

OWC-k szimulációjához szükséges hullámmedence CFD vizsgálata

The CFD analysis of watertank necessary for the simulation of OWCs

KUSTÁNY Kálmán¹, BSc hallgató, Josh DAVIDSON², meghívott előadó,
HORVÁTH Csaba³, egyetemi adjunktus

Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem, Áramlástan Tanszék,
1111 Budapest Bertalan Lajos u., tel.: 463-1680,

[1kalman.kustany96@gmail.com](mailto:kalman.kustany96@gmail.com), [2davidson@ara.bme.hu](mailto:davidson@ara.bme.hu), [3horvath@ara.bme.hu](mailto:horvath@ara.bme.hu)

Összefoglaló

Az utóbbi időben számos kutatás foglalkozik az egyik leghatékonyabb hullámenergia átalakítóval, az oszcilláló-víz-oszlop készülékkel (Oscillating Water Column, továbbiakban OWC). Az OWC-k fejlesztésének egyik legfontosabb eszköze a numerikus áramlástan (CFD), melynek segítségével lehetőség van a geometriai paraméterek gyors változtatására és az eszközök költségvetésének vizsgálatára. A CFD alkalmazásakor nagyon fontos a pontosság és a számítási kapacitás egyensúlyának megtalálása. Ezért a kutatás során kereskedelmi CFD szoftver segítségével definiáltunk egy, az OWC-k átfogó vizsgálatához elengedhetetlen hullámmedencét, melyen konvergencia vizsgálatot végeztünk. Továbbá megvizsgáltuk a hullámkeltés- és elnyelés lehetséges módjait, valamint különböző numerikus sémák disszipációra gyakorolt hatását.

Kulcsszavak: megújuló energia, hullámenergia átalakító, OWC, numerikus szimuláció, hullámmedence vizsgálat

Abstract

Numerous studies have dealt with the oscillating water column (OWC) lately, which is one of the most efficient wave energy converters. One of the most important tools in the development of the OWC technology is Computational Fluid Dynamics (CFD), due to the fact that, it allows for a quick change of geometric parameters and the cost-effective development process are possible with this tool. However, by using CFD, it is very important to find the balance between the accuracy and the computational cost. For this reason, in the research, a wave tank has been defined, and a convergence study has been carried out using commercial CFD software. Furthermore, we analysed various wave generation and absorption methods, as well as, the impact of numerical schemes on wave dissipation.

1. BEVEZETÉS

Az OWC az egyik leghatékonyabb hullámenergia átalakító, mely egy rögzített vagy úszó szerkezet. A készülék alul, a víz felé nyitott, felül pedig zárt, ezért belül, a víz felett levegőt ejt csapdába. A készülékbe érkező hullámok a levegőt egy csőcsonton ki- és beáramlásra kényszerítik. Az áramló levegő egy speciális turbinát hajt meg, ami az áramlás irányától függetlenül mindig ugyanabba az irányba forog. A forgó turbina áramot gerjeszt, amit a szerkezettől a hálózat felé lehet továbbítani.

A következőkben bemutatott kutatást a TASK 10 projekten belül végezzük [1], ami a Nemzetközi Energia Ügynökség – Óceáni Energia Rendszerek vezetésével különböző hullám energia átalakítók numerikus modelljeinek validációjával foglalkozik.

2. A HULLÁMMEDEENCE

Ahogy az korábban említésre került, az OWC-k átfogó szimulációjához elengedhetetlen egy numerikus hullámmedence elkészítése, melybe a készüléket helyezzük, valamint a hullámkeltés – és elnyeletés kidolgozása. A hullámmedence egy téglalap alapú hasáb, melynek a szimulációhoz egy hosszanti oldalnézeti keresztmetszetét használtuk. Ezt azért tehető meg, mivel a medence minden egyes ilyen keresztmetszete megegyezik az összes többivel. Ezzel a megfontolással jelentős mennyiségű számítási időt takarítottunk meg.

2.1 Medence geometria és hullámparaméterek

Az általunk definiált hullámmedence hosszúsága $L=25$ [m], magassága $H=7$ [m], melyhez egy ugyanilyen magas és a hálózás során keletkezett cellamérettől függő hosszúságú hullámelnyelési zóna tartozik. A hullámok paraméterei a TASK 10-ben definiált értékek vagy ezen értékekből számolhatók. Ezek alapján a hullámmagasság $h=0,089$ [m], a hullám periódus ideje $T=3,5$ [s] és a hullámok hosszúsága $l=16,18$ [m].

2.2 Hullámkeltés – és elnyeletés

A hullámkeltésre numerikus szimuláció esetén számos lehetőség áll rendelkezésre, mint például a relaxációs zóna -, a statikus és dinamikus perem -, vagy az impulzus forrás módszer [2]. Ezek közül mi a statikus perem módszert alkalmaztuk, mivel Ansys Fluent rendszerben ezt könnyen lehet az inlet peremfeltételbe implementálni.

A medence végén a hullámok elnyeletésére a pontos hullámmagasság mérés érdekében volt szükség, amiből a hullámenergia numerikus disszipációjára lehet következtetni, mely függ a háló minőségétől. A hullámok medencevégi disszipációjára is több módszer létezik. Ilyen módszer például a hálónyújtás, a numerikus- vagy a geometriai part [2], melyek közül a hálónyújtás módszert alkalmaztuk. Ennek előnye, hogy nem szükséges további egyenletekkel kiegészíteni a numerikus modellünket és a cellaszámot is csak kis mértékben növeli. A módszer lényege, hogy a numerikus megoldók csak a cellahosszúságnál rövidebb hullámokkal tudnak számolni, tehát, ha a tartály eredeti 25 [m]-es szakaszának utolsó cellájától 1,1-es növekedési rátával elkezdjük növelni a cellákat, akkor kb. 200 [m] hosszú elnyelési zóna (a hossz a háló pontos finomságától függ) alkalmazásával elérjük, hogy az utolsó cella hossza meghaladja a $l=16,18$ [m]-es hullámhosszt.

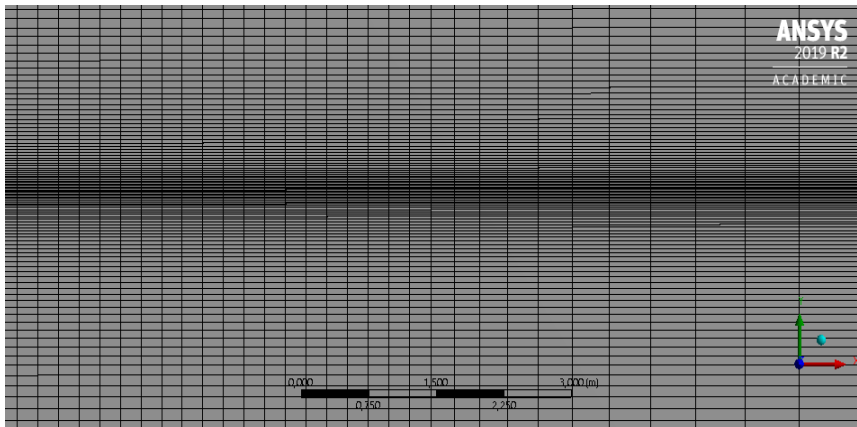
2.3 A numerikus modell

A numerikus modell felépítéséhez a Reynolds – átlagolt Navier – Stokes (RANS) egyenletet használtuk összekapcsolva a Volume of Fluid (VOF) modellel [3][4]. A VOF modell előnye, hogy bármilyen folyadék – gáz kapcsolatot képes kezelni, valamint segítségével jól modellezhető a hullámok szilárd testekkel való kölcsönhatása. Az RANS egyenletek zárására az OWC kutatásokban leggyakrabban használt $k - \omega$ turbulencia modellt használtuk.

A numerikus disszipáció nem csak a már korábban említett hálófinomságtól, hanem az alkalmazott upwinding sémától is függ. Minél magasabb rendű sémát használunk, annál kisebb a numerikus disszipáció mértéke. Figyelembe kell azonban venni azt is, hogy egy magasabb rendű séma alkalmazása hosszabb szimulációs időt von maga után. Tehát a kellően pontos megoldást és elfogadható szimulációs időt eredményező háló megtalálása mellett hasonlóan fontos a jó upwinding séma kiválasztása is. Ennek érdekében próbaszimulációk során összehasonlítottuk a First Order Upwind és Second Order Upwind sémákat. Ehhez a korábban bemutatott 2D-s medencében hullámmagasság – mérőket helyeztünk el, melyek 0,1 [m], 1 [m], 10 [m], 20 [m], 25 [m] távolságban voltak a 2D-s medence belépő élétől. A szimulációk kiértékelése során azt az eredményt kaptuk, hogy a First Order Upwind séma használatánál az inlet peremfeltételnél keltett hullámenergia 40,7%-a, míg a Second Order Upwind séma esetében 15,7%-a disszipálódott el, amit a hullámmagasság csökkenésből számoltunk. Mivel a First Order Upwind sémánál tapasztalt disszipációt nem vagy csak nagyon finom hálóval lehet kiküszöbölni, ami nagyobb mértékben növelné a szimulációs időt, mint a Second Order séma és kevésbé finom hálóval, ezért a kutatás további fázisaiban a Second Order Upwind sémát használtuk.

3. HÁLÓKONVERGENCIA VIZSGÁLAT

A hálókongvergencia vizsgálatához 5 esetet definiáltunk különböző sűrűségű hálóval, melyek között a medence hosszirányában és arra merőlegesen is $\sqrt{2}$ -szeres volt a cellaszám növekedés. A szimuláció szempontjából a víz – levegő határfelületen lezajló folyamatok a legkritikusabbak, itt szükséges a legfinomabb háló, ezért az egyes esetekben a hálóépítést is ebből a zónából kezdtük. Ezután függőlegesen felfelé (levegő régió) és lefelé (víz régió) folyamatos kis mértékű cellanyújtással ritkítottuk a hálót. Az első esetben a víz – levegő régiót függőlegesen 7, vízszintesen 109 cella finomságúra definiáltuk a hálót. Hosszanti irányban a víz -, a víz – levegő és a levegő régióban is megegyezik a cellaszám. Ebből az első esethez tartozó alaphálóból kezdve végeztük el a többi esethez tartozó hálók felépítését a már, aminek eredményeként az ötödik esetben a víz – levegő régióban függőlegesen 28 cella, a medencében hosszanti irányban pedig 437 cella van. Az 1. ábra az első eset hálójának egy hosszanti részletét mutatja, melyen jól elkülönül a víz, a víz – levegő és a levegő zóna hálózása.

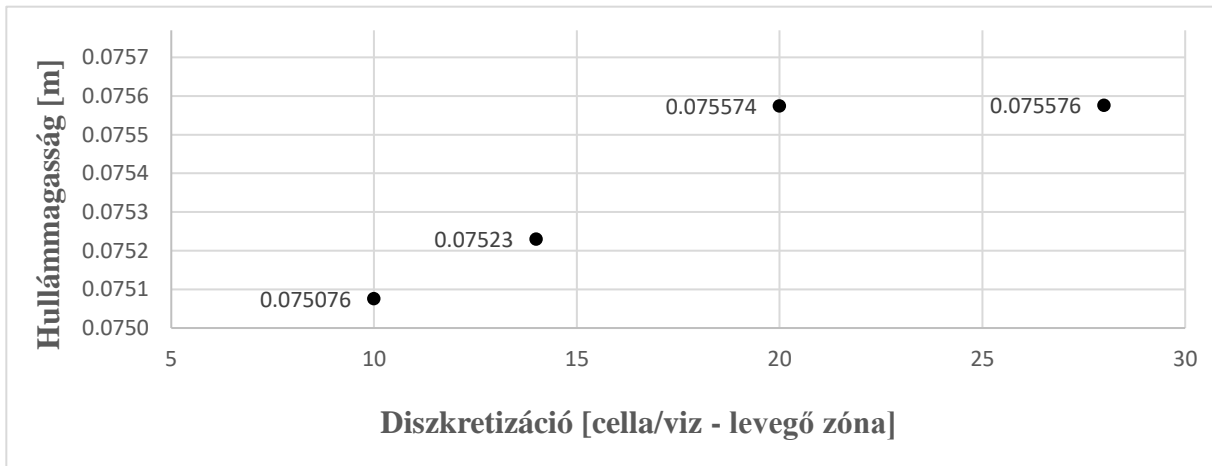


1. ábra Első eset hálójának hosszanti részlete

A különböző finomságú hálókhoz más – más időlépés beállításával tudtuk biztosítani, hogy a hálókongvergencia jól kivitelezhető legyen. A Courant – számra vonatkozó összefüggésből határoztuk meg az egyes esetekhez az időlépést, oly módon, hogy a Courant – szám értékét mindig 0,2-re állítottuk.

4. EREDMÉNYEK BEMUTATÁSA

Az upwinding sémák összehasonlításának eredményét már korábban taglaltuk. A hálókongvergenciához készített esetek összehasonlításra szintén a hullámmagasság – mérők által szolgáltatott adatokat használtuk. Számunkra a legfontosabb eredményeket az inlet-től 25 [m] – re lévő mérőpont eredményi jelentik, mivel az OWC ide lesz helyezve a későbbiekben. Minél jobban megközelíti ebben a pontban a hullámmagasság a TASK 10 által előre meghatározott $h=0,089$ [m] értéket, amit a hullámkeltésnél az inlet peremfeltételnél tápláltunk be, annál jobbnak tekinthető a háló. A hullámmagasságok a hálófinomság függvényében az alábbi diagrammon láthatók. Az első hálón végzett szimuláció nem adott eredményeket a háló durvasága miatt, ezért csak a maradék négy eset kerül bemutatásra. A 2. ábra mutatja azt a grafikont, melyen jól látszik, hogy a negyedik és ötödik esethez tartozó háló között alig van eltérés a mért hullámmagasság szempontjából, viszont a negyedik eset a kisebb cellaszám miatt gyorsabb futást eredményez ezért a kutatás ezután következő szakaszaiban azzal a hálóval fogunk tovább dolgozni.



2. ábra Konvergencia vizsgálat

5. ÖSSZEFOGLALÁS ÉS KITEKINTÉS

Az itt bemutatott eredmények alapján a továbbiakban a Second Order Upwind sémát fogjuk használni a negyedik esetben definiált hálóval, melynél a víz – levegő régióban függőlegesen 20, hosszanti irányban 309 és a medencéhez tartozó elnyelési zónában hosszanti irányban 58 cella található. A kutatás következő fázisában további hullámelnyelési módokat szeretnénk vizsgálni és a cellaszám hosszanti irányú csökkentésére vonatkozó hálókongvergencia vizsgálat nyomán tovább szeretnénk csökkenteni a szimulációs időt, majd az OWC medencébe helyezése és további szimulációk futtatása következik.

KÖSZÖNETNYÍLVÁNÍTÁS

A kutatást támogatta a NKFI K 119943 szerződése, a Bolyai János Magyar Akadémiai Kutatási Ösztöndíj, az ÚNKP-19-4 Új Nemzeti Kiválóság Program, BME FIKP-VÍZ, TUDFO/51757/2019-ITM, Tématerületi Kiválósági Program(TKP). Az előadó részvételét az NKFI K 129023 szerződés támogatta.

This project has received funding from the European Union's Horizon 2020 research and innovation programme under the Marie Skłodowska-Curie grant agreement No 867453

IRODALMI HIVATKOZÁSOK

- [1] WENDT, FABIAN ET AL. (2017) International Energy Agency Ocean Energy Systems Task 10 Wave Energy Converter Modeling Verification and Validation
- [2] C. WINDT, J. DAVIDSON, P. SCHMITT, J.V. RINGWOOD. (2019) On the Assessment of Numerical Wave Makers in CFD Simulations. Journal of Marine Science and Engineering, 2019, 7, 47.
- [3] Z.LIU, B.HYUN, J. JIN (2008) Numerical Analysis of Wave Field in OWC Chamber Using VOF Model. ISSN 1225-0767
- [4] I. LOPEZ, B. PEREIRAS, F. CASTRO, G. IGLESIAS (2014) Optimisation of turbine-induced damping for an OWC wave energy converter using a RANS–VOF numerical model Applied Energy 127, 105-114
- [5] Investigation of hydrodynamic performance of an OWC (oscillating water column) wave energy device using a fully nonlinear HOBEM (higher-order boundary element method). Energy 83, 177-188