

**AUTOMATISK RENSNING AV INTAGSGALLER  
TILL KRAFTVERK**

**En studie av energimässiga och ekonomiska  
aspekter**

**Per Bertilsson**

**Björn Bröne**

## FÖRORD

Föreliggande rapport har utförts som examensarbete vid institutionen för vattenbyggnad, Chalmers Tekniska Högskola, under hösten 1977 och våren 1978. Handledare har professor Anders Sjöberg varit.

Rapporten behandlar främst energimässiga och ekonomiska aspekter på rensning av avskiljningsgaller för vattenkraftverk. Den ingår som ett led i en studie av energiproduktionen vid kraftverk. Rapporten grundar sig på mätningar utförda vid Kungsfors kraftstation belägen i Viskan strax söder om Kinna. Kraftstationen ägs av Viskans Kraft AB som vi härmed vill tacka för benäget bistånd. Framför allt vill vi framföra ett stort tack till driftingenjör Lennart Brelind.

Göteborg i juni 1978

Per Bertilsson

Björn Bröne

## INNEHÅLLSFÖRTECKNING

## SAMMANFATTNING

1. INLEDNING
  - 1.1 Bakgrund
  - 1.2 Målsättning
2. KRAFTVERKET
  - 2.1 Kraftverket
3. UTRUSTNING
  - 3.1 Grindrensare
  - 3.2 Fallförlustmätare
4. MÄTNINGAR
  - 4.1 Mätperiod o mätningsförfarande
  - 4.2 Mätresultat
5. BERÄKNINGAR
  - 5.1 Driftpolitik
  - 5.2 Beräkningsförfarande
  - 5.3 Uppskattning av verkningsgrader
  - 5.4 Resultat av beräkningar
6. UTVÄRDERING AV ENERGIMÄSSIG OCH EKONOMISK VINST
  - 6.1 Energivinst vid utnyttjande av grindrensare
  - 6.2 Ekonomisk vinst vid utnyttjande av grindrensare
  - 6.3 Teknisk utvärdering
  - 6.4 Sammanfattning

Bilaga 1

## SAMMANFATTNING

Syftet med rapporten har varit att undersöka huruvida kraftverket och energiproduktionen påverkas, ekonomiskt och energimässigt, av igensättning av intagsgallret med hänsyn tagen till om gallret rensas för hand eller om det rensas automatiskt med rensmaskin.

Arbetets uppläggning har varit sådan att först gjordes en fältstudie av det kraftverk som befanns lämpligt. Denna fältstudie gick dels ut på att mäta fallförlusten över gallret under en längre tidsperiod och dels erfarenhetsmässiga undersökningar med hjälp av driftspersonalen vid Viskans Kraft AB.

Nästa steg i arbetet har varit att ta fram en beräkningsmodell för hur fallförlusterna över gallret ska beräknas samt när och under vilken tidsperiod på året ovanstående förluster uppstår. Med hjälp av fältstudien och beräkningsmodellen har sedan följande resultat erhållits.

Den energimässiga besparing som erhålls vid installation av automatisk grindrensare är av underordnad betydelse medan den ekonomiska besparingen är avsevärd, eftersom maskinen i Viskan ersätter en årsanställd per kraftverk.

## 1. INLEDNING

### 1.1 Bakgrund

Intresset för energiproduktion och energikonsumtion har ökat kraftigt på senare tid. Intresset har hittills varit störst när det gäller att finna alternativa energikällor som kan bidra till vår framtida energiförsörjning. Besparingsåtgärder och effektivisering av energiproduktionen är emellertid åtgärder som på kort sikt kan ge goda resultat och därför inte bör glömmas bort. Den studie av energiförluster i ett vattenkraftverks intagsgaller som här föreligger, kan ses som ett led i försöken att effektivisera energiproduktionen.

För att skydda turbiner och tilloppstuber m.m. så måste i vattnet förekommande grövre föroreningar avskiljas vid kraftverkets drivvattenintag. Vanligtvis används någon form av avskiljningsgaller (grind) för att avskilja grenar o.dyl. De föroreningar som fastnar i grinden minskar emellertid den fria genomströmningsytan och ger därmed upphov till en energiförlust. Det är därför viktigt att grindarna rensas kontinuerligt, vilket kan ske för hand eller maskinellt. Av intresse är att jämföra de energimässiga och ekonomiska fördelarna och nackdelarna med olika rensningsförfaranden.

### 1.2 Målsättning

Vår målsättning har framför allt varit att

- o klarlägga sambandet mellan energiförlust (fallförlust) och olika typer av rensning av avskiljningsgaller,
- o klarlägga fallförlusternas energimässiga och ekonomiska aspekter,
- o diskutera fördelar respektive nackdelar med olika typer av rensning t.ex. manuell och maskinell rensning.

## 2. KRAFTVERKET

### 2.1 Kraftverket

Den kraftstation vi ansett lämplig som mätplats är Kungsfors kraftstation. Den är belägen i Viskan några km söder om Kinna. Kungsfors kraftstation är den längst nedströms belägna kraftstationen i Viskan. Från Rydboholm i norr till Kungsfors i söder är det totalt 7 stationer, se fig. 2.1.1. Effekt och fallhöjd varierar från station till station, vilket framgår av fig. 2.1.1 och 2.1.2. Det fordras någon form av samkörning mellan de olika kraftstationerna för att driften skall vara effektiv. Detta diskuteras utförligt i kapitel 5.1.



Bild 1. Magasinet till Kungsfors kraftstation.

Kungsfors kraftstation har en total effekt av 2.8 MW och består av 2 aggregat med effekten 1.8 MW resp. 1.0 MW. Det största aggregatet (I) utgöres av en francisturbin. Fallhöjden för kraftverket är 16 m och medelvattenföringen totalt för båda aggregaten är  $14 \text{ m}^3/\text{s}$ . Vid drivvattenintaget till aggregat I har en fallförlustmätare varit placerad under hösten och vintern 1977-78. En grindrensare finns också vid aggregatets vattenintag. I fig 2.1.3 redovisas en situationsplan över Kungsfors kraftstation.

### Drivvattenintag

Drivvattenintaget till aggregat I är 5.10 m brett vid grinden. Utformningen av drivvattenintaget och grindens placering framgår av fig 2.1.4. Avståndet mellan grindjärnen är 3.4 cm och grindjärnen är 0.6 cm tjocka, se fig 2.1.5.

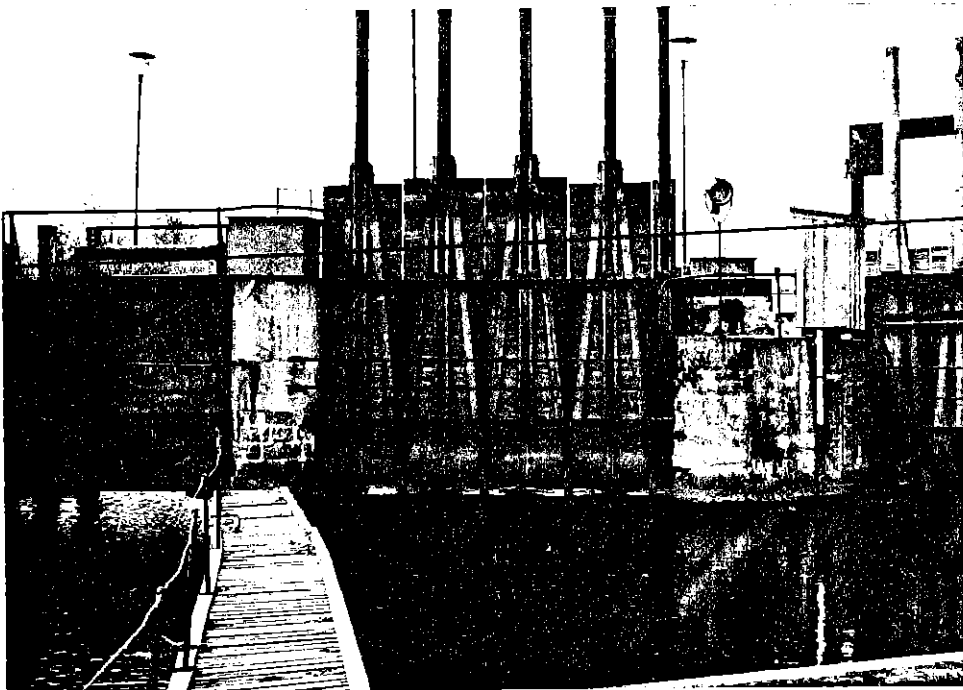


Bild 2. Drivvattenintaget till aggregat I i Kungsfors kraftstation.

### Tilloppstub

Tilloppstuben för aggregat I är belägen på markytan och upplagd på s.k. pendelstöd. Tuben består av två delar, en 50 m lång betongtub med en inre diameter av 3.0 m och en 112 m lång plåttub, fig 2.1.6. Plåttubens ytterdiameter är 3320 mm och vägg tjockleken är 10 mm.



Bild 3. Tilloppstuberna vid Kungsfors kraftstation.



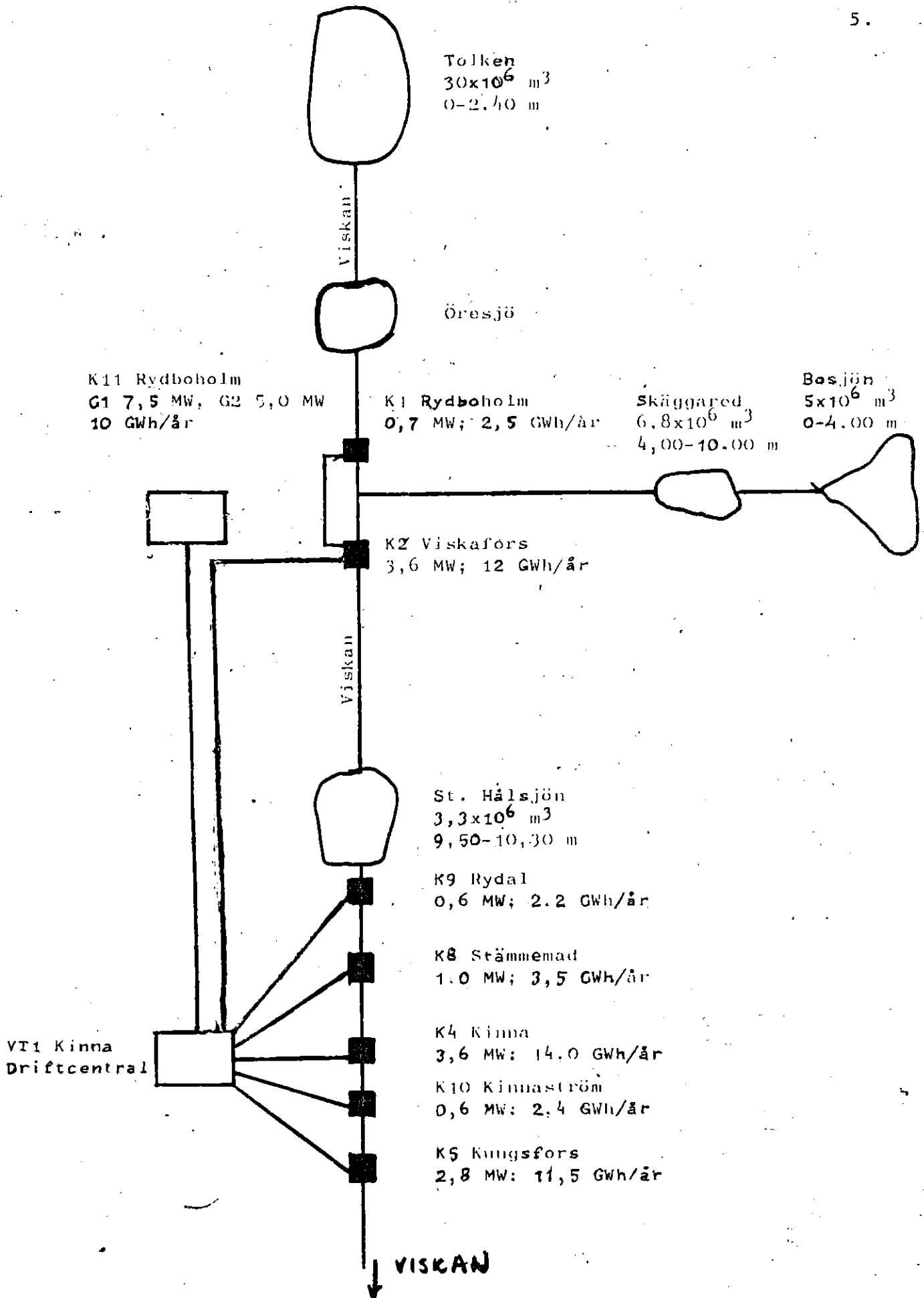


FIG. 2.1.1. ÖVERSIKT ÖVER STATIONER  
 OCH SJÖAR SOM INGÅR I "VISKANBLOCKET."

## Viskans sjösystem.

Litt	Sjö	Sjö- area km <sup>2</sup>	Regl. höjd m	Magasin Mill. m <sup>3</sup>	Neder- börds- omr. km <sup>2</sup>	Utbyggd fallhöjd m	Energi- innehåll MWh	%-del av energiin- nehåll.
V1	Folken	12,51	2,4	30,0	69,5	84,2	5400	70,7
	Mogden	1,40	-	-	135,5	"	-	-
V2	Ärtingen	2,72	-	-	10,6	"	-	-
V3	Öresjö	6,63	-	-	442	"	-	-
	Uppsalen	0,88	-	-	5,0	77,8	-	-
V4	Västersjön	1,66	-	-	18,2	"	-	-
V5	Bosjön	1,25	4,0	5,0	29,7	"	790	10,3
V6	Skäggared	0,90	10,0	6,8	45,5	"	1090	14,3
V7	Hulsjön	4,16	0,8	3,3	20,2	53,3	360	4,7
	Summa	32,10	-	45,1	-	-	7640	100

## Kraftstationerna i Viskanblocket.

## Kraftstationsdataom Viskanblocket.

## Vattentekniska data.

Litt	Kraftstation	Fall- höjd m	Utbyggn. vatten- mängd m <sup>3</sup> /s	Turbin- effekt hk	Neder- börds- område km <sup>2</sup>	Erfordras för		Effekt vid 10 m <sup>3</sup> /s MW	MWh vid 1 mm av rinn. från NO
						1 MW m <sup>3</sup> /s	1 MW m <sup>3</sup>		
K 1	Rydboholm	6,4	14,4	920	540	21,3	76500	0,47	7,06
K 2	Viskafors	24,5	23,3	5000	591	5,6	20000	1,79	29,5
K 9	Rydal	4,5	20,0	900	676	30,2	108000	0,33	6,25
K 8	Stämmemad	8,0	18,2	1450	690	17,0	61200	0,59	11,3
K 4	Kinna	24,8	18,4	4800	695	5,5	20000	1,82	34,8
K 10	Kinnaström	4,5	18,0	900	695	38,8	140000	0,26	4,95
K 5	Kungsfors	16,0	24,0	3850	1017	8,5	30600	1,18	33,3

FIG. 2.1.2 DATA FÖR VISKANS KRAFTSTATIONER

OCH SJÖAR

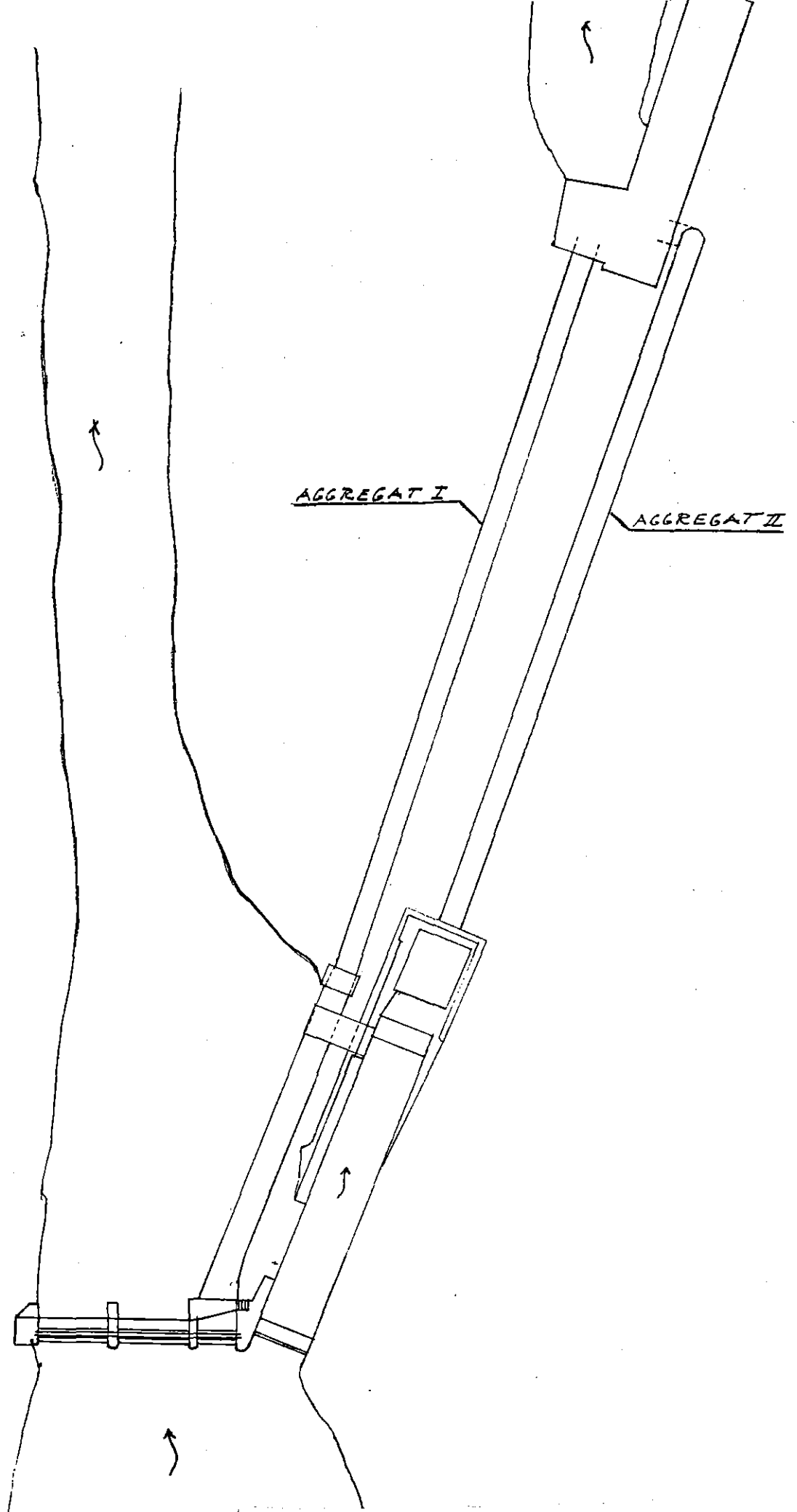


FIG. 21.3 KUNGSFORS KRAFTSTATION

SITUATIONPLAN

VATTENINTAG

AGGREGAT 1

SKALA 1:100

FIG. 2.7.4

8.

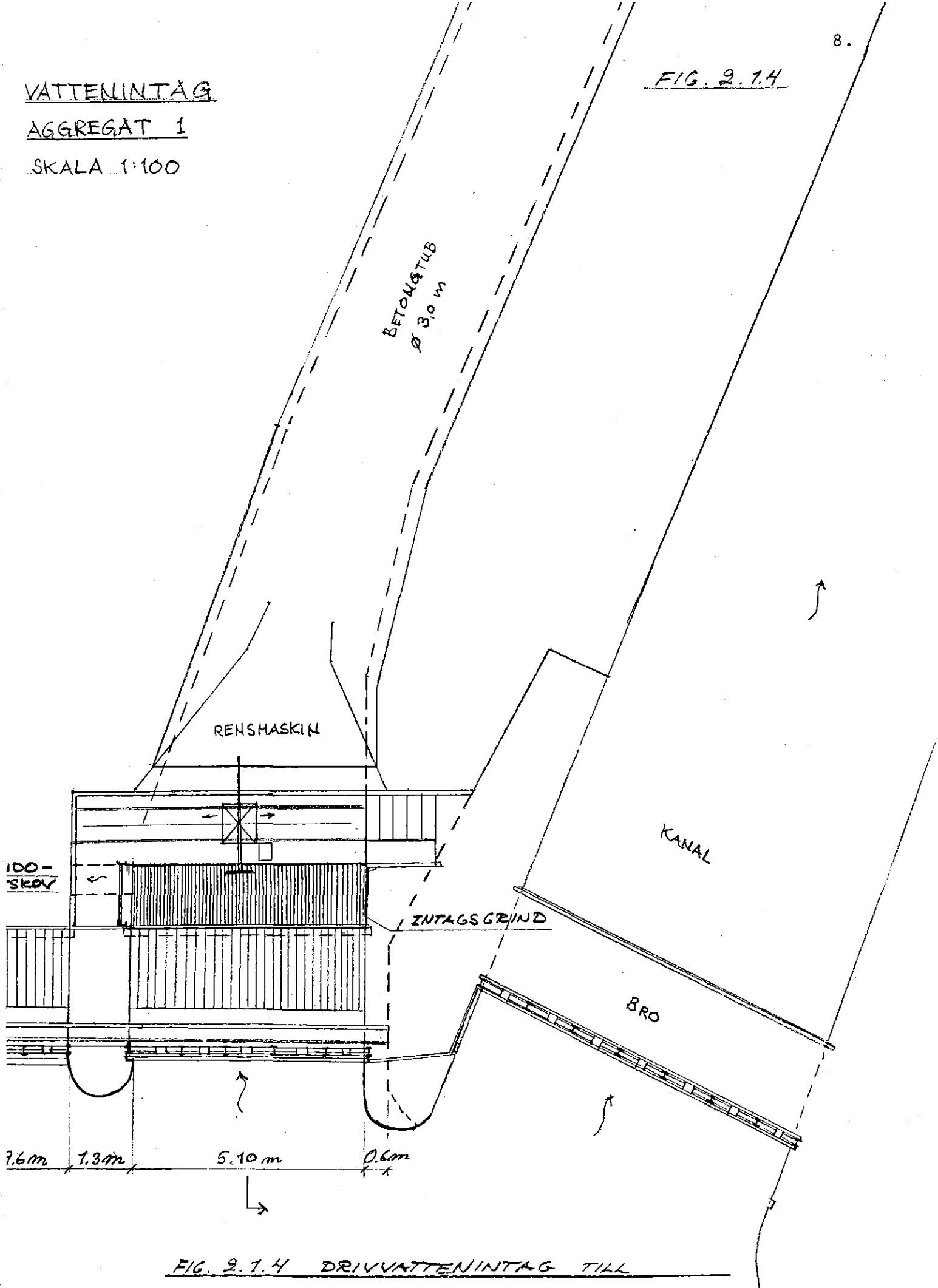


FIG. 2.7.4 DRIVVATTENINTAG TILL

AGGREGAT I / KUNGSFORS KRAFTSTATION SKALA 1:100

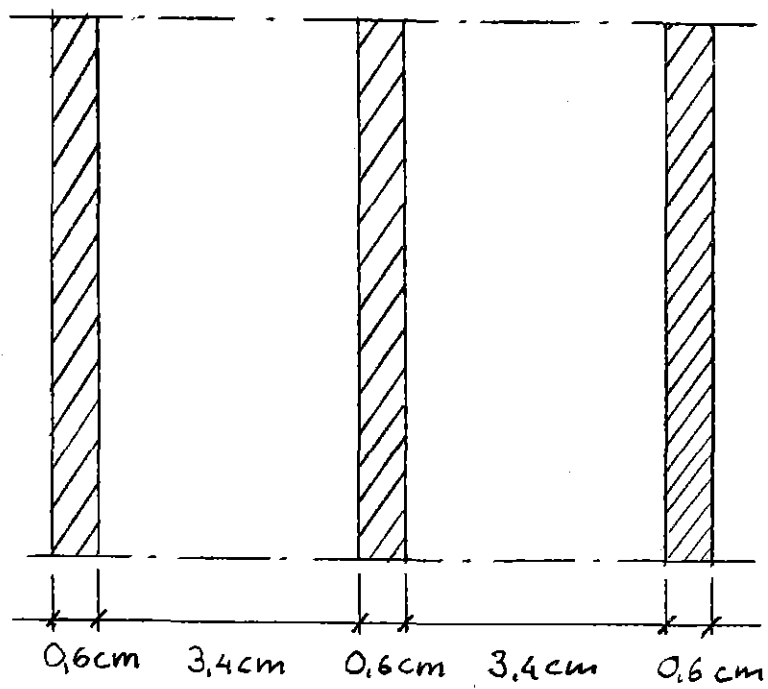


FIG. 2.1.5 GRINDJÄRNEN

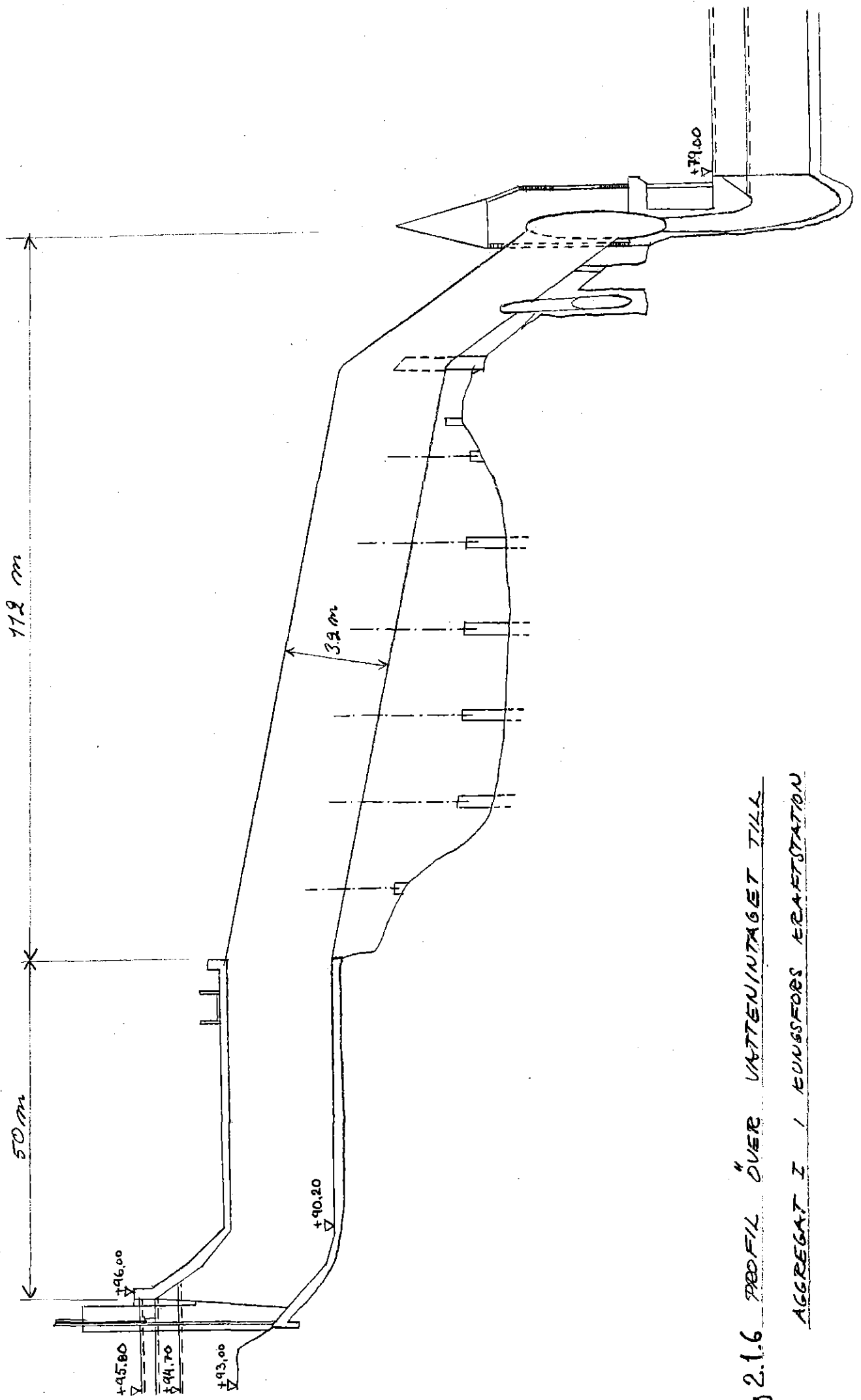


Fig 2.1.6 PROFIL ÖVER VATTENINTAGET TILL  
AGGREGAT I / EUNGSFORS KRAFTSTATION

### 3. UTRUSTNING

#### 3.1 Grindrensare

Den grindrensare som används vid Kungsfors kraftstation har konstruerats av H.M.Hansson AB, Överlida. Grindrensaren utgörs i stort av följande delar: räls, maskinkropp, skrapa och skopa. Grindrensarens funktion beskrivs bäst genom att redogöra för en renscykel.

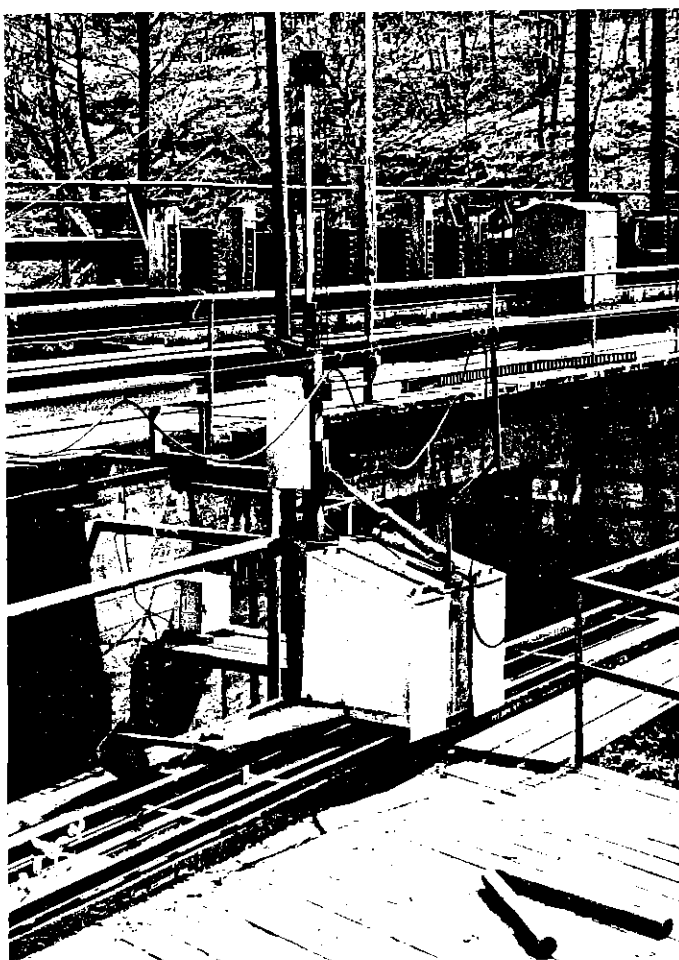


Bild 4. Grindrensarens placering vid drivvattenintaget till aggregat I vid Kungsfors kraftstation

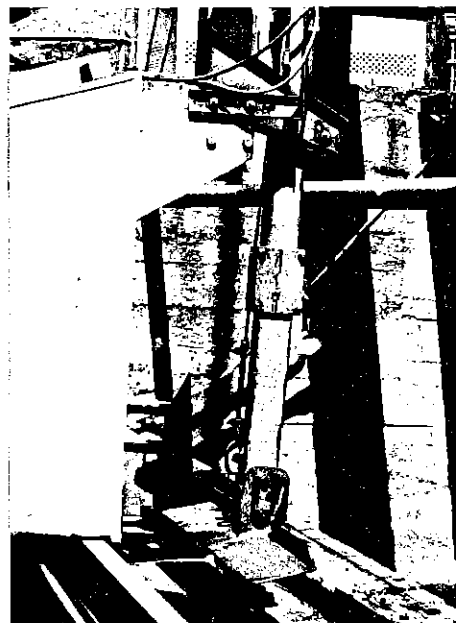


Bild 5. Skrapan

Grindrensarens startläge är läge I enligt fig. 3.1.1. Skrapan förs ned till botten på kanalen och dras därefter upp utefter grinden. De föroreningar som fastnat på grinden förs uppåt av skrapan. Med föroreningar menas här löv, grenar, förmultnade växtdelar, is o.s.v.

Omedelbart efter grinden, sett i strömriktningen, finns en ränna där alla föroreningar som skrapan för med sig läggs. Grindrensaren har nu rensat en del av grinden och flyttar sig ett steg åt höger. Skrapan förs ned igen osv. När hela grindytan är rensad vänder grindrensaren vid högra kanten och går utan att rensa åt vänster. Den skopa som är monterad på maskinen för nu med sig de föroreningar som samlats i rännan.



Bild 6. Rännan där föroreningar samlas och förs bort av skopan.

Vid Kungsfors kraftstation tippas föroreningarna i den gamla strömfåran men andra lösningar är tänkbara, exempelvis att föroreningarna läggs i en behållare för att sedan köras bort.





Bild 7.. Vid Kungsfors kraftstation tippas föroreningarna i den gamla strömfåran.

Grindrensaren har nu fullbordat en renscykel och återgår till startläget (läge I). Grindrensaren rör sig hela tiden på räls och strömförsörjningen är ordnad genom en medföljande kabel som löper utefter en upphängd lina. Det finns möjlighet att på grindrensaren ställa in önskat rensningsintervall. Kontinuerlig rensning innebär att grindrensaren går utan uppehåll.

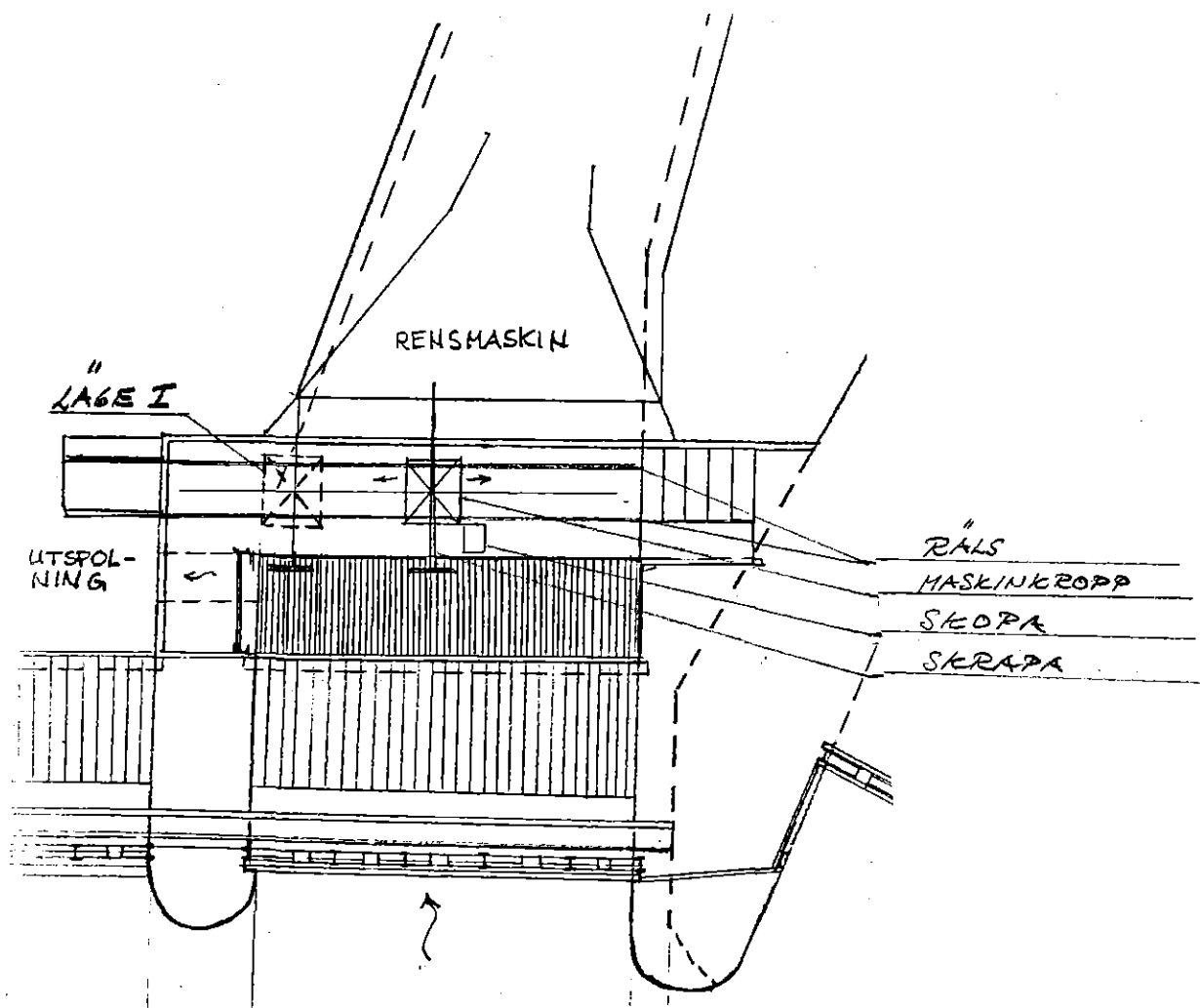


FIG. 3.1.1 GRINDRENSARENS PLACERING VID  
VATTENINTAGET TILL AGGREGAT I SAHT  
GRINDRENSARENS BESTÄNDSDELAR.

### 3.2 Fallförlustmätare

För bestämning av fallförlusten vid vattenintaget mäts differensen i det statiska vattentrycket över grinden. Mätaren har konstruerats av H.M.Hansson AB. Mätaren består av två känselkroppar, en differensstryckgivare samt en skrivarenhet, se fig 3.2.1. Känselkropparna som utgörs av vattenfyllda gummiblåsor står genom ett slutet system i förbindelse med ett membran. Känselkropparna, som är placerade en på varje sida av grinden, känner alltså det statiska vattentrycket på resp. sida. En fallförlust över grinden innebär en tryckskillnad över grinden som påverkar membranet. Membranet är i sin tur kopplat till en ferromagnetisk kärna som löper inuti två spolar. Kärnans läge påverkas då membranets läge ändras på grund av en tryckskillnad. Membranet samt spolar med kärna kallas för differensstryckgivare. Differensstryckgivarens funktion beskrivs mer ingående i bilaga 1. Känselkropparna samt differensstryckgivaren är monterade inuti ett stålhölje som skyddar från yttre påverkan. En skrivare som skriver ut skillnaden i det statiska vattentrycket är kopplad till differensstryckgivaren.

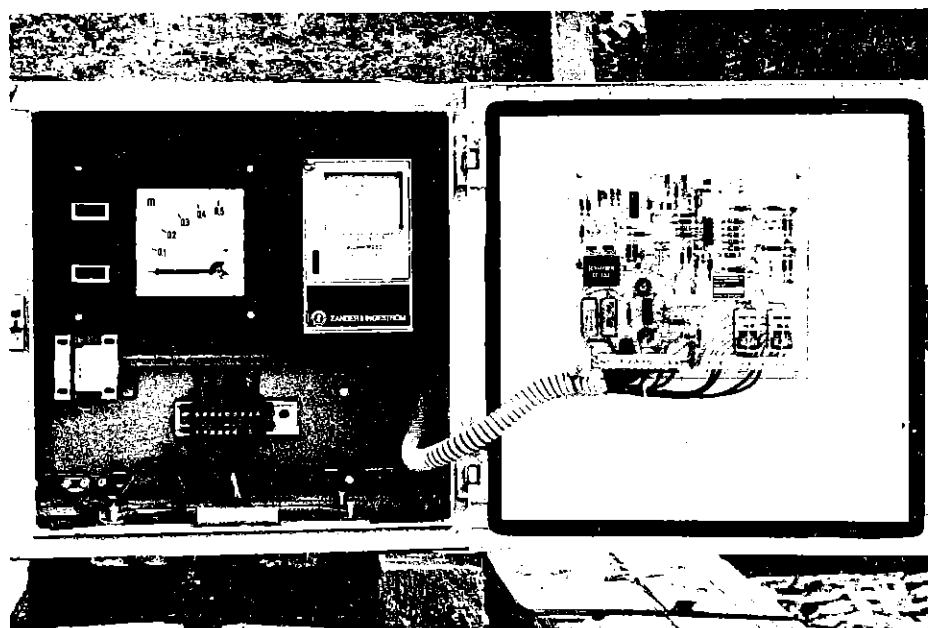


Bild 8. Skrivaren som differensstryckgivaren är kopplad till.

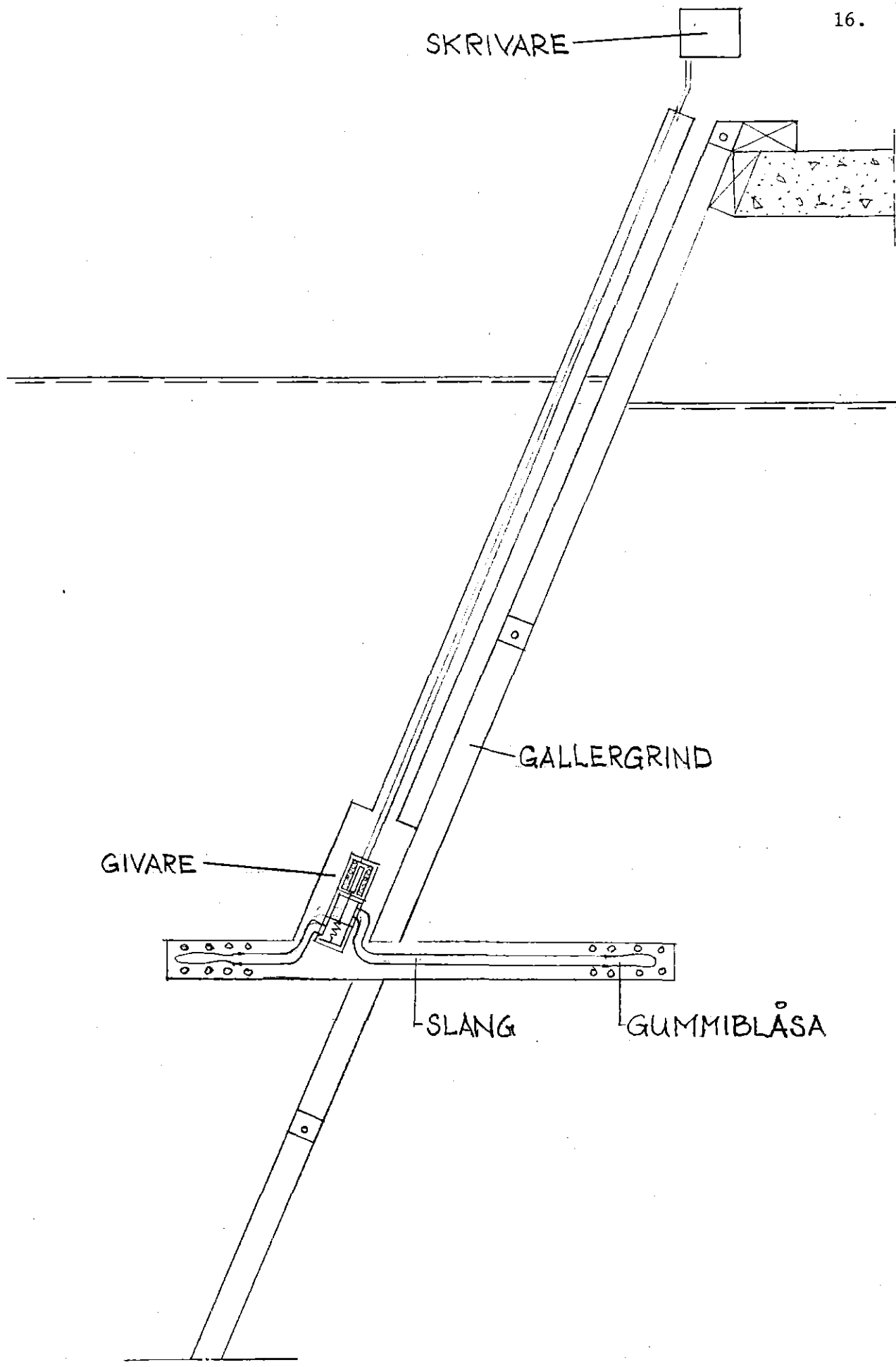


Fig 3.2.1 DIFFERENSTRYCKMÄTAREN

#### 4. MÄTNINGAR

##### 4.1 Mätperiod och mätningsförfarande

De intressantaste mätperioderna är givetvis de perioder då stora föroreningsmängder förekommer i vattnet. En av dessa perioder är några veckor på hösten då föroreningarna består av löv och andra växtdelar. Denna period sammanfaller alltså med lövfällningen. Senare på hösten minskar föroreningsmängden och föroreningarna som förekommer är främst förmultnade växtdelar.

Under vintern är de vanligast förekommande föroreningarna issörja. I samband med islossningen är det också ganska stora föroreningsmängder främst bestående av isflak, vass och sjögräs. Under övriga perioder är föroreningsmängden i vattnet mycket liten varför praktiskt taget ingen rensning behövs av grinden. Enstaka grenar och kvistar fastnar ibland i grinden. De får då tas bort för hand.

Vid små föroreningsmängder är således fallförlusterna mycket små och kan sättas lika med grindjárnens strömningsmotstånd. Under de perioder som nämnts ovan med stora eller ganska stora föroreningsmängder körs däremot rensmaskinen kontinuerligt. Det tar ca 12 min. för maskinen att fullborda en renscykel vid kontinuerlig gång. Gallret hinner under denna 12-minuters period inte sättas igen i någon högre grad. Vi har som mest uppmätt en ökning av fallförlusten på ca 3-4 cm under själva rensningscykeln. När maskinen körs kontinuerligt är fallförlusterna alltså inte speciellt stora även om föroreningsmängderna är det. Vid stora föroreningsmängder är det emellertid större risk att rensmaskinen bringas ur funktion. Föroreningsmängderna blir alltså för stora för att rensmaskinen skall fungera tillfredsställande.

Vi har mätvärden på fallförlusten över grinden från den 16 sept till den 20 dec under hösten 1977. Det är på dessa värden vi grundar vår kurva på fallförlustens tillväxt i tiden. Det är givetvis mycket svårt att uppskatta fallförlusten som funktion av mängden föroreningar. Fallförlusten är också beroende av vilken typ av föroreningar det gäller t.ex. löv och is. För att vid beräkningar få användbara siffror gör vi vissa antaganden grundade på de mätvärden vi har och erfarenheter från personer som sysslat med rensning av grindar.

Kurvorna har erhållits genom att jämföra de kurvor på fallförlusten som fallförlustmatarens skrivare gett med anteckningar om när grindrensaren rensat. Det är framför allt då rensmaskinen av någon anledning gått sönder som stora värden på fallförlusten erhållits.

#### 4.2 Mätresultat

Sammanlagt 8 st fallförlustkurvor har erhållits. En kurva 29/9, 4/10, 5/10 samt fem kurvor 10/11. I fig 4.2.1 är kurvorna utritade enligt den verkliga fördelningen. Det innebär att kurvornas startpunkt varierar beroende på storleken av den initiella fallförlusten. För att kunna jämföra kurvorna har vi därför nollställt dem dvs givit dem samma utgångspunkt, origo. Se fig 4.2.2. De kurvor som enligt fig 4.2.1 har en startpunkt på 8-11 cm är brantare än övriga kurvor. För att få en rättvis jämförelse av kurvorna bör alltså de med startvärden på 8-11 cm läggas in på en kurva på just dessa värden.

Kurvorna från 29/9 och 4/10, 3, 4 är utgångskurvor för en "medelkurva" som alltså är en approximation av dessa 4 kurvor. På denna medelkurva läggs nu de övriga 4 kurvorna in på resp. startvärde. Kurva 2, som utgick från  $\Delta H = 9$  cm läggs in så att den börjar i den punkt "medelkurvan" skär 9 cm-linjen, se fig 4.2.3. Spridningen mellan de olika kurvorna är inte speciellt stor, i varje fall inte för tidsrymder mindre än 90 min.

Det är möjligt att använda olika tidsintervall  $\Delta t$  mellan varje rensningscykel, se fig 4.2.4. Härigenom fås ett värde på en medelfallförlust vid olika rensningsintervall.

Fallförlusten över grinden orsakad av grindjärnens strömmingsmotstånd är för normala vattenhastigheter ca 1 cm. Då föroreningar förekommer i vattnet finns det alltid en liten föroreningsmängd kvar på gallret även om rensmaskinen rensar kontinuerligt. Detta innebär att totala fallförlusten över grinden under en föroreningsperiod är minst 2-3 cm. Startvärdet för vår "medelkurva" kan alltså sättas till 2-3 cm eller det värde som man finner lämpligt.

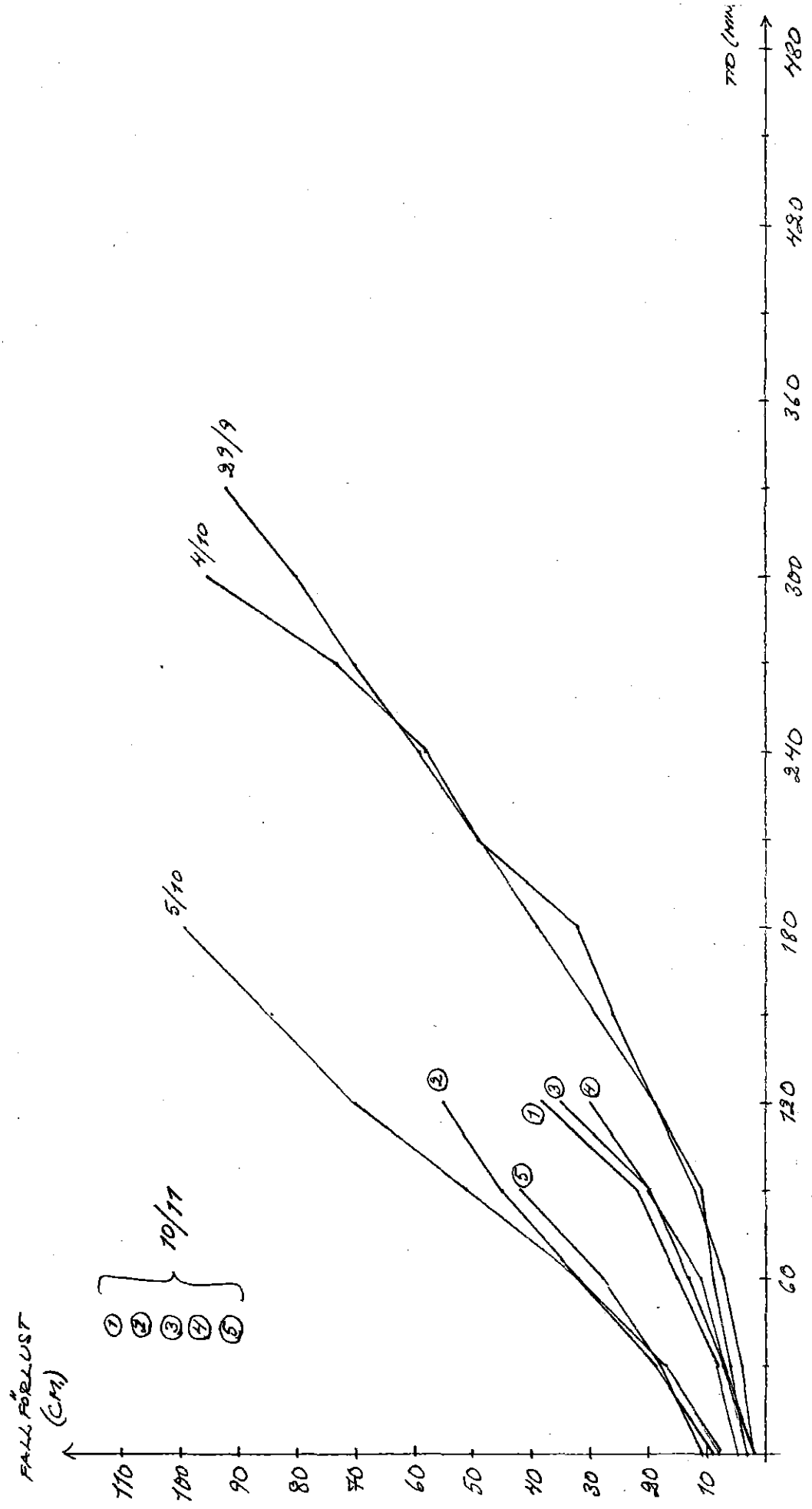


FIG. 4.2.1 FALLFÖRLUST SOM FUNKTION AV TIDEN  
 KURVORNAS VERKLIGA FÖRDELNING

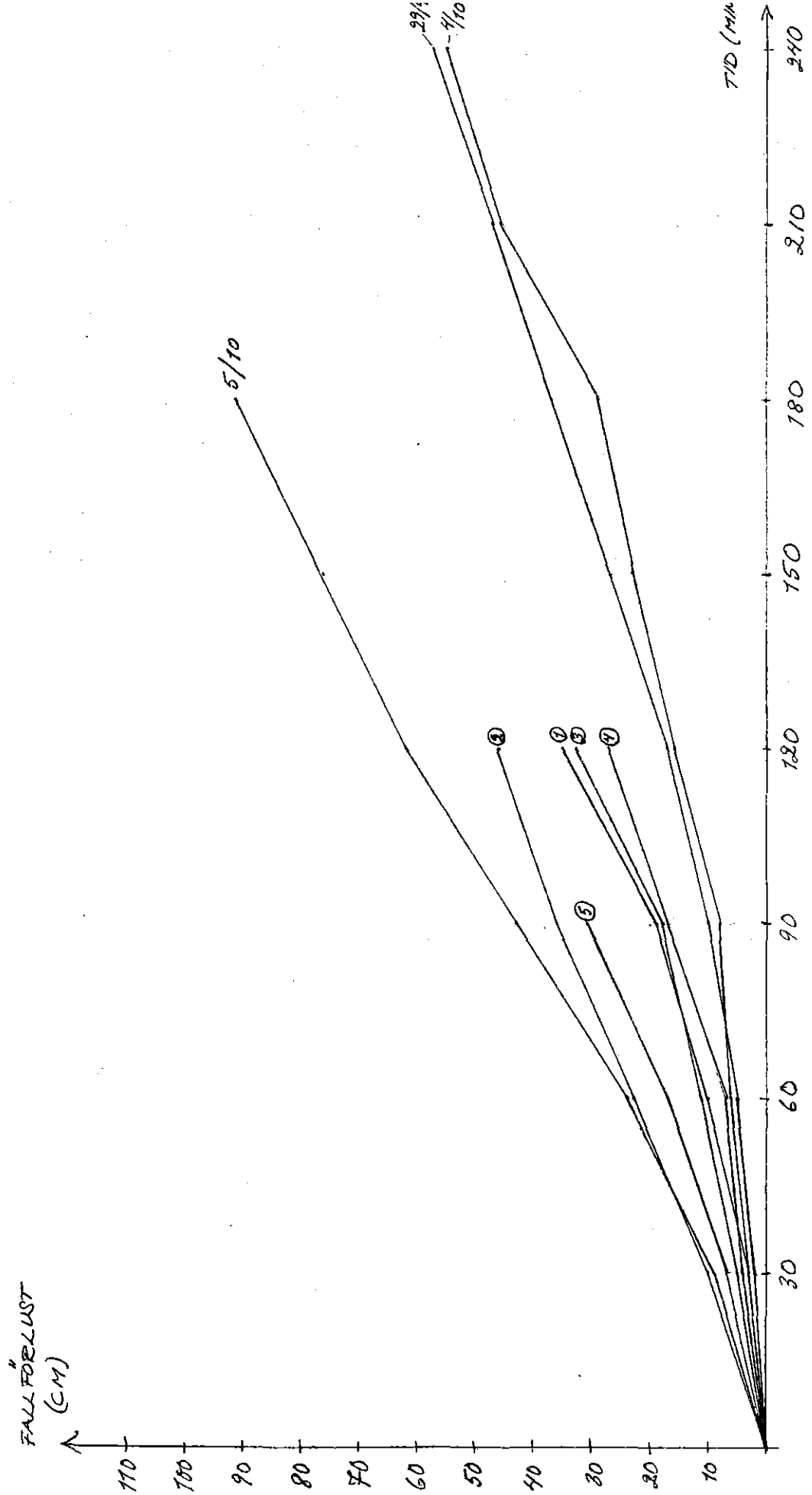


FIG 4.2.2

FALLFÖRLUST SOM FUNKTION AV TIDEN  
 SAMTLIGA KURVOR UTGÅR FRÅN  
 O-PUNKTEN (ORIGO)



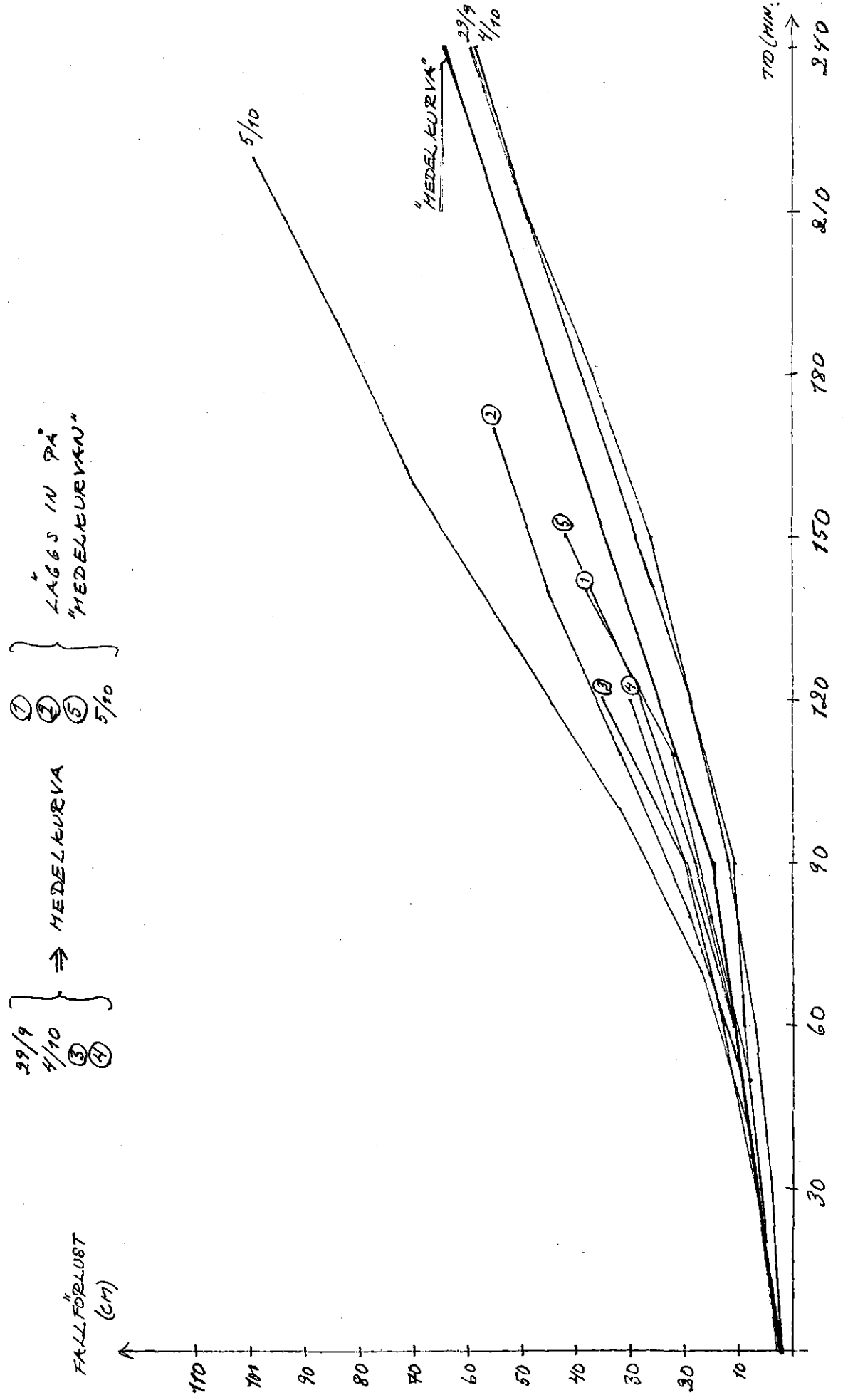


FIG 4.2.3.

FALLFÖRLUST SOM FUNKTION AV TIDEN  
 KURVORNA 29/9, 4/10, ③, ④ BILDAREN  
 MEDELKURVA. DE ÖVRIGA KURVORNA LÄGGS IN  
 PÅ MEDELKURVA

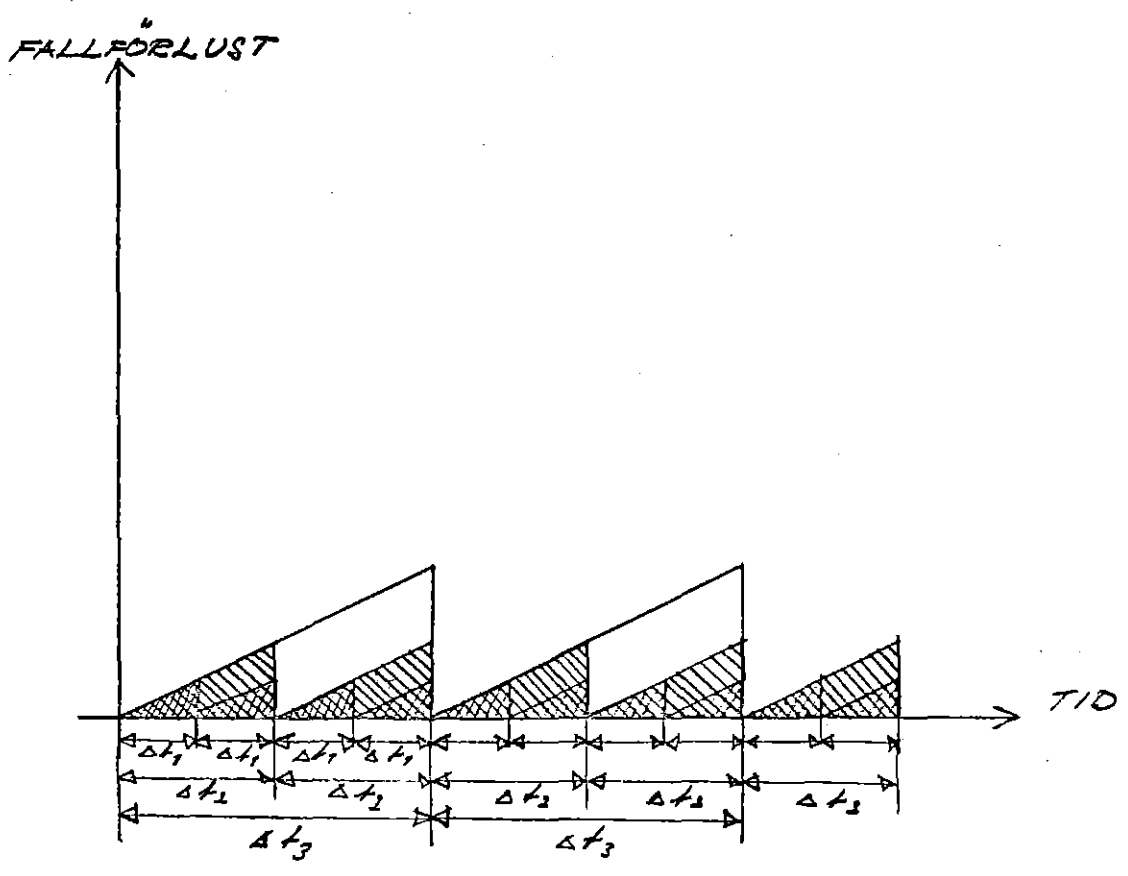


FIG. 4.2.4 VARIERANDE RENSNINGSPULSINTERVALL

## 5. BERÄKNINGAR

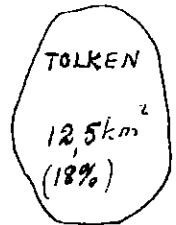
### 5.1 Driftpolitik

Som tidigare nämnts omfattar viskanblocket 7 st vattenkraftstationer, se fig 5.1.1. Dessutom ingår ett ångkraftverk med benämningen K11 beläget vid Rydboholm. Data för Viskans sjösystem har tidigare visats i fig 2.1.2. Samtliga kraftstationer regleras centralt från Viskans Kraft AB i Kinna. En hög automatisering medför att en man ensam kan sköta driften från reglercentralen i Kinna. Eftersom stationerna ligger i serie efter varann innebär det att ett oförändrat flöde passerar de olika stationerna. Undantaget är K2 Viskafors och K5 Kungsfors där Bålån resp. Häggån mynnar ut i Viskan strax före stationerna och därmed tillför vatten.

Det enskilda kraftverket körs efter principen att vattennivån i magasinet skall vara konstant. Då en fallförlust över grinden uppstår minskar tappningen vilket medför att vattennivån i magasinet stiger. Ledskenorna öppnas då så att flödet och därmed även vattennivån kan hållas på konstant nivå. Regleringen av ledskenorna sker automatiskt med en reglerutrustning i varje kraftverk, då vattennivån avviker från den önskade med mer än 3 cm. Fallförlusten ger således i princip ej någon flödesändring (utan under en kort stund innan reglerutrustningen reagerar och den ursprungliga vattennivån åter erhållits).

Vid praktiskt taget total igensättning av grinden får turbinen trots helt öppna ledskenor inget eller mycket lite vatten. Turbin suger då luft och någon effekt produceras inte. Aggregatet stängs av och rensning av grinden sker för hand. Vattnet måste då överskottstappas via ett sidoutskov.

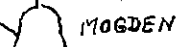
Driftprincipen för hela systemet (de 7 kraftstationerna) kan sägas vara konstant flöde genom samtliga stationer. Vid driftstörningar i form av igensättning av grind vid en station berörs de efterföljande stationerna inte eftersom vattnet överskottstappas vid den drabbade stationen och flödet blir i stort sett oförändrat vid de efterföljande stationerna. Det finns dock två kritiska stationer, K1 Rydboholm och K9 Rydal. Vi förutsätter att grinden vid K9 Rydal sätts igen helt. Vattennivån i magasinet stiger då eftersom en mindre vattenmängd avtappas. St. Hålsjön är belägen strax ovan K9 och är alltså magasin för K9-stationen. Eftersom magasinet i detta fallet är mycket stort stiger vattennivån mycket långsamt. Det innebär att inget vatten överskottstappas och därmed att de efter-



NEDERBÖRDSOMRÅDE  $69,5 \text{ km}^2$   
 NORMAL REGLERINGSGRAD  $1,20 - 2,20 \text{ m}$  (50%)

OREGLERAT  
 OMRÅDE  
 MAX  $18 - 20 \text{ m}^3/\text{sek}$

↓ Max  $0 - 3 \text{ m}^3/\text{sek}$  (TAPPNING) ↓  $20 \cdot 10^6 - 45 \cdot 10^6 \text{ m}^3/\text{år}$



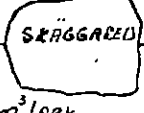
BÄLÅNS NEDERBÖRDSOMRÅDE  
 $21 \cdot 10^6 \text{ m}^3/\text{år}$   $45,5 \text{ km}^2$

K11 RYDBÖHOLM  
 G1 7,5 MW, G2 5,0 MW  
 10 GWh/år

K1 RYDBÖHOLM  
 0,7 MW, 2,5 GWh/år

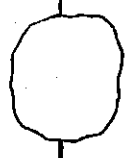
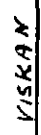
$6,8 \cdot 10^6 \text{ m}^3$   
 $4,00 - 10,00 \text{ m}$

$5 \cdot 10^6 \text{ m}^3$   
 $0 - 4,00 \text{ m}$



K2 VISKAFÖRS  $0,9 - 3,6 - 8,1 \text{ m}^3/\text{sek}$   
 3,8 MW 12 3-6-9 NORMAL  
 12 GWh/år REGLERINGSGRAD  
 $6,00 - 10,00$   
 40%

NORMAL  
 REGLERINGSGRAD  
 $1,80 - 4,00$   
 55%



$3,3 \cdot 10^6 \text{ m}^3$   
 $9,50 - 10,30 \text{ m}$

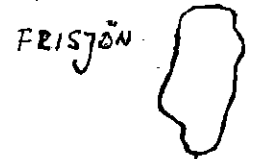
K9 RYDAL  
 0,6 MW, 2,2 GWh/år

K8 Stämmemad  
 1,0 MW, 3,5 GWh/år

K4 KINNA  
 3,6 MW 14,0 GWh/år

K10 KINNASTRÖM 0,6 MW 2,4 GWh/år  
 HÄGGAN

K5 KUNGSFORS  
 2,8 MW 11,5 GWh/år



VTI KINNA  
 DRIFTCENTRAL

FIG. 5.1.1 DRIFT - OCH KÖRNINGSFRÅGOR

följande stationerna inte får något vatten. Samtliga stationer sätts ur drift.

Vid vissa magasin ges signal då vattennivån understiger ett visst värde för att förhindra att magasinen helt torrläggs. Larm ges alltså normalt efter en viss tid efter det att en total igensättning av grinden vid K9 skett. Det är emellertid fullt klart att ett kraftigt produktionsbortfall kan ske om igensättningen inträffar under en kväll eller helg, då det upptäcks först då larm om tomma magasin ges. Hur stort effektbortfallet blir för de efterföljande stationerna vid ändring av tappningen i K9 Rydal resp. K1 Rydboholm visas i fig 5.1.2.

Återverkan vid ändring av tappning i K9 Rydal.

	1 m <sup>3</sup> /s	3 m <sup>3</sup> /s	6 m <sup>3</sup> /s	9 m <sup>3</sup> /s	12 m <sup>3</sup> /s	15 m <sup>3</sup> /s	18 m <sup>3</sup> /s
K9 Rydal	30 kW	100 kW	200 kW	300 kW	400 kW	500 kW	600 kW
K8 Stämmemad	55 "	150 "	300 "	500 "	600 "	750 "	900 "
K4 Kinna	200 "	600 "	1200 "	1800 "	2400 "	3000 "	3600 "
K10 Kinnaström	30 "	100 "	200 "	300 "	400 "	500 "	600 "
K5 Kungsfors	115 "	350 "	700 "	1000 "	1400 "	1750 "	2100 "
<u>Summa</u>	<u>430 kW</u>	<u>1300 kW</u>	<u>2600 kW</u>	<u>3900 kW</u>	<u>5200 kW</u>	<u>6500 kW</u>	<u>7800 kW</u>

ÅTERVERKAN VID ÄNDRING AV TAPPNINGEN I K1 RYDBOHOLM.

	3 m <sup>3</sup> /s	6 m <sup>3</sup> /s	9 m <sup>3</sup> /s	12 m <sup>3</sup> /s	15 m <sup>3</sup> /s	18 m <sup>3</sup> /s
K1 Rydboholm	150 kW	300 kW	450 kW	600 kW	675 kW	675 kW
K2 Viskafors	600 "	1200 "	1800 "	2400 "	3000 "	3600 "
<u>Summa</u>	<u>750 kW</u>	<u>1500 kW</u>	<u>2250 kW</u>	<u>3000 kW</u>	<u>3675 kW</u>	<u>4275 kW</u>

FIG. 5.1.2 ÅTERVERKAN VID ÄNDRING AV  
TAPPNINGEN I K9 RYDAL RESP. K1 RYDBOHOLM

## 5.2 Beräkningsförfarande

Beräkningarna baseras sålunda på följande antagande:

- konstant vattennivå, dvs konstant tappning  $Q$
- tillrinning = avtappning

För beräkning av den effekt kraftstationen producerar används formeln

$$P = \mu_g \cdot \mu_t \cdot \rho \cdot g \cdot Q \cdot H$$

där  $\mu_g$  och  $\mu_t$  är funktion av  $Q$  och  $H$ . Vi försummar dock som tidigare påpekats effekten av variation i  $H \cdot Q$  är konstant. I formeln ingår vidare

$$\rho: \text{vattnets densitet} = 1.0 \text{ kg/dm}^3$$

$$g: \text{tyngdaccelerationen} = 9.81 \text{ m/s}^2$$

Då skräp fastnar i intagsgallret ökar strömningsmotståndet. En fallförlust över grinden uppstår. Effektbortfallet blir

$$\Delta P = \mu_g \cdot \mu_t \cdot \rho \cdot g \cdot Q \cdot h_{f,g}$$

där  $h_{f,g}$  är fallförlusten över grinden.

Den s.k. "medelkurva" som erhållits ur värden uppmätta vid Kungsfors kraftstation bildar utgångspunkt för fallförlustkurvan som används vid beräkningarna.

$a_0$  : Fallförlusten har alltid ett minsta värde som den inte understiger beroende på att det alltid finns föroreningar på grinden. Detta minsta värde beror av mängden föroreningar/ $\text{m}^3$  vatten.

$a_1, a_2, t_1, t_2$  : Tillsammans med  $a_1, a_2$  beskriver  $t_1$  och  $t_2$  fallförlustkurvans utseende som genom att använda ett större antal variabler  $a$  och  $t$  kan få flera brytpunkter och kan därmed anpassas efter olika fallförluster.

$n$ :  $n$  står för antalet cykler under en total körningstid  $T$ .

Energiförlusten under en viss tid fås genom att multiplicera effektförlusten med tiden under vilken den förekommer

$$E = \Delta P \cdot t$$

Vattenföringen genom kraftverket

$$H = H_{\text{ö}} - H_{\text{u}} - h_{\text{fallförlust}}$$

Beteckningarna visas i fig 5.2.1.

$$q = \frac{P}{\mu_g \cdot \mu_t \cdot \rho \cdot g \cdot H}$$

Förluster genom kraftverket

Fallförlust över intagsgrind:  $h_{f,g}$

Inströmning från reservoaren till ledning:

$$k_a \cdot \frac{v^2}{2g} = k_a \cdot \frac{q^2}{A^2 \cdot 2g} = \frac{0.25 \cdot q^2}{\frac{(\pi \cdot 3^2)^2}{4} \cdot 2g} = 0.255 \cdot 10^{-3} q^2$$

Fallförlust för rak ledning:

För betongtuben:  $M = 70$

$$h_{f1,b} = \frac{q^2 \cdot L}{A^2 \cdot M_b^2 \cdot R^{4/3}} = \frac{q^2 \cdot 49}{\left(\frac{\pi \cdot 3 \cdot 0^2}{4}\right)^2 \cdot 70^2 \cdot \left(\frac{3 \cdot 0}{4}\right)^{4/3}} = 0.29 \cdot 10^{-3} q^2$$

För plåttub:  $M = 100$

$$h_{f1,p} = \frac{q^2 \cdot L}{A^2 \cdot M_p^2 \cdot R^{4/3}} = \frac{q^2 \cdot 116}{\left(\frac{\pi \cdot 3 \cdot 0^2}{4}\right)^2 \cdot 100^2 \cdot \left(\frac{3 \cdot 0}{4}\right)^{4/3}} = 0.34 \cdot 10^{-3} q^2$$

Krökförluster:

$$k_k \cdot \frac{v^2}{2g} = 0.25 \cdot \frac{q^2}{\left(\frac{\pi \cdot 3^2}{4}\right) \cdot 2g} = 0.255 \cdot 10^{-3} q^2$$

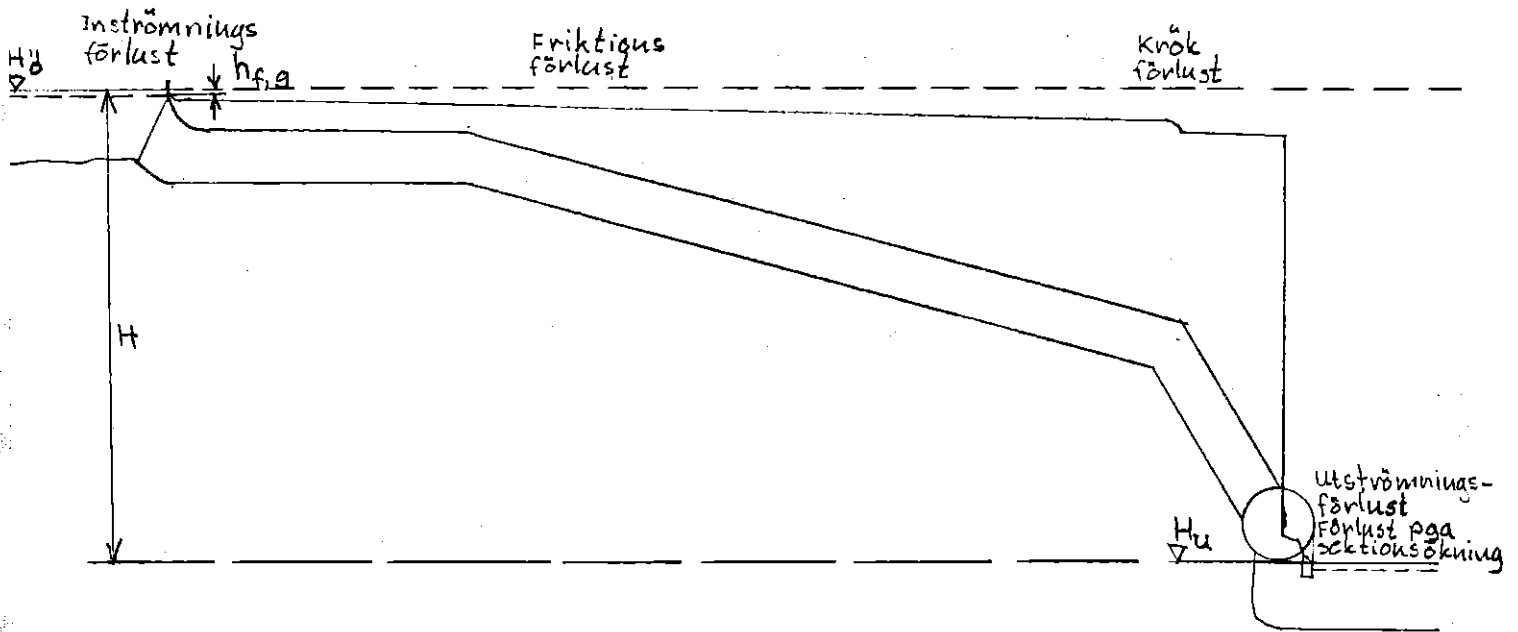
Utströmningsförluster:

$$k_{u,k} \cdot \frac{v^2}{2g} = k_{u,k} \cdot \frac{q^2}{A^2 \cdot 2g} = 0.4 \cdot \frac{q^2}{\left(\frac{\pi \cdot 6^2}{4}\right)^2 \cdot 2g} = 0.03 \cdot 10^{-3} q^2$$

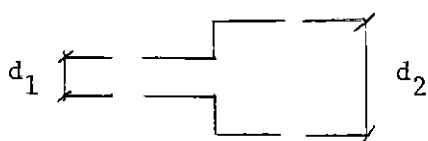
Sektionsökning:

$$k_r \cdot \frac{\Delta v^2}{2g} = k_r \cdot \frac{q^2}{A^2 \cdot 2g} = 0.56 \cdot \frac{q^2}{\left(\frac{\pi \cdot 3^2}{4}\right)^2 \cdot 2g} = 0.57 \cdot 10^{-3} q^2$$





g 5.2.1 SKISS BERÄKNINGAR  
 FÖRLUSTER GENOM KRAFTVERK  
 $h_{f,g}$  = FALLFÖRLUST ÖVER GRIND



$$k_r = 1 - \frac{d_1^2}{d_2^2} = 1 - \frac{3^2}{6^2} = 0.56$$

### Totala fallförluster

	$h_{f,g}$
Över grind	
Inströmning:	$0.255 \cdot 10^{-3} q^2$
Ledning, betong:	$0.29 \cdot 10^{-3} q^2$
Ledning, plåt:	$0.34 \cdot 10^{-3} q^2$
Krök:	$0.255 \cdot 10^{-3} q^2$
Utströmning:	$0.03 \cdot 10^{-3} q^2$
Sektionsökn.:	$0.57 \cdot 10^{-3} q^2$
Total fallförlust:	$1.74 \cdot 10^{-3} q^2 + h_{f,g}$

### Kommentar till fallförlustberäkningen

Vid en avtappning av  $14 \text{ m}^3/\text{s}$  är totala fallförlusten för kraftverket 34 cm, exkl. grindförlusten. Eftersom vi förutsatt att flödet är konstant är följaktligen också totala fallförlusten exkl. grindförlusten konstant. Det innebär att fallhöjden kan sättas konstant för normala fall då grindförlusten är liten och ej överstiger 20-30 cm. För Kungsfors kraftstation sätts fallhöjden till 16 m.

### 5.3 Uppskattning av verkningsgrader

#### Generatorns verkningsgrad $\mu_g$

Generatorns verkningsgradskurva är given som funktion av effekten. För Kungsfors kraftstation har verkningsgradskurvan hämtats ur ett provningsprotokoll som upprättats vid provningar på ASEA 1921, se fig 5.3.1. Generatorns verkningsgradskurva är mycket flack och praktiskt taget oberoende av producerad effekt. Vi har i beräkningarna utnyttjat värdet  $\mu_g = 0.94 = \text{konstant}$ .

#### Turbinens verkningsgrad $\mu_t$

För Kungsfors kraftstation har en kurva över turbinens verkningsgrad ej stått att uppbringa. Genom att utgå från ett vattenmängdsdiagram som visar effekten som funktion av flödet för aggregat I (francisturbin), se fig. 5.3.2, kan en kurva för turbinens verkningsgrad konstrueras, eftersom alla andra i funktionen ingående variabler är givna. Den då erhållna verkningsgradskurvan för turbinen, se fig 5.3.3, har dock vid jämförelse med värden från andra kraftstationer givit något för låga värden. Kurvans maximum borde ligga ca 10 enheter högre, alltså på ca 85 %. Förklaringen till den låga verkningsgraden är troligen turbinens höga ålder. Kurvans relativa läge påverkar emellertid endast marginellt beräkningarnas resultat. Vad som är att märka i övrigt är att verkningsgradskurvan är brant. Det innebär att en liten ändring av flödet medför en förhållandevis stor ändring av turbinens verkningsgrad.

### 5.4 Resultat av beräkningar

#### Fallförlust

Fig. 5.4.1 visar medelfallförlusten över grinden som funktion av tiden för en rensykel. Den erfarenhetsmässiga medelkurvan enligt fig 4.2.3 ligger till grund för beräkningen. Ur figuren utläses att för rensning en gång i timman fås en genomsnittlig fallförlust på 7.5 cm. För 30 min. fås 5.5 cm osv.

#### Energiförlust

Energiförlusten ökar givetvis med ökad fallförlust. Energiförlusten totalt under dygn i kWh som funktion av tid för en rensykel visas i fig 5.4.2.

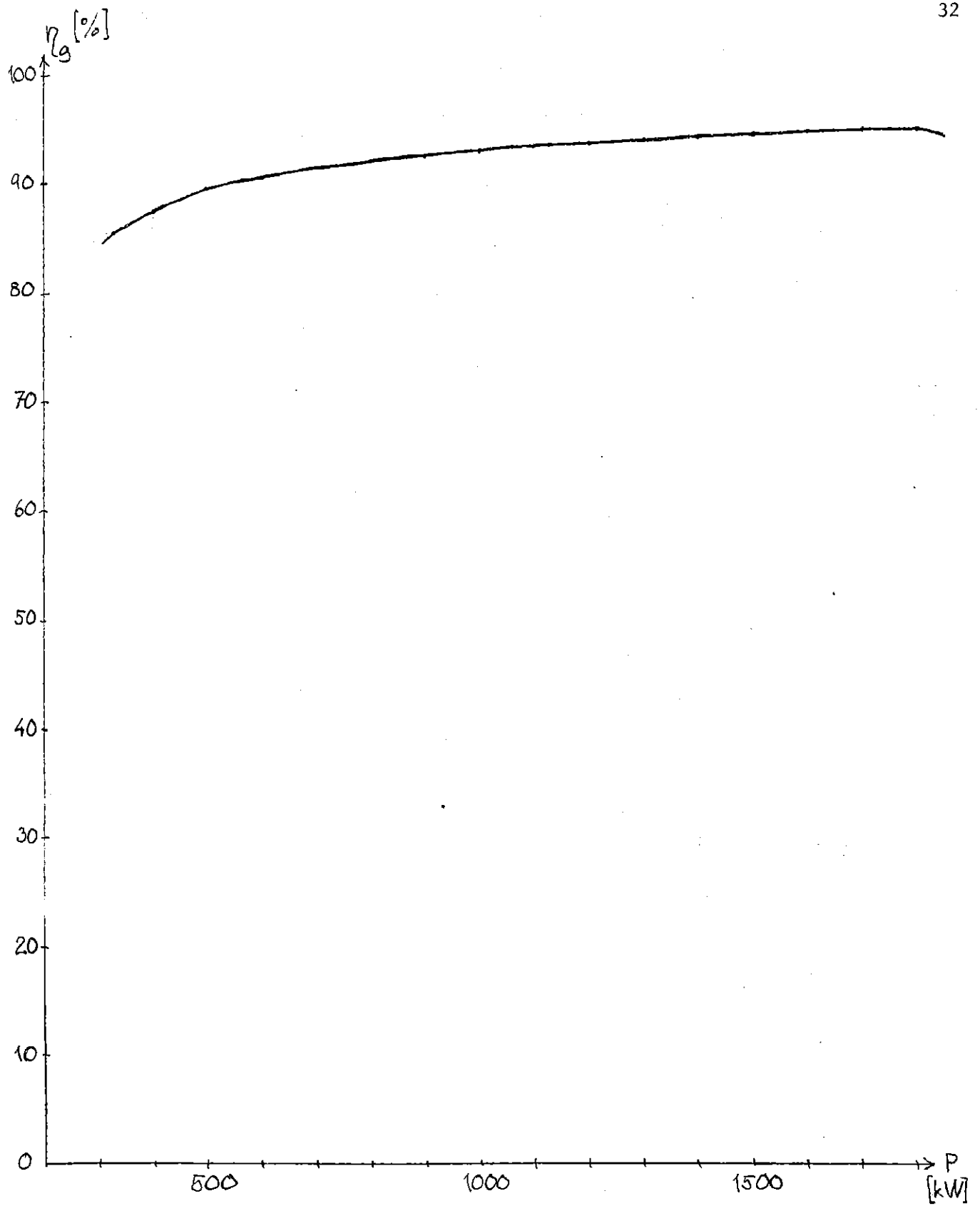


FIG. 5.3.1 GENERATORNS VERKNINGSGRAD

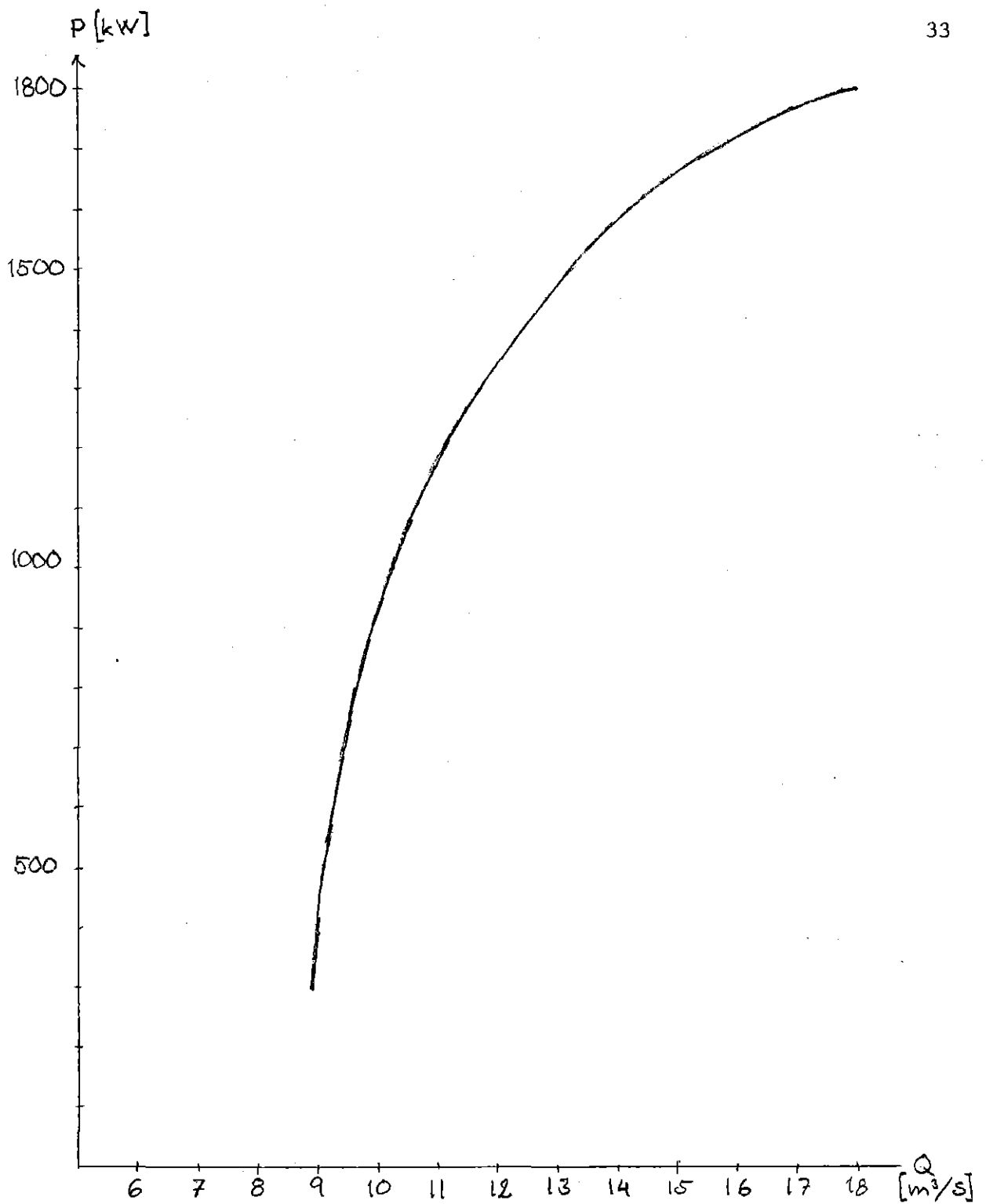


FIG. 5.3.2 VATTENMÄNGDSDIAGRAM VID OLIKA  
BELASTNINGAR  
AGGREGAT 1 FRANCISTURBIN 1800 kW  
 $H_0 = 16.25$  m

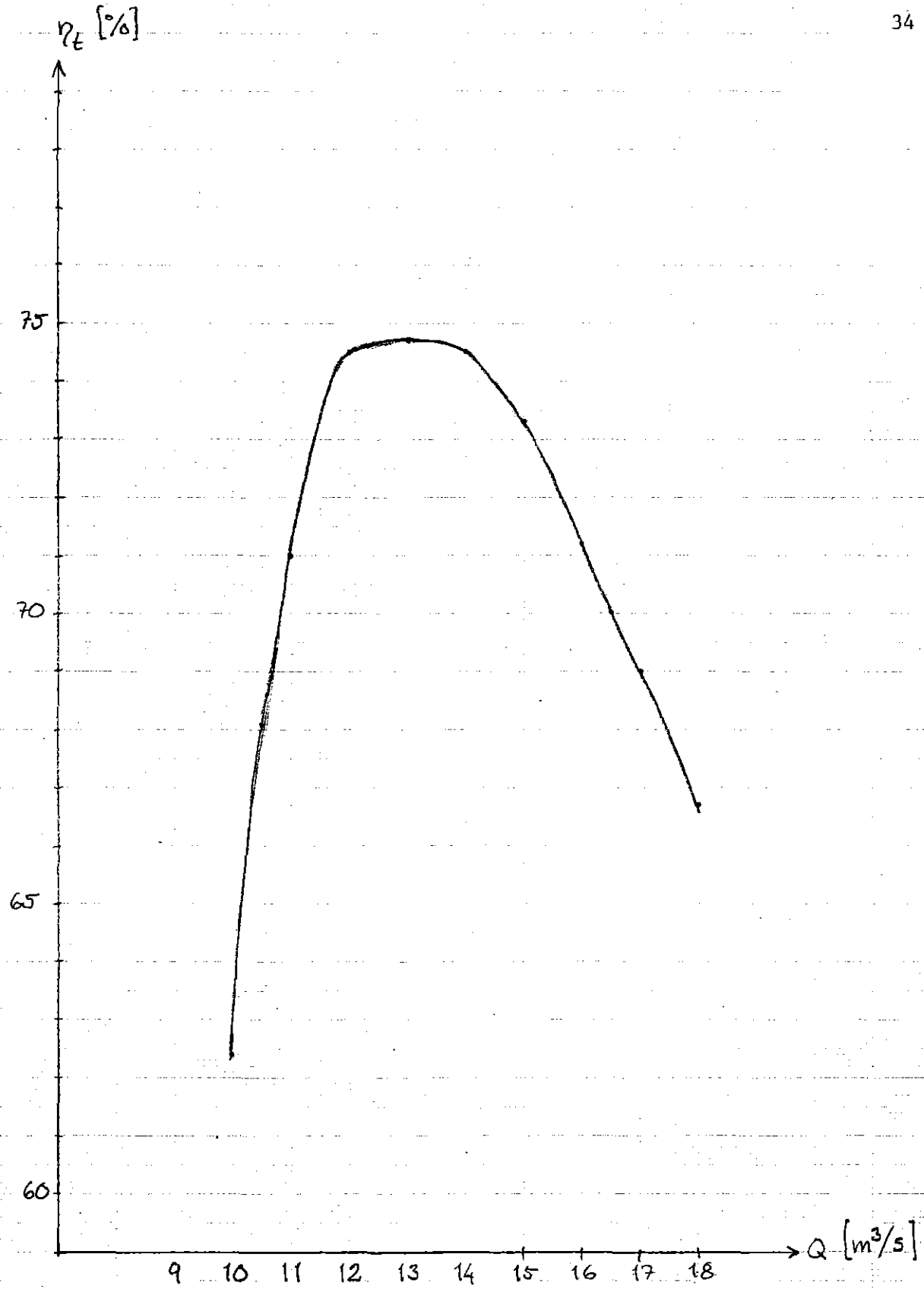
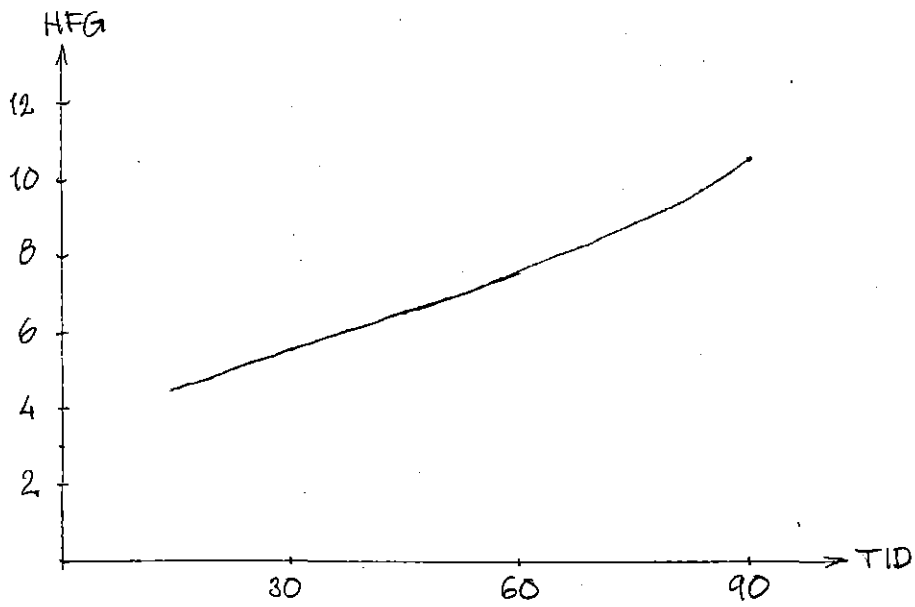


FIG. 5.3.3 TURBINENS VERKNINGSGRAD  $\eta_t$   
 $h_{eff} = \text{konstant} = 16,25 \text{ m}$



$P = 1800 \text{ kW}$   
 $H = 16 \text{ m}$

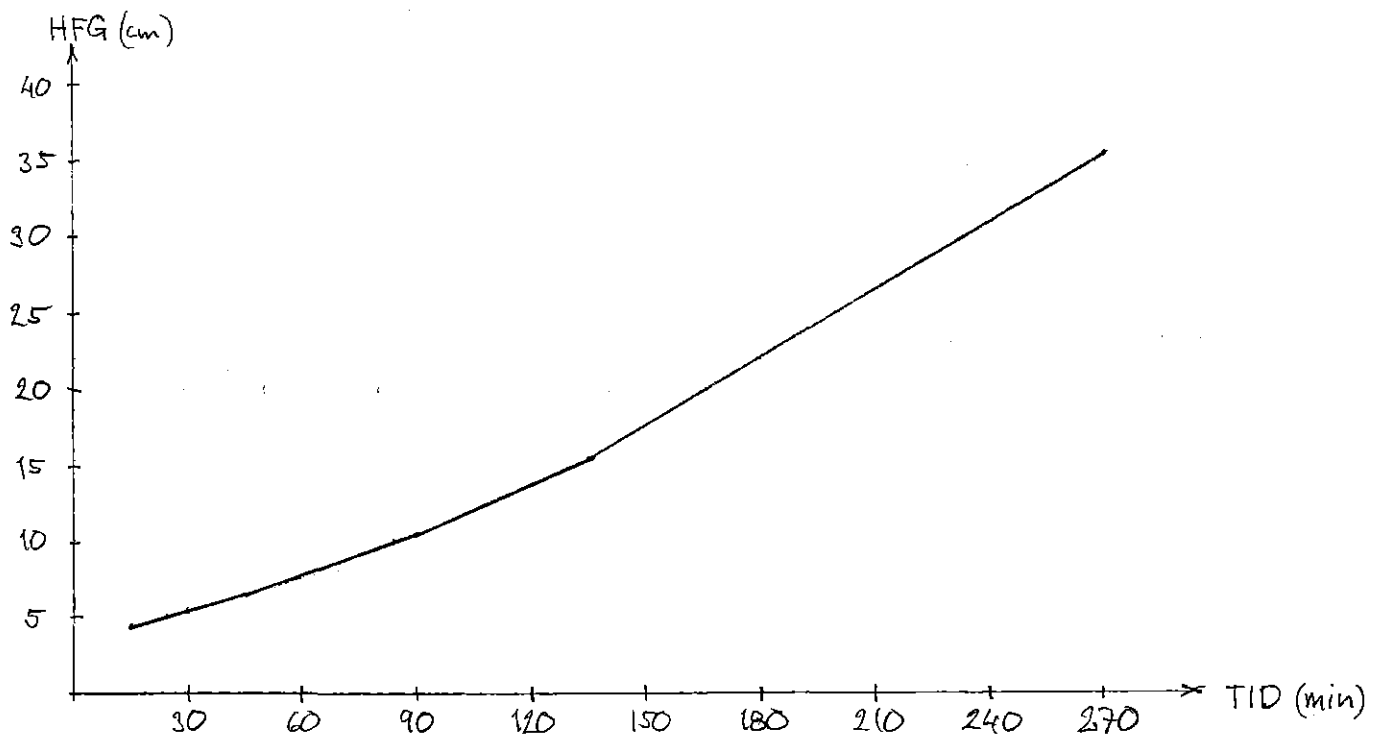


FIG. 5.4.7. MEDELFALLFÖRLUSTEN ÖVER GRINDEN  
 SOM FUNKTION AV TIDEN FÖR EN  
 RENS CYKEL

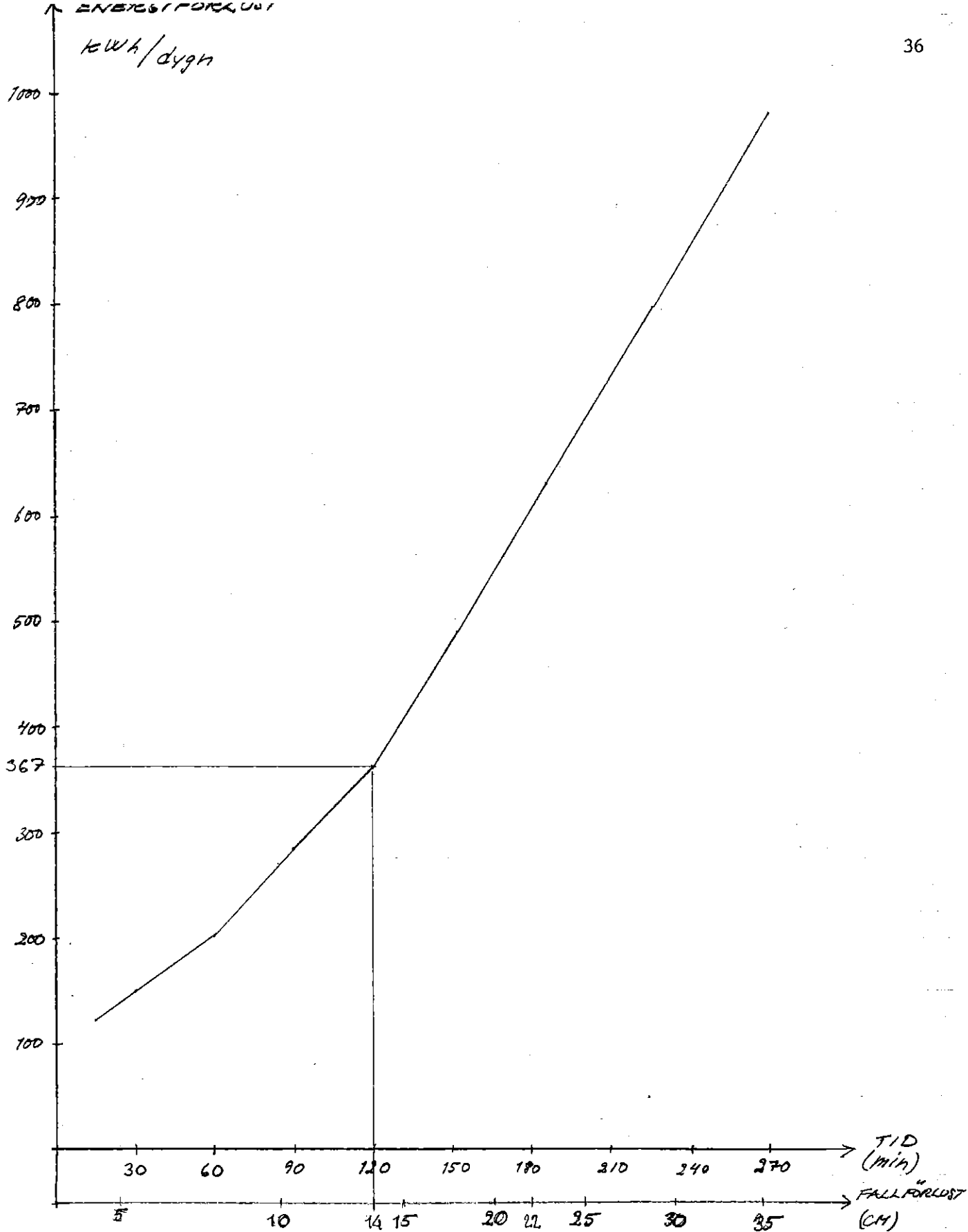


FIG. 5.4.2

ENERGIFÖRLUSTEN UNDER ETT  
DYGN SOM FUNKTION AV TIDEN  
FÖR EN RENS CYKEL



## 6. UTVÄRDERING AV ENERGIMÄSSIG OCH EKONOMISK VINST

### 6.1 Energivinst vid utnyttjande av grindrensare

#### Inledning

Under den tid då grinden mer eller mindre sätts igen på grund av löv, gräs och liknande föroreningar så orsakar dessa en förlust av energi. Denna förlust av energi är i praktiken en förlust i fallhöjd, det vill säga den totala fallhöjden minskar. Detta leder i sin tur till att den uttagbara energimängden minskar. Vid de tillfällen på året då ovan nämnda föroreningar är som störst kan det leda till att hela grinden blir totalt igensatt. Kraftbolaget tvingas att stänga av kraftverket helt, varvid en del av föroreningarna flyter upp till ytan och spolats ut över sidoutskovet. Man är också tvungen att avdela personal som rensar gallret för hand eftersom den automatiska grindrensningen inte klarar av att rensa bort så stora mängder föroreningar. Dessa stopp och driftstörningar medför givetvis kostnader för kraftbolaget. De perioder på året som problemen uppstår är i första hand på hösten då lövfällning sker samt i viss mån även på våren eller senvintern, då is-sörja och större isflak kan orsaka igensättning.

Ytterligare en orsak till driftstörningar bör nämnas och det är när stora grenar och dylikt fastnar i grinden. Dessa klarar inte maskinen av att ta upp utan dom måste tas bort för hand. I extrema fall kan rensmaskinens skraper fastna i grenen och därmed vara orsak till att maskinen havererar.

Vi gör nu en jämförelse av energiförbrukningen vid maskinell resp. manuell rensning av intagsgrind.

#### Manuell rensning

Vi förutsätter att manuell rensning av grinden sker varannan timma. En förutsättning är också att fallförlusten tillväxer enligt den "medelkurva" som erhållits genom mätningar vid Kungsfors kraftstation och som visas i fig 4.2.3. Energiförlusten under ett dygn på grund av fallförlust över grinden fås enligt fig 5.4.2 till 367 kWh/dygn vilket innebär en medelfallförlust på 14 cm.

Maskinell rensning

Vid maskinell rensning förutsätts att rensning sker kontinuerligt. Det innebär att tiden för en renscykel är ca 15 min. Energiförlusten för ett dygn fås enligt fig 5.4.2 i detta fallet till 122 kWh.

Föroreningsperiod

Totaltiden per år som fallförlusten kan beskrivas enligt ovanstående "medelkurva" uppskattas till 40 dygn. Till grund för denna uppskattning ligger erfarenhetsmässiga bedömningar av driftpersonalen vid Viskans Kraft AB samt erhållna mätresultat vid Kungsfors kraftstation.

Rensmaskinens energiförbrukning

Rensmaskinens direkta energiförbrukning för drift av motorer och styrkomponenter är 24 kWh/dygn under de 40 dygnen. Dessutom för uppvärmning av rensarens skrapa för att förhindra isbildning åtgår under vinterhalvåret (182.5 dygn) 12 kWh/dygn.

Rensmaskinens hydraulolja värms upp under hela året (365 dygn). Energiförbrukningen härför är 12 kWh/dygn.

Tabell 6.1.1Tabell över energiförbrukning

kWh/år	Maskinell rensning	Manuell rensning	Kommentar
Föroreningsförlust	4880	14680	under 40 dygn/år
Direkt energiförbrukning	1000	-	"-
Uppvärmning av skrapa	2190	-	under halva året
Uppvärmning av hydraulolja	4380	-	under hela året
Summa	12450	14680	

Energivinst per år vid installation av grindrensare:

$$14680 - 12450 = 2230 \text{ kWh/år}$$

=====

### Kommentar

I jämförelse mellan maskinell och manuell rensning tas energiförluster som förekommer i båda fallen ej upp. Så t ex bortses ifrån energiförbrukningen för uppvärmning av grinden för att förhindra isbildning. Som tidigare nämnts i kapitel 5.1 görs de största energiförlusterna vid driftstopp. Som exempel kan nämnas att issörja periodvis under vintern orsakar ett produktionsbortfall totalt sett för hela "Viskanblocket" på upp till 10 %. Issörja förekommer normalt ca 6 veckor under vintern och sätter då igen grinden i en sådan takt att varken grindrensaren eller personal som rensar för hand hinner rensa grinden. Vi antar dock att produktionsbortfallet för maskinell rensning är något lägre än för manuell, vilket vi emellertid inte har klara belägg för. Kan ett enda driftstopp under ett dygn undvikas görs en energivinst på  $1800 \text{ kW} \cdot 24 \text{ timmar} = 43200 \text{ kWh}$  på aggregat I vid Kungsfors kraftstation. Denna energivinst kan jämföras med den som fås under "normala förhållanden" vid installation av grindrensare. Den sistnämnda energivinsten är 2230 kWh/år.

## 6.2 Ekonomisk vinst vid utnyttjande av grindrensare

### Manuell rensning

Vid manuell rensning bedöms personalbehovet vara 1 person/kraftstation. Kostnaden för en årsanställd kan idag uppskattas till ung. 100.000 kr.

### Maskinell rensning

Kostnaden för inköp och installation av en grindrensare är ca 62000 kr. Underhålls- och driftskostnader har inte gått att få några uppgifter på men antas vara 10 % av anskaffningsvärdet.

Kalkylräntan förutsättes vara 16 % och den ekonomiska avskrivningstiden 10 år, vilket ger annuitetsfaktorn 0,22.

### Energipris

Kraftbolagets energipris är beroende på vem som köper energin. Storkonsumenter av energi betalar således en lägre avgift per kWh än enskilda hushåll. I vår beräkning används 16.5 öre/kWh vilket är den avgift enskilda hushåll betalar för energi från Viskans Kraft AB.

Tabell 6.2.1

Tabell över årliga kostnader

	Maskinell rensning	Manuell rensning	Kommentar
Energiförluster	2.100:-	2.400:-	Energipris 16.5 öre/kWh
Kapitalkostnad	13.600:-	--	
Drift och underhåll	6.000:-	--	
En årsanställd		100.000:-	
Kostnad per år	21.700:-	102.000:-	

Kommentar

Grindrensaren kräver givetvis en viss tillsyn vilket alltså skulle motsvara en viss personalkostnad. Det antas emellertid inte att någon extra personal erfordras för denna tillsyn utan att den kan skötas av befintlig personal. Den överslagsmässiga beräkningen visar dock på att under förutsättning attrensaren fungerar tillfredsställande bör installation av grindrensare vara väl motiverad.

I kap. 6.1 har diskuterats möjligheten att genom anskaffning av grindrensare kunna minska antalet driftstopp. Värdet av den energivinst som görs om ett driftstopp för aggregat I vid Kungsfors kraftstation undviks under ett dygn har uppskattats till 7.100 kr.

6.3 Teknisk utvärderingAllmänt

Grindrensaren består i huvudsak av fyra olika delar där var och en nedan skall beskrivas och kommenteras med avseende på konstruktion och hållbarhet. De fyra olika delar som grindrensaren kan uppdelas i är skrapa med stång och vajrar, hydraulkolvar, elmotorer (en för hydrauloljan och en för maskinens förflyttning) samt elektriska styrkomponenter.

### Kommentarer

Skrapan med stång och vajrar fungerar bra och utan klagomål.

Hydraulkolvarna fungerar även dessa bra och utan klagomål.

Generellt för Viskan kan sägas att elmotorerna var i originalutförande klart underdimensionerade, det vill säga de var för små och orkade inte driva maskinen tillräckligt snabbt, gallret hann sätta igen mellan varje rensning. Dessa motorer har i Kungsfors kraftstation senare bytts ut mot större och fungerar därefter bra.

De elektriska styrkomponenterna har man haft upprepade problem med vid Kungsfors, framför allt avkännarna vid gränslägena där maskinen skall stanna och rensa gallret har fungerat dåligt, speciellt vintertid.

### Slutsatser

Grindrensaren bör förbättras på några punkter för att driftsäkerheten skall ökas. Den viktigaste förändring som bör ske är att motorernas storlek ökas. Förbättringar bör också ske av de elektriska styrkomponenterna.

De förbättringar som bör ske är alltså till för att öka driftsäkerheten och därmed också få bättre ekonomi på hela kraftverket. Ökad driftsäkerhet och kraftigare maskindelar leder till att antalet driftstopp kan minskas, vilket är viktigt eftersom driftstoppen blir kostsamma speciellt om de uppträder vid olämplig tidpunkt, det vill säga då energiförfrågan är som störst.

## 6.4 Sammanfattning

Konsekvenserna vid installation av automatisk grindrensare kan kort sägas vara

- Energivinsterna på grund av effektivare rensning av grind är försumbara
- Antalet driftstopp minskar troligtvis
- Mindre personal erfordras för drift av kraftverket.

Energiförluster minskas genom att antalet driftstopp minimeras, vilket kan ske genom

- ökning av grindrensarens driftsäkerhet.

Differenstryckgivaren består i huvudsak av ett membran, en fjäder och en ferromagnetisk kärna som löper inuti två spolarna. Differenstryckets storlek (som är proportionellt mot fallförlusten) bestämmer kärnans läge relativt de två spolarna. Dessa är seriekopplade och matas av en sinusoscillator, vars frekvens och amplitud är stabila. Matningsspänningen från oscilatorn delas upp på de båda spolarna i proportion till spolarnas impedanser, vilka är beroende av kärnans läge. Spänningarna över de två spolarna avkänns av demodulatorn, vilken lämnar en spänning (0-10 V) som är ett mått på kärnans läge och därmed också ett mått på fallförlusten.

På demodulatorn finns möjlighet att justera nollpunkten och demodulatorns känslighet med trimpotentiometrarna Zero adj. resp. Gain.

Demodulatorns utspänning kan användas för att driva ett visarinstrument (0-1 mA) för avläsning av fallförlusten. Med potentiometern mA-adj. kan instrumentets utslag justeras.

För registrerande instrument med strömingång finns på kretskortet en krets som omvandlar demodulatorns spänning till en proportionell ström. Med två trimpotentiometrar kan nollpunkt (0-6 mA) resp. strömsignalens storlek (0-20 mA) justeras.

För övervakning av fallförlusten finns på kretskortet två nivåindikatorer, vilket ger möjlighet till exempelvis automatisk start av grindrensaren, när inställd fallförlustnivå uppnås. Inställningen av nivåindikatorerna underlättas av en simulerad fallförlustsignal (från potentiometern Test), vilken kan kopplas in med en omkopplare. Nivåindikatorernas tillslag kan därefter ställas in med potentiometrarna Alarm 1 resp. Alarm 2. Vid tillslag påverkas en tidskrets, som efter en tidsfördröjning på ca 10 s drar ett utgångsrelä. Tidsfördröjningen ger ett skydd mot larm vid kortvariga störningar (exempelvis vågor). För att kunna observera nivåkretsarnas tillstånd vid intrimningen har före fördröjningskretsarna kopplats in lysdioder, vilka tänds vid nivåindikatorns tillslag.

Matningen av elektroniken sker från en yttre transformator. På kretskortet bildas  $\pm 24$  V resp.  $\pm 15$  V stabiliserad spänning.