

ORKUSTOFNUN

VATNSORKUÐEILD

FREMTIDA PERSPEKTIV FÖR VATTENKRAFTEN

Av

Haukur Tómasson

Energistýrelsen, Island

**DEN 10. NORDISKA HYDROLOGISKA
KONFERENS, NHK-88**

Rovaniemi, Finland

1-3 augusti 1988

FRAMTIDA PERSPEKTIV FÖR VATTENKRAFTEN

Av Haukur Tómasson, Energistyrelsen, Island.

SUMMARY

The harnessing of water power results in big changes in nature as it requires the building of constructions of two types: 1) The power station with a minimum of waterways. 2) Constructions depending on the landscape such as dams and waterways over minimum. In the beginning water power was popular by the public, but environmentalists in the seventies changed this and caused a lot of trouble for new projects. But today the landscape dependent constructions are part of the culture landscape.

The cost of water power is mostly capital (interest and depreciation). The most common capital rule is to pay back or depreciate the capital in 40 years. This has nothing to do with the life expectancy of these constructions, which is probably many times longer, especially for the landscape dependent parts of the constructions. Through this depreciated power plants will accumulate, which gives full return at a very low cost. This explains the low energy prices in the Scandinavian countries.

Iceland is at a much earlier stage than the other Scandinavian countries in the development of its water power. Only less than 10 per cent of the the water power resourches have so far been developed. The main problem here is to market the energy. The private consumption does not need it. Power intensive industry is already here, but much more can be allowed. Direct export is also discussed. The water power in Iceland has not enough good reservoir potentials. The electrical system is isolated from other countries. Therefore only 75 per cent of the run-off energy can be used instead of over 90 percent in the Scandinavian countries. Combined usage of the water power and the geothermal power, which has very good reservoirs in the form of hot water in the ground, can increase the utilization of the water power.

1. INLEDNING

Att taga i bruk vattnet för allmännyttiga ändamål är början av vår mänskliga kultur och statsbildning. Det skedde för årtusenden sedan i samband med bevattning av åkrar i de gamla älddalarna i Mellan Östern. Detta var en början till kulturlandskapet som genom odling och bosättning kom till att täcka stora delar av jordens landareal. Bruk av rinnande vattens energipotential för att utvinna energi tillhör också ganska gammal kultur. Man brukade vattenhjul för att omvandla små bäckars och älvars energi till rotationsrörelse som användes till olika ändamål. Men detta var i en mycket begränsad skala tills elektriciteten och dess möjligheter för distribuering av energi upptäcktes för ett drygt sekel sedan. Kraften utvinns mycket mera fullständigt än förr och ingreppen

i naturen äro större. Det bildades et nytt kulturlandskap i samband med vattenkraften.

Allmenheten var mycket positivt inställd till vattenkraftens utbyggnad till en början, men miljörelser på sjuttioalet ställde upp med svårigheter för nya anlägg, särskilt i de Nordiska länderna. Dessa svårigheter stoppade så småningom anläggsarbeten i Finland och Sverige, och i Norge blev det en hel del extra processer at gå i genom innan man fick lov till at bygga. Nu ser det sålunda ut att vattenkraftens utbyggnad går mot sitt slut i Norge och gaseldade kraftverk kommer i stället. I Island hade man också problem med miljöaktivister som ställde till stora svårigheter med utbyggnaden en tid.

2. DE STORA MILJÖPROBLEMEN

Man kan knappast slippa den tanken att de Nordiska miljöaktivisternas angrepp på utbyggnaden av vattenkraft var en felplacerad insats i miljöfrågor i brist på andra värdiga opponenter i länderna. De stora miljöproblemen äro i samband med:

- 1) Landbruk, där vi har stora kemiska förorensningar i de utvecklade länderna, men landförstöring i utvecklingsländer. Båda dessa problem berör inte mycket Norden, förutom att landbrukets gödsel är et problem i de sydligaste delarna.
- 2) Energiutvinning med fossil bränsle som utgör stor påfrestning för kemiska jämvikten i atmosfären, och även hydrosfären. Detta kan i framtiden ha stora konsekvenser för värmebalansen på vårt klot. De nordiska länderna har bidragit mindre till detta just på grund av vattenkraften.
- 3) Industriutsläpp som äro punktföroreningskällor och mera begränsade i sin omfattning än landbrukets, som berör stora areal. Norden har väl sina utsläpp men inte i någon särskilt stor skala.

Vattenkraften kallas ofta den vita kolen på grund av att den orsakar ingen förorening. Dens miljöverknningar äro et nytt kulturlandskap och et nytt hydrologiskt regim. Detta har inflytande på livet i dessa sjö- och älvsystem men knappast där utanför.

3. VATTENKRAFTEN SOM RESURS

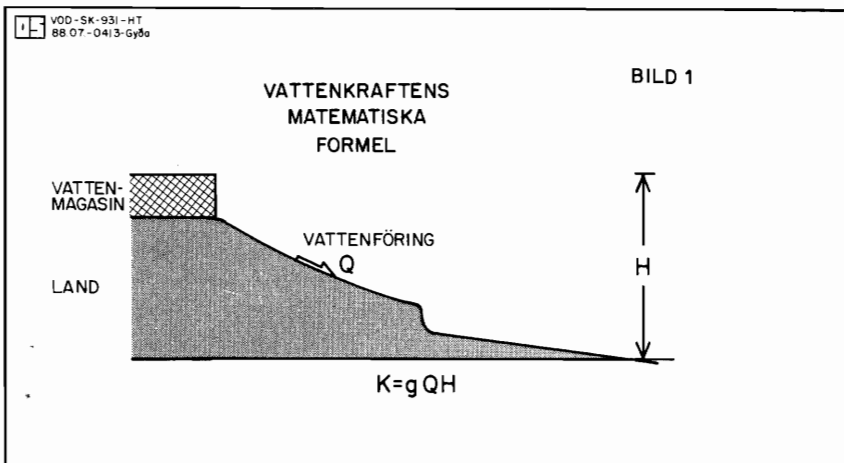
Vattenkraften är en begränsad resurs. Den matematiska formlen som beskriver den är ganska enkel och visas i bild 1: Vattenkraften K är lika med produkten av fallhöjd H , vattenföring Q och gravitationen g . Det vil säga att vi har två variabler, en landsskapsberoande som bestämmer fallhöden och en annan som beror på nederbörd och avdunstning och bestämmer avrinningen. Den övre gränsen ligger väl i att integrera detta över hela landarealen. Det har man gjort i åtminstone 3 av de nordiska länderna och med följande resultat.

TABELL 1. Energi i totalavrinningen.		
Island	180	TWh/a
Norge	500	"
Sverige	200	"
(Finland)	28 (50)	")

Förutom Island äro siffrorna baserade på uppgifter från World Energy Conference 1974. Möjligen finns nyare och då sannoligt något högre siffra för dessa länder. Man vet icke om beräkningsmetoderna äro helt jämförbara och för Finlands del misstänks att dom inte är. Sannolikt bör den uppgivna siffran vara i tabell 2, uppskattningsvis är den jämförbara siffran för Finland den som står inom parantes.

Endast en mindre del av detta är utbyggbar energi. Det som begränsar utbyggnaden är i första hand energikoncentrationen, men också geologiska faktorer kan göra det tekniskt omöjligt att bygga ut. Detta gäller säkert mest Island. Den utbyggbara energin både tekniskt och ökonomiskt anses vara följande:

TABELL 2. Utbyggbar energi.		
Island	50	TWh/a
Norge	150	"
Sverige	95	"
(Finland)	28	")

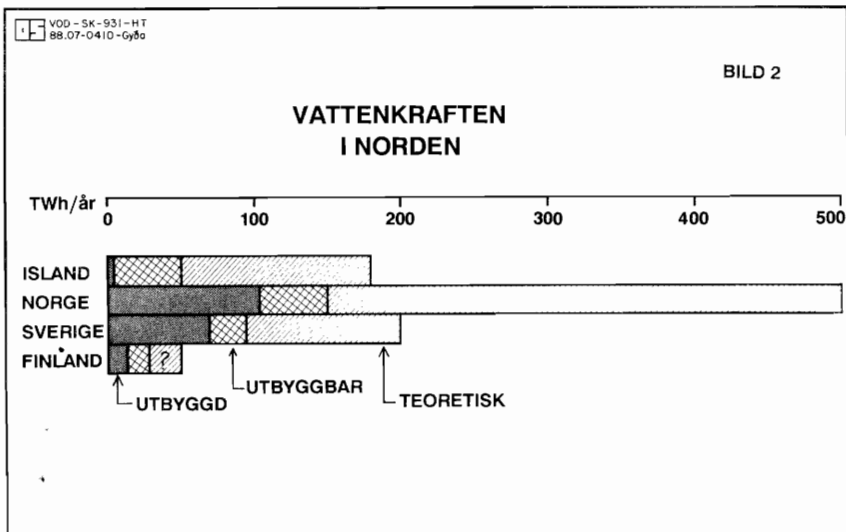


Från Finland har undertecknad inte uppgifter, men Sverige är baserad på *Angelin et al.* (1981) och Norge på artiklar i Fossekallen om samlet plan. Denna gräns mellan tekniskt och ökonomiskt utbyggbar och icke utbyggbar energi är inte skarp och har flyttat på sig när man i verkligheten nalkades den. Den har alltid flyttat på sig uppåt så att den utbyggbara energin har ökat under tidens lopp.

Den utbyggda vattenkraften i Norden är ännu uppgifter från Nordel följande:

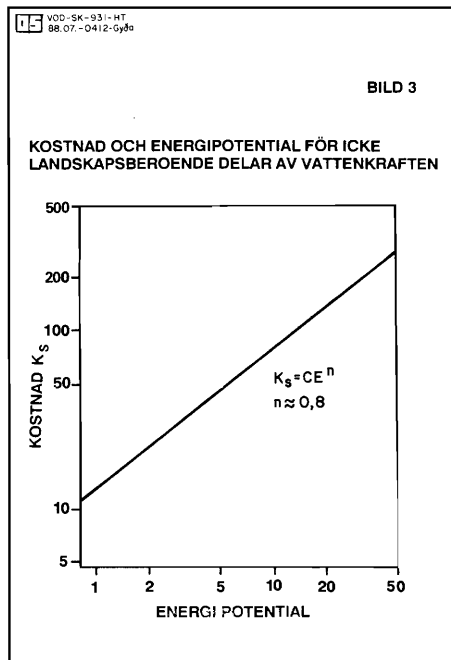
TABELL 3. Utbyggd energi.		
Island	4	TWh/a
Norge	104	"
Sverige	70	"
Finland	13	"

I Norge, Sverige och Finland är nu större delen av utbyggbar energi utbyggd. Om det någon gång anses löna sig att gå så långt i utbyggnaden som siffrorna i tabell 2 uppger vet man inte, men denna kraft är till stor del mycket dyrare än den nu utbyggda. I Island är det helt annan situation efter som vi har endast utbyggt mindre än 10% av potentialen och största delen av den billiga utbyggnaden är ännu kvar. I bild 2 äro sammanställda resultaten från tabell 1 till 3.



4. KOSTNADERNA FÖR VATTENKRAFTEN

Utbyggnaden av vattenkraft innebär alltid två typer av människoverk. Det är i det ena fallet konstruktioner som äro avhängiga av landskapet både till utformning och kostnad. Dessa människovärk ero dammar och vattenvägar. Somliga av dammarna äro världens största människovärk, och tillika med magasinerna som äro uppdämda av dessa dammar, det kulturlandskap som ändrar mest den topografiska kartan. De andra fallet äro konstruktioner som äro i stort sätt oavhängiga av landskapet. Detta äro stationshallar, maskiner och et minimum av slutna vattenväg. Kostnaden K är proportional med energipotentialen E upphöjd till en potens n , som är betydligt mindre än en ($n < 1$). Bild 3 visar detta sammanhang.



Miljöeffekterna äro i samband med: 1) Den stora vattenståndsväriationen i magasinerna, som inte följer någon förebild i naturen. Dessa väriationer skapar stort stress på livet i dessa sjöar. 2) Torra älvfåror där vattenvägarna leder vattnet förbi älvfåran. 3) Den ändrade hydrologiska regim som magasinintappningen medför. 4) Mycket mindre strömhastighet i utbyggda älvar. Den energi som vi utvinna i et vattenkraftverk får vi fram genom minskningen av den naturliga strömhastigheten och koncentration av den till den slutna vattenvägen och turbinen .

Kostnaderna för et kraftverk äro av 3 slag:

- 1) Amorteringar, vanligen 40 år, 2.5 % per år.
- 2) Ränta varierande efter andelen i skuld , typisk 4 %.
- 3) Driftskostnader och underhåll, 1 % typisk.

Amorteringar och ränta slås ofta ihop och kallas kalkulationsränta, ofta mellan 4 % och 8 %. Amorteringarnas har till syfte att betala till baka kapitalet som är bundet i investeringen. Det måste ske inom den tid investeringen är operativ, men i vanliga fall äro investeringar inte operativa mycket längre. Det som vanligen begränsar livslängden är: 1) mycket stora underhållskostnader; 2) tekniska framsteg ; 3) ändrade värdesättningar, eller 4) ändrad marknad.

I samband med vattenkraften gäller ingen av dessa restriktioner. Många av dens konstruktioner, särskilt dom som äro landskapsavhängiga, hava nästan oändlig livslängd. Tekniska framsteg hava inte ändrat elkraften varken vad gäller effektiviteten i omvandling av mekanisk energi till elkraft, som är och har alltid varit mycket god, eller vad gäller produktet, som har inte ändrat sig under tidens lopp och är inte att vänta i överskådlig framtid. Amortering av vattenkraft på 40 år eller längre tid har ingen ting med väntad livslängd att göra. Detta människovärk eller kulturlandskap kan stå och vara i bruk i överskådlig framtid. Amorteringen används vanligen till att återbetala lån och är en direkt vinst när alla lån äro redan återbetalda.

Ränta på kapitalet som är bundet i kraftverken som lån är en annan kapitalutgift. Den minskar med tiden och faller bort när lånen äro betalda.

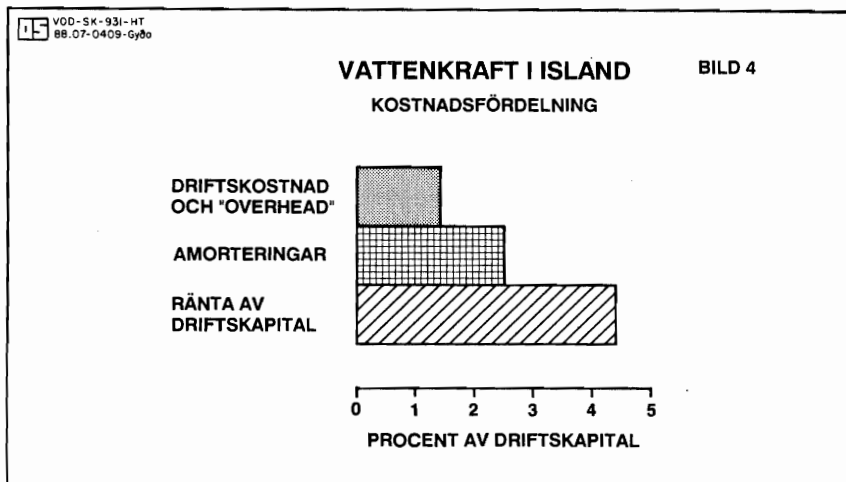
Den direkta drifts- och underhållskostnaden är låg för vattenkraftverk. Den anslås till ungefär 1 % av kapitalet per år. Det varierar med storleken, mindre för stora verk än små. Den varierar inte nämnvärt med tiden och är därför den enda utgiften för vattenkraften som håller sig i genom tiden.

I bild 4 visas hur dessa kostnader fördelar sig hos Islands största kraftbolag Landsvirkjun. Alla dessa procenttal äro räknade från kapitalet, som är bundet i dess kraftverk omräknat till dagens prisläge.

En stor del av vattenkraften i Norden är gammal och amorteringskostnader och ränta låga. I Island är dock nästan hälften i skuld, men säkert mycket mindre i dom övriga nordiska länderna. Denna finansiella fördel av gammal vattenkraft har man använt till at:

- 1) Finansiera nya mycket dyrare anlägg i vattenkraft, Norge.
- 2) Finansiera andra typer kraftutvinning, huvudsakligen kärnkraft i Sverige och Finland.
- 3) Hålla kraftpriserna låga, som gäller alla länderna.

Änligt uppgifter från UNIPED äro elpriserna i de nordiska länderna bland det lägsta som finns. Detta beror huvudsakligen på gammal vattenkraft och även Danmark drar fördelar av vattenkraften genom köp av överskottsenergi från Norge och Sverige till mycket förmånliga priser.



5. FRAMTIDA PERSPEKTIV

För en tid har vattenkraftens andel i den totala elkraftsförsörjningen minskad i Norden. Om detta fortsätter beror väl på om marknaden fortsätter att växa. Det finns väl tecken på att sådant inte händer på grund av den avstannade befolkningsökningen i dessa länder. För den nu utbyggda vattenkraften går kostnaderna neråt efter som tiden går. Inga röster hörs som föreslår att lägga ner de existerande kraftverken och därigenom ändra kulturlandskapet. Däremot är kärnkraften nu i stark motvind och i Sverige har man bestämt sig för att lägga ner den. Kärnkraften var huvud alternativet till fortsatt utbyggnad av vattenkraft i Sverige och Finland. Det andra alternativet var och är att bygga kraftverk, som använder fossilt bränsle.

Framtida utbyggnad av vattenkraft blir dyrare än hittills. Den måste konkurrera med andra typer kraft, huvudsakligen baserad på fossilt bränsle. Kostnadsmässig jämförelse mellan dessa typer kraft är förbunden med vissa svårigheter. Dessa svårigheter äro:

- 1) Kapitalkostnader äro mycket mindre för bränslekraftverket. Förr var denna skillnad av den storlek att vattenkraften var dubbel i kapitalkostnad. Det har väl ökat på grund av att man bygger nu ut dyrare vattenkraft.

2) Driftkostnaderna äro mycket högre för bränslekraftverket på grund av tillkomsten av bränsle, som måste köpas hela tiden till en variabel marknadspris.

3) Amorteringstiden för bränslekraftverket är kortare, ofta 25 år, och här rör det sig inte om någon evighetsmaskin som vattenkraften är. Därför är livslängden på kraftverket den samma och amorteringstiden, med det tillägg att man kan endast hoppas på några få extra år.

Det är därför i verkligheten ett politiskt beslut hur man skall jämföra dessa olika typer kraft. När man har fått beslut om ränta, amorteringar och bränslepris kan man kalkulera. Men det säger ingenting om rättigheten av dessa beslut. I verkligheten har vattenkraften alltid fått strängare ekonomiska krav på grund av att värdet av redan amorterad vattenkraft är aldrig medräknad i jämförelsen.

Vattenkraften måste användas när den är tillgänglig med en viss försening beroande på den tillgängliga magasinvolymen. Det är den hydrologiska karaktären och magasinerna tillsammans med marknaden som bestämmer hur stor del av avrinningsenergin man kan ta i bruk i ett system dominerad av vattenkraft. Detta kan variera starkt beroande på ovannämnda faktorer. Med en samdrift av olika energiformer kan man förbättra utnyttelsen av vattenkraften. Detta gäller särskilt bränslekraftverken, som kan köras under dåliga hydrologiska år men stängas i goda hydrologiska år. I Norden är sådant system i bruk, dels med hjälp av kraftledningar mellan Danmark och dess grannar i norr.

En annan form av samkörning mellan vattenkraft och värmekraft, vare det kärnkraft eller bränslekraft, är att använda vattenkraften som toppkraft. De stora värmekraftverken äro svåra att manövrera i snabbt växlande efterfråga på effekten i et elsystem. Men vattenkraften är mycket lätt at manövrera och brukas därför redan i stor stil för att slippa snabba reguleringar i de stora värmekraftverken. Därför hava många vattenkraftverk ganska stor installerad effekt. Man till och med bygger vattenkraftverk endast för effektens skull, såkallade pumpekraftverk, som pumpar opp vatten till et högre magasin när efterfrågan på kraft är liten, men producerar kraft när efterfrågan är stor.

6. *DET ISLÄNDSKA PERSPEKTIVET*

Vattenkraften i Island har en helt annan geologisk och geografisk omgivning än i det övriga Norden. Skandinaviska halvön och Finland har vår världsdels äldsta berg, urberg och mycket metamorfa bergarter, som innebär små geotekniska problem. Island är däremot vår världsdels yngsta land, oppbyggt av vulkanska bergarter, som innebär stora geotekniska problem i samband med läckage och stabilitet. Samtidigt bjuder denna geologi på en geomorfologi, som ofta gynnar utbyggnad, och hydrologin visar jämnare vattenföring i våra älvar, som också har sin förklaring i geologien. Sedimenttransport från glaciärerna är också så stor i Island att den kan inom

överskodlig tid minska magasinvolumen nämnvärt. Detta kan i de värsta fallen även påverka den väntade livslängden på magasinerna i sådan grad att det influerar på amorteringstiden eller höjer driftskostnaderna. Detta är et problem som är väl känt från semi-arida områden, och är i verkligheten dessa områders största problem i samband med vattenhushållning både för kraftutvinning och bruk av vatten för bevattning eller hushåll.

Den viktigaste skillnaden mellan Island och det övriga Norden är att man är i initialfasen av utbyggnaden i Island men i slutskedet i de andra Nordiska länderna. Island har en potential energikoncentration som är fullt jämförbar med Norges, men befolkningstäthet som är ändast en sjättedel av Norges. Vattenkraftspotentialen i Norge och i ännu högre grad i Island mer än täcker det allmänna energiförbruket och med det menas också vanliga industribehov. I Norge var nästan från början en stor del av energin använt till kraftkrävande industri. I Island diskuterade man ivrigt dessa möjligheter under århundradets två första decennier, men ingenting blev av detta tills på femtitalet och senare då man byggde den nuvarande kraftkrävande industrien, som använder drygt hälften av den nu producerade energin. I andra Nordiska länder går elkraften huvudsakligen till allmänt förbruk och vanlig industri.

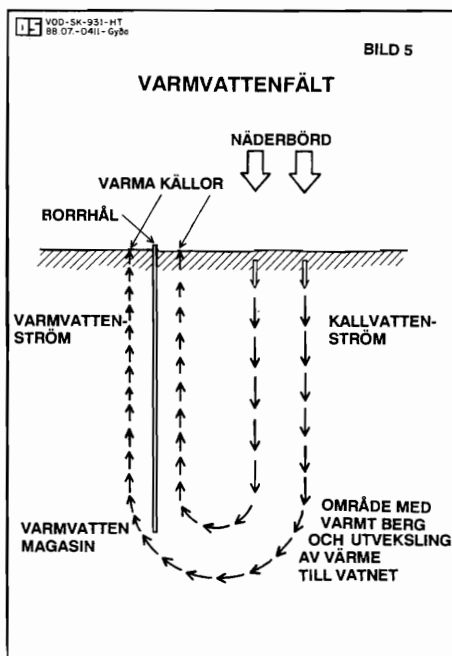
Det almäna förbruket kommer väl inte att växa mycket mera eller fortare än befolkningsökningen. Fortsatt utbyggnad av vattenkraften i Island måste därför bygga på en marknad som bygger på kraftkrävande industri eller direkt export. För en tid har tillväxten i kraftkrävande industri varit liten och därför har det inte lyckats att marknadsföra elkraft för den marknaden i drygt 10 år. Utbyggnaden såg derfor ut till att stanna inkom kort tid. Men just nu ser det ut till att marknaden har öppnat sig igen och nya steg blir tagna för utbyggnaden av vattenkraften i Island.

Export av elkraft till Brittiska Öarna eller Skandinavien har också studerats. Resultatet hittills är att det är möjligt, men icke säkert att det blir ett lönsamt företag, alltså ännu vil ingen satsa pengar på det. I Island har vi problemet med en isolerad elektrisitetsmarknad tillgodosett med enbart vattenkraft i ännu högre grad än i Norge. En förbindelse med andra länder kunde höja nyttningsgraden av avrinningsenergin på samma sätt som förbindelsen med Danmark och Sverige gör det för Norges del.

För närvarande utnyttar vi i Island omkring 75 % av avrinningsenergin som primär kraft och en liten del till som sekundär kraft. I andra system tar man vara på över 90 % av avrinningsenergin. Det finns knappast ekonomiska magasinmöjligheter till att gå över 82 % av avrinningsenergin i framtiden. Det blir fortfarande stor skillnad mellan Island och övriga länder i denna fråga. I utnyttade kilowattimmar är denna skillnad redan betydande och den ökar i framtiden om utbyggnaden fortsätter.

Faktiskt finns det möjligheter till en betydande inhemsk marknad för sekundär kraft. Det är i genom samkörning av vattenkraft och geotermisk energi. Den geotermiska energin i Island är huvudkällan för husvärme i landet. Det är också en mycket billig energi för detta ändamål och gör att man i Island har den billigaste hushållsenergin i Norden. Et geotermiskt fält är (se bild 5) ett område där utväxling av värme kan ske

mellan vatten och berg, som hålls i gång genom cirkulation av vatten genom denna bergmassa, och har sannolikt stora magasin i form av vatten och varmt berg. Det viktigaste i detta sammanhang är att geotermiska fält äro begränsade. Man kan ta ut värmen på samma sätt som man pumpar ut olja från et oljefält, eller bryter malm från en gruva. Att spara på den geotermiska energin när vi har god avrinning i våra älvar och använda i stället vattenkraft till uppvärmning, och i dåliga hydrologiska år att pumpa opp mera varmt vatten, kan i framtiden vara ett förnuftsensligt bruk av våra resurser.



7. SLUTSATSER

I tre av de Nordiska länderna är man inne i slutskedet av vattenkraftsutbyggnaden med för det mesta dyr vattenkraft kvar att bygga ut eller stängt av på grund av miljömässiga skäl. De kvarvarande resurserna äro dock betydliga, eller en tredjedel av de nu utbyggda. Det är en politisk fråga om de skal brukas eller ej.

I Island är vi i ett helt annat skede av utbyggnadsfasen med mindre än 10 % av

resursen utbyggd. Där är problemen huvudsakligen i samband med marknad för energin.

Snart blir den utbyggda vattenkraften i Norden amorterad och kostnaderna för driften av den blir mycket låga. Vad man gör med dessa pengar är et politiskt beslut. Man kan göra något av följande:

- 1) Hava energipriserna ännu lägre.
- 2) Använda vinsterna till att betala en del av andra lösningar i energifrågor, som kan vara dyrare vattenkraft eller utbyggnad av andra energiformer.
- 3) Hava stora bokförda vinster som går till ägaren, som i flesta fall är staten eller kommuner.

Det mest sannolika är en blandning av dessa alternativ. Men en sak är alldeles säker och det är att vattenkraften kommer i framtiden att ge mycket stora vinster, fast vi inte vet vem som tar i mot dom.

REFERENSER

Angelin S. et al., 1981: *Hydropower in Sweden*.

Kjelland E., 1984: Samlet plan for vassdrag. *Fossekallen No.2 1984*.

NORDEL, 1988: *Facts in Brief for 1987*.

Tómasson Haukur, 1981: *Vatnsafl Íslands*. Orkuþing 1981.

Tómasson Haukur, Þórðarson Sigurður, 1987: *Vatnsorka á Íslandi*. Rapport OS-87030/VOD-02 fra Energistyrelsen i Island.

UNIPED, 1987: *Electricity Prices for Reference Consumers in UNIPED Countries*.

World Energy Conference, 1974: *Survey of Energy Resources*.