

Bergeforsen

Strömningsmekaniska utmaningar

2020-10-06, Magnus Nilsson

Agenda

1. Information om projektet
2. Beskrivning av problem
3. Åtgärder
4. Summering

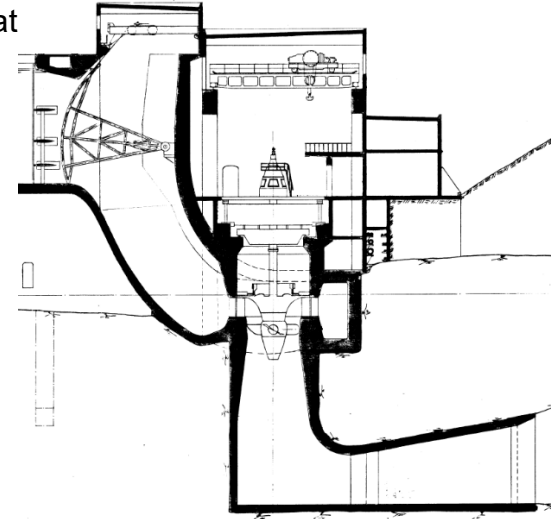
Fakta Bergeforsen kraftverk

Beläget längst ner i Indalsälven ca två mil norr om Sundsvall, Kraftstationen består av fyra aggregat. Aggregaten G1-G3 togs i drift åren 1955-56 och aggregat G4 år 1959. Kraftverket ägs gemensamt av Vattenfall (60 %) och Uniper (40 %).

Fallhöjd	23 m
Total installerad turbineffekt	172 MW
Aggregat	4 Kaplan-turbiner
Löphjulsdiameter	5,51 m
Varvtal	115,4 rpm

2016 till 2020 har aggregaten G1 och G3 förnyats. Omfattningen bestod av följande åtgärder:

- Nytt löphjul, reglerolja-system, stator, turbinregulator, kontrollanläggning
- Renovering av övriga delar.

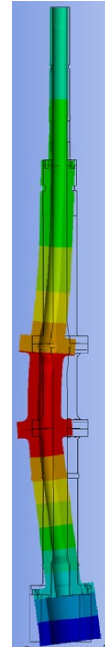
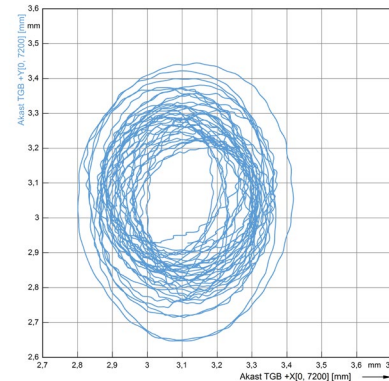
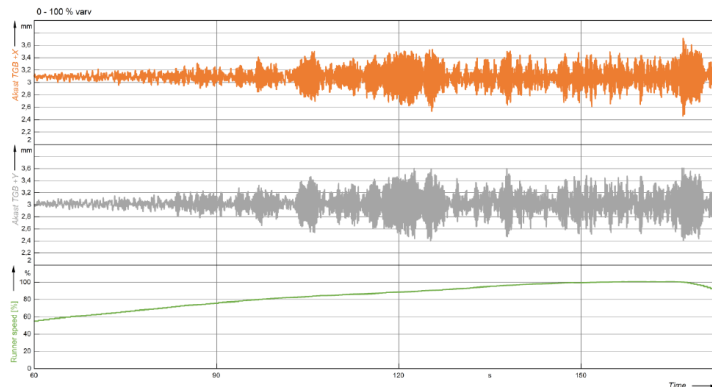


Drifttagning av första aggregatet 2017

Problem med vibrationer uppstod tidigt under idrifttagningen under roterande prov när aggregatet närmade sig driftvarvtalet.

Vid 100% varvtalet, tomgång, mättes axelkast p-p $\approx 1000 \mu\text{m}$, mätsektion ca 1 m ovanför turbinstylagercentrum. Frekvens 3,8 gånger varvtalet.

Störningar från turbinen triggade egenfrekvenser i axeln, vilket resulterade i böjning av axeln.



Åtgärder för fortsatt idrifttagning

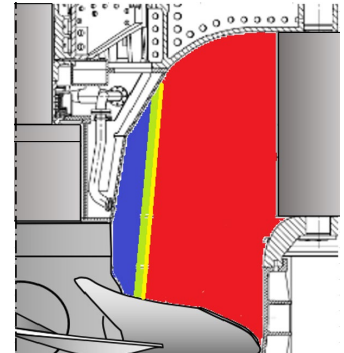
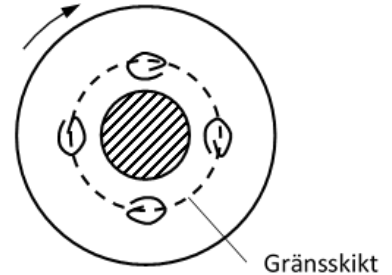
För att komma vidare i idrifttagning krävdes åtgärder för att minska vibrationerna.

- Prov med olika löpskovelvinklar
 - Vibrationerna minskade med minskad bladvinkel.
 - Löphjulet mekaniskt begränsat till $>6,5^\circ$ bladvinkel.
- Prov med luftinsläppning
 - Vibrationerna minskade, men inte tillräckligt.
- Öka dämpningen i axelsystemet
- Analyser visade att viskoelastiska dämpare skulle minska vibrationerna betydligt.
- Dämparna installerades vid övre armkors ovanför generatorn.
- Idrifttagningen kunde genomföras.



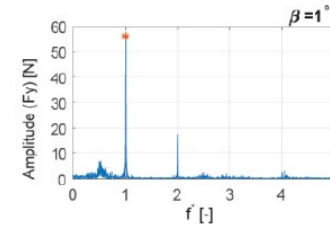
Strömningfenomen

- Under en kritisk ledskovelöppning kan en "dödvattenkärna" bildas ovanför löphjulsnavet (Nabentotwasser).
- I gränsskiktet mellan dödvattnet och huvudströmningen uppstår flera strömvirvlar. Dessa kan orsaka stora axelkast.
- Det mest effektiva sättet att minimera störningarna är att bromsa strömningshastigheten genom att stänga löphjulet maximalt vid små ledskovelöppningar.
- Om excitationsfrekvensen från dessa störningar är nära egenfrekvens i axelsystemet kan resonans uppstå.
- Aggregaten i Bergforsen har flera lågt dämpade egenfrekvenser, liksom flera andra liknande aggregat.

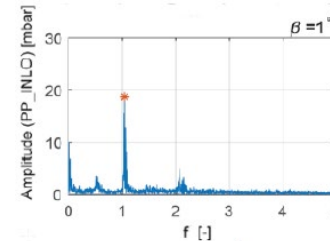
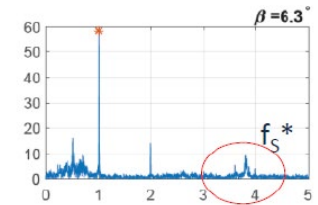


Verifiering med modellprov

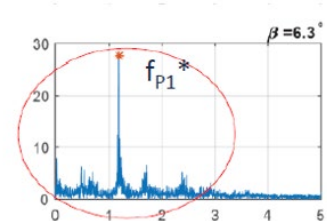
- Eftersom modellprov utförts i Älvkarleby kunde vi relativt snabbt genomföra utvecklingsprov för att utreda inverkan av löpskovelvinkeln vid tomgång.
- Modellen kompletterades med fler tryckuttag och mätning av radiallast.
- Mindre löpskovelvinkel ger:
 - Betydande minskning av radiallast. 34% minskning $6,5^\circ \rightarrow 1^\circ$
 - Lågfrekventa pulsationer minskar
- Mätningar på befintlig turbin (böjmoment, pulsationer, axelkast) gav ytterligare stöd för analysen.
- Frekvensspektrum för axelkast, tryckpulsationer i sugrör och turbinlock är mycket lika mellan modell och prototyp.



Radiell kraft.

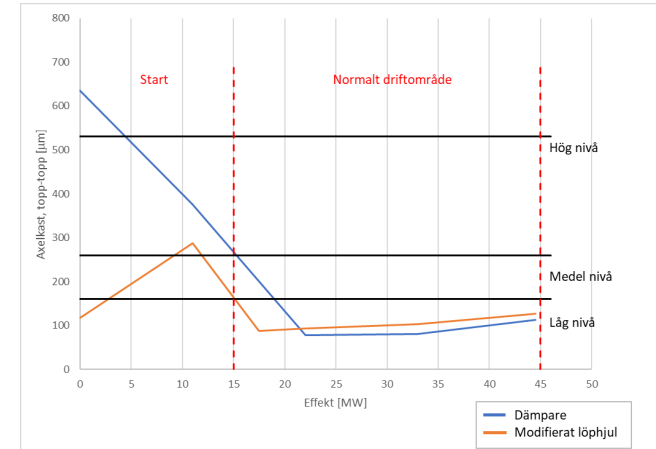
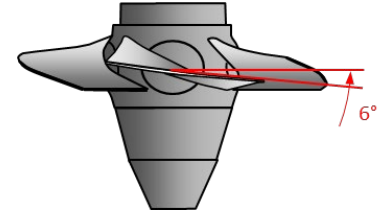


Tryckpulsationer inre turbinlock.



Förnyelse av andra aggregatet 2019-2020

- Målsättning att åtgärda grundproblemet (störningen)
- Modifiering av löphjul
 - Minskning av lägsta löphjulsvinkel från $6,5^\circ$ till $0,5^\circ$ genom att utöka löphjulsservomotorns slaglängd.
- Resultat från idrifttagning:
 - Axelkast vid tomgång ca 20% nivå jämfört med första aggregatet.
 - Lägre axelkast både vid start och stopp.
 - Installation av dämpare ej nödvändigt.



Summering

- Väl kända fenomen sen gammalt kan "glömmas bort" i projektgenomförandet.
- Stor tyngdpunkt på efterfrågat körområde för stationär drift.
- Transienta förhållanden vid t.ex. start och stopp kan hamna utanför fokus i designfasen.
- Hela verktygslådan viktig:
 - Specifikation och anläggningens förutsättningar
 - Rotordynamisk analys
 - Modellprov (även prov utanför körområdet, tomgång, låg last)
 - Fältmätning (fingeravtryck av gammal turbin)