

Generatorerna till vattenkraftverket Bieudron

Bakom den massiva dammbyggnaden i schweiziska Val-des-Dix kan upp till 400 miljoner kubikmeter vatten lagras. För att optimalt utnyttja denna energireserv har Grande Dixence SA beslutat att bygga ut den befintliga hydroelektriska anläggningen med ytterligare en bergumsstation, placerad i Bieudron. ABB har till detta projekt levererat tre peltonturbindrivna synkrongeneratorer på 465 MVA. Med 33,2 MVA per pol och ett märkvarvtal på 428,6 min⁻¹ utgör dessa maskiner världens största högvarviga vattenkraftgeneratorer. De är fullständigt vattenkylda och vilar vardera i endast två lager.

Det nya bergumskraftverket Bieudron innehar flera världsrekord. För att bara nämna ett fåtal:

- Världens största fallhöjd: 1883 meter
- Världens effektmässigt största pelton-turbiner: 423 MW
- Världens största högvarviga vattenkraft-generatorer: 33,2 MVA per pol

Huvuddata för vattenkraftverket framgår av *tabell 1*.

Med detta kraftverk kan kraftbolaget Grande Dixence SA bättre utnyttja den värdefulla energireserv som utgörs av 400 miljoner kubikmeter vatten bakom den 285 meter höga dammbyggnaden i Grande Dixence. Framför allt på vintern kan mera värdefull vattenkraft ställas till förfogande för att fylla toppplastbehovet. Den nya anläggningen ska enligt planerna drifställas under hösten 1998.

ABB har levererat de tre synkrongeneratorerna. Generatorerna är avsedda för toppplastdrift. Varje generator drivs av en pelton-turbin med fem dysor som levererar 423 MW. De trefasiga vertikala generatorerna har en effekt på 465 MVA vid märkvarvtalet 428,6 min⁻¹. Stator och rotor är fullständigt vattenkylda. Hela generatören väger 800 ton. Tekniska data sammanfattas i *tabell 2*.

Viktiga konstruktionsdata

Den valda konstruktionen bygger på mätningar på liknande generatorer och tidigare vunna drifterfarenheter.

Omfattande studier inför konstruktionen har visat att det är möjligt att bygga dessa väldiga turbingeneratoraggregat med endast två lager.

Ett kombinerat bär- och styrlager, som ingår i leveransen från ABB Kraftwerke AG, har placerats ovanför rotorn, medan ett separat styrlager sitter under den. Det undre lagret levereras tillsammans med turbinen och den nedre axeln av Konsortiet Sulzer Hydro/Hydro Vevey **1**.

Bärlagret är dimensionerat för att bära lasten av alla roterande delar, dvs omkring 530 ton. Lagret är utfört som ett segmentlager av Kingsburytyp och har glidyta av vitmetall. Segmenten vilar på varsin centralt upplagd bärplatta. Lasten kan mätas

och ställas in separat för varje segment. Det övre styrlagret är monterat på bärlagrets ytterdiameter. Det är utfört som ett självpumpande segmentlager som pumpar smörjoljan för det övre kombinerade lagret genom olje/vatten-kylare som är placerade utanför generatorkammaren.

Kopplingen mellan axel och turbin ligger omedelbart ovanför det undre styrlagret.

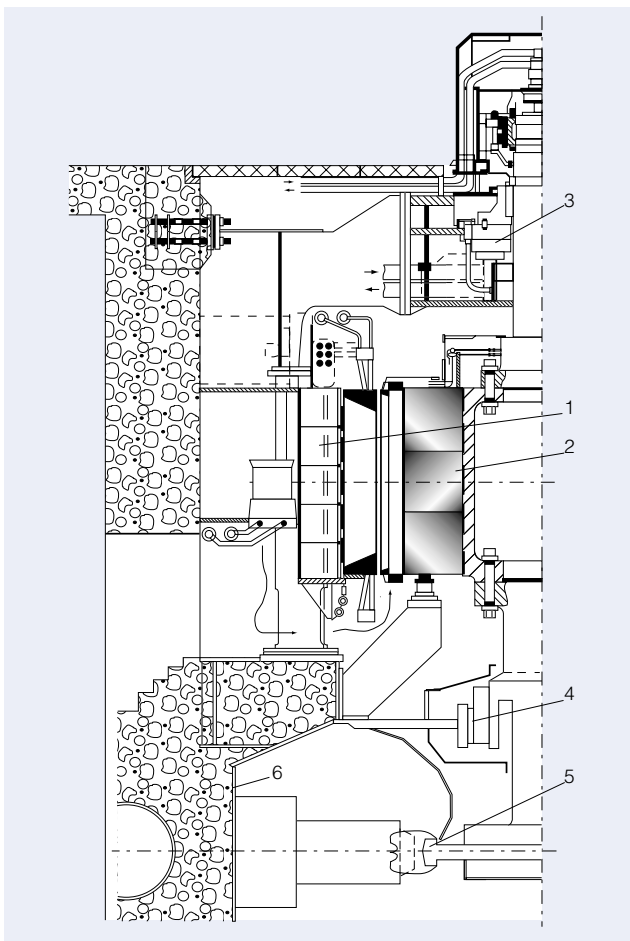
På grund av de väldiga dimensionerna och den stora vikten kunde generatorerna varken slutmonteras i fabrik eller levereras i färdiga moduler för slutmontering i kraftverket. I stället har maskinerna i sin helhet monterats på installationsplatsen. Eftersom lagringsutrymmet i bergrummet var starkt begränsat, krävdes en omfattande planering för att transport och montage skulle flyta friktionsfritt **2**.

Stator

Den svetsade statorstommen är utförd i tre delar och försedd med snedställda fjädrande pelare. Den står direkt på turbinhuset. Svetsarbetena kunde av transport-skäl utföras först efter att delarna hade ställts på plats i generatorkammaren. Därefter följde plåtläggning av statorplåtkärnan. Den består av 0,5 mm tjocka elplåtsegment av lågförlusttyp. Plåtkärnan är utförd utan ventilationskanaler och delningar. Lösningen ger hög mekanisk styvhet i kombination med låga järnförluster.

Statorlindningen är en roebelstavlindning med två härvsidor per spår, isolerad med Micadur®, en vakuumimpregnerad epoxihartsisolering i temperaturklass F. För att få likformig potentialfördelning i härvändarna vid maskinspänningen 21 kV var det nödvändigt att belägga stavarnas yta med ett speciellt koronaskydd. Lindningarna kyls med avjoniserat vatten som flyter genom hålledare inuti roebelstavarna. Denna vanliga och väl beprövade metod för vattenkyllning av statorlindningar till vattenkraftgeneratorer bygger på ABBs omfattande erfarenhet av vattenkylda statorlindningar i turbogeneratorer.

Walther Howald
ABB Kraftwerke AG



Längssnitt genom en vertikal vattenkraftgenerator för effekter upp till 500 MVA

- | | |
|---------------------------------|-------------------|
| 1 Stator | 4 Undre styrlager |
| 2 Rotor | 5 Peltonturbin |
| 3 Kombinerat bär- och styrlager | 6 Turbinhus |

Rotor

Materialpåkänningarna vid rusningsvarv på generatoren och påkänningarna på axelsträngen vid störningar som exempelvis kortslutning av statoruttagen, felsynkronisering eller dubbelt jordfel på rotorn ställer mycket höga krav på axelsträngens böjstyvhet. Rotorn får under inga omständigheter komma i kontakt med statorn. Denna höga böjstyvhet har uppnåtts genom att rotorn utförs i tre delar – ett rotorcentrum och två flänsanslutna axeltappar.

På rotorcentrum har fyra smidda stålringar krympts fast och i dessa har de 14 polkärnorna av tunnplåt förankrats i laxkilspår. Polspolarna tillverkas av dragna hål-

profiler av koppar. De direktkyls under drift med finvatten som strömmar genom hålledarna. Dämpstavarna är fastlödda på polernas båda sidor till kopparsegment. Genom att dessa kopparsegment är förbundna med varandra uppstår en sluten dämpplindning.

Lager

En viktig förutsättning för goda driftegenskaper i hela varvtals- och driftområdet är stabil lagring av aggregatet. I generatorerna till kraftstationen Bieudron används ett patenterat armkors med snedställda armar som upprätthåller ett konstant lagospel



1 Montering av en generator på 465 MVA i berggrummet till vattenkraftverket Bieudron. 2 Här visas det kritiska momentet när den 454 ton tunga rotorn sänks ner i statorn.

under övergång från kallt till varmt drifttillstånd, trots armkorsarmarnas temperaturbetingade utvidgning. Denna konstruktionslösning förhindrar dessutom tillkommande termiskt betingande tryckkrafter på fundamentet. Armkorset får erforderlig styvhet genom motsvarande dimensionering av armarnas tvärsnitt. Statorns uppvärmning under drift orsakar visserligen en längdförändring, men kopplingen till fundamentet är så utförd att detta inte påverkar lagringens styvhet.

Krafterna som verkar på fundamentet är en kombination av aggregatets egen vikt, de krafter som beror på värmeutvidgning under drift, vridmomentet och de

Tabell 1:
Huvuddata för vattenkraftverket Bieudron

Anläggningsdata

Max bruttofallhöjd	1883 m
Totalt nominellt vattenflöde	75 m ³ /s
Maximal uteffekt från anläggningen	1180 MW
Byggnadstid	6 år
Byggnadskostnad	ca CHF 1 miljard

Tekniska data

- 3 kulventiler som avstängningsanordning: diameter 1,4 m, vikt 120 ton
- 3 pelton-turbiner med fem dysor: märkeffekt 420 MW, diameter 4,65 m, vikt 28 ton, vattenhastighet vid dysornas utlopp 600 km/h
- 3 trefas synkrongeneratorer: märkeffekt 465 MVA vid märkvarvtalet 428,6 min⁻¹, fullständigt vattenkylda, vikt 800 ton vardera
- 3 trefasiga blocktransformatorer: märkeffekt 465 MVA, omsättningsförhållande 21/410 kV

krafter och moment som uppträder i händelse av störningar. Kritiska belastningsfall har undersökts inom ramen för olika studier.

Kylning

Generatorerna är fullständigt vattenkylda. Genom denna typ av kylning har maskinvolymen kunnat minimeras. Eftersom generatorerna skall installeras i ett bergtrum var just volymen en avgörande kostnadsfaktor. Stator- och rotorlindningarna ge-

nomflyts av finvatten, medan råvatten används för att kyla statorplåtkroppen.

Kylvattnet för statorlindningen flyter från beredningsanläggningen till ett samlingsrör längs de övre härvändarna och fördelas mellan de enskilda kylvattenkretsloppen. Dessa består vardera av fyra hydrauliskt seriekopplade statorstavar. Då kylvattnet kommer ut från kylkretsen leds det till ett andra samlingsrör och därifrån tillbaka, via en vatten/vatten-kylare till beredningsanläggningen. Vattnets utloppstemperatur övervakas separat för varje kylkrets.

Kylvattnet till rotorlindningen leds via ett vatteninföringsdon till rotern. Vatteninföringsdonet är elastiskt monterat på den övre axeländan. Den värme som genereras av luftfriktionsförlusten och tillsatsförlusterna i polytorna kyls bort med luft. Kylluft blåses av fläktar axiellt genom generatorn och återkyls därefter av sex vatten/luft-kylare, placerade i kylluftkretsen, jämnt fördelade i generatorkammaren.

Magnetisering och spänningsreglering

En statisk magnetiseringsanordning med programmerbar spänningsreglering levererar magnetiseringsström till polerna via släpringar. Borstar av elektrografit överför magnetiseringsströmmen till släpringarna. Koldammet sugas ut med hjälp av undertryck och samlas upp i filter.

Den statiska magnetiseringsanordningen utgörs av tre enfastransformatorer med likriktare, parallellkopplade med generatoruttagen. Varje likriktarenhet består av fyra parallella likriktarbygggor. Om en bygga skulle falla ur har de återstående tillräcklig kapacitet att leverera erforderlig magnetiseringsström.

Spänningsregulatorn begränsar såväl statorström som rotorström och lastvinkel. Detta garanterar hög drifttillförlitlighet.

Tabell 2:
Tekniska data för vattenkraftgeneratorerna

Märkeffekt	465 MVA
Effekt per pol	33,2 MVA
Överlast, kontinuerlig	500 MVA
Märkspänning	21 kV ± 10 %
Märkström	12 784 A
Effektfaktor	0,9 / 0,84
Frekvens	50 Hz ± 2 %
Märkvarvtal	428,6 min ⁻¹
Rusningsvarvtal	800 min ⁻¹
Tröghetsmoment	1 500 t/m ²
Byggform	IM 8 415
Statorvikt	281 t
Rotorvikt	454 t
Axiallast på bärlager	5 189 kN
Drivmotor	Pelton-turbin
Kylsystem:	
Statorlindning	Finvatten
Statorplåtpaket	Råvatten
Rotorlindning	Finvatten

Referenser

[1] Howald, W.; Stöckli, F.: Generatorer till världens största vattenkraftverk med hög fallhöjd. ABB Tidning 10/94, 13–19.

Författarens adress

Walther Howald
ABB Kraftwerke AG
Postfach
CH-5242 Birr
Fax: +41 (0) 56 466 51 21
E-mail:
walther.howald@chkra.mail.abb.com