

## INDUSTRIĀLU RAŽOŠANAS IEKĀRTU APKOPES SISTĒMAS INDUSTRIAL PRODUCTION EQUIPMENT MAINTENANCE SYSTEMS

**Nauris DZĒRVE**

Rēzeknes tehnoloģiju akadēmija, Rēzekne, Latvija

e-pasts: [naurisdzerve@gmail.com](mailto:naurisdzerve@gmail.com)

Darba vadītājs: Dr.sc.ing., profesors **Artis Teilāns**

---

**Abstract.** *In today's widely competing food production market, the cost of production, the time of preparation for work and the optimal use of funds are particularly important for the competition in the existing market. A successful and growing manufacturing company is based on the continuous development and optimization of the production process, in order to minimize product modulation, production and delivery times, and provide high quality products to customers.*

**Keywords:** *Industrial, maintenance, optimization, production.*

---

### Ievads

Mūsdienu plaši konkurējošajā pārtikas ražošanas tirgū ražošanas izmaksām, iekārtu sagatavošanas laiks darbam un optimālu līdzekļu izmantošanai ir īpaši svarīga nozīme, lai konkurētu esošajā tirgū. Veiksmīga un augoša ražošanas uzņēmuma pamatā ir pastāvīga attīstīšanās un ražošanas procesa optimizēšana, lai maksimāli samazinātu produkta modulēšanas, ražošanas un piegādes laikus, kā arī nodrošināt kvalitatīvu servisu.

### Iekārtu apkopes

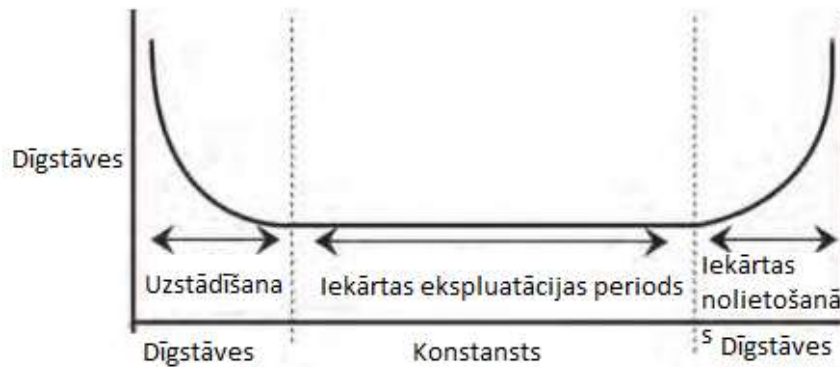
Mūsdienās tehniskās apkopes izmaksas pieaug ātrāk nekā ražošanas izmaksas. Daži pētījumi liecina, ka daudzās rūpnīcās netiek sasniegti tādi ierasti tehniskās apkopes vadības mērķi, kā 95% vai labāka iekārtu pieejamība un drošība, 99% [1] produktu kvalitāte, samazinātas tehniskās apkopes virsstundas, mazākas darba stundas un uzlabota datu apkopošana par remontdarbiem [2]. Ir tendence tehnisko apkopi uzskatīt par “melno caurumu”, kur aiziet pārāk daudz naudas ar nelieliem nosakāmiem rezultātiem. Bet tā kā uzņēmumi mēģina atrast veidus, kā samazināt izmaksas un palielināt produktivitāti, uzņēmumu vadība sāk saprast, ka tehniskajā apkopē slēpjas reālas iespējas samazināt izdevumus abās jomās [3].

Tehniskā apkope var sastādīt līdz pat 60% rūpnīcas kontrolējamu darbības izdevumu. Tā kā tehniskās apkopes izmaksas var ne tikai kontrolēt, bet bieži vien arī būtiski samazināt, tas rāda, ka efektīvas tehniskās apkopes vadība var daudz būtiskāk ietekmēt uzņēmuma galvenos rādītājus, nekā parasti tiek uzskatīts [4].

Iekārtas apkope ir sistemātiska darbu veikšana, lai tiektos uz to, ka iekārta darbojas pilnvērtīgi visu savu darbības laiku, saglabājot iekārtas jaudu un kvalitāti, tajā pašā laikā samazinot ar iekārtu saistītās izmaksas. Iekārtas apkope sevī iekļauj darbību kopumu, kas tiecas uz to, lai saglabātu iekārtu labā darbības stāvoklī [5]. Pasaules prakse rāda, ka iekārtas apkopēm netiek atvēlēti pietiekoši līdzekļi, lai nodrošinātu iekārtu pareizu darbību, kas rada sekas, ka iekārtas tiek remontētas gadījumos, kad iekārta pārstāj darboties, kas savukārt bieži rada finansiālus zaudējumus kas saistīti ar [6]:

- Sabojājusies iekārtas detaļa var sabojāt visu mezglu;
- Sabojājusies detaļa sabojā lielu daudzumu produkcijas, kuru pēc tam nav iespējams realizēt;
- Sabojājusies iekārta var radīt sekas, kad gala patērētājs iegādājas nekvalitatīvu vai sabojājušos produktu, kuru iespējams viņš vairāk nepirks;
- Iekārtas dīkstāvē apstājas ražošana, kur nav iespējams realizēt produkciju, kas var sabojāties
- Nepiegādāta produkcija lielveikaliem rada zaudējumus dēļ noslēgtajiem līgumiem par preču piegādi vai pat klienta zaudēšanu;

- Rezerves daļas bieži jāiegādājas par dārgāku cenu, kā arī rezerves daļas ceļa izdevumi ar ātro pastu ir daudz dārgāki;
- Rezerves daļa ne vienmēr ir iekārtas ražotāja noliktavā, kur bieži izgatavošanas laiks ir pat vairāku nedēļu garumā;
- Sabojājusies iekārta var radīt bīstamību darbiniekiem vai apkārtējai videi;
- Lai arī ražošanas process nenotiek vai notiek ar daļēju jaudu bieži darbiniekiem ir jāmaksā tāda paša apmēra algas.



1. attēls. Iekārtas darba periods

Ideālā gadījumā ja iekārta tiek izmantota standarta nosacījumos un tiek veiktas visas nepieciešamās apkopes, tad iekārtai pilnvērtīgi jāstrādā visu savu ekspluatācijas laiku, izņemot iekārtas uzstādīšanu un iekārtas nolietošanās sliekšni, ko iespējams apskatīt 1. attēls.

**Uzstādīšana:** Iekārtas uzstādīšanas dīgstāves, kas saistītas ar iekārtas regulēšanu, ražošanas defektiem, darbinieku neprasmi strādāt ar iekārtām, kur uzlabojot nepilnības dīgstāves samazinās.

**Iekārtas ekspluatācijas periods:** Šajā stadijā iekārtai ir novērsti defekti un iekārta pilnvērtīgi veic savu darbību un, teorētiski, ja tiek savlaicīgi veiktas apkopes pēc pareiza apkopes grafika, ja operatori ir apmācīti un ja iekārta tiek izmantota darbam un videi kādai tā ir paredzēta, dīgstāvēm nebūtu jābūt. Šis periods iekārtām var atšķirties, tas ir saistīts ar pašu iekārtu, iekārtas apkopēm, apkārtējo vidi un citiem faktoriem.

**Iekārtas nolietošanas periods:** Pēc ilgstošas iekārtas izmantošanas ir novērojamas iekārtas dīgstāvju palielināšanās, kas saistītas ar iekārtas nolietošanu.

Iekārtu ilgstošai un precīzai darbībai ir nepieciešamas apkopes: piedziņas siksnas un ķēdes ir jānosprīgo vai jāmaina, eļļojošie mezgli un vadīklas periodiski ir jānotīra un jāsmērē ar pareizu smērvielu, gultņi un blīvslēgi ir jāmaina un tamlīdzīgi. Katru reizi, kad netiek veiktas plānotās iekārtas apkopes uzņēmuma SIA "Baltic Pack" tehniskā nodaļa samazina iekārtas ekspluatācijas periodu. Katru reizi, kad iekārta negaidīti saplīst, ir nepieciešams dokumentēt notikumu un notikuma iespējamus cēloņus, lai turpmāk šo informāciju izmantotu preventīvajos pasākumos.

### 1.1. Reaktīvā apkope

Būtībā reaktīvā apkope ir "Strādā līdz apstājas" tipa apkopes veids. Netiek veiktas nekādas darbības iekārtai vai mezgliem. 2000. gadā Amerikas Savienotajās Valstīs veiktajā pētījumā tik atklāts, ka šāda veida apkopes dominē starp citiem apkopju veidiem, kur var novērot, ka vidēji vairāk kā 55% no apkopēm ir reaktīvās apkopes.

Reaktīvo apkopju priekšrocības var apskatīt kā koku ar diviem galiem. Ja uzņēmums strādā ar jaunu aprīkojumu, uzņēmums var rēķināties ar salīdzinoši minimāliem iekārtas

neplānotajiem remontiem. Ja uzņēmuma apkopes vadības modulis ir reaktīvs, uzņēmums ietaupīs uzņēmuma līdzekļus tikai līdz brīdim, kamēr iekārta salūzīs. Ja šajā gadījumā netiek apskatītas apkopju izmaksas, tad šo periodu varētu dēvēt par naudas taupīšanas periodu, bet realitātē ir savādāk, jo, neveicot laicīgas iekārtu apkopes, netiek taupīti iekārtā ieguldītie resursi, kas samazina iekārtas mūžu, palielina iekārtas remonta izmaksas, jo visticamāk iekārtas salūšanas gadījumā darbiniekiem būs jāstrādā virsstundas lai iekārtu saremontētu, kā arī iespējams darbiniekiem būs jāstrādā virsstundas, lai pēc iekārtas salabošanas varētu saražot iztrūkstošo produkcijas apjomu. Papildus izmaksas rada arī rezerves daļu izmaksas, kuru mainīšana izmaksās dārgāk, jo, piemēram, laicīgi nomainīts iekārtas blīvslēgs, kura izmaksas ir salīdzinoši niecīgas, var ļaut iztecēt eļļai no reduktora, kas savukārt var sabojāt visu reduktoru, kā arī bojāts blīvslēgs gultnim, ļaus gultnim piekļūt ūdenim un netīrumiem, kas savukārt sabojās gultni, kurš ķīlēšanas brīdī var sabojāt asi vai kādu citu elementu, kuru izmaksas pārsniedz desmitiem, simtiem vai vēl vairāk reižu viena blīvslēga izmaksas kopā ar ieguldītajiem resursiem šī blīvslēga maiņai.

1. tabula

### Priekšrocības/ trūkumi reaktīvajai apkopju sistēmai

#### Priekrocības:

- Zemas izmaksas
- Mazāk darba

#### Trūkumi:

- Palielinātas izmaksas dēļ iekārtas dīkstāves;
- Palielinātas darbinieku algas, īpaši virsstundu dēļ;
- Izmaksas, kas saistītas ar iekārtas remontu un iekārtas maiņu;
- Rezerves iekārta, kura nepieciešama lai novērstu dīkstāves;
- Neefektīva resursu izmantošana.

### 1.2. Preventīvā apkopju sistēma

Preventīvā apkopes sistēma var būt definēta kā: Darbības, kuras veiktas laika vai iekārtas darba ciklu izteiksmē, kuras novērš vai mazina iekārtas mezglu nolietojamās detaļas iespēju salūzt, to apkopjot vai arī laicīgi nomainot lai novērstu situāciju, ka tā saplīst negaidīti [7].

ASV jūras spēki ieviesa šāda veida sistēmu kuģu uzturēšanai, lai palielinātu kuģu uzticamību. Iztērējot nepieciešamos resursus darbiem, kurus rekomendējis veikt kuģu izgatavotājs, bija pozitīvas sekas, radot kuģus uzticamākus un palielinot to darba ilgumu, kā arī ietaupot lielu naudas summu [15].

Preventīvā apkopes sistēma nav efektīvākā apkopes sistēma, bet salīdzinot ar reaktīvo apkopes sistēmu šai sistēmai ir daudz priekšrocību. Veicot iekārtas izgatavotāja priekšlikumus iekārtas apkope ļauj iekārtai atrasties tuvu jaunas iekārtas konstrukcijai, saglabājot to uzticamību un saražotās produkcijas kvalitāti. Iekārtas preventīvie darbi (eļļošana, filtru maiņa u.c) ļaus iekārtai strādāt pilnvērtīgāk un ietaupīt ar iekārtām saistītos izdevumus nenovēršot neparedzamo detaļu salūšanas dīkstāves, bet novēršot dīkstāves, kas rodas paredzamo detaļu saplīšanas gadījumā.

### Priekšrocības/ trūkumi preventīvajai apkopju sistēmai

**Priekrocības:**

- Izdevumi, kuri atmaksājas no dažādiem aspektiem
- Palielināts komponentes, iekārtas vai mezgla dzīves ilgums
- Energoefektivitāte
- Gaidāms vismaz 12-18% izmaksu samazinājums
- Var novērst nekvalitatīva produkta nonākšanu tirgū

**Trūkumi:**

- Netiek pilnībā novērsta dīkstāvju iespējamība
- Darbietilpīgs process
- Darbības kuras tiek veiktas ne vienmēr ir nepieciešamas
- Iespēja sabojāt kādu detaļu veicot apkopi kura nav nepieciešama

### 1.3. Prognozējamā apkopes sistēma

Prognozējamā apkopes sistēma ir definējama kā sistēma ar mērījumiem, kas mēra iekārtas mezglu bojāšanās sākumu. Prognozējamā apkopes sistēma izmanto dažādas ievadierīces, kuras atrodas uz kritiskajiem iekārtas mezgliem pastāvīgi, vai arī ar intervāliem.

Prognozējamā apkopes sistēma sevī iekļauj [3]:

**Vibrāciju analīze-** Vibrācijas uzraudzības tehnikas var izmantot, lai noteiktu, vai sistēmas ar rotējošām vai kustīgām detaļām, piemēram, gultņi, ātrumkārbas, asis, sūkņi, motori, dzinēji un turbīnas, darbojas pareizi. Šādu mehānisko sistēmu darbība atbrīvo enerģiju vibrāciju veidā ar frekvences komponentēm, kurām var izsekot līdz pat konkrētai sistēmas sastāvdaļai. Katras atsevišķas vibrācijas sastāvdaļas amplitūda paliek nemainīga, ja vien nemaina sistēmas darbības dinamiku. Vibrāciju var raksturot ar trim parametriem: amplitūda, ātrums un paātrinājums. Vibrācijas analīzi stāvokļa uzraudzībā veic, salīdzinot pašreizējās darbības vibrācijas raksturlielumus ar bāzliniju, kas noteikta, kad iekārta darbojas normāli [8].

**Termogrāfija-** Termogrāfija nosaka virsmas temperatūru, izmantojot infrasarkanu starojumu, tā vislabāk piemērota, lai noteiktu sistēmas problēmas, kas saistītas ar karstuma nodošanu vai uzkrāšanu. Infrasarkanu staru kameras parāda virsmas temperatūras variācijas, kas uzstādītas, lai nodrošinātu absolūtās temperatūras gradientus, izmantojot melnbaltus vai krāsu variantus. Nenormālus termālos apstākļus uztver kā brīdinājumu par iespējamām sistēmas problēmām [9].

**Smērvielu analīze – triboloģija** Lai noteiktu smērvielu ķīmisko sastāvu, var izmantot daudz dažādu tehniku. Izmantojot ferogrāfiju un magnētisko čipu noteikšanu, lai noteiktu nodiluma veidu un pakāpi, var pārbaudīt par nodilumu liecinošu dzelzs daļiņu klātbūtni smērvielās. Spektrometrijas smērvielu analīze mēra piesārņojuma klātbūtni smērvielās, izmantojot atomu emisiju vai spektrometra absorbciju, un nosaka jebkādu metālisku vai nemetālisku elementu klātbūtni, ko var saistīt ar dažādu iekārtas sastāvdaļu kļūmēm. Izmantojot selektīvo absorbciju un analīzi, hromatogrāfija mēra eļļošanas īpašību izmaiņas, piemēram, viskozitāti pH un ūdens saturu [10].

**Ultrasonogrāfija.** Ir vairāki ultrasonogrāfijas pārbaudes veidi, bet tos visus izmanto, lai noteiktu metinātu savienojumu, pārklājumu, vadu sistēmas, cauruļu, asu kļūmes. Pārsūtot ultraskaņas impulsus vai viļņus caur materiālu un novērtējot rādītājus, nosaka plaisu, spraugu, nosēdumu, erozijas, korozijas un ieslēgumu atrašanās vietu un bojājumu pakāpi [11].

**Vizuālā pārbaude.** Iekārtu vizuālā pārbaude ir vienkārša problēmu noteikšanas metode. Turklāt šādas pārbaudes var vienkārši veikt paralēli citām tehniskās apkopes procedūrām. Tādējādi ar vizuālo pārbaudi saistītās papildizmaksas parasti ir niecīgas [12].

Šādas sistēmas atmaksāšanās ir atkarīga no ļoti daudziem faktoriem un izmantotā aprīkojuma specifikācijas, iekārtas ražotāja norādītā apkopes grafika precizitātes u.c, bet vidēji šāda veida sistēmas ieviešana rada šādus pozitīvus aspektus, kā uzņēmums bez apkopes sistēmas [13].

3. tabula

### Apkopes sistēmas atmaksāšanās

Investēšanas atmaksāšanās	10 reizes
Apkopju izmaksas samazināšanās	25-30%
Iekārtas salūšana	70-75%
Dīgstāves samazināšanās	35-45%
Saražotās produkcijas pieaugums	20-25%

4. tabula

### Priekšrocības/trūkumi prognozējamai apkopju sistēmai

<p><b>Priekrocības:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Palielināts komponentes darbības laiks/pieejamība</li> <li>• Ļauj veikt preventīvus apkopes pasākumus</li> <li>• Samazina iekārtas dīkstāves</li> <li>• Samazinās detaļu darba izmaksas</li> <li>• Labāka produkcijas kvalitāte</li> <li>• Uzlabota drošība darbiniekam un videi</li> <li>• Uzlabojas darbinieku attieksme pret darbu</li> <li>• Energoefektivitāte</li> <li>• Paredzamas 8-12% naudas ietaupījums salīdzinājumā ar preventīvo apkopes programmu</li> </ul> <p><b>Trūkumi:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Naudas ieguldījumu diagnostikas aprīkojumā</li> <li>• Naudas ieguldījumi personāla apmācībā</li> <li>• Ietaupījumi neiedziļinoties nav redzami uzņēmuma vadībai</li> </ul>
---

#### 1.4. Uz uzticamību centrēta apkopes sistēma

Pamatā šāda sistēma novērš nepilnības, kuras rodas izmantojot citas sistēmas. Tā nosaka, ka visi aprīkojumi nav vienādi un dažādiem aprīkojumiem atšķiras nepieciešamība pēc konkrētas apkopes sistēmas. Tā arī nosaka, ka atsevišķu mezglu salūšana var nebūt tik kritiska salīdzinot ar citu mezglu salūšanu, kā arī izvērtē nepieciešamos naudas un cilvēkresursus šo mezglu apkopes nodrošināšanai. Pēc šādas izvērtēšanas atsevišķi mezgli var tikt apkopoti pēc dažādām apkopes sistēmām, piemēram, atsevišķu mezglu saplīšana neapstādina ražošanu, tādēļ šo mezglu apkopi var veikt ar reaktīvo apkopes tipu, bet mezgli, kuri sabojāšanās gadījumā var apstādināt ražošanu, sabojāt produkciju vai arī traumēt kādu darbinieku var nodalīt citās apkopju sistēmās, kas aptuveni varētu sadalīties šādi [14].

5. tabula

### Apkopju sadalījums

<10%	Reaktīvā apkopju sistēma
25-35%	Preventīvā apkopju sistēma
45-55%	Prognozējamā apkopju sistēma

Tā kā šī sistēma ir tik lielā mērā svarīga, izmantojot progresīvās tehniskās apkopes tehnoloģijas, šīs programmas priekšrocības un trūkumi atspoguļo pašu šos tehniskās apkopes darbus. Papildus šīm priekšrocībām šī sistēma ļaus saskaņot resursus ar reālām vajadzībām tajā pašā laikā uzlabojot uzticamību un samazinot izmaksas.

6. tabula

**Priekšrocības/ trūkumi uz uzticību centrētai apkopju sistēmai**

**Priekšrocības:**

- Var būt visefektīvākā apkopes programma
- Samazinātas izmaksas neveicot detaļu maiņu, kuras iespējams vēl nav jāmaina
- Samazina kapitālo remontu biežumu
- Samazināta iespējamība negaidītai iekārtu salūšanai
- Iespējams vērst apkopi uz kritiskajiem punktiem
- Iekļauj sākotnējo cēloņu analīzi

**Trūkumi:**

- Ievērojami lielas izmaksas sistēmas ieviešanai, kā arī personāla apmācībai
- Neiedziļinoties nav redzami panākumi uzņēmuma vadībai

**Izmantotā literatūra**

- [1] E. B.V, *Development of sensing interface for preventive maintenance of machine tools*, Japan, 2016.
- [2] S. R. T. K. T. S. M. M. Roy R, *Continuous Maintenance and the Future – Foundations and Technological Challenges*, *Annals of the CIRP*, 2016.
- [3] J. A. M. J. Campbell JD, *Asset Management Excellence: Optimizing Equipment Life-Cycle Decisions*. second edi., NW: Taylor and Francis Group, LLC, 2011.
- [4] D. M. M. Dini G, *Applications of Augmented Reality Techniques in Through-Life Engineering Services*, *Proceedings of the 4th International Conference on TES*, 2015.
- [5] H. L. Barlow R, *Optimum preventive maintenance policies*, *Oper Res*, 1960.
- [6] E. CE, *An Introduction to Reliability and Maintainability Engineering*, Waveland Press, 2005.
- [7] B. R. a. P. F, *Statistical theory of reliability and life testing: probability models*, New York: Holt, Rinehart and Winston, 1975.
- [8] A. M. W. C. Laws, *Periodic and Continuous Vibration Monitoring for Preventive/Predictive Maintenance of Rotating Machinery*, *J. Eng. Gas Turbines Power*, 1987.
- [9] S. T. A.S.N. Huda, *Suitable features selection for monitoring thermal condition of electrical equipment using infrared thermography*, *Infrared Physics & Technology*, 2013.
- [10] S. L. W. H. J. L. J. Y. Liu, Schaefer, *Friction and adhesion in boundary lubrication measured by microtribometers*, *Tribology International*, 2006.
- [11] R. B. Alaa Abdulhady Jaber, *The State of the Art in Research into the Condition Monitoring of Industrial*, *School of Mechanical and System Engineering*, 2014.
- [12] A. Jardine, *Optimizing condition based maintenance decisions*, *Reliability and Maintainability Symposium*, 2002.
- [13] T. Wireman, *Computerized maintenance management system (second edition)*, *Industrial press inc.*, 1994.
- [14] E. D. J. B. Bansal D, *A real-time predictive maintenance system for machine systems*, *International Journal of Machine Tools and Manufacture*, 2004.
- [15] NASA, *Reliability Centered Maintenance Guide for Facilities and Collateral Equipment.*, *National Aeronautics and Space Administration, Washington, D.C.*, 2000.