TAMPEREEN AMMATTIKORKEAKOULU
Kone ja tuotantotekniikan koulutusohjelma
Lentokonetekniikka

Tutkintotyö

Sami Pylkkänen

Pakokaasuahtimen puhdistus huollon yhteydessä

Työn ohjaaja: Yliopettaja Heikki Aalto
Työn teettäjä: Timo Selonen
Tampere 2006

Kone ja – tuotantotekniikka
Lentokonetekniikka
Opiskelija: **Sami Pylkkänen**
Tutkintotyö: **34 sivua**
Työn ohjaaja: **Yliopettaja Heikki Aalto**
Työn teettäjä: **Abb turbocharging Finland, valvoja Timo Selonen**
Hakusanat: **Turboahdin, VTR, Puhdistus, Huolto**

TIIVISTELMÄ

Tässä tutkintotyössä tutkittiin pakokaasuahtimien puhdistusprosessia korjaamo ja kenttäoloissa sekä perehdyttiin turboahtimen toimintaan. Puhdistuspsrosessia tutkittiin niin teoriassa kuin käytännössäkin.

Pakokaasuahtimen puhdistusprosessilla tarkoitetaan laivoissa ja voimalaitoksissa huollettavia turboahtimia. Huollon tärkeimpiä osa-alueita on eri komponenttien puhdistus. Työturvallisuus-näkökohtiin kenttähuolloissa on syytä kiinnittää huomiota. Periaatteessa puhdistus-vaihtoehtoja eri komponenteille ovat mekaaninen puhdistus (kuten pesu) ja raekuula puhdistus. Näitä menetelmiä käytetään turboahtimien huolloissa. Tietyissä puhdistuskohteissa ,kuten laakeriosissa olisi hyvä käyttää ultrapesulaitetta. Tulevaisuutta ajatellen suosittelisin harkitsemaan ultrapesulaitteiston hankintaa.

TAMPERE POLYTECHNIC
Mechanical and production Engineering
Aeronautical Engineering
Sami Pylkänen

Cleaning of turbocharger in Service	
Engineering thesis	34 pages
Thesis Supervisor	Heikki Aalto
Comisssioning Company	ABB Oy, Turbocharging Finland, Supervisor : Timo Selonen
Keywords:	Turbocharger,VTR, Cleaning, Service

Abstract:

In this final thesis I have research the turbochargers cleaning process in field and workshop conditions.

Cleaning process have been research with practice information and with literature information.

In this final thesis I have concentrate to cleaning process of exhaust gas turbochargers in ships and powerplants.

The main things in service of turbochargers is cleaning of components.

In principle there are two things in cleaning: mechanical cleaning (washing) and blast cleaning.

In some cases could be very good idea to use (example some parts of bearings) the ultra clening equipments.

ALKUSANAT

Tämä tutkintotyö on tehty ABB:n turboahdinhuollossa. Työn tarkoituksena on ollut tutkia turboahtimien puhdistusprosessia. Työn valvojana on toiminut Timo Selonen ABB:ltä.

Työ on aloitettu syksyllä 2005, ja sitä on tehty keväälle 2006 asti. Haluan osoittaa kiitokset työkavereille ABB:n turboahdin huollossa hyvistä neuvoista sekä tuesta ystäville ja sukulaisille.

Tampereella 2.5.2006

SISÄLLYSLUETTELO

1 JOHDANTO 6
2 TURBOAHTIMEN TOIMINTA 6
3. ABB TURBOCHARGING 7
4. TURBOAHDINTEKNOLOGIAN HISTORIAA 8
4.1 VTR- Ahdintyyppi 9
4.2 RR-Turboahdin 9
4.3 TPS-TPL- Turboahtimet 10
5.VTR toimintaperiaate 12
6. Kenttähuolto VTR 14
6.1 Esivalmistelut, nostot ja työturvallisuusnäkökohdat 15
6.2 Huolto –ja puhdistus prosessi 18
6.2.1 Kenttähuollon aikana tarkastettavat ja mitattavat osat. 18
6.2.2 Kenttähuollon puhdistusprosessi. 18
6.2.3 Kenttähuollossa vaihdettavat osat 19
6.3 Kokoonpanoprosessi 19
7. Roottorin huolto korjaamo-olosuhteissa 21
7.1 Roottorin tarkastaminen 21
7.2 Roottorin purkaminen 23
7.2.1 Roottorin purku osiin 23
7.2.2 Roottori täyttää vaaditut arvot. 23
7.3 Roottorin puhdistusprosessi 24
7.3.1 Akselin puhdistus 24
7.3.2 Suutin ja peiterenkaan puhdistus. 24
7.3.3 Kompressoripyörän puhdistus 26
7.3 4 Turbiinisiivistön puhdistus. 27
7.3.5 Laakeriosien ja pumppujen puhdistus 29
7.4 Roottorin tasapainoitus 29
8.Vaihtehto mekaaniselle puhdistukselle 31
9 .Polttoaineet. 32

1 JOHDANTO

Työntehtävä on tutkia turboahdinhuollossa käytettyjä puhdistus menetelmiä. Työ rajoittuu VTR-sarjan kenttähuoltoon sekä korjaamo-olosuhteissa tehtävään huoltoon. Työn tarkoituksena on saada aikaan kokonaisvaltainen kuva laiva ja-teollisuuskäytössä olevien turboahtimien huollon puhdistusprosessista.

2 TURBOAHTIMEN TOIMINTA

/1; 15; 16/

Pakokaasuturboahdin lisää polttomoottorin tehoa. Diesel-moottoreille pakokaasuturboahtimen käyttö sopii hyvin korkean puristussuhteen vuoksi. Hyötysuhde on n. 55% :in luokkaa.
Diesel-moottorit ovat yleisesti käytöstä suljettuja kohteita kun moottorilta vaaditaan pientä painoa.

Moottorin teho nousee koska pakokaasulla toimivan turboahtimen kautta ahdetaan suuremmalla paineella ilmaa polttomoottorin sylintereihin, polttoa-aine lisätään ilmaan pakokaasuahtimen jälkeen. Eli pääasia pakokaasuahtimen toiminnassa on että saadaan ahdettua suurempi määrä poltto-aineen ja ilman seosta sylinteriin jolloin moottorista saatava teho sekä sen hyötysuhde nousee jolloin moottori on tehokkaampi kuin ahtamaton moottori. Myös mekaanisia ahtimia on käytössä jotka toimivat kampi-akselilta saatavan liike-energian avulla. Hyötysuhteen kannalta pakokaasu-ahdin ottaa energiansa hukka-energiasta kun taas mekaaniset ahtimet ottavat energiansa kampiakselilta jolloin se vie osan pois kokonais-hyötysuhteesta. Turboahtamisen edut ovat että moottorista saavutetaan tehon ja vääntömomentin kasvu verrattuna esim. ahtamattomiin, vapaasti hengittäviin moottoreihin. Turboahtimen suuret nopeudet vaativat valmistuksessa ja huollossa tarkkaivaisuutta, puhtautta ja huolellisuutta. Turboahtamisen haasteet ovat tästä riippuen, saada hyödylliset käyttösuhteet niin ala-arvoilla kuin ylä-arvoillakin. Teollisuudessa on pyritty kekittymään ala-arvojen ja keski-arvojen käyttösuhteiden tärkeyteen ennemmin kuin yläarvojen huipputehoon.

Turboahdin ei ole kuitenkan sellainen moottorin komponentti jonka avulla saataisiin tehoa enemmän ja enemmän pelkällä ahtopaineen korottamisella. Tälläisissä tapauksssa pakokaasun poisto ei tule olemaan tarpeeksi tehokasta. Eli tehokkaan turboahtimen ja moottorin kokonaisuus perustuu myös moottorin hengitykseen.

3. ABB TURBOCHARGING

/2/

ABB- Turbocharging on maailman johtava turboahtimien valmistaja yli 500 kW:n diesel-ja kaasukoneille. Päätoimisto sijaitsee Badenissa Sweitsissä. ABB:n turboahdinhuoltoa ylläpitävät yli 70 huoltopistettä ympäri maailmaa. Yksi huoltopisteistä sijaitsee Suomessa Helsingissä.

ABB Turbochargingin historia alkoi sen perustamisesta 1920-luvulla Sveitsin Badenissa. Yritys keskittyi keskisuuriin ja suuriin diesel koneisiin. Brown Boweri (BBC) oli yhtiön nimi ,perustettaessa ja se kuuluu monien tapahtumien jälkeen ABB- konserniin.

Vuonna 1924 ensimmäinen suureen diesel koneeseen toimitettiin ensimäinen turboahdin. 1930- ja 1940- luvuilla kehiteltiin ABB:n klassikko ahdin, VTR-Sarja. Suomessa ABB nimi otettiin käyttöön kun vuonna 1988 BBC ja Asea yhdistyivät.

ABB Suomessa

ABB:n organisaatio koostuu kuudesta eri ryhmästä. Ryhmät ovat : automaatioteknologia-divisioona, sähkövoimateknologia-divisioona, Service, Product support, kotimaan tuoteyksikkö ja muut yksiköt. Suomen turboahdinhuolto sijoittuu automaatioteknologia-divisioonaan.

Sähkövoima ja automaatioteknologia ovat Suomessa ydinalueet. Asiakkaat ovat kaikilta teollisuuden aloilta. Suomen turboahdinhuollot kohdistuvat lähinnä laivoihin ja voimalaitoksiin.

4. TURBOAHDINTEKNOLOGIAN HISTORIAA

/2/

Rudolf Diesel kehitteli dieselmoottorin vuonna 1892, mutta 1900-luvun alkuvuosina dieselmoottorista saatiin n. 30 % tehokkaampi. Näinä aikoina diesel-moottoreita Euroopassa kehitteli ja valmisteli Maschhinenfabrik Ausburg-Nurnberg (MAN) Saksassa , Burmeister & Wain (B&W) Tanskassa ja Sulzer Sveitsissä alkoi myös rakentaa dieselkoneita. Brown Boveri & Cien kehitteli noihin aikoihin Euroopan ensimmäisen höyryturbiinin.

1920-luvun vaihteen molemmin puolin Ranskassa työskenneltiin Auguste Rateaun ja USA:ssa General Electricin toimesta turboahdettujen lentokone-moottorien saralla. Työskentelyn tuloksena 1917 tuotettu ja testattu turboahdettu moottori oli käytössä ennen ja jälkeen I maailmansodan.

Vuonna 1923 BBC raportoi tutkimuksista, jotka tehtiin 160 rpm
4-tahtimoottorilla. Niissä ahtopainetta oli saatu nostettua 33% ja toimintapaine, palamislämpötilat ja lämpökuorma olivat hyväksyttävillä tasoilla. Tämän tutkimuksen tuloksena BBC päätti aloittaa turboahtimien rakentamisen.

Vuonna 1925 patentoitiin matalapaineahdin. Seuraavana vuonna yritys joka tunnettiin nimellä ”Buechi Syndicate” suunniteli Combound polttomoottori-konetta, jossa oli pakokaasuahdin ja ahdinpumppu. Vuonna 1926 testattiin BBC:n tuottamat ahdinpyörät kun ne asennettiin kahteen suureen matkustajalaivaan. Vuodesta 1928 lehdistä saattoi lukea uusista aluksista turbo-ahdetuilla moottoreilla.1930-luvun alussa BBC:stä oli tullut yritys, joka itse antoi neuvot ja ohjeet turboahtimen asentamiseen ja käyttöön liittyviin asioihin. Vuosikymmenen alkupuolella BBC myös kehitteli turboahtimen käytön ja huollon kannalta helpottavia ratkaisuja. Loppupuolella turboahtimien myynti suureni ratkaisevasti.

4.1 VTR- Ahdintyyppi

1940 vuodesta lähtien BBC kehitteli uutta ahdin tyyppiä, VTR..0:aa. VTR-sarjaan paneudutaan tässä työssä enemmän huollon osalta. VTR-ahtimen uusia ominaisuuksia edeltäjiinsä olivat avoin radiaalivirtakompressori, kevyt roottori, helpommin asennettava ulkoinen kuulalaakeri ja itse-voiteleva järjestelmä.

VTR-ahdintyypin esittely oli merkkipaalu BBC:n historiassa.
VTR-ahdintyyppi mahdollisti kaksitahtikoneiden turboahtamisen konekäyttöisillä huuhteluilmapumpuilla. Toisen maailman sodan jälkeisinä vuosina maailman kauppalaivasto laajeni ja dieselmoottoreiden kysyntä vilkastui tämän seurauksena. Siksi myös turboahtimien kysyntä vilkastui. Vuosina 1945 – 1960 koneen valmistajien ja turboahdin teollisuuden yhteistyö kasvoi. BBC:n linja tuotekehittelyssä alkoi suuntautua korkea-paineturboahtaukseen. Markkinat laajenivat USA:han ja Aasiaan.

Vuosina 1955 – 1975 laivanrakennusteollisuus laajeni ja paljon laivanrakennusprojekteja toteutettiin Japanissa, jonne BBC oli saanut hyvän jalansijan. Vuonna 1971 lanseerattiin VTR-sarja jota alettiin kehitellä seuraavista syistä : polttoaineen kulutuksen kehittäminen, vakiopaineisen ahdetun ilman kehittäminen ja huuhteluilmapumppujen eliminointi.

4.2 RR-Turboahdin

Kolme vuotta ennen VTR..1-turboahdintyypin lanseeramista tuotiin markkinoille RR-turboahdin, joka on kooltaan pieni, ja siinä on radiaali turbiini ja radiaali kompressori. Se kehitettiin tehoalueeltaan pienemmälle alueelle kuin VTR-sarja. Markkinoilla oli kysyntää pienemmille je kevyemmille turboahtimille, joita käytettiin nopeakäyntisille diesel koneille pienemmälle teho alueelle.

BBC oli jo aikaisemmin kehitellyt pienempää turboahdin tyyppiä, mutta RR 150 oli ensimmäinen todellinen ratkaisu. 1970- luvulla tämä ahdintyyppi löi itsensä läpi markkinoilla nopeakäyntisten 4-tahtisten dieselkoneiden saralla.

4.3 TPS-TPL- Turboahtimet

/14/

1990 luvun alkupuolella ABB alkoi kehittää kompaktimpaa, kevyempää, suorituskyvyltään parempaa ahdinta VTR, VTC–ja RR–ahdinten rinnalle.

TPS-turboahdin suunniteltiin koneille ,joiden teho on 500kW:sta 3000 kW:iin. TPL-turboahdin suunniteltiin teholuokasta 2500 kW aina suurimpiin markkinoilla oleviin koneisiin.

TPS-Turboahdin

RR-turboahtimen julkaisun jälkeen nopea -ja keskinopeakäyntisten diesel -ja kaasukoneiden markkinat ovat kehittyneet nopeasti. Tämän seurauksena kehiteltiin TPS-turboahdin sarja. TPS-sarja on pienikokoinen turboahdinsarja.

90-luvun puolessa välissä kehittelytyö eteni nopeassa tahdissa.

Kehittelytyö keskittyi lähinnä kompressoripuolen kehittelyyn, sekä turbiinin ja suutinrenkaan kehittelyyn.

Turbiinipuolen eduiksi muodostui sen soveltuminen pulssiahtamiseen ja tasaiseen turboahtamiseen. Suutinrenkaiden erikoispinnankäsittely antaa mahdollisuuden käyttää käsiteltyjä suutinrenkaita myös matalalaatuisten polttoaineiden tehon tuottoprosesissa. Laakerointiin kehiteltiin myös huomiota, lähinnä öljyjäähdytykseen. TPS-ahdinta kehiteltiin neljää eri kokoluokkaa –TPS 48, TPS 52 , TPS 57 , ja TPS 61. Päästömääräysten johdosta kehiteltiin myös 3 uutta TPS-sarjaa, jotka ovat F33, F32 ja F31. Uudet F-sarjat sisälsivät alumiiniseoksesta valmistetun kompressoripyörän. F-sarja on myös ensimmäinen ABB:n turboahdin, jossa käytettään uudelleen kierrätys teknologiaa.

TPS-ahtimeen kehitettiin 90-luvun puolessa välissä säädettävää turbiinipuolen geometriaa, muuttuvaa suutinrengasta.

TPL-Turboahdin

TPL-ratkaisu kehiteltiin suuremmille diesel-ja kaasukoneille. Lähinnä keskityttiin 4-tahti koneisiin. Kehittelyssä keskityttiin teknisiin parametreihin, kuten tehokkuuteen ja huoltovälien pidentämiseen. Myös ympäristömääräykset vaikuttivat lopputulokseen. Lopputuloksena oli helpompihuoltoinen ja kunnossapidettävämpi turboahdin ratkaisu, jonka vaikutuksesta myös
LCC- kustannukset pienenivät verrattuna muihin ahdintyyppeihin.
TPL-ratkaisussa on vähemmän osia kuin edeltäjissään. Merkittävää on myös se että siinä ei ole vesijäähdytystä, laakerisuunnittelussa on pyritty parannuksiin. Lisäksi on luotu integroitu turbiinipuoli ja kompressoripuolen puhdistus-suuttimet. Kenttäkäytössä testit aloitettiin vuonna 1996. Ensimmäinen TPL-tyypin ahdin ,joka julkaistiin markkinoille oli TPL..A , oli kehitelty nykyaikaisille keskikokoisille ja suurille 4-tahti-diesel ja –kaasukoneille. Niiden teholuokka on 2500 kW:sta 12500 kW:iin.

Vuonna 1999 lanseerattiin markkinoille TPL..B, joka kehiteltiin suurien, modernien 2-tahtisten meridieselmoottoreiden tarpeisiin. Teholuokka on 5000kW:sta 25 000kW:iin. Hyötysuhde tällä kyseisellä ahdintyypillä on parhaillaan yli 87 %. Suunnittelussa oli keskitytty lisäämään virtauksen suuruutta, kehittämällä impelleriä ja backswept bladesiä. Tärkeitä asioita, joita otettiin myös huomioon olivat kunnossapito -ja huoltonäkökohdat.

TPL..C-turboahdinsarjan kehittelyyn vaikuttivat markkinat ja uudet ympäristömääräykset,
lähinnä Nox-määräykset. Kohteena ovat tulevaisuuden 4-tahtiset keskinopeat diesel-ja kaasu-koneet tehoalueella 3000kW-10 000 kW.

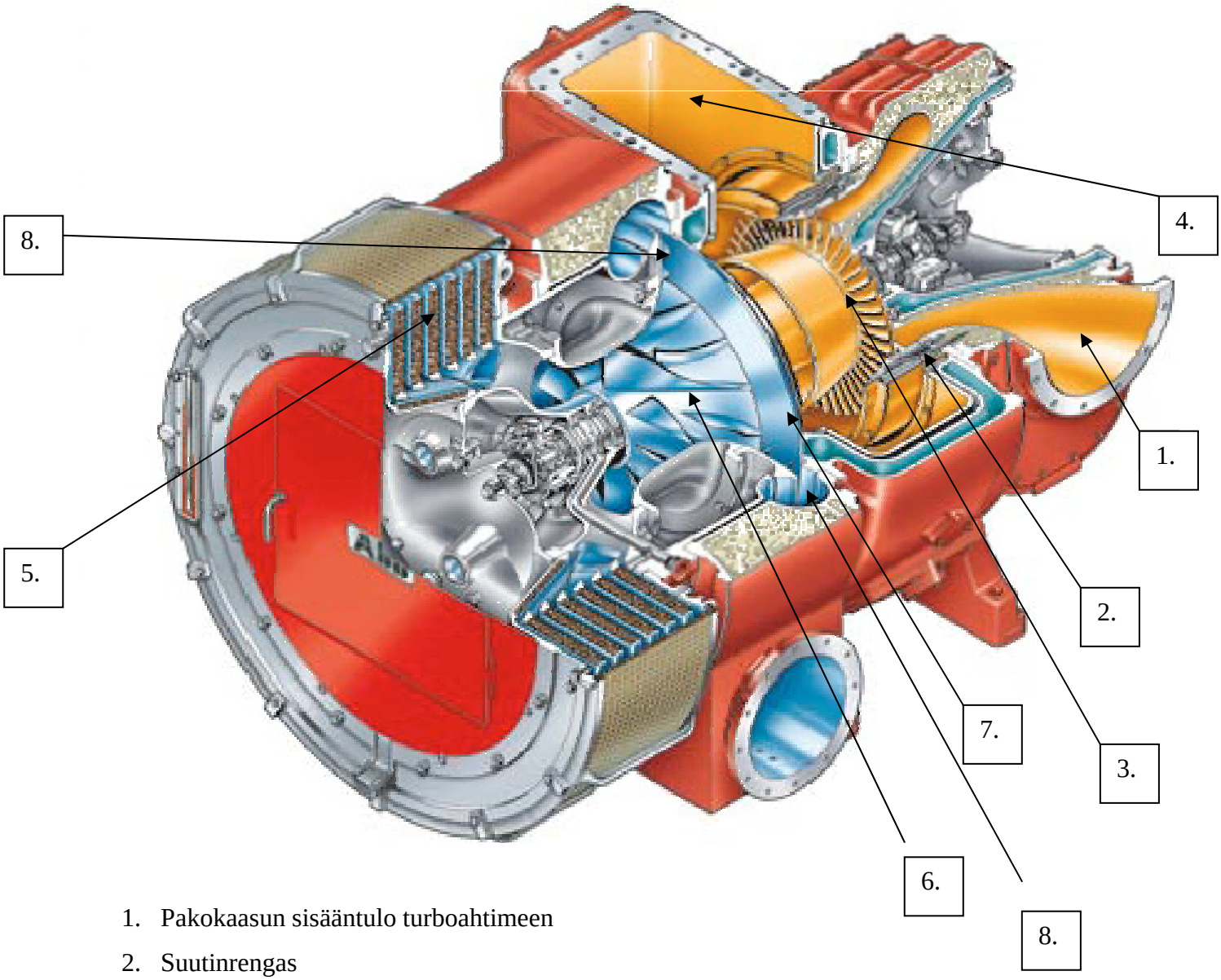
5.VTR toimintaperiaate

/3 ; 13/

VTR-sarjan ahtimet on suunniteltu 2-tahtisille hidaskäyntisille ja 4-tahtisille keskinopeille suurille dieselmoottoreille. VTR-ahtimia käytetään 750 kW:n ja 18 500 kW:n tehoisiin koneisiin.

VTR:ssä on radiaalikompressori ja aksiaaliturbiini, vesijäähdytteinen tai jäähdyttämätön kaasukammio, ulkopuolinen laakerointi. Laakerointi on kitkattomilla rulla- tai liukulaakeri toteutuksella.

VTR..4P –tyyppinen turboahdin tarjoaa uusille 4-tahtisille , keskinopeille diesel koneille korkeapaineista ahtokaasua. Kuvassa 1 nähdään VTR-sarjan ahdintyypin toimintaperiaate.



1. Pakokaasun sisääntulo turboahtimeen
2. Suutinrengas
3. Turbiini
4. Pakokaasun ulosmeno ahtimesta
5. Suodatin/vaimennin
6. Kompressori pyörä
7. Diffusoori
8. Ahdetun ilman ulosmeno ahtimesta

Kuva 1. VTR-ahdintyypin toiminta periaate. /13/

VTR ahdintyypin toimintaperiaate (kuva 1) on seuraava:
Polttomoottorin tuottama teho määritellään sillä, kuinka paljon ilmaa ja polttoainetta voidaan syöttää sylinteriin moottorin nopeuden suhteen. Turboahtimet tuottavat ilmaa moottoriin korkealla paineella että saataisiin enemmän tehoa moottorista.
Turboahdin toimii seuraavalla periaatteella : Pakokaasu moottorista tulee sisään ahtimeen kuvan osoittamasta kohdasta (1). Pakokaasu laajenee suutinrenkaassa (2). Suutinrengas levittää energian turbiinin siiville (3). Tämä saa aikaan pyörivän liikkeen roottorin akselilla. Pakokaasu poistuu seuraavaksi turboahtimesta (4). Kompressoripuoli imee ilmaa suodattimen/vaimentimen läpi ja ilma kohtaa kompressoripyörän (6), jossa oleva akseli tuottaa pyörivän liikkeen.
Kompressoripyörästä ilma ajautuu diffusoorille (7) ja viimein ilma viedään ulos ahdetun ilman ulosmeno-kohdasta ahtimessa (8). Prosessin jälkeen ilma on ahdettua ja se ohjataan moottoriin.

6. Kenttähuolto VTR

/3;11/

VTR –turboahdinta kunnossapidetään, jotta sen teho -ja toimintakyky säilyisi seuraavilla toimenpiteillä: Ilmansuodatin voidaan puhdistaa tietyin ennakkon määritellyin väliajoin tai ilmansuodattimen likaisuuteen perustuen.
Sekä käytön aikaisilla pesumenetelmillä kompressori- ja turbiini puolille jolloin voidaan käyttää vesipesumenetelmiä tai kuivapesumenetelmiä.

Turboahtimen öljyn määrän ja värin visuaalinen tarkastus on myös hyvä käytön aikana tehtävä kunnossapidon menetelmä. Öljyjen vaihtoväli riippuu ahdintyypistä, kun laakereiden vaihto on tarpeellista silloin myös aina vaihdetaan uudet öljyt.

Itse kenttähuolto tehdään VTR-turboahtimiin laakerinvaihto välin mukaan. Tämä aikajakso riippuu turboahtimen tehosta ja erittelystä. Vaihtovälit vaihtelevat
8000 h –10 000 h–12 000 h, esim. VTR 354-32L-turboahtimella laakerinvaihtoväli on 12 000 h

6.1 Esivalmistelut, nostot ja työturvallisuusnäkökohdat
/ 7;8;9 /

Esivalmistelut alkavat laivaan saavuttua. Etsitään konehuoneen nostokohdat, minne saadaan nostossa tarvittavat nostovälineet kiinnitettyä (nostoliinat, nostotaljat, sakkelit ja vaijerit).

Nostokohdat ovat laivan kenttähuolloissa pääasiassa hieman laivan mukaan vaativia. Esivalmisteluissa on oltava huolellinen nostoliinojen, nostotaljojen, sakkeleiden ja vaijereiden kunnon tiedostamisessa. Nostovälineiden tulee olla tarkastettuja ja käyttöön sopivaksi todettuja. Myös nostolaitteiden painorajoituksiin pitää kiinnittää erityistä huomiota.

Esivalmisteluissa on hyvä suunnitella valmiiksi, minne konehuoneessa sijoitetaan turboahtimen osat huollonaikaiseen säilytykseen. Jos laiva on huollon aikana kulussa, on osat syytä kiinnittää huolellisesti merenkäynnin vuoksi.

<u>Esiin tulevat työturvallisuuten liittyvä näkökohdat ovat seuraavat:</u>

1) työpaikalla vallitseva lämpötila
2) työpaikan kaasut, melu, pölyt, kemikaalit
3) työskentelytilojen liukkaus (öljyinen/rasvainen pinta)
4) nostot
5) työskentelytasot
6) huonot työasennot
7) kiire
8) itse työnkohde (esim. V-kone)
9) kommunikointi ongelmat

Seraavia käytännön ratkaisuehdotuksia nousi esiin:

-Lämpötilaan voidaan vaikuttaa vain, jos on aikaa koneen/konehuone ilman jäähdyttämiseen.

Käytännössä tämä tarkoittaa sitä että kun laiva on ollut satamassa pidempään ja koneet eivät ole käynnissä, niin lämpötilat laskevat.

-Kaasujen, melun, pölyjen, ja kemikaalien työturvallisuus-riskeihin voidaan vaikuttaa parhaiten henkilökohtaisella tasolla. Kyse on siis suojavälineiden käytöstä: kuulosuojaimet, suojalasit, suojahanskat/käsineet ja työvaatteet.

-Työskentelytilojen liukkauteen voidaan vaikuttaa sillä, että laivan konehuoneessa yleisesti vallitsee siisteys. Työnsuorittajan näkökulmasta myös kriittisempien kohtien puhdistus on paikallaan, esim. pyyhkimällä öljyisiä kohtia pois työskentely-alueelta.

-Nostot on suunniteltava etukäteen, niin nostolaitteiden sijoitus kuin itse nostoprosessi. Käytännössä kenttähuollossa nostot ovat suuri ongelmakohta pääasiassa koukkujen sijoituksen ja noston tilanpuuteen vuoksi. Erityisen varovainen tulee olla käytettäessä muita kuin omia testattuja nostovälineitä, kuten laivan omia nostovälineitä.

-Työskentelytasojen työturvallisuuteen parannuskeinona on yleensä laivanrakennus-teollisuuden suunnittelussa, turboahdin-huoltojen huomioiminen. Myös työtasojen parantaminen itse laivan eliniän aikana on hyvä vaihtoehto.

-Huonot työasennot ja ahtaus ovat asioita jotka vaarantavat työturvallisuutta. Riittävä valaistus sekä erikoistyökalut lieventävät tämän vaikutusta, mutta itse ongelmaa se ei sulje pois.

-Kiire aiheutuu lähinnä laivojen lyhyistä satamassa oloajoista ja se on laivojen tehokkuuden lisäämisestä johtuva syy. Mutta myös työnsuoritukselle annettut ohje aikarajat lisäävät kiireen aiheuttamaa painetta. Myös itse työkohde voi vaihdella vaativuudeltaan, esim. V-koneen ahtimet ovat yleensä vaikeampia huoltaa työssä kuin rivikone.

-Kommunikointi laivan miehistön kanssa on myös työturvallisuusnäkökohta, jolloin olisi tärkeää olla yhteinen ja osapuolten ymmärtämä kieli esim. suunniteltaessa huollon työturvallisuusnäkökohtia.

-Pääasiassa laboratorio-olosuhteissa ja tuotannon koeajossa on kiinnitetty työturvallisuus näkökohtiin enemmän huomiota kuin laiva-olosuhteissa.

Turboahtimen purkuprosessi
/6/

VTR-tyypin turboahtimen purkuprosessi on seuraava:

1)Turbiinipuolen öljytiloista valutetaan öljy pois.
2)Kompressoripuolelta irrotetaan suodatin kokonaisuudessaan ja nostojen avulla siirretään huollon ajaksi säilytykseen.
3)Kompressoripuolen öljytiloista valutetaan öljy pois.
4)Öljyluukut ja öljyluukkujen tiivisteet irrotetaan turbiini -ja kompressoripuolelta. (HUOM. Öljytilat on puhdistettava kokonaan ja öljytilat jätettävä puhtaiksi, sillä pienikin vesimäärä vaahtouttaa uuden öljyn käytönaikana).
5)Akselinpään heitto mitataan kompressori-ja turbiinipuolelta, mikäli turboahdin-tyypissä käytetään pumppuja
6)Kompressoripuolelta aukaistaan laakeria, jotta on mahdollista mitata välykset.
7)Laakerit vedetään vedetään ulos, kompressori ja turbiinipuolelta.
8)Turbiinipuolelle asennetaan lukitus
9)Ilmakammio irrotetaan kokonaisuudesta ja siirretään huollon ajaksi säilytykseen.
10)Asennettu turbiinipuolen lukitus poistetaan ja akselille laitetaan suojaputki.
11) Roottori vedetään ulos.

Purkuprosessin jälkeen tehdään suutin sekä peiterenkaalle visuaalinen tarkastus. Kaasun ulos ja sisääntulo kammioiden likaisuuden paksuuden mittaus suoritetaan.

6.2 Huolto –ja puhdistus prosessi

Huollon tärkeimmät tehtävät ovat tarkastukset, puhdistaminen ja tiettyjen osien uusiminen.

6.2.1 Kenttähuollon aikana tarkastettavat ja mitattavat osat.

Ensimmäisenä kenttähuollossa tarkastetaan öljy visuaalisesti. Tarkastuksella etsitään öljyn epäpuhtauksia kuten pakokaasun aiheuttamat epäpuhtaudet , laakereiden kulumisesta johtuvat epäpuhtaudet, käytön aikana suoritettujen puhdistusten aiheuttamat mahdolliset epäpuhtaudet. Ennen roottorin ulosvetoa, mitataan pumppujen heitot ja välykset. Myös laakereiden lievä visuaalinen kunnon tarkistus suoritetaan. Roottorin ahdinpyörän kunnon visuaalinen tarkastus suoritetaan sen jälkeen, kun roottori on vedetty ulos.
Turbiinipuolen siivistön visuaalinen tarkastus sekä siivistön halkaisija mitataan. Erityistä huomiota on kiinnitettävä siivistön kuluneisuuteen. Suutinrengas tarkastetaan visuaalisesti. Peiterenkaalle suoritetetaan visuaalinen tarkastus, sekä mitataan sen halkaisija. GI ja GO (gas in /gas out) -kammioille tehdään visuaalinen kunnon tarkastus sekä seinämän paksuudet mitataan. Roottorin akselista tarkastetaan labyrinttitiivisteiden kunto ja mitataan halkaisijat.
Akselille suoritetaan myös visuaalinen tarkastus, jossa on kiinnitettävä akselinpään kierteisiin ja pumpun olakkeisiin (sellaiset mallit, joissa käytetään pummpuja).

6.2.2 Kenttähuollon puhdistusprosessi

Kenttäolosuhteissa tehtävät puhdistustoimet eroavat hieman korjaamo-olosuhteissa tehtävistä, mutta periaate ja päämäärä on sama. Puhdistusprosessi aloitetaan laittamalla suutinrengas sekä peiterengas kuumaan veteen (47-55 ^{o}C) likoamaan, jolloin saadaan palamaton polttoaine liuotettua pois renkaista ja helpotetaan mekaanista puhdistusprosessia. Liotusaika kenttäolosuhteissa

on n. 2 - 12 tuntia olosuhteiden mukaan. Turbiinipuolen siivistö asetetaan myös likoamaan, jolloin roottori asetetaan pystysuoraan asentoon ja alapuoli laitetaan astiaan ja täytetään kuumalla vedellä siihen pisteeseen, että siivistö on veden peitossa. Myös turbiinsiivistön tapauksessa liuotusaika on 2 - 12 tuntia olosuhteiden mukaan . Ilmantulokammio puhdistetaan mekaanisesti sekä käyttäen pesukemikaaleja eli palamattomat polttoaineet poistetaan käyttäen tarkoitukseen sopivia työvälineitä sekä pestään pesuaineilla (esim. Kiilto Oy:n Teho 100).
Liuotusaikana puhdistetaan ilmantulokammio mekaanisesti käyttäen pesuainetta, vettä ja teräsharjaa yms. Myös diffusoori puhdistetaan mekaanisesti käyttäen samoja menetelmiä kuin ilmanpoistokammion puhdistuksessa.

6.2.3 Kenttähuollossa vaihdettavat osat

Kenttähuollossa vaihdetaan puhdistusprosessin jälkeen tiivisteholkit ja kaikki tiivisteet. Tiivisteholkin laittamisessa on tilannekohtaisesti jäähdytetty tiivisteholkki käyttämällä esimerkiksi kylmä-sparyta holkkia supistettaessa.

Voiteluöljypumput ja laakerit vaihdetaan myös. Tarvittaessa vaihdettavia osia ovat pultit ja mutterit sen mukaan missä kunnossa ne ovat. Suutin ja peiterenkaan pultit ja lukkolevyt vaihdetaan joka huollon yhteydessä.

6.3 Kokoonpanoprosessi

/10/

Kun osat on puhdistettu ja kuivattu, aloitetaan kokoonpanoprosessi. Kun osat on puhdistettu ja kuivat, suoritetaan mittaukset. Asennetaan suutinrengas ja peiterengas. Suutin ja peiterenkaan puhtaus on erittäin tärkeää, jotta suutinrengas menee suoraan. Puhdistettu roottori otetaan säilytyksestä ja aloitetaan roottorin asennus. Kaikkein tärkeintä on kiinnittää huomiota siihen, että että roottorin väliseinä menee ohjausnastaan, jotta asennus tulee tiiviiksi. Tällöin kaasut eivät pääse kompressoripuolelle.

Seuraavaksi asennetaan ilmatulokammio paikoilleen (GI-Kammio). On syytä kiinnittää huomiota sen asentoon. Tapaukssissa joissa GI-kammio on alumiinia ja GO-kammio on valurautaa, tulee GI-kammion asennuksessa ottaa välys pois, ennen kuin se kiristetään. Jos näin ei tehdä, ahdinpyörä saattaa ottaa lisäseinään kiinni. Tämän jälkeen asennetaan pesuputki ilmantulokammioon.

Tämän jälkeen asennetaan laakerit paikoilleen.
Kompressoripuolen laakeri asetetaan muutama millimetri akselille, jotta roottori vapatuu, tämän jälkeen mitataan K, L , M –arvot.
K-arvo : roottorin välykset (käynti asema)
L-arvo : ahdinpyörän ja lisäseinän välinen välys
M-arvo: labyrintti tiivisteiden ja ahdinpyörän välinen välys.

Laakeri asennetaan paikoilleen (turbiini ja kompressoripuoli).
Seuraavaksi asennetaan voiteluöljypumput:

2 tapausta: VTR 304, voiteluöljykiekko

VTR 454, voiteluöljypumppu

VTR 304

Voiteluöljykiekko asetetaan, asennetaan akselinpään lukitus ja asetetaan akselinpään
mutteri. Mitataan voiteluöljykiekon B2- arvo(heitto).
Asennetaan ”nippel” käsitiukkuuteen ja mitataan B1-arvo (”nippel”- heitto).

VTR 454

Ensin mitataan pumpun olakkeen heitto. Tässä on syytä huomata, että jos mutteri on löysä ja heittoa on paljon, akseli on luultavasti vaurioitunut. Seuraavaksi asennetaan itse pumppu. On suositeltavaa tarkastaa sen asento jotta esim. imuputki on oikeassa asennossa. VS-puolella nopeusanturi asennetaan pumpun

akselille ohjeiden mukaan. Pumpusta tehdään ohjeiden mukaiset mittaukset ja se lukitetaan.

Seuraavaksi asennetaan voiteluöljyluukun tiivisteen ja itse luukku. Turboahtimeen asennetaan suodatin ja nopeusanturi. Seuraavaksi asennetaan vesi/pesuputket ja viimeisenä täytetään öljytilat ohjeiden mukaan , erittäin tärkeää on käyttää oikeaa voiteluöljyä.

7. Roottorin huolto korjaamo-olosuhteissa

/4/

Turboahtimien roottoreita huolletaan korjaamo-olosuhteissa. Tällöin työskentely-mahdollisuudet ja välineet, tilat ym. ovat paremmin kuin kenttähuollossa, siksi huollon laatu on parempi. Korjaamo-olosuhteissa roottorin huoltoon liittyviä toimenpiteitä ovat roottorin tarkastus, roottorin purkaminen (mahdollisesti), puhdistusprosessi, johon tässä tutkintotyössä keskitytään tarkemmin, roottorin kokoonpanoprosessi ja tasapainoitus.

7.1 Roottorin tarkastaminen

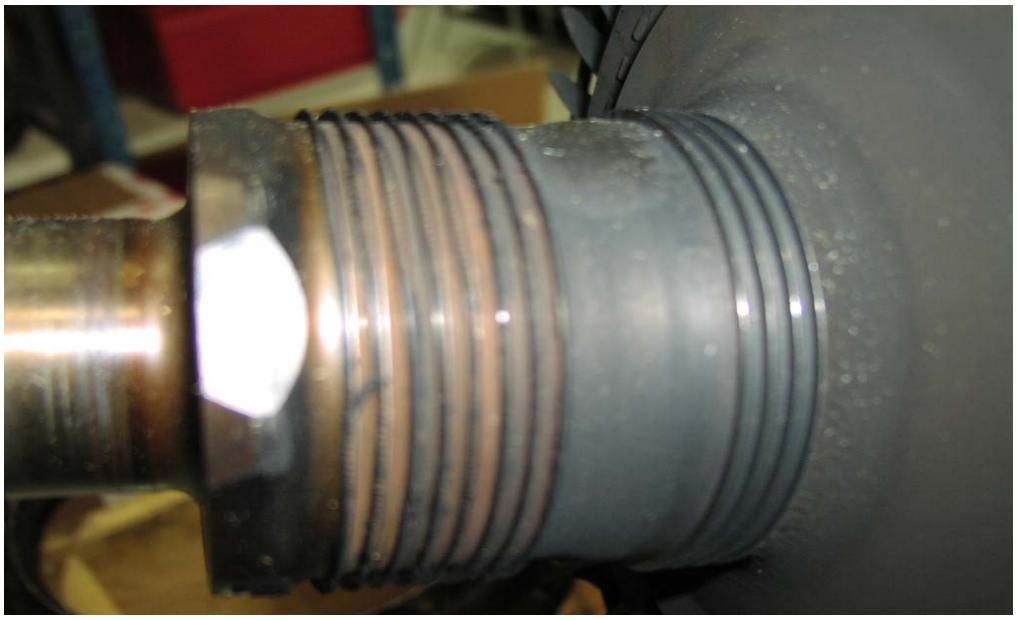
/5/

Kun roottori saapuu korjaamolle, sille tehdään tietyt tarkastukset ja mittaukset. Näin saadaan tärkeää tietoa, kun suunnitellaan itse huoltoa ja saadaan dokumentoitua roottorin senhetkinen tila, jota mahdollisesti tarvitaan jälkeenpäin.

Roottorin tarkastuksen kohteita ovat (VTR): Ensin tarkastetaan ahdintyyppi ja sarjanumerot, kuten akselin ja ahdinpyörän numero. Akselin kunto tarkistetaan silmämääräisesti ja mitataan labyrinttitiivisteiden halkaisijat D1 ja D2. Akselin suoruus mitataan viidestä eri kohdasta akselin matkalta. Akselin kaula mitataan kompressoripuolelta sekä turbiinipuolelta. Myös akselinpään kierteiden kunto tarkistetaan silmämääräisesti. Labyrinttitiivisteiden halkaisijasta sekä akselin kaulanmittaamisesta on dokumentit, joista voidaan heti päätellä jos mitat eivät täytä vaatimuksia. Kuvassa 2. nähdään labyrinttitiivisteet.

Pumpun olakkeen halkaisija mitataan kompressoripuolelta sekä turbiinipuolelta. Myös tässä tapauksessa nähdään heti, ovatko mitat vaatimusten mukaiset. Turbiinisiivistöstä mitataan halkaisija ja tarkasteaan kunto. Myös vaimennuslangan kunto tarkistetaan. Tarkistetaan myös, onko vaimennuslanka ovaali vai pyöreä. Väliseinälle ja takalevylle tehdään silmämääräinen tarkistus.

Ahdinpyörästä sekä etupyörästä tarkistetaan silmämääräisesti kunto sekä mitataan sen heitto S ja ahdinpyörän asema s. Tuloksista voidaan päätellä, onko kunto vaatimusten mukainen. Suutinrenkaasta tarkistetaan silmämääräisesti kunto, onko esim. säröjä. Peiterenkaasta mitataan halkaisia AR ja tarkistetaan kunto silmämääräisesti. Joissakin tapauksissa suutinrengas ja peiterengas eivät tule roottorin mukana huoltoon.



Kuva 2. Roottorin labyrinttitiivisteet, Kyseessä VTR 304- Turboahdin’

7.2 Roottorin purkaminen

Roottorin huoltoa varten roottori täytyy purkaa tietyin osin sen mukaan mitä on tarkastuksissa havaittu. Jos kaikki mittaukset täyttävät vaatimukset, puhdistus ja tasapainoitusta varten roottoria puretaan vain tietyin osin. Mutta jos roottorissa on osia, joita joudutaan vaihtamaan, joudutaan mahdollisesti koko roottori purkamaan.

7.2.1 Roottorin purku osiin

Roottorin etupyörä saadaan irti niin, että roottori asetetaan kompressoripuoli alaspäin tuettuna riippumaan. 1 - 2 kaasupolttimella lämmitettään etupyörän napaa koko ajan roottoria pyörittäen. Lämmitys suoritetaan maks.$180\,^{o}C$: *seen*, jolloin alumiinin lämpölaajentumisen seurauksena etupyörä putoaa alas. Ahdinpyörä irrotetaan samalla menetelmällä, mutta ensin esilämmitetään koko ahdinpyörää maks.70 ^{o}C : *seen*; jonka jälkeen lämmitys kohdistetaan napaan ja ahdinpyörä putoaa alas. Tämän toimenpiteen jälkeen saadaan roottorin väliseinä irrotettua pois, jolloin jäljellä on akseli ja turbiinisiivistö. Turbiinisiivistön saa irrotettua siipi kerrallaan poistamalla ensin lukitteet ja katkaisemalla vaimennuslangan (vaihdetaan joka kerta), jolloin siivet saadaan mekaanisesti irroitettua.

7.2.2 Roottori täyttää vaaditut arvot

Jos mitatut arvot täyttävät vaatimukset, puhdistusprosessia ja tasapainoitusta varten irrotetaan vain väliseinän holkki.

7.3 Roottorin puhdistusprosessi

7.3.1 Akselin puhdistus

Jos turbiinin siivistö on otettu kokonaan pois, akselinpuhdistus suoritetaan pesuaineilla (esim. Kiilto Oy:n Teho 100 puhdistusaine) mekaanisesti. Tärkeää on suojata akseli sen jälkeen korroosiolta. Jos siipien kiinnityskohdat tarvitsevat parempaa puhdistusta, niille suoritetaan raekuulapuhallus.Labyrinttitiivisteisiin on syytä kiinnittää huomiota ja tarvittaessa ne on uusittava.

7.3.2 Suutin ja peiterenkaan puhdistus

Mittausten jälkeen suutin ja peiterengas asetetaan kuumaan veteen (47-55 ^{o}C) likoamaan 2 - 12 tunniksi, jolloin polttoaineen palamis-jäämä likoaa pois. Likoamisen jälkeen suutin ja peiterenkaasta irroitetaan mekaanisesti lika pois. Renkaat pestään koneellisesti, jonka jälkeen ne kuivataan paineilmalla.
Kuvassa 3 nähdään korjaamohuoltoon tullut peiterengas, ja kuvassa 4 nähdään korjaamohuoltoon tullut suutinrengas. Viimeisenä toimenpiteenä suutin ja peiterengas raekuula-puhalletaan, jotta saadaan jäljellä olevat palamisjäämät poistettua. Jos suutin ja peiterengas päätyvät pitkäaikais-säilytykseen, ne käsitellään suojavahalla (Esim. Wurth Oy:n suojavaha) tai vastaavalla aineella.

Kuva 3.

Korjaamohuoltoon tullut peiterengas. Ahdintyyppi: VTR 304

Kuva 4.

Korjaamohuoltoon tullut suutinrengas. Ahdintyyppi :VTR 304

7.3.3 Kompressoripyörän puhdistus

Kompressoripyörä puhdistetaan joko erikseen tai kiinnitettynä akseliin. Jos etu- ja ahdinpyörä puhdistetaan erikseen, ne pestään ja käsitellään kemikaaleilla ja puhdistetaan käsin. Myös esipuhdistus on suositeltavaa, jolloin pyörät voidaan esipestä ennen käsinpuhdistusta koneellisesti.

Tapauksessa jossa ahdinpyörä puhdistetaan kiinnitettynä akseliin (siis koko roottori on kasassa, ilman väliseinän holkkia). Roottori asetetaan riippumaan ahdinpyörän puoli ylöspäin niin, että turbiinisiivistöä voidaan pitää likoamassa. Ahdinpyörän puhdistus tapahtuu mekaanisesti käyttäen vettä ja
kemikaaleja (esim. kiilto Oy:n Teho 100). Kuvassa 5 nähdään rottorin kompressoripyörään käytön aikana syntynyt epäpuhtaus.

Kuva 5.
VTR 304-roottori, ahdinpyörästä näkyy käytön aikana syntyneet epäpuhtaudet

7.3 4 Turbiinisiivistön puhdistus

Turbiinisiivistö puhdistetaan joko pelkän akselin kanssa tai koko roottorin ollessa kasassa. Turbiinisiivistö liotetaan kuumassa vedessä (47 – 55 ^{o}C) 2 - 12 h, jonka jälkeen se puhdistetaan mekaanisesti ja puhalletaan paineilmalla kuivaksi. Siivistön kuivattaminen on hyvin tärkeää, jotta kosteus ei pääse raepuhallusprosessiin, jonne siivistö seuraavaksi menee puhdistukseen. Raepuhalluksessa loppu palamislika poistetaan. Kuvassa 7 nähdään roottori raepuhallusprosessia. Jos siivistö jää pitkäksi aikaa säilytykseen, siihen käytetään suojavahaa (esim. Wurth Oy:n valmistamaa suojavahaa) säilytyksen ajaksi. Myös yksittäisiä siipiä voidaan puhdistaa. Silloin käytetään koneellista pesua, jonka jälkeen siivet puhalletaan kuivaksi ja raekuulapuhalletaan. Yksittäisten siipien puhdistustapauksessa niistä yleensä etsitään tunkeumanesteellä halkeamia. Kuvassa 6 nähdään turbiinisiivistö ja kuvassa 8 nähdään puhdistettu turbiinisiivistö.

Kuva 6. Likainen turbiinisiivistö

Kuva 7. Roottori raekuulapuhallus prosessissa

Kuva 8. Puhdistettu turbiinisiivistö

7.3.5 Laakeriosien ja pumppujen puhdistus

Laakerit puretaan ensin, sen jälkeen laakerirungot esipuhdistetaan kammiopesukoneella, jonka jälkeen suoritetaan visuaalinen kunnon ja puhtauden tarkistus. Runkojen jatkopuhdistus tehdään mekaanisesti puhdistus käsin, jolloin puhdistusaineena käytetään Trans Mer:in valmistamaa Eskem-pesuainetta jos siihen on syytä.

Puhdistuksen jälkeen rungot kuivataan ja käsitellään korroosion esto-aineella (esim. Wurthin Rost off-tuotetta). Rungot siirtyvät sen jälkeen varastoon säilytykseen myöhempää käyttöä varten tai vaihtoehtoisesti käyttöön.

Myös muut laakeriosat kuten ulko-ja sisäholkit noudattavat samaa kaavaa puhdistusprosessissa mutta poikkeuksena on, että mekaaninen pesu tehdään tarkemmin. Kun osat ovat kuivat ja puhtaat, ne kalibroidaan ja kalibrointituloksen mukaan ne menevät käyttöön tai poistetaan käytöstä. Laakeriosien puhdistusprosessin kehitykseen on ratkaisuna ultrapesuprosessi. Laakereiden radiaalipaketit puhdistetaan mekaanisesti, jolloin kemikaalien käyttö on vähäistä. Laakereiden aksiaalipaketit puhdistetaan kemikaaleilla (esim. Wurth Oy:n Puhdistusspray (Aerosoli). Pumpun osat puhdistetaan mekaanisesti pesuaineella esim. Eskem-pesuaine. Laakereista puhdistetaan itse runko, pumpun putki, akseli, ratas sekä suutin.

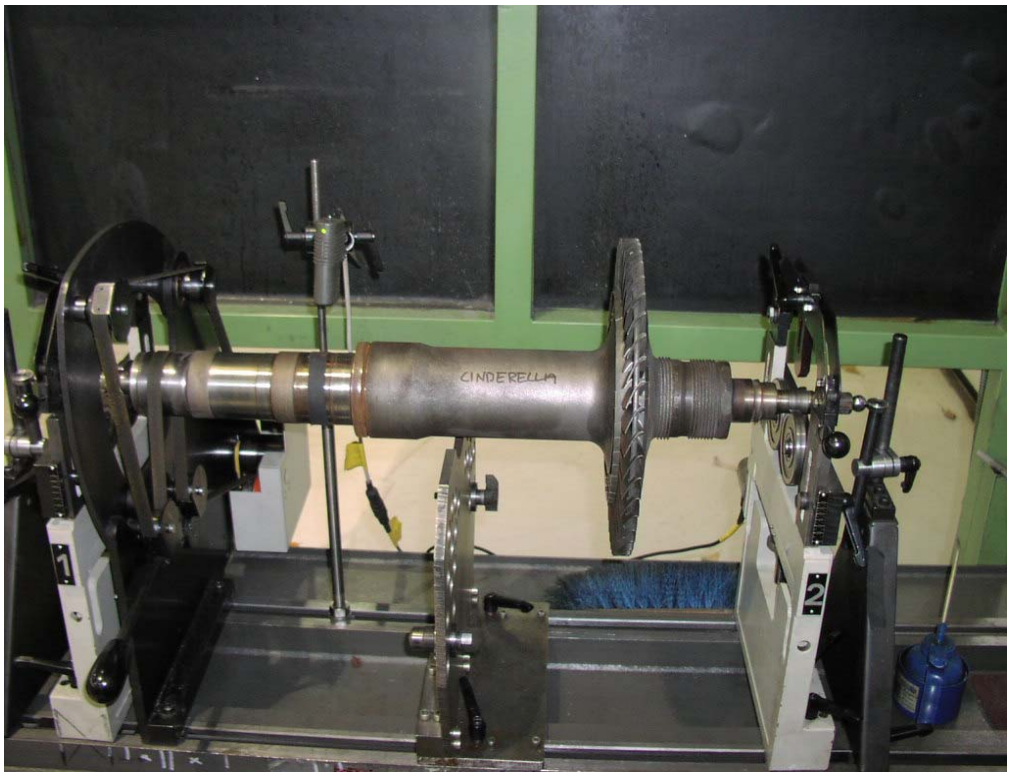
7.4 Roottorin tasapainoitus

/12/

Roottorin tasapainoitus suoritetaan korjaamo-olosuhteissa. Tasapainoituksen tarkoitus on saada laakerit kestämään itse käytössä. Tasapainoisessa roottorissa on minimaalinen resonanssi, jolloin laakerit kestävät pitempään eli sallitun huoltovälin. Roottorin tasapainoituksen arvona käytetään g/mm. Tasapainoituksessa roottorin kompressori- tai turbiini puolelta työstetään ainetta

pois tai vaihtoehtoisesti sitä lisätään. Aineenpoisto on käytetympi menetelmä. Tasapainotuslaitteisto antaa tarvitun informaation, jotta savutetaan rottorin/akselin vaatima tasapaino. Sen seurauksena ahtimen elinikä kasvaa.

Tasapainoitusprosessissa käytetyt arvot ovat laskennallisia/kokemusperäisiä. Käytännön kokemuksena on, että uusissa ahdintyypeissä laskennallisia arvoja säädellään kokemusten mukaan. Kuvassa 9 nähdään akseli tasapainoituskoneessa.



Kuva 9

Kuvassa nähdään akseli tasapainoituskoneessa.

Puhdistus ja huoltotoimenpiteiden jälkeen roottori kasataan ja holkit maalataan. Kokoamisessa on tärkeää käyttää uusia pultteja ja muttereita sekä lukkolevyjä. Kuvassa 10. nähdään huollettu roottori.

Kuva 10.

Kuvassa nähdään huollettu roottori

8.Vaihtehto mekaaniselle puhdistukselle

/19;20/

Vaihtoehtona esimerkiksi turboahtimen laakeriosien korjaamo-olosuhteissa suoritettavalle puhdistukselle on ns. ultrapesu. Ultrapesulla päästään puhdistamaan vaativissakin paikoissa olevia käytön aikana syntyneitä epäpuhtauksia eli kohteita, jonne ei välttämättä päästä niin tehokaasti käsiksi käyttämällä mekaanisen puhdistuksen työsketelytapoja.
Ultrapesu-teknologialla saavutetaan myös huomattavia ajansäästöjä sekä puhdistustuloksen paranemista. Teknologialla saavutetaan myös osien elinkaaren pitenemistä, koska se on hyvin ystävällinen puhdistettavalle pinnalle. Ultrapesu-teknologia on pintojenkin kannalta parempi vaihtoehto kuin esim. laakeriosien mekaaninen puhdistus jolloin pinnat kuluvat käsittelyssä.
Ultapesulaitteistojen hinnat eivät ole enää niin kalliita kuin ennen, kun verrataan spray-puhdistukseen -ja mekaaniseen puhdistukseen.
Utrapesujärjestelmän tuoma ympristöystävällisyys on myös huomattava seikka, joka puoltaa ultrapesulaitteiston käyttöä. Myös työskentely laitteiston kanssa on käyttäjälleen työturvallisuuden huomioon ottaen turvallisempaa kuin kemikaaleja käyttäen suoritettava mekaaninen puhdistus. Tärkeää on valita asianmukainen

laitteisto. Markkinoilla on paljon eri kokonaisuuksia valmistavia valmistajia. Käytön kannalta tärkeimpiä asioita on, että puhdistetaan oikeassa lämpötilassa oikea aika ja että hankinnassa on paneuduttu siihen, että valitaan oikeankokoinen ja oikeantyyppinen puhdistus laitteisto. Tarjolla on liuotin-ja vesipohjaisia laitteistoja.

9 .Polttoaineet

/17;18/

Yleinen suuntaus moottorivoimalaitoksissa on että polttoaineeksi valitaan vähärikkisempiä ratkaisuja. Näihin toimenpiteisiin on ryhdytty ympäristömääräysten johdosta, jotka perustuvat ilmastonsuojelun kehitykseen, esimerkiksi 19.5.2005 merenkulussa voimaan tullut (IMO Annex VI Marpol Air Poll/Nox code).

Rikkidioksidipäästöjä on pyritty enenevässä määrin pudottamaan moottorivoimalaitoksissa, koska rikkidioksidilla on haitallisia ominaisuuksia ilmastoon kuten happosadeilmiöön sekä happamoitumisilmiöön. Rikkidioksidipäästöihin moottorivoimalaitoksissa voidaan vähentää mm. siirtymällä runsasrikkisestä raskaasta poltttoöljystä vähärikkiseen kevyt/raskasöljyyn tai kokonaan
maakaasuun. Mm. uusimmissa Wärtsilän toimittamissa moottoreissa on huomioitu vaihtoehtoisten polttoaineden käytön mahdollisuus tulevaisuudessa. Taulukossa 1 nähdään eri polttoaine mahdollisuuksia. Kaasumoottoreissa on pienemmät pakokaasupäästöt.

Polttoaineiden koostumus vaikuttaa turboahtimen likaantumiseen. On havaittu, että vähärikkisiin polttoainevaihtoehtoihin siirryttäessä turboahtimen puhdistusprosessi monimutkaistuu.

Taulukko 1. /17/

Taulukossa nähdään erilaisia polttoaine ratkaisuja moottorivoimalatoksille

Nestemäiset	**Kaasumaiset polttoaineet**	**Biopolttoaineet**
öljypohjaiset polttoaineet		
Kevyt öljy (LFO)	***Maakaasu (NG)***	***Rypsiöljy***
Raskas öljy (HFO)	***Nesteytetty maakaasu (LNG)***	***Palmuöljy***
Raakaöljy (CRO)	***Paineistettu maakaasu (CNG)***	***Kookosöljy***
Korkeaviskositteettiset pohja öljyt	***Öljykenttien sivutuotekaasu***	***Biodiesel***
Orimulsion	***Hiilikenttien kaasu***	
Vesi-polttoaine-emulsiot		

LÄHDELUETTELO

Painetut lähteet:

1. Bell, A.Graham, Uusi moottoriteknikka –virittäminen ja säätäminen, Alfamer Oy 1998 ,Suomenkielinen teksti Esko Mauno, 272 s.
2. MBS,Turbocharging in Switzerland-A history, Turbomagazine 2/2005 s.2-23
3. Exhaust-Gas Turbocharger uncooled VTR-354-32 L 141/T011, BBC Brown boweri & company ltd, Baden Switzerland
4. VTR..4 Working instruction, ABB Turbosystems Ltd. Baden Switzerland
5.VTR-Roottorin tarkastuspöytäkirja, ABB Turbocharging Helsinki Finland

Painamattomat lähteet:

6. Mörsky Mikko, Service engineer, Haastattelu 11.10.2005, ABB Turbocharging Helsinki Finland
7. Rajala Kari, Service engineer, Haastattelu 13.10.2005, ABB Turbocharging Helsinki Finland
8. Ilves Rauno, Service engineer, Haastattelu 13.10.205, ABB Turbocharging Helsinki Finland
9. Ilves Rauno, Service engineer, Haastattelu 21.10.2005, ABB Turbocharging Helsinki Finland
10. Rajala Kari, Service engineer, Haastattelu 26.10.2005, ABB Turbocharging Helsinki Finland
11. Rajala Kari, Service engineer, Haaastattelu 2.11.205, ABB Turbocharging Helsinki Finland
12. Mörsky Mikko, Service engineer, Puhelinkeskustelu, 19.3.2006, ABB Turbocharging Helsinki Finland
13. ABB Turbosystems Ltd. [www-sivu] [viitattu 24.9.2005] Saatavissa: http://www.abb.co.kr/GLOBAL/KRABB/KRABB602.nsf/viewunid/9E627D50F799C49149256D120034947E/$file/Range.pdf
14. Abb Turbosystems Ltd. [www-sivu] [viitattu 2.11.2005] Saatavissa: http://www.abb.co.kr/GLOBAL/KRABB/KRABB602.nsf/viewunid/1A002D8D962BBAE649256D120040B933/$file/TPL_A010814.pdf
15. Toni Töyrylä, Diesel-moottorin paras hyötysuhde jo toistasataa vuotta [www-sivu] [viitattu 24.2.2006] Saatavissa: http://users.tkk.fi/~toyryla/docs/diesel.html
16. Wikipedia –vapaa tietosanakirja [www-sivu] [viitattu 24.2.2006] Saatavissa: http://fi.wikipedia.org/wiki/Turbo
17. Wärtsilä Oy [www-sivu] [viitattu 20.12.2005] Saatavissa: http://www.wartsila.com
18. International Maritime Organization [www-sivu] [viitattu 20.12.2005] Saatavissa: http://www.imo.org
19. [www-sivu] [viitattu 19.3.2006] Saatavissa: www.cleansonic.com
20. [www-sivu] [viitattu 19.3.2006] Saatavissa: http://www.blackstone-ney.com/