ORKUSTOFNUN
VATNSORKUDEILD

VATTENKRAFT I ISLAND OCH DESS HYDROLOGISKA FÖRUTSÄTNINGAR

Av

Haukur Tómasson

DEN 7. NORDISKE HYDROLOGISKE
KONFERANSE, NHK-82
FÖRDE 28.- 30. JUNI 1982

OS82059/VOD10

Júní 1982

ORKUSTOFNUN
VATNSORKUDEILD

VATTENKRAFT I ISLAND OCH DESS HYDROLOGISKA FÖRUTSÄTNINGAR

Av

Haukur Tómasson

DEN 7. NORDISKE HYDROLOGISKE KONFERANSE, NHK-82
FÖRDE 28.- 30. JUNI 1982

OS82059/VOD10 **Júní 1982**

INNEHÅLL

1 INDLEDNING

2 RUTINDELNING OCH AVRINNINGSKARTOR

3 AVRINNINGSEKVATIONEN

4 VATTENKRAFTEN I NEDERBÖRDEN OCH RINNANDE VATTEN

5 VATTENKRAFTEN I PROFILPUNKTER

6 RESULTAT

BILDER

1. Avrinning Q_1, nederbörden

2. Avrinning Q_2, rinnande vatten

3. Avrinningsekvationen

4. Vattenkraftspotentialen i nederbörden

5. Vattenkrafspotentialen i rinnande vatten

6. Utbyggbar vattenkraft

7. Översigt över vattenkraften

1 INDLEDNING

I Islands fysiska geologi spelar stora krafter på ytan och i dess inre. Nedifrån strömmar värme från manteln, med dithörande vulkanism och geotermisk energy, men på ytan arbetar krafterna som har sitt ursprung i solens värme, d.v.s. vinden, havets böljor och nederbörden. Detta föredrag handlar om nederbörden, den del av vattnets kretslöp som följer nedslaget till marken "terra firma" och tills den har igen samlats till havet. Närmare bestämt är här behandlat samspel mellan gravitation och vatten. Detta samspel utgjör vattenkraften.

Vattenkraften är definarad fysiskt som:

$$K = gqAH \qquad (1)$$

där g är gravitations konstanten; q avrinning per ytenhet; A arealen av dräneringsytan och H fallhöjden. Alla dessa factorer kan mätas. A och H kan mätas från kartor och q är mätt på drygt hälften af landet med vattenstånds och vattenförings-mätningar. Desutom finns det många jämförande vattenföringsmätningar i stor del av älvarna som inte har vattenståndsmätningar. Avrinningen är derför bestämd med tämligen god noggrannhet. Man behöver knappast diskutera g. Den storheten är sedan länge känd med den noggrannhet vi behöver i dessa beräkningar.

2 RUTINDELNING OCH AVRINNINGSKARTOR

Den metod som vi använder här, för at räkna vattenkraften i den vidaste mening, är att dela landet upp i rutor, mäta rutornas medelhöjd från kartor och värdera avrinning som tilkommer i varje ruta. Då kan man beräkna kraften i varje ruta enligt ekvation 1.

Rutorna är en fjärdedel av en breddgrad på ena kanten och en tionddel av en längdgrad på den andra kanten. Detta är nästan kvardratiska ytor med medelareal omkring 130 km^2. Rutornas storlek varierar med cosinus av breddgraden. Denna storlek av rutor valdes på grund av att medelhöjden var redan bestämd i samband med mätningar av gravitationsfältet i Island några år tidigare. Detta sparade mycket arbete fast komplettterande mätningar måsta gjöras på rutor i strand och jökel områden.

Denna rutindelning delar landet i 916 rutor med en total landareal på 102.461 km^2.

Vattenkraften i rutor blir här efter beräknat på två sätt. På den ena sida är vattenkraften i nederbörden beräknad från den ruta där nederbörden faller på marken. Detta är vattenkraften i sin vidaste mening och kallas härefter K_1. På den andra sidan är vattenkraften beräknad i rinnande vatten, K_2, och utgår man ifrån den ruta där vatnet börjar rinna på landets yta. Definitionen av vattenföringen Q_1 motsvarande kraften K_1 är följande:

$$Q_1 = p - u - G_H \pm J \qquad (2)$$

där Q_1 är den vattenföring som har sitt ursprung i en ruta; p är nederbörden; u är avdunstning; G_H är grundvattenström direkt til havet; J är glaciärernas regim.

Vattenföring motsvarande kraften K_2 är Q_2 och defineras följande:

$$Q_2 = p - u \pm G \pm J \qquad (3)$$

G är grundvattenkomponenten, som kan vara positiv eller negativ. Den är negativ när en del eller hela nederbörden läcker till grundvattnet och positiv när vattenförningen i rutan får tillskott från grundvattnet. Avrinning från glaciärerna behandlas som grundvatten tills den når glaciär-randen.

För att få vattenföringen Q_1 användes avrinningskarta som Sigurjón Rist publicerade 1956. Han uppskattade vattenföringen från hela landet 5500 m^3/s. Senare har det visat sig att referensåren som Rist använde låg över medeltal i vattenföring. Medelvattenföringen för åren 1950-80 ligger omkring 94% av vattenföringen i de år som Rist använde för sin avrinningskarta. I enlighet med detta är vattenföringen från hela landet uppskatta till 5150 m^3/s och vattenföringen i rutor utjämnad i överensstämmelse med det.

Laufey Hannesdóttir och Kristinn Einarsson fick för några år till uppdrag att beräkna en karta med vattenhushållningen i rutor. Dessa beräkningar är grundvalet för Q_2 vatten rinnande på landets yta. I övrigt bygger man

på att $\Sigma Q_2 = \Sigma Q_1$ för hela landet och utjämnad i enlighet med det. Närmast stämmdes de två kartorna överens således att de visade samma resultat på de områden av landet, som har tät berggrund och i övrigt en differens som är i enlighet med geologiskt vetande. Til slut utjämnas de båda kartorna för att få totala vattenföringen till 5150 m^3/s.

På bild 1 är en avrinningskarta enlig Q_1. Huvuddragen i avrinning från landet är följande. Viktigaste nederbörds väderstrecket är sydöstligt. Detta förorsakar att hela sydliga delen av landet har en avrinning som är över medeltal 50 $l/s/km^2$ och bergstrakter ock jöklar i sydlandet har en avrinning som är högt över medeltalet eller upp till 175 $l/s/km^2$. Ett annat nederbörds väderstreck äv sydvestligt. Detta fororsakar att vestlandet har en avrinning som ligger nära eller något över medeltalet. På norra Island är det norröstligt väderstreck som förorsakar nederbörd. På grund av det får berg nära kusten i Norrlandet en avrinning över 50 $l/s/km^2$ men i övrigt är hela norra Island med en avrinning under medeltal och stora områden i de indre delarna under 25 $l/s/km^2$. Den lägsta avrinningen är norr om Vatnajökull där den ligger under 10 $l/s/km^2$.

På bild 2 är en avrinningskarta enligt Q_2 och är huvuddragen de stora områden utan avrinning, jöklarna och de stora lavamarkerna. Vid randen av dessa områden är på många ställen mycket hög avrinning beräknad till den ruta där vatnet når ytan. I andra delar av landet är närmast samma karta som i bild 1.

3 AVRINNINGSEKVATIONEN

Låt oss nu se närmare på ekvation 2 och undersöka om vi kan få fram storleksordningen av faktorerna i ekvationen. Den har formen

$$Q_1 = p - u - G_H \pm J$$

och i detta sammanhang är det ekvationen för hela landet vi kommer att behandla. Hittills har vi funnit avrinningen endast från vattenförings-mätningar som är så omfattande i landet att felmarginaler kan inte vara stora där.

Nederbörden p är mätt på omkring 110 ställen i landet. En överensstammelse är mellan vattenföringsmätningar och nederbördsmätningar på det sätt att vattenföringen är större än nederbörden. Detta beror blant annat på höga vindhastigheter, som stör nederbördsmätningarna. Man kan därför bäst använda nederbördsmätningar för att få mått på variationen i nederbörd i tid och rum. Nederbörden i Island måste vi därför uppskatta när de andra faktorerna i avrinningsekvationen är bestämmda.

Avdunstningen har ringa studerats i Island. En mätstation operaras och Markus Á Einarsson (1972) har räknat potential avdunstning i landet enligt Penmans metod. Från hans kartor kan man beräkna medel avdunstningen från vattenyta till 535 mm om året och evapotranspirationen till 445 mm om året. Proportionen mellan aktuell avdunstning och teoretisk är icke känd, men den ligger ofta i storlekserdningen 0,6-0,8, som skulle motsvara en aktuell avdunstning från Island 310-414 mm/år eller i avrinningsenheter 10-13 $l/s/km^2$.

Grundvattenströmmar direkt till havet G_H är ganska komplicerad företelse och besvärlig att nalkas en vättig siffra i detta sammanhang. Det skall i alla fall försökas. Till början skall vi bryta ned problemet i tre faktorer.

Vattenföring till havet av:

1. Områden med ingen ytavrinning.
2. Lavamarker eller sprickzoner.
3. Sanduområden.

Dessa områden visas i bild 3.

Till första gruppen hör tre områden: Reykjanes, Snæfellsnes och Melrakkaslétta. I gennom jämförelse av dessa avrinningsfria områden med intilliggande trakter med ytvattenföring kan man få ett mått på vattenföringen, som grundvatten i dessa trakter. På bild 1 kan man dra den slutsatsen att avrinning borde vara följande:

från Reykjanes	60 $l/s/km^2$	och totalt	73 m^3/s
" Snæfellsnes	100 $l/s/km^2$	" "	16 m^3/s
" Melrakkaslétta	30 $l/s\ km^2$	" "	11 m^3/s

Den totala vattenföringen är 100 m^3/s och är denna siffra tämmeligen noggrann.

Til andra gruppen hör två strandområden i Södra Island och två i Norra Island. Totalt är det en kuststräcka på 60 km. För att vara i stånd till att beräkna grundvattenströmmen direkt till havet måste man känna permeabiliteten, energigradienten och mäktigheten av akviferen. Ingen av dessa storheter är kända med någon större noggrannhet, men man kan gjöra en viss uppskatning baserad på erfarenhet i samma slags berg och kunskap om topografin. För beräkningar andvändes Darcy's formel om sambandet mellan grundvattenström Q och energigradienten i:

$$Q = k\ A\ i \qquad (4)$$

där k är permeabilitetskoefficienten och A akviferens tvärsnittsareal. Sannolika värdet av dessa storheter är följande:

k 0,03 till 0,08 m/s;
D 10-20 m; D är mäktigheten av akviferen.
i 0,0003 till 0,0007

Om man anhopar de lägsta värdena får man en vattenföring på 4,5 m^3/s mens de högsta ger 56 m^3/s. Medeltalet är 0,6 m^3/s per km av stranden som är ungefär samma siffra som de avrinningsfria områdena ger.

De stora sandurfälten på södra Island har säkert en beydande grundvattenföring direkt till havet. Denna sandkust är över 100 km lång. Vattenföringen kan vi beräkna på samma sätt som för med Darcy's formel och med följande värde på faktorerna.

k 0,001 till 0,005 m/s
D 20-40 m
i 0,0007 till 0,002

De lägsta värdena ger här 1,6 m^3/s och de högsta 40 m^3/s.

Denna beräkning av grundvattenföring direkt till havet ger en storleksordning av denna faktor mellan 106 m^3/s och 196 m^3/s. Det är stora felmarginaler för senare leden i denna beräkning.

Glaciärenas regim och deras andel i vattenföringen från landet har studerats något av G. Sigbjarnarson (1970). Hans metod är att jämmföra kartor från olika tidspunkter. Hans slutsats är att under åren 1932-1968 bidrog Vatnajökuls negativa regim till en medelvattenföring 164 m^3/s. För alla Isländska glaciärer motsvarar detta 225 m^3/s.

Under perioden 1932-1968 var glaciärenas tilbakagång ganska stor och större än den har sedan varit. Vår referensperiod om vattenföring är derimot 1950-1980. För att korrigera denna skilnad i referensperioder har jag studerat variationer i jökelfronternas läge. Uppgifter om jökelfronternas variationer har S. Rist publicerat regelbundet i Jökull och har jag använt 3 av dessa. Jag har användt 9 glaciärer som varit kontinuerligt mätta sedan 1930. På bild 3 är dessa glaciärer märkta. S. Rist (1973) har utarbeta specielt perioden 1930-1964 som motsvarar nästan G. Sigbjarnarson referensperiod. Under denna period förkortades alla dessa glaciärer i medeltal 46 m om året. Men efter 1964 har samma glaciärer förkortas 10 m om året. Om vi antar att glaciärenas regim är proportional med glaciärernas längdvariationer, har den negativa regimen av glaciärerna ändast bidragit med 50 m^3/s i vattenföring efter 1964. För vår referensperiod i vattenföring 1950-1980 har glaciärerna bidragit med 137 m^3/s i medeltal men denna storhet är mycket varierande från år till år.

I tabellen 1 är faktorerna i avrinningsekvationen enligt de resultat vi har resonerat oss fram till i det föregående.

TABELL 1

Ytanvattenföring	5150 m^3/s	1586 mm
avdunstning	1005-1304 m^3/s	310-414 mm
grundvattenström	106- 196 m^3/s	33- 62 mm
glaciäregim	137 m^3/s	42 mm

nederbörden p är enligt detta 1971-2140 mm/året eller omkring 2000 mm/året.

4 VATTENKRAFTEN I NEDERBÖRDEN OCH RINNANDE VATTEN

Beräkning av vattenkraften eller energien i nederbörden, som vi nämner K_1, gjörs på det sättet att medelhöjden i en ruta gjäller som H i ekvation 1 men vattenföringen Q = qA får man från Q_1 avrinningskartan. Resultatet framgår av bild 4 och visar den högsta energien i de sydöstliga bergstrakter som är till stor del istäkta, men lägst är energien i norra och vestra Island som har lägre nederbörd och landet också lägre. Totalt är vattenkraften i nederbörden K_1 252 TWh/år.

Beräkning av kraften i vatten rinnande på ytan, som vi kallar kraften eller energien i rinnande vatten K_2, gjörs på samma sätt som för K_1. Vattenföringen får vi från Q_2 avrinningskartan. När en stor del av vattenföringen i en ruta tilkommer i källor eller ved jökelfronter i en bestämd höjd, får denna höjd gälla till 2/3 delar imot medelhöjden i rutan för definitionen av H i ekvation 1. Resultatet av beräkning av K_2 är i bild 5. Denna karta har ett helt annat utseende än bild 4, eftersom nu är ingen energi på jöklarna och de stora lavamarkerna, men stor energikoncentration ved jökelranden och vissa källområder i höglandet. I de tertiära basaltformationerna visar de två kartorna samma sak. Totalt är energien i rinnande vatten K_2 187 TWh/år.

Skilnaden mellan K_1 och K_2 är 65 TWh/år. Denna energi går i att driva glaciärernas rörelse och grundvattenströmmarna. Den första faktoren är säkert mycket större och är Vatnajökull störst i detta sammanhang.

Enligt definitation "World Energi Conference" publicerad i "Survey of Energy Resources" 1974 motsvarar K_2 den som kallas där vattenkraftens "Gross Theoretical Capability". I tabell 2 är några exempel på storleken av vattenkraften i rinnande vatten i några Evropeiska länder, till jämförelse med Island.

TABELL 2

Gross Theoretical Capability

Frankrike	270 TWh/år
Spanien	154 " "
Norge	500 " "
Sverige	195 " "
Italien	340 " "
Island	184 " "

Några tal angåande vattenkraften i nederbörden K_1 har jag icke från andra länder. I vanliga geologiska förhållanden är K_1 och K_2 närmast det samma. I andra länder går ingen väsentlig del av energien i vattnets kretslop i att driva glaciärers rörelse.

5 VATTENKRAFTEN I PROFILPUNKTER

Vattenkraften i rinnande vatten är den källa man måste ta av för att utbygga vattenkraft. Utbyggbar vattenkraft är derför en del af K_2. I naturligt tillstånd, som vi fortfarande har för det mesta i Island ser vi vattenkraften i älvar och bäckar som rinner till havet, eroderar älvfåror, raviner och kanjoner och transportera 80 million tons till havet årligen. Ved utbyggnad minnskar strömhastighet, erosion och sedimenttransport.

För att få fram utbyggbar vattenkraft måste man följa älvfårorna och räkna kraften från fallhöjd i längd- eller höjdintervall i älvfåran. Om man följer på det sättet hela älvfåresystemet i landet som är ungefär 50000 km långt borde det vara den "naturliga vattenkraften" och jämförbart med storheten K_2 som redan är räknat på en enklare måte.

Här kommer vi att anvanda den metod, att följa älvfårorna trappstegsvis, ändast för de större grenarna av älvfåresystemet. Det gör man på det sättet att man definerar profilpunkter i älvens långprofil med 5 km intervall. För profilpunkter bestämmer vi höjden, dräneringsåmrådets areal och avrinning per km^2. Med dessa data kan man räkna den naturliga vattenkraften mellan två profilpunkter enligt ekvation 1. Den utbyggbara vattenkraften räknas med att beräkna en dam, vattenledning, fallförlust och energi enligt följande ekvation:

$$K = 2{,}17 \cdot MaQ \cdot R \cdot 10^{-3} \qquad (5)$$

där MaQ är års medelvattenföring i m^3 och R netto fallhöjd i m; K är då GWh/år. Ekvationen är från dimensionerings kriteria utarbetad av islänska ingeniörsfirmor.

Utbyggbar vattenkraft anses kraft i profilpunkt över 8,76 GWh/a eller 1 MW i kapacitet och med större fall än 5 m. Inte anses den kraft utbyggbar som räknas på sandurfälterna och man måste antaga att går åt transport av sediment till havet. Profilpunkterna är drygt 2200 i 192 älvar. Totala längden av detta älvsystem är omkring 10000 km eller 20% av älvfåresystemet i landet.

Resultatet av dessa räkningar visar att naturlig vattenkraft i detta system är 96 TWh/år.. Detta är hälften av vattenkraften i rinnande vatten som visar att 20% av älvfåresystemet har hälften av vattenkraften. Den andra hälften är i små älvar och bäckar som är många men korta och totalt 80% af älvfåresystemets längd i landet.

Den utbyggbara vattenkraften är 64 TWh/år. På kartan bild 6 har man delat landet i 15 områden som vanligen är någon storälvs dräneringsområde. Kartan visar utbyggbar vattenkraft per km^2 av dräneringsytan. Den största koncentrationen av vattenkraft är i Södra Island men lägst i Vestra og Norra Island.

6 RESULTAT

I tabell 3 och i bild 7 är översigt över vattenkraften enligt de definitioner vi har diskuterat här förut.

TABELL 3

I nederbörden	252 TWh/år
i rinnande vatten	187 " "
naturlig i profilpunkter	96 " "
utbyggbar	64 " "
utbyggd	4 " "

I Island har vi just börjat utbyggnad i stor skala. Hälften av den utbyggbara vattenkraften är säkert billig i utbyggnad. Att utbygga den vattenkraften blir vår uppgift i några årtionden framåt.

REFERENCER

Einarsson, M.Á. 1972: Evaporation and Potential Evapotranspiration in Iceland. Veðurstofa Íslands, Reykjavík.

Rist, S. 1956: Íslensk Vötn I. Raforkumálastjóri, Reykjavík.

Rist, S. 1973: Jöklabreytingar 1931/64, 1964/72 og 1972/73. Jökull 23: 61-66.

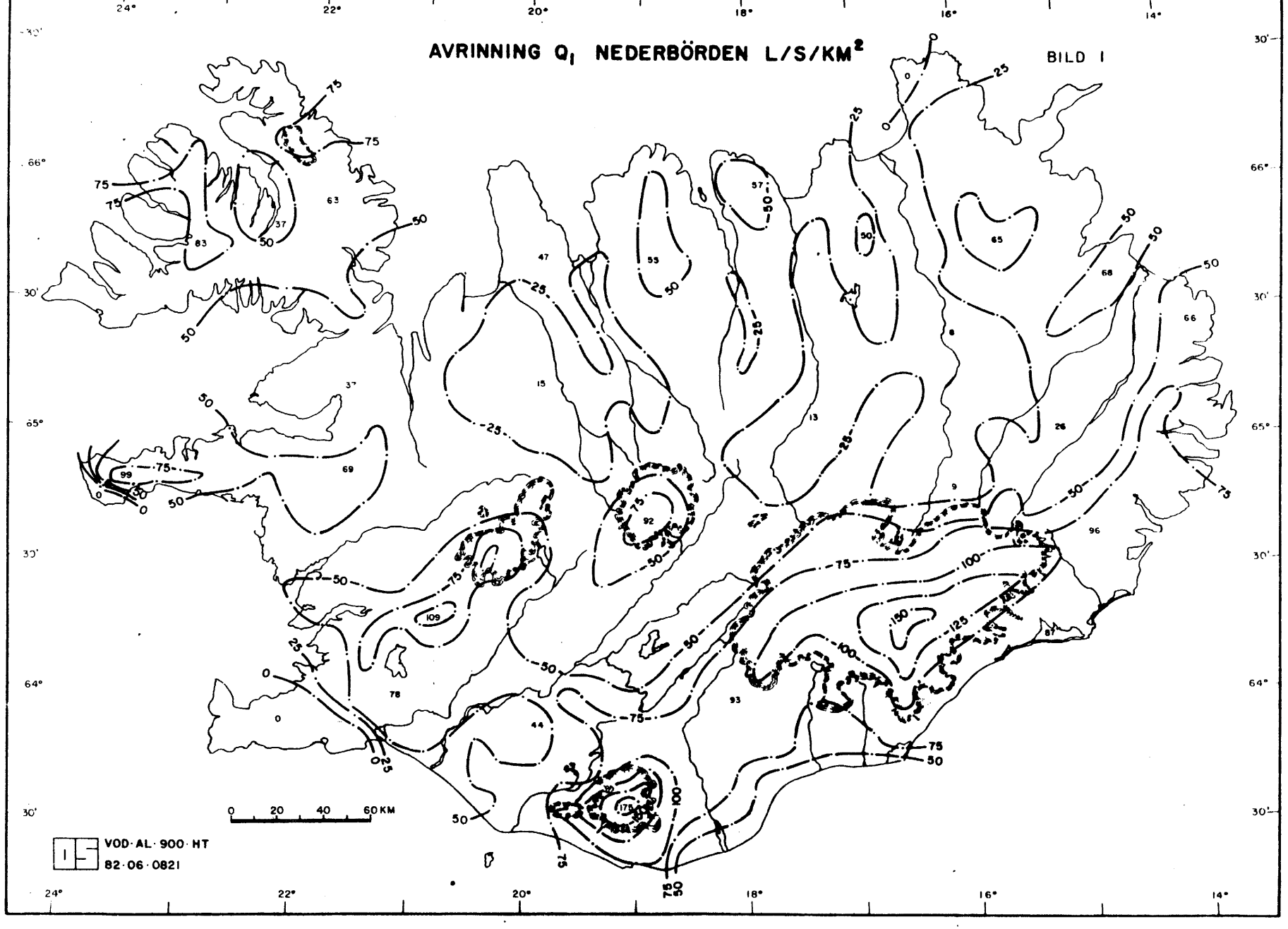
Rist, S. 1976: Jöklabreytingar 1964/65-1973/74 (10 ár), 1974/75 og 1975/76. Jökull 26: 69-74.

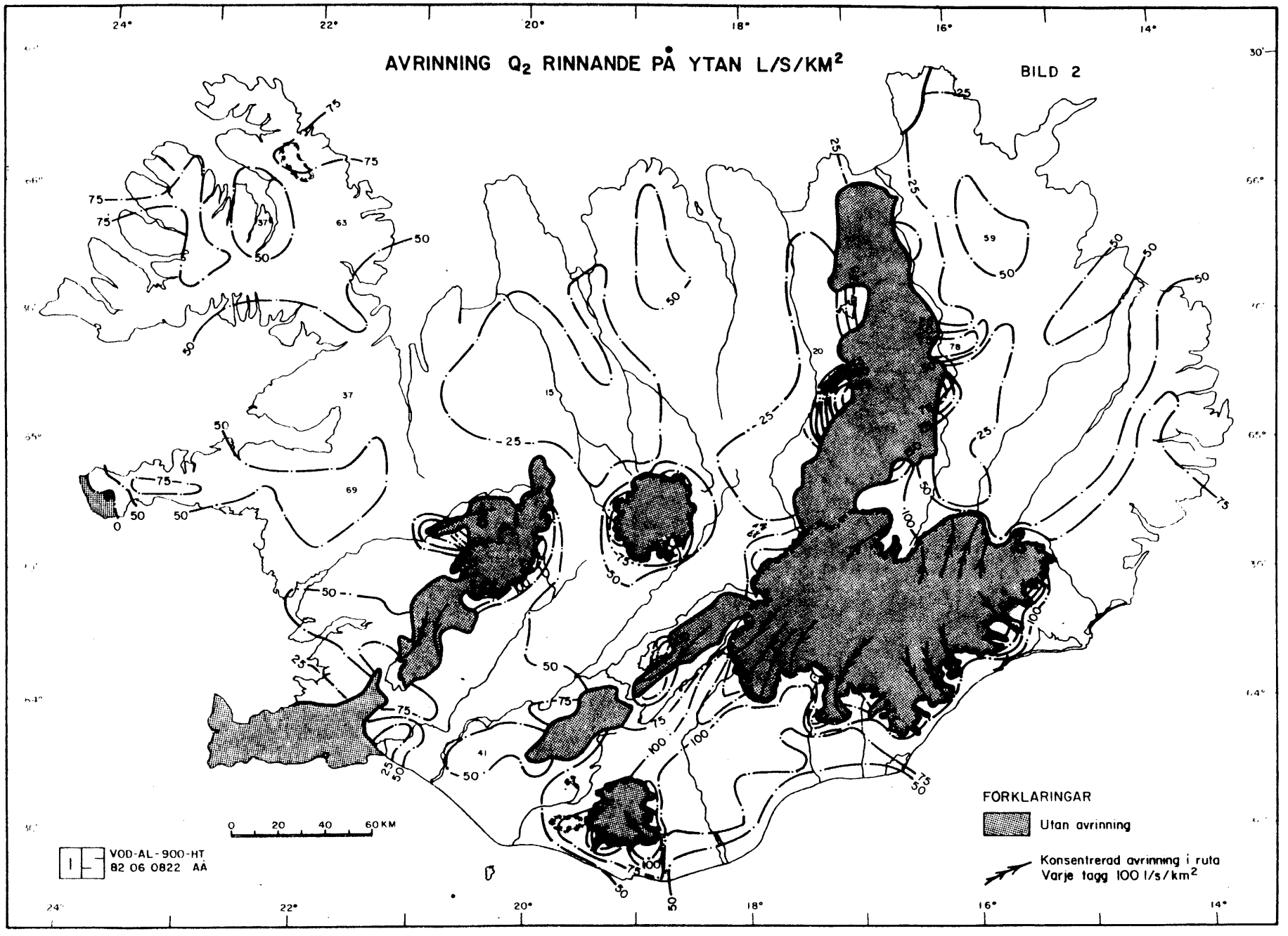
Rist, S. 1981: Jöklabreytingar (manuskript Jökull).

Sigbjarnarson, G. 1970: On the recession of Vatnajökull. Jökull 20: 50-61.

Tómasson, H.S. 1981: Vatnsafl Íslands, mat á stærð orkulindar. Orkuþing: 107-120, Reykajvík.

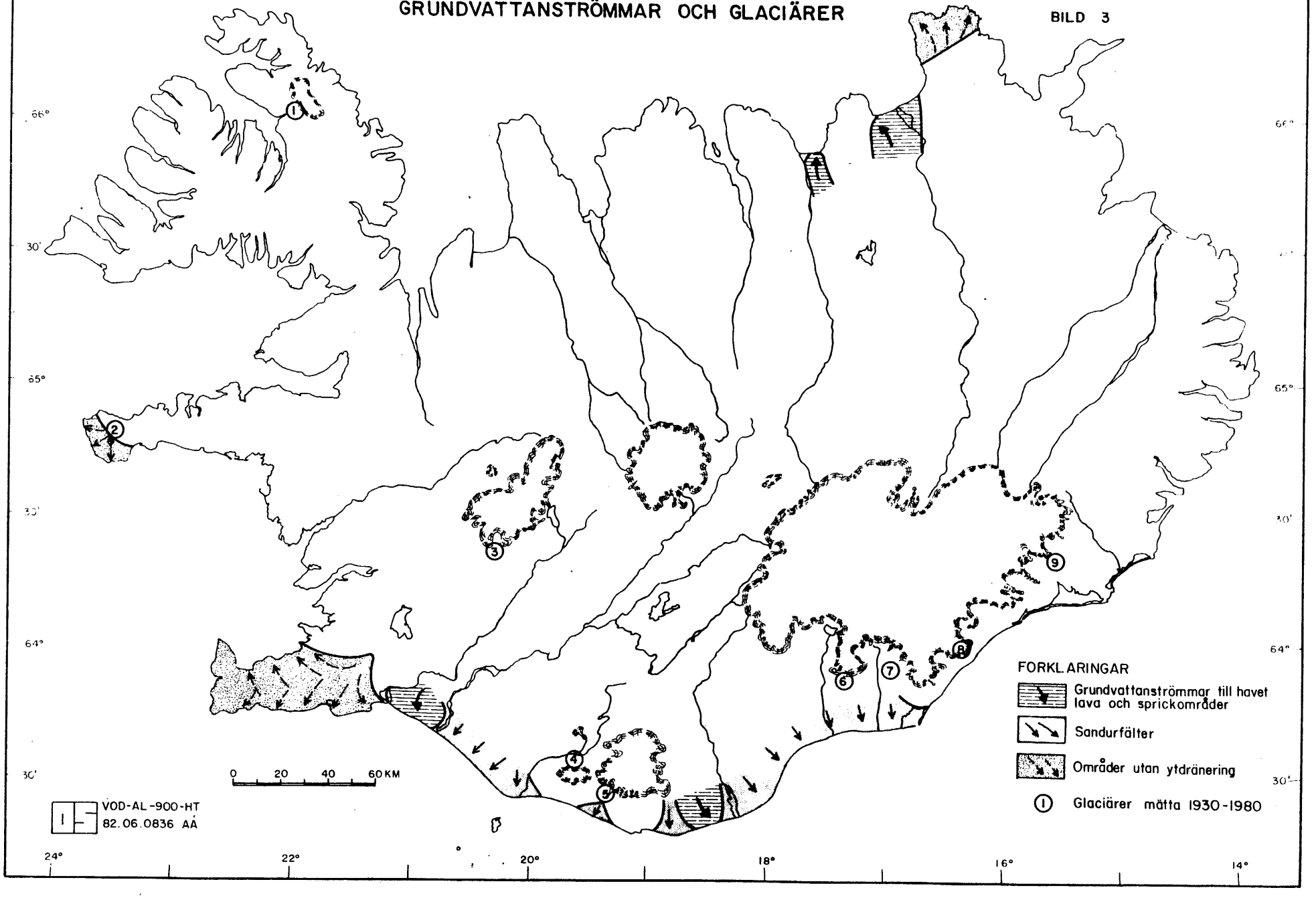
World Energy Conference 1974: Survey of Energy Resources. New York.


AVRINNING Q_1 NEDERBÖRDEN L/S/KM²
BILD I
0 20 40 60 KM
VOD·AL·900·HT
82·06·0821


AVRINNING Q_2 RINNANDE PÅ YTAN L/S/KM²
BILD 2
FORKLARINGAR
Utan avrinning
Konsentrerad avrinning i ruta
Varje tagg 100 l/s/km²
0 20 40 60 KM
VOD-AL-900-HT
82 06 0822 AÅ

AVRINNINGSEKVATIONEN
GRUNDVATTANSTRÖMMAR OCH GLACIÄRER

BILD 3



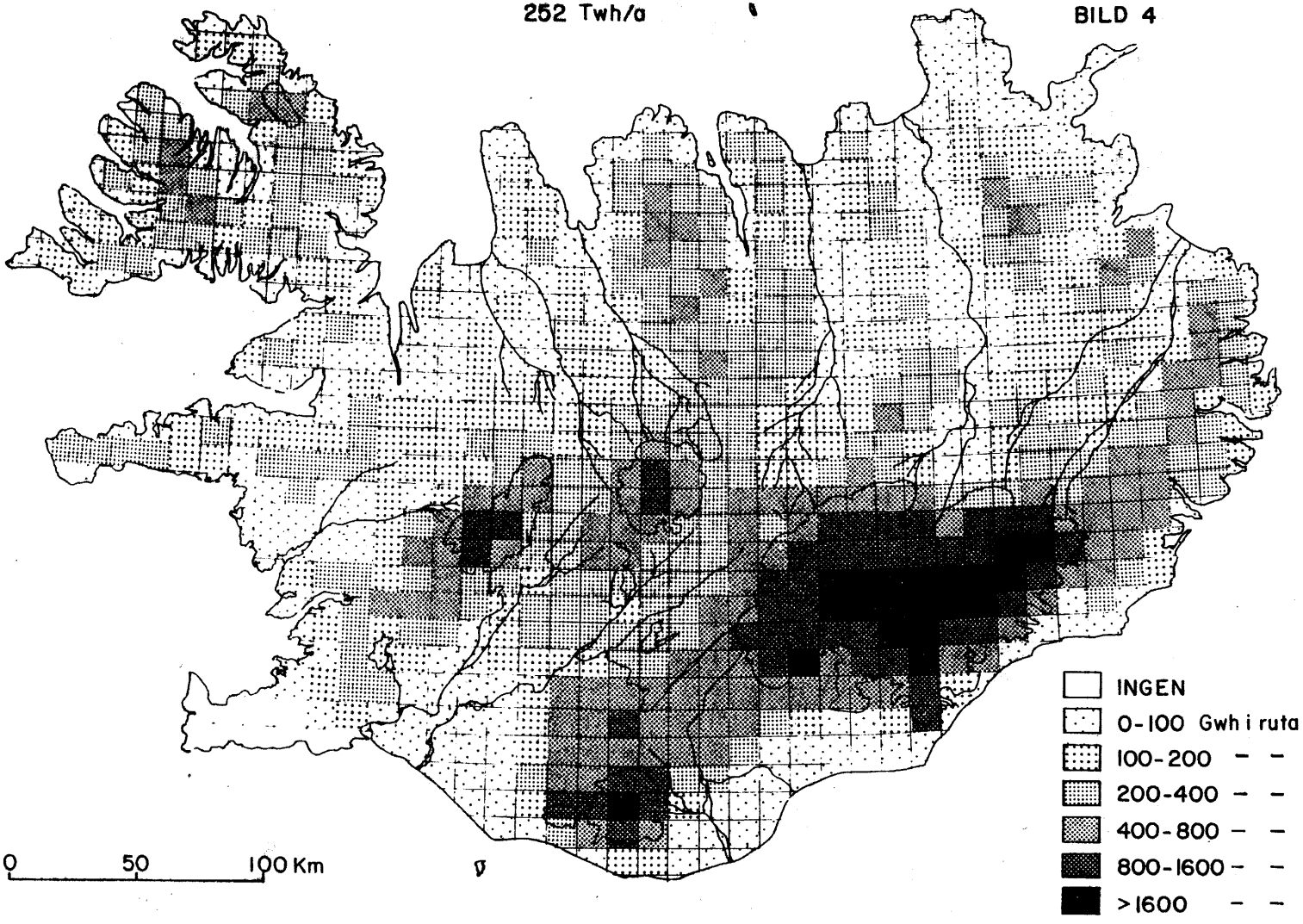
VOD-AL-900 H.T.
81.06. 0720

VATNSAFL ÍSLANDS

VATTENKRAFTSPOTENTIALEN I NEDERBORDEN

252 Twh/a

BILD 4



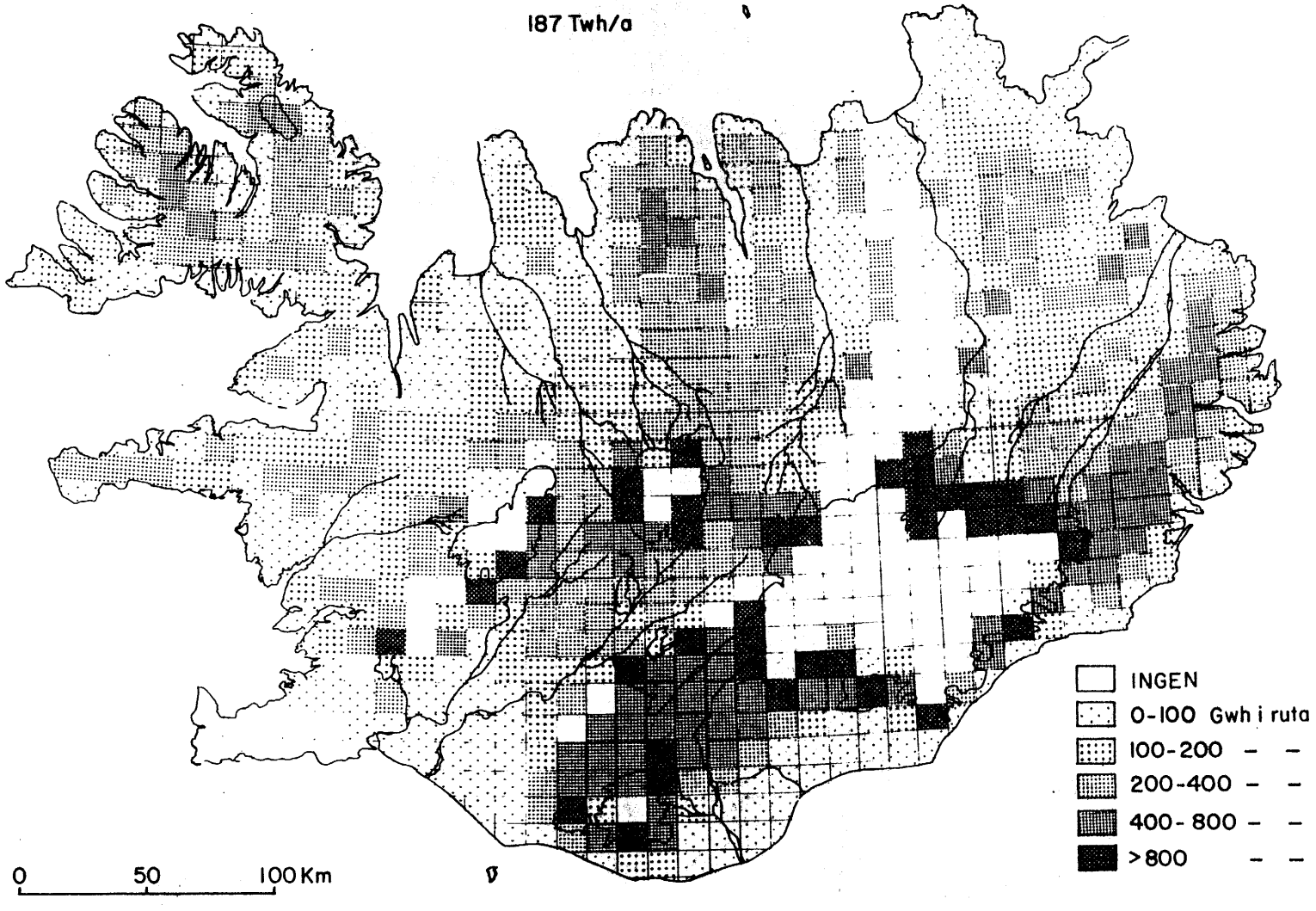
VOD-AL-900 H.T
81.06.0720

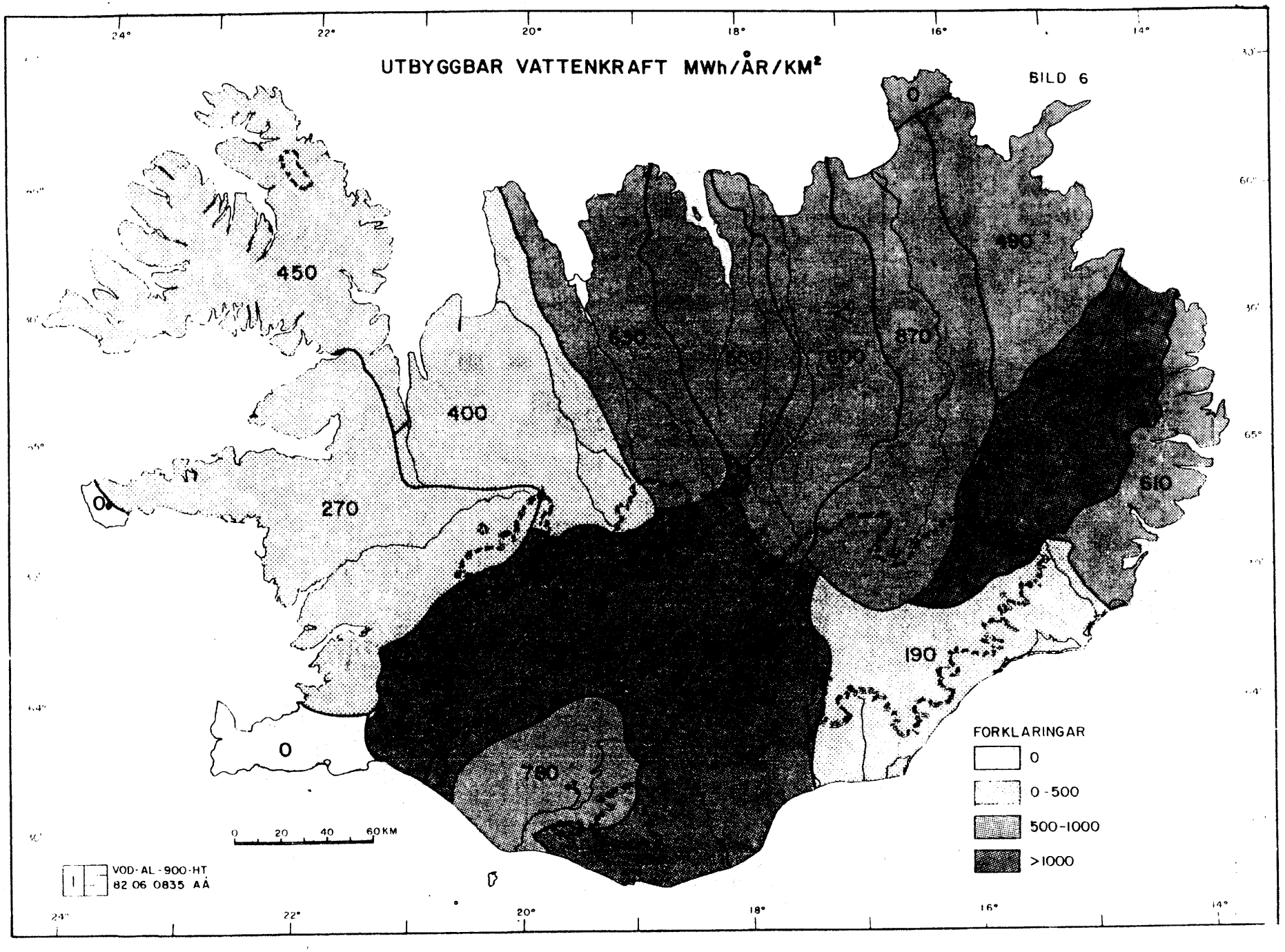
VATNSAFL ÍSLANDS

VATTENKRAFTSPOTENTIALEN I RINNANDE VATTEN

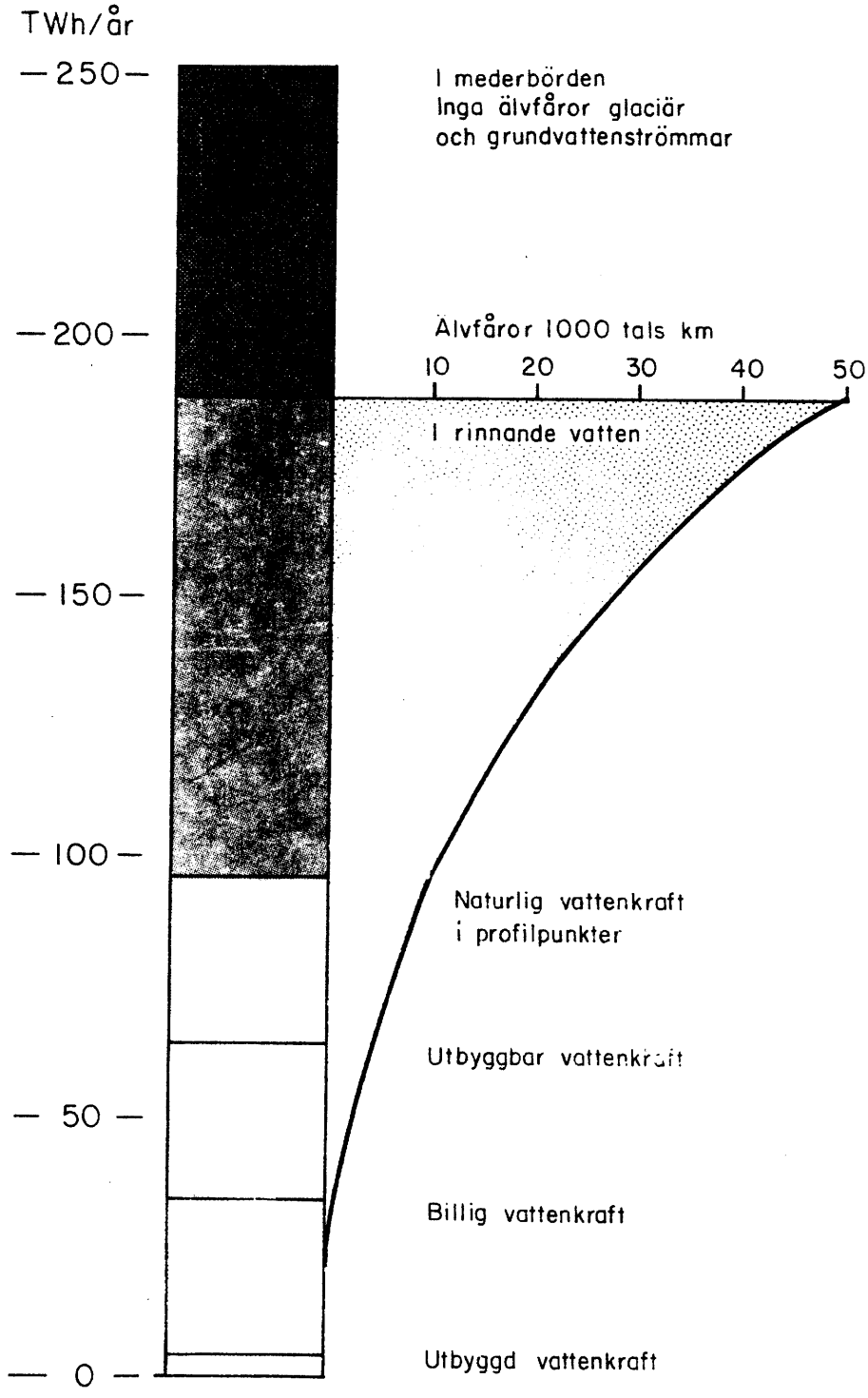
BILD 5

187 Twh/a




UTBYGGBAR VATTENKRAFT MWh/ÅR/KM²
BILD 6
450
400
270
0
0
780
190
510
490
870
800
850
850
FORKLARINGAR
0
0 - 500
500-1000
>1000
0 20 40 60 KM
VOD-AL-900-HT
82 06 0835 AÅ

VOD-AL-900-HT
82 06 0838 AA

BILD 7

OVERSIGT OVER VATTENKRAFTEN