

Mika Savila

TYPPIOKSIDIEN VÄHENTÄMINEN DWI-MENETELMÄLLÄ

Merenkulun koulutusohjelma

Merenkulkualan insinööri

2017

TYPPIOKSIDIEN VÄHENTÄMINEN DWI-MENETELMÄLLÄ

Savila, Mika
Satakunnan ammattikorkeakoulu
Merenkulun koulutusohjelma
Huhtikuu 2017
Sivumäärä: 33
Liitteitä: 0

Asiasanat: DWI, Typpioksidit, NOx

Tässä opinnäytetyössä oli tarkoitus perehtyä suoravesiruiskutusjärjestelmän toimintaan ja luoda ohjeistus käyttöhenkilökunnalle. Työssä tutkittiin jälkiasenteista järjestelmää ROPAX-tyyppisessä aluksessa ja pyrittiin optimoimaan sen toiminta sekä huoltojen ajankohta.

Työssä käsitellään typen oksidimuotojen aiheuttamia haittoja, lainsäädäntöä sekä muita teknisiä ratkaisuja niiden vähentämiseksi. Pääpaino työssä oli kuitenkin DWI-järjestelmän komponenttien ja niiden ominaisuuksien tutkiminen sekä havaittujen vikojen korjaaminen.

Työssä käytettiin laivalta löytyvää materiaalia, sekä tehtiin yhteistyötä koneosaston henkilökunnan kesken. Myös ulkopuolisia asiantuntijoita haastateltiin järjestelmän päivityksen yhteydessä ja päästömittausten osalta.

REDUCING NITROGEN OXIDES WITH DWI-METHOD

Savila, Mika

Satakunnan ammattikorkeakoulu, Satakunta University of Applied Sciences

Degree Programme in Marine Engineering

April 2017

Number of pages: 33

Appendices: 0

Keywords: DWI, Nitrogen oxides, NO_x

The purpose of this thesis was to orientate with functions of direct water injection system and create instructions for operating personnel. In the thesis was studied retrofitted system in a ROPAX-type vessel and to optimize the system function and maintenance.

The harms of nitrous oxides, legislation and other technical solutions to reduce them were processed during study. Main focus was to study components, their features and to fix noticed faults.

Material found on the vessel was used and co-operated with personnel on the vessel's engine department. Also external experts were interviewed during system update and emission control.

SISÄLLYS

1. KÄSITTEITÄ.....	6
2. JOHDANTO.....	7
2. TYPPI JA TYPEN OKSIDIT.....	8
2.1. Typpi.....	8
2.2. Typen oksidit.....	8
2.3. Typpioksidien terveydelliset vaikutukset.....	9
2.4. Typpioksidien vaikutukset ympäristöön.....	9
3. LAINSÄÄDÄNTÖ	10
3.1. MARPOL ANNEX VI	10
3.2. Väylämaksut.....	12
4. MENETELMIÄ.....	12
4.1. Vesi-polttoaine-emulsio.....	12
4.2. Imuilman kostutus.....	13
4.3. EGR.....	14
4.4. SCR.....	14
4.5. LNG-käyttö	16
5. DIRECT WATER INJECTION.....	17
5.1. Veden suodatus.....	17
5.2. Veden laatu	19
5.3. LP-yksikkö	20
5.4. HP-yksikkö.....	21
5.5. Flow fuse.....	22
5.6. Ruiskutussuutin.....	22
5.7. Ohjausyksikkö.....	24
5.7.1 Ohjelmointi ja diagnostiikka.....	24
6. 2016 DWI-PÄIVITYS	25
6.1. Venttiilyksikkö	26
6.2. Pulsaatiovaimentimet	27
7. KÄYTTÖ JA KUNNOSSAPITO.....	27
7.1. Operointi.....	27
7.2. Häiriötilanteet.....	28
7.3. Suuttimen tulppaaminen.....	29
8. YHTEENVETO	30
LÄHTEET	32

LIIITTEET

1. KÄSITTEITÄ

NO_x / NO_xit: Typpioksidit, yleisnimitys typen oksidimuodoille

DWI: Direct water injection, suoravesiruiskutus

HP: High pressure, tässä työssä korkeapainepuoli

LP: Low pressure, tässä työssä matalapainepuoli

SCR: Selective catalytic reactor, katalysaattori

EGR: Exhaust gas circulation, pakokaasujen takaisinkierrätys

IMO: International Maritime Organization, kansainvälinen merenkulun kattojärjestö

SOLAS: Safety of life at sea, kv. yleissopimus turvallisuudesta merellä

Marpol: Laki merenkulun päästöjen ja saastumisen rajoitteista

TIER: NO_x-lainsäädännön asteittaiset voimaantulot

LNG: Liquefied natural gas, nesteytetty maakaasu

DF-moottori: Dual fuel, moottori joka voi käyttää useaa eri polttoainetta

ECA: Emission control area, päästörajoitusalue

NECA: NO_x emission control area, typpioksidien päästörajoitusalue

2. JOHDANTO

Tämän opinnäytetyön tarkoituksena on perehtyä suoravesiruiskutusjärjestelmän (DWI) toimintaan typenoksidien vähennyskeinona. Työssä sivutaan lainsäädäntöä ja rajoja johon pyritään väylämaksujen pienentämiseksi. Perimmäinen tarkoitus oli kuitenkin luoda ohjeistus, jolla laivan henkilökunta voi suojella järjestelmää vikatilanteen aikana, ratkaista ongelmia ja ajoittaa huoltoja oikeaan ajankohtaan.

Tässä työssä tutkitaan 90-luvun alussa valmistunutta ROPAX-alusta, jonka pituus on 203 metriä, uppouma 26728 tonnia ja bruttovetoisuus (gross tonnage, GT) 58376 tonnia. Aluksessa on 4 kappaletta Wärtsilä 9L46 päämoottoria, jotka on varustettu suoravesiruiskutusjärjestelmällä jälkiasennuksena 2000-luvulla. Aluksen päämoottoreiden yhteisteho on noin 33 000 kW. Alus liikennöi Itämerellä, joka on hauras ja erittäin liikennöity alue. Alus purjehtii satamaan, jossa väylämaksut määräytyvät osittain typpioksidipäästöjen mukaan.

2. TYPPI JA TYPEN OKSIDIT

2.1. Typpi

Typpi on alkuaine, jota esiintyy luonnollisesti maan ilmakehässä noin 78%. Typen kemiallinen merkki on N ja järjestysluku jaksollisessa järjestelmässä 7. Typpi on ns. inertti kaasu, eli se ei reagoi helposti reagoi muiden aineiden tai yhdisteiden kanssa. Typen reagoimattomuutta ja muita ominaisuuksia käytetään teollisuudessa ja lääketieteessä hyväksi useissa sovelluksissa mm. hitsauksen suojakaasuna, putkistojen koeponnistuksissa, putkistojen ja laitteiden suojakaasuna, sovitusten jäädytyksissä, syylien poistossa, lääketieteellisissä leikkauksissa jne.

2.2. Typen oksidit

Ilmakehän typpi ei reagoi helposti minkään muun alkuaineen kanssa, kuitenkin korkeissa lämpötiloissa ja yli-ilmakertoimella palamistapahtumassa se reagoi helposti hapen kanssa muodostaen typen oksidimuotoja. Luonnossa typen oksideja syntyy metsäpaloissa ja tulivuorissa, suurin osa haitallisista yhdisteistä kuitenkin syntyy ihmisen toiminnan seurauksena liikenteen ja energian tuotannon takia. Typellä on kuusi oksidimuotoa, puhuttaessa ilmakehän typen oksideista tarkoitetaan yleensä typpimonoksidia (NO) ja typpinoksidia (NO₂), näistä kahdesta yhdisteestä on kyse kun puhutaan NO_x:eista. Muita typen oksidimuotoja on mm. Typpioksiduuli (dityppioksididi N₂O), eli ”ilokaasu”. Typpipäästöjen haittavaikutuksista on tutkimustuloksia, jotka tulisi ottaa globaalisti huomioon kun tehdään ilmastopoliittia. (Tilastokeskus 29.5.2008)

2.3. Typpioksidien terveydelliset vaikutukset

Typen yhdisteet ovat välttämättömiä kaikille kasveille ja eläimille. Verenkierrossa ne osallistuvat verisuonien supistumis- ja laajentumistoimintoihin. Ihmisen toiminnan seurauksena typen oksidit ilmassa ovat lisääntyneet, varsinkin suurissa kaupungeissa liikenteen päästöjen seurauksena, varsinkin talvisin ilmanlaadun ollessa huono, ne aiheuttavat oireita joillekin ihmisille. Itsessään typen oksidit aiheuttavat oireita hengityselimissä, ne supistavat keuhkoputkea ja ärsyttävät limakalvoja. Erityisesti oireita saavat lapset ja hengityselinsairauksista kärsivät ihmiset. Joidenkin tutkimusten mukaan koehenkilöt jotka aiemmin eivät olleet allergisia siitepölylle, saivat hengitettynään typen oksideja oireita siitepölystä. (Hengitysliiton internetsivut 2017, Jouko Tuomisto 3.11.2014)

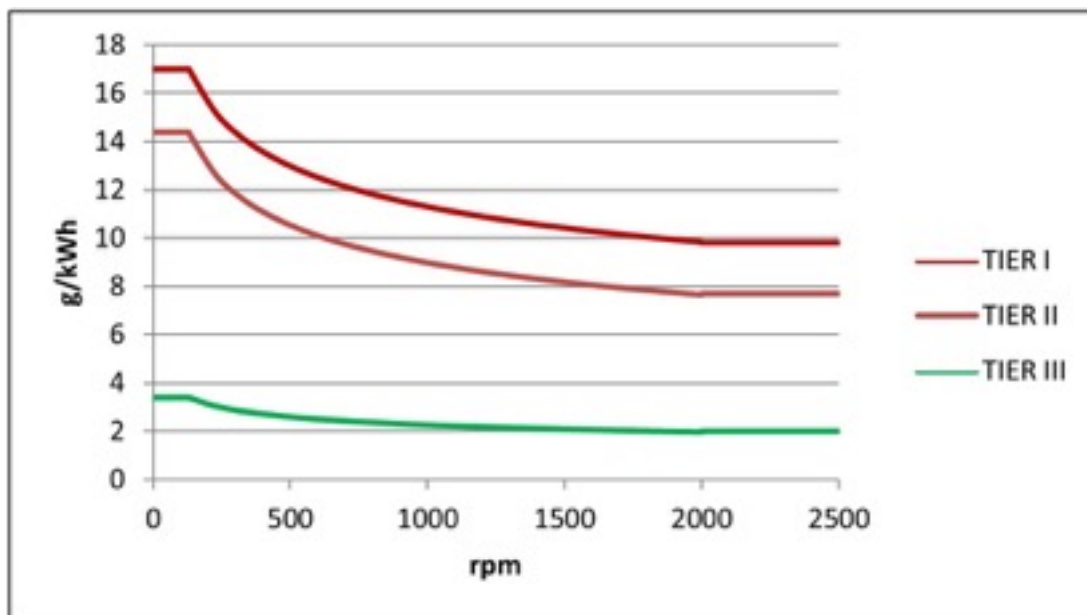
2.4. Typpioksidien vaikutukset ympäristöön

Ilmaan pääsevät typpioksidipäästöt leviävät laajalle alueelle, ts. niiden vaikutukset eivät ole paikallisia. Typpi ravinteena on lannoite, joka lisää kasvin kasvua. Mutta tietyn rajan ylitettyään suhteessa saatavilla olevaan fosforiin, ei kasvua enää tapahdu. Ilmakehän typpi on osatekijänä happamissa sateissa, jotka harsuunnuttavat lehtiä sekä neulasia ja näin vaikuttavat myös osaltaan metsien kuntoon. Metsien ravinnetalouden seuranta on tehty laajasti mm. keski-euroopassa ja typen ohella myös muiden ravintoaineiden pitoisuudet ovat muuttuneet. Tämä selittyy metsien hyötykäytön tehokkuuden lisääntymisellä; metsistä kerätään tarkemmin talteen oksat, lehdet, havut jne. Metsien ravinnetalouden ymmärtäminen on tärkeää suhteutettaessa metsien kykyä sitoa hiilidioksidia ja näin sillä on vaikutuksensa kulloinkin harjoitettavaan ilmastopolitiikkaan. (Metlan tiedote 17.9.2014)

3. LAINSÄÄDÄNTÖ

3.1. MARPOL ANNEX VI

Marpol on SOLAS-yleissäädöksen ympäristöliite, joka asettaa rajoituksia kaikelle merenkulusta aiheutuville päästöille ja saasteille. Marpol pitää sisällään liitteitä (Annex) kuusi kappaletta. Vuonna 1997 esitelty Annex VI rajoittaa merenkulusta ilmaan tulevia päästöjä: Rikki-, typpi- ja muut kasvihuonekaasut esim. VOC-kaasut. Typpioksidien osalta vuonna 2005 esitelty ja kolmen vuoden seurantavaiheen jälkeen vuonna 2011 voimaan tullut kansainvälinen lainsäädäntö rajoittaa typpioksidipäästöjä kaavion 1 mukaisesti.



Kaavio 1. Typpioksidien päästötasot. Kuva: Tanskan merenkulkuviranomainen

Kaaviosta 1 käy selville miten NO_x-päästöjä rajoitetaan moottorin käyntikierrosten, sekä laivan rakennusvuoden mukaisesti:

- TIER I: 2000 - 2010 rakennettujen laivojen NO_x-rajoitukset, koskee myös laivoja jotka on rakennettu ennen vuotta 2000, joiden sylinteritilavuus ≥ 90 litraa ja koneteho ≥ 5000 kW.
- TIER II: 2011 – 2015 rakennettujen laivojen NO_x-rajoitukset
- TIER III: Vuoden 2016 jälkeen rakennettujen laivojen NO_x-rajoitukset ainoastaan erillisillä NECA alueilla

Käytännössä TIER II rajoittaa päästöt alle 11g/kWh keskinopeilla moottoreilla ja TIER III alle 3g/kWh erillisillä ECA-alueilla, joita ovat mm. Pohjois-Amerikan ECA-alue ja Karibianmeren Yhdysvaltojen alue. Itämeren osalta Tier III:n piti alun perin tulla voimaan 2016, mutta kaikki rantavaltiot eivät ole päässeet sopimukseen rajoitusten osalta. Tämän hetkisen uutisoinnin mukaan vuonna 2021 astuisi voimaan tiukemmat rajoitukset typpioksidipäästöjen osalta Itämeren alueella. TIER III –tason saavuttaminen vaatii perinteiseltä diesel-käyttöiseltä moottorilta jonkinlaisen teknisen lisälaitteen joita ovat mm. suoravesiruiskutus, pakokaasujen takaisinkierrätys, katalysaattori tai näiden yhdistelmä. Ainoat teknologiat itsessään joka täyttää TIER III-määräykset ovat katalysaattori tai LNG-polttoaineen käyttö. (Liikenne- ja viestintäministeriön selvitys Julkaisu 42/2010)

3.2. Väylämaksut

Alueilla, jotka eivät ole NECA-alueita, voi satamavaltio määrätä väylämaksuja aluksen NO_x-päästöjen mukaan. Itämeren alueella tällaisia maita ovat mm. Norja ja Ruotsi. Tässä työssä tutkittu alus purjehtii Tukholmaan, Ruotsin väylämaksut määräytyvät NO_x-päästöjen osalta laivatyypin, laivan bruttovetoisuuden, satamakäyntien ja viiden satamakäynnin jälkeen kuljetetun rahdin tai matkustajamäärän mukaan. Jos alus alittaa 6g/kWh typen oksideja virallisen Ruotsin merenkulkuviranomaisen myöntämän NO_x-päästösertifikaatin mukaan, saa alus helpotuksia väylämaksuihin. (Ruotsin merenkulkuviranomainen, asetus väylämaksuista 7.9.2016 SJÖFS 2016:2)

4. MENETELMIÄ

Kappaleessa käsitellään erilaisia typenoksidipäästöjen vähennyskeinoja ja vertaillaan niiden etuja ja haittoja toisiinsa nähden.

4.1. Vesi-polttoaine-emulsio

Veden lisääminen polttoaineen joukkoon palotapahtumassa oli ensimmäisiä tutkittuja keinoja NO_x:ien vähentämiseksi, peruseriaatteena on, että vesi palotilassa höyrystyessään sitoo lämpöä alentaen palotapahtuman lämpötilaa ja näin vähentää typen oksidien syntymistä. Vesi-polttoaine-emulsion ongelmana on itse vesi, stabiilia seosta on hankala valmistaa ja säilytyksessä vesi erottuu helposti polttoainetankeissa. Suuttimissa ja pumpuissa vesi aiheuttaa korroosiota, moottoreissa lisätyn veden määrän kompensointi ruiskutuslaitteistoissa muodostuu pullonkaulaksi ja huippute-

hoa ei saavuteta ilman moottorimuutoksia. Teoreettinen vähennys on 50% syntyneistä typen oksideista. (Dieselnet verkkosivut 2002, Holtbecker 1998)

4.2. Imuilman kostutus

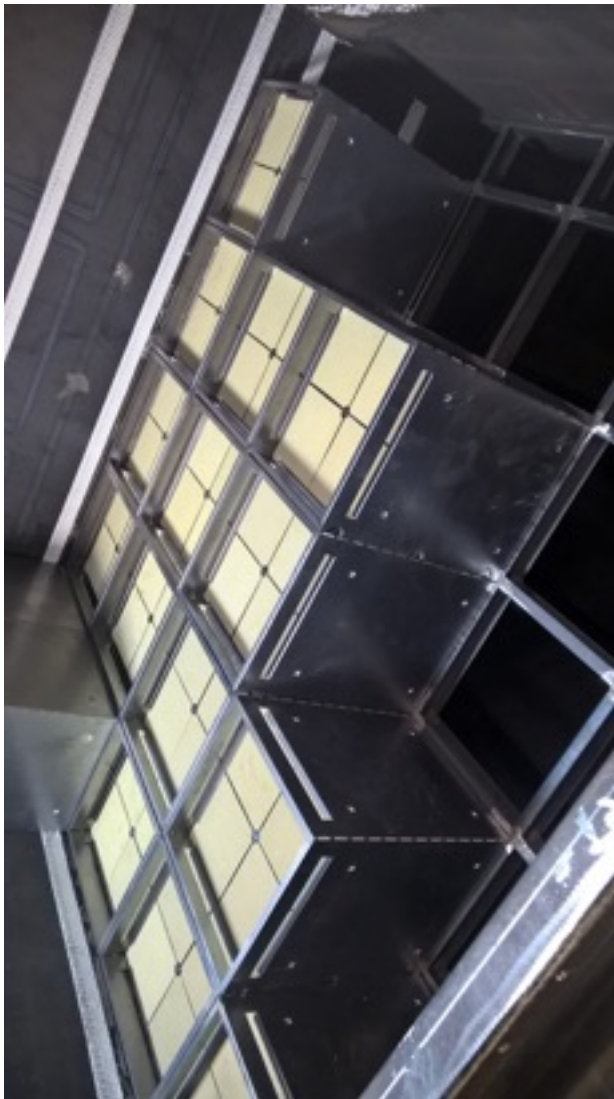
Imuilman kostutus on menetelmä, jossa moottorin imuilmaan ruiskutetaan ahtimen jälkeen vettä. Toimintaperiaate NO_x:ien vähentämiseksi on sama kuin vesi-polttoaine-emulsiossa, vesi höyrystyy palotilassa ja alentaa palotapahtuman lämpötilaa. Ongelmaksi muodostuu korroosio imukanavassa ja imuventtiilissä, ajoituksen kontrollointi sekä höyrystymättömän veden jääminen sylinteriin, joka aiheuttaa sylinterin seinämän öljykalvon rikkoutumista. Imuilman kostutuksella voidaan teoriassa vähentää syntyviä typen oksideja 40%, todellisuudessa vähennys on noin 20%. (Liikenne- ja viestintäministeriön selvitys Julkaisu 42/2010, Wärtsilä presentaatio 14.5.2008)

4.3. EGR

Exhaust gas recirculation (EGR), eli pakokaasujen takaisinkierätyks on menetelmä, jossa pakokaasuja ohjataan uudelleen palotilaan. Uudelleen kierrätetyt pakokaasut laskevat palotapahtuman lämpötilaa ja vähentävät typen oksideja. Laivamoottoreissa pakokaasujen takaisinkierätyks on pidetty huonona vaihtoehtona polttoaineen epäpuhtauksien ja sitä kautta nokikerrostumien syntyminen takia, kuitenkin monet isot moottorivalmistajat tutkivat EGR-vaihtoehtoa yhdistettynä johonkin toiseen menetelmään Tier III -päästötason saavuttamiseksi. (Liikenne- ja viestintäministeriön selvitys Julkaisu 42/2010)

4.4. SCR

SCR (selective catalytic reactor), on typpioksidien vähennyskeino, jossa pakokaasun joukkoon ruiskutetaan ureaa. Urea reagoi jalometallikennostossa ja vähentää parhaimmillaan jopa 90% typen oksideista. SCR:n ongelmia ovat sen vaatima suuri tila (ongelmallinen varsinkin jälkiasennuksissa), hankintahinta, työilman suuri kulutus ja varsinkin alusten pääkoneissa suuri urean kulutus. TIER III:sta silmällä pitäen SCR on erittäin tehokas keino alentaa typpioksidipäästöjä varsinkin pienissä koneissa. (Liikenne- ja viestintäministeriön selvitys Julkaisu 42/2010)



Kuva 1. SCR-katalysaattorin kennosto asennusvaiheessa. Kuva: Mika Savila 2015

4.5. LNG-käyttö

LNG:n (liquefied natural gas, nesteytetty maakaasu) käyttö polttoaineena on erittäin tehokas keino alentaa NO_x-päästöjä. Voimalaitospolttomootoreissa jo pitkään käytetty teknologia on valtaamassa myös merenkulkualaa. Wärtsilän kehittämässä DF-moottorissa (dual fuel, kaksoispolttoaine) palotilaan syötettävä kaasu sytytetään palotilaan ruiskutettavan vähäisen diesel-polttoaineen avulla. DF-moottorin polttoaine voidaan vaihtaa toiseen jopa 80%:n kuormituksella, tämän takia DF-moottori sopii turvallisuusominaisuuksiltaan laivakäyttöön toisin kuin edeltäjän SG-moottorin, joka oli sytytystulppasytytteinen ja käyttää ainoastaan kaasua polttoaineenaan. Esimerkkinä m/s Viking Grace on ensimmäinen suuri matkustaja-autolautta, joka käyttää polttoaineenaan LNG:tä, sen typpioksidipäästöt ovat noin 0,89 – 1,25 g/kWh. LNG on ympäristöystävällinen polttoaine myös muiden kuin typpioksidi-päästöjen osalta, se on lähes rikitöntä, se palaa puhtaammin tuottaen vähemmän hiilidioksidia sekä palamisessa syntyneitä partikkeleita. Tällä hetkellä yksi rajoittava tekijä LNG-käytön lisääntymisessä on sen suhteellisen heikko jakelu-infrastruktuuri. LNG-käyttö on tulevaisuuden polttoaine sen puhtauden ja kehittyvän teknologian myötä. (Liikenne- ja viestintäministeriön selvitys Julkaisu 42/2010, Wärtsilä presentaatio 13.3.2014)

5. DIRECT WATER INJECTION

Suoravesiruiskutus (DWI) on typpipäästöjen vähennyskeino, jossa palotilaan ruiskutetaan vettä laskemaan palotapahtuman lämpötilaa. Suoravesiruiskutus vähentää parhaimmillaan 60% syntyvistä typen oksideista. Suoravesiruiskutus ei täytä TIER III -määräyksiä, mutta oikein säädettynä sillä on tehokas vaikutus typpioksidien syntyyn ja näin väylämaksujen alentamiseen esim. tässä työssä tarkastellun aluksen osalta.

5.1. Veden suodatus

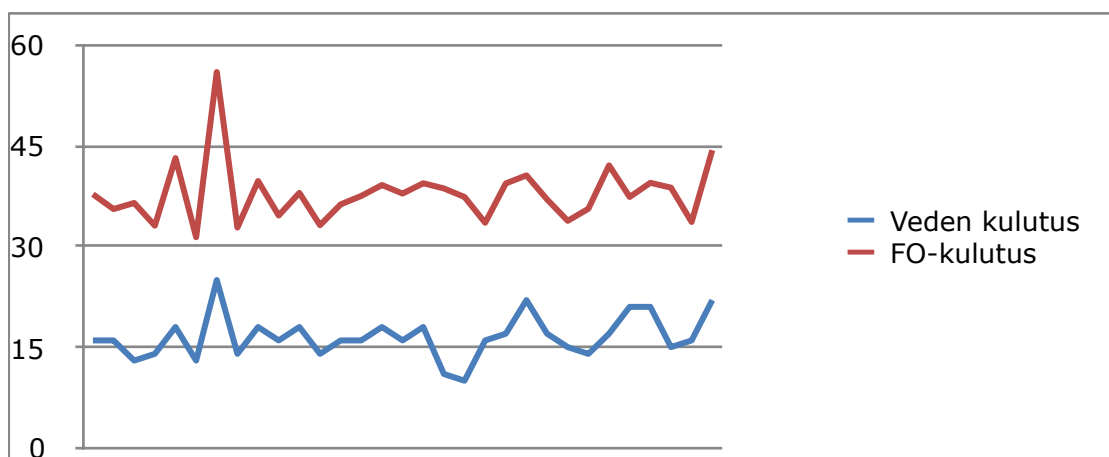
LP-yksikölle syötettävä vesi suodatetaan automaattisella karkeasuodattimella, jonka teräsverkon silmäkoko on 10 μ m. Suodattimessa on pesä, jossa on kuusi suodatin-kynttilää, pesän yli mitataan paine-eroa. Vastahuuhtelu käynnistyy suodattimen paine-eron (1 bar) ylittyttyä, tai ennalta asetetun ajan kuluessa. Esisuodatuksen jälkeen vesi kulkee vedenpehmentimen läpi. Vedenpehmentimessä on hartsipeti, joka poistaa vedestä kovat ionit. Vedenpehmentimessä on nokka-akseli, jolla vaihdetaan säiliössä kulloinkin vallitsevaa toimintatilaa: takaisinhuuhtelu, hartsipedin huuhtelu suolaliuoksella. Vesi syötetään LP-yksikön buffer-tankkiin josta se kulkee LP-pumpun ja automaattisuodattimen läpi HP-yksikölle. LP-yksikön suodatin suodattaa buffer-tankkiin palanneen ylijäämäveden, tämän suodattimen toiminnan ja puhtauden tarkkailu on erittäin tärkeää.



Kuva 2. Automaattisuodattin avattuna. Huomaa yhden patruunan korroosio; väärä materiaali (alumiini). Suodatinpatruunoissa myös kiintoainetta, eli suodatin ei ole toiminut oikein. Kuva: Mika Savila 2016

5.2. Veden laatu

DWI-yksikköön syötettävän veden tulisi olla evaporoitua tai käänteis-osmoosilla puhdistettua vettä. Myös satamasta otettavaa hanavettä voi käyttää, mutta pitkällä aikavälillä se aiheuttaa epäpuhtauksineen ongelmia järjestelmässä. Järjestelmään ei saisi päästä öljyä, rasvaa, pinta-aktiivisia aineita tai muita epäpuhtauksia. Veden tulisi täyttää seuraavat kriteerit: pH > 5, kovuus <10°dH, kloridit < 80mg/dm³, SiO₂ < 50mg/dm³, partikkelit < 50 mg/dm³. Vesi korkeapaineruiskutettavana aineena on haasteellinen, siksi sen puhtauteen ja laatuun tulee kiinnittää huomiota. Esimerkklaiivassa käytetään satamasta otettua makeaa vettä, sen luonteen vuoksi järjestelmään kertyy sakkakertymiä, jonka seurauksena on käytettävä tiheämpää huolto-ohjelmaa. Näennäisesti puhdas vesi sisältää humusta ja putkistosta irtoavaa ruostetta, jonka pääsyä eteenpäin järjestelmään ei täysin voida estää. Vettä kuluu suhteessa ruiskutettuun polttoaineen määrään noin 45%, siksi veden laadun ja tarkkailu on erittäin tärkeää. Kaaviosta 2 on nähtävissä ruiskutetun polttoaineen ja veden määrä kilogrammoina. (Silja Serenade polttoaineraportit 2016, Silja Serenade DWI käyttöohjeet)



Kaavio 2. Ruiskutetun veden ja polttoaineen määrä.

5.3. LP-yksikkö

Matalapaineyksikkö koostuu vesitankista, automaattisuodattimesta ja keskipakois-pumpusta. LP-yksikön tarkoitus on syöttää HP-yksikölle jatkuva ja riittävä esipaine. Tankki, putket ja venttiilit ovat ruostumatonta terästä. LP-pumpun tulisi tuottaa noin 4:n barin paineen HP-yksikölle. Tässä työssä tutkitussa järjestelmässä on yksi LP-yksikkö kahta HP-yksikköä kohden, jokaisella moottorilla on oma HP-yksikkönsä. Ruiskutettavaa vettä syötetään aluksen makeavesilinjasta buffer-tankkiin, myös prosessista ylijäävä vesi palautuu tankkiin mahdollisesti mukanaan joitakin epäpuhtauksia. Tankista vesi jatkaa LP-pumpun ja automaattisuodatiimen kautta HP-yksikköön. Matalapaineyksikkö itsessään on hyvin huoltovapaa, säännöllistä huoltoa ja puhdistusta vaativat automaattisuodatin ja vesitankki. Pumppu ja automaattisuodattimen takaisinhuhtelulinjan magneettiventtiili huolletaan tarpeen vaatiessa. (Silja Sere-nade DWI käyttöohjeet)

5.4. HP-yksikkö

HP-yksikkö, eli korkeapaineyksikkö koostuu mäntätyyppisestä korkeapainepumpusta ja venttiiliyksiköstä. HP-pumpun tulee tuottaa ruiskutuspuuttimille tasainen virtaus ja riittävän korkea paine (n. 200 bar). 200 bar:n ruiskutusaine tulee tarpeesta ylittää sylinterin huippupaine, joka on Wärtsilä 46 moottorilla 160-180 baria. HP-pumppu on taajuusmuuttajakäyttöinen mäntäpumppu, siinä on kolme keraamista mäntää. Pumpun kannessa on tulo- ja painepuolella ruostumattomat takaiskuventtiilit, takaiskuventtiilit ovat kulutustavaraa ja ne tulee uusia säännöllisin väliajoin kavitaation ja epäpuhtauksien aiheuttamien tiiveysongelmien takia. Vuotava takaisku imupuolella aiheuttaa imupaineen heilumista, painepuolella paine saattaa heilua tai jäädä vajaaksi. Ennen pumppua on LP-yksiköltä tulevassa linjassa magneettiventtiili ja painemittari, mittarin indikointi paineesta ennen HP-pumpun käynnistymistä kertoo vuotavasta magneettiventtilistä. Imulinjassa olevaa mittaria tulee seurata paineen heittelyvaralta.



Kuva 3. Korkeapainepumppu josta purettu painelohko, kuvassa näkyvät keraamiset männät sylintereissään. Kuva: Mika Savila 2016

5.5. Flow fuse

Flow fuse, eli virtausvahti mittaa suuttimille menevän veden lämpötilaa, virtausvahti antaa hälytyksen jos lämpötila poikkeaa asetetusta arvosta. Virtausvahti on tärkeä osa kun halutaan estää liiallisen veden virtaaminen sylinteriin suuttimen ohi. Usein kuitenkin virtausvahti ei tunnista ohitse vuotavaa venttiiliä, siksi on tärkeää epäiltäessä ohivuotoa turvautettava aistin varaisiin seurantatoimenpiteisiin tai infrapunamittarilla suoritettavaan seurantaan.

5.6. Ruiskutussuutin

Ruiskutussuutin on solenoidikäyttöinen venttiili, se saa avautumisajankohdan ja avautumisen keston ohjausyksiköltä (ECU). Suutin koostuu itse solenoidi- ja runkosasta, sekä suuttimen kärjestä. Suuttimen kärjessä on palotilaan tuleva kärkiosa ja sen sisällä tarkkuushiottu suuttimen neula. Kärki on erikseen vaihdettava osa, runkososan vaihtovälin aikana siihen vaihdetaan huolto-ohjelman mukaan kerran kärkiosa. Vesi ruiskutettava aineena aiheuttaa kavitaatiota ja sen mukana kulkeutuvat epäpuhtaudet jumiuttavat venttiilin neuloja. Jumiutunut suutin voi palaa jo alle tunnissa, jos sen läpi ei kulje jäähdyttävää vettä. Palanutta suuttimen kärkeä ei voi korjata, vaan se on vaihdettava uuteen. Suuttimen kärjet ja suutinkokonaisuudet ovat kallein ylläpitokohde DWI-järjestelmässä. Niiden suojelemiseksi käytön aikainen tarkkailu on tärkeää, jos ruiskutusprosessi ei käynnisty saattaa moottorin kaikki suuttimet palaa käyttökelvottomiksi. Aluksi suutin oli yhdistetty polttoainesuuttimeen (twinjet), tästä kuitenkin luovuttiin koska se oli epäluotettava ja saattoi päästää polttoainetta DWI-järjestelmään. Nykyisin sylinterin kannessa on koneistettu paikka suuttimelle ja flowfuselle. Kannen lisäksi myös karstarengas erilainen verrattuna tavallisen Wärt-silä 46:n vastaaviin.



Kuva 4. Ruiskutussuutin. Kuva: Mika Savila 2017



Kuva 5. Suuttimen osat purettuna vianmääritystä varten. Kuva: Mika Savila 2017

5.7. Ohjausyksikkö

DWI-ohjausyksikkö on kuin yksinkertainen henkilöauton moottorinohjausyksikkö, se saa mittaustietoa koneen toiminnasta ja antaa niiden pohjalta käskyn suuttimille avautua. Moottorin pyörimisnopeutta mitataan vauhtipyörältä, moottorin tahdinkiertoa seurataan hall-tyyppisellä anturilla koneen nokka-akselilta ja vauhtipyörältä sylinterin numero yksi yläkuolokohtaa (TDC). Lisäksi moottorin kuormatieto otetaan etäisyysanturilla polttoainevivustolta. Näiden tietojen pohjalta ohjausyksikköön ennalta ohjelmoitu ruiskutuskartta antaa käskyn suuttimille avautua tietyllä ennakolla ennen yläkuolokohtaa (BTDC) sekä kauanko ruiskutus kestää. Ohjausyksikkö ei anna ruiskulle käynnistyslupaa ennen kuin moottorilla on kuormaa 40-45%, kuorman mittausta ilmaistaan millimetreinä polttoaineruiskutuspumppun syöttönä (0-46mm).

5.7.1 Ohjelmointi ja diagnostiikka

Ohjausyksikkö on varustettu ohjelmointi ja diagnostiikka –ohjaimella. Ohjaimella voidaan lukea reaaliaikaista tietoa ohjausyksikön saamasta tiedosta (monitor display), lisäksi siitä voidaan lukea hälytykset ja vikatilanteet (hardware fault, shutdown trips). Ohjaimella voidaan myös säätää ruiskutuksen parametrejä, eli sen kestoja ja alkamisajankohtaa. Muutettaessa arvoja ja poistuttaessa ko. valikosta, tallennetaan muutos automaattisesti, tämän vuoksi muutokset ja niitä edeltävät arvot on kirjattava ylös. Huolimattomalla käytöllä on mahdollista tehdä muutoksia joka vaikuttaa negatiivisesti moottorin toimintaan ja jopa vahingoittaa vesiruiskun suutinta, moottorin mäntää tai sylinteriholkkia. Vikatilanteessa DWI-järjestelmä antaa vain yleishälytyksen laivan automaatiojärjestelmään, tarkempi vika täytyy lukea diagnostiikkaohjaimesta. (Holtbecker 1998)



Kuva 6. Ohjelmointi- ja diagnostiikkaohjain. Kuva: Mika Savila 2017

6. 2016 DWI-PÄIVITYS

Vuonna 2016 DWI-järjestelmään pyydettiin päivitys laitetoimittajalta laitteiston toimintavarmuuden ylläpitämiseksi. Lisäksi haluttiin poistaa konekohtaiset erot HP-yksiköiden välillä. Kesäkuussa asennettu päivityspaketti on parantanut toimintavarmuutta, lisäksi varaosien ylläpitäminen on helpommin hahmotettavissa, koska laitteistoissa ei ole keskenään enää eroavaisuuksia. Sekä toimintavarmuus, että varaosien pitäminen varastossa on helpottunut päivityksen myötä.

6.1. Venttiiliyksikkö

Suurimmat erot entiseen ovat venttiiliyksikössä, kokonaan uutta on manuaalinen paineensäätöventtiili, jolla saadaan säädettyä prosessiin menevän veden painetta. Paineen säätö on erityisen tärkeää kun on vaihdettu uusia suuttimia vuotavien tai tukittujen tilalle ja järjestelmän vastapaine on muuttunut. Paineensäätöventtiili myös ottaa vastaan pieniä paineiskuja käyttöalueen tuntumassa. Lisäksi vaihdettiin 2/1-venttiili (ns. "kevennysventtiili") kestävämpään malliin, kuin myös yksikön pulsaatiovaimennin.



Kuva 7. Korkeapaineysikön venttiilikoneikko. Venttiiliblokin kyljesä pulsaatiovaimennin, päällä kevennys- ja linjasäätöventtiili. Kuva: Mika Savila 2016

6.2. Pulsaatiovaimentimet

Järjestelmässä on kaksi erillistä pulsaatiovaimenninta; toinen venttiiliyksikössä ja toinen syöttölinjassa moottorin vapaassa päässä. Vaimentimet ovat kalvotyypisiä ja niissä käytetään vaimentimena tyyppiä. Tyypipaine vaimentimessa asetetaan noin 80% järjestelmän toimintapaineesta, tässä tapauksessa 180baria. Venttiiliyksikön pulsaatiovaimentimen lisäksi vaihdettiin myös syöttölinjan vaimennin, ennen käytössä olleet vaimentimet olivat fyysiseltä kooltaan pienempiä ja ne vaativat runsaasti huoltoa. Noin kolmen kuukauden tarkkailujakson aikana uudet vaimentimet ovat osoittautuneet huomattavasti luotettavimmiksi. Toimivat ja luotettavat vaimentimet säästävät järjestelmän letkuja sekä putkia ja estävät letkurikoista johtuvia vuotoja tai prosessin keskeytymiä.

7. KÄYTTÖ JA KUNNOSSAPITO

7.1. Operointi

Kun moottori käynnistetään ja kytketään akselille, vesiruiskujärjestelmän venttiilit avataan ja pumput asetetaan automaatile. Kun moottorille on saatu tarpeeksi kuormaa (n.40%), käynnistyvät pumput. HP-pumppu lähtee kiertämään 370 rpm ja ideaalitalanteessa saavuttaa 200bar käyttöpaineen, venttiiliyksikön 2/1-venttiili "keventää" järjestelmään pääsevää vettä, päästäen kuitenkin osan vedestä suuttimille. Kun ohjausyksikkö on todennut tilanteen vakaaksi, avautuu 2/1-venttiili ja ruiskutusprosessi alkaa ennalta säädetyn ruiskutuskartan mukaisesti. Toimiessaan oikein järjestelmä sopeutuu moottorin kuorman mukaan ja tarvittaessa katkaisee sekä käynnistyy uudelleen esim. saaristoajon manöövereissä.

7.2. Häiriötilanteet

Kun järjestelmän osat ovat kuluneita, tai esim. jokin likapartikkeli jättää jonkun venttiilin tai suuttimen auki, HP-pumppu ei saavuta haluttua painetta, eikä prosessi käynnisty. Riippuen tilanteesta, voidaan pumpun kierroksia ja paineentuottoa nostaa, jotta ruiskutus saadaan mahdollisimman nopeasti päälle. Jatkoa ajatellen olisi kuitenkin tärkeää etsiä vika järjestelmästä. Voi olla esimerkiksi tilanne jossa prosessi käynnistyy, mutta sammuu heti, tällöin vikaa voidaan hakea sulkemalla suuttimia moottorin hotboxista yksitellen tai ryhmissä kunnes vika on löydetty. Joskus myös kuormantunnistusanturi on joko liikkunut, eikä siksi tunnista moottorin kuormaa oikein tai se voi olla viallinen/likainen. Suuttimen äkillinen vauriotila, jossa suutin alkaa laskea läpi, voidaan havaita moottorin pakokaasujen lämpötiloista. Lävitse laskeva suutin alentaa merkittävästi palotapahtuman lämpötilaa. Toimiessaan oikein DWI-järjestelmä alentaa 40 - 60 °C moottorin pakokaasulämpöjä kun tarkastellaan pakoventtiilien lämpötilaa.

7.3. Suuttimen tulppaaminen

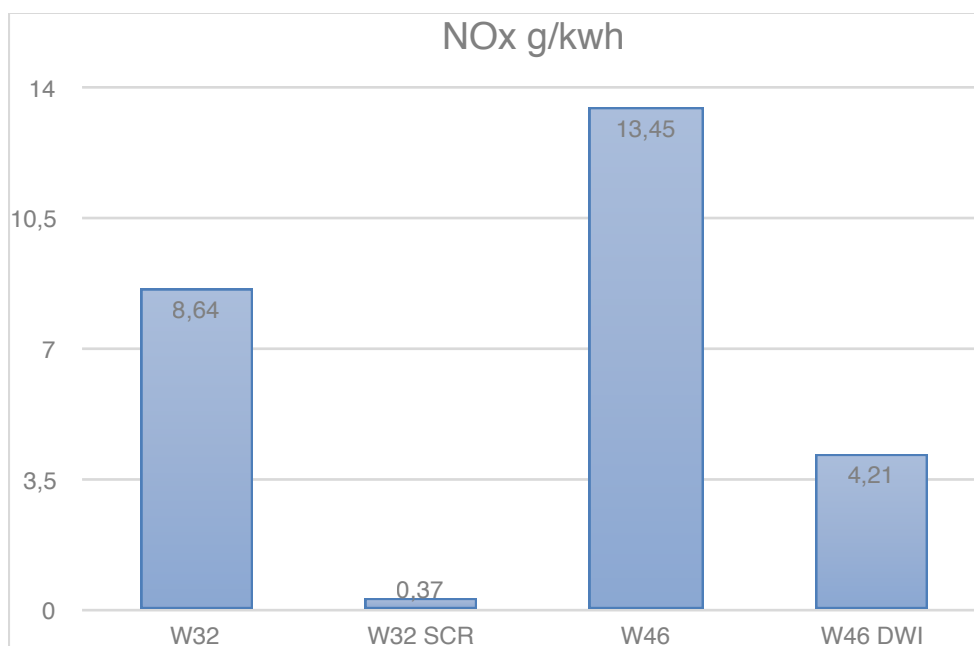
Joskus suutin saattaa alkaa laskea läpi, neula voi jumittua auki-asentoon tai suuttimen kärki voi palaa siten, että pakokaasut pääsevät tunkeutumaan suuttimeen. Jumittunut, läpi laskenut suuttimen kärki voidaan vielä vaihtaa, mutta palanut suutin on korvattava uudella. Pahimmassa tapauksessa kuumeneva suutin polttaa flow fusen tiivisteet ja takaiskun, sekä letkun joka yhdistää syöttöputkiston suuttimelle. Palanut suuttimen kärjen palanen voi myös pudota palotilaan ja siitä eteenpäin pakoventtiilin väliin tai jopa turboahtimeen asti. Lävitse laskeva suutin voidaan sulkea sulkuventtiilistä joka on ennen flow fusea, mutta suutinta on tarkkailtava palamisen varalta, kun jäähdyttävä vesivirtaus puuttuu, suutin saattaa kuumentua ja tulikumana rikkoa lisää järjestelmää sekä johtaa epäpuhtauksia paluulinjaa pitkin buffer-tankkiin. Yksittäinen suutin voidaan kuitenkin tulpata, suutin otetaan kokonaan pois ja tilalle asetetaan erikseen koneistettu tulppa. Tärkeää on muistaa ottaa suuttimelle johtava letku myös pois, koska se voi käyttämättömänä kuumentua liikaa ja taas käyttöön otettaessa letkusta irtoavat kumimurut palaavat järjestelmään aiheuttaen ongelmia.



Kuva 8. Irronnut suuttimen tulppa. Kuva: Mika Savila 2015

8. YHTEENVETO

DWI-järjestelmän suorituskykyä poistaa typen oksideja ilmoitetaan tässä yhteydessä grammoina/tuotettu kilowattitunti. Vertailun vuoksi mukaan on otettu pienemmän moottorityypin sekä urea-katalysaattorilla varustetun pienemmän moottorityypin mitattuja arvoja. Tässä työssä esitetyt arvot ovat keskiarvoja muutamista eri mittauskerroista ja niiden tarkoitus on vain osoittaa eri menetelmien tai niiden käyttämättä jättämisen vaikutusta typen oksidien syntyyn. Kaaviossa 3 on esitetty Wärtsilä 46-moottorityypin Nox-arvoja sekä DWI-järjestelmällä, että ilman DWI:tä. Mukaan on otettu vertailun vuoksi Wärtsilä 32-moottorin arvoja, sekä Wärtsilä 32-moottori SCR-katalysaattorilla varustettuna. Kaaviosta 3 on nähtävissä SCR-järjestelmän erinomainen suorituskyky, myös DWI-järjestelmän tehokkuus on hyvä.



Kaavio 3. NOx-arvoja Wärtsilä 46- ja Wärtsilä 32-moottoreista sekä ilman, että SCR- ja DWI-menetelmää käyttäen.

Aloitettaessa opinnäytettä, tietämys DWI-järjestelmästä oli vain muutamalla henkilökuntaan kuuluvalla, työn etenemisen aikana tietoisuutta on saatu lisättyä merkittävästi. Huoltojen ajoittaminen ja tarve tiedostetaan varsinkin veden laadun osalta. Järjestelmän päivityksen myötä varaosien hallinta on helpompaa, koska eroavaisuuksia ei korkeapaineyksiköiden välillä ei enää ole. Tapaukset, joissa ruiskutusprosessi keskeytyy merimatkan aikana, ovat erittäin harvinaisia, koska HP-yksikön joustavuutta osataan käyttää hyväkseen ja aloittaa korjaavat toimenpiteet satamaan saapumisen jälkeen.

DWI-järjestelmä ei täytä Tier III –rajoituksia ja aikoinaan tässä työssä tutkittuun laivaan järjestelmä oli asennettu yhtiön ympäristöosaston tietoisuuden takia, sekä myöhemmin väylämaksujen alentamiseksi. Tulevaisuuden teknologiat tulevat olemaan SCR-katalysaattori ja LNG-käyttö, jotka ainoina teknologioina täyttävät Tier III-rajoitukset.

LÄHTEET

255, Performa, Performa Cv LOGIX 742-762 Operation Manual

Silja Nox-out by DWIG Silja Serenade 4x9L46A Operation Manual

Silja Nox-out by DWIG Silja Serenade 4x9L46A Drawings, Data sheets, Instructions

Silja Serenade polttoaineraportit 2016

Viitattu 17.9.2014 <http://www.metla.fi/tiedotteet/2014/2014-09-17-puiden-ravin-netalous.htm>

Liikenne- ja viestintäministeriön selvitys laivojen typen oksidipäästöjen rajoittamisesta - Julkaisu 42/2010

Viitattu: 2002 https://www.dieseln.net/tech/engine_water.php

Holtbecker, R., Geist, M., 1998. "Exhaust emissions reduction technology for Sulzer marine diesel engines: General aspects", Wärtsilä NSD Switzerland Ltd., Winterthur, Switzerland, July 1998

Vollenweider, J., Geist, M., Schaub, M., 1995. "Residual fuels in emission-controlled diesel engines: Background, developments and operational results", Proceedings of the 1995 CIMAC Congress, Interlaken, Switzerland

Ruotsin merenkulkuviranomainen, asetus väylämaksuista SJÖFS 2016:2

Viitattu: 14.5.2008 <http://blueoceansoln.com/wp-content/uploads/2012/12/W%ort-sil%-Wet-Package-2008-1.pdf>

Viitattu: 29.5.2008 http://www.stat.fi/artikkelit/2008/art_2008-05-30_007.html?s=0

Viitattu: 2017 <http://www.hengitysliitto.fi/fi/sisailma/ulkoilma/ilmansaasteet/typen-oksidit-no-ja-no2>

Voiko ilma palaa? Arsenikista öljyyn - 100 kysymystä ympäristöstä ja terveydestä

Jouko Tuomisto

Viitattu: 3.11.2014 http://www.terveyskirjasto.fi/terveyskirjasto/tk.koti?p_artikkeli=asy00403&p_hakusana=typpi

Viitattu: 2017 <http://www.dma.dk/Vaekst/MiljoeKlima/KvaelstofOxid/Sider/default.aspx>

Viitattu: 13.3.2014 <http://propellerclubs.it/Public/doc/11032014ropaxgtirelli.pdf>