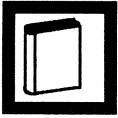




SKADEATLAS	6. 1
AKSEL, BØYD	6. 2
AKSEL, EGENSVINGNINGER	6. 4
AKSEL, OPPRETNING	6. 6
AKSEL, SPREKKER	6. 8
BERØRING ROTERENDE - STASJONERE DELER	6.10
BÆREHODE, SKJEVT	6.12
BÆRELAGER, SKJEVT	6.14
FEILKOMBINERING (KAPLAN)	6.16
KAVITASJON	6.18
KOBLING, LØS	6.20
LEDEAPPARAT, SLITASJE	6.22
LEDEAPPARAT, FEILINNSTILLING (PUMPETURBIN)	6.24
RESONANS I STASJONERE DELER	6.26
SKJEVKRAFT, HYDRAULISK	6.28
SKJEVKRAFT, MAGNETISK	6.30
STATOR, LØS BLIKKPAKKE	6.32
STATOR, LØS DELEFLENS	6.34
STATOR, URUND	6.36
STYRELAGER, LØS INNFESTING	6.38
STYRELAGER, OPPRETNING	6.40
STYRELAGER, SKJEVT	6.42
STYRELAGER, SLITASJE	6.44
STYRELAGER, USTABIL OLJEFILM	6.46
SUGERØRSVIRVLER	6.48
UBALANSE, HYDRAULISK	6.50
UBALANSE, MAGNETISK	6.52
UBALANSE, MEKANISK	6.54
VON KARMANS VIRVLER	6.56



SKADEATLAS

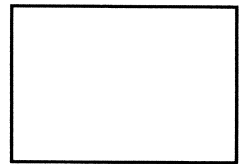
Dette avsnittet gir en mer inngående beskrivelse av symptomer, årsak, konsekvenser, etc. for de forskjellige typer feil/skader som kan registreres med måling og analyse av vibrasjoner i et vannkraftverk.

Avsnittet omhandler feil/skader som kan oppdages ved analyse av akselbevegelse samt vibrasjoner i stasjonære deler. For sistnevnte analyse må man foreta målinger med akselerometer eller hastighetsgivere.

Nedenfor følger en kortfattet forklaring til de figurer som brukes til å vise symptomene til de enkelte feil/skader:

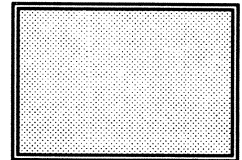
Figurer

- Beskriver symptomer for den aktuelle feilen.
- Beskriver symptomer som er mest karakteristisk for den aktuelle feil.



Frekvensspekter

- På alle figurer er 1xn, første harmoniske av turtallsfrekvensen, angitt.



Tidsbilde

- På alle figurer er det vist en syklus for aggregatet, det vil si en omdreining.
- Heltrukken linje angir akselbevegelse gitt fra en avstandsgiver ved et av lagrene.
- Stiplet linje angir akselbevegelse gitt fra en avstandsgiver ved et av de andre lagrene målt i samme akseretning.

Orbit

- Heltrukken linje angir akselbevegelse.
- Stiplet linje angir lagerklaring.
- Sirkel med kryss angir akselposisjon ved stillstand.

Kaskadeplott

- Figuren viser frekvensspekter lagt på hverandre ved varierende turtall. Høyeste turtall er vist i nederste frekvensspekter.

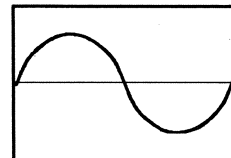


AKSEL, BØYD

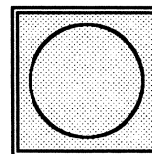
SYMPTOMER

Akselkast

- * Tidsbilde
- Utslag ved sakte rotasjon.

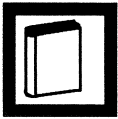


- * Orbit
- Utslag ved sakte rotasjon.
- Akselkast ofte større på begge sider av lageret enn i selve lagergangen.
- Målt akselkast er forskjellig fra virkelig akselkast.



FEIL MED LIGNENDE SYMPTOMER

- Aksel, oppretting
 - Aksel, sprekker
 - Kobling, løs
 - Styrelager, slitasje
 - Ubalanse, hydraulisk
 - Ubalanse, magnetisk
 - Ubalanse, mekanisk
-



AKSEL, BØYD

ÅRSAK

- Aksel produsert med bøy.
-

KONSEKVENSER

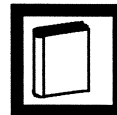
-

SUPPLERENDE MÅLING / KONTROLL

- Retthetskontroll av aksel
-

KOMMENTARER

- Aksler har normalt så liten bøy at det er vanskelig å oppdage ved vibrasjonsmålinger.
 - Denne feilen må regnes som en produksjonsfeil og vil ikke kunne utvikle seg etter at den er innstallert på kraftverket, om man ikke ved revisjoner slipper den i gulvet.
-

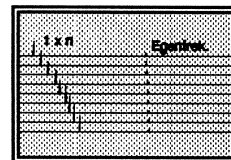


AKSEL, EGENSVINGNINGER

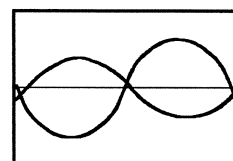
SYMPTOMER

Akselkast

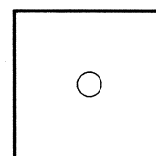
- * Kaskadeplott
 - Egenfrekvensen er nær uavhengig av turtallsvariasjon.



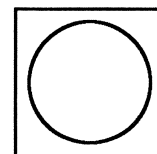
- * Tidsbilde
 - Fasevinkel endres 180° ved passering av en egenfrekvens når turtallet varieres. Gjelder bare ved lagerkritisk egensvingning.



- * Orbit
 - Lite akselkast ved bøyekritisk egensvingning.

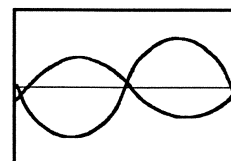


- Stort akselkast ved lagerkritisk egensvingning.



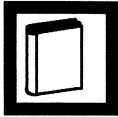
Vibrasjoner i stasjonære deler

- * Tidsbilde
 - Fasevinkel endres 180° ved passering av en egenfrekvens når turtallet varieres.



FEIL MED LIGNEDE SYMPTOMER

- Ubalanse, mekanisk
-



AKSEL, EGENSVINGNINGER

ÅRSÅK

- Liten lagerstivhet.
 - Løs lagerinnfesting.
 - Slitasje i styrelager.
 - Konstruksjonssvakhet.
 - Endret akselstivhet (sprekk i aksel)
-

KONSEKVENSER

- Bolter løsner.
 - Subbing i spalter (pakkboks).
 - Utmattingsskader på konstruksjonen.
 - Kritisk under avslag på aggregatet.
 - Akselbrudd.
-

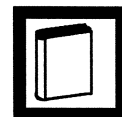
SUPPLERENDE MÅLING / KONTROLL

- Beregning av egenfrekvenser
 - Kontroll av lagerstivhet og stivhet av kryss.
 - Modalanalyse.
-

KOMMENTARER

- Det er viktig å skille mellom bøyekritisk egenfrekvens der akselen bøyes ut og lagerkritisk egenfrekvens der akselen ikke bøyes, men svinger i oljefilmen i lageret. Den sistnevnte er sjelden farlig på kort sikt, men kan gi kraftige vibrasjoner. Hvis turtallet er nær bøyekritisk egenfrekvens eksiteres bøyekritisk turtall. Dette er en svært farlig tilstand.
 - En metode til å øke stabiliteten i de roterende deler når man har lagerkritisk egensvingninger er å forstille lageropprettingen noe med tanke på å få en mer definert kraft i alle lagre og dermed en høyere lagerstivhet.
 - Parametrisk resonans kan forekomme spesielt på aggregater med to styrelagre, paraplyopplagring. Parametrisk resonans er definert som en kombinasjon av to egenfrekvenser etter følgende formel:
$$f = (f_1 \pm f_2) / a$$

f_1 og f_2 = Egenfrekvenser (Hz)
 a = Et vilkårlig heltall (1,2,3,...)
 - Rotorsystemer med egensvingninger i aktuelle kjøreområde vil være svært kompliserte å avbalansere om man ikke er klar over fenomenet.
-

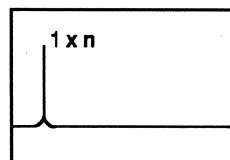


AKSEL, OPPRETTING

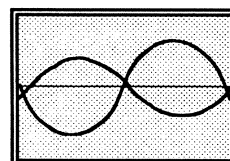
SYMPTOMER

Akselkast

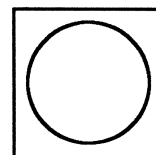
- * Frekvensspekter
 - 1x turtallsfrekvens fremtredende, stabil over tid.



- * Tidsbilde
 - 180° faseforskjell mellom øvre og nedre generatorlager.

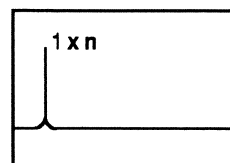


- * Orbit
 - Utslag ved sakte rotasjon.
 - Orbit tilnærmet sirkulær.
 - Akselkast målt under drift på aggregatet kan være forskjellig fra virkelig akselkast.



Vibrasjoner i stasjonære deler

- * Frekvensspekter
 - 1x turtallsfrekvens fremtredende i radiell retning, stabil over tid.



FEIL MED LIGNEDE SYMPTOMER

- Aksel, bøyd
 - Kobling, løs
 - Ubalanse, hydraulisk
 - Ubalanse, magnetisk
 - Ubalanse, mekanisk
-



AKSEL, OPPRETTING

ÅRSÅK

- Saksing i flens.
- Vinkelavvik i flens.
- Ujevnt tiltrekkingsmoment på bolter i kobling mellom generator- og turbinaksel.

KONSEKVENSER

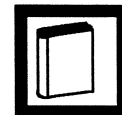
- Stigende lagertemperatur.
- Koblingsbolter løsner.

SUPPLERENDE MÅLING / KONTROLL

- Pendling av akselstreng.

KOMMENTARER

- Akselkastet vil øke i turbinlageret om det er av typen sylindrisk lager.
 - Det vil være liten endring av akselkastet i turbinlageret om dette er av typen med bratte oppløpskanter. Økningen av akselkastet vil i første rekke komme i nedre generatorlager.
-

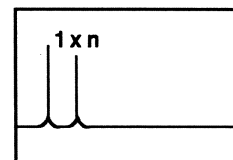


AKSEL, SPREKKER

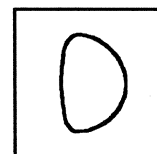
SYMPTOMER

Akselkast

- * Frekvensspekter
- 1 og 2x turtallsfrekvens øker med økende last på aggregatet.

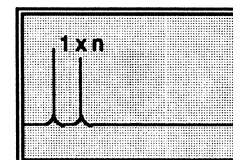


- * Orbit
- Akselkast øker med økende last på aggregatet.
- Halvmåneformet orbit.



Vibrasjoner i stasjonære deler

- * Frekvensspekter
- 1 og 2x turtallsfrekvens øker med økende last på aggregatet i radiell retning.



FEIL MED LIGNENDE SYMPTOMER

-



AKSEL, SPREKKER

ÅRSÅK

- Høyt påkjent aksel.
- Utforming av hulkiler.
- Korrosjonssprekker (vannberørte flater).
- Materialfeil i aksel.
- Utmattingskader.

KONSEKVENSER

- Stigende lagertemperatur.
- Lagerslitasje.
- Utmattingskader på stasjonære deler.
- Bolteforbindelser løsner.
- Lagerhavari.
- Akselbrudd.

SUPPLERENDE MÅLING / KONTROLL

- Lagertemperatur.
- Sprekkkontroll av aksel (penetrerende væske/ ultralyd).
- Oljeanalyse.

KOMMENTARER

-

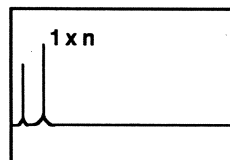


BERØRING ROTERENDE - STASJONÆRE DELER

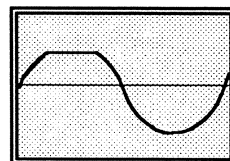
SYMPTOMER

Akselkast

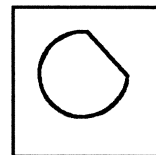
- * Frekvensspekter
 - 1x turtallsfrekvens økende ved jevn berøring mellom roterende og stasjonære deler. Ved mer impulsiv berøring vil 1/2, 1/3 og 1/4x turtallsfrekvensen og multipler av disse komme frem.



- * Tidsbilde
 - Flate partier på svingningene.

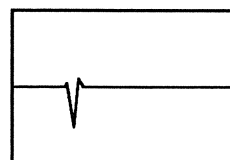
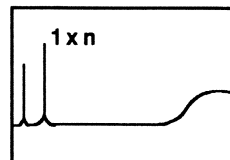


- * Orbit
 - Akselkast med flate partier.



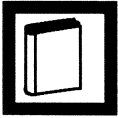
Vibrasjoner i stasjonære deler

- * Frekvensspekter
 - Grunnivået vil heves i det høyfrekvente området.
 - 1x turtallsfrekvens økende ved sammenhengende berøring mellom roterende og stasjonære deler. Ved mer impulsiv berøring vil 1/2, 1/3 og 1/4x turtallsfrekvensen og multipler av disse komme frem.
- * Tidsbilde
 - Plutselige utsving som ved slag.



FEIL MED LIGNENDE SYMPTOMER

- Styrelager, løs innfesting
-



BERØRING ROTERENDE - STASJONÆRE DELER

ÅRSÅK

- Feiloppretting.
 - Stor lagerklaring.
 - Deformerte spalter.
 - Løpehjul subber i løpehjulskammer (kaplan).
 - Eksentrisk plassering av stasjonære deler som pakkboks, labyrinttetniger etc.
 - Dobbel jordslutning av feltviklingene.
-

KONSEKVENSER

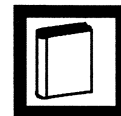
- Utmatting av hvittmetall i lagrene.
 - Bolteforbindelser løsner.
 - Slitasje/sprekker/brudd på deler som er i berøring.
 - Lagerhavari.
-

SUPPLERENDE MÅLING / KONTROLL

- Søking av klaringer.
 - Lytte etter ulyder ved stans.
 - Visuell kontroll av løpehjulskammer (kaplan).
 - Visuell kontroll av turbinhus (pelton).
-

KOMMENTARER

- Subbing kan være selvforsterkende på grunn av lokal oppvarming av både stasjonære og roterende deler.
 - Dobbel jordslutning av feltviklingen: Aggregater med rotorjordvern vil øyeblikkelig få avmagnetisering og stopp.
-

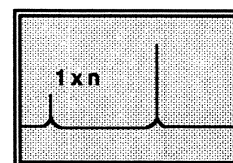


BÆREHODE, SKJEVT

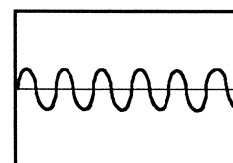
SYMPTOMER

Vibrasjoner
i stasjonære
deler

- * Frekvensspekter
- Passeringsfrekvens til bærelagersegmentene har høyt nivå i aksial retning.

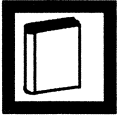


- * Tidsbilde
- Passeringsfrekvensen til bærelagersegmentene er fremtredende.



FEIL MED LIGNENDE SYMPTOMER

-



BÆREHODE, SKJEVT

ÅRSÅK

- Bærehodet er feilmaskinert.
- Bærehodet har løsnet.
- Bærehodet montert skjevt.
- Skjev glidering (aksiell retning)

KONSEKVENSER

- Stigende lagertemperatur.
- Utmattingskader.
- Slitasje/brudd i holdering for bærehode.
- Bærelagerhavari.

SUPPLERENDE MÅLING / KONTROLL

- Kontrollere om passrust kan påvises.
- Kontroll av pasning bærehode - aksel.
- Lagertemperatur.
- Oljeanalyse.

KOMMENTARER

- Bærehodet er svakt krympet på akselen og kan løsne.
 - Det kan bli stor slitasje under start med skjevt bærehode dersom aggregatet ikke har trykkoljesmøring.
-

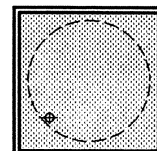


BÆRELAGER, SKJEVT

SYMPTOMER

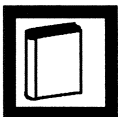
Akselkast

- * Orbit
- Akselen vil legge seg inntil samme punkt hver gang aggregatet stopper.



FEIL MED LIGNENDE SYMPTOMER

-



BÆRELAGER, SKJEVT

ÅRSÅK

- Lager/Kryss ute av vater.
 - Svikt i fundamenter.
 - Svikt i fjærer for lagersegmenter.
-

KONSEKVENSER

- Utmatting av hvittmetall
 - Stigende lagertemperatur
 - Bærelagerhavari.
-

SUPPLERENDE MÅLING / KONTROLL

- Vatring av bærelager.
 - Visuell kontroll av lagersegmenter.
 - Lagertemperatur (bærelager).
 - Oljeanalyse.
-

KOMMENTARER

-

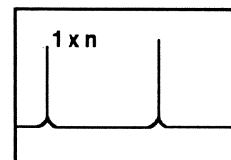


FEILKOMBINERING (KAPLAN)

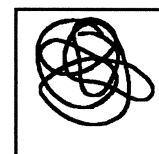
SYMPTOMER

Akselkast

- * Frekvensspekter
- Antall ledeskovler multiplisert med turtallsfrekvensen blir fremtredende.
- 1x turtallsfrekvens øker med økende last.

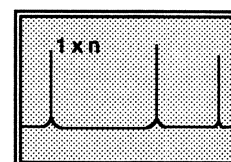


- * Orbit
- Orbit kan være ustabil.



Vibrasjoner i stasjonære deler

- * Frekvensspekter
- Antall ledeskovler multiplisert med turtallsfrekvensen blir fremtredende (se kommentarer) i aksiell og radiell retning.
- Antall løpeskovler multiplisert med turtallsfrekvensen blir fremtredende i radiell retning.
- 1x turtallsfrekvens øker med økende last, i radiell retning.



FEIL MED LIGNENDE SYMPTOMER

- Ledeapparat, slitasje
-



FEILKOMBINERING (KAPLAN)

ÅRSÅK

- Slitt kombineringskam.
- Slitasje i tilbakeføring.
- Slitasje i løpehjulsnav.
- Bruk av feil kombineringskurve.
- Feil i elektronikk til turbinregulator.

KONSEKVENSER

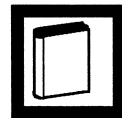
- Kavitasjon.
- Redusert turbineffekt (dårlig virkningsgrad).
- Slitasje i ledeapparat.

SUPPLERENDE MÅLING / KONTROLL

- Indeksmaalinger.
- Kontroll av lede- og løpeskovelåpning sett i forhold til satte verdier ved den aktuelle fallhøyde.
- Sammenligning av virkelig og avlest lede- og løpeskovelåpning.
- Kontroll av dødgang i reguleringsmekanisme.

KOMMENTARER

-

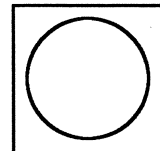


KAVITASJON

SYMPTOMER

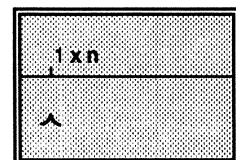
Akselkast

- * Orbit
- Liten endring av akselkast om kavitasjonen er jevnt fordelt. Opptrer kavitasjonen bare på visse områder av løpehjulets omkrets vil akselkastet øke.



Vibrasjoner i stasjonære deler

- * Frekvensspekter
- Grunnivået heves.



FEIL MED LIGNENDE SYMPTOMER

-



KAVITASJON

ÅRSÅK

- Aggregatet går på overlast.
- Ekstremt lavt undervann.
- Skader på ledeskovler
- Skader i løpehjul.
- Luftinnslipning på løpehjul tett.

KONSEKVENSER

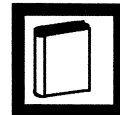
- Støy omkring turbinen.
- Slitasje på løpehjul.
- Redusert turbineffekt (dårlig virkningsgrad).
- Utmattingskader på løpehjul.

SUPPLERENDE MÅLING / KONTROLL

- Høre på turbinen under drift.
- Visuell kontroll av løpehjul.
- Visuell kontroll av ledeapparat.

KOMMENTARER

-

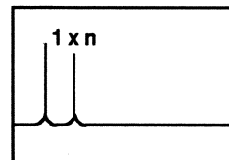


KOBLING, LØS

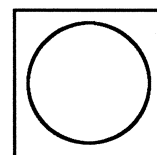
SYMPTOMER

Akselkast

- * Frekvensspekter
- 1x turtallsfrekvens fremtredende.
- 2x turtallsfrekvens ved svært løs kobling.

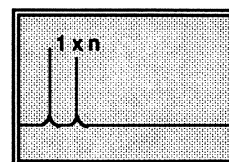


- * Orbit
- Akselkastet øker (se kommentarer).



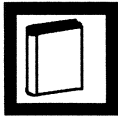
Vibrasjoner i stasjonære deler

- * Frekvensspekter
- 1x turtallsfrekvens fremtredende i radiell retning.
- 2x turtallsfrekvens i radiell retning ved svært løs kobling.



FEIL MED LIGNEDE SYMPTOMER

- Aksel, bøyd
 - Aksel, sprekker
 - Ubalanse, hydraulisk
 - Ubalanse, magnetisk
 - Ubalanse, mekanisk
-



KOBLING, LØS

ÅRSÅK

- Forspenn i koblingsbolter mellom generator- og turbinaksel er redusert.

KONSEKVENSER

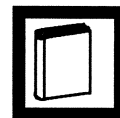
- Stigende lagertemperatur.
- Koblingsbolter ødelegges.

SUPPLERENDE MÅLING / KONTROLL

- Lagertemperatur.
- Måle tiltrekkingsmoment på koblingsbolter.
- Kontroll av akselrettthet (pendling).

KOMMENTARER

- Akselkastet vil øke i turbinlageret om det er av typen sylindrisk lager.
 - Det vil være liten endring av akselkastet i turbinlageret om dette er av typen med bratte oppløpskanter. Økningen av akselkastet vil i første rekke komme i nedre generatorlager.
-

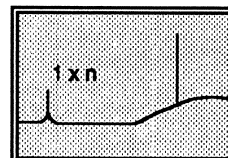


LEDEAPPARAT, SLITASJE

SYMPTOMER

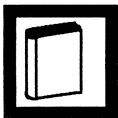
Vibrasjoner
i stasjonære
deler

- * Frekvensspekter
- Turtallsfrekvens multiplisert med antall løpeskovler øker i aksial og radiell retning over tid.
- Grunnivået i det høyfrekvente området øker over tid.



FEIL MED LIGNENDE SYMPTOMER

- Feilkombinering (kaplan)
-



LEDEAPPARAT, SLITASJE

ÅRSAK

- Klaring mellom de enkelte ledeskovler og mellom ledeskovler og turbinlokk øker.
- Sandholdig vann.
- Fremmedlegemer som plast etc. kiler seg fast i ledeapparat og fører til rivninger.
- Materialvalg for ledeapparat.

KONSEKVENSER

- Redusert turbineffekt (dårlig virkningsgrad).
- Problemer med innfasing av aggregatet p.g.a. mye lekkasjevann som gir høyt turtall på aggregatet i tomgang.
- Lekkasje kan bli så stor at de roterende deler ikke går til stans ved stengning av ledeapparat.

SUPPLERENDE MÅLING / KONTROLL

- Spaltevannsmengde.
- Visuell kontroll av ledeapparat.
- Søking av spalter i ledeapparat.

KOMMENTARER

- Normalt vil slitasje i ledeapparatet oppdages ved rutinekontroll av ledeapparatet.
 - Slitasjen er ofte størst den første driftstiden for aggregatet. Vannet kan da inneholde mye sand før massene i tilløpssystemet har stabilisert seg.
 - Er det spaltevannsuttak på turbinen vil man kunne følge med på utviklingen av spaltevannsmengden som gir en indikasjon på hvor stor sandslitasjen i turbinen er.
-



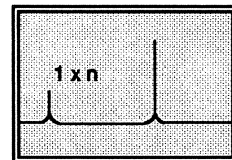
LEDEAPPARAT, FEILINNSTILLING (PUMPETURBIN)

SYMPTOMER

Vibrasjoner
i stasjonære
deler

* Frekvensspekter

- Løpeskovelfrekvens og multipler av denne øker til høyere nivå.
- Nivåene er sterkt avhengig av turtall, fallhøyde og last på aggregatet.



FEIL MED LIGNEDE SYMPTOMER

- Skjevkraft, hydraulisk
-



LEDEAPPARAT, FEILINNSTILLING (PUMPETURBIN)

ÅRSÅK

-

KONSEKVENSER

- Økt effektforbruk i pumpedrift.

SUPPLERENDE MÅLING / KONTROLL

- Kontrollere slag/fallhøyde/turtall mot satte verdier.
- Vibrasjonsmåling på reguleringsring.

KOMMENTARER

- Måles vibrasjoner på reguleringsring vil man se at vibrasjonsnivået er høyest ved optimal innstilling av ledeskovlene.

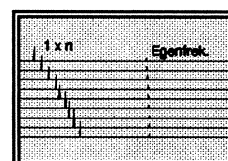
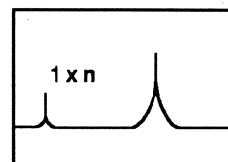


RESONANS I STASJONÆRE DELER

SYMPTOMER

Vibrasjoner
i stasjonære
deler

- * Frekvensspekter
 - Egenfrekvensen til en stasjonær del eksiteres av en systemfrekvens eller en kombinasjon av to systemfrekvenser (se kommentarer). Nivået endres med turtallet på aggregatet.
 - Grunnivået heves omkring den aktuelle frekvens.
- * Kaskadeplott
 - Egenfrekvensen er nær uavhengig av turtallsvariasjon.



FEIL MED LIGNENDE SYMPTOMER

-



RESONANS I STASJONÆRE DELER

ÅRSÅK

- Svake konstruksjoner (ikke tilstrekkelig stive).
 - Løse bolteforbindelser.
 - Sprekker.
-

KONSEKVENSER

- Bolter løsner.
 - Utmattingskader på konstruksjonen.
-

SUPPLERENDE MÅLING / KONTROLL

- Beregning av egenfrekvenser.
 - Modalanalyse.
-

KOMMENTARER

- Systemfrekvensene er de viktigste eksitasjonskildene.
- To systemfrekvenser kan kombineres slik at de eksiterer (ligger i nærheten av) egenfrekvensen til en stasjonær del. Vi viser her et eksempel:
Et aggregat har 30 løpeskovler og 24 ledeskovler i turbinen. Pulsene fra lede- og løpeskovler kan teoretisk kombineres som følger:

$$\text{Frekvens} = \text{turtallsfrekvens} \times (24 \times 30) / z$$

$$z = 6, 7, 8, 9, \dots, 720$$

6 er det største heltall som går opp i 24 og 30

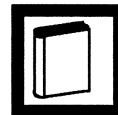
Er turtallet for aggregatet 600 o/min (10.0 Hz) vil følgende "kombinerte" frekvenser kunne være en kilde til eksitasjon:

1200(z=6), 1029(z=7), 900(z=8), ... 10(z=720) Hz

Det er bare enkelte av disse "kombinerte" frekvensene som kommer frem ved frekvensanalyse, de fleste er for lave til å kunne oppdages.

Det er svært sjelden at slike kombinerte frekvenser fører til økte vibrasjoner på grunn av resonans.

- Resonans kan i noen tilfeller komme frem etter revisjoner eller reparasjonsarbeider på grunn av endret stivhet i konstruksjonen.
-



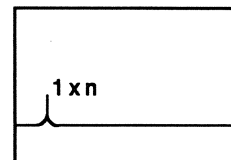
SKJEVKRAFT, HYDRAULISK

SYMPTOMER

Akselkast

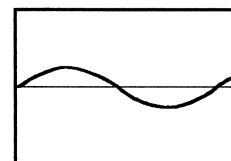
* Frekvensspekter

- 1x turtallsfrekvens avtar i turbinlageret etter hvert som skjevkraften øker.



* Tidsbilde

- Amplitude vil avta om skjevkraften er stort. Endringen størst i turbinlageret.



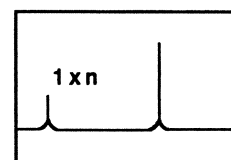
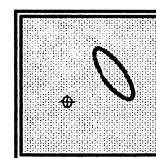
* Orbit

- Akselposisjon endres fra tomgang og med last på turbinen. Endringen er mest tydelig i turbinlageret.
- Akselkastet vil avta i turbinlageret når skjevkraften er stort.
- Avlang orbit.

Vibrasjoner i stasjonære deler

* Frekvensspekter

- Turtallsfrekvens multiplisert med antall løpeskovler er høy i radiell retning. Nivået øker med økende last.
- 1x turtallsfrekvens (radiell retning) avtar i turbinlageret etter hvert som skjevkraften øker.



FEIL MED LIGNENDE SYMPTOMER

- Feilkombinering (kaplan)
 - Styrelager, oppretting
 - Skjevkraft, magnetisk
 - Styrelager, skjevt
-



SKJEVKRAFT, HYDRAULISK

ÅRSÅK

- Ujevn vannstrømning fra ledeapparat til løpehjul.
- Fremmedlegemer kilt fast i ledeapparat.
- Ledeskovel ute av stilling (friksjonskobling).
- Ledeskovelbrudd.
- Lenkebrudd.
- Dårlig oppretting av løpehjulsspalter.
- Nålservoer med varierende slag på samme turbin (pelton).

KONSEKVENSER

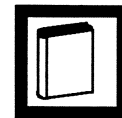
- Redusert turbineffekt (dårlig virkningsgrad).
- Stigende lagertemperatur.
- Slitasje i pakkboks, spalting.
- Slitasje i løpehjulskammer (kaplan).
- Problemer med å stenge ledeapparat.
- Lagerhavari.

SUPPLERENDE MÅLING / KONTROLL

- Visuell inspeksjon av ledeapparatet.
- Kontroll av nålslag (pelton).
- Søking av løpehjulsspalter.
- Lagertemperatur.
- Oljeanalyse.

KOMMENTARER

- Det kan være vanskelig å se endring av akselkast på lagre med bratt oppløpskant.
 - Peltonturbiner kan også i normale driftstilstander ha hydraulisk skjevraft. For eksempel når en 5 strålet turbin kjører på tre nåler.
-

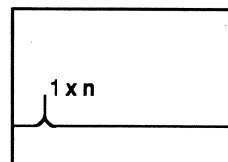


SKJEVKRAFT, MAGNETISK

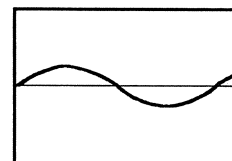
SYMPTOMER

Akselkast

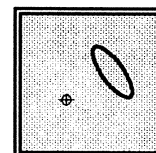
- * Frekvensspekter
 - 1x turtallsfrekvens avtar i generatorlagrene etter hvert som skjevkraften øker.



- * Tidsbilde
 - Amplitude vil avta i generatorlagrene når skjevkraften øker.

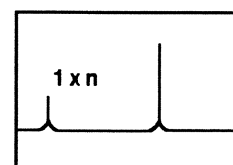


- * Orbit
 - Akselkastets posisjon i generatorlagrene endres når rotor spenningssettes.
 - Akselkastet avtar i generatorlagrene når skjevkraften øker.
 - Avlang orbit.



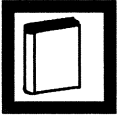
Vibrasjoner i stasjonære deler

- * Frekvensspekter
 - 1x turtallsfrekvens avtar i generatorlagrene (radiell retning) etter hvert som skjevkraften øker.



FEIL MED LIGNENDE SYMPTOMER

- Skjevkraft, hydraulisk
 - Styrelager, oppretting
 - Styrelager, skjevt
-



SKJEVKRAFT, MAGNETISK

ÅRSÅK

- Strømbalanse mellom parallelle kretser i stator.
- Ujevn luftspalt.
- Rotor montert eksentrisk i stator.
- Ødelagte statorspoler frakoplet.

KONSEKVENSER

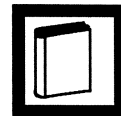
- Redusert generatoreffekt (dårlig virkningsgrad).
- Slitasje i tetningsringer.
- Stigende lagertemperatur.
- Lagerslitasje.
- Lagerhavari.
- Subbing mellom stator og rotor.

SUPPLERENDE MÅLING / KONTROLL

- Megge statorspoler.
- Søking av luftspalt mellom rotor og stator.
- Lagertemperatur.
- Oljeanalyse.

KOMMENTARER

- Frakobling av ødelagte statorspoler forekommer sjelden i Norge.
-

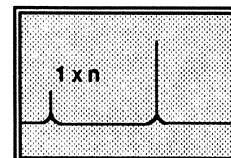


STATOR, LØS BLIKKPAKKE

SYMPTOMER

Vibrasjoner
i stasjonære
deler

- * Frekvensspekter
- Polpasseringsfrekvensen frem-
tredende ved generatorlagrene når ro-
tor spenningssettes (aksiell og radi-
ell retning). Nivået synker etterhvert
som aggregatet blir varmt.



FEIL MED LIGNENDE SYMPTOMER

- Stator, urund
 - Stator, løs deleflens
-



STATOR, LØS BLIKKPASSE

ÅRSÅK

- Svakt dimensjonerte strekkbolter.
- Store temperaturvariasjoner.
- Svakt statorhus (gir seg når strekkbolter strammes).
- Mangelfull monteringsrutine. Ingen mellompressing av statorblikkpakke.

KONSEKVENSER

- Plastisk deformasjon av strekkbolter.
- Statorkiler løsner.
- Statorblikk ødelegges.
- Utmattingskader på omliggende utstyr.
- Viklingsisolasjon på stator slites.
- Viklingskortslutning på statorspoler.

SUPPLERENDE MÅLING / KONTROLL

- Kontrollere tiltrekkingsmoment til strekkbolter.

KOMMENTARER

- Nivået til polpasseringsfrekvensen vil være svært avhengig av temperaturen til aggregatet.
-

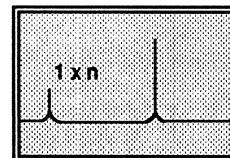


STATOR, LØS DELEFLENS

SYMPTOMER

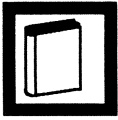
Vibrasjoner
i stasjonære
deler

- * Frekvensspekter
- Polpasseringsfrekvensen frem-
tredende ved generatorlagrene når ro-
tor spenningssettes (aksiell og radi-
ell retning).



FEIL MED LIGNEDE SYMPTOMER

- Stator, løs blikkpakke
 - Stator, urund
-



STATOR, LØS DELEFLENS

ÅRSÅK

-

KONSEKVENSER

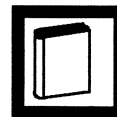
- Slitasje av viklingsisolasjon.
- Kortslutning i viklingsisolasjon på statorspoler.

SUPPLERENDE MÅLING / KONTROLL

- Kontrollere om passrust kan påvises.
- Kontrollere tiltrekking av bolter i deleskjøt.
- Kontrollere spalt mellom blikkpakker ved skjøt.

KOMMENTARER

-

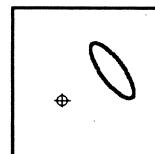


STATOR, URUND

SYMPTOMER

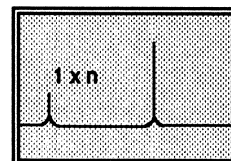
Akselkast

- * Orbit
- Senter av akselkast endres fra tomgang til spenningssatt rotor.



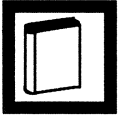
Vibrasjoner i stasjonære deler

- * Frekvensspekter
- Polpasseringsfrekvensen, 100 Hz, er fremtredende i radiell og aksial retning ved spenningssatt rotor.



FEIL MED LIGNENDE SYMPTOMER

- Skjevkraft, magnetisk
 - Stator, løs blikkpakke
 - Stator, løs deleflens
-



STATOR, URUND

ÅRSÅK

- Termisk deformasjon (generatorer med stor omkrets).
-

KONSEKVENSER

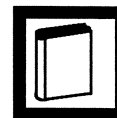
- Utmattningsskader på omliggende utstyr.
-

SUPPLERENDE MÅLING / KONTROLL

- Kontrollere luftgap mellom stator og rotor.
 - Kontrollere rundhet til stator.
 - Kontrollere rundhet til rotor.
-

KOMMENTARER

- Kreftene vil være relativt moderate og er sjelden av skadelig karakter.
-

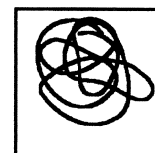
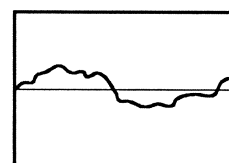
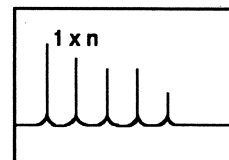


STYRELAGER, LØS INNFESTING

SYMPTOMER

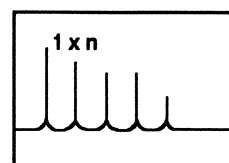
Akselkast

- * Frekvensspekter
 - I begynnelsen er endringene små.
 - 1x turtallsfrekvens vil øke etter hvert som lageret løsner.
 - Mange multipler av turtallsfrekvens.
- * Tidsbilde
 - Amplitude vil minke når lageret er veldig løst og avstandsgiverne er montert på de løse delene.
 - Uryddig kurve.
- * Orbit
 - Akselkast minker ved veldig løst lager. Dette gjelder bare når avstandsgiverne er montert på de løse delene.
 - Uryddig orbit. Samme som ovenfor.

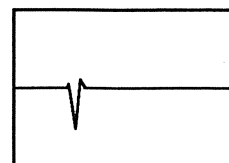


Vibrasjoner i stasjonære deler

- * Frekvensspekter
 - Økende nivå for 1x turtallsfrekvens i radial retning deler etterhvert som lageret løsner
 - Mange multipler av turtallsfrekvensen.
 - Ved veldig løst lager vil grunnnivået øke og topper ved systemfrekvenser forsvinne.



- * Tidsbilde
 - Markante utsving, som ved slag.



FEIL MED LIGNENDE SYMPTOMER

- Berøring roterende - stasjonære deler



STYRELAGER, LØS INNFESTING

ÅRSÅK

- Store lagerkrefter
 - Lagerinnfesting løs (øvre- og nedre kryss etc.)
 - Korrosjon.
 - Feil tiltrekkingsmoment på bolter ved montasje.
 - Bruk av låseblikk ved friksjonsforbindelser.
 - Dårlig sikring av bolter og muttere ved avskjæringsforbindelser.
 - Bruk av korte bolter i friksjonsforbindelser.
-

KONSEKVENSER

- Forspenning av bolter reduseres.
 - Kritisk turtall endres og kan medføre skader under avslag.
 - Subbing i pakkboks, spaltering og tetninger.
 - Subbing i løpehjulskammer (kaplan).
 - Bolter og styrepinner skades.
 - Lagerhavari.
-

SUPPLERENDE MÅLING / KONTROLL

- Visuell kontroll for å se om passrust kan påvises.
 - Kontrollere tiltrekning av bolter, moment ved friksjonsforbindelser.
 - Vibrasjonsmåling. Sammenlikning av vibrasjonsnivå på hver side av den antatte løse bolteforbindelsen.
-

KOMMENTARER

-

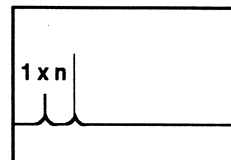


STYRELAGER, OPPRETTING

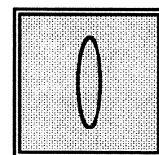
SYMPTOMER

Akselkast

- * Frekvensspekter
 - 1x turtallsfrekvens reduseres med økende opprettingsfeil.
 - Økende nivå på 2x turtallsfrekvens, om man i tillegg har bøyd aksel.

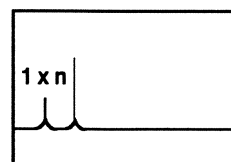


- * Orbit
 - Avlangt akselkast.
 - Akselkast reduseres med økende opprettingsfeil.
 - Akselposisjon i nedre gen.lager beveges motsatt av øvre gen.lager og turbinlager fra stillstand til nominelt turtall.



Vibrasjoner i stasjonære deler

- * Frekvensspekter
 - Økende nivå på 2x turtallsfrekvensdel, om man i tillegg har bøyd aksel, i radiell retning.



FEIL MED LIGNENDE SYMPTOMER

- Skjevtrekk, hydraulisk
 - Skjevtrekk, magnetisk
 - Styrelager, skjevt
-



STYRELAGER, OPPRETETING

ÅRSÅK

- Setninger i lagerfundamenter.
 - Svikt i fundamenter.
 - Dårlig oppretting av lagre ved montasje.
 - Termisk påvirkning av stasjonære deler ved opplagrene til aggregatet.
 - Svelling av betong (lagerfundamenter).
-

KONSEKVENSER

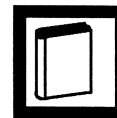
- Stigende lagertemperatur.
 - Slitasje i pakkboks, spaltringer, tetninger, løpehjulskammer (kaplan)
 - Lagerslitasje.
 - Lagerhavari.
-

SUPPLERENDE MÅLING / KONTROLL

- Vatrang av lagre.
 - Kontroll av akselposisjon i lagrene ved stillstand.
 - Pendling av aksel.
 - Lagertemperatur.
 - Oljeanalyse.
-

KOMMENTARER

- Opprettingsfeil påvirkes av vanntrykk i spiraltrøkke, strålekrefter (pelton) og øvrige radialkrefter.
 - Opprettingsfeil kan arte seg forskjellig ved kald og varm maskin.
 - Ved store opprettingsfeil reduseres akselkastet betydelig mens vibrasjoner i stasjonære deler forblir uforandret.
-

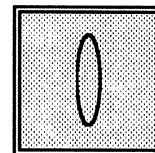


STYRELAGER, SKJEVT

SYMPTOMER

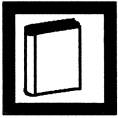
Akselkast

- * Orbit
- Avlangt akselkast i bare et av styrelagrene.
- Liten endring av akselposisjon fra stillstand til nominelt turtall.



FEIL MED LIGNENDE SYMPTOMER

- Skjevtrekk, hydraulisk
 - Skjevtrekk, magnetisk
 - Styrelager, oppretting
-



STYRELAGER, SKJEVT

ÅRSÅK

- Styrelager montert skjevt (ute av vater).
- Setninger i lagerfundament.
- Svikt i fundament.
- Feilmaskinert.
- Svelling i betong.

KONSEKVENSER

- Stigende lagertemperatur.
- Kantslitasje i lageret.
- Lagerhavari.

SUPPLERENDE MÅLING / KONTROLL

- Vatring av lagerhus.
- Lagertemperatur.
- Oljeanalyse.
- Visuell kontroll av lagergang.

KOMMENTARER

- Skjevstilte styrelager har svært like symptomer med dårlig lageroppsetting. For å skille mellom disse to feilene må man se på akselbevegelse og endring av akselposisjon i samtlige lagre når aggregatet går fra stillstand til nominelt turtall.
-

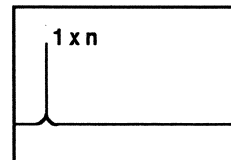


STYRELAGER, SLITASJE

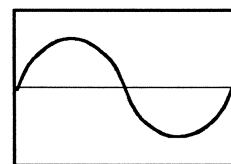
SYMPTOMER

Akselkast

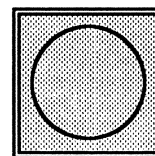
- * Frekvensspekter
- 1x turtallsfrekvens vil være økende over tid.



- * Tidsbilde
- Økende amplitude over tid.
- Liten faseforskjell mellom lagrene.

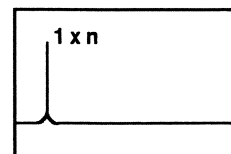


- * Orbit
- Økende akselkast over tid.
- Akselkastet kan bli større enn nominell lagerklaring.



Vibrasjoner i stasjonære deler

- * Frekvensspekter
- 1x turtallsfrekvens er økende over tid i radiell retning.



FEIL MED LIGNEDE SYMPTOMER

- Aksel, bøyd
 - Ubalanse, hydraulisk
 - Ubalanse, magnetisk
 - Ubalanse, mekanisk
-



STYRELAGER, SLITASJE

ÅRSÅK

- Fremmedlegemer i smøremedium.
 - Mangelfull smøring.
 - Store radielle krefter i lageret.
 - Dårlig lageroppretting.
 - Galvanisk korrosjon (dykket fettsmurt lager).
 - Utmatting av hvittmetall som etterhvert løsner.
 - Stukede tapper for vippeklosser.
-

KONSEKVENSER

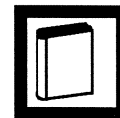
- Slitasjen vil normalt være gradvis stigende over lang tid.
 - Stigende lagertemperatur.
 - Lagerhavari.
-

SUPPLERENDE MÅLING / KONTROLL

- Kontrollere lagerklaringen.
 - Visuell kontroll av hvittmetall.
 - Lagertemperatur.
 - Oljeanalyse.
-

KOMMENTARER

- Mindre skader i hvittmetall vil være vanskelig å detektere uten visuell kontroll.
 - Har lageret termostatstyrt kjøling vil øket kjølevannsforbruk være et tidlig tegn på feil.
 - Store radielle krefter vil normalt ikke punktere oljefilmen under drift. Slitasje i lagerflater skjer ofte under oppstart.
-

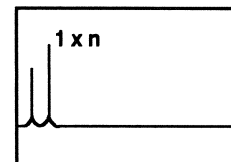


STYRELAGER, USTABIL OLJEFILM

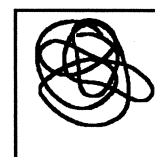
SYMPTOMER

Akselkast

- * Frekvensspekter
- 0.4-0.5x turtallsfrekvens vil være fremtredende. Nivået vil variere med turtall.

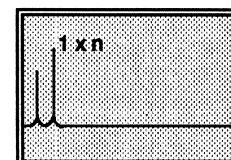


- * Orbit
- Varierende senter av akselkastet, ustabil.
- Akselkastet kan i enkelte tilfeller gå svært nær lagerklaringen.
- I enkelte tilfeller vil akselkastet bestå av to sirkler.



Vibrasjoner i stasjonære deler

- * Frekvensspekter
- 0.4-0.5x turtallsfrekvens vil være fremtredende i radiell retning. Nivået på frekvensen vil variere med turtall.



FEIL MED LIGNENDE SYMPTOMER

- Sugerørsvirvler
-



STYRELAGER, USTABIL OLJEFILM

ÅRSÅK

- Liten belastning av styrelagre og høyt turtall på aggregatet.
 - Stor lagerklaring.
 - Luft i olje.
 - Uhensiktsmessig utforming av lagre.
 - Dårlig tilførsel av olje til lagerflaten.
-

KONSEKVENSER

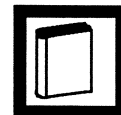
- Lagerslitasje.
 - Lagerhavari.
-

SUPPLERENDE MÅLING / KONTROLL

- Lagertemperatur.
 - Oljeanalyse.
-

KOMMENTARER

- Fenomenet er sterkt turtalls og lastavhengig.
 - Ustabil oljefilm vil normalt ikke kunne opptre i vippeklosslager og lager med bratte oppløpskanter med unntak av når ustabiliteten skyldes luft i oljen.
-

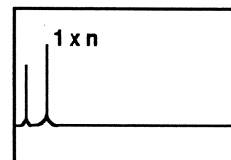


SUGERØRSVIRVLER

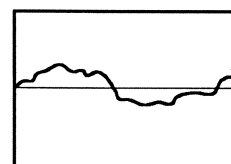
SYMPTOMER

Akselkast

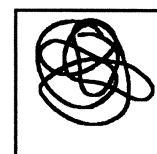
- * Frekvensspekter
- Ca. $1/3x$ turtallsfrekvensen kommer frem ved dellast. Normalt ved 30 til 50% av fullast.



- * Tidsbilde
- Økende amplitude ved dellast. Normalt ved 30 til 50% av fullast.

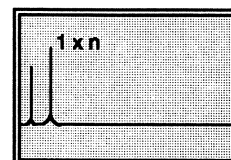


- * Orbit
- Akselkast øker.
- Orbit ustabil, senter for akselbevegelse skifter hele tiden.
- Endringen av akselkast vil være størst i turbin- og nedre generatorlager.



Vibrasjoner i stasjonære deler

- * Frekvensspekter
- Ca. $1/3x$ turtallsfrekvensen kommer frem ved dellast. Normalt ved 30 til 50% av fullast.



FEIL MED LIGNEDE SYMPTOMER

- Styrelager, ustabil oljefilm
-



SUGERØRSVIRVLER

ÅRSÅK

- Luftinnslipningen på løpehjulet lite hensiktsmessig utformet eller stengt.
- Utforming av løpehjul.
- Fremmedlegemer i sugerør.
- Ras i sugerør / avløpstunnel.

KONSEKVENSER

- Redusert turbineffekt (Dårlig virkningsgrad).
- Utmattingsskader på innfesting av sugerørskonus.
- Frekvensen for sugerørsvirvlene kan ligge nær opp til svingetiden for tilløpssystemet og kan føre til at trykksvingninger settes opp i dette systemet.

SUPPLERENDE MÅLING / KONTROLL

- Trykkmålinger i sugerør.
- Kontrollere luftinnslipning på løpehjulet.

KOMMENTARER

- Sugørsvirvler skyldes rotasjon av vannstrømmen fra løpehjulet. Fenomenet er normalt ved francisanlegg.
- Sugørsvirvler kalles også Rheingans svingninger i faglitteraturen.
- Sugørsvirvler vil bare oppstå under dellast. Ved øket eller minnet pådrag på turbinen vil symptomene forsvinne.
- Frekvensen for sugerørsvirvler kan beregnes etter Rheingans' empiriske formel:

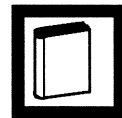
$$f = n/216$$

f = Frekvens

n = turtall (o/min)

Tallet under brøkstreken vil variere noe med type turbin. Høytrykks francisturbiner vil ha en noe raske-
re svingning, her kan 216 byttes ut med tall ned mot 180.

- Tilsvarende fenomen kan opptre ved fullast på aggregatet.

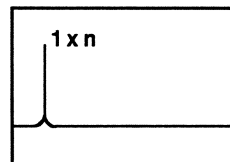


UBALANSE, HYDRAULISK

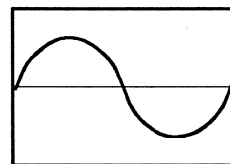
SYMPTOMER

Akselkast

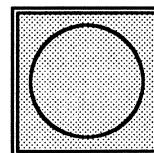
- * Frekvensspekter
- Økende nivå for 1x turtallsfrekvens ved økende pådrag på turbinen.



- * Tidsbilde
- Store sinussvingninger. Amplituden øker med økende pådrag på turbinen.
- Liten faseforskjell mellom lagrene.

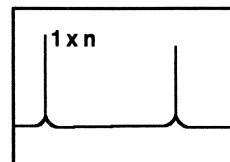


- * Orbit
- Stort akselkast. Kastet øker med økende pådrag på turbinen. Størst vil den relative økningen være i turbinlageret.



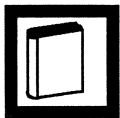
Vibrasjoner i stasjonære deler

- * Frekvensspekter
- Økende nivå for 1x turtallsfrekvens i radiell retning ved økende pådrag på turbinen.
- Turtallsfrekvens multiplisert med antall ledeskovler øker i radiell retning. Nivået øker med økende last.



FEIL MED LIGNENDE SYMPTOMER

- Aksel, bøyd
 - Kobling, løs
 - Styrelager, slitasje
 - Ubalanse, magnetisk
 - Ubalanse, mekanisk
-



UBALANSE, HYDRAULISK

ÅRSÅK

- Ujevn vannstrømning gjennom løpehjulet.
 - Fremmedlegemer kilt fast i løpehjulet.
 - Defekter i løpehjul.
 - Løpehjul skjevt på aksel.
 - Sviktende innfesting av løpeskovel (kaplan).
-

KONSEKVENSER

- Stigende lagertemperatur.
 - Lagerslitasje.
 - Bolter kan løsne.
 - Utmattingskader på lang sikt.
 - Lagerhavari.
-

SUPPLERENDE MÅLING / KONTROLL

- Visuell kontroll av løpehjul.
 - Kontroll av innfesting til løpehjul.
 - Lagertemperatur.
 - Oljeanalyse av styrelagre.
-

KOMMENTARER

- Hydraulisk ubalanse vil normalt føre til at akselkastet øker tilnærmet proporsjonalt med ledeskovelåpningen (pådragsgrad) til turbinen.
 - Det kan være vanskelig å se endring av akselkast på lagre med bratt oppløpskant (stivt lager). Hydraulisk ubalanse ses bedre av vibrasjoner i stasjonære deler.
-

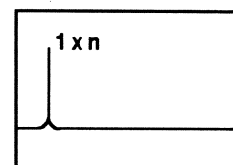


UBALANSE, MAGNETISK

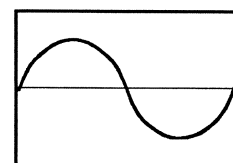
SYMPTOMER

Akselkast

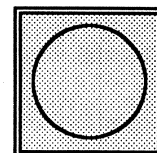
- * Frekvensspekter
- Økning av 1x turtallsfrekvens når aggregatet går fra tomgang til magnetisert.
- Endres noe med last.



- * Tidsbilde
- Store sinussvingninger for generatorlagrene når rotor er spenningssatt. Markant økning under spenningssetting av rotor
- Liten faseforskjell mellom lagrene.

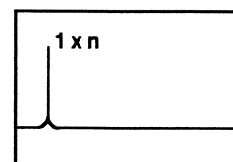


- * Orbit
- Stort akselkast når rotor er spenningssatt. Markant økning av akselkast fra tomgang til spenningssatt.
- Økningen mest markant i generatorlagrene.
- Endres noe med last.



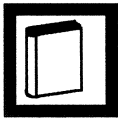
Vibrasjoner i stasjonære deler

- * Frekvensspekter
- Økende nivå for 1x turtallsfrekvens i radiell og aksial retning når rotor spenningssettes.



FEIL MED LIGNENDE SYMPTOMER

- Aksel, bøyd
 - Kobling, løs
 - Styrelager, slitasje
 - Ubalanse, hydraulisk
 - Ubalanse, mekanisk
-



UBALANSE, MAGNETISK

ÅRSÅK

- Vindingskortsutslutning i rotor.
 - Urund rotor i rund stator.
-

KONSEKVENSER

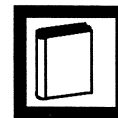
- Stigende lagertemperatur.
 - Lagerslitasje.
 - Bolter kan løsne.
 - Utmattingskader på lang sikt.
 - Lagerhavari.
-

SUPPLERENDE MÅLING / KONTROLL

- Kontroll av rotors rundhet.
 - Megging av rotorpoler.
 - Lagertemperatur.
 - Oljeanalyse av styrelagre.
-

KOMMENTARER

- Ved spenningssetting av rotor kan det kortvarig opptre et økende akselkast. Akselkastet går så tilbake til normal størrelse.
 - Er det både mekanisk og magnetisk ubalanse kan disse under heldige omstendigheter motvirke hverandre slik at aggregatet blir tilnærmet utbalansert ved spenningsatt rotor.
-

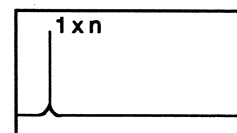


UBALANSE, MEKANISK

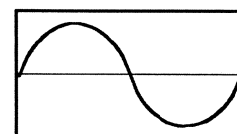
SYMPTOMER

Akselkast

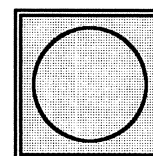
- * Frekvensspekter
- Høyt nivå for 1x turtallsfrekvens.



- * Tidsbilde
- Store sinussvingninger.
- Liten faseforskjell mellom lagrene.

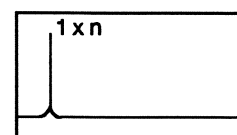


- * Orbit
- Stort akselkast, tilnærmet sirkulær.
- Akselkast øker med økende turtall.



Vibrasjoner i stasjonære deler

- * Frekvensspekter
- Høyt nivå for 1x turtallsfrekvens i radiell retning.



FEIL MED LIGNENDE SYMPTOMER

- Aksel, bøyd
 - Kobling, løs
 - Styrelager, slitasje
 - Ubalanse, hydraulisk
 - Ubalanse, magnetisk
-



UBALANSE, MEKANISK

ÅRSAK

- Ujevn massefordeling i roterende deler.
 - Løse deler i rotor.
 - Skader på løpehjul.
-

KONSEKVENSER

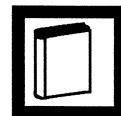
- Stigende lagertemperatur.
 - Lagerslitasje.
 - Bolter kan løsne.
 - Utmattingskader på lang sikt.
 - Lagerhavari.
-

SUPPLERENDE MÅLING / KONTROLL

- Lagertemperatur.
 - Oljeanalyse av styrelagre.
-

KOMMENTARER

- Feilen er sjelden skadelig på kort sikt.
 - Ubalanse i rotor vil påvirke akselbevegelsen i begge generatorlagrene.
 - Akselkastet kan avta/øke ved spenningssetting av rotor om det i tillegg er magnetisk ubalanse og om kraftkomponenten fra denne virker med eller mot den mekaniske ubalanse.
-



VON KARMANS VIRVLER

SYMPTOMER

Vibrasjoner
i stasjonære
deler

* Frekvensspekter

- Frekvens avhengig av vannhastighet (se kommentarer) fremtredende i aksial og radiell retning.
- Nivået på frekvensen kan være lastavhengig.



FEIL MED LIGNEDE SYMPTOMER

-



VON KARMANS VIRVLER

ÅRSAK

- Utforming av avløpskant på stag, ledeskovler og løpehjul.
-

KONSEKVENSER

- Støy i kraftstasjonen (plystrelyd).
 - Eksitering av egenfrekvenser i turbinen.
 - Utmattingssprekker i stag og skovler.
-

SUPPLERENDE MÅLING / KONTROLL

- Visuell kontroll av stag ,lede- og løpeskovler.
-

KOMMENTARER

- Frekvensen for von Karmans virvler kan beregnes etter følgende empiriske formel:

$$f = 190 \times B/100 \times (v/(b+0.56))$$

f = Frekvens (Hz)

v = Vannhastighet forbi skovel (cm/s)

B = Konstant avhengig av avløpskant,
varierende mellom 50 til 150

b = Bredde på avløpskant (cm)

- Avløpskantene blir skråskjært for å unngå dette problemet.
 - Vibrasjonen vil normalt bare være fremtredende i spesielle lastområder.
-