

Islands varme kilder og deres  
betydning for elektricitets-  
forsyningen

Gunnar Böðvarsson, Steingrímur  
Jónsson og Jakob Gíslason

1948

Islands varme kilder og deres betydning for elektricitetsforsyningen

Ved Gunnar Böövarsson, Steingrímur Jónsson og Jakob Gíslason.

- - -

1. del: Islands varme kilder og deres anvendelsesmuligheder.

De varme kilders antal og ydelse.

Naturlige varmtvands- og dampkilder findes i Island paa omtrent 160 steder. Varmtvandskilderne findes i et samlet antal af 700-800 hovedsaglig i landets vestlige og nordlige omraader, og har en total kapacitet paa 1.500 liter per sekund. De enkelte kilders temperatur og vandmængde er ret forskellige, hvilket fremgaar af diagramene, fig. 1 - 4.

Temperaturområdet fra 15°C til 100°C er delt op i intervaller, som hvert dækker 5°C. Ved hjælp af kurver vises fordelingen over de enkelte intervaller af antal kilder (fig.1), total vandmængde (fig. 2), gennemsnitlig vandmængde pr. kilde (fig.3) og varmekapacitet per time (fig.4). Heri er ikke medregnede de vandmængder som er fremkommet ved de sidste aars boringer. Vandets varmeindhold regnes paa basis af en grundvandstemperatur af 5°C som nulpunkt.

Fig.2 viser at vandmængden tiltager stærkt ved temperaturer over 80°C, og af fig.3 fremgaar at de største kilder har alle temperaturer i nærheden af 100°C. Islands største varmtvandskilde er "Árhver" i Bergarfjord som har en kapacitet paa 250 liter per sekund af kogende vand.



De naturlige varmtvandskilder har en total varmekapacitet paa 375 mill.  $\text{kg}^{\circ}$  per time, hvøraf følger at deres middeltemperatur er  $75^{\circ}\text{C}$ . Vandet fra disse kilder er forholdsvis rent og indeholder i gennemsnit 200-400 milligram mineralske stoffer per liter, hvøraf ca. 35-45% er kiseltsyre ( $\text{SiO}_2$ ).

Som dampkilder betegnes de kilder, der hovedsagelig afgiver damp. Disse findes næsten udelukkende i det centrale og sydlige Island. Dampmængdemaalinger ude i naturen er forbundet med visse vanskeligheder og er endnu ikke blevet gennemført, men man har anslaaet dampkildernes samlede kapacitet til ca. 1.000 tons damp per time. De enkelte kilder er ret smaa og deres kapacitet overstiger sjældent 10 tons damp per time. Dampen indeholder som regel fra 3 til 5% luftarter, hovedsagelig kultsyre og svovlbrinte. Ved berøring med luften oxyderes svovlbrinten og der udfældes svovl som sætter sig i kildernes nærhed. Disse svovlansamlinger er karakteristiske for de fleste dampkilder.

Imedens smaa varmtvandskilder ofte forekommer isoleret, staar dampkilderne altid i forbindelse med større geotermiske omraader. Disse omraader karakteriseres ved en meget høj temperaturgradient, der i nærheden af overfladen er flere grader per meter. De vil derfor afgive en stor varmemængde til luften ved simpel varmeoverføring, og denne synes at være af samme størrelsesorden som den varmemængde der afgives af dampkilderne i form af dampens latente varme. Endvidere vil en del varme afgives til grundvand som strømmer igennem de geotermiske omraader, men man har for tiden ingen mulighed for at bestemme denne varmemængde med nogen nøjagtighed.

Vort nuværende kendskab til de geotermiske forhold tillader dog en skønsmæssig beregning af den totale varmemængde der strømmer til overfladen fra de geotermiske omraader, og man finder at denne sandsynligvis er imellem 2 og 3 milliarder  $\text{kg}^{\circ}$  per time.

### Geologiske forhold.

En nærmere forstaaelse af de varme kilders fysiske forhold er kun mulig igennem geologiske studier.

Geologisk set danner Island en fuldstændig kontrast til det europæiske kontinent. Imedens store arealer af kontinentet er dækkede med tykke dels meget gamle sedimentter, er de eruptive bjergarter udbredelse i Europa kun ringe. Tektoniske bevægelser er indenfor de nordlige områder kun smaa og bestaar for det meste af foldninger, medens brudtektonik er i forhold hertil lidet fremtrædende paa hele kontinentet.

Derimod er Island udelukkende dannet ved vulkansk virksomhed. Fra tertiærtidens begyndelse har de nordatlantiske vulkaner bragt enorme mængder basisk lava frem til overfladen, og derved opbygget store landområder i det nordlige Atlanterhav. De periodiske eruptioner har dannet et mindst 3 kilometer tykt basaltplateau, bestaaende af enkelte lag hvis tykkelse er imellem 10 og 20 meter. I tertiærtidens sidste del har dette plateau dækket et langt større areal end det nuværende Island. En stærk formindskelse af den vulkanske virksomhed er indtraadt ved tertiærtidens ophør. Lavamasserne er efterhaanden blevet mindre og det lavavolumen som er fremkommet i kvartærtiden er langt mindre end de tertiære.

Den vældige basaltflade, som saaledes forelaa nogle mill. aar tilbage, har siden gennemgaaet stærke tektoniske forandringer. Alle bjergarter viser overfor vedvarende belastninger en vis plasticitet som paa grund af temperaturforhøjelsen tiltager med dybden. Basaltfladen hviler saaledes paa et plastisk underlag i lighed med en isflages svømmen paa vand. Paa grund af plastiske strømninger i underlaget er den derfor i tidernes løb blevet udsat for stærke paa-virkninger.

Først synes øst- eller vest-rettede strømninger at have frem-

kaldt trækpaavirkninger som har ført til dannelsen af et utal af lo-  
rette spalter igennem basaltfladen. Disse spalter er fyldte med  
eruptive materialer og danner saaledes gange.

Senere er der indtraadt en stærk sænkning af underlaget, der har  
været størst over det centrale og sydlige Island, medens randomraad-  
erne i vest og øst er sunket mindre. Herved er basaltfladen blevet  
udsat for bøjnings- og forskydningspaavirkninger med en mængde brud  
som følge. Den store flade er knækket i flere mindre, der paa grund  
af den stærke nedsynkning i midten holder imod øst i Vest-Island og  
imod vest i Øst-Island. Enkelte flader i Nord-Island holder imod syd.  
De store brud ledsages som regel af vertikale forskydninger af brud-  
kanterne som mange steder andrager flere hundrede meter.

#### Geoteriske forhold.

De geologiske forhold har givetvis en afgørende betydning for  
landets hydrologi. Inedens det massive basaltplateau kun har en ringe  
porøsitet vil brudspalter og gange danne veje for vadose og juvenile  
vandes strømning. Brudspalterne er gerne fyldte med løse sedimenter  
og gangene er gennemskåret af kontraktionsspalter, fremkommet ved  
deres hurtige afkøling. Da alle spalter gaar tværs igennem basalt-  
fladen er der mulighed for strømning af vand imellem overfladen og  
basaltfladens underkant, der ligger paa mindst 3 kilometers dybde.  
Paa grund af den naturlige temperaturgradient vil der her herske en  
temperatur af 100°C eller mere.

Disse forhold er i og for sig tilstrækkelige for dannelsen af  
varmtvandskilder. Smaa mængder grundvand kan sive igennem spalter  
med paa dybder hvor der hersker højere temperaturer, blive varmet op  
og søge til overfladen igennem andre spalter med dannelsen af varmt-  
vandskilder som følge. Denne cirkulation opretholdes baade ved højde  
forskul d.v.s. statisk tryk, og ved den forskel der er i det varme og

det kolde vands vægtfylde. Men ad denne vej kan der kun dannes smaa varmtvandskilder. Alle bjergarter er daarlige varmeledere og den varmeström som fölger af den normale temperaturgradient er næppe større end  $80.000 \text{ kg}^{\circ}$  per kvadratkilometer og time. Tager man i betragtning at denne varmemængde kun rækker til opretholdelsen af en  $50^{\circ}\text{C}$  varm kilde med en kapacitet paa  $1/2$  liter per sekund, er det indlysende at de store kilder umulig kan forklares ved den naturlige temperaturgradient alene.

En nærmere betragtning viser at Islands vulkanvirksomhed maa være den afgørende faktor for de varme kilders dannelse. Alle store varmtvandskilder og overhovedet alle dampkilder ligger i det nyvulkanske omraade, og endvidere viser dampkilderne en stor lighed med fumaroler i ny lava. Dampkildernes luftarter er de samme som man finder ved analyser af vulkanske dampe.

Man antager derfor at største delen af de islandske varme kilder staar i forbindelse med underjordiske magmaströmninger. Magmamasser, der er for kolde og tyktflydende til at bane sig vej til overfladen, kan strömme op til basaltfladens underkant og foreblive der som varme intrusiver. De vil i tidernes løb afgive varme og vandindhold til de nærmeste omgivelser og paa denne maade skabe store omraader med høj temperatur. Vand som befinder sig indenfor disse omraader vil paa grund af den høje temperatur have en langt lavere vægtfylde end koldt grundvand, endvidere kan alt efter trykforholdene en del af vandet være til stede i dampform hvilket yderligere formindsker vægtfylden. Det skal i denne sammenhæng bemærkes at varmt vands vægtfylde ved  $200^{\circ}\text{C}$  er lig med 0,86, ved  $300^{\circ}\text{C}$  lig med 0,7 og ved den kritiske tilstand ( $225 \text{ atm.}$  og  $374^{\circ}\text{C}$ ) kun 0,32. Da det varme intrusiv som regel ligger paa flere kilometers dybde er kritisk og overkritisk tilstand mulig.

Paa grund af den lave vægtfylde faar vanddampblandningen en stærk opdrift og hvis der er mulighed for vertikal strømning vil der fremkaldes en cirkulation hvor blandningen søger op til overfladen, medens koldt grundvand strømmer ned til det varme omraade. Men basalt fladens spalter og gange muliggör netop denne cirkulation, idet vanddampblandningen vil strømme op igennem de spalter som ligger ovenfor det varme omraade, medens grundvandet siver ned igennem fjernere spalter.

I naturen finder man varmtvands- og dampkilder saa godt som udelukkende i forbindelse med spalter og gange. Et samvirke af vulkanisme og tektonik antages saaledes for at være hovedårsagen til de islandske varme kilder.

#### Varmtvandskildernes anvendelse.

Fra begyndelsen af dette aarhundrede har man været klar over at de varme kilder udgör en naturrigdom, og at deres rigtige udnyttelse kunde spare import af store mængder af kul og olie, thi som bekendt findes disse brændstoffer ikke i Island. Man ved at helt fra oldtiden af er det varme vand blevet anvendt til bade og vask, men iövrigt regner man, at varmtvandskildernes udnyttelse begyndte i midten af tyverne i dette aarhundrede da nogle beboelseshuse og offentlige bygninger blev opvarmet ved kildevand. Faa aar senere blev de förste drivhuse oprettet og et antal svömmebassiner blev bygget ved varme kilder. Fra begyndelsen af trediverne er der foregaaet en stærk udvikling, og nu lever ca. 36.000 mennesker i huse der opvarmes ved varmtvandskilder, endvidere er drivhusenes antal til 80. Uden tvivl kan man havde at varmtvandskilderne har gjort svömmingen til Islands nationalsport.

Reykjavíks varmeværk er det störste foretagende af denna art.

I byens nærhed findes varmtvandskilder nogle steder, dels indenfor bygrænsen, dels i en afstand af 16 kilometer. Planer for byens opvarmning blev udarbejdet tidligt men det viste sig at kilderne begge steder havde utilstrækkelig kapacitet. Sidst i tyverne besluttede man at foretage prøveboringer ved de kilder der lå nærmest byen. Resultaterne blev gode og efter nogle aars boringer havde man 15 liter per sekund af vand med en temperatur omtrent 90°C. Denne vandmængde blev benyttet til opvarmning af byens svømmehal, statshospitalet og godt 60 beboelseshuse.

Senere begyndte man ogsaa boringer paa det længere borte liggende sted ved Reykir i Mosfellssveit hvor de varme kilder havde en vandmængde paa ca. 100 liter per sekund, og efter 10 aars boringer var denne vandmængde mere end fordoblet. Paa grund af disse resultater besluttede man sig til oprettelsen af varmekædet.

Dette anlæg som blev taget i brug i slutningen af 1943 forsynes nu med 300 liter per sekund af vand med en temperatur paa ca. 85°C fra ca. 40 borehuller ved Reykir i Mosfellssveit. Borehullernes diameter er 10-20 cm. og deres dybde op til 750 meter. Denne vandmængde føres igennem en 16 kilometer lang hovedledning til byen og fordeles til omtrent 3.000 huse, med ca. 33.000 beboere. Hovedledningen er isoleret saaledes at temperaturfaldet i denne er 3°C, men paa grund af et lignende temperaturfald i bynettet ankommer vandet til forbrugere med en temperatur af 77°C-80°C. Dette anlæg hvis oprettelse kostede ca. 30 mill. islandske kroner sparer nu kul til en aarlig værdi af ca. 8 mill. kr. hvoraf ca. 60% er udenlandsk valuta. Den samlede varmemængde som man nu udnytter fra de islandske varmtvandskilder svarer til et aarligt kulforbrug paa ca. 60.000 tons.

#### Jorddampens anvendelsesmuligheder.

I modsætning til varmtvandskilderne har jorddampen fra damp-



kilderne endnu ikke fundet nogen videre anvendelse. Dette beror hovedsaglig paa at med undtagelse af dampkilderne i Hengill og Krísvík nær ved Reykjavík findes dampkilder kun i ubeboede omraader. Kun i Hveragerði i Hengil-området anvender man en del damp til drivhuse.

Jorddampen har dog langt større anvendelsesmuligheder end det varme vand og man planlægger dens udnyttelse i større maalestok, både til fremstilling af elektricitet og for industrielle formaal. Italienerne har som bekendt været pionerer paa dette omraade og har nu oprettet kraftværker med en samlet ydelse paa 115.000 kilowatt ved de store dampkilder i Toscana. Da de islandske geotermiske omraader maa anses for nogenlunde saa kraftige som de italienske er der næppe nogen tvivl om at man paa Island har lignende muligheder, selv om det maa forventes ad udviklingen vil foregaa paa en anden maade end i Italien.

Da den største del af vandkraften i Italien allerede er udnyttet, staar man der oven for økonomiske vanskeligheder i forbindelse med elektricitetsforsyningen. Italien er ikke i besiddelse af naturlige brændstoffer, og som følge heraf er vel interessen for jorddampens udnyttelse til kraftværksdrift betydelig. Paa Island raader man derimod over store muligheder for fremstilling af billig elektricitet ved vandkraft, hvilket giver grund til at antage at jorddampen her vil faa størst betydning som varmekilde for direkte anvendelse af varmeenergien, men have mindre betydning som kraftkilde.

Naturlige dampkilder er altid ret smaa og har som regel en mindre dampmængde end 5 tons i timen. I de fleste tilfælde findes de fordelt langs lange brudspalter som for eksempel i Hengil-området hvor dampkilder findes langs en 12 kilometer lang spalte.

For at faa større mængder damp under tryk er derfor boringer

nödveddige. Ved hjælp af disse opfanger man damp og overhedet vand som ellers vilde strömmen mer eller mindre sprödt op til overfladen eller blandes med koldt grundvand, og samtidig föröges vand og damp-cirkulationen. Erfaringen har vist at ved boringer efter jorddamp er diametre imellem 25 cm og 50 cm mest praktiske, og större damp-mængder kan som regel forventes i dybder paa 200 - 400 meter. Fra et hul med en diameter af 40 cm kan man vente en dampmængde paa 40 til 80 tons i timen. I Hengil-området har man allerede foretaget en del prøveboringer som viser at områdets temperatur i 200 - 300 meters dybde er over 200°C, og fölgelig er damptryk paa 20 atmosfærer tilstede. Omkostningerne ved boringer efter jorddamp anslaaes nu efter de gjorte erfaringer til gennemsnitlig 5000 islandske kroner per ton i timen. Medregnes nödvendige driftsomkostninger vil prisen per ton jorddamp være 10 - 20 öre, hvilket er ca. 1% af prisen paa damp fremstillet med kul.

I betragtning af disse prisforhold er det indlysende at jord-dampen er en overordentlig billig varmekilde, der egner sig förtreffeligt for törring, inddampning, krystallisering og til drift af absorptionsköleanlæg. Jorddamp i forbindelse med billig elektricitet fra vandkraftanlæg aabner store industrielle muligheder.

Da jorddampen indeholder luftarter som baade virker korroderende og forstyrrende paa undertrykket i kondensatorer, egner den sig ikke til direkte drift af dampturbiner. I de fleste tilfælde af kraftværksdrift vil man anvende jorddampen til fordampere som fremstiller ren damp for turbinerne. Damptryk paa 3 - 4 atm. fra borehul og 1 atm. til turbine er hensigtsmæssige. Under disse forhold vil dampforbruget være omtrent 15 kg per kilowatttime, og et 10.000 kw kraftværk vil saaledes forbruge 150 tons damp i timen. Denne dampmængde vil eventuelt under gunstige forhold kunne opfanges

ved hjælp af kun 2 eller 3 borehuller.

Oprettelsen af et jorddampkraftværk af størrelsen 10.000 - 25.000 kw vil for tiden koste 1200 - 1500 kr. per installeret kilowatt, hvoraf 300 - 400 kr. udgør omkostninger ved boringer, jorddampledninger og fordampere. Strømprisen per kilowattaar vil være 200 - 250 kr., og er temmelig uafhængig af benyttelsestiden. Dette er en lignende pris som nu betales for strøm fra mindre vandkraftværker i Island, ~~men derimod langt lavere end den almindelige varmekraftværker i Island~~, men derimod langt lavere end den almindelige varmekraftværker kan levere til.

Smaa anlæg paa 100 - 500 kw har i Island en del interesse i forbindelsen provinsens elektrificering. Til drift af disse kan man enten anvende jorddamp eller vand med en temperatur over 90°C. Varmeteknisk set er vand med en temperatur af 90°C - 100°C en ret dårlig kraftkilde, men det kan anvendes hvis man raader over større mængder. Det varme vand føres til en vakuumfordamper hvor en del af det fordamper paa grund af undertrykket. Vakuumdamp med et tryk af ca. 0,3 atm. føres derpaa til en dampturbine som udnytter den trykforskel som er imellem vakuumdampen og kondensatortryk paa 0,04 - 0,06 atm. Vandforbruget vil være ca. 500 - 700 kg. per kilowatttime. Har man altsaa en 90°C varm kilde med en kapacitet paa 100 liter per sekund er man i stand til at drive et kraftværk paa 500 - 700 kilowatt.

Det er for tiden vanskeligt at afgøre hvilken rolle jorddampen vil spille for elektricitetsforsyningen i Island, men der hersker enighed om at dens muligheder bør undersøges til bunds. Fremstilling af elektricitet ved dampkilderne i Hengil-området, som ligger kun 45 kilometer fra Reykjavík synes at være økonomisk og man har planlagt undersøgelserne med det formaal for øje at oprette

jorddampkraftværk som led i byens strømforsyning. Geologiske og geofysiske undersøgelser af området er allerede i gang, og de første prøveboringer er blevet udført med held. Et lille forsøgsanlæg paa 40 kw har været i drift siden 1946.

## 2. del. Reykjavík varmemærks indvirkning paa elektricitetsforbruget.

### Den første tid.

Reykjavík elektricitetsforsyning begyndte sin virksomhed i efteraaret 1921 med kraft fra Ellida-aens vandkraftstation. De 11 første driftsaar fra 1922 til 1932 steg maksimalbelastningen ganske langsomt fra 48 watt per indbygger til 61 watt, samtidigt voksede indbyggerantallet nogenlunde jævnt fra 19.000 til 30.000. Produceret energimængde steg fra 158 kwh om aaret per indbygger til 192 i nævnte tidsrum visende en benyttelsestid af 3000 - 3100 timer aarligt.

Udviklingen var dog ikke saa jævn som disse tal fra 1. og 11. driftsaar angiver, idet den aarlige belastningsfaktor begyndte med at stige ganske raskt i de første driftsaar op til 0,55 i 1925 hvorved elektricitetsforsyningen vilde være bleven sprængt dengang ved overbelastning af den udbyggede vandkraft. For at undgaa denne overbelastning gik man til en radikal forandring af elektricitetsforsyningens tarifer hvorved mulighederne for udnyttelse af kraften til opvarmning og kogning blev praktisk taget udelukket. Hermed blev det muligt at opretholde forsyningen til belysning og kraft som fra første tid blev anset for at være det primære og vigtigste forbrug.

Samtidigt blev det klart at der forelaa et udækket behov for elektricitet baade til kogning og opvarmning og at dette behov kunde tilfredsstilles gennem salg til priser som stod i bestemte



forhold til priserne paa almindeligt brændsel.

Man begyndte allerede paa et tidligt tidspunkt at undersøge mulighederne for dækning af dette behov ved udbygning af vandkraft i større målestok. Her skal ikke kommes nærmere ind paa udviklingen af Reykjavík elektricitetsværk men blot henvises til en artikel herom i Islandsk Aarbog 1937, udgivet af Dansk-Islandsk Samfund og den islandske ing. forenings tidskrift for tiden derefter.

#### Undersøgelse af fjernvarmeværk.

I udredningen af spørgsmaalet om det fremtidige elektricitetsforbrug i Reykjavík kom man hurtigt ind paa at undersøge hvilken indflydelse et almindeligt varmeværk fra varme kilder vilde have paa forbruget. Resultatet af denne undersøgelse blev i aaret 1933 formuleret saaledes:<sup>1)</sup>

Forbruget af elektrisk energi i Reykjavík bedømt efter forholdene ved norske elektricitetsværker maa kunde paaregnes at stige saa der i kraftstationerne maa produceres 50 mill. kwh. med en maksimalbelastning paa godt 9000 kw, hvis man kan regne med levering til opvarmning; og 18 mill. kwh. med en maksimalbelastning af 4500 kw, hvis det paatænkte anlæg for overføring af vand fra varme kilder kommer til udførelse saa man ikke vil kunne regne med at elektrisk energi vil blive anvendt til opvarmning af vand og bygninger.

De angivne tal er beregnede paa det daværende indbyggerantal af 30000 og det kan anføres at den daværende produktion var 6 mill. kwh aarlig.

Henført til forbrug per individ svarer de angivne tal til:

a) Uden varmeværk.

Maksimalbelastning i kraftstation 300 watt/pers. med aarlig benyttelsestid af 5600 timer.

1) I henhold til beregninger udførte af elektrøteknisk konsulent, ing. J. Nissen, Oslo.

b) Med varmeværk.

Maksimalbelastning i kraftstation 150 watt/pers. med aarlig benyttelsestid af 4000 timer.

Heraf fremgaar at varmforsyning over hele forsyningsomraadet vilde tilsvare en maksimalbelastning paa 50% af det den vilde vare uden varmforsyning. Da nu varmforsyningen er henvist til de mere tætbebyggede dele af forsyningsomraadet, vil der kunne faa varmforsyning.

Hvis a % af indbyggerantallet indenfor forsyningsomraadet faar varmeværk vil maksimalbelastningen blive:

$$m = m_{01} \left( 1 + \frac{a}{100} (a_k - 1) \right)$$

hvor  $m_{01}$  er maksimalbelastningen uden varmeværk og  $a_k$  er forholdet mellem maksimalbelastningen med og uden varmforsyning. I henhold til foran angivne tal blev  $a_k$  antaget = 0,5.

Maksimalbelastningen uden varmforsyning  $m_{01}$  har man i elektricitetsværkernes statistiker. Den er ikke nogen konstant størrelse men varierer fra sted til sted, som regel imellem grænserne 100 til 600 watt per indbygger. Den højere grænse beror som regel paa udstrakt anvendelse af elektricitet til sæson- og lejlighedsvis opvarmning. Jo lavere tallet er desto mindre indflydelse vil en varmforsyning have paa elektricitetsforbruget og konstanten  $a_k$  vil stige indtil  $a_k = 1$ , hvor varmforsyningen overhovedet ikke har nogen indflydelse paa elektricitetsforbruget.

Under de senere aars stærke stigning af forbruget i Reykjavik har maskinkraften ikke altid været tilstrækkelig for forsyningen. Ved at benytte de faktiske maksimalværdier af belastningen vil man derfor begaa en ret betydelig fejl ved sammenligning mellem forskellige aar. Derimod har reduktion af belastningsspidserne ved utilstrækkelig maskinkraft kun en ringe indflydelse paa det aarlige

elektricitetsforbrug saaledes at tallene for produceret antal kwh per indbygger bedre vil kunne anvendes til sammenligning mellem aarene. Man faar da paa samme maade som för

$$e = e_{01} \left(1 + \frac{a}{100} (d_0 - 1)\right)$$

hvor  $e_{01}$  betyder produceret antal kwh aarlig per indbygger uden varmeværk og  $d_0$  er forholdet mellem det aarlige forbrug med og uden varmeværk. I henhold til foran angivne forudsætninger er

$$d_0 = \frac{150 \cdot 4000}{300 \cdot 5600} = \frac{600}{1680} = 0,36$$

### Tilslutningen af varmeværket.

I tabel 1. er anført de producerede kwh og tilhørende indbyggerantal i Reykjavik hvorved man faar tallene for producerede kwh per indbygger i aarene 1940 - 1947.

Tabel 1.

Aar	Produceret MWh	Heraf for Reykjavik by MWh	Gennemsnitligt indbyggerantal i aaret	Pruduceret kwh. per indbygger i aaret
1940	34566	26118	38060	680
1941	43732	30306	38820	780
1942	55774	34730	40320	860
1943	67804	41201	41860	980
1944	68877	43075	43550	990
1945	73034	48259	45430	1060
1946	84425	57026	47760	1200
1947	97841	63369	50000	1270

Man ser af tabel 1 at i aarene 1940 - '43 stiger produktionen ret jævnt med gennemsnitlig 100 kwh per indbygger op til 980 kwh i 1943, hvilket tilsvare 58% af hvad der blev antaget at man vilde kunde opnaa efter forholdene i Norge uden varmeværk. Grunden til denne forskel kan forklares ved den udstrakte anvendelse af kwh-

maalere hverimod vippetarif eller overforbrugsmaalere er helt underordnet. D. 1. dec. 1943 begyndte tilslutningen til varmeværket og var naaet op til 1281 huse d. 1. jan. 1944 altsaa 640 huse gennemsnitlig i dec. 1943, hvilket svarer til 1,4% tilslutning gennemsnitlig i aaret og kan lades ude af betragtning. Tilslutningen fortsatte i aaret 1944 og var naaet op til 2700 huse i slutningen af aaret hvilket tilsvarede 68% af det totale antal huse. Den gennemsnitlige tilslutning i aaret var 2158 eller 54,4%. I forhold til indbyggerantallet er tilslutningen noget større, idet den centrale bydel indeholder større huse per indbygger end de ydre bydele som ikke blev tilsluttet. I forhold til indbyggerantallet blev tilslutningen beregnet til 60% d.v.s.  $a = 60\%$  i 1944.

Hvis man regner med samme stigning forøvrigt i forbruget i 1944 som de tidligere aar maatte man vente at antallet af producerede kwh i aaret blev 1080 i stedet for 990. Man faar da i henhold til foran givne formel,

$$990 = 1080 (1 + 0,6 (d_{\bullet} - 1))$$

$$\text{hvoraf } d_{\bullet} = 0,86$$

Tilslutningen fortsatte i aaret 1945 og var naaet op paa 2782 huse gennemsnitlig i aaret tilsvarende 66% af husene og 73% af indbyggerantallet hvorved  $a$  er steget til 73%.

Med samme antagelse for tilvæksten forøvrigt i elektricitetsforbruget i 1945 som aaret før faar man  $1060 = 1180 (1 + 0,73 (d_{\bullet} - 1))$ , hvoraf fremgaar ogsaa  $d_{\bullet} = 0,86$ .

Siden har yderligere tilslutning procentvis næsten fulgt tilvæksten i indbyggerantal saaledes at procenttallet har været omtrent uforandret.

Man kan ogsaa anstille betragtningen paa en anden maade. I 1944 hvor tilslutning af varmeværket foregaar, standses tilvæksten i produktionen per indbygger omtrent helt. Hvis varmeværket



ikke var blevet tilsluttet kunde man antage at produktionen var blevet 47,2 mill. kwh eller 4,1 mill. mere end den blev. Denne reduktion hidrører direkte fra tilslutningen af varmeværket og da tilslutningen gjaldt 60% af indbyggerantallet eller 26.200 indbyggere svarer det til en gennemsnitlig reduktion af produktionen paa 159 kwh pro persona, for det tilsluttede omraade. Man faar da:  $921 = 1080 (1 + 1 (\phi_0 - 1))$ . Hvoraf  $\phi_0 = 0,85$ .

Disse betragtninger er ifølge sagens natur ret summariske og de kan derfor ikke blive nøjagtige. De peger dog utvivlsomt i den rigtige retning og viser at indvirkningen af varmeværket paa elektricitetsforbruget har været saa stor som man efter forudsætningerne kunde vente, naar man tager hensyn til det forefindtlige elektricitetsforbrug, da varmeværket kom i drift. Det bør dog bemærkes at den samtidige udvikling af elektricitetsforbruget til varme for de forbrugere som ikke blev tilsluttede var forholdsvis rask paa grund af de stigende brændselpriser saaledes at de angivne 14 - 15% reduktion kan regnes for at være en undergrænse.

For at komme nærmere ind paa spørgsmaalet kan man betragte det fra en anden side. Een del af forbruget er vi i stand til at kontrollere mere direkte, nemlig husholdningsforbruget. Elektrificering af køkkener begyndte for alvor i 1938. I slutningen af 1937 var 12,5% af køkkener elektriske, i 1938 33,6%

1939 46 -

1940 52,3%

o.s.v. med jævn vækst indtil ved slutningen af 1947 78,4% af køkkener er blevet elektriske.

Vinteren 1939 - '40 blev det foretaget maalinger i transformatorstationer i beboelseskvarterer af maksimalbelastning under kogetiden kl, 11 - 12. De højeste værdier fandtes i decemberdagene før jul. Her skal angives middeltallene for en række maalinger for 159

huse med 407 køkkener og 2190 kw tilslutningsværdi af el. komfurer. Man faar da gennemsnitlig tilslutningsværdi af komfurer paa 5,4 kw per køkken og 13,8 kw per hus. Maksimalbelastningen i transformatorstationerne viste sig at blive 558,6 kw eller 1,37 kw per køkken d.v.s. 25,5% af tilslutningsværdien. Variationen i de enkelte gader var fra 1,14 kw op til 1,9 kw per køkken.

Ved en gentagelse af disse maalinger paa samme sted efter at varmeværket var tilsluttet har man ikke mærket nogen nævneværdig forskel.

Hvis man derimod betragter aarsforbruget paa husholdningstariferne ser man en tydelig nedgang efter at varmeværket blev tilsluttet hvilket hos nogle hidrører fra mindre rumsopvarmning men hos andre kun fra mindre forbrug til vandopvarmning, da forbrugerne nu faar 80°C vand fra varmeværket til husholdningsbrug i stedet for tidligere 5°C fra vandværket. Ved en sammentælling hos flere forbrugere var gennemsnitlig reduktion dog kun 25% og meget varierende. Den største reduktion var 50% og derfra nedover helt indtil uforandret forbrug.

Husholdningsforbruget udgør omtrent halvdelen af det hele forbrug. Det øvrige forbrug gaar til industri og andet erhverv, hvor elektrisk opvarmning ikke kan ventes at have været væsentlig influeret af varmeanlæggets tilslutning. Man maa derfor betragte tallet 25% for reduktionen for at være en overgrænse. Man maa derfor sige at den nøjagtige værdi af reduktions-koefficienten maa ligge imellem de fundne yderværdier 14 og 25% og saaledes ligge i nærheden af 20%. Da denne reduktion som foran anført er afhængig af det aarlige konsums størrelse bør man maaske hellere formulere reduktionen saaledes:

Paa en produktion af 1080 kwh aarlig per indbygger bevirkede tilslutningen af varmeværket en reduktion i forbruget paa ca. 216 kwh hos de tilsluttede forbrugere.

Hvis man forsøger at lave en kurve for afhængigheden mellem antallet af producerede kwh per individ og koefficienten  $\phi_e$ , har man to punkter paa kurven fra foran angivne antagelse, bedømt efter forholdene i Norge. For 600 kwh maa man nemlig antage at  $a$  har sin maksimalværdi af 1, altsaa  $\phi_e = 1$  og for 1680 kwh er  $\phi_e = 0,36$ . For voksende antal kwh maa  $\phi_e$  nærme sig asymptotisk til abscisseaksen. I diagram fig.7 er denne kurve forsøgsvis tegnet ud fra disse antagelser. Den fra tilslutningen af varmeværket i Reykjavík fundne værdi  $\phi_e = 0,86$  for 1080 kwh ligger lidt højere, men da det som foran angivet kan betragtes som undergrænse for reduktionen kan man slutte heraf at de antagne forudsætninger har været i hovedsagen rigtige.

#### Reykjavík varmeværk.

Reykjavík varmeværk udnytter som foran nævnt varmt vand fra naturlige kilder i nærheden af byen hvor vandføringen er blevet forøget væsentlig gennem dybdeboringer. Vandet har en temperatur af 87°C ved kilderne og leveres hos forbrugerne 80° varmt under maksimal belastning.

For driftsperioden 1. okt. 1945 til 1. okt. 1946 var det totale vandforbrug 5,5 mill. m<sup>3</sup> med et forbrug af 23000 m<sup>3</sup> i maksimal døgnet og 470 sek. liter maksimumbelastning, hvilket giver en aarsbelastningsfaktor af 0,37. De anførte summationsmaalinger er antagelig nogle procent for lave men den faktiske vandføring viste sig at kunne tilfredsstille behovet ned til - 4°C udendørstemperatur.

Af medfølgende diagrammer fig. 8 og fig. 9 ser man vandforbrugets fordeling over aaret i afhængighed af tid og temperatur. Den øverste del af diagrammerne for temperaturer under - 4°C er skønnet. Den pukkel som fremkommer paa kurven paa fig. 9 hidrører fra vindens indflydelse paa vandforbruget som hovedsagelig forekommer ved temperatur fra - 2° til - 7°C og øjensynlig kan udgøre ca. 20%. Paa dia-

gram fig. 10 ser man en varighedskurve for vandforbruget. Diagram fig. 11 viser en procentkurve for energiforbruget og diagram fig. 12 en varmeforbrugskurve hvorefter fremgaar at 9,5% af aarsforbruget ligge ved temp. under  $-4^{\circ}\text{C}$ . Den varmeeffekt der skal til for at tilfredsstille dette forbrug er 38,5% af den totale varmeeffekt beregnet for maksimum ved  $-15^{\circ}\text{C}$  udendørstemperatur.

Da de varme kilder har konstant afløb og regulerings-magasin for det varme vand kun kan skaffes for døgnregulering, ser man af kurverne ønskeligheden af specielle foranstaltninger til dækning af spidsbelastningen under kuleperioder og man faar ogsaa af diagrammerne et indtryk af hvor vanskeligt dette problem kan være paa grund af den store effekt det her drejer sig om at fremskaffe for kortvarige perioder som maaske kun forekommer med aars mellemrum.

Dette problem gælder naturligvis ethvert fjernvarmeværk, men det kan være af noget forskellig størrelsesorden og betydning paa forskellige steder. Der findes flere forslag til løsning af dette problem paa mere eller mindre økonomisk maade, men da det ligger uden for rammen af dette foredrag skal vi ikke drøfte det videre i dets almindelighed men kun berøre det for saa vidt det har indvirkning paa elektricitetsforbruget.

#### Muligheder for elektrisk opvarmning.

Naar man betragter elektricitetsforsyningen i en by med fjernvarmeværk, saa vil man maaske være tilbøjelig til at tro at dermed kunde elektricitetsværket afvikle alle forberedelser til dækning af elektricitet til opvarmning af bygninger og dermed i det store og hele blive friet for et forsyningsproblem som finansielt set har været betragtet som meget vanskeligt, i hvert fald indtil de senere tiders raske stigning paa brændselspriserne.



Men dette er ikke tilfældet. For det første kan fjernvarmeværket kun dække de centrale bydele. Det naar ikke ud til de ydre distrikter. Naar man kommer ud til de ydre boligkvarterer med udpræget villabebyggelse vil fjernvarmeværket have vanskeligheder med sit ledningsnet. Ledningerne vil blive relativt lange og varmeisolationen maa gøres relativt stærkere for at holde varmetabene nede. Det hele bliver let urentabelt. Dernæst vil som regel kravet om varmforsyning i de ydre distrikter blive desto stærkere jo større del af den tætte bebyggelse der forsynes fra et fjernvarmeværk, specielt i tider med høje brændselspriser. Man maa derfor være forberedt paa at ønsker om opvarmning af disse bydele vil gøre sig gældende og at det da bør løses af elektricitetsforsyningen hvis ikke fjernopvarmningen kan gøre det.

Som foran anført var 66% af husantallet i Reykjavík tilsluttet varmeværket i slutningen af aaret 1945. Siden er dette procenttal gaaet noget ned paa grund af den relativt stærkere vækst af de ydre bydele. Naar man tæller sammen varmebehovet af husene saa finder man at de ydre bydele har relativt mindre varmebehov. Saaledes var i slutningen af 1945 summen af varmebehovet for de til varmeværket tilsluttede huse 76 mill.  $\text{kg}^{\circ}$  per time og 80% af det totale varmebehov for alle huse. Dette varmebehov er beregnet paa basis af  $-15^{\circ}\text{C}$  udendørstemperatur og  $+20^{\circ}\text{C}$  stuetemperatur. Varmeanlægget regner med en samtidighedsfaktor af 75% heri indgaar varmt husholdningsvand. For elektricitetsværket maa man regne med noget højere samtidighedsfaktor for opvarmningen, næppe under 85%. Med 85% faar man hele byens varmebehov fra et fjernvarmeværk 81 mill.  $\text{kg}^{\circ}$  per time hvoraf 65 mill. dækkes af det eksisterende varmeværk. Hvis det udækkede behov, 16 mill.  $\text{kg}^{\circ}$ , i de ikke forsynede bydele skulde dækkes af elektricitetsværket svarer det til ca. 20000 kw i kraftstation, d.v.s. omtrent den samme kraftmængde som den nuværende elektricitetsforsyn-

ing i byen forøvrigt.

Paa diagram fig. 13 ser man en almindelig døgncelastningskurve for elektricitetsforsyningen i sin helhed under maksimaldagen vinteren 1944-'45. Den har en døgncelastningsfaktor af 0,55, paa en maksimalbelastning af 18100 kw. Regner man maksimalbelastningen til 20000 kw for den almindelige elektricitetsforsyning og samme belastningsfaktor, vil man kunne levere 264000 kwh i døgnet for den almindelige elektricitetsforsyning og 216000 kwh for opvarmning med det samme maskinanlæg og hovedledningsanlæg. Da varmaforsyningen selv vil have en døgncelastningsfaktor af 85% vil den kræve 410000 kwh i døgnet og man kan da kun levere ca. 53% af denne varmemængde gennem teoretisk udfyldning af døgncelastningskurven. Man vil dog næppe kunne højere i praksis end 47%. Hvis døgncelastningsfaktoren paa den almindelige elektricitetsforsyning stiger til 0,65 under forøvrigt samme forudsætninger vil man kunne levere 37% af varmebehovet og hvis den stiger til 0,75 kun 26,5% af varmebehovet. Denne varmforsyning vil derfor være stærkt afhængig af den almindelige elektricitetsforsynings belastningsfordeling over døgnet og i hvert fald er der kun en del af det totale behov, som kan dækkes paa denne maade. For Reykjavíks vedkommende kan man antage en tredjedel, for at være paa den sikre side for en tid fremover.

Ved denne udglatning af døgncelastningskurven over vinteren vil aarsbelastningsfaktoren stige betragtelig. Den var for driftsaaret 1944/45 (regnet fra 1. okt. til 1. okt.) 0,413 og vil komme op over 0,6 ved at optage opvarmningen paa anførte maade. Den øvrige del af opvarmningen maa saa optages ved forøget maskinkraft ved videre udbygning af vandkraft. Døgncelastningsfaktoren vil da i vintertiden stadig kunne holdes meget høj medens aarsbelastningsfaktoren vil falde igen i desto højere grad som man overtager forholdsvis mere af denne varmforsyning.

Er den gennemsnitlige produktionspris for levering til den almindelige elektricitetsforsyning højere end prisen for opvarmningen vil man i almindelighed kunne sige at grænsen for hvor meget man kan optage af opvarmningen findes ved den belastningsfaktor som giver uforandret gennemsnitspris paa levering med og uden varme. Er prisen for levering til opvarmning den samme som gennemsnitsprisen for levering til øvrige formaal, ligger grænsen ved samme belastningsfaktor med opvarmning som uden.

Herigennem maa man kunne regne med at optage igen omtrent en tredjedel af varmebehovet i de ydre bydele medens den sidste tredjedel ikke kan optages paa samme økonomiske grundlag som den almindelige elektricitetsforsyning forøvrigt. Den vil vi saa betragte nærmere i forbindelse med spidsbelastningen. Det maa bemærkes her at denne betragtning ser sagen kun fra produktionens og hovedleveringens side. Senere skal vi ogsaa nærmere betragte fordelingen.

Den her omtalte fordeling af 20% af hele varmebehovet i Reykjavík er ikke noget konstant forhold. Det kan ventes at stige hvis de ydre bydele vokser relativt stærkere end den centrale del, hvilket har været tilfældet i Reykjavík de to sidste aar, men det kan ogsaa holde sig konstant hvis fjernvarmeværket efterhaanden udvides i samme maalestok som byen vokser. Det kan derimod næppe ventes at dette forholdstal vil gaa nævneværdig ned. Paa den anden side kan man ikke vente at kunne opnaa 100% forsyning i en overskuelig fremtid og man kan vel sige at det vil tage flere aar at opnaa 60 á 70% forsyning. Da skulde forholdstallet ligge nærmere de 14% som kunde komme i betragtning og altsaa være indenfor mulighedernes grænse hvad produktionsmuligheden angaar.

Inden vi gaar over til at drøfte andre sider af varfeforsyningsproblemet maa vi først bemærke at man kan vente at faa en varme-

belastning ogsaa fra det af fjernvarmeværket forsynede omraade og det paa en ret uheldig maade, nemlig til dækning af spidsbelastning.

### Varfeforsyningens spidsbelastning.

Som tidligere bemærket har fjernvarmeværket i Reykjavík konstant vandtilløb som er tilstrækkeligt med til - 4°C udendørstemperatur. For mere kulde maa der skaffes ekstra opvarmning ved hjælp af spidsbelastningsforsyning, hvilket ogsaa er forberedt i Reykjavík ned til - 13°C udendørstemperatur. At gaa til en større spidsbelastning er helt urentabelt paa grund af at de kuldeperioder, som kunne komme herudover kun forekommer med mange aars mellemrum. Man har i en 11 aars periode, 1929 til 1939, kun haft 1 dag med -14°, 0 med -13°, 1 med -12°, 1 med -11°, 2 med -10° og 6 med -9°. Under -4° forekom det kun 139 dage i samme periode. Paa den anden side kan man med aar-tiers mellemrum faa kuldeperioder ned til - 30°C hvis behov kun kan dækkes ved hjælp af ekstraordinære foranstaltninger som vil ligge uden for et fjernvarmeværks muligheder.

Der forefindes derfor et behov for dækning af spidsbelastning ved opvarmningen som fjernvarmeværket ikke kan bestride paa en rentabel maade. En del af denne belastning gaar over paa elektricitetsforsyningen ved lejlighedsvis opvarmning gennem bevægelige egne og denne belastning er skønnet at kunne blive op til 10% af den normale maksimalbelastning i en ikke altfor streng vinter. Denne ekstra belastning forventes at kunne dækkes af reservemaskiner.

Dette forhold anföres her for at paapege at der her findes et forbrug som elektricitetsværket kun i ringe grad er herre over at kontrollere gennem tarifbestemmelser.

### Elektricitetsforsyningens opvarmningsmetoder.

Naar man betragter beboelseskvartererne i de ydre bydele fra



det elektriske opvarmningssynspunkt, kan man karakterisere bebyggelsen som gennemgaaende smaa huse med forholdsvis stor overflade. I Reykjavíks bygningsvedtægt findes der en bestemmelse om minimumkrav for yderfladens varmeisoleringssevne, undtagen for vinduer. Ved den forsøgsopvarmning som man har foretaget i disse huse har man dog fundet at de er forholdsvis meget varmekrævende med deraf følgende høje belastningsspidser. De egner sig derfor forholdsvis daarligt til elektrisk opvarmning og de har kun en ringe varmemagasinerende evne for udglatning af kortvarige belastningsspidser. Derimod vil hensigtsmæssig anvendelse af straalvarme kunne give det bedste resultat.

Fra alle de mange forsøg som er blevet foretaget i forskellige lande med varmeisoleringens betydning overfor opvarmning, specielt elektrisk opvarmning, fremgaar at det i hvert fald paa de nordlige breddegrader altid vil betale sig at anvende en gennemført god varmeisolerings af bygninger. Det er derfor af den største betydning for den elektriske opvarmning at resultaterne af disse forsøg anerkendes og efterkommes.

Elektricitetsforsyningen kan vel kun paavirke byggevanerne indirekte og man kan vel ikke direkte stille nogen betingelse i tariferne og varmeisoleringens godhed for at tillade varmetilslutning. Men paa den anden side bør man stille som et mindste krav at tariferne for opvarmning baseres paa behovet i godt isolerede bygninger og paa en rational opvarmning af disse.

Ved en god isolering bør man maaske forstaa at den er baseret paa gennemført økonomiberegning, og ved rational opvarmning at den udnytter de af utallige eksperimenter og driftsresultater anviste veje for et moderne opvarmningsanlæg. Da der findes flere metoder maa man tage hensyn til forskellige forhold, hvoriblandt elektricitetsværkets driftsforhold maa anses for meget vigtige. Da herhen

hørende spørgsmaal er meget vidtrækkende og for ikke at komme altfor ind i detaljer skal her nedenfor resumeres i korthed de synsmaader som man ved Reykjavíks Elektricitetsforsyning har lagt til grund for tilslutning af varmeanlæg under de forsøg som er blevne udførte med boligopvarmning i praksis, som en forberedelse til at overtage de ydre bydeles opvarmning i henhold til foran anførte betragtninger, saasnart tilstrækkelig udbygget vandkraft forefindes.

### Betingelser for tilslutning af varme.

Forbrugerens varmeanlæg bør være en fastmonteret installation i bygningen. Bevægelige ovne tillades derfor ikke tilsluttet paa varmtarif. De kan kun anvendes paa en almindelig boligtarif som ligger højere end tarif for opvarmning.

En direkte elektrisk ovninstallation, uden varmemagasin, ved panelovne paa vægge, gulv eller i loft med udnyttelse af delvis eller hovedsagelig straalvarme bør have gennemført temperaturkontrol i stuerne og fortrinsvis tidsindstilling mellem dag- og natforbrug. Den har det mindste elektricitetsforbrug og er derfor at foretrække ~~hvor~~ hvor man kan tage en saadan varmeinstallation som tillægsbelastning. Den tillades fortrinsvis i mindre bygninger.

Elektriske modstandsovne med luftcirkulation kan ogsaa komme under denne kategori hvis de er fast installerede, og kravene til reguleringen bliver de samme.

Et elektrisk centralvarmeanlæg som anvender luft eller vand som varmeformidler kræver noget større energiforbrug og bør derfor fortrinsvis anvendes i forbindelse med varmemagasin som tillader udkobling af den elektriske strøm under høj belastning af værket og paa forskellige tider helt indtil levering af ren natstrøm. Disse installationer bør anvendes til udjævning af døgnbelastningskurven

og tariferne bør kunne tage hensyn til den ved reduktion af prisen efter udkoblingstidens længde og tidspunkter. De anvendes fortrinsvis i større bygninger.

Vi har anvendt spærreaktorer og dobbelt tarif for at kontrollere tiderne men hvis den slags opvarmning skal tilsluttes i større maalesbøks, bør man anvende centralstyret relaissystem, hvis ind- og udkoblinger kontrolleres ved bæreølgesignaler.

Godt isolerede bygninger har i sig selv et varmemagasin som kan udnyttes til kortvarige udkoblinger f. eks. under kortvarige belastningsspidser eller driftsforstyrrelser. Den slags udkoblinger kan let udnyttes ved et centralstyret relaissystem.

De her angivne bestemmelser og synsmaader udnytter elektriciteten som direkte varmegivende i modstandselementer i ovne eller varmemagasiner og i nogen grad i forbindelse med motorkraft for cirkulation af luft eller vand, igennem varmesystemet. Denne motorkraft har et relativt ringe forbrug i forhold til varmeanlæggets.

Desuden findes der en anden type varmeanlæg som her kan komme i betragtning og som man maaske kunde kalde en indirekte varme metode hvor motorkraften giver hovedforbruget, det er de saakaldte varmpumpeanlæg. Før disse omtales maa man undersøge belastningsforholdene hos forbrugerne og fordelingen noget nærmere.

#### Forbrugernes belastningsforhold.

De bygninger som vi behøver at tage i betragtning er een- og to-lejligheders huse. Installationsværdien af tilsluttede apparater foruden opvarmning er gennemsnitlig 8 kw for hver lejlighed men kan dog gaa op til 13 kw gennemsnitlig med anvendelse af komfurer med den store installationseffekt, som er meget almindelig anvendt i Nord-Amerika. I en een-lejlighedsbygning kan man vente en maksimal-

belastning af 5 á 8 kw og i en to-lejligheds 10 á 15 kw. Stikledning og lavspændingsfordelingsnet bør derfor dimensioneres for at kunne optage denne belastning. I fordelingstransformatorstationen kan man regne med en betragtelig spredning af forbruget saa snart det tilsluttede forbrugerantal er kommet op over 50. Regner vi med en transformatorstørrelse af eksempelvis 300 kVA vil man kunne tilslutte 150 lejligheder til stationen paa husholdningstarif med kogning, belysning og diverse husholdningsapparater.

Hvis disse lejligheder skal forsynes med elektrisk opvarmning maa man for fuld opvarmning regne med 10 á 20 kw installationsværdi af varmeanlægget efter lejlighedens størrelse. Varme anlægget kommer ind med fuld belastning saaledes at i stedet for 5 á 8 kw per lejlighed faar man nu 15 á 28 kw maksimal belastning hos forbrugeren. Ved udkobling af varmen paa bestemte tider vil man kunne reducere denne maksimalbelastning til 12 á 20 kw. D.v.s. at stikledninger og fordelingsnet saaledes maa dimensioneres for den dobbelte eller tredobbelte belastning naar man tager fuld opvarmning med, selv ved gennemført udkobling af varmen under kogetider.

Fordelingstransformatorerne maa gøres endnu større idet samtidighedsfaktoren paa opvarmningen er meget høj. I stedet for 150 lejligheder før tilsluttet paa 300 kVA faar man ikke mere end ca. 25 lejligheder med opvarmning. Selv om man begrænser opvarmningen til det som lavspændingsnettet kan fordele uden ekstra omkostninger maa man nødvendigvis forstærke transformatorstationerne baade i antal og størrelse.

Hvis man nu i stedet for fuld opvarmning kun tænker paa forsyning af te tredjedele opvarmning i lighed med hvad man kunde vente at kunne levere fra kraftværket saa faar man en maksimal belastning hos forbrugeren paa 6,7 á 13,3 kw ved anvendelse af spærretider, og

paa 300 kVA transformator kan man tilslutte ca. 35 lejligheder. Det giver ogsaa en betydelig forstærkning af lavspændingsnettet med transformatorstationer i sammenligning med det som er nødvendigt uden opvarmning.

### Forbrugerens døgnbelastning.

En lejligheds forbrugskurve for kogning, belysning og anvendelse af øvrige apparater undtagen vandvarmere er meget ujævn og belastningsfaktoren meget ringe, 5 á 10%. Med elektrisk varmtvandstilberedning kan den gaa op til 20%. Ved udfyldning af lejlighedens belastningskurve til henimod 100% gennem centralvarmeanlæg med magasin vil man faa en opvarmning paa ca. 75% af kontinuerlig opvarmning. Ved at benytte de før angivne tal kan anföres som eksempel at en lejlighed paa 300 m<sup>3</sup> for fuld opvarmning kræver 10 kw maksimaleffekt og ca. 200 kwh i maksimaldøgnet. Maksimaleffekt uden opvarmning er 5 kw med belastningsfaktor af 0,2 i maksimaldøgnet. Med 5 kw maksimaleffekt og spærretid vil man kunne skaffe 100 kwh i døgnet til opvarmning d.v.s. halv opvarmning. Störrelsen af transformatoren for 150 saadanne lejligheder vil blive omtrent 700 kVA.

Resultatet af denne overvejelse sammenholdt med hovedleveringen er at man ved ujevning af belastningskurven i kraftstationen og hovedtilførselsnettet kan optage elektrisk opvarmning i de ydre bydele tilsvarende 1/2 á 2/3 af behovet og med tilsvarende udnyttelse af lavspændingsfordelingen ogsaa der optage ca. 1/2-delen af behovet men det kræver en forstærkning af transformatorstationerne baade i effekt og antal og dermed tilsvarende forstærkning af højspændingsfordelingen.

Under den herskende højkonjunktur paa brændsel kan nogen forstærkning af ledningsnettet og kraftstationer sikkert udföres økonomisk for at optage saadan en varmebelastning. Det kan anföres

at i 1938 kostede gode dampkul i Reykjavík 40 kr. per ton hjemkört, nu er den tilsvarende pris 260 kr.

Som allerede bemærket kræver den direkte elektriske opvarmning betydelige forstærkninger af ledningsnettet. Ved den indirekte opvarmningsmetode ved hjælp af varmepumpe kunde man tænke sig at problemet vilde stille sig noget anderledes. En varmepumpe med en effektiv virkningsgrad af 200% vil altsaa kunne levere fuld opvarmning til en lejlighed med samme forstærkning af ledningsnet og udfyldning af døgnbelastningskurvene som for direkte elektrisk opvarmning med en opvarmningsgrad af 50%.

Med varmepumpen er det som regel let at opnaa en højere virkningsgrad. 300% er saaledes ret almindeligt og under gunstige forhold betydelig mere. Det er derfor af stor betydning at undersøge varmepumpens muligheder i denne forbindelse og vi skal derfor forsøge at give en kort oversigt over dens muligheder.

### 3. del. Varmepumpen.<sup>1)</sup>

#### Varmepumpens virkemaade.

Varmpumpen er ikke nogen ny ide. Den engelske naturforsker Sir William Thomson (Lord Kelvin) kom frem med den allerede i aaret 1852<sup>2)</sup>, men den kom ikke til udførelse til opvarmning efter hans

- 1) Den efterfølgende beskrivelse af forsøg i Amerika og flere steder er baseret paa et foredrag af E.B.Penrod: A Review of some Heat-pump Installations forelagt American Society of Mechanical Engineers halvaarlige møde i Chicago 16. og 17. juni 1947, hvori der findes en litteraturangivelse. Endvidere Escher Wyss Mitteilungen 17/18, 1944/45: Die arme pumpe in der Heiztechnik von A.Ostertag und A.Kornfeld og fra forskellige artikler i U.S.A. om varmepumpen af P.H. Sporn og E.R. Ambrose.
- 2) On the Economy of the Heating or Cooling of Buildings by means of Current of Air by Sir. Wm.Thomson (Kelvin), Proceedings of the Philosophical Society, Glasgow, Scotland, Vol.3, Dec.1852, pp. 269-272.



forslag. Derimod fik den hurtigt anvendelse til køling, og hele den moderne køleteknik bygger paa det fortsættelses- fordampningskredsløb som Lord Kelvin fremsatte i sit foredrag.

Varmepumpens varmekirkning kom først senere til anvendelse ved luftkonditionering og den har efterhaanden ogsaa fundet anvendelse inden for forskellige industrier.

For at etablere en varmepumpe tiltrænges en hensigtsmæssig varmekilde, og ydelseskoefficienten bør have en tilstrækkelig størrelse. Ydelseskoefficienten er defineret som forholdet mellem den afgivne varmeenergi og den til driften tilførte energi. Til orientering for ogsaa ikke-teknikere og de fordele som en elektrisk drevet varmepumpe kan have til opvarmning paa sin indirekte maade over for en direkte opvarmningsmetode anføres her en mekanisk analogi hentet fra et amerikansk tidsskrift (Fig. 14). Paa fig. er vist en højdebeholder beliggende 20 m over jord og en brønd hvis vandoverflade ligger 4 m under jord. Paa jorden findes en vandbeholder for husholdningsbrug samt en vandturbine og en dertil direkte koblet centrifugalpumpe. Hvis man lader 1 kg vand løbe fra højdebeholderen ned til husholdningsbeholderen uden at løbe igennem vandturbinen har højdebeholderen tabt 1 kg vand og 20 kgm potential energi, som befandt sig i højdebeholderen før, medens husholdningsbeholderen kun har modtaget 1 kg vand uden de 20 kg potential energi. Hvis man nu gentager dette ved at lede vandet igennem vandturbinen og derfra til husholdningsbeholderen vil turbinen kunne drive centrifugalpumpen, og med 100% virkningsgrad i systemet vil den kunne pumpe 5 kg vand fra brønden de 4 m op til husholdningsbeholderen. Denne har da modtaget 6 kg vand. Forholdet mellem det til husholdningsbeholderen modtagne vand og det fra højdebeholderen afgivne vand er systemets ydelseskoefficient, i dette tilfælde  $6:1 = 6$ . Hvis maskinernes

virkningsgrad kun er 64% i stedet for som antaget 100% bliver ydelses koefficienten kun 4,2 i stedet for 6. En elektrisk drevet varmepumpe med en ydelseskoefficient paa 4,2 vil afgive 4,2 kwh til opvarmning for hver 1 kwh som den bliver tilført til dens drift. Varmepumpen suger til sig unyttig varmeenergi, og løfter denne op til et højere temperaturniveau hvor den kan nyttiggøres.

Hvis brønden i fig. kun havde været 2 m under jorden medens de øvrige forhold var uforandrede, vilde centrifugalpumpen med 100% virkningsgrad i systemet kunne pumpe 10 kg vand op de 2 m til husholdningsbeholderen i stedet for 5 kg før og ydelseskoefficienten vilde da stige til 11. Med 64% virkningsgrad vilde ydelseskoefficienten være bleven 7,4. Paa samme maade vil en varmepumpe have en desto højere ydelseskoefficient jo mindre temperaturforskul der er mellem varmekildens temperatur og den pndnythare temperatur.

Man kan ogsaa betragte varmepumpens virksomhed ud fra termodynamikkens temperatur-entropi diagram som vist paa fig. 15 ved en luftarts kredsløb ved køling. Med linien ef er vist kølemediets kompression ved uforandret entropi, fe viser varmeenergiens afgivelse ved konstant temperatur i en kondensator, eb viser temperaturfaldet i en ekspansionsventil ved uforandret entropi og bc viser tilvækst i entropi i en fordamper eller kølespiral. Arealet  $Q_1$  (abcd) viser køleenergiindholdet, fladen  $Q_2$  (bcfe) viser den energi der tilføres systemet ved kompressionen for at opnaa køleeffekten. Summen af  $Q_1$  og  $Q_2$  (aefd) viser indholdet af den afgivne energi.

Naar dette kredsløb anvendes til opvarmning bliver den afgivne energi anvendt saaledes at ved at tilføje energiindholdet  $Q_2$  kan man faa frem en varmeeffekt som tilsvareer summen  $Q_1 + Q_2$ . Det er derfor muligt at trække varmeenergiindholdet ved en lav temperatur  $T_1$  tilsvarende fladen  $Q_1$  ud af luften og gøre det anvendeligt ved temperaturen  $T_2$ . Forandringen i entropi er den samme ved alle fladerne  $Q_1$ ,

$Q_2$  og  $Q_1 + Q_2$  hvorfor deres energiindhold er direkte proportionalt med de absolutte temperaturer. Varmepumpens ydelseskoefficient er så som før nævnt defineret ved den varmeenergi som den afgiver divideret med den energimængde der bliver tilført for at udføre det arbejde som flytningen fra en lavere til en højere temperatur kræver og da energiindholdet er proportionalt med temperaturerne kan man definere ydelseskoefficienten som

$$c = \frac{T_2}{T_2 - T_1}$$

Dette er den størst tænkelige værdi af koefficienten mellem temperaturerne  $T_1$  og  $T_2$ . Man ser af ligningen at man kan forhøje ydelseskoefficienten ved at reducere værdien af  $T_2$  og forhøje  $T_1$ .

Det i fig. 9 viste kredsløb er alt for enkelt til at kunne svare til de praktiske forhold men det er dog tjenligt til den ovennævnte anvendelse, at fremstille ydelseskoefficientens teoretiske maksimalværdi. I den virkelige varmepumpe naar man aldrig denne høje værdi af ydelseskoefficienten idet kredsløbet er polytropisk og ikke adiabatisk, der behøves altid en temperaturdifference for at kunne udføre flytning af varmeenergi, og en kompressor har aldrig 100% virkningsgrad.

Paa fig. 16 er vist et kølekredsløb anvendt til opvarmning. Kølemediets varmeindhold per kg anvendes som enhed. Køleeffekten er 25,3 kg<sup>o</sup> per kg af kølemidlet naar systemet anvendes til køling. (De angivne tal er hentede fra tabeller over Freon 12). Kondensatoren maa afgive denne energimængde tillige med den energi kompressoren har modtaget.

Vi forudsætter at systemet blev anbragt i en bygning undtagen fordampere som blev anbragt udendørs hvor temperaturen var  $-12,5^{\circ}\text{C}$ , videre at der omkring kondensatoren blev anbragt en luftkanal hvor luften kunde strømme igennem og optage varmeenergi fra kondensatoren

hvorved dens temperatur kunde stige til henimod  $42,2^{\circ}\text{C}$  og derfra føres videre til opvarmning af bygningen. Den varmemængde som luften kan modtage er  $32,35 \text{ kg}^{\circ}$  per kg af systemets kølemedium. Heraf hidrører  $7,05 \text{ kg}^{\circ}$  fra den til drift af kompressoren modtagne energi, medens  $25,3 \text{ kg}^{\circ}$  bliver trukket fra luften undendørs gennem fordampere saaledes at den herfra udtrukne energimængde bliver pumpet fra  $+ 12,2^{\circ}\text{C}$  op til  $+ 42,2^{\circ}\text{C}$  hvorved den bliver anvendelig. Her skal vi ikke komme nærmere ind paa varmepumpens tekniske udførelse med de forbedringer af ydelseskoefficienten, som man efterhaanden har opnaaet bl.a. gennem indførelse af underkøling og overhedning af det cirkulerende medium. <sup>1)</sup>

#### Forsøg med varmepumpe til boligopvarmning.

Der hengik omkring trekvarter aarhundrede fra Lord Kelvins foredrag om muligheden af at benytte een og samme maskine baade til køling og opvarmning, indtil den skotske ingeniør Haldane gjorde nogle forsøg hermed i sit hus (1929). Under forsøgene kunde han baade anvende atmosfærisk luft og vand fra vandværket som varmekilde. Ved benyttelse af atmosfærisk luft kunde han opnaa en ydelseskoefficient paa 3 ved  $33,3^{\circ}\text{C}$  i kondensatoren, og koefficienten gik efterhaanden ned ved stigende temperatur indtil ca. 2 ved  $46^{\circ}\text{C}$  i kondensatoren.

Siden har der været udført mange eksperimenter med varmepumpen til boligopvarmning med det resultat at man under gunstige forhold kan opnaa udmærkede resultater.

Naar man benytter atm. luft som varmekilde vil vejrforholdene have stærk indflydelse paa resultatet. Benyttelse af atm. luft har

den ulempe at varmekilden har lavest temperatur naar man trænger  
1) Vi kan desangående henvise f.eks. til Heat pumps by Phil. Sporn, E.R. Ambrose and Th. Baumeister, 1947, forlag J.Wiley & Son, New York, Chapman & Hill, London.

störst varmemængde tilført hvorved ydelseskoefficienten bliver minimum og aarsbelastningsfaktoren bliver lav. I fugtigt klima har fordamperen tilbøjelighed til ansamling af rimfrost hvorved den maa afrites hyppigt og driften kan blive hoget usikker. Ved benyttelse af atm. luft som varmekilde for smaa villaer vælder det ogsaa nogen vanskelighed at gennemblæsning af den ret store luftmængde har tilbøjelighed til at medføre nogen støj. I større bygninger kan støjen lettere afdampes. Derimod har atm. luft den fordel at den altid er umiddelbart tilgængelig. Den egner sig godt i tørt klima med milde vintre. Men da mildt klima hovedsagelig forekommer paa steder der ligger ud til havet, i hvert fald paa de nordlige breddegrader, hvor der som regel er mest fugtighed, kan disse betingelser ofte være noget modstridende.

I de før omtalte forsøg af ingeniör Haldane var den gennemsnitlige ydelseskoefficient 2,5 naar han benyttede atm. luft og i andre forsøg fra de Forenede Stater hvor atm. luft blev benyttet i Pennsylvania og Kalifornien har man opnaaet ydelseskoefficienter paa 3 til 3,3 som er omtrent det samme som man ogsaa har ophaaet paa samme steder ved benyttelse af vand som varmekilde. Under saadanne klimaforhold vil man sandsynligvis faa den simpleste lösning af problemet ved benyttelse af atm. luft som varmekilde.

Vand kan benyttes som varmekilde hvor man kan faa det med mindst ca. 3°C under største kuldeperioder. Det vil sige grundvand, bröndvand eller vand fra dybe indsöer, flodmundinger hvor tidevand naar ind, havvand hvor man kan naa ud i tilstrækkelig afstand fra land o.s.v. Rindende vand i floder eller flade indsöer vil som regel være uanvendeligt da vandet her let gaar ned til 0° og isdannelse begynder paa fordamperen. Alm. vandværksvand vil have en temperatur paa mindst 4 á 5°C og vilde af den grund kunne udnyttes,

men paa den anden side vil den vandmængde der tiltrænges, hvis det skulde anvendes almindeligt som varmekilde, være saa stor at intet vandværk vilde kunne overtage det forbrug i en større maalestok uden meget store udvidelser. Ved flere forsøg i de Forenede Stater med varmepumpen blev der benyttet vandværksvand. Ved et saadant forsøg fra Indiana var vandets temperatur  $6^{\circ}\text{C}$  og vandforbruget 1575 liter per time. Fra denne vandmængde blev der trukket en varmemængde af  $6100 \text{ kg}^{\circ}$  per time d.v.s. knap  $4^{\circ}\text{C}$ . Ydelseskoefficienten var 3,3 og den totale varmeafgivelse  $8730 \text{ kg}^{\circ}$  per time for en mindre villa. I et andet forsøg var vandværksvandets temperatur  $18^{\circ}\text{C}$  og vandforbruget 790 liter per time. Den udtrukne varmemængde var  $7762 \text{ kg}^{\circ}$  per time eller knap  $10^{\circ}\text{C}$ . Ydelseskoefficienten var 4 og den totale varmeafgivende  $9825 \text{ kg}^{\circ}$  per time for en lidt større villa end i første tilfælde. Heraf ser man at vandets temperatur ikke alene har indvirkning paa ydelseskoefficienten, men ogsaa paa vandforbruget. I nordlige lande vil man som regel ikke kunne faa vand med højere temperatur end 5 á  $6^{\circ}\text{C}$  undtagen ved Atlanterhavet hvor Golfstrømmen gør sig gældende og hvor man kan opnaa 8 á  $9^{\circ}\text{C}$ . Havvandet fryser mellem  $-2$  og  $-3^{\circ}\text{C}$  saaledes at man kan trække desto større varmemængde ud. I Island vil man foruden havvandet mange steder kunne faa vand fra varmekilder fra  $8^{\circ}\text{C}$  og opover, men man kan ikke lede det langvejs saaledes at anvendelse heraf er henvist til den nærmeste omegn. Man kan derfor sige at det i almindelighed er forhundet med større vanskeligheder at anvende vand som varmekilde paa de nordlige breddegrader end man paa forhaand skulde have ventet efter dets almindelige udbredelse at domme.

Man kan i Island ogsaa benytte afløbsvand fra varmforsyningsanlæg der benytter vand fra naturlige varme kilder. Dette afløbsvand har den store fordel i den henseende at dets temperatur stiger



med faldende ydertemperatur. I et almindeligt centralvarmeanlæg stiger nemlig temperaturen paa baade tur og returlødnng ved stigende belastning og da returvandet tilsidst gaar ud som afløbsvand maaske med en temperatur af op til 40°C vil det egne sig i mange tilfælde til direkte varmeveksling for tillægsvarme og ogsaa til varmepumpe. Hvis man gennemførte den slags tillægsvarmeforsyning ved Reykjavík varmeværk vilde man ved hjælp af varmepumpen kunne faa mere end den dobbelte varmemængde ud under maksimal belastning. Varmepumpen vilde kunne arbejde med en meget høj ydelseskoefficient men muligvis vil de store omkostninger der er forbundet med udnyttelsen af denne varmemængde stille sagen for ugunstigt. Man har endnu ikke udført noget forsøg hermed.

Der er ogsaa blevet udført forsøg med at anvende jorden som varmekilde for varmepumpen. Et saadant forsøg er blevet udført i Indianapolis 1945 ogsaa til opvarmning af en bolig, en 5 værelses lejlighed. Der blev benyttet en 3 hestekrafts Servel kompressor med kondensator, fordamper og automatiske kontrolapparater. Fordamperen bestod af 3/4" kobberrør nedgravet 4 fod i jorden omkring huset. Rørene blev nedlagt i flere sektioner med ventiler saaledes at man kunde benytte forskellige længder ad gangen. Under forsøgene opnaede man en ydelseskoefficient paa 3,6 og belastningsfaktoren for hele varmesæsonen okt.- maj var 28%. Man holdt 22 á 23°C i stuerne hele tiden.

Paa nordligere breddegrader vil frost kunne gaa dybere ned i jorden og man maatte i saa fald grave rørene dybere i jord. Man bør være sikker paa at frosten ikke naar ned til fordamperspiralerne. I almindelighed vil man ikke kunne trække megen varme ud af jorden paa grund af den daarlige varmeledningsevne undtagen der hvor man har grundvandsløb.

I de mange varmekilde-distrikter i Island vil man som regel

kunne trække en hel del varme ud af jorden. Jordens temperatur er der forholdsvis høj kort under overfladen og den fryser aldrig, man har ogsaa forsøgt med godt resultat at pumpe vand ned i et borehul paa eet sted og trække det op varmt gennem et andet borehul. Paa disse steder har man altid rigeligt grundvand, hvilket forklarer resultatet. I et bjergrigt landskab hvor klippegrunden ligger meget nær overfladen vil man næppe kunne vente at anvende jorden for varmepumpeanlæg. Man kan derfor sige at der hvor jordbunden egner sig for det vil man kunne anvende den som varmekilde for varmepumpen, men ud fra de faa forsøg, som er udførte i Amerika, at dømme, ser det ud til at denne varmekilde er noget upaalidelig.

#### Omkostningerne ved varmepumpens indførelse.

Den største vanskelighed for varmepumpens anvendelse og udbredelse til opvarmning af boliger er de høje omkostninger i forhold til andre opvarmningsmetoder. I England angives varmepumpens pris til ca. 25£ per kw varmekapacitet. I de Forenede Stater har man dog overvundet denne vanskelighed hvor man har haft anvendelse for varmepumpen til afkøling om sommeren. Derved er belastningsfaktoren steget betragtelig saaledes at omkostningerne ved selve opvarmninger er blevet betydeligt gunstigere. Denne kombinerede anvendelse af varmepumpen vil dog ikke komme til udførelse under andre klimaforhold end saadanne hvor sommervarmen er ubehagelig høj.

Endvidere har man i Amerika forsøgt at bringe omkostningerne ned gennem massefabrikation. Der findes nogle firmaer i de Forenede Stater som forhandler sammenbyggede enheder beregnede for boliger af middelstørrelse og de der herskende klimatiske forhold. Man maa dog betragte det hele som endnu varende paa begyndelsesstadiet. American Gas & Electric Co. har udarbejdet specifikationer for standardiser-

ing af varmepumpeanlæg beregnet for massefabrikation. Heraf er der een type for luft til luft pumpe paa 12000 kg<sup>o</sup> varmeafgivelse i timen og ydelseskoefficient paa 3,35 hvis varmekilden er - 12°C atm. luft. En anden type er vand til luft pumpe paa 15000 kg<sup>o</sup> i timen med ydelseskoefficient paa 4,53 naar varmekilden har en temperatur paa + 10°C. Den tredje type er vandvarmer for husholdningsbrug i tre forskellige størrelser. Selv om man kan sige at det hele endnu er paa forsøgsstatiet er der ingen tvivl om at det vil lykkes Amerikanerne med deres massefabrikationsmetoder at naa frem til et for dem gunstigt resultat, men man maa ogsaa vente at de typer som de kommer til at bygge for egne klimatiske forhold ikke kan ventes at passe lige saa godt mange andre steder. Firmaet Droger Hansen i Los Angeles har bygget selvregulerende varmepumpeenheder under navn af Airtopia og monteret ca. 150 af den slags anlæg i 1946. De benytter atm. luft som varmekilde og holder automatisk konstant stuetemperatur og fugtighedsgrad hele aaret. De leveres i 4 størrelser med 3, 5, 7½ og 10 hestekrafts kompressorer og de er blevet anvendt i Kalifornien og i de nærliggende stater. Hvorledes de vilde virke under nordlige breddegrader er en anden sag.

De amerikanske forsøg viser at man kan regne varmepumpens ydelseskoefficient til 3,5 som gennemsnit i de Forenede Stater og at den til være equivalent med gas og oliefyring der, naar man kan faa elektriciteten til 1 cent per kwh. Den tilsvarende gas og oliepris er 6,2 cents per therm (25000 kg<sup>o</sup>) og 8,2 cents per gallon (3,75 liter). Paa den anden side er stokerfyrede kulkedler betydeligt billigere, thi med en kulpris paa 8 dollars per ton maatte varmepumpen komme op paa en ydelseskoefficient paa 6 med en elektricitetspris paa 1 cent per kwh. Prisen paa et varmepumpeanlæg i Amerika er omtrent den samme som paa et almindeligt luftkonditioneringsanlæg

saaledes at hovedspørgsmaalet for varmepumpens udbredelse bliver hvorvidt den kan faas gennem massefabrikation i bestemte standardtyper, der leveres i lighed med f. eks. isskabe nu. Hvis det lykkes er Amerikanerne ikke i tvivl om at den vil faa et stort marked baade i byer og paa landet.

#### Andre anvendelsesmuligheder.

Foruden til boligopvarmning anvender Amerikanerne varmepumpen i større stil for hoteller, forretninger, kontorer etc. samt store boligejendomme. Da bliver den altid anvendt i forbindelse med luftkonditionering og som regel ogsaa afkøling om sommeren. Rentabiliteten af saadanne anlæg har de fleste steder vist sig at være tilfredsstillende, men disse anlæg betragtes dog endnu for værende paa forsøgsstadiet.

En tilsvarende anvendelse af varmepumpen findes ogsaa i Europa. I England f. eks. findes nogle store anlæg for opvarmning af bygningkomplekser. Deriblandt kan anføres Norwich korporations elektriske afdelings kontorbygning paa 17000 m<sup>3</sup>. Der benyttes flodvand af 8°C. Ydelseskoefficienten af anlægget er 3,2.

I Svejts har varmepumpen fundet anvendelse mange steder baade i industri og til husopvarmning og for fjernvarmeværk. I industrien er det hovedsagelig ved lavtemperatur-fordampning f. eks. kondensering af mælk, frugtsaft m.m., ogsaa til fordampning af lage, samt mange lignende processer i den kemiske industri. Firmaet Brown Boveri har bygget over 30 af den slags anlæg i de sidste 20 aar. I begyndelsen havde de vanskelighed med at konkurrere med flertrins fordampningsapparater, men nu mener man at varmepumpen vil holde stand over for disse paa grund af produkternes højere kvalitet, de bliver helt fri for forbrændning og en bedre vare. Ved en saadan

anvendelse af varmepumpen bliver belastningsfaktoren meget høj hvorfor kapitalomkostningerne ikke gør sig stærkt gældende i produkternes enhedspris.

I Island forventes at varmepumpen vil kunne få stor betydning i landbruget ved tørring af græs, grøntsager og korn. Kornavl er i Island ganske vist endnu paa forsøgsstadium. Paa grund af de mange regndage som følger med det nordatlantiske klima er det ofte forbundet med store vanskeligheder at tørre hø og korn ude i marken. I særdeleshed kornet, idet det bliver saa sent modent at man kommer ind i efteraaret med betydelig større nedbørsmængde end tidligere paa sommeren. Ved benyttelse af varmepumpen til tørringen kan man baade benytte luft og vand som varmekilde idet begge har relativt høj temperatur, og da man kun behøver forholdsvis ringe temperaturstigning vil man kunne erholde en meget høj ydelsesfaktor. Man kan ogsaa anvende samme varmepumpe for boligopvarmning om vinteren og paa denne maade opnaa en forholdsvis høj aarlig belastningsfaktor. Varmekilden bør i saa fald naturligvis vælges med passende hensyn til forholdene i vintertiden. Ved benyttelse af varmepumpen paa denne maade i landbruget vil man ogsaa gøre det lettere at løse elektrificeringsproblemet i den spredte bebyggelse idet forbrugernes belastningsforhold vil stille sig betydeligt gunstigere. Man har i de senere aar gjort en hel del forsøg med hőtørring i landbruget og deriblandt anvendt varmt vand fra varme kilder. Man er endnu ikke naaet saa vidt at have anstillet forsøg med varmepumpen, men der vil neppe gaa lang tid før det vil blive gjort, hvis den kan købes for en lavere pris end den har i dag.

Det første varmepumpeanlæg som blev udført i Svejts blev udført af firmaet Escher Wyss. Det blev udført for folkebad. Der blev opsat to pumper, een for et svømmebassin og en anden for husopvarmning. Firmaet har siden udført flere lignende anlæg deriblandt et

som fordamper 1000 tons vand i timen, hvortil der tiltrænges 50.000 kw.

De svejtsiske fabrikker mener dog at det vil være tvivlsomt om varmpumpen vil faa nogen videre udbredelse til boligopvarmning, naar prisen paa almindeligt brændsel falder igen. Derfor har de indledet en række forsøg for at undersøge paa hvilke felter navnlig varmpumpen kan ventes at holde stand mod andre opvarmningsmetoder og under hvilke forhold den bedst vil egne sig. Her kan vi anføre et forsøg udført af Escher Wyss hvor varmpumpen blev anvendt til forsyning af grundbelastningen i et varmenlæg sammen med kedelanlæg for levering af spidsbelastningen. Det beror paa vejrforholdene paa hvert sted hvorledes varmebelastningen deles mellem grundbelastning og spidsbelastning. Naar man anvender varmpumpen alene for den fulde opvarmning, kan den have en aarsbelastningsfaktor tilsvarende 2000 á 2500 timer over varmesæsonen hvis man varmer hele døgnet rundt. Hvis man derimod varmer mindre op om natten med deraf følgende større belastningsspids om morgenen, vil aarsbelastningsfaktoren blive reduceret betragteligt. Benytter man derimod varmpumpen for grundbelastning i forbindelse med kedelanlæg og beregner grundbelastningen fra 0°C og opover da vil man efter forholdene i Reykjavík 1. okt. 1945 til 1. okt. 1946 tiltrænge en grundvarmeeffekt paa 54,6% af maksimum. Med denne vil man kunne producere 72% af den tiltrængte varmemængde. Beregner man grundopvarmningen fra - 4°C tiltrænges en varmeeffekt paa 61,5% af maksimum, og denne effekt kan producere 90,5% af hele varmebehovet. Spidsbelastningen ned til - 15°C maa da have en effekt af 38,5% af maksimum og maa dække 9,5% af varmebehovet. Et kedelanlæg for levering af denne spidsbelastning vilde man dog som regel bygge for levering af hele den tiltrængte varmeeffekt indtil - 15°C og saaledes have den staaende som reserve.



Det samlede anlæg vilde i saa fald kunne levere 161,5% af maksimum, d.v.s. være i stand til at tilfredsstille behovet ned til noget under - 20°C.

I almindelighed vil forskellen paa en varm og en kold vinter ikke mærkes noget videre paa grundbelastningen. Dog vil man i Island mærke større forskel herpaa, beroende paa hvorvidt sommeren er relativt varm eller kold, end man vilde erfare paa sydligere breddegrader, hvor man ikke tiltrænger nogen sommeropvarmning. Paa den anden side vil spidsbelastningen blive meget varierende efter vinterens streng-  
hed. Naar varmepumpen anvendes til forsyning af grundbelastningen vil den derfor gaa med nogenlunde jævn belastning hver opvarmnings-  
sæson og med relativt høj årlig belastningsfaktor paa 4, og i Island med tilhørende sommeropvarmning endog en del mere.

I det foran omtalte forsøg af firmaet Escher Wyss i Zürich's Amtsbygninger, hvor varmepumpen blev anvendt til forsyning af grund-  
belastningen var anlægget udført for vandcirkulation med op til 90°C tilførselstemperatur under fuld belastning. Hvis man benyttede varme  
pumpen ved 40°C kunde den dække behovet indtil + 6,3°C ydertemperatur  
tilsvarende 21% af maksimumsbehovet. Ved 50°C paa varmepumpen kunde  
den dække behovet indtil - 1°C tilsvarende 36% af maksimumsbehovet.  
Naar varmepumpen arbejdede sammen med et kedelanlæg kunde den for-  
syne 88% af varmebehovet i sæsonen. Ydelseskoefficienten var 4 under  
ugunstigste forhold. Disse forhold er af stor betydning for at vise  
varmepumpens muligheder under saadanne forhold som sikkert vil kunne  
passe mange andre steder ogsaa.

Paa den anden side kan man ingenlunde paa forhaand gaa ud fra,  
at anvendelsen af varmepumpen til grundopvarmning i forbindelse med  
kedelanlæg for tillægsopvarmning vil stille sig fordelagtigt over  
for varmepumpens anvendelse for fuld opvarmning. Fra saadanne for-  
søg udført i Norge med direkte elektrisk opvarmning ser det ud til

at en saadan tillægsopvarmning ikke er økonomisk i sammenligning med fuld elektrisk opvarmning. Grunden til dette resultat er den lave pris paa elektricitet man har i Norge. Det er dog ikke klart hvorvidt en saa billig pris paa elektricitet til opvarmning kan oprettholdes, hvis man regner med at den elektriske opvarmning bliver almindelig indført, hvorved ledningsnet og kraftproduktion maa forstærkes og udvides i stor maalestok, alene for at kunne tilfredsstille varmebehovet.

### Varmepumpens drivkraft.

Efter at have berørt nogle af de mange forsøg som er blevet udført med varmepumpen maa vi ogsaa nærmere omtale den elektriske kraft for varmepumpens drift. Hvis den kommer fra vandkraft vil virkningsgraden af den leverede elektriske kraft fra vandkraften multipliceres med varmepumpens ydelseskoefficient hvorved man kan opnaa en ofte mangedobbelt udnyttelse af vandkraften for forskellige lavtemperatur-opvarmningsformaal i forhold til de direkte opvarmningsmetoder, og det vil kunne faa stor betydning i fremtiden hvis fortsat vandkraftudbygning bliver relativt vanskeligere end den har været og ikke mindst der hvor de eksisterende vandkraftressurser er smaa.

Hvis elektriciteten bliver produceret ved kul eller olie er spørgsmaalet ikke helt saa enkelt. Ved kraftmaskinen vil kun en del af energien forvandles til motorisk kraft, som vil kunne anvendes til drift af en varmepumpes kompressor. Antages denne del at være 25% af brændselets energi og varmepumpen at have ydelseskoefficient paa 4 vil man saaledes kunne faa lige saa megen anvendelig varmeenergi som der fandtes oprindeligt i brændselet. Ved dieseldrift kan man desuden ofte finde anvendelse for den anden del af oliens energi til opvarmning og saaledes faa mere end 100% udnyttelse. Ved dampdrift

vil det som regel ikke betale sig at forsøge større udnyttelse af energien paa denne maade idet man lettere vil kunne benytte damp direkte til opvarmningsformaal.

Hvis man udnytter samme brændsel til forbrænding direkte paa forbrugsstedet vil man højst faa ca. 80% af varmeenergien udnyttet i stedet for 100% med varmepumpen, men den direkte forbrænding vil kræve betydelig mindre anlægsudgifter og derfor som regel blive økonomisk fordelagtigere. Man maa dog ofte tage i betragtning at brændsel som man anvender i stor stil til et kraftværk vil kunne købes betydeligt billigere end det som anvendes til forbrænding direkte paa forbrugsstederne.

#### Kondensatorens temperatur.

Det skal endvidere anføres at kondensatorens temperatur ved varmepumpen har meget stor indflydelse paa dennes ydelseskoefficient. Hvis man anvender den i forbindelse med et almindeligt centralvarmeanlæg med ribberadiatorer, maa man gaa op til en temperatur paa 65°C, hvorved det nødvendige tryk vil blive saa højt at f. eks. ammoniak som varmeformidler vil blive uanvendeligt. Men man har andre medier som Freon og det er sandsynligt at der vil fremkomme endnu andre velegnede medier til varmepumpen der vil have betydelig lavere arbejds-tryk, men alligevel vil ydelseskoefficienten blive lav ved en saa høj temperatur paa kondensatoren, saaledes at man kan sige at det ikke vil betale sig at anvende varmepumpen paa denne maade i forbindelse med et central varmeanlæg. Det vil blive betydeligt gunstigere at anvende den i forbindelse med panelovne eller andre varmeanlæg, som anvender lavere temperatur paa systemet som 50°C eller mindre, og man vil faa en endnu bedre ydelseskoefficient ved at opvarme selve luften og blæse den ind med en temperatur paa 22°C til

forbrugsstedet. Det er denne metode som bliver hyppigst brugt af Amerikanerne og som hos dem giver en ydelseskoefficient omkring 3,5 ved fuld opvarmning.

#### 4. del. De varme kilders betydning for elektricitetsforsyningen.

##### Slutbemærkninger.

##### De varme kilders betydning som kraftkilde.

I dette foredrags 1. del gives der en oversigt over Islands varme kilder, ifølge hvilken man ansløg den totale varmemængde der strømmer op til jordens overflade i Islands samtlige geotermiske omraader til 2 á 3 milliarder kg<sup>o</sup> i timen. De boringer, som er foretaget i Island i de foregaaende aar, og den forøgelse af varmeudstrømningen, der er fremkaldt ved disse, er for ringe til at have nogen indvirkning paa dette tal, og den anslaaede varmemængde kan betragtes som Islands varme kilders totale, "naturlige" varmeydelse. Denne naturlige varmeudstrømning fordeler sig, anslagsvis, saaledes: ca. 375 mill. kg<sup>o</sup>/time kommer fra varmtvandskilder af temperatur hovedsagelig mellem 60 og 100<sup>o</sup>, ca. 600 mill. kg<sup>o</sup>/time strømmer ud i damp fra dampkilderne, medens ca. 1500 mill. kg<sup>o</sup>/time afgives, dels ved simpel varmeoverføring til luften fra jordoverfladen i de varme omraader, dels "skylles bort" med grundvandet og afgives andre steder ved lavere temperaturer.

Man har nu, dels ud fra de erfaringer man har gjort ved de i Island allerede foretagne boringer, dels ad anden vej, søgt at danne sig en mening om, hvorvidt man vil være i stand til ved boringer, at forøge varmeudstrømningen udover den naturlige udstrømning. Man er foreløbig kommet til det resultat, at man ved omfangsrige boringer

vil kunne tredoble udströmningen af saavel varmt vand som damp.

Paa den anden side, har störste delen af landets geotermiske omraader en saadan beliggenhed, at udbygning af disse ikke ansee at ville faa praktisk betydning i en overskuelig fremtid. I öjeblikket regner man, at ca.  $1/3$  af landets geotermiske omraader kan udnyttes.

Det vil igen sige, at man i öjeblikket anslaar den totale varme-effekt, der udfra praktiske og ökonomiske hensyn kan ventes at blive udnyttet, til ca. 1 milliard  $kg^{\circ}$ /time.

Denne varmemængde svarer til omkring 200 tons kul i timen, hvis man regner med  $5000 kg^{\circ}$  pr. kg. kul. Gaar man ud fra at man kan opnaa en benyttelsestid for jorddampen af 7500 timer i aaret vil denne aarlige varmeudydelse svare til ca.  $1\ 1/2$  milj. tons kul. For at antyde størrelsesforhold skal nævnes at Stor-Britaniens aarsproduktion af kul er ca. fire tons pr. indbygger, medens den anslagsvis udnytbare varmemængde fra de islandske varme kilder modsvarer if. ovenstaaende ca. 12 tons kul pr. indbygger i Island eller det tredobbelte af Englands kulproduktion regnet efter indbyggerantal. Her maa man selvfølgelig samtidig ihukomme, at som varme- og energikilder er kullene paa den ene side og de varme kilder paa den anden af ganske forskellig art og kvalitet og en direkte sammenligning derimellem derfor ikke tilladelig.

Sammenligner man de varme kilder med Islands anden hovedenergikilde, vandkraften, ser man fölgende: Landets totala vandkraft anslaaes til 4 millioner hestekræfter. Omregnet til varmeeffekt udgör vandkraften saaledes omkring  $2\ 1/2$  milliard  $kg^{\circ}$ /time, eller to og en halv gang det tal, som vi kom til for den udnytbare effekt af de varme kilder. Men tages der hensyn til sandsynlig aarlig benyttelsestid maa Islands varme kilder siges at udgöre en energikilde af lignende størrelse som landets vandkraft.

Ser man nu nærmere paa, hvilken betydning de varme kilder kan have for landets kraftproduktion, viser det sig, at den effekt man kan vente at opnaa ved udnyttelsen af jorrdampen til elektricitetsproduktion, ifølge de forannævnte forudsætninger næppe udgør mere end omkring 100000 hestekræfter. Man ser umiddelbart ved sammenligning med de 4 mill. hk. i vandkraft, at som kraftkilde har Islands varme kilder for ringe effekt til at kunne faa nogen afgørende betydning for landets kraftproduktion eller kraftøkonomi. Til yderligere sammenligning tjener, at den samlede effekt af Islands elektricitetsværker i øjeblikket udgør ca. 60000 hk, hvoraf de 5/6 dele er vandkraft medens videreudbygning af ca. 70000 hk. vandkraft dels staar paa dels er umiddelbart forestaaende.

Der melder sig da det spørgsmaal hvilke motiver kunde der være for anvendelse af jorrdamp til kraftproduktion fremfor eller i stedet for vandkraft. Som tænkelige motiver kan nævnes: 1. At jorrdamp giver en lavere produktionspris end vandkraften. 2. Jorddampforekomster i de landsdele, hvor der ikke forefindes tilstækkeligt af udbygbar vandkraft kunde motivere en udbygning af jorrdampkilderne til besparelse af kraftoverføringsanlæg mellem enkelte landsdele. 3. Paa et tidspunkt da man ellers var nødt til at skride til bygning af vandkraftanlæg af uforholdsmæssig størrelse og med tilsvarende store kapitaludgifter, vilde man eventuelt foreløbig tilfredsstille kraftbehovet ved et mindre jorrdampkraftværk som krævede en væsentlig mindre kapitalanbringelse. 4. I forbindelse med udnyttelse af jorrdampen til industrielt brug kunde der muligvis tænkes oprettelsen af jorrdampkraftværk til top- og reservedrift for den almindelige kraftforsyning, idet industrianlægget da maatte kunne frakobles i de tider jorrdampkraftværket er i drift. Dette kan især tænkes at have betydning, hvor der ikke findes vandkraftanlæg med nogen videre



vandreservoarer. 5. Af andre tænkelige motiver skal endnu kun nævnes en kombination af kraftproduktion og udvinding af værdifulde luftarter som følger med dampen op af jorden. Om saadanne luftarter tilstedeværelse har man dog endnu kun meget ufuldstændig kvantitativ viden. De anførte motiver skal nu diskuteres lidt nærmere.

Spørgsmaalet om produktionsomkostninger ved frembringelse af elektricitet i jorrdampkraftværk er netop eet af de centrale spørgsmål i de geotermiske undersøgelser der idag foretages i Island. Men som nævnt i denne afhandlings første del venter man i øjeblikket ikke, at produktionsprisen her vil blive væsentlig lavere end ved vandkraft. De usikre momenter er bl. a. boreomkostninger, omkostningerne ved dampledningsanlæg som er afhængige af, hvor koncentrerede de underjordiske dampressurcer vil vise sig at være, korrosionsforhold og vedligeholdelse af borehuller, ledningsanlæg og varmeoverføringsanlæg. For de aktuelle udbygninger af vandkraft i Island kalkulerer man i øjeblikket med anlægsomkostninger paa fra 1000 til 1500 kroner pr.hk. fuldt udbygget anlæg. Som foran nævnt anslaaes anlægsomkostninger af et jorrdampkraftværk af størrelsen 15000 - 35000 hk til 900 - 1200 kroner pr. hk. installeret maskineffekt, altsaa 10 á 20% lavere end for vandkraftens vedkommende, medens paa den anden side driftsomkostninger og vedligeholdelse vil blive relativt noget højere end hos vandkraftværkerne.

Hvad det andet moment angaar, træffer det sig saadan, at de varme kilder, som anses bedst egnet til udbygning, er beliggende netop i de egne af landet, hvor den største del af landets vandkraft ogsaa findes. De varme kilder kan derfor ikke i nogen videre grad ventes at faa betydning som lokale kraftkilder til besparelse af kraftoverføringsanlæg.

Det tredje punkt par man netop haft for øje for Reykjavík og det sydvestlige Islands vedkommende, og der er opstillet et fore-

løbigt kraftforsyningsprogram for denne landsdel, for et tidsrum af ca. 20 aar, hvori indgaar trinvis udbygning af dampkilder, til en samlet effekt af 16000 hk, ind imellem og samtidig med udbygning af vandkraft til en samlet effekt af 85.000 hk.

Omtale af mulighederne for anvendelsen af jorrdampkraftværk til topdrift og som reserveanlæg i forbindelse med dampens udnyttelse til industrielt brug har maaske mere teoretisk end praktisk interesse. For jorrdampens vedkommende er der ikke tale om nogen magasineringsmuligheder og en høj aarlig belastningsfaktor paa dampanlægget vil være af afgørende betydning. En kombination af kraftværk til topdrift og en industriel virksomhed, som kan gøre brug af sekunda varme, kan give en god belastningsfaktor, samtidig med at kraftværkets anlægsomkostninger bliver forholdsvis lave i tilfælde af den industrielle virksomhed for en stor del bærer omkostningerne ved boring og dampledningsanlæg.

Den gang man i Island for alvor begyndte at studere mulighederne for praktisk udnyttelse af landets varme kilder, havde man sin opmærksomhed for en stor del rettet paa disses betydning som kraftkilde. Men efterhaanden som undersøgelserne af de geotermiske omraader er skredet frem, og man har faaet en bedre oversigt over omraadernes varmekapacitet saavel som de forskellige andre forhold, som delvis er omtalt her foran, er man blevet mere og mere spektisk med hensyn til kildernes betydning for kraftproduktionen, medens opmærksomheden er i stigende grad blevet rettet mod mulighederne for en direkte anvendelse af kildernes varmeenergi, hvilke nu skal ganske kort omtales.

Men først skal der under henvisning til det foran anførte paapeges at de hoved resurser for kraft og energi man har at regne med i Island saaledes tilnærmelsesvis udgør

	Totalt:	Pr.indb. efter nuvæ.r.indb.antall:
I vandkraft	2.500.000 kw	18 kw.
" varmeenergi, væsentlig bundet til damp med temperatur mellem 100 og 200°	8000 milliarder kg°/aar	60 millioner kg°/aar

### Direkte anvendelse af kildernes varmeenergi.

I øjeblikket anvendes varmeenergien fra landets varme kilder hovedsagelig til følgende formaal:

1. Til rumopvarmning og til hjemmenes varmtvandsforsyning.
2. Til vaskerier og til vaskning af uld.
3. Til badeanstalter og svømmehaller.
4. Til opvarmning af drivhuse.
5. Til tørring af uld, græs, fisk og fiskeprodukter, tang, grøntsager o.s.v.

Energiforbruget er dog ret ubetydeligt i forhold til den totale varmeudstrømning. Af størst omfang og tillige af størst betydning er vel rumopvarmningen, hvori Reykjavík varmeværk har den største andel, men af stor betydning er ogsaa opvarmningen af drivhuse. Løst anslaaet er energiforbruget til de under punkt 1. til 5. nævnte formaal i øjeblikket gennemsnitlig i maximaldøgnet 60 million kg° i timen. Man kan formode, at dette, i løbet af tyve aar, vil blive to á tre dobbelt, og det vil dog stadig udgøre en forholdsvis ringe del af den varmeenergi som beregnes at kunne fremskaffes ved boringer.

Man har da i den sidste tid, mere og mere henvendt sin opmærksomhed paa mulighederne for at udnytte varmeenergien fra de geotermiske omraader i forholdsvis stor skala, til tørring og indampning i forbindelse med visse industrier, væsentlig kemisk

industri. Disse overvejelser er dog endnu paa saa tidligt et stadium at jeg ikke ser mig i stand til at komme nærmere ind paa den side af sagen her. Blot vil jeg nævne, at de muligheder, man her öjner er for en stor del knyttet til elektrokemisk industri, og vil derfor samtidig kræve elektrisk energi i forholdsvis store mængder.

#### De varme kilders indvirkning paa elektricitetsforbruget.

I Island findes der ingen naturlige forekomster af kul eller olie. Flere steder er man ganske vist stødt paa brunkulslejer, og desuden findes der ret udstrakte tørvemoser, men for begge dele gælder, at kvaliteten er for lav og omkostningerne ved udvinding og transport for store, til at man kan regne med at disse forekomster vil faa nogen betydning for dækning af nationens brændselsbehov. Man er derfor hovedsagelig henvist til indført brændsel, kul og olie, som paa grund af lang transport er temmelig kostbart. Man har derfor fra først af regnet med et større forbrug i Island af elektricitet til opvarmning, end der almindeligvis forekommer i andre lande. Erfaringen har ogsaa vist, at der er stadig meget stærk efterspørgsel efter elektricitet, saavel til rumopvarmning som til dækning af andet varmebehov. Paa de anvendelsesomraader, hvor varmen kan anvendes ved temperaturer paa 100° og derunder, vil adgang til varme fra de varme kilder selvsagt formindske efterspørgsel efter elektricitet til varmebrug.

I dette foredrags 2. del, blev disse forhold ret udførligt klarlagt for hovedstaden Reykjavíks vedkommende. Byen har haft elektricitetsforsyning fra vandkraftværker i over 25 aar, men har desuden, i de sidste tre og et halvt aar, haft et fjernvarmeværk der forsyner ca. to tredjedele af byens befolkning foruden det mindre pionæranlæg, som kom i drift i aaret 1930. Man havde ventet, at et almindeligt varmeværk fra de varme kilder vilde reducere

efterspørgsel efter elektricitet med 50% hvad effektbehov angaar, og med 64% hvad angaar energikonsumet. Ved en bearbejdelse af driftsresultaterne fra de sidste 3 aar paavises der, at disse forhaandskalkulationer har været nogenlunde rigtige, hvad angaar den absolute størrelse af den af varmekærket overtagne effekt. Men samtidig viser det sig, at varmekærkets oprettelse paa indirekte maade har bidraget til forøgelse af det elektriske effektbehov, nemlig dels til dækning af spidsbelastning af varmforsyningen, dels ved at forøge efterspørgsel efter, og fremkalde krav paa, elektrisk rumopvarmning i byens yderdistrikter. Disse forhold, som er blevet ret udførligt beskrevet for Reykjavíks vedkommende, kan man nok betegne som ret typiske, og de maa anses for gældende, ogsaa for andre byer der har adgang til varme kilder for opvarmning.

Naar man nu tillige betragter muligheder, som den billige varme fra de varme kilder synes at aabne for oprettelsen af visse industrier, hvoriblandt elektrokemisk industri der kræver forholdsvis megen elektrisk energi, maa man slutte, at tilstedeværelsen af de varme kilder i Island ikke vil betyde en indskrænkning af efterspørgsel efter elektricitet, men snarere, til syvende og sidst, endda bevirke et større konsum end ellers af elektrisk energi, og derigennem ogsaa en forøget udnyttelse af landets vandkraft.

### Varmpumpen.

Som omtalt foran, gør varmekærk fra varme kilder ikke spørgsmaalet om elektrisk rumopvarmning mindre aktuelt end ellers, tværtimod. Mulighederne for elektrisk opvarmning i bygninger, dels som supplement til varmekærk, dels for fuldstændig opvarmning, er derfor blevet ret udførligt omtalt. I omtalen af de forskellige metoder i opvarmning ved elektricitet har den indirekte metode med varmpumpe faaet en særskilt og omfangsrig plads. Dette menes at være berett-

iget, af de store muligheder som anvendelsen af varmepumpen teoretisk set synes at indebære, og af den store interesse der vises for denne opvarmningsmetode i de senere aar i de fleste lande og blandt andet har ytret sig under forberedelserne af dette nordiske elektricitetsværkers fællesmøde. Det maa paa den anden side stærkt fremhæves, at anvendelse af varmepumpe for opvarmning af bygninger er endnu paa forsøgsstadium. Endvidere, at de fleste forsøg, som hidtil er gjort med varmepumpe, er foretaget under forhold, som er forskellige fra forholdene i Island, saavel som i de andre nordiske lande. Man kan ikke vente, at kunne overføre resultaterne af saadanne forsøg direkte til nordiske forhold.

Med hensyn til de mange fremtidsmuligheder, der er forbundne med anvendelsen af varmepumper paa flere felter, selvom almindeligt brændsel kommer til at falde i pris fra det nuværende høje prisniveau, vil det være af stor betydning, at man optager videre forsøg med varmepumpernes anvendelsesmuligheder i de forskellige nordiske lande. Et samarbejde mellem landene paa dette omraade vilde uden tvivl være fordelagtigt.

Trykt text til figurerne.

- Fig. 1: Varmtvandskildernes antal i de forskellige temperatur omraader.
- Fig. 2: Varmtvandskildernes totale udstrømmende vandmængde.
- Fig. 3: De enkelte varmtvandskilders udstrømmende vandmængde i relation til vandets temperatur.
- Fig. 4: Varmtvandskildernes totale varmeudvikling indenfor hvert enkelt temperaturomraade.
- Fig. 5: (Ingen)
- Fig. 6: Skematiserede forhold ved varmekilder.
- Fig. 7: (Ingen)
- Fig. 8: Varighedskurve for vandforbrug ved Reykjavik varmeværk i aaret okt. 1945-46.
- Fig. 9: (Ingen)
- Fig.10: (Ingen)
- Fig.11: Procentkurve for energiforbruget.
- Fig.12: (Ingen)
- Fig.13: (Ingen)
- Fig.14: Mekanisk analogi af varmepumpens virkemaade.
- Fig.15: Temperatur-entropi diagram.
- Fig.16: Kølekredsløb anvendt til opvarmning.



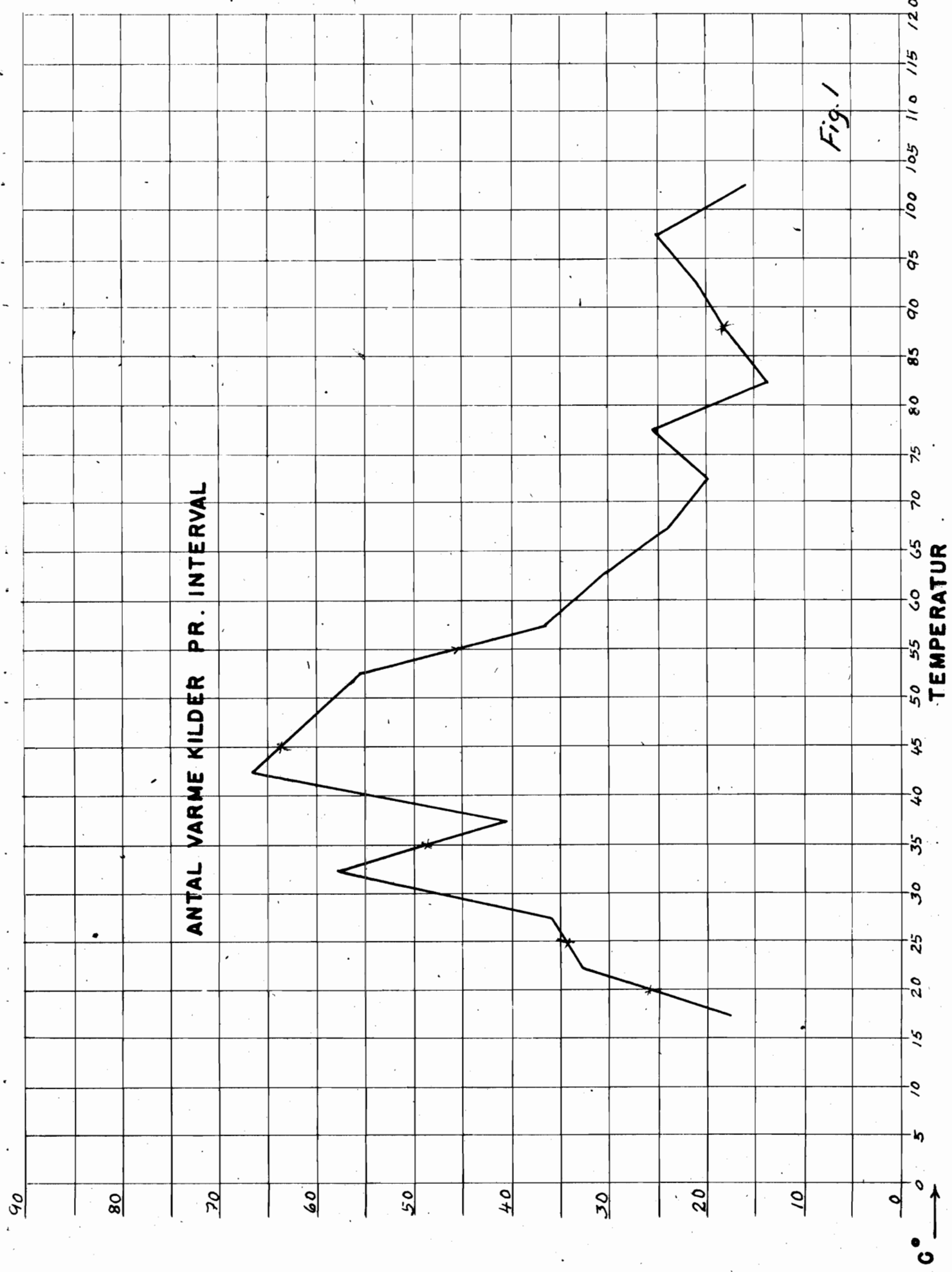


Fig. 1

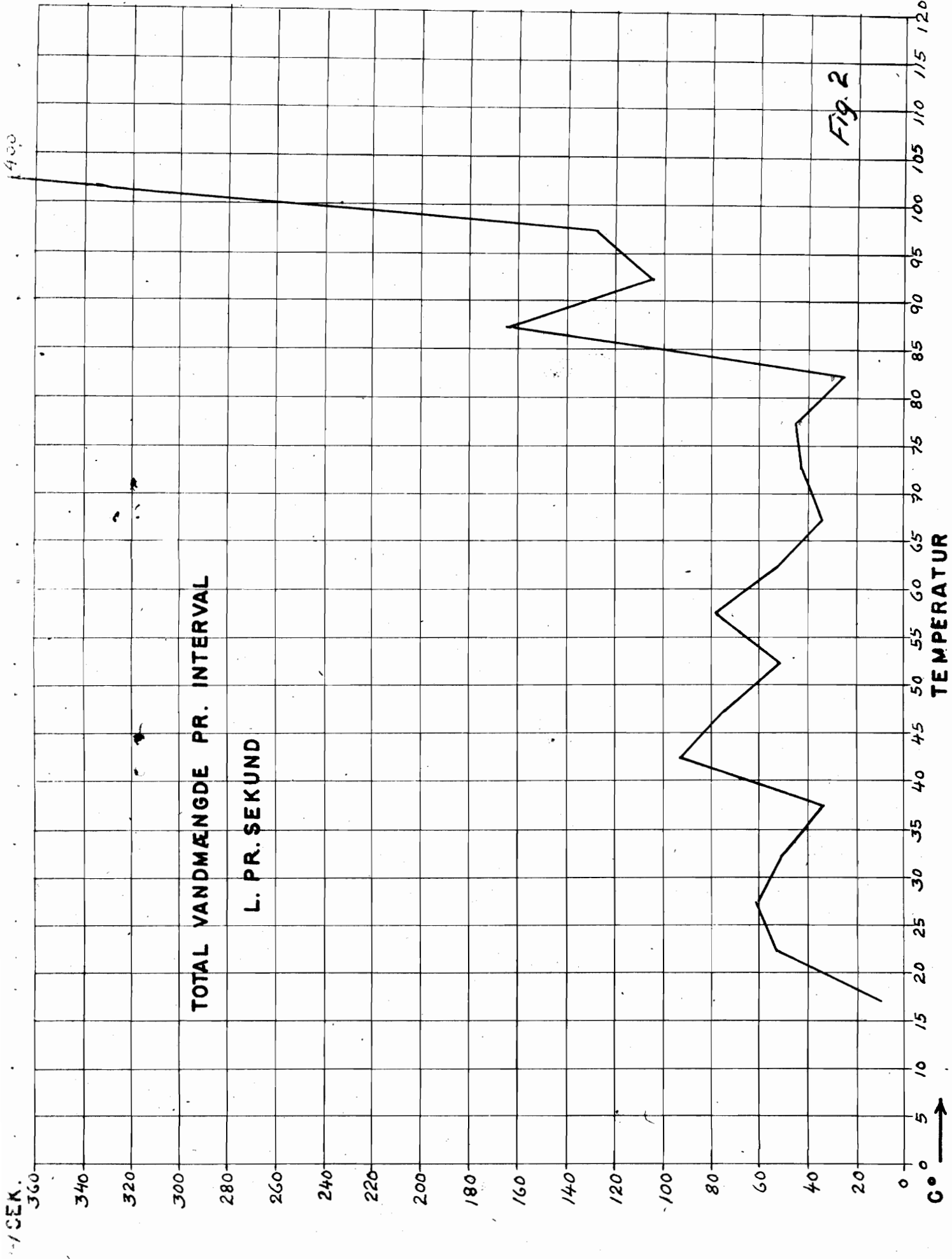


Fig. 2

L/SEK

DE VARME KILDERS MIDDELKAPACITET PR. INTERVAL

M/

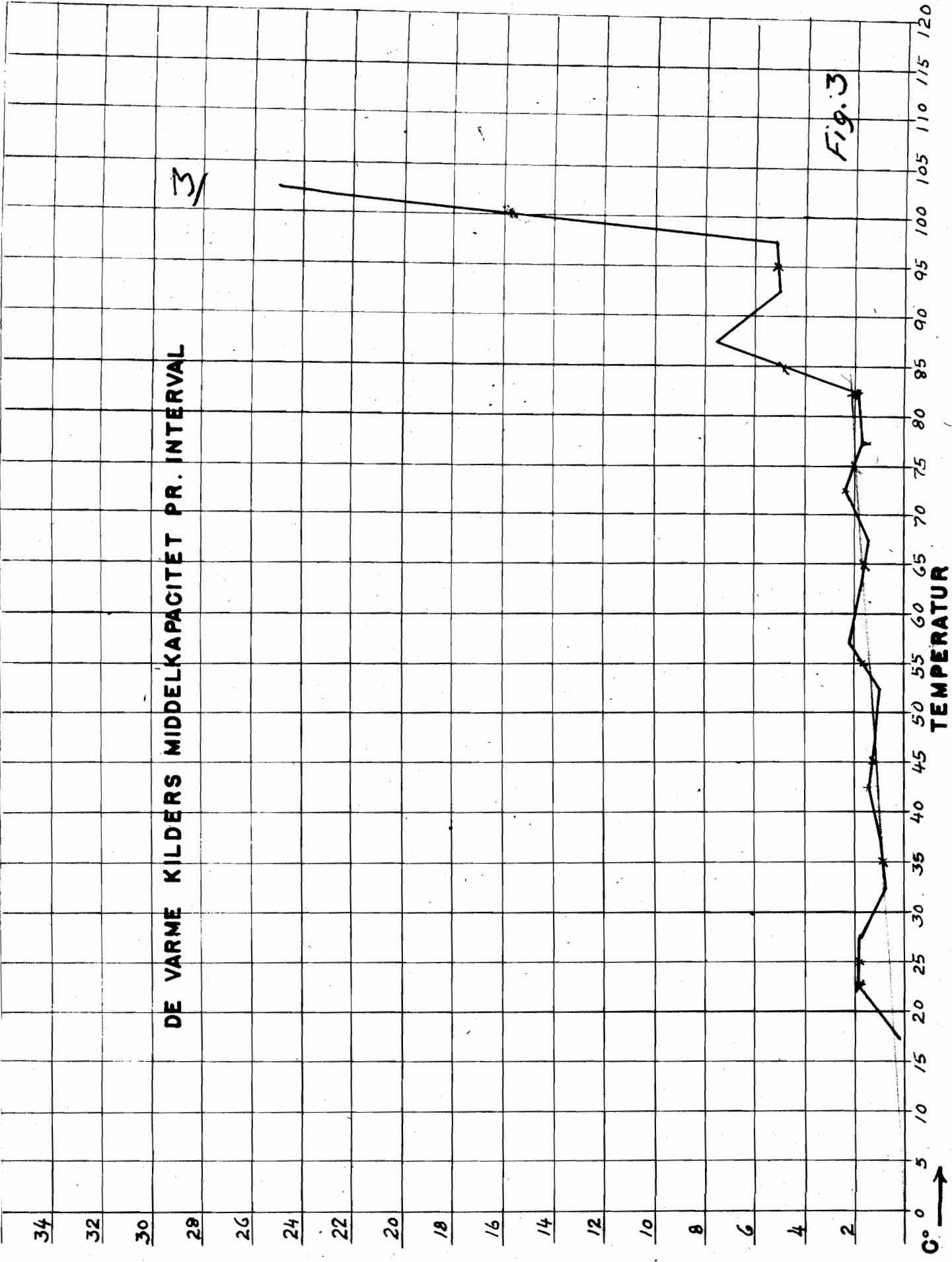


Fig. 3

Fig. 3

h

170 x 10<sup>6</sup>

DE VARME KILDERS VARMEUDVIKLING  
PR. INTERVAL

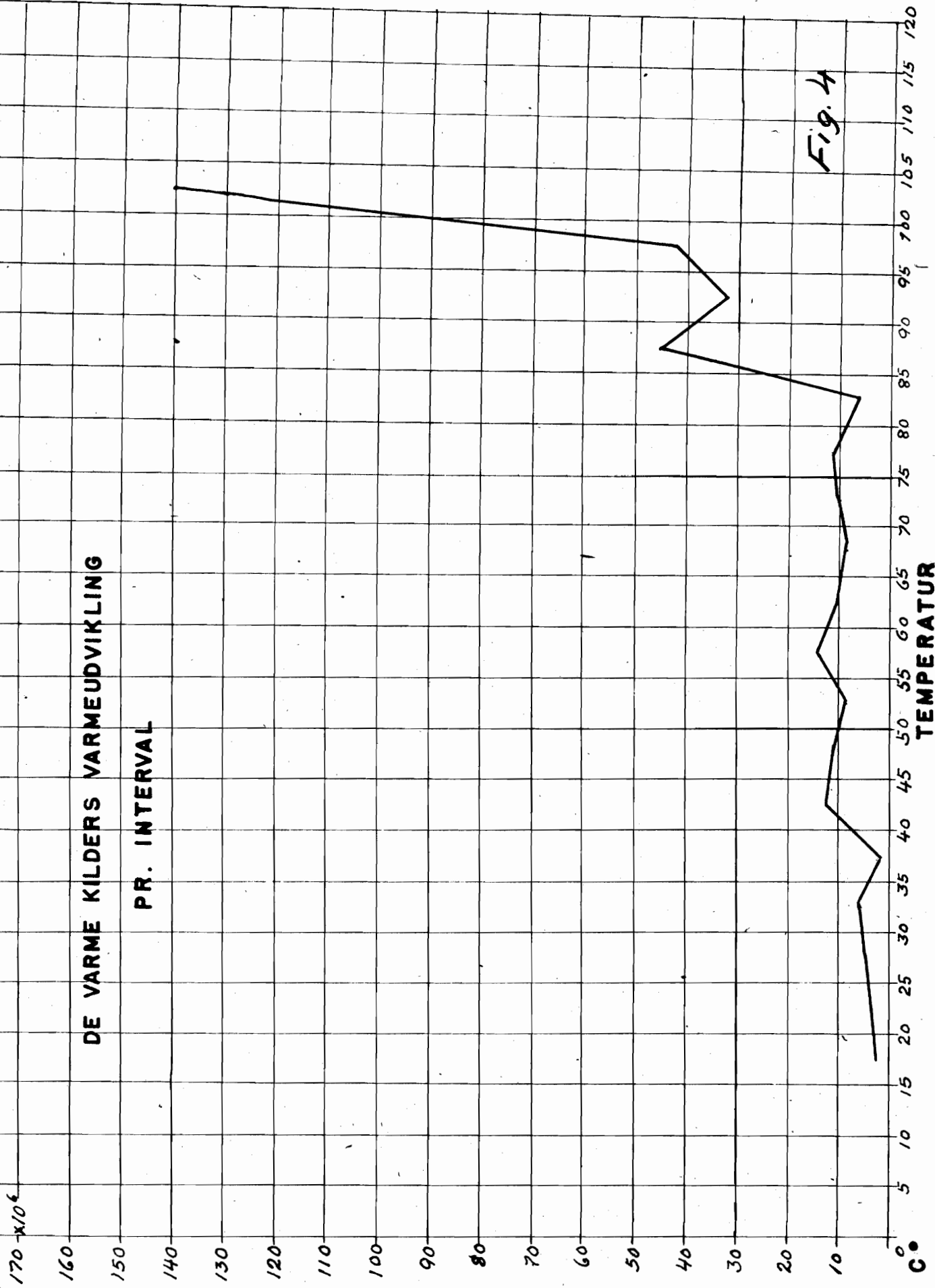
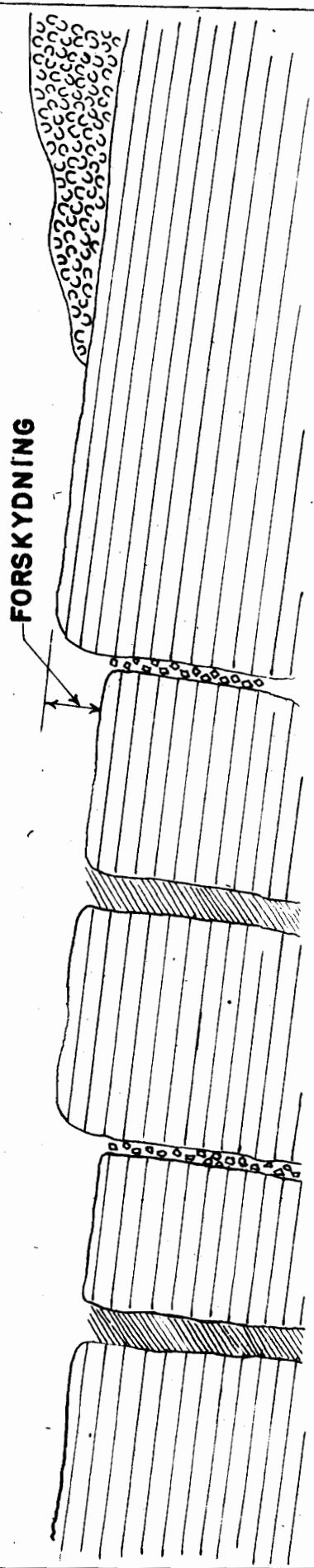


Fig. 4

Fig. 4



TYPISKE TEKTONISKE FORHOLD I ISLAND





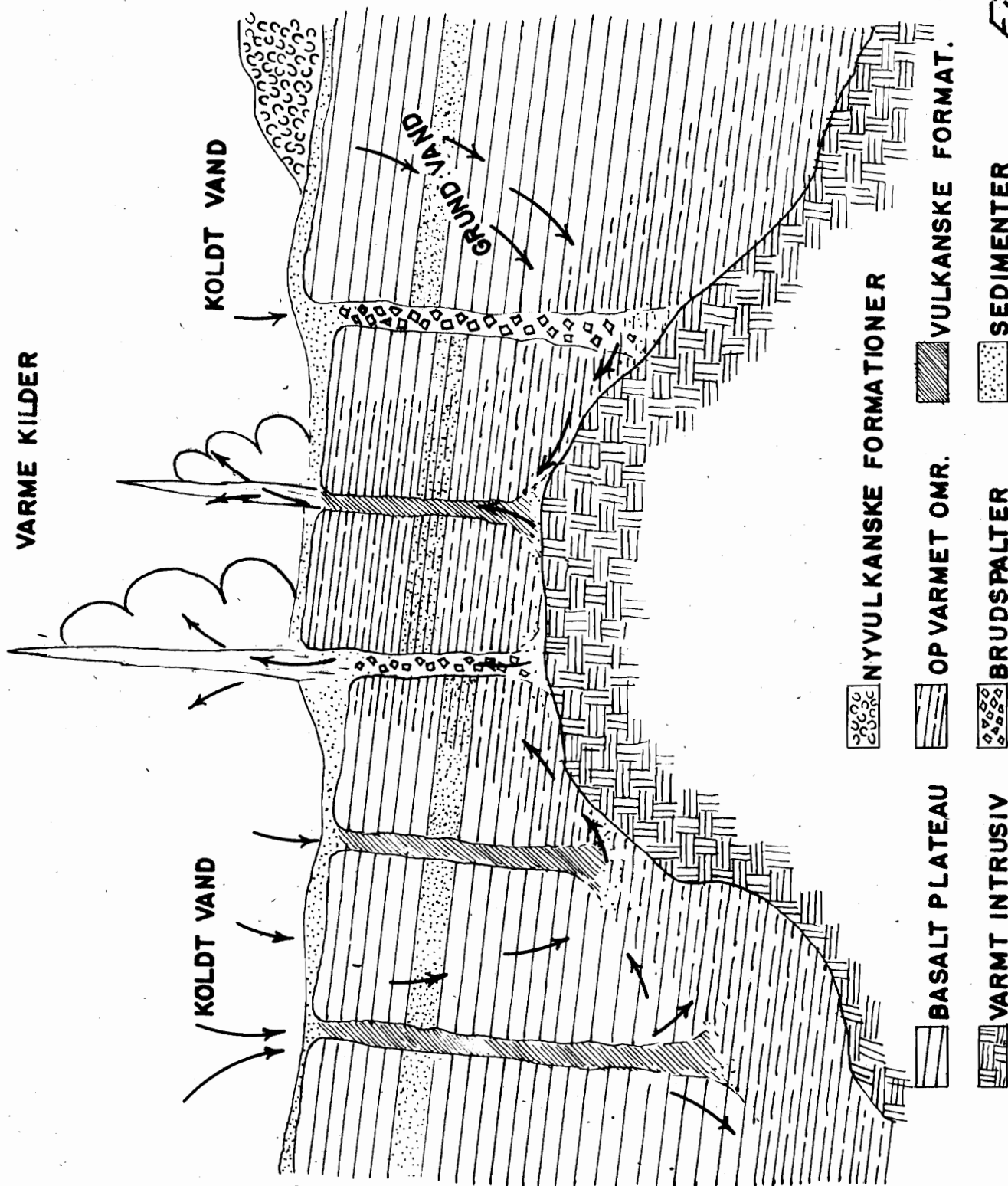
-  GANGE
-  BRUDSPALTER
-  BASALT PLATEAU
-  NYVULKANSK OMRAADE

Fig. 5

VARME KILDER










-  NYVULKANSKE FORMATIONER
-  OP VARMET OMR.
-  VULKANSKE FORMAT.
-  BASALT PLATEAU
-  BRUDSPALTER
-  SEDIMENTER
-  VARMT INTRUSIV

Fig. 6

Reduktion af elektricitetsproduktion ved tilslutning af varmeværk

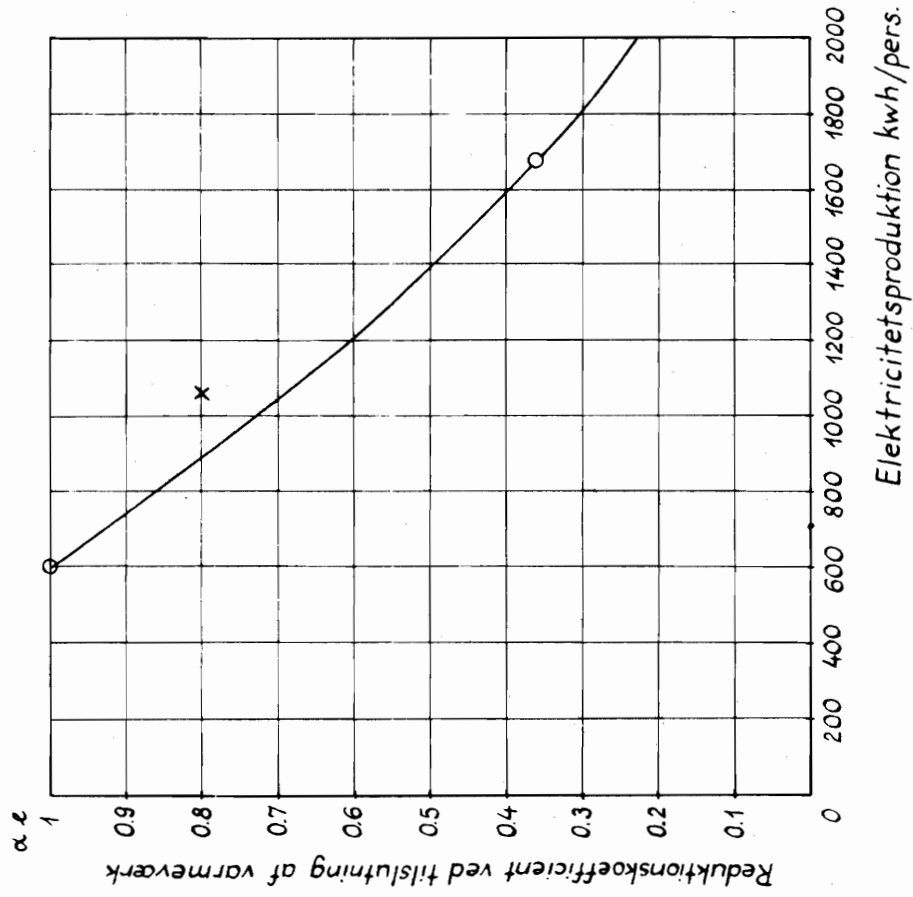


Fig. 7



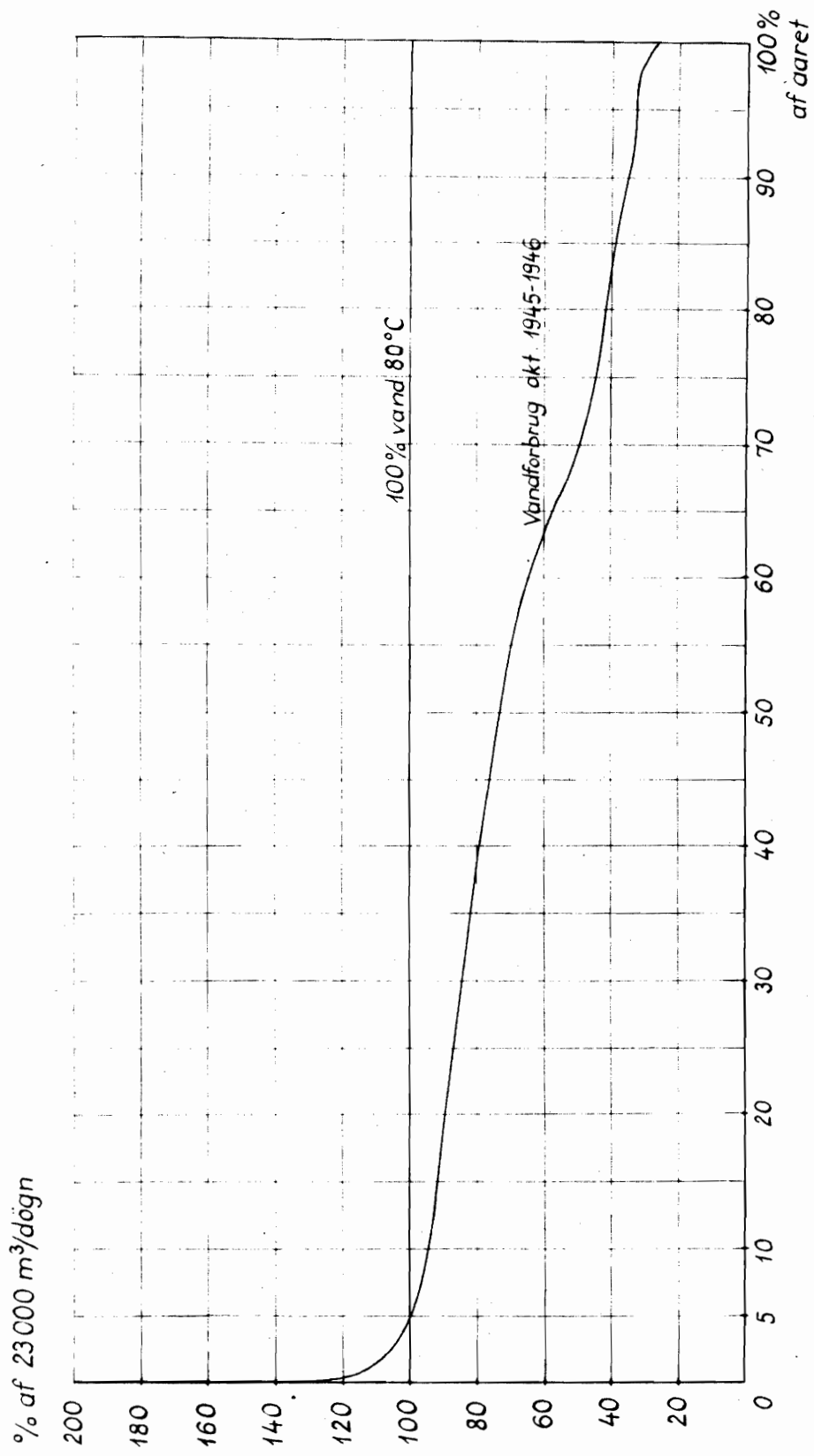


Fig. 8

Middelvandforbrug ved Reykjavík Varmeværk 1945/46 i forhold til ydertemperatur

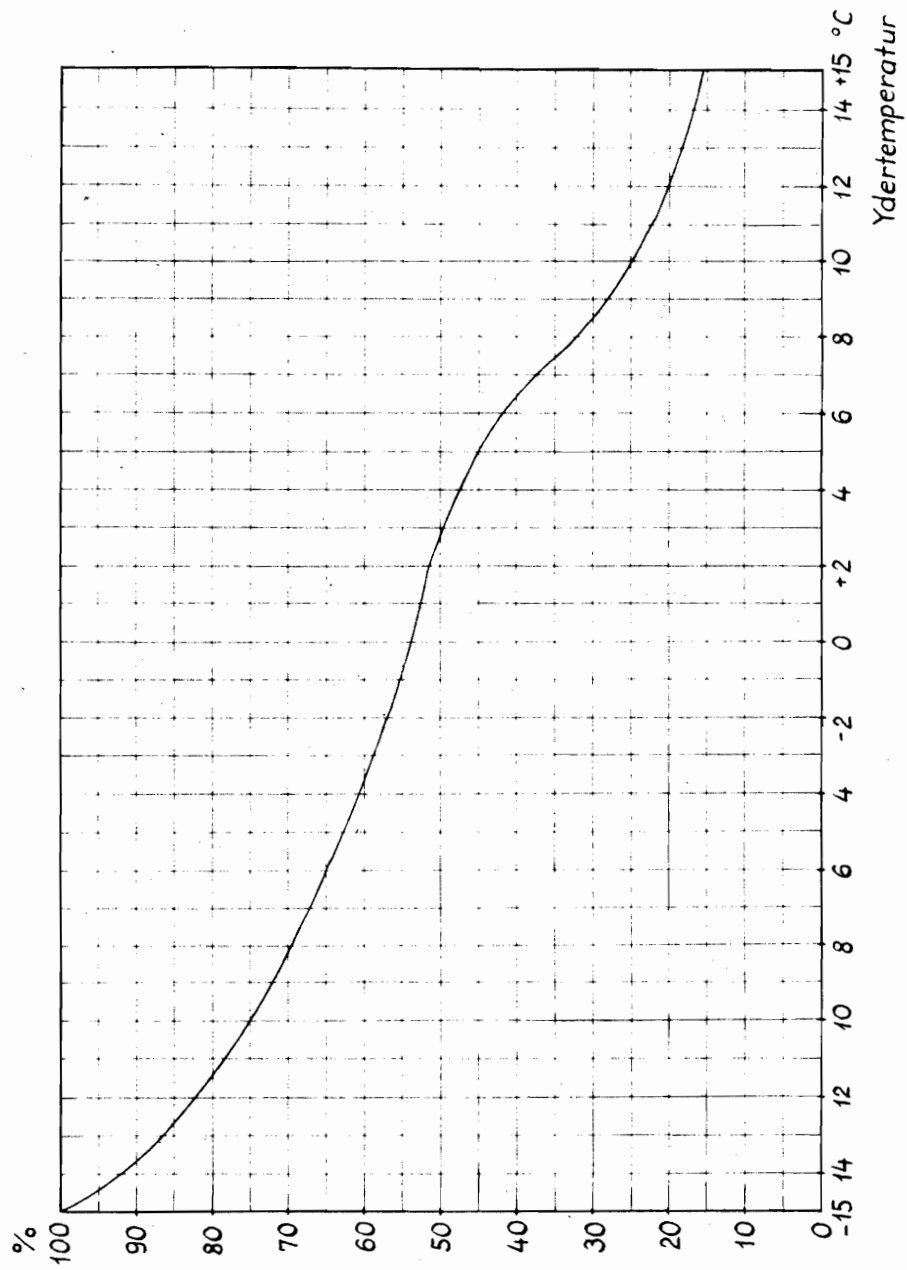
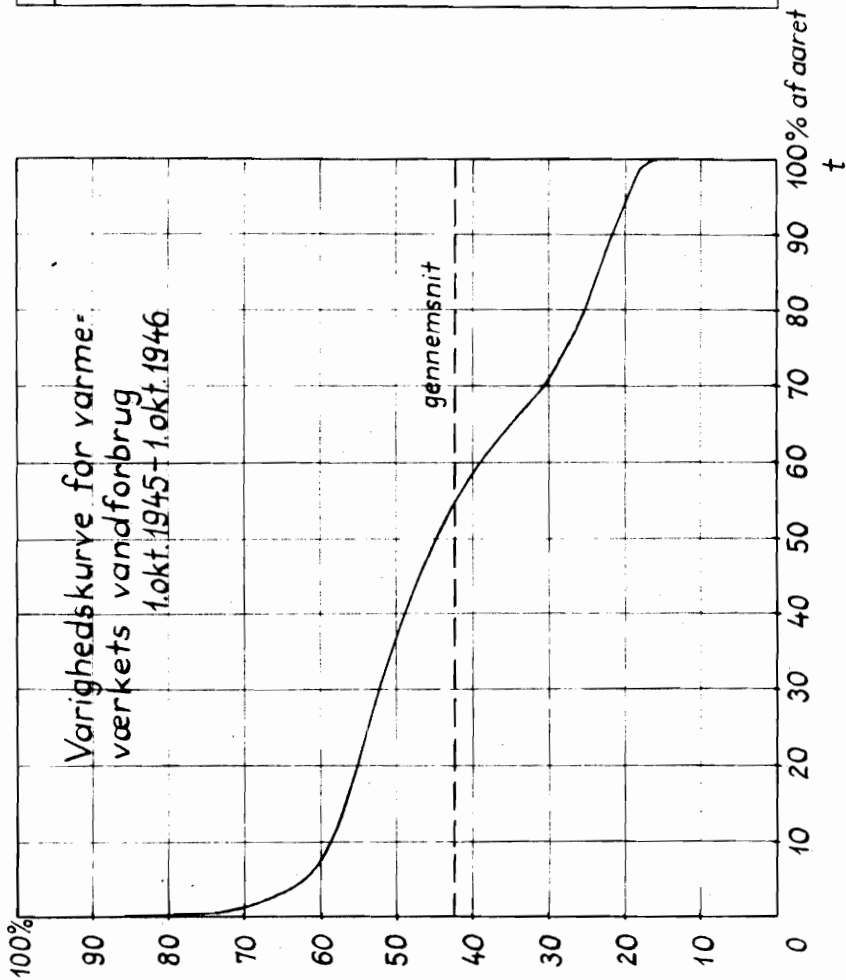


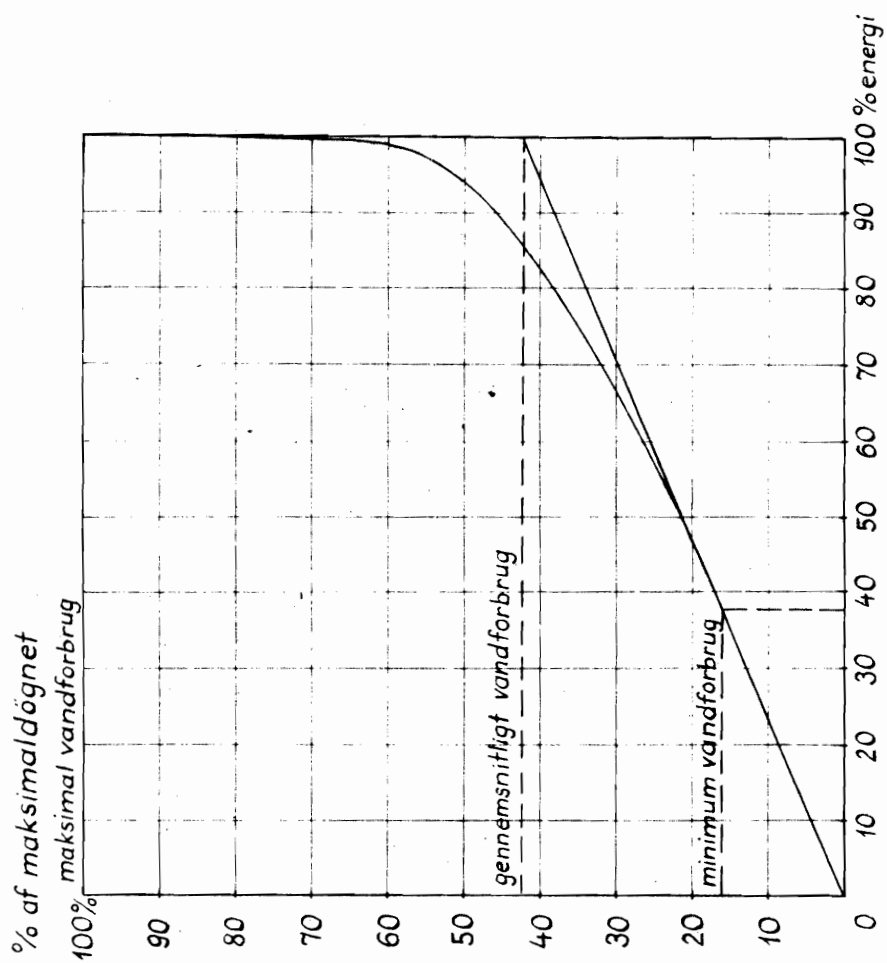
Fig. 9

% af maksimaldøgnnet



% effekt	% tid
100.0	
92.0	
86.0	
80.0	
73.8	0.5
67.6	2.5
61.4	5.0
55.1	20.0
49.0	40.0
43.0	55.0
36.8	63.0
30.7	70.5
24.6	83.0
18.4	99.0
15.3	100.0
10.0	100.0
0	100.0

Fig. 10



%effekt	%energi
100	
95	
90	
85	
80	
75	
70	
65	99.4
60	98.8
55	97.5
50	94.0
45	89.0
40	82.6
35	75.0
30	67.2
25	58.0
20	47.7
15	35.8
10	23.9
5	12.0

Fig. 11

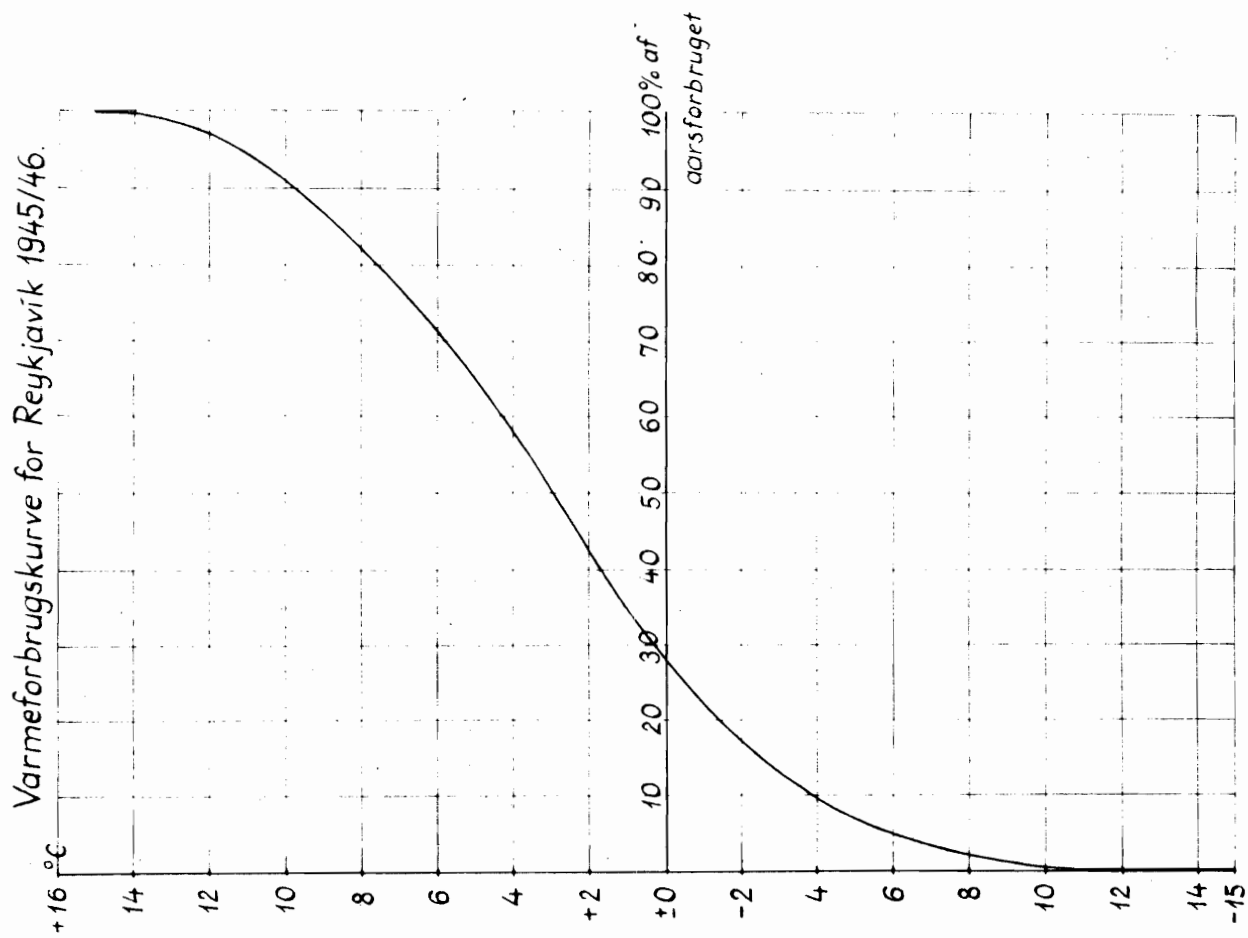
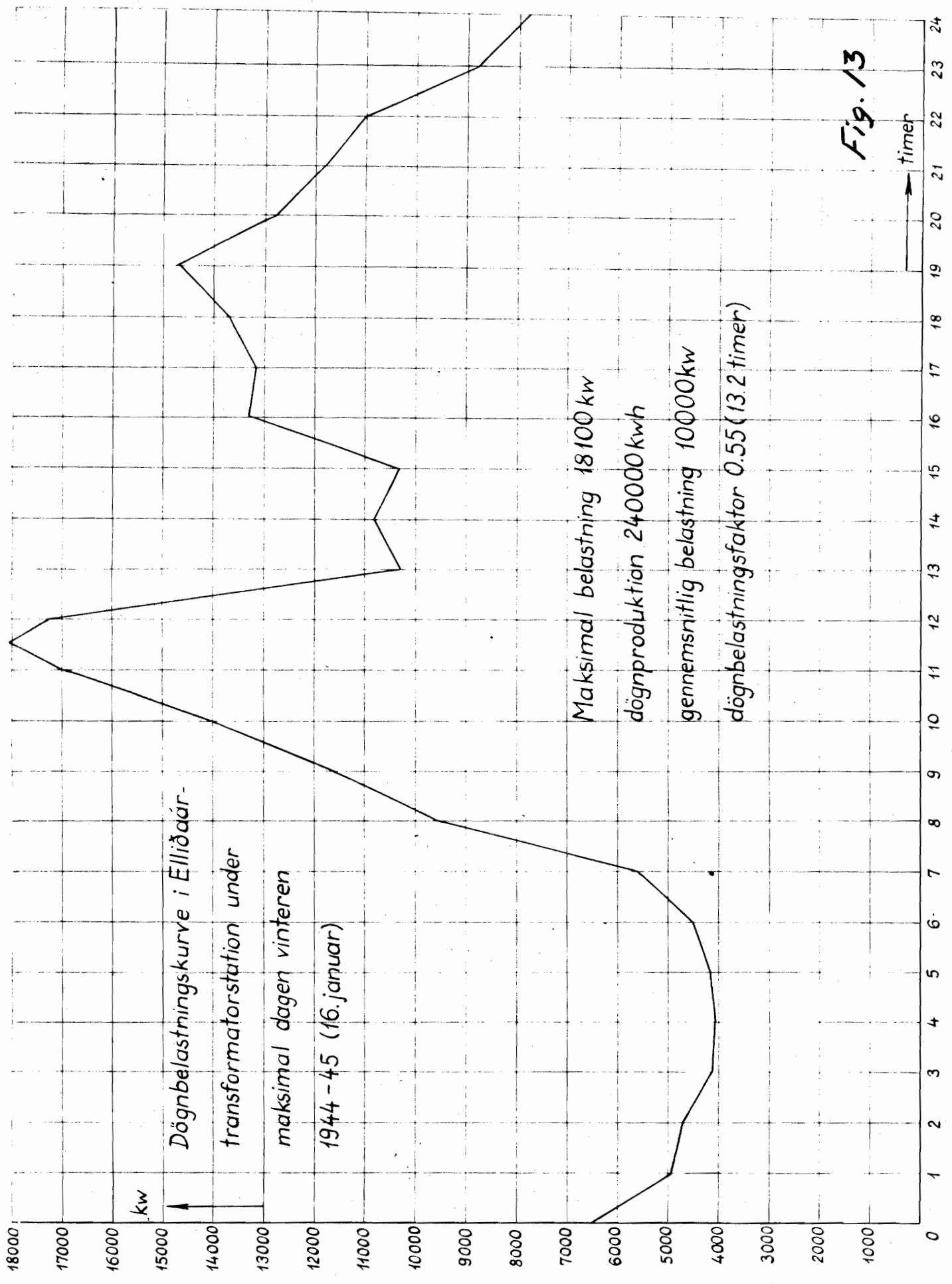


Fig. 12



*Fig. 13*

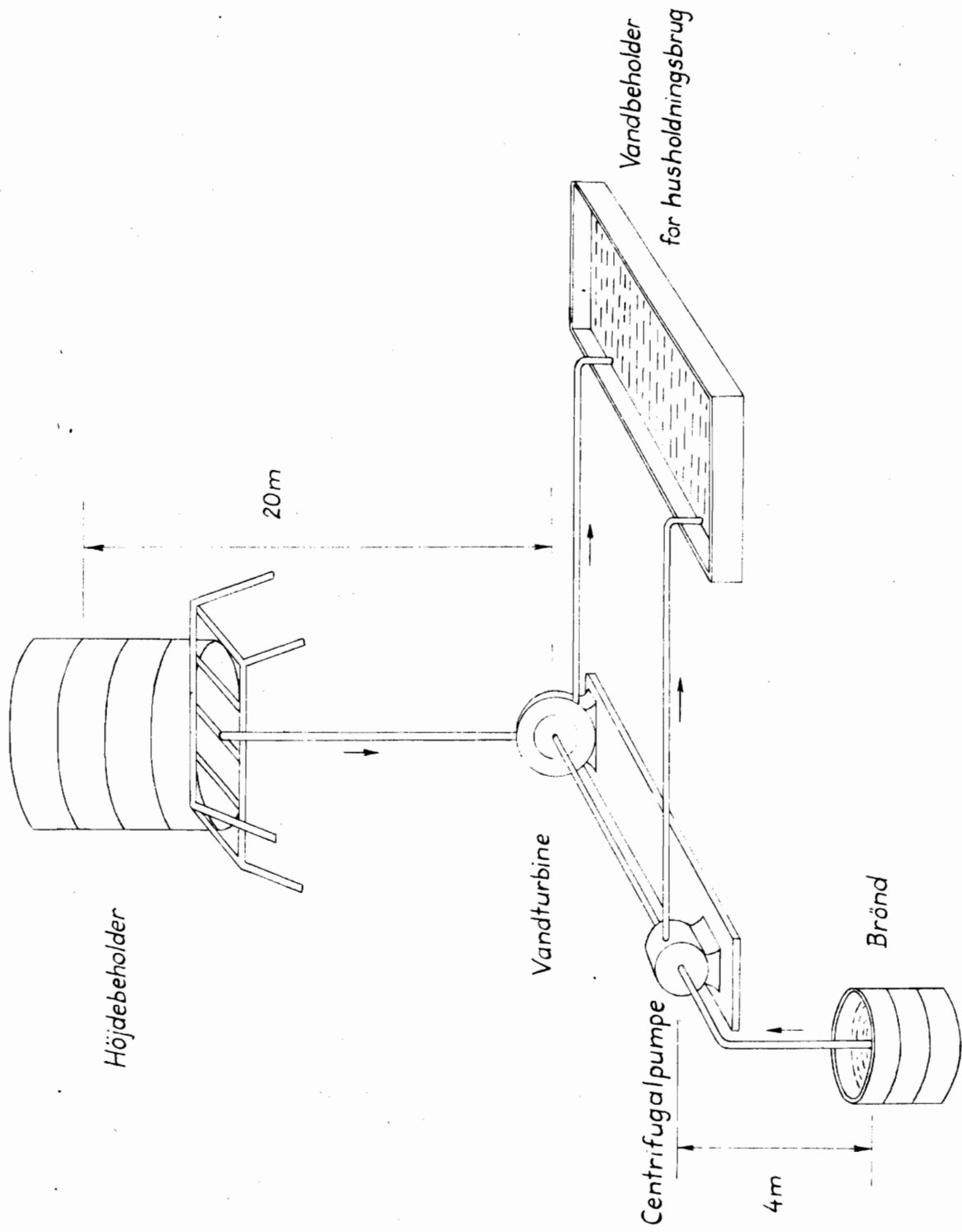


Fig. 14.



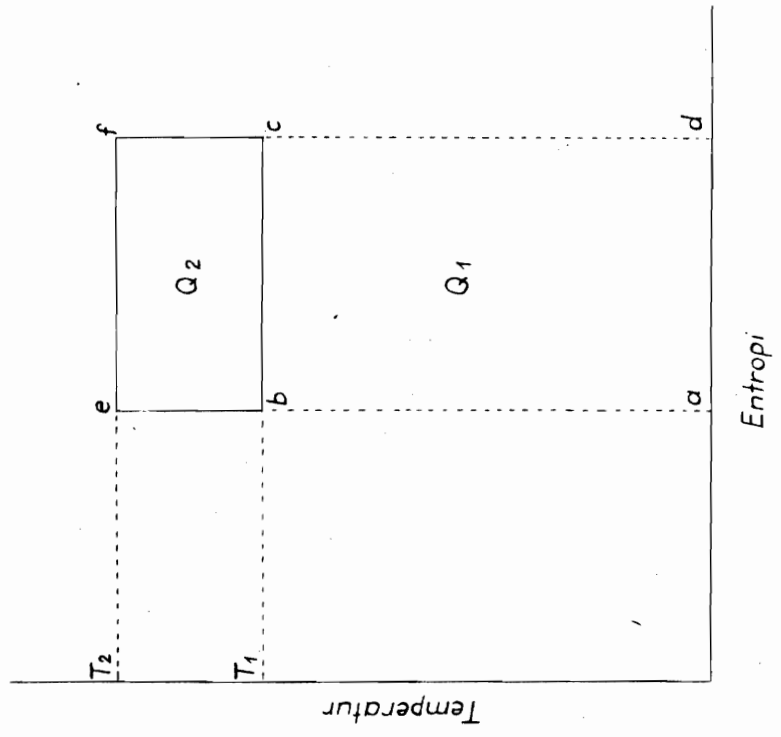


Fig. 15

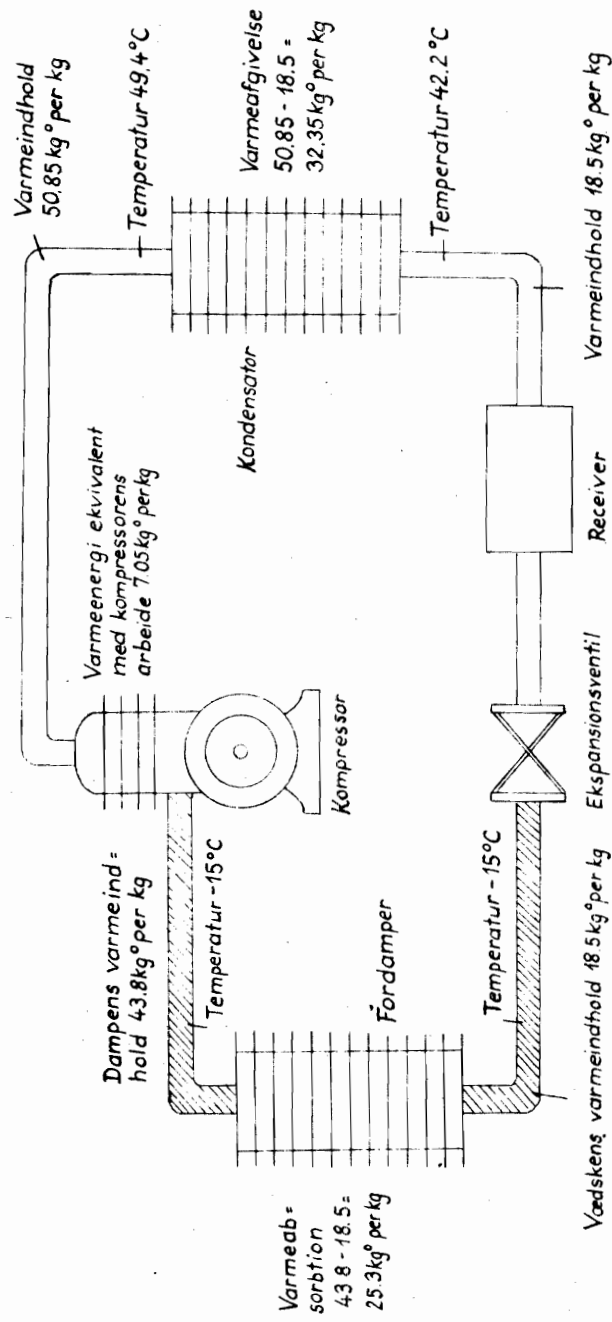


Fig. 16