

CAPCANE LA ALINIAREA ARBORILOR Identificarea și eliminarea lor

GENERALITĂȚI

Teoretic, alinierea utilajelor dinamice este un proces simplu, dar în realitate, în aplicațiile concrete ne lovim de tot felul de probleme, cum ar fi „piciorul moale”, traseele de conducte conectate la utilaj, factorii perturbatori din mediul ambiant, jocurile excesive ale lagărelor sau frecarea arborelui. Aceste capcane pot transforma o treabă relativ simplă într-o acțiune amplă – cu rezultate frecvent nesatisfăcătoare, în ciuda eforturilor susținute și a costurilor considerabile (timp de lucru și manoperă). Acest articol își propune să elimine unele dintre motivele tipice datorită cărora alinierea este neperformantă.

INTRODUCERE

Teoretic, alinierea utilajelor dinamice este un proces simplu. Cu anumite tipuri de dispozitive de măsurare montate pe cuplaje, arborii sunt roțiți în câteva poziții (cel puțin trei) pentru a determina poziția relativă dintre aceștia. De vreme ce alinierea este un proces repetitiv (gândind că dezalinierea ar trebui să se diminueze continuu, cu fiecare ajustare a poziției utilajului), din punct de vedere teoretic corecțiile de aliniere se pot repeta de oricâte ori este nevoie, până când se obține o aliniere acceptabilă a arborilor. De fapt, calitatea alinierii nu depinde de tipul sistemului de aliniere folosit. Orice echipament de aliniere sau sistem de aliniere cu laser ar trebui să fie suficient pentru efectuarea unei alinieri de calitate. De aceea, în aplicațiile industriale importante, unde costurile opririi utilajelor pot depăși 10000\$ pe oră, întrebarea fundamentală pentru un program de aliniere este simplă:

„Pot alinia corect mașina?”
sau mai degrabă:

„Ce metodă îmi va oferi cea mai rapidă soluție de aliniere, ca să pornesc imediat producția?”

Mai mult, de vreme ce dezalinierea se compune din defecte structurale ca „piciorul moale”, traseele de conducte conectate la utilaj, factori perturbatori din mediului ambiant, jocuri excesive ale lagărelor sau

frecarea arborelui, care pot să ne împiedice să rezolvăm problema dezalinierei acceptabil, înainte de orice va trebui să reglăm aceste neajunsuri. Altfel, aceste adevărate capcane pot transforma procesul simplu de aliniere într-o treabă extrem de laborioasă și de anevoioasă, cu rezultate adesea nesatisfăcătoare, în ciuda eforturilor, timpului și costurilor alocate. Din acest motiv, este crucial ca personalul care efectuează alinierea să fie atent la tipurile de defecte structurale care pot complica procedura de aliniere și să învețe să le recunoască după anumite semne apărute în funcționarea utilajelor, sau în urma efectuării măsurătorilor anumitor parametri care pot cuantifica starea de funcționare a acestora, *înainte* de a investi timp și bani într-un exercițiu neperformant. Vom examina în continuare câteva dintre motivele tipice ale obținerii unor rezultate necorespunzătoare în urma alinierii, identificarea și, în cele din urmă, eliminarea lor.

COLECTAREA UNOR DATE PERTINENTE

Există tehnici de ultimă oră pentru determinarea valabilității măsurătorilor de la aliniere, înainte de a investi timp în ajustarea poziției mașinii, care ar putea fi eronată. Dacă folosiți un aparat de măsură, este bine să aplicați tehnicile mai sus menționate la fiecare set de citiri. Regula corectitudinii datelor prezentată în ecuația 1 compară citirile colectate în cele patru puncte cardinale:

$$\text{Sus} + \text{Jos} = \text{Stânga} + \text{Dreapta} \quad (1)$$

Această regulă vă oferă o metodă rapidă de determinare a valabilității unei soluții de aliniere, înainte de ajustarea efectivă a poziției mașinii:

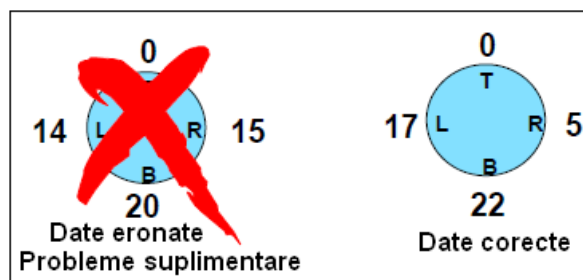


Fig.1: Exemplu de măsurători corecte și eronate

Această verificare simplă poate să scoată la iveală multe erori și defecte mecanice, cum ar fi:

- Suporturi de fixare cu jocuri
- Unități de măsurare improprii
- Unități de măsurare greșit poziționate
- Date/ semnale înregistrate greșit
- Lagăre lubrifiate în exces
- Lagăre cu jocuri mari
- Imperfecțiuni ale suprafețelor sau excentricități

Sunt de așteptat mici abateri de la regula valabilității datelor. Dacă diferența este peste 10%, probabil cuplajul are jocuri suficient de mari încât să dezvolte un moment de torsiune considerabil. Pentru a reduce efectele acestui moment de torsiune mențineți cuplajul fix în timp ce rotiți arborele mașinii antrenate în direcția normală de rotație.

Dacă eroarea depășește 20%, trebuie cu siguranță determinată cauza. Ar putea fi o problemă cu fixarea sistemului de aliniere sau cu mașina de aliniat. În prima situație este posibil ca problemele să apară de la o fixare prea slabă a unităților de măsurare sau de la fixarea lor greșită. În a doua situație se încadrează cuplajele blocate, rulmenții spărți, conectarea mașinii la rețeaua de conducte etc. Dacă există asemenea probleme și totuși nu se aplică anterior regula valabilității datelor, defectele vor rămâne nedetectate și vor complica substanțial procedura de aliniere. Mai rău decât atât, nu se va putea atinge obiectivul creșterii fiabilității mașinii prin efectuarea unei alinieri de calitate.⁽²⁾

Când se folosește un sistem de aliniere cu laser, posibilitatea de eroare a operatorului se reduce dramatic datorită colectării și înregistrării automate a măsurătorilor. Oricum, regula valabilității este utilă în identificarea defectelor structurale, cum ar fi jocurile în lagăre și în alte organe de mașini. Pentru a aplica regula valabilității când folosiți un sistem de aliniere cu laser, este necesar de a înregistra măsurătorile pentru toate cele patru puncte cardinale (sus, jos, stânga, dreapta) și de a introduce valorile în formulă. În orice caz, dacă efectuați alinierea bazându-vă numai pe trei din patru puncte cardinale, cu citirile acestora, nu veți avea posibilitatea să verificați valabilitatea soluției. Un asemenea exemplu am întâlnit la o stație de pompare a apei, unde s-a efectuat o aliniere, efectuându-se măsurători în trei din patru puncte cardinale (sus, stânga și dreapta), omițându-se citirea în poziția orei 6 (jos). Poziția mașinii a fost ajustată conform indicațiilor sistemului de măsurare cu laser, dar rezultatul nu a fost nici pe departe cel scontat. De aceea, s-a continuat cu măsurători și cu ajustarea poziției

mașinii, dar rezultatul final a fost la fel slab. După ce însă s-au efectuat manual citiri în toate cele patru puncte cardinale și s-au introdus valorile în ecuația valabilității, a devenit evident faptul că această regulă fusese încălcată. Inspecția vizuală a trenului de mașini a arătat că unul dintre reazemele unui reductor fusese fixat printre altele, cu un prezon de mărime eronată, fapt care a modificat substanțial rigiditatea montajului. Acest aspect permitea ridicarea reazemului în timpul funcționării reductorului și deci colectarea unor citiri eronate. Imediat ce operatorul a înlocuit prezonul necorespunzător cu unul bun, a reușit să facă alinierea trenului de mașini din câteva mișcări, ținând cont de ecuația valabilității. (Notă: Sistemele mai avansate aplică automat regula valabilității la măsurătorile colectate și indică dacă abaterile sunt acceptabile sau nu.)

TEHNOLOGIA CURBEI CARACTERISTICE

Exemplul anterior demonstrează importanța regulii valabilității. Totuși, există situații când nu se pot efectua măsurători în toate cele patru puncte cardinale. În asemenea situații, sunt necesare tehnologii alternative de măsurare. De exemplu, sistemele de aliniere cu laser moderne pot efectua calculele în urma rotirii parțiale sau totale a arborelui. Aceste sisteme noi folosesc inclinometre încorporate care permit colectarea automată a citirilor necesare, în timpul rotirii arborelui, și calcularea matematică a dezalinerii reale. Pentru mașinile care funcționează foarte bine, curba caracteristică va arăta ca o sinusoidă perfectă. În Fig. 2 sunt prezentate câteva curbe pentru diferite defecte mecanice.

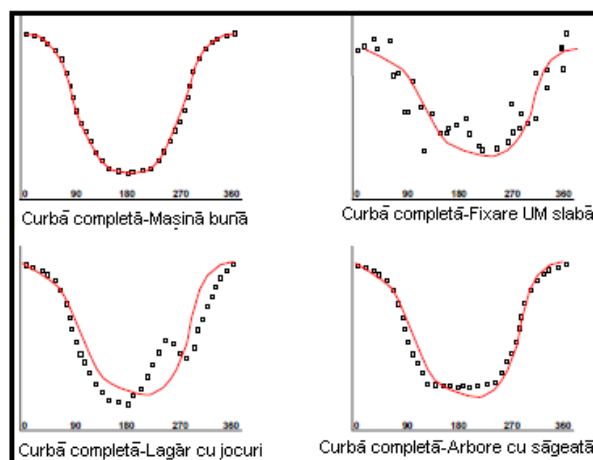


Fig. 2: Exemple de curbe caracteristice

Sistemele performante sunt capabile chiar să calculeze o corecție, numai cu o rotire de 35° - 70° , extrapolând amprenta rotației arborelui (Fig.3).

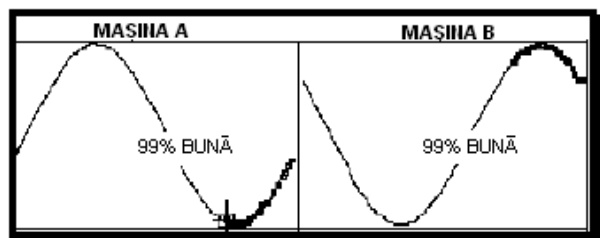


Fig. 3 – Curba caracteristică pentru o rotire a arborelui cu 70° permite extrapolarea calculului la o rotație completă.

De vreme ce această abordare face acum posibilă determinarea cu acuratețe a dezalinerii reale, chiar și în situații în care anumite poziții nu sunt accesibile pentru efectuarea măsurătorilor, alinierea se poate efectua mult mai ușor. De fapt, apelând la tehnologia curbei caracteristice, se poate verifica valabilitatea datelor numai cu trei poziții de măsurare. Pentru a utiliza la maximum potențialul tehnologiei curbei caracteristice, este bine să colectați cât mai multe date pentru fiecare poziție unghiulară în parte – o cerință simplă, de altfel, pentru a permite sistemului să extrapoleze calculele cât mai exact, fără a fi nevoie de rotirea completă a arborelui. Operatorul nu trebuie decât să rotească arborele foarte lent prin orice poziție accesibilă, pentru a permite sistemului colectarea automată a datelor. Cu numai 12 date colectate în timpul unei rotații de 180° se pot aplica tehnicile de eșantionare statistică pentru determinarea automată a valabilității datelor.

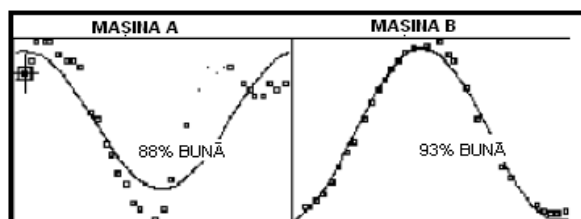


Fig. 4: Curbele caracteristice pentru un ansamblu motor/ pompă

Figura 4 indică două curbe caracteristice alcătuite pentru un motor (mașina A) și o pompă (mașina B) asamblate. Datele pompei indică o mare valabilitate a datelor, în vreme ce mașina A indică semne clare de defecte structurale și un nivel mai scăzut de valabilitate determinat statistic automat de către sistemul de aliniere. De fapt, mașina A are jocuri interne excesive datorate unui joc într-un lagăr

(defect în creștere). În acest caz, oricum, operatorul a ales să ignore avertizarea din graficul valabilității datelor și a început să efectueze alinierea. Starea lagărului ignorat l-a obligat pe acesta să efectueze câteva ajustări suplimentare de poziție pentru a finaliza alinierea, acest lucru materializându-se în ore de lucru suplimentare, timp în care ansamblul a fost oprit, numai pentru a încadra alinierea în limite acceptabile. În mod ironic, lagărul defect a cedat în două zile de la efectuarea alinierii, așa încât operatorul s-a confruntat cu o sarcină mult mai complicată, care l-a costat repetarea alinierii numai după câteva zile.

Informațiile oferite de către metoda curbei caracteristice sunt concludente și complete. Când se folosește un sistem de aliniere dublu cu laser, se alcătuiesc curbe caracteristice separat pentru fiecare dintre utilajele ansamblului, mașina A și mașina B. Mai mult decât atât, forma curbei caracteristice ajută la determinarea tipului de defect structural. Curba cu „două cocoșe” din Fig.4 indică jocurile structurale. Este clar că poate fi vorba de un lagăr deteriorat sau de un reazem nesigur. O altă problemă mecanică care poate fi adesea diagnosticată cu ajutorul curbei caracteristice, este în prezent arborele cu săgeată.

SĂ CONSTRUIM PE BAZE CORECTE

O altă capcană majoră în sfera alinierii utilajelor este așa-zisul „picior moale”. Din cauza acestuia, mașina fiind fixată ferm pe fundație, va căpăta o formă distorsionată. Această modificare de formă determină îndoirea arborelui și schimbarea dispunerii sarcinilor pe lagăre (Fig. 5a – 5c).

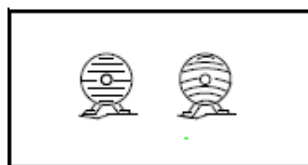


Fig. 5a: Piciorul moale creează tensionarea structurii fixată în prezoane de fundație.

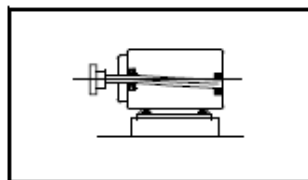


Fig. 5b: Dezalinierea lagărelor creează modificarea dispunerii sarcinilor pe lagăre

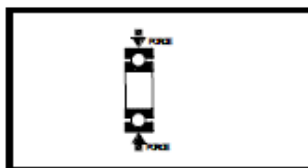


Fig. 5c: Încărcarea neechilibrată a lagărelor duce la deteriorarea prematură a acestora

Exemplu clasic de „picior moale” – o masă cu un picior mai scurt – se regăsește de fiecare dată când un utilaj se reazemă pe trei reazeme, al patrulea fiind mai scurt. Dacă acest neajuns nu este rezolvat înainte de efectuarea alinierii, poate fi dificil, chiar imposibil de a obține rezultate acceptabile.

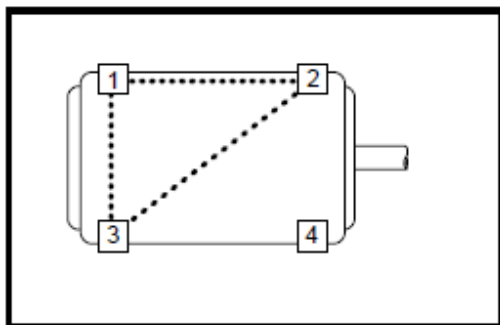


Fig. 6 – Mașină cu „picior moale”

Tehnicianul poate efectua exact ajustarea corectă a poziției mașinii așa după cum cer calculele de aliniere, numai dacă determină distorsiunile fundației când strânge prezoanele de fixare. Măsurătorile de verificare pot să indice mici ameliorări sau nu. În plus, ca și impact direct asupra alinierii, distorsionarea structurii datorită unui „picior moale” conduce direct la vibrații nedorite și la deteriorarea prematură a componentelor ansamblului.

De fapt, s-a observat că „piciorul moale” conduce la creșterea vibrațiilor de circa zece ori. În asemenea cazuri, nerecunoscând prezența unui „picior moale”, tehnicianul va încerca să reducă nivelul de vibrații printr-o echilibrare mai bună, printr-o aliniere mai bună și așa mai departe – dar rezultatele vor fi mereu sub așteptări⁽³⁾

Aceste aspecte arată clar că verificarea existenței „piciorului moale” este vitală înaintea alinierii. Din păcate, datorită unei percepții eronate și a presiunilor din partea departamentelor de producție, acest pas pregătitor înaintea alinierii este încă considerat inutil sau facultativ în aplicațiile curente.

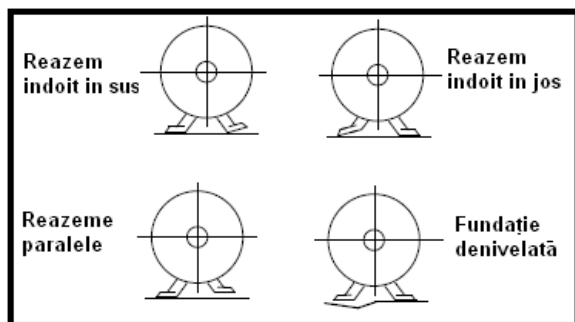


Fig. 7 – Tipuri comune de „picior moale”

Există trei tipuri diferite de „picior moale”. Într-o formă simplă, un reazem sau picior poate fi îndoit sau paralel (Fig.7). Este relativ simplu de a detecta și de a corecta un reazem paralel. Este mult mai dificil dacă este îndoit.

Metoda tradițională de determinare a „piciorului moale” constă în instalarea unui indicator pe reazem și analizarea mișcării reazemului după ce se slăbește prezonul de fixare pe fundație (Fig.8). Metoda este potrivită pentru reazemele paralele, nu și pentru cele îndoite.

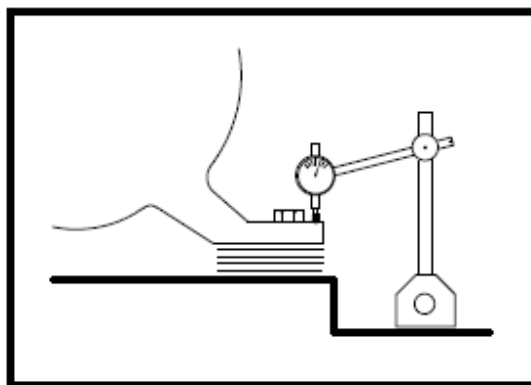


Fig. 8 – Folosirea indicatorului pentru determinarea „piciorului moale”

În ultimul timp se folosește laserul pentru determinarea „piciorului moale”. Există două metode de bază de verificare a „piciorului moale” cu laser, măsurând diferiți parametri și având scopuri fundamental diferite, și anume: metoda *Indexului de distorsionare a structurii* și respectiv, metoda *Detectorului de „picior moale” cu laser*. În cadrul fiecărei metode, laserul se montează pe arborele mașinii, de ambele părți ale cuplajului, și se colectează date în timp real, în timp ce prezoanele de fixare pe fundație sunt pe rând slăbite și strânse. Așa după cum sugerează și denumirea, metoda *Indexului de distorsionare a structurii* își propune să determine dimensiunea distorsionării structurii datorate „piciorului moale”. Pe de altă parte, metoda *Detectorului de „picior moale” cu laser* constă în a determina potențialele probleme datorate „piciorului moale” și a decide dacă rezolvarea acestui neajuns este vitală pentru o aliniere reușită. Ca atare, scopul metodei *Detectorului de „picior moale” cu laser* este acela de a oferi tehnicianului calea cea mai rapidă spre relansarea producției, cu recomandările de rigoare.

INDEXUL DE DISTORSIONARE A STRUCTURII

Indexul de distorsionare a structurii (IDS) măsoară deplasarea verticală a arborelui mașinii datorate de slăbirea vreunui prezon de fixare pe fundație. Calculul apare în ecuația de mai jos:

Indexul de distorsionare a structurii
 $(IDS)=2(Y)(FB)$

unde Y = deplasarea verticală a fasciculului laser

FB = distanța dintre reazemul din față și cel din spate

Calculul se bazează pe o regulă mai veche de montaj, în care indicatorul tradițional este înlocuit cu un sistem de unități de măsurare cu laser. Rezultatul constă într-o valoare care cuantifică deplasarea arborelui. Oricum, valoarea este direct corelată cu deplasarea curentă a reazemului mașinii.

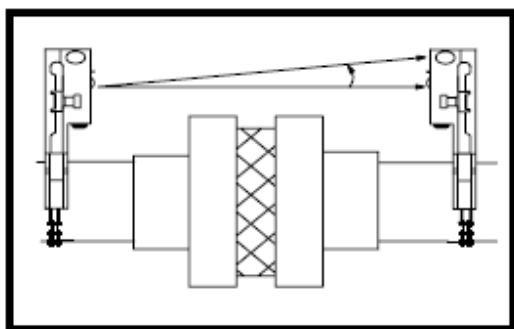


Fig. 9: Măsurarea deplasării verticale („Y”)

$Y = (\text{deplasare verticală fascicul laser}) / (\text{distanța dintre unitățile sistemului laser})$

De aceea, utilizatorul trebuie să reziste tentației de a folosi această valoare pentru a determina corecția potrivită cu table de adaos sub reazem. „IDS nu poate face diferența între deplasarea arborelui datorită unui reazem îndoit și deplasarea arborelui datorită unui gol de aer. Totuși, indiferent de tipul de „picior moale” existent, acesta trebuie corectat diferit, în funcție de situație... IDS nu vă poate oferi sugestii referitoare la corectarea „piciorului moale”. Cauza „piciorului moale” trebuie determinată prin analiză înainte de a încerca să faceți vreo corecție”.⁽⁴⁾ Convențiile existente admit ca „picior moale” un reazem de mașină, pentru care IDS depășește 50 – 70 μm.

DETECTORUL DE „PICIOR MOALE” CU LASER

Metoda *Detectorului de „picior moale” cu laser* este o metodă mai nouă și se concentrează mai ales pe efectul „piciorului moale” asupra abilităților tehnicianului de a-și duce la bun sfârșit misiunea de aliniere. Această procedură avansată nu se poate efectua cu un simplu indicator. Spre deosebire de IDS, care are în vedere numai deplasarea verticală a arborelui, această metodă analizează mișcarea completă a arborelui (pe orizontală și pe verticală). Deplasarea totală va fi egală cu suma vectorială a deplasării verticale Y, așa cum se calculează și la IDS, și a deplasării orizontale X. Se calculează deplasarea totală, calculată pentru arborele fiecărui utilaj din ansamblu, separat, și se ia în considerare valoarea cea mai mare dintre cele două valori determinate. Din acest motiv este nevoie de un sistem de măsurare dublu cu laser. Rezultatul reprezintă *dezalinierea maxim posibilă* care poate fi indusă cuplajului datorită „piciorului moale”. Convențiile internaționale consideră „picior moale” reazemul a cărei deplasare vectorială depășește 0.5mils/in (sau mrad). Oricum metoda *Detectorului de „picior moale” cu laser* nu exprimă rezultatele numeric, ci ca și prioritate, sau nivel de urgență, folosind simboluri care oferă tehnicianului recomandarea pentru „revenirea cea mai rapidă în producție”. Rezultatele obținute cu *Detectorul de „picior moale” cu laser* și interpretarea acestora se pot vedea în *Tabelul 1*.

Tabelul 1: Rezultate

Citire în (mils/in)(mrad)	Rezultat	Interpretare
0,0 – 0,5	OK	Mașina e în stare bună de funcționare; se poate obține o aliniere excelentă
0,5 – 1,0	X	Există „picior moale”; se poate să nu reușiți o aliniere excelentă.
1,0 – 1,5	XX	Există fenomenul accentuat de „picior moale”; fără corectarea acestuia nu veți obține o aliniere excelentă și durabilă
1,5	XXX	„Picior moale” mult prea evident. Pier-deți timp încercând să efectuați alinierea fără rezolvarea „piciorului moale”.

Corectarea „piciorului moale”

De fiecare dată când apeleți la metoda *Detectorului de „picior moale”*, vi se cere să determinați dimensiunea și forma interstițiului dintre reazem și fundație, pentru a-l putea compensa. Trebuie să determinați dacă reazemul este paralel cu fundația, sau dacă este îndoit și să verificați dacă fundația este perfect nivelată. În cazul unui „picior moale” paralel cu fundația, corecția constă în compensarea interstițiului cu una, două table de adaos. În cazul unui reazem îndoit sau a unei fundații denivelate, tehnicianul va crea un pachet „etajat”, ca în Fig.10., pentru a completa denivelarea.

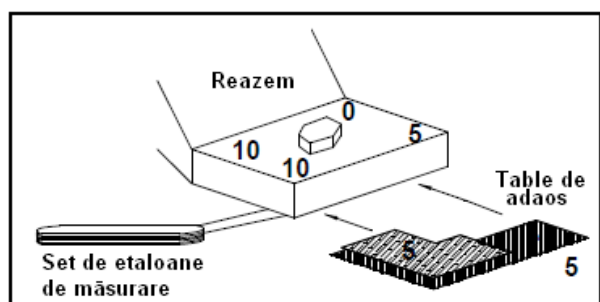


Fig. 10: Măsurarea interstițiului cu un set de etaloane de măsurare și compensarea completă a acestuia cu table de adaos.

ALȚI FACTORI DE STRESS ÎN EFECTUAREA ALINIERII

Rețeaua de conducte la care este conectat ansamblul de utilaje reprezintă un alt factor de influență în cazul alinierii utilajelor (adesea este vorba despre un „picior moale indus”). Tensiunile din rețeaua de conducte apar atunci când între conductă și flanșa de conectare a utilajului există o abatere de peste 2 mils (50μm). Acest fenomen poate determina pretensionarea conductei și încărcarea diferită a lagărelor, prin inducerea „piciorului moale”. Oricum, spre deosebire de „piciorul moale” convențional, tensionarea conductelor prin montarea lor forțată poate pur și simplu mișca utilajul respectiv, atât în plan orizontal, cât și vertical. Din acest motiv, metoda *Detectorului de „picior moale” cu laser* este preferată în determinarea tensionării conductelor.

CONCLUZII

Este foarte important să evaluați corect situația, altfel efectuarea alinierii devine o treabă extrem de complicată, cu rezultate nesatisfăcătoare. Tehnicianul are misiunea de a raporta rezultatele alinierii potențialelor condiții de tensionare a utilajelor (distorsionarea structurii, „picior moale” sau pretensionarea conductelor), întotdeauna la efectuarea verificărilor și pregătirilor de pre-aliniere. Pașii menționați anterior trebuie obligatoriu parcurși înainte ca tehnicianul să înceapă reglarea poziției mașinii.

Valabilitatea datelor se poate determina simplu, urmând regula valabilității pentru indicatoare convenționale sau pentru detectoare cu laser, sau automat folosind sistemele cu laser, care oferă un nivel ridicat de calificare a datelor, fără a avea nevoie de rotirea completă a arborelui pentru aceasta. Aceste informații complete furnizate de sistemele avansate pot ajuta nu numai la identificarea unei probleme, ci mai mult, la determinarea naturii problemei respective.

„Piciorul moale” și tensionarea conductelor se pot cuantifica fie cu ajutorul *Indexului de distorsionare a structurii (IDS)*, fie prin metoda *Detectorului de „picior moale” cu laser*. IDS cuantifică tensionarea totală sau distorsionarea structurii datorată mișcării verticale a arborelui, în timp ce *Detectorul de „picior moale” cu laser* are în vedere deopotrivă mișcarea verticală și mișcarea orizontală pentru a cuantifica necesitatea rezolvării neajunsurilor datorate „piciorului moale” înainte de a începe procedura de aliniere.

Bibliografie

1. Robert D. Skeirik, *Alignment pitfalls – How to identify and eliminate them*, Computational Systems, Inc, Knoxville, Tennessee (1997).
2. Murray, M.G., *Alignment Manual for Horizontal, Flexibly-Coupled Rotating Machines*, Murray & Garig Tool Works, Baytown Texas (1983).
3. Nower, D.L., *Multiple Data Acquisition Techniques for Shaft Alignment*, Computational Systems, Inc., Knoxville, Tennessee, (1996)
4. Buscarello, R.T., *Practical Solutions to Machinery and Maintenance Vibration Problems*, Ralph T. Buscarello, Lakewood, Colorado (1979)
5. Evans, G. and Casanova, P., *The Optalign Training Book*, Ludeca, Miami, Florida (1990)