

Langtidsplanlegging ved drift av  
samkjørende vannkraftverker  
(1-magasin modell).

EFI - TR nr. 1177, sak 22U-1.  
Avsluttet 16.11.62

Til: Oppdragsgiver (3) EFI - T (2) EFI - O (2)	Fra: Sentrallab.	Avdeling: Kraftteknikk	TR nr.: 1177
	Utsteder: Olav S. Johansen	Reg. nr.: 621.316.1	Sak nr.: 22U-1
	Forfatter: A. Johannesen B. Nielsen	Dato: 16.11.62	Ant. tekstbl.: 12 Ant. vedlegg: 15
Oppdragsgiver:  EFI	Medarbeidere:	Vedlegg: tegn. 11 skisser osc.	foto tabeller 4 app. kurvebl.
Rapportens tittel:  Langtidsplanlegging ved drift av samkjørende vannkraftverker (1-magasin modell)			
<input checked="" type="checkbox"/> Utrekn. teor. undersøk <input type="checkbox"/> Prøver, eksp. undersøk <input checked="" type="checkbox"/> Original arb. <input type="checkbox"/> Referat			

Rapporten er oppdragsgiverens eiendom og kan ikke uten hans skriftlige tillatelse overdras til tredjemann  
Sammendrag.

Det gis en beskrivelse av 2 siffermaskinprogrammer for planlegging og simulering av vannkraftverksdrift. Med kjennskap til "markedet" for kraftsalg og -kjöp samt forventet tilsig beregnes den tappeplan som statistisk sett vil gi det störste ökonomiske utbytte over mange år. Den matematiske modell av produksjonssystemet omfatter bare ett magasin med tilhörende kraftverk, men kan med tilnärmelse benyttes også til å studere större systemer representert ved et ekvivalent totalmagasin. Det sees bort fra den innvirkning korttidsreguleringen kan få på driftsresultatet.

Trondheim, den 16. november 1962

## INNHALDSFORTEGNELSE

	Side
1. <u>Innledning.</u>	1
2. <u>Avgrensning av problemet.</u>	1
3. <u>Formulering av problemstillingen.</u>	2
4. <u>Den matematiske modell.</u>	5
5. <u>Resultatet av beregningene.</u>	6
6. <u>Sifferregnemaskinprogram for vannverdiberegning.</u>	7
6.1. <u>Inngangsdata.</u>	7
6.2. <u>Gangen i beregningene.</u>	8
6.3. <u>Utgangsdata.</u>	9
6.4. <u>Muligheter for å øke presisjonen.</u>	10
7. <u>Sifferregnemaskinprogram for simulering av driften.</u>	11
7.1. <u>Inngangsdata.</u>	11
7.2. <u>Gangen i beregningene.</u>	11
7.3. <u>Utgangsdata.</u>	11

Litteraturliste

Bilag 1-3

Figur 1-7

## APPENDIX

Regneprogrammenes anvendelse på et praktisk eksempel

	Side
1. <u>Data for produksjonssystemet.</u>	1
2. <u>Belastning og kraftutveksling.</u>	3
3. <u>Beregningsresultater.</u>	5
3.1. <u>Konvergensforhold og regnetid.</u>	6
3.2. <u>Valg av intervallengde.</u>	7
3.3. <u>Valg av "antall steg".</u>	7
3.4. <u>Endring av kompletteringskraft.</u>	8

Tabell 1

Figur 1-8

## 1. Innledning.

Ved drift av vannkraftverker er en stilt overfor problemet å utnytte den forholdsvis usikre naturenergigitilgang på en økonomisk måte. Optimal drift synes å måtte være den som over mange år maksimaliserer det (nasjonal-)økonomiske utbyttet

$$\int_T GWh(t) \cdot (\text{pris}/GWh) dt$$

under hensyntagen til de restriksjoner (tekniske, juridiske osv.) som til enhver tid gjør seg gjeldende i systemet.

Prinsipielt byr krafthusholdningen bare på problemer for så vidt som man har et valg å treffe, dvs. hvis man har en viss elastisk belastning og/eller mulighet for utveksling med andre systemer. I problemstillingen inngår så mange faktorer av såvel teknisk som økonomisk art at det ikke alltid vil være umiddelbart innlysende hvilken disposisjon som er den gunstigste. Opplegget i det følgende tar sikte på å utvikle et regnemaskinprogram for vurdering av gunstigste tappingsstrategi over sesongen når det tas hensyn til naturenergigitilgangens statistiske egenskaper.

## 2. Avgrensning av problemet.

Ved en praktisk løsning av planleggingsproblemet synes det hensiktsmessig å systematisere løsningen i to steg:

- a) Langtidsplanlegging av driften der man søker å bestemme den optimale strategi for tapping av systemets magasiner for f.eks. 1-2 år frem i tiden. Perioden deles opp i intervaller av en lengde f.eks. 1 uke eller 1 måned. Det må naturligvis tas hensyn til at naturenergigitilgangen er en statistisk variabel, men til gjengjeld er det formodentlig i endel slike tilfelle



tillatelig å unnlate representasjon av belastningens døgnkurve, nøyaktige tapsberegninger o.l. finesser. I og med at tappeplanene beregnes ved langtidsplanleggingen, tas det - i hvert intervall - stilling til omfanget av

- a) eventuell rasjonering
- b) eventuell import/eksport av kraft fra/til andre forsyningsområder
- c) eventuelt salg av sekundakraft

b) Korttidsplanlegging av driften som omfatter bestemmelse av den tapping fra de enkelte verker som gir optimal utnyttelse av naturenergien innen førstkommende intervall. Herunder tas hensyn til de tappemengder som er foreskrevet fra langtidsplanleggingen, og systemet må representeres så detaljert at virkningen av de elektriske og hydrauliske tap samt føringene kommer med. Problemet korttidsplanlegging vil for øvrig ikke bli berørt i denne rapport. Det sees altså bort fra døgn- og ukeregulering.

Videre må det fremheves at vi ser planleggingsproblemet fra den driftsmessige synsvinkel. Den langt mere omfattende problemstilling vedrørende utformingen av en målsetning for kraftutbyggingen [1], og beregning av det optimale utbyggingstempo ligger utenfor dette arbeidets rammer. Dvs. programmet for systemets utbygging og for revisjon av eksisterende installasjoner forutsettes gitt. Vi vil heller ikke her komme inn på overveielser om hvorvidt det er motivert å søke å påvirke primakraftbehovet i den ene eller den andre retning, fremskaffe ny kompletteringskraft osv. x)

### 3. Formulering av problemstillingen.

Fig. 1 antyder i prinsipp det system undersøkelsene knyttes til. Innledningsvis ble kriteriet for optimal drift antydnet i meget generelle vendinger. Det gjenstår å gi det en konkret formulering,

x) Dette forhindrer dog ikke at programmene for vannverdiberegning og simulering også kan vise seg nyttige ved slike undersøkelser, som alltid vil kreve en mer eller mindre omfattende driftsimulering.

som gjør det egnet som utgangspunkt for praktiske regninger. Denne fase av arbeidet kan gi anledning til mange og dyptgående betraktninger på det teoretiske plan [2]. Vi er blitt stående ved følgende praktisk betonende formulering:

Primakraften som forutsettes gitt i hvert intervall holdes utenfor kriteriefunksjonen. Den antas definisjonsmessig å være diktert av kundene og dermed upåvirkelig.

Kompletteringskraft definerer vi som alle påvirkelige kraftmengder på produksjons- og belastningssiden. I praksis kan det være tale om:

Importert kraft	}	Positiv kompletteringskraft
Rasjonert "		
Eksportert kraft	}	Negativ "
Sekunda "		

For kompletteringskraften må det foreligge en prisfunksjon som antydnet fig. 2, som angir hvor store mengder som kan ventes å stå til disposisjon og til hvilke priser.

Vannkraftproduksjon, primakraft og kompletteringskraft er bundet sammen ved følgende relasjon:

MAGASINUTTAK + TILSIG + KOMPLETTERINGSKRAFT = PRIMAKRAFT

Kompletteringskraften er den del av utbytteintegralet som kan gjøres til gjenstand for en maksimalisering. Målet for langtidsplanleggingen blir da å legge opp en tappeplan for alle magasiner slik at man over mange år maksimaliserer

(INNTEKT AV NEGATIV KOMPL.KRAFT) -- (UTGIFTE TIL POSITIV KOMPL.KRAFT)

Bemerkninger.

Det kan synes overraskende at primakraftprisen tilsynelatende ikke inngår i de økonomiske vurderinger. Det er en følge av at primakraften regnes uelastisk. I det tilfellet man ikke kan imøtekomme etterspørselen fra primakraftavtakerne vil mankoen opptre som positiv kompletteringskraft (rasjonering) og den ytterste høyre del av prisfunksjonen fig. 2 angir hva man økonomisk vurderer ulempene ved rasjonering i forskjellige grader til. Det beregnes som primakraftprisen pluss et passende tillegg som er et uttrykk for verkets tapte goodwill og/eller de tap kundene påføres. Hermed er det indirekte etablert en relasjon mellom primakraftprisen og det uttrykk vi ønsker å maksimalisere. Primakraftprisen må i følge sakens natur alltid ligge et sted mellom den billigste positive kompletteringskraft og den best betalte negative kompletteringskraft.

Mellom leveringssikkerheten og pris på rasjonert kraft er det en direkte og entydig forbindelse. Setter man en høy pris på rasjonert kraft blir leveringssikkerheten høy men det betyr samtidig større tilbakeholdenhet når det gjelder levering av negativ kompletteringskraft. Er prisen på rasjonert kraft imidlertid fremkommet som et resultat av realistiske vurderinger og følges definisjonen ovenfor for den optimale strategi vil man automatisk komme til å kjøre med optimal leveringssikkerhet for det gitte system uten at man behøver å vie leveringssikkerheten direkte oppmerksomhet.

#### 4. Den matematiske modell.

Bestemmelsen av en tappingsstrategi over sesongen er et spørsmål om å avlure naturen dens luner; vi kjenner ikke det fremtidige tilsig men vi har en statistikk for tilsiget over mange år i fortiden. Prinsippet for beregningene er nå at man antar at den hydrologiske statistikk for en periode i fortiden (på f.eks. 30 år) vil vise seg representativ for en tilsvarende periode i fremtiden, dog bare med hensyn til størrelse, vi avstår fra å dra noen lære av den rekkefølge tilsigsårene er kommet i. Vår arbeidshypotese er at det ikke finnes noen lovmessighet for den rekkefølge hvori gode og dårlige tilsigsår viser seg [3]. Med kjennskap til primakraftbehovet og den kompletteringskraft som kan ventes å stå til rådighet (jfr. fig. 2) kan man da for den sesong planleggingen omfatter, simulere den drift som i hvert av de forløpne år ville vært optimal. Dette fører til en marginalverdivurdering av magasinvannet i systemet. Marginalverdien av vannet i et magasin er et uttrykk for den nytte man kan vente å få av den øverste m<sup>3</sup> eller den siste kWh i magasinet, hvis den lagres.

Ved simuleringen av den optimale strategi må en gjøre bruk av en matematisk modell av systemet fig. 1. Ved de innledende undersøkelser har vi valgt å bruke en meget enkel modell, se fig. 3. Den bygger på følgende hovedforutsetninger:

- a) Alle systemets magasiner slås sammen til et enkelt magasin. Kommer nye magasiner til innen undersøkelsesperioden tas det naturligvis hensyn til dette. Vannverdien vil bli beregnet for dette totalmagasin og den forutsettes å være uavhengig av hvordan vannet er fordelt.
- b) Alle tilsig såvel regulerte som nyttbare uregulerte tilsig, regnes sammen til et enkelt magasintilsig. Det forutsettes herunder at tappingen på de enkelte verker fordeles slik at intet vann flommer over unødig samt at det alltid opprettholdes en produksjon minst lik det uregulerte tilsig, slik at dette ikke feilaktig registreres som magasintilvekst.

- c) Alle aggregater slås sammen til et ekvivalent verk. Maksimal produksjonsevne for dette må fastlegges innen hvert intervall under hensyntagen til revisjonsplaner samt (typiske) tilsigsforhold til de uregulerte verker. Foreligger det avtaler om tvangstapping e.l. spesifiseres også minimal produksjon.
- d) De elektriske tap i nettet vurderes skjønnsmessig og inkluderes i primalasten. På den hydrauliske siden regnes det med midlere virkningsgrader for de respektive verkene.
- e) Den tidligere omtalte marginalprisfunksjon for kompletteringskraften (fig. 2) representeres ved en trappekurve. Det skulle gi en bra tilnærming selvom de virkelige kurver må formodes ofte å ha utviskede trinn p.gr.a. tapene.

#### 5. Resultatet av beregningene: Marginalverdien av magasinenergien.

Den beregnede vannverdi er en funksjon av tidspunktet på året og totalmagasinets beholdning; verdiene kan f.eks. variere som antydnet fig. 4 som gjelder for et system med kompletteringskraft etter fig. 5.

Den regel hvoretter driften og dermed tappingen dirigeres er da følgende:

Man søker til enhver tid å sette inn nettopp så mye kompletteringskraft at marginalprisen for denne er lik den marginale vannverdi.

(Bellmans optimalitetsprinsipp, se nærmere [6] og denne kildes referenser).

Vender vi tilbake til eksemplet fig. 4 vil det altså si at det skal leveres sekundakraft når magasinbeholdningen er større enn svarende til 2 öre/kWh-kurven. Mellom denne kurve og kurven 10 öre/kWh leveres bare primakraft og i det öyeblikk vannverdien passerer 10 öre/kWh iverksettes første trinn rasjonering.

Nøyaktig samme regel er naturligvis praktisert under de iterasjonsberegninger som har fremskaffet vannverdikurvene.

Er vannverdikurvene beregnet for å skulle brukes i den daglige drift av et eksisterende nett, er oppgaven hermed avsluttet.

Ofte ønsker man imidlertid mere informasjon f.eks. hvis man driver undersøkelser vedrørende nettets utbygging eller hvis det hersker usikkerhet med hensyn til noen av de data som brukes i modellen. Derfor er vannverdiprogrammet supplert med et program, som kalles "Simulering av driften". Det gir detaljerte opplysninger om de driftsmessige resultater av en kjøring basert på vannverdiene fra første program.

## 6. Sifferregnemaskinprogram for vannverdiberegning.

Regnearbeidet ved den praktiske beregning av vannverdier er så omfattende at det bare lar seg gjennomføre på elektroniske sifferregnemaskiner. På dette felt er det utført et betydningsfullt pionerarbeide i Sverige [4] , [5] , og det program som blir beskrevet i det følgende bygger på en kombinasjon - samt en tillempning for norske forhold - av de to svenske metoder som senest er publisert [6] , [7] . Det er lagt vekt på å få et fleksibelt program, fordi man må regne med en del forsøkskjøring for å finne frem til den form som er mest velegnet for de enkelte nett.

Programmet er skrevet i MAC-koden for FFI's Ferranti Mercury Computer, Kjeller. [8]

### 6.1. Inngangsdata.

I bilag 1 er gitt en oversikt over de viktigste data som skal tilføres maskinen. De angitte maksimale grenser gjelder for programmet idag, de må bare oppfattes som veiledende, de vil om nødvendig kunne endres noe.

Grunnen til at det er forutsatt mulighet for å kunne regne med forskjellig kompletteringskraft for forskjellige tilsigsår, er at dette kan ha betydning når man vil studere samkjøring med et annet system, hvor vannkraften også spiller en dominerende rolle. Den energimengde den annen part er villig til å kjøpe eller selge vil nemlig som oftest være avhengig av de hydrologiske forhold, m.a.o. bundet til bestemte tilsigsår.

For øvrig skulle oversikten tale for seg selv.

### 6.2. Gangen i beregningene.

Vannverdien beregnes iterativt. Ved fullt magasin er den null og ved tomt magasin må verdien ansettes i forhold til hva man vil taksere ulempene ved en slik situasjon til (full rasjonering). For hvert intervall stipuleres for øvrig en verdi for 9 mellomliggende magasinhøyder ( $0,1 \dots\dots\dots 0,9 \times M_{\max}$ ) som antydnet fig. 6. Vannverdien regnes å variere lineært mellom punktene. Vannverdimatrisen opptar i maskinens lager  $11$  rekker og  $n+1$  søyler ( $n$  - antall intervaller).

I et bestemt punkt korrigeres den stipulerte vannverdi ved at man for et større antall ( $m$ ) tilsigsår simulerer driften et passende antall intervaller (i det følgende betegnet "antall steg") frem i tiden. Beregningen avbrytes dog for vedkommende år om man når øvre eller nedre magasingrense. Innen hvert intervall bestemmes den optimale kompletteringskraft på grunnlag av prisen ved intervallets begynnelse. Når simuleringen er avsluttet for alle år erstattes den opprinnelige vannverdi av middelveidien av sluttprisene for de  $m$  år. Beregningsmetoden innebærer at man

- a) tillegger alle tilsigsår samme sannsynlighet og forutsetter at det ikke er seriekorrelasjon mellom års-tilsigene
- b) kan ta hensyn til eventuell seriekorrelasjon innen året ved å velge et større eller mindre antall steg ved beregningen.



Anm.

Det er her en trykkfeil.  
En starter med å skrive verdien for  
slutten av intervall nr 0 (begynnelsen av  
intervall nr. 1) og IKKE som anført  
med verdien for siste intervall (n) på  
første linje.

17.1.64 jh

I praksis starter man med å beregne vannverdiene i nest-siste intervall og går deretter tilbake i tiden intervall for intervall.

### 6.3. Utgangsdata.

Formatet illustreres ved et meget enkelt eksempel bilag 2.

Først trykkes ut som kontroll summen av tilsigene i hvert tilsigsår.

Ved avslutningen av en iterasjon skrives ut iterasjonsnummer og antall punkter som ikke har stabilisert seg. Dessuten kan man, når det ønskes, få skrevet ut vannverdimatrisen på "format 1" pluss eventuelt "format 2". På bilag 2 er vist utskrifter etter iterasjon nr. 5. Ved "format 1" skrives på første linje vannverdiene for <sup>slutten av intervall er 0.</sup> ~~siste intervall~~, verdien lengst til høyre svarer til tomt magasin. På neste linje trykkes under hver av de 9 vannverdier inne i magasinet et heltall som markerer om den pågjeldende vannverdi har stabilisert seg. Fra starten leses inn ett vilkårlig positivt heltall (i eksemplet = 3) på alle plasser. Når et punkt etter en iterasjon har vist seg stabilt, reduseres det tilsvarende tall med 1, dette fortsetter inntil det markeres 0, hvilket bevirker at punktet overspringes ved senere iterasjoner. På tredje linje skrives vannverdiene for <sup>slutten av intervall er 1</sup> ~~nestsiste intervall osv.~~ "Format 2" har ikke markeringstall og det er beregnet på direkte innlesing i simuleringsprogrammet.

Totalt antall iterasjoner samt antall iterasjoner med utskrift og formatet, kan fastlegges på forhånd ved innlesing av passende konstanter eller man kan dirigere det manuelt under selve kjøringen, inntil første iterasjon er avsluttet. Verdiene ved slutten av siste intervall er naturligvis stadig de opprinnelig innleste. Innen den følgende iterasjon startes har programmet mulighet for å skifte ut den søyle i vannverdimatrisen som svarer til siste intervall med en annen søyle. F.eks. kan det tenkes at man spesifiserer at den skal skiftes ut med søylen for det intervall som ligger et år forut i tid dvs. man antar at vannverdiene varierer cyklisk over året. Det vil ofte være en rimelig antakelse.

Hvor lang undersøkelsesperioden bør være er det vanskelig å si noe generelt om, men 1-2 år vil sikkert vise seg passende i de fleste tilfelle. Det avhenger formodentlig av systemets reguleringsgrad, utbyggingsplanene m.m. Prinsipielt må det være ønskelig å se så langt ut i fremtiden som mulig, men man vil ved en gitt intervallengde være bundet av maskinens begrensede lagerkapasitet. Dessuten vil usikkerheten på f.eks. prognoser for primalast jo økes jo lengere man går frem og endelig må det nevnes at man prinsipielt bør ta hensyn til renten og det kan gi komplikasjoner hvis man går til en meget lang undersøkelsesperiode.

#### 6.4. Muligheter for å øke presisjonen.

Stor presisjon og kort regnetid er ønskemål som selvsagt må komme i konflikt med hverandre. Vil man akseptere lang regnetid og er inngangsdata kjent med så stor sikkerhet at det er berettiget å prøve å øke nøyaktigheten på vannverdiene - kan man sette inn på forskjellige punkter for å øke presisjonen:

Bruk av kortere intervallengde må antas i alminnelighet å gi bedre presisjon, bl.a. fordi beslutningen om hvor mye kompletteringskraft som skal settes inn i et intervall treffes alene på grunnlag av prisen ved intervallets begynnelse og derved kan det innføres feil hvis intervallengden er stor.

Det må også pekes på de muligheter programmet byr på for å kjøre med varierende intervallengde, f.eks. kunne man tenke seg å bruke kort intervallengde (1 uke) i begynnelsen av undersøkelsesperioden og/eller på de tidspunkter hvor driften er særlig "uroelig" og lang intervallengde (1 måned) på andre tidspunkter. (Kan dog gi vanskeligheter, når man skal velge "antall steg".)

Ønskes det en mere detaljert representasjon av belastningen (både prima og sekunda) kunne man tenke seg med utgangspunkt i ukeintervaller å foreta en prisoppdeling i intervaller svarende til dag og natt, hverdag og søndag.

Endelig har man mulighet for å øke presisjonen ved å regne på bare et utsnitt av magasinet; det kan f.eks. bli aktuelt hvis vannverdien endrer seg hurtig og ulineært med magasinnivået. Fremgangsmåten blir da (se fig. 7) at man etter en normal beregning med 9 punkter mellom øvre og nedre magasingrense ved hjelp av simuleringsprogrammet danner seg et inntrykk av hvilke deler av magasin-tid diagrammet det er lite sannsynlighet for å komme inn i. Disse områder avgrenses med kurver som (sammen med de tilhørende vannverdier) leses inn som nye, fiktive øvre og nedre magasin-grenser og vannverdiberegningen gjentas for den skraverte sone alene. Jfr. [7] som opererer med en avgrensning i form av en minimumssone.

## 7. Sifferregnemaskinprogram for simulering av driften.

### 7.1. Inngangsdata

er stort sett identiske med foregående programs.

### 7.2. Gangen i beregningene

vil være som i simuleringsdelen av vannverdiprogrammet, dog skal det utregnes forskjellige nye størrelser (verdi av kompletteringskraft i hvert intervall, flømtap etc.). Regnetiden er imidlertid forsvinnende i forhold til vannverdiprogrammets fordi simuleringen bare skal gjennomføres for et eller noen få verdier av startmagasin. Det kan regnes med samme begynnelsesmagasin for alle år eller med en fortløpende verdi etter ønske.

### 7.3. Utgangsdata.

Det kan velges mellom et komplett og et redusert format. Det første gir ut (se bilag 3):

Tilsigsårets nummer, begynnelsesmagasin etterfulgt av magasin ved hvert intervalls slutt (MAG) samt kompletteringskraft (KOMPL) i hvert intervall. Dernext spesifiseres den samlede komplet-

teringskraft i RASJ (rasjoneringskraft), IMP (import) og EXP (omfatter all negativ kompletteringskraft) med mengde (første tall) og verdi (annet tall). Endelig trykkes nummer på de intervaller hvor det forekommer flømtap, størrelsen av disse og sum flømtap for hele perioden. Etter siste tilsigsår trykkes middelveidier for kompletteringskraft (mengde og verdi).

Skal det simuleres med flere forskjellige startmagasiner (begynnelsesmagasin år 1) gjentas naturligvis alle utskrifter.

Redusert format gir ut startmagasin og for hvert år:

Årets nummer, sluttmagasin samt 7 tall som angir rasjoneringskraft (mengde og verdi), import (mengde og verdi), eksport (mengde og verdi) samt flømtap.

Middelveidier etter siste år.

LITTERATURLISTE.

1. ✓ Falck Jörgensen: "Strömrasjonering eller kraftoverskudd"?  
ETT nr. 9, 1962.
2. Ruge: "Et teoretisk grunnlag for optimal drift  
av vannkraftverk".  
SI rapport av 10. mai 1962.
3. Blomqvist: "Vattenhushållning vid långtidsreglering".  
SVKF publ. nr. 467, 1958.
- ✓ 4. "Elkraftsamarbete i Norden" (bok)  
KVS, Stockholm 1961.
5. Darin m.fl.: "Principles of Power Balance Calculations  
for Economic Planning and Operation of  
Integrated Power Systems".  
SVKF publ. nr. 476, 1959.
6. ✓ Lindqvist: "Driften av ett elektrisk produktions-  
system - en flerstegs beslutsprocess".  
Ref. 4, s. 156.
7. ✓ Stage, Larsson: "Incremental Cost of Water Power".  
AIEE Trans. Aug. 1961, s. 361.
8. Lauritzen: "MAC textbook", 2 ed. Teknisk notat S00040.  
Forsvarets Forskn.institut, Lilleström.
9. Årsberetning for Samkjöringen på Östlandet.  
1960/61.
10. Holmström: "Statistical Calculations for Planning the  
Control of Power".  
UNIPED Study Committee VIII.2 Lausanne 1958
11. Xeres, Pais: "Annual and Long-terms Methods of Utilising  
the Water in Large Reservoirs....."  
UNIPED Study Committee III.3 Baden-Baden  
1961.
12. Pélissier  
m.fl. : "La Simulation de la Gestion d'un Ensemble  
de Centrales Hydrauliques et Thermiques".  
RGE apr. 1962, s. 215.

Inngangsdata for vannverdiberegning.

Antall intervaller, n		Maks.	70
Antall tilsigsår, m <sup>x)</sup>		"	30
Prisfunksjoner for kompletteringskraft jfr. fig. 1 (med angivelse av hvilke intervaller og/eller år de enkelte kurver gjelder for)		Maks. 60 kurver med maks. 10 skikt	
Övre magasingrense $M_{max}$	(GWh)	Maks.	70
Nedre ----"---- $M_{min}$	(GWh)	"	70
Maks. produksjon, $V_{max}$	(GWh/intervall)	"	70
Min. ----"---- $V_{min}$	( ---- " ---- )	"	70
Primalast, L	( ---- " ---- )	"	70
Tilsig, T	( ---- " ---- )	"	70 x 30
Vannverdimatrise (stipulerte startverdier)		"	11 x 70
Diverse konstanter og markører ("antall steg", ønsket presisjon m.m)			

x)

Et tilsigsår defineres som en rekke hydrologiske observasjoner tatt i kronologisk orden og gjeldende undersøkelsesperioden. I eksemplet i Appendix er 1 tilsigsår = 1 kalenderår men i andre tilfelle kan tilsigsåret ha en annen lengde og begynne på en annen dato enn kalenderåret.



Eksempel på utgangsdata fra vannverdiberegning (2 tilsigsår, 5 intervaller)

År Tilsig  
 1 1300  
 2 3000

ITERASJON NR 1  
 IKKE STAB PKTR 39

ITERASJON NR 2  
 IKKE STAB PKTR 31

ITERASJON NR 3  
 IKKE STAB PKTR 19

ITERASJON NR 4  
 IKKE STAB PKTR 8

ITERASJON NR 5  
 IKKE STAB PKTR 5

Format 1

0.00	3.31	5.43	8.16	12.47	19.86	23.31	38.16	50.00	50.00	50.00
	3	3	2	2	0	0	0	0	0	
0.00	1.94	3.22	6.02	9.44	14.47	24.11	40.00	50.00	50.00	50.00
	0	1	1	0	0	0	0	0	0	
0.00	0.85	1.63	2.32	4.82	7.51	11.89	19.94	30.00	50.00	50.00
	0	0	0	0	1	0	0	0	0	
0.00	0.07	0.48	1.21	1.85	3.45	6.28	9.80	16.01	23.87	50.00
	0	0	0	2	3	0	1	0	0	
0.00	0.00	0.00	0.22	0.83	1.73	3.45	6.27	10.19	17.47	50.00
	0	0	0	0	0	3	2	0	0	
0.00	0.00	0.00	0.00	0.40	1.20	2.30	6.20	10.50	18.70	50.00
	3	3	3	3	3	3	3	3	3	

Format 2

3.31	5.43	8.16	12.47	19.86
23.31	38.16	50.00	50.00	50.00
1.94	3.22	6.02	9.44	14.47
24.11	40.00	50.00	50.00	50.00
0.85	1.63	2.32	4.82	7.51
11.89	19.94	30.00	50.00	50.00
0.07	0.48	1.21	1.85	3.45
6.28	9.80	16.01	23.87	50.00
0.00	0.00	0.22	0.83	1.73
3.45	6.27	10.19	17.47	50.00
0.00	0.00	0.00	0.40	1.20
2.30	6.20	10.50	18.70	50.00

Eksempel på utgangsdata fra simuleringsprogram (2 tilsigsår,  
5 intervaller, samme begynnelsesmagasin begge år)

-----

Komplett format:

ÅR 1

MAG	8400	7100	5800	4450	3450	3150
KCMPL		- 100	- 100	- 100	- 100	- 100
RASJ		0	0			
IMP		0	0			
EXP	-	500	5000			

INT FLOM

SUM FLOM	0
----------	---

ÅR 2

MAG	8400	8500	7000	5500	4200	4100
KOMPL		- 100	- 200	- 200	- 200	- 200
RASJ		0	0			
IMP		0	0			
EXP	-	900	14000			

INT FLOM

1	400
SUM FLOM	400

MIDDEL ALLE ÅR

RASJ	0	0
IMP	0	0
EXP	- 700	9500
FLOM	200	

Redusert format:

BEG	MAG	8400				
ÅR 1	SLUTT	MAG	3150			
	0	0	0	- 500	5000	0
ÅR 2	SLUTT	MAG	4100			
	0	0	0	- 900	14000	400
MIDDEL ALLE ÅR				- 700	9500	200
	0	0	0	0		

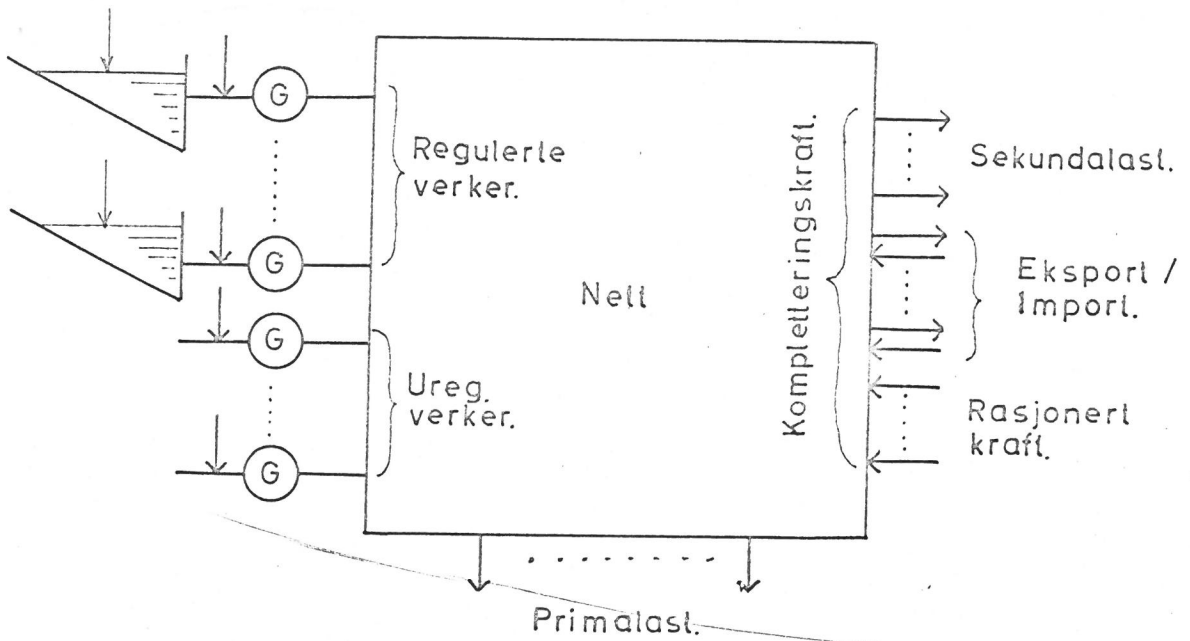


Fig. 1

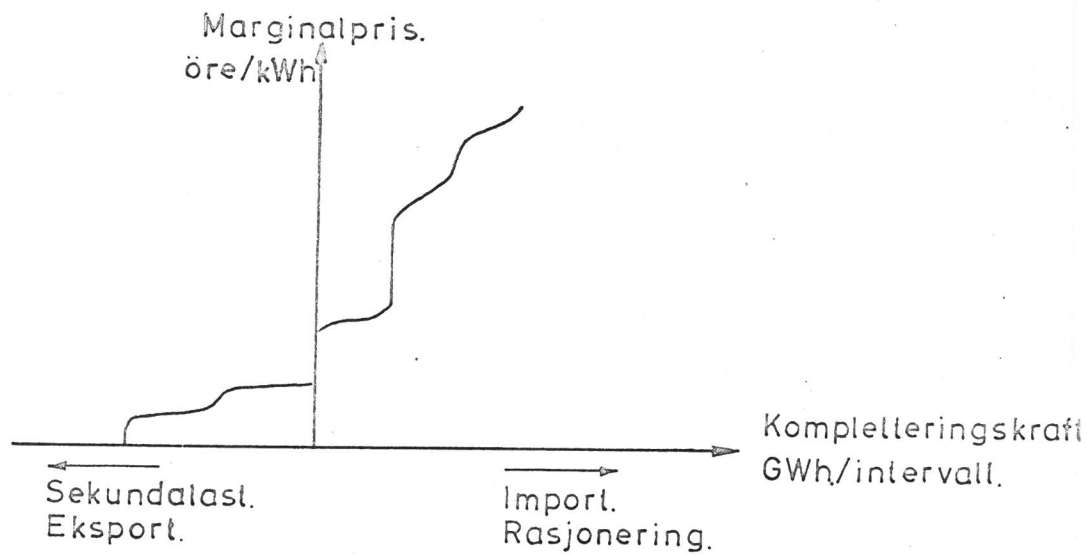


Fig. 2

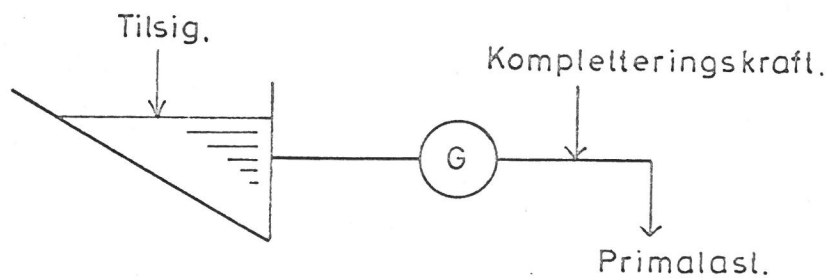


Fig. 3

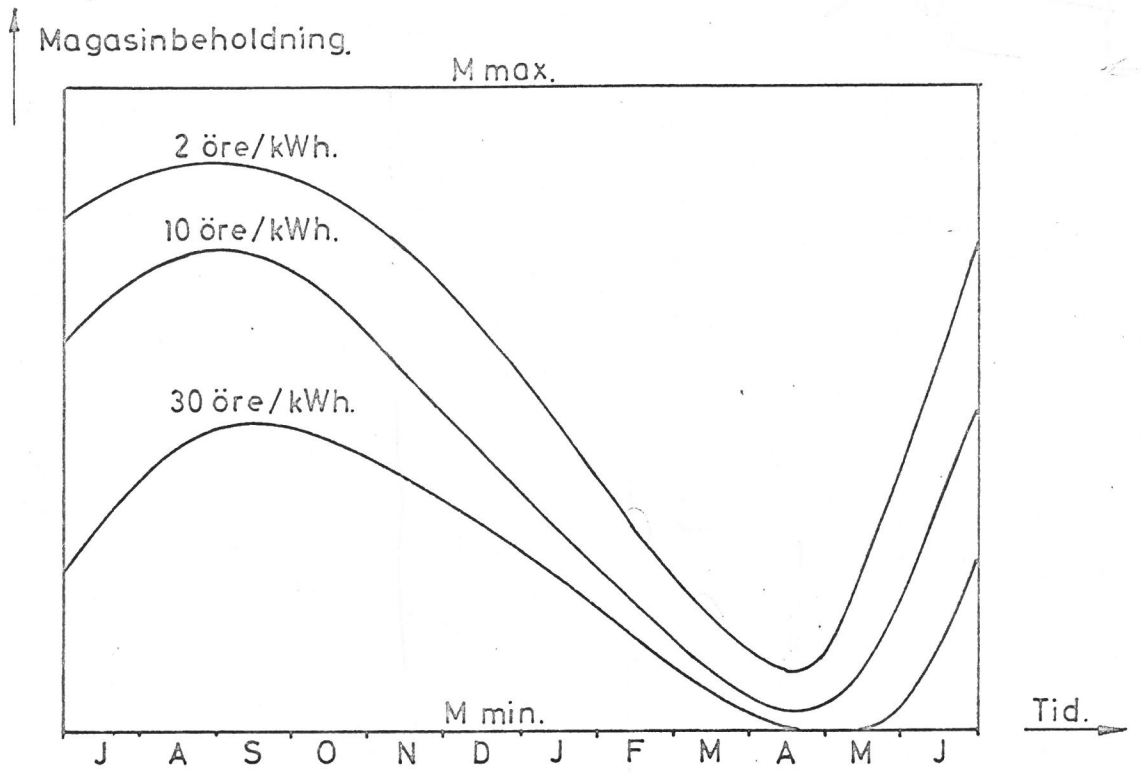


Fig. 4

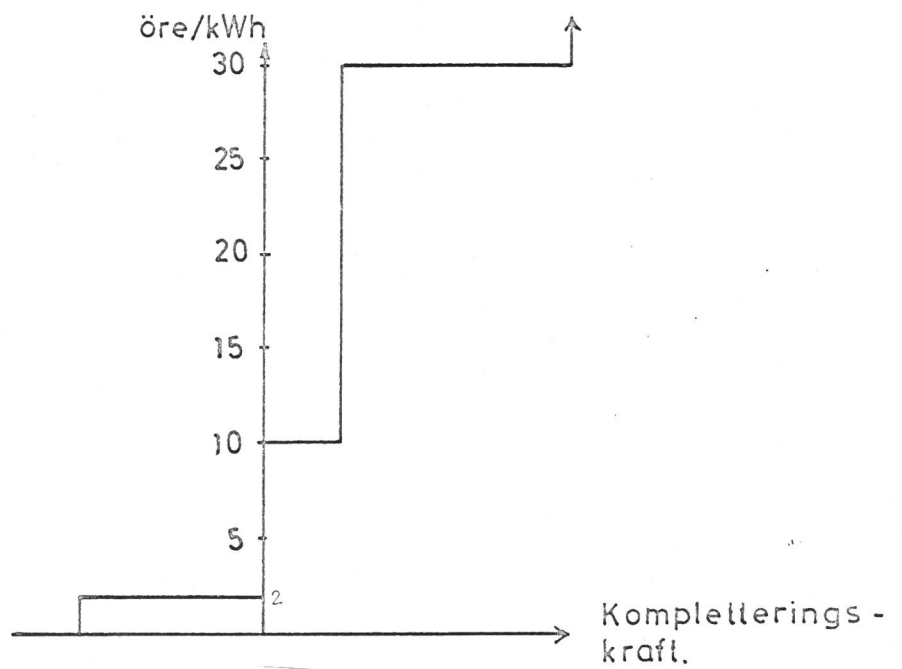


Fig. 5

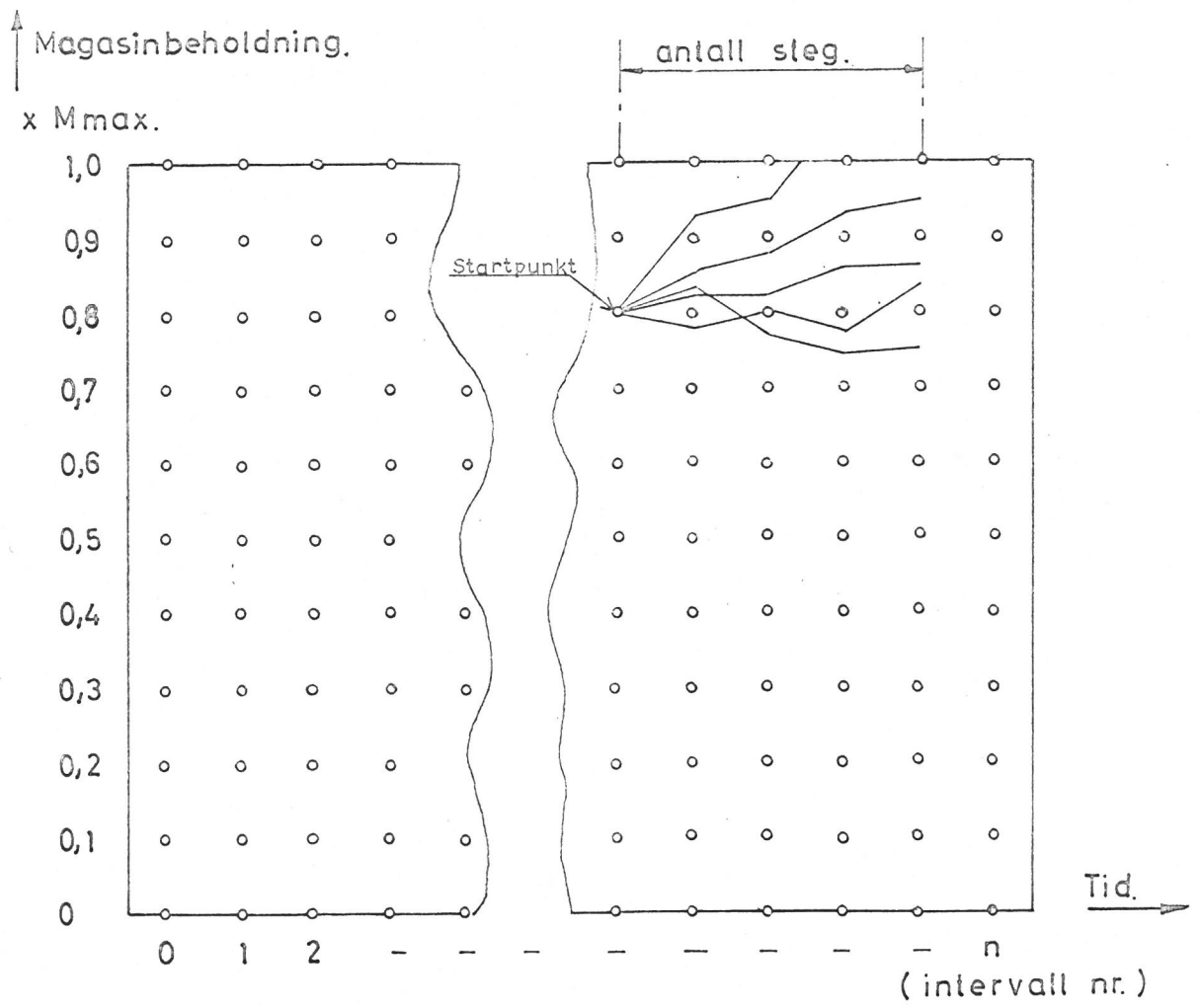


Fig. 6

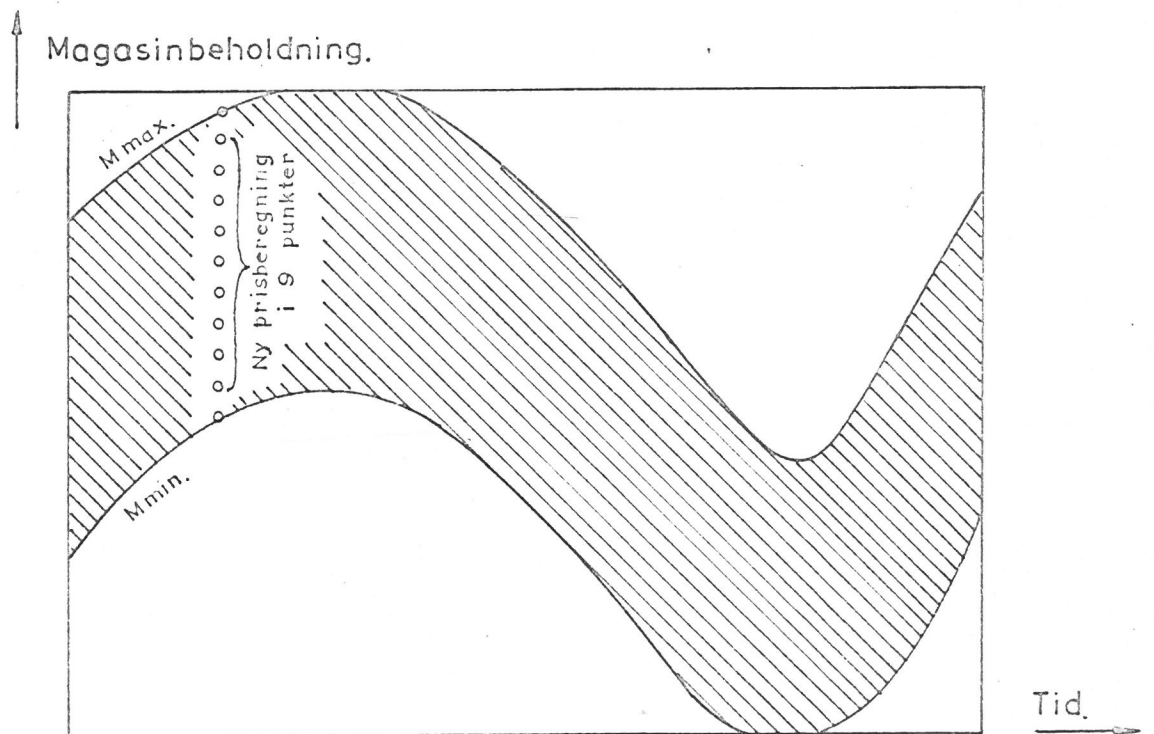


Fig. 7

APPENDIX.

REGNEPROGRAMMENES ANVENDELSE PÅ ET PRAKTISK EKSEMPEL.

Eksemplet som er valgt er statskraftverkene i Rana-området på et fremtidig stadium hvor disse er utbygget til ca. 1000 MW installert ytelse og en årsproduksjon av størrelsesorden 5000 GWh. Det forutsettes samkjøring med Sverige. Det er dog kun de tekniske data som er tatt fra dette nett. Når det gjelder de økonomiske data (kraftpriser) er eksemplets verdier rene antakelser.

1. Data for produksjonssystemet.

Undersøkelsen omfatter følgende verker:

Rana:	Installert effekt = 460 MW	Magasin = 1800 GWh
Övre Rössåga:	--- " --- = 150 " }	- " - = 2270 "
Nedre Rössåga:	--- " --- = 260 " }	
Langvatn:	--- " --- = 90 " }	Uregulert.

Bjerka (35 MW) samt 4 mindre, private kraftverk på tilsammen ca. 70 MW er ikke medtatt.

Totalmagasinet blir 4070 GWh

Maksimal produksjonsevne settes til

600 GWh/måned i tiden 1.6 - 1.9

660 " / " den øvrige del av året.

Minimal produksjon

44 GWh/måned i tiden 1.5 - 1.11

7 " / " den øvrige del av året.

Disse tall svarer til middel nyttbart tilsig til Langvatn. For øvrig vil både den spesifiserte minimale og den maksimale produksjon komme til å spille en liten rolle for vannverdi-ansettelsen i det aktuelle tilfelle.

Tilsiget til det ekvivalente totalmagasin beregnes som:

$$\underbrace{(0,01193 \cdot T_{708})}_{\text{Rössåga}} + \underbrace{(0,00788 \cdot T_{712})}_{\text{Rana}} + \underbrace{(0,00173 \cdot T_{712} - T_L)}_{\text{Langvatn}} \quad (\text{GWh})$$

hvor

$T_{708}$  - tilsig ( $10^4 \text{ m}^3$ ) til vannmerke nr. 708 - Tustervatn

$T_{712}$  - " ( " " ) " " " 712 - Nevernes

$T_L$  - korreksjon for tvangstapping (forbi verket) ved Langvatn svarende til:

20  $\text{m}^3/\text{sek.}$  i tiden 20.5 - 15.9

10  $\text{m}^3/\text{sek.}$  den øvrige del av året.

Som tilsig er brukt en ti-årsserie (1910 - 19) med følgende nyttbare totaltilsig:

1910:	4571	GWh
1911:	4806	"
1912:	3541	"
1913:	4843	"
1914:	5683	" (beste år)
1915:	3951	"
1916:	3330	" (dårligste år)
1917:	4832	"
1918:	5534	"
1919:	4788	" (median år)

Middeltilsig = 4588 GWh.



## 2. Belastning og kraftutveksling.

Primalasten regnes konstant over året og lik 395 GWh/måned. (ifølge NVE's oppgaver er årsbehovet 5200 GWh, hvorfra må trekkes produksjonen fra de verker som er utelatt ved nærværende undersøkelse ialt ca. 450 GWh.)

Kompletteringskraften utgjøres foruten rasjonering av import fra og eksport til Sverige. Samkjøringslinjen vil få en overføringsevne på 200 MW eller 144 GWh/måned. Dessuten ventes det å komme en samkjøringslinje til Nord-Trøndelag; den er imidlertid ikke tatt med. Det kan ikke regnes med noen muligheter for å selge sekundakraft innen området.

Opplysninger om priser på kompletteringskraft har ikke kunnet fremskaffes. Den eneste avtale som for øyeblikket foreligger om utvekslingen er den svensk-norske lagringsavtalen (se f.eks. [9] s. 57<sup>x)</sup>) og i fall utvekslingen kommer til å foregå helt innen denne avtale, faller hele problemstillingen vedrørende økonomisk planlegging praktisk talt bort, dels fordi prisen på utvekslingskraften ikke er definert og dels fordi utvekslingens størrelse i praksis må formodes å bli fastlagt fra svensk side. Det eneste som gjenstår på norsk side er da å tilrettelegge eventuell rasjonering, men også her mangler det opplysninger. Man kan også si det slik; at man ved å gi lagringsavtalen den form som den har fått, har skjøvet fra seg de driftsmessige problemer som nærværende rapport prøver å angi en løsning på.

For overhodet å kunne avprøve regneprogrammene har vi imidlertid vært nødt til å foreta en skjønnsmessig ansettelse av prisene. Ved å dra sammenligninger med driften i liknende nett (f.eks. Nordenfjeldske Kraftsamband) hvor utveksling basert på priser finner sted, har vi søkt å gjøre antakelsene realistiske. Følgende priskurver for kompletteringskraft er blitt benyttet (se fig. 1)

Kurvene merket "K1" viser en antakelse som forutsetter at det i månedene juni, juli, august fra Sverige tilbys billig flom-

---

x) Se litteraturliste ved hovedrapportens slutt

kraft (0,5 öre/kWh), importen er p.gr.a. linjens overføringsevne begrenset til 144 GWh/måned. Norsk eksport er derimot ikke aktuell i disse månedene. Om vinteren (oktober-april) er man fra svensk side interessert i å importere, opp til 72 GWh/måned (50 % last på linjen) tilbys 1,5 öre/kWh, derover 0,75 öre/kWh. Ønsker man å importere fra Sverige på denne årstid regnes det at dampkraft kan fås til en pris av 5 öre/kWh opp til 72 GWh/måned, deretter stiger prisen til 7,5 öre/kWh til linjen er fullastet. Slår denne kompletteringskraft ikke til, må man gripe til rasjonering og de tre siste trinn på trappekurven representerer tapene ved rasjonering i forskjellige grader. - Månedene mai og september er overgangsmåneder og for disse ligger kompletteringskraftkurvene et sted mellom sommer- og vinterkurvene.

Ulempene ved en lett rasjonering (opp til 56 GWh/måned) er anslått til 10 öre/kWh, og det er mange ting som tyder på at dette er en rimelig verdi. Når det gjelder hårdere rasjonering er det vanskeligere å anlegge en vurdering, foruten tilfellet mrk. "K1" er det derfor prøvet to varianter (mrk. "K1.1" og "K1.2") som må formodes å representere ekstreme tilfeller, idet rasjonert energi (uansett rasjoneringsprosenten) vurderes til henholdsvis 10 öre/kWh og 100 öre/kWh.

Sluttelig er regnet under den antagelse at man hele året har kompletteringskraft som angitt ved den første kurve fig. 1 (okt.-apr.), dette tilfelle betegnes "K4" og svarer altså til, at man i Sverige ikke lenger har særlig utpregede avsetningsvanskeligheter for vannkraften om sommeren.

Det er forutsatt at kompletteringskraften (tilbudt mengde og pris) er uavhengig av de hydrologiske forhold. I praksis vil det, man fra svensk side tilbyr å kjøpe eller selge, imidlertid nok variere fra år til år. Om det ønskes kan man ta hensyn til dette ved å angi individuelle kompletteringskraftkurver for de enkelte tilsigsår.

### 3. Beregningsresultater.

Hensikten med de regninger som foreløpig er utført har hovedsakelig vært å undersøke egenskapene ved selve den matematiske prosess (konvergensforhold, løsningsfølsomhet overfor endringer i inngangsdata osv.). De enkelte punkter er kommentert nedenfor. For øvrig vises til figurblad 2-8 og til oversikten tabell 1.

Fig. 2-5 viser eksempler på vannverdikurver.

Vannverdiberegningene er utført for en periode av ett år fra 1.1 til 31.12. På figurene er bare vist to karakteristiske kurver, en gjeldende for 1. juni (min. magasinbeholdning) og en for 1. oktober (maks. magasinbeholdning). Ved beregningene er forutsatt at man ved årets slutt gjenfinner vannverdikurven for 1. januar; siste søyle i vannverdimatrisen er altså etter hver iterasjon skiftet ut med første. Derved skulle de resulterende vannverdier bli noenlunde uavhengige av startverdiene. (For øvrig har startverdiens innflytelse på resultatene og på regnetiden ikke vært undersøkt systematisk)

Resultatene fra den etterfølgende simulering av driften er samlet i oversikten tabell 1. De forskjellige tilfeller er nummerert 1-11 (siste kolonne). Det økonomiske resultat av driften (inkludert eventuelle tap ved rasjonering) er oppført i nest siste kolonne. Negativ verdi betegner utgift. Sett i relasjon til verdien av primakraftproduksjonen (100-150 mill. kr/år) er avviket mellom driftsresultatet fra tilfelle til tilfelle av størrelsesorden 1 % eller mindre.

Ved simuleringen er brukt samme tilsigsmateriale som ved vannverdiberegningene, men det er regnet med en fortløpende magasinverdi og tilsigsårene tas i kronologisk orden. Begynnelsesmagasinet (1.1. 1910) er satt til enten 3000 GWh eller 2500 GWh. Førstnevnte verdi er relativt høy for årstiden, selvom den er mindre enn sluttmagasinet (31.12. 1919). Sluttmagasinet vil naturligvis innen visse grenser være uavhengig av begynnelsesmagasinet. Ved sammenlikning av forskjellige alternativer (tabell 1) må man foruten utgiftene til kompletteringskraft i virkeligheten også ta hensyn til eventuelle avvik i begynnelses- og/eller sluttmagasin ved å

beregne verdien av magasindifferensen. Denne komplikasjon blir mere generende om man alle år regner frem fra samme begynnelsesmagasin (og altså får 10 forskjellige sluttmagasiner), det er en av grunnene til at det er valgt å regne med fortløpende magasin.

Fig. 6-8 viser eksempler på hvordan magasinbeholdning og kompletteringskraft kan variere under simuleringen.

### 3.1. Konvergensforhold og regnetid.

Det ble spesifisert at avviket mellom "ny" og "gammel" pris skulle være mindre enn 0,1 öre/kWh for vannverdien i et punkt kunne erklæres å være stabil. For å bringe ned regnetiden er det dessuten arrangert slik at et punkt, hvor verdien har vist seg stabil i to på hverandre følgende iterasjoner (samme verdi 3 ganger i trekk), overspringes ved alle senere iterasjoner (om dette tiltak kan ha uheldige bivirkninger er dog ennå ikke undersøkt fullstendig).

Det viser seg at et meget stort antall punkter (30-50 % av det samlede antall) ikke stabiliserer seg, idet man etter noen (5-10) iterasjoner kommer i den situasjon, at prisen svinger mellom to bestemte verdier. Dette er ganske naturlig og skyldes at priskurven for kompletteringskraft er en trappekurve og ikke en kontinuert kurve. La oss som et eksempel ta et punkt hvor vannverdien etter iterasjon nr. 6 er 4,8 öre/kWh like under et trinn import til 5 öre/kWh. Det blir altså ikke import i neste måned og vi ender med magasinbeholdninger som gir en ny pris på f.eks. 5,5 öre/kWh etter iterasjon nr. 7. Ved iterasjon nr. 8 startes derfor import og man ender opp med relativt større magasinbeholdninger med det resultat at vannverdien igjen går ned f.eks. til 4,8 öre/kWh. Spranget i pris blir naturligvis større jo lengere intervaller man bruker (jfr. fig. 2) og fenomenet er mest utpreget i den nedre halvdel av magasinet. Simuleringen viser at vannverdiene fra to suksessive iterasjoner som regel gir samme driftsresultat (se tabell 1, tilfelle 1 og 2, 6 og 7, 8 og 9, 10 og 11), men nede i rasjoneringssonen kan det dog vise seg en forskjell, jfr. tilfelle 4 og 5, hvor det konstateres et avvik på ca. 600 000 kr/år. (En nøyere gransking viser at dette avvik nesten utelukkende skyldes den forskjellige kjøring i rasjoneringsåret

1917 og at et bedre resultat ville være oppnådd om man hadde kjørt etter en middelveidi av iterasjon nr. 7 og 8). I praksis vil det fornuftigste sikkert være å regne med middelveidien av de 2 vannverdier.

Regnetiden med månedsintervaller er for første iterasjon eksempelvis ca. 2 min. ved steg = 1, og ca. 7 min. ved steg = 12. For 15 døgns intervaller og steg = 2 likeledes ca. 2 min. En fullstendig vannverdiberegning for det gitte system tar da inklusiv innlesing og utskrift 20-40 min. I det generelle tilfelle blir regnetiden pr. iterasjon av størrelsesorden

$$0,015 \cdot (\text{steg}) \cdot (\text{tilsigsår}) \cdot (\text{antall intervaller}) \text{ minutter}$$

### 3.2. Valg av intervallengde.

Sammenlikning mellom tilfelle 1 og 3 samt mellom 1 a og 3 a viser et noe gunstigere driftsresultat ved anvendelse av 15 døgns intervaller i stedet for 30 døgns intervaller. Dette skyldes først og fremst at man ved den kortere intervallengde har bedre muligheter for hurtig å endre strategi under simuleringen. Som et eksempel kan nevnes at man ved bruk av 30 døgns intervaller kom ut for innen samme måned (juli 1914, fig. 6) å ha import fra Sverige og flømtap. En slik urimelighet unngås når man går ned til 15 døgns intervaller. Men når det gjelder selve vannverdiberegningen synes en avkortning av intervallengden ikke å ha noen større innflytelse (fig. 2), det er neppe stort å vinne i presisjon, selv om de ovenfor omtalte oscillasjoner dempes.

### 3.3. Valg av "antall steg".

Dette synes å være en faktor som har forholdsvis stor innflytelse på resultatene. I de fleste tilfeller har man ved vannverdiberegningen gått 1 måned fram hvert tilsigsår (steg = 1). For en bestemt kompletteringskrafttype (K1) er det da til sammenlikning prøvd å gå 12 måneder fram ved vannverdiberegningen (det vil

i praksis si at man alltid regner fram til slutten av desember), og sammenligner man tilfelle nr. 1 (fig. 6 og fig. 2), steg = 1 med tilfelle nr. 4 (fig. 3 og 7) ser man at kjøringen i sistnevnte tilfelle blir mere "dristig". Restmagasinene blir mindre og man får en periode med rasjonering hva man ikke får når vannverdiene beregnes med steg = 1. Det økonomiske resultat blir for det gitte system vesentlig dårligere med steg = 12 enn med steg = 1, idet de årlige utgifter inklusiv tap ved rasjonering i middel blir ca. 2,5 mill. kr. (tilfelle 4 og 5) mot ca. 0,8 mill. kr. (tilfelle 1). Dette er rimelig i betraktning av at summen av de 12 ugunstigste månedstilsig (i hele årrekken) er mindre enn årstilsiget i det ugunstigste år.

Man skal nok ikke dra for vidtgående slutninger av dette ene eksempel. Hadde man benyttet et annet tilsigsmateriale var resultatet muligens blitt et annet. For å kunne bestemme optimalt "antall steg" kreves flere undersøkelser og det hele er bundet sammen med spørsmålet om i hvor stor utstrekning det eksisterer en seriekorrelasjon mellom (måneds)tilsigene [3], [10]<sup>x)</sup> Antakelig vil det vise seg hensiktsmessig å nytte et antall steg svarende til en eller noen få måneder (I Sverige brukes 1 måned [6] eller 20 uker [7]<sup>x)</sup>).

#### 3.4. Endring av kompletteringskraft.

Vanligvis vil det ikke være aktuelt å "eksperimentere" med kompletteringskraften, som vil - og bør - være gitt på forhånd. Da det imidlertid for R-na ikke foreligger noen data har vi funnet det rimelig å prøve ikke bare med en men med 4 forskjellige antakelser (K1, Kl.1, Kl.2 og K4, se avsnitt 2), fordi man derved får en viss indikasjon på den nøyaktighet som må kreves av disse priskurver. Det er især interessant å se virkningene av forskjellig størrelse av tapene ved rasjonering. Kurven K1 (fig. 1) har tre pristrinn (10, 20 og 50 öre/kWh) for rasjonering; Kl.1 og Kl.2 har ett trinn på henholdsvis 10 og 100 öre/kWh. Fig. 5 viser vannverdi-kurvene, forskjellen mellom de 3 tilfeller viser seg først for priser over ca. 2 öre/kWh. Dette betyr at det i driften fås samme

---

x) Se litteraturliste ved slutten av hovedrapporten.

eksport = 245 GWh/år, (tabell 1: tilfelle 1, 6 og 8), men forskjellig import, størst import og mest forsiktig kjøring fås naturligvis ved den høye pris på 100 öre/kWh (K1.2, tilfelle 8) hvilket også tydelig framgår av magasinkurvene fig. 8. De årlige utgifter blir ca. 1,6 mill. kr. høyere for tilfelle 8 enn for tilfelle 6.

Hvis det ikke er mulighet for å kjøpe billig svensk sommerkraft blir utgiftene naturligvis vesentlig høyere som det sees av tilfelle 10 og 11 (kompletteringskraft K4). I middel er energiunderskuddet i det norske system (import-eksport-magasindifferens):

$$166 - 7 - \frac{3062-3000}{10} = 153 \text{ GWh}$$

svarende til forskjellen mellom primalast (4740 GWh og middeltilsig (4588 GWh). Dette underskudd må dekkes ved import av svensk varmekraft og importprisen blir i gjennomsnitt 5,2 öre/kWh. Driftsformen er lite realistisk, og den ble nærmest medtatt for å undersøke om overgangen fra(4) forskjellige kompletteringskraftkurver for forskjellige årstider til en enkelt kurve for hele året ville influere på konvergensforholdene. Det viste seg ikke å være tilfelle.



Tabel 1  
(Appendix)

Oversikt over driftsresultater.

Kompl kraft (fig.1)	Inter- val- lengde Døgn	Antall steg	Tøra- sjon nr.	Begyn.- magasin		Slut- <br/ magasin		Rasjonering		Import		Eksport		Flombap		Balanse Mill.kr.	Tilfelle nr.	
				GWh	3000	GWh	3285	GWh	0	GWh	Mill.kr.	GWh	Mill.kr.	GWh	Mill.kr.			GWh
	30	1	6	GWh	3000	GWh	3285	GWh	0	GWh	454	GWh	245	GWh	0	Mill.kr.	-0,817	1(fig.6)
				Mill.kr.	2500	Mill.kr.	3285	Mill.kr.	0	Mill.kr.	4,176	Mill.kr.	4,176	Mill.kr.	2,603	Mill.kr.	28	Mill.kr.
K 1	15	2	7	GWh	3000	GWh	3285	GWh	0	GWh	468	GWh	259	GWh	28	Mill.kr.	-0,824	2
				Mill.kr.	3000	Mill.kr.	3285	Mill.kr.	0	Mill.kr.	4,248	Mill.kr.	4,248	Mill.kr.	3,424	Mill.kr.	24	Mill.kr.
	30	12	7	GWh	3000	GWh	3186	GWh	27	GWh	468	GWh	324	GWh	0	Mill.kr.	-2,859	4(fig.7)
				Mill.kr.	2500	Mill.kr.	3190	Mill.kr.	0	Mill.kr.	4,032	Mill.kr.	4,032	Mill.kr.	2,714	Mill.kr.	25	Mill.kr.
K 1.1	30	1	8	GWh	3000	GWh	3130	GWh	21	GWh	468	GWh	324	GWh	0	Mill.kr.	-2,213	5
				Mill.kr.	3000	Mill.kr.	3285	Mill.kr.	0	Mill.kr.	3,120	Mill.kr.	3,168	Mill.kr.	3,413	Mill.kr.	21	Mill.kr.
K 1.2	30	1	13	GWh	3000	GWh	3285	GWh	0	GWh	446	GWh	245	GWh	21	Mill.kr.	+0,245	7
				Mill.kr.	3000	Mill.kr.	3285	Mill.kr.	0	Mill.kr.	4,536	Mill.kr.	4,536	Mill.kr.	3,154	Mill.kr.	35	Mill.kr.
K 4	30	1	14	GWh	3000	GWh	3062	GWh	0	GWh	166	GWh	7	GWh	0	Mill.kr.	-8,532	10
				Mill.kr.	2500	Mill.kr.	3066	Mill.kr.	0	Mill.kr.	11,160	Mill.kr.	11,160	Mill.kr.	0	Mill.kr.	0	Mill.kr.
			11	GWh	3000	GWh	3062	GWh	0	GWh	166	GWh	7	GWh	0	Mill.kr.	-8,532	11

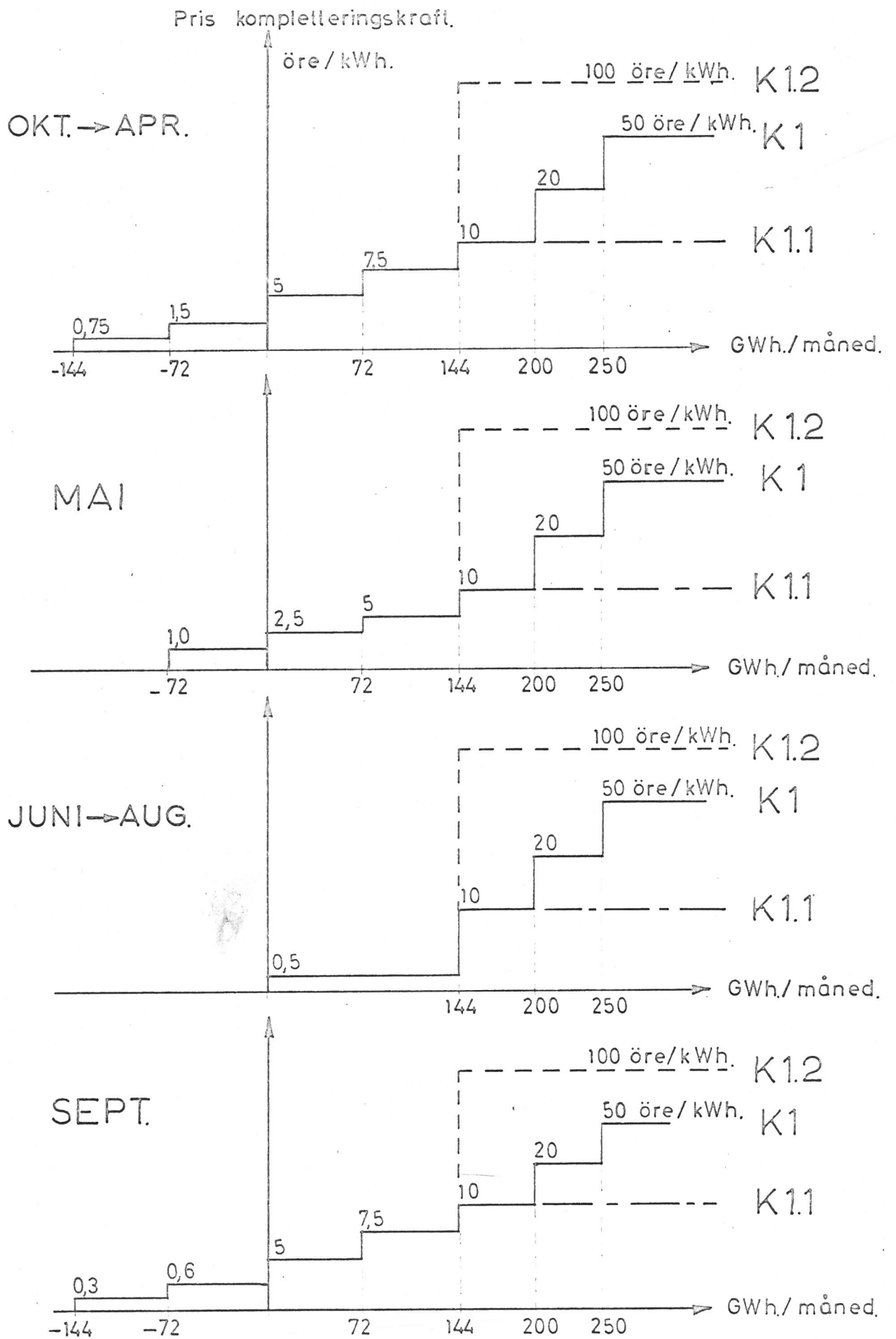
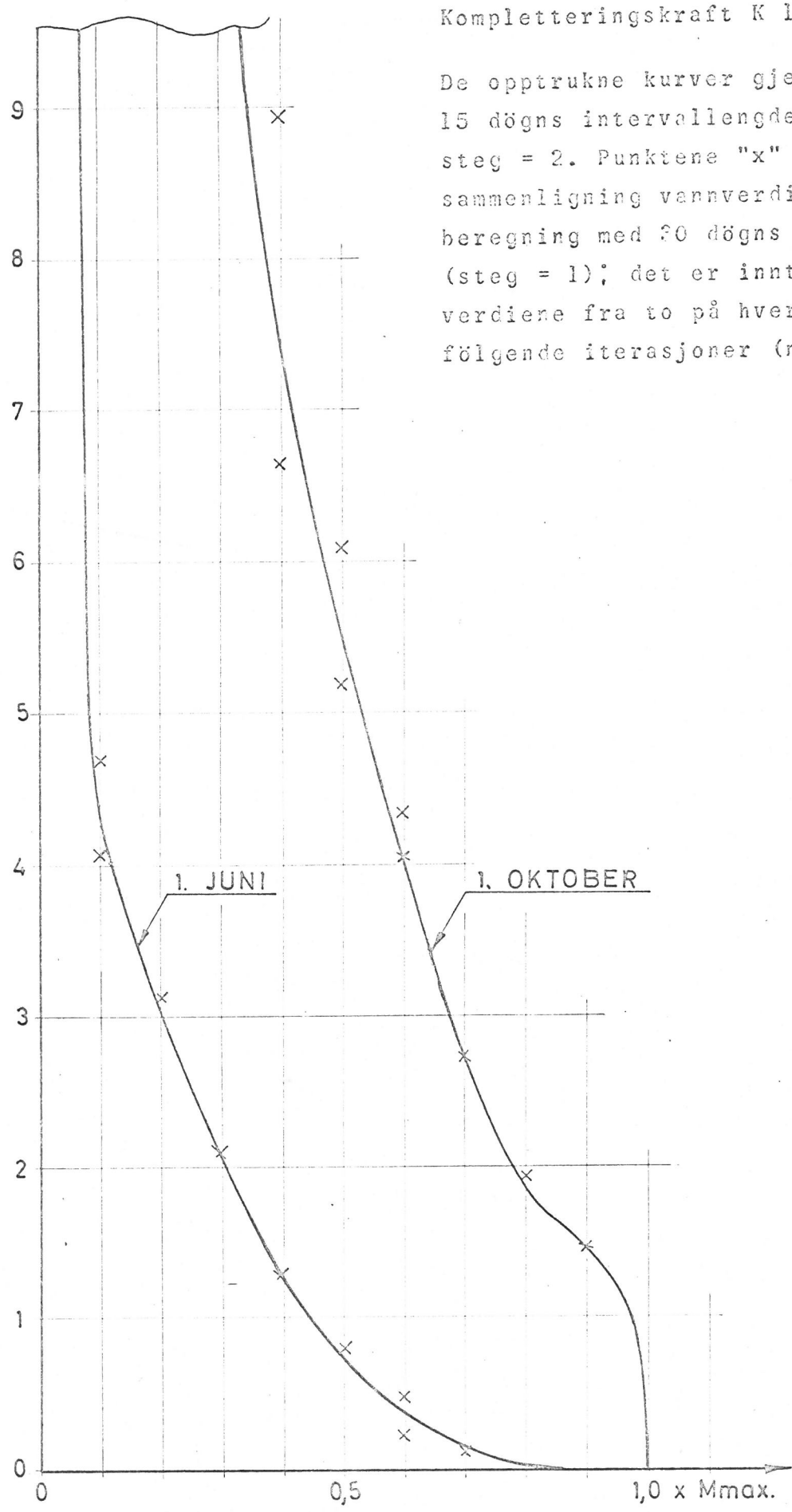
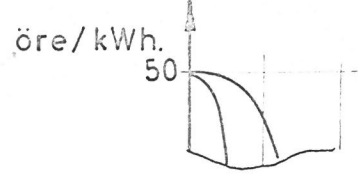


Fig. 1



Kompletteringskraft K 1 (se fig.1)

De opptrukne kurver gjelder for 15 døgns intervallengde og steg = 2. Punktene "x" viser til sammenligning vannverdiene fra beregning med 30 døgns intervaller (steg = 1); det er inntegnet verdiene fra to på hverandre følgende iterasjoner (nr. 6 og 7)

Fig. 2

Magasin-beholdning.

Marginal vannverdi,  
öre / kWh.

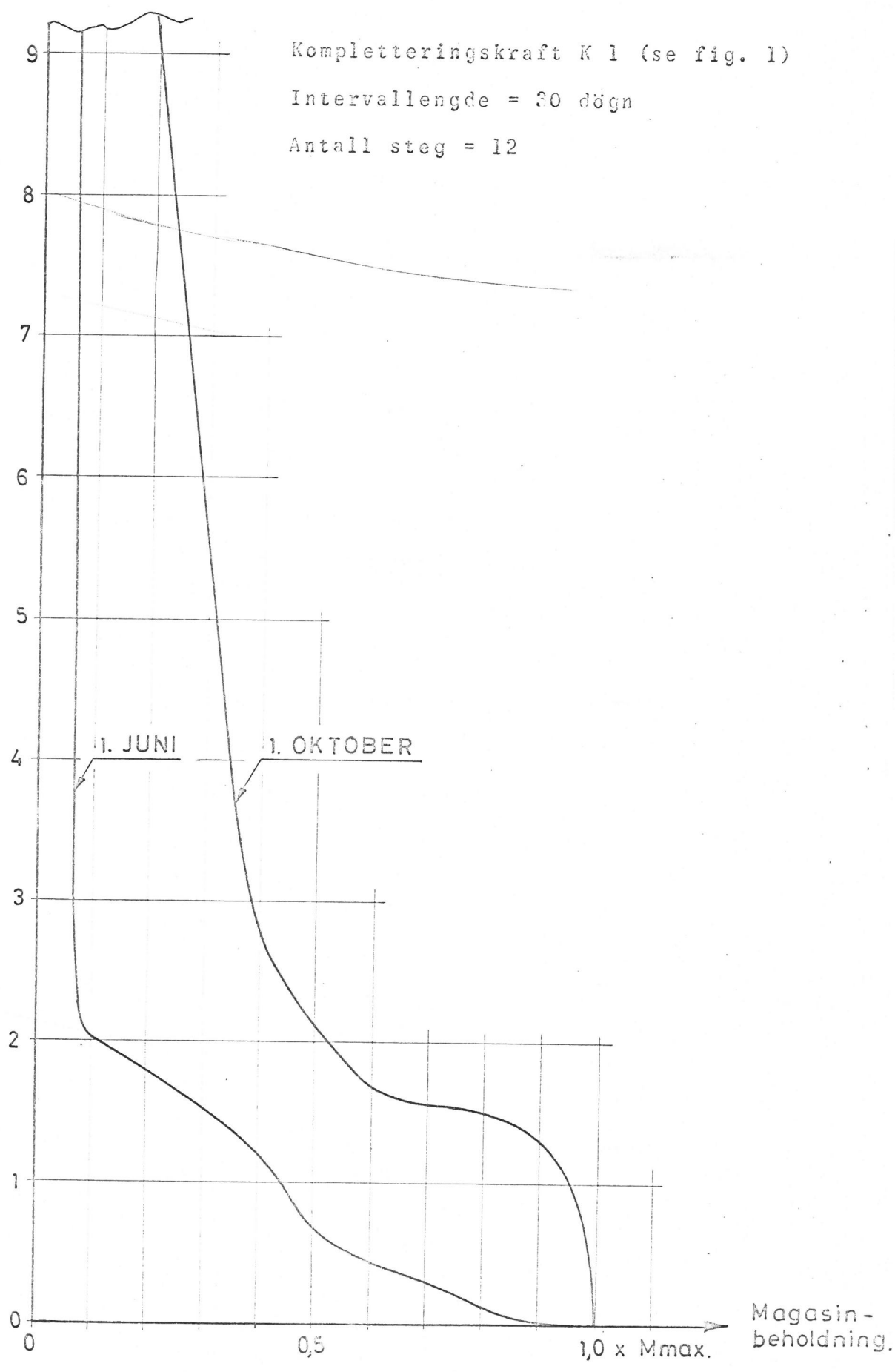


Fig. 3

Marginal vannverdi.

öre/kWh.

50

9

8

7

6

5

4

3

2

1

0

Kompletteringskraft K 4 (se tekst)

Intervallengde = 30 døgn

Antall steg = 1

1. JUNI

1. OKTOBER

0,5

1,0 x Mmax.

Magasin-  
beholdning

Fig. 4

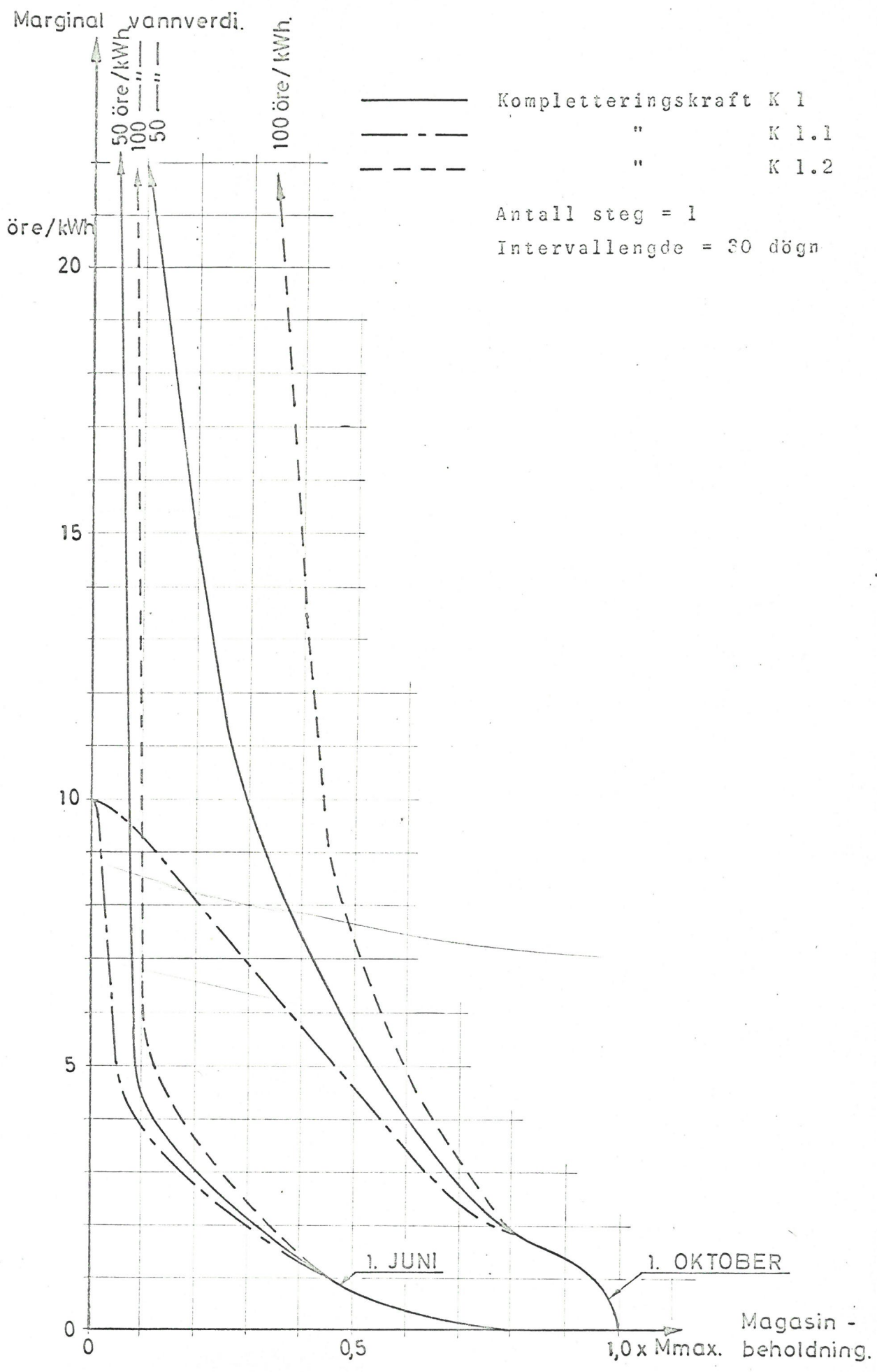
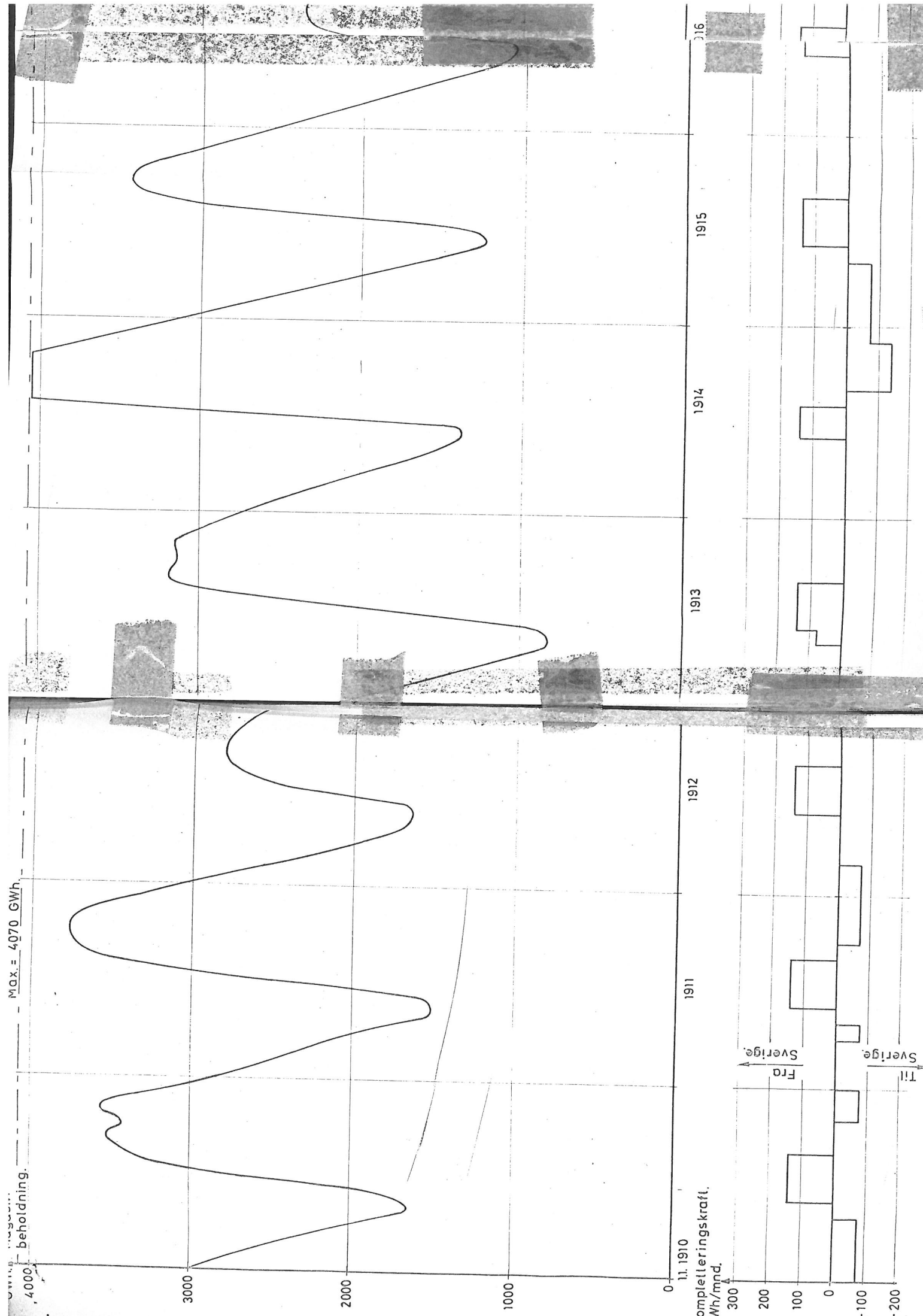


Fig. 5

Max. = 4070 GWh.

beholdning.



1.1. 1910  
kompletteringskraft.  
iWh/mnd.

1911

1912

1913

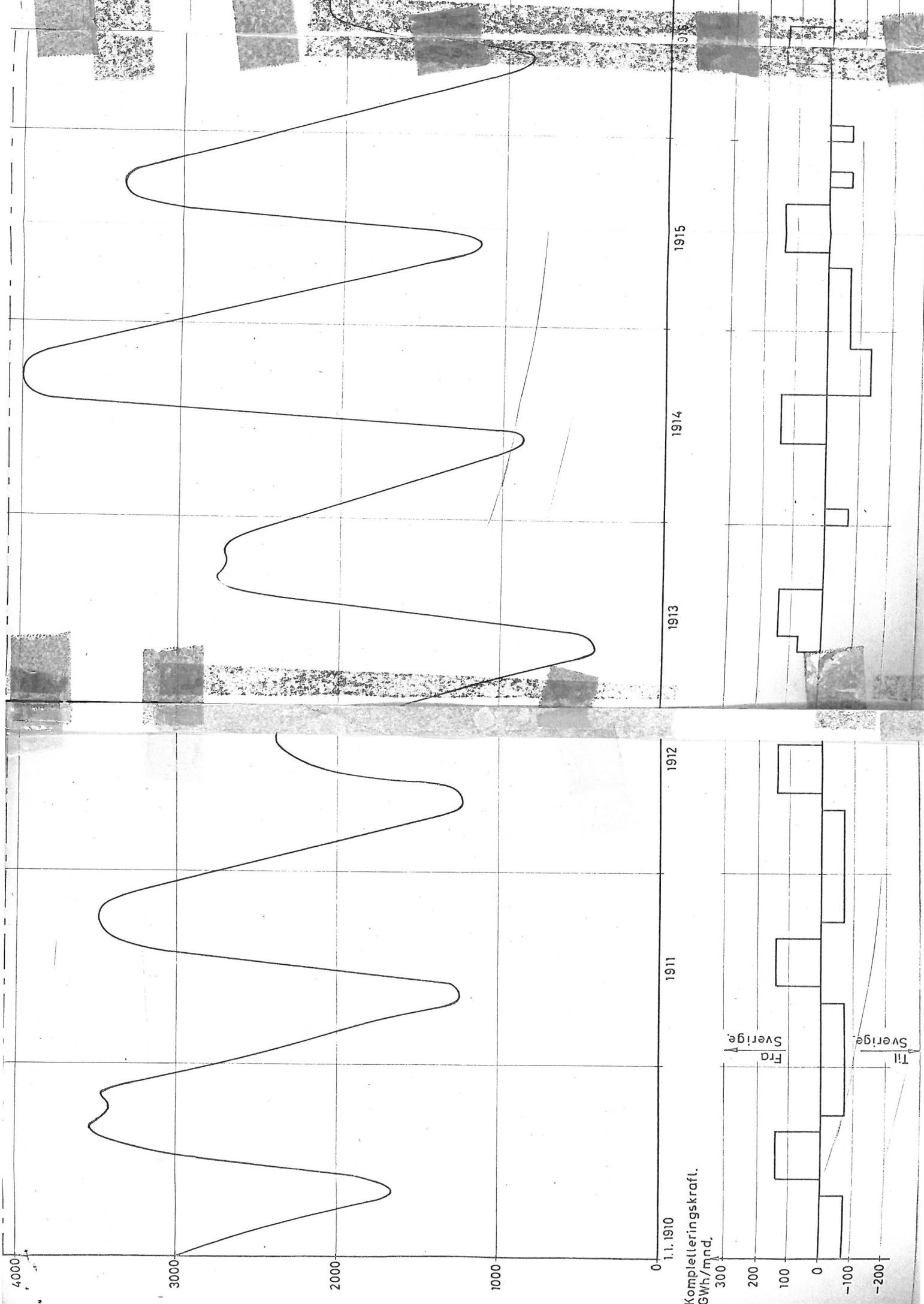
1914

1915

1916

Fra Sverige  
Till Sverige

300  
200  
100  
0  
-100  
-200



1915

1914

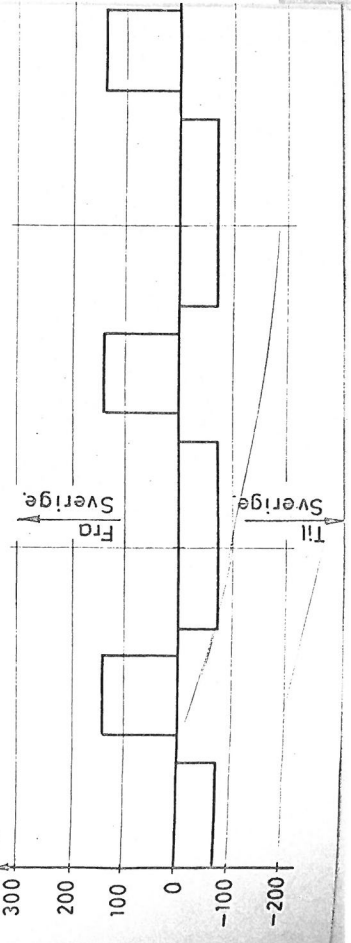
1913

1912

1911

1.1.1910

Kompletteringskraft.  
GWh/mnd.

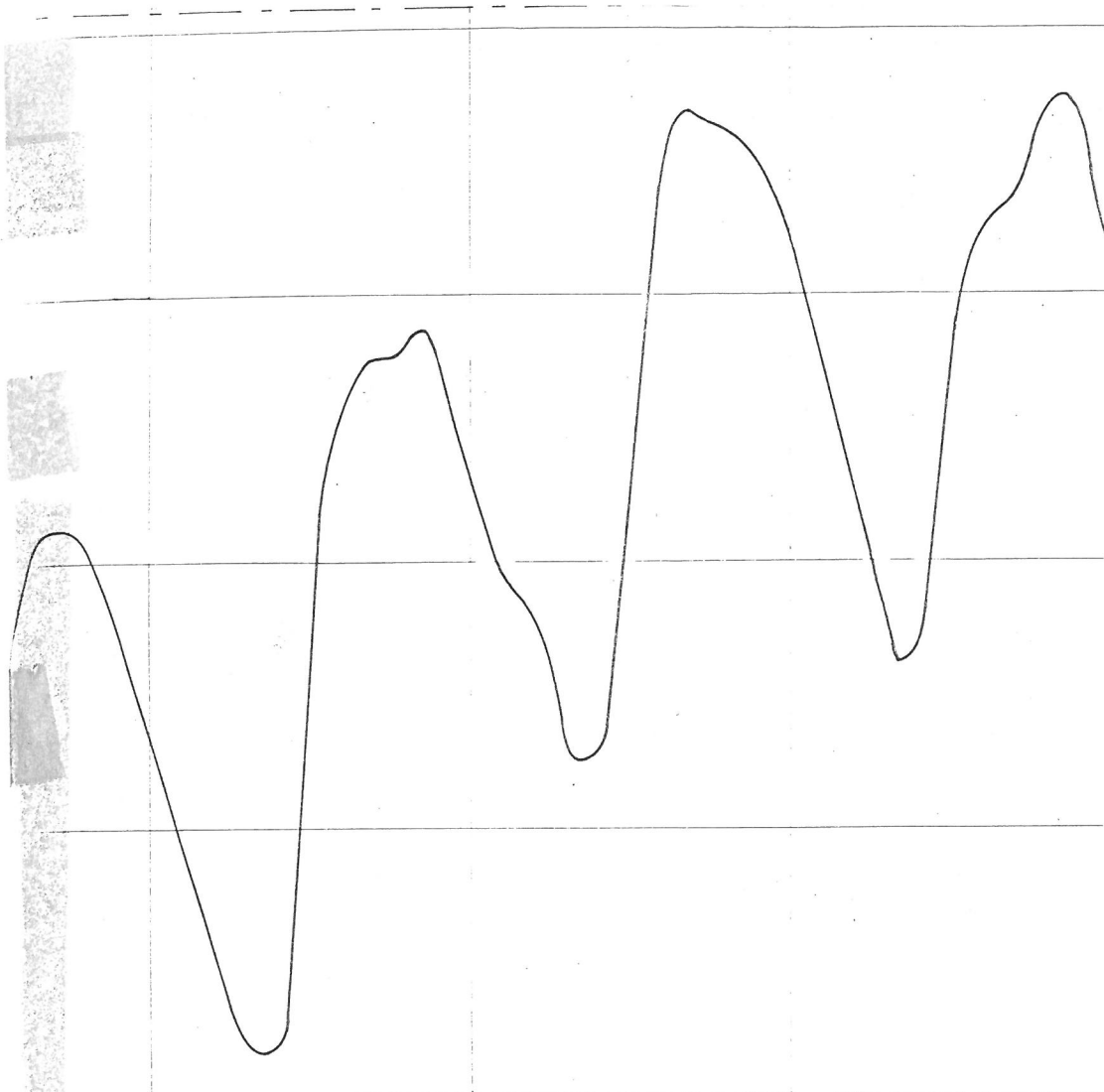


Sverige  
Fria

Till  
Sverige

300  
200  
100  
0  
-100  
-200



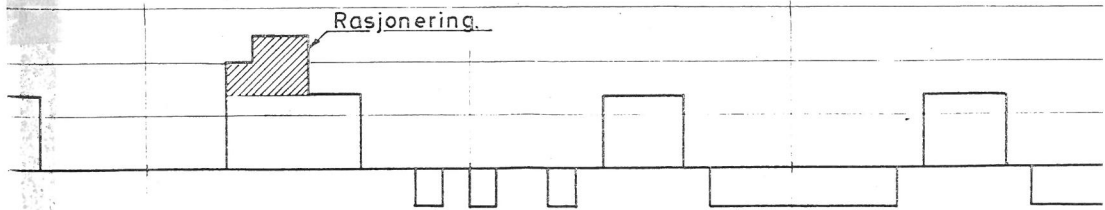


1916

1917

1918

1919



Rasjoning.

Fig.7 Simulering tilfelle nr. 4  
 Kompl.kraft K 1, 30 døgns int.  
 steg = 12

GWh.  
4000

FIG. 4070 GWh.

— K 1.1.  
- - - K 1.2.

3000

2000

1000

1.1. 1910

1911

1912

Kompletteringskraft.  
GWh/and.

300

200

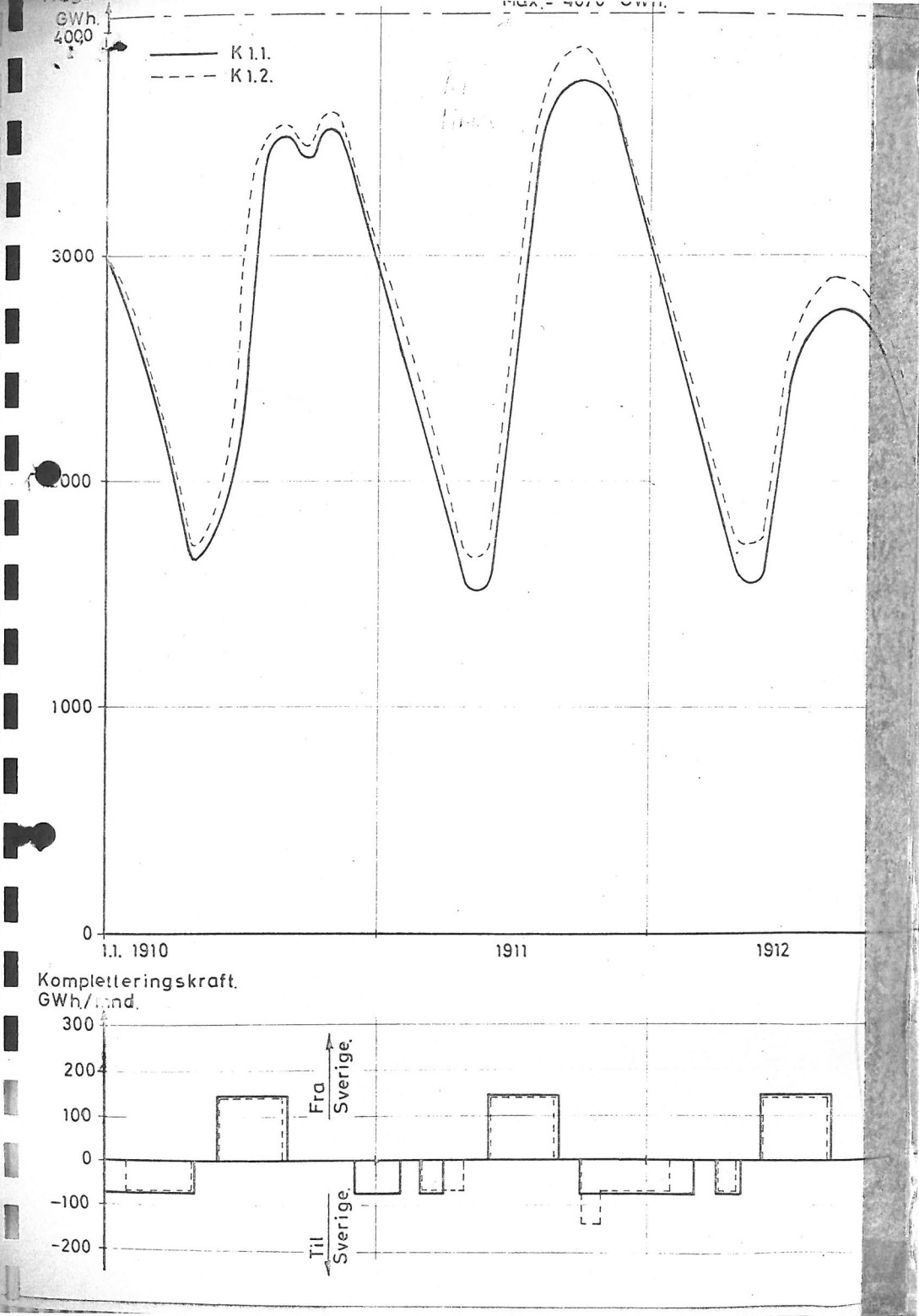
100

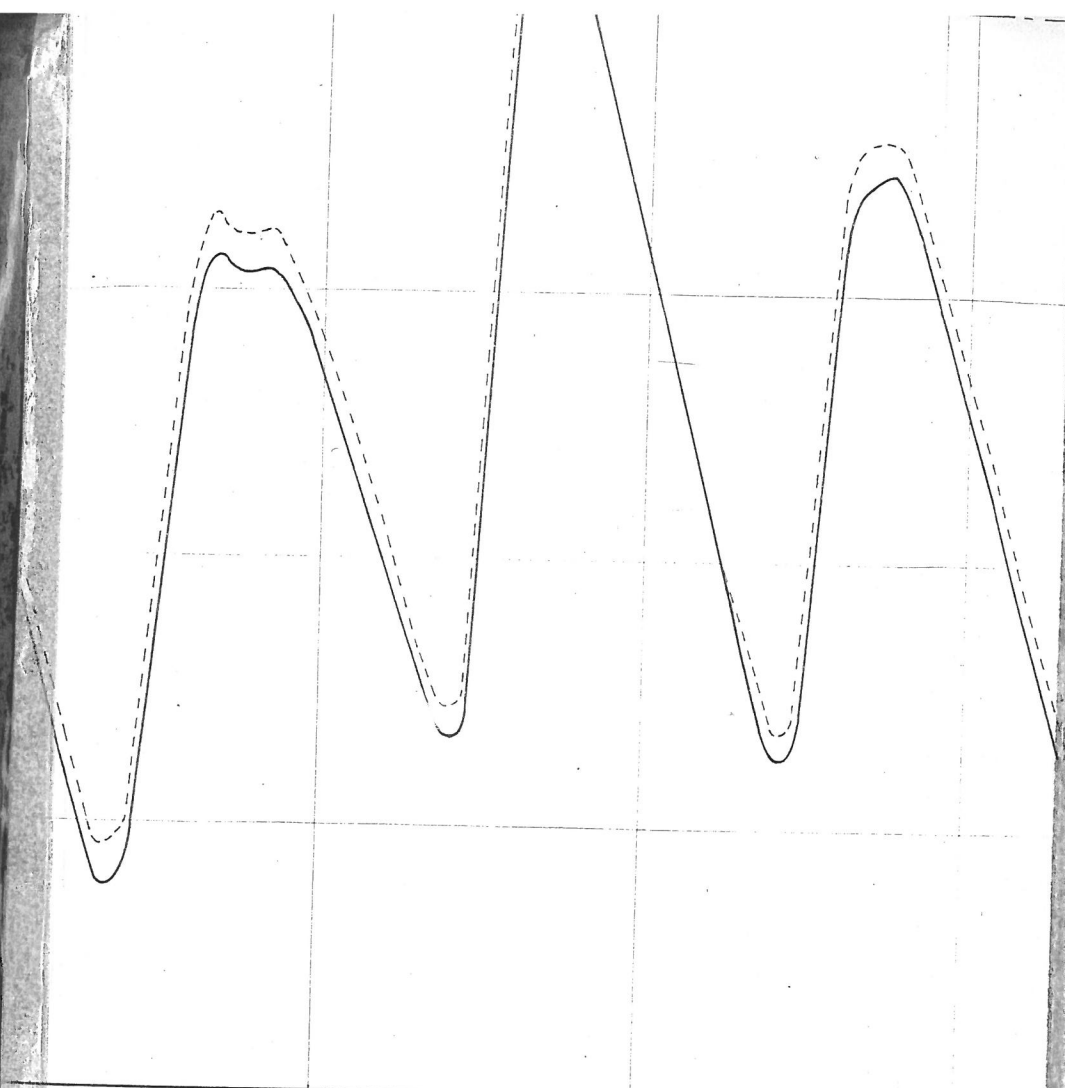
0

-100

-200

Fra Sverige  
Til Sverige





1913

1914

1915

