

MAKKAI LÁSZLÓ

Az európai feudalizmus energiagazdálkodásának mérlege

Az európai feudalizmus helye az energiagazdálkodás történetében igen szerény, ha az ipari forradalommal bekövetkezett s azóta is fokozódó energetikai robbanás felől nézzük. Fernand Braudel szerint a 18. század végén 10 millió LE-t képviselt az igavonó állatállomány, ugyanannyit a különböző célokra elégetett fa, másfél és három millió közötti LE-t a vízikerekekre vezetett vízierő, nem egészen 1 millió LE-t a munkaképes emberek izomereje, negyed millió LE-t a kereskedelmi hajók vitorláit hajtó szélérő, de megjegyzi, hogy ebbe a legjobban 25 millió LE-t kitevő energiakészletbe adatok híján nincs beleszámítva a szélmalomokat hajtó szélérő, valamint a kőszén.¹ Ez utóbbi energiaforrások maximális beszámításával sem lehet azonban Braudel becslései alapján többre, mint 30 millió LE-re gondolni, holott száz évvel utóbb egyedül a felhasznált gőzenergia tett ki ennyit, napjainkban pedig csak elektromos energiából ennek éppen százszorosával, kb. 3 milliárd LE-vel rendelkezik Európa, noha lakossága még tízszeresére sem nőtt e két évszázad alatt. Braudel becsléseinek értékelésére még visszatérünk, egyelőre azonban fogadjuk el ezeket a számokat kiindulópontnak, s állapítsuk meg, hogy a fejünként kb. 0,15 LE-t kitevő emberen kívüli energia mai szemmel nézve valóban nem sok, ugyanakkor azonban, egy munkaképes ember LE potenciálját 0,030-nak és a lakosság felét munkaképesnek véve, megötszörözte az emberi izomerőből nyerhető energiamennyiséget. Különösen tiszteletre méltó energetikai teljesítménynek kell ezt tekintenünk egyrészt a megelőző ókori, másrészt az egykorú nem-európai társadalmak jóval szegényesebb energiaellátottságához képest.

Az ókori osztálytársadalmakról tudjuk, hogy időszámításunk kezdetéig sem a vízikereket, sem a szélmalmot nem ismerték, a középkori arab, indiai és kínai világról pedig azt, hogy bár mind a víz-, mind a szélenergiát alkalmazta technikájában, megközelítőleg sem élt velük annyira, mint Európa. Ugyanez áll a vitorlára és a puskaporra; az arab és kínai hajók és ágyúk nem mérkőzhettek a portugál, spanyol, holland és angol flották gyorsaságával és tűzerejével. Minden statisztikai támpont nélkül is nyilvánvaló, hogy a sokkal melegebb klímájú, s egyébként erdőben szegényebb afrikai, közel- és távolkeleti országokban kevesebb fát tüzeltek el, mint Európában. Ami végül az igavonó állatokot illeti, már az európai földművelés technikájából, a nehézeke használatából következik, hogy lovat és szarvasmarhát sokszorosan többet kellett Európában tartani, mint az emberi munkát nagyobb mértékben igénybe vevő arab és kínai mezőgazdaságban. Ennek megfelelően a szállításban is sokkal nagyobb szerepe maradt Ázsiában és Afrikában

¹ Fernand Braudel: *Civilisation matérielle et capitalisme*. Paris 1967. 282.

az emberi izomerőnek, mint a szekerezést és a hajózást erősen kifejlesztő Európában. A fenti, közhelyszámba menő megállapításokból is az következik, hogy a feudális Európa energiagazdálkodása csak mai szemmel nézve mondható szerénynek, az energetika történetében a fejlődésnek addig legmagasabb fokát érte el.

Mindezzel azonban nagyon keveset, éppen csak annyit mondottunk a feudális Európa energiaellátottságáról, mint amennyit a tájékozott laikusnak is tudnia kell. A jelentősen elmaradott ókor és középkori Kelet s a jelentősen előreugró tőkés világ közti sajátos helyzete arra mutat, hogy a feudális Európának addig nem adódó fejlődési lehetőségei nyíltak energiakészletének növelésére, de e lehetőségek kihasználásának olyan áthághatatlan korlátai is voltak, amelyek csak magának a feudális társadalmi formációnak a felbomlásával, egy újabb formáció rendjében hárulhattak el. Ezeket a lehetőségeket és korlátokat kell közelebbről szemügyre venni.

Távol álljon tőlünk az a technokrata szemlélet, hogy a feudális formációt az adott technika, ezen belül is az energetikai adottságok eredőjének tekintsük, a marxista történetfelfogás értelmében viszont egy adott társadalom energiakészletének minőségét és mennyiségét formáció-specifikusnak kell tekinteni. Egyszerűbben szólva nem véletlen, hanem a feudális társadalom termelési módjából következik az, hogy az adott emberi izomerőenergiának mintegy ötszörösére (sem sokkal kevesebbre, sem sokkal többre) emelkedett az energiakészlet, s az is, hogy alkalmazására csak igen kis koncentrátságban kerülhetett sor.

Ami a legtömegesebben használt energiaformát, az állati izomerőt illeti, az európai paraszti háztartási közmondásosan ideális hatókrös ekefogata legfeljebb 1,5 LE-t képviselt. A korai középkorban 10–12 ökrös ekefogatokról is van ugyan adat, de abban az időben az ökrök kisebb termetűek, gyengébbek voltak, mint a 14. századtól kezdve,² így a kifejlett igavonó erő már azért sem lehetett nagyobb, mert minél több állatot fogatoltak össze, az egyedek erő kifejtése annál inkább csökkent. A lovat egyesével, kettesével fogatolták, egy kétlovas eke teljesítménye 1 LE körül járt. Szekerek elé három, négy, öt lovat is fogtak, úgyük vontatására néha 25-öt is egymás mögé, de ez esetben még inkább áll az, hogy a befogott állatok számának növekedésével fogyott az egyedek teljesítő-képessége.³

Az állati izomerő legkoncentráltabb felhasználása sem haladhatta meg tehát az európai feudalizmus technikájában a fogatonkénti 10 LE-t, ami ugyan 333 ember LE-teljesítményével ér fel, a mai energetikai viszonyokhoz képest azonban igen kisméretű energiakonzentrációnak számít. Pedig az európai feudalizmus éppen az állati izomerő felhasználásában ért el az ókorhoz képest igen nagy eredményeket. Nem beszélve most itt a lónak, de főleg az ökömnek a 14. századtól úgyszólván napjainkig tartó testsúly- s ezzel erőnövekedéséről, mint tervszerű tenyésztési eljárások következményéről, mindenekelőtt a lovaglás, a fogatolás és a szekerezés technikájában bekövetkezett nagy horderejű újításokról kell szólni.

A nyugat-európai korai feudalizmus a 9–10. század folyamán súlyos belső és külső válságba került. A kialakulófélben levő feudális uralkodó osztály még korántsem igazta

²János Matolcsi: Historische Erforschung der Körpergröße des Rindes auf Grund von ungarischem Knochenmaterial. Zeitschrift für Tierzüchtung und Züchtungsbiologie 1970.

³Braudel i. m. 267, 300.

jobbágyosorba a szabad paraszti elemeket, amelyek katonáskodási kötelezettségük fejében élvezték a szabad állapotot, de a lovasságnak a hadviseelésben való térhódításával gyalogos szolgálatukra egyre kevesebb szükség volt, a lovas szolgálat költségeit pedig egyre kevesebben tudták viselni. A lovas hadviseelés hovatovább hivatásos katonák foglalkozása lett, akik az uralkodó állandó kíséretét s a feudális uralkodó osztály magvát alkották, s akiket a hadizsákmány mellett az ókori rabszolgatartó rendszerből visszamaradt birtok-szervezetben dolgozó rabszolgák tartottak el. A rabszolgaszedésnek azonban gátat vetett Észak-és Kelet-Európa népeinek ellentámadása a 9. és 10. században. A normannok, majd a magyarok, délről pedig az arabok dúlták-rabolták a felbomló Karoling-birodalmat, amelyben a központi hatalom helyi urak kezébe került. Ezek a politikai hatalommal együtt a gazdasági erőforrásokat is kiszajátították, a katonáskodni nem képes szabadokat jobbágyaikká tették, adóztatták, s elfogyó vagy felszabaduló rabszolgáik helyett ezeknek robotjával műveltették saját kezelésű földjeiket.⁴

Az így kialakuló feudális nagybirtok jövedelme tette lehetővé egy olyan új katonáskodó réteg, a lovasság kialakulását, amely a hadviseeléssel együtt a föld tulajdon-jogát is monopolizálta, mert elég ütőképes volt nemcsak a külső veszély elhárítására, hanem a katonáskodásban feleslegessé váló szabad parasztok lefegyverzésére és jobbágy-sorba igázására is. Mivel viszonylag sok paraszt tartott el egy lovagot, az utánpótlását amúgy is elvesztett rabszolgaságot nélkülözni, a szabadabb állapotú, önállóan gazdálkodó és a rabszolgánál magasabb életszínvonalon élő jobbágyssal behelyettesíteni lehetett. A sok paraszt által eltartott kevés lovagnak viszont minden addigi katonatípusnál nagyobb harci erőt kellett jelentenie. Ezt tette lehetővé az eurázsiai lovasnomádoktól eltanult, de sajátságosan nyugat-európaivá átalakított technikai felszerelés, főként a kengyel.

A kengyel szerepét a lovagi hadviseelésben már eléggé hangsúlyozták, sőt egyesek annyira túlhangsúlyozták, hogy a feudalizmust egyenesen a kengyel átvételéből vezették le.⁵ Valójában a társadalmi viszonyok váltak kedvezővé egy már korábban ismert technika újfajta alkalmazására. A kengyelt mai tudásunk szerint a hunok találták fel az i. sz. első századokban, s ők alakították ki segítségével a hátrafelé nyilazás és az egyélű kard által jellemzett könnyűlovas harcmodort.⁶ Nyugat-Európában a kengyel egészen más, nehéz-lovassági haditechnika alapja lett nemcsak azért, hogy biztonságot adott a páncélos lovasnak a nyeregben, hanem főleg azért, hogy a hóna alá szorított dárdával rohamozó lovas nemcsak a saját izomerejét, hanem a rohanó ló teljes súlyát is bevethette, tehát sokszorosára növelte a harcban felhasznált energiát.

Az avaroktól vagy a magyaroktól eltanult kengyellel egyidőben, minden jel szerint ugyanonnan vette át Nyugat-Európa a lófogatolás hatékonyabb módját, a lovat fojtogató, 5 mázsánál nagyobb teher vontatását nem engedő ókori nyakhám helyett a szügyhámot, amely ötszörösre növelte a ló vontatóképességét. Mindehhez járult a négykerekes szeker gyors fordulását lehetővé tevő csapos elsőtengely, mely Nyugat-Európában a 13. században tűnik fel, de orosz és lengyel területen, a novgorodi bronzkapun és a

⁴ Makkai László: Nagybirtok és kisgazdaságok, földesúr és parasztek Európában a közép- és újkorban. Világtörténet 1982/3 5–60.

⁵ Így főként és legszélsőségesebben Lynn White: Technologie médiévale et transformations sociales. Paris—Le Haye 1969. 25.

⁶ U. Köhalmi Katalin: A steppék nomádja, lóháton, fegyverben. Bp. 1972. 89–92.

trzymesnoi kelyhen már a 12. században ábrázolásra került, részleteiben is pontosan pedig 15. századi magyarországi képeken fedezhető fel. Minden jel szerint ugyanúgy a Fekete-tenger melléki sztyeppen alakult ki, gyors, melegvérű lovakkal fogatolt könnyű szekerek biztonságos vontatására. Nyugat-Európában akkor, a 13. században vált ismeretessé, majd használattá, amikor a szárazföldi közlekedésre szorított Kelet-Európával való kereskedelmi forgalom meglevénedett. Ugyancsak Magyarországról terjedt el Nyugat-Európában a szíjakra függesztett „kocsi” (angol, francia, német neve magyar szóból ered), majd valamikor a 16. században a magyarországi Verancsics Faustus technikai művében (*Machinae Novae* 1616) először leírt és ábrázolt acél kocsirugó.⁷

Az arab hódítás által a tengeri közlekedésben akadályozott, gazdasági-politikai központjával észak-nyugatra, kontinentálisabb helyzetbe kerülő nyugat-európai feudalizmus az egyre fontosabb szárazföldi közlekedésben így sajátította el és alkalmazott tőle keletre kialakult technikákat, amelyek a modern közlekedési eszközöknek is nélkülözhetetlen tartozékaivá váltak, egyben pedig nagymértékben növelték a fogatolt igavonó állatok teljesítőképességét. Csak ennek figyelembevételével lehet teljes jelentőségében értékelni azt, hogy az európai feudalizmus mennyiségileg is nagytömegű igavonó állatot tartott.

A 18. század végén, mint láttuk, F. Braudel becslése szerint 14 millió ló és 24 millió ökör igaereje állt az európai társadalom rendelkezésére. E számítások kulcsa a kortárs Lavoisier becslése, aki a 25 milliós Franciaországban 3 millió ökröt és 1 781 000 lovat mutatott ki.⁸ De lehet-e ezt a kulcsot a 187 milliós egész Európára alkalmazni? Bizonyára egyetlen más országban sem álltak fenn ugyanezek az arányok. Kelet-Európában minden adat szerint jóval magasabb volt az egy főre eső igavonó állatok száma, mint a nagyobb népsűrűségű Nyugaton. Így pl. a 17. század közepi Magyarországon közel 20 000 jobbágycsalád állatállományának összeírása alapján egy főre 0,44 igásállat (ló és ökör) esett,⁹ ami jelentősen több, mint a fenti számokból egy franciára kikövetkeztethető 0,18. A magyar és francia adat közt túlságosan nagy a különbség ahhoz, hogy bármelyiket európai átlagszámnak lehetne tekinteni. Reálisnak ezért fejenként 0,3 igásállat tűnik; a 187 millió európai lakosra 56 millió, éspedig 35 millió ökör, 21 millió ló megoszlásban, a Braudel által javasolt 0,25 LE átlagot véve összesen 14 millió LE esik. Ami viszont a kiindulópontot illeti, a statisztikailag egyáltalán értékelhető legkorábbi adat 1086-ból, Angliából való; a Domesday Book szerint 11 707 parasztháztartásban (kb. 52 681 lélek) 2753 ló (ebben néhány öszvér és szamár is) továbbá 8958 ökör volt, ami egy főre számítva 0,22 igásállat,¹⁰ tehát több, mint amit Lavoisier a 18. század végén Franciaországra számított. Egyéb hasonló adatanyag híján is fel lehet tételezni, hogy a kisebb népsűrűségű korai feudális Európában, 1000 körül, több igásállat esett egy főre, mint később. Az állati izomerővel tehát az európai feudalizmus mindig is viszonylag bőven el

⁷ Minderre Tarr László: *The History of the Carriage*. Bp. 1969. és László Makkai: *L'apport de l'Europe Orientale à l'évolution des moyens de transport*. Extracts of the communications for the History of Sciences Congress, Edinburgh 1977.

⁸ Braudel: i. m. 269.

⁹ Makkai László: I. Rákóczi György birtokainak gazdasági iratai. Bp. 1954. 33–35.

¹⁰ B. H. Slicher van Bath: *The Agrarian History of Western Europe. A. D. 500–1850*. London 1963. 68.

volt látva. Mivel már a 9. században az önálló jobbágygazdaságot (legalább földreültetett rabszolga formájában) kell Európa túlnyomó agrár üzemszerűségének tekinteni, az igavonó állatállományból az ökrök nagy többségét, de a hovatovább ekébe is fogatolt lovak egy részét is paraszti tulajdonnak tarthatjuk, amiből az is következik, hogy az állati erő nemcsak a fogatolási technika korlátai miatt, de az állatállomány tulajdonának egyfokú megoszlása miatt is kevésbé lehetett koncentrálni.

Viszonylag nagyobb energiakonzentrációt tett elvileg lehetővé a kor másik jelentős energiaforrása, a vízikerek által hasznosított vízerő. A vízikereket, annak vízszintes tengelyű, alul csapó változatát idősámításunk kezdete körül találták fel a római birodalom valamelyik görög köznyelvet használó tartományában (innen legrégebbi hydraleta neve), de gyorsan elterjedt a latin nyelvterületen is. Az i. sz. 6. század előtről származó régészeti leletek és adatok Galliából, Itáliából és Görögországból maradtak fenn, kivétel nélkül viszonylag nagyméretű városi lisztőrle malmok emlékei. A népvándorlás korában fokozatosan egész Európában létesültek lisztelő vízimalmok. A gyorsvízű hegyipatakok mentén kialakult a vízszintes tengelyű vízikerek felül- és derékbecsapó változata, s (talán Ázsiából) meghonosodott a függőleges tengelyű is, a turbina kezdetleges őse. 850 körül már olyan gyakori volt a vízimalom a Karoling-birodalomban, hogy a királyi birtokadományokban a tartozékok közt sztereotip formulaként szerepel. Minden jel szerint a földesúri saját kezelésű birtokrészének tartozéka volt már kezdetből fogva; egyébként a földesurak féltékenyen őrzött vízjoga, de a fogaskerekáttételes bonyolult szerkezet és a magas építési költség is erre mutat. A parasztság később innen tanulta el építését és használatát.

A feudális nagybirtok kezdetből fogva kettős arculatú üzem volt. A rabszolgatartó rendszerből átörökölt saját kezelésű földesúri birtok és a leigázott szabadok jobbágytelkei alkották együttesen. A központi hatalomtól elsajátított adóztatási, pénzverési, vámzedési, bírósági, katonai hatáskörével párhuzamosan a feudális nagybirtok kifejlesztett egy sajátos gazdasági szervezetet az egyre kevesebb rabszolga és egyre több robotoló jobbágy által megművelt saját kezelésű földek központja körül. Ennek a szervezetnek a jogi formája az ún. bannum, a magánföldesúr által elbitorolt királyi jogok összessége, gyakorlatilag egy széles körű gazdasági monopólium volt. A bannum nemcsak adóztatási és dolgoztatási jogot biztosított a földesúrnak, hanem lehetővé tette, hogy az általa létesített központi termelő berendezéseknek, malomnak, szőlőprésnek, olajütőnek, sütőkemencének, sörfőzőnek, mészárszéknek használatát a fennhatósága alatt élőknél illeték lefizetése fejében kötelezővé tegye, s ilyenek építését mások számára megtiltsa. Hasonló jogokat nyertek a nagy birtokokat szerző kolostorok is. Az így keletkezett világi és egyházi üzemkomplexumok a 10–12. század folyamán a technikai fejlődés melegágyaivá lettek.

Valamelyik Földközi-tenger melléki világi vagy kolostori birtokközpontban találták fel az elfogyott rabszolga-munkaerő pótlására 800 után a vízikerekre szerelt emelőkort (az ún. bütykös tengelyt), amely a vízikerek forgómozgását váltakozó emelő mozgássá alakította át, és különböző ipari gépek készítését tette lehetővé. A 11. században Itáliában, Dél-Franciaországban, Katalóniában, a 13. század közepéig egész Európa területén sorra létesültek kallómalmok, cser- és kendertörők, később érczúzók, fűjtatók, kalapácsolók, fűrészmalomok, papírmalmok, puskapormalmok és egyéb vízajtotta gépek. A vízienergia így az ókorban egyedül ismeretes gabonaörlés mellett változatos munkákra lett

alkalmazhatóvá, s a vízikerek a középkor egyetemes erőműve lett a hasonló elvek alapján a 12. századtól fogva terjedő szélkerekek mellett, mely utóbbi különösen a víztelenítő szivattyúzásban játszott nagy szerepet.¹¹

Leginkább és legkorábban lisztelő malmok épültek a feudális birtokközpontokban. Statisztikát ismét csak a Domesday Book szolgáltat: 250 paraszti lakosra esett 1–1 egykerekes (egy kőpárral örlő) lisztelő malom.¹² Ezúttal azonban nemcsak Angliából van adat a malmok és a lakosság számarányára, hanem Magyarországról is. 1061-ben egy nagybirtokon 320 mansio (kb. 1600 lélek) számára 6, 1124-ben egy másik nagybirtokon 230 mansio (1150 lélek) számára 7, 1141-ben egy harmadik nagybirtokon 120 mansio (600 lélek) számára 3, azaz 266, 165, ill. 200 lélekre esett egy,¹³ tehát a megoszlás közeláll az angliaihoz. Bár a Karoling-birodalom határain túl, pl. lengyel és orosz földön csak a 12–13. században terjedtek el a lisztelő vízimalmok, aligha tévedünk, ha a 13. században 75 milliónak feltételezett európai népességre 300 000 lisztelő malmot számítunk, egyenként 2 LE teljesítőképességű vízikerekkel, azaz összesen 600 000, fejenként 0,008 LE energiakészlettel. Mennyit növekedett a 18. század végéig a vízikerek által közvetített vízienergia Európában? Braudel idézett számítása szerint jelentősen, amennyiben 5–600 000 malmot tételez fel 187 millió lakosra 1,5–3 millió, azaz fejenként 0,008–0,016 LE-vel. Ezek szerint a vízikerek energiahozama egy főre számítva egyáltalán nem vagy legfeljebb a duplájára emelkedett volna?

Braudel számítási alapja a 18. század végi 2 millió lakosú Galícia 5243 vízimalma.¹⁴ Kelet-Európára nézve a vízimalmok e számaránya valóban reálisnak látszik, hiszen 1846-ban az ugyancsak 2 millió lakosú Erdélyben 3042 lisztelő, 308 kalló- és 967 fűrészmalom volt, összesen 4317 malom.¹⁵ Galíciában 381, Erdélyben 463 lélekre esett egy-egy malom, kevesebb, mint 1086-ban Angliában vagy a 12. századi Magyarországon. Ha a vízikerek teljesítőképességét a 12. és a 18–19. században azonosnak vennők, visszafejlődésről kellene beszélnünk. De először is a feudális korszak végén már nem számíthatunk egy malomra csupán egy vízikereket. Magyarországon pl. az 1894-ben összeírt 15 417 vízimalom közül minden másodiknak két vízikereke volt,¹⁶ ami máris egyharmaddal emeli a mennyiséget. Továbbá a 2 LE átlagot sem tekinthetjük a 18. században reálisnak. A 18. századi Magyarországon 23 vízikerek adatai alapján az átlagot 4 LE-ben lehet megállapítani, legalább ezt kell európai átlagnak tekinteni.¹⁷ De még ha ezeket a helyesbítéseket végrehajtjuk is, és a 187 millió lélekre a galíciai kulcs szerint eső 490 220 malomhoz még 33%-ot, azaz összesen 653 626 vízikereket s ezekre egyenként 4 LE-t számítunk, akkor is csak 2 614 504 LE, azaz fejenként, 0,01 LE jön ki, ami még mindig alig haladja meg a koraközépkori angliai és magyarországi átlagot.

¹¹ Pongrácz Pál: Régi malomépítészet. Bp. 1967. 63–82. Bogdán István: Adalék vízimalmaink műszaktörténetéhez. Agrártörténeti Szemle 1964. 427–429.

¹² M. T. Hodgen: Domesday Water Mills. Antiquity 1936. 261–267.

¹³ László Makkai: Östliches Erbe und westliche Leihe in der ungarischen Landwirtschaft der frühfeudalen Zeit. Agrártörténeti Szemle 1974. Suppl. 45.

¹⁴ Braudel: i. m. 275.

¹⁵ OL Erdélyi kancellária. 1846. Tafeln.

¹⁶ Bogdán: i. m. 433.

¹⁷ Bogdán: i. m. 429.

Ez idő szerint nem áll rendelkezésünkre további ellenőrző adat, de ilyenek nélkül is fel kell tételeznünk, hogy a Galiciánál és Erdélynél jóval iparosodottabb Nyugat-Európában a gőzgép megjelenése előtt sokszorosan meg kellett haladnia a malmok, különösen pedig a nem lisztelő, hanem egyéb ipari célt szolgáló malmok számának a kelet-európai átlagot. Talán akkor sem járnánk messze az igazságtól, ha a vízikerekek és a szélkerekek együttes teljesítőképességét a 18. század végi Európában 10 millió LE körülre becsülnők, mert még ez esetben is kisebb energiakészletet tételeznénk fel víz- és szélerekből, mint állati izomerőből. Ennek a feltételezésnek az alátámasztására különösen ki kell emelnünk azt a tényt, hogy a 15. századtól kezdve a vízikerekek építésébe hivatásos mérnökök is bekapcsolódtak, ami növelte az energiafelvevő képességet és a hatásfokot is. Ugyancsak fontos mozzanat a vasipar fejlődése és a malomépítésben a vas növekvő mértékű alkalmazása, ami viszont a vízikerekek stabilitását, de méreteit is növelhette. Még jelentősebbnek kell tekinteni a 15. századtól kezdve megújuló, a mélyművelésre áttérő bányászat vízikerek-igényét. Mint ismeretes, a későfeudalizmus leghatalmasabb, 10 méter és annál is nagyobb átmérőjű vízikerekét Agricola bányászati szakkönyvében látjuk leírva és ábrázolva. A néha 100 km hosszúságot is elérő, nem egy esetben 1 millió m³ tárolóképeségű 16–17. századi bányavidéki vízvezetékrendszerek olyan energiapotenciált jelentettek, hogy kihasználásukra a nagy vízikerekek százait lehetett építeni, s minden jel szerint ezek meg is épültek, ha jelenleg statisztikailag nem is tudjuk őket számba venni.

A fentiekből az is kiviláglik, hogy a vízikerekek fejlődése során bizonyos fokú koncentráció is bekövetkezett, éspedig a bányászatban és a kohászatban, ahol nagy teljesítőképességű gépekre volt szükség. A koraközépkori nagybirtok saját kezelésű üzemének a 13. század folyamán bekövetkezett felbomlása, a földek paraszti kézre kerülése, a banális berendezések bérbeadása vagy egyenesen felszámolása során megszűnt a nagyüzemi forma, amelyben a vízikerek teljesítménynövelése gazdasági szükségletnek számíthatott. A 14–15. század a kisparaszti gazdálkodás aranykora Európa-szerte, s ez időben a vízikerekek nagysága és egyenkénti teljesítőképessége inkább csökkent, mint növekedett a sorozatosan épülő parasztmalmokban. A kallómalmok is ez időben költöztek a városokból a falvakba a mezőgazdaság holtszezonjaiban felszabaduló paraszti munkaerő felhasználására. Semmi sem buzdított tehát a vízikerekek teljesítőképességének növelésével való energiakoncentrálásra, inkább a szétszóródási tendencia uralkodott. Kivételt csak a bányászat és a kohászat képviselt, amely a 15–17. században már tőkés vállalkozás volt, s így az energiakoncentrációnak mind gazdasági, mind technikai szükségességét érezte. Persze nem korlátok nélkül, mert az akkor használt építési anyagok viszonylagos gyöngesége, az alkatrészek illesztésének lazasága és hasonló fogyatékoságok akadályozták a vízikerekek teljesítőképességének jelentős növelését. A legnagyobb, 20 m körüli átmérőjű vízikerekének elvileg 40–50 LE volt a teljesítménye, de mivel az átmérő növekedésével növekedett a tehetetlenségi nyomaték is, a hatásfok csökkent, s ezért nemigen méretezték nagyobbra a vízikerekek átmérőjét 2–3 méternél, ezeknek viszont 20–25%-os hatásfok mellett egyenként 0,5–1 LE volt a ténylegesen kifejtett energiája. Így azután csak a legnagyobb vízikerekek versenyezhettek a 15–30 LE-t teljesítő, 25–30% hatásfokú szélkerekekkel. A reneszánsz mérnökei Leonardótól Verancsicsig már az elvileg sokszorosan nagyobb energiafelvevőképességű turbinával is kísérleteztek. Mint ismeretes, ezek a kísérletek csak a 18. században, a magyarországi származású Segner

András által vezetett gyakorlati sikerhez, s az első igazán eredményes működésű turbinák (Pelton- és Kaplan-rendszerrel) a 19. századig vártak magukra.

A feudalizmusban mint sajátos formációban rejlő decentralizációs tendenciák érvényesültek tehát a vízikerek teljesítőképeségének korlátozottságában is. Sokkal kevésbé korlátozta a feudális társadalmi struktúra a perifériáján kialakuló hajózás energiafelhasználását. A 13. században kialakuló víz alatti kormányberkezet révén a tengerjáró hajók hatalmas összetett vitorlázat hordására lettek képesek, ez pedig a tonnatartalom növelését mozdította elő. A 15. századtól kezdve az európai hajók jelentős és nagy tűzerejű ágyúparkkal rendelkeztek, ami ellenállhatatlanná tette őket a gyarmatosításban. A szélerő régi és a puskapor új energiájának ez a kombinált felhasználása az európai feudalizmus történetében a legnagyobb energiakonzentrációt tette lehetővé. Elfogadva, hogy egy tengeri hajó vitorlával való hajtására tonnánként 0,25 LE szükséges, a 15. századi átlagban kétszáz tonnás hajók egyenként 25–50 LE energiát használtak fel, ami megfelel az állati izomerő és a vízi- vagy szélmalom által akkor elérhető energiakonzentrációnak. Ha ehhez hozzávesszük a hajónként nemegyszer százat is elérő, sőt meghaladó ágyú tűzerejét, a későfeudalizmus hajóit messze a kor általános energiafelhasználó szerkezetei fölé kell emelni mind technikai hatékonyság, mind történelmi jelentőség tekintetében. Valóban, a kapitalizmus számára kibontakozási terep engedő világpiac létrehozásában a hajózás döntő szerepet játszott. Egészében persze a vitorlás hajók energiafelhasználása nem volt nagy. Az európai kereskedelmi flotta a Braudel által idézett egykorú becslés szerint 3 372 029 tonnát szállított,¹⁸ ami a fent említett tonnánkénti 0,25 LE szállítóenergiával mérve mintegy 843 000 LE vitorlakapacitást képviselt. Még ha hozzászámítjuk az egyedenként nagyobb vitorlázatot, de egészében kisebb hajószámot képviselő, ismeretlen tonnatartalmú hadiflottákat is, akkor sem becsülhetjük 1,5 milliónál többre az európai későfeudalizmus vitorlával felhasznált szélenergia-fogyasztását. Persze, ha a korai feudalizmus viszonyait vesszük tekintetbe, amikor a vitorlának az evezéshez képest jelentéktelen volt a szerepe, akkor energiamentiségben is a legnagyobb teljesítménynek a vitorlászajó és a tűzérség fejlődését kell tekinteni.

Vizsgálódásunk végére érve azt kell mondanunk, hogy Braudel becslései egészében kiállják a kritikát, bár inkább a minimum, mint a maximum felé tendálnak. Korrekcióink a 30 millió LE helyett inkább 36 millió LE feltételezésére indítanak a 18. századvég vonatkozásában. Ugyanakkor viszont meg kell állapítani, hogy az 1000. év körüli kiindulópontban a fejenként viszonylag magasabb állati izomerő, a népességszámnak megfelelő emberi izomerő és fából nyert hőenergia kivételével a vízi- és szélkerék, valamint a puskapor és a vitorla energiája még egyáltalán nem, ill. csak igen kis mértékben került felhasználásra, úgy, hogy ezeknek az energiaközlő műveknek a kifejlesztése, valamint differenciálása mindenestől az európai feudalizmus érdeme s egyben történelmi sikereinek egyik alapfeltétele is. Noha a feudalizmus társadalmi rendje gátolja az energiakonzentrációt, ehhez képest a vitorlás hajózásban jelentős és a tűzérségben pedig egyenesen igen jelentős energiakészletek kerültek felhasználásra, előkészítve a kapitalizmusban bekövetkezett energetikai robbanást.

¹⁸ Braudel: i. m. 275.