

# Dual Fuel (LNG/FO-DO)

## Marine Engines

(Çift yakıt yakabilen Motorlu Gemiler)

Electronically Controlled- Gas Injection System.

Rev:01/2020

Kasap Mustafa ERDOĞAN,

Yıldız Teknik Üniversitesi Öğretim Görevlisi.

Marine/Offshore Senior Ship & Eng.Surveyor,

B.Sc, C.Eng, MRINA, AWS, PED.

## Reference:

a-IACS Dual-Fuel Rule's & Regulation (01/07/2016)

b-IACS Z16,

c-IGC Gas code,

d-IACS Member Classification Co. Check list,

e-IGF code.

## Contents:

- 5- SEEMP, Ship Energy Efficiency Management Plan,
- 7- LNG Gas Carrier, Dual-fuel system,
- 9- Dual Fuel ship Reg, and Type C Cylindrical Tank.
- 10- Dual Fuel System Design Reg.,
- 11- Dual Fuel Engine Design Reg.,
- 15- LNG Gas application,
- 19- Dual Fuel Changeover procedure,
- 21- Engine Cylinder Lub oil,
- 25- Engine Cylinder Liner modification,
- 26- Dual-fuel Engine safety system,
- 30- LNG Tank safety alarm system,
- 31- LNG Gas (Ignition system)Engine,
- 32- Marpol Annex VI Reg.13,
- 33- EGR, Exhaust Gas Recirculation
- 35- SCR, Selective Catalytic Reduction.
- 37- Tank Corrosion under Insulation,
- 38- LNG Gas carrier Mark III Tank Construction and Type A-B Tank.

# Dual Fuel Marine Engines, (DO/FO & LNG)

- Gemilerde ekonomik yakıt LNG kullanım sebepleri:
  - 1-Ship Energy Efficiency Management Plan) gereği,
  - 2-Egzos gazlarından çıkan partiküllerin (NO<sub>x</sub>, SO<sub>x</sub>, Co<sup>2</sup>) çevre ve insan sağlığına zararlı (Kanserojen) olması,
  - 3-Atmosferin ekolojik dengesinin bozulması,
  - 4- Gemide kazanılan navlunun yaklaşık % 60'ının yakıt masraflarına harcanması;

LNG Gas Tankerleri yaklaşık 14 yıldır LNG Gas'ı yakıt olarak kullanmaktadır ve bu konuda örnek olmuştur.

Not: LNG Gas FO/DO'den en az % 30 daha ekonomiktir.

# Ship Energy Efficiency Management Plan (SEEMP) (MEPC.254(67)).

01.01.2013 den sonra inşa edilen 400 Gross Ton'dan büyük Gemilerde yapılan gemi tipi ve dizaynı hesapları ve işletilmesinde:

- En az yakıtla en fazla yük taşınması,
  - En az yakıtla en uzun seyir yapılması,
  - En az çevre kirliliği yapan yakıt kullanılması,
  - En ideal Makine ve yardımcılarının seçilmesi planlanması
- Regülasyon (SEEMP ve Ship Mang.System) gereğidir, ve

International Energy Efficiency Management Cert.(SEEMS) sertifikaları gemiler için 5 yıllık olarak düzenir ve yıllık surveyde vize edilir. sertifikalar gemide bulunmalıdır.

# LNG Gas Carrier.

- LNG taşıyan Gemilerde (-163°C) likit LNG naturel olarak buharlaşır, buharlaşan LNG Reliquefaction (yoğuşturulup tekrar tanka alma işlemi) teknolojik olarak gemide yapılamaz,
- Atmosfere buharlaşarak gidecek olan LNG Gas yükünden ekonomik olarak faydalanmak için Dual-Fuel olarak G/E, M/E ve Gas Turbin'de kullanılır veya Kazanda yakılarak elde edilen steam ile Steam türbin olarak Propulsion sistemde kullanılır.
- Not:Reliquefaction LPG (-43.5°C) Gemilerde yapılabilir.

İlk sefer surveyini  
yaptığım "LNG RIVER"  
Gas Carrier Gemisi  
(114.000 M<sup>3</sup>)



# LNG Carrier Mark III Membrane type Tank.

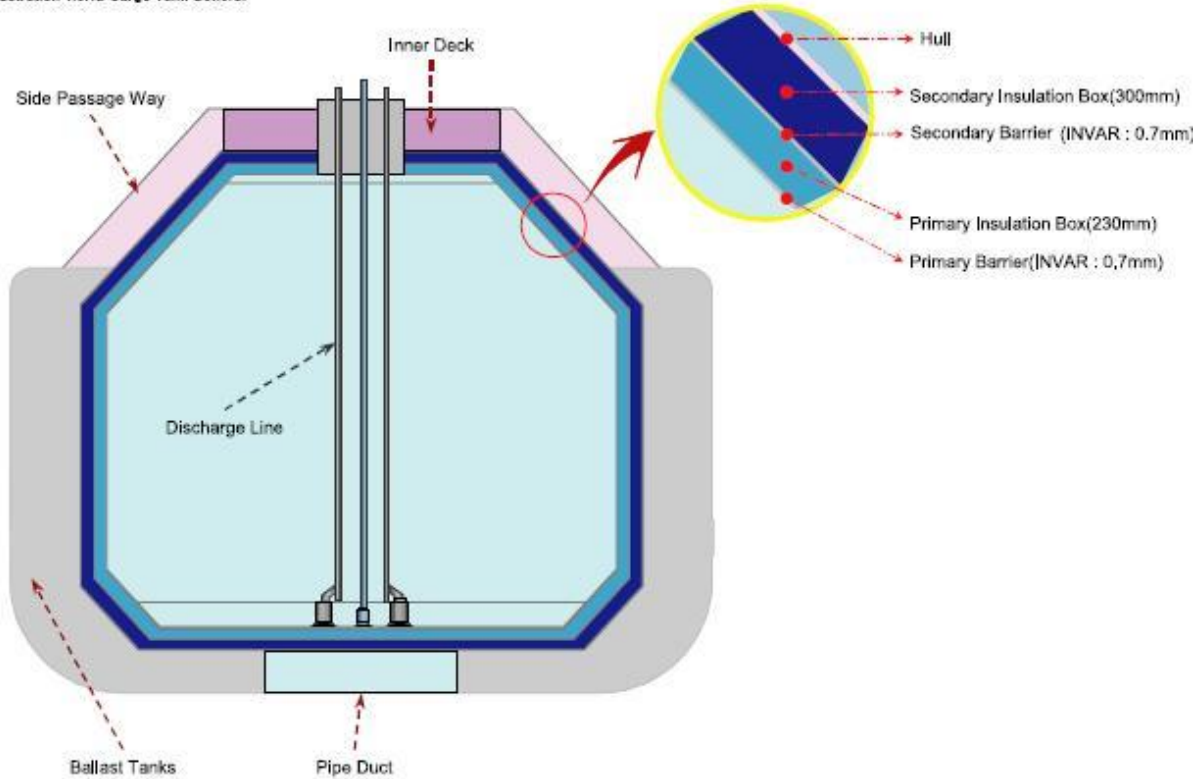
- LNG Gas Carrier Tankları basınçlı tank değildir,
- Tankın içi Primary Barrier olarak 0.7 mm ila 1.2 mm kalınlıktaki SS 304L ondüle sacdan yapılmıştır.
- Secondary Barrier olarak yaklaşık 1 mt. kalınlıkta izolasyon vardır ve LNG Likid olarak  $-163^{\circ}\text{C}$ 'de tutulur,
- Buharlaşan gas tankta tutulamaz, gemiye hasar verebilir, veya Dual gas yakıt olarak kullanılır.



# LNG Membrane Tank.

## Primary ve secondary barrier izolasyonu.

Illustration 1.3.1b Cargo Tank General



INVAR : Fe-36% Nickel Alloy

Not: Dual Fuel Marine Engine Gemide kullanılan LNG Type A ve B cylindrical Membrane Tank basınçsız ve izolasyonla kaplıdır.

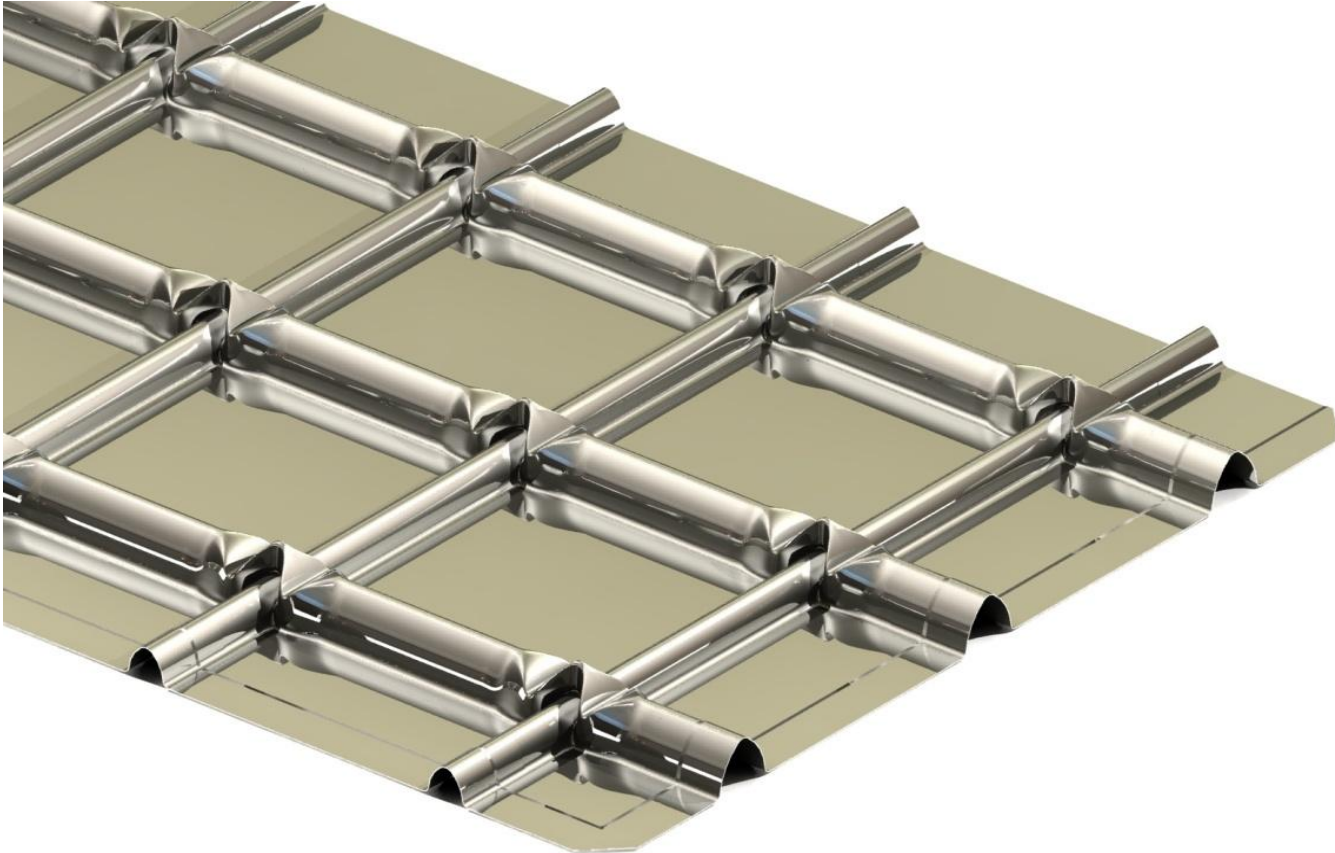


# LNG Carrier vessel Tank design:

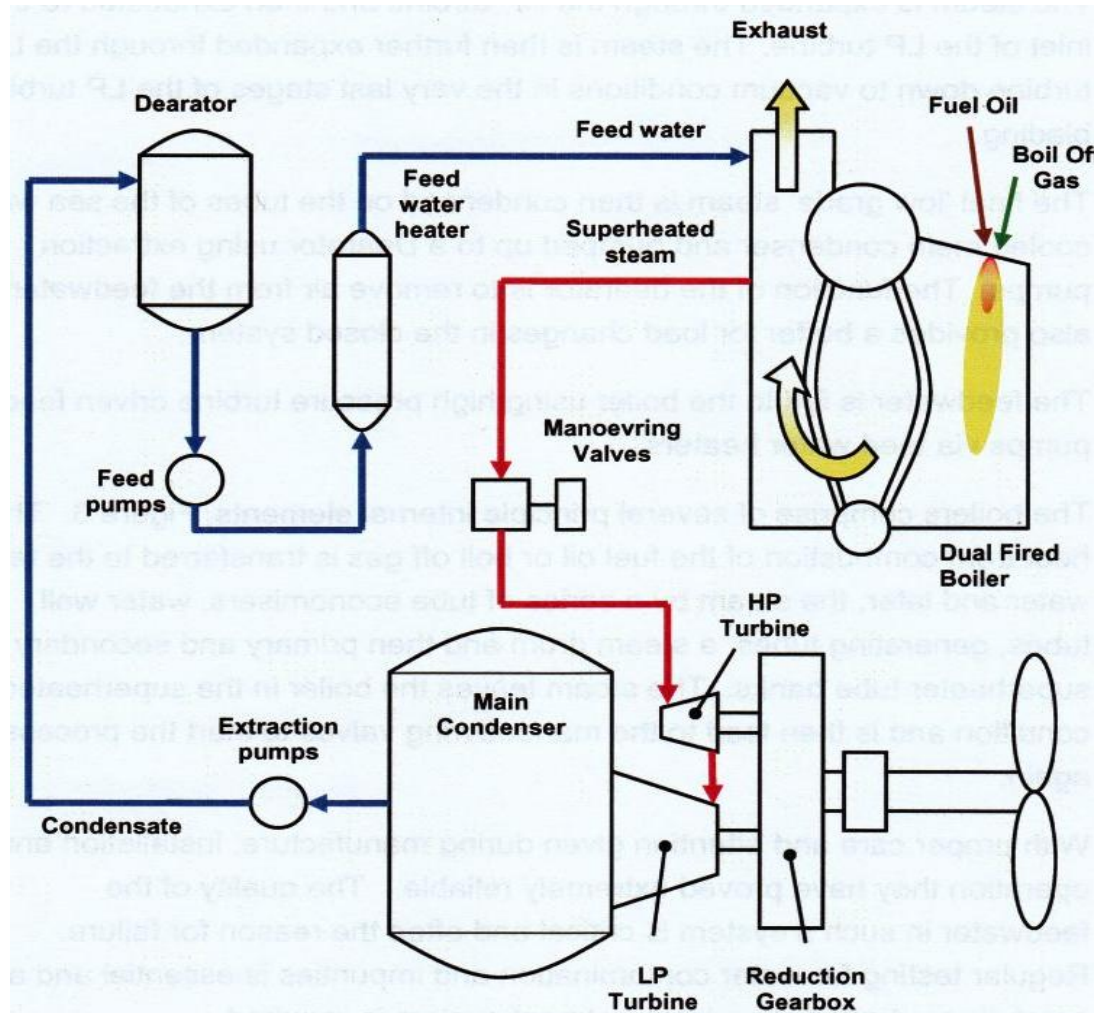
Technigaz MKIII LNG primary Membrane sacı:

0.7-1.2 mm. Stainless Steel 304L

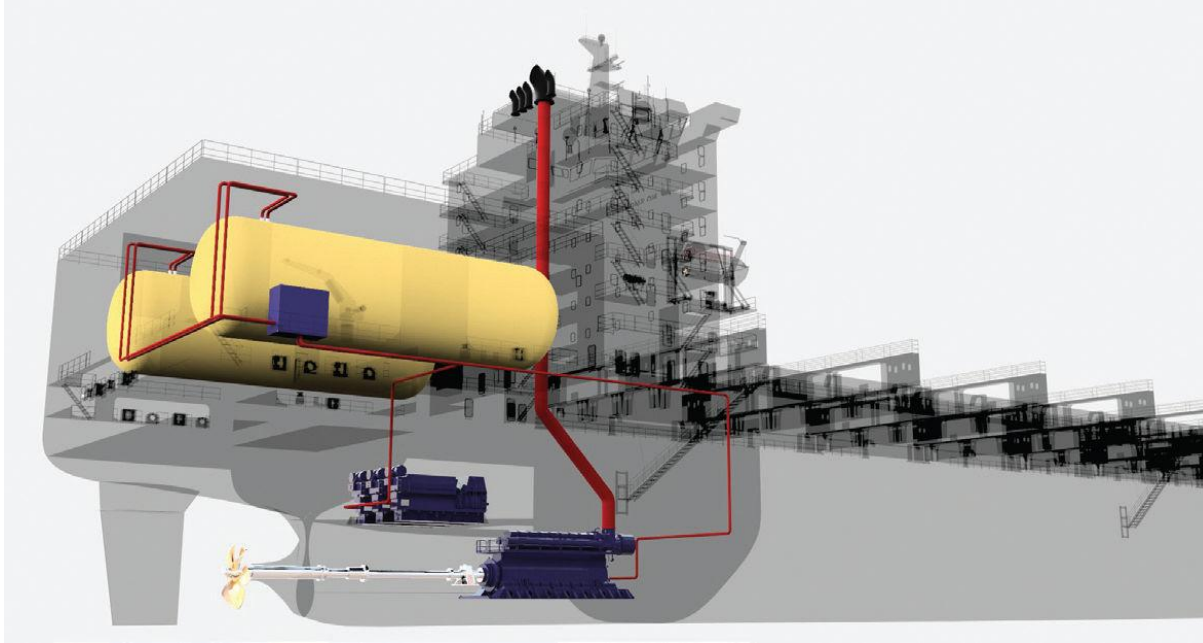
ısı değişimlerinde gerilmelerini karşılamak için  
corrugation “Swedges/Waffles” baskı yapılmış



# LNG Gemilerde kullanılan Dual fuel Main Steam Boiler ve Steam Turbine Propulsion system,



# Dual Fuel Marine Engine, (Fuel-Oil and LNG)



Dual-Fuel Marine Engine sisteminin Gemilerde kullanılabilmesi için IACS tarafından yeni Rule's & Regulation (01/07/2016) ve IGC Gas Code kaideleri yapılmış ve uygulanmaya başlanmıştır.

Not: Dual Fuel Marine Engine Gemide'de kullanılan LNG Cylindrical "Type C" Tank, max.10 Bar basınçlı ve izolasyonla kaplıdır.

# LNG Cylindrical “Type C” Tank.

LNG doğal gas gelecek vaat eden bir alternatif enerji kaynağıdır ve önümüzdeki yıllarda en hızlı büyüyen ana yakıt olabilir; bu nedenle Sıvılaştırılmış doğal gas'ın (LNG) depolanması ve taşınması giderek daha önemli, ancak teknolojik olarak zorlayıcıdır.

Yeni bir çalışma olarak Gemilerde kullanılan LNG yakıt tanklarının % 20/30 daha düşük maliyetle, daha yüksek mukavemetli olarak imalatı için -196 °C stabil olan ve Kriyojenik işlem görmüş, tokluk için yüksek manganlı austenitic steel kullanımına başlandı. Bu alaşımlı çelik IGF, IGC tarafından kabul edildi ve ASTM tarafından testleri 2017'de onaylandı.  
Not:İlk 500 m<sup>3</sup> LNG Tank Hyundai Mipo S/Y (HMD) tarafından imal edildi.

# Dual Fuel system design:

- a-LNG Tanklarının (Type: A, B veya C) dizayn hesapları, malzemeleri, kaynak (Weld) detayları ve planları IACS Material and Welding kaidelerine, PED (Pressure Equipment Directive)'e, IGC (International Gas Code'a) göre IACS üyesi Class tarafından onaylanmalıdır.
- b-LNG Tanklarının Gemide konulacak yerleri, foundation planı Steel Ship Class Rule's and Regulation'a göre ve Gas odası safety planı IGC'ye göre yapılmalıdır.
- c- Gas Comp, Gas Heater, Valf ve (flençsiz) boru devreleri plan, design ve malzeme/kaynak onayı yapılmalıdır.
- d- Sistemin imalat montaj testleri IACS üyesi Class'lar tarafından kontrol edilip sertifikalanmış olmalıdır.

# Dual Fuel Marin Engine design:

- a- Gas and Fuel Oil system,
- b- Exhaust system,
- c- Crankcase ventilasyon system,
- d- Air inlet/supply system,
- e- Cyl.Lubricating system,
- f- Engine Control system,
- g- Dual Fuel Engine risk analysis,
- h- Engine Operation Manual,
- i- Engine shop Test Report,
- j- Engine Torsional Vibration Calculation.

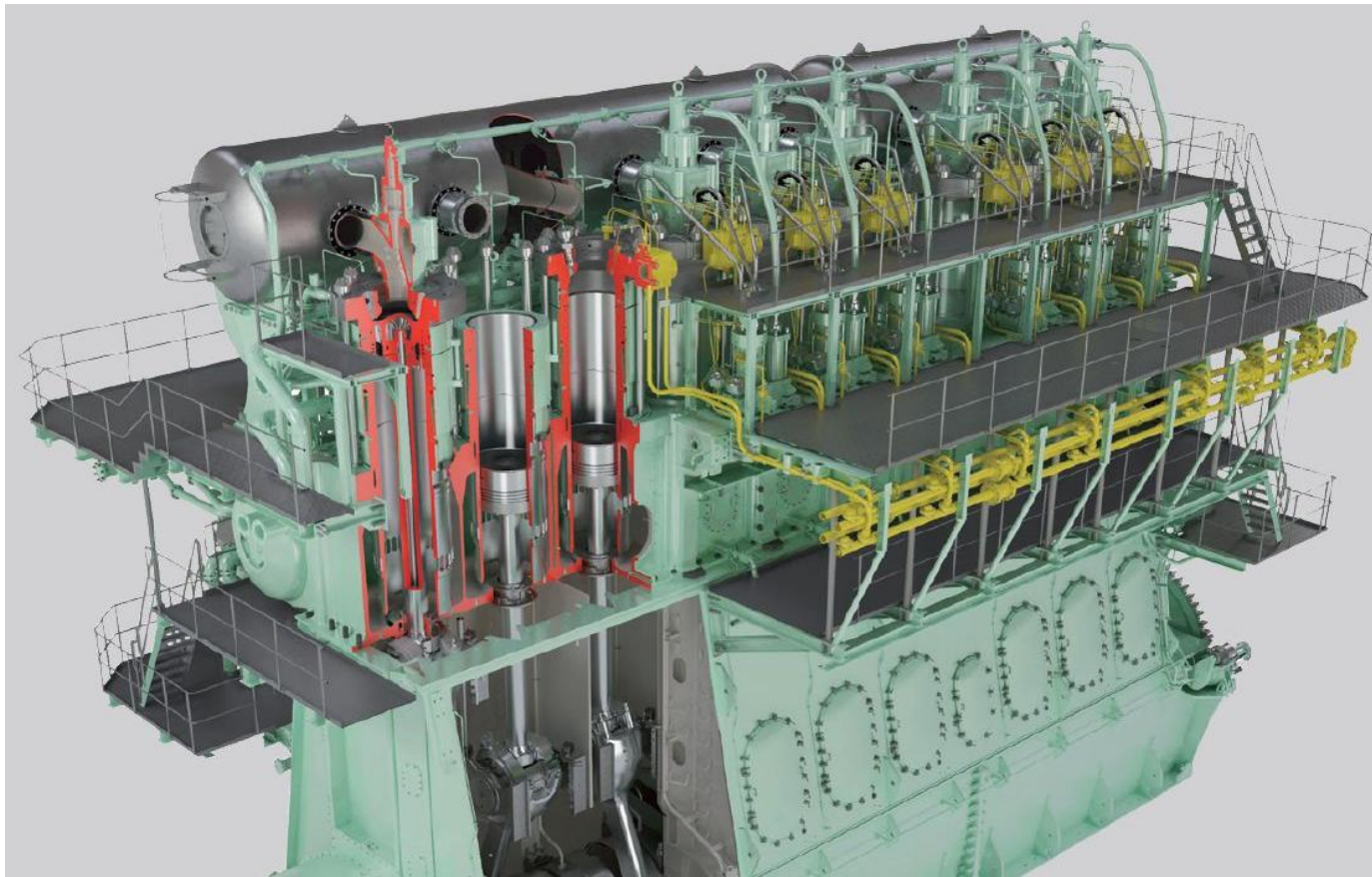
IACS Dual-fuel Rules & Reg., IGC'a göre Class tarafından onaylanıp EEDI (Technical File) sertifika düzenlenmelidir.

# Dual Fuel Diesel Engine,

(Dual-Fuel two stroke, low speed, Common Rail system)

266.000 m<sup>3</sup> LNG Gas Carrier Main Engine.

140 ME-GI Motor. M-Type Electronically Controlled – Gas Injection  
(ME-GI) System

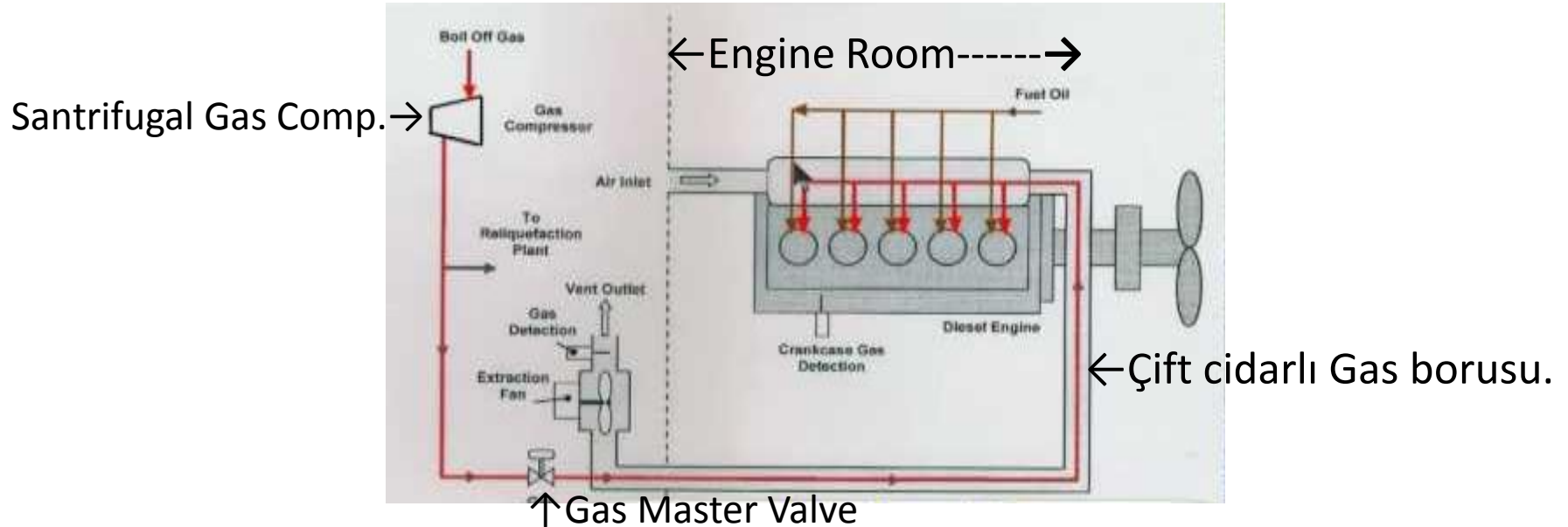


# Dual-Fuel Ship Regulation.

- Solas III-2/20-1 01/01/2016 Dual Fuel (LNG-DO/FO) kullanan gemilerde en az 2 adet LNG tankı olmalıdır.
- Her tankın en az 2'şer set Nav.Bridge, Eng.C/R, Cargo Control Salon vs.'de görsel ve sesli safety alarm sistemi (seviye, basınç, sıcaklık, gas sızıntısı, kayıt (Record) ve monitoring sistemi olmalıdır,
- Dual-Fuel Gemilerdeki bütün safety Alarm sistemi: (Remote operated valves, Emgy. shutdown sistem, Gas odası Elc. sistemi, Gas detection system , gland seals vs.) sürekli aktif durumda ve fonksiyonları kontrol/test edilmeli.
- Makina start edilirken, manevralarda, kanal/boğaz geçişlerinde, yakıt olarak sadece DO/FO kullanılmalıdır,  
**Not: LNG ile makine start edilemez,manevra yapılamaz.**

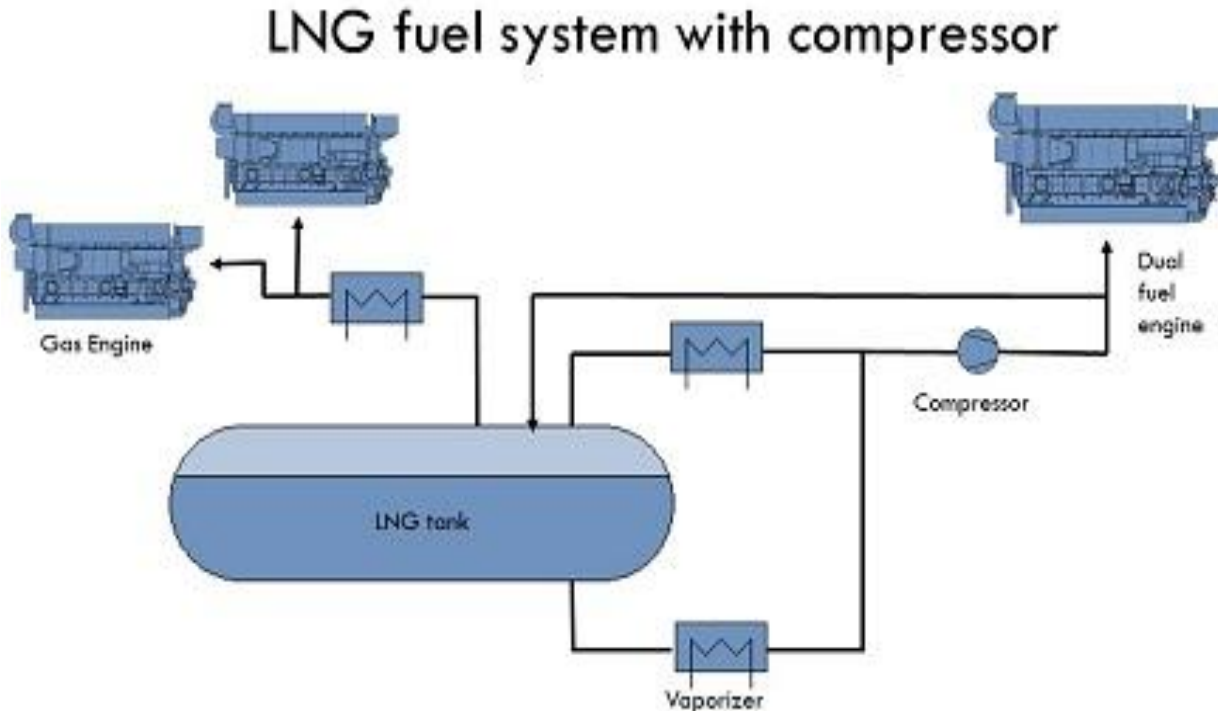


- 1-Makine Dairesi içindeki LNG Gas boruları Paslanmaz Çelik malzeme 304L'ye eşdeğer malzemedendir ve hepsi çift cidarlı olması gerekir,
- 2-Çift boru (Double wall/skin) arasında olabilecek gas kaçaklarını tahliye eden fan ve analiz eden Gas detektör ile Manual/automatic shut-down Gas master valve Makine dairesi dışında olmalıdır.
- 3-Çift cidarlı boruda gas kaçağı tespit edildiğinde Gas hemen atmosfere tahliye edilmeli ve sisteme N<sup>2</sup> Inert gas verilmelidir.
- 4-Bu durumda Automatic Gas shut down Throttle valfı LNG Gas'ı hemen kapatmalı Diesel Engine otomatik olarak hiç güç kaybetmeden Fuel-Oil mode geçebilmelidir.(Motor shut-down sadece FO'de olur)

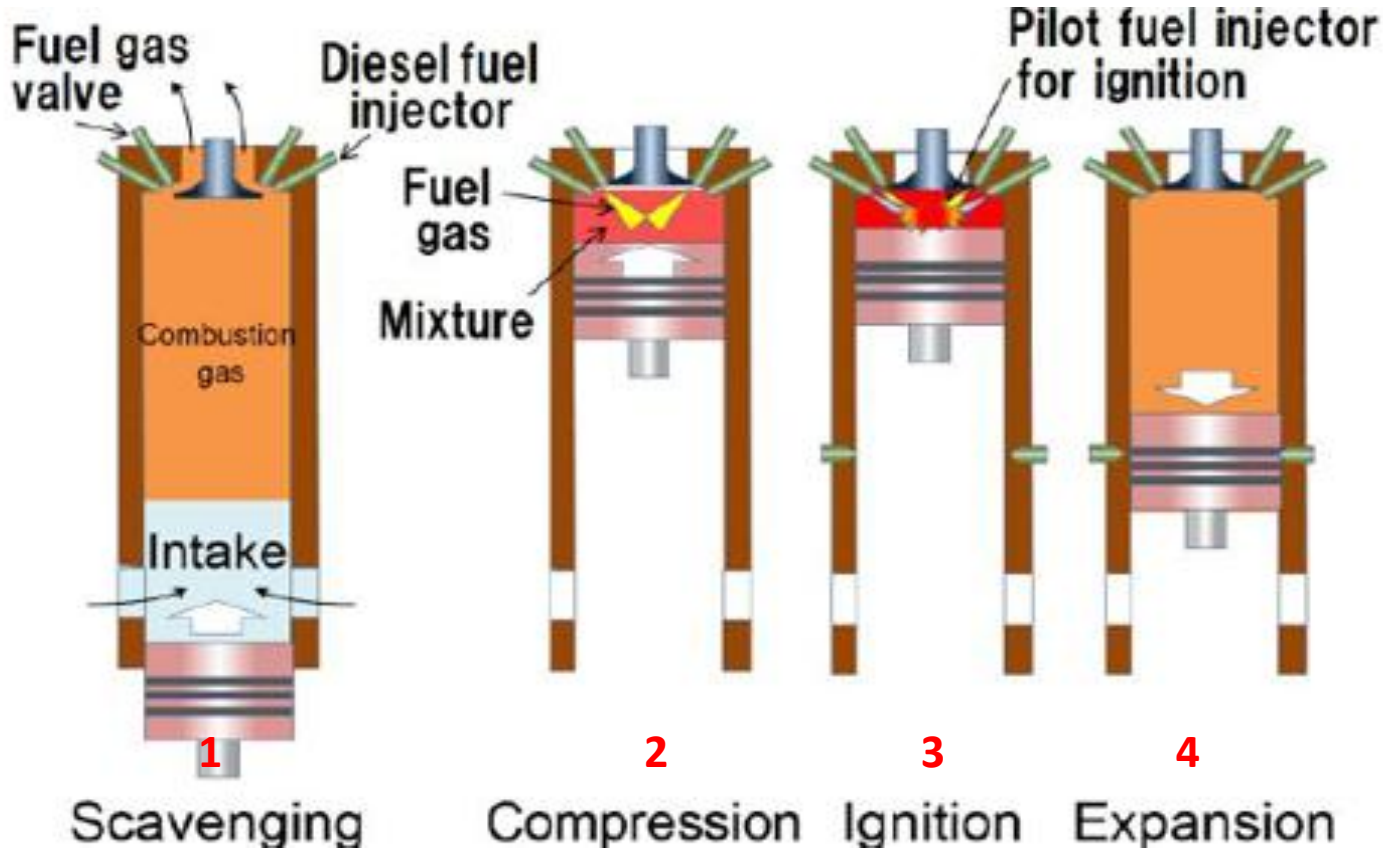


# LNG Gas application Sistem.

Dual Fuel Engine Gemilerin LNG Tanklarında natural olarak buharlaşan veya Gas Vaporizer tarafından ısıtılarak buharlaştırılan LNG Gas'ı Kompresör ile Motora gönderilir. Ocean going gemilerde farklı yerlerden yapılan LNG ikmali değişik özelliklerde olduğundan Motorda vuruntu, Gemide vibrasyon ve shut-down problemleri yapılabilir.



# Duel Fuel 2 stroklu Motor'un çalışması.



- 1-T/C inlet havası port'tan silindire dolarken egzost gazı üst valftan atılır,
- 2-Inlet havası silindirde sıkıştırılınca üzerine LNG Gas ve FO enjekte edilir,
- 3- Karışımı tutuşturmak için sıvı yakıt olarak Diesel oil pulverize edilir,
- 4- Silindirde yanma, genleşme oluşur ve Motorda dönme sağlanır.

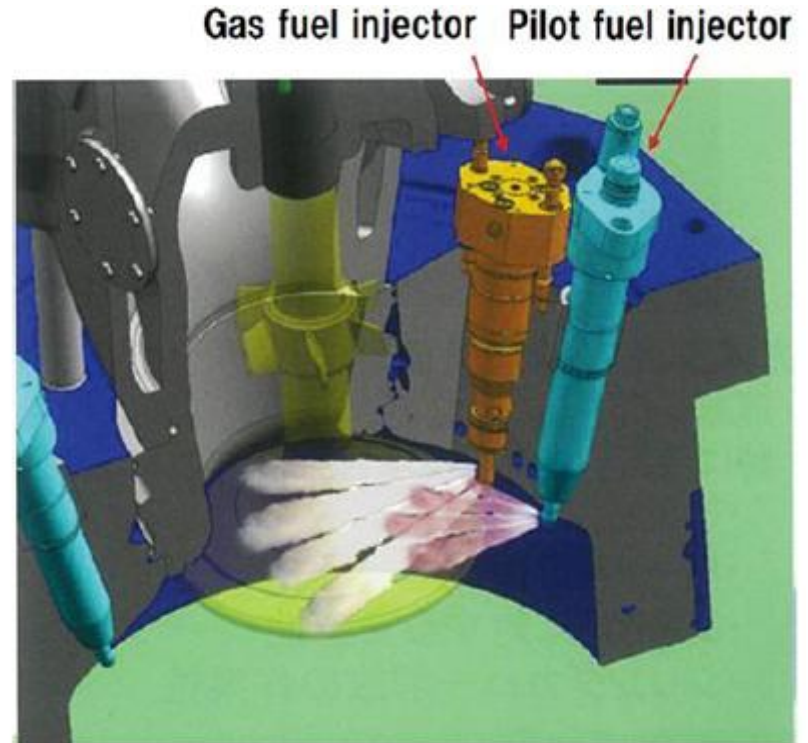
**Not: Dual Fuel Motorlarda % 5 DO/FO ve % 95 LNG Gas kullanılır.**

# İki stroklu bir motorda LNG Gas Enjeksiyonu.

LNG gas yakıtı dizel yakıtıyla aynı şekilde silindirde sıkıştırılmış havaya Electronic Ignition sistemi ile enjekte edilir ve daha sonra ateşleme, mikro pilot yakıt enjektörü aracılığıyla yakıt enjekte edilerek sağlanır. Bu, difüzyon yanmasında dizel yakıtı, CO2 emisyonlarını % 20'den fazla azaltabilir; yanmamış gaz ve CO emisyonu düşük seviyeye iner.

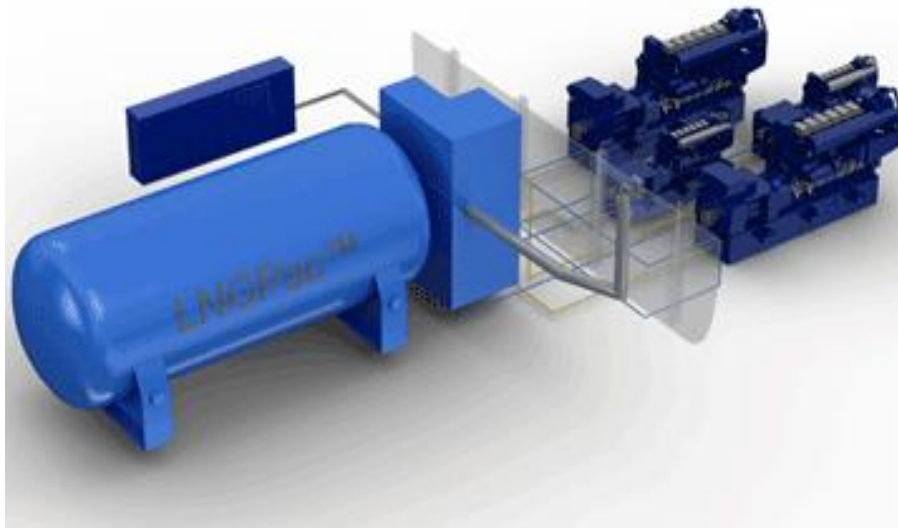
**Not:**

- LNG Gas inlet hava manifolduna enjekte edilirse manifold'ta patlama olabilir, NOx emisyon seviyesi yükselir
- LNG Gas sadece silindire enjekte edilir
- LNG Gas ve FO kullanımında ayrı ayrı Nox emisyon ölçümü yapılmalıdır



# LNG (Bujili) Gas Motoru

- Sadece LNG Gas yakan Motorlarda (spark ignition) 24 V. Buji sistemi vardır ve genellikle sabit devirli Generator Motorlarında Elektrik üretip Electric Propulsion sistem ile veya direct Propulsion system olarak Inland water way Gemilerde kullanılır.



**LNG Engine Gen.**



**Engine Room, Elc.Motor Propulsion system**

İleri teknoloji Gemi Motoru üretici fabrikaları sadece LNG Gas ile çalışabilen “Green Gas Engine” üretmişlerdir.

Bu motorlar 2016 yılında yürürlüğe giren IMO (Uluslararası Denizcilik Örgütü) Tier III düzenlemesine uymakta, NOx miktarını etkili bir şekilde azaltmakta ve yalın yakma teknolojisi ile CO2 salınımını en aza indirgeyebilmektedir.

Not: LNG Gas'ı FO/DO ile birlikte yakılınca tam verime erişir.

# Fuel Oil-Gas Changeover procedure.

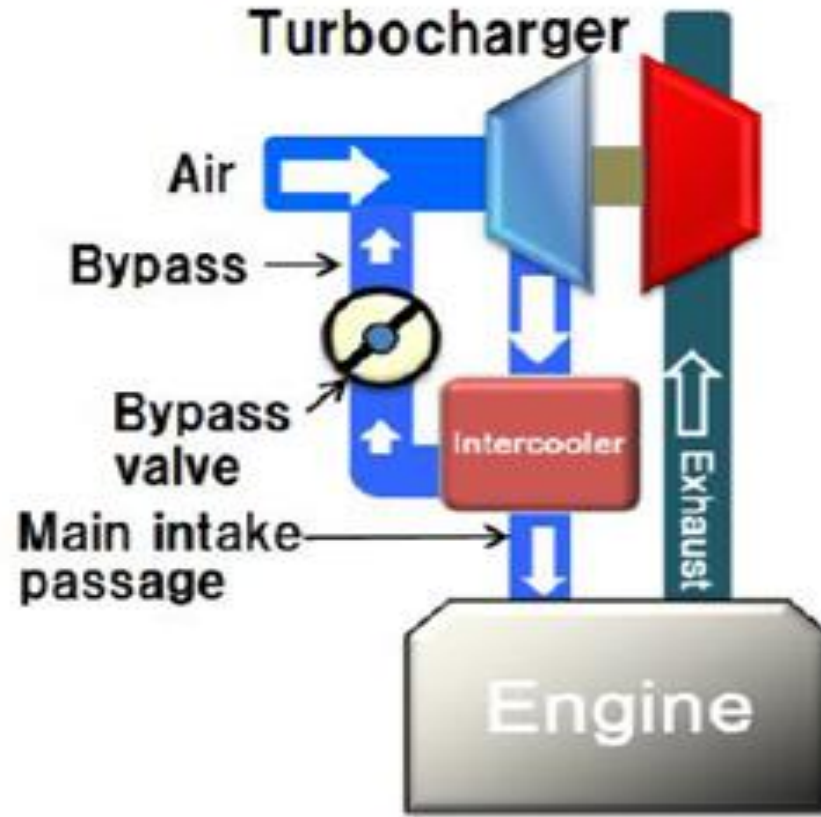
- Fuel oil modu ile LNG modu arasındaki geçişi Elektronik sistem ile veya manual olarak da yapılabilmelidir.
- Dizel modundan gaz moduna geçiş için, motor devri kontrolü tamamlanmalıdır (manevra bitmiş olmalıdır), Gaz vanası yavaşça açılır. Motor Gas modunda çalışırken kullanılan yakıt FO/DO, LNG ve hava oranları sabit ayarlanmalıdır.
- Gas modundan DO/FO moduna geçiş için Gas yakıt giriş valfi el ile kapatılarak dizel yakıt enjeksiyonunu başlatıp gaz modundan dizel moduna emniyetli olarak anında geçmek mümkündür,

# Dual-Fuel Changeover procedure.

- Dizel-Gas ve Hava oranı iyi ayarlanamaz ise değişken Gas vurutuları ile Motorda devir dalgalanması (motorun topal çalışması) neticesi vibrasyon oluşur, Crankshaft hasarlanır. (ayrıca silindirde P-max ve egzost sıcaklık artışı neticesi Nox emisyon oranının yükselmesine sebep olur)
- Bunu önlemek için motor'a bağlı Vibrasyon Sensörünün verdiği ikaz ile Elektromagnetik kontrol valf Gas giriş/akışını ayarlar veya Motor otomatik olarak Dizel moduna geçer.
- Fuel oil mode'da yakıt akışı el ile kontrol edilebilirken, Gas Mode'de akış Elektromagnetik bir selonoid valf ile otomatik olarak kontrol edilir bu nedenle Gas Motorun değişken devirli durumunda (manevralarda) kullanılamaz.
- LNG Gas Bunkering, Dual-Fuel Changeover sistem ve Operation manual kitabı konularında personel eğitilmelidir.



Hava, LNG Gas ve DO/FO oranı değiştiğinde artan Egzost sıcaklıklarını ve Nox emisyonunu azaltmak için İnet havasının hava kuleri çıkış ve girişine bypass yapılarak ayarlanabilir



EGR:Exhaust Gas Recirculation.

# Exhaust Gas Recirculation (EGR)

- Egzoz gazı devridaimi (EGR), hafif, orta ve ağır dizel motorlardan iki stroklu düşük hızlı Gemi motorlarına kadar geniş bir dizel motor yelpazesine uygulanabilen NOx emisyon kontrol tekniğidir
- Egzoz Gazı Geri dönüşümü: Motor inlet havasına, Egzos gazı filtre edilip soğutularak verilir, silindirde pik (oktan) yanma sıcaklıklarını düşürür NOx emisyon oluşumunu kontrol eder.
- Egzoz gazı esas olarak yanıcı olmadığından inert bir gaz olarak kabul edilir. Silindirin hava / yakıt karışımına atıl bir gaz ilavesi ile yakıtın bir kısmı silindirde daha yavaş bir patlamaya ve daha düşük yanma sıcaklıkları oluşturur.

# Dual Fuel Motor silindir yağlama yağı.

- Dual-Fuel çift yakıtlı motorlarda Silindir yağlama yağı seçimi çok önemlidir. Düşük Kükürt'lü yakıtlarda TBN (Total Base Number) yüksek numaralarda kullanılırken, LNG Gas kullanımında düşük TBN Silindir yağlama yağı kullanılmalıdır,
- Doğal Gas kullanımında Layner iç cidarında ısı izolatörü gibi Alkali birikintiler yapışmasına ve laynerin soğutma suyunun ısı iletkenliğinin azalmasına neden olur.
- Sonuç olarak, hem dizel modu hem de gaz modu ile etkili bir şekilde performans gösterecek çift yakıtlı motorlar için bir Cyl.yağlama yağı seçmek zor olabilir.

# Dual Fuel Motorda Cyl.Oil seçimi:

- a- Silindir Yağlama Yağı TBN (Total Base Number)'a,
- b- Makine tipi (Trunk Piston veya iki stroklu Engine) için imalatçının istediği değerlere,
- c- Fuel Oil içerisindeki Sülfür değerine,
- d- Silindir yağı sarfiyat miktarına,
- e- Makinanın Yağlama Yağının aşırı ısıdaki oksidasyon değerine göre seçilmelidir.

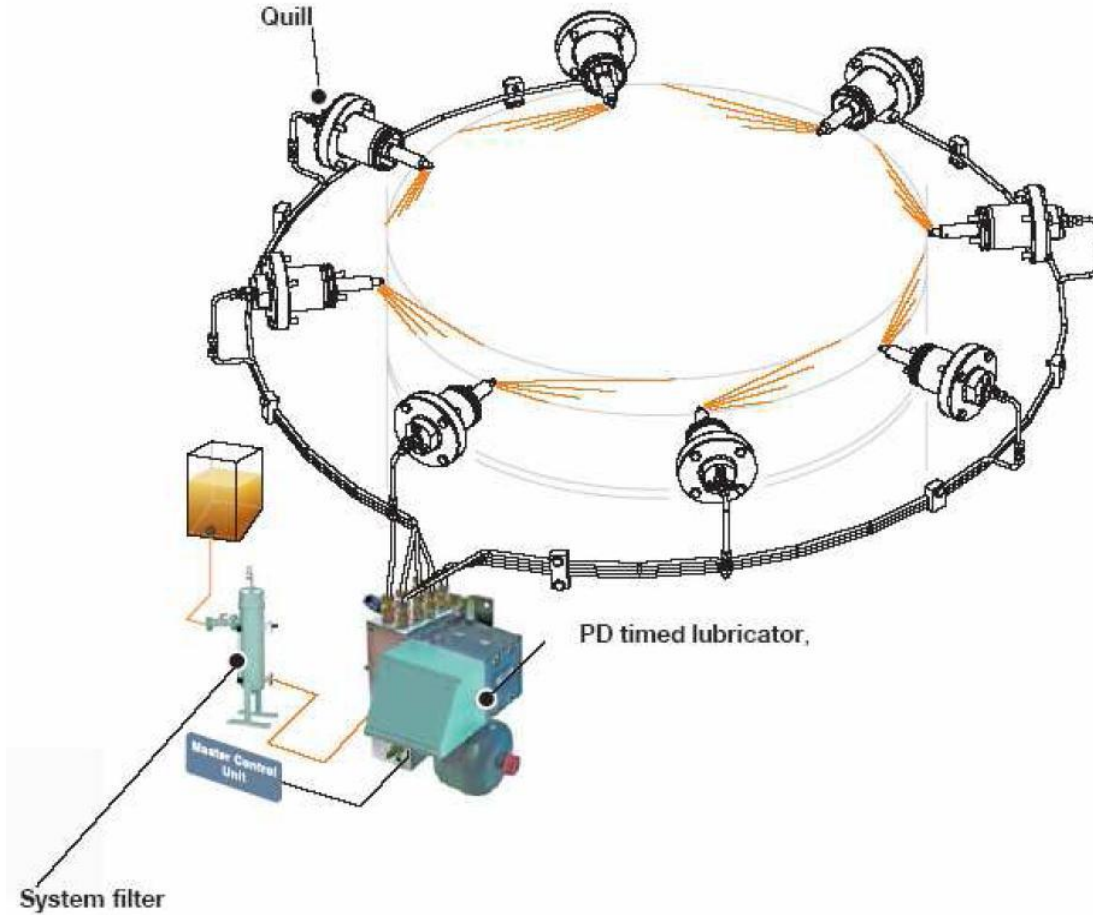
Not: F/O içindeki Catalytic fines Al,Si oxide aşındırıcı oranı, ve Exhaust Emission Control Areas'da (ECA) silindir yağı TBN daha düşük olmalıdır. (Marpol 73/78 Annex VI, IAPP)

# Dual Fuel Motorda Cyl. aşınmaları

- Dual Fuel Motorlarda Layner ve Sekmanların malzemesi çok özel yüksek mekanik mukavemetli, iyi ısı gerilim özellikleri olan, yeterli aşınma dayanımlı, yorulma ömrü uzun, ve kendi kendini yağlayabilen Perlitli Gri Dökme Demir'den yapılır. (Spheroidal/nodular graphite Iron Casting)
- İki zamanlı, düşük devirli, uzun stroklu Motorların Laynerlerde aşınmaları azaltan iki sıra Silindir yağlama yağı (Lubricater) yapılması yağ filminin silindir boyunca yırtılması önlenmiş olur.

# Cylinder Lubricating System

Silindirde aşınmayı (kazınmayı) azaltmak için Silindir Yağlama yağı püskürtme sistemi Long Stroke makinada çift sıra dairesel pulverize olarak yapılmıştır.



# Cyl. Liner'deki aşınmaları önleyici Energy Efficiency Liner Modification.

- Laynerin çalışan iç kısmına, Pistonun Sekman yuvalarına ve sekmanlara “Cermets”, (Ceramic (Cer), and Materials (Met)) aşınmayı önleyici (wear resistance coating) plasma spraying sistemle (16500 C° derece) astar boya gibi atılır.
- Yanma sonunda oluşan alkaliler, Sülfirik asid ve korozyon laynere tutunamaz.

Not: Cermets: Cr<sub>2</sub> O<sub>3</sub> + Mo Chromium (III) Oxide + Molybdenum.

## Dual-Fuel Engine Safety/Alarm sistemi:

(İki stroklu ve Trunk Engine)

- Otomatik kontrol ve alarm sistemin fonksiyon testleri,
- Oil-Mist Detector alarmı, (LNG kullanan her motorda olmalı)  
(Not: Reg. sadece DO/FO yakan gemilerde 2250 kw üzerindeki motorlarda olması gerektirir)
- Her silindir scavenge'inde yanmamış LNG gas alarmı olmalı.
- Air inlet manifoldu Gas detection alarmı,
- Crosshead, main bearing ve Crankpin yatakları lazer/sensör kontrollü her yatağın sıcaklık alarmı olmalıdır.
- Her silindir Exhaust çıkışı gas sıcaklık alarmı, olmalıdır.
- Cyl. P-max. alarmı (Each Cyl), bulunmalıdır,
- Gas Fuel Injection ve Pilot Oil-Fuel Injection sistem alarmı.



- Alarmların herhangi biri (sesli ve görsel) aktif olduğunda kontrol sistemi Gas shut-off interlock throttle valfını hemen kapatmalıdır.
- Interlock valfı manual olarakta kontrol odası merkezlerinden ve lokal olarak kapatılabilmelidir.
- Gas Shut-off (Interlock) valfı kapanınca içerdeki gas otomatik olarak atmosfere deşarj edilip yerine İnert Gas N<sup>2</sup> doldurulur, ve Motor deviri düşmeden Auto kontrol olarak Fuel Oil veya Diesel Oil moda geçer.

# Flame arrester (alev tutucu elek tel):

--Dual Fuel Diesel Engine her silindirin:

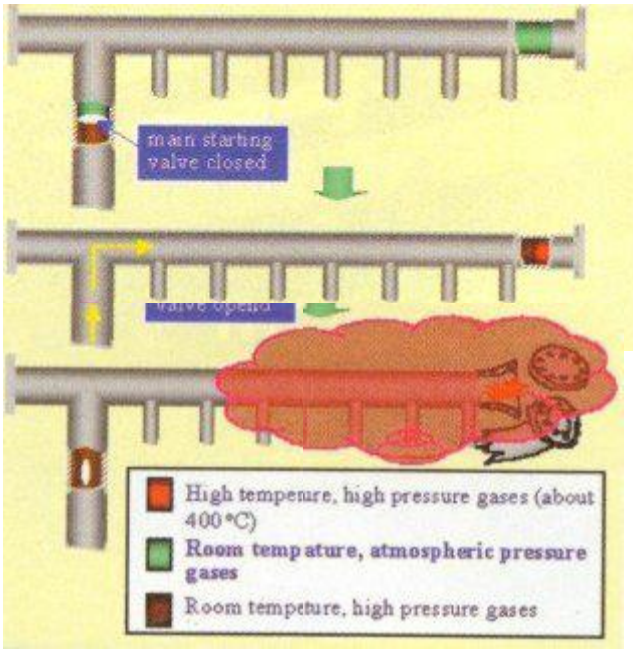
- Crankcase ve Scavenge relief devices'larına,
- Starting Hava girişine,
- Exhaust ve Inlet manifoldlarına,
- Bacaya çıkan Karter hava firarına,
- Gas supply boru discharge manifolduna konulur.

--Fire fighting installation ve Personnel protection equipment, her zaman bakımlı ve hazır tutulmalıdır.

## Air Start manifold Explosions:

Dual Fuel Motor kaverindeki Air starting valfı tutukluk yaparsa:

- Silindirdeki yanmamış LNG gas'ı starting hava manifolduna girerek infilak edebilir. Patlama ile olabilecek yangını önlemek için
- Hava Manifolduna Alev tutucu (Flame arrestor) konulması ve hava manifoldu sonuna Safety Valve veya Bursting Disk konulması IACS tarafından istenmektedir.



# LNG Tank safety system.

- LNG Deck Tank insulation and chocks moving support,
- Pressure/vacuum relief valve,
- Gas piping system valves and cocks,
- LNG Tank insulation cold spot examination,
- Tank remote control discharge valve test,

## Electrical control equipment system,

- Cable earthing, cable sheath, insulating resistance,
- LNG Gas Tankı likit seviye sistemi,
- Gas yüksek ve düşük basınç alarmı,
- LNG likit sıcaklık alarmı,
- Gas detection equipment alarmı,
- Gas compressor ve Vaporiser (Heater) safety system,
- Emgy.shut-down sistem,

# İzolasyon altındaki korozyon, (Corrosion under insulation)

- İzolasyon altındaki korozyon LPG Gemilerin Tanklarında, LNG second barrier dış saclarında, Kazan su/steam drum ve boru sisteminde, Refrigeration Gemilerin Ambarlarında, görülür.
- İzolasyon olan her ünite surveyde belirli bir ölçümde, farklı yerlerden açılıp kontrol edilmelidir. (Cold spot examination)

## İzolasyon altındaki korozyon sebepleri:

Sık sıcaklık değişiklikleri, izolasyon altına su/rutubet girişi , su buharı yoğuşması, kötü izolasyon ve kötü boya kaplaması.



Fotoğrafta Ball Type LPG tankı,(Fully Pressurised and Refrigerated Maas Type Tank) izolasyon sökölüğünde oluşun ağır paslanma görölüyor.

# Sayın okuyucularım:

Dünya'mızın geleceği atmosferi korumamıza bağlıdır. Gemilerde LNG Doğal Gas kullanarak bu kirlenmeyi minimize edebiliriz, fakat her türlü hava ile yanma neticesi oluşan Nox gazı sigaradan daha tehlikelidir, solduğumuz havanın %78'i Azot (Nitrogen) olmasına rağmen herhangi bir zararı yok, ama tek başına Azot gas'ı kesin öldürücüdür (IACS istatistikleri) Gemilerde SCR Selective catalytic (Nox) reduction sistem ile egzostaki Nox gazını yok ederek kendi sağlığımız ve geleceğimiz olan çocuklarımız için atmosferi kirletmememiz gerekir.

Uçakların 10,000 m üzeri uçuşlarında Atmosferin koruma etkisinin azaldığı için güneşten aldığımız Radyasyon oranı yer seviyesinde 0.3 micro Sivert (mSv) iken uçakta 30 mislidir ve teknolojik olarak korunması yoktur. (her uçuşta bir röntgen filmi çekilmiş kadar Radyasyon alırız). [Dünyamızda Atmosferin korunması olmaz ise ne yaparız?](#)

“Bilgi birikimi, araştırma ve Tecrübelerimi” sizler ile paylaşmak istedim, Faydalı oldum ise ne mutlu bana, Denizcilerin Gemiye girerken ve çıkarken söyledikleri gibi: “Allah selamet versin”

Saygılarımla, Kasap Mustafa Erdoğan Gemi Mak. ve Gemi İnşa Müh.