

# TEHNOLOGII NAVALE si COMBUSTIBILI VIITORULUI pe drumul DECARBONIZARII

CCN 98 – 07 aprilie 2023

dr ing Jean Sever Popovici; c-amiral de flotila(r) dr ing Constantin Rusu

*Partea II a*

## COMBUSTIBILII MARINI

Contraamiral de flotila (r) d ring Constantin Rusu

### **1.ASPECTE CU CARACTER GENERAL.**

#### ***1.1.Noțiuni generale despre combustibili.***

Combustibilii sunt substanțe chimice care, în reacție cu alte substanțe chimice, degajă o cantitate de căldură ce poate fi folosită ca atare sau poate fi transformată în energie mecanică.

Transformarea căldurii în lucru mecanic are loc într-un agregat termic ce poate fi cu **ardere externă** sau cu **ardere internă**.

Prin agregat termic cu **ardere externă** se înțelege un dispozitiv alimentat cu fluid termic produs prin arderea combustibilului într-un dispozitiv separat de acesta cu care este cuplat prin tubulaturi.

În domeniul naval combustibilul arde într-o instalație numită cazan cu abur (căldare, caldarină, boiler) în care căldura transformă apa în abur. În continuare, aburul alimentează agregatele prin care căldura este transformată în energie mecanică. Aceste agregate sunt: mașina cu abur (motorul cu abur) cu simplă, dublă sau triplă acțiune și turbina cu abur.

**Arderea internă** a combustibililor (lichizi sau gazoși) se produce în interiorul unui agregat (motorul cu ardere internă, turbina cu gaz) unde căldura este transformată, direct, în energie mecanică.

Prima navă cu propulsie mecanică a fost construită în anul 1807. Botezată „Clermont”, a fost folosită pentru transportul pasagerilor pe fluviul Hudson, SUA, între orașele New York și Alabama.

Propulsia acestei nave era asigurată de o mașină cu abur ce antrena două roți cu zbaturi, dispuse în borduri. Aburul necesar era produs într-un cazan (căldare) unde era ars lemn.

Deci, primul combustibil naval a fost lemnul pentru foc. Dar epoca lemnului în domeniul propulsiei navale a fost scurtă, fiind înlocuit cu cărbunele ce avea o intensitate energetică cu mult mai mare.

Trecerea la arderea cărbunelui a permis aplicarea propulsiei mecanice la navele maritime, la început în varianta mixtă (vele și mecanică) apoi numai mecanică.

Prima navă maritimă cu propulsie mixtă unde se folosea arderea cărbunelui pentru obținerea aburului a fost „Savannah”, propulsată cu două roți cu zbaturi antrenate de o mașină cu abur de 72 CP (nava avea un deplasament de 389 tone). La 20 mai 1819, „Savannah” a plecat din portul american New York pentru a executa prima traversare a Oceanului Atlantic, cu destinația Liverpool, Anglia. După o călătorie de 629 ore, din care mașina cu abur a fost folosită doar 99 ore din teama de a nu rămâne fără cărbune și din dorința de a nu rata intrarea spectaculoasă în portul Liverpool, propulsia mecanică fiind ceva special în acea perioadă.

Interesant este faptul că propulsia navală cu abur folosind drept combustibil cărbunele a durat până la mijlocul anilor '50 ai Sec. XX (ardere mixtă, cărbune și păcură).

Descoperirea motorului cu ardere internă și trecerea la rafinarea țițeiului au constituit adevărata revoluție în ceea ce privește folosirea combustibililor pentru propulsia navală.

Pentru început, propulsia navală mecanică era asigurată cu motoare cu aprindere cu scânteie care funcționau cu benzină, după care s-a trecut la propulsia cu motoare Korting ce funcționau, mai întâi, cu parafină, apoi cu petrol lampant.

O adevărată revoluție în domeniul naval a constituit-o trecerea la propulsia folosind motoarele diesel, care, mulți ani, au funcționat cu motorină.

În prezent, majoritatea navelor de transport maritim sunt propulsate de motoare diesel lente, în doi timpi, cu funcționare duală, păcură și motorină.

În ultimii 20 ani s-a trecut la funcționarea duală a motoarelor diesel pentru propulsia maritimă folosind gaze lichide lichefiate (GNL) sau gaz petrolier lichefiat (GPL) și combustibil lichid.

În prezent se depun eforturi pentru reducerea emisiilor gazelor cu efect de seră (GES) în transportul maritim prin folosirea de combustibili cu conținut redus de carbon sau neutri din punct de vedere al carbonului.

## 1.2. Gazele cu efect de seră. Efectul de seră.

Gazele cu efect de seră (GES) captează căldura de la soare și mențin atmosfera caldă ca o pătură. Atunci când pătura devine prea „groasă”, apar probleme.

De miliarde de ani, soarele trimite energia către planetele din sistemul solar, deci și către Planeta Pământ. O parte din această energie este reflectată din spațiu, iar o parte pătrunde în atmosfera terestră, unde întâlnește un strat de gaze numite „gaze cu efect de seră”. Evident că aceste gaze produc „efectul de seră”.

Foarte important! Viața pe Pământ nu ar fi posibilă fără efectul de seră. Dacă nu ar exista stratul gazelor cu efect de seră, multe dintre razele solare ar trece pe lângă Pământ, iar Planeta ar avea o temperatură medie de aproximativ  $-18^{\circ}C$ , față de cca.  $+15^{\circ}C$ , cum este în prezent.

Efectul de seră nu este un fenomen întâlnit doar pe Pământ. Orice corp ceresc care este înconjurat de o atmosferă, poate avea un efect de seră propriu, în funcție de proprietățile gazelor conținute în atmosfera respectivă. Spre exemplu, Planeta Venus este cea mai „fierbinte” planetă din sistemul nostru solar, deși Planeta Mercur este mai aproape de soare.

Și atunci, dacă efectul de seră este așa de important și de util, de unde vine îngrijorarea actuală legată de evoluția GES în contextul încălzirii globale?

Dar, să explicăm fenomenul, pas cu pas.

### 1.2.1. Ce este efectul de seră.

De unde vine numele „efect de seră”? Ce este o seră?

O seră sau un solar este o incintă închisă și acoperită cu geamuri transparente (din sticlă sau plastic; la solarii se folosește o folie specială, rezistentă la UV) pentru a capta energia solară. Lumina solară pătrunde în interiorul serei. O parte este absorbită de plante în procesul de fotosinteză, iar o parte este absorbită de sol și de pereți, care se încălzesc. Dar căldura nu poate părăsi incinta deoarece este un spațiu închis. Practic, pereții transparenți ai serei permit razelor solare să intre dar nu permit evacuarea căldurii din incintă.

De menționat că spectrul vizibil este numai o parte a luminii, adică este intervalul de radiații electromagnetice care pot fi percepute de ochiul uman (de celulele retinei). Pe lângă spectrul vizibil mai sunt: frecvențele joase (infraroșii) și frecvențele ridicate (ultravioletele) care nu sunt recepționate de ochiul uman.

Ceea ce oamenii percep a fi căldură este, în mare parte, radiație infraroșu. Nu este vizibilă, dar corpul uman o percepe. Diferite materiale absorb sau rețin o parte din această energie, pe care o înmagazinează, iar apoi o elimină sub formă de căldură.

Revenind la seră, pereții transparenți și gazele din interior permit energiei solare să pătrundă, dar atunci când această energie este re-emisă sub formă de căldură (radiație în infraroșu) nu mai permite evacuarea acesteia în atmosferă.

### 1.2.2. Cum acționează efectul de seră.

Atmosfera terestră, în mare parte, este transparentă la radiația în infraroșu, permițând trecerea neperturbată.

Așa numitele gaze cu efect de seră absorb și re-emit radiația în infraroșu în toate direcțiile, ridicând temperatura atmosferei.

Efectul de seră este un proces la scară planetară. Dacă în atmosferă nu ar exista gazele cu efect de seră energia absorbită de la Soare sub formă de căldură ar fi eliminată în totalitate din sistem.

La fel ca și materialele de la nivelul solului, aceste gaze vor elibera, în timp, căldura pe care au capturat-o, sub formă de radiații în infraroșu.

Prin acest proces, gazele cu efect de seră captează și mențin căldura, în jurul Planetei, ca o pătură.

Nu toate gazele din atmosferă au același efect. Deși bioxidul de carbon este cel mai blamat, unele gaze existente în atmosferă sunt mai puternice, fiind capabile să radieze până la mii de ori mai multă căldură, per moleculă, comparativ cu  $CO_2$ . De asemenea, fiecare gaz de seră are o anumită durată de viață, adică o perioadă limitată de timp în care să rămână în atmosferă și să participe la efectul de seră. Această durată de viață depinde de proprietățile chimice ale gazului respectiv (interacțiunea cu alți compuși din mediul înconjurător și cât de repede se descompun sub acțiunea radiației solare).

Cert este că în situația când cantitatea de gaze cu efect de seră din atmosferă crește, crește și temperatura atmosferei, mai mult sau mai puțin, pe o durată mai lungă sau mai scurtă.

Într-o ordine, cele mai mari cantități de gaze cu efect de seră din atmosfera terestră sunt menționate în tabelul de mai jos:

Nr. crt.	Denumirea gazului	Contribuție la efectul de seră
1	Vaporii de apă, $H_2O$	36 – 72 %
2	Dioxidul de carbon, $CO_2$ ;	9 – 26 %

3	Metanul, $CH_4$ ;	4 – 12 %
4	Protoxidul de azot, $N_2O$ ;	5 - 7%
5	Ozonul,	3 – 7 %
6	Clorofluorocarburile (freonii)	
7	Hidrofluorocarburile	

Trecând la o analiză a principalelor componente ale GES, se pot menționa următoarele:

Vaporii de apă  $H_2O$ ,

-Rețin căldura în atmosferă și cresc capabilitatea dioxidului de carbon de a capta căldura;

-Acționează ca GES și potențiază alte GES;

-Este cel mai abundent GES din atmosfera terestră;

-Este considerat ca fiind unul din cele periculoase GES în ciuda efectului relativ scăzut per unitatea

de masă;

-Riscul revine din potențialul vaporilor de apă de a forma o spirală periculoasă: pe măsură ce clima se încălzește, mai multă apă se evaporă în atmosferă, ceea ce duce, în continuare, la creșterea temperaturilor și a ratei de evaporare;

-Acest proces poate duce la o încălzire necontrolată a climei, cu efecte devastatoare și, probabil, fatale pentru civilizația umană.

Dioxidul de carbon,  $CO_2$ ;

-Este principalul GES emis în atmosfera terestră de activitatea umană și, ca urmare este principala țintă a eforturilor de reducere a emisiilor. Adesea, este folosit ca etalon al factorului de poluare atmosferică cu GES. Aproximativ 65% din emisiile antropice sunt reprezentate de  $CO_2$ .

-Dioxidul de carbon este un produs material al respirației vegetale și animale, al descompunerii materiei organice prin putrezire, al incendiilor materialelor combustibile sau a erupțiilor vulcanice.

-Sistemele naturale, ecosistemele, au nevoie de acest gaz și au capacitatea de a absorbi o anumită cantitate din aer prin activitatea lor, de exemplu, prin creșterea masei vegetale.

-În prezent, acumularea acestui gaz în atmosferă se datorează, în principal, activității umane.

Procesele industriale, agricultura, arderile de deșeuri și, mai ales, arderea combustibililor fosili degajă cantități masive de  $CO_2$ , care sunt peste capacitatea ecosistemelor globale de a le îndepărta.

-Anual, sunt emise cca. 50 miliarde tone  $CO_2$ , din care, peste o treime se datorează producerii energiei electrice și industriei transporturilor.

-Are cel mai slab efect de încălzire din principalele GES, dar se emite din abundență și are una din cele mai lungi durate de viață ( o moleculă de  $CO_2$  poate să persiste în atmosferă între 300 și 1.000 ani), ca urmare, are cel mai pronunțat efect de încălzire per total.

-Se estimează că aproximativ 65% din intensitatea efectului de seră, peste normalul din prezent, este cauzată de  $CO_2$ .

Gazul metan,  $CH_4$ .

-Reprezintă aproximativ 11% din emisiile antropice.

-Este produs natural prin descompunerea materiei organice, prin digestia animalelor, arderea incompletă a materiei organice.

-Antropic, cea mai mare cantitate de metan este emisă de scurgerile accidentale de la exploatările de zăcăminte de combustibili (petrol, cărbune, gaze naturale).

-O cantitate importantă de metan este produsă de sectorul agricol și de gropile de gunoi.

-Emisiile anuale antropice de metan sunt estimate la cca. 540 milioane tone.

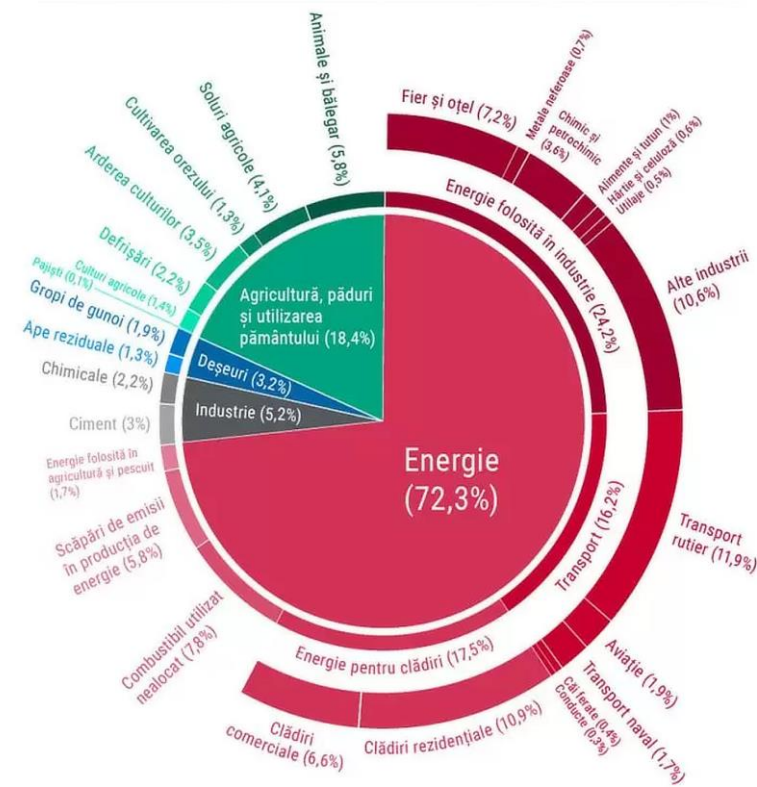
-Deși cantitatea de metan emisă este mult mai mică decât cea de dioxid de carbon, metanul este de cca. 80 ori mai puternic, ca efect de seră, comparativ cu dioxidul de carbon. Din fericire, durata de viață a metanului în atmosferă este de numai câteva decenii.

-Se estimează că aproximativ 25% din intensitatea efectului de seră, peste normal, din prezent, este cauzată de metan.

Protoxidul de azot,  $N_2O$ .

-Reprezintă cca. 6% din totalul emisiilor antropice, două treimi din acesta provine din agricultură, unde azotul este folosit ca îngrășământ;

-Alte surse: activități industriale, arderea combustibililor fosili și a deșeurilor, procesarea apelor



reziduale în stațiile de epurare.

-Protoxidul de azot este folosit activ de plante și persistă în atmosferă cca. 110 ani când este fixat (absorbit) de bacteriile din sol care trăiesc în simbioză cu rădăcinile plantelor.

-Are un efect de seră de aproximativ 300 ori mai pronunțat decât dioxidul de carbon.

Gazele fluorurate.

-Sunt emise, în principal, de activitățile industriale și comerciale, dar și de unele bunuri de uz casnic.

-Deși sunt întâlnite în cantități mici în atmosferă, au un potențial de efect de seră de până la 10.000 ori mai mare comparativ cu dioxidul de carbon.

Sunt longevive în atmosferă, putând supraviețui între 2.500 și 50.000 ani.

Provoacă distrugerea stratului de ozon.

1.2.3. Cauzele pentru care efectul de seră constituie o problemă.

Efectul de seră, în sine, nu constituie o problemă. Dacă nu ar exista suprafața Pământului ar trece prin variații imense de temperatură dintre zi și noapte, care ar face ca viața să fie imposibilă.

Dacă nivelul gazelor cu efect de seră crește, crește și temperatura planetei. Activitățile industriale ale omenirii duc la creșterea nivelului gazelor cu efect de seră din atmosferă, în special, a dioxidului de carbon și a metanului, efectul fiind creșterea temperaturii.

Nivelul GES din atmosferă nu a fost constant în istoria geologică a Pământului. Spre exemplu, în perioada geologică cunoscută sub numele „Carbonifer”, Planeta a trecut printr-un episod de creștere masivă a cantității de plante, care a avut ca efect consumul exagerat de  $CO_2$ , din atmosferă. Efectul a constat în creșterea cantității de oxigen din aerul atmosferic de la 21% la cca. 35%.

Pe lângă aceasta, scăderea cantității de  $CO_2$  din atmosferă a condus la o glaciațiune puternică cauzată de scăderea efectului de seră.

În sens opus, timp de 55 milioane de ani, în perioada numită „Eocen”, nivelul GES a fost foarte ridicat, producându-se o încălzire masivă a Planetei.

În prezent, problema este similară, omenirea emite GES în activitățile sale, dar cu o intensitate ridicată, un fenomen ce poate fi devastator pentru viața pe Pământ.

Problema gravă din prezent constă în faptul că modificările cantităților GES se produce accelerat comparativ cu Carbonifer și Eocen, când variațiile s-au produs în milioane de ani.

În epoca modernă, schimbarea antropică a climei a început în anii 1800, odată cu revoluția industrială. Mai mult de jumătate din acest efect a-a produs în ultimii 50 ani.

**Fig.1.1. Emisiile globale cu efect de seră la nivelul anului 2021.**

Rata de schimbare este mult mai mare decât pot ecosistemele să suporte. Ca urmare, temperaturile medii anuale cresc alarmant de repede.

Printre efectele creșterii GES se numără: dispariția unor specii de plante și viețuitoare, deșertificare, intensificarea fenomenelor meteorologice violente, împutinarea rezervelor de hrană sălbatică (exemplu: peștii oceanelor), scăderea productivității agricole, seceta persistentă, insuficiența rezervelor de apă potabilă).

În prezent, este imposibil să fie determinată cantitatea de GES eliberată, anual, în atmosfera Pământului.

### **1.3. Energia electrică.**

Începând cu anul 2000, cererea globală de energie electrică a crescut, anual, cu 3%, atingând o valoare de 22.000 TWh, în 2017.

Scenariul noilor politici ale AIE (Agenția Internațională a Energiei – Internațional Energi Agency) estimează o cerere de energie electrică de 26.000 Twh în 2025 și 35.000 TWH în 2040, reprezentând o rată medie anuală de creștere de 2,6%.

Electricitatea va reprezenta vectorul energetic cu cea mai rapidă creștere, în special, generarea din surse regenerabile ca o cale accesibilă spre decarbonizare.

Un potențial aport spre decarbonizare îl reprezintă folosirea, în continuare, a centralelor electrice nucleare.

În dezvoltarea sectoarelor de energie electrică regenerabilă sunt cuprinși mai mulți jucători diferiți: generare, transport și, în final, consum.

Tehnologiile cheie pentru sectorul energetic se împart în patru grupuri principale:

-surse regenerabile de energie: solar-fotovoltaic, eolian la uscat, hidroenergie, eolian offshore, solară concentrat (concentrated solar power – CSP);

-surse de stocare a energiei electrice: pe termen scurt (zilnic) și pe termen lung (săptămânal / sezonier);

-alte opțiuni de flexibilitate (rezervoare hidroenergetice, bioenergie) și gestionarea cererilor;

-captarea, stocarea și reutilizarea dioxidului de carbon rezultat în urma funcționării termocentralelor.

Se constată o dezvoltare a sectoarelor fotovoltaice și eoliene. În domeniul sectorului fotovoltaic se constată o extindere pe seama reducerii cheltuielilor cu investițiile și creșterea eficienței.

În domeniul eolian, scăderea prețurilor în domeniul investițiilor s-a bazat pe creșterea concurenței între furnizori pe întreg lanțul de aprovizionare. De asemenea, a crescut eficiența turbinelor eoliene, prin creșterea înălțimii de amplasare și scăderea vitezei de rotație a rotorului cu pale. Se așteaptă o dezvoltare mai pronunțată a sectorului eolian offshore, care, în prezent, încă nu este competitiv cu cel terestru.

Cert este că pe plan mondial, investițiile în domeniul energiei regenerabile cunosc o dezvoltare prioritară.

Stocarea energiei electrice ne-dispecerabile a fost, în mod tradițional, asigurată prin stocare hidroenergetică. Dar investițiile în acest domeniu sunt foarte mari, iar nevoia crescândă de stocare pentru a sprijini dezvoltarea masivă a energiei regenerabile ne-dispecerabile din ultimii ani a condus la analiza altor opțiuni, în special bateriile Litiu – ion, cu toate că în prezent există opinii contradictorii cu privire la evoluția viitoare a acestor baterii, în special în ceea ce privește costurile și disponibilitatea materialelor specifice.

Tot în acest domeniu, cercetările sunt orientate spre reciclarea acestor baterii, care, în prezent, nu este viabilă din punct de vedere economic.

Problemele legate de deficitul de materii prime (litiu, cobalt) poate genera blocaje în livrare, iar pentru a preîntâmpina aceasta, cercetătorii lucrează la descoperirea de materiale alternative.

#### Despre bateriile de stocare.

Tesla a dezvoltat o baterie Litiu -ion de 100 MW/129 MWh, cea mai mare din lume, care funcționează în Australia de Sud, din decembrie 2017, ca sistem de tampon la întreruperile frecvente de curent din această zonă. Bateria este conectată la un parc eolian unde stochează energia electrică disponibilă (ne-dispecerabilă) și o furnizează în sistem când este cerere.

Dezavantajul bateriei constă în pierderile cu auxiliarele:

-sistemele de răcire a elementelor bateriei;

-conversia tensiunii de la AC la DC și, apoi, la AC, cu un randament total de 80%.

China a realizat o baterie Litiu – ion cu o stocare de 36MWh, utilizând baterii Litiu – ion auto recondiționate (preluate de la 36 autoturisme – taxi, după ce au parcurs 4.000 cicluri).

Pentru viitorul apropiat, energia electrică obținută în centralele nucleare rămâne o opțiune viabilă în multe regiuni ale lumii, dar problemele legate de acceptabilitatea publică și de costurile ridicate a investițiilor limitează extinderea.

Un viitor promițător îl vor avea reactoarele nucleare cu putere mică, dar în general, energia nucleară devine din ce în ce mai scumpă din cauza standardelor tot mai stricte privind siguranța.

Cu toate acestea energia nucleară va rămâne un concurent al energiei fotovoltaice, eoliene și a sistemelor de stocare a acestora.

Așa cum se prezintă mai sus, decarbonizarea sectorului energetic va necesita o serie de combinații de tehnologii plecând de la considerentul că fiecare opțiune are avantaje și dezavantaje. Mai mult, este nevoie de o colaborare semnificativă internațională deoarece fragmentarea excesivă a cercetărilor între țări duce la rezultate insuficiente.

Pentru viitor, cantități semnificative de energie electrică regenerabilă vor fi orientate spre sectoare semnificative privind Decarbonizarea 2050:

- power - to – gas, producere de hidrogen, metan
- power - to – liquides, producere de amoniac și metanol;
- power - to – desalination, desalinizarea apei de mare.

## 2.PERSPECTIVA PRIVIND PRODUCȚIA DE COMMBUSTIBILI ALTERNATIVI ȘI INFRASTRUCTURA AFERENTĂ.

Viitoarea piață a combustibililor pentru transportul maritim va fi mai diversă, bazată pe mai multe surse de energie, interconectate și integrate cu piețele energetice și cu industria regională.

Ca urmare a cerințelor GES, armatorii vor trebui să aplice noi tehnologii în domeniul construcțiilor de nave și de fabricare a combustibililor.

Rezultatul va consta într-o tranziție profundă în modul cum viitorii combustibili marini vor fi produși și puși la dispoziția flotei de transport maritim.

Pe viitor, pentru combustibilii marini va fi necesară o colaborare strânsă a transportatorilor și armatorilor cu principalii furnizori de combustibili cu conținut redus de carbon și neutri din punct de vedere al carbonului.

Porturile vor juca un rol cheie în tranziția maritimă ecologică, servind ca „hub-uri energetice”, care furnizează atât energia electrică de la mal cât și infrastructura pentru depozitarea și alimentarea navelor cu combustibili, dar și pentru fabricarea de motoare de propulsie adecvate și de crearea a culoarelor verzi.

### 2.1.Lanțul existent de aprovizionare cu combustibili.

Situație actuală de bunkerare este aceea a unei piețe globale de petrol, o piață matură, cu o infrastructură dezvoltată complet, unde prețul țițeiului determină, în cea mai mare parte, costul energiei livrate unei nave.

Această piață a bunkerajului este dominată de diferite tipuri de combustibili fosili:

- păcură grea, HFO – Heavy Fuel Oil;
- combustibil diesel marin, MDO – Marine Diesel Oil;
- motorină pentru motoare navale, MGO – Marine Gas Oil;
- păcură cu conținut redus de sulf, VLSFO – Very Low Sulphur Fuel Oil;
- gaz natural lichefiat, LNG – Liquefied Natural Gas.

#### a. HFO – Heavy Fuel Oil.

Este o categorie de combustibil cu o consistență asemănătoare gudronului. Acest produs petrolier este cunoscut și sub numele de *combustibil de buncăr (bunker fuel)* sau *păcură reziduală (residual oil fuel)*.

Este un produs rezidual rezultat în urma procesului de distilare și de cracare a țițeiului.

Ca urmare, HFO este contaminat cu mai mulți compuși diferiți, inclusiv aromatici, sulf și azot, ceea ce face ca emisiile de ardere să fie mai poluante în comparație cu păcura obișnuită.

Principalele caracteristici fizico – chimice ale HFO se prezintă în tabelul de mai jos.

Nr. Crt.	Caracteristica	U/M	HFO	HFO în emulsie cu 20% apă
1	Densitate	kg/m <sup>3</sup>	931,9	950,9
2	Punct de aprindere	Grad. C	147	-
3	Conținut de sulf	%	0,41	0,32
4	Punct de curgere	Grad C	9	15
5	Vâscozitate cinematică	cSt	135,5	249,9
6	Apă în sediment (vol.)	%	0,5	20,45
7	Conținut de apă (vol.)	%	0,46	20,03
8	Carbon	%	82,62	66,89
9	Hidrogen	%	11,49	12
10	Azot	μg/g	1833	1368
11	Putere calorifică inferioară	KJ/kg	41640	32444
12	Putere calorifică superioară	KJ/kg	43994	34278

Datorită gradului înalt de poluare al gazelor de evacuare rezultate în urma arderii HFO, inclusiv

carbonul negru, IMO interzice folosirea acestuia la bordul navelor care operează în apele polare (Antarctica, Oceanul Arctic).

De asemenea, din motive de poluare atmosferică locală a mediului și de siguranță a navei, este interzisă funcționarea motoarelor alimentate cu HFO în rade închise și incinte portuare.

În ceea ce privește, HFO, ca produs rezidual de rafinare, conține sulf în strânsă corelare cu regiunea din care este extras țițeiul. Cantități considerabile de sulf (1,9 – 5,0)% conțin țițeiurile extrase din Orientul Mijlociu și America de Nord.

Țițeiul extras de pe teritoriul României are un conținut foarte redus de sulf.

În cilindrii unui motor diesel naval cu putere mare se injectează o cantitate semnificativă de HFO, care, prin adere, generează temperaturi mari ce depășesc 2.000 K, favorizând formarea compușilor azotului (NOx). Pentru a controla această temperatură ridicată (să nu depășească 2.000 K) în cilindrii motorului se injectează o emulsie HFO cu apă tehnică. Acest procent de apă este variabil, în funcție de diametrul cilindrilor. Spre exemplu, la un motor cu diametrul cilindrilor mai mare de 900 mm, emulsia conține 20% apă.

**b. MDO – Marine Diesel Oil – Combustibil Diesel Marin.**

Este un amestec de păcură, HFO (75%) și motorină, MGO (25%).

Se folosește la alimentarea motoarelor diesel navale semi-rapide și lente în patru și doi timpi.

Nu necesită preîncălzire pentru alimentarea motorului.

Se mai întâlnește și sub numele de „Intermediate Fuel Oil” (IFO).

**c. MGO – Marine Gas Oil – Motorină pentru motoarele navale.**

Este un combustibil fabricat prin distilarea (rafinarea) țițeiului.

Din punct de vedere al compoziției chimice, este un amestec de hidrocarburi diferite, distilate.

Se deosebește de motoria pentru transportul auto prin aceea că are o densitate mai mare și un punct de congelare mai mic ( $-15^{\circ}C \div -20^{\circ}C$ ).

Pentru alimentarea motoarelor de la bordul navelor nu necesită preîncălzire. Temperatura optimă de folosire la bordul navei este  $+20^{\circ}C$ .

Are o culoare transparentă, ușor gălbuie. În cazul transportului fluvial, este colorată în roșu, pentru a nu lua alte destinații.

De regulă, este folosită pentru alimentarea motoarelor diesel de la bordul navelor fluviale, navelor de pescuit costier, ferry-boaturi mici, remorhere de radă și portuar, șalupe cu diverse destinații.

**d. LNG – Liquefied Natural Gas – Gazul natural lichefiat.**

Este gazul natural (predominant Metan,  $CH_4$ , cu un amestec de Etan,  $C_2H_6$ ) care a fost adus sub formă lichidă prin răcire, pentru a se facilita transportul și depozitarea ne-presurizată. Forma lichidă ocupă aproximativ  $1/600$  din volumul în stare gazoasă (în condiții standard de presiune și temperatură)

Pentru lichefiere, gazul este pregătit prin îndepărtarea impurităților, gazelor inerte, vaporilor de apă și hidrocarburilor lichide.

Pentru lichefiere, gazul este răcit la temperatura de  $-145^{\circ}C \div -163^{\circ}C$ , după care, lichidul este transferat în rezervoare de stocare cu preți dubli, cu spațiul vidat (efectul „termos”) și izolate termic la exterior.

Pentru alimentarea motorului diesel, lichidul este trimis într-o instalație de regazificare, după care este transferat într-un vaporizator și adus la parametrii normali

Pe durata manevrării sub formă lichidă, este interzis contactul cu apa deoarece apare fenomenul de „explozie de tranziție de fază”.

Principalele caracteristici fizico – chimice.

-conținut de carbon:	75%;
-conținut de hidrogen:	25%;
-greutate moleculară:	16 – 18 g;
-densitate:	0,79 [ $kg/m^3$ ];
-viteza de propagare a flăcării:	5,3 – 15,0 m/s;
-temperatura de autoaprindere:	$+730^{\circ}C$ ;
--puterea calorifică superioară:	50.000 Kj/kg.

Approape tot combustibilul bunkerat (99,98%) și consumat în 2019 este inclus în această categorie, conform IMO 2021.

Cantitatea totală de combustibil bunkerat și vândut navelor a fost de 217 Mt, inclusiv LNG, conform datelor furnizate de IEA (International Energy Agency, 2021).

Sau vehiculat și alte cantități (190 Mt, 210 Mt) dar această cifră pare a fi reală deoarece este comparabilă cu cea confirmată de IMO, de 213 MT consumată de nave maritime cu deplasamentul total de 5.000 Gt.

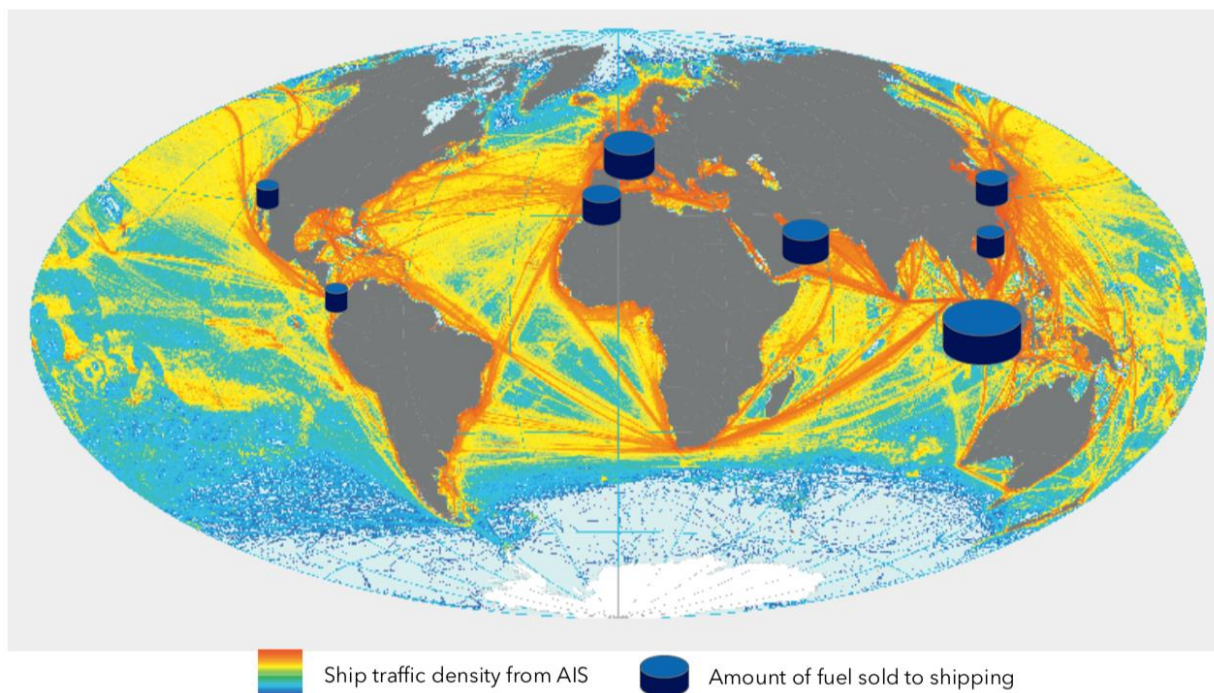
Cifrele au la bază informațiile transmise de armatori.

La această cifră se adaugă 57 Mt, consumate de transportul intern (fluvial, lacuri) și de flota de pescuit.

GNL, combustibilul cu emisii scăzute, a devenit din ce în ce mai „popular”, cu un consum de aprox. 10,5 Mt, în 2019 și de aprox. 12 Mt, în 2020 (raport IMO – 2021).

Aproximativ 75% din cantitatea de combustibil specificată mai sus a fost consumată de trei clase de nave maritime: cisterne – tancuri petrolier, vrachiere și port-containere.

Așa cum se prezintă pe Fig. 2.1, se estimează că 55% din combustibili bunkerăți anual pe plan mondial, sunt comercializați în 10 noduri majore de bunkerare. Dar combustibilii convenționali, inclusiv MDO, sunt disponibili în majoritatea porturilor.



**Fig.2.1.** Densitatea traficului maritim mondial.  
Cele 10 noduri majore de bunkerare.

Principalele metode de bunkerare a combustibililor convenționali sunt:

- autocisternă - navă; un sistem folosit foarte rar;
- rezervor de la mal – navă; un sistem inflexibil;
- navă de bunkeraj – navă ; utilizat pe scară largă, care permite transferul unei cantități mari de combustibil într-un timp foarte scurt.

Pentru GNL folosit la alimentarea motoarelor diesel de la bordul navei, se utilizează următoarele sisteme:

- cisternă pentru produse criogenice – navă;
- transfer la bordul navei din tancurile de marfă (gazele de evaporare, în cazul navelor care transportă

LNG);

-navă de bunkerare – navă; în prezent, numai portul Rotterdam dispune de o navă de bunkerare pentru LNG.

## **2.2. Viitoarele lanțuri de aprovizionare a flotei maritime cu energie.**

### **Principalele bariere.**

Figura 2.2. prezintă un lanț simplu de aprovizionare: sursă de energie – producția combustibilului – aprovizionarea flotei de transport maritim cu combustibilii existenți în prezent.



**Fig.2.2.** Lanțul simplu de aprovizionare a navelor maritime cu combustibili fosili.



Pentru cei lichizi, lanțul este: extragere – rafinare – distribuție.

Pentru cei gazoși: extragere – separare – lichefiere – distribuție.

Viitorul combustibililor neutri din punct de vedere al carbonului este, încă, indecis. Cu toate acestea, lanțurile de aprovizionare, în vederea satisfacerii cerințelor viitoare, trebuie să se modifice dramatic pentru a reuși furnizarea mai multor tipuri de combustibili neutri din punct de vedere al carbonului (sau cu conținut foarte mic de carbon).

Funcțiile de sursele de energie implicate în producerea de combustibili neutri – carbon, sau cu conținut redus de carbon, se identifică *trei familii*:

**a. Biocombustibili**, rezultați prin prelucrarea biomasei durabile, de exemplu: deșeuri forestiere, deșeuri agricole, deșeuri de la fermele zootehnice, deșeuri menajer etc.

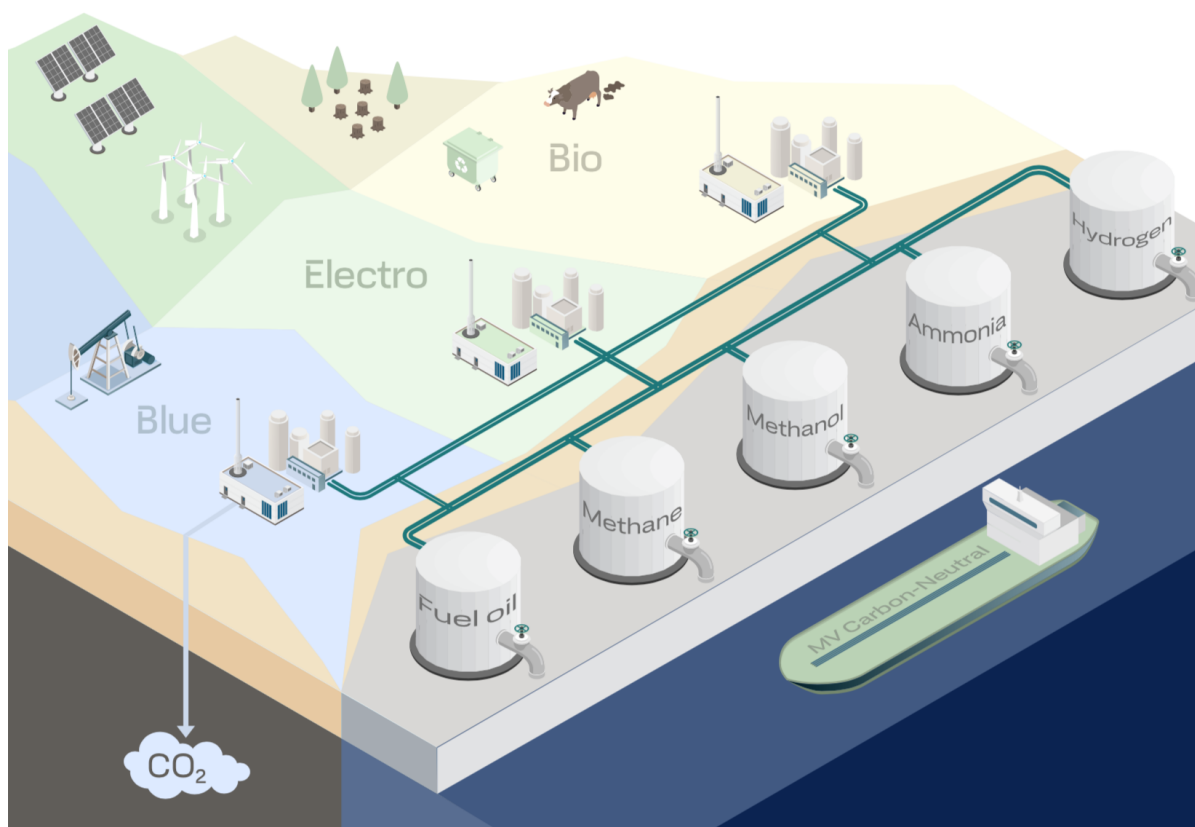
Prelucrând aceste deșeuri, se reduc emisiile libere de  $CO_2$  în atmosferă, iar cel rezultat în urma arderii bio-combustibililor poate fi captat.

**b.** Energia fosilă poate fi folosită pentru a crea combustibili neutri – carbon, prin captarea  $CO_2$  și depozitarea permanentă a acestuia (CCS – Capture Carbon and Storage). Acești combustibili sunt cunoscuți sub denumirea generică de Familia **combustibililor albaștri**.

**c.** Electricitatea regenerabilă poate fi folosită pentru a crea combustibili neutri – carbon pe bază de hidrogen rezultat în urma electrolizei apei și a altor reacții.

Aceștia constituie familia **electro-combustibililor** sau a **combustibililor verzi**.

Indiferent de modul de producere, combustibilii neutri – carbon vor necesita depozitare și distribuție, cu respectarea unei multitudini de condiții de presiune și temperatură (v Fig 2.3). Aceste condiții specifice fac să existe o multitudine de lanțuri de aprovizionare



**Fig.2.3.** Cele trei variante de asigurare a combustibililor neutri – carbon (Blue, Electro, Bio).

### 2.2.1. Sursele de energie.

Asigurarea viitoare de combustibili pentru transportul maritim se va baza pe disponibilitatea și prețurile surselor de energie electrică din surse regenerabile, biomasă și energie fosilă CCS.

În mod normal, prețul energiei electrice din surse regenerabile este în scădere și se dezvoltă rapid.

Fabricarea de electro-carburanți pentru transportul maritim necesită cantități uriașe de surse regenerabile. Necesarul este agravat de faptul că electricitatea regenerabilă este necesară pentru decarbonizarea și a altor sectoare: transportul terestru, producția industrială, cererile de metanol și amoniac pentru producția industrială, agricultura etc.

Un aspect cheie îl reprezintă eficiența energiei electrice la propulsia navelor. Poate fi folosită cu eficiență, în mod direct, de la mal (procedul „cold ironing”) sau pentru încărcarea bateriilor de acumulatori.

Când electricitatea se folosește pentru producerea electro-combustibililor, se înregistrează pierderi mari de energie pentru producție, distribuție și conversie la bordul navei.

Toate acestea conduc la situația în care numai 20% din energia electrică ce intră de la uscat (prin combustibilii neutri – carbon) ajunge la elicea navei. Această eficiență scăzută înseamnă că 26 MWh energie electrică de la uscat înlocuiește o tonă de HFO, cu o energie care intră în motor, de aprox. 12 MWh. Eficiența energetică scăzută de utilizare, se adaugă la eficiența scăzută de obținere a energiei electrice regenerabile, la care se adaugă cheltuielile cu investițiile, care nu sunt de neglijat.

Acesta este un aspect important atunci când se iau în considerație emisiile globale de GES, atât din transportul maritim cât și pentru obținerea electricității necesare utilizării onshore.

În ceea ce privește biocombustibilii, bariera principală o constituie disponibilitatea materiei prime (biomasa durabilă). Studiile arată că sunt cantități suficiente de materie (biomasă) ce poate fi folosită pentru producerea de combustibili necesari propulsiei navelor maritime. Această materie este formată din: deșuri din silvicultură, deșuri din agricultură, ulei de gătit uzat.

Dar, cu tot optimismul manifestat, se impune să se țină cont de următoarele:

-sunt constrângeri asupra aprovizionării cu biomasă și în stabilirea categoriilor ce constituie biomasa durabilă;

-care este potențialul tehnic de livrare a biomasei;

-fezabilitatea și logistica transportului de biomasă la locațiile de extracție a biocombustibililor;

-transportul și utilitatea materiei rezultate în urma procesului de extracție a biocombustibililor.

În prezent, începe să se cristalizeze un consens că nu există potențial de extindere a producției de biocombustibili cu contribuție semnificativă la decarbonizarea sectoarelor pentru transportul maritim și pentru aviație.

Energia fosilă continuă să fie disponibilă din abundență, dar pentru producerea unor combustibili potențial neutri – carbon (combustibilii albaștri) sunt necesare investiții mari în tehnologia CCS.

Lanțul valoric CCS conține trei elemente:

-capturarea  $CO_2$ ;

-transportul gazului capturat;

-depozitarea permanentă sau utilizarea.

Sursele de  $CO_2$  pentru capturare sunt:

-direct, din aer;

-capturarea din gazele de ardere de la: termocentrale, rafinării de petrol, combinate siderurgice.

Implementarea limitată a infrastructurii CCS constituie o barieră majoră pentru perspectivele producerea combustibililor albaștri în cantitățile necesare.

Dar, chiar în procesul de producere a combustibililor albaștri nu se poate captura întreaga cantitate de  $CO_2$ . Capturarea totală implică cheltuieli semnificative, iar, în prezent, nici un investitor nu este dispus la aceste cheltuieli cu durată mare de amortizare sau chiar deloc.

În prezent, doar 5 din cele 21 de proiecte de captare a  $CO_2$  prevăd sisteme de stocare în cantități mari și de durată. Dar și aceste proiecte sunt combătute intens de către organizații de ecologiști:

Principalele soluții de captare și de stocare a  $CO_2$  se referă la :

-folosirea în industria petrolului și a gazelor;

-industria chimică de fabricare a materialelor de construcții pe bază de carbonați;

-depozitarea în puțurile de țitei epuizate;

-stocarea în rezervoare sub presiune, depozitate pe fundul mării

-producția de e-metan.

### **2.2.2. Producția de combustibili albaștri și verzi.**

În prezent, producția anuală de combustibili neutri -carbon sau cu conținut redus de carbon este orientată spre fabricarea amoniacului și a metanolului.

În anul 2021, producția totală (pentru diverse scopuri) a fost de 178 Mt amoniac și 98 Mt metanol, care dacă ar fi fost folosită integral în transportul naval maritim, ar fi reprezentat 45% din necesarul anual.

Producția anuală de amoniac și metanol este, în mare parte, pe bază de produse fosile.

Producția planificată de energie verde și energie albastră este de 109Mt echivalent petrol (Mt ep) în anul 2027, din care 79 Mt ep se vor produce în Europa.

Referitor la combustibilii verzi, dificultățile de producere la scară industrială sunt:

-asigurarea necesarului de energie electrică regenerabilă;

-asigurarea necesarului de hidrogen obținut prin electroliza apei;

-asigurarea  $CO_2$  durabil.

Referitor la hidrogen, sunt necesare cantități semnificative de apă pentru electroliză, ceea ce ar pune presiune pe necesarul de apă pentru populație, în unele zone. Ca urmare, va fi necesar să se apeleze la desalinizarea apei de mare, cu un consum semnificativ de energie electrică regenerabilă.

Dar și asigurarea necesarului de  $CO_2$  durabil constituie o problemă. Captarea direct din aer este o variantă, dar prețul este mare.

### **2.2.3. Distribuția și bunkerarea viitorilor combustibili.**

Dacă se dispune de suficientă energie electrică regenerabilă pentru capacitățile de producție, bariera finală în lanțul de aprovizionare îl constituie disponibilitatea infrastructurii pentru distribuție și bunkerare.

Bunkerarea constă în depozitarea și alimentarea navelor cu ajutorul cisternelor, prin conducte sau cu nave specializate.

Infrastructura existentă poate fi reutilizată pentru unii combustibili neutri – carbon, chiar dacă, pentru început, vor fi amestecați cu combustibili fosili

Combustibilii Bio – MGO și e- MGO pot folosi infrastructura de păcură, iar pentru Bio - LNG și e- LNG se poate folosi infrastructura LNG.

Pentru bunkerarea combustibililor speciali, costurile pot fi limitate pentru cei necriogenici, cum sunt metanolul și LOHC (liquid organic hydrogen carrier = compuși organici care pot absorbi și elibera hidrogen prin reacții chimice)

Pentru alții, cum ar fi hidrogenul comprimat sau lichefiat, costurile pentru infrastructura de bunkerare sunt substanțiale.

Din cele prezentate, rezultă că și costurile privind distribuția au variații semnificative, cele mai mari fiind pentru combustibilii criogenici.

Pentru amoniac și metanol există o rețea de distribuție prin care, anual, se transportă 50 Mt.

În perspectivă, dacă această cantitate de 50 Mt ar putea fi folosită pentru nave, ar putea substitui 25 Mt de combustibil fosil, ceea ce reprezintă 10% din consumul mondial anual.

În prezent, pe plan mondial, sunt 120 porturi implicate în transportul maritim al amoniacului, care au capacități de bunkerare a acestui combustibil neutru – carbon.

Coridoarele verzi pot cataliza o disponibilitate mai mare a combustibililor alternativi prin conectare regiunilor care dispun de facilități similare de bunkerare.

Porturile vor juca un rol cheie în tranziția maritimă a combustibililor, servind ca noduri energetice , oferind atât partea de uscat pentru energia electrică cât și infrastructura pentru depozitarea și alimentarea cu combustibili alternativi. Va fi esențial ca porturile să abordeze reglementări și probleme de siguranță generate de unii combustibili.

Un alt aspect al bunkeraajului, de luat în considerație, este acela al densității energetice inferioare a unor combustibili alternativi, ceea ce obligă navele să bunkereze mai frecvent, fapt ce obligă existența unor noduri intermediare.

Existența unui mix divers de combustibil va provoca porturile să decidă în ce infrastructură să facă investiții.

Pentru ca armatorii să aleagă un combustibil neutru – carbon, acesta trebuie să fie disponibil în porturile relevante și trebuie să existe siguranța privind producția și distribuția.

În prezent, există planuri de investiții privind dezvoltarea culoarelor verzi, dar sunt necesare și alte facilități, cu preponderență, în domeniul portuar.

## **3.COMBUSTIBILI NEUTRI – CARBON SAU CU CONȚINUT REDUS DE CARBON.**

### **3.1.Metanolul.**

*Metanolul*, cunoscut și sub denumirea de *alcool metilic*, este una din substanțele chimice produse pe plan mondial în cantități mari (aprox. 100 MT, anual).

În prezent, cea mai mare cantitate se produce din gaze naturale sau cărbune.

Așa cum se prezintă pe Fig.3.1, se cunosc patru procedee de fabricare:

- metanolul „maron”, obținut din cărbune, iar procesul de fabricare se eliberează în atmosferă o cantitate foarte mare de GES;

- metanolul „gri” obținut din gaz metan, iar  $CO_2$  rezultat în urma reacțiilor chimice de producere, este eliberat în atmosferă;

-metanolul „albastru”, obținut din gaz metan, iar  $CO_2$  rezultat în urma reacțiilor chimice de producere, este captat și stocat (CCS);

-metanolul „verde”, produs în urma reacției dintre hidrogen (obținut prin electroliza apei cu ajutorul energiei electrice regenerabile sau din bio-gaz) și a  $CO_2$  (separat din aerul atmosferic sau din alte surse).

### 3.1.1.Principalele caracteristici fizico – chimice:

-formula chimică:  $CH_3OH$  ;

-bio-degradabil, cu adere curată;

-lichid incolor, limpede, asemănător cu apa

-solubil în apă;

-fără miros perceptibil când este în concentrație mare;

-inflamabil;

-toxic, inhalat în cantitate mică produce orbirea (atacă nervul optic), iar în cantitate mare este letal;

--punct de fierbere:  $+64,7^{\circ}C$  ;

-punct de congelare:  $-97,6^{\circ}C$  ;

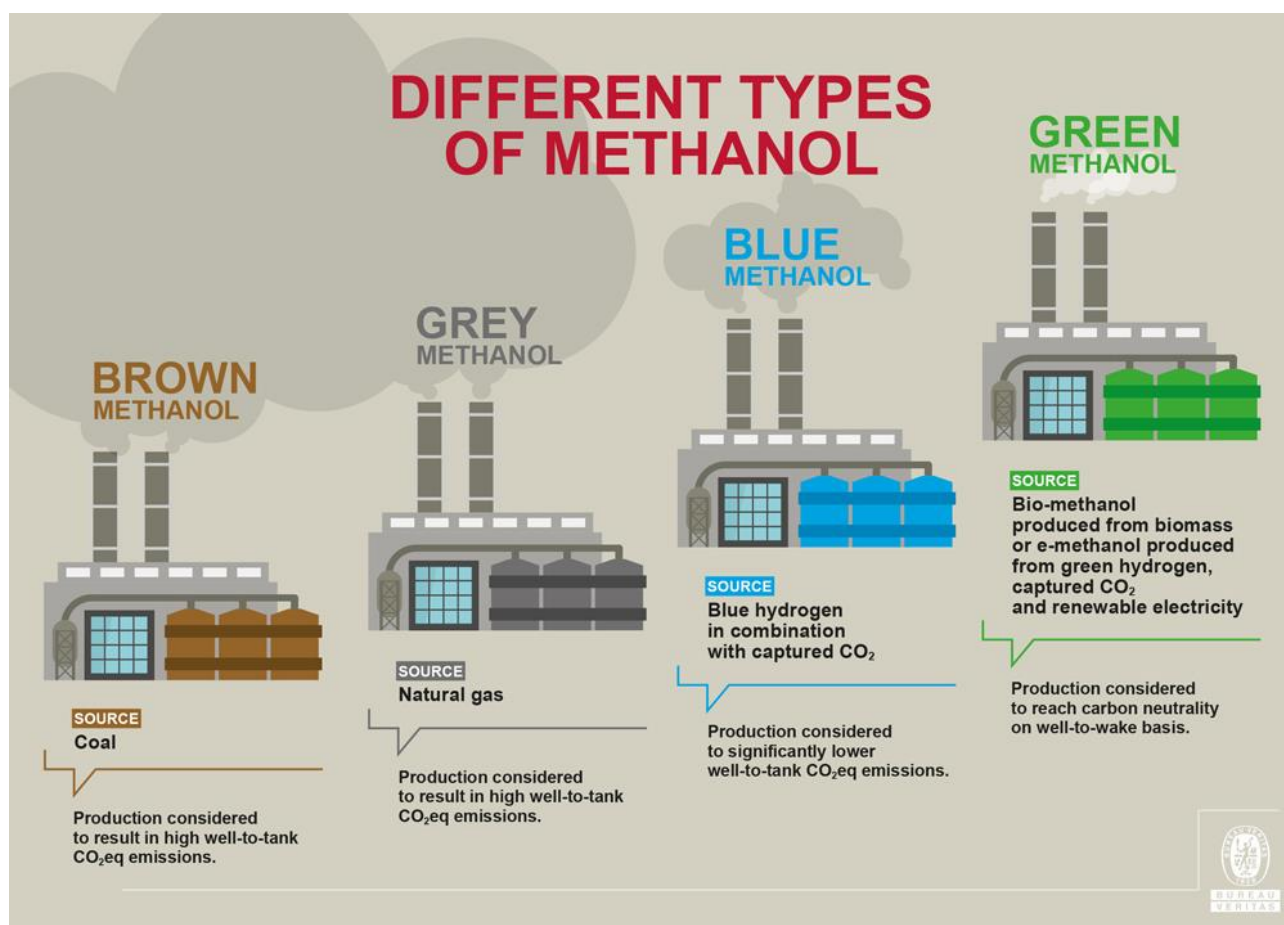
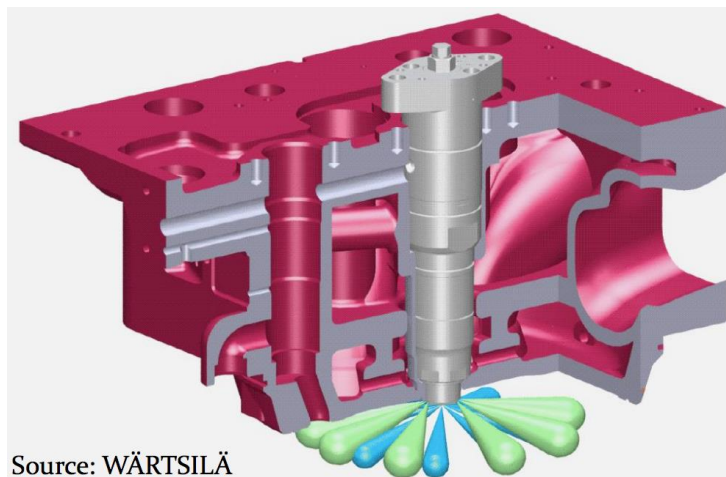


Fig.3.1.Cele patru variante de fabricare a metanolului

### 3.1.2.Despre utilizarea metanolului drept combustibil la bordul navelor maritime.

Prezintă randamente ridicate în motoarele diesel în patru timpi.

Este injectat în cilindrul motorului asemeni unui combustibil diesel lichid și este aprins de o cantitate mică de combustibil fosil, pilot, motorina tradițională (v. Fig.3.2)



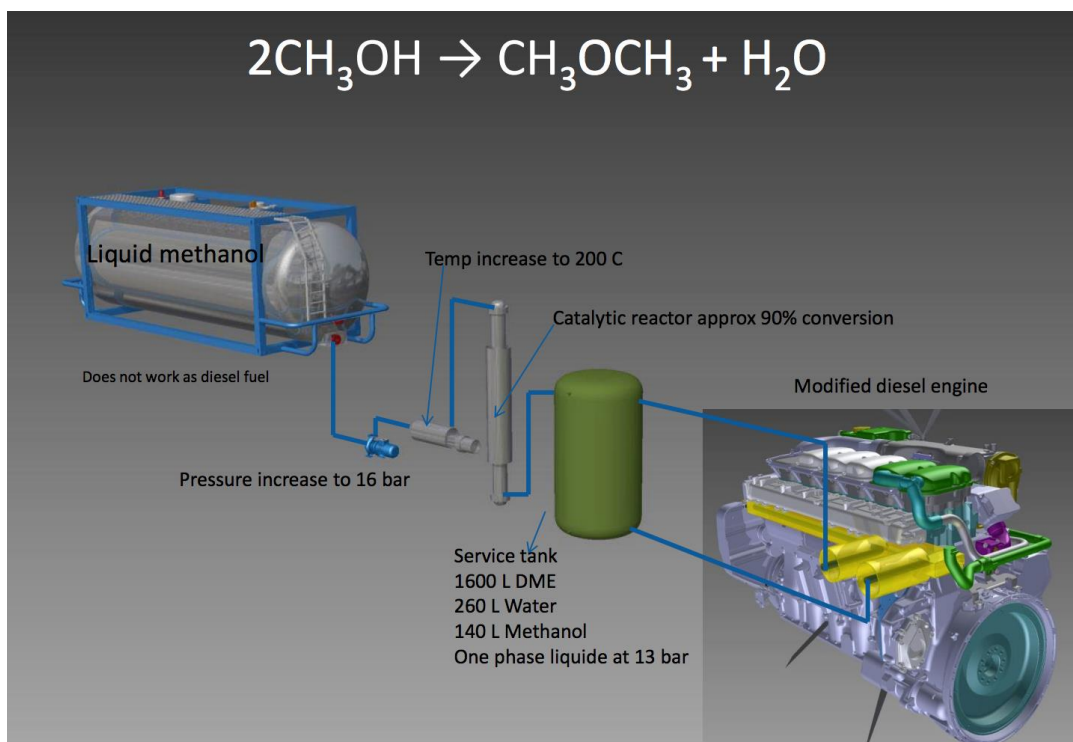
Source: WÄRTSILÄ

**Fig.3.2. Injecția metanol – combustibil fosil în cilindrul motorului diesel:**  
 -albastru -combustibil pilot – motorină;  
 -verde – metanol.

Domeniul de aplicare la motoarele diesel navele este limitat de schimbarea chiulasei, a injectoarelor și a pistonășelor pompelor de injecție, (la motoarele de concepție mai veche).

Un sistem de injecție modern, „common rail”, pentru metanol este recomandat și se va monta.

În plus, conversia motorului se va avea în vedere ca sistemul de injecție să cuprindă o pompă independentă de înaltă presiune pentru metanol cu unitate de ungere cu ulei special pentru etanșare și ungere a injectoarelor de combustibil.



**Fig.3.3.Schema de alimentare cu metanol a unui motor diesel naval.**

Se va utiliza o unitate de comandă și control, specială a motorului.

În tabelul de mai jos, se prezintă avantajele folosirii metanolului la navele maritime prin exploatarea, timp de un an a unui motor diesel de propulsie cu puterea de 400 kW.

Nr. Crt.	Specificația	U/M	Diesel MDO	Metanol
1	Prețul per. tonă	\$	1000	370

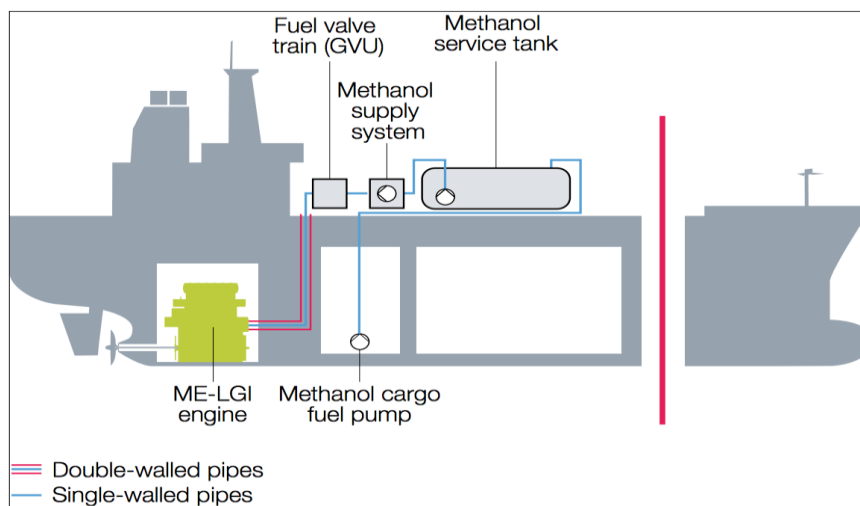
2	Conversie Euro / Dolar	E / \$	1,35	1,35
3	Pret per tonă	E	739	739
4	Putere calorifică superioară	KJ / kg	42770	19900
5	Cost pe unitatea de energie	E / kWh	0,06	0,05
6	Puterea motorului	kW	400	400
7	Sarcina motorului	%	75	75
8	Consum specific de combustibil	g / kWh	200	429
9	Consum anual de combustibil	tone	360	770
10	Costul anual	E	266036	211211
11	Diferență de preț	E	-	54825

Metanolul este un combustibil cu cifra de inflamabilitate scăzută. Ca urmare, navele care folosesc metanol trebuie să îndeplinească cerințele Codului internațional de siguranță a navelor care utilizează gaze sau alți combustibili cu punct de aprindere scăzut (cod IGF).

Pentru metanol, primele cerințe au fost elaborate în 2019, iar în luna iunie 2021 au intrat în vigoare două linii directoare:

- Reguli pentru tehnologii și inspecții la nave alimentate cu metanol/etanol;
- Reguli privind inspectarea sistemelor de alimentare cu metanol a navelor.

Dar nu este suficient. Sunt necesare standarde – norme pentru bunkerarea de la mal și de bunkerare „navă la navă”.



**Fig.3.4.** Schema de amplasare la bordul navei a unei instalații de alimentare cu metanol a motorului de propulsie.

Un motor diesel naval funcționează în sistem dual: metanol – combustibil fosil.

Pentru aceasta, motorul diesel suportă unele optimizări:

-există două circuite, independenta, de înaltă presiune: unul pentru metanol și unul pentru combustibil fosil;

-injecția metanolului este controlată de un sistem de monitorizare.

Arderea metanolului în cilindrul motorului în combinație cu combustibilul fosil nu creează efecte adverse. Emisiile de  $CO_2$ ,  $NO_x$ ,  $SO_x$ ,  $PM$  sunt la un nivel foarte scăzut.

Se recomandă ca sistemul de preparare și de păstrare a metanolului pregătit pentru introducerea în motor să fie amplasat pe o punte deschisă pentru o ventilație naturală eficientă.

În situația amplasării în spații închise sau semideschise sunt necesare norme speciale de siguranță.

Spațiile destinate îmbarcării, de preparare, de control vor fi protejate și separate structural de încăperile de locuit.

Se adoptă un sistem de conducte concentrice pentru traseele de la bord. Interstițiul dintre conducte va fi conectat la un sistem independent de ventilație, cu evacuare directă în atmosfera deschisă.

Extinderea folosirii metanolului pentru transportul maritim este afectat de următoarele inconveniente:

-cantitățile fabricate sunt insuficiente;

- număr limitant de fabricanți de motoare diesel adecvate;
- lipsa unor sisteme de bunkerare eficiente;
- număr limitat de furnizori de echipamente auxiliare ce sunt necesare a se monta la bordul navelor.

Cu toate acestea, există un optimism în rândul armatorilor și transportatorilor de mărfuri, în ceea ce privește extinderea utilizării metanolului pentru navele maritime.

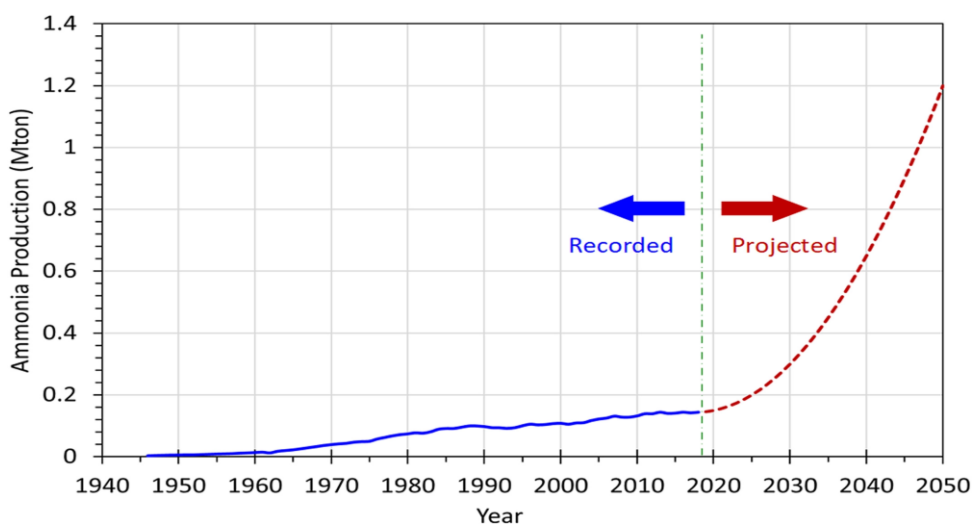
### 3.2.Amoniacul.

Amoniacul, ( $NH_3$ ), este cunoscut ca un gaz incolor, cu miros pătrunzător la temperatură normală. Amoniacul pur este hidrosopic și se dizolvă ușor în apă și umiditate. Este puternic coroziv, datorită proprietăților sale alcaline

Este unul din produsele chimice care se produce în cele mai mari cantități pe plan mondial. Peste 75% din cantitatea produsă în prezent este folosită în industria îngrășămintelor agricole. De asemenea, este folosit ca fluid de lucru în instalațiile frigorifice de mare capacitate.

Fig.3.5. prezintă evoluția producției de amoniac, începând cu anul 1945.

la nivel global, în anul 2021 s-au produs aproximativ 190 Mt, iar în 2050 se estimează o producție de 1,2 miliarde tone, de 8,2 ori mai mare comparativ cu producția din 2019.



**Fig.3.5.** Producția mondială de amoniac, începând cu anul 1945

Pe Fig.3.6 se prezintă variantele de fabricare și de folosire a amoniacului.

Gama sa versatilă și cu potențial larg de aplicare face o alternativă de utilizare în calitate de combustibili neutri – carbon.

Avantajele cheie sunt:

- amoniacul are trei atomi de hidrogen și unul de azot , fiind un potențial stocator și purtător de hidrogen;
- poate fi produs cu resurse energetice convenționale și regenerabile;
- transportul și depozitarea sunt mult mai sigure, comparativ cu hidrogenul;
- în procesul arderii nu emite  $CO_2$ ;
- poate fi detectat ușor în aer, când are loc o scurgere accidentală, din cauza mirosului pătrunzător și respingător;
- poate fi utilizat în calitate de combustibil pentru motoarele diesel navale, turbine cu gaze și arzătoarele din cazanele cu abur;

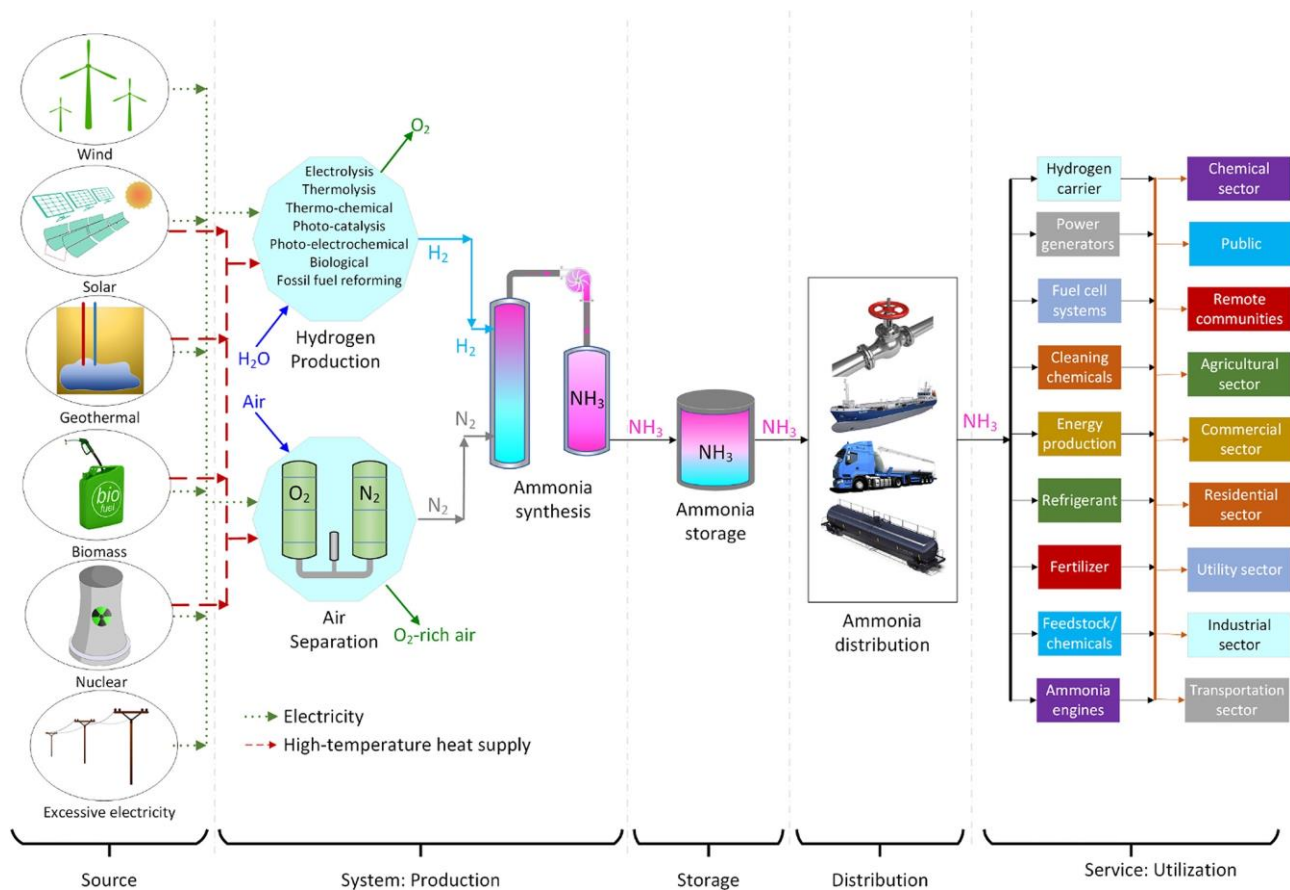


Fig.3.6. Variante de fabricare și de utilizare a amoniacului pe plan mondial.

### 3.2.1.Referitor la utilizarea drept combustibil neutru – carbon.

Încercările și teste de folosire în calitate de combustibil pentru motoarele diesel navale sunt de dată recentă, de aproximativ 20 ani.

Folosirea, în calitate de combustibil, prezintă următoarele avantaje:

- este ecologic, fiind lipsit de carbon;
- poate fi utilizat ca purtător de hidrogen, având trei atomi de hidrogen;
- producția, depozitarea, depozitarea, transportul și distribuția sunt mult mai ușoare comparativ cu alți combustibili neutri – carbon;
- este fezabil și rentabil din punct de vedere economic;
- poate constitui un potențial înlocuitor pentru combustibilii fosili.

Tabelul 3.1. Comparația dintre amoniac și alți combustibili destinați propulsiei navale.

Nr. Crt.	Proprietatea	U / M	Diesel	GPL	GNL	$H_2$ gaz	$H_2$ , lichid	Amoniac
1	Formula	-	$C_{12}H_{23}$	$C_3H_8$	$CH_4$	$H_2$	$H_2$	$NH_3$
2	Puterea calorifică inferioară	MJ / kg	43,5	45,7	38,1	120,1	120,1	18,8
3	Limita de inflamabilitate (vapori, gaz, în aer)	Vol. %	0,6 – 5,5	1,81 – 8,85	5, ÷ 15,	4 ÷ 75	4 ÷ 75	16,25
4	Viteza flăcării	m / s	0,87	0,83	8,45	3,51	3,51	0,15
5	Temp. de autoaprindere	Grade Celsius	230	470	450	571	571	651
6	Punct de fierbere	Grade Celsius	73,8	-87,7	-184,4	-	-	-33,4



Așa cum rezultă din tabelul de mai sus, temperatura de autoaprindere a amoniacului este mult mai mare decât a motorinei, care determină o temperatură scăzută de ardere în cilindru și o reducere a puterii motorului.

### 3.2.2. Provocări cu privire la arderea amoniacului.

Este important de menționat că amoniacul, atunci când este utilizat în calitate de combustibil, are unele efecte secundare, astfel:

- temperatură ridicată de autoaprindere;
- viteză scăzută de propagare a flăcării în cilindrul motorului;
- cinematică chimică lentă.

Aceste trei inconveniente majore continuă să fie cercetate continuu pentru a se determina soluții de remediere.

#### a. Temperatură ridicată de autoaprindere.

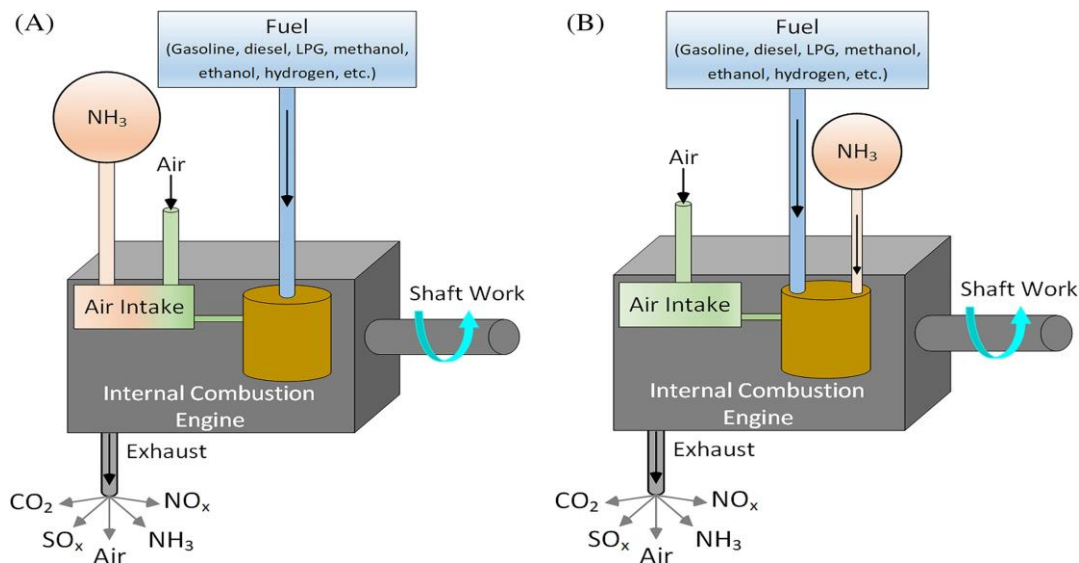


Fig.3.7.cele două variante de alimentare cu amoniac a unui motor diesel naval.

Remediul constă în amestecarea amoniacului cu combustibil fosil (Diesel, GPL, GNL), Etanol., Metanol,

Fig.3.7. ilustrează utilizarea amestecurilor amoniac – combustibili, în două variante: introducerea amoniacului în amestec cu aerul în galeria de aspirație sau prin injecție sub formă lichidă.

Combustibilul fosil va facilita aprinderea amoniacului. Acest procedeu prezintă avantajul că sistemul constructiv al chiulasei motorului nu necesită modificări esențiale

Dar ambele variante necesită un control riguros și automat al amestecului, funcție de sarcina motorului. Prin dozarea corectă a amestecului combustibil fosil – amoniac, se urmărește evitarea fenomenului de „alunecare” a amoniacului din cilindru motorului (evacuarea în amestec cu gazele de ardere e unei cantități de amoniac ne-ars).

În prezent, amestecul amoniac – combustibil este 20/80, cu un coeficient de alunecare de 5%, și se urmărește ca în 2040 dozajul să ajungă 80/20, cu un coeficient de alunecare mai mic de 2%.

Simultan, se desfășoară cercetări și teste de înlocuirea amestecurilor combustibili fosili – amoniac cu amestec amoniac – hidrogen, dar experimentele nu au depășit testele de laborator pentru motoarele navale.

#### b. Viteză scăzută de propagare a flăcării în cilindru motorului

Pentru controlul vitezei de propagare a flăcării se procedează la un dozaj continuu al amestecului amoniac – combustibil fosil funcție de sarcina și turația motorului.

#### c. Cinematică chimică lentă.

Viteza de reacție chimică este viteza cu care combustibilul se transformă în produse de ardere, cu degajare de căldură.

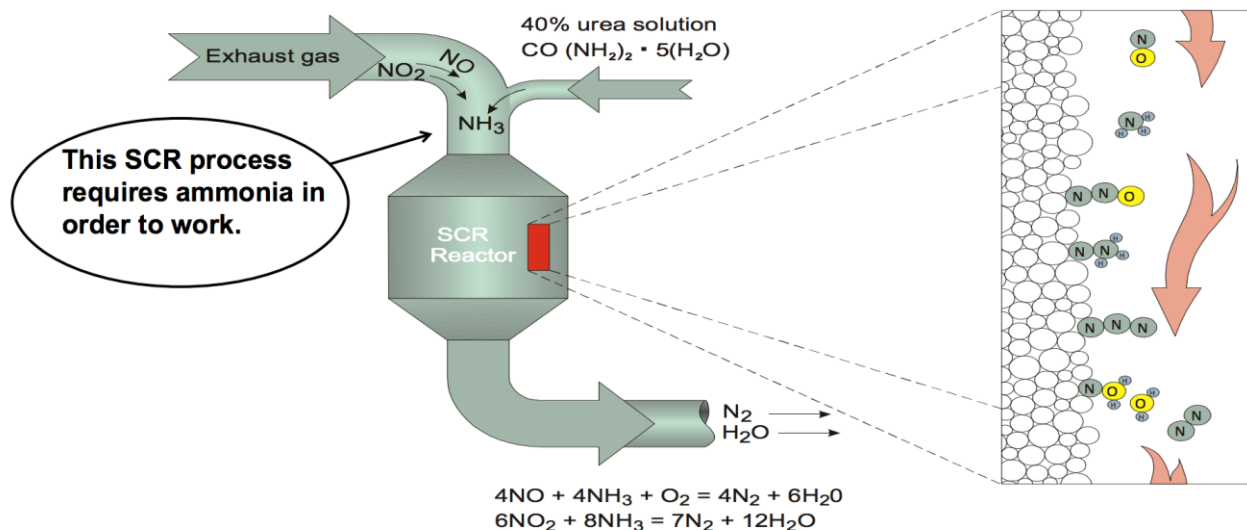
Când se utilizează în calitate de combustibil, viteza de ardere a amoniacului în cilindru motorului este mai mică comparativ cu cea a combustibilului fosil. Aceasta face ca amoniacul să fie descărcat pe evacuare fără să fie ars.

Pentru atenuarea acestui fenomen, se apelează la un accelerator de reacție (catalizatori) cum ar fi: clorura de bariu ( $BaCl_2$ ), clorura de sodiu ( $NaCl$ ) sau fluorura de natriu ( $NaF$ ).

3.2.3. Provoacări actuale pentru optimizarea procesului de ardere a amoniacului în cilindrul motorului diesel:

## NO<sub>x</sub> emission – ammonia.

Selective Catalytic Reduction (SCR) Process – removing NO<sub>x</sub> emissions



MAN Energy Solutions

Public

Fig 3.8. SCR pentru reducerea catalitică a oxizilor de azot

- stabilirea dozajului optim amoniac – combustibil fosil, funcție de sarcină și turație pentru a se facilita autoaprinderea ușoară;
- sistem de preîncălzire a amoniacului înainte de introducerea în motor;
- fabricarea de motoare diesel navale cu raport de comprimare mare, pentru a facilita autoaprinderea ușoară a amestecului de ardere amoniac – combustibil fosil;
- tratarea gazelor de evacuare prin reducere catalitică (v Fig. 3.8.);
- turbionarea amestecului de ardere în cilindrul motorului;
- injectarea în două faze a combustibilului pilot;
- controlul excesului de aer în cilindrul motorului.

### 3.3. Bio-combustibili.

#### 3.3.1. Bio-gazul.

LBG – Liquefied biogas, cunoscut și sub denumirea de *bio-metan lichefiat* sau *bio-GNL*, este un combustibil 100% regenerabil, care poate reduce cu 90% emisiile de  $\text{CO}_2$  pe parcursul ciclului său de viață, în comparație cu combustibilii similari.

Utilizarea LBG emite aproape zero emisii de azot, ( $\text{NO}_x$ ) și oxizi de sulf, ( $\text{SO}_x$ ) și mici particule mecanice, *PM*.

LBG este interschimbabil cu GNL, deoarece ambele sunt formate din metan, ( $\text{CH}_4$ ). Aceasta înseamnă că cele două gaze pot fi amestecate. Aceasta constituie o perspectivă de a reduce, pe viitor, emisiile de carbon.

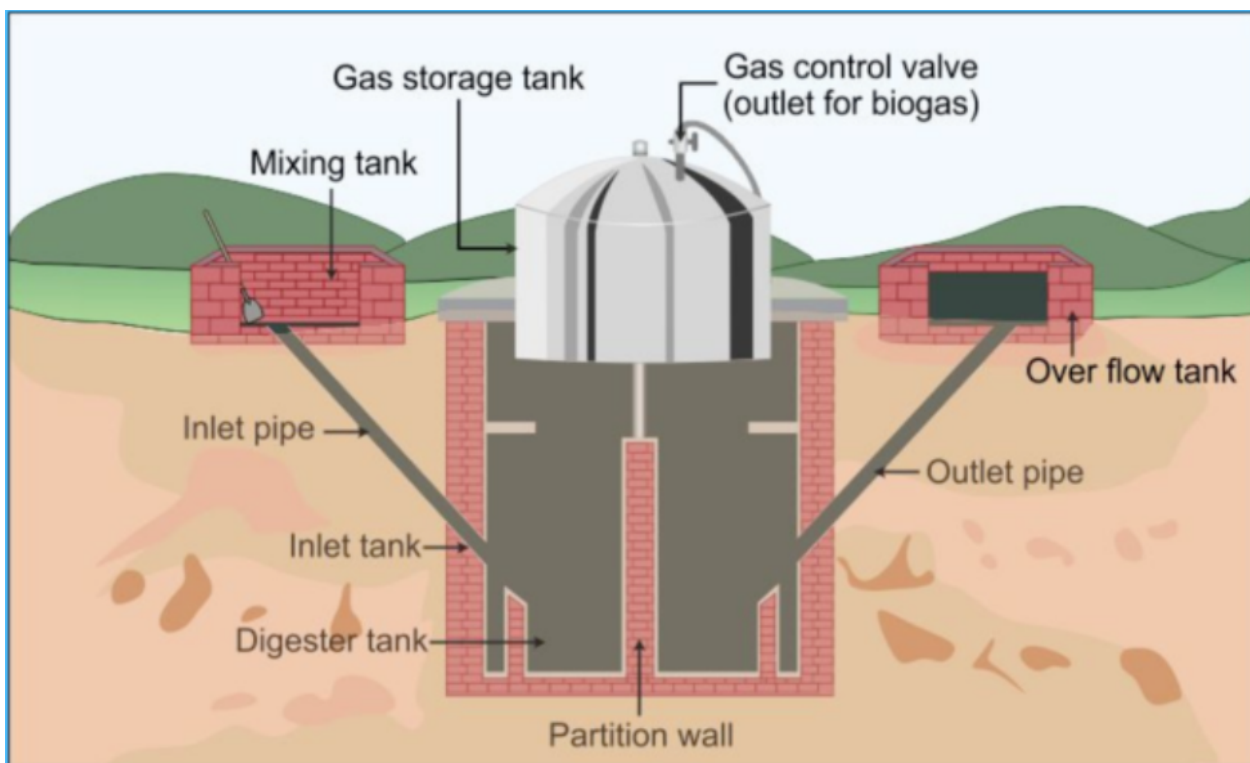
Totuși, LBG este mai scump comparativ cu GNL datorită costurilor mai mari cu producția, transportul, dar are și o disponibilitate limitată.

Arderea LBG eliberează în atmosferă doar  $\text{CO}_2$  și  $\text{H}_2\text{O}$ . Dar deoarece este produs din materiale biodegradabile,  $\text{CO}_2$  provine din surse, care, oricum, ar elibera bioxid de carbon într-un proces natural de descompunere. Astfel, LBG este un produs durabil și regenerabil care nu adaugă  $\text{CO}_2$  în atmosferă. Termenul generic al materiei organice din care se extrage LBG este *biomasa*. Sub numele de *biomasă* sunt următoarele materiale organice:

- deșuri forestiere (reziduuri de pădure și de gater);
- culturi cultivate, cu destinație extragere de biogaz;

- deșeuri agricole;
- gunoiul de grajd animal;
- gaz de la gropile de gunoi menajer;
- deșeuri solide municipale, biodegradabile;
- nămoluri și reziduuri de tratare a apelor uzate;
- vegetație marină;
- deșeuri biodegradabile din industria alimentară (a laptelui, a berii, a zahărului, a uleiului).

După extragerea biogazului brut din reactor, acesta este curățat de gazele neconforme, iar produsul rezultat (metanul și hidrogenul) se îmbuteliază pentru a primi o destinație specifică. Biogazul este produs prin digestia anaerobă cu organisme anaerobe sau metanogen, în interiorul unei incinte numite digester anaerob (biodigester, bioreactor).



**Fig.3.9.**Reactor pentru producerea biogazului.

Biogazul rezultat, în stare brută conține: metan, ( $CH_4$ ), dioxid de carbon, ( $CO_2$ ), hidrogen sulfurat, ( $H_2S$ ), hidrogen, ( $H_2$ ), monoxid de carbon, ( $CO$ ), azot, ( $N_2$ ), oxigen, ( $O_2$ ), vapori de apă, ( $H_2O$ ).

Compoziția biogazului variază în funcție de compoziția substratului și de condițiile de funcționare a reactorului anaerob (temperatură, PH, concentrația în substanță organică biodegradabilă a substratului).

În digester, procesul biologic de transformare a deșeurilor organice în biogaz se desfășoară în patru etape:

1. Etapa de hidroliză, unde polimerii organici instabili (exemplu: carbohidrații) sunt descompuși, făcându-i accesibili următoarei etape de acțiune a bacteriilor acidogenice;
2. Bacteriile acidogenice transformă zaharurile și aminoacizii în  $CO_2$ ,  $H_2$ ,  $NH_2$  și acizi organici;
3. Bacteriile acetogene transformă acizii organici în acid acetic,  $H_2$ ,  $NH_3$  și  $CO_2$ ;
4. Bacteriile metanogene transformă componentele finale în  $CH_4$  și  $CO_2$ .

#### **Avantajele Biogazului:**

-sursă de energie regenerabilă, curată, care se bazează pe un proces neutru al carbonului, ceea ce înseamnă că nu sunt eliberate cantități suplimentare de carbon în atmosferă în urma procesului de ardere (aceiași cantitate de  $CO_2$  s-ar fi eliberat în atmosferă a deșeurilor organice supuse procesului de descompunere liberă, prin putrezire);

- ajută la îndepărtarea deșeurilor biodegradabile cu înalt grad de poluare a mediului înconjurător;
- reduce cantitatea de metan emisă, liber, în atmosferă.

### *Condiționări privind asigurarea biogazului pentru transportul maritim:*

-asigurarea „Biomasei durabile”, adică a cantității de biomasă care să permită extragerea continuă a unei cantități suficiente pentru bunkerarea navelor într-un port sau pe un culoar verde;

-existența unor facilități de utilizare a materiei evacuate din digestoare după extragerea biogazului (rezultă cantități mari, necesar a fi evacuate);

#### **3.3.2. Biodieselul.**

Biodieselul este un combustibil sintetic, lichid, obținut din lipide naturale (ulei vegetal sau grăsimi animale, noi sau folosite) prin procesare industrială de esterificare și trans-esterificare.

Poate fi folosit la funcționarea motoarelor diesel în substituție totală sau parțială.

Poate fi amestecat cu MDO și cu MDO în diferite rapoarte.

Se folosesc abrevieri potrivit procentului de biodiesel din amestec: B100 - biodiesel 100%, B5, B10, B20, B30 (30% biodiesel, 70% MDO) etc.

Este agresiv în raport cu cauciucul natural, fiind necesară substituția acestuia prin elastomeri sintetici în materialele pentru furtunuri prin care circulă amestec cu conținut înalt de biodiesel.

Biodieselul oferă reduceri semnificative ale emisiilor de monoxid de carbon, pulberilor în suspensie, hidrocarburilor ne-arse și compușilor pe bază de sulf.

Foarte important: se reduc emisiile compușilor cancerigeni cu 85%, comparativ cu motorina simplă.

Materia primă cea mai uzitată la fabricarea biodieselului este uleiul de rapiță, urmată de uleiul de palmier și de soia.

În procesul de ardere în motorul diesel, biodieselul produce mai puțin  $CO_2$  comparativ cu bioxidul de carbon absorbit din plantele din a căror semințe se extrage uleiul folosit la sinteza produsului.

Comparativ cu motorina, prezintă o serie de dezavantaje:

-durată de depozitare redusă (max. 8 luni);

-putere calorică mai mică;

-punct de inflamabilitate mai mare;

-vâscozitate cinematică mai mare;

-preț de cost mai mare;

Producția în cantități mari va avea efect asupra producției alimentare, deoarece se fabrică din materii care se folosesc și ca alimente.

Pe piața combustibililor din prezent, în majoritatea statelor europene, se utilizează în amestec cu motorina în diferite proporții.

În domeniul transporturilor maritime de mărfuri, are o utilizare limitată. În domeniul naval se folosește, cu preponderență, pentru alimentarea remorcherelor portuare și de rade închise, a ferry-boaturilor, a unor nave tehnologice ce operează în porturi și în rade închise, nave de pescuit costier, nave de aprovizionare offshore., în general, la nave ce operează în apropierea zonelor urbane

#### *Avantaje:*

-combustibil complet regenerabil și aproape 100% neutru  $CO_2$ ;

--transport, depozitare, manevrare, simple și fără pericole;

-nu necesită infrastructură nouă pentru bunkerare.

România produce anual, 400.000 – 600.000 tone, cu mult peste necesarul intern (majoritatea producției este pentru export.

Se desfășoară studii și teste de utilizare a biodieselului, în anumite proporții, în compoziția HFO și MDO, prin optimizarea sistemului de injecție a motoarelor.

#### **3.4. Hidrogenul**

Hidrogenul,  $H_2$ , se găsește, în mod obișnuit, în stare naturală sau în compuși chimici.

Atomul de hidrogen este cel mai abundent atom din Univers, dar hidrogenul molecular nu este o resursă semnificativă pe Pământ.

În condiții standard, hidrogenul este un gaz incolor, inodor, fără gust, netoxic, relativ nereactiv și foarte combustibil, cu o gamă largă de inflamabilitate.

În prezent, majoritatea cantităților de hidrogen se extrage din cărbune sau metan.

Perspectiva o constituie electroliza apei folosind energie electrică regenerabilă.

În domeniul naval, se folosește la alimentarea celulelor (pilelor) de combustie sau la funcționarea motoarelor cu ardere internă sau a turbinelor cu gaze pentru reducerea GES.

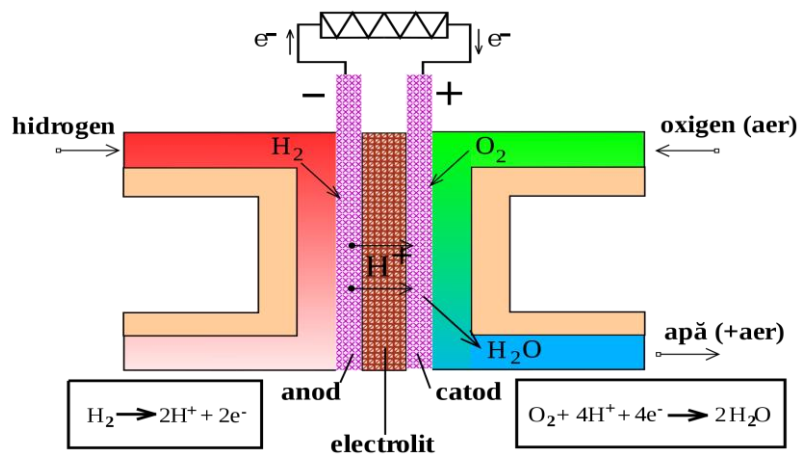


Fig.3.10.Schița unei celule de combustie cu membrană PEM

Cu toate calitățile sale, în prezent, în domeniu naval, folosirea, drept combustibil, se confruntă cu provocări serioase referitor la:

- cerințe privind stocarea;
- atenuarea pericolului de incendiu;
- disponibilitate-costuri ridicate pentru infrastructura de producere, transport, depozitare.

Hidrogenul se caracterizează prin faptul că are cel mai mare conținut de energie pe cantitatea de masă dintre toți combustibilii chimici, de  $120,2 \text{ MJ/kg}$ , depășind MGO de 2,8 ori și alcoolii de 5 – 6 ori.

Cu toate acestea, în domeniul naval se adaugă și alte inconveniente:

- necesită de patru ori mai mult spațiu decât MGO;
- de două ori mai mult spațiu decât GNL,

pentru o cantitate echivalentă de energie transportată.

Pentru lichefiere necesită temperaturi sub  $-253^{\circ}\text{C}$ , și, ca urmare, volumele pentru stocare sunt mari, cauzate de dimensiunile izolațiilor materiale sau izolare cu vid.

#### Producerea hidrogenului.

În anul 2019, producția de hidrogen a fost de 70 milioane tone.

În prezent, 96% se produce din combustibili fosili.

Funcție de tehnologia și materia primă folosite la producerea hidrogenului deosebim:

-hidrogenul maro, din combustibili fosili, solizi sau lichizi, cu eliberarea  $\text{CO}_2$  în atmosferă.

-hidrogenul turcoaz, din combustibili fosili, solizi sau lichizi, cu captarea și stocarea  $\text{CO}_2$ ;

-hidrogenul gri, din metan, cu eliberarea  $\text{CO}_2$ , în atmosferă;

-hidrogenul albastru, din metan, cu captarea și stocarea  $\text{CO}_2$ ;

-hidrogenul verde, din apă sau din biomasă (cu captarea și stocarea  $\text{CO}_2$ ), cu energie electrică regenerabilă.

#### Stocarea hidrogenului:

-prin compresie, cea mai utilizată (10 – 20 MPa);

-stare lichidă, răcit la  $-253^{\circ}\text{C}$ , cu o densitate de  $70,8 \text{ kg/m}^3$ ;

-în compuși cu conținut ridicat de hidrogen (amoniacul);

-producția de motorină sintetică;

-producția de metan sintetic;

-stocare în hidruri metalice și în săruri pe bază de bor;

