

VATTENKRAFTSTATIONERNAS UTFORMNING OCH DIMENSIONERING

Äldre tiders vattenkraftanläggningar kunde ej utnyttja de stora älvarnas vattenmängder och använde därför i stället småvattendrag eller avgreningar av floderna.

Först i slutet av 1800-talet hade vattenbyggnadstekniken hunnit så långt, att det var möjligt att börja utnyttja även stora vattenfall. Man började då med att taga ut den bästa delen av fallhöjden för att få kraften så billig som möjligt.

Efter hand som kraftbehovet stigit, ha sedan i många vattendrag utförts vattenregleringar, varigenom det blivit lönande att utvidga anläggningarna och insätta ytterligare maskinaggregat. En del kraftstationer ha också kompletterats så att större fallhöjd kan utnyttjas. Genom uppfinningen av för låga fallhöjder särskilt lämpliga turbiner samt genom mekanisering och rationalisering av byggnadsarbetena så att bl.a. långa vattenvägar och höga dammar kunna utföras relativt billigt, blir det numera ofta lönande att utbygga även ganska låga fall

och långa forssträckor. Landets utbyggnadsvärda vattenkraft har därigenom ökat.

Betongkonstruktioner började mera allmänt komma i bruk ungefär samtidigt som staten började sin kraftverksrörelse. Till en början användes i stor utsträckning grova konstruktioner av mager betong utan eller med endast svag armering samt med puts eller annan tätande beläggning på vattensidan. Sedan erfarenheten visat, att den magra betongen angreps av vatten, så att besvärande skador ofta uppkommo, övergick man till att utföra konstruktionerna smäckra, med hög kvalitet på betongen, utan tätande beläggning, och med stark armering.

Genom särskilda undersökningar utrönes, vilka av de för utbyggnad disponibla vattenfallen eller fallsträckorna, som giva bästa ekonomiska utbyttet, och därför först bära utbyggas. Till en början bedömas fallhöjder och vattenföringar med ledning av tillgänglig statistik. Genom okulärbesiktningar söker man finna lämpliga kraftstationslägen och på dessa platser utföras terrängundersökningar med jordborrningar för utrönande av bergläget. Om bergtunnlar o.d. kunna ifrågakomma, utföras även bergundersökningar medelst diamanterborrning. På övriga berörda sträckor av vattendraget utföras mätningar och undersökningar för bedömande av skador och kostnader vid olika dämningar och rensningar. Därefter utrönes genom upprättande av preliminära utbyggnadsförslag, hur en anläggning lämpligast skall förläggas och utformas ur byggnadsteknisk synpunkt och hur stor del av ifrågasatt fallhöjd, som lämpligen bör medtagas i anläggningen. Vidare utredes närmare, hur stor vattenföring det blir mest ekonomiskt att utbygga för med hänsyn till årskostnaderna vid olika utbyggnadsstorlekar och de högsta värden, som vid olika utbyggnadsstorlekar kunna uppnås av energiproduktionen per år med den fördelning av vattenföringen, som kan åstadkommas under vattendragets olika regleringsskeden. Hänsyn måste även tagas dels till kostnader för åtgärder för flottning och fiske samt för minskande av tekniska skador, dels till kostnader för skadeersättningar.

Sedan anläggningens lämpliga huvuddata på detta sätt utrönts, vidtager, om det befunnits att dess ekonomi blir sådan, att den snart bör komma till stånd, en mera detaljerad bearbetning av projektet, varvid man genom alternativa förslag och jämförande beräkningar närmare utröner lämpligaste kraftstations- och dammläge samt hur varje enskild anläggningsdel lämpligast bör utformas. Härvid måste även utföras hydrauliska och geotekniska beräkningar samt hållfasthetsberäkningar och modellförsök.

Vid utformningen av en kraftstationsanläggning är det i regel mest ekonomiskt att förlägga dammen i sådant läge, att den blir tämligen låg, och i stället samla fallhöjden genom tunnlar eller kanaler.

Dammutskovens måste dimensioneras så, att de sammanlagt kunna släppa fram älvens högsta vattenföring även om kraftstationen icke är igång.

Vattenfallsstyrelsen använder vanligen så stora maskinaggregat som möjligt, så att aggregatantalet blir litet. Härigenom förenklas såväl vattenvägarna inom stationen som den elektriska installationen. Då Lilla Edets kraftstation byggdes, medverkade Vattenfallsstyrelsen till, att kaplanturbintypen med rörliga löphjulsskovlar blev ingående utexperimenterad. Den blev även använd för en av turbinerna därstädes. Erfarenheter funnos förut endast för små kaplanturbiner med ca 1,5 m diameter. Vid Lilla Edet ökades i ett steg turbindiametern till 6 m, och hela spiralen och sugröret utfördes av armerad betong. Detta blev upptakten till det sedan mycket allmänna användandet av kaplanturbiner för låga fallhöjder, ej endast i Sverige utan även utomlands. Nu använder Vattenfallsstyrelsen så gott som alltid vid fallhöjder upp till ca 35 m enhjuliga kaplanturbiner med vertikal axel och direktkopplad generator och vid högre fallhöjder olika typer av francisturbiner.

För kanaler och älvrensningar har mekaniseringen mycket stor betydelse. Då Vattenfallsstyrelsen anskaffade sin första stora grävmaskin med 3 m³ skopa och 27 m räckvidd och använde denna vid utförandet av Sjöbodakanalen vid Vänerens utlopp åren 1930—1931, kunde kostnaden för uttagande av såväl jord som berg här sänkas med ca 3: — kr/m³. Jordschaktningskostnaden blev härmed reducerad till ca en fjärdedel. De planerade rensningarna nedströms Hölleforsen för sänkning av vattenytan i älven därstädes med ca 10 m bli ekonomiskt utförbara genom användande av en ännu större grävmaskin, nämligen en med 6 m³ skopa och 60 m räckvidd. Det billiga utförandet av grävningssarbetet för kanaler genom användande av stora grävmaskiner brukar resultera i att man nästan alltid finner det fördelaktigt att välja så låga vattenhastigheter, att släntbeklädningen till skydd mot erosion ej erfordras. Framtida utvidgningar gå också lättare att utföra, om slänterna ej äro klädda.

I öppna kanaler uppstå inga nämnvärda tryckändringar vid turbinernas regleringsrörelser utan i stället vågrörelser. Där så erfordras påbyggas kanalsidorna, så att deras krön ingenstädes komma så lågt, att skadliga översvämningar kunna uppstå.

Genom mekanisering och rationalisering av bergtunnelarbetena kan man nu få kortare byggnadstider och, trots ökade arbetslöner och materialpriser, ibland billigare enhetspriser än förr. Detta har gjort att det allt oftare visat sig ekonomiskt att välja alternativ där bergtunnlar ingår. På sträckor som kräva förstärkningar, blir givetvis den gynnsammaste tvärsektionsarean mindre än för tunneln i övrigt. Enär de hydrauliska egenskaperna förbättras med ökad tvärsektionsarea, och priset för tillkommande massor blir lägre ju större tunneln göres, blir det ekonomiskt mest gynnsamt att framföra kraftstationens hela vattenföring i en enda tunnel, om berget är nog starkt för utförande av tillräckligt stor sådan. Det visar sig ofta bäst att ta tunneln så stor, att den räcker även för senare utvidgningar av stationen, om dessa ej ligga alltför långt fram i tiden.

Tillopps- och avloppstunnlar förläggas vanligen så djupt, att de ständigt gå helt vattenfyllda. Ibland blir det dock, särskilt vid korta tunnlar, fördelaktigt att förlägga dem så, att man alltid får fri vattenyta, varigenom svallschakt kan undvikas. Detta gäller särskilt i vattendrag med små vattenståndsvariationer.

Tidigare, då maskinaggregaten ofta utfördes med horisontal axel, placerades turbinen i allmänhet vid låga fallhöjder i en öppen sump och vid höga fallhöjder i ett tryckskåp av plåt, till vilket vattnet framleddes från intaget genom en tub.

Vid de nu vanliga enhjuliga vertikala turbinerna ledes vattnet oftast till turbinen genom en tilloppsspiral, som vid låga fallhöjder i allmänhet står i direkt förbindelse med resp. intagskammare och vid högre fallhöjder brukar förbindas med denna medelst ett tilledningschakt av betong eller en tub. Tuberna förläggas antingen uppe på markytan eller i för ändamålet utsprängda bergtunnlar. I det senare fallet kan man vid måttliga tryckhöjder med fördel utföra tuberna helt av armerad betong, som gjutes direkt mot berget. Berget kommer då att hjälpa till att upptaga vattenbelastningen, vilket avsevärt minskar behovet av armering, om tuben ligger tämligen långt inne i berget och detta är gott. Då behovet av armering blir så stort, att järnen skulle behöva placeras i flera lager, ersätter man armeringen med hel plåtbeklädnad på innerytan eller utföres tuben av plåt utan kringgjutning.

Vid maskinaggregat med vertikal axel förlägges i regel generatormed underkanten något över högsta nedre vattenytan, och maskinsalsgolvet förlägges vanligen i ungefär samma höjd som generatorns över-

kant. En eller ett par källarvåningar erhållas därvid vid stora aggregat. I dessa inrymmas diverse hjälpmaskinerier.

Maskinhusens och intagens över markytan belägna delar utföras med väggar och tak av armerad betong med utvändig värmeisolering av gasbetong, siporex e.d. och utanpå denna för väggarna puts och för taken, som vanligen göras platta, asfaltisolering och skyddslager av betong. Till att detta utförandesätt brukar väljas, bidrar luftskyddets krav på splittersäkra väggar och tak. Där maskinsalstaket kommer ungefär i jämnhöjd med bergytan, utföres detta i regel som ett valv med sådan styrka, att det kan uppbära skyddslager av sten för ökning av motståndsförmågan mot bombverkan.

Vid maskinsalar nere i berget utföres takvalv av armerad betong till skydd mot stenras från bergtaket. Om berget är gott, kunna vägarna lämnas oklädda.

Maskinsalarna byggas så, att plats erhålles förutom för maskinaggregaten även för avlastning av gods och för maskinmontage. För montage och demontage av maskinaggregaten installeras vanligen en eller två traverser. Vid Vargöns kraftstation utfördes dock på grund av maskinernas ovanligt stora dimensioner ingen egentlig maskinsal utan i stället plåthuvor över generatorerna och en utomhus gående bockkran i stället för inomstravers.

Kontrollrum, kontorslokaler och lokalstallverk anordnas antingen i anslutning till maskinsalen eller i fristående byggnad. Högspänningsstallverken med transformatorer placeras vanligen utomhus, dock placeras ibland vid maskinstationer i berg med hänsyn till luftskyddet transformatorerna i nischer, utsprängda i nära anslutning till maskinsalen.

Där så lönar sig, anordnas järnvägsförbindelse till kraftstationen. I andra fall får man nöja sig med landsvägsförbindelse, vilket dock ej behöver hindra, att mycket tungt gods kan framföras. För närvarande finnas lastvagnar för transport på landsväg av intill 100 tons laster. Järnvägen resp. landsvägen drages helst direkt fram till maskinsalens avlastningsplan. Vid mycket djupt belägna kraftstationer drages de i stället fram till en omlastningshall ovan jord, varifrån godset nedhissas.

Av vad ovan anförts framgår, att de för en vattenkraftstations utformning och dimensionering bestämmande faktorerna variera betydligt från fall till fall, framför allt beroende på topografiens och grundens mycket skiftande beskaffenhet. Varje kraftstationsprojekt måste därför betraktas som ett problem för sig, och man måste ingående

Tablå öfver utbyggnadskostnader m.m. för av Vattenfallsstyrelsen byggda kraftstationer. För färdiga anläggningar anges verkliga kostnader, effektbelopp m.m., för öfriga beräknade. Håri har kostnaden för vad som hittills ej utförts räknats enligt prisläget år 1947. Anläggningskostnaden per kW anges inom parentes, då kostnaden för en stor del av vattenvägarna för ett framtida ytterligare aggregata ingår.

Kraftstation	Antal aggregat	Utbyggnaden påbörjades år	Sista aggr. igångkördes år	Nettofallhöjd m	Anläggningskostn. exkl. fallinköp milj kr.	Max. generator-effekt kW	Anläggningskostn. per kW generator effekt kr.
Trollhättan, Olidestationen utbyggnad I och II ¹	8	1906	1914	30,4	11,7	73	160
I, II och III ¹	13	1906	1919	29,7	26,9	119	226
Porjus första utbyggnad ¹	5	1910	1919	54	13,5	52	260
Älvkarleby ¹	5	1911	1916	17,5	9,5	50	190
Lilla Edet	3	1919	1926	6,5	14,4	26	554
Motala	3	1919	1931	15	11,9	14	(850)
Norrfors	2	1924	1926	36	7,7	25	308
Sillre	2	1930	1938	180	3,2	14	229
Vargön ²	2	1931	1934	4,3	9,4	22	427
Melfors	2	1932	1936	27,5	8,8	21	418
Stadsforsen	2	1936	1940	28	22,8	92	(248)
» inkl. blivande 3:dje aggr. förutsatt bibehållen dämning	3	—	—	28	31,4	136	231
Kattstrupeforsen	2	1939	1942	16,5	15,8	43	(368)
» inkl. bliv. 3:dje aggr.	3	—	—	16	19,9	63	316
Trollhättan, Hojumstationen ³	2	1938	1942	31	23,0	100	(230)
» » inkl. bliv. 3:dje aggr. ³	3	—	—	31	31	140	221
Torpshammar	1	1938	1943	127	28,0	55	(509)
» inkl. bliv. 2:dra aggr.	2	—	—	123	32,3	105	308
Midskog	2	1941	1944	28,6 ⁴	42,3	95	(445)
» inkl. bliv. 3:dje aggr.	3	—	—	28,3 ⁴	52,6	139	378
Leringsforsen ²	1	1942	1944	7—16	3,5	8	438
Nämforsen ¹	2	1944	1947	22	22,6	50	(452)
» inkl. bliv. 3:dje aggr. och 0,5 m höjd dämning	3	—	—	22,5	33,8	88	384
Forsmo	2	1944	1948	34	34,7	75	(463)
» inkl. bliv. 3:dje aggr.	3	—	—	32	47,6	126	378
Hölle	3	1945	1950	26	48	120	400
Harsprånget	3	1945	1951	105	100	288	(347)
» inkl. bliv. aggr. 4	4	—	—	104	112	381	294

¹ Med ursprungligt utförande och ursprunglig maskininstallation.

² Angivna kostnaden avser endast kraftstationen. Kostnader för sjö- och älvrensningar, kanaler och dammar, betingade av regleringsarbeten, ingå sålunda ej.

³ Hela kostnaden för Önamura men inga kostnader för sammanbindningskanalen till kanal 1 äro medräknade.

⁴ Event. höjes fallhöjden senare 0,5 m genom ytterligare rensning nedströms.

genomarbetsatsamma för att uppnå ett tekniskt och ekonomiskt gott resultat. En standardisering av själva vattenbyggnaderna i kraftstationerna är därför knappast tänkbar. Standardisering av detaljer är däremot möjligt och har även påbörjats i fråga om den mekaniska utrustningen.

Från år 1906, då staten började bygga kraftstationer till år 1947 ha arbetslönerna stigit med ca 400 % materialpriserna med ca 200 %. Utbyggnadskostnaderna per kW för de av staten utförda kraftstationerna ha däremot endast ökats med 100 à 150 %; såsom framgår av nedanstående tabell vid jämförelse mellan stationer med ungefär lika fallhöjd. Detta får tillskrivas anläggningarnas förbättrade utformning och konstruktion, byggnadsmaterialernas förbättring samt användandet av effektivare arbetsmaskiner och arbetsmetoder.

P. WITTRÖCK och G. PIRA.