

# Zagotavljanje kakovosti v procesu izdelave hermetičnega kompresorja

Zmago KOZINA, Petar JANČAN, Marijan MARŠIĆ, Matija ABSEC

**Povzetek:** Hermetični kompresor za vgradnjo v zamrzovalne aparate je plod velikoserijske proizvodnje. V podjetju Danfoss Compressors, d. o. o., Črnomelj, letno izdelamo 5 mio. kompresorjev in s tem pokrivamo 5 % svetovnih potreb. Povpraševanje na trgu teži k energetske optimiranim proizvodom, katerih uporaba strmo narašča. Trg narekuje tudi zahteve glede kakovosti, ki je postala samoumeven pojem. Danfoss je zaradi specifične proizvodnje korakoma razvil lasten model zagotavljanja kakovosti. Ta sistem se je izkazal kot učinkovit in zaokrožuje kakovost od nastanka proizvoda preko vseh faz proizvodnje do uporabe pri končnem kupcu. Predstavljamo ga na primeru procesa montaže hermetičnega kompresorja.

**Gljučne besede:** hermetični kompresor, energetske optimiranje, model zagotavljanja kakovosti, krogi kakovosti, proces montaže kompresorja,

## ■ 1 Uvod

Hermetični kompresor, ki se vgrajuje v gospodinjске hladilnike in zamrzovalnike, mora brezhibno opravljati svojo funkcijo do izteka predvidene življenjske dobe, ki je med 10 in 15 let (*slika 1*). Dejansko to pomeni 4 do 5 let neprekinjenega obratovanja ali v povprečju 10-krat več delovnih ur, kot jih opravi motor osebnega avtomobila. Proizvajalci hladilnih in zamrzovalnih aparatov pa po drugi strani zahtevajo ustrezno visok nivo kakovosti ob vgradnji. Meja 200–300 ppm (število defektnih kompresorjev na milijon vgrajenih) se hitro spušča proti 100 ppm, kar je tudi naš interni cilj.

Zahtevano kakovost lahko doseže le izdelek, ki je skrbno sestavljen iz komponent vrhunske kakovosti in s procesom montaže, ki je skrbno načrtovan, izvajan in nadzorovan. Za doseganje ustrezne kakovosti je podjetje Danfoss



Slika 1. Hermetični kompresor za vgradnjo

HC (ang. Household Compressors) razvilo lasten model zagotavljanja kakovosti v proizvodnem procesu, ki ima osnovo v tako imenovanih petih krogih kakovosti (angl. Quality Control Circle - QCC) [1].

## ■ 2 Model zagotavljanja kakovosti

Model zagotavljanja kakovosti, ki bazira na tako imenovanih petih krogih kakovosti (*slika 2*), je bil razvit v prika-

zani obliki v podjetju Danfoss HC, opt je tudi na načela ISO 9000, poudarja ključne vloge sodelujočih v procesu zagotavljanja kakovosti in se izvaja:

- v osnovni proizvodni celici, ki jo imenujemo temeljna enota dela – TED,
- v strokovnih oddelkih, ki so dolžni zagotoviti tehnično-

tehnološke rešitve (postopki dela, oprema, material) za kakovostno delo, in

- v vodstvu posameznih enot, ki naj zagotovijo ustrezne organizacijsko-kadrovske pogoje.

V proces zagotavljanja kakovosti je vključen širok krog ljudi. Ključni del so prvi trije krogi, ki so neposredno vezani na proizvodni proces. Celoten sistem je strokovno voden preko 4. in 5. kroga. V tem modelu ni zajeto

Zmago Kozina, dipl. inž., Petar Jančan, inž., Marijan Maršić, dipl. inž., Matija Absec, dipl. inž.; vsi Danfoss Compressors, d. o. o., Črnomelj

področje zagotavljanja kakovosti kupljenih izdelkov in razvoja dobaviteljev, saj je to organizirano vzporedno in prav tako koordinirano s 4. in 5. ravno. Pristop je v skladu z dejstvom, da imamo znotraj kompresorske skupine skupni prodajni in nabavni trg.

V Danfossu velja načelo, da je dolžnost vsakega posameznika, ne glede na vsebino njegovega dela, da znotraj svojega področja opravlja delo kakovostno in tudi preverja njegove rezultate. Glede na to, da se vloge in naloge po različnih nivojih med seboj prepletajo, je vsakdo v podjetju kakor koli vključen v posamezne kroge kakovosti.

parametri in karakteristike izdelka, ki se izvajajo v celoti – 100-odstotno. Pri svojem delu ima stalno podporo s strani vodje TED-a, tako s tehnične kakor tudi organizacijske plati.

Ker noben sistem ni brezhiben, je potrebno tudi v tem modelu zagotoviti nadzorni mehanizem. V Danfossovem modelu je to izvedeno s pomočjo **2. kroga – nadzornika kakovosti**. Njegova glavna naloga je skrbništvo za pravilnost funkcioniranja 1. kroga in ukrepanje v primeru, ko neskladni proizvodi zaobidejo nadzor s strani **1. QCC-ja**, ne glede na nastali vzrok. Iz tega sledi, da so področje nadzora: osebje, postopki, oprema, material in status kakovosti.

ladnost z ustreznimi specifikacijami. Tu se pokaže nuja po vzpostavitvi učinkovitega sistema zagotavljanja kakovosti ter skrbništva za njegovo nenehno izboljševanje.

Zavedajoč se dejstva, da je proces, katerega stabilnost je v veliki meri odvisna od usposobljenosti sodelujočih, se zaradi nenehnega preverjanja nivoja kakovosti zbirajo podatki v različnih oblikah, tako zvezni kot atributivni. Te obravnavamo na dnevni bazi na tako imenovanih Q24 (Q-Quality; 24 ur) sestankih.

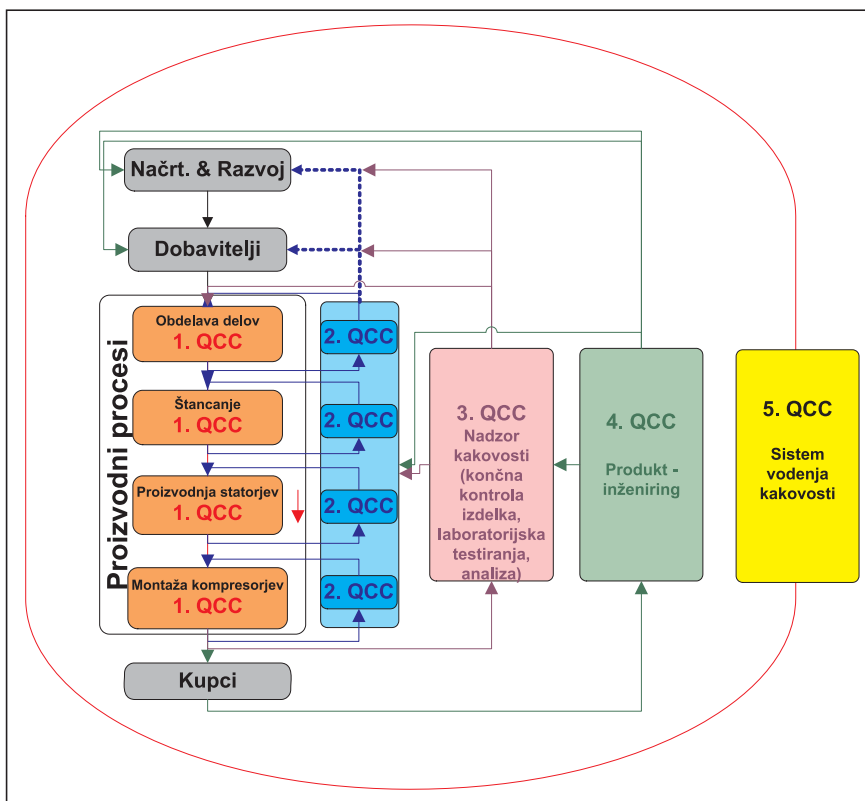
### ■ 3 Montažni sistem in vključitev zagotavljanja kakovosti

Proizvodnja kompresorjev je razdeljena na izdelavo oziroma obdelavo sestavnih delov (skupno jih je več kot 80) in na montažo končnega izdelka – kompresorja. Montaža kompresorja vključuje različne proizvodno-kontrolne korake in tehnološke postopke. Ker izdelujemo med 150 in 200 različnih izvedenk končnega izdelka, je oprema koncipirana tako, da je možen hiter prehod na nov tip izdelka, kar nam povečuje fleksibilnost. Izdelke sestavljamo na treh montažnih linijah.

Proizvodne serije so velike od nekaj tisoč do nekaj deset tisoč kosov. Z vidika kakovosti je to tako prednost kot pomanjkljivost. Prednost se kaže v lažjem vzdrževanju predpisanih procesnih parametrov. Slaba stran pa je večje tveganje za nastanek sistemskih napak, posebno pri hitrih spremembah izdelkov zaradi uvajanja novih konstrukcijskih rešitev, tehnoloških postopkov in materialov.

Značilnost obstoječega načina proizvodnje je tudi to, da je delovno intenzivna. Ob nekaterih avtomatiziranih in robotiziranih postopkih obstajajo še proizvodno-kontrolne operacije, ki jih opravlja izključno človek. To narekuje ustrezen pristop pri zagotavljanju kakovosti, katerega osnova sta samokontrola in nadzorni sistem, poimenovan »pet kontrolnih krogov«.

Montažni sistem vključuje pred-



Slika 2. Shematski prikaz modela kakovosti

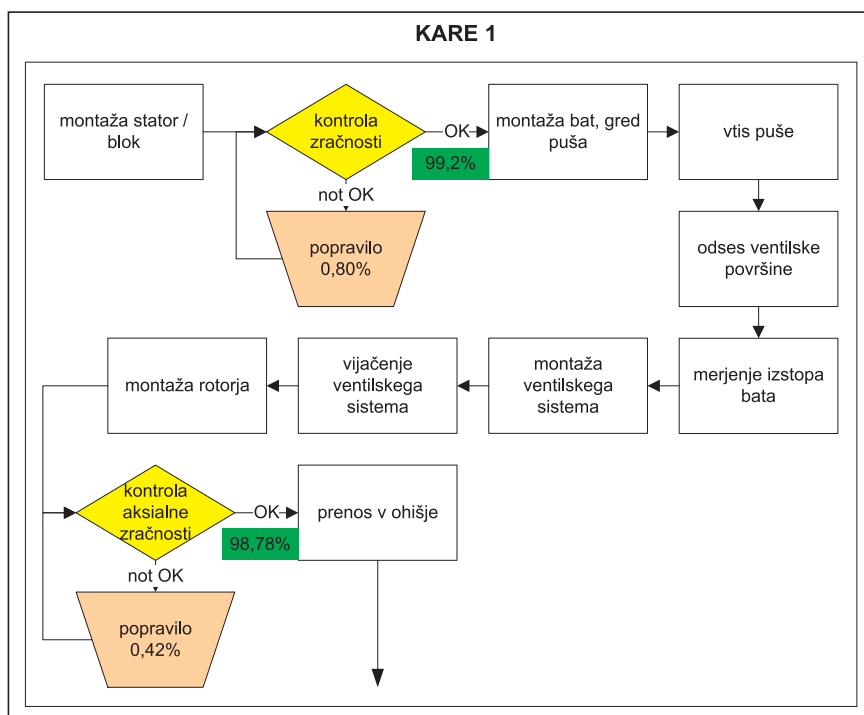
V proizvodnem procesu izdelave hermetičnega kompresorja je vsekakor odločilna vloga **1. QCC-ja**, katerega najpomembnejši člen oziroma nosilec je **operater avtokontrolor**. Ta »vgrajuje kakovost v izdelek« ob upoštevanju delovnih in kontrolnih postopkov. Njegova osnovna naloga in odgovornost je izdelava izdelka skladno z njegovimi specifikacijami. Pri tem je dolžan upoštevati načrte, navodila in splošno veljavne standarde. Predmet nadzora so procesni

Vloga tretjega kroga kakovosti je dodeljena vodji nadzora kakovosti v proizvodnji. Medtem ko sta prva dva kroga kakovosti vezana le na proizvodni proces, pa **3. QCC** »komunicira« tudi izven proizvodnega procesa, tako z razvojem kakor tudi posredno preko 4. kroga s kupcem in dobaviteljem. Poglavitna smernica je zaščita kupca pred neskladnimi proizvodi. Področje nadzora so končni izdelek in njegove karakteristike ter proizvodni procesi in njihova sk-

montažo, ki je razdeljena v dva dela: *KARE 1* in *KARE 2*, in končno montažo, razdeljeno v: *EMO1* in *EMO 2*. Za vsak del montažnega sistema je bil izdelan potek zagotavljanja kakovosti.

### 3.1 Predmontaža

V prvem delu predmontaže (*Kare 1*) se na krožnem avtomatu sestavijo stator, blok in nosilci vzmeti (*slika 3* in *4*). Sestav se premesti z montažnega mesta na krožnem avtomatu na paletu na paletnem prenosnem sistemu, kjer se sestavljajo še drugi sestavni deli rotorja. Montažno gnezdo, ki je na paleti, nosi tudi podatke o opravljeni montaži (*slika 5*). V tem delu predmontaže sta dve kontrolni mesti s 100-odstotno kontrolo. Na prvem je kontrola zračnosti v statorju in na drugem kontrola aksialne zračnosti v sklopu. Nepravilni sestavi gredo v popravilo.



Slika 3. Shematski prikaz procesa sestavljanja črpalne enote – *KARE 1*



Slika 4. Krožni avtomat za sestavljanje statorja

merilnikom izmeri premer cilindra ter na osnovi te meritve izbere ustrezen premer bata, ki se vgradi v obstoječi sklop. Bati so razvrščeni po premerih v štiri razrede, z odstopki v premeru po 1,5 µm. Podatek o razredu bata je odtisnjen na njegovem vrhu in mora pri vgradnji sovpadati z meritvijo premera cilindra. Izbira bata je ročna. Pred vgradnjo bata in kolenaste gredi se vse drsne površine naoljijo z esterskim oljem. Sledi vtiskovanje puše. Sila vtiskovanja je krmiljena, da se prepreči poškodba ojnice.

Pred montažo ventilskega sistema se samodejno izvede meritve izstopa bata. Rezultat meritve je določitev in izbira tesnila v drugem delu

Po prenosu sestava na paletu se z valjastim kontrolnim trnom preveri zračnost med statorjem in rotorjem.

Paleta z nepravilnim sestavom potuje brez vmesnega ustavljanja na mesto za popravilo, kjer se informacija o napaki prikaže na kontrolni plošči. Operater na osnovi informacije o napaki to odpravi oziroma razdre sklop.

Paleta z dobrim sestavom potuje na naslednjo operacijo, kjer se na naslednji postaji s posebnim pnevmatskim



Slika 5. Kompresorska enota na paleti



Slika 6. Paleta na montažnem mestu – bati, gredi in puše

predmontaže (KARE 2), kar zagotavlja optimalni škodljivi prostor med vrhom bata in ventilsko ploščico. Sklop ventilskega sistema se zaradi kompleksnosti operacije ročno prednastavi na ventilsko površino bloka. Vijačenje se izvede z avtomatskimi vijačniki v treh stopnjah, kar onemogoči deformacije. Pri vijačenju se v posameznih stopnjah avtomatično kontrolirata moment in kot zasuka. Montaži ventilskega sistema sledita nakrčevanje rotorja in natis oljne črpalke v spodnji del rotorja. Po izvedbi vtiskovanja črpalke se opravi 100-odstotna kontrola aksialne zračnosti med rotorjem in kolenasto gredjo ter kontrola globine vtisa oljne črpalke.

V drugem delu predmontaže – KARE 2 – se vgradijo še tesnila, cevke, tlačni pokrovi, sklop se označi in pošlje na sušenje (slika 7).

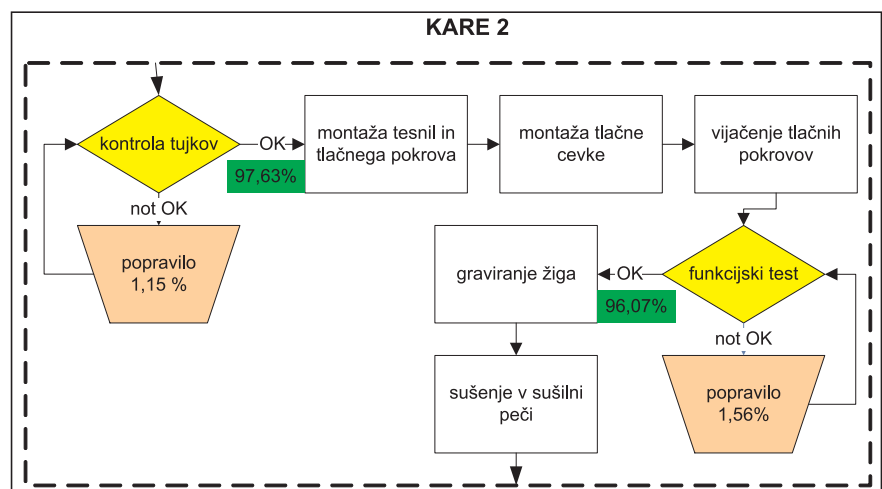
Ta del predmontaže je povezan z varilno linijo, ki oskrbuje predmontažo z okrovi. Pred vstavljanjem sestava v ohišje se na njem predhodno zakrivijo priključki in vanj vstavijo tlačne vzmeti. Naloga vzmeti je dušenje vibracij, ki nastajajo pri zagonu, delovanju in ustavljanju kompresorja. Sledi avtomatična kontrola prisotnosti tujkov in tipa vzmeti.

Tesnila so razporejena v 14 razredov in so shranjena v namenskih zalogovnikih. Razlika debeline posameznih razredov tesnil je 23  $\mu\text{m}$ . Pri montaži tesnil se nad izbranim tesnilom zasveti lučka in odpre zapora. Na ta način je zagotovljena vgradnja le izbranega tesnila.

Z montažo in lotanjem tlačne cevke se vzpostavi povezava med črpalno enoto in tlačnim priključkom na zunanjem delu ohišja. Tej operaciji sledi funkcijski test, kjer se preverijo karakteristike, pomembne za delovanje sklopa. To so praba

temperatura je pogoj za uparitev vlage, saj prevelika vsebnost škodno vpliva na delovanje hladilnika. Operacija sušenja predstavlja zaključek predmontaže kompresorja.

Kontrola vsebnosti vlage na kompresorjih se meri pred odpremo. Sam postopek merjenja vlage zahteva stabilno stanje kompresorja, ki se doseže po štiriindvajsetih urah, ko se temperatura kompresorja izenači s temperaturo okolice. Vlaga v kompresorju ne sme presegati vrednosti 125 ppm.



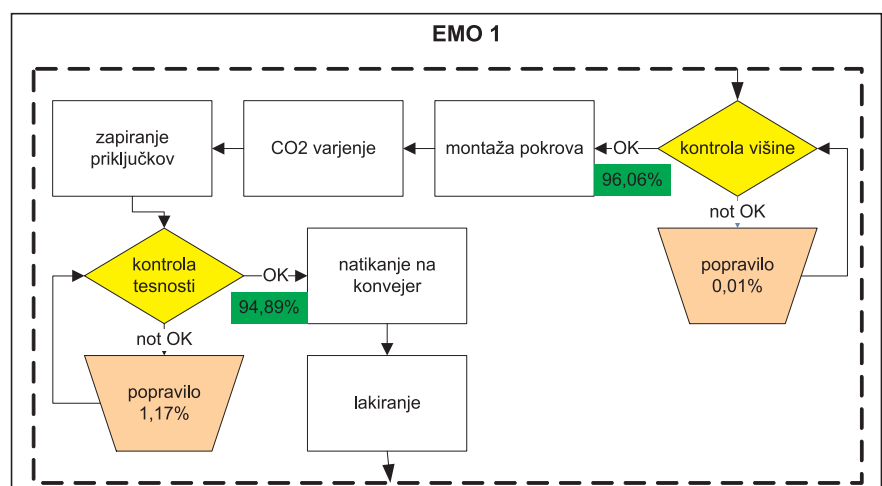
Slika 7. Potek sestavljanja črpalne enote – KARE 2

moči, volumski pretok, tlačni padec in prevodnost navitja motorja.

Po uspešni izvedbi funkcionalnega preizkusa potuje sklop v tunnelsko sušilno peč. Ta je ogrevana s pomočjo električnih grelcev, ki vzdržujejo temperaturo 165 °C. Ta

### 3.2. Končna montaža

Končna montaža je razdeljena v dva dela. V prvem delu – EMO 1 – potekajo montaža pokrova, varjenje, zapiranje priključkov, natikanje konvejerjev in lakiranje. V tem delu sta dve kontrolni mesti – kontrola višine



Slika 8. Diagram poteka končne montaže – EMO 1



Slika 9. Preskus tesnosti

(več tipov pokrovov) in kontrola tesnosti (slika 8).

Varjenju sledi zapiranje tlačnega in sesalnega priključka z aluminijastimi kapicami (kapsoluti), v katerih je nameščena tesnilna guma. Tesnost zvara med ohišjem in pokrovom in zvarnih spojev se kontrolira s posebno napravo (helij). Naprava kontrolira uhajanje medija iz kompresorja (slika 9). Zgornja dovoljena meja predstavlja puščanje 1 g hladiva v obdobju enega leta. Na testu izločene kompresorje operater ročno popravi. Vsi popravljeni kompresorji morajo iti v ponovno testiranje.

Po uspešno opravljenem testu kompresor napolnimo s suhim zrakom (2 bar). Naloga suhega zraka je preprečiti vdor vode in laka med postopkom lakiranja v notranjost kompresorja.

Prva operacija po lakiranju na drugem delu končne montaže – EMO-2 – je iztikanje sklopov iz konvejerja lakirnice in prelaganje na trak končne montaže (slika 10). Sledi kontrola nadtlaka, s katero se prepričamo, da v postopku lakiranja v ohišje ni prišla vlaga.

Naslednja operacija je visokonapetostni preskus. Pri tem se izločijo vsi sestavi, ki nimajo povezave z elektromotorjem, ter vsi sklopi s prebojem

napetosti na ohišje.

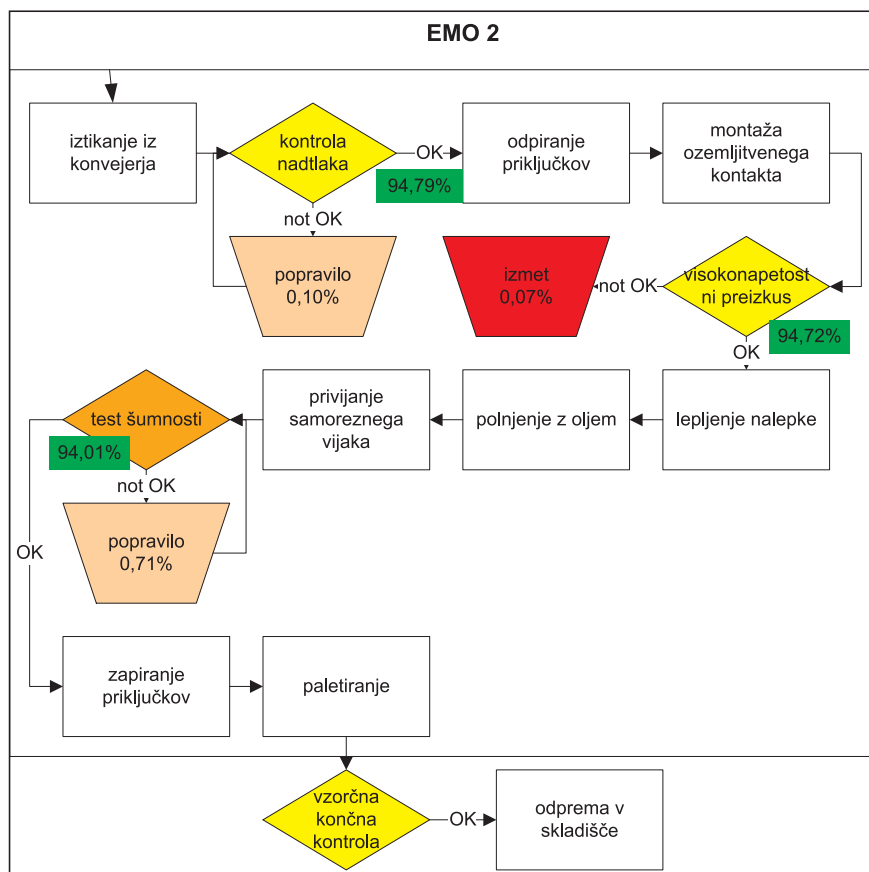
Polnjenje olja je povezano s podatkovno bazo, kjer so shranjeni podatki o tipu in količini olja, ki je predpisana za posamezen tip kompresorja. Identifikacija sklopa je s črtno kodo. Polnitev je nadzorovana z merilniki pretoka. Olje se mora pred uporabo

razpliniti, saj v nasprotnem primeru vlaga preide v kompresor in kasneje v hladilno tekočino in s tem onemogoči pravilno delovanje hladilnega sistema. Vsebnost vlage v olju se izmeri po vsaki menjavi tipa in vsaj enkrat dnevno na vsaki montažni liniji.

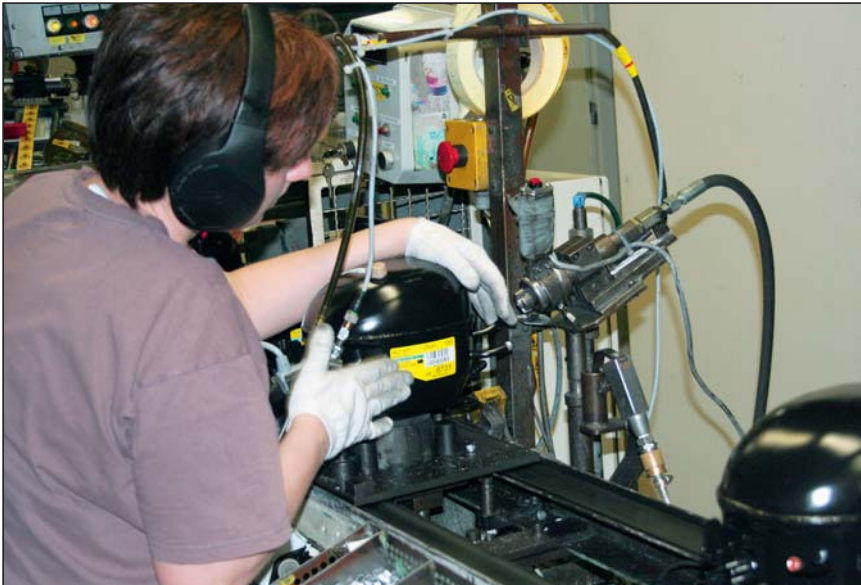
Končni test uporabnosti kompresorja predstavlja test šumnosti (slika 11). Osnova testa šumnosti je v primerjavi zvoka delovanja kompresorja na liniji z etalonskimi kompresorji z znano napako. Test šumnosti še vedno temelji na slušnih sposobnostih operaterjev na liniji. Operaterji so posebej izurjeni in testirani. Operater na testu šumnosti se menja vsaki dve uri. S tem se izognemo preutrujenosti in napačnemu zaznavanju napak.

Kompresorji brez napak se zložijo na palete in odpremo v skladišče.

Ustreznost izdelkov in s tem proces montaže nadzorujemo z vzorčnimi meritvami kompresorjev na končni kontroli. Vsakemu 80. kompresorju preverimo funkcionalne karakteristike.



Slika 10. Potek končne montaže – EMO 2



Slika 11. Test šumnosti

#### ■ 4 Zaključek

V podjetju Danfoss temelji proces montaže kompresorja na 100-odstotni kontroli vsake izvedene operacije.

#### Quality assurance in the compressor-assembly process

**Abstract:** Producing hermetical compressors for household appliances involves large-scale production. Danfoss Compressors d.o.o. produces 5 million compressors per year and covers 5% of the needs of the global market. Customer demands results in highly energy-optimised products, where the number of orders is rapidly increasing. Global players are setting the rules for quality - it has become a synonym without the need to say anything. Danfoss has developed his own Quality Assurance Module, which is rounding up all the production processes, including the final customer. The efficiency of such a module is represented by the assembly process for the hermetic compressor.

**Key words:** Hermetical Compressor, Energy optimisation, Quality Assurance Module, Quality Circles, Assembly process,

Žal ni mogoča avtomatizacija vseh montažnih operacij in je kakovost še vedno odvisna od sposobnosti operaterjev. Danfossov model zagotavljanja kakovosti skuša najti optimalno pot

med avtomatiziranimi procesi in samokontrolo. V tem primeru predstavljajo zaposleni ključ do uspeha. Pri analizi pretočnosti montažne linije opazimo, da je tukaj še precej neizkoriščenega potenciala. Za dosegto načrtanih ciljev se moramo osredotočiti na izboljšanje kakovosti vhodnih komponent, sposobnosti in stabilnosti dela proizvodne opreme ter postopoma zamenjati tiste kontrole, ki so izključno odvisne od sposobnosti in zbranosti operaterja, kot je to na primer test šumnosti.

Glede na tehnične karakteristike in zanesljivost je Danfoss dosegel in ohranja status svojih izdelkov v srednjem oziroma zgornjem kakovostnem razredu.

#### Literatura

- [1] Quality Control Circles, Danfoss HC Standard 502G011, 2007.

**Programska oprema za projektiranje v fluidni tehniki**

---

**Kreiranje shem:**

- avtomatska povezava in oštevilčevanje komponent
- knjižnice simbolov za pnevmatiko, hidravliko....
- knjižnice vodilnih proizvajalcev: FESTO, REXROTH, VOGEL,...
- medpovezave za strani in komponente
- medpovezave med fluidnim in električnim delom projekta

**Samodejna evaluacija in generiranje dokumentacije**

- sezname povezav, kosovnice, vsebina, lista revizij...
- preliminarne kosovnice

**Integracija FESTO kataloga**

- direktna povezava s FESTO katalogom
- detaljni opis in izbira komponent s pripadajočimi simboli
- skupna baza simbolov v skladu s standardom ISO 1219
- fluidPLAN CPX makroji

**Integrirano delo z projekti**

- administracija projektov
- inteligentno arhiviranje
- samodejno prevajanje v tuje jezike
- implementacija zunanjih dokumentov

**Vmesniki:**

- grafični uvoz in izvoz: DXF/DWG, BMP, JPG, XLS, TXT, PDF...
- "X-parts" za izvoz elementov v MS Excel
- FESTO in ePLAN P8 vmesnik
- certificiran SAP in Navision vmesnik

v sodelovanju

licence, vzdrževanje, tehnična podpora, šolanje, svetovanje

Stegne 7, SI-1000 Ljubljana • tel.: 01/511 10 95 • fax: 01/511 30 79

GSM: 031/368 783 • info@exor-eti.si

www.exor-eti.si

inženiring za energetiko, transport in industrijo d.o.o.