

## ANALYSIS OF INNOVATIVE HYBRID SYSTEMS IN RIVER NAVIGATION<sup>1</sup>

---

**Eng. Valeri Georgiev – PhD Student**

Department of Transport,  
“Angel Kanchev” University of Ruse  
phone: +359 878959709  
e-mail: [vgeorgiev@uni-ruse.bg](mailto:vgeorgiev@uni-ruse.bg)

**Assoc. Prof. Asen Asenov, PhD**

Department of Transport,  
“Angel Kanchev” University of Ruse  
Phone: 082 888 605  
E-mail: [asasenov@uni-ruse.bg](mailto:asasenov@uni-ruse.bg)

**Prof. Velizara Pencheva, PhD**

Department of Transport,  
“Angel Kanchev” University of Ruse  
Phone: 082 888 588  
E-mail: [vpenceva@uni-ruse.bg](mailto:vpenceva@uni-ruse.bg)

**Eng. Stoyan Nyagolov – PhD Student**

Department of Automatics and Mechatronics,  
“Angel Kanchev” University of Ruse  
phone: +359 896 774 889  
e-mail: [snyagolov@uni-ruse.bg](mailto:snyagolov@uni-ruse.bg)

**Abstract:** *In recent years, electric hybrid drives for vessels have become increasingly common due to high stability, efficiency and lack of noise and vibration when driving, simplified system control and management, low maintenance costs compared to internal combustion engines and most - already striving to achieve zero harmful emissions.*

*This report analyzes the application of a system solution for propulsion of light vessels through the use of highly efficient electric motors, photovoltaic panels, hybrid inverters, batteries and fuel cells with hydrogen tanks.*

*The report examines the most common schemes for electric and hybrid propulsion of water transport vessels in passenger and freight transport, as well as new developments that are being tested. The results show that electric boats and catamarans are beginning to be successfully implemented in the transport of up to 20 passengers and sailing speeds of about 8-10 km / h on rivers and attempts are being made to implement hybrid systems using hydrogen as an alternative. Only prices still remain high at up to \$ 50,000.*

**Keywords:** *vessel, hybrid propulsion system, hydrogen fuel cells, decarbonization*

### ВЪВЕДЕНИЕ

Наличието на плавателни реки позволява да се развитие речния транспорт, който има редица предимства пред останалите сухоземни видове транспорт (автомобилен и железопътен) като: при масов товарооборот потребността от капитални вложения за превозване на единица товар са по-малки, отколкото тъй като водният път е естествен; има малки енергийни разходи на единица извършена работа; екологично по-чист вид транспорт и др. Стимулиране използването му, за сметка на автомобилния и железопътния транспорт е

---

<sup>1</sup> Докладът е представен на научна сесия на 30 октомври 2021 с оригинално заглавие на български език: АНАЛИЗ НА ИНОВАТИВНИ ХИБРИДНИ ЕНЕРГИЙНИ СИСТЕМИ В РЕЧНОТО КОРАБОПЛАВАНЕ

една от важните стратегически задачи на Европейския съюз. В същото време за редица държави по света речния транспорт е ефективно решение.

По поречието на река Амазонка, речния транспорт е условие за избягване на социалната и териториална изолация, (Guamán F. , Ordoñez J., Espinoza J. L. & Jara-Alvear J., 2015). Речният транспорт в Еквадор позволява в условията, където няма изградена пътна инфраструктура да се придвижват пътници и товари. Плавателните средства, които се използват в речния транспорт са лодки и кораби, задвижвани с двигатели с вътрешно горене (ДВГ), работещи с течни горива- бензин, дизелово гориво и т.н. Подобна е ситуацията в цял свят, където плавателните съдове, а и останалите превозни средства, които ползват нефтени горива отделят в процеса на работа на двигателите си, парникови газове и вредни емисии. През 2011 г. Европейската комисия (ЕК) публикува Бялата книга за транспорта, в която е предвидено подобряване на енергийната ефективност на превозните средства от всички видове транспорт до 2050 г., (European Commission, 2011), а през 2019 г. беше обърнато сериозно внимание на декарбонизацията на транспорта със Зелената сделка, (European Commission, 2019). В резултат на изведените стратегии започна активна работа по създаването на алтернативни източници на енергия и превозни средства задвижвани с алтернативни горива, като пропан-бутан, при комбинирани газови турбинни електрически и парни (COGES) задвижващи системи (Ammar, N. R. & Seddiek, I. S. (2021), електричество получено от вятъра, слънцето, водорода (Pizzo A Del, Polito R. M., Rizzo R., & Tricoli P., 2010), (Soto J., Seijo R., & others, 2010). Понеже водният транспорт в частта си вътрешен воден се явява приоритетен и на много места единствен възможен за реализиране на придвижване, се създадоха добри условия за иновациите, свързани с електрическо и хибридно задвижване, да бъдат внедрявани. Плавателен съд, задвижван с електрическа енергия е известен още от 1839 г., когато Мориц Херман фон Якоби построява една от първите електрически задвижвани лодки в света, (Morachevskii A., 2001). Днес развитието на плавателни съдове, като канута, катамарани, катери, яхти, фериботи и други подобни се оборудват с електрическо или хибридно задвижване, като за целта се използва енергия от слънцето, електрическата мрежа, водород и в комбинация. В настоящия доклад е направен анализ разпространените схеми на задвижване на електрически и хибридни плавателни съдове за плаване по реките и езерата.

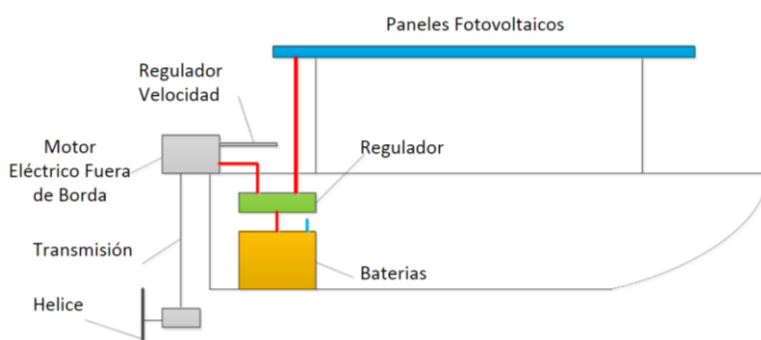
## ИЗЛОЖЕНИЕ

Електрическото и хибридното задвижване започва по-масово да се разпространява и внедрява сред плавателните съдове с дължина под 20m. Голяма част от плавателните съдове, които са пуснати в експлоатация с такова задвижване се ползват за развлекателна и спортна дейност, сред туристи и граждани, любители на риболова и плаването по вътрешните водни басейни, както и сред изследователите и любителите на иновации. Най-голямо приложение са намерили плавателните съдове от типа кану и катамаран за превоз на пътници и товари на разстояние до 100 km, в районите с недостатъчно добре развита или липсваща пътна инфраструктура. При тези плавателни съдове скоростта на плаване е около 9-12 km/h, при условие в рамките на деня да се реализира плаването с едно зареждане на акумулаторните батерии. В Еквадор за плаване по река Амазонка са създадени канута с дължина 12-16 m с електрическо задвижване, (фиг.1), (Balarezo G., 2019), които заместват канутата с двигатели с вътрешно горене с цел опазване на околната среда и по-малко замърсяване, (Guamán F. , Ordoñez J., Espinoza J. L. & Jara-Alvear J., 2015).



Фиг.1. Общ вид на електрическо кану Kara Solar за 20 пътника

Схемата на задвижване на електрическа лодка е посочена в (Jara-Alvear, J., Pastor H., Calderon E., Casafont M., Araujo E. & Garcia J., 2013). Общ вид на лодката е представено на фиг.2.



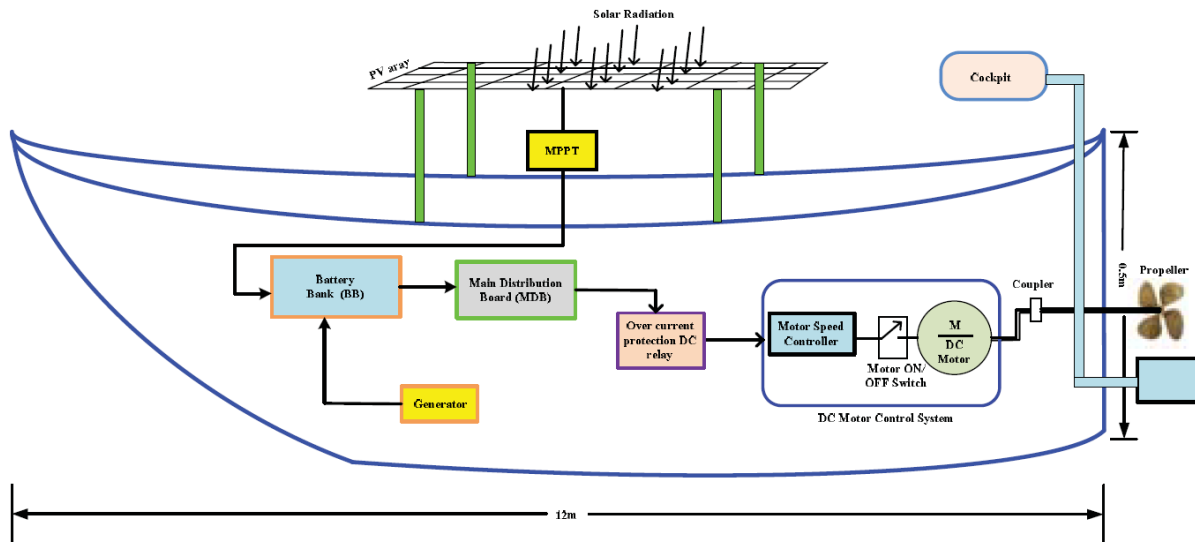
а) Блокова схема на задвижването

б) Общ вид на лодката

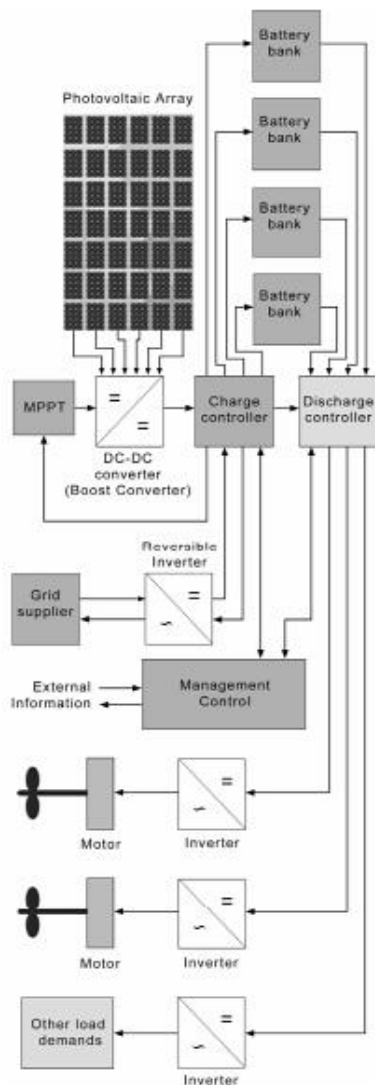
Фиг. 2. Общ вид на електрическата риболовна лодка Solaris с дължина 7,5 m

Когато се разглеждат плавателните съдове, трябва да се има в предвид, че при плаване по течението и срещу него скоростта е различна, поради влияенето на течението, което обикновено е 5-6 km/h. При направени изследвания по поречието на река Путумайо в Южна Америка с 4 и 6 местно кану с електродвигател с мощност 4 kW по три маршрута в реката е установено, че (Wilmsmeier G., 2017): по първи маршрут с дължина 30 km, максималната скорост е 20 km/h по течението, а при плаване срещу течението максималната скорост достига 10 km/h; по втори маршрут с дължина 45 km, максималната скорост е 16 km/h по течението, а при плаване срещу течението 7 km/h; по трети маршрут с дължина 90 km, максималната скорост е 12 km/h по течението, а при плаване срещу течението 3 km/h. Тези резултати показват, че за всеки плавателен съд и маршрут е необходимо да се правят отделни изследвания, при определяне дължината на плаване и консумацията на енергия на плавателния съд, задвижван с електричество или хибридно.

Друг вид плавателен съд – катамаран за 20 пътници с маса 68 kg на пътник, приета за този район, е представен на фиг.3. Катамаранът се използва в Бангладеш, като пътнически превоз понеже може да изминава дълги разстояния с едно зареждане 80 km, (Mehedi M. Abu A. Al & Iqbal M. T., 2020).



Фиг. 3. Общ вид на електрическия пътнически катамаран с дължина 12 m

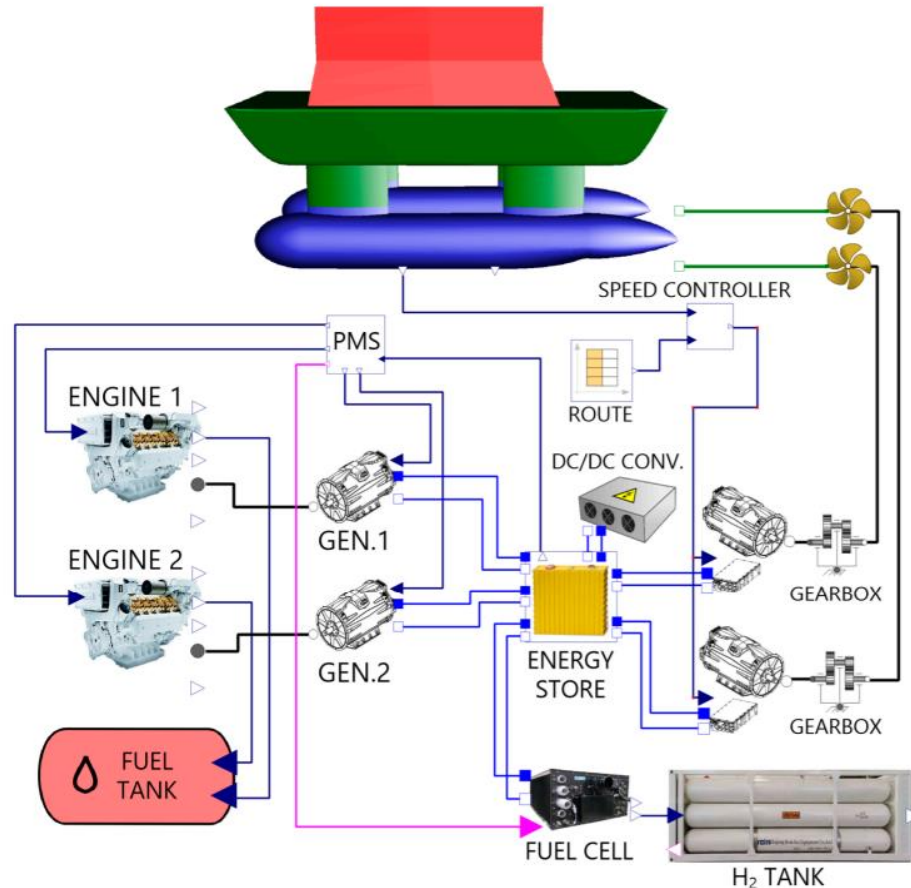


Фиг. 4. Блокова схема на електрозадвижването на катамаран с два електродвигателя, слънчеви панели и акумулаторни батерии

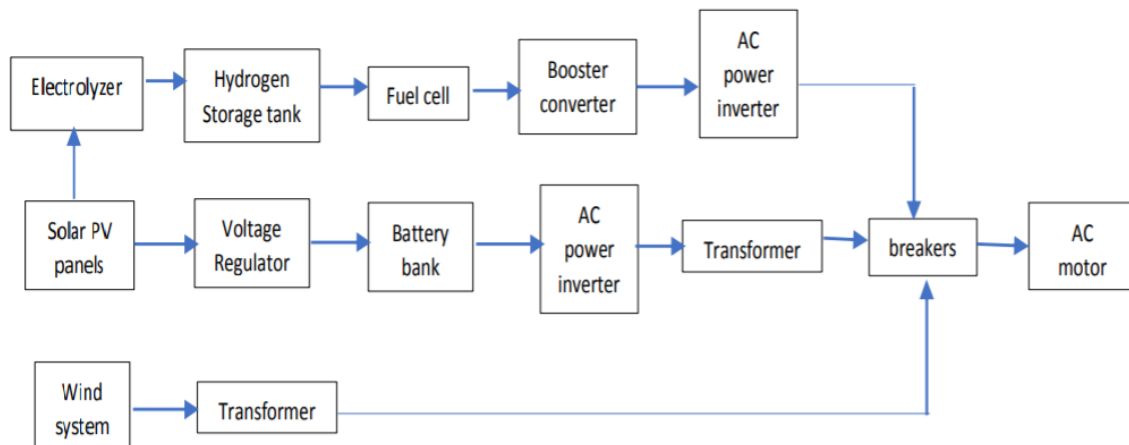
Блокова схема на електрозадвижването на катамаран с два променливотокови електродвигателя е представена на фиг.4. За целта са използвани акумулаторни батерии и слънчеви панели за дозарядване, (Spagnolo G., Papalillo D., Martocchia A & Makary G., 2012). Катамаранът е с дължина 14 m и плава с 8 km/h нормална скорост при максимална автономност 5 часа. Плавателният съд е предназначен за превоз на туристи между бреговете на реките и езерата.

При по-големите плавателни съдове, използвани при морски плавания и големи реки, където е необходима по-голяма мощност се използват катамарани с хибридно задвижване, включващо ДВГ на дизелово гориво, електродвигател и горивна клетка на водород, (Łebkowski A. & Koznowski W., 2020). Схема на такъв плавателен съд е представен на фиг.5. При тях товарносимостта е голяма 73 t, скоростта на плаване 30-40 km/h и затова основно се разчита на енергията от дизеловото гориво, а останалите източници на енергия се използват за намаляване на разхода на дизелово гориво и отделяните от ДВГ емисии в околната среда.

Друга схема на хибридна енергийна система е показана на фиг.6. Тя се състои от три компонента за възобновяема енергия: вятърна турбина, горивна клетка и слънчева фотоволтаична централа. Блокът на вятърната турбина е свързан към генератор и кондензатор. Изходът от генератора е свързан към трифазен трансформатор. Използва се електролизьор за производство на водород, който се съхранява в резервоари. Полученият водород се изпраща към горивни клетки, които създават енергия за задвижващия променливотоков електро-двигател. Напрежението от клетката се повишава с помощта на постоянен ток усилващ преобразувателен блок и се преобразува в променливо напрежение с помощта на променливотоков инверторен блок, (Obaid W., Hamid A-K. & Ghenai C., 2019).



Фиг. 5. Общ вид и задвижваща схема на хибриден катамаран с ДВГ, електродвигател и горивна клетка на водород



Фиг. 6. Схема на хибридно задвижване на електрически плавателен съд от вятър, слънчева енергия и водород

От направения преглед на схемите на плавателни съдове, задвижвани с алтернативни горива или хибридно е попълнена информация за 7 вида плавателни съдове в Табл.1. Информацията в литературните източници показва, че няма пълни данни, за да може да се направи подробен анализ на техническите характеристики, цените и пълните разходи за създаване и след това експлоатиране през целия жизнен цикъл на изделията. Наличната информация позволява да се направи преглед на схемите, които са използвани, технологиите и някои характеристики и резултати от симулации или реални тестове. На тяхна база може след това да се планират и подготвят проекти за нови подобни плавателни съдове.

Табл. 1.

Технически данни за различните плавателни съдове

	кану Kara Solar	риболовна лодка Solaris	електрически катамаран	електрически катамаран с 2 ел.двигателя	хибриден катамаран с ДВГ, електричество и водород SWATH II	Катамаран Energy Observer	Tender ONE - The first HYDROGEN driven Vessel
	12	7,5	12	14	25,7	30,5	8,8
	1,0	-	4,8	5,5	10,6	12,8	-
	0,3	-	0,5	0,9	2,4	-	-
	1400	1800	2400	-	243000	28000	-
	6	11	20	20	4	4-8	-
	408	748	1360	1360	73000	-	-
	10	5,5	10	8	37	9	-
	16,5	13	15,5	15	55	15	46
	-	-	-	-	2x1213	-	-
	4	4	5	2x8	2x 1022	2x41	120
	48	-	48	380	720-730	-	-
	1,61	1	10,6	9,45	-	21	-
	104	104	240	45	300	-	-
	26,85	-	18,5	90	422,4	106	42
	-	-	-	-	85	-	330

	4,2	1,5	8	5	30	24	-
	42	7,6	80	40	1074	216	188
	35 408	-	13 358 без катамарана	50,000	-	-	-
	220	-	220	200	-	-	-
	-	-	42,12	55-110	323 l/h; 1408,4 kWh/h	-	-
	18,9	-	10	10	-	-	-
	-	-	1,6	-	2x80	-	-
	-	-	-	-	-	2	-
	-	-	-	-	549	63	25

При проектирането и изработката на задвижвани с електричество плавателни съдове за до 20 пътника, с дължина под 20m и скорост на плаване около 5-10 km/h срещу/по течението цената на един електрически плавателен съд с акумулаторни батерии и слънчеви панели може да бъде в границите до 50 000 \$. При добавянето на горивна клетка с водород и система за добиването и съхраняването му на борда на плавателния съд, тогава цената става неизвестна и трудно определяема, понеже на този етап има разработени и пуснати в експлоатация само единични бройки за научни и изследователски цели, като катамарана Energy Observer.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Развитието на електрическите и хибридни плавателни съдове, като лодки за развлечения, състезания, обучения и риболов, катамарани за превоз на пътници и товари, както и за изследователски и други подпомагащи дейности, като укрепване на бреговете, зарибяване на отделни участъци и фериботи за превоз на къси разстояния между бреговете на реките може да стане чрез целеви програми финансирани на местно, национално и европейско ниво. В държавите, като Еквадор и Бангладеш, където лодките са ежедневен транспорт, необходим на гражданите за да живеят са създадени такива съдове с подкрепата на национални програми и международни финансирания, изпълнени от смесени екипи с подкрепата на немски, испански и други компании с опит в тази област.

От направения анализ на съществуващите електрически и хибридни плавателни съдове, използвани за превоз на пътници и товари по реките, най-много разработени и пуснати в експлоатация има на катамарани и лодки с дължина до 20 m, плаващи със скорост около 10 km/h, превозващи до 20 пътника на разстояние средно 30-40 km и максимум до 90 km, за ден с едно зареждане на батериите и подпомагане от слънчеви панели, поставени на покрива на плавателния съд.

Направеното проучване показва, че през последните години усилено се разработват плавателни съдове, задвижвани само с електродвигатели, получаващи енергия от акумулаторни батерии, соларни панели, водород, вятърни и водни генератори. По този начин

се правят сериозни стъпки към замяна на петролните продукти с алтернативни при вътрешния воден транспорт и за целта правителствата и международните институции се стремят да подготвят програми и финансират целево проекти в тази сфера.

*Докладът отразява резултатите от работата по проект „Национална научна програма "Нисковъглеродна енергия за транспорта и бита E+“, финансиран от Министерство на образованието и науката.*

*The report reflects the results of the work on the project "National Scientific Program Low Carbon Energy for Transport and Life E + ", funded by the Ministry of Education and Science.*

## REFERENCES

- Guamán F., Ordoñez J., Espinoza J. L. & Jara-Alvear J. (2015). *Electric-solar boats: an option for sustainable river transportation in the Ecuadorian Amazon*. Chapter in WIT Transactions on Ecology and the Environment, Vol 195. pp.439-448, ISSN 1743-3541, DOI: 10.2495/ESUS150371
- European Commission (2011). *White Paper. Roadmap to a Single European Transport Area – Towards a competitive and resource efficient transport system*. Brussels, 28.3.2011, COM(2011) 144 final
- European Commission (2019). *The European Green Deal*. Brussels, 11.12.2019, COM(2019) 640 final
- A. Morachevskii A. (2001). *Works of Academician B.S. Jacobi in the Field of Applied Chemistry*. Russ. J. Appl. Chem., vol. 74, no. 8, pp. 1422–1425.
- Ammar, N. R. & Seddiek, I. S. (2021). *Evaluation of the environmental and economic impacts of electric propulsion systems onboard ships: case study passenger vessel*. Environmental Science and Pollution Research, 28(28), 37851–37866. doi:10.1007/s11356-021-13271-4
- Pizzo A Del, Polito R. M., Rizzo R., & Tricoli P., (2010). *Design criteria of onboard propulsion for hybrid electric boats*. 19th Int. Conf. Electr. Mach. ICEM 2010.
- Jara-Alvear, J., Pastor H., Calderon E., Casafont M., Araujo E. & Garcia J.,(2013). *Embarcaciones solares, una evolución al transporte marino en las islas Galápagos, Ecuador*. 1er Congreso Internacional y Expo Científica ISEREE Conference: Investigación Sostenible: Energías Renovables y Eficiencia Energética, Quito-Ecuador, p.1-9
- Balarezo G. (2019). *Conceived in a dream, new solar canoe will serve Amazon tribes*. Mongabay Series: Indigenous Peoples and Conservation, <https://news.mongabay.com/2019/04/conceived-in-a-dream-new-solar-canoe-will-serve-amazon-tribes/>
- Spagnolo G., Papalillo D., Martocchia A. & Makary G. (2012). *Solar-Electric Boat*. Journal of Transportation Technologies, Volume 2, Issue 2, pp. 144-149, ISSN Print: 2160-0473, DOI: 10.4236/jtts.2012.22015
- Mehedi M. Abu A. Al & Iqbal M. T. (2020). *Optimal Sizing of a Hybrid Power System for Driving a Passenger Boat in Bangladesh*. Electric Power and Energy Conference (EPEC) 978-1-7281-6489-2/20, p.6, DOI: 10.1109/EPEC48502.2020.9319920
- Łebkowski A. & Koznowski W. (2020). Analysis of the Use of Electric and Hybrid Drives on SWATH Ships. Energies journal 13 (24), 6486; <https://doi.org/10.3390/en13246486>
- Wilmsmeier G. (2017). Energy Efficiency and Electric-Powered Mobility by River: Sustainable Solutions for Amazonia. Natural Resources and Infrastructure Division, UNECLAC Issue No. 353 - Number 1, pp.1-11, [https://repositorio.cepal.org/bitstream/handle/11362/41858/1/S1700159\\_en.pdf](https://repositorio.cepal.org/bitstream/handle/11362/41858/1/S1700159_en.pdf)
- Saint-Malo (2016). Energy Observer, le navire du futur, se dévoile. <http://www.lepaysmalouin.fr/2016/09/01/energy-observer-le-navire-du-futur-se-devoile/>
- Obaid W., Hamid A-K. & Ghenai C. (2019). *Wind-Fuel-Cell-Solar Hybrid Electric Boat Power Design with MPPT System*. 8th International Conference on Modeling Simulation and Applied Optimization (ICMSAO) - Manama, Bahrain, pp.1–5. doi:10.1109/ICMSAO.2019.8880330



Soto J., Seijo R., Formoso J., Iglesias G. & Couce L., (2010). *Alternative Sources of Energy in Shipping*, Journal of Navigation, Vol. 63, No. 1-2, pp. 435-448. doi:10.1017/S0373463310000111