

KAVITATIONSLAGNING

Delrapport

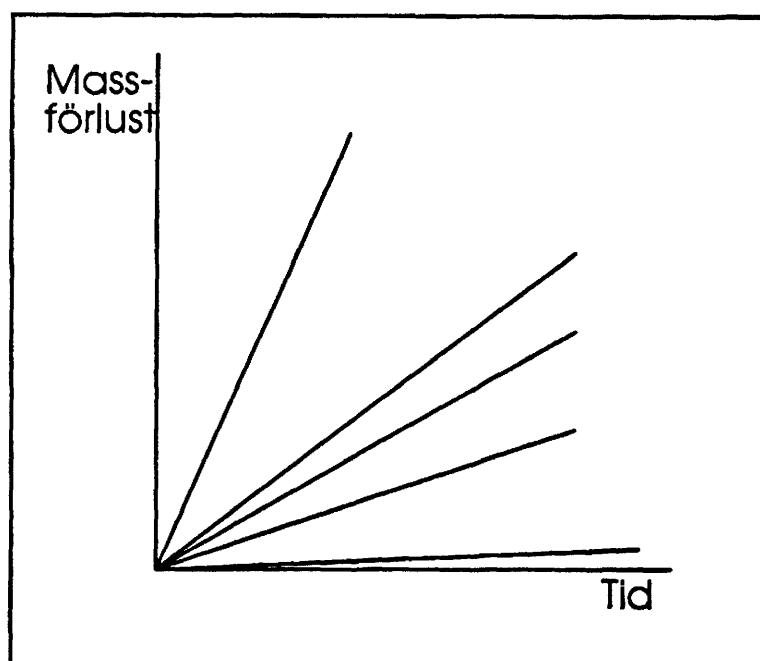
Elforsk rapport 94:4B

Förf: JanErik Lindberg m fl

KAVITATIONSLAGNING

Elforsk

Delrapport: November -93



JanErik Lindberg, Vattenfall AB (projektledare)

Jan Deborg, Hydropower AB

Per-Gunnar Fällström, Vattenfall AB

Åke Grahn, Sydkraft konsult AB

Evald Holmén, VBB-VIAK AB

Alf Jonsson, Vattenfall Utveckling AB

Jan Månsson, Graningeverkens AB

INNEHÅLLSFÖRTECKNING		Sida
1.	BAKGRUND	2
2.	LABORATORIEPROV	2
2.1	Provmaterial	2
2.2	Kavitationsprovning	4
2.2.1	Utrustning	4
2.2.2	Provning	5
2.2.3	Resultat	6
2.2.3.1	Skovelmateriel	6
2.2.3.2	Svetsreparationsmateriel	6
2.2.3.3	Polymera och keramiska materiel	10
2.3	Svetsbarhetsprovning	10
2.3.1	Visuell inspektion och metallografisk undersökning	11
2.3.2	Hårdhetsprovning, Hm	11
2.3.3	Bockprov	12
2.4	Kommentarer	13
2.4.1	Svetsreparationsmateriel	13
2.4.2	Polymera och keramiska materiel	13
3.	FÄLTPROVNING	14
3.1	Gejmån	14
3.2	Forsmo kraftstation G4	15
3.3	Edensforsens kraftstation, G2	15
3.4	Övriga kända fältprov	16
4.	EKONOMI	17
5.	SLUTSATSER AV GENOMFÖRD PROVNING	18
6.	FRAMTIDA ÅTGÄRDER	18
7.	REFERENSLISTA	19
Bilaga 1.1	Sammanställning av svetselektrod, diameter, svetsbarhet, slipbarhet och pris vid fältproven i Gejmån.	
Bilaga 1.2	Löphjulsinspektion 1992-06-22 i Gejmån.	
Bilaga 1.3	Löphjulsinspektion 1993-04-20 i Gejmån.	
Bilaga 2.1	Sammanställning av svetselektrod, diameter, svetsbarhet, slipbarhet och pris vid fältproven i Forsmo.	
Bilaga 3.1	Sammanställning av svetselektrod, diameter, svetsbarhet, slipbarhet och pris vid fältproven i Edensforsen.	
Bilaga 3.2	Löphjulsinspektion 1993-04-06 i Edensforsen	

1. BAKGRUND

Kavitationsskador på vattenturbiner har visat sig medföra kännbara kostnader främst genom produktionsförlusten vid reparation och verkningsgradsförsämring genom en successiv försämring av löphjulsformen på grund av återkommande reparationer. Till detta kommer även kostnader för förlorad beredskap och direkta reparationskostnader. Med målsättningen att förlänga tiden mellan reparation av kavitationsskador har prov utförts med olika svetsmaterial och polymera och keramiska material i laboratorium och i fält.

Arbetet startade 1990 och har bedrivits i samarbete mellan Vattenfall AB och Svenska Kraftverksföreningen. Hittillsvarande resultat rapporteras i denna delrapport. Fältproven är ännu inte avslutade utan uppföljningen fortsätter för att om möjligt särskilja materialen bättre. De har inte kunnat genomföras i den takt som planerats då extra avställning av berörda stationer är alltför dyrbar. Dessutom uppvisar lagningarna oväntat lång tid mellan reparationer vilket är ytterligare en orsak till fördröjningen.

2 LABORATORIEPROV

Laboratorieprovningen har omfattat kavitationsprovning av skovel- och reparationsmaterial samt svetsbarhetsprovning av svetsreparationsmaterial. Kavitationsprovningen utfördes på fast monterade provkutsar ovanför vilka ett vibrationshorn vibrerade med konstant frekvens och amplitud. Kavitationsskadehastigheten utvärderades som massförlust per tidsenhet. Svetsbarhetsprovningen omfattade påsvetsprov vilka utvärderades utifrån metallografisk undersökning av bindzonen, bockningsprov samt hårdhetsprovning.

2.1 Provmaterial

Kavitationsprovningar har utförts på sju skovelmateriel, nio svetsreparationsmaterial samt nio polymera ytbeläggningar. Av de sju skovelmaterialet är sex stål, med huvudlegeringselementen krom och nickel, och ett en aluminiumbronslegering. Av svetsreparationsmaterialen är fyra koboltbaslegeringar och resterande fem järnbaslegeringar med krom, nickel och molybden som huvudlegeringselement. Materialen som undergått provning redovisas i *tabell 1-3*. Materialen har utnyttjats vid reparation av erosions- och kavitationsskador internationellt och nationellt.

Tabell 1. Skovelmateriel.

Material	Innehåll vikts-%														
	C	Si	Mn	P	S	Cu	Cr	Ni	Al	N	Mo	Co	Fe	Cr _{Eq}	Ni _{Eq}
Gjutstål 13/0	0,32	0,41	0,72	0,036	0,018	0,09	12,8	0,38	-	0,09	0,10	-	bal.	13,5	13,0
Gjutstål 13/1	0,18	0,51	0,61	0,034	0,021	0,12	13,6	0,65	0,02	0,095	0,23	-	bal.	14,6	9,2
Gjutstål 13/4	0,042	0,55	0,64	0,026	0,011	-	12,7	4,1	-	0,08	0,43	-	bal.	14	8,1
Gjutstål 13/6	0,04	0,38	0,65	0,030	0,013	-	13,4	5,8	-	0,06	-	-	bal.	13,5	9,1
Gjutstål 16/5	0,039	0,43	0,80	0,014	0,010	0,02	15,5	4,66	0,14	0,035	1,08	-	bal.	17,2	7,3
Aluminiumbrons	-	0,08	0,98	-	-	bal.	-	4,9	10,2	-	-	-	4,2	-	-
SS-stål 23 33 SS-stål 23 33 glödgat	0,038	0,47	1,48	0,034	0,009	0,23	17,9	8,5	0,02	0,09	0,10	-	bal.	18,7	13,1

Tabell 2. Svetsreparationsmateriel.

Material	Innehåll vikts-%														
	C	Si	Mn	P	S	Cu	Cr	Ni	Al	N	Mo	Co	Fe	Cr _{Eq}	Ni _{Eq}
Castolin HD 6868	0,032	0,74	0,29	0,020	0,010	0,16	27,4	10,5	0,03	0,14	0,94	0,41	bal	29,4	15,8
Castolin 9080	0,18	0,43	1,76	0,018	0,004	-	22,4	3,37	-	0,044	4,09	bal	25,2	-	-
ESAB OK 63.30	0,029	0,87	0,68	0,020	0,015	0,07	18,4	12,3	<0,01	0,069	2,86	0,02	bal	22,6	15,6
ESAB OK 63.35	0,038	0,39	0,69	0,019	0,007	0,02	18,2	11,9	<0,01	0,069	2,74	0,02	bal	21,5	15,5
ESAB OK 84.42	0,13	0,52	0,39	0,013	0,004	0,03	13,3	0,08	0,01	0,024	0,01	0,02	bal	14,1	4,9
Hydroloy HQ 913	0,17	0,61	0,70	0,016	0,008	-	24,3	3,62	-	0,036	3,85	bal	29,1	-	-
Tribaloy T 800	0,06	3,4	0,61	-	-	-	17,2	-	-	-	26,9	bal	-	-	-
Stellite 21	0,25	0,2	0,78	0,013	0,006	-	28,2	2,42	-	-	5,7	bal	-	-	-
Sandvik 25.10.4.LR	0,02	0,43	0,65	0,015	0,008	-	24,2	9,6	-	0,09	4,1	-	bal.	28,9	13,2

- = ej analyserat

$$\text{Cr}_{\text{Eq}} = \% \text{Cr} + 1,5 * \% \text{Si} + \% \text{Mo} \quad \text{Ni}_{\text{Eq}} = \% \text{Ni} + 30 * (\% \text{C} + \% \text{N}) + 0,5 * (\% \text{Mn} + \% \text{Cu} + \% \text{Co})$$

Tabell 3. Polymera och keramiska material.

Material	Materialtyp
Belzona Super Metal Glide	Tvåkomponent
Belzona Ceramic-R+Ceramic-S + Super Metal Glide	Keramikkomposit, Tvåkomponent
Belzona Ceramic-R+Ceramic-S	Keramikkomposit, Tvåkomponent
Mega Metal MEGA TECH	Keramikkomposit, Tvåkomponent
Chesterton 890	Keramikkomposit, Tvåkomponent
Chesterton 855	Keramikkomposit, Tvåkomponent
Lithgow Saekaphen LTD FR 122	Keramikkomposit, Tvåkomponent
Devcon WR	Keramikkomposit, Tvåkomponent
Castolin Eutectic MeCaTeC 10	Keramikkomposit, Tvåkomponent

Skovelmateriellen härrör från skovlar vilka bytts ut i samband med renoveringar samt från vid- och separatgjutna provstavsämnen från tillverkning. Provkutsar av svetsgods framställdes genom att svetsgods applicerades på änden av en stålstav, Ø25 mm, varur provkutsarna svarvades.

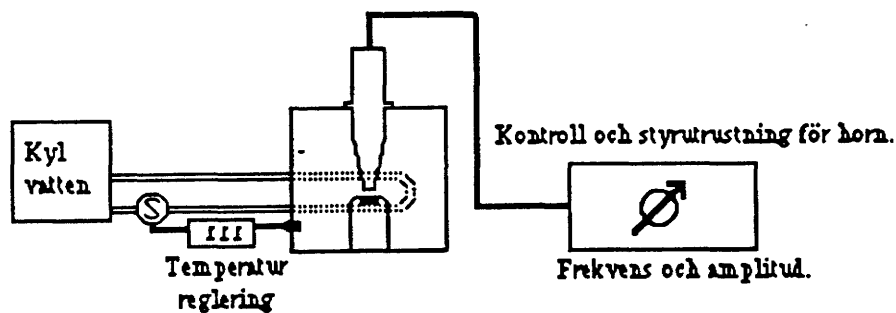
För de polymera materialen applicerades ytbeläggningarna på prefabricerade stålkutsar i enlighet med tillverkarens arbetsinstruktioner. Provbredningen utfördes i verkstads- eller laboratoriemiljö.

2.2 Kavitationsprovning

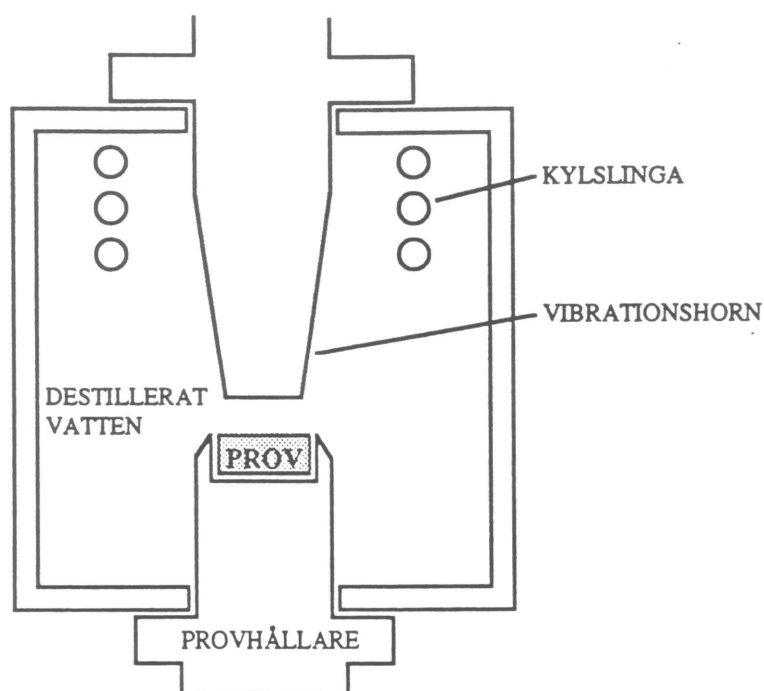
Kavitationsprovningen utfördes med den amerikanska standarden ASTM G32-85 som utgångspunkt. Utnyttjade provningsuppställningar och provningsparametrar redovisas nedan.

2.2.1 Utrustning

Kavitationsutrustningen är uppbyggd av tre enheter, en provningskammare, en vibrationsenhet samt en enhet för kylning. Till detta kommer utrustning för styrning och övervakning. Arrangemanget framgår ur *figur 1 och 2*.



FIGUR 1: *Provuutrustning.*



FIGUR 2: Provutrustning. Detaljbild över provinfästning.

Vibrationsenheten arbetar med en konstant frekvens av 20 kHz och peak-to-peak amplituden kan varieras i intervallet 20-50 μm . Provningskammaren har en diameter av 240 mm och är invändigt isolerad med vibrationsdämpande plastmaterial. Invändigt i ytterperiferin av kammaren finns en sluten kylslinga som medger att temperaturen på det provomslutande vattnet regleras inom det i normen föreskrivna temperaturintervallet $20 \pm 1^\circ\text{C}$. I botten av kammaren monteras provhållaren vilken tillåter att provet kan positioneras på ett avstånd av 0-25 mm från det vibrerande hornet.

För mätning av massförlusterna hos provkutsarna utnyttjades en laborievåg med en noggrannhet av $\pm 5 \mu\text{g}$.

2.2.2 Provning

Under kavitationsprovningen var avståndet mellan vibrationshornet och provkutsen 0,5 mm och hornet vibrerade med en peak-to-peak amplitud av 25 μm . För polymera kompositmaterial och material avsedda för ytbeläggning utfördes även provningar med avståndet 1,0 mm mellan prov och vibrationshorn. Provningsenheten utfördes vid en temperatur av $20 \pm 1^\circ\text{C}$ i destillerat vatten. För att bestämma kavitationshastigheten uttryckt som massförlust per tidsenhet avbröts kavitationsprovningen och provkutsarna togs ut ur provningsutrustningen och vägdes varefter provningen återupptogs. Vid vägningsförfarandet tvättades de metalliska provkutsarna först i finsprit varefter de sköljdes i aceton, torkades och vägdes. Plastmaterialen behandlades lika med undantaget att sköljningen i aceton ej utfördes.

För svetsmaterial provades av vardera material tre kutsar tills dess konstant kavitationshastighet erhöles. För övriga material avbröts provningen då ytbeläggningarna lossnat, alternativt då 50% av materialet inom provytan kaviterat bort. För dessa material provades 1-2 kutsar vid valda intensitetsnivåer.

2.2.3 Resultat

2.2.3.1 Skovelmateriel

Resultat från kavitationsprovning av skovelmaterielen redovisas i **TABELL 4** och **FIGUR 3**.

TABELL 4: **Resultat. Skovelmateriel**

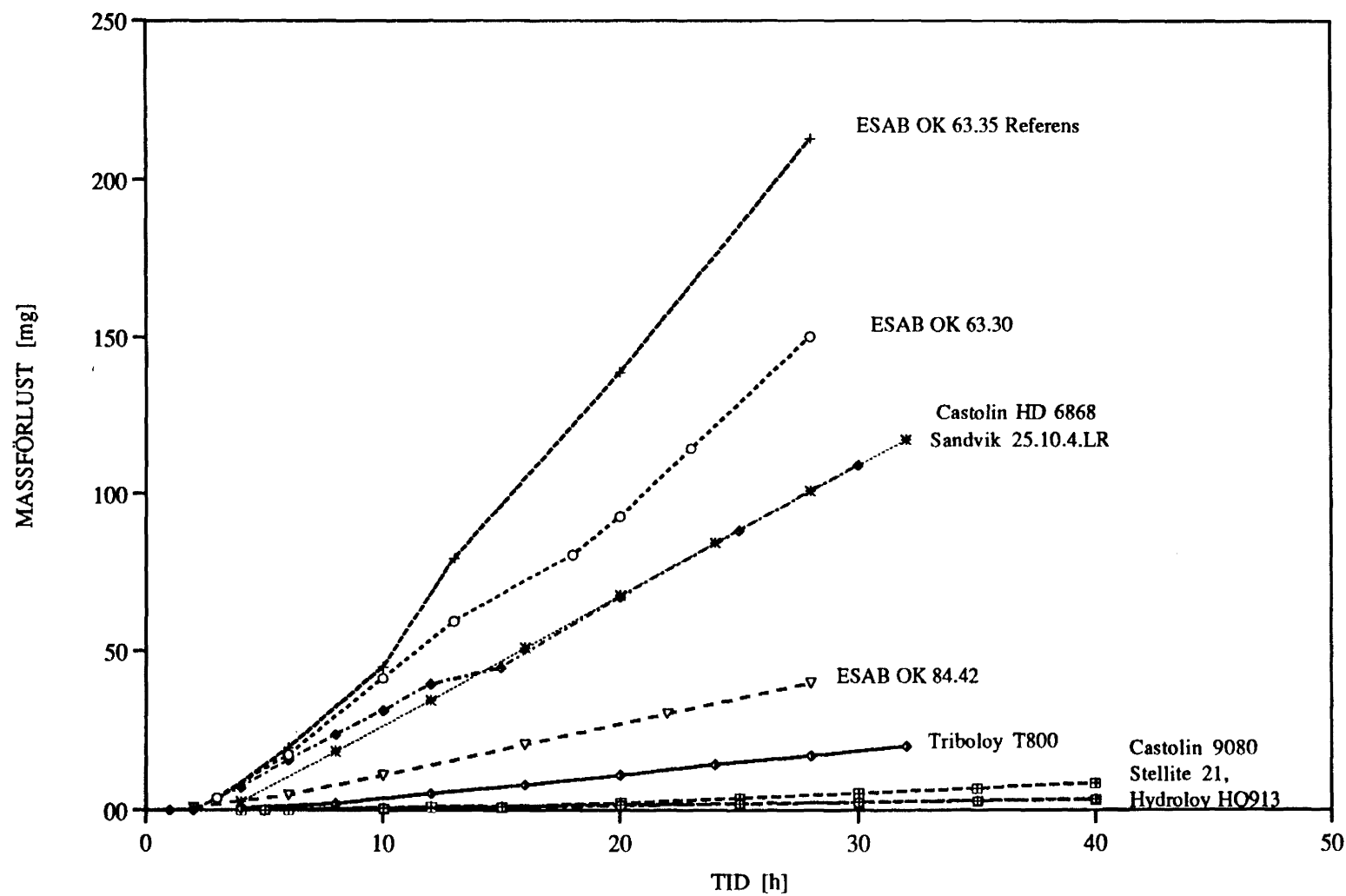
Prov	Viktsförlust mg / h
Gjutstål 13/0	7,8
Gjutstål 13/1	7,4
Gjutstål 13/4	5,9
Gjutstål 13/6	5,8
Gjutstål 16/5	5,6
Aluminiumbrons	8,2
SS-stål 23 33 kallbearb.	2,6
SS-stål 23 33 glödgat	4,3

2.2.3.2 Svetsreparationsmateriel

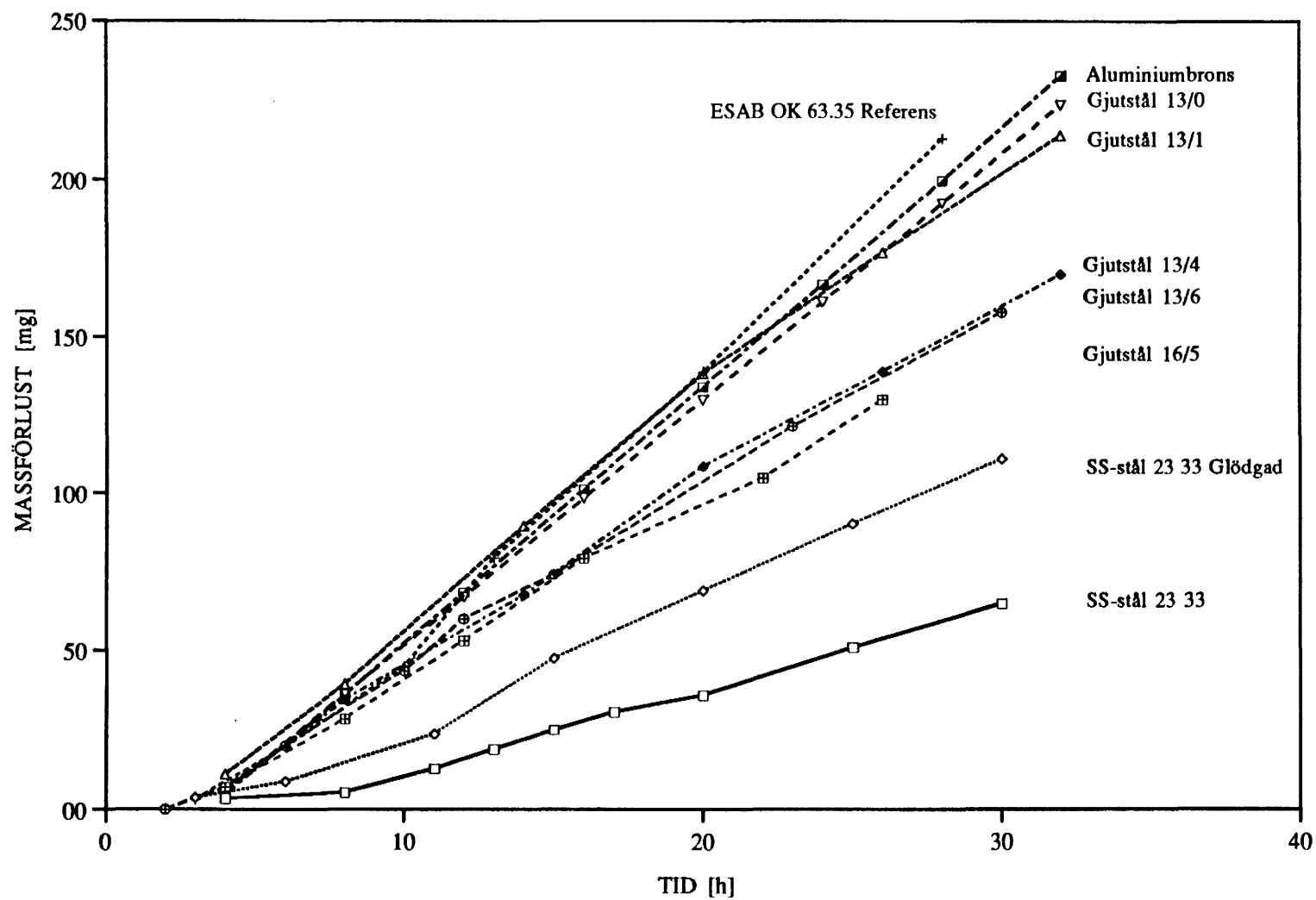
Resultat från kavitationsprovning av svetsreparationsmaterielen redovisas i **TABELL 5** och **FIGUR 4-5**.

TABELL 5 **Resultat. Svetsreparationsmateriel**

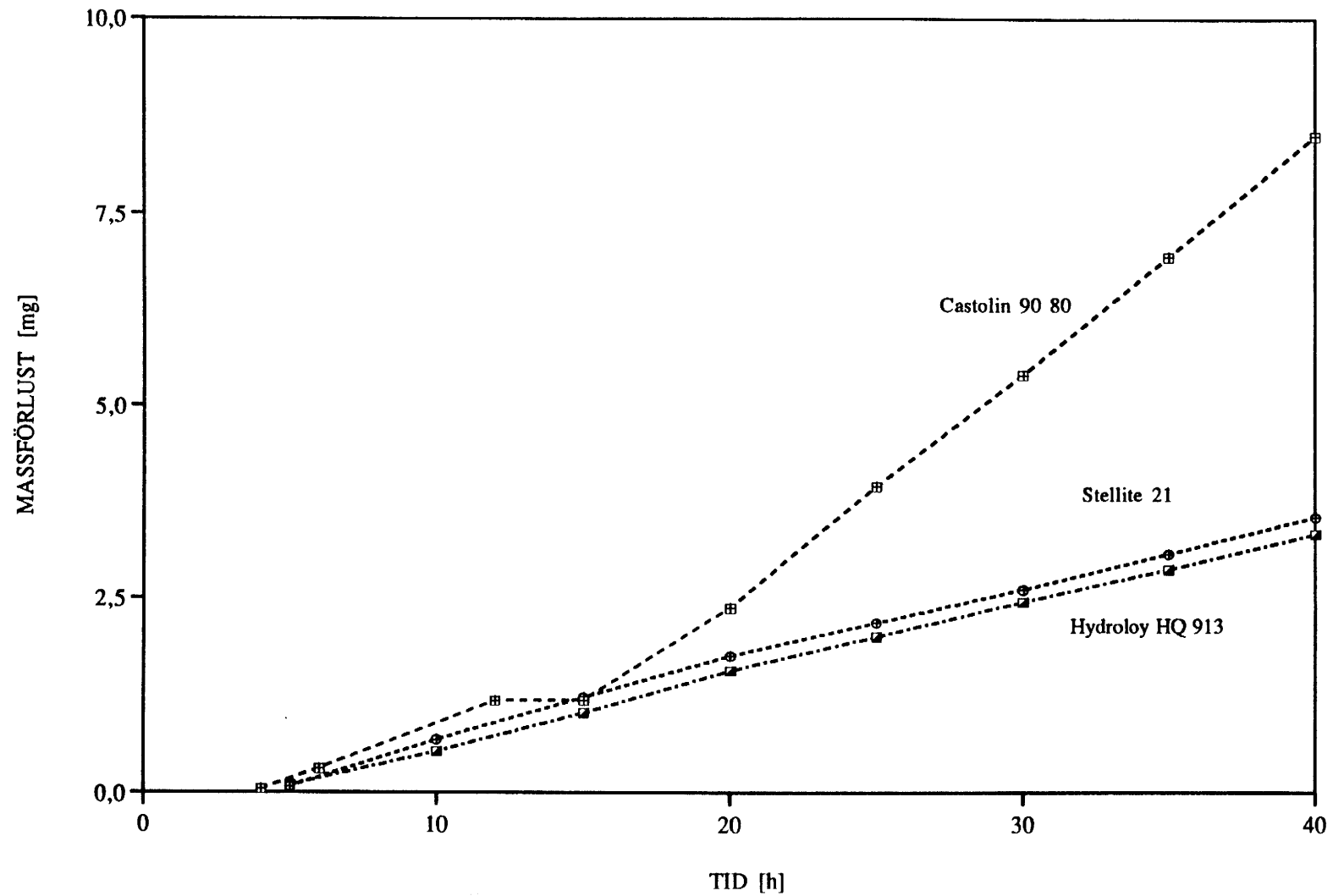
Prov	Viktsförlust mg / h
Castolin HD 6868	4,2
Castolin 9080	0,3
ESAB OK 63.30	5,7
ESAB OK 63.35	8,8
ESAB OK 84.42	3,1
Hydroloy HQ 913	0,1
Triballoy T800	0,9
Stellite 21	0,1
Sandvik 25.10.4.LR	4,1



Figur 4: Massförlust som funktion av provtid för svetsreparationsmaterial



Figur 3: Massförlust som funktion av provtid för turbinmaterial



Figur 5: Massförlust som funktion av provtid för svetsreparationsmaterial. Delförstoring av figur 4.

2.2.3.3 Polymera och keramiska material

Kavitationsprovningen utfördes för de utvalda materialen med ett avstånd till vibrationshornet om 0,5 mm. Inom 2 timmars provtid var ytbeläggningarna kraftigt skadade och begynnande kavitationsskador kunde iakttas på det underliggande stålgodset. För flertalet av de polymera och keramiska materialen fanns inga rester av ytbeläggningen kvar på provkutsen efter 2 timmars provning.

För att identifiera skillnader i de olika materialens kavitationsskadehastighet utfördes kavitationsprovningar vid lägre kavitationsintensitet. Den lägre intensiteten erhöles genom att avståndet till vibrationshornet ökades till 1,0 mm. Under dessa förutsättningar var det möjligt att vid provtider upp till 2 timmar registrera kavitationsskadornas tillväxt i ytbeläggningarna. Härfter ökar skadornas omfattning hastigt och efter 4 timmars provning har samtliga materialen skador av sådan omfattning att underliggande grundmaterial är frilagt inom minst 50% av provytan.

För de provade materialen erhöles två skilda kavitationsförlopp, beroende av ytbeläggningarnas vidhäftning mot underliggande grundmaterial. Vid låg vidhäftning lossnar ytbeläggningen efter minimala eller inga märkbara kavitationsskador. Med ökande vidhäftning mot grundmaterialet erhöles kavitationsskador på ytbeläggningen vilken, då genombrott erhöles, resulterar i att resterande ytbeläggning lossnar från den belagda ytan. Eventuella skillnader i kavitationsskadehastighet har ej kunnat identifieras under de utnyttjade provförutsättningarna.

2.3 Svetsbarhetsprovning

Svetsbarhetsprovningen utfördes i form av påsvetsprov på grundmaterialen av typ 13/0, 13/1, 13/4 och 16/5. Provade materialkombinationer framgår ur **tabell 6**. Svetsningen utfördes med undantag för T800 med belagda elektroder, Ø2,4-4,0, och strömstyrkan 80-150 A.

Svetsmaterialet T800 TIG-svetsades. I de fall svetselktrodtillverkaren rekommenderade förhöjd arbetstemperatur begränsades denna till 50°C.

Tabell 6: Svetsprov

Tillsatsmaterial	Grundmaterial			
	13/0	13/1	13/4	16/5
Castolin 6868 HD	X	X	X	X
Castolin 9080	X	X	X	X
Hydroloy HQ 913	X	X	X	X
ESAB OK 63.30	X	X	X	X
ESAB OK 63.35	X	X	X	X
ESAB OK 84.42	X	X	X	X
Stellite 21	X	X		X
Triballoy T 800	X			
Sandvik 25.10.4.LR	X			X

2.3.1 Visuell inspektion och metallografisk undersökning

Svetsprovet med Triballoy T800 uppvisade omfattande sprickbildning i svetsgodset och provades ej ytterligare. Ur resterande svetsprov preparerades snittytor tvärs och parallellt med svetsens längdriktning för visuell inspektion och metallografisk undersökning. Inga bindfel eller porer kunde konstateras i de undersökta snittyterna.

2.3.2 Hårdhetsprovning, Hm

Från svetsproverna preparerades snittytor tvärs svetsens längdriktning för hårdhetsmätning. Hårdhetsprovningarna utfördes med Vickersdiamant och provlasten 100 g. Resultaten från hårdhetsprovningen redovisas i **TABELLERN 7, 8, 9 och 10.**

Tabell 7: Hårdhet i 13/0 material

Svetsgods	Hm 100		
	Grundmaterial	HAZ	Svetsgods
Castolin HD 6868	180-200	350-500	230-260
Castolin 9080	180-200	350-570	300-350
ESAB OK 63.30	180-200	350-570	200-220
ESAB OK 63.35	180-200	350-530	200-220
ESAB OK 84.42	180-200	400-500	450-470
Hydroloy HQ 913	180-200	300-400	280-300
Stellite 21	180-200	350-590	320-350
Sandvik 25.10.4.LR	180-200	350-500	260-280

Tabell 8: Hårdhet i 13/1 material

Svetsgods	Hm 100		
	Grundmaterial	HAZ	Svetsgods
Castolin HD 6868	185-200	350-590	230-250
Castolin 9080	185-200	350-570	300-350
ESAB OK 63.30	185-200	350-570	190-220
ESAB OK 63.35	185-200	350-520	190-210
ESAB OK 84.42	185-200	400-450	450-470
Hydroloy HQ 913	185-200	300-400	280-300
Stellite 21	185-200	350-590	320-350
Sandvik 25.10.4.LR	185-200	350-530	250-280

Tabell 9: Hårdhet i 13/4 material

Svetsgods	Hm 100		
	Grundmaterial	HAZ	Svetsgods
Castolin HD 6868	190-210	350-500	230-250
Castolin 9080	190-210	350-550	340-370
ESAB OK 63.30	190-210	350-450	190-210
ESAB OK 63.35	190-210	350-450	190-210
ESAB OK 84.42	190-210	350-550	420-450
Hydroloy HQ 913	190-210	320-420	280-300
Stellite 21	190-210	350-550	320-350

Tabell 10: Hårdhet i 16/5 material

Svetsgods	Hm 100		
	Grundmaterial	HAZ	Svetsgods
Castolin HD 6868	260-270	300-370	280-300
Castolin 9080	270-280	300-360	340-370
ESAB OK 63.30	260-270	300-350	190-210
ESAB OK 63.35	260-270	300-350	190-210
ESAB OK 84.42	260-270	300-370	420-450
Hydroloy HQ 913	260-270	300-370	280-300
Stellite 21	260-270	320-370	320-350

För skovelmaterialet legerade med 13 % krom erhöles för samtliga elektroder mycket höga hårdheter, >400 Hm100, i den värmepåverkade zonen, HAZ. Med ökande hårdhet ökar risken för sprickbildning både under avsvälning efter svetsning och under yttre belastning. Svetsproven på skovelmaterialet legerat med 16 % krom uppvisar genomgående lägre hårdheter i den värmepåverkade zonen. Mikrohärdheten uppgår till maximalt 370Hm100. För samtliga materialtyper är hårdheten så hög att avspänningsglödning eller anlöpning rekommenderas för lastupptagande svetsar.

2.3.3 Bockprov

Bockproven utfördes enligt SS 11 26 26. Från samtliga svetsprov, utom T800, togs 20 mm breda provstavar ut tvärs svetsens längdriktning. Proven bockades 120° över en dorn med radien lika med provstavstjockleken.

Inga ytbristningar eller bindfel med en längd överstigande 2 mm konstaterades.

2.4 Kommentarer

2.4.1 Svetsreparationsmaterial

Svetstekniskt gav laboratoriesvetsprovningen god likvärdighet mellan de olika tillsatsmaterialen med undantag för Triballoy T800. För detta material erhöles kraftig sprickbildning i samband med svetsningen. Materialet kräver normalt förvärmning och kan endast utnyttjas om tillfredsställande förvärmning kan erhållas på grundmaterialet. Övriga materialkombinationer uppvisade inga sprickbildningar eller bindfel. Materialen gav för samtliga appliceringsprov höga hårdheter i den värmepåverkade zonen. De högsta hårdheterna erhöles för de 13%-iga Cr-stålen. För sammanfogande svetsning skall avspänningsglödning eller anlöpning utföras.

Kavitationsprovningen visar att Hydroloy HQ 913 och Stellite 21 tillsammans med Castolin 9080 har det lägsta kavitationsskadehastigheten med en massförlust av 0,09, 0,10 resp 0,32 mg/h. Av övriga material har Castolin HD 6868 och Sandvik 25.10.4.LR lägre kavitationsskadehastighet än grundmaterialen.

2.4.2 Polymera och keramiska material

För de provade ytbeläggningarna är vidhäftningen mot grundmaterialet den faktor som styr materialens användbarhet som skydd mot kavitationsskador. Under utnyttjande av samma provningsparametrar som vid provning av metalliska material återstår endast fragment av ytbeläggningarna efter en provtid av 2 timmar. För de metalliska materialen motsvarar denna provtid närmast inkubationsfasen för kavitationsskador varunder endast mindre ytskador erhålls. Provning med reducerad intensitet visar att kavitationskrafterna efter det att ytbeläggningarna genombrutits angriper i bindningszonen och ytbeläggningen slits bort från underlaget. Materialtypens kavitationsskadehastighet är väsentligt högre än turbinmaterialens varför den ej kan utnyttjas som ytskydd i anläggningar med i huvudsak kavitationsskador.

3. FÄLTPROVNING

Fullskaleprovning av ett antal material har utförts med avsikten att verifiera resultaten från laboratorieproven. Tidigt påbörjades försök med olika elektroder på löphjul B till Gejmåns kraftstation. När sedermera laboratorieprov av kavitationsresistens kommit igång uppstod behov av ytterligare fältprov och också en önskan att studera möjligheterna att åstadkomma liknande förbättring på en Kaplanturbin. Ytterligare fältprov startats och information har även insamlats från olika prov som genomförts på andras initiativ.

Fältprov med de polymera och keramiska materialen kommer troligen inte till stånd då dessa material visat mycket låg motståndskraft mot kavitation i de inledande laboratorieproven.

Nedan redovisas för varje aggregat vilka prov som pågår. De kommer att redovisas ytterligare i en senare rapport.

3.1 Gejmån

Fältprovningen startades med Gejmåns löphjul B som Vattenfall Mellersta Norrland beslutade sig för att reparera med sådana material som kunde förväntas ha bättre motståndskraft mot kavitation. Arbetet utfördes i Kvaerner Turbin's verkstad och föregicks av en noggrann planering som utfördes av PG Fällström på Vattenfall tillsammans med Kvaerner's personal och Herman Lindquist som varit delaktig i framtagandet av löphjulet. Reparationen av löphjul B kunde göras i lugn och ro då löphjul A var monterat i stationen och skulle bytas ut mot det reparerade löphjul B vid en ordinarie avställning som alltid görs i Gejmån när magasinet tömts. Utöver de nya materialen så försökte man också förbättra löphjul B:s form på band och några skovlar för att minska kavitationsskadornas omfattning. Reparationen tog längre tid och blev betydligt dyrare än väntat vilket täcktes av utvecklingsmedel från Vattenfall och Kvaerner Turbin.

Utförandet redovisas i Bilaga 1.1, Bilaga 1.2 och 1.3 innehåller resultat från de senaste besiktningarna som utförts 1992-06-22 respektive 1993-04-20. Turbinen lagades med fem olika provmaterial, Stellite 21, Ferralium F255, Hydroloy HQ913 och Castolin HD6868 och ESAB OK63.30 som också utgjort referensmaterial.

Resultatet av formförändringarna är generellt mycket gott med alla material visande på minst 8 gånger förlängd tid mellan reparation av kavitationsskador. Endast referensmaterialet har lagats med Stellite 21 på ett par skovlar medan övriga material endast uppvisar matteringar. Misstanken att aggregatet har körts med mindre belastning än tidigare har kunnat avfärdas genom jämförelse av driftstatistiken.

GEJMÅNS KRAFTSTATION

Francis, 65 MW, D=1,65 m, H=251 m, Q=29 m³/s, Idrifttagning 1970

Skovelmateriel: Bofors 2RM2 (13/6)

Elektrod

- ESAB OK 63.30 (referens)
- Ferralium F 255
- Stellite 21
- Castolin HD 6868
- Hydroloy HQ 913

3.2 Forsmo kraftstation G4

För kavitationsprovning av detta löphjul valdes lagningsmaterial som enligt laboratorieproven visat de bästa resultaten. Det var dock omöjligt att få fram alla material i form av belagda elektroder varför en viss förändring av valet blev nödvändig. Svetsningen utfördes av Vattenfalls personal som också lämnat värdefull information om svetsbarhet i fält. Bilaga 2.1 redovisar svets- och slipbarhet. Proven startade 92-03-05 och har nu pågått ca ett och ett halvt år. Den första besiktningen har av produktionsskäl flyttats fram. Troligen kan den göras under våren 1994.

FORSMO KRAFTSTATION G4

Kaplan, 45 MW, D=4,4 m, H=34 m, Q=150 m³/s, Idrifttagning 1957

Skovelmaterial: Avesta 739G (13/1)

Elektrod

- ESAB OK 63.35 (referens)
- Stellite 21
- Castolin 9080
- Castolin HD 6868
- Hydroloy HQ 913
- ESAB OK 84.42
- Avesta P11

3.3 Edensforsens kraftstation, G2

Även till denna turbin valdes lagningsmaterial bland de enligt laboratorieproven mest lovande. Här tvingades vi efter svetsprov byta ett material på grund av alltför stor risk för hårdsprickor vid svetsning med de tillgängliga elektroderna. Svetsarbetet utfördes av licenssvetsare inhyrd från Hydrolin. Den minsta dimension som fanns tillgänglig i Sverige av Hydroloy-elektroden var alltför grov vilket senare bekräftats från Kanada. Där används detta material frekvent med rörelektrod i en MIG-utrustning. Denna erfarenhet har framkommit under hittillsvarande arbete och visar vikten av systematisk svetsprovning för att hitta den mest effektiva metoden att laga kavitationsskador. Bilaga 3.1 redovisar svets- och slipbarhet.

En besiktning har utförts efter ett års drift visande på förbättringar av kavitationsresistensen av storleksordningen 2 till 4 gånger. Rapporten från denna besiktning återfinns i bilaga 3.2. Det föreligger en viss osäkerhet beträffande vilket material som använts på två av skovlarna. Vid nästa inspektionstillfälle räknar vi med att kunna reda ut detta.

EDENSFORSSENS KRAFTSTATION G2

Kaplan, 31 MW, D=4,53 m, H=28 m, Q=135 m³/s, Idrifttagning 1956

Skovelmaterial: Avesta 739 (13/0)

Elektrod

- ESAB OK 63.35 (referens)
- Castolin HD 6868
- Stellite 21
- Hydroloy HQ 913
- Castolin 9080
- Sandvik SAF 2507

3.4 Övriga kända fältprov

- **Bergvattnets** kraftstation ägs av Korsselbränna AB och är belägen i Fjällsjöälven(Ångermanälven).

Man har på eget initiativ provat olika lagningsmaterial. Projektet har givits möjlighet att ta del av resultaten från dessa prov.

Erfarenheterna hittills(efter ca 9000 timmars drift) är att svetsning i fält, underupp lyckats bra med även de hårdaste materialen, Stellite 21 och Hydroloy HQ913. Kavitationsmotståndet bedöms vara ungefär dubbelt så bra som med tidigare använda material.

BERGVATTNET KRAFTSTATION

Francis, 21 MW, H=76 m, Q=34 m³/s, Idrifttagning 1968

Skovelmateriel: Bofors 2RM2 (13/6)

Elektrod

- Castolin 9080
- Castolin 6868 XHD
- Stellite 21
- Hydroloy HQ 913

- **Laxede** kraftstation, G3, ägs av Vattenfall och ligger i Lule älv.

Skovlarna lagades i november 1988 med materialen ESAB OK 63.35 och det hårdare 84.42. Dessutom försågs två skovlar, nr 1 och 3, med kavitationslister och Hydrolin i Gävle lagade en av tre ytor på skovel 4 med ett wolframkarbid material.

Besiktning gjordes efter ett år men gav inte säkert besked om huruvida det hårdare materialet skilde sig från det mjukare. Hydrolins material visade sig vara alltför hårt och sprött. Det sprack loss på del av ytan. De tidiga kavitationsskadorna visade sig till stor del bero på felaktig kombinerings. Efter att denna rättats till har kavitationen minskat väsentligt.

LAXEDE KRAFTSTATION

Kaplan, 77 MW, D=6650 mm, H=24,8 m, Q=366 m³/s, Idrifttagning 1986.

Skovelmateriel: Karhula CNMo 130.4 (13/4).

Elektrod

- ESAB OK 63.35
- ESAB OK 84.42

- **Oldens** kraftstation, Oldåaggregatet, ägs av Korsselbränna AB och ligger i Indalsälven. Maskinen är konstruerad enligt samma tekniska underlag som Gejmåns turbin. Aggregatet har svetslagats på grund av kavitationsskador under ca 15 års tid. Skovelformen har långsamt ändrats och tiden mellan reparation minskat. Detta har motiverat att löphjulet renoverats vad gäller formriktighet på så sätt att man utgått från ursprungligt ritningsunderlag och genom att en "bra" skovel, med lite kavitation, fått vara mall åt de övriga. Några resultat har inte ännu rapporterats.

OLDÅAGGREGATET

Francis, Idrifttagning 1974.

- **Trångfors** kraftstation ägs av Trångfors AB och ligger i Ljungan. Löphjulet har lagats med Castolin 6868 varvid man samtidigt gjort formförändringar avsedda att minska kavitationsskadorna. Formförändringen har utförts med mallar efter "bästa" skovel.

Resultaten så här långt pekar på en halverad skadefrekvens på detta löphjul. De lagningar som utförts med polymera/keramiska material sitter inte kvar på löphjulet men tillsvidare delvis intakt på ledskovlarna.

TRÅNGFORS KRAFTSTATION

Francis, 75 MW, D=3,2 m, H=79 m, Q=105 m³/s, Idrifttagning 1974

Skovelmateriel: 2RM2 (13/6)

Elektrod

- Castolin 6868

Polymera/keramiska material på löpskovlar och ledskovlar

- Chesterton

- Devcon WR2

- MeCaTec 10

4. EKONOMI

En korrekt och fullständig beräkning av kavitationens skadeverkningar är mycket svår. Försök har gjorts att bedöma både dess direkta och indirekta kostnader för alla svenska vattenkraftproducenter.

Energiförluster under stopp har bedömts kosta ca 0,5 Mkr/år, energiförlusterna under drift ca 2,7 Mkr/år. Förlorad beredskap under stopp för inspektion och reparation av kavitation har värderats till ca 0,9 Mkr/år och direkta reparationskostnader till ca 2,0 Mkr/år. Totalt värde ca 6 Mkr/år.

Uppskattningarna av dessa kostnader har gjorts efter bästa förmåga, men har fordrat en serie antaganden. Dessa har generellt gjorts konservativt så att ovan nämnda värden sannolikt är för låga. Den verkliga summan är därför snarast mellan 5 och 15 Mkr/år. Därtill kommer icke kvantifierbara verkningar av vibrationer och buller.

Ca två tredjedelar av kostnaderna, säg mellan 4 och 10 Mkr/år, bedöms kunna påverkas genom en minskad reparationsfrekvens. Projektet syftade ursprungligen till att finna material och metoder som gör det möjligt att dubbla eller tredubbla intervallen mellan reparationerna. Därmed skulle en kostnad på 12 - 30 Mkr under varje framtida treårsperiod kunna reduceras till hälften eller en tredjedel. Detta mål anses vara nått inom ramen för projektet, om bara kännedom om de vunna resultaten sprids och de vunna erfarenheterna tillämpas.

5. SLUTSATSER AV GENOMFÖRD PROVNING

Resultaten från hittills utvärderade försök visar att det idag finns elektroder av lagningsmaterial som ger en förlängning av tiden mellan lagning av kavitationsskador på mellan 2 och upp emot 8 gånger.

Vissa av dessa material är mer svårsvetsade än de nu använda men detta bör kunna avhjälpas genom utbildning av de svetsare som ska utföra dessa reparationer. Eventuellt kan svetsningen underlättas genom införande av nya svetsmetoder. För vissa skovelmateriel gäller som vanligt att hänsyn måste tas till krav på förhöjd arbetstemperatur vid större lagningar.

Av provade material har Stellite 21, Hydroloy HQ913 och Castolin 9080 visat bästa kavitationsmotstånd vid laboratorieprovnigen. Stellite 21 och Castolin 9080 kan med klena elektroder svetsas underupp med gott resultat.

Elektroden Hydroloy HQ913 som har utmärkta resultat från laborieproven har inte provats ännu vad gäller underupp-svetsning i fält då de använda elektroderna var väl grova och gav sprickor vid provsvetsningen. Troligtvis är även denna elektrod användbar med klenare diameter eller övergång till rörelektrod och MIG-svetsutrustning. Det senare har rapporterats fungera bra i Kanada.

6. FRAMTIDA ÅTGÄRDER

Under projektets gång har intresset vuxit för att eliminera kavitationen innan den ger upphov till några skadeverkningar. Därmed skulle inte bara kavitationsangrepp på materialet elimineras, utan även energiförluster genom av kavitation sänkt verkningsgrad o.d. Hur detta ska ske utan att andra värden uppofras är ännu inte klart men en fortsättning av projektet för att bland annat utforska denna möjlighet har skisserats.

För att ytterligare minska kostnaderna för kavitationsskador kommer därför arbetet med detektering av skadlig kavitation under drift att fortsätta. Hittills har en metod identifierats och arbete pågår för att hitta fler. Prov är aktuella med detta liksom formförändring av löphjul för att nedbringa kavitationsskadorna.

Svetsmetoder bör provas ytterligare med målsättningen att nedbringa värmeförlusten i skoveln vid svetsningen. Aktuella metoder är främst MIG och TIG-svetsning vilka också kan pulsas för att ge bättre svetsegenskaper. Metallbågsprutning kan eventuellt med rätt val av metod och parametrar vara ett bra komplement som ökar antalet möjliga legeringar som kan påföras skovelmaterialet.

7. REFERENSLISTA

1. Canadian Electric Association, Metallic overlay materials for the optimum cavitation performance of hydraulic turbines, 1987.
2. Institutet för metallforskning, Jan Linder, Kavitation hos material för vattenturbintillämpningar - en litteraturstudie, 1988.
3. Technical University of Denmark, I. Hansson and K.A. Mörch, Guide vanes in vibratory cavitation systems to improve cavitation erosion testing, 1983.
4. ASTM standard G32-85, Standard method of vibratory cavitation erosion test.
5. Simoneau R. and Mossoba Y., Cavitation resistant alloys, Hydro review, feb 1989.
6. SEN 26 80 10, Vattenturbiner, Bedömning av kavitationsskador, 1972.
7. VAST nr 83:110, Peter Josephsson, Erosion orsakad av kavitation, 1983
8. VAST nr 11, Steel for Water turbines, 1970.
9. VAST nr 83:75, Peter Josephsson, Svetslagning av vattenturbiner.
10. IEC 609, Cavitation pitting evaluation in hydraulic turbines, storage pumps and pump-turbines, 1978.
11. Vattenfall, Bertil Wallberg, Allmänna anvisningar för svetsning av löphjul, löphjulsammare och fundamenttring på plats i turbinen, 1967.
12. Armentrout Terry B., Shielding Turbine Blades from Cavitation: Experiments with Polymer Overlays, Hydro Review/May 1993.

GEJMAN'S KRAFTVERK - LÖPHJUL B

Formvarianter och materialval för
reparation och påläggssvetsning

Svetsmaterial:

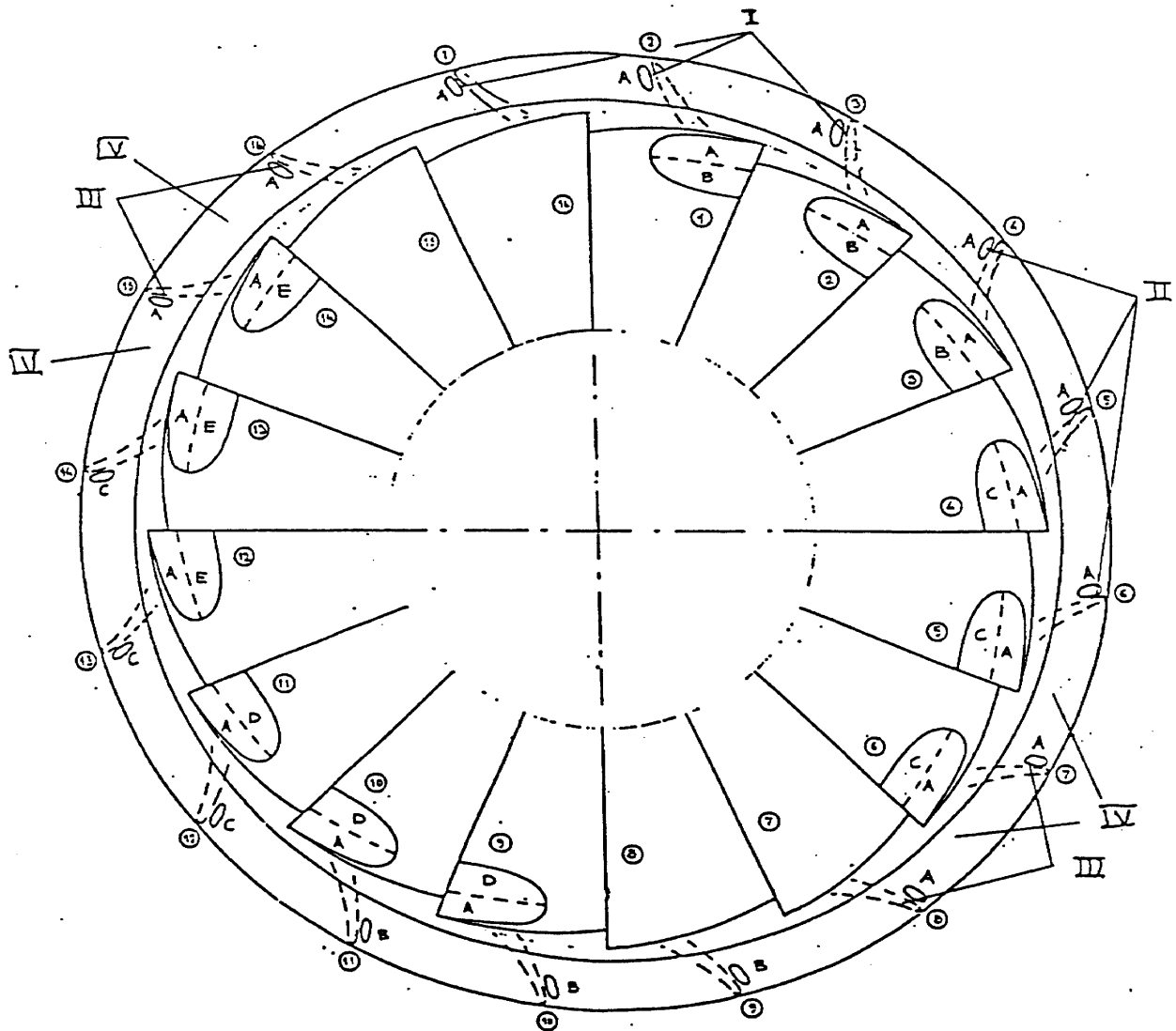
A = OK 63.30

B = F 255

C = Stellite 21

D = Castolin HD 6868

E = Hydroloy



Formvarianter

- I Svetspålägg vid bandet på inloppskantens sugsida samt ökad hålkälsradie
- II Vinkeländring (mera radiell riktning) av inloppskanten vid bandet
- III Svetspålägg vid bandet på inloppskantens sugsida - enligt Herman Lindquist
- IV Radieökning på bandkonturen enligt Herman Lindquist

90.08.08

Ort Trollhättan	Datum 1989-03-22	Avd HS	Referensnr för arkiv 3403-7700
Utfärdare Rune Sjöberg/Ljl	Tel 244	Sign	Ordernr - Beteckn 5601-058

Ärende

Distribution

Bilagor 1.1
Sid 2(3)

Följande kontroller utförs i samband med reparationen:

Före reparationen:

1. Indikering i svarv av bandets periferi i överkanten och underkanten, bandets undersida (axiellt) samt navskivans periferi och undersida.
2. Uppmätning av avloppsöppningar.
3. Uppmätning av mått från kontrollmall längs avloppskanten (sugsidan).
4. Uppmätning av sugsidans profilform vid avloppskanten. Mall enligt ritning 9100227 används för denna kontroll.

Efter urslipning av skadorna:

5. Penetrantkontroll.

Under svets- och sliparbetets gång:

6. Kontroll av skovelformen på skovelns sugside vid avloppskanten med hjälp av mallen, ritning nr 9100227.

Efter slutförd reparation:

7. Penetrantkontroll.
8. Hårdhetsmätning av svetspålägg.
9. Kontroll av avloppsöppningar.
10. Uppmätning av avmätt från kontrollmall enligt pkt 3 ovan.
11. Uppmätning av sugsidans profilform enligt pkt 4 ovan.
12. Kontroll av skovelformen vid inloppskantens nedre del.
13. Indikering i svarv i samma omfattning som under pkt 1 ovan.

Beträffande kontroller hänvisas till avd. Q.

Underlag och uppgifter angående kontrollmallar tillhålls av avd. HS.

Bilagor: Meddelande daterat 1988-12-14
Prognos av tidsåtgång i verkstad
Ritning för kontrollmall 9100227

KVÆRNER

**SAMMANSTÄLLNING AV SVETSELEKTROD, DIAMETER, SVETSBARHET,
SLIPBARHET OCH UNGEFÄRLIGT PRIS VID FÄLTPROVEN.**

GEJMÅN

Elektrod	Diameter [mm]	Svetsbarhet	Slipbarhet	Cirka pris år 1990 [kr/kg]
Castolin HD 6868	3,2	Lättsvetsad i alla lägen		352
Hydroloy HQ 913	3,2	Elektroden är svår att svetsa under-upp med gott resultat. Mycket fuktkänslig!		400
Ferralium 255	3,2	Elektroden är svår att svetsa under-upp med gott resultat		355
Stellite 21 (blank tråd)	3,2	TIG-svets! Bör utföras i horisontalläge		670
ESAB OK 63.30(ref.)		God		230

Orn	Datum	Avd	Referensnr för arkiv
Kristinehamn	1992-09-10	THU	5403-7700
Utfärdare	Tel	Sgn	Ordernr - Beteckn
Rune Sjöberg/Age	4811	Sj	5601-058

Arende		Distribution
	P G Fällström	Vattenfall, Stockholm
	J-E Lindberg	Vattenfall, Stockholm
	H Lindquist	
	J Deborg	Vattenfall, Älvkarleby
	K Wiberg	Vattenfall, Umeå
	A Jonsson	Vattenfall, Västerås
	A Johansson	Vattenfall, Näsåker
	E Holmén	VBB, Stockholm
	Å Grahn	Sydkraft
	J Månsson	GVAB
	S Leonsson	KTAB
	K Eriksson	"
	K-E Värilind	"
	L Hyllén	"
	M Sjönnaby	"
	R Sjöberg	"

GEJMÅNS KRAFTVERK

LÖPHJULSINSPEKTION 1992-06-22

Bakgrund

Inspektionen är den femte i ordningen som utförts för att följa upp de material- och formexperiment som sedan november 1990 pågår med det aktuella löphjulet. Beträffande de tidigare inspektionerna, som utfördes 1991-01-11, 1991-03-21, 1991-06-04 och 1992-01-28, hänvisas till de distribuerade rapporterna från respektive inspektion.

Generatoreffekt och vattennivåer under perioden mellan den föregående och den nu utförda inspektionen framgår av det bifogade diagrammet.

Den aktuella perioden omfattar totalt 3525 h. Av dessa har turbinen varit i drift 2490 h, vilket motsvarar 71% av den totala tiden.

Turbineffekten har varit genomgående hög. Endast i några undantagsfall, motsvarande mindre än 1% av drifttiden, har effekten underskridit 53 MW.

Energiproduktionen har varit 141.680 MWh. Detta innebär en medeleffekt av 56.9 MW under den tid som turbinen varit i drift.

Orn Kristinehamn	Datum 1992-09-10	Avd THU	Referensnr för arkiv 5403-7700
Utförare Rune Sjöberg/Age	Tel 4811	Sign	Ordernr - Betalning 5601-058

Ärende

Distribution

Nedanstående tabell sammanfattar driftdata för de fem tidsperioder som har gått sedan turbinen togs i drift efter löphjulsmodifiering och påläggning av testmaterial.

Period	Total tid h	Tid i drift		Medellast MW	Medelnivåer	
		h	%		ÖVY	NVY
1990-11-09- 1991-01-11	1505	1505	100	56.8	645.3	392.1
1991-01-10- 1991-03-21	1640	1630	99	59.4	645.4	390.6
1991-03-22- 1991-06-04	1760	790	45	54.8	644.2	390.2
1991-06-05- 1992-01-28	5740	3300	58	55.2	645.0	393.2
1992-01-27- 1992-06-21	3525	2490	71	56.9	644.5	391.7

Skador

Avloppskanten

Det allmänna intrycket var att skadorna på avloppskanterna endast i ganska ringa grad ökat i omfattning sedan det närmast föregående inspektionstillfället 1992-01-28. Vid den tidpunkten bedömdes däremot skadetillväxten som betydande och pittingangrepp konstaterades för första gången. Dessa har nu utvidgats endast i liten omfattning. På skovlarna 7, 10 och 15 har dock några mindre ytor med pitting tillkommit.

Beträffande erosionsdjupet har detta dessvärre nu uppmätts och angivits på ett avvikande sätt jämfört med vid den föregående besiktningen. Vid denna angavs ett maximalt djup till skillnad från i detta fall, då i allmänhet ett ungefärligt medeldjup har angivits. Detta innebär att det nu angivna erosionsdjupet i praktiskt taget samtliga fall är mindre än vad som angavs vid den föregående besiktningen.

Man måste även tänka på att mätningen av erosionsdjupet är svår att utföra med någon högre grad av precision. Om man skall mäta det maximala skadedjupet gäller först att identifiera den djupaste punkten och därefter mäta djupet i denna från den ej längre existerande orörda skovelytan. Det är också avgörande hur spetsigt mätverktyget är med tanke på att erosionsporerna ofta är mycket små.

Orn Kristinehamn	Datum 1992-09-10	Avd THU	Referensnr för arkiv 5403-7700
Utförare Rune Sjöberg/Age	Tel 4811	Sign	Ordernr - Beteckn 5601-058
Ärende	Distribution		

Sammanfattningsvis blir bedömningen att skadedjupet endast i ringa grad har ökat sedan den föregående besiktningen. En jämförelse mellan bilderna av skovel 4 dels på bildblad 3 i den föregående rapporten (1992-03-19) och på bildblad 3 i denna rapport kan tjäna som illustration till detta.

Drifttiden mellan närmast föregående inspektion och den nu utförda är 75% av motsvarande drifttid vid inspektionen 1992-01-28. Detta talar för en mindre skadetillväxt i detta fall än i det föregående. I gengäld har dock medeleffekten varit närmare 2 MW högre och NVY 1,5 m lägre i detta fall än i det föregående.

Liksom i tidigare rapporter markerades skadornas begränsning med tuschlinjer på skovelytan. Skadeområdet uppmättes och avritades. Se de bifogade skadeskisserna 1/6-6/6.

Skadekaraktären har som tidigare angivits med siffror 1-4.

- 1 = matt yta
- 2 = frostad yta
- 3 = svag pitting
- 4 = pitting

Området för resp pålagt experimentmaterial är angivet på skadeskisserna. De olika svetsmaterialen betecknas med följande förkortningar:

- FE 255 - Ferralium 255
- ST.21 - Stellite 21
- CA.HD 6868 - Castolin HD 6868
- HY.HQ.913 - Hydroloy HQ 913

Samtliga avloppskanter fotograferades, se bildblad 1 och 2.

Eftersom skadebilden är mycket snarlik den som konstaterades vid föregående besiktning är det inte möjligt att dra några ytterligare slutsatser vad beträffar de olika testmaterialens resistens mot kavitationserosion.

Eventuella effekter av den i vissa skovelkanaler modifierade bandformen (större krökningsradie) har ej tidigare kommenterats. Skovlarna 7 och 15 har den ändrade bandformen vid såväl sug- som trycksida. Skovlarna 8 och 16 har däremot den ändrade formen endast vid skovelns sugside.

Om man först beaktar den totala skadeutbredningen ser man att skovel 7 ytmässigt har den minsta skadan. De övriga aktuella skovlarna (8, 15 och 16) är inte bland de bättre i detta avseende. En jämförelse utgående från pittingskadornas svårighetsgrad visar dock att skovlarna 7, 15 och 8 tillhör de minst skadade. Skovel 16 har däremot ett relativt kraftigt erosionsangrepp.

Orn	Datum	Ård	Referensnr för arkiv
Kristinehamn	1992-09-10	THU	5403-7700
Utfärdare	Tel	Sign	Ordernr - Beteckn
Rune Sjöberg/Age	4811		5601-058

Ärende

Distribution

Eftesom skillnaden i skadornas svårighetsgrad mellan skovlarna 7, 8, 15 och 16 och övriga skovlar inte är så stor och eftersom antalet försöksskovlar är litet i statistiskt avseende, är det knappast möjligt att dra säkra slutsatser om bandformens inverkan på kavitationsskadornas storlek. De gjorda observationerna antyder dock att den modifierade bandformen ger mindre skador vid avloppskanten. Detta intryck är starkast för skovlarna 7 och 15, som har den nya bandformen på sina båda sidor.

Inloppskanten

Inspektionsmetod

Inför denna besiktning hade en första noggrannare undersökning av skadorna vid inloppskanten planerats. Skadeutvecklingen bedömdes nu ha gått så långt att slutsatser borde kunna dras om sambandet mellan skadornas svårighetsgrad och de olika form- och materialvarianterna.

Undersökningen avsågs att göras från löphjulets inloppssida. För att underlätta arbetet demonterades länkar och vevar från två ledskenor, varefter dessa öppnades så mycket som möjligt för att ge bästa åtkomlighet.

Aggregatet baxades stegvis så att varje enskild skovel kunde undersökas i utrymmet framför de två frigjorda ledskenorna.

Skadorna finns på skovelns baksida (sugsidan) sett i den enda riktning som är möjlig på grund av ledskenornas läge och placering. Kontrollen måste därför ske med hjälp av spegel. Med denna metod visade sig det dock omöjligt att markera och mäta upp skadorna.

Besiktningen från inloppssidan kom därför att inskränkas till fotografering av varje skovel med hjälp av spegeln. Se bildblad 4 och 5.

På grund av att ljuset från kamerans blixtn kommer från en ogynnsam riktning (rakt framifrån) framträder skadorna dessvärre ej så tydligt på bilderna. Något alternativ till den använda fotograferingsmetoden var dock inte tillgängligt.

En möjlig metod skulle kunna vara att i stället för blixtnljus använda lampbelysning. Man kan då i kameran före exponeringen se vilken ljusriktning som krävs för att skadan skall synas så bra som möjligt på bilden. Eventuellt skulle man då också kunna mäta skadans utbredning och läge på fotografierna i stället för direkt på skoveln. Skadedjupet måste dock mätas på annat sätt.

På grund av svårigheterna att dokumentera skadorna från inloppssidan gjordes detta från hjulets avloppssida. Eftersom skadorna är svåråtkomligt placerade och dessutom skydda av skoveln måste undersökningen ske genom en bedömning med hjälp av handen av deras läge och storlek.

Orn	Datum	Aid	Referensnr för Ekv
Kristinehamn	1992-09-10	THU	5403-7700
Utfärdare	Tel	Sign	Ordernr - Eteckn
Rune Sjöberg/Age	4811		5601-058

Ärende

Distribution

Skadornas placering och omfattning

Principiellt framgår skadebilden av figurblad 1. Som framgår av figurbladet förekommer skadorna i två lägen, ett i anslutning till hålkälen och ett högre upp på skoveln.

Figurbladet anger även de mått som uppskattats samt deras beteckningar. Under figuren finns en förteckning över förekommande form- och materialvarianter.

Resultatet av undersökningen framgår av tabellblad 1. Beträffande beteckningar hänvisas till ovan beskrivna figurblad 1.

Beträffande skadan vid hålkälen resp den högre upp belägna skadan gäller:

- Skada endast vid hålkäl finns på 7 skovlar.
- Skada både vid hålkäl och högre upp finns på 4 skovlar.
- Skada endast högre upp finns på 4 skovlar.
- En skovel (nr 8) är skadefri.

Med "skadefri" menas att ingen skada har kunnat konstateras med den metod som använts. Svaga kavitationsangrepp av typen matt yta kan förekomma eftersom de ej kan konstateras genom att man med handen känner på skovelytan.

Även om undersökningsmetoden är osäker beträffande de uppskattade måtten bör resultatet ge en relativt god indikation på eventuellt samband mellan skadans storlek och förekommande formvarianter och testmaterial.

Slutsatser - formvarianter

Skovlarna 1-5 har reparerats med referensmaterialet OK 63.30. Bandets form är ursprunglig på båda sidor om resp skovel. Skovlarna skiljer sig dock genom att skovel 1-3 har formvariant I på inloppskanten, medan skovel 4-5 har formvariant II. Den övre skadan förekommer inte utom i ett fall (rå yta, skovel 3). Någon betydande skillnad i skadans storlek är svår att se. Någon slutsats om vilken av de två formvarianterna I och II på inloppskanten som är gynnsammast ur skadesynpunkt är därför knappast möjlig att dra.

Formvariant III för inloppskanten förekommer endast i samband med formvariant IV på bandet (ökad krökningsradie). Det är därför ej möjligt att veta om en förbättring i kavitationsavseende beror på den modifierade skoveln eller det modifierade bandet. Skovlarna 7, 8, 15 och 16 har båda formvariant III på skoveln och formvariant IV på bandet vid skovelns sugsida. Alla dessa skovlar har obetydliga skador så när som på ett pittingangrepp i hålkälen på skovel 15. Detta tyder på att formvarianterna III på skoveln och IV på bandet sammantaget är gynnsamma med avseende på inloppskantens kavitationsskador.

Orn	Datum	Ans	Referens för arkiv
Kristinehamn	1992-09-10	THU	5403-7700
Utförare	Tel	Sgn	Ordernr - Beteckn
Rune Sjöberg/Age	4811		5601-058
Ärende		Distribution	

Som tidigare nämnts kan man även konstatera att samtliga skovlar med variant I och II på inloppskanten utom skovel 3 saknar skador i det övre läget. Däremot finns sådana skador på samtliga skovlar med ursprunglig inloppskant.

En motsvarande jämförelse för skadan vid hålkälen är inte möjlig att göra eftersom skovlarna med ursprunglig inloppskant har använts för försöken med svetsmaterial.

Slutsatser - materialförsök

Skovlarna 9-14 har använts för dessa försök. De två använda testmaterialen, Ferralium 255 och Stellite 21, har använts för reparation av de tidigare uppkomna skadorna i anslutning till hålkälen. Eventuella skador i det övre läget reparerades inte med de nämnda testmaterialen.

Som framgår av tabellblad 1 har materialet Ferralium 255 använts vid skovlarna 9-11 och Stellite 21 vid skovlarna 12-14.

Av tabellbladet framgår även att en av de tre skovlarna som reparerats med Ferralium 255 är skadefri i hålkälen (nr 11). En har en skada i form av rå yta (nr 10) och en har ett ganska kraftigt angrepp (nr 9).

Av de tre skovlar som reparerats med Stellite 21 är två skadefria (nr 12 och 14). Den tredje (nr 13) har ett relativt lätt pittingangrepp. Denna skada ligger dock längre ner i hålkälen, 60 mm från inloppskanten, än på övriga skovlar och därmed eventuellt helt eller delvis utanför det område som belagts med Stellite 21.

Beträffande Stellite 21 antyder skadebilden att detta material har god motståndskraft mot kavitationsskador. Detta är samma slutsats som redan tidigare dragits med utgångspunkt från resultaten av materialförsöken vid avloppskanten.

Övriga skador

Den lilla triangelformade skadan med matt yta som finns på bandet omedelbart efter avloppskanten samt ytterligare några mindre skador dokumenterades redan vid besiktningen 1991-06-04. Se rapporten från denna.

Åtgärder

Det djupast eroderade området vid stellitekanten på skovel 4 samt erosionsspåren längst ner på skovel 11 reparerades med TIG-svetsning och slipning omedelbart efter besiktningen. Som svetsmaterial användes Stellite 21 (tråd ϕ 1.6 mm) med ett underliggande skikt av Avesta SKR.

Svetsningen förlöpte utan problem trots att den utfördes i nära under-upp-läge. Svetsmaterialet flöt ut väl och var allmänt lättarbetat.

Orn	Datum	Ans	Referens för arkiv
Kristinehamn	1992-09-10	THU	5403-7700
Utfärdare	Tel	Sign	Ordernr - Eteckn
Rune Sjöberg/Age	4811		5601-058

Ärende

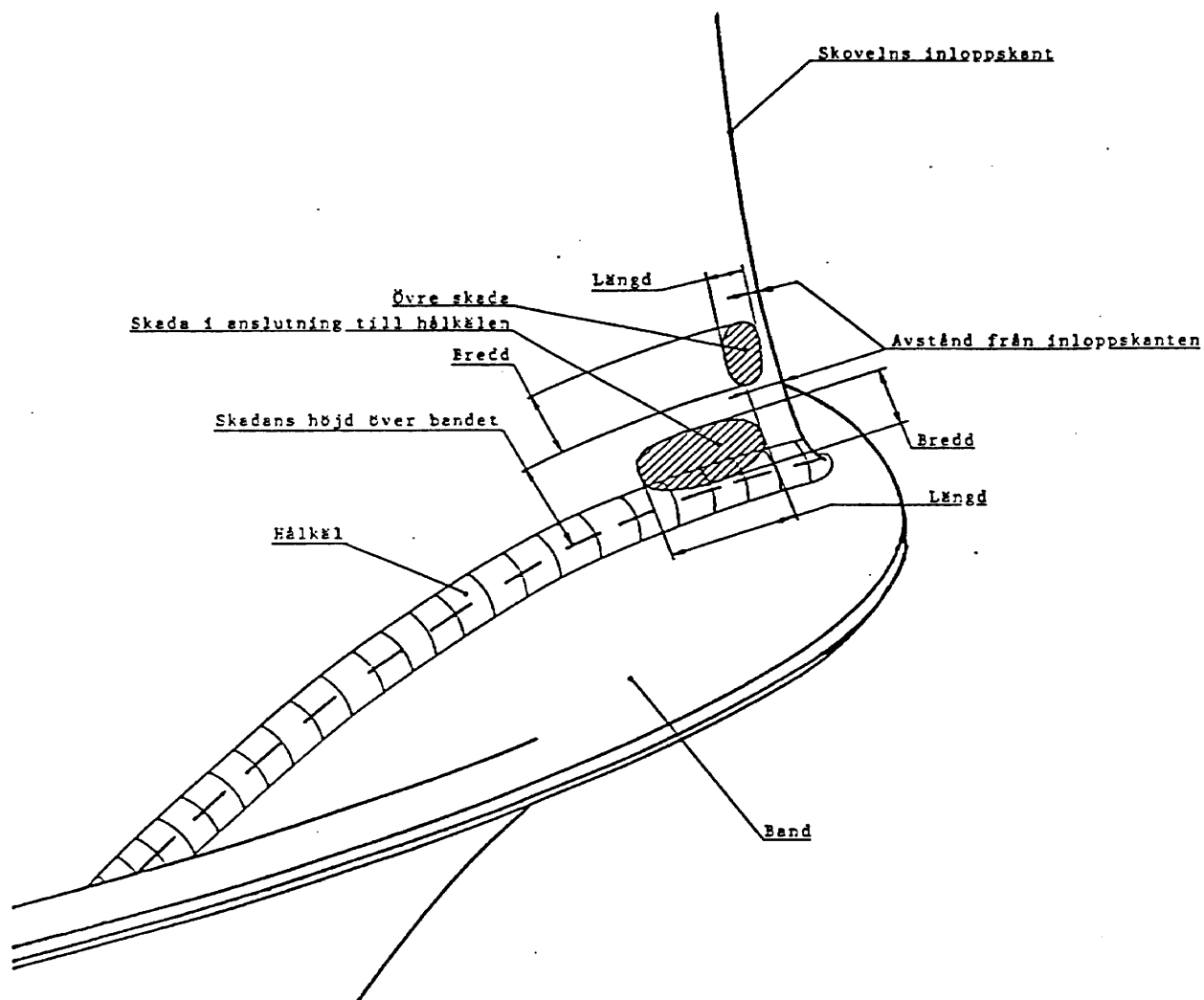
Distribution

Ur svetssynpunkt är denna metod långsammare än bågsvetsning. Ytan blir dock jämnare, vilket innebär att det efterföljande sliparbetet minskar i omfattning. En fördel är även att värmeförlusten blir betydligt mindre än vid bågsvetsning. Med tanke på inbyggda spänningar och deformationer är detta speciellt betydelsefullt vid svetsning på ytor där godstjockleken är liten.

En svårighet med TIG-svetsning i en vattenturbin är kravet på relativt stillastående luft vid svetsplatsen. Risk finns för att luften blåser undan skyddsgasen.

GEJMÅNS KRAFTVERK. Löphjul B
 Kavitationsskador vid skovelns inloppskant
 Formvarianter för inloppskant och band

Fig. 1



Formvarianter

- I Svetspålägg vid bandet på inloppskantens sug sida samt ökad hålkälsradie
- II Vinkeländring (mera radiell riktning) av inloppskanten vid bandet
- III Svetspålägg vid bandet på inloppskantens sug sida enligt Herman Lindquist
- IV Radieökning på bandkonturen enligt Herman Lindquist

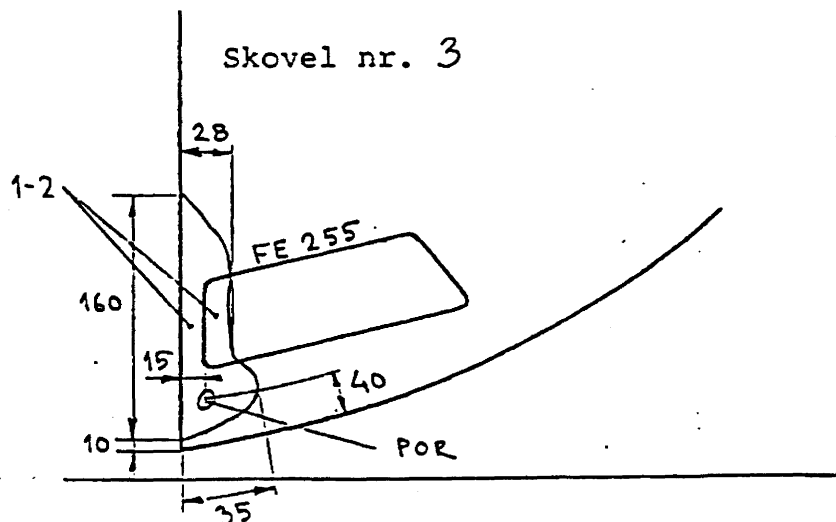
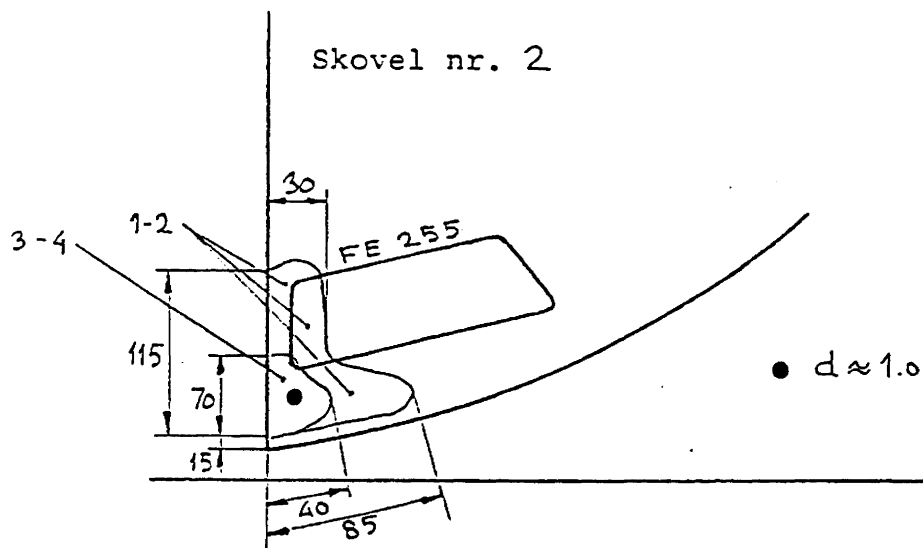
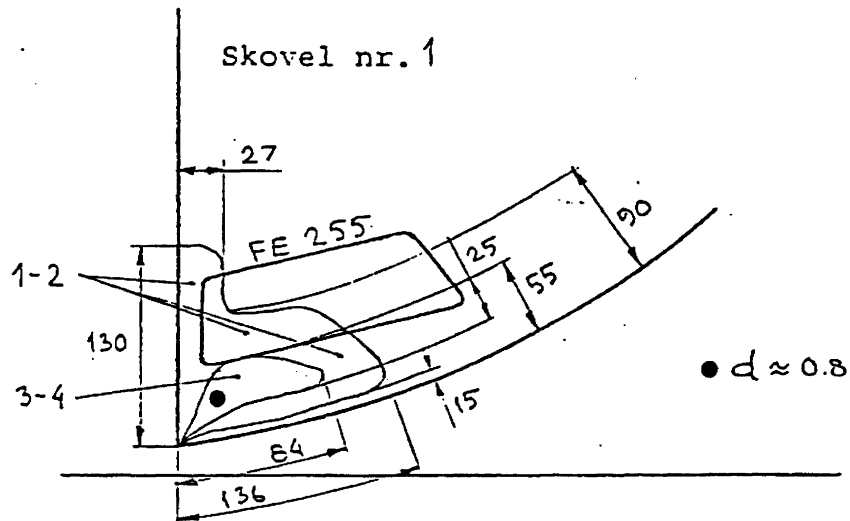
Skovel nr	Skada i anslutning till hålkålen						Övre skada						Inloppskantens formvariant	Bandets form
	Avstånd från inloppskanten mm	Läge relativt hålkål	Längd mm	Bredd mm	Ytkaraktär	Djup mm	Avstånd från inloppskanten mm	Skadans höjd över bandet, mm	Längd mm	Bredd mm	Ytkaraktär	Djup mm	Svetsmaterial i hålkålen	
1	10	På skoveln omedelbart ovanför hålkålen	30		Svagt rå yta								I OK 63.30	Ursprunglig
2	10	I övre delen av hålkålen och upp på skoveln	20		Pitting	< 0.5							I OK 63.30	Ursprunglig
3	10	I övre delen av hålkålen och upp på skoveln	20		Pitting	< 0.5					Rå yta		I OK 63.30	Ursprunglig
4	10	I övre delen av hålkålen och upp på skoveln	20		Pitting	0.3							II OK 63.30	Ursprunglig
5	10-15	Från mitten på hålkålen och uppåt	20-25	10	Pitting	0.8							II OK 63.30	Ursprunglig
6	10-15	Från mitten på hålkålen och uppåt	20-25	10	Pitting	0.3-0.4							II OK 63.30	Sugsida: ursprunglig form Trycksida: IV
7					Mycket svagt rå yta								III OK 63.30	IV
8													III OK 63.30	Sugsida: IV Trycksida: ursprunglig form
9	10-15	Från mitten på hålkålen och uppåt	20-25	10	Pitting	0.6	10	40		40	Rå yta		Ursprunglig F 255	Ursprunglig
10		I hålkålen			Rå yta		10	40		40	Rå yta		Ursprunglig F 255	Ursprunglig
11											Rå yta		Ursprunglig F 255	Ursprunglig
12							20	40	40	40	Pitting	0.2	Ursprunglig Ställe 21	Ursprunglig
13	60	I hålkålen	60	20	Pitting	0.1-0.2	20	60	30	30	Pitting	0.2-0.3	Ursprunglig Ställe 21	Ursprunglig
14							20	60	30	30	Pitting	0.2-0.3	Ursprunglig Ställe 21	Sugsida: ursprunglig form Trycksida: IV
15	40	I övre delen av hålkålen	20	15	Pitting	0.2							III OK 63.30	IV
16											Svagt rå yta		III OK 63.30	Sugsida: IV Trycksida: ursprunglig form

KAVITATIONSSKADOR VIDSKOVELNS AVLOPPSKANT

Anläggning : GEJMAN

Löphjul : F210/16-20-1650 B

Inspektionsdatum : 1992-06-22

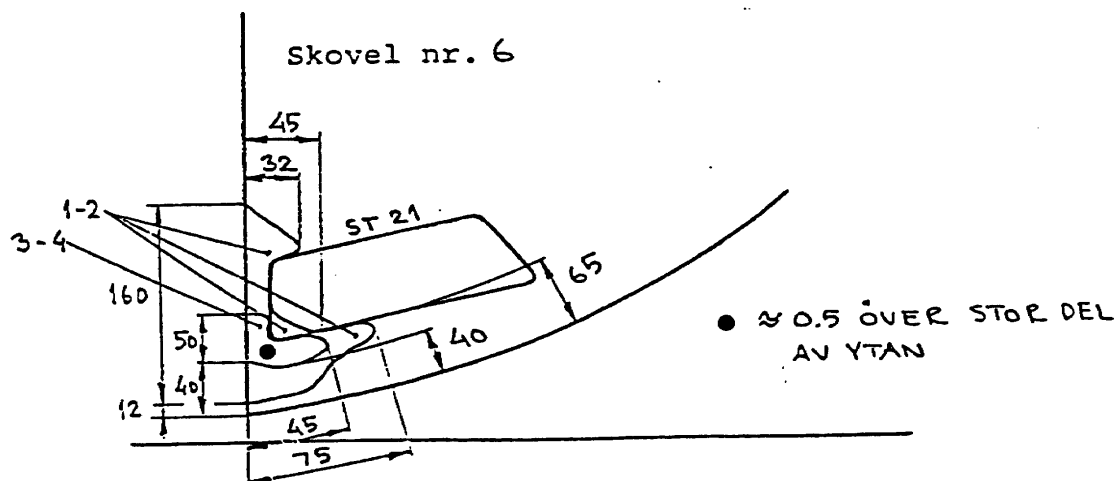
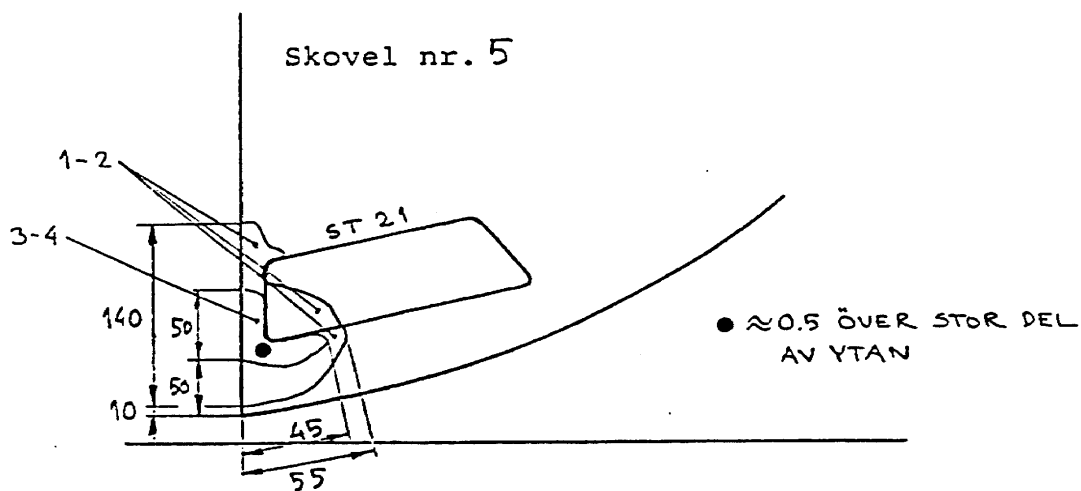
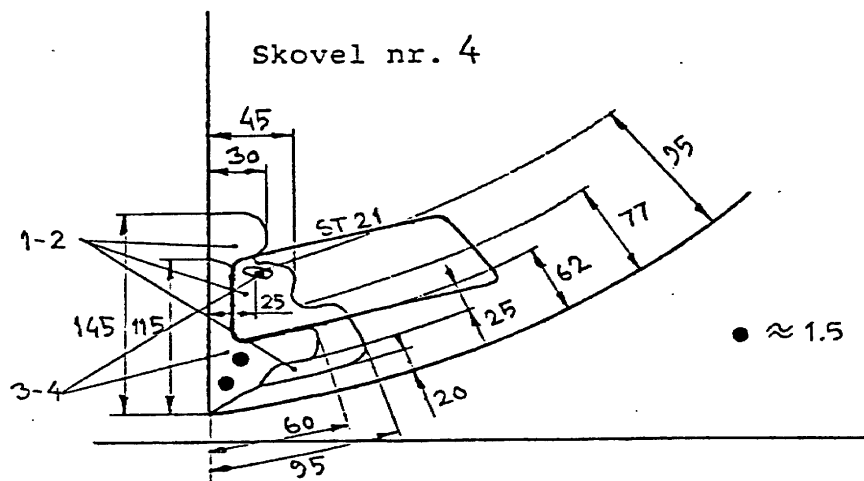


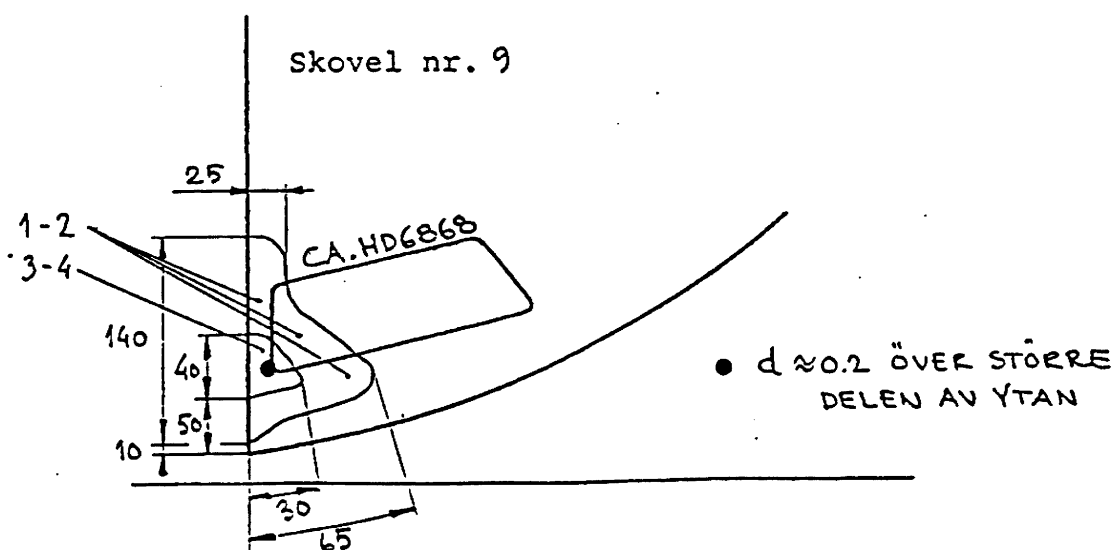
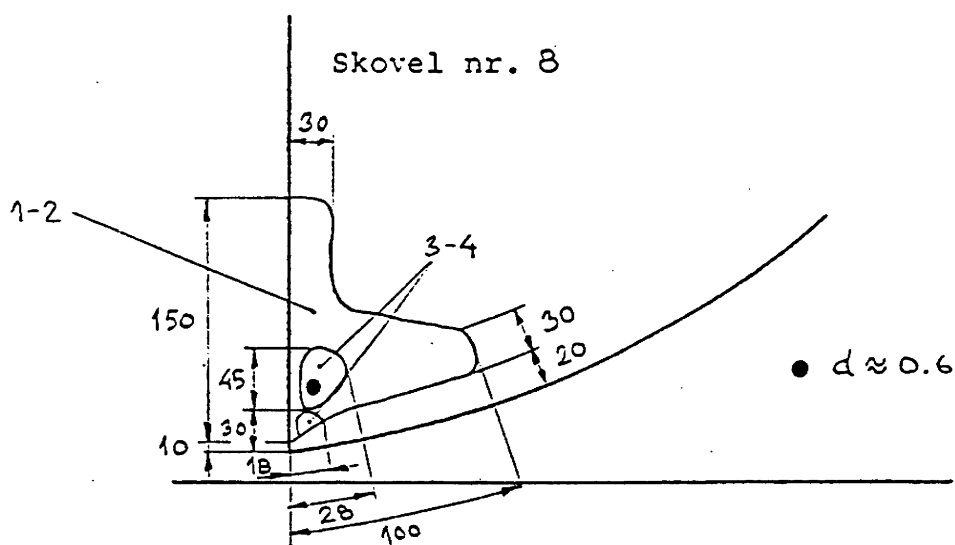
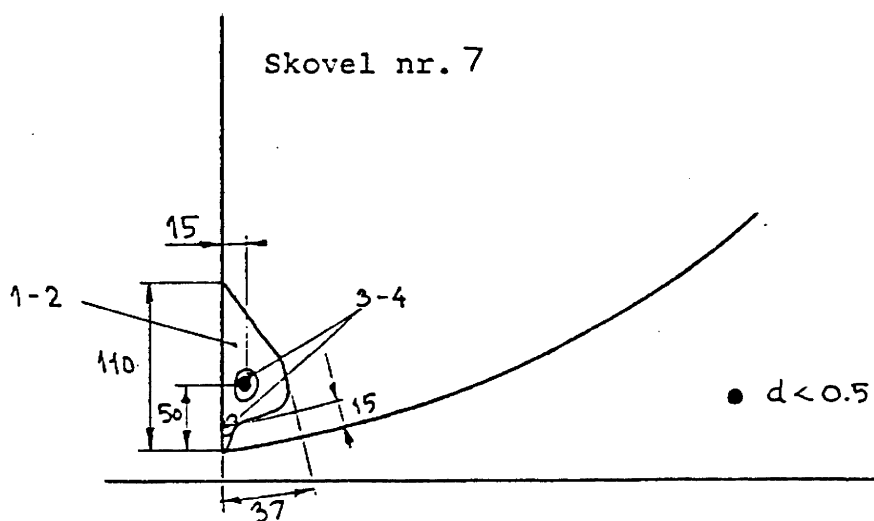
KAVITATIONSSKADOR VID
SKOVELNS AVLOPPSKANT

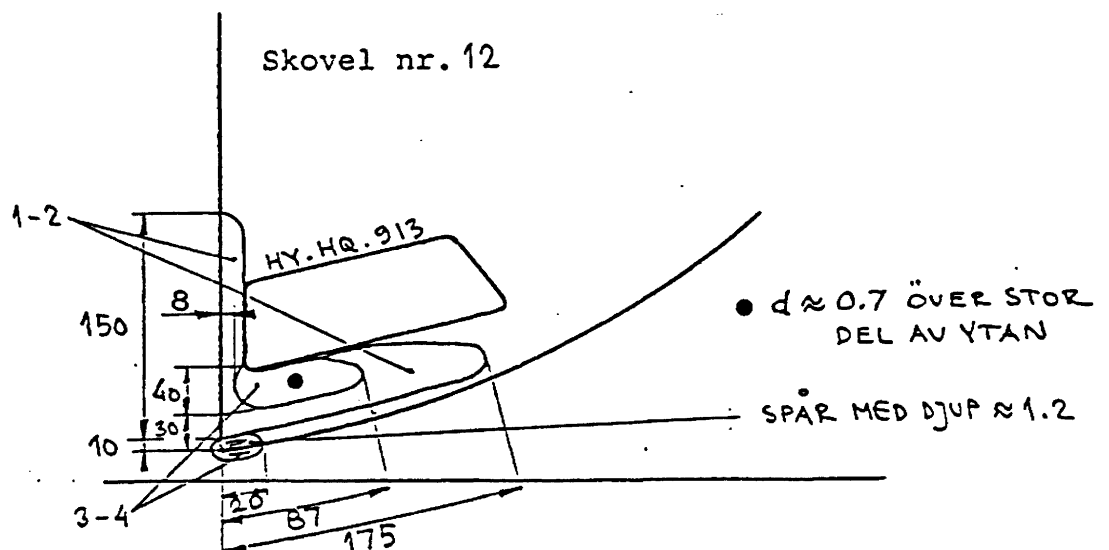
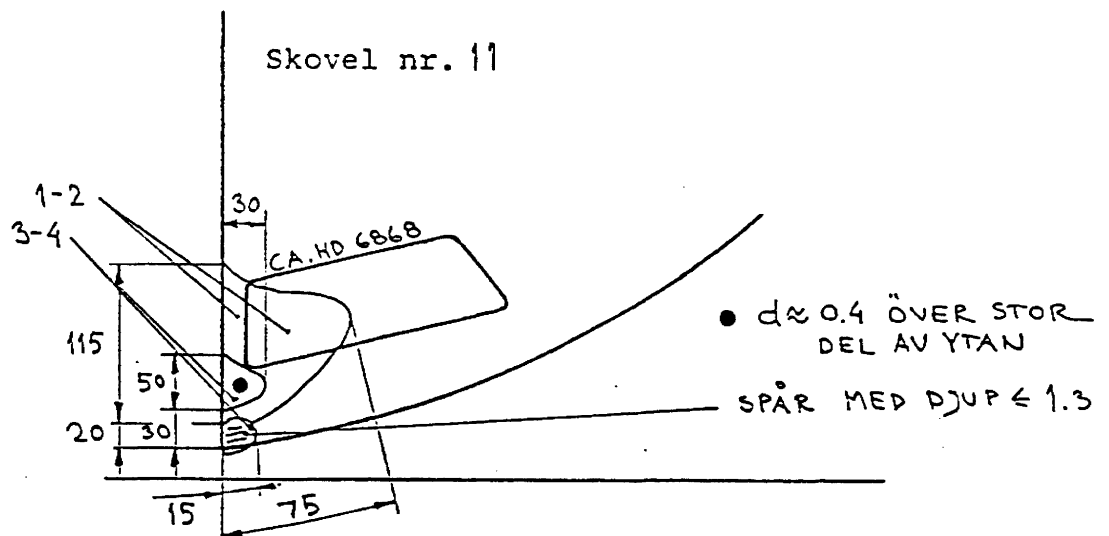
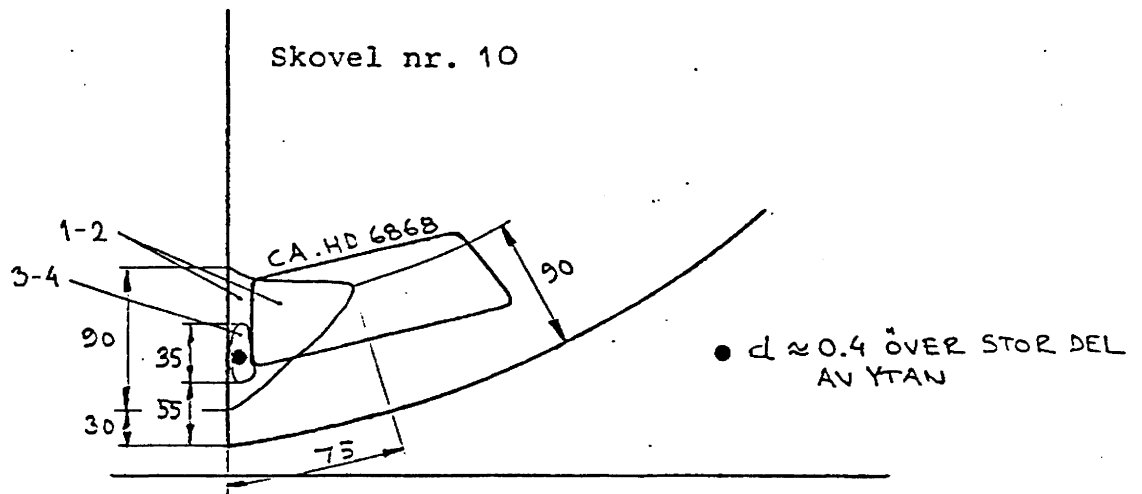
Anläggning : GEJMÅN

Löphjul : F210/16-20-1650 B

Inspektionsdatum : 1992-06-22





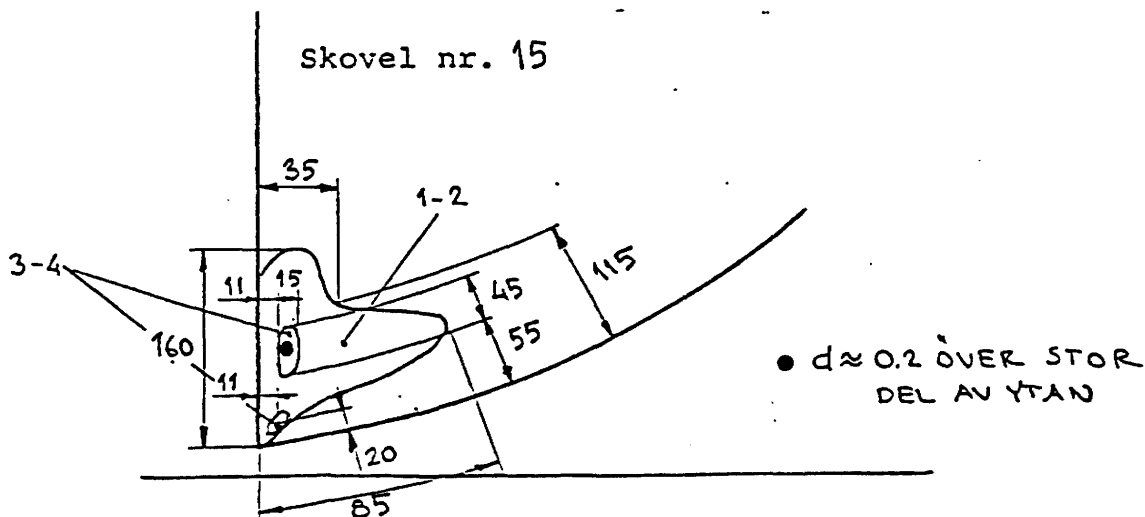
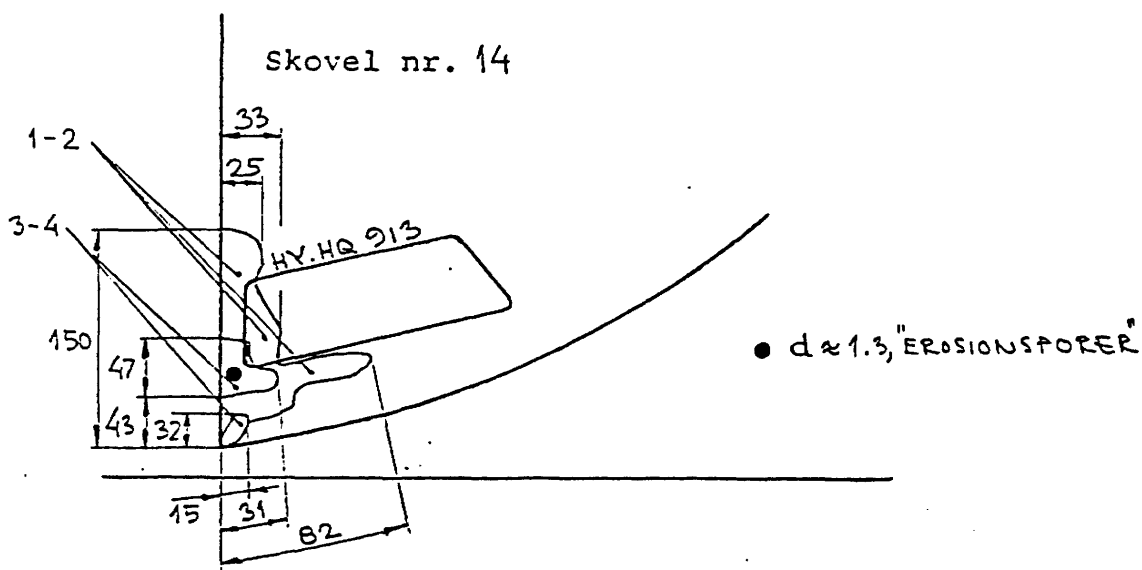
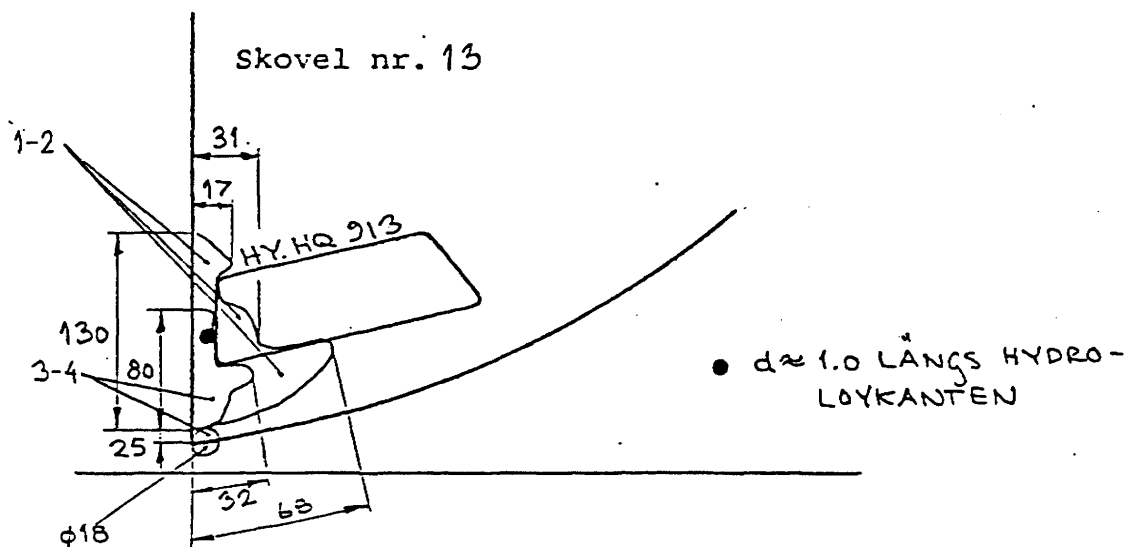


KAVITATIONSSKADOR VID
SKOVELNS AVLOPPSKANT

Anläggning : GEJMÅN

Löphjul : F210/16-20-1650 B

Inspektionsdatum : 1992-06-22



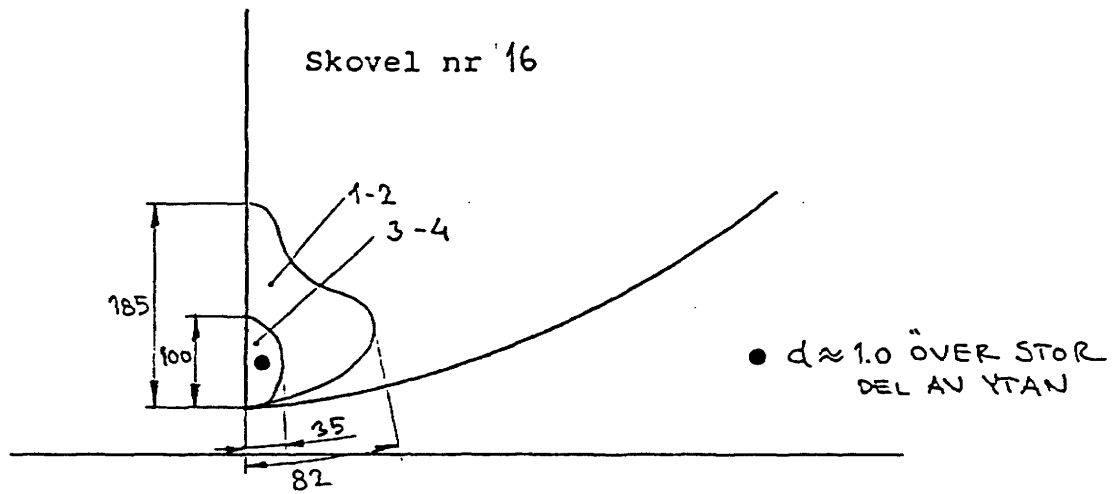
KAVITATIONSSKADOR VID

Anläggning : GEMÅN

SKOVELNS AVLOPPSKANT

Löphjul : F210/16-20-1650

Inspektionsdatum : 1992-06-22

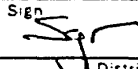


Kvaerner Turbin AB

R-1303-TH

Bilagga 1.3

1 (5)

On	Datum	Avd	Referensnr för ark.v
Kristinehamn	1993-05-19	THU	5403-7700
Utfärdare	Tel	Sign	Ordernr - Beteckn
Rune Sjöberg/Age	4811		5601-058
Ärende	Distribution		

P G Fällström	Vattenfall, Stockholm
J-E Lindberg	Vattenfall, Stockholm
H Lindquist	
J Deborg	Vattenfall, Älvkarleby
K Wiberg	Vattenfall, Umeå
A Jonsson	Vattenfall, Västerås
A Johansson	Vattenfall, Näsåker
E Holmén	VBB, Stockholm
Å Grahn	Sydskraft
J Månsson	GVAB
S Leonsson	KTAB
K Eriksson	"
K-E Värilind	"
L Hyllén	"
M Sjöneby	"
R Sjöberg	"

GEJMÅNS KRAFTVERK

LÖPHJULSINSPEKTION 1993-04-20

Bakgrund

Den här rapporterade inspektionen är den sjätte i ordningen som utförts för att följa upp de material- och formförsök som pågått med löphjulet sedan november 1990. Beträffande de föregående besiktningsarna som utfördes 1991-01-11, 1991-03-21, 1991-06-04, 1992-01-28 och 1992-06-22 hänvisas till respektive rapporter.

Generatoreffekt, övre vattenyta och nedre vattenyta under perioden mellan den nu utförda besiktningen och den föregående visas i det bifogade diagrammet.

Perioden omfattar 7390 h. Turbinen har varit i drift 5945 h, vilket motsvarar 80% av den totala tiden.

Generatoreffekten har under perioden med mycket få undantag varierat mellan 52 och 63 MW.

Energiproduktionen har varit 334840 MWh, vilket innebär en medeleffekt av 56.3 MW.

Ort	Datum	Avd	Referensnr för arkiv
Kristinehamn	1993-05-19	THU	5403-7700
Utfärdare	Tel	Sign	Ordernr - Beteckn
Rune Sjöberg/Age	4811		5601-058

Arende

Distribution

Skadekaraktären har som tidigare angivits med siffror 1-4.

- 1 = matt yta
- 2 = frostad yta
- 3 = svag pitting
- 4 = pitting

Området för resp pålagt experimentmaterial är angivet på skadeskisserna. De olika svetsmaterialen betecknas med följande förkortningar:

- FE 255 - Ferralium 255
- ST 21 - Stellite 21
- CA.HD 6868 - Castolin HD 6868
- HY.HQ 913 - Hydroloy HQ 913

Samtliga avloppskanter fotograferades, se bildblad 1 och 2.

Beträffande testmaterialens motståndskraft mot kavitationserosion bekräftar skadornas utseende de slutsatser som dragits efter tidigare besiktningar. Stellite 21 och Hydroloy HQ 913 uppvisar det bästa resultatet. Stellite 21 kan eventuellt sägas vara något bättre än Hydroloy-materialet. Detta gäller såväl mätterade ytor som pittingområden. Skillnaden mellan de två materialen är dock liten.

Ferralium 255 uppvisar en påtaglig motståndskraft mot såväl mattering som pitting. På en av provskovlarna (Nr.3) är dock skadan så liten att slutsatser om materialets motståndskraft inte kan dras.

Castolin HD 6868 visar ingen större motståndskraft när det gäller mätterade ytor. De pittingytor som förekommer på de tre provskovlarna är små. De ligger praktiskt taget helt utanför provytorna och har en placering och form som inte medger någon bedömning av materialets motståndskraft mot pitting.

Effekten på kavitationsskadorna av den modifierade bandformen i fyra av hjulets skovelkanaler är inte tydlig. Skillnaden i skadornas storlek på de berörda skovlarna (Nr.7, 8, 15 och 16) och de övriga är inte så stor att man kan dra säkra slutsatser. Dessutom är antalet skovlar som berörs så litet (2 + 2 st.) att man knappast i statistisk mening kan isolera bandformens inverkan från inverkan av andra faktorer. Ett försök till jämförelse av skadornas storlek på olika kategorier skovlar har dock gjorts genom uppskattning av skadornas storlek med hjälp av skadeskisserna. Resultatet framgår av tabellen nedan som anger medelvärden för resp. skovelkategori.

Kvaerner Turbin AB		R-1303-TH		2			
Ort	Kristinehamn	Datum	1993-05-19	Avd	THU	Referensnr för arkiv	5403-7700
Utfärdare	Rune Sjöberg/Age	Tel	4811	Sign		Ordernr - Beleggnr	5601-058
Ärende		Distribution					

Tabellen nedan ger en sammanfattning av driftdata för de sex tidsperioder som gått sedan turbinen togs i drift efter löphjulsmodifiering och påläggning av testmaterial.

Period	Total tid h	Tid i drift		Medellast MW	Medelnivåer	
		h	%		ÖVY	NVY
1990-11-09- 1991-01-11	1505	1505	100	56.8	645.3	392.1
1991-01-10- 1991-03-21	1640	1630	99	59.4	645.4	390.6
1991-03-22- 1991-06-04	1760	790	45	54.8	644.2	390.2
1991-06-05- 1992-01-28	5740	3300	58	55.2	645.0	393.2
1992-01-27- 1992-06-21	3525	2490	71	56.9	644.5	391.7
1992-06-22- 1993-04-19	7390	5945	80	56.3	645.2	392.6

Skador

Avloppskanten

Liksom vid den föregående besiktningen konstaterades att skadetillväxten är anmärkningsvärt långsam. En jämförelse av skadornas storlek enligt skadeskisserna för besiktningen 1992-06-22 och den nu utförda visar att områdena med pittingangrepp ytmässigt har ökat med ca 35 %. Dessa områden hade vid den nu utförda besiktningen en storlek av ca 20 cm². I båda fallen avses ett medelvärde för samtliga skovlar.

Vid den föregående besiktningen mättes skadedjupet på ett avvikande sätt jämfört med tidigare. Det var därför inte möjligt att säkert bedömma hur mycket skadornas djup hade ökat. Se den föregående rapporten R-1267-TH. En jämförelse av de uppmätta maximala skadedjupen vid besiktningen 1992-01-28 och den nu utförda visar att skadornas maximala djup har ökat från 1.1 mm till 1.4 mm. Även här avses medelvärden för samtliga skovlar.

Liksom i tidigare rapporter markerades skadornas begränsning med tuschlinjer på skovelytan. Skadeområdet uppmättes och avritades. Se de bifogade skadeskisserna 1/6-6/6.

Ort Kristinehamn	Datum 1993-05-19	Åld THU	Referensnr för arkiv 5403-7700
Utfärdare Rune Sjöberg/Age	Tel 4811	Sign	Ordernr - Beteckn 5601-058

Ärende

Distribution

Skovelkategori	Hela skadeområdets yta %	Pittingområdets yta %	Största skadedjup mm
Skovlarna 1-6 och 9-14 (Urspr. bandform vid sugsidan)	100	100	1.4
Skovlarna 8 och 16 (Modif. bandform vid sugsidan)	130	155	1.5
Skovlarna 7 och 15 (Modif. bandform vid både sug- och trycksidan)	75	40	0.8

Rimligen borde bandets form vid skovelns trycksida ha ganska liten inverkan på strömningen längs dess sugside där kavitation förekommer. Bandets form vid skovelns sugside borde därför vara i stort sett helt avgörande när det gäller inverkan på kavitationen.

Som framgår av tabellen har skovlarna 8 och 16 som har modifierad bandform endast vid sugside större skador vad såväl yta som djup beträffar än de skovlar som har ursprunglig bandform vid sugside. Skovlarna 7 och 15 med modifierad bandform vid såväl sug- som trycksidan har däremot mindre skador i alla avseenden än referensskovlarna.

Om man ser på medelvärden för samtliga skovlar med modifierad bandform vid sugside, dvs. Nr. 7, 8, 15, och 16, finner man att dessa medelvärden vad ytor beträffar ligger nära medelvärdena för referensskovlarna.

Sammantaget kan man nu liksom tidigare konstatera att det med utgångspunkt från det material som står till buds inte är möjligt att dra säkra slutsatser om bandformens inverkan på kavitationsbilden.

Inloppskanten

Eftersom det av tids- och andra skäl inte var möjligt att inspektera hjulet från inloppssidan undersöktes inloppskanterna från hjulets undersida. På grund av den begränsade åtkomligheten undersöktes skadorna som vid tidigare tillfällen genom att man med hjälp av handen bedömde deras storlek och läge.

En sammanfattning av vad som konstaterades ges i tabellblad 1. Tabellen visar även vilka formvarianter som gäller för resp. skovel. De i tabellen angivna måtten samt de olika formvarianterna (I - IV) förklaras i figurblad 1.

Ort Kristinehamn	Datum 1993-05-19	Avd THU	Referensnr för arkiv 5403-7700
Utfärdare Rune Sjöberg/Age	Telef 4811	Sign	Ordernr - Beteckn 5601-058

Ärende

Distribution

En jämförelse med motsvarande tabell i den föregående rapporten visar att många mått gällande skadornas längd bredd och djup är mindre nu än vid den föregående besiktningen. Orsaken till detta är den subjektiva "känna med fingrarna"-metoden. Resultatet pekar dock på att den verkliga tillväxten av skadorna under driftperioden mellan de senaste besiktingarna har varit liten.

Beträffande sambandet mellan formvarianter och skadornas storlekar har inget nytt tillkommit som ändrar tidigare bedömningar. Se sid. 5 - 6 i den föregående rapporten, R-1267-TH.

Åtgärder

Inga reparationer utfördes i anslutning till besiktningen. Eftersom skadorna inte krävde någon omedelbar åtgärd kommer de att repareras i samband med en ombyggnad av kraftstationen under den kommande sommaren.

SAMMANSTÄLLNING AV SVETSELEKTROD, DIAMETER, SVETSBARHET, SLIPBARHET OCH UNGEFÄRLIGT PRIS VID FÄLTPROVEN.

FORSMO

Elektrod	Diameter [mm]	Svetsbarhet	Slipbarhet	Cirka pris år 1993 [kr/kg]
Stellite 21	3,2	God svetsbarhet i förekommande lägen	Något mer svårslipad än Avesta P11	500
Castolin 9080	3,2	Någorlunda god svetsbarhet i förekommande lägen	Något mer svårslipad än P11	2200
Castolin HD 6868	2,5	God svetsbarhet	Lika lättslipad som P11	600
Hydroloy HQ 913	4,0	Dålig svetsbarhet i alla lägen. Svårt att tända och hålla riktningen på smältan. Man fick svetsa och slipa i flera omgångar. Påtaglig tendens till porbildning	Något mer svårslipad än P11	580
ESAB OK 84.42	4,0	God svetsbarhet i förekommande svetslägen. Elektroden sprutar vid svetsningen	Hårdslipad jämfört med övriga	300
ESAB OK 63.35(ref.)	2,5	God	Lätt att slipa	230
Avesta P11	2,5	Mest lättsvetsad	Lätt att slipa	

SAMMANSTÄLLNING AV SVETSELEKTROD, DIAMETER, SVETSBARHET, SLIPBARHET OCH UNGEFÄRLIGT PRIS VID FÄLTPROVEN.

EDENSFORSEN

Elektrod	Diameter [mm]	Svetsbarhet	Slipbarhet	Cirka pris år 1992 [kr/kg]
Castolin HD 6868	2,5	Lättsvetsad i alla lägen	Lätt att slipa	600
Stellite 21	3,2	Lättsvetsad alla lägen	Lätt att slipa	560
Hydroloy HQ 913	3,2	Var ej möjlig att svetsa i under- upp-läge		590
Castolin 9080	3,2	Svårsvetsad men flyter ut mycket bra. Kan inte böjas	Lätt att slipa	2300
Sandvik SAF 2507	2,5	Lättsvetsad, flyter ut bra	Svår att slipa	450
ESAB OK 63.35(ref.)		God	Lätt att slipa	230

Ort	Datum	Avd	Referensnr för arkiv
Kristinehamn	1993-05-05	THU	2642
Utfärdare	Tel	Sign	Ordernr - Beteckn
Rune Sjöberg/Age	4811		3302
Ärende	Distribution		

P G Fällström	Vattenfall, Stockholm
J-E Lindberg	Vattenfall, Stockholm
J Deborg	Vattenfall, Älvkarleby
A Jonsson	Vattenfall, Västerås
A Johansson	Vattenfall, Näsåker
E Holmén	VBB-VIAK, Stockholm
J Månsson	GVAB
Å Grahn	Sydkraft
S Leonsson	KTAB
K Eriksson	"
K-E Värilind	"
L Hyllén	"
M Sjönnaby	"
R Sjöberg	"

EDENSFORSENS KRAFTVERK. Aggr 2

LÖPHJULSINSPEKTION 1993-04-06

Deltagare: Jan Månsson, Graningeverkens AB
Jan-Erik Lindberg, Vattenfall, Stockholm
Rune Sjöberg, Kvaerner Turbin

Bakgrund

Vid inspektionen hade turbinen varit i drift ett år sedan föregående inspektionstillfälle (1992-04-07). Se tidigare rapport R-1256-TH daterad 1992-05-08.

Turbinen är utvald för ett fältförsök med ett antal olika svetsmaterial för att undersöka dessas motståndskraft mot kavitationserosion. I samband med inspektionen för ett år sedan svetsades en provyta av de aktuella materialen på var och en av de fem skovlarna.

På skovelns undersida nära periferin och i anslutning till skovelns vridningsaxel uppkommer på relativt kort tid en lokal men kraftig kavitationsskada. Eftersom denna skada tillväxer tämligen snabbt och till sin karaktär och storlek är mycket lika på de olika skovlarna valdes den som plats för provytorna.

Beträffande provytornas storlek och placering hänvisas till den föregående rapporten R-1256-TH. Se även dokumentationsbladen 1/5 - 5/5 i denna rapport.

Avsikten med den nu utförda besiktningen var att se och dokumentera de under det gångna året uppkomna skadorna på provytorna och på det angränsande referensmaterialet.

Ort	Kristinehamn	Datum	1993-05-05	Avd	THU	Referensnr för arkiv	2642
Utfärdare	Rune Sjöberg/Age	Titel	4811	Sign		Ordernr - Beteckn	3302
Ärende		Distribution					

Driftförhållanden

Driftförhållandena för vart och ett av kraftverkets två aggregat är inte tillgängliga eftersom endast kraftverkets totala produktion registreras. Stationseffekten (maximalt 66 MW) bedöms i medeltal ha varit ca. 2 MW lägre under det gångna året än under det föregående. Kraftverket är principiellt i drift hela året. Uppgifter om körfördelningen mellan aggregaten är ej tillgängliga. Variationen i nedervattenytans nivå uppges vara liten.

Skador

Enligt överenskommelse berörde besiktningen enbart den skada vid skovelns periferi som har använts för det utförda materialprovet. Övriga skador vid skovlarnas in- och avloppskanter samt på navkalotterna dokumenterades vid den föregående besiktningen, varefter de reparerades. Jämfört med den nu besiktigade skadan tillväxer de övriga betydligt långsammare.

Skadorna markerades med tuschlinjer på skovelytan, varefter de uppmättes och avritades på dokumentationsbladen 1/5 - 5/5. Skadans yttre begränsning är angiven med en heldragen linje. Innanför denna finns ytterligare en heldragen linje som anger gränsen för skadans pitting-område. Mellan de två gränslinjerna har skadan karaktären skuggad, matt till frostad yta.

Gränslinjen mellan provytan och referensmaterialet ligger 45 mm från skovelns periferi och är markerad med en streckad linje på dokumentationsbladen. Den är placerad så att den delar skadeområdet i två lika delar. Jfr. den föregående rapporten R-1256-TH sid. 3. Referensmaterialet (OK 63.35) ligger utanför gränslinjen (mot skovelns periferi) och testmaterialet innanför linjen.

Det uppmätta maximala skadedjupet samt det ungefärliga läget för detta är angivet på dokumentationsbladen. Ofylld cirkel gäller för provmaterialet och fylld cirkel för referensmaterialet.

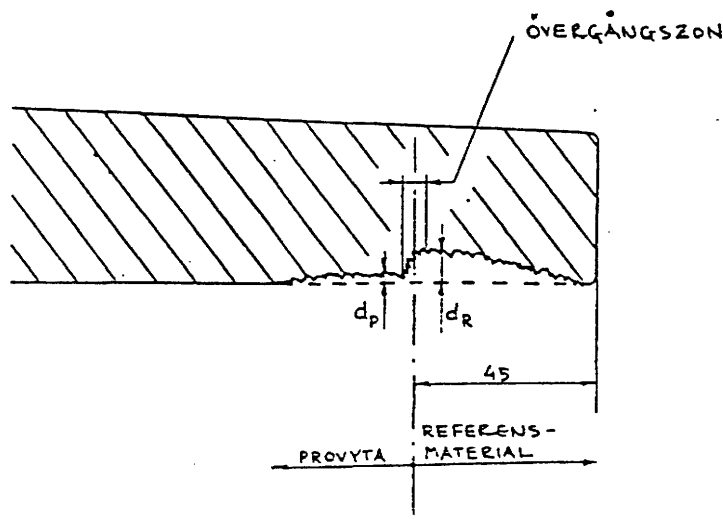
Skadorna fotograferades. Se bildblad 1 - 2. På bilderna av skadorna på skovlarna 1 och 2 syns en blå streckad linje. Denna anger provytans begränsning mot det orörda skovelmaterialet. Linjerna kunde dras eftersom materialgränsen var synlig om skadan belystes från en lämplig riktning. På skovel 4 syns materialgränsen tydligt. Ingen motsvarande linjemarkering gjordes på denna skovel.

Det maximala skadedjupet i referensmaterialet var i genomsnitt ca. 1 mm större än vid den föregående besiktningen. Skadorna karakteriserades av ett mindre erosionsdjup i provytan (d_p) och ett större djup i referensmaterialet (d_R). På fyra av de fem skovlarna fanns däremellan en markerad sluttande övergångszon. Se figuren på följande sida, som visar ett radiellt snitt genom skovelkanten.

Orn Kristinehamn	Datum 1993-05-05	Avd THU	Referensnr för arkiv 2642
Utförare Rune Sjöberg/Age	Tei 4811	S.gn	Ordernr - Beteckn 3302

Arende

Distribution



Det är inte helt självklart på vilket sätt man skall värdera de provade materialens motståndskraft mot erosion med utgångspunkt från de observerade skadorna. En möjlig metod är att bilda kvoten mellan de maximala skadedjupen i provytan och i referensmaterialet och låta denna kvot rangordna materialen. En stor motståndskraft mot erosion motsvarar ett lågt värde på den beräknade kvoten.

Tabellen nedan sammanfattar de uppmätta erosionsdjupen (d_p och d_R) och storleken av den beräknade kvoten för de provade materialen. Dessa är rangordnade med det bästa materialet överst i tabellen.

Skovel nr.	Provmaterial	d_p mm	d_R mm	d_p/d_R
4	Castolin 9080	1	4	0.25
5	Sandvik SAF 2507	3	10	0.30
1	Castolin HD 6868	2	6	0.33
3	Castolin HD 6868	2	5	0.40
2	Stellite 21	4	8	0.50

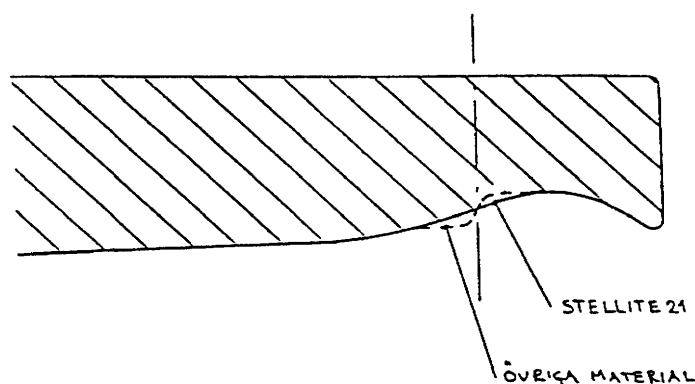
Enligt den ursprungliga planeringen skulle provmaterialet Hydroloy HQ 913 användas på skovel 3. Detta material måste dock uteslutas på grund av svårigheter med svetsning i underupplägg. Hydroloy-materialet ersattes med Castolin HD 6868 som därför har använts på två skovlar.

Ort Kristinehamn	Datum 1993-05-05	Ald THU	Referensnr för arkiv 2642
Utförare Rune Sjöberg/Age	Tel 4811	Sign	Ordernr - Beteckn 3302

Ärende

Distribution

Den största överraskningen i provresultatet är att Stellite 21 hamnar längst ner på listan. Detta material har i andra fältförsök visat mycket goda egenskaper vad beträffar motståndskraft mot kavitationserosion. Den skada vid vilken Stellite 21 använts som provmaterial hade ett annat utseende än de övriga. Någon markerad kant i övergångsområdet mellan prov- och referensmaterial fanns inte. Skillnaden framgår av figuren nedan, som visar samma snitt genom skovelkanten som den föregående figuren. Profilen genom skadan är förenklad och visar endast dess huvudsakliga form.



Anledningen till det dåliga resultatet med Stellite 21 är svår att fastställa. En möjlig förklaring är att Stellite-skiktet av någon anledning varit tunnare än de övriga materialskikten och därför på ett tidigt stadium genombrutits av erosionen. Erosionsdjupet i de övriga skadorna (provmaterialen) överstiger inte 3 mm. Den avsedda skiktjockleken var 4 mm. Om den avsedda tjockleken erhållits vid svetsningen är således skiktet av provmaterial inte genombrutet i någon av dessa skador. Erosionsdjupet i provytan med Stellite 21 är 4 mm.

Det pågående materialprovet i Forsmo kraftverk, aggr.4 skulle kunna bidra till att klarhet skapas ang. Stellite-materialet. Eftersom försöksbetingelserna vid de två proven är mycket lika (samma typ och storlek av skada, samma läge av skadan på skoveln, samma princip för placering av provytan) borde resultaten av de två proven kunna verifiera varandra.

Som framgår av tabellen är Castolin 9080 det bästa materialet enligt detta prov och med denna utvärderingsmetod. Därefter följer Sandvik SAF 2507, Castolin HD 6868 och Stellite 21. När man värderar resultatet måste man betänka att osäkerheter finns i flera avseenden. Exempel på sådana är:

- Varierande skiktjocklek för de olika provmaterialen.
- Varierande längd-bredd- djupförhållanden för de olika skadorna.

Kvaerner Turbin AB

Dokumentation
R-1301-TH

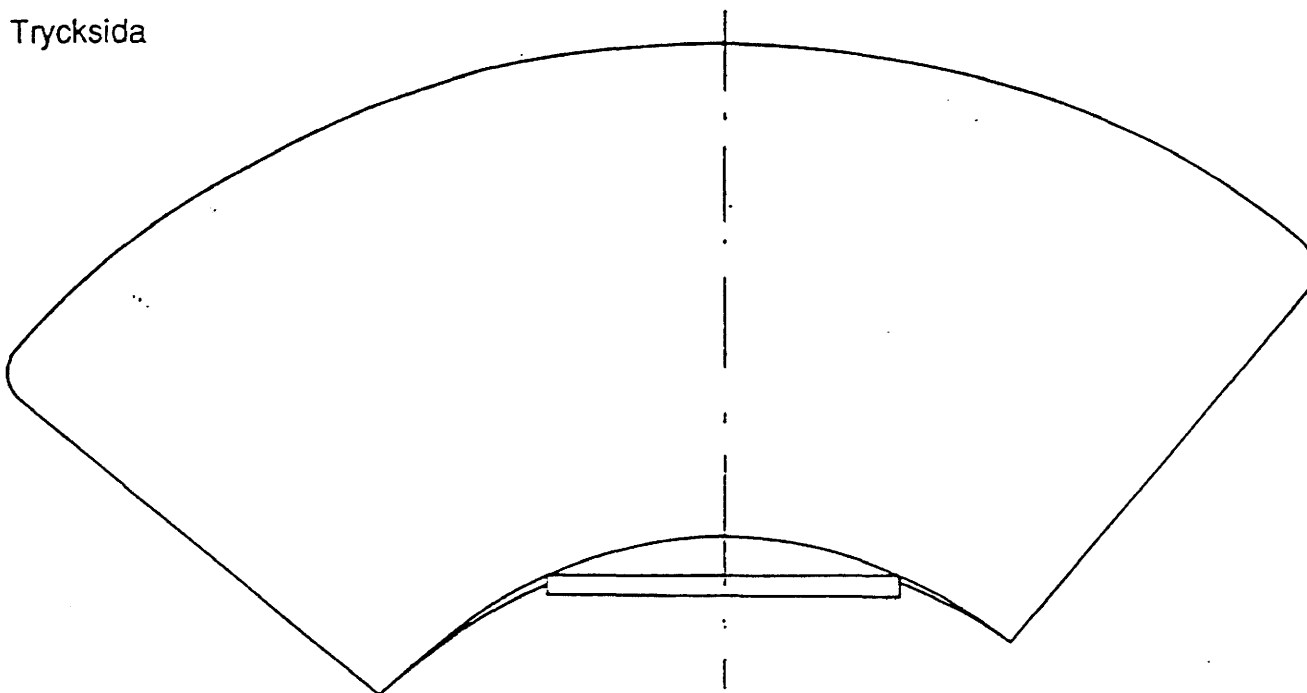
5

Ort Kristinehamn	Datum 1993-05-05	Åld THU	Referens för arkiv 2642
Utfärdare Rune Sjöberg/Age	Titel 4811	Sign	Ordernr. i Eteckn 3302
Ärende		Distribution	

- Varierande intensitet och karaktär hos kavitationen vid de olika skadorna.
- Varierande uppblandning med underliggande material i samband med svetsningen.
- Svårigheten att noggrannt och på ett konsekvent sätt mäta skadedjupet.

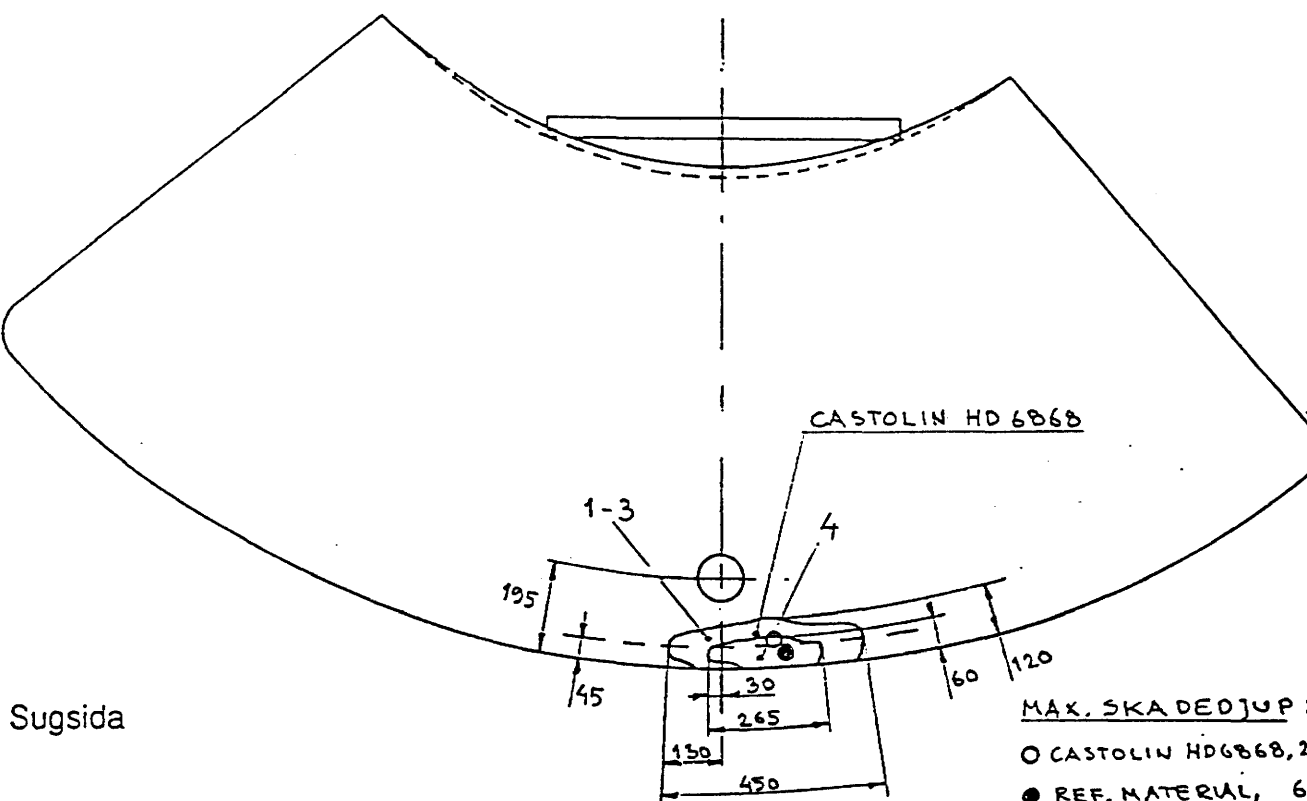
Löphjul: 50 KLV 117. D=4530. FINSHYTTAN
Skovel nr.: 1
Inspektionsdatum: 1993-04-06

Trycksida



Avloppskant

Inloppskant



Sugsida

SKADEKARAKTÄRER:

1. Skuggad yta

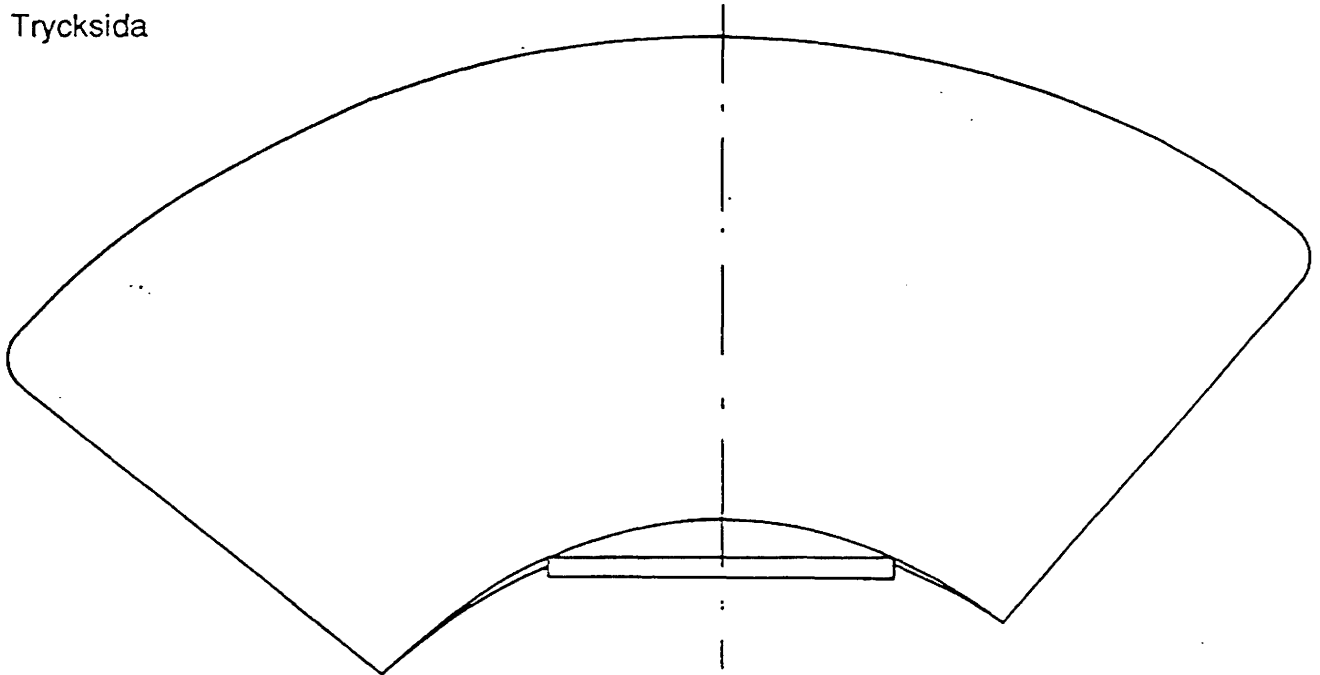
2. Matt yta

3. Frostad yta

4. Pitting

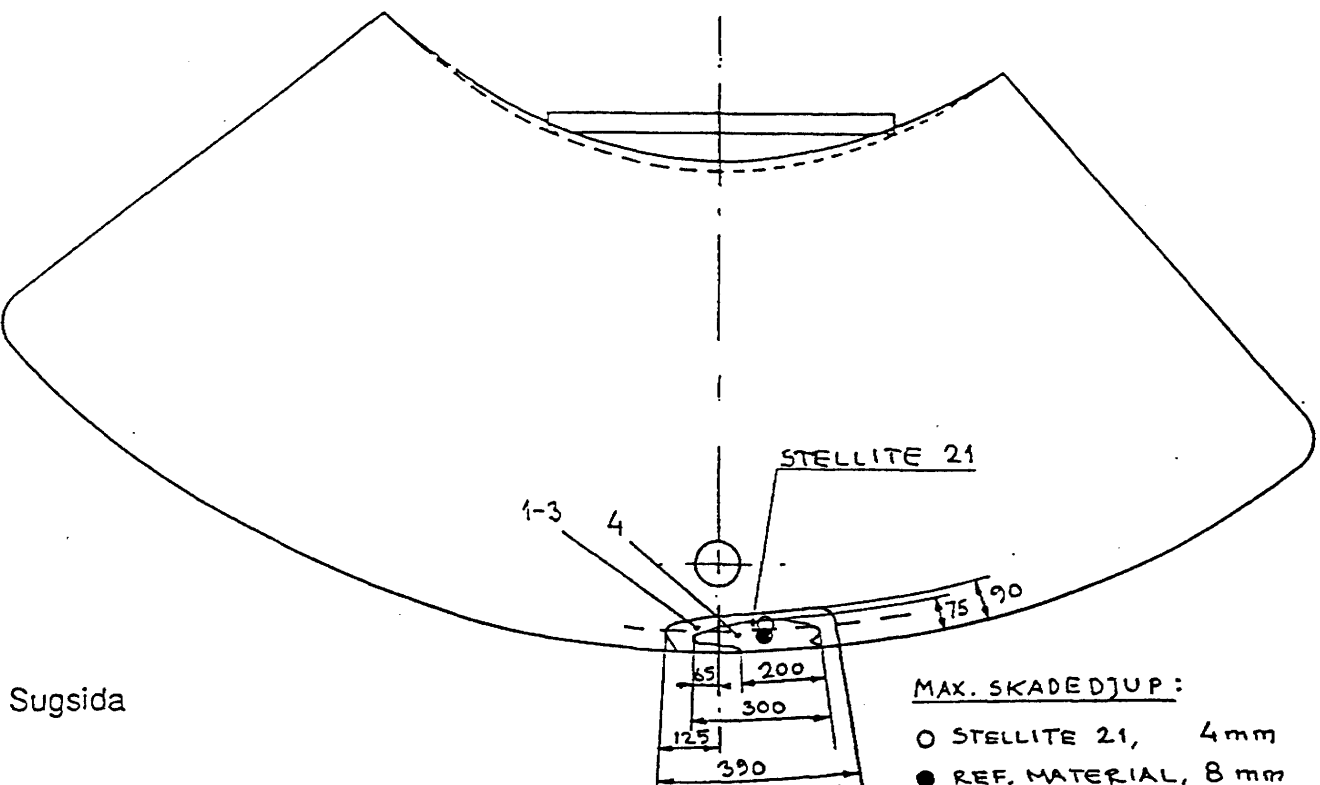
Löphjul: 50 KLV 117. D=4530. FINSHYTAN
Skovel nr.: 2
Inspektionsdatum: 1993-04-06

Trycksida



Avloppskant

Inloppskant



Sugsida

SKADEKARAKTÄRER:

1. Skuggad yta

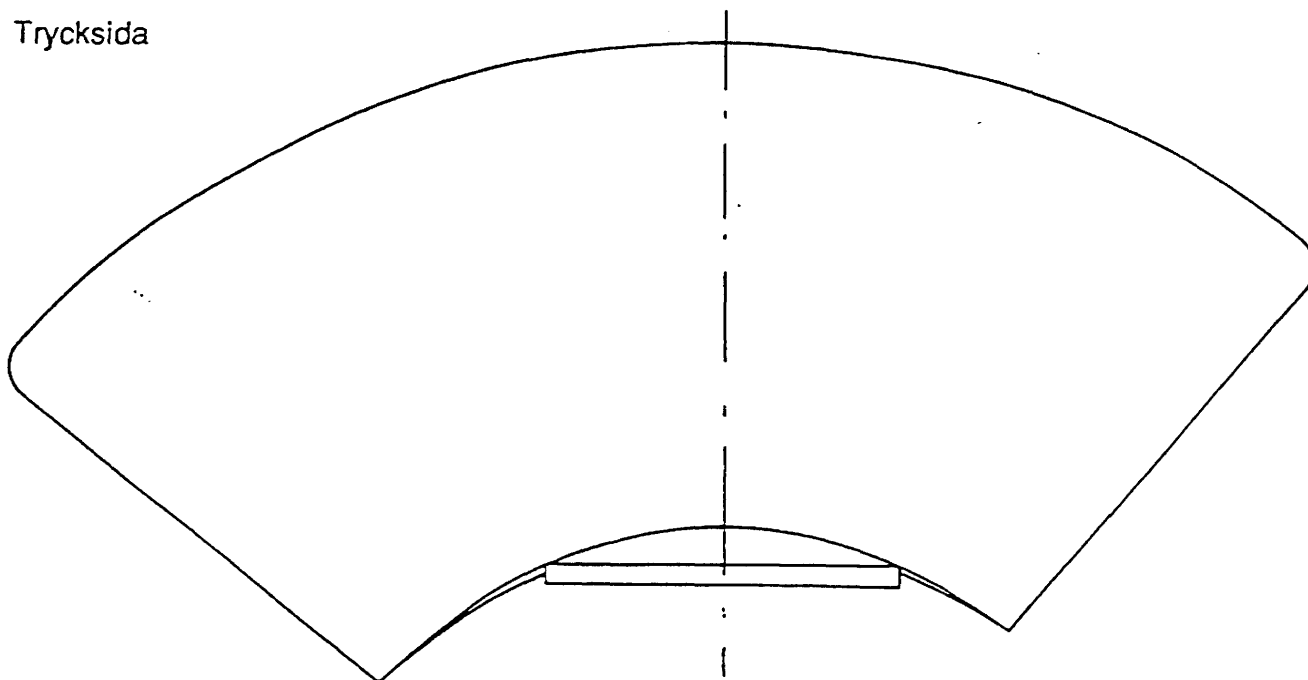
2. Matt yta

3. Frostad yta

4. Pitting

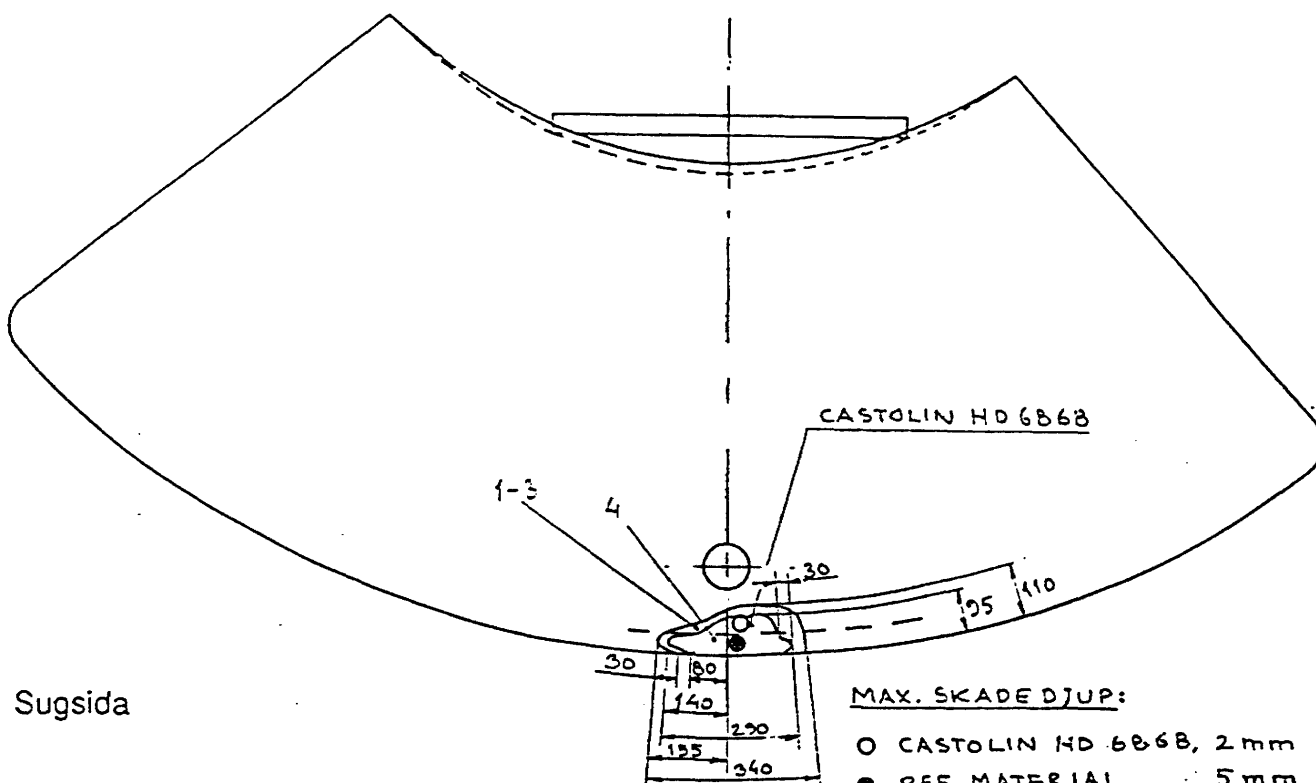
Löphjul: 50 KLV 117. D=4530. FINSHYTAN
Skovel nr.: 3
Inspektionsdatum: 1993-04-06

Trycksida



Avloppskant

Inloppskant



SKADEKARAKTÄRER:

1. Skuggad yta

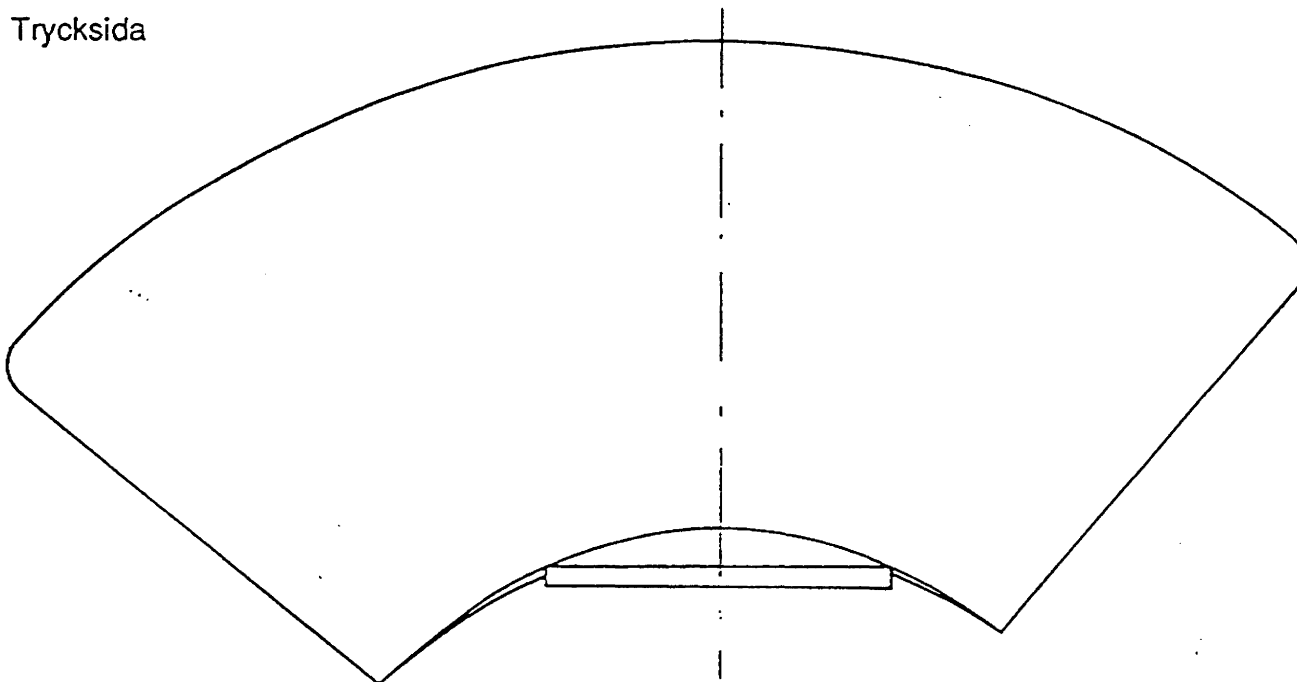
2. Matt yta

3. Frostad yta

4. Pitting

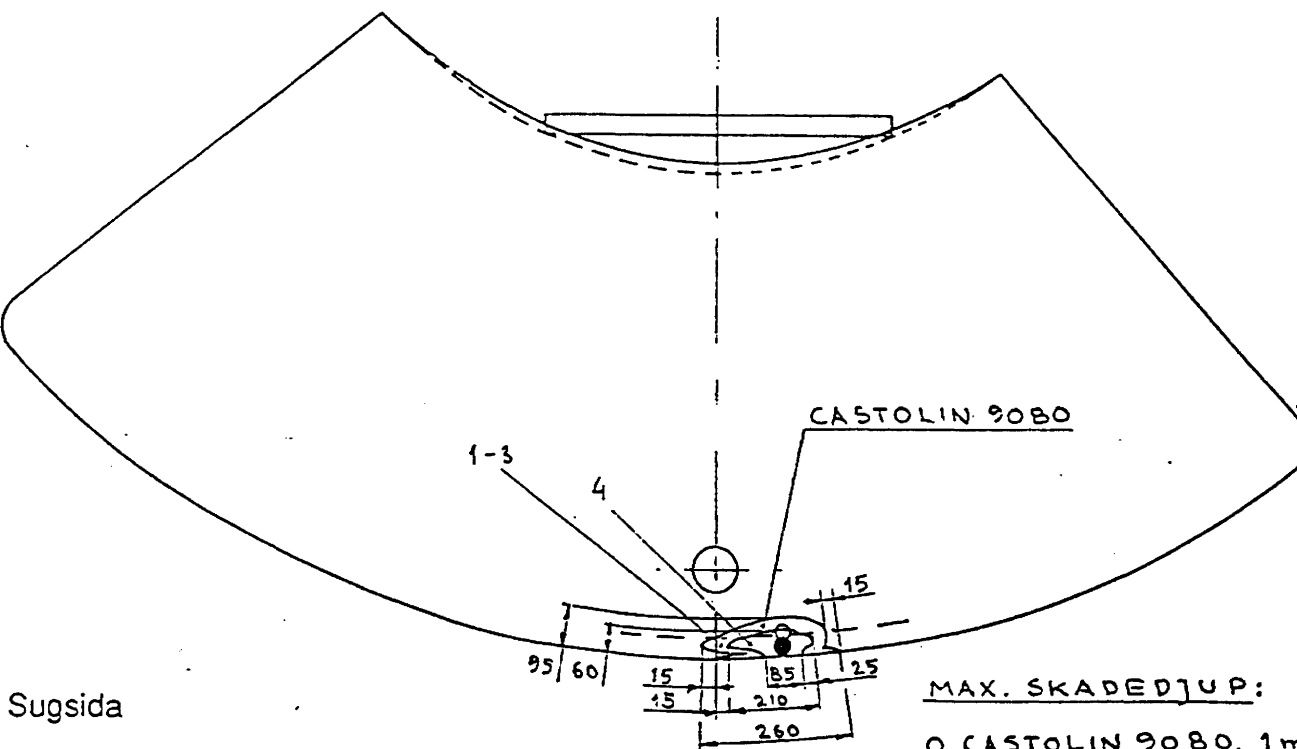
Löphjul: 50 KLV 117. D=4530. FINSHYTTAN
Skovel nr.: 4
Inspektionsdatum: 1993-04-06

Trycksida



Avloppskant

Inloppskant



Sugsida

MAX. SKADEDJUP:

O CASTOLIN 9080, 1 mm

● REF. MATERIAL, 4 mm

SKADEKARAKTÄRER:

1. Skuggad yta

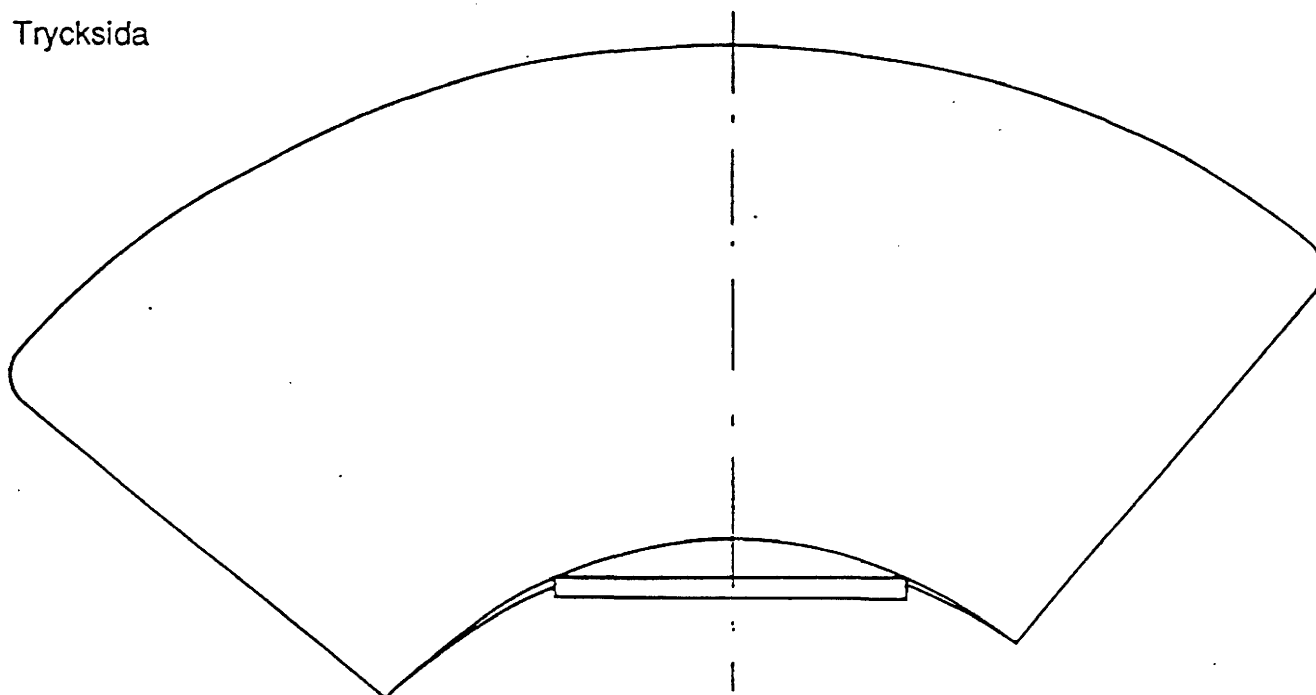
2. Matt yta

3. Frostad yta

4. Pitting

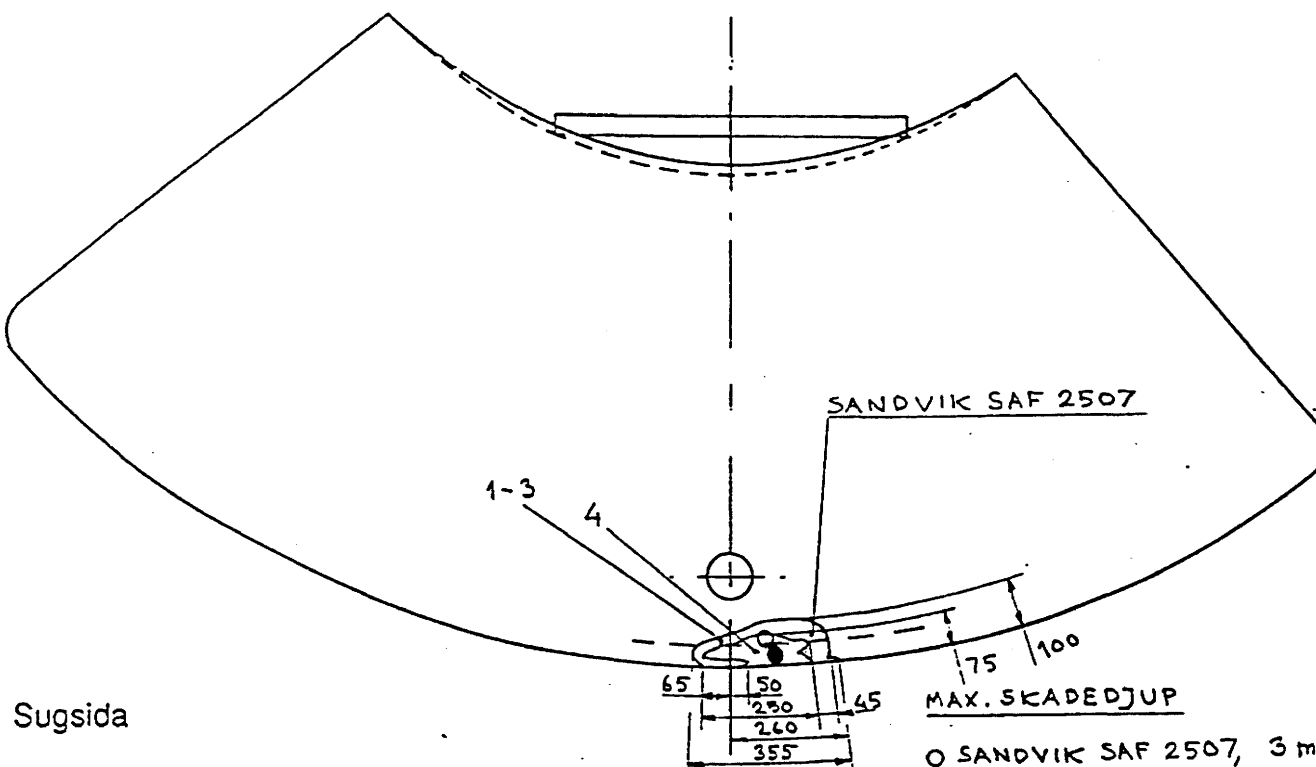
Löphjul: 50 KLV 117, D = 4530. FINSHYTAN
Skovel nr.: 5
Inspektionsdatum: 1993-04-06

Trycksida



Avloppskant

Inloppskant



Sugsida

SKADEKARAKTÄRER:

1. Skuggad yta

2. Matt yta

3. Frostad yta

4. Pitting

ELFORSK

SVENSKA ELFÖRETAGENS FÖRSÄMNING OCH UTREKLINING - ELFORSK - AB

Elforsk AB, Box 1704, 111 87 Stockholm. Besöksadress: Birger Jarlsgatan 41 A

Telefon: 08-790 04 50. Telefax: 08-723 06 65