

Primena IoT u pomorskoj logistici

Nenad Vujović

nenad.vujovic123@gmail.com

REZIME

Pomorski transport igra ključnu ulogu u povezivanju kontinenata na globalnom nivou. Međutim, tokom protekle dve godine, porast zahteva potrošačkog društva doveo je do značajnih izazova i stvaranja globalnih problema u dostavi dobara. Rešavanje ovih pitanja i osiguranje održivosti životne sredine su od ključne važnosti za budućnost industrije. U cilju postizanja toga, potrebno je značajno unapređenje usluga pomorske logistike. Iskorišćavanjem sposobnosti komunikacione infrastrukture, cilj je osnažiti procese odlučivanja posade na brodovima i komandnim centrima. Podaci prikupljeni sa interneta inteligentnih uređaja (IoT), GPS i AIS omogućiće brodovima da donose informisane odluke i obezbede bezbednost i stanje tereta duž pomorskih ruta. Osim toga, ovaj inovativni pristup doprinosi naporima industrije da minimizira svoj uticaj na životnu sredinu i dekarbonizuje svoje operacije.

Ključne reči: *IoT, GPS, AIS, MEO, WWAN, WLAN, WSN, MARITIME.*

IoT in Maritime logistics

ABSTRACT

Maritime transport plays a vital role in connecting continents on a global scale. However, over the past two years, the surge in consumer goods has led to significant challenges, causing global shipping deadlocks. Addressing these issues and ensuring environmental sustainability are crucial for the future of the industry. To achieve this, enhancing of maritime logistics services is needed. By harnessing the power of this communication infrastructure, aiming to empower fleet decision-making processes. Data collected from IoT devices, GPS, and AIS will enable ships to make informed choices, ensuring the safety and condition of cargo along maritime routes. Moreover, this innovative approach contributes to the industry's efforts to minimize its environmental impact and decarbonize its operations.

Key words: *IoT, GPS, AIS, MEO, WWAN, WLAN, WSN, MARITIME.*

1. UVOD

Pomorski transport je postao važan zbog svojih sposobnosti da veoma lako povezuje sve kontinente i tako unapredi međunarodnu ekonomiju. Ali tokom poslednjih par godina, značajno se povećala potrošnja robe što je rezultiralo globalnim zastojsima u transportu. Uprkos tome, u budućnosti će se prolazi kroz povećanje efikasnosti luka i pomorskog saobraćaja, da bi se izvršilo smanjenje njegovog uticaja na životnu sredinu. U cilju poboljšanja ekonomije i života ljudi, u ovom radu će se predstaviti primeri koji znatno mogu da utiču na poboljšanje

usluge koje se koriste u pomorskoj logistici. Da bi se to izvelo, na palubi broda treba postaviti komunikacioni sistem koji je osposobljen za prenos podataka preko grupe satelita, on prenosi podatke prikupljene pomoću međusobno povezanih pametnih uređaja zasnovanih na IoT-u. Od usluga koje se koriste treba istaći praćenje i nadgledanje rashladnih kontejnera, prenos geolokacijskih podataka od globalnog sistema pozicioniranja (GPS), i bezbednost u morskom saobraćaju preko sistema za automatsku identifikaciju (AIS). Sve prikupljene informacije iz ovih usluga će se dalje koristiti za brodove radi donošenja boljih odluka posade, takođe će pomoći pri sigurnijem praćenju statusa tereta i bezbednosti na pomorskim putanjama.

2. IOT U POMORSKIM TELEKOMUNIKACIJAMA

Komunikacije za pomorski sektor su kroz istoriju koristile radio talase za prenos, prvo impulsa pa kasnije glasa i podataka. Glavni cilj od početka je bio da prenose sigurnosne signale i signale za pomoć između obalnih stanica i brodova. Napretkom telefonije, omogućeno je da se komunicira glasom direktno između plovila, kao i prijem izveštaja vremenske prognoze tekstualnim porukama. Ubrzo, pomorske radio komunikacije su doživele veliki procvat sa pronalaskom i lansiranjem satelita u orbitu, taj korak je u velikoj meri doprineo povećanju stepena sigurnosti u pomorskom saobraćaju.

U ovim sistemima postoje radio farovi pomoću kojih se lociraju nesreće ili pozivi u pomoć, takođe postoje satelitski mrežni sistemi koji omogućavaju korišćenje telefonije i prenosa podataka. Inmarsat je jedan od operatera koji nudi pomorske komunikacione usluge putem satelita. Osim toga satelit je sa sobom doneo navigacione sisteme, uvodeći sisteme kao što je Global Positioning System (GPS) i Automatic Identification System (AIS). AIS protokol se koristi preko SatCom veze, sistem za identifikaciju brodova, njihovu brzinu i kurs u određeno vreme. Ovaj sistem, u pomorskoj plovidbi, je značajan element u bezbednosti brodova, budući da tokom čitave plovidbe čini plovilo vidljivo, tako da i mali brodovi budu vidljivi pored velikih trgovačkih teretnih brodova. Takođe omogućava identifikaciju drugog broda i vidljivost njegovog kursa. Ovaj protokol je dizajniran sa namerom da se brodovi mogu videti u najtežim vremenskim uslovima i na taj način izbegavaju sudare i široko se koristi u trgovačkom pomorstvu. Danas su dve vrste AIS protokola su dostupne:

Klasa A koristi se primarno na većim brodovima, zbog cene i hardverske izvedbe, malo je složenija pošto signale šalje konstantno bez prekida, što nije slučaj u klasi B. Zbog ekonomske isplativosti i boljih mera sigurnosti koristi se na velikim brodovima koji prevoze ogroman teret. Radi na frekvenciji od 156,025 MHz do 162,025 MHz.

Klasa B hardverski jednostavnija, lakša za održavanje i mnogo jeftinija pretplata, su neke od karakteristika koje ekonomski čine pružljiviju opciju, dok sa strane bezbednosti nije pouzdana kao Klasa A, pošto signale šalje na svake 3 sekunde, što može dovesti do nekih kraćih zastoja, koji u većini slučajeva neće velikom merom uticati na pomorski saobraćaj, iz tog razloga se koristi kod manjih

komercijalnih brodova. Radi na frekvenciji od 161,025 MHz do 162,025 MHz, koristi dosta manje snage za emitovanje, pošto je opseg frekvencije dosta uži.

Nedavna primena IoT tehnologija u pomorskoj industriji je dovela do uvođenja koncepta Internet-of-Ships (IoS). IoS je novi koncept primene IoT koji se odnosi na mrežu pametnih, međusobno povezanih objekata, koji mogu biti bilo koji fizički uređaji povezan sa brodom, lukom, u cilju značajnog unapređenja pomorske industrije ka povećanoj bezbednosti, efikasnosti i ekološkoj održivosti.

2.1. Arhitektura telekomunikacionih sistema pomorske logistike

Arhitektura za pružanje usluga u pomorskom transportu kroz satelitsku komunikaciju je dizajnirana i konfigurisana u zavisnosti od potrebnih usluga na brodu. Sastoji se od tri vrste bežične mreže sa različitim tehnologijama. Ovi sistemi ili mreže su:

WSN (Wireless Sensor Network) Sistem za nadzor tereta na brodu. To je mreža senzora unutar rashladnih kontejnera za transport tereta u našem primeru, zasnovana na ZigBee kao predstavniku porodice IoT protokola. On je odgovoran za obezbeđivanje podataka prikupljenih praćenjem parametara senzora unutar rashladnih kontejnera. Takođe igra vitalnu ulogu u konceptu pametnih mora, gde senzori prikupljaju podatke o zagađenosti sredine, ovi senzori mogu biti povezani i na bode i na brodove, pa tako dobijamo široko rasprostranjeni monitoring životne sredine.

WLAN (Wireless Local Area Network): Komunikacioni sistem u okviru jednog transportnog vozila. Odgovoran je za obezbeđivanje komunikacijama na brodu preko WiFi-a, koristi se da bi se izbeglo ožičavanje mreže na brodu, na koje veliki uticaj imaju vremenske prilike na otvorenom moru, zbog toga je mnogo jednostavnija i pouzdanija opcija. Sa finansijskog aspekta mnogo je jeftiniji od LAN mreže, zato što brodovi prevoze nekoliko desetina hiljada kontejnera. Prednost je takođe što uređaji mogu da rade na 2,4GHz i 5GHz, pa ćemo kroz primere videti kako se ona koristi kao sprega između WSN i WWAN mreže.

WWAN (Wireless Wide Area Network): Globalni komunikacioni sistem. Funkcioniše pomoću grupe satelita koji se koriste za komunikaciju između brodova, kao i između brodova i kontrolnih centara koji se nalaze na kopnu. Ova veza koristi AIS satelitski protokol. U našem primeru će to biti MEO(Medium Earth Orbit) grupa satelita. Da bi se pronašao balans između kašnjenja satelitske veze i troškova potrebnih za implementaciju sistema, odabrana je srednjeorbitna (MEO) satelitska grupa dizajnirana za pružanje brzog internet povezivanja sa malim kašnjenjem u udaljenim lokacijama za mobilne operatere i pomorske servisne provajdere.

Ukupno 20 satelita je raspoređeno u kružnoj orbiti duž ekvatora na nadmorskoj visini od 8063 km. Svaki satelit je opremljen upravljivim Ka-band antenama koje rade na frekvenciji od 19,7 GHz za downlink i 24 GHz za uplink. Kašnjenje u oba smera je 140ms za prenos podataka.

2.2. WSN komunikacioni sistem

U IoT konceptu, senzorske mreže omogućavaju praćenje različitih parametara, u našem primeru će to biti rashladni kontejneri koji se prevoze na teretnom brodu, ti parametri su temperatura i relativna vlažnost vazduha. U tom slučaju, WSN se sastoji od bežične mreže koja bi bila u skladu sa standardom ISO 10368:2006, on uspostavlja niz zahteva u pogledu komunikacije između uređaja, evidencije podataka i drugih. Razlozi da se komunikacija između umreženih senzora odvija preko ZigBee-a su sledeći:

1. ZigBee standard funkcioniše u opsezima za koje nije potrebna licenca, što olakšava implementaciju usluge u sektoru transporta u opsezima 2,4 GHz, 900 MHz i 868 MHz. Ovi opsezi nam omogućavaju brzinu protoka do 250 kb/s i do 65.000 povezanih uređaja. Što je sasvim dovoljno za praćenje temperature i relativne vlažnosti vazduha svih kontejnera u okviru jednog teretnog broda.

2. ZigBee-eva sposobnost da podrži mesh topologiju mreže koja je idealne za velike grupe kontejnera koje nose brodovi. Prednost je što je svaki krajnji uređaj sposoban za samopovezivanje na mrežu. Kada neki od krajnjih uređaja napusti mrežu, topologija mreže (nije dostupno u Bluetooth protokolu) omogućava ostalim uređajima da rekonfiguriraju putanje na osnovu nove strukture mreže. Mrežna topologija i njene karakteristike rutiranja pružaju veću stabilnost u promenljivim uslovima ili u slučaju kvara jednog čvora. Ova funkcija može biti od koristi u transportu i logistici kontejnera, zato što broj i ostali parametri kontejnera na brodu često variraju od stanice do stanice u intermodalnom transportu (intermodalni transport se odnosi na transport kontejnera od vrata do vrata, u okviru njega se podrazumevaju dva načina transporta, npr. od pošiljaoca do luke drumski, od luke do luke pomorski i od luke do primaoca drumski).

3. Manja potrošnja energije u poređenju sa onom koju zahteva Bluetooth. Kada se prenosi signal, ZigBee ima potrošnju od 30 mA, a u vremenu mirovanja samo 3 μ A. Dok Bluetooth troši oko 40 mA za prenos i 0,2 mA u stanju mirovanja. Ovo je jer ZigBee protokol većinu svog vremena provodi u stanju mirovanja, dok je Bluetooth uvek u stanju prenosa i/ili prijema. Zbog ovih karakteristika dobijamo veliku uštedu i duže trajanje baterije, a to je neophodno u dugotrajnim preokookeanskim putovanjima. U WSN, prema ZigBee protokolu definisanom kao IEEE standard, nalazimo tri tipa uređaja ili čvorova kao što je prikazano na slici 1.

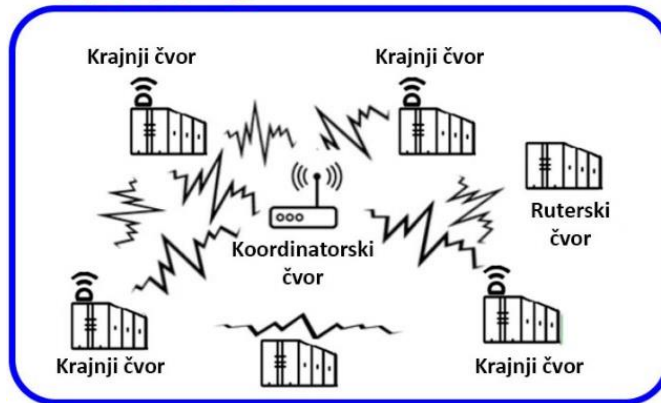
Ovi čvorovi su:

-Kordinator: Može postajati samo jedan na mreži. Od ovog čvora počinje formiranje mreže.

-Ruter: Povezan je sa mrežnim kordinatorom ili sa drugim ZigBee ruterom. Može se ponašati kao kordinator. Zadužen je za multihop rutiranje poruka, ova opcija nam omogućava dalji prenos, u smislu da ruter iz jedne mreže prenosi poruku nekog drugog rutera dalje do primaoca ili da poruku iz WSN mreže prenese u WLAN mrežu u našem slučaju.

-Krajnji uređaj: Osnovni element mreže, može biti senzor ili aktuator. Ne obavlja zadatke rutiranja.

WSN



Slika 1. Čvorovi u WSN mreži.

Da bi se izračunala distribucija IoT senzora na brodu, potrebno je imati raspored odlaganja (smeštaj tereta) u teretni brod. Uobičajeno je da se teret razdvoji na palubi i u brodskom skladišnom prostoru, u različite grupe (ili blokove) koje su razdvojene u nivoe, redove i kolone prema definisanom rasporedu. Svaki blok kontejnera može da sadrži i normalne kontejnere i rashladne kontejnere. Mere standardnog TEU (twenty-foot equivalent unit) kontejnera su 20 stopa, što odgovara 6m dužine, 2m širine i 2,5m. U jednom bloku 200 kontejnera je složeno na palubi. U skladištu unutar broda, raspored se menja jer se samo polovina kontejnera može smestiti u jednom bloku, pošto je visina unutrašnjeg prostora manja za polovinu od visine bloka, svaki blok može da primi oko 100 kontejnera. Da bi se uspostavila ZigBee mreža, prethodno prikazani tip grupisanja kontejnera će se uzeti kao tip rasporeda mreže. Ni u jednom slučaju, rastojanje od 75–100m (dozvoljeno ZigBee mrežom) između krajnjih čvorova i čvora koordinatora nije prekoračena.

U ovom slučaju, dizajn WSN arhitekture zahteva sledeće uslove. Mogućnost da jedna ZigBee mreža može da podrži senzore u maksimalno 200 rashladnih kontejnera. Pomoću ZigBee-a je omogućena decentralizovana mesh mreža, pa je svaki čvor sposoban za samootkrivanje u mreži (ovo će mnogo olakšati tranzit i nadgledanje kontejnera hladnjača). Ova topologija omogućava čvorovima da rekonfiguriraju putanje za rutiranje svaki put kada se novi senzor uključi ili nestane iz mreže (u slučaju pretovara ili kvara hladnjače). ZigBee koordinatorski čvorovi su dodeljeni u svaki blok kontejnera. Sa njima se uspostavljaju komunikacioni kanali i identifikatori mreže (PAN ID). Oni upravljaju rutiranje veza krajnjih čvorova. Pored toga, isti čvor koordinator će služiti kao kapija u WLAN sistem. Jedan ZigBee krajnji čvor mora da bude ugrađen u svaki rashladni kontejner u svakom bloku. Ti krajni čvorovi treba da budu senzori za merenje relativne vlažnosti vazduha i temperature koji mogu da podrže ZigBee protokol.

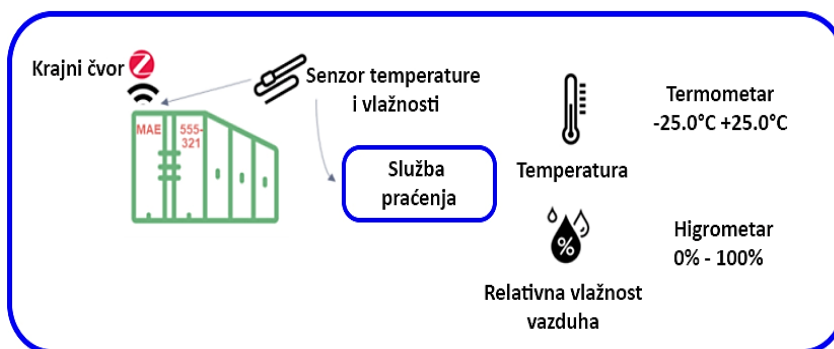
Ključni parametri koji su nam potrebni u arhitekturi ZigBee protokola po IEEE standardu su: Brzina 20-250kb/s; Kašnjenje signala do 30ms; Domet od 10-

75m; Broj uređaja u jednoj mreži od 2-65000; Mrežasta (mesh) topologija; Trajanje baterije i do jedne godine; Mali troškovi ugradnje; Jednostavnost ugradnje; Gledajući parametre ZigBee protokola, vidimo da u slučaju prevoza rashladnih kontejnera on je i više nego sposoban da podrži sve zahteve mreže, u svrhu prikupljanja parametara iz svih rashladnih kontejnera u okviru jednog teretnog broda.

2.3. Usluga praćenja tereta

Ova usluga se sastoji od stvaranja komunikacione mreže zasnovane na IoT tehnologiji i MEO satelita za nadzor zamrznutog tereta koji se prevozi u kontejnerima na brodovima, kako bi se garantovala očuvanost tereta održavanjem temperature i optimalnih uslova relativne vlažnosti (neophodnih u transportu lekova i lako kvarljivih namirnica). Na sledećoj slici su prikazani termometarski senzor i higrometarski senzor koji mogu da prate temperaturu i relativnu vlažnost vazduha kontejnera, prikazani kontejner je povezan na bežičnu senzorsku mrežu WSN.

WSN



Slika 2. Senzori u okviru rashladnog kontejnera.

Ova primena mora da uzme u obzir da moraju postojati senzori koji su sposobni da mere sledeće parametre:

- Termometarski senzor, koji je sposoban da meri temperaturne opsege između $-25,0\text{ }^{\circ}\text{C}$ i $+25,0\text{ }^{\circ}\text{C}$ (sa preciznošću od 0,1).
- Higrometarski senzor, koji je sposoban da meri relativnu vlažnost u opsezima između 0% apsolutno suvog vazduha i 100% vazduha potpuno zasićenog vodenom parom.
- Potrebno je da senzori budu u skladu sa regulativama navedenim u Sporazumu o međunarodnom transportu lako kvarljivih proizvoda.
- Standard UNE EN 13846 - Registri temperature i termometri za transport, skladištenje i distribuciju rashladene, zamrznute i duboko zamrznute hrane i sladoleda. Mora se izvršiti periodična provera senzora.

-Standard UNE EN 12830 - Registri temperature za transport, skladištenje i distribuciju temperaturno osetljivih proizvoda. Testovi, rad, sposobnost za upotrebu.

Električni kablovi razvedeni na teretnim brodovima su podložni propadanju zbog korozije na moru i rukovanja pri utovaru i istovaru kontejnera u lukama, takođe imaju i ograničenja u brzini prenosa, kao i u otpornosti na šum. Pomoću bežičnog prenosa ostvaruje se komunikaciona usluga sposobna da pokrije kako uslugu nadzora putem senzora, tako i druge usluge koje ovaj tip transporta može koristiti (poput GPS-a i AIS-a). Rešenje mora uzeti u obzir propise koje treba ispoštovati u bežičnim komunikacijama na brodu, koji definišu razmenu informacija:

-ISO 10368. Navodi interfejsse i protokole neophodne za postizanje ove sertifikacije.

-Standardizovana arhitektura, pravilno dimenzionisanje i protokol poruka koji definiše pravilni nadzor tereta koji se prevozi, kao i komunikaciju drugih usluga na brodu.

3. ZAKLJUČAK

Na početku je predstavljen komunikacioni sistem u okviru jednog broda, zasnovan na tri tipa bežičnih mreža, koji pomaže da se reši nekoliko aktuelnih problema u pomorskom saobraćaju, kao što je transport robe pod posebnim uslovima (konkretno u ovom primeru roba koja mora biti na određenim niskim temperaturama). Ovo rešenje omogućava pružanje usluge praćenja ledenog lanca kroz IoT mrežu podržanu grupom satelita iz MEO orbite.

Mreže koje čine ovaj sistem su WSN, WLAN i WWAN one koriste ZigBee, WiFi i SatCom tehnologije. Komunikacija između senzora unutar WSN mreže je predstavljena, kao takva formira glavni deo IoT mreže. Mreža senzora komunicira sa baznom stanicom koja se nalazi na palubi broda preko WiFi-a, pa bazna stanica dalje šalje podatke putem grupe MEO satelita na kopno gde se nalazi kontrolni centar. Ova komunikacija sa kopnenim delom se vrši kroz klasični pomorski komunikacioni AIS protokol. Predstavljen dizajn ima prednost u skalabilnosti sistema objedinjavanjem postojećih protokola u pomorskim komunikacijama. Upotreba MEO grupe satelita za smanjenje kašnjenja u odnosu na trenutni sistem koji se koristi zasnovan na GEO satelitima.

Komunikacioni protokol i sistem za razmenu poruka su definisani, oni šalju informacije prikupljene sa senzora u kontrolni centar. Ove informacije u okviru usluge su temperatura i relativna vlažnost vazduha unutar kontejnera. Poruke definisane u ovom primeru su integrisane u poruke AIS protokola, zbog njihovog prosljeđivanja preko satelitske veze. Ovaj sistem zajedno sa komunikacionim protokolom i porukama omogućava konstantno ažuriranje putanje broda do luke, kao i ažuriranje parametara hladnjače da bi se sprečilo propadanje robe u slučaju kvara. Sistem za razmenu poruka takođe nudi mogućnost proširenja poruka u budućnosti da uključi druge fizičke parametre, kao što su nivoi O₂/CO₂ u kontejneru i zapreminski nivoi tereta koji se transportuje.

4. LITERATURA

1. Van Kranenburg, R. *The Internet of Things: „A Critique of Ambient Technology and the All-Seeing Network of Rfid“*, Institute of Network Cultures: Amsterdam, The Netherlands, (2008);
2. Yang, C.; Shen, W.; Wang, X. „*Internet of Things in manufacturing: An overview*“, IEEE SMC Magazine. (2018);
3. Cook, D.J.; Crandall, A.S.; Thomas, B.L.; Krishnan, N.C. Casas: „*A smart home in a box*“, United States (2013);
4. Komninos, N.; Philippou, E.; Pitsillides, A. „*Survey in smart grid and smart home security: Issues, challenges and countermeasures*“, IEEE Communication Survey Tutorial (2014);
5. Ungurean, I.; Gaitan, N.-C.; Gaitan, V.G. „*An IoT architecture for things from industrial environment*“, In Proceedings of the 10th International Conference on Communications (COMM), Bucharest, Romania, May (2014);
6. Wang, C.; Bi, Z.; Da Xu, L. „*IoT and cloud computing in automation of assembly modeling systems*“, IEEE Trans. Ind. Inform. (2014);
7. IEEE 802.15.4-2006; IEEE Standard for Information Technology—Telecommunications and Information, Exchange between Systems—Local and Metropolitan Area Networks—Specific Requirements Part 15.4: Wireless Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) Specifications for Low Rate Wireless Personal Area Networks (LR-WPANs). IEEE Standard for Information Technology: Piscataway, NJ, USA, (2006);
8. Steenken, D.; Voß, S.; Stahlbock, R. „*Container terminal operation and operations research—A classification and literature review. In Container Terminals and Automated Transport Systems; Springer*“, Berlin/Heidelberg, Germany,(2014);
9. Zafeiriou, I. „*IoT and Mobility in Smart Cities*“. In Proceedings of the 3rd World Symposium on Communication Engineering (WSCE), Greece, Thessaloniki, 9–11 October (2020);
10. Qu, Z.; Cheng, Y.; Zhang, G. „*Global Aggregated Traffic Model for LEO Satellite Constellation IoT Network*“. In Proceedings of the International Symposium on Advanced Electrical and Communication Technologies (ISAECT), Rome, Italy, 27–29 November (2019);
11. Yan, L.; Ding, X.; Zhang, G. „*Dynamic Channel Allocation Aided Random Access for SDN-Enabled LEO Satellite*“,IoT. J. Commun. Inf. Netw. (2021);
12. Xu, G.; Shen, W.; Wang, X. „*Applications of wireless sensor networks in marine environment monitoring: A survey. Sensors*“, (2014);
13. Knight, C.; Davidson, J.; Behrens, S. „*Energy options for wireless sensor nodes*“. London (2008);
14. Faheem, M.; Tuna, G.; Gungor, V.C. Qerp: „*Quality-of-service aware evolutionary routing protocol for underwater wireless sensor networks*“. IEEE Syst. J. (2018);