

Lineáris generátorok hullámerőművek számára

Linear Generators for Wave Power Plants

Generatoare liniare destinate centralelor electrice bazate pe energia valurilor

Dr. Szabó Loránd

Kolozsvári Műszaki Egyetem, Románia
400750 Cluj, P.O. Box 358, Romania

e-mail: Lorand.Szabo@mae.utcluj.ro, tel: +40-(0)264-410-827

URL: http://users.utcluj.ro/~szabol/SzaboL/HomePage_SzaboL.htm

Abstract: *Generating power is of great importance in today's world. Due to the pending exhaustion of fossil fuels and to their environmental impact it is crucial to develop clean renewable energy sources. Ocean energy is one of the candidates being a huge, yet unexploited renewable energy source on our planet. In this paper the wave power potential of the Black Sea near the Romanian coast will be estimated and an efficient power plant structure will be proposed. Also the required performances of the linear generators to be used in this power plant will be discussed.*

Rezumat: *Problemele energetice ale omenirii au devenit foarte acute în ultimele decenii. Epuizarea treptată a rezervelor convenționale de petrol și de gaze naturale, precum și efectul arderii lor asupra mediului înconjurător au adus în centrul atenției exploatarea unor resurse energetice regenerabile și curate. Energia oceanelor și a mărilor prezintă un potențial imens, încă neexploatat de energie regenerabilă. În această lucrare se va estima potențialul energetic al valurilor din Marea Neagră de lângă coastele române și se va propune o structură de centrală electrică eficientă bazată pe energia valurilor. De asemenea se vor prezenta și performanțele impuse ale generatoarelor electrice liniare utilizabile în asemenea centrale electrice.*

Összefoglaló: *Az emberiség energiagondjai mindennapi éltünk részévé váltak. A hagyományos fosszilis energiaforrások kimerülésének veszélye, illetve ezek felhasználásának környezeti ártalmi előtérbe hozták a megújuló, tiszta energiaforrások kiaknázásának fontosságát. Az óceánok és tengerek hullámai hatalmas, jelenleg még szinte teljesen kihasználatlan energiaforrást jelentenek. A következőkben felbecsüljük a Fekete-tenger romániai részének hullámenergia potenciálját, illetve javasolunk egy hatékony hullámerőmű-struktúrát. Ugyancsak megvizsgáljuk az ebben az erőműven használható lineáris generátorok előírt jellemzőit.*

Kulcsszavak: megújuló energiaforrások, hullámenergia, hullámerőmű, lineáris generátorok.

1. BEVEZETÉS

Az emberiség energiaszüksége egyre nő. A hagyományos energiaforrások egyrészt kezdenek kifogyni, másrészt az erőművek kibocsátása szennyezi a környezetet, veszélyezteti bolygónkat. Lázasan keresik tehát a szakemberek az újabb és újabb lehetőségeket, főként a megújuló energiaforrások értékesítésének módjait [1].

A legtöbb megújuló energia közvetlenül vagy közvetetten a Nap energiájából származik. A megújuló, tiszta energiefajtákhoz soroljuk a vízenergiát, a biomasszát, a szél-, nap- és a geotermikus energiát. Ezeknek az energiefajtáknak a felhasználása ma már világszerte megkezdődött, de nem terjedt még széles körben el. Az egész ipart, az áramtermelést, a fűtési rendszereket át kell állítani, ami óriási költségekkel jár, és csak fokozatosan valósítható meg. Ahogy csökkennek a készletek,

drágábbak lesznek a fosszilis energiahordozók, és egyre inkább előtérbe kerülnek a megújuló energiaforrások.

A megújuló energiák felhasználása egyelőre drágább, mint a hagyományos energiáké. Drágábbak a berendezések, mert kevesen keresik. Kevesen állnak át megújuló energiákra, mert drágábbak a berendezések, mint a hagyományos energiák esetében. Ebből az ördögi körből előbb utóbb ki kell törni. Legelső lépésként meg kell ismerni azokat a lehetséges energiaszolgáltatási módokat, amelyek a fenntartható fejlődés irányába mutatnak. Ezután ki kell dolgozni ezek felhasználásának leghatékonyabb technológiáit.

A megújuló energiaforrások felhasználását célzó kutatásokat nagymértékben katalizálja, hogy az EU még 2001-ben célul tűzte ki, hogy a megújuló energiaforrásokból termelt villamos energia részarányát 14%-ról az évtized végéig 22%-ra kell a tagországoknak növelni. Ez igen nagy feladatot jelent, még ha a frissebben felvettek türelmi időt is kaptak alacsonyabb kvóta előírása mellett. A szakemberek szerint vannak reálisabb becslések is, amelyek szerint a kitűzött kvótából inkább 18-20%-ot lehet elérni, elsősorban a szélenergiák fejlesztésével [2]. A tiszta, ún. "zöld" energiaforrások közül jelenleg a szélenergia tört előre. Ipari méretű növekedése évezredünk elején bámulatos mértékű. Európában 2005-ben már 58.000 MW (!) összteljesítményű szélenergiát üzemel.

Az óceánok és tengerek folyamatos felszíni hullámzása és a mélytengeri áramlatok hatalmas energiát hordoznak. A tengerekben rejlő energia a Föld energia-szükségletének akár 25 százalékát is fedezheti. Felhasználható energiatermelésre a tengerek hullámzása, az árapály-jelenség, az óceánok hőtartalma, de alkalmasak erre a különféle tengeri áramlatok is [3].

A szakemberek szerint ezek közül a hullámok energiájának hasznosítása tűnik a legígéretesebbnek. Kitermelése nagy beruházásokat igényel, inkább ipari méretekben javasolt, azzal a reménnyel, hogy rövid- és középtávon versenyképessé váljon mind a technológia, mind a gazdaságosság szempontjából [4].

A Nemzetközi Világenergiatanács (WEC) számításai szerint a világon körülbelül 2 TW (!) teljesítményt lehetne kinyerni a hullámokból. Ez a hatalmas energiamennyiség Földünk jelenlegi teljes villamosenergia-fogyasztásának mintegy 10-15 százalékát tudná fedezni [5].

A hullámokban rejlő energia hasznosítására több érvet is felhozta a szakemberek [6]:

- Nagy energiasűrűsége miatt az egyik legolcsóbb megújuló energiaforrások közé számítják.
- Sokkal jobban kiszámítható, mint a nap- vagy a szélenergia, emiatt a hullámerőművek hálózatra kapcsolása könnyebb műszaki feladat.
- Megfelelő elhelyezés mellett a hullámerőműveknek van a legkisebb káros környezeti hatása (nincs semmilyen melléktermékük, nem szükséges tárolniuk a felhasználandó energiát, stb.).
- A tengerparttól messze is telepíthető, úgy hogy ne zavarja a kilátást.

A hullámok energiátartalmát a hullám egységnyi szélességére számított teljesítményben mérik. A világon a legnagyobb értékeket (100 kW/m nagyságrendűt) az Atlanti- és a Déli-óceánban, valamint a Horn-fok környékén mérték. Európában Nagy Britannia, Spanyolország, Portugália, Írország és Norvégia partjai mellett a legnagyobb a hullámenergia-potenciál [7].

Ez a megújuló energiaforrás azonban egyelőre egyáltalán nem olcsó. Hiába van ingyen az "üzemanyag", a mozgó víz energiája, az így előállítható energia minimálisan a duplájába kerül a hagyományosnak. Érthető, hogy a világon csak kevés hullámerőmű létezik, és összesen legfeljebb néhány száz 10 MW teljesítményt tudnak előállítani [1]. Egyes szakértők bizakodnak, hogy a hullámokból nyert villamos energia ára tíz éven belül kevesebb mint a felére fog csökkenni, és egyenlő lesz a földgázzal és szénnel előállított energia árával [3].

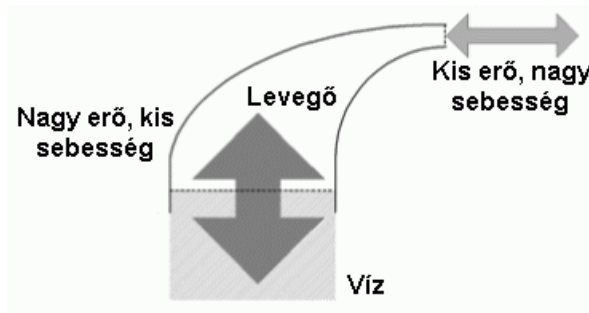
Azonban kétségtelen, hogy a hullámenergiának nemcsak a hagyományos energiaforrásokkal, hanem egy sor másfajta megújuló energiaforrással is meg kell küzdenie a piaci részesedésért.

2. A HULLÁMERŐMŰVEK FŐBB TÍPUSAI

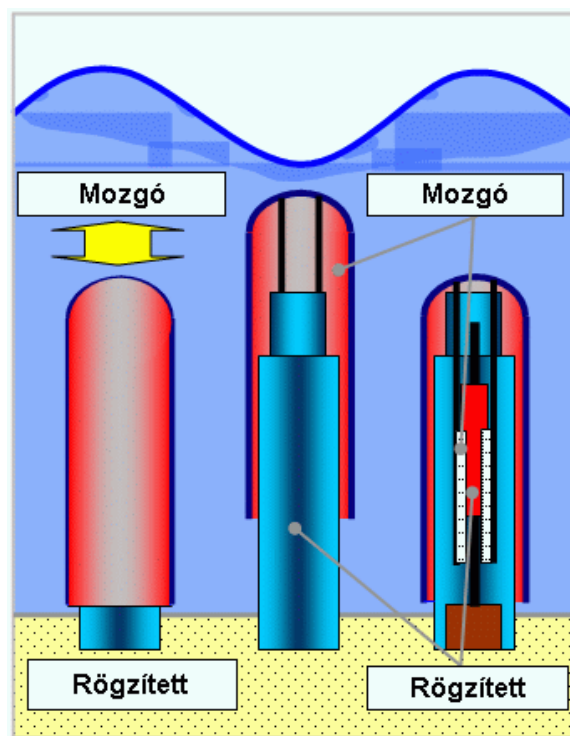
A hullámerőművek a hullámok erejét hivatottak befogni és elektromos energiává alakítani [8]. A hullámok mozgásából energiát előállítani nem könnyű, ugyanis a hullámzás nem olyan folyamatos, egyirányú mozgás, mint a folyóké, amelyekre emiatt lényegesen egyszerűbb turbinákat telepíteni [9]. Az utóbbi harminc évben, amióta felmerült a hullámenergia hasznosításának lehetősége többféle berendezéssel kísérleteznek a kutatók.

A hullámok mozgása többnyire mechanikus átalakítók közbeiktatásával generátorokat hajt meg, amelyek előállítják a villamos energiát. A legkezdetlegesebb átalakító szerkezetek bonyolult, nem megbízható és alacsony hatásfokú kapcsolószekrények voltak.

Hatékonyabb megoldást jelentettek a pneumatikus átviteli rendszerek. Ezek legjellemzőbb típusa az ún. oszcilláló vízoszlopos (*OWC – Oscillating Water Column*) rendszer [10]. Ez egy függőleges csőrendszerből áll, amelyeknek alsó nyitott része a tenger szintje alatt van. A hullám mozgása mozgatja a víz szintjét is a csőben, ami miatt a víz fölötti levegőrész is mozgásba kerül. Megfelelő tervezéssel elérhető, hogy a levegőmozgás sebessége sokszorososa legyen a hullámzó víz sebességénél (lásd az 1a ábrát). A nagysebességű levegő generátorokra szerelt turbinákat hajt meg. A legbiztosabb ilyen jellegű projekt az Archimédész hullámhinta (*AWS – Archimedes Wave Swing*). Immár működő prototípusa 4 MW teljesítményű.



a)



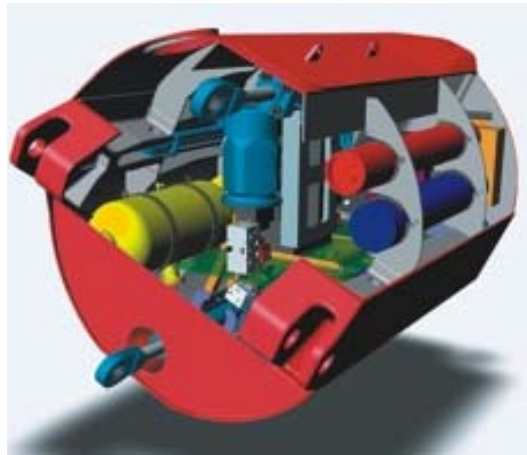
b)

1. ábra

Az AWS rendszer az 1b ábrán látható két koncentrikus hengerből áll. Az egyik rögzített, a másik, amelyiknek a felső része zárt, pedig együtt mozog a hullámokkal. A két henger között levegő van. Amikor a külső henger lefele mozog, a rendszer belsejében a levegő összenyomódik, és a hullám elvonulása után segíti a mozgó hengert felemelkedni. A külső henger mozgása meghajt egy a rendszer közepébe épített lineáris generátort, amelyik a villamos energiát állítja elő [11].

Az energiaátviteli rendszer lehet hidraulikus is. A legígéretesebb ilyen jellegű kísérleti hullámérművet Pelamisnak hívják, ami görögül kígyót jelent. Négy henger alakú szegmensből áll

(keresztmetszetüket lásd a 2b ábrán), melyek egymással rugalmasan, mozgathatóan, csuklópántokkal vannak összekötve. Már egy méter magasságú hullámok esetén is elkezd a "virsli" hintázni a hullámban, mely mozgás olajat pumpál magas nyomáson, ami generátorokat hajt meg. Az így termelt áramot egy kábelen vezetik a szárazföldre [8].



a)



b)

2. ábra

A rendszer nem stabilan fekszik a vízben, hanem a hullámok mozgásához igazodik. Így az építmény nem ellenáll a hullámoknak, hanem "keresztülúszik" a hullámokon, így a rendkívüli erejű viharokat, a 20-30 méteres hullámokat is képes átvészelni. A skóciai Edinburgh mellett üzembe helyezett kísérleti hullámerőmű 5-10 kilométerre van a parttól. A 3,5 méter átmérőjű, 120 méter hosszú és 750 tonna súlyú "tengeri kígyó" 750 kW teljesítményű. A szakemberek 15-20 évre becsülik az élettartamát [1]. Egy ilyen felépítésű, egy négyzetkilométerre kiterjedő "hullámfarm" (lásd a 2b ábrát) 30 MW-os teljesítménye akár 20 ezer brit háztartást is képes lenne villamos energiával ellátni [7].

Kisebb hullámmagasságoknál nem szükséges semmilyen átviteli rendszer alkalmazása, hanem közvetlenül meghajtott (*direct driven*) villamos generátorok is használhatók. Ezek nagyon egyszerű felépítésűek, könnyen telepíthetők és szinte egyáltalán nem szorulnak karbantartásra. Egy ilyen rendszerű hullámerőművet fogunk javasolni a 4. fejezetben.

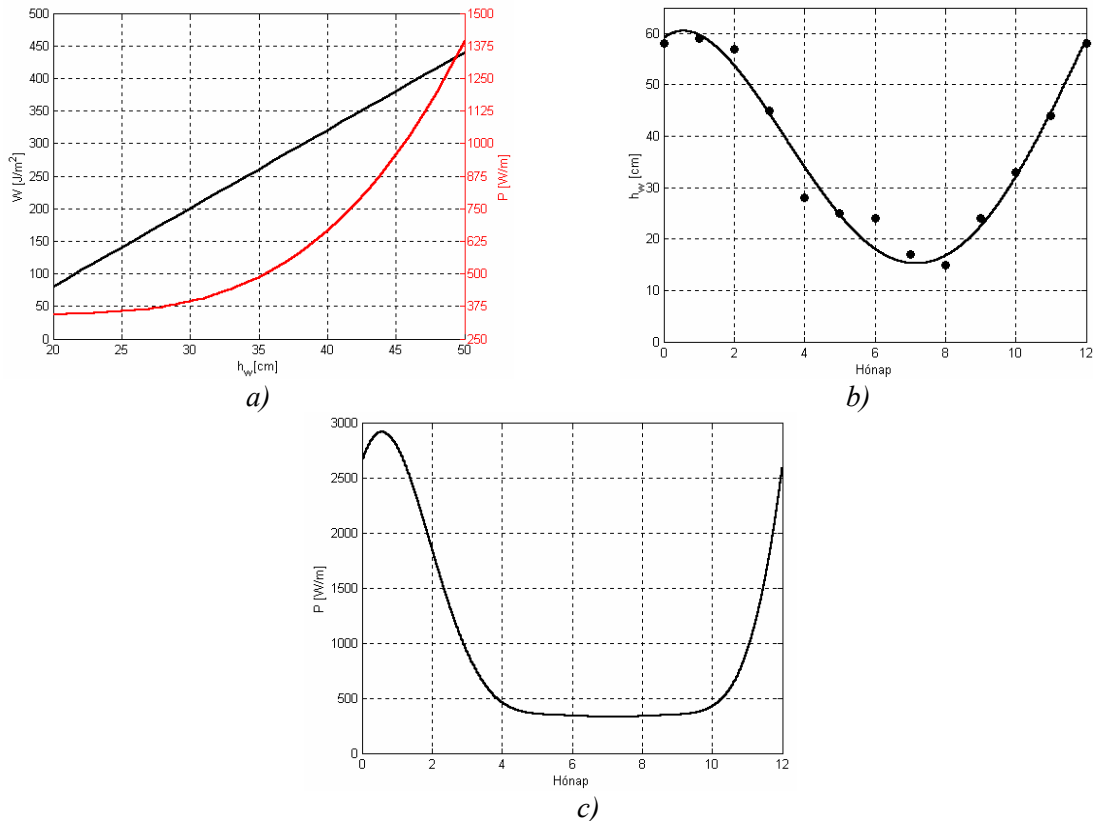
Természetesen az ismertetett hullámerőmű típusokon kívül meg sokféle szerkezettel kísérleteznek a szakemberek szerte a világon.

3. A HULLÁMOK FEKETE-TENGERI HASZNOSÍTÁSA

A világ hullámenergia potenciáljának jelentős része olyan csendesebb, sekélyebb tengerekben található, mint a Balti-tenger vagy a Fekete-tenger. A viszonylag kisebb fajlagos energiaértékeket

kompenzálja, hogy az időjárási körülmények nem olyan zordak és kiszámíthatatlanok, mint ahol Földünk leghatalmasabb hullámai mossák a partokat [12].

A Fekete-tenger hullámpotenciálja nyilván valóan nem túl magas. Sajnos pontos adatokat erre vonatkozóan sehol sem találtunk, ezért közvetett adatokból próbáltuk felmérni. Más hasonló jellegű tengerek 5÷10 m mély része hullámaira vonatkozó adatokat tanulmányoztunk [13], [14]. Összefüggéseket tudtunk megállapítani az átlagos hullámmagasság (h_w) és az átlagos hullámenergia-, illetve teljesítmény-sűrűség között. A kapott összefüggéseket grafikusán ábrázoltuk (lásd az 3a ábrát).



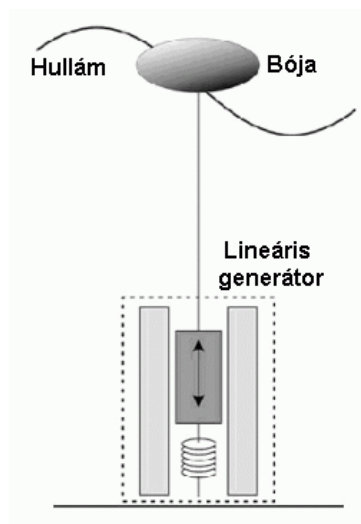
3. ábra

A Fekete-tengeri hullámzások 35 éves statisztikáját [15] tanulmányozva megtaláltuk a román tengerpart közelében mért átlagos hullámmagasság hónapok szerinti lebontását (3b ábra). E két ábra adatait összekombinálva megkapjuk a havi átlagos fajlagos hullámenergia hónapokénti értékét. Ezeket egy görbével közelítve az 3c ábrát kapjuk. Mint látható, az éves átlag 1 kW/m érték körüli. A nyári hónapokban alacsonyabbak az értékek, míg ősszel és télen, amikor az energiafogyasztás is maximális, akkor a legnagyobb a hullámokból kinyerhető energia.

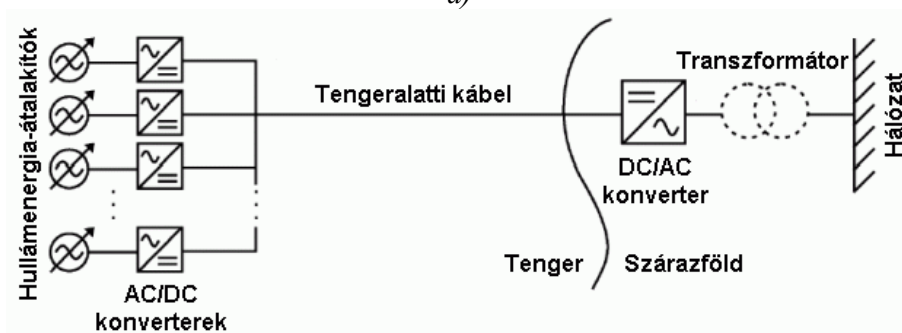
4. JAVASLAT EGY FEKETE-TENGERI HULLÁMERŐMŰRE

Áttekintve a Fekete-tenger román partjai közelében uralkodó hullámviszonyokat, ezek fajlagos energiáját, illetve a létező hullámerőmű koncepciókat arra a következtetésre jutottunk, hogy célszerűbb több kisteljesítményű hullámenergia-átalakítót összekapcsolni, mint egyetlen nagyobb teljesítményűt telepíteni. A kisteljesítményű hullámenergia átalakítóknak közvetett meghajtásúaknak kell lenniük, mivel ezek felépítése, telepítése és karbantartása a legegyszerűbb és a legolcsóbb.

A legegyszerűbb ilyen rendszer a tenger színén úszó bójával összekötött lineáris villamos generátorból áll. A hullámok fel-le irányú mozgását átveszi a bója és közvetve a tenger fenekére szerelt lineáris generátor mozgó armatúrája (lásd a 4a ábrát) [16]. A rendszer a lehető legegyszerűbb, kevés mozgó alkatrészt tartalmaz. Sokkalta előnyösebb, ha a lehorgonyzott hullámenergia-átalakító berendezést a parttól távolabbra telepítik, mivel itt kevésbé veszélyeztetik a partnak csapódó hullámok, és nem zavarják a kilátást sem. Ebben az esetben nagyobb teljesítményt is tudnak leadni, mint a part közelében felszerelt változataik.



a)



b)

4. ábra

A rendszer legfontosabb alkotóeleme maga a lineáris generátor, amely a tenger fenekén viszonylagos védettséget élvez a viharos tenger pusztítása elől. A generátorok és a parti villamos hálózat közé egyenirányítók és váltóirányítók álló egyszerű tengeralatti villamos hálózatot kell telepíteni (lásd a 4b ábrát). Ennek többféle felépítése lehet, a lineáris generátorok számának, elhelyezkedésének, illetve teljesítményének függvényében.

Az egyszerűnek tűnő kábel-összeköttetés nagyon kényes védelmi megoldásokat igényel, mivel a meder közelében fellépő alsó áramlatok nekicsaphatják a kábelt az aljzatnak, és a súrlódás hamar tönkre is teheti ezeket.

A bóják alakjának optimalizálásával a hullámenergia akár 90 százaléka is hasznosítható az ilyen egyszerű rendszerekben [17]. Romániai szinten az erőmű megépítésénél hasznosítani lehetne a hazai tengeri kőolaj-kutak építési technológiájában, illetve egy portugáliai AWS rendszer prototípusának egy romániai hajóépítő gyárban való elkészítése során szerzett tapasztalatokat [18].

5. A HASZNÁLHATÓ LINEÁRIS GENERÁTOROKRÓL

A hullámerőművek legkritikusabb része a villamos generátor, mivel ennek hatékonyságától nagymértékben függ az egész energiatermelő rendszer hatásfoka. Emiatt nagy hangsúlyt kell fektetni a beépítendő lineáris generátor típusának kiválasztására és ennek optimalizált tervezésére.

A szakirodalomban többféle lineáris generátort javasolnak az általunk is ajánlott típusú hullámerőművekhez: lineáris állandómágneses szinkrongenerátorokat (mind felületi [19], mind beültetett [20] állandó mágnesekkel), Vernier típusú hibrid gépeket [21], illetve vastest nélküli állandómágneses lineáris generátorokat [11].

Áttanulmányozva az ismertetett elméleti és gyakorlati eredményeket arra a következtetésre jutottunk, hogy egyik ajánlott lineáris generátor sem megfelelő erre a sajátos alkalmazásra minden

szempontból. A fő hibát abban látjuk, hogy a szakemberek létező lineáris gépeket próbáltak használni, illetve az adott körülményekhez igazítani.

Emiatt kutatócsoportunk a jövőben három új típusú lineáris generátorral szándékszik foglalkozni. Mindhárom típusnak eddig nem alkalmazott felépítése lesz, és kimondottan erre az gyakorlati alkalmazási területre fogjuk őket megtervezni, illetve optimalizálni.

A tervezendő lineáris generátorok főbb paramétereit tehát egy Fekete-tengeri hullámerőműben való felhasználásra adjuk meg. Eszerint viszonylag kis teljesítményűnek kell lennie (néhány kW), alacsony sebességen fog dolgozni (maximum 1 m/s) és rövid útja lesz (1 m alatt). Mivel a lineáris generátorokat a tenger fenekére rögzítik, több sajátos szigorú feltételnek kell megfelelnie.

Először is üzembiztosnak és könnyen felszerelhetőnek kell lennie. Mivel célszerű, hogy minél kisebb helyet foglaljon el, olyan struktúrát kell kidolgozni, hogy a lineáris gép fajlagos (az egységnyi erőhöz viszonyított) tömege és térfogata minél kisebb legyen

Mindezekből következik, hogy csak állandómágneses lineáris generátorok jöhetnek szóba.

Szándékunk szerint az egyik megtervezendő lineáris generátor egy transzverzális fluxusú változat lesz, mivel ezen típusú villamos gépeknek a legalacsonyabb a fajlagos tömegük és térfogatuk, illetve kitűnő hatásfokkal dolgoznak alacsony sebességeken. A lehetséges változatokat tanulmányozva [22], [23] megállapítottuk, hogy erre a sajátos gyakorlati alkalmazásra az állandómágneses állórészű és passzív forgórészű transzverzális fluxusú forgó villamos gép lineáris változata tűnik a legmegfelelőbbnek.

A másik két javasolt lineáris generátor típus állandómágneses reluktanciagép lesz, mivel ezek felépítése a legegyszerűbb. Az egyik változatot henger alakú lesz, a másik keresztmetszete pedig többszögű, mivel ezekben az esetekben ki lehet egyenlíteni a lineáris generátor két armatúrája között fellépő hatalmas normális irányú vonzóerőt. Az ehhez hasonló gépek tervezésében és kivitelezésében kutatási csoportunknak többéves sikeres gyakorlata van [24], [25].

6. KÖVETKEZTETÉSEK

Jövönk érdekében társadalmunknak feltétlenül lépnie kell a Föld energia- és környezetszennyezési gondjainak megoldása felé. Mindkét globális probléma megoldásában nagy segítséget jelenthet az megújuló, alternatív, tiszta energiaforrások fokozottabb kihasználása. Ezeknek a kategóriájába tartozik az óceánok és tengerek hullámenergiája. Ezt az állandóan rendelkezésre álló, hatalmas energiát tartalmazó energiaforrást ez idáig még nem hasznosították ipari méretekben. Jelenleg több kutatóközpontban dolgoznak kísérleti hullámerőművek kidolgozásán, de már léteznek pár éve telepített ígéretesen működő erőművek is.

A fejlesztéseket hátráltatja, hogy igen mostoha körülmények között kell a hullámerőműveknek dolgozniuk (sós tengervízben, erős szellőkések és magas hullámzások mellett), és emiatt az erőművek felépítése és ezáltal közvetve az előállított villamos energia ára is magas.

A klasszikus, fosszilis üzemanyagok árának növekedésével, illetve a kormányok akár kényszerű támogatásával a hullámerőművek gazdaságossága is kedvezőbbre fordulhat a közeljövőben. Emiatt érdemes a témában kutatásokat végezni, még akkor is ha a Fekete-tenger hullámenergia potenciálja elmarad a világ óceánjaié mellett.

A kutatásokat serkenti, hogy szakmai körökben nagy az irántuk való érdeklődés (több nemzetközi konferenciát is szerveznek ebben a témakörben).

A kutatási téma az Európai Unió által meghirdetett fő kutatási prioritások sorába is beletartozik. Kitűnő alkalmat kínál nemzetközi kooperációban megvalósított projektek megpályázására.

7. KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

Ez a publikáció részben a Magyar Tudományos Akadémia, a Magyar Köztársaság Oktatási Minisztériumának Határon Túli Magyarok Főosztálya, valamint a román Oktatási Minisztérium Tudományos Kutatás és Egyetemi Oktatás Országos Tanácsa (CNCSIS) segítségével jött létre. Köszönet érte valamennyi támogatónak.

8. IRODALOM

- [1] Szentgyörgyi Zs., "Energia a hullámokból," *Népszabadság Online*, 2004. március 13.
URL: <http://www.nol.hu/cikk/150547/>.
- [2] Stróbl A., "Megújuló források a magyar villamosenergia-rendszerben," *ENELKO '2004, az Erdélyi Magyar Műszaki Tudományos Társaság Energetikai és Elektrotechnikai Konferenciája*, Kolozsvár, 2004, pp. 161-164.
- [3] "Tíz év múlva versenyképes a tengeri energia," *Zöldtech Magazin*, 2004. május 27,
URL: <http://zoldtech.hu/cikkek/20040527tenger>.
- [4] Véghely T., "Megújuló energiáink," *Magyar Építéstechnika*, 2005/4, pp. 8-9.
- [5] Boud, R., "Wave and Marine Current Energy – Status and Research & Development Priorities," UK Department of Trade and Industry, London (UK), 2003.
- [6] Previsic, M., Bedard, R., and Hagerman, G., "Offshore Wave Energy Conversion Devices," Electric Power Research Institute (EPRI) Report no. WP-004-US, Palo Alto (USA), 2004.
- [7] "2004 Survey of Energy," World Energy Council, London, 2004.
- [8] "Hullámerőmű", *NetHírlap*, 2004. URL: <http://www.nethirlap.hu/printme.php?cikk=11059>.
- [9] "Újabb energiaforrást jelenthet a hullámverés?", *uno.hu Hírek*, 2004.
URL: <http://www.uno.hu/news/story/22742/>.
- [10] Leijon, M., "Multi-Physics Simulation of Wave Energy to Electric Energy Conversion by Permanent Magnet Linear Generator," *IEEE Transactions on Energy Conversion*, vol. 20 (March 2005), no. 1, pp. 219-224.
- [11] Baker, N.J., "Linear Generators for Direct Drive Marine Renewable Energy Converters," Ph.D. thesis, School of Engineering, University of Durham (UK), 2003.
- [12] Bernhoff, H., Sjøstedt, E., and Leijon, M., "Wave energy resources in sheltered sea areas: A case study of the Baltic Sea," *Proceedings of the 5th European Wave Energy Conference*, Cork (Írország), 2003.
- [13] Soomere, T., "Wind wave statistics in Tallinn Bay," *Boreal Environment Research*, vol. 10 (2005), Helsinki (Finnország), pp. 103-118.
- [14] Barstow, S.F., et al., "WORLDWAVES: High Quality Coastal and Offshore Wave Data Within Minutes for any Global Site," *Proceedings of 22nd International Conference on Offshore Mechanics and Arctic Engineering (OMAE '03)*, Cancun (Mexikó), pp. 23-32, 2003.
- [15] Lopatoukhin, L.J. et al., "Estimation of Extreme Wind Wave Heights," Joint Technical Commission for Oceanography and Marine Meteorology (JCOMM) Technical Report No. 9 (WMO/TD-No. 1041), 2000.
- [16] Mueller, MA, et al., "Low Speed Linear Electrical Generators for Renewable Energy Applications," *Proceedings of the Conference on Linear Drives in Industrial Applications (LDIA '2003)*, Birmingham (UK), pp. 121-124.
- [17] Thorburn, Karin, Bernho, H., Leijon, M., "Wave energy transmission system concepts for linear generator arrays," *Ocean Engineering*, vol. 31 (2004), pp. 1339–1349.
- [18] Yokobori, K., "Survey of Energy Resources," 19th edition, World Energy Council, Tokyo (Japán), 2002.
- [19] Leijon, M. et al., "Multiphysics Simulation of Wave Energy to Electric Energy Conversion by Permanent Magnet Linear Generator," *IEEE Transactions on Energy Conversion*, vol. 20, no. 1 (March 2005), pp. 219-224.
- [20] Danielsson, O., Thorburn, K., Eriksson, M., Leijon, M., "Permanent magnet fixation concepts for linear generator," *Proceedings of the 5th European Wave Energy Conference*, Cork (Ireland), pp.117-124, 2003.
- [21] Mueller, M.A. et al., "Dynamic Modelling of a Linear Vernier Hybrid Permanent Magnet Machine Coupled to a Wave Energy Emulator Test Rig," *Conference Record of the International Conference on Electrical Machines ICEM '2004*, Krakko (Lengyelország), CD-n: 495.pdf, 2004.
- [22] Viorel, I.A., et al., "Transverse Flux Machines. Their behavior, design, control and applications," Mediamira, Kolozsvár, 2003.
- [23] Arshad, W.M., et al., "Use of Transverse-Flux Machines in a Free-Piston Generator," *IEEE Transactions on Industry Applications*, vol. 40 (2004), no. 4, pp. 1092-1100.
- [24] Szabó, L., Viorel, I.A., "An Integrated CAD Environment for Designing and Simulating Double Salient Permanent Magnet Linear Motors," *Proceedings of the International Conference on Power Electronics, Drives and Motion (PCIM)*, Nürnberg (Németország), 2001, vol. Intelligent Motion, pp. 417-422.
- [25] Szabó, L., Viorel, I.A., "On a High Force Modular Surface Motor," *Proceedings of the 10th International Power Electronics and Motion Control Conference (PEMC '2002)*, Cavtat & Dubrovnik (Horvátország), 2002, CD-n: T8-052.pdf.