyensúlyt a külső légnyomással. A kéményben levő gázoszlop emelkedni fog az egyensúly beállása érdekében, de ez az egyensúly soha nem fog bekövetkezni. A szabadban a gázok keverednek, így a kisebb sűrűségű gázoszlop soha nem éri el az egyensúlyi magasságot. Az egyensúlytalanság az üzemelés alatt tartósan megmarad, a gázkeverék folyamatosan felfelé áramlik a kéményben. Ezalatt pedig a kályhába alulról friss levegő kerül, hogy táplálja az égést. Ha ez a feltétel nem teljesül, például megakadályozzuk a kazán helyiségébe a friss levegő bejutását (fokozott légzárású nyílászárók alkalmazásával), akkor az égéstermék sem képes eltávozni. (73. ábra)



73. ábra. A kémény helyes működése

Előfordulhat, hogy a tavasz beköszönteikor, időszakosan használt kéményekben megfordul a légáramlás, és a füst a fűtendő helyiségbe kerül. A nappali magasabb hőmérséklet miatt a kéményen kívül a levegő már felmelegedett kissé, de az épület szerkezetei, köztük a kémény, s vele együtt a benne lévő levegő hőmérséklete még néhány fokkal alacsonyabb, így a kéményen belül nagyobb lesz a levegő sűrűsége a külső levegő sűrűségéhez képest. Begyújtáskor megfigyelhető, hogy a kályha ajtajánál az égő gyufa lángja nem befelé, hanem kifelé hajlik el. A levegő a kéményben lefelé áramlik, mert ott

nagyobb a nyomás, mint a helyiségben. Természetesen némi szellőzés után – a kályha ajtaját célszerű pár percre nyitva hagyni – már helyreáll a kémény huzata.

Kísérletezzünk!

A kémény modelljének elkészítéséhez szükségünk lesz egy Bunsen-égőre (gyertya), egy üvegcsőre (papírhenger), hőálló üvegtálra (hőálló cserépedény), egy állványra és homokra. Szórjuk a homokot a hőálló tálba, helyezzük az állványra, s melegítsük Bunsen-égővel, amíg körülbelül 70°-os lesz! A meleg homok fogja modellezni a kályhában égő fát. A hő terjedése itt hővezetéssel történik, azaz a részecskék helyükről el nem mozdulva adják át az energiát a szomszédos részecskéknek, így a homok felmelegedése lassú folyamat.

A homok melegítése során nem keletkezik égéstermék, ezért azt cigarettafüsttel helyettesítjük.

A forró homok felmelegíti a felette lévő levegőt. A füst összekeveredik a meleg levegővel, mely felfelé áramlik. Helyezzünk egy csövet a homokkal teli tál fölé! A cső rendes közlekedőedényhez méltóan beszippantja a füstöt és kilöveli a másik végénél. (74. ábra) [20.], [53.]

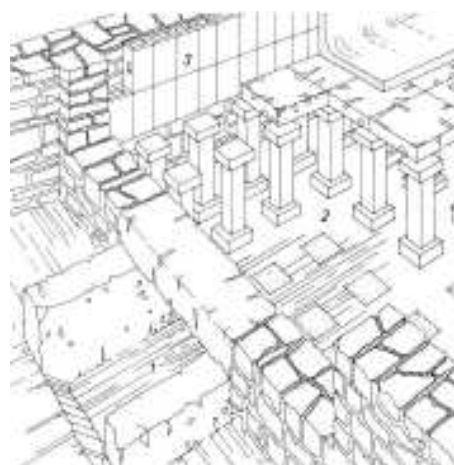


74. ábra. A kémény modellje

2. 15. Padlófűtés az ókorban

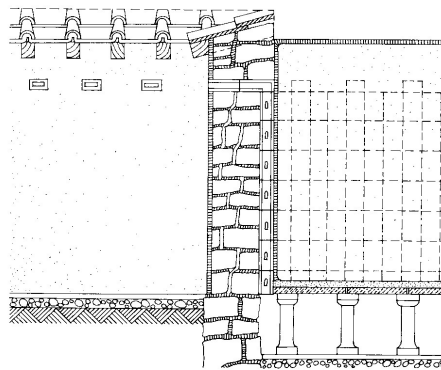
A római birodalom zordabb éghajlatú vidékein szükség volt a házak, épületek fűtésére. A helyiségeket általában hordozható parázstartókkal fűtötték, de az i.e. 1. századtól, ha csak tehették, légáramlásos padlófűtést, *hypocaustumot* építettek.

A berendezés három részből állt (75. ábra): A külsőben kialakított befűtőkamrából, ill. nyílásból (1), a kisméretű támaszokon nyugvó „lebegő” padlóval lezárt, pincyszerű felfűtőtérből (2), végül a felmenő falakban a légmozgást elősegítő üregrendszerből (3). Az üregrendszer egyben a páralecsapódást is megakadályozta a falfelületeken. Az épület rendeltetésének és az igényeknek



75. ábra. A hypocaustum felépítése

megfelelően, a padlót egészében, vagy csak egy részét melegítették fel. A tűztérből a forró égéstermék a padló alatti üregeken keresztül vezették a falazat függőleges üregeibe. A kis téglatámaszok (sokszor a hőhatásoknak ellenálló trachitból faragták) hordták a négyzetes kő vagy téglalapokból álló padlót, amelyre vastag terazzo réteget hordtak fel, hogy hézagmentes legyen.



(mozaikpadló, Baláca) A függőleges üregrendszert

76. ábra. A fűtőberendezés metszete

kialakíthatták a helyiség minden falában, de gyakran csak szakaszosan, bizonyos falakban építették meg. Az üregrendszer kiszellőztetéséről tárgyszerű, hiteles adatunk nincs, de korabeli leírások szerint a fűtött házak tetőszéle, eresze körbe füstölgött. Valószínű, hogy a falkoronán hagytak nyílásokat, nem a tetőn a füst eltávozására, mert a mai értelemben használt kéményfelépítést a rómaiak nem ismerték. (76. ábra) [21.]

Tananyag: Nyugvó folyadékok és gázok mechanikája, a közlekedőedények.

A közlekedő edényekben lévő egynemű folyadék (gáz) egyensúly esetén mindegyik ágba egyenlő magasan áll, feltéve, hogy az edény szárai nem nagyon szűkek. Két különböző sűrűségű folyadék (gáz) egyensúlya esetén az érintkezési felülettől számított magasságok a sűrűséggel fordítva arányosak.

Budó Ágoston: Kísérleti fizika I. Tankönyvkiadó, Budapest, 1992

3. PÉLDÁK A TERMÉSZETES ENERGIAFORRÁSOK KORAI FELHASZNÁLÁSÁBÓL

Az ipari forradalom és a fosszilis energia kora előtt az ember és természeti környezete között szorosabb kapcsolat működött. A mindennapi életet nagymértékben befolyásolta a Nap, a szél, a víz, a növények és az állatok. A szénhidrogén alapú energiahordozók fejlődésével, a gőzgépek megjelenésével, a villamos energia használatával és széleskörű elterjedésével ez a szoros kapcsolat felbomlott, s úgy tűnt minden az ember érdekében létezik. Az energiapazarló és környezetszennyező életvitel azonban nem folytatható következmények nélkül. A feltárható, eddig kimeríthetetlennek tűnő természeti energiaforrások egyre fogynak, a környezetszennyezés hatásait pedig már nem hagyhatjuk figyelmen kívül. A környezetvédelem térhódításával a megújuló energiaforrások ismét előtérbe kerültek.

3. 1. Vízimalmok

A gőzgép 18. századi elterjedéséig a vízierő volt a legfontosabb energiaforrás. A rómaiak alkalmazták elsőként a vízenergiát gépek hajtására, s a vízimalmok első részletes leírását is Vitruvius adta. Az emberi, vagy állati erővel hajtott vízkereket feltehetően már ismerték az összes ősi kultúrában, s a fejlett öntözőkultúrával rendelkező, ókori társadalmakban vízemelésre használták. A legrégebbi vízkerék nagy valószínűséggel Mezopotámiából származik, még az időszámításunk előtti 1200-ból.

A rómaiak által bevezetett vízimalmok a 11. századig egész Európában elterjedtek, s a vízierő lett a technika fejlődésének egyik legfőbb alapja. Többnyire megszűnt a kézi gabonaörlés keserves munkája, ugyanakkor egy új iparág, a molnároké alakult ki. Annak felismerése, hogy a vízierő nem csak pótolja, hanem felül is múlja az emberi, vagy állati energiát, a vízierőnek különböző iparágakban történő felhasználásához vezetett. Az egyes munkagépek vízikerekkel történő meghajtása és a forgómozgás egyenes vonalú mozgássá való átalakításának szükségessége - mint például a fűrészmalmonál – fogaskerékes áttételek, közlőművek, számos ez ideig ismeretlen gépelem megszerkesztését kívánta.

A vízimalom a víz energiáját kétféle szerkezettel hasznosíthatta. A régebbi, egyszerűbb malomszerkezet a vízszintes síkban forgó vízikerek, melynek függőleges tengelye az örlőmű forgástengelyét is képezte. Ezzel szemben a vízszintes tengely körül forgó

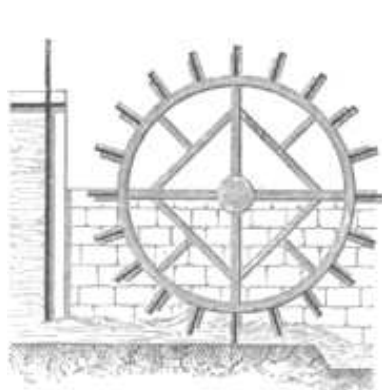
vízikerék az őrlőszerkezetet fogaskerék-áttétellel hajtotta meg. A középkori Európában ez a római találmány terjedt el, és ez honosodott meg Magyarországon is. [1.], [55.]

A meghajtás módja szerint megkülönböztetünk alulcsapó, középen csapó és felülcsapó vízimalmot.

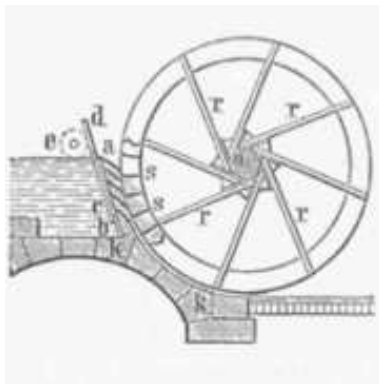
A legkisebb hatásfokkal működik az *alulcsapó* vízikerék, amely elsősorban bővizű, kis esésű, lassú folyású vizekben használatos. Az egyenes lapátokba ütköző víznek, a kerék elhagyása után is viszonylag nagy sebessége, és mozgási energiája van, ezért a hatásfok, számítások szerint legfeljebb 50% lehet. (77. ábra)

Nagyobb hatásfokú a *középcsapó* vízikerék, amely egyrészt a víz mozgási energiáját, másrészt annak helyzeti energiáját is hasznosítja. A jobb hatásfok elérése érdekében e típust gyakran terelő kulisszákkal látják el, melyek a lapátokra terelik a vizet. (78. ábra)

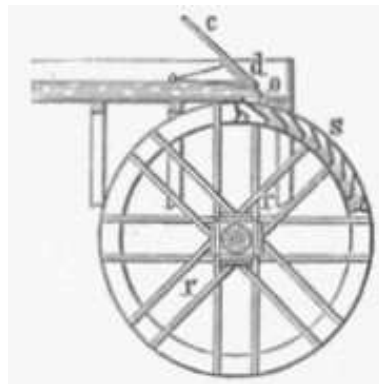
A *felülcsapó* vízikerék a víz helyzeti energiáját és súlyát is hasznosítja, és főként kisebb vizű, de nagyobb esésű vizekben használatos. Ez a típus működik a legnagyobb hatásfokkal, de a lapátok megfelelő kialakításával valamennyi vízikerék teljesítménye növelhető. (79. ábra)



77. ábra. Alulcsapó vízikerék



78. ábra. Középcsapó vízikerék



79. ábra. Felülcsapó vízikerék

A vízimalmok egy-egy típusának tekinthetjük a patakalmokat és a hajóalmokat. A *patakalmok* kisebb vízfolyások, patak vagy gáttal mesterségesen duzzasztott csatorna mellett partra épült malomszerkezet, míg a *hajómalom* úszó hajótestekre helyezett malom, amelynek helyét a hajózható folyókon változtatni lehetett. [54.]

Patakmalom, gátasmalom

Hazánkban - az újabb történeti kutatások szerint - a földesurak és háznépük lisztészükségletét a 11-12. században a kézi- és szárazmalmok mellett már patakalmok is őrlték. Mivel a „malom” és a „molnár” szavunk, valamint a vízmolnárság több műszava óhorvát, ószlovén eredetű jövevényszó, így valószínű, hogy a honfoglalás előtti Kárpát-

medencében élő szláv népek ismerték a malomszerkezetet és a vízierővel hajtott malmot, s népünk az ő közvetítésükkel ismerhette meg.

A patakmalomok többsége nem a vízfolyás mentén, hanem az abból kivezetett malomárok, malomcsatorna mellett épült, mivel ott jobban lehetett biztosítani a malom működésének feltételeit. (80. ábra) Az áradások idején lezúduló víz ugyanis a főfolyásra épített malomban károkat okozhatott. A patak és a malomárok elágazásánál duzzasztót vagy gátat emeltek, ahol zsilippel szabályozták



80. ábra. Az örvényesi felső-vízimalom

az árokba engedett víz mennyiségét, innen a gátasmalom elnevezés. Ha megfelelő volt a patak vízének esése, egy-egy malomárokra több malom is épült. Voltak olyan patakmalomok, amelyek csak nagy esőzés, felhőszakadás idején működtek. Az ilyeneket *pokolidő-malom*, *felhőt kiáltó malom*, *vizesidő-malom* néven említik a források, s bár kevés haszonnal örültek, mégis szükség volt rájuk. A patakmalomok általában egy kerékkel működtek, de előfordult két, három, vagy még több kerékkel működő malom is. Ahány kerekű a vízimalom, annyi köpárt forgatott, s emellett a több vízikerék lehetővé tette a malom többirányú felhasználását, azaz az őrlés, darálás mellett ugyanabban a malomban deszkametsző, kalló- vagy egyéb szerkezet is működött.

Gátasmalmok vízfolyásban szűkülő területen, például a Nyírségben is épültek. A homokbuckák között összegyűlt vizek elvezetésére a vármegyei hatóság a 18. században árkokat ásatott, amelyeken a víz esését kihasználva zsilipet építettek, és a felduzzasztott vízzel az ún. *zuhanóknál* malmot hajtottak. A kisebb vízhozamú folyóink partján - például a Körös-parton – is építettek olyan malmokat, amelyek vízterelő gátak segítségével hasznosították a folyóvíz sodrát, a gátakra pedig éppen a folyók kis vízhozama miatt volt szükség. Ezek az úgynevezett *folyami gátasmalmok*.

A kis lejtésszintű Alföldön a malmok gátjai a folyami hordalék nagy tömegű lerakódását, áradáskor a víz szétterülését okozták, s ezzel hozzá járultak a folyók elzátanyosodásához és a folyó menti táj elöntéséhez, mocsarasodásához. A 19. század első évtizedeiben ezeket a gátasmalmokat sorban megszüntették, helyüket a szárazmalmok, majd a szélmalomok vették át. Ezért is egyedülálló a fennmaradt *túristvándi vízimalom* (Szabolcs-Szatmár megye, 81. ábra), mely a Túr szeszélyes vízhozama miatt cölöpökre épült. Helyén már a

középkorban is malom működött, de a jelenlegi a 18. században épült, majd 1899-ben teljesen felújították. A három alulcsapós kerékkel működő malom fából épült, teteje fazsindellyel fedett, melyen két torony található. Az épület belsejét 11 ablak világítja meg, kívülről pedig három erkély díszíti. Déli oldalán találhatóak a kerekek, a viziláda és a duzzasztó zsilipek. 1927-ben Ganz hengersizékeket szereltek be, melyek által a gabonák őrlése jobb minőségűvé vált. [55.], [58.]



81. ábra. A túristvándi vízimalom

Hajómalmok

A hajómalom olyan, két úszó testen, fahajón nyugvó malomszerkezet, amely az őrlésre legalkalmasabb vízáramlatot keresve bármely folyószakaszon lehorgonyozható. Előnye a patakmalomhoz viszonyítva, hogy helyét a víz sodrásához alkalmazkodva változtathatták, hátránya, hogy télire jégzajlásmentes kikötőbe vagy partra kellett vontatni. (82. ábra) Az őrlőszerkezetet befogadó, nagyobb hajótest a *házhajó*, a kisebbik a *tárhajó*, vagy *tombác*. A házhajó és a tárhajó eleje hegyes, ezt fordították a vízfolyás irányába. A két hajótesten nyugodott az alulcsapott vízikerék tengelye. Gyors sodrású folyón kisebb, lassúbb folyású vízben, mint például a Tiszán nagyobb átmérőjű és szélesebb lapátú vízikereket használtak. A két hajótestet erős orr- és fargerendák kötötték össze, s a kerék elé pallókat fektettek, így biztosítva az átjárást a két hajótest között. Amikor az őrlést szüneteltetni akarták,



82. ábra. A gútai hajómalom, Szlovákia

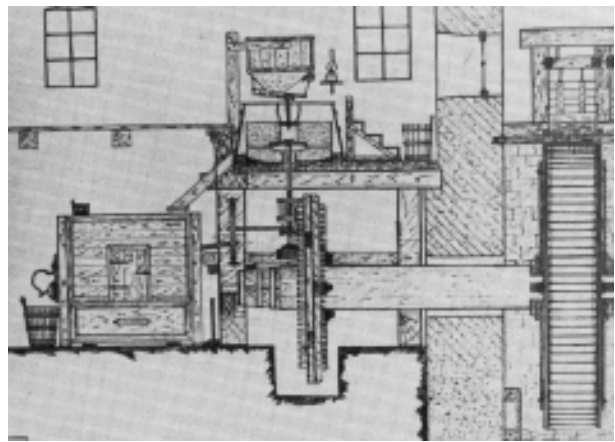
deszkákból eszkábált *vízfogót*, *tíltót* eresztettek a kerék elé, amely elrekesztette a víz útját. Minden hajómalomhoz egy-két *molnárcsónak* tartozott, mely a gabonát, majd az őrleményt szállította a hajó és a part között. A malmot vesszőből font kötelekkel kötötték ki a *malomszeghez*, egy erősen megvasalt cölöphöz. Ahol a folyófenéke a malomszeget nem tudták

levetni, mert talaja laza, homokos vagy éppen sziklás volt, ott kövel vagy földdel megtöltött hatalmas vesszőkashoz rögzítették, később pedig már vaslánccal és vasmacskával horgonyoztak le. A hajómalmok csoportosan, ún. *malomrévekben* vagy

malomállásokban voltak kikötve. Az első malmot Szegeden *tőkés-* vagy *tőkemalomnak*, a többit *lógósmalomnak* nevezték. 1798-ban Szeged alatt 71 hajómalom őrlött a Tiszán, és egy-egy révben néhol 2-4, másutt 5-6 hajómalom horgonyzott. [55.], [57.]

A tél beköszöntése előtt a hajómalmokat biztonságba kellett helyezni, nehogy a jég kárt tegyen bennük. Általában András-napig (november 30.) őrltek, s amint a jégzajlás levonult a folyókon, de rendszerint József-napra (március 19.) a malmokat munkába állították. A Tiszáról és mellékfolyóinak hazai szakaszáról az első világháború alatt, illetőleg az 1920-as években tűntek el az utolsó hajómalmok, a Dunán viszont 10-15 malom a 20. század közepét is megélte.

A patakalmok és a hajómalmok őrlőszerkezete fogaskerék-áttétellel működött. A vízikereknek a malomházba (házhajóba) benyúló tengelye egyben a nagy fogaskerék tengelye volt, ennek fafogai a kis fogaskerék fogzatába illeszkedtek, ezáltal hozták forgásba a felső őrlőkö vastengelyét, a *szálvasat*. A deszkakéreggel körülvett malomkövek a malom szintjénél magasabb *kőpadon*



83. ábra. Az örvényesi vízimalom őrlőszerkezete

helyezkedtek el, ahová 4-6 deszkalépcső vezetett. A malomkövek fölött volt a négyszögletes *garat*, melyen keresztül az őrlendő gabonát adagolták. (83. ábra) [22.], [56.]

3. 2. Szélmalomok

Az energiafelhasználás terén a vízimalmokkal összevetve a szélmalomoknak csak másodrangú szerep jutott, s elsősorban a folyóvízben szegény területeken használták őket. Hollandiában a mélyen fekvő területek víztelenítő berendezéseinek hajtására is alkalmazták, így a holland táj jellegzetessége lett a víztelenítő csatornák mentén épült szélmalom.

A szélenergia kihasználásának nehézsége abban rejlik, hogy az egyes területeken, néhány jellemző iránytól eltekintve, a szél minden égtájáról fújhat. Ez hazánkra is, az Alföldre pedig különösen jellemző. A dél-alföldi vidékeken döntően az északi, északnyugati, majd éppen ellenkező oldalról délkeleti szélirány a leggyakoribb. A 19-20. század fordulójára ettől függetlenül a szélmalomok széles körben elterjedtek az Alföldön, s jellegzetes

objektumaivá váltak az alföldi tájnak. Ugyanúgy hozzátartoztak a mezővárosok, falvak látványához, mint a hajómalmok a folyóparti települések képéhez.

A szélmalom őshazájának a Közel-Keletet tekinthetjük, hiszen i.sz. 947-ben Perzsiából említi az első hiteles forrás. Nyugat-Európában 1180 tájáról, Normandiából bukkan fel az első adat, s ez a perzsa malmoktól eltérően, vízszintes tengely körül elforduló vitorlákkal rendelkező malmot említ.

Nem tisztázott, hogy Magyarországon mikor épültek az első szélmalomok, de bizonyos, hogy a 18. század második felében már hazánkban is őrölték a gabonát a vízimalmok és a szárazmalmok mellett. Ezek kezdetben az uralkodó széliránnyal szembehelyezett szárnyakkal épültek, melyeket nem lehetett a szélirány változásának megfelelően elforgatni. Fejlettebb változatuk a bakállványos szélmalom. A *bakos szélmalomok* fából ácsolt építmények, s a széljárásnak megfelelően, arra alkalmas fagerendákkal, a földközélen lévő tengelyen magát az egész malomházat körbe kellett forgatni. Így ezek általában kisméretű, kétszintű és viszonylag könnyű malmok voltak, termelésük alacsony színvonalú, kapacitásuk csekély. (84. ábra)



84. ábra. Bakos szélmalom az ukrainai

Jelentős változást jelentett a 19. században a hazánkban is elterjedő *hollandi szélmalom* megjelenése. Ez a tornyosnak nevezett malomépitési mód abban különbözik a bakos szélmalomoktól, hogy a tartós építőanyagból készült malomház szilárd építmény, viszont a kúpos tető egésze a szélvitorlákkal együtt, szabadon körbefordítható a falazat tetején.

Kezdetben a megfelelő minőségű falazóanyag hiányában a gyengébb, homokos vályogból alacsonyabb, zömökebb, egyszerűbb, csak kétszintes, egy kőpáros malmok készültek.

Később a jobb minőségű anyagok felhasználása miatt, főként az égetett téglából készült falazatok megjelenésével a malomházak négy-ötszintes épületekké nőttek, így már lehetőség nyílt két vagy három kőpár egyidejű működtetésére, a minőségi őrlés és a mennyiségi eredmények fokozására. (85. ábra) A magasabb épületek lehetővé tették a szélvitorlák méretének növelését, s ebből kifolyólag nőtt a befogott szélenergia mennyisége is. Az egymásra derékszögben elhelyezett négy vitorlaág lécrácsozatára vászonborítást kötöztek, a legkisebb szélmozgás minél jobb befogása érdekében. A

szélmalomokat igyekeztek a magasabb felszíni domborulatokon elhelyezni, ám ennek hiányában mesterséges földfeltöltést is alkalmaztak.

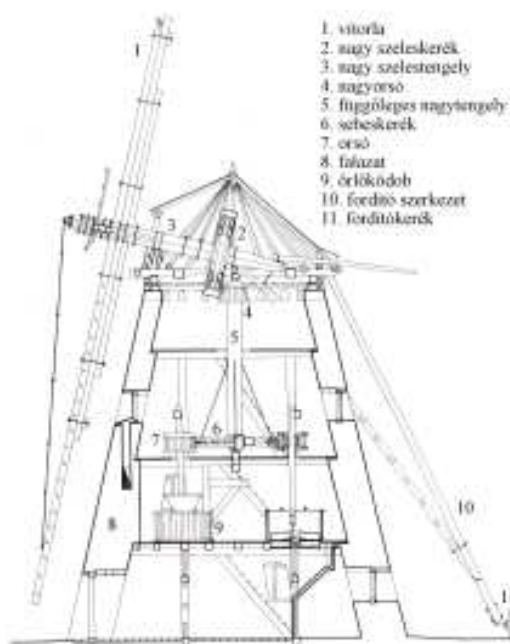


85. ábra. A szentesi szélmalom Ópusztaszeren

A malom falazott háza sajátos építmény, mivel kör alaprajzú, mintegy 7-13 méter átmérővel, fölfelé szűkülő keresztmetszettel. Ez a fölfelé sudarosodó falazati megoldás statikai, állékonysági indokok miatt szükséges. A falazatot egy faszerkezetű, kis eresztű, zsindelyezett lapos hajlásszögű kúptető fedi, amely egy megfelelő gerendázaton csúsztatható, elfordítható. A malmok teljes magassága igen változatos, 10 méterestől egészen 15 méteresig terjed.

A malom erőrendszere, az energia átadása a vitorlázattól a tengelyeken, a fogaskerekeken, az orsókon át egészen az őrlőkővekig egyszerű, tiszta, egymáshoz kapcsolódó erőjáték, ám az alkalmazott, sokszor művészi színvonalú kétkezi kivitelezés ámulatba ejtő. Ezért is voltak híres és megbecsült emberek a malmokat építő szélmolnárok.

Magyarországon, a szélmalomok virágkorában a *felülhajtós* szerkezettel működő malmok lettek a legelterjedtebbek. (86. ábra) A *felülhajtós szélmalomban* a középső főtengelyre a kőpadok feletti szinten szereltek fel egy nagy fogaskereket, a *sebeskereket*, amely a kőpadok tengelyeit felülről hajtotta meg. A malomházaknak rendszerint két kétszárnyú ajtajuk van, hogy a közlekedés, a be- és a kitárolás bármely irányú széljárás esetén mindig zavartalan legyen, a vitorlázat működése ne akadályozza. Az épület földszintjén történik a ki- és betárolás, s mivel ide érkezik a liszt, ennek a szintnek a neve a *lisztespad*. A következő szint általában a *kőpad*, ahol az őrlőkővek találhatók, s a tulajdonképpeni őrlés történik. Felfelé haladva jutunk a *sebeskerékpadra*, ahol az erőátviteli



86. ábra. A dunszoki szélmalom metszete

rendszer egyik része helyezkedik el. A legfőbb szint, a tetőtér a vitorlatartó tengely és a nagy fogaskerék-áttétel helye, ezt a szintet nevezik *nagykerékpadnak*, a nagy fogaskereket pedig *szeleskeréknek*.

A vízszintes irányú széljárást a malom vitorlázata fogja fel. A vitorlák forgásából adódó erő a vitorla tengelyén, a nagytengelyen lévő nagy fogaskerék által tevődik át a vízszintesen körbeforgó nagyorsóra, majd ennek tengelyén át és a további áttételek révén végül a malomkő-pár felső tagjára. Néhány későbbi malomban már bonyolult szita-rendszerek is működtek, rendszerint a kőpad alatt.

Az *alulhajtós szélmalomban* adott esetben legfeljebb két vagy három szintre volt szükség, hiszen a szeleskerék által meghajtott főtengely alján helyezték el a kőpadokat mozgásban tartó fogaskerék áttételt, amely a köveket alulról forgatta. Az ilyen malmokban a kőpadok működése, a forgó mechanizmus jól áttekinthető és kezelhető volt, azonban a földszinti tér, amely a kőpadok kiszolgálására, az őrlendő, ill. az őrlött anyag tárolására is egyaránt szolgált, rendkívüli módon igénybe volt véve, a gabonát pedig a padlásról kell a garatra felönteni. A *középen hajtós szélmalom* esetében a kőpadok az alsó szintre kerültek, a kőpadok és a szeleskerék közé építették be a kőpadok meghajtó kerekét. Így a kőpadokat közvetlenül a földszintről lehetett kezelni, feltölteni. Az őrlendő gabonát nem kellett az emeleti szintre felhúzni.



87. ábra. A szentesi szélmalom fordítórendszere

Az egyes szintek padozata erős pallóborítás, alulbordás fagerendázaton. A nehéz kőpárokat külön oszlopok és tartógerendák támasztják alá. A szintek közötti közlekedést egykarú lépcsők biztosítják, az őrlendő gabonát pedig zsákfelvonó csörlő emeli fel a kőpadra.

A malmok fontos alkotórésze a tetőt elfordító, külső szerkezet. (87. ábra) Felül a tető két oldalán kinyúló gerenda végeire két karfa kötődik, melyek között esetenként az eresztől a földig egy harmadik nyúlik le. Ezek együtt a fordítórudak, amelyek lent összekapcsolódva a fordítókerékhez kötődnek. Néhol a fordításhoz

külön, csavarorsós fordítókocsi szolgál, s ezzel lehet a tetőt, a nagygerendázatot, a szélkereket, s a szélvitorlákat együtt elforgatni, a földből kiálló rögzítőkarók segítségével.

A vitorlázattal ellentétes oldalon, a tetőablakon át kinyúló rúdhoz kapcsolódó, lelógó lánc vagy kötél az üzemelő malom lefékezését szolgálja. [23.], [24.], [59.]

A dorozsmai szélmalom

Korabeli írások szerint 1905-ben, a jelenleg Szegedhez tartozó, Dorozsma község belterületén 8, külterületén 15 szélmalom működött. A második világháborút követően azonban már csak egy, az úgynevezett Faragó-malom maradt. A hajdani község belterületének északi részén áll, az 1973-ban újjáépített műemlék szélmalom.

A négyszintes, zömök malom Czékus molnár számára még 1821-ben épült, az akkori faluszélen. (88. ábra) A vályogból készült malom formailag híven tükrözi a kiskunsági sajátosságokat. Híressé a szegedi prímás, Dankó Pista nótája tette, amely így kezdődik: „*Nem fúj a szél, nem forog a dorozsmai szélmalom.*” A négyszintes építményben búzát, kukoricát, árpát, valamint paprikát őröltek és daráltak. A malom hanyatlása 1949-ben kezdődött, amikor meghalt az akkori tulajdonos Faragó György, s a formálódó új politikai rendszer nem



88. ábra. A dorozsmai szélmalom 1985-ben

engedélyezte a magántulajdonban lévő malmok működését. Az épületet ezek után elhanyagolták, majd az 1970-es árvízzel összefüggésben keletkező belvíz hatására a vályogfalazat megroskadt és összedőlt. A helyreállítást az akkori kornak megfelelő építéstechnológiával elvégezték, s a malomgépészeti hiányosságokat egy balástyai, tanyai szélmalom berendezéséből pótolták. Az újjáépült malom változatlanul két bejáratú, négyszintes, két kőpáros és felülhajtós szerkezetű. A felmenő falazat most is téglalábazatra ültetett vályogfal, a kúptető fedése fazsindely. A malom sorsa sajnálatos módon 2005-ben ismét tragikus fordulatot vett, ugyanis a nagy esőzések miatt oldalfala kívülről oly mértékben elázott, hogy a falazat külső rétegének egy nagy része leszakadt, s az épület életveszélyessé vált. [23.]

Tananyag: Az energia megmaradásának elve

Energia semmilyen folyamatnál sem keletkezik vagy semmisül meg, hanem csak egyik energiaformából valamilyen más energiaformává alakul át.

Budó Ágoston: Kísérleti fizika I. Tankönyvkiadó, Budapest, 1992

Tananyag: Egyenletes forgómozgás, áttétek

Dörzskerék-, fogaskerék-, szíj- vagy láncmeghajtás segítségével forgó mozgást vihetünk át egyik tengelyről a másik tengelyre, tetszőleges fordulatszámmal és forgási iránnyal.

Tananyag: Közegellenállás, az aerodinamikai felhajtó erő

Az áramlás a testre az ellenálláson kívül a mozgás irányára merőleges erőt is kifejt, amelyet aerodinamikai felhajtó erőnek nevezünk.

Dr. Szalay Béla: Fizika. Műszaki Könyvkiadó, Budapest, 1982.

MOTIVÁCIÓS PÉLDÁK A MECHANIKA TANÍTÁSÁHOZ

Hosszúságmérés: Nagy távolságok mérése a Földön, a hodométer

Időmérés: Vízórák

Hajítás: Az ágyúzás tudománya

Körmozgás, (áttétek): A hodométer, vízimalmok, szélalmok

Tehetetlenség: Ókori földrengésjelző, rázócsúszda, lengővályú

Az erőhatások függetlenségének elve: Hidak

Súrlódási erő: Rázócsúszda, lengővályú

Helyzeti és mozgási energia: Vízimalmok, szélalmok

Az energia megmaradásának elve: Vízimalmok, szélalmok

Cardano-féle felfüggesztés: Tintatartó

Erőmentes pörgettyű: Tintatartó

Merev testre ható erők összetevése: Hidak

A forgatónyomaték, merev test egyensúlya: Csigákkal működő felvonó, a budapesti Szabadság híd, hidak

Egyszerű gépek: Az ókori vízgorgona, szenteltvíz-adagoló automata, homokmotor, a budapesti Szabadság híd, az ókori vízgorgona, csigákkal működő felvonó, az Arkhimédészi csavar, csavarorsós prés

Impulzusnyomaték tétele: Philón szökőkútja, aeolus-labda

Forgó koordináta-rendszer, a centrifugális erő: A 19. századi vetőgép

A hidrosztatikai nyomás: Az ókori Egyiptom mérnökei

Közeledőedények: Bor-automata, szökőkutak, a kémény működése, ókori padlófűtés

A hidrosztatikai felhajtó erő, úszás: Vízórák, a Panama-csatorna

Pascal törvénye: Az ókori Egyiptom mérnökei

Torricelli törvénye: Az ókori Egyiptom mérnökei

Bernoulli-féle törvény: Az ókori Egyiptom mérnökei

Kontinuitási egyenlet: Az ókori Egyiptom mérnökei

A levegő nyomásán alapuló eszközök: Az esztergomi reneszánsz vízgép

Közegellenállás, aerodinamikai felhajtó erő: Szélalmok

Levegőoszlop rezgései, sípok: Az ókori vízgorgona

Rezonancia: Tacoma-híd

Hőtágulás: A párizsi nagyágyú, hidak

Gay-Lussac I. törvénye: Önműködő templomajtó

A hőtán I. főtétele: Önműködő templomajtó

ÖSSZEFOGLALÁS

Miután közelebb kerültünk a mechanikusok, a mérnökök világához, betekinthettünk a hídépítés nehézségeibe, megismerhettük a szélmalom működési mechanizmusát, ismét megállapíthatjuk, hogy a fizika vívmányainak nagy részét közvetlenül is használjuk, s használtuk már a kezdetektől. A fizika tehát nem zárt, öncélú, önmagáért létező tudomány, hanem fontos része civilizációnknak és szoros kapcsolatban áll mindennapi életünkkel. Izgalmas szemléltetéssel és gyakorlati példával a tanulók figyelmét is felhívhatjuk erre, így talán elérhető a tantárgy pozitívabb megítélése a diákok körében.

A természettudományok népszerűsítésében a tudományos játszóházak (a budapesti Csodák Palotája, az egri Varázstorony, a debreceni Varázskuckó és a szegedi Csodatorony) is segítségünkre lehetnek. Ezekben a játszóházakban, az iskolán kívül egy-egy kirándulás alkalmával a gyerekek kötetlenül, játékos formában ismerhetik meg az alapvető fizikai jelenségeket, a különböző kémiai reakciókat és biológiai folyamatokat. Néhány múzeumban is található már kisebb játszóház, ahol az odalátogató gyerekek és felnőttek a múzeum témájával közelebbről is megismerkedhetnek. Az esztergomi Duna Múzeumban például a víz titkait fűrkészhetik ki, többek között vizet szivattyúzhatnak, örvénylest kelthetnek, zsilipelhetnek kis hajókkal. A közelmúltban interaktív, állandó kiállítással nyitotta meg kapuit a Történelmi TémaPark Szombathelyen is, ahol kipróbálhatóak például az ókor rekonstruált emelőgépei, eszközei. E dolgozat célja tehát nem társ nélküli, csak egy azon törekvések közül, melyek eredményeképp előbb, vagy utóbb a fizika elfoglalhatja megérdemelt helyét a diákok és a mindennapi emberek tudatában.

A gyűjtemény végére érve sokakban felmerülhet a teljesség hiányának érzete. Egy-egy téma talán részletesebb tárgyalást érdemelt volna és sok jelentős találmányról még szó sem esett. Tekinthetjük viszont ezt a segédanyagot egy kiindulópontnak, s ha sikerült az érdeklődést felkelteni, a forrásokon elindulva még számos érdekes dolgot fedezhetünk fel a műszaki tudományban. Remélem azonban, hogy sikerült néhány hasznos ismeretet összegyűjtenem és segítséget nyújtanom azok számára, akik szeretnék a fizika tanítását, tanulását kicsit színesebbé tenni.

Köszönetnyilvánítás

Szakdolgozatom témájának kiválasztásáért és elkészítéséhez nyújtott segítségéért, munkám irányításáért ezúton szeretnék köszönetet mondani témavezetőmnek, Dr. Papp Györgyné Dr. Papp Katalinnak a Szegedi Tudományegyetem, Kísérleti Fizikai Tanszéke egyetemi docensének.

Köszönöm Dr. Deák Antal Andrásnak és a Duna Múzeum munkatársainak, hogy rendelkezésemre álltak, kérdéseimre választ adtak, és munkájukba betekinthessem.

Felhasznált irodalom

1. *Andai Pál: A technika fejlődése az őskortól az atomkor küszöbéig.*
Akadémiai Kiadó, Budapest, 1965.
2. *Hans-Joachim Wilke: Látványos kísérletek műanyag palackokkal.*
Fizikai Szemle 2000/5. 169. oldal.
3. *Horváth Árpád – Pap János: Technikatörténet.*
Országos Műszaki Könyvtár és Dokumentációs Központ, Budapest, 1967
4. *Fehér Imre – Horváth Árpád: A fizika és a haladás. 1. kötet.*
Tankönyvkiadó, Budapest, 1963.
5. *Fehér Imre – Horváth Árpád: A fizika és a haladás. 2. kötet.*
Tankönyvkiadó, Budapest, 1962.
6. *Sárközy Ferenc: Geodézia.* Tankönyvkiadó, Budapest, 1984.
7. *Vitruvius, Pollio Marcus: Tíz könyv az építészetéről.*
Képzőművészeti Kiadó, Budapest, 1988.
8. *Lafferty, Peter: Erő és mozgás.* Park Könyvkiadó, Budapest, 1994.
9. *Nigel Hawkes: A világ építésze, az építészet világa. Az ókortól a XXI. Századig.*
Budapest, Gulliver Kiadó 1997.
10. *Rusznák György – Gimesy Mária: Statikai példatár.*
Műegyetemi Kiadó, Budapest, 1999.
11. *Szentkirályi Zoltán – Détszy Mihály: Az építészet rövid története.*
Műszaki Könyvkiadó, Budapest, 1959.
12. *Ürögdi György: A régi Róma.* Gondolat Kiadó, Budapest, 1967.
13. *Salvatore Nappo: Pompeji.* Gabo Könyvkiadó, Budapest
14. *Héjj Miklós: A visegrádi királyi palota.* Corvina Kiadó, Budapest, 1970.
15. *Csathó István: Leningrád.* Budapest, Panoráma Kiadó, 1973.
16. *Novák Ágnes: Kaland a házkörül.*
Kiadó: Az épített környezetért Alapítvány, Budapest, 2001.
17. *Dr. Deák Antal András: Az esztergomi reneszánsz vízgép története.*
Tanulmány, Esztergom, 2007.
18. *Károlyi András: Ismét az esztergomi reneszánsz vízgép működéséről.*
Mérnök Újság, 2004./4. (www.mernokujsg.hu)
19. *Dr. Kolumbán György: Az esztergomi érseki reneszánsz vízgép kutatása, helyreállítása.* A gép. LIV. Évfolyam, 2003./10-11. (<http://gép-ujsg.freeweb.hu>)

20. *Schusztter Ferenc: Mitől romolhat el egy jó kémény huzata?*
Élet és tudomány, 1997/10.
21. *Hajnóczy J. Gyula: Pannónia római romjai.*
Budapest, Műszaki Könyvkiadó, 1987
22. *Örvényes, Csopak – vízimalmok.*
Tájak-Korok-Múzeumok Kiskönyvtára, 342. szám, 1989.
23. *Kovács József: Szélmalmaink.* Budapest, Romanika Kiadó, 2005.
24. *Kurucz Albert–Balassa M. Iván–Kecskés Péter: Szabadtéri néprajzi múzeumok.*
Budapest, Corvina Kiadó, 1987.

Internet hivatkozások

25. *Bevezetés a számítógépek és az automaták történetébe.* <http://intermedia.c3.hu>
26. *Korényi Zoltán–Tolnai Béla: Az áramlás- és hőtechnika nagyjai.*
[www.artinpress.hu /muegyetem/aramlas/terv1.pdf](http://www.artinpress.hu/muegyetem/aramlas/terv1.pdf)
27. *How Romans Built roads.*
www.dl.ket.org/latin3/mores/techno/roads/hodo_gear.htm
28. *Ferde hajítás vízszaggárral.* <http://metal.elte.hu/~phexp/doc/kin/a9s3.htm>
29. *Easthanseismograph.* www.answers.com/topic/easthanseismograph-jpg
30. *Mechanizmusok.* www.nyf.hu/others/docs/6_mechanizmus.doc
31. *Agócs Zoltán: Híd - mérnöki szerkezet vagy szobor?* www.mindentudas.hu
32. *A kör bezárul.* www.oktigon.hu
33. *„Játszunk fizikát!”- Tisza László verseny 2007. Második forduló.*
<http://titan.physx.u-szeged.hu>
34. *Játszunk fizikát. 2007/II.* <http://Velezrobert.sytes.net/fiz07II>
35. *Budapest.* www.molon.de/galleries/Hungary/Budapest
36. *Golden Gate Bridge.* www.visitingdc.com/images/golden-gate-bridge-picture.jpg
37. *A Tacoma híd leomlásának felvétele.* www.ara.bme.hu/galeria/galeria_video.htm
38. www.caed.kent.edu/History/bldg2b.html
39. *Takács Ágnes: Stílus és szerkezet.*
www.uni-miskolc.hu/gepelemek/alkalmazottak/ta/04pub.pdf
40. *Otis történelem.* www.otis.com
41. *Arkhimédészi csavar.* www.3-evezred.hu
42. *Archimedes.* www.fi.uu.nl/winst/materiaal2
43. *Szabadság-híd, Budapest.* www.epulettar.hu/modules/epulet

44. *The Nilometer.* www.pyramisaegypt.com/cairo/sightseeing.asp
45. *Nilometer.* <http://en.wikipedia.org/wiki/Nilometer>
46. *Ókori furfang – amti nem tilos, az szabad?* www.sulinet.hu
47. *Panama approves canal expansion.*
<http://news.bbc.co.uk/2/low/americas/5182472.stm>
48. *„Legjobb a vízben” vetélkedősorozat.*
www.vizmuvek.hu/pdf/altalanos3-5_kiserletek.pdf
49. *A királyi palota Mátyás király korában*
<http://web.axelero.hu/visegradmuz/visegrad>
50. *Tivoli-Villa d’Este.* www.tibursuperbum.it
51. *Szentpétervári paloták.* www.1000ut.hu
52. *Hogyan működik a szökőkút?* www.sulinet.hu
53. *Csonka Dorottya: Hogyan működik a kémény?* www.sulinet.hu
54. *Vízkerék történelem.* <http://www.kekenergia.hu/vizkerek.html#avk>
55. *Vízimalmok.* <http://mek.oszk.hu/02100/02152/html/03/23.html>
56. *Örvényesi vízimalom.* <http://www.geocaching.hu/caches.geo?id=370>
57. *Kolárovo.* <http://www.kolarovo.sk/zoom.php?foto=152>
58. *Turistvándi.* <http://www.falvak.hu/turistvandi>
59. *Szélmalomok.* <http://mek.oszk.hu/02100/02152/html/03/27.html>

Nyilatkozat

Alulírott Horváth Mónika, fizika-matematika szakos hallgató, kijelentem, hogy a szakdolgozatban foglaltak saját munkám eredményei, és csak a hivatkozott forrásokat (szakirodalom, eszközök, stb.) használtam fel.

Tudomásul veszem azt, hogy szakdolgozatomat a Szegedi Tudományegyetem könyvtárában, a kölcsönözhető könyvek között helyezik el.

Szeged, 2007. május 15.