

LINIJA ROTORA

PODEŠAVANJE I UTJECAJ NA SIGURAN RAD TURBOAGREGATA

mr.sc. Ivan Škrtić, dipl. inž.

Karlovac, 21.10.2010.

POWER

ALSTOM

Progibna linija rotora

Razlike progibnih linija hladnog i vrućeg rotora

Statička i dinamička progibna linija rotora

Podešavanje (centriranje) statorskih dijelova turbostrojeva

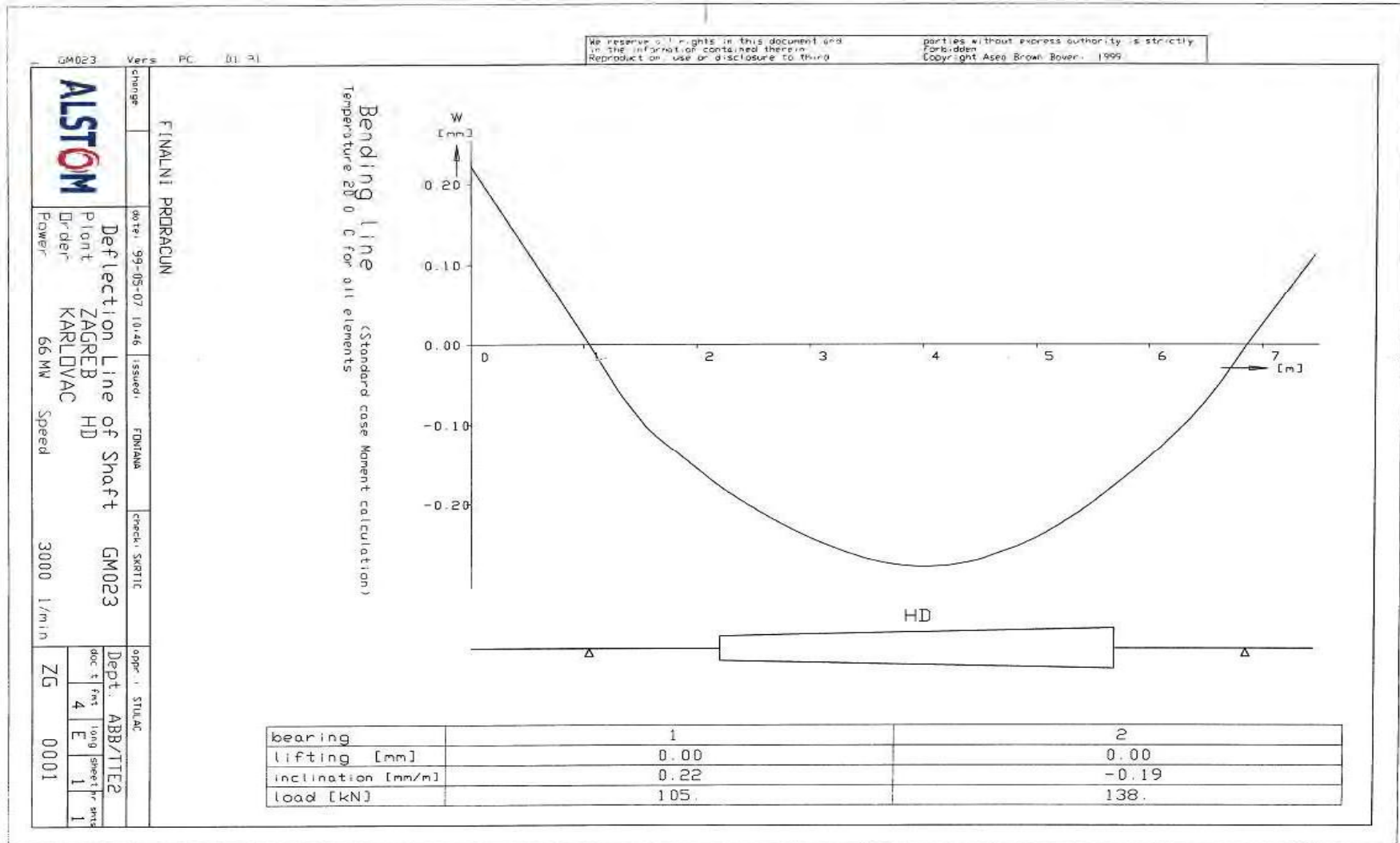
Uvjeti na spoju dva rotora krutom spojkom

Izračun linije rotora – utjecaj promjena na temeljima stroja

Postavljanje linije rotora i mjera na spojkama – podaci i mjerni protokoli

- Svaki rotor mase m [kg], oslonjen na dva ili više oslonaca, progiba se između oslonaca pod djelovanjem sila vlastite težine
- Spoj centara poprečnih presjeka tako prognutog rotora naziva se **PROGIBNA LINIJA ROTORA**
- Oblik i veličine progiba takve linije rotora od pravca koji prolazi kroz centar presjeka rotora u osloncima, ovisi o distribuciji masa i krutosti rotora po njegovoj dužini
- Sve naprijed rečeno se odnosi na horizontalno ili približno horizontalno postavljene rotore
- Vertikalno ili približno vertikalno postavljeni rotori nemaju progibnu liniju kao posljedicu savijanja silama vlastite težine

Progibna linija rotora



Slika 1 – Prikaz numeričkog proračuna progibne linije rotora turbine ukupne mase 26000 kg

Progibna linija rotora

Razlike progibnih linija hladnog i vrućeg rotora

Statička i dinamička progibna linija rotora

Podešavanje (centriranje) statorskih dijelova turbostrojeva

Uvjeti na spoju dva rotora krutom spojkom

Izračun linije rotora – utjecaj promjena na temeljima stroja

Postavljanje linije rotora i mjera na spojkama – podaci i mjerni protokoli

Razlike progibnih linija hladnog i vrućeg rotora

- Progibna linija **hladnog rotora** je manja od progibne linije vrućeg rotora, a računa se s modulom elastičnosti materijala E za temperaturu 20°C
- **Vrući rotori** mogu imati i do 20% manji modul elastičnosti, a time i do 20% veći progib nego hladni rotori
- Stvarne razlike ovise o distribuciji temperatura uzduž rotora

Progibna linija rotora

Razlike progibnih linija hladnog i vrućeg rotora

Statička i dinamička progibna linija rotora

Podešavanje (centriranje) statorskih dijelova turbostrojeva

Uvjeti na spoju dva rotora krutom spojkom

Izračun linije rotora – utjecaj promjena na temeljima stroja

Postavljanje linije rotora i mjera na spojkama – podaci i mjerni protokoli

- U principu nema razlike u obliku i veličini mjera progibne linije rotora za stanje mirovanja i radno stanje, osim ako je rotor u radu vruć, a kod mirovanja hladan
- Tada su veličine progiba, adekvatno temperaturama i distribuciji temperatura duž rotora, nešto veće u radu nego pri mirovanju (montaži)
- Veće razlike u progibnoj liniji rotora, od one računski dobivene, nastaju samo onda ako na rotor djeluju neke vanjske sile ili momenti koje nismo predvidjeli kao npr. :
 - radijalne sile od radnog medija
 - radijalna sila na spojci
 - moment savijanja na spojci
 - vanjska akcijalna sila
- Vibracijski oblici (modovi) vibriranja formiraju se oko progibne linije rotora, tj. rotor u rotaciji radi precesiju oko svoje progibne linije (od kružnice do vrlo sužene elipse, a što najviše ovisi o krutostima uležištenja rotora)
- Na veličinu amplitude ove precesije utječe veličina neuravnoteženosti rotora i područje radne brzine vrtnje rotora s obzirom na položaj njegove kritične brzine vrtnje

Progibna linija rotora

Razlike progibnih linija hladnog i vrućeg rotora

Statička i dinamička progibna linija rotora

Podešavanje (centriranje) statorskih dijelova turbostrojeva

Uvjeti na spoju dva rotora krutom spojkom

Izračun linije rotora – utjecaj promjena na temeljima stroja

Postavljanje linije rotora i mjera na spojkama – podaci i mjerni protokoli

Podešavanje (centriranje) statorskih dijelova turbostrojeva uvažavajući progibnu liniju i vrstu uležištenja rotora



- Ukoliko **rotor radi u krutim kotrljajućim ležajevima**, tada je pravac koji prolazi kroz središta ležajeva ujedno i referentna os prema kojoj se podešavaju statorski elementi stroja, a sukladno proračunu progibne linije rotora
- Ukoliko **rotor radi u kliznim radijalnim ležajevima**, onda kod podešavanja zračnosti statorskih elemenata prema progibnoj liniji rotora treba uzeti u obzir da u mirovanju rotor leži na donjoj polovini kliznog ležaja, a u radu se podiže na uljnom klinu za neku vrijednost zračnosti kliznog ležaja – ako nemamo podatke za koliko je to, eksperimentalno je utvrđeno da se otprilike uzima pola ukupne vrijednosti vertikalne zračnosti ležaja, te se ovisno o izvedbi kliznog ležaja, nešto malo pomiče i po horizontali
- Ako sagledavamo zupčanike reduktora potrebno je računati sa tangencijalnom silom na njima
- Zbog progibne linije rotora, rukavci radijalnih ležajeva rotora, odrivne ploče aksijalnog ležaja rotora, kao i prirubnice spojki rotora su u općem slučaju također pod nekim nagibom, o čemu se treba voditi računa pri podešavanju šalica radijalnih ležajeva, kao i segmenata aksijalnog ležaja u kućištu ležaja, te spajanju spojki sa susjednim rotorima

Progibna linija rotora

Razlike progibnih linija hladnog i vrućeg rotora

Statička i dinamička progibna linija rotora

Podešavanje (centriranje) statorskih dijelova turbostrojeva

Uvjeti na spoju dva rotora krutom spojkom

Izračun linije rotora – utjecaj promjena na temeljima stroja

Postavljanje linije rotora i mjera na spojkama – podaci i mjerni protokoli

Uvjeti koji se moraju zadovoljiti na spoju dva rotora krutom spojkom



- Ovakvim se spojem u rotore ne smiju unijeti dodatni savojni momenti – osim u nekim specijalnim slučajevima
- Kod spojki između dva ležaja, ne smije kod rada stroja u spojci biti niti dodatnog savojnog momenta niti poprečne sile – razlozi su uglavnom vezani, zbog normalnog opterećenja ležajeva oko spojke
- Poprečna sila u spojci je normalna kada su rotori kod spojke oslonjeni na samo jedan ležaj (tehnički i eksploatacijski povoljnije nego oslanjanje na dva ležaja). Međutim, ukoliko je kod toga radijalni ležaj kombiniran s aksijalnim, ponekad je u spojku potrebno unijeti kontrolirani montažni moment radi smanjenja momenta savijanja u samom rukavcu radijalnog ležaja i nagiba odzivnih ploča aksijalnog ležaja

Progibna linija rotora

Razlike progibnih linija hladnog i vrućeg rotora

Statička i dinamička progibna linija rotora

Podšavanje (centriranje) statorskih dijelova turbostrojeva

Uvjeti na spoju dva rotora krutom spojkom

Izračun linije rotora – utjecaj promjena na temeljima stroja

Postavljanje linije rotora i mjera na spojkama – podaci i mjerni protokoli

Utjecaj promjena na temeljima strojeva za ispravno postavljanje linija rotora prije spajanja spojki



- Utjecaj različitih radnih temperatura ležajnih blokova na mjere postavljanja linije rotora u hladnom stanju
- Utjecaj različitih toplinskih deformacija temeljne ploče ispod ležajnih blokova na mjere postavljanja linije rotora u hladnom stanju
- Utjecaj horizontalnih pomaka ležajnih blokova (najčešće kod reduktora) na postavljanje linije rotora u hladnom stanju
- Utjecaj radnog pozicioniranja rotora u kliznim ležajevima na postavljanje linije rotora u hladnom stanju

Progibna linija rotora

Razlike progibnih linija hladnog i vrućeg rotora

Statička i dinamička progibna linija rotora

Podešavanje (centriranje) statorskih dijelova turbostrojeva

Uvjeti na spoju dva rotora krutom spojkom

Izračun linije rotora – utjecaj promjena na temeljima stroja

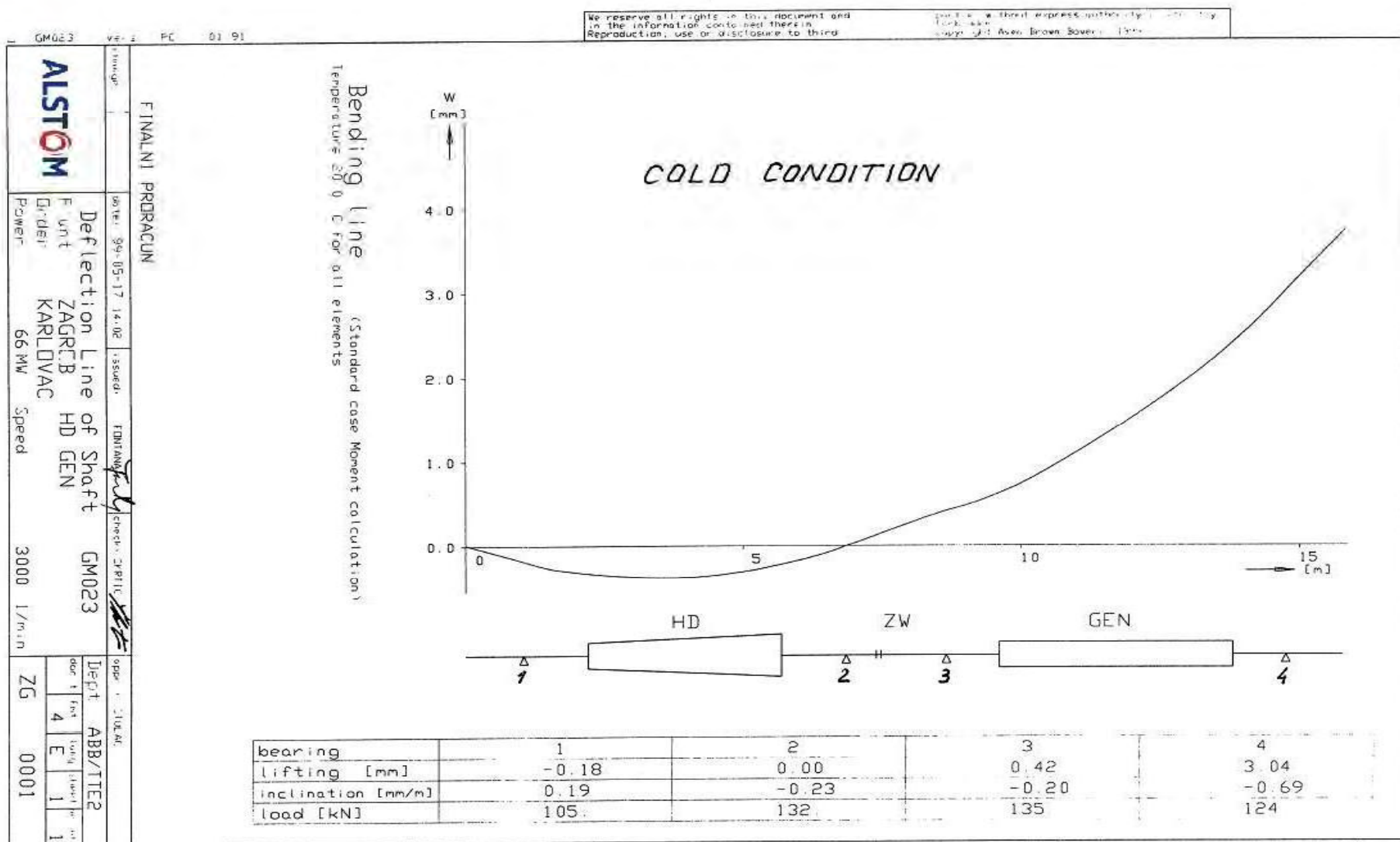
Postavljanje linije rotora i mjera na spojkama – podaci i mjerni protokoli

Podaci i mjerni protokoli koji bi morali postojati za ispravno postavljanje linije rotora i aksijalno radijalnih mjera na poluspojkama



- Zbog složenosti izračuna elastičnih linija rotora, ali i zbog kompleksnosti podataka koji su u funkciji položaja rotora u radu, mora se provesti izračun potrebnih centričnosti i okomitosti na poluspojkama u hladnom stanju prije spajanja, a sve to kako bi se u montaži postiglo kontrolirano stanje
- U tu svrhu dobro služe mjerni protokoli linije rotora, centričnosti i aksijalnih odstupanja prirubnica poluspojki, kako bi montažno i nadzorno osoblje moglo ispravno postaviti, spojiti i prekontrolirati rotore tijekom remonta kod montaže / inspekcije turboagregata
- Nekoliko primjera izračuna i oblika takvih protokola nalazi se u nastavku

Podaci i mjerni protokoli koji bi morali postojati za ispravno postavljanje linije rotora i uvjeta na spojkama



Slika 2 – Grafički prikaz proračuna linije rotora turboagregata

Linija rotora - Podešavanje i utjecaj na siguran rad turboagregata - Sunday, 05 December 2010 - P 17

© ALSTOM 2010. All rights reserved. Information contained in this document is indicative only. No representation or warranty is given or should be relied on that it is complete or correct or will apply to any particular project. This will depend on the technical and commercial circumstances. It is provided without liability and is subject to change without notice. Reproduction, use or disclosure to third parties, without express written authority, is strictly prohibited.

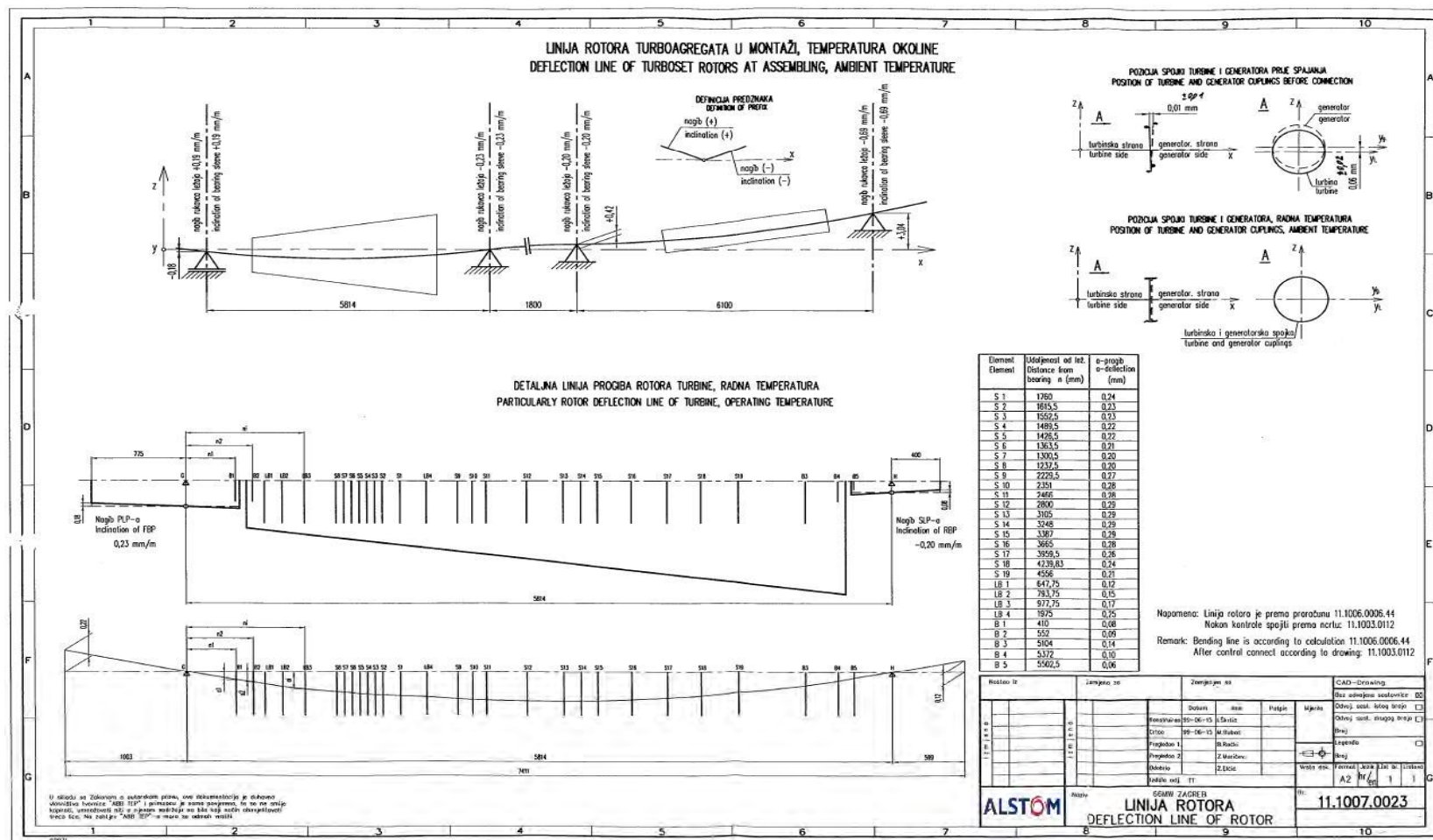
Podaci i mjerni protokoli koji bi morali postojati za ispravno postavljanje linije rotora i uvjeta na spojkama



| ALSTOM | | Mjerni protokol / Test Certificate | | Arhiv br. / Arch. No. | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------|-----------------------|--|-------------------------------------------------------|--|--|------------------|---------------------------|-----------------------|------------------|---------------------------|-----------------------|---|----|-------|--|----|------------|--|---|----|---|--|----|------------|--|---|----|-------|--|----|------------|--|---|----|-------|--|----|------------|--|---------------------------------------------------------------------------------------|--|
| | | Opis mjerenja / Description of Measurement | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | Kontrola nagiba i koncentričnosti kućišta i ležajnih postolja Inclination and coaxiality check | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| <p>Linija agregata Aggregate deflection line</p> | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| <p>DEFINICIA PREDZNAKA DEFINITION OF PREFIX</p> | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| <p>Izdavac: Made by: M. Matan</p> <p>Datum: Date: 00-04-10</p> <p>Pregledao: Reviewed by: A. Ribarić</p> <p>QA: V. Pajić</p> <p>Tehn. Koord. Techn. Coord:</p> | | <table border="1"> <thead> <tr> <th rowspan="2">Ležaj br. Bearing no.</th> <th colspan="3">Razlika visine u odnosu na os Height difference relative to centerline</th> <th colspan="3">Nagib rukavca ležaja Inclination of bearing sleeve</th> </tr> <tr> <th>Oznaka Symbol</th> <th>Konstruktivno Designed</th> <th>Izmjereno Measured</th> <th>Oznaka Symbol</th> <th>Konstruktivno Designed</th> <th>Izmjereno Measured</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>1</td> <td>h1</td> <td>-0,18</td> <td></td> <td>α1</td> <td>+0,19 mm/m</td> <td></td> </tr> <tr> <td>2</td> <td>h2</td> <td>0</td> <td></td> <td>α2</td> <td>-0,23 mm/m</td> <td></td> </tr> <tr> <td>3</td> <td>h3</td> <td>+0,42</td> <td></td> <td>α3</td> <td>-0,20 mm/m</td> <td></td> </tr> <tr> <td>4</td> <td>h4</td> <td>+3,04</td> <td></td> <td>α4</td> <td>-0,69 mm/m</td> <td></td> </tr> </tbody> </table> | | Ležaj br. Bearing no. | Razlika visine u odnosu na os Height difference relative to centerline | | | Nagib rukavca ležaja Inclination of bearing sleeve | | | Oznaka Symbol | Konstruktivno Designed | Izmjereno Measured | Oznaka Symbol | Konstruktivno Designed | Izmjereno Measured | 1 | h1 | -0,18 | | α1 | +0,19 mm/m | | 2 | h2 | 0 | | α2 | -0,23 mm/m | | 3 | h3 | +0,42 | | α3 | -0,20 mm/m | | 4 | h4 | +3,04 | | α4 | -0,69 mm/m | | <p>Objekt: Plant: 66 MW Zagreb</p> <p>Radni nalog: Work order:</p> | |
| Ležaj br. Bearing no. | Razlika visine u odnosu na os Height difference relative to centerline | | | | Nagib rukavca ležaja Inclination of bearing sleeve | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | Oznaka Symbol | Konstruktivno Designed | Izmjereno Measured | Oznaka Symbol | Konstruktivno Designed | Izmjereno Measured | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 1 | h1 | -0,18 | | α1 | +0,19 mm/m | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 2 | h2 | 0 | | α2 | -0,23 mm/m | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 3 | h3 | +0,42 | | α3 | -0,20 mm/m | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 4 | h4 | +3,04 | | α4 | -0,69 mm/m | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| <p>Odobrio: Approved by: Z. Eičić</p> | | <p>U skladu s nacrtom: According to drawing:</p> <p>Škica: Drawing:</p> <p>Rejekt:</p> | | <p>Korisni kako je: Use as is:</p> <p>Popravak: Repair:</p> <p>Rejekt:</p> | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| <p>Datum / Date:</p> <p>Datum / Date:</p> <p>Datum / Date:</p> | | <p>Kontrolor - Ispitivač / Issuer:</p> <p>Odobrio / Approved by:</p> <p>Nadzor / Authority:</p> | | <p>Dio potrošnja: Turbine sekcija: Kućište i ležajna postolja Casing and bearing pedestals</p> <p>Predmet mjerenja: Objekt of measurement: Nagib i koncentričnost Inclin. and coaxiality</p> <p>Nacr. br. / Drawing No:</p> <p>Br. IT plana / I&T plan No:</p> <p>Nastao iz / Derives from:</p> <p>Br. koef. op. / Test stop No:</p> <p>Zamjena za / Replacement for:</p> <p>Odgovorno mjesto / Responsibility:</p> | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| <p>Tvornička montaža: Factory erection:</p> <p>Montaža na gradilištu Site erection:</p> <p>Form: A4</p> <p>Jezik: hr/en</p> <p>List br.: 2</p> <p>Šifra br.: 11.1010.0701.02</p> <p>Lista br.: 3</p> | | <p>Form: A4</p> <p>Jezik: hr/en</p> <p>List br.: 2</p> <p>Šifra br.: 11.1010.0701.02</p> <p>Lista br.: 3</p> | | <p>11.1010.0701.02</p> | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |

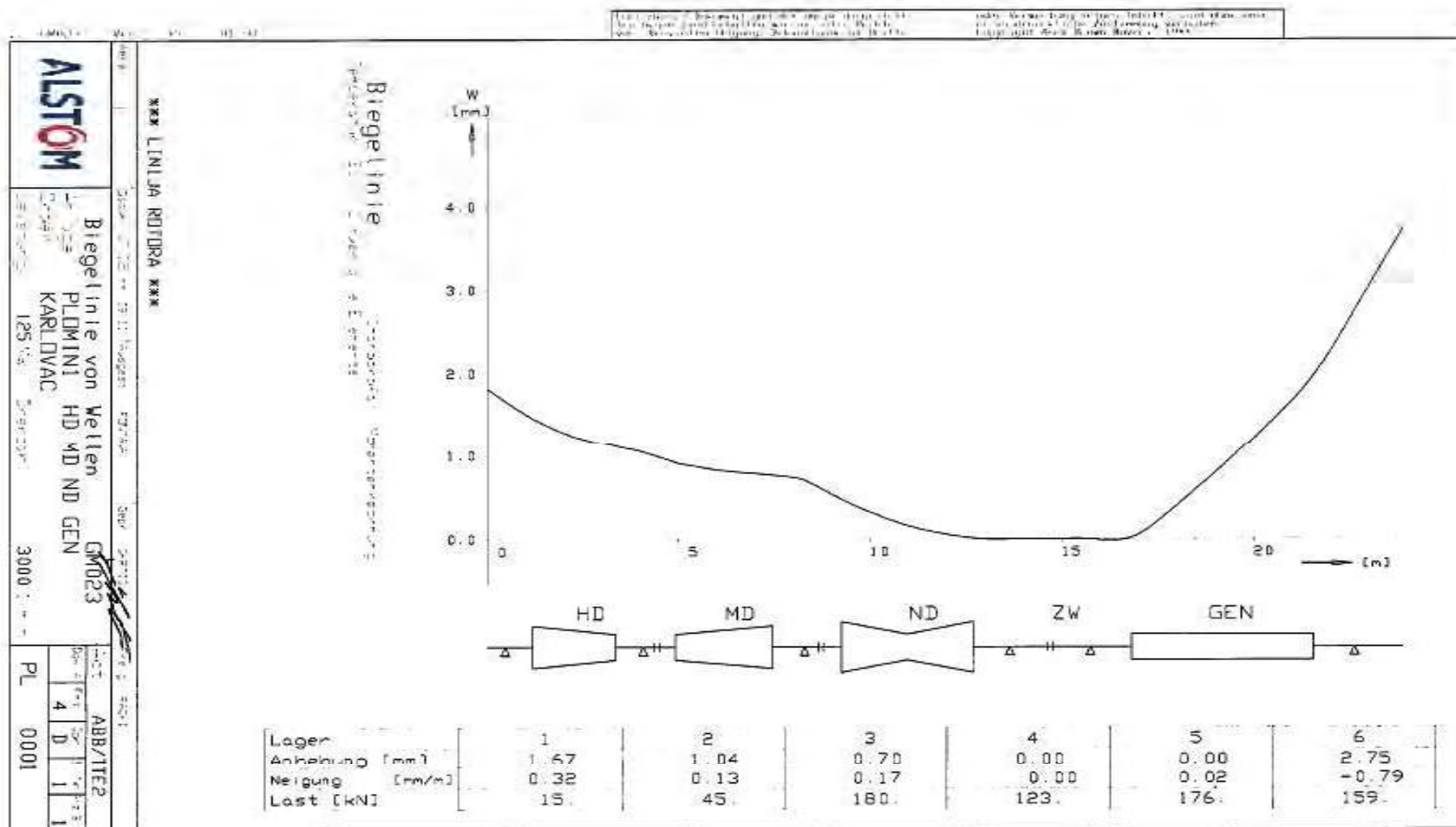
Slika 3 – Mjerni prikaz za kontrole i podešavanja rotorskih i statorskih pozicija vezanih uz liniju rotora turboagregata, a služi kod velikih inspekcija ili nekih drugih kontrolnih aktivnosti na turboagregatu

Podaci i mjerni protokoli koji bi morali postojati za ispravno postavljanje linije rotora i uvjeta na spojkama



Slika 4 – Nacrt sa svim podacima za postavljanje linije rotora, centriranje statorskog dijela turbine te potrebnih radijalnih i aksijalnih mjera na poluspojkama i ležajevima turbine i generatora, prije spajanja vijcima kod montaže novog turboagregata

Podaci i mjerni protokoli koji bi morali postojati za ispravno postavljanje linije rotora i uvjeta na spojkama



Slika 5 – Grafički prikaz linije rotora jednog velikog turboagregata, sa postignutim uvjetima da su montažni momenti jednaki nuli na svim spojkama

Linija rotora - Podešavanje i utjecaj na siguran rad turboagregata - Sunday, 05 December 2010 - P 20

© ALSTOM 2010. All rights reserved. Information contained in this document is indicative only. No representation or warranty is given or should be relied on that it is complete or correct or will apply to any particular project. This will depend on the technical and commercial circumstances. It is provided without liability and is subject to change without notice. Reproduction, use or disclosure to third parties, without express written authority, is strictly prohibited.

www.alstom.com/power

POWER | **ALSTOM**