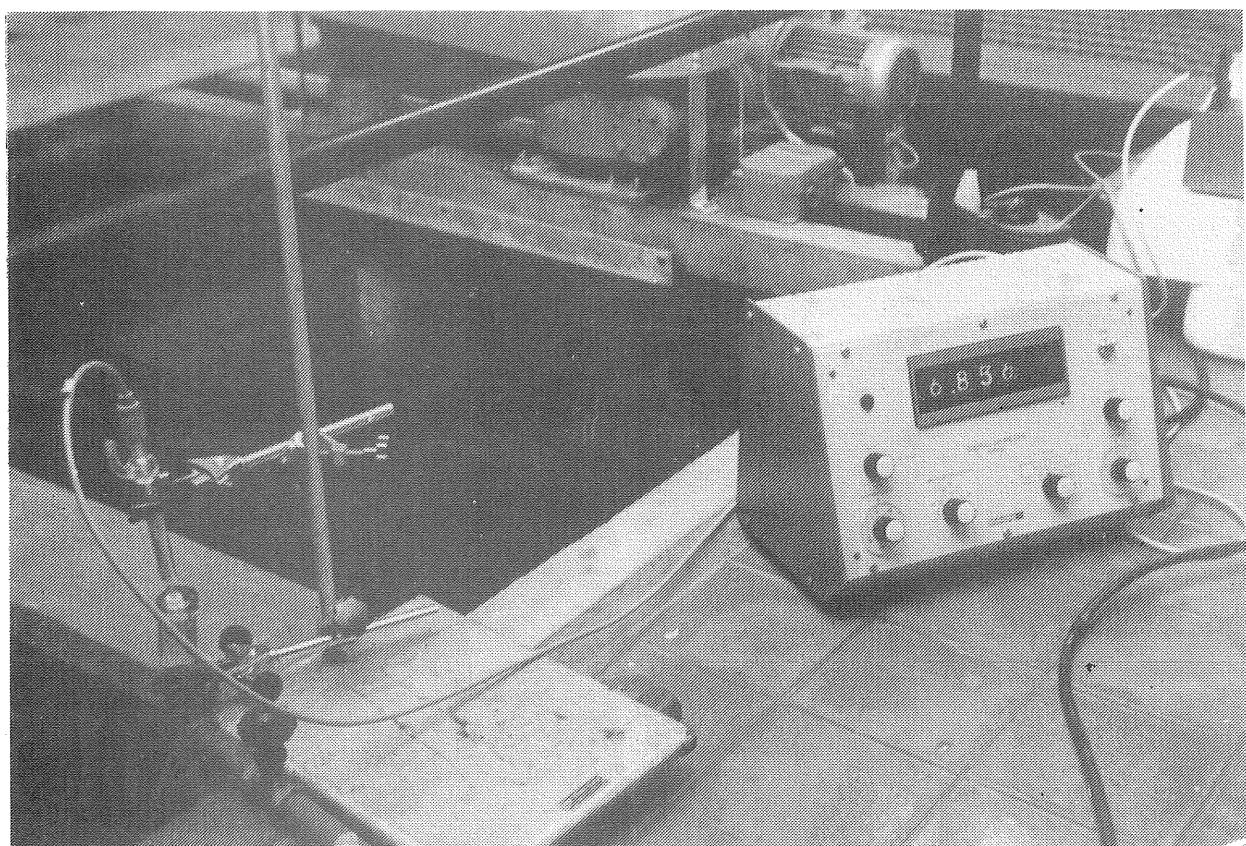




Institutionen för VA - teknik



DRIFTSTUDIER AV VATTENVERK MED KEMISK FÄLLNING
Claes Hernebring



Institutionen för VA-teknik

ISSN 0009-1111

Nyckelord: renvatten, vattenverk, flockning, sedimentering, filtrering,
drift, fällningsförsök, sjunkanalyser

DRIFTSTUDIER AV VATTENVERK MED KEMISK FÄLLNING

Claes Hernebring

FÖRORD OCH LÄSANVISNINGAR

Föreliggande rapport utgör en redovisning från driftstudier på vattenverk med kemisk fällning utförda under våren 1979. Projektet har erhållit ekonomiskt stöd från VAV.

En enkät utskickades under dec 1978 till samtliga kommuner som har vattenverk med sådan utformning och storlek att de föll inom undersökningens intresseområde. På grundval av de översiktliga informationer som enkätsvaren gav, valdes 19 verk ut för närmare studier.

Detaljerade resultat av dessa driftstudier från varje enskilt verk redovisas här med samma systematik. Detta underlättar jämförelser, men medför dock ibland störande upprepningar med vilka läsaren ombedes ha överseende. Verksgenomgångarna har varit utsända på remiss till resp verk för rättelser av sakfel. Författaren är dock ansvarig för eventuella kvarstående felaktigheter.

I rapporten finns först (röda sidor) en sammanställning av resultat från samtliga undersökta verk med allmänna kommentarer och slutsatser. Därefter (vita sidor) finns en detaljerad redovisning för varje enskilt verk. Sist finns en redovisning (gröna sidor) av metoder och analyser samt anvisningar för tolkning av resultat.

Utan en tålmodig arbetsinsats från personalen på VA-tekniks laboratorium på CTH hade detta projekt inte kunnat genomföras i meningsfull omfattning. Jag vill speciellt tacka Gabriella Kaffehr, Mona Svenson och Margareta Wettegård. Annica Perlöv har utfört ett oförtröttligt arbete vid skrivmaskinen.

Göteborg mars 1980

Claes Hernebring

SAMMANSTÄLLNING, ALLMÄNNA SLUTSATSER

Allmänt

Urvalet av de verk som skulle bli föremål för en närmare undersökning baserade sig på en tidigare utsänd enkät. Enkäten var utsänd till de kommuner (exkl Stockholm och Göteborg) som tillämpar kemisk fällning av ytvatten. Här medtogs en vattenverk med konstgjord infiltration, småverk ($<1 \text{ Mm}^3/\text{år}$) samt verk med annan separationsmetod än sedimentering.

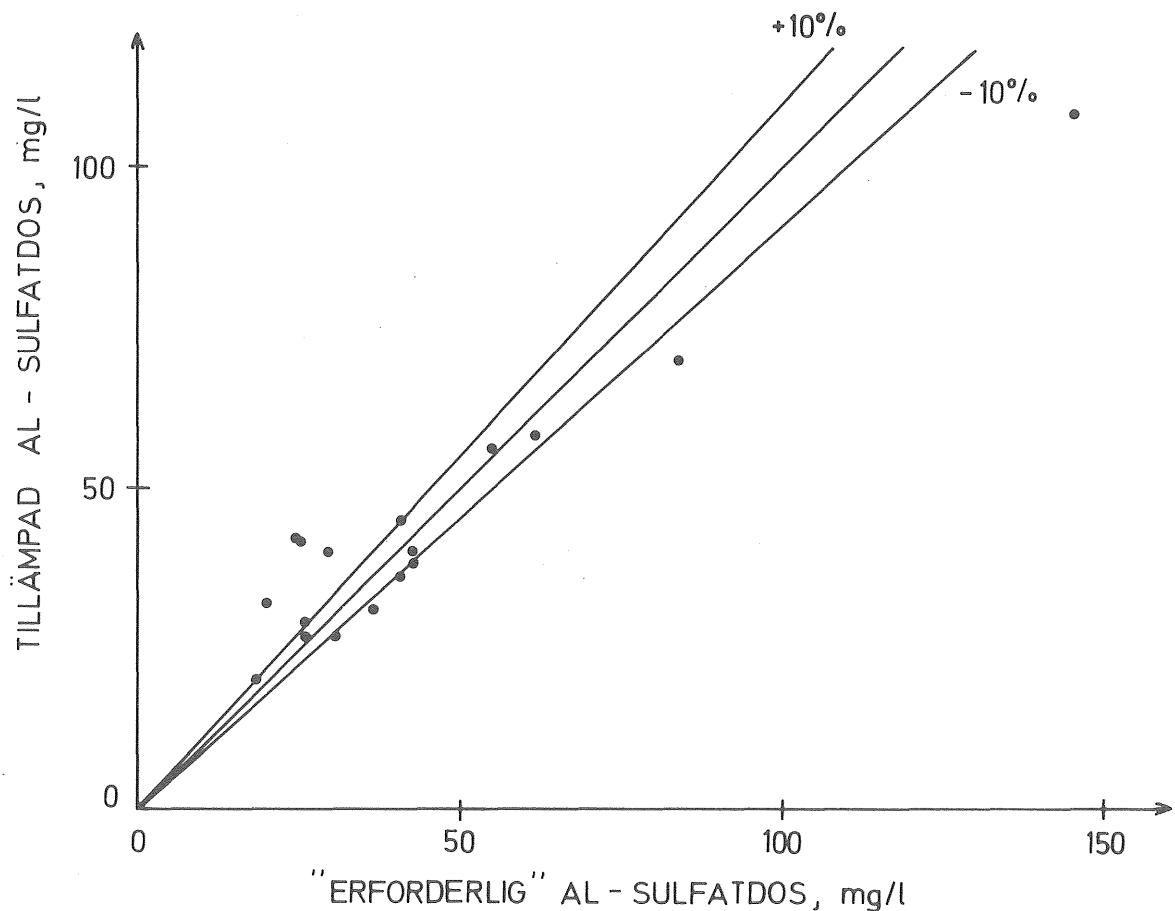
Hur stor andel av Sveriges vattenproduktion som berörs framgår av tabell:

I Sverige produceras totalt	990 $\text{Mm}^3/\text{år}$
Därav kemisk fällning ytvatten	445
Stockholm och Göteborg	<u>-270</u>
	175
Verk med konstgjord infiltration	- 36
Småverk ($<1 \text{ Mm}^3/\text{år}$)	- 5
Flotation som separationssteg	<u>- 10</u>
Enkät till verk med årsproduktion: (32 kommuner)	124
Därav utvalda för driftstudier	82 $\text{Mm}^3/\text{år}$

Utgångspunkten för undersökningen var att se hur resultatet av tidigare studier av flockning vid renvattenframställning i laboratorieskala kunde tillämpas under praktiska driftsförhållanden och med varierande råvattenkvalitet. Flockningen i sig är dock inte möjlig att värdera utan att samtidigt tillämpad separation tas med i bilden. Därför har även funktionen hos verkens sedimenterings- och filterenheter studerats. Syftet med driftsundersökningen, förutom att studera flockningen, var att genom fällningsförsök kartlägga förutsättningarna för att uppnå ett godtagbart reningsresultat med det givna råvattnet samt att kartlägga orsaken till ev bristande överensstämmelse mellan verkets praktiska resultat och optimalt resultat erhållit i labskala.

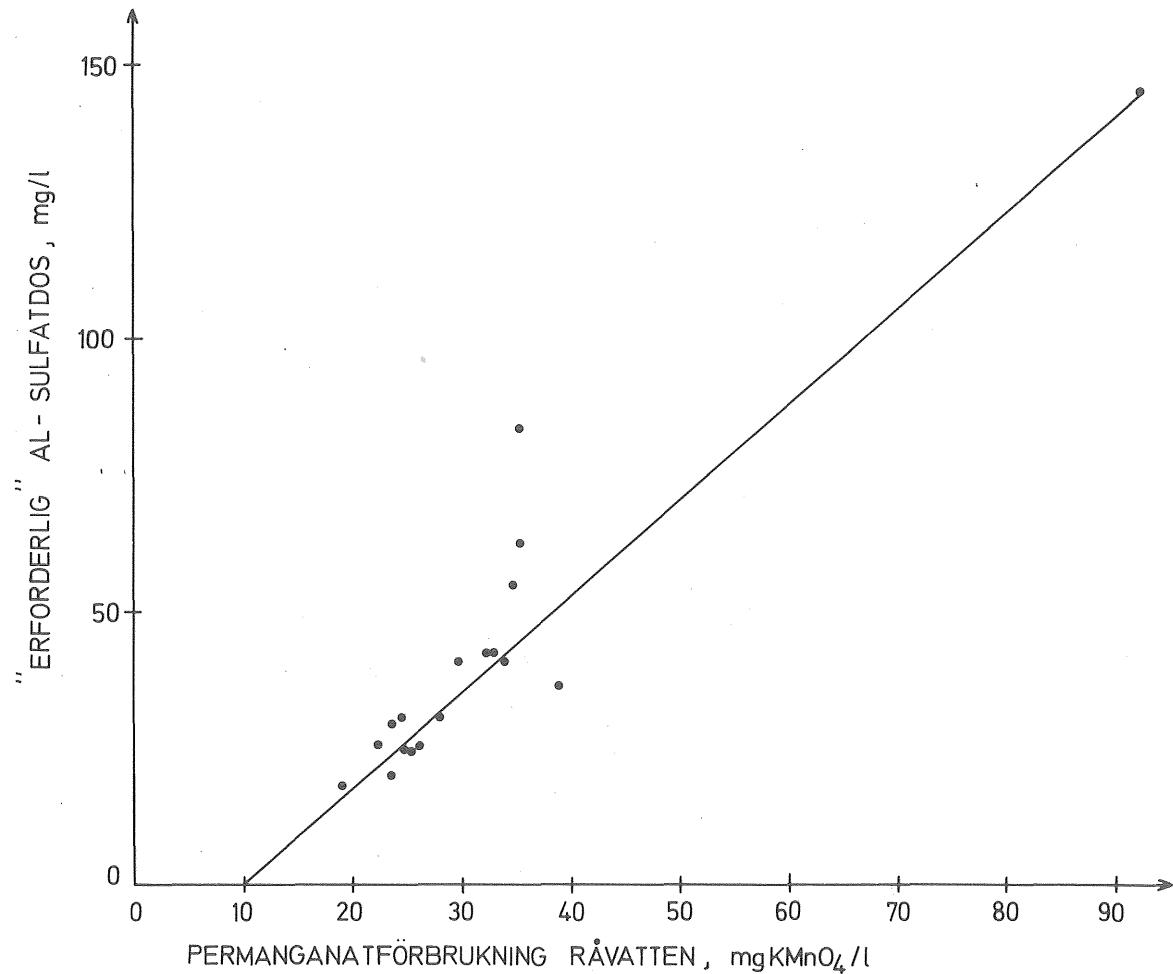
Fällningsförsök - Doseringsar

Den mängd koagulant (här i samtliga fall: aluminiumsulfat) som doseras avgör hur mycket organiskt material som avlägsnas ur vattnet. Vidare krävs en viss doserad mängd för att koagulanten själv skall kunna avlägsnas effektivt. Med ökad dosering av aluminiumsulfat blir pH-intervallet med godtagbart reningsresultat allt bredare, halten organiskt material och aluminiumresten blir lägre. Ekonomiska faktorer och driftsförhållanden på vattenverket kan motivera vilken dosering man väljer att tillämpa. Här har en enhetlig bedömningsgrund använts för att beräkna erforderlig dosering. Vid varje verk utfördes fällningsförsök i labskala med en standardiserad metod (se bilaga 2). Försöken utfördes med varierande fällnings-pH vid tre aluminiumsulfatdoseringar, vanligen verkets dosering samt denna ökad resp minskad med 10 mg/l. Resultatet av labförsöket visade i regel god överensstämmelse med verkets praktiska reningsresultat, vid samma dosering och fällnings-pH.



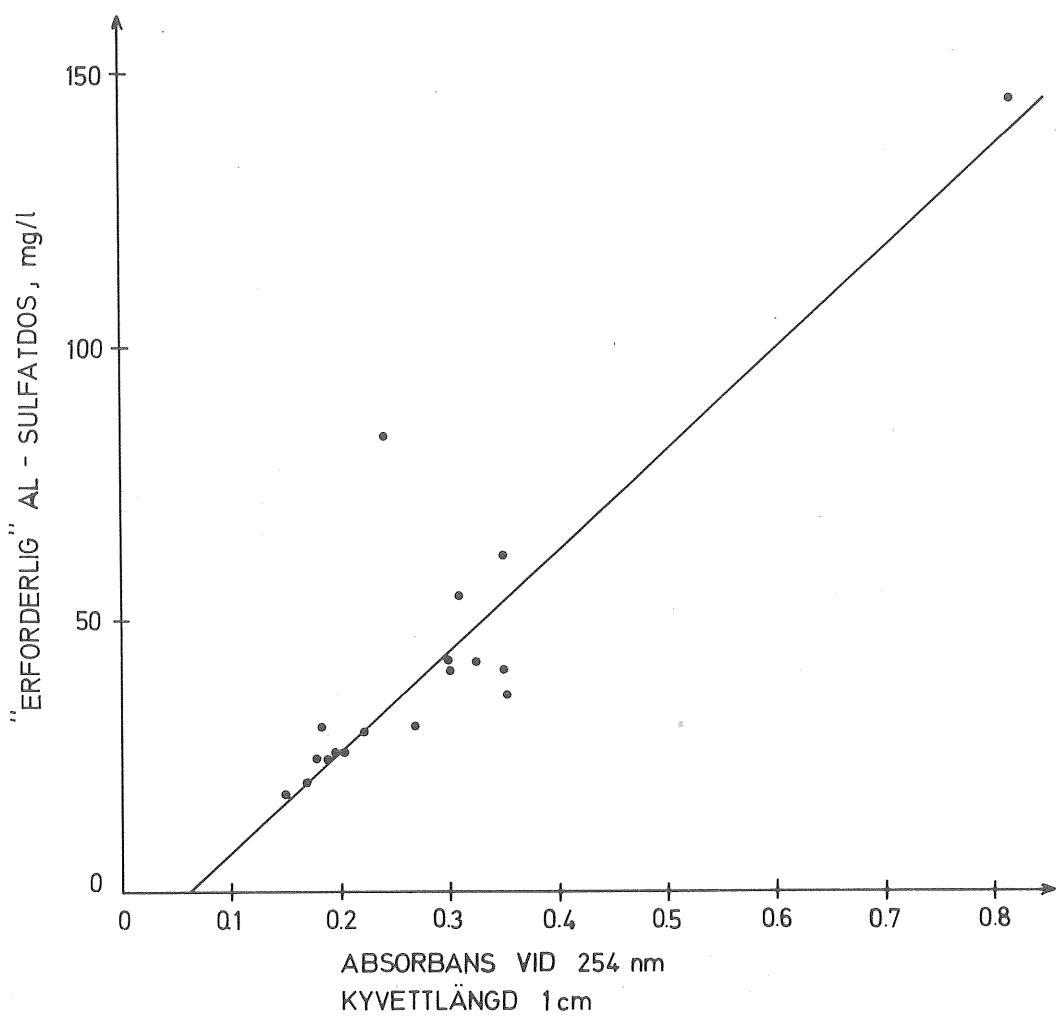
Figur 1. Tillämpad aluminiumsulfatdosering i relation till erforderlig dosering erhållen vid fällningsförsök.

På grundval av fällningsförsöket kunde "erforderlig" aluminiumsulfatdosering beräknas enl bilaga 2. Fig 1 visar hur detta värde överensstämmer med den dosering som tillämpades i praktiken. För 6 verk av 18 är överensstämmelsen god (avvikelse <10%). 5 verk tillämpar en dosering som är mer än 10% högre än den erforderliga dosen. Lägre dosering än 15% under den erforderliga dosen förekommer knappast.



Figur 2. Erforderlig aluminiumsulfatdosering - råvattnets permanganattal.

I fig 2 och 3 har den erforderliga dosen ställts i relation till råvattnets halt av organiskt material mätt som permanganatförbrukning resp absorbens av ultraviolett ljus. Avvikelsen från den inritade räta linjen är ibland stor, varför den erforderliga doseringen tydligt styrs av faktorer som inte helt visar sig i dessa summationsanalyser. Den inritade linjens utgångspunkt på x-axeln ges av definitionen av den erforderliga doseringen enl bilaga 2.



Figur 3. Erforderlig aluminiumsulfatdosering - absorbans vid 254 nm.

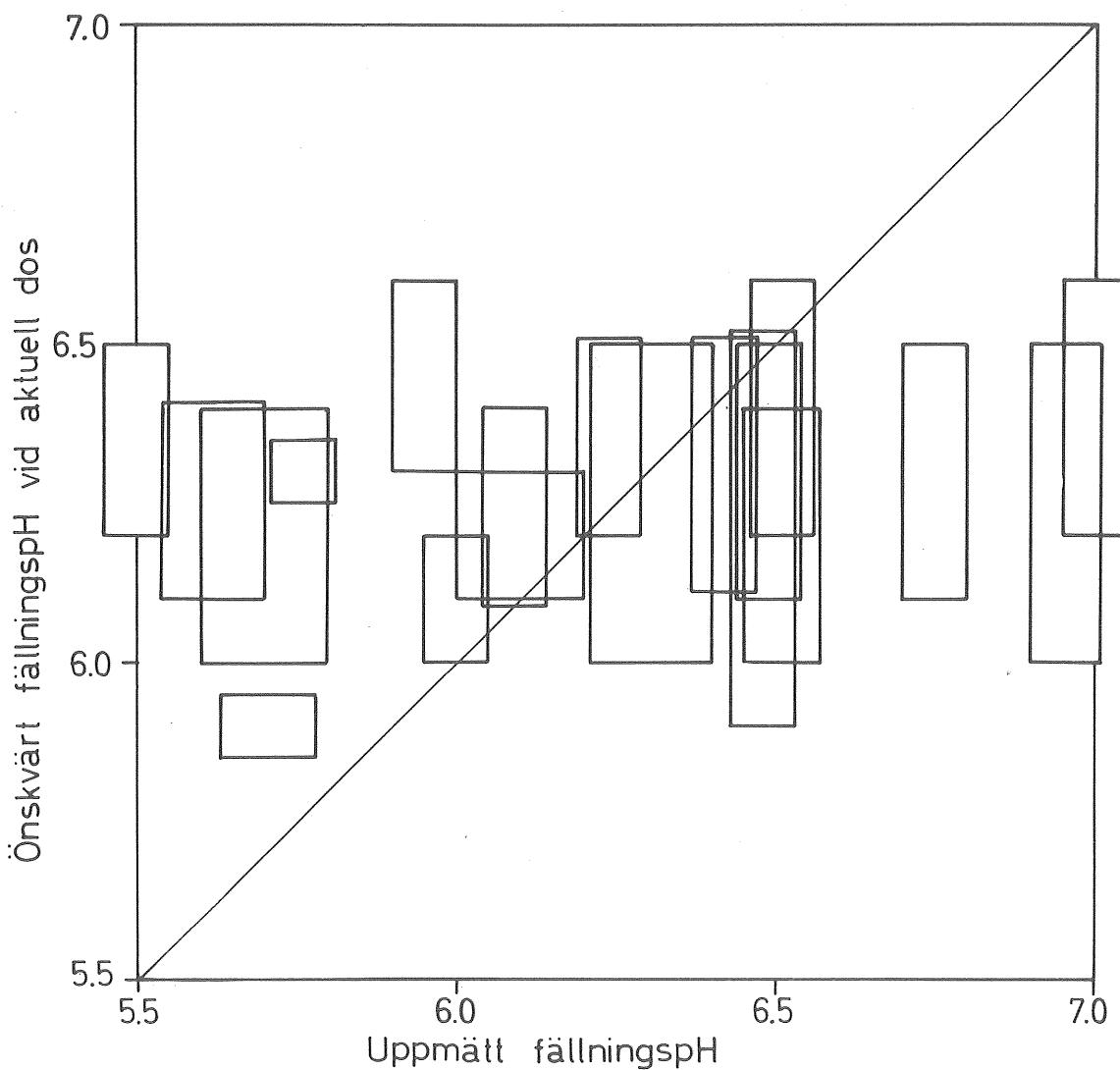
Fällnings-pH

pH-värdet påverkar de kemiska jämvikterna i vattnet och därmed hur effektivt tillsatta kemikalier utnyttjas i reningen. Som tidigare nämnts blir pH-intervalllet med godtagbart reningsresultat bredare med ökad aluminiumsulfatdosering. Man kan därför i någon mån kompensera en bristande övervakning av fällnings-pH med en överdosering av koagulant. Omvänt blir kraven på pH-mätningen allt större ju mindre marginalen är ned till erforderlig dosering.

När det gäller avlägsnandet av organiskt material erhålls den bästa effekten vid pH-värden nära 6.0 eller något lägre. Aluminiumresten visar i regel ett lägsta värde för något högre pH-värden, nära pH 6.5. Minimipunkten flyttar sig mot något högre värden när aluminiumsulfatdosen ökar. Det optimala pH-värdet för fällningen bedöms i en avvägning mel-

tan dessa två effekter: maximal reduktion av organiskt material samt minsta restkoagulanthalts.

Fällningsförsöken gav till resultat ett gynnsamt pH-intervall för fällningen vid den av verket tillämpade doseringen av aluminiumsulfat. I fig 4 är detta inritat på den vertikala axeln. Bredden av intervallet för gynnsamt fällnings-pH är beroende av relationen mellan tillämpad och erforderlig dosering. På den horisontella axeln är verkets aktuella fällnings-pH markerat. Vid varje verk har ett flertal stickprov tagits. Storleken av variationerna i det uppmätta pH-värdet på stickproven är ett mått på processens stabilitet i pH-hänseende.

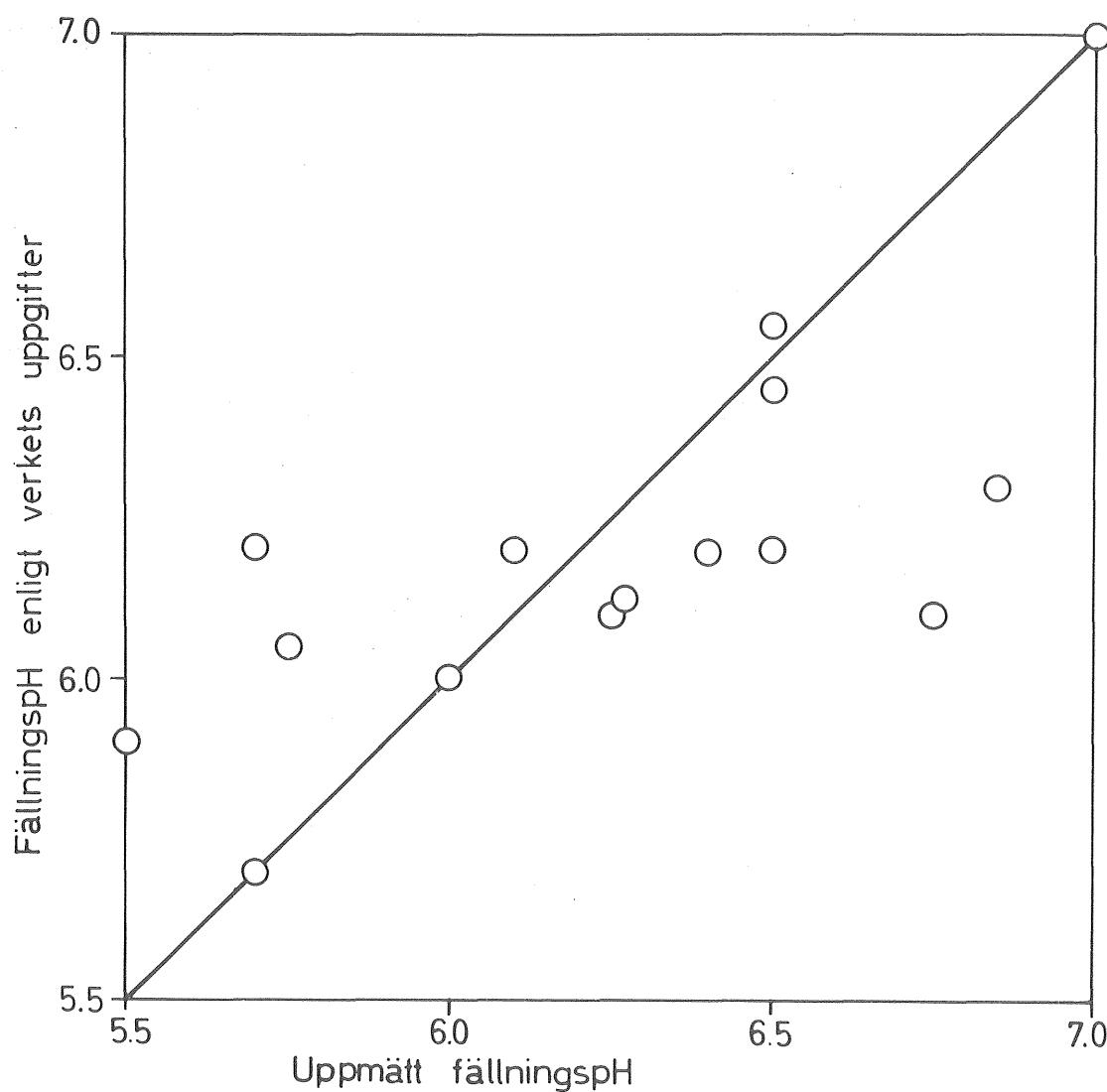


Figur 4. Önskvärt fällnings-pH - uppmätt värde.

Om nu uppmätta fällnings-pH överensstämmer med det pH som är önskvärt för att få gott resultat, dvs de markerade ytorna skärs av 45° -linjen, är allt gott och väl. Som synes är detta inte alltid fallet. 8 verk av

19 (42%) avviker mer än 0.2 pH-enheter från önskvärt värde (5 nedåt, 3 uppåt). Övervakningen av fällnings-pH på verken fungerar tydligt mindre bra.

Detta framgår tydligare av fig 5, där uppmätta fällnings-pH jämförts med uppgifter från verket, antingen en kontinuerlig pH-mätare eller manuella prov uttagna av verkets personal. På den vertikala axeln återfinns alltså de pH-värden man trodde sig ha, på den horisontella axeln vad man "verkliggen" hade. 6 av 14 hamnar på en sämre överensstämmelse än 0.2 pH-enheter (43%). Detta tyder på att åtminstone en del av problemen är mättekniska.



Figur 5. Fällnings-pH enligt verkets mätare - uppmätt värde.

Flockning

Hur väl bildade utfällningar av aluminiumhydroxid låter sig avskiljas grundläggs under flockningen. Här byggs partiklarna upp till en sedimenterbar storlek. En bristande flockuppbryggnad kommer att ge sig tillkänna som dålig sedimenteringseffektivitet och därmed förflyttning av en större del av avskiljningen till filtren, vilka vid bristande processkontroll lätt blir överbelastade med filtergenombrott som följd.

Som ett mått på flockningseffektiviteten mättes flockarnas sjunkhastighetsfördelning genom sjunkanalyser enl bilaga 3. Sjunkhastighetsfördelningen beskrivs av medelsjunkhastighet (v_m) och spridning (σ) under antagande om normalfördelning. Sjunkanalysdata införda i normalfördelningsdiagram finns bifogat till genomgången av varje verk. Hur väl dessa ansluter sig till en rät linje är ett mått på rimligheten i antagandet om normalfördelning. I tabell 1 återfinns resultat av samtliga sjunkanalyser utförda i den sista flockningstanken. I bilaga 3 finns anvisningar hur resultatet av en sjunkanalys kan tolkas. Där framhålls att ett rimligt krav på flocksjunkegenskaperna är att 85% av flockarna avlägsnas vid ytbelastningen 1 m/h. Detta ger teoretiskt villkoret:

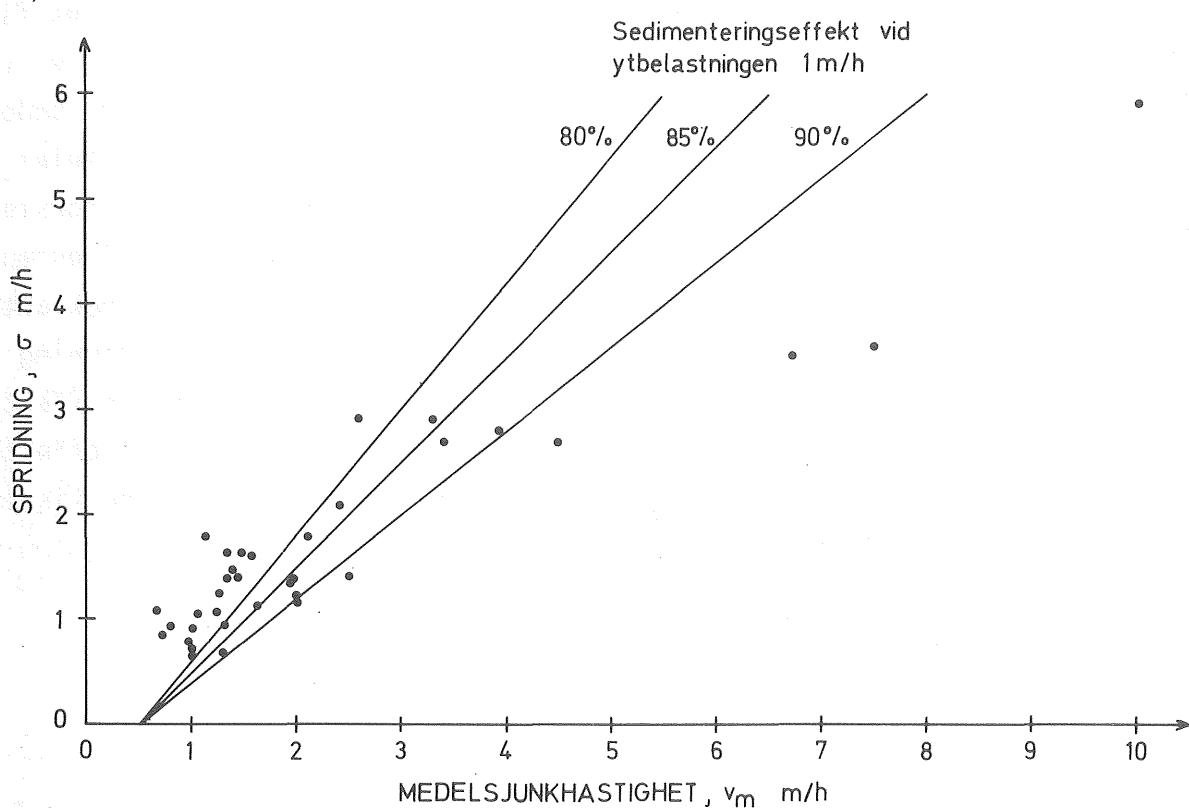
$$\sigma < (v_m - 0.5) \text{ m/h}$$

Detta uppfylls endast på 6 verk av 18. 85% sedimenteringseffekt vid halva denna ytbelastning (0.5 m/h) uppfylls helt av 9 verk samt delvis vid ytterligare 3, där ett enskilt system har motsvarande flocksjunkegenskaper. Det teoretiska sedimenteringsresultatet, beräknat utifrån sjunkanalysdata, vid dessa två belastningar är infört i tabell 1.

Samtliga sjunkanalysresultat enl tabell 1 är införda i fig 6, där också teoretisk sedimenteringseffekt är markerad.

Tabell 1. Sammanställning av faktorer, som påverkar flockningen samt flocksjunkegenskaper.

Verk	System nr	Beräknade \bar{g} -värden (s^{-1}) Flockningskammare nr							Medel- sjunk- hastig- het v_m^* , m/h	Sprid- ning σ , m/h	Teoretiskt sedimentering- resultat. Andel kvarvaran- de flock (%)			pH	Akt. kisel- syra	Aluminium- sulfatdos, mg/l Tilläm- pad	Erför- derlig	Flock- nings- tid. (min)	Temp °C
		1	2	3	4	5	6	7			vid ytbel. 1.0 m/h	vid ytbel. 0.5 m/h							
Mölndal	1	6.7	2.4	2.1	2.1				1.4	1.6	29	24	5.6		32	20	110	1.1	
	2	6.8	6.8	3.1	3.1	3.1	1.7		1.1	1.1	29	22					82		
Karlskrona	3	3.2	1.7	0.7					1.3	0.9	19	12	6.5		40	29	79	2.1	
	5	"	"	"					1.2	1.1	26	19							
	6	"	"	"					1.0	0.9	29	20							
Ringsjön	4	11.6	11.6	6.1	2.2				4.5	2.7	7	6	7.0	X	70	84	71	2.9	
Borås	1	17.7	10.5	7.7	2.2	2.4			1.0	0.65	22	13	6.4		36	41	60	1.9	
	2	15.6	9.7	5.8	3.5	1.8			1.0	0.65	22	13					60		
	3	14.3	11.8	2.6	3.2				1.0	0.65	22	13					72		
	4	13.3	8.8	7.0	2.3				1.1	0.7	19	11					77		
Nässjö	1	26.8	23.0	15.5	6.4	2.4	1.4		2.0	1.4	14	11	6.1		38	43	45	2.0	
	2	"	"	"	"	"	"		2.0	1.4	14	11							
Lilla Edet	1	3.9	2.5	1.9	1.6	1.2	1.1		1.5	1.6	27	22	5.5	X	45	41	57	1.3	
	2	"	"	"	"	"	"		1.5	1.6	27	22							
Uddevalla	1	2.0	1.5	1.3	=0	0.5			2.6	2.9	23	21	6.0		40	42	86	1.8	
	2	"	"	"	"	"			3.3	2.9	17	14							
Söffle	ö	5.5	3.5	0.9	0.4				1.1	1.8	37	32	6.5		27	26	52	3.9	
	v	5.5	3.6	5.4	0.5				1.4	1.5	27	22					61		
Mönsterås		11.7	7.7	3.2	1.7				1.3	0.7	13	7	5.8		108	145	157	5.6	
Västervik	1	25.5	13.0	10.4	3.7				2.0	1.2	11	7	6.3	X	27	31	52	4.7	
	2	=0	13.0	10.4	3.7				2.5	1.4	8	5							
Åmål		27.9	23.7	16.2	6.6	6.6	2.0	2.0	2.1	1.8	19	15	6.8	X	42	25	58	1.6	
Lidköping	1:1	21.5	14.3	9.1	3.7	3.7			2.0	1.2	11	7	6.3	X	42	24	84	4.2	
	1:2	"	"	"	"	"			2.0	1.4	14	11					82		
Mariestad	A	10	7.7	4.5	2.1	1.0			1.3	1.4	28	23	6.9		29	26	81	5.0	
	B	7.8	6.1	3.5	2.1	1.0			1.4	1.4	26	21					81		
	C	46	27	11	6.0	2.1	1.1		1.0	0.8	26	17					79		
Norrköping	1	7.9	3.6	3.6	4.1	4.1	0.9		10.0	5.9	5	5	6.5		56	55	74	9.1	
	3	-	-	-	-	-	-		3.9	2.8	11	10					71		
	5	4.5	4.1	4.1	2.4	2.4	1.0		7.5	3.6	3	2					68		
Hjälby		18.3	7.2	2.8					1.6	1.1	16	11	6.1		58	62	26	11.8	
Grängesberg	1	5.3	2.8	1.9	1.2	1.0			0.73	0.85	39	29	6.5	X	20	18	77	6.5	
	2	"	"	"	"	"			0.66	1.1	44	36					85		
Härnösand	1	19	8.8	4.1	5.2	4.3	2.1		1.25	1.25	27	22	5.7	X	27	31	43	6.2	
	2	"	"	"	"	"	"		0.8	0.9	37	27					41		
Kramfors	1	1.5	1.4	1.1	3.1				1.6	1.6	25	20	5.7	X	31	37	75	14.8	
	2	=0	4.4	3.4	3.4				2.4	2.1	18	15					82		



Figur 6. Resultat av sjunkanalyser utförda i den sista flockningstanken vid 18 vattenverk. Linjerna markerar de teoretiska gränserna för 80, 85 resp 90% avlägsnad flock vid ytbelastningen 1 m/h.

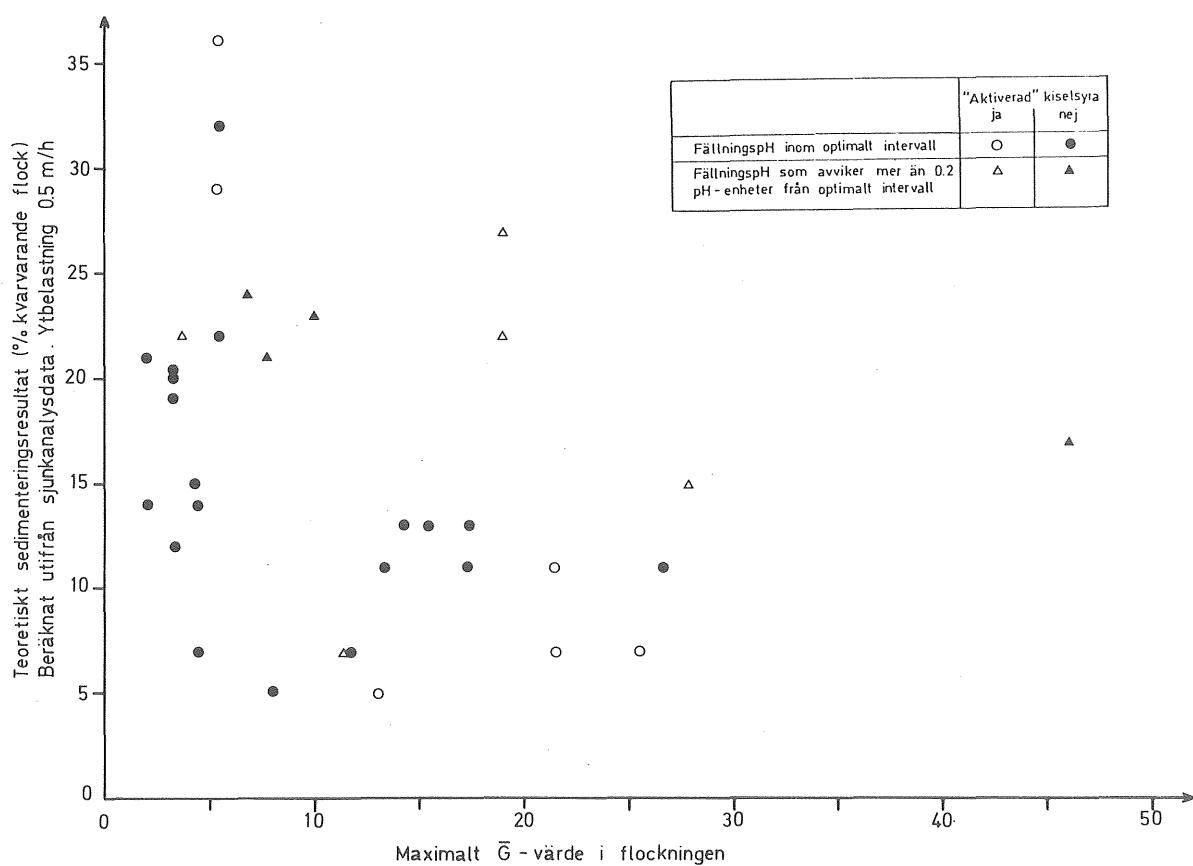
En mängd faktorer kan påverka flockarnas sjunkegenskaper. Några av de viktigaste har införts i tabell 1.

Fällnings-pH har berörts tidigare. Enligt fig 4 återfinns optimalt fällnings-pH normalt i intervallet 6.1 - 6.3 utom i ett fall (Kramfors) med värdet 5.9 - 6.0.

Dosering av aktiverad kiselsyra är markerad med X. Övriga bakgrundsfaktorer i tabell 1 är tillämpad resp erforderlig aluminiumsulfatdosering, flockningstid samt råvattentemperatur.

Effekttillförseln i flockningstankarna har beräknats utifrån geometriska förhållanden och uppmätta varvtal enl bilaga 5. Angivna värden är därför osäkra. I många fall tycks dock effekttillförseln vara väl låg, speciellt i början av flockningen.

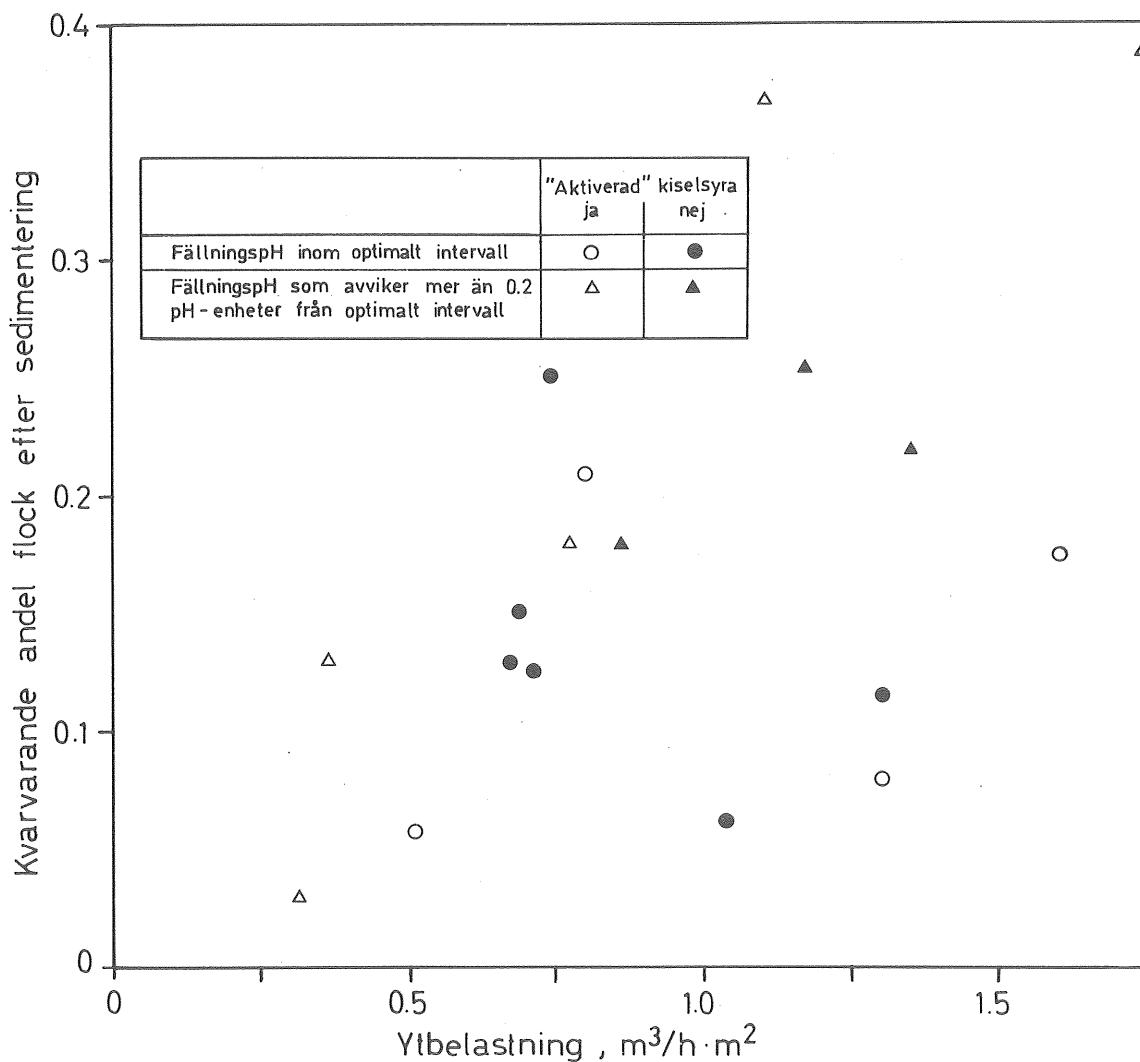
Fig 7 är ett försök att illustrera effekttillförselns inverkan på flock-sjunkegenskaperna. Här har det teoretiska sedimentteringsresultatet vid ytbelastningen 0.5 m/h avsatts som funktion av maximalt \bar{G} -värde under flockningen. Det senare antages vara ett mått på effekttillförselns nivå över lag, speciellt i början av flockningstiden eftersom det största \bar{G} -värdet vanligtvis påträffas i den första flockningstanken. I figuren har endast hänsyn tagits till huruvida fällnings-pH ligger inom önskvärt intervall samt om aktiverad kiselsyra doserats. Detta ger stor spridning i resultatet. Dock kan en tendens till förbättrad sedimenteringseffekt observeras med, från den nuvarande ofta blygsamma nivån, ökad effekttillförsel i början av flockningen. Effekten av den aktiverade kiselsyran kan ifrågasättas i några fall.



Figur 7. Teoretiskt sedimentteringsresultat vid ytbelastningen 0.5 m/h (beräknad från sjunkanalyser) som funktion av maximalt \bar{G} -värde under flockningen.

Sedimentering

Flockar med goda sjunkegenskaper kommer till en större del (>80-85%) att avskiljas genom sedimentering. Avskiljningsgraden varierar naturligtvis med belastningen. Avvägningen mellan avskiljning i sedimentering resp filter är till stor del en ekonomisk fråga. Driftkostnaden för avskiljning i filter är betydligt högre än för sedimentering.



Figur 8. Sedimenteringseffekt som funktion av ytbelastning.

För att ange ett mått på den verkliga sedimenteringseffekten vid de 18 vattenverken har i fig 8 andel kvarvarande flock efter sedimentering uppriptats som funktion av sedimenteringens ytbelastning. Högst varierande sedimenteringseffektivitet förekommer uppenbarligen: från 3% till 40% kvarvarande flock. Det sedimenteringsresultat, som kan förutsägas från

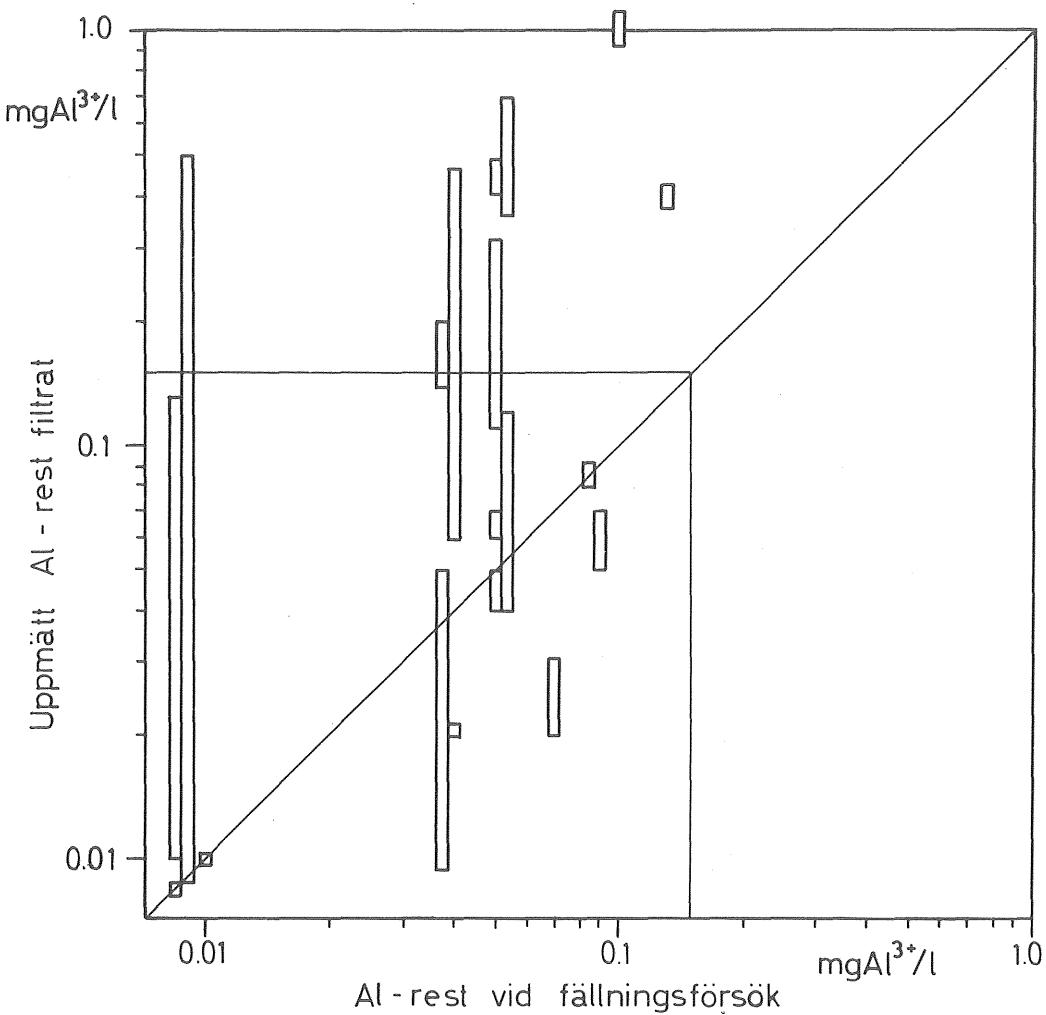
sjunkanalysen överensstämmer i regel inte med det praktiskt erhållna. Sjunkanalysen är utförd på djupet 0.3 m. Det verkliga sedimenteringsdjupet kan uppgå till 2-3 m. Eftersom flockarnas sjunkegenskaper förbättras något med ökat sedimenteringsdjup blir det praktiskt erhållna sedimenteringsresultatet ofta bättre än det teoretiskt uppskattade. En jämförelse mellan det verkliga sedimenteringsresultatet och de värden sjunkanalysen ger har utförts vid varje enskilt verk. En annan orsak till bristande överensstämelse kan förekomma då den sista flockningstanken har utlopp i botten. Sjunkanalysen var av praktiska skäl endast möjlig att utföra nära vattenytan, varför uttagna prov möjligen inte är representativa för inkommande vatten till sedimenteringen.

Filtrering

Filtreringen är vattenverkets sista avskiljningssteg. Det är därför naturligtvis av vikt att reningsresultatet kontrolleras, helst kontinuerligt samt varje filterenhets för sig. Härvid är en grumlighetsmätare ett lämpligt driftkontrollinstrument. Om filterbädden ej kan kvarhålla avsatt flock kan detta medföra svårigheter att få effektiv desinfektion samt avlagringar och smakproblem på distributionsnätet.

Den ofta bristande kontrollen av fällnings-pH har naturligtvis vissa konsekvenser för reningseffektiviteten. Tydligast märks detta om aluminiumhalt efter filtrering analyserats. I fig 9 är uppmätta halter av aluminium i verkens filtrat avsatta längs den vertikala axeln. I de fall det fanns möjlighet att ta ut prov från flera filter var för sig, har ett relativt nyspolat respektive ett filter i tur att spolas varit föremål för provtagning. Detta ger två värden mellan vilka filtratets aluminiumhalt varierar.

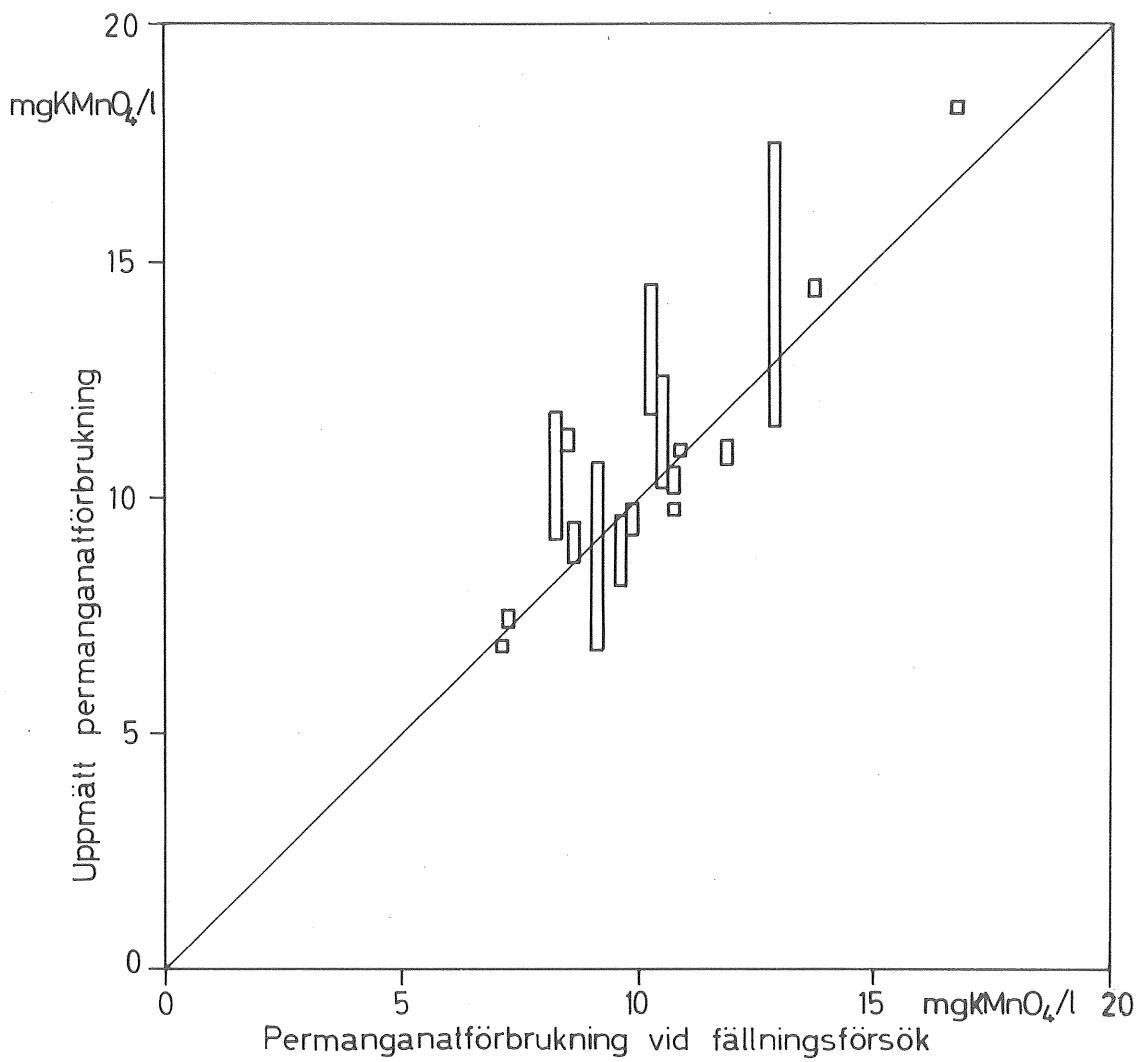
På den horisontella axeln återfinns resultatet av fällningsförsök (verkets Al-sulfatdosering, "optimalt" fällnings-pH) efter filtrering genom pappersfilter. Här anges alltså vad som är möjligt att åstadkomma vid aktuell dosering. Gränsen för vad som är "tekniskt anmärkningsvärt" ($0.15 \text{ mg Al}^{3+}/\text{l}$) är markerad.



Figur 9. Aluminiumrest i filtrat jämförd med resultat av fällningsförsök efter filtrering (verkets dosering, optimalt pH).

Vid 4 verk av 19 (21%) låg inga prov under, dvs inte ens för nyspolat filter, gränsen 0.15 mg Al³⁺/l. Vid 4 verk (21%) låg Al-proven under gränsen för nyspolat filter. Vid resterande 11 verk var alla prov under 0.15 mg Al³⁺/l. Om man istället uppställer kravet 0.05 mg Al³⁺/l, ett värde som bör kunna uppnås utan större svårigheter av varje välskött verk, uppfylls detta av ca en tredjedel av verken. Höga staplar i detta diagram tyder på att man låter filtren gå för länge innan de spolas. Mer om detta nedan.

Motsvarande diagram, men med hänsyn till organiskt material, mätt som permanganatförbrukning återfinns i fig 10. Den nivå som betecknas "tekniskt anmärkningsvärd": 20 mg KMnO₄/l uppfylls av samtliga verk. Här kan man diskutera ambitionsivån. Ett väl fungerande verk torde inte ha några svårigheter att uppfylla hälften av detta värde.



Figur 10. Permanganattal för filtrat jämfört med resultat av fällningsförsök efter filtrering (verkets dosering, optimalt pH).

Slutsatser

En förutsättning för att kunna driva och övervaka en process är att det finns mätinstrument som levererar relevanta och korrekta mätvärden. Problem med pH-mätning är tidigare berört. En kontinuerligt registrerande pH-mätare för fällnings-pH (som helst då visar korrekt värde) bör finnas på varje vattenverk av den storlek det här är fråga om. 9 verk av 19 (dvs drygt hälften) hade detta. I några fall prioriterades kontinuerlig mätning av pH hos efteralkaliserat vatten (vilket i och för sig också är väsentligt) före mätning av fällnings-pH.

För att övervaka sedimenteringseffekten och filtratkvalitet är en kontinuerligt registrerande grumlighetsmätare ett enkelt och lämpligt instrument. Trots detta drevs filtren med för lång gångtid i två av dessa verk. Endast 1 verk kontrollerade kontinuerligt kvaliteten på vatten efter sedimentering.

Det vanligaste sättet att bestämma ett filters gångtid är tryckförlustmätningar över filterbädden. Detta är inte tillfredsställande av flera skäl.

För det första: Tryckförlustmätarna fungerar i många fall inte.

För det andra: Att ange en generell tryckförlust (vanligen 1.0-1.5 mvp) vilken den avskilda flocken skulle tåla före filtergenombrott är inte möjligt. Tryckförlusten vid genombrott varierar åtskilligt med faktorer som vattentemperatur, kemikaliedosering och bäddegenskaper.

Även filterspolning efter fasta tidsintervall är vanligt. Har man då tur går det bra. Är avskiljningen i sedimenteringen dålig går det i allmänhet mindre bra.

Flocksjunkegenskaperna kan i många fall förbättras genom enkla åtgärder (förutom att man ser till att fällnings-pH är korrekt). Effekttillförseln i början av flockningstiden bör åtminstone vara av storleksordningen 20 s^{-1} , när flockningstiden är så väl tilltagen som 1 tim. Vid kortare flocknings-tider, storleksordningen 30 min, kan detta värde gärna fördubblas.

Effekten av s k aktiverad kiselsyra kan i några fall ifrågasättas. Här bör tillämpade recept ses över.



1.1 Beskrivning av verkets funktion

Verket har två parallella flockningssystem med efterföljande sedimentering. System 1 (äldre system) består av fyra flockningstankar med totalvolymen 463 m^3 . Sedimenteringen i denna del består av en parallelströmningsbassäng med två mellanbottnar. Den totala sedimenteringsytan är 278 m^2 . Flockningsystemet i system 2 (ny del) består av sex flockningstankar med totalvolymen 309 m^3 . Sedimenteringen består här av en s k Lovö-bassäng (två bottnar, fram- och återgående vattenflöde) med total sedimenteringsyta 180 m^2 .

Sandfilter: total yta 100 m^2 .

Angivna flöden och doseringar:

maxflöde: $11\ 500 \text{ m}^3/\text{d}$, medelflöde: $9\ 200 \text{ m}^3/\text{d}$

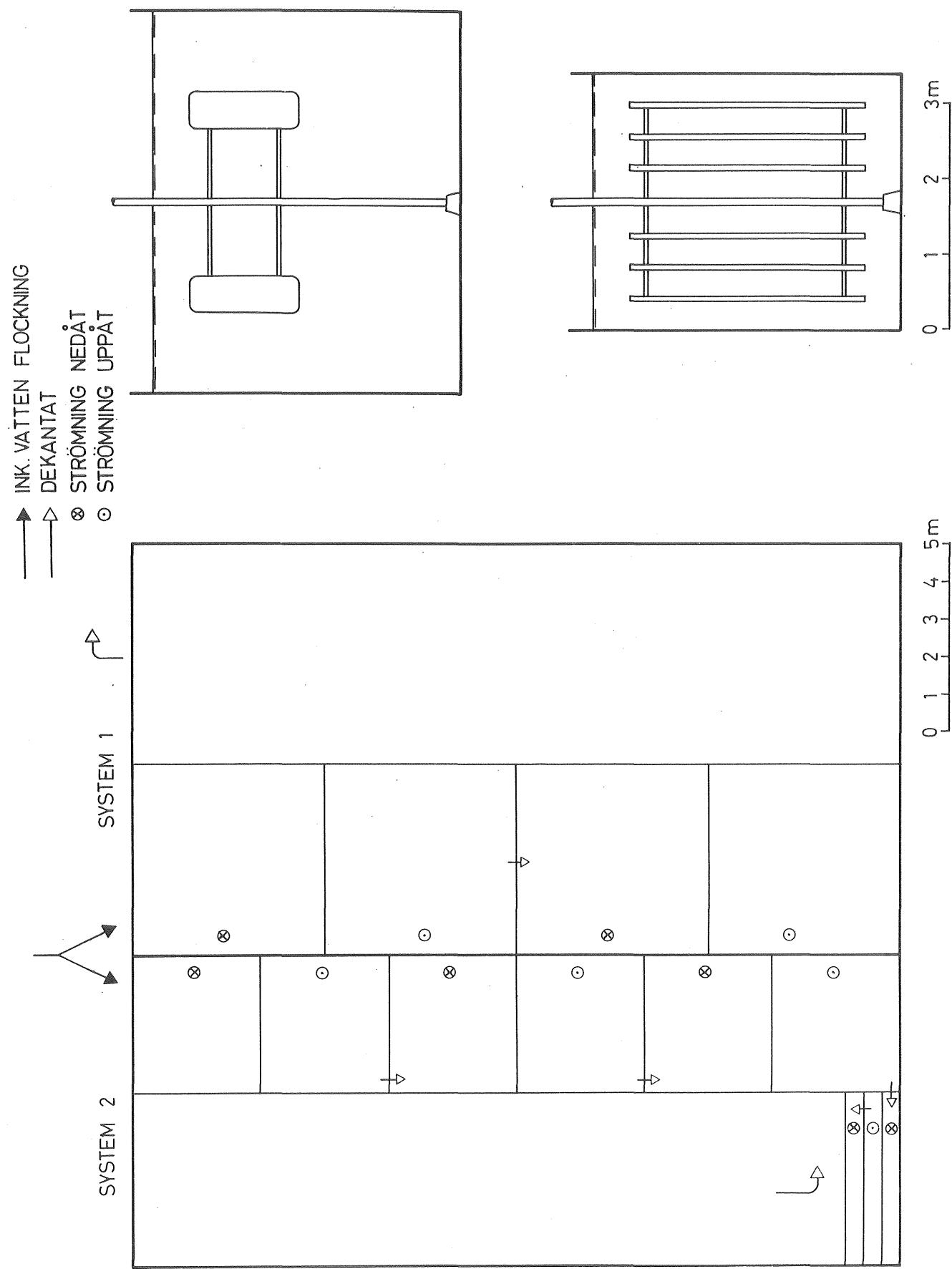
aluminiumsulfat: 32 g/m^3

justering av fällnings-pH med kalk

normalt doseras aktiverad kiselsyra (dock ej vid besökstillfället)

efteralkalisering med kalk

efterklorering



Figur 1.1 Mölndals vattenverk

Dessa värden innebär vid medelflöde, flockningstid: 88 min, ytbelastning sedimentering: 0.47 m/h och filtrerhastighet: 3.8 m/h. Slam töms i sedimenteringen en gång/mån. Filtergångtiden mellan spolningarna är normalt på vintern 24-36 tim, på sommaren 24 tim.

I fortsättningen gäller angivna värden endast besöksdygnen 12-14/3 1979.

1.2 Flöden, doseringar

Flödet genom verket var enligt verkets råvattenmätare konstant ca 130 l/s (470 m³/h). Vid de saltförsök som utfördes erhölls totalflödet 483 m³/h, fördelat på system 1 och 2 enligt: 255 resp 228 m³/h.

Lösning av aluminiumsulfat bereds kontinuerligt. Enligt uppgift var den aktuella doseringen 32 g Al-sulfat/m³. Koagulanten tillsätts tillsammans med kalk i en inblandningsvolym gemensam för de båda systemen.

1.3 Flockning

Ovan angivna flöden ger flockningstid för system 1: 110 min och för system 2: 82 min. Saltförsöken antyder en gynnsammare flödesbild i system 2 än i system 1. En momentan dos salt (i detta fall 5 kg NaCl) doserades till inloppen till flockningssystemen. Den från sista flockningstanken utgående saltkoncentrationen (mätt som ledningsförmåga) registrerades som funktion av tiden. Ju högre det maximalt registrerade koncentrationsflödet är samt ju närmare detta värde i tiden ligger den uträknade medeluppehållstiden, desto fördelaktigare är flödesbilden. Tidpunkten för maximal koncentration var för system 1: 90 min och för system 2: ca 70 min. Den maximala saltkoncentrationen i utloppet i relation till medelhalten - dvs totala saltmängden utspädd i hela flockningsvolymen - $(C/C_0)_{\max}$ var för system 1: ca 0.9 och för system 2: 1.2.

Omrörarnas varvtal uppmättes och med hjälp av vissa mätningar på platsen har effekt-tillförsel och \bar{G} -värden beräknats. Det måste understrykas att de värden som erhållits endast ger en grov uppskattning. Vattenmassans medrotation har antagits vara 40% av paddelhastigheten. I tabell 1-1 återfinns varvtal, beräknad effekttillförsel och \bar{G} -värden, periferihastighet samt paddelarea som andel (%) av tankvärsnitt.

För effekttillförseln i system 1 (äldre system) erhölls uttrycket:

$$w \approx 6.7 \cdot 10^{-3} \cdot n^3 \quad \text{watt/m}^3$$

där n är varvtalet på omrörare (varv/min)

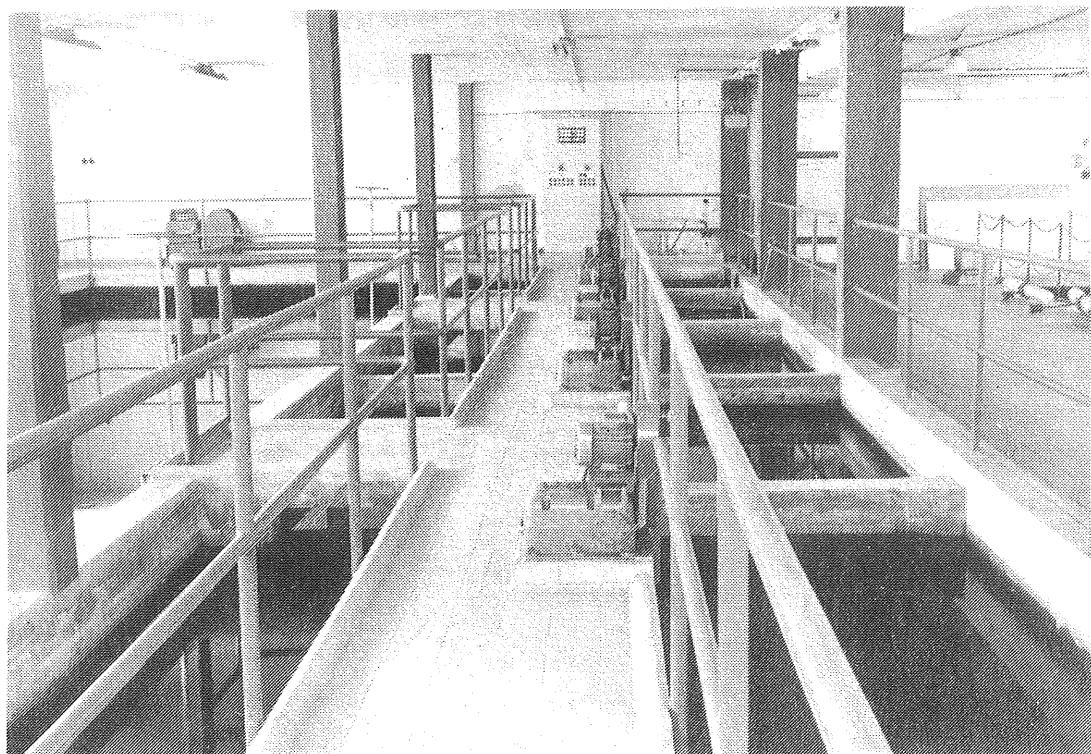
För system 2 gäller:

$$w \approx 6.5 \cdot 10^{-3} \cdot n^3 \quad \text{watt/m}^3$$

\bar{G} -värdet erhålls enligt:

$$\bar{G} = \sqrt{\frac{w}{\eta}} \quad \text{1/s}$$

där η är vattnets viskositet, vid aktuell temperatur (10°C) gäller
 $\eta = 1.7 \cdot 10^{-3} \text{ Ns/m}^2$.



Tabell 1-1. Data för omrörare i flockningssystem

Kammare nr	1	2	3	4	5	6
SYSTEM 1						
Varvtal, n varv/min	2.3	1.2	1.1	1.1		
Effekttillförsel, w watt/m ³	0.078	0.010	0.0077	0.0077		
Medelhastigets- gradient, G, 1/s	6.7	2.4	2.1	2.1		
Periferihastighet, m/s	0.36	0.18	0.16	0.16		
Paddelarea/ tanktvärsnitt, %	7	7	7	7		
SYSTEM 2						
Varvtal, n varv/min	2.3	2.3	1.3	1.3	1.3	0.9
Effekttillförsel, w watt/m ³	0.079	0.079	0.016	0.016	0.016	0.0048
Medelhastigets- gradient, G, 1/s	6.8	6.8	3.1	3.1	3.1	1.7
Periferihastighet, m/s	0.31	0.31	0.18	0.18	0.18	0.12
Paddelarea/ tanktvärsnitt, %	10	10	10	10	10	10

Omrörningsintensiteten i flockningstankarna är något för låg, speciellt i början av båda flockningssystemen.

Flockarnas sjunkegenskaper har mätts. Resultat av sjunkanalyser återfinns i fig 1.4 t o m 1.7.

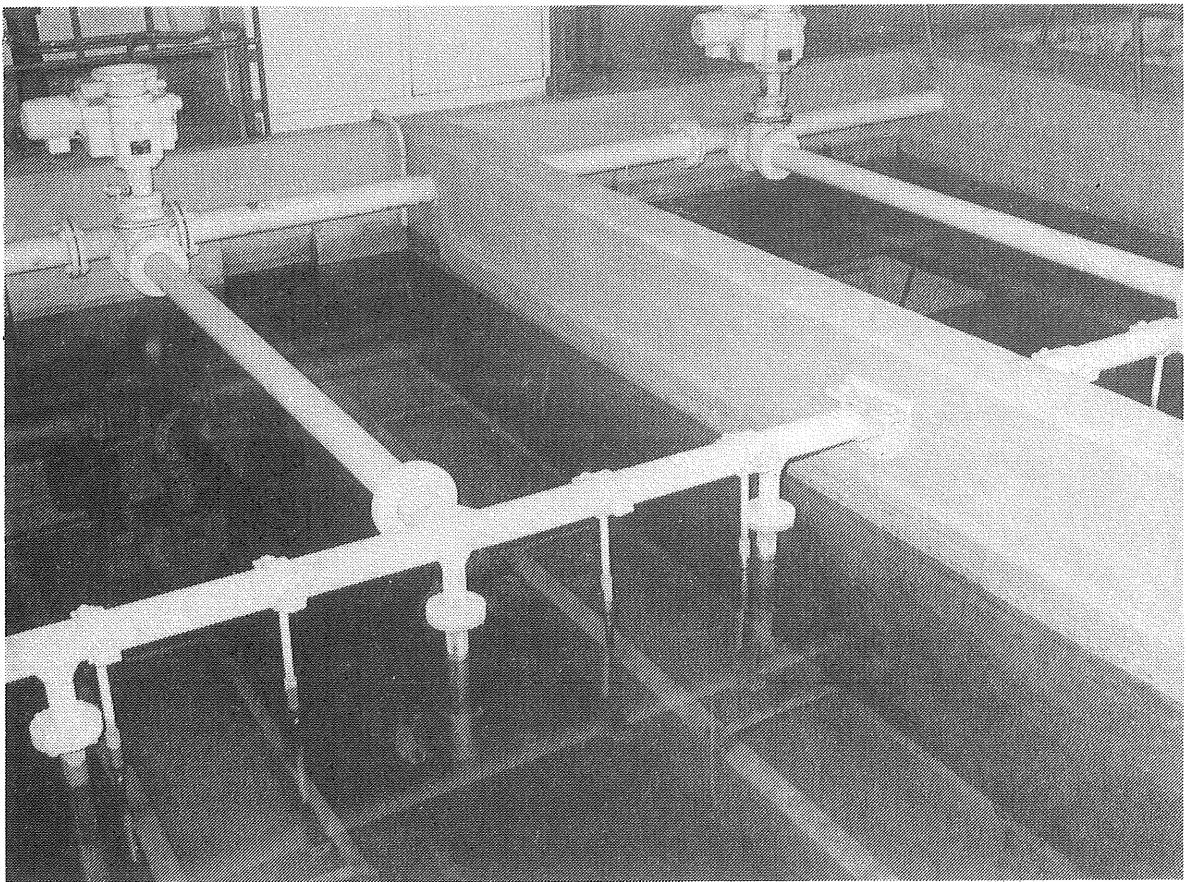
Tabel 1-2. Sjunkhastighet

	Medelsjunkhastighet v_m , m/h	Spridning σ , m/h
13/3 kl 10.00		
kammare 6, system 2	1.2	1.3
kammare 4, system 2	0.9	1.1
kammare 2, system 2	0.2	1.1
13/3 kl 14.00		
kammare 6, system 2	1.1	1.1
kammare 4, system 1	1.4	1.6
kammare 2, system 1	0.5	1.7

Flocksjunkegenskaperna uppfyller inte de krav som uppställdts i bilaga "Sjunkanalyser". Detta beror delvis på den låga effekttillförseln i flockningstankarna. En annan bidragande orsak är att fällningspH vid tillfället var för lågt. Uttagna dekantat- och filtratprov (se tabell 1-3) ger värden mellan pH 5.5 och 5.7.

1.4 Sedimentering

Vid aktuella flöden är ytbelastning, räknat på total sedimenteringsyta för system 1: 1.1 m/h och för system 2: 1.3 m/h. I fig 1.4 och 1.6 är sjunkanalyserna omräknade till sedimenteringsresultat vid varierande sedimentationsbelastning. Som jämförelse är det verkliga resultatet inritat. Härvid antas att sjunkhastighetsfördelningen är oförändrad, oberoende av sedimenteringsdjupet (i regel ökar dock sjunkhastigheten med ökat djup). Det praktiska sedimenteringsresultatet är också något bättre än vad sjunkanalysen förutsäger. Den kvarvarande mängden flock, ca 25%, är dock allt för hög. Detta är resultatet av dåliga flocksjunkegenskaper och innebär en onödig belastning på filtren.



1.5 Filtrering

Prov uttogs från ett filter före och efter spolning. Analysresultaten återfinns i tabell 1-3. Det framgår att filtergångtiderna är för långa vid aktuell dekantatkvalitet. Aluminiumresten är för hög beroende på för lågt fällningspH.

1.6 Resultat av fällningsförsök

Fällningsförsök utfördes under standardiserade betingelser med aluminiumsulfatdoserna, 20, 30 resp 40 mg/l. Fig 1.2 visar resultat efter filtrering som funktion av pH. I fig 1.3 har på grundval av fig 1.2 resultatet uttryckts som funktion av aluminiumsulfatdosen, dels vid "optimalt" fällningspH (6.2) och dels vid det pH som verket tillämpade vid provtagningstillfället (5.6). Som jämförelse har analysvärdet för det bästa filtratet införts.

På grundval av fällningsförsöken har erforderlig aluminiumsulfatdos bedömts till ca 20 mg Al-sulfat/l. Lämpligt intervall för fällningspH: 6.1-6.5.

1.7 Sammanfattning, åtgärder

Fördelningen av flödet mellan systemen är rimlig (ca 10% mer i system 1), eftersom system 1 både har större flockningsvolym och större sedimenteringsyta. För att utjämna skillnader i flockningstid och sedimenteringens ytbelastning skulle flödet kunna vara mer ojämnt fördelat, men på den ogynnsammare uppehållstidsfördelningen i flockningssystem 1 blir flockningsresultatet vid aktuell flödesfördelning ändå något sämre än i system 1.

Omrörningsintensiteten i flockningstankarna är något för låg. Nedan ges ett förslag till lämpliga varvtal:

Föreslagna omrörarvarvtal (varv/min)

Kammare	1	2	3	4	5	6
SYSTEM 1	5	3.5	2.5	1.5		
SYSTEM 2	5	4.5	3.5	2.5	2.0	1.5

pH-mätningen fungerade uppenbarligen mindre bra vid besökstillfället. När detta skrives har dock ett nytt pH-mätnings- och regleringssystem installerats, vilket torde ge möjligheter till bättre processkontroll.

Tabell 1-3. Analysresultat

Prov nr	pH	Grumlighet FTU	UV-absorbans $E_{254}(1\text{ cm})$	Färgvärde $E_{436}(4\text{ cm})$	Permanganat- tal, mg $\text{KMnO}_4/1$	mg $\text{Al}^{3+}/1$
101	6.1	-	0.17	-	24.0	0.18
102	6.2	0.64	0.17	0.040	23.7	0.18
104	5.5	1.25	0.076	0.016	11.1	>1.0
105	5.7	1.3	0.075	0.018	10.9	0.88
106	5.6	0.68	0.062	0.010	9.7	0.70
107	5.5	0.15	0.041	0.005	8.1	0.36

Prov nr

- 101 Råvatten 14/3
- 102 Råvatten 13/3
- 104 Dekantat, system 2 13/3 kl 16.00
- 105 Dekantat, system 1 " 16.00
- 106 Filtrat, filter 7 13/3 " 12.30 före spolning
- 107 Filtrat, filter 7 13/3 " 16.30 efter spolning

Råvattnets alkalitet analyserades till 0.13 m ekv/l.

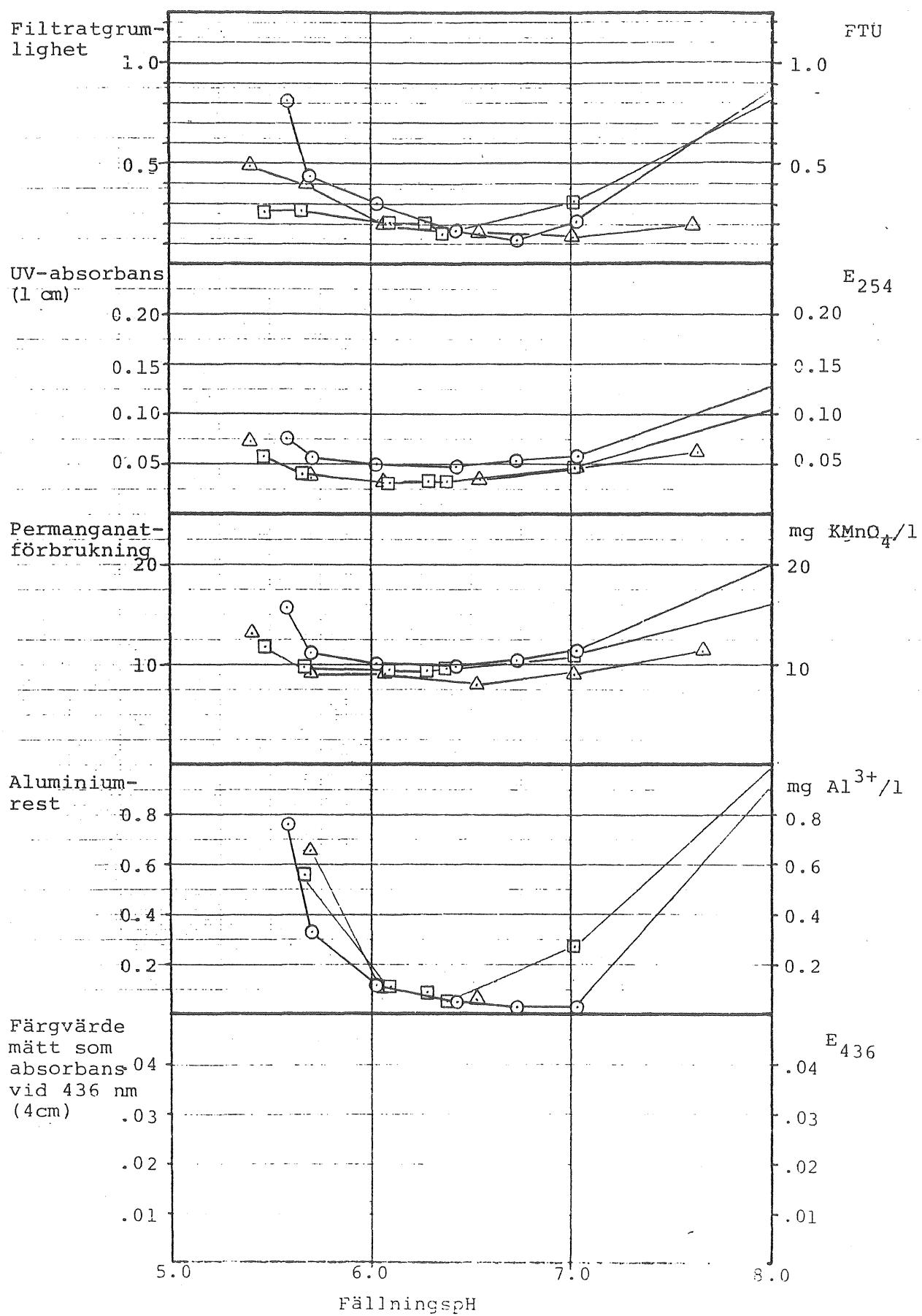
Figur 1.2

Mölndal

13-15/3 1979

Resultat av fällningsförsök
Analysvärden efter filtrering

Al-sulfat-
dosering, mg/l
 ○ 20
 □ 30
 △ 40

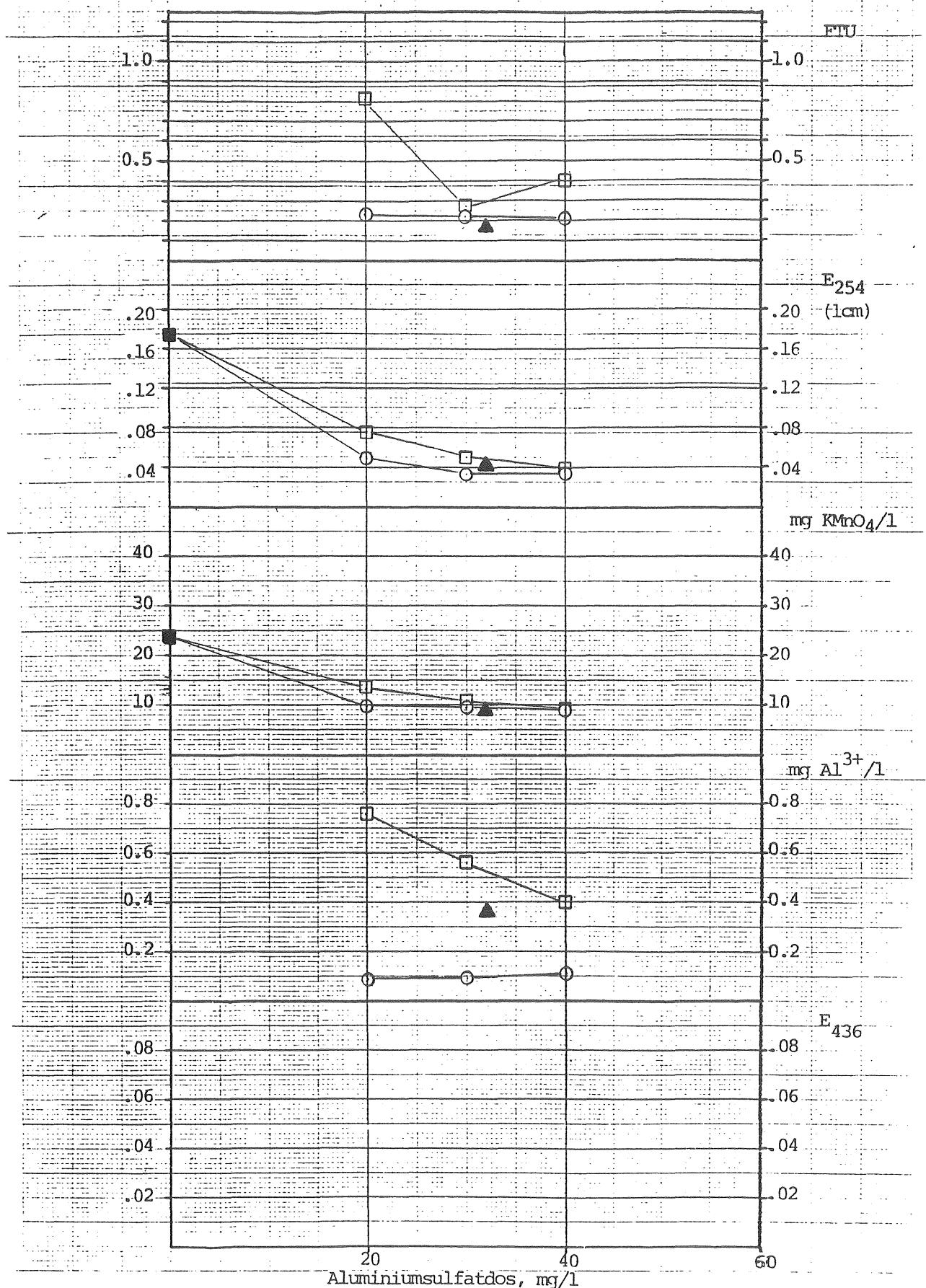


Figur 1.3
Mölndal

Resultat av fällningsförsök
som funktion av aluminiumsulfatdos.

Jämförelse med driftsresultat

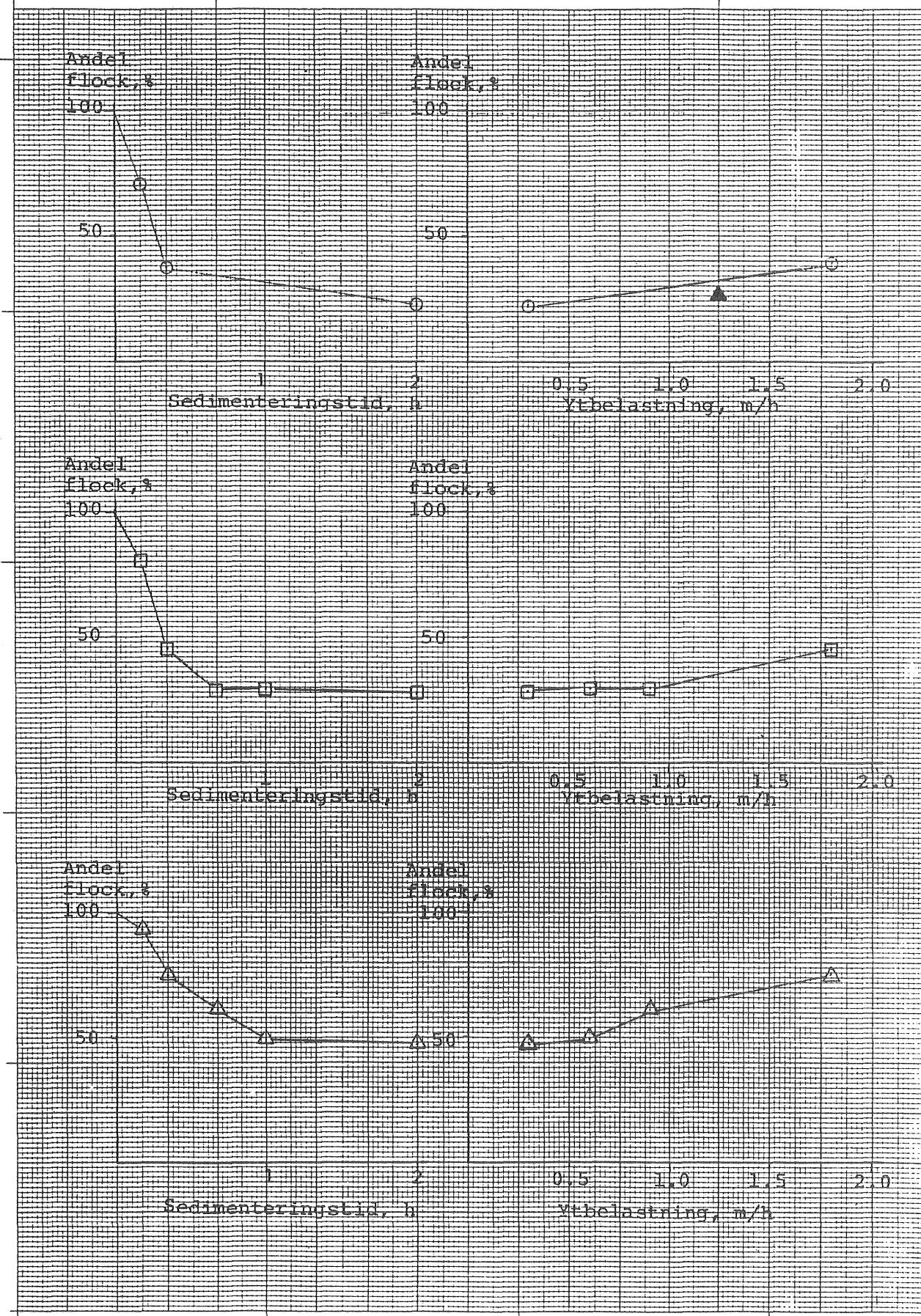
- FällningsPH 6.2
- FällningsPH 5.6
(verkets fällnpH)
- ▲ verkets driftres.
- ofiltrerat råvatten



Figur 1.4
Mölndal

Sjunkanalyser och jämförelse
med praktiskt sedimentterings-
resultat.

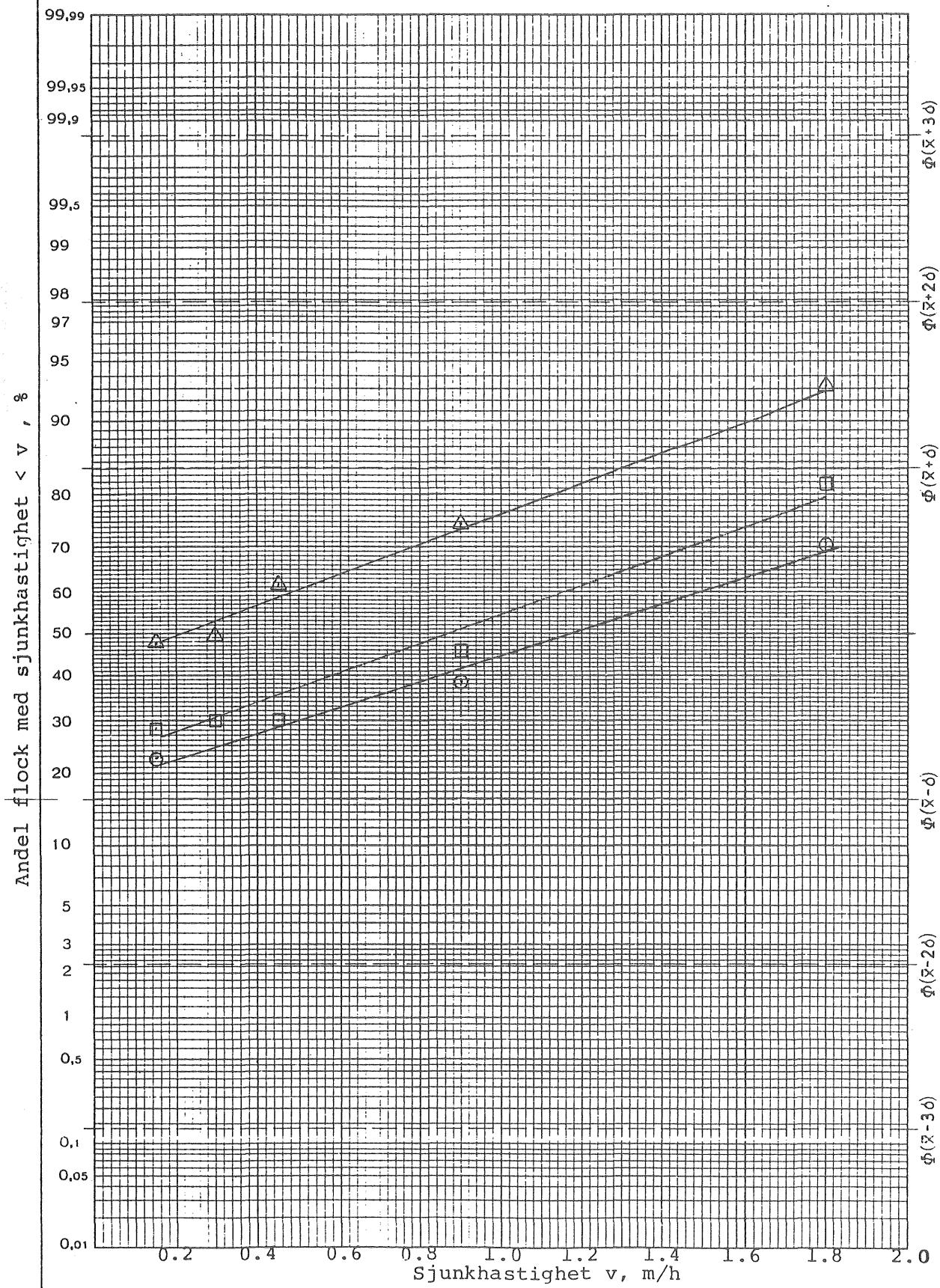
- System 2,kam 6
- System 2,kam 4
- △ System 2,kam 2
- ▲ driftresultat



Figur 1.5
Mölndal

Utvärdering av sjunkanalyser 1.20.1.29

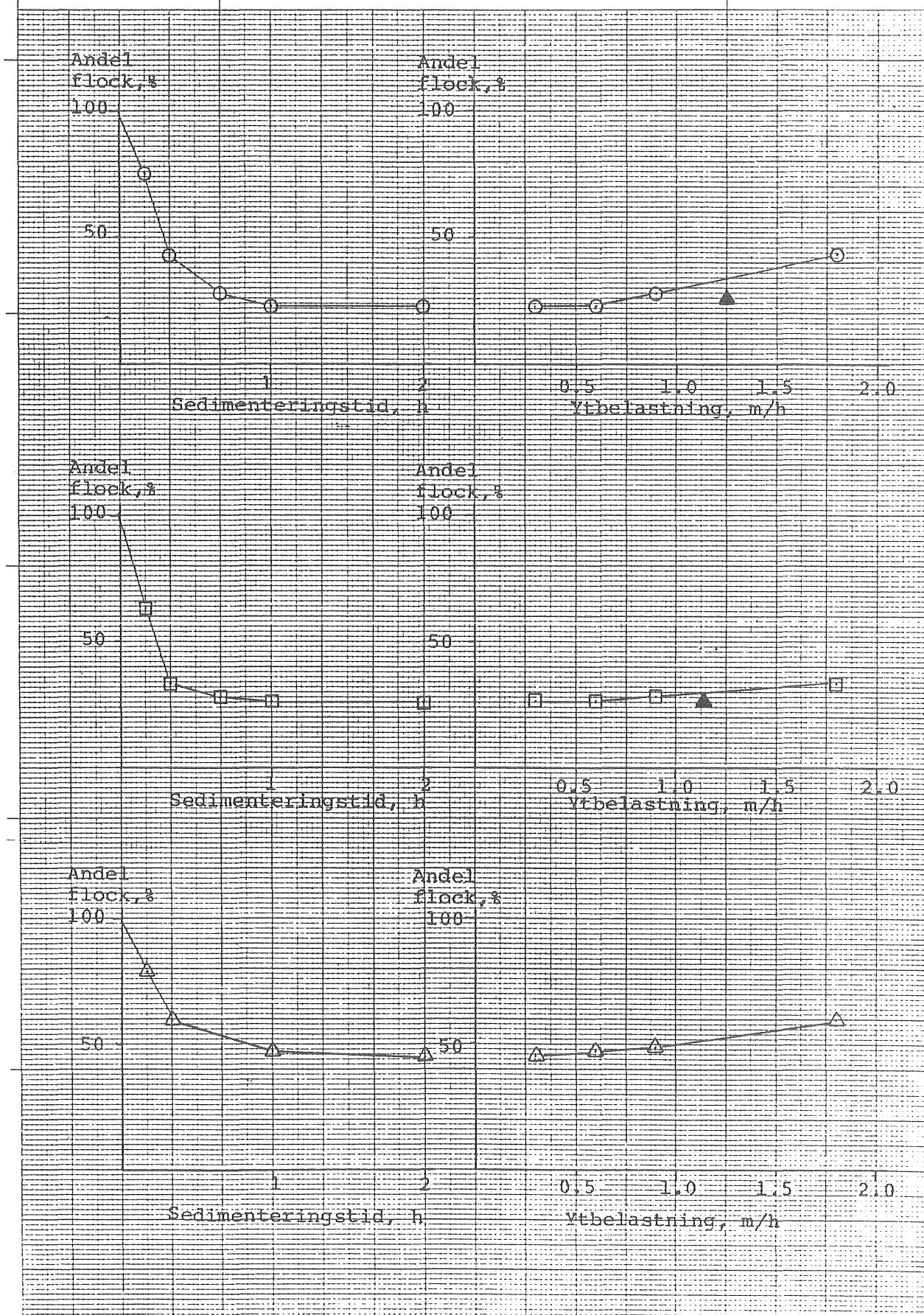
v_m	σ	
0.88	1.13	○ System 2, kam 6
0.20	1.10	□ System 2, kam 4
		△ System 2, kam 2



Figur 1.6
Mölndal

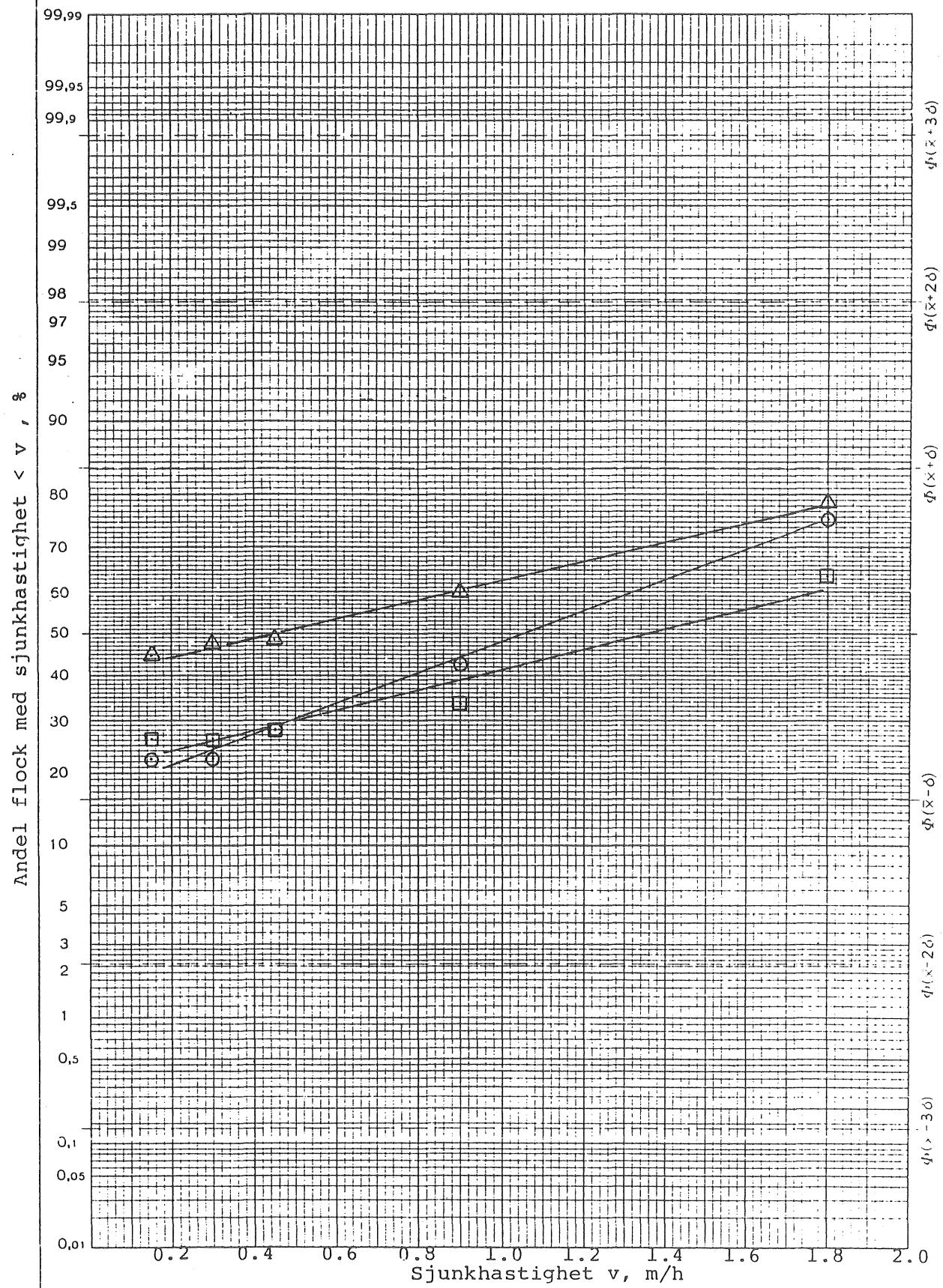
Sjunkanalyser och jämförelse
med praktiskt sedimenterings-
resultat.

- System 2, kam 6
- System 1, kam 4
- △ System 1, kam 2
- ▲ driftresultat



Figur 1.7
Mölndal

	v_m	σ	
System 2, kam 6	1.05	1.05	
System 1, kam 4	1.35	1.64	
System 1, kam 2	0.45	1.72	





2.1 Beskrivning av verkets funktion

Verket består av 8 parallella flockningssystem, vardera med tre flockningstankar i serie. Före varje flockningstank strömmar vattnet nedåt i ett smalt schakt så att vattenmassans rörelse i flockningsvolymerna med omrörning hela tiden är uppåtriktad. Flockningsvolymen är $142 \text{ m}^3/\text{system}$. Sedimenteringen består av fyra st s k Lovö-bassänger (två bottnar, fram- och återgående vattenflöde) med total sedimenteringsyta $324 \text{ m}^2/\text{system}$. Varje sedimenteringsbassäng försörjs alltså av två flockningssystem.

Den totala sandfilterareaen 214 m^2 är uppdelad på sex filterenheter.

Verket tillämpar hårdhetshöjning med kolsyra-kalk.

Angivna flöden och doseringar:

maxflöde: $16\ 000 \text{ m}^3/\text{d}$, medelflöde: $11\ 000 \text{ m}^3/\text{d}$

förklorering: kloridioxid

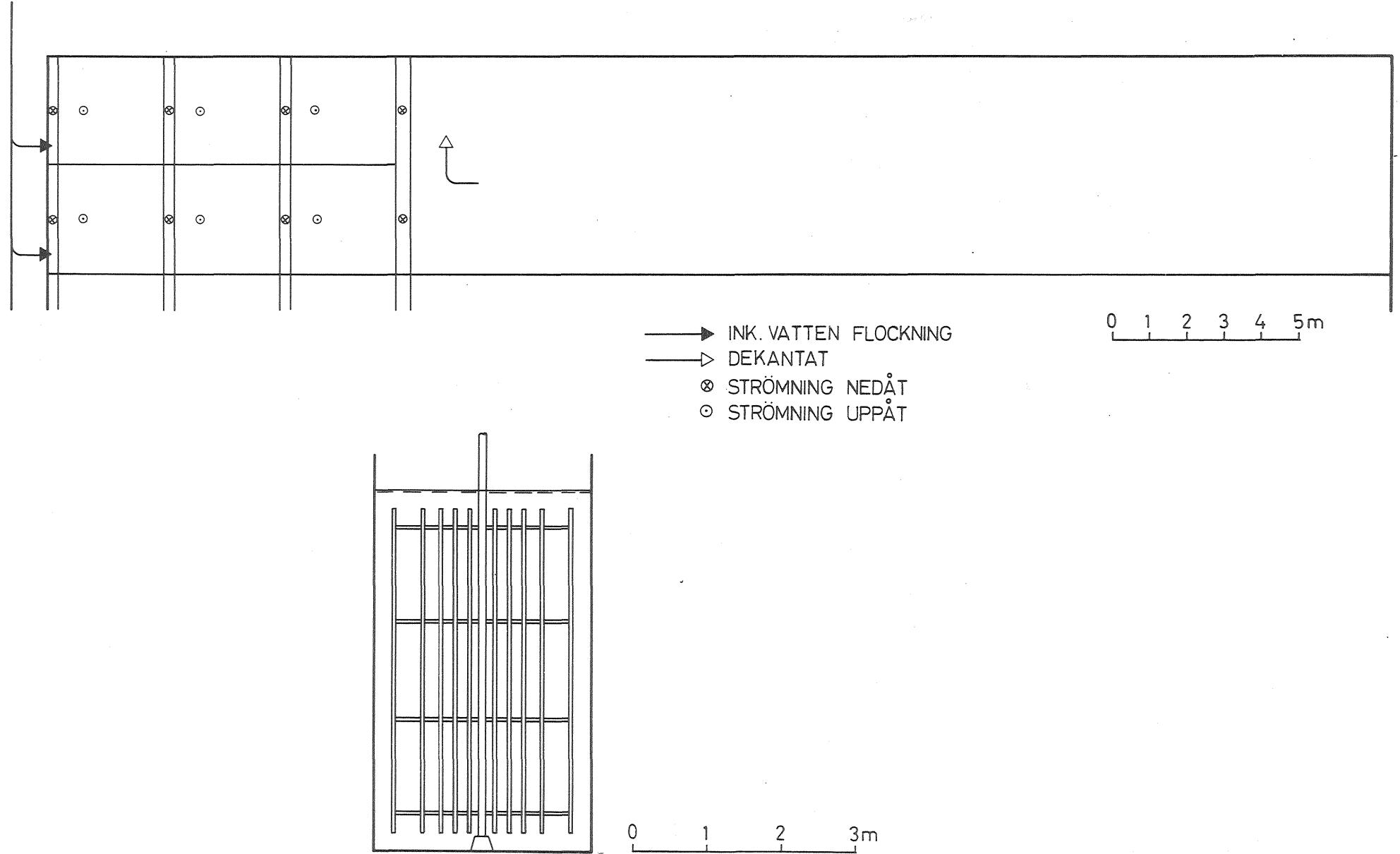
aluminiumsulfat: 40 g/m^3

koldioxid: ca 25 g/m^3

justering av fällningspH, kalk: ca 15 g/m^3

efterklorering före sandfilter

efteralkalisering, kalk: 16 g/m^3



Figur 2.1 Karlshamns vattenverk, flockningssystem 1 och 2.

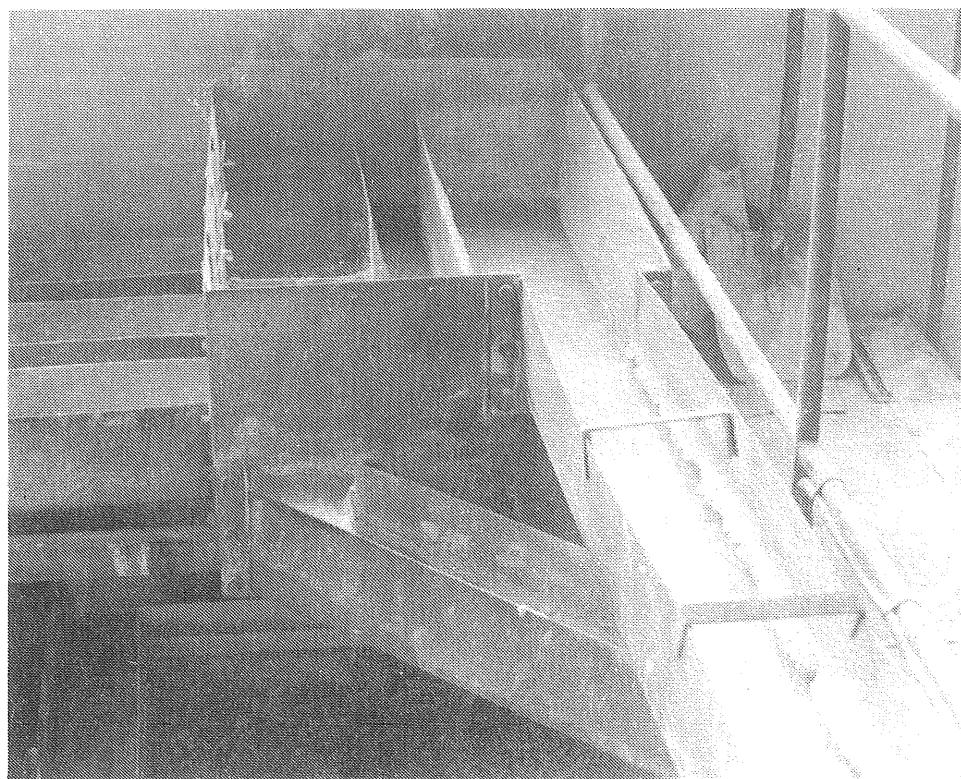
Dessa värden innebär vid medelflöde (räknat som dygnsmedelvärde) flocknings-tid: 148 min, ytbelastning sedimentering: 0.4 m/h och filtrerhastighet: 2.3 m/h. Slam töms i sedimenteringen varannan månad. Filtren spolas vid tryckförlusten 0.6-0.8 mvp. Gångtiden mellan filterspolningarna är normalt på vintern 7 dygn, på sommaren 6 dygn.

I fortsättningen gäller angivna värden endast de två besöksdygnen 19-20/3 1979.

2.2 Flöden, doseringar

Flödet genom verket var enligt råvattenmätaren konstant 200 l/s ($720 \text{ m}^3/\text{h}$), då verket var igång. System 7 och 8 med efterföljande sedimenteringseenhet var ej i drift vid besökstillfället. Saltförsök utfördes i system 1, 4 och 6, varvid erhölls följande flöden: 107, 114 resp $108 \text{ m}^3/\text{h}$.

Lösning av aluminiumsulfat bereds kontinuerligt. Enligt uppgift var den aktuella doseringen 40 g Al-sulfat/ m^3 . Koagulanten tillsätts tillsammans med kalk (kolsyran har tillsatts tidigare) i en inblandningsvolym gemensam för alla system.



2.3 Flockning

Ovan angivna flöden ger flockningstider för respektive system 1: 79 min, 4: 75 min samt system 6: 79 min. En momentan dos salt (i detta fall 3 kg NaCl) doserades till inloppen till flockningssystemen. Den från sista flockningstanken utgående saltkoncentrationen (mätt som ledningsförmåga) registrerades som funktion av tiden. Ju högre det maximalt registrerade koncentrationsvärdet är samt ju närmare detta är detta värde i tiden ligger den uträknade medeluppehållstiden, desto fördelaktigare är flödesbilden. Tidpunkten för maximal koncentration var ca 65-70 min. Den maximala saltkoncentrationen i utloppet i relation till medelhastigheten - dvs totala saltmängden utspädd i hela flockningsvolymen - $(C/C_0)_{\max}$ var ca 0.7. Flödesbilden är alltså relativt gynnsam trots det låga kammarantalet. De vertikala schakten i varje flockningstank har säkert gynnsam effekt.

Omrörarnas varvtal uppmättes och med hjälp av ritningar och vissa mätningar på platsen har effekttillförsel och \bar{G} -värdet uppskattats. Vattenmassans medrotation har antagits vara 40% av paddelhastigheten. I tabell 2-1 återfinns varvtal, beräknad effekttillförsel och \bar{G} -värdet samt periferihastighet. Den totala paddelarealets andel av minsta vertikala tankvärsnitt var ca 9%. För effekttillförseln erhölls uttrycket:

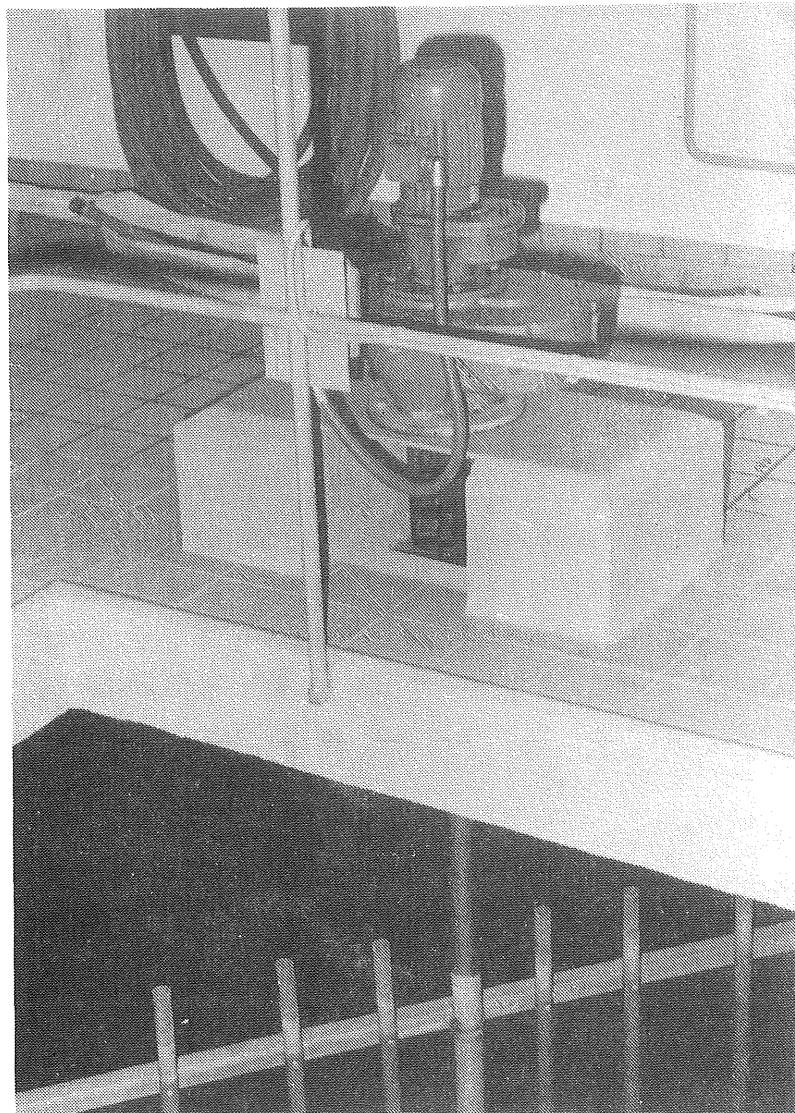
$$w \approx 1.2 \cdot 10^{-3} \cdot n^3 \quad \text{watt/m}^3$$

där n är varvtalet på omrörare (varv/min)

\bar{G} -värdet erhålls enligt:

$$\bar{G} = \sqrt{\frac{w}{\eta}} \quad 1/s$$

där η är vattnets viskositet, vid aktuell temperatur (2°C) gäller
 $\eta = 1.7 \cdot 10^{-3} \text{ Ns/m}^2$.



Tabell 2-1. Data för omrörare i flockningssystem.

Kammare nr	1	2	3
Varvtal, n varv/min	2.4	1.6	0.86
Effekttillförsel, w watt/m ³	0.017	0.005	0.0008
Medelhastigets- gradient, G, 1/s	3.2	1.7	0.7
Periferihastighet, m/s	0.30	0.20	0.11

Effekttillförseln är för låg i samtliga flockningstankar. Detta ger också utslag i flockens sjunkegenskaper. Resultat av sjunkanalyser återfinns i fig 2.4 t o m 2.7.

Tabell 2-2. Sjunkhastigheter

	Medelsjunkhastighet v_m , m/h	Spridning σ , m/h
19/3 1979		
Kammare 3, system 5	1.2	1.1
Kammare 2, system 5	0.6	0.5
20/3		
Kammare 3, system 3	1.3	0.9
Kammare 3, system 6	1.0	0.9

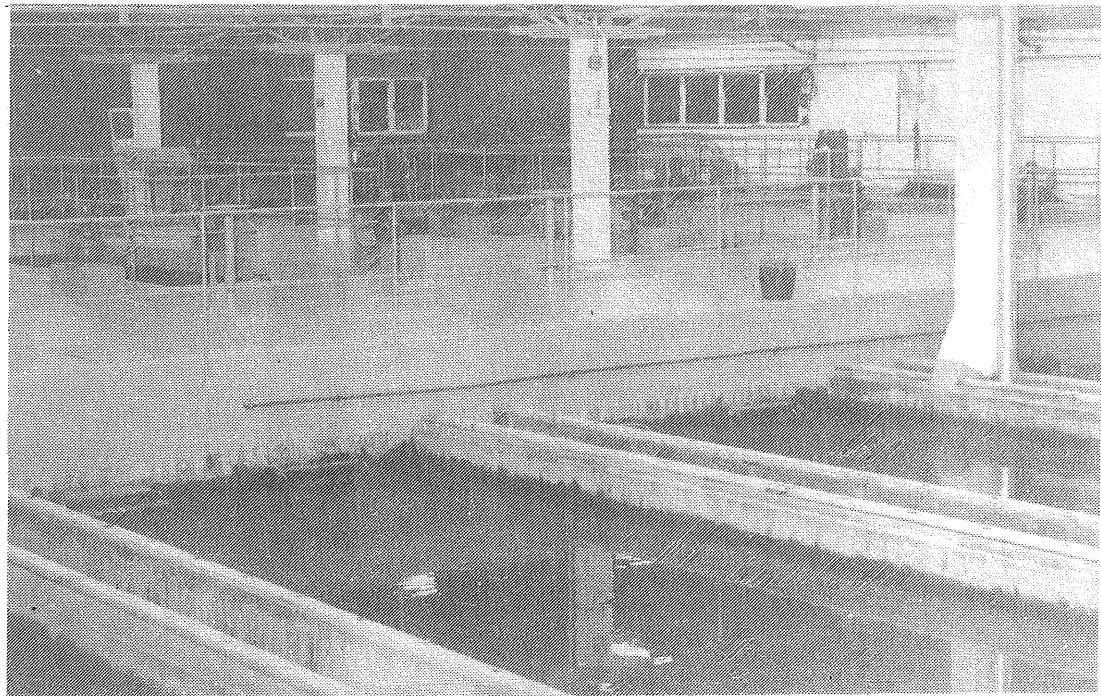
Flocksjunkegenskaperna är sämre än man kan förvänta sig med hänsyn till aktuell Al-sulfatdosering och att fällningspH av allt att döma hålls inom godtagbart intervall (ca pH 6.5). Detta beror sannolikt, som antyts ovan, på att omrörningsintensiteten i flockningstankarna är för låg. En ökning av effekttillförselet i samtliga flockningstankar skulle säkerligen ge flockar med sjunkegenskaper som uppfyller de krav som uppställdts i bilaga "Sjunkanalyser".

2.4 Sedimentering

Vid aktuella flöden är ytbelastningen, räknat på total sedimenteringsyta, ca 0.7 m/h. I fig 2.4 och 2.6 är sjunkanalyserna omräknade till sedimenteringsresultat vid varierande sedimenteringsbelastning. Härvid antas att sjunkhastighetsfördelningen är oförändrad, oberoende av sedimenteringsdjupet (i regel ökar dock sjunkhastigheten med ökat djup). Det praktiska sedimenteringsresultatet är också något bättre än vad sjunkanalysen förutsäger. Den kvarvarande mängden flock efter sedimentering var ca 16-19%.

2.5 Filtrering

Prov uttogs på filtrat vid två tillfällen, dels från relativt nyspolat filter och dels från det filter som stod i tur att spolas. Analysresultatet återfinns i tabell 2-3. Det nyspolade filtret uppvisar i båda fallen godtagbara värden. Däremot kan en tydlig förhöjning av både grumlighet och aluminiumrest konstateras hos det filter som haft en bruttogångtid längre än 5 dygn. Detta betyder att intervallet mellan filterspolningarna är för lång vid aktuell dekantatkvalitet.



2.6 Resultat av fällningsförsök

Fällningsförsök utfördes under standardiserade betingelser med aluminium-sulfatdoserna 30, 40 resp 50 mg/l. Fig 2.2 visar resultat efter filtrering som funktion av pH. Observeras bör att uppmätta pH-värden vid tillfället var något osäkra på grund av en dåligt fungerande pH-elektrod. I fig 2.3 har på grundval av fig 2.2 resultaten uttryckts som funktion av aluminium-sulfatdosen, dels vid "optimalt" fällningspH (6.2) och dels vid det pH som verket tillämpade (6.5). Som jämförelse har analysvärden för det bästa filtratet införts.

För att få ett godtagbart resultat har "erforderlig" aluminiumsulfatdos uträknats till 29.4 mg Al-sulfat/l. Lämpligt intervall för fällningspH: 6.1-6.5.

2.7 Sammanfattning, åtgärder

Fördelningen av flödet mellan systemen fungerar bra, att döma av saltförsök som utförts på tre flockningssystem.

Effekttillförselet i flockningstankarna är genomgående för låg. Lämpliga varvtal med hänsyn till aktuell omrörarutformning är i den första kammaren: 8 - 10 varv/min, i den andra: 5 varv/min samt i den tredje: 2-2.5 varv/min.

Filtergångtiden är vid aktuell dekantatkvalitet något för lång.

En mättlig dosering (ca 2 g/m³) aktiverad kiselsyra skulle också förbättra flockarnas sjunkhastighet, öka hållfastheten hos avsatt flock i filtren och ge jämnare filtratkvalitet. Dock ökar tryckförlusttillväxten samt dessutom får olägenheten med hantering av ytterligare en kemikalie vid verket övervägas.

Tabell 2-3. Analysresultat

Prov nr	pH	Grumlighet FTU	UV-absorbans E ₂₅₄ (4 cm)	Färgvärde E ₄₃₆ (4 cm)	Permanganat- tal, mg KMnO ₄ /l	mg Al ³⁺ /l
201	6.0	0.57	0.90	0.056	23.6	0.07
202	-	0.55	0.86	0.053	23.4	0.08
204	-	0.73	0.38	0.017	13.4	0.35
206	-	0.31	0.30	0.009	11.4	0.13
207	-	0.13	0.27	0.004	11.0	0.01
208	6.5	0.35	0.30	0.010	11.2	0.14
209	6.5	0.095	0.26	0.0045	11.2	0.01

Prov nr

201	Råvatten 19/3					
202	Råvatten 20/3					
204	Dekantat system 3 + 4	19/3	k1 18.00			<u>Bruttogångtid</u>
206	Filtrat filter 5	19/3	k1 18.00, spolat	14/3		5 h
207	Filtrat filter 6	19/3	k1 18.00	"	19/3	<1 dygn
208	Filtrat filter 4	20/3	k1 16.00	"	15/3	ca 5 dygn
209	Filtrat filter 5	20/3	k1 16.00	"	20/3	<1 dygn

Råvattnets alkalitet analyserades till 0.11 m ekv/l.

På grund av pH-mätarens otillförlitlighet togs ej pH-värde på alla prov. Enligt verkets pH-skrivare har fällningspH stadigt legat på pH ca 6.45. pH-värdet för prov nr 208 och 209 är uppmätta av verkets lab personal.

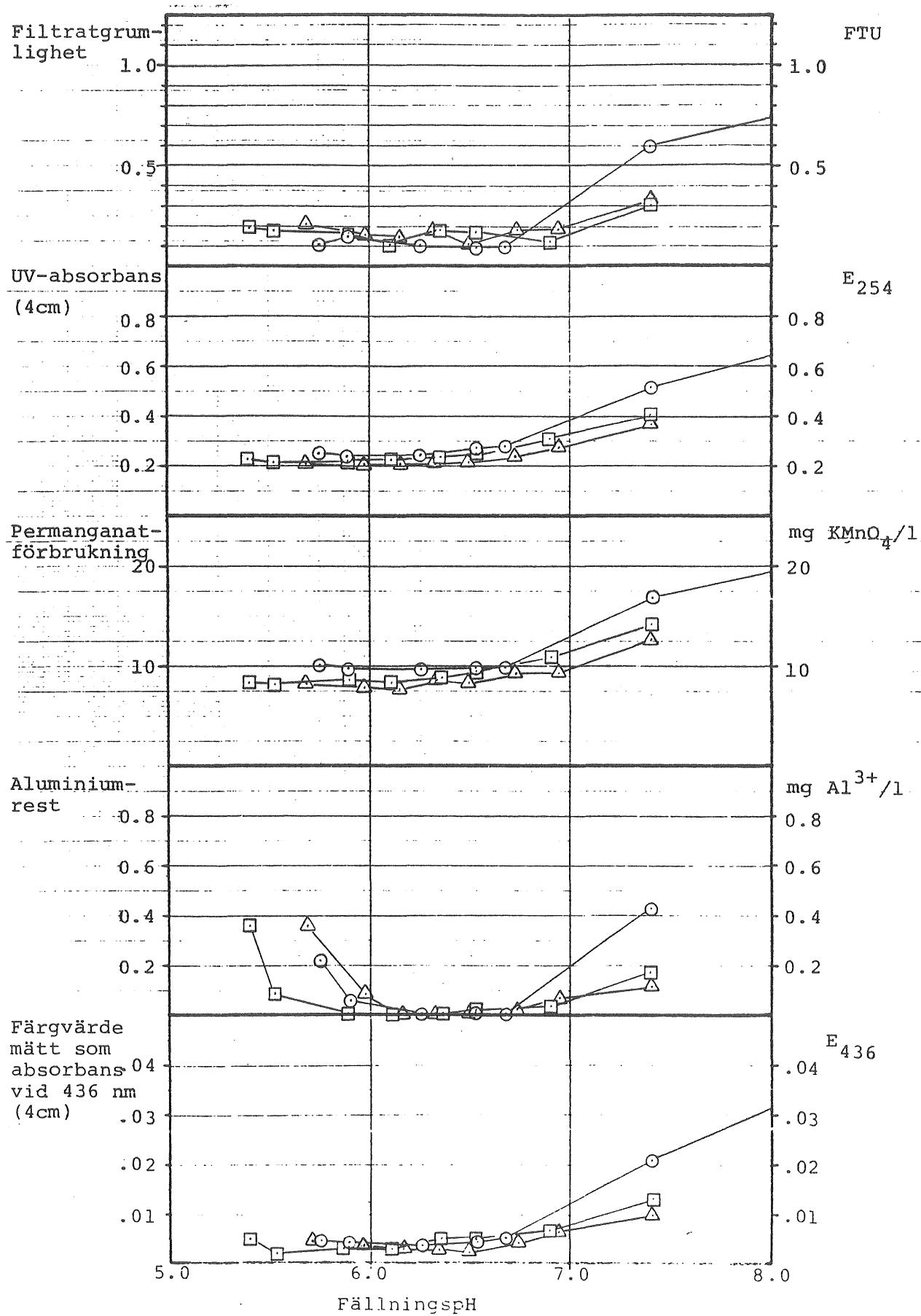
Figur 2.2

Karlshamn
19 -20/3 1979Resultat av fällningsförsök
Analysvärden efter filtreringAl-sulfat-
dosering, mg/l

○ 30

□ 40

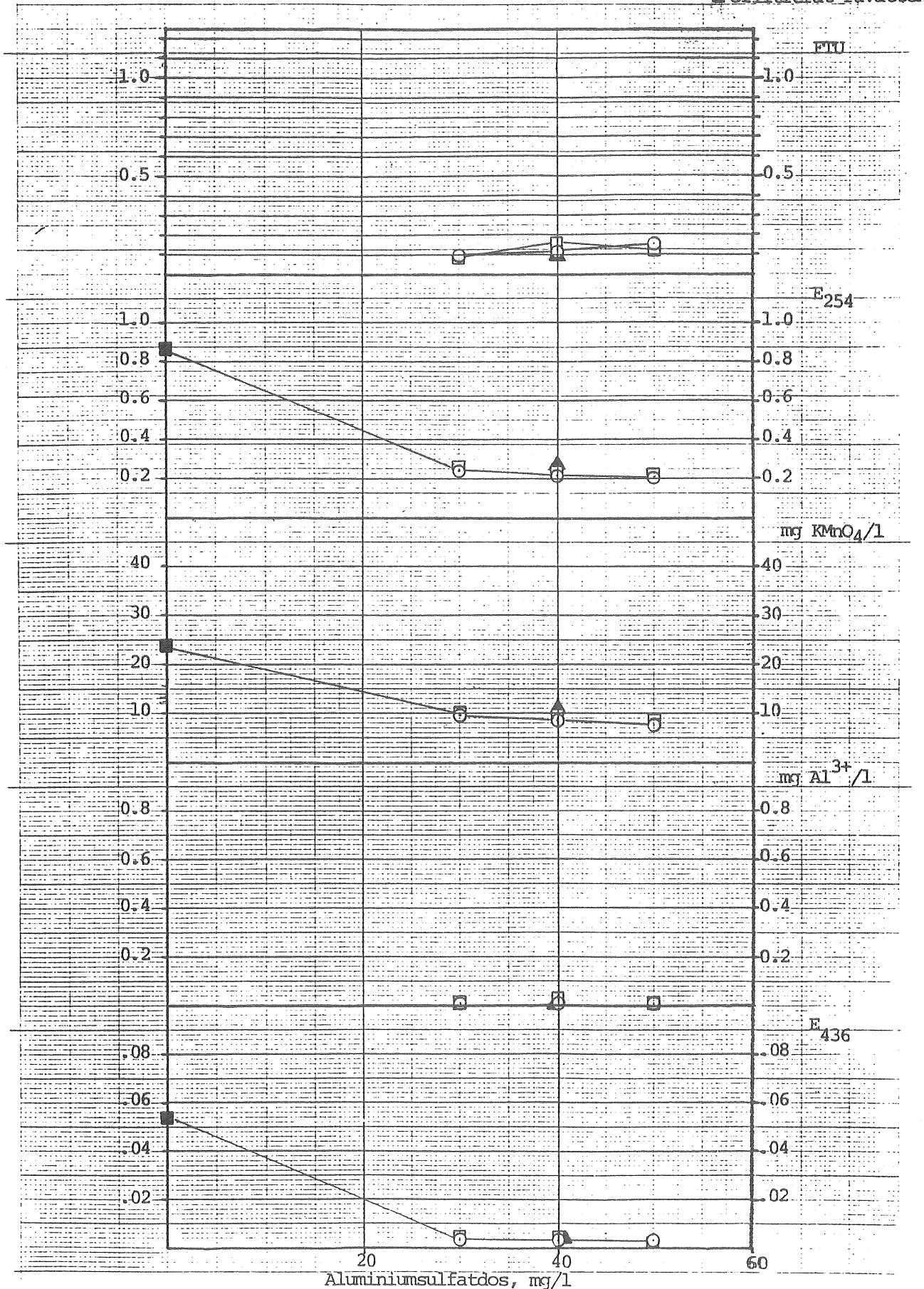
△ 50



Figur 2.3
Karlshamn

Resultat av fällningsförsök
som funktion av aluminiumsulfatdos.
Jämförelse med driftsresultat

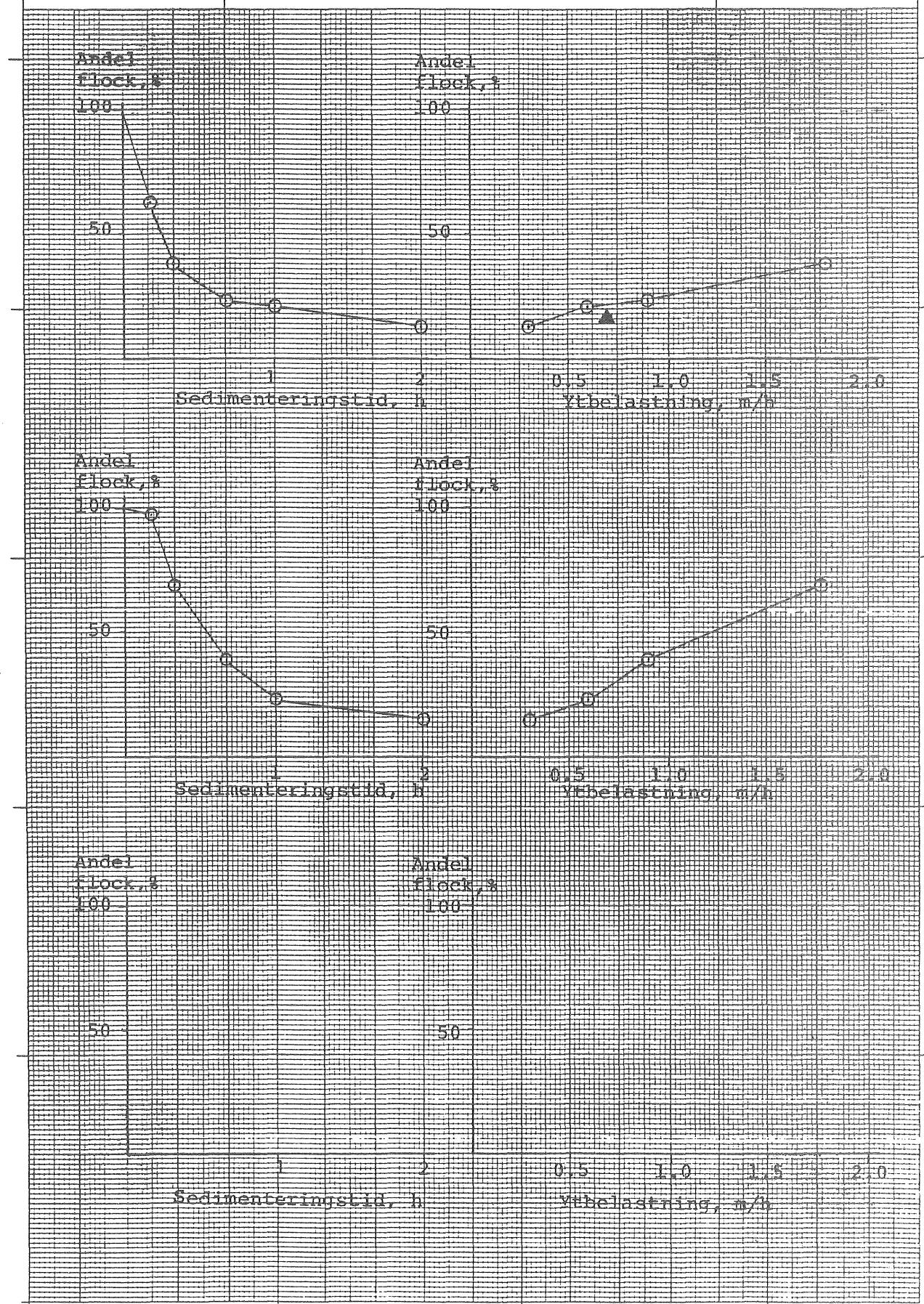
○ FällningspH 6.1
□ FällningspH 6.5
(verkets fällnpH)
▲ verkets driftres.
■ ofiltrerat råvatten



Figur 2.4
Karlshamn

Sjunkanalyser och jämförelse
med praktiskt sedimententerings-
resultat.

- System 5,kam 3
- System 5, kam 2
- ▲ driftresultat



Figur 2.5
Karlshamn

Utvärdering av sjunkanalyser

v_m

1.24

1.08

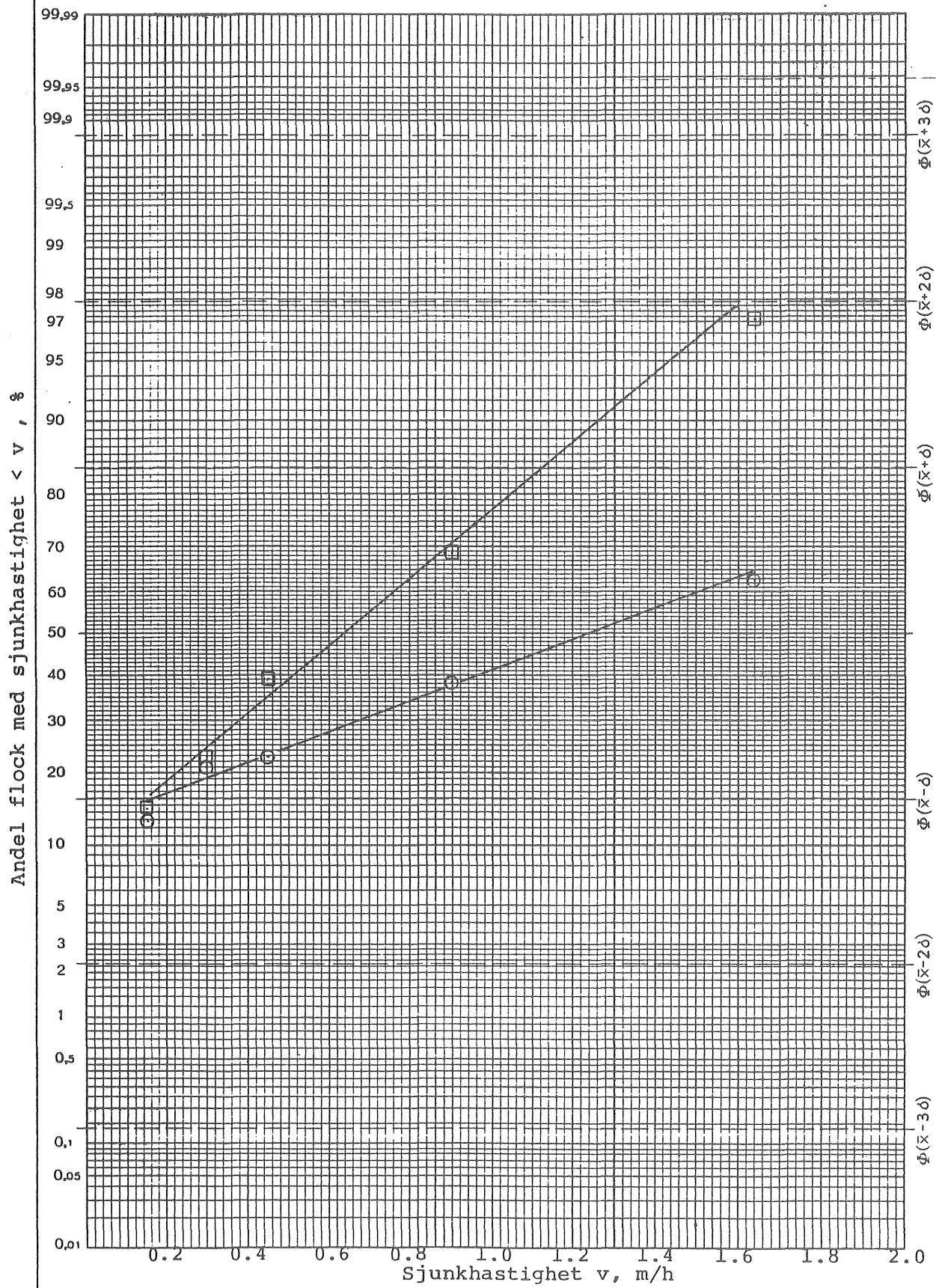
σ

0.64

0.50

○ System 5, kam 3

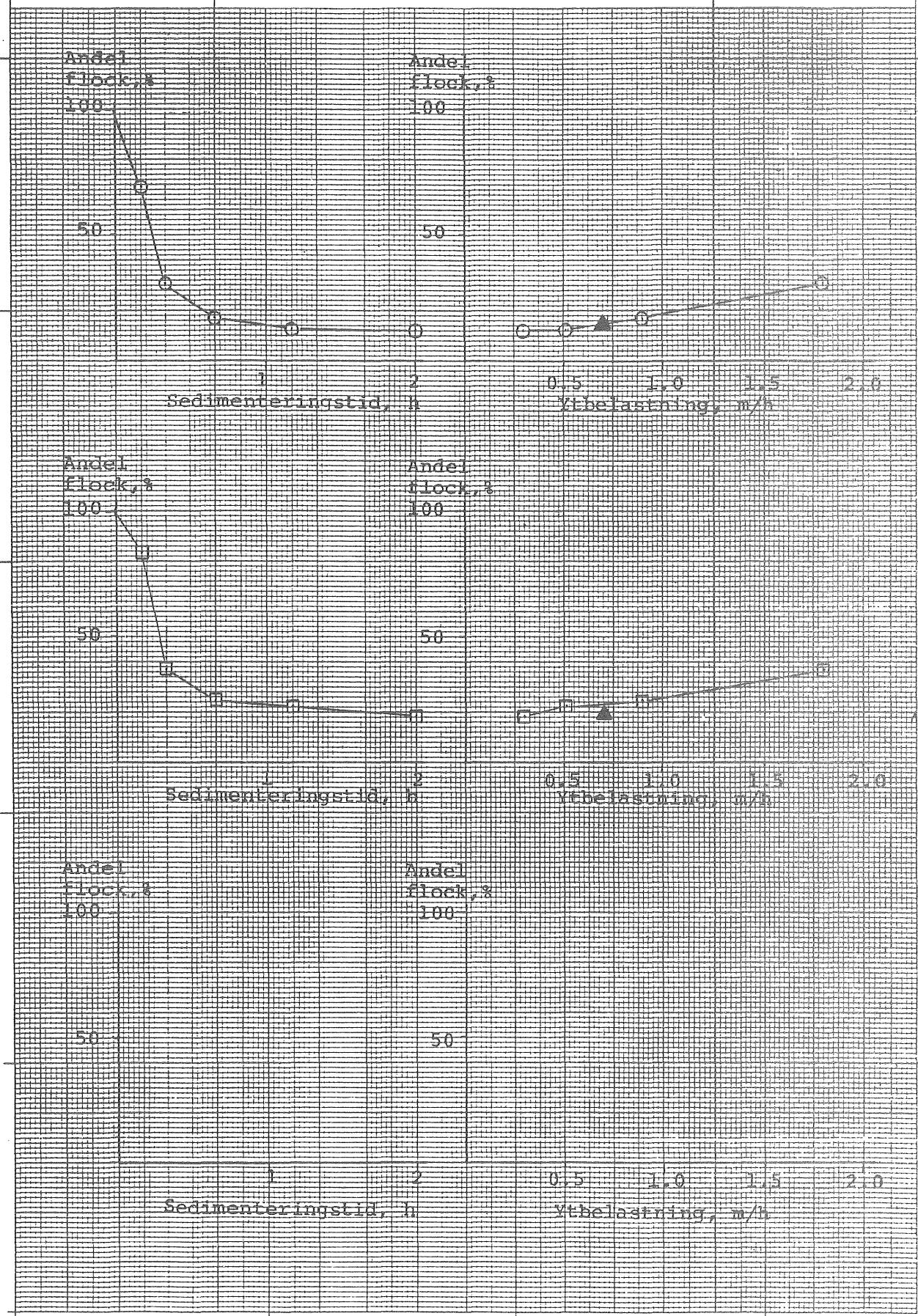
□ System 5, kam 2



Figur 2.6
Karlshamn

Sjunkanalyser och jämförelse
med praktiskt sedimentterings-
resultat.

○ System 3, kam 3
□ System 6, kam 6
▲ driftresultat



Figur 2.7
Karlshamn

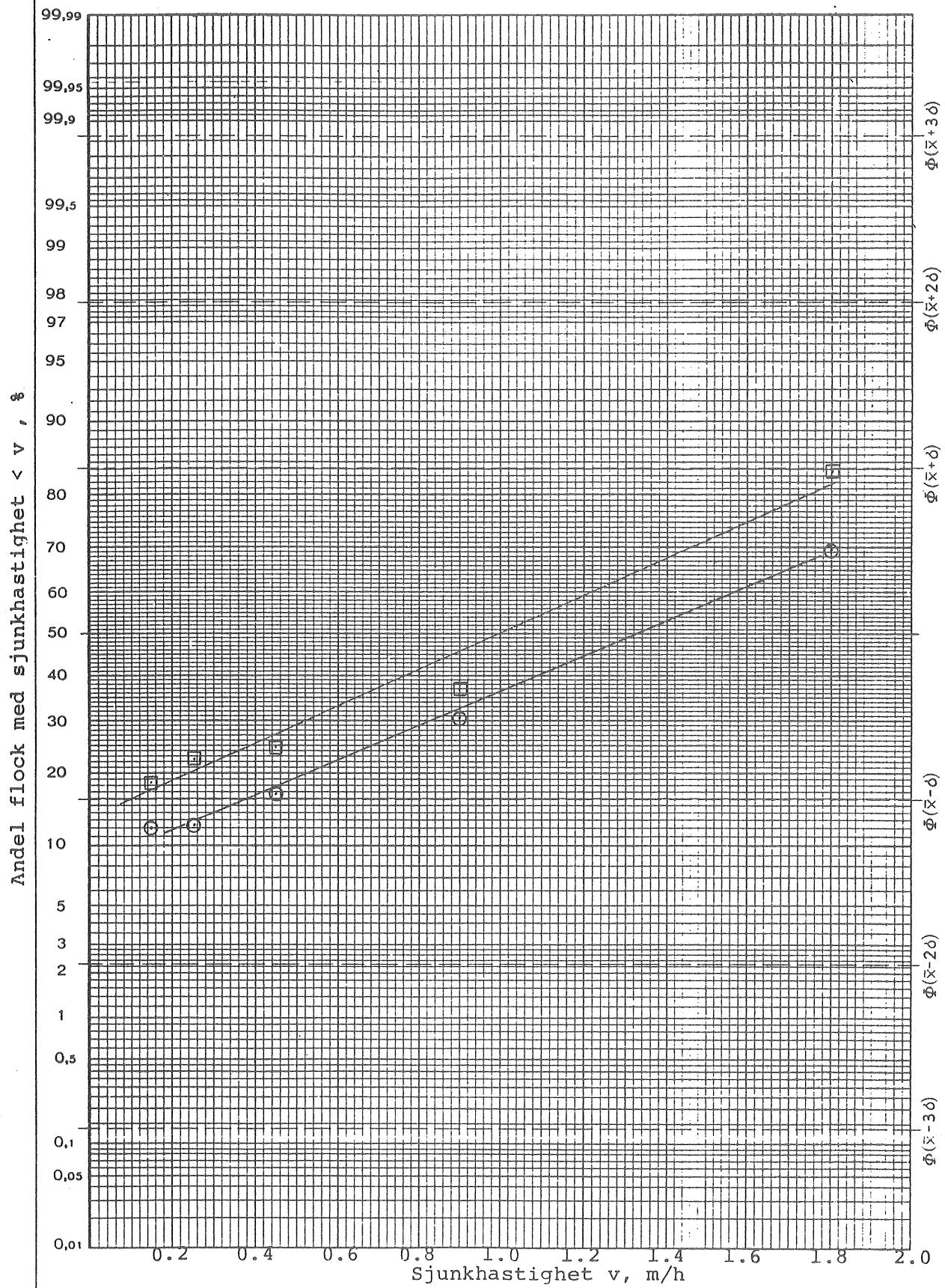
Utvärdering av sjunkanalyser v_m σ

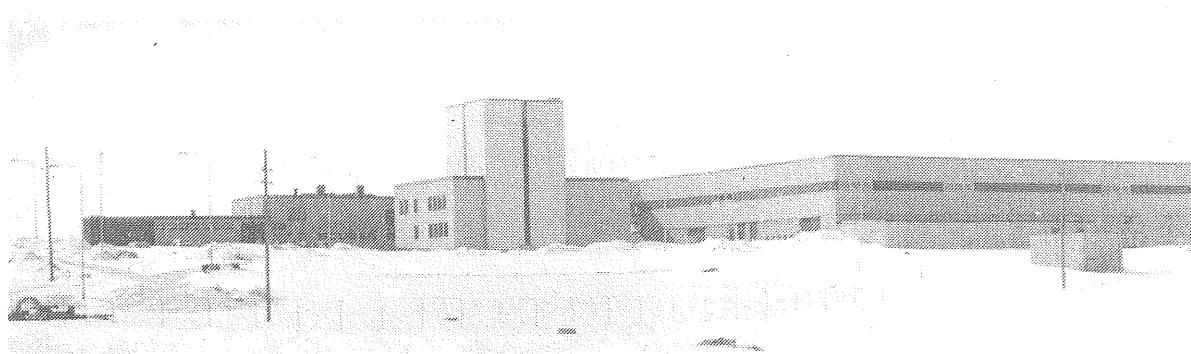
1.32 0.94

1.0 0.90

○ System 3, kam 3

□ System 6, kam 6





3.1 Beskrivning av verkets funktion

Verket har fyra parallella flockningssystem med efterföljande sedimentering. Varje system består av fyra flockningstankar. Total flockningsvolym: $792 \text{ m}^3/\text{system}$. Flockarna avskiljs genom lamellsedimentering. Varje flockningssystem försörjer åtta rader med lameller. Varje rad innehåller 119 st lameller med det horisontella lamellavståndet $s = 0.1 \text{ m}$, lamellbredd $B = 1.2 \text{ m}$ samt verksam lamellängd $L = 2.6 \text{ m}$.

Sandfilter: total yta 682 m^2 .

Angivna flöden och doseringar:

maxflöde: $78\ 000 \text{ m}^3/\text{d}$, medelflöde: $60\ 000 \text{ m}^3/\text{d}$

aluminiumsulfat: 58 g/m^3

justering av fällningspH med svavelsyra

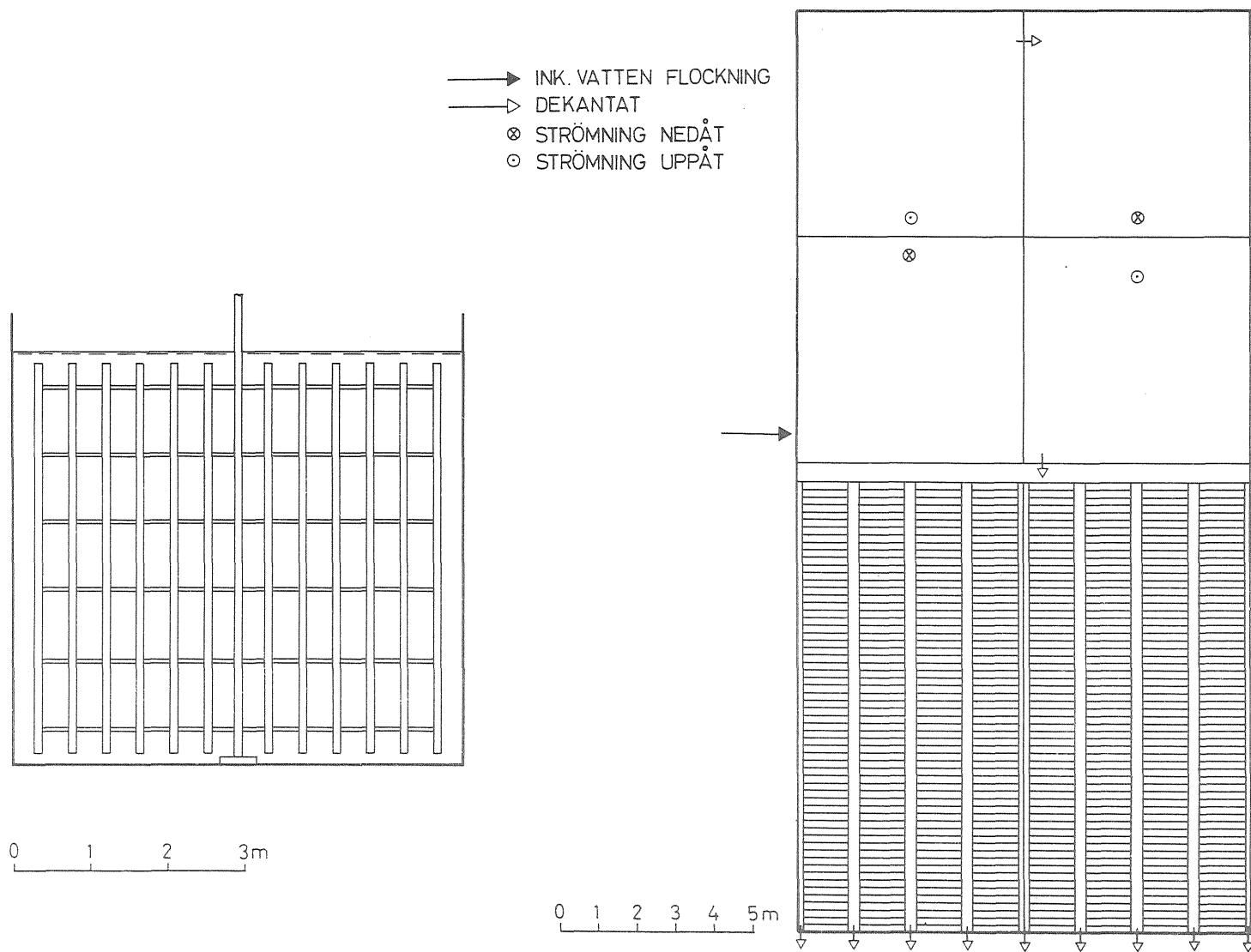
aktiverad kiselsyra: ca 5 g/m^3

efteralkalisering med kalk

efterklorering

Dessa värden innebär vid medelflöde flockningstid: 78 min, ytbelastning sedimentering (räknat på fri vattenyta): 11 m/h , räknat på total sedimenteringsyta: $0,7 \text{ m/h}$. Filterhastigheten är i normalfallet $3,7 \text{ m/h}$. Slam töms från slamfickor under lamellsedimenteringenhetens 11 ggr/dygn . Filten drivs till tryckförlusten $1,8 \text{ mvp}$. Tiden mellan filterspolningarna är normalt 20-40 h både på vintern och på sommaren.

I fortsättningen gäller angivna värden endast de två besöksdygnen 21-22/3 1979.



Figur 3.1 Ringsjöns vattenverk, flockningssystem 4.

3.2 Flöden, doseringar

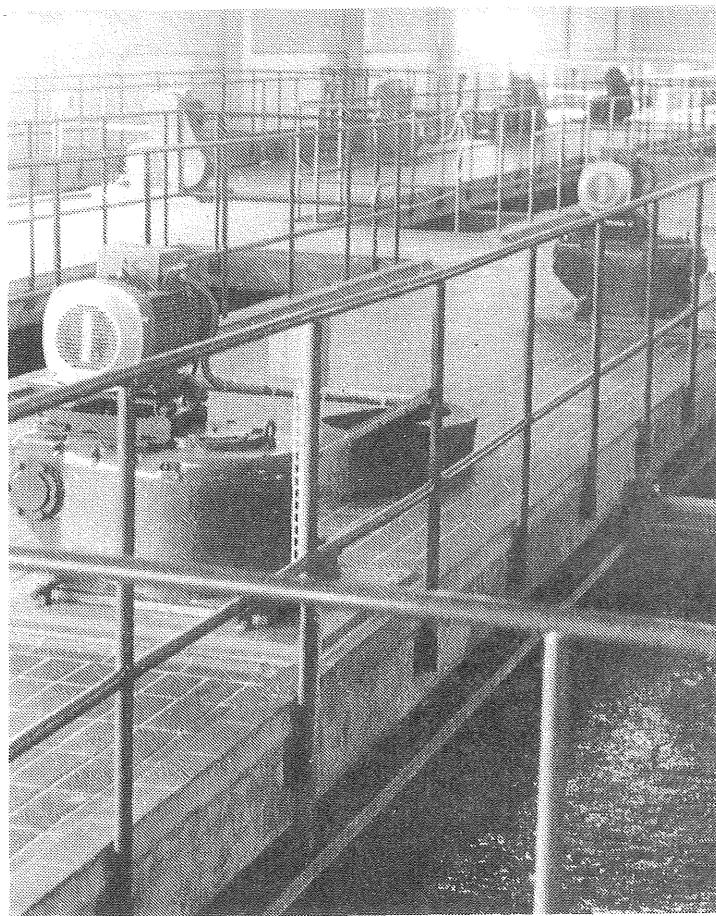
Undersökningen begränsades till flockningssystem 4 med efterföljande sedimentering samt de två filter (7 och 8) som i huvudsak försörjs med vatten från denna linje. Flödet genom linje 4 var enligt verkets vattenmätare vid besökstillfället konstant 175 l/s ($630 \text{ m}^3/\text{h}$). Det totala flödet genom verket var vid tillfället 700 l/s. Vid det saltförsöket som utfördes i system 4 erhölls flödet $666 \text{ m}^3/\text{h}$.

Flödet vid besökstillfället ligger alltså nära angivet medelflöde. Den bristande överensstämelsen mellan flödesmätningarna kan förklaras av dålig noggrannhet i utvärderingen av saltförsöket orsakad av en jämförelsevis hög ursprunglig ledningsförmåga hos det fällda vattnet.

Lösning av aluminiumsulfat bereds kontinuerligt. Enligt uppgift var den aktuella doseringen 70 g Al-sulfat/ m^3 . Koagulanten tillsätts tillsammans med svavelsyra i en blandningskammare gemensam för flockningssystemen.

3.3 Flockning

Ovan angivet flöde ger flockningstiden för system 4: 71 min. Saltförsöket antyder en relativt gynnsam flödesbild. En momentan dos salt (i detta



fall 6 kg NaCl) doserades till flockningssystemets inlopp. Den från sista flockningstanken utgående saltkoncentrationen (mätt som ledningsförmåga) registrerades som funktion av tiden. Ju högre det maximalt registrerade koncentrationsvärdet är samt ju närmare detta värde i tiden ligger den uträknade medeluppehållstiden, desto fördelaktigare är flödesbilden. Tidpunkten för maximal koncentration var ca 60 min. Den maximala saltkoncentrationen i utloppet i relation till medelhalten - dvs den totala saltmängden utspädd i hela flockningsvolymen - $(C/C_0)_{\max}$ var ca 1.1.

Omrörarnas varvtal uppmättes och med hjälp av ritningar och vissa mätningar på platsen har effekttillförsel och \bar{G} -värdet beräknats. Det måste understyrkas att de värden som erhållits endast ger en grov uppskattning. Vattnmassans médrotation har antagits vara 40% av paddelhastigheten. I tabell 3-1 återfinns varvtal, beräknad effekttillförsel och \bar{G} -värde samt periferihastighet. Paddelareans andel av minsta vertikala tankvärsnitt var ca 20%.

För effekttillförseln erhölls uttrycket:

$$w \approx 5.5 \cdot 10^{-2} \cdot n^3 \quad \text{watt/m}^3$$

där n är varvtalet på omrörare (varv/min)

\bar{G} -värdet erhålls enligt:

$$\bar{G} = \sqrt{\frac{w}{\eta}} \quad \text{1/s}$$

där η är vattnets viskositet, vid aktuell temperatur (3°C) gäller
 $\eta = 1.6 \cdot 10^{-3} \text{ Ns/m}^2$.

Tabell 3-1. Data för omrörare flockningssystem.

Kammare nr	1	2	3	4
LINJE 4				
Varvtal, n varv/min	1.6	1.6	1.0	0.52
Effekttillförsel, w watt/m^3	0.22	0.22	0.060	0.0077
Medelhastighetsgradient, \bar{G} , 1/s	11.6	11.6	6.1	2.2
Periferihastighet, m/s	0.44	0.44	0.29	0.14

Effekttillförseln är något låg i den första flockningstanken.

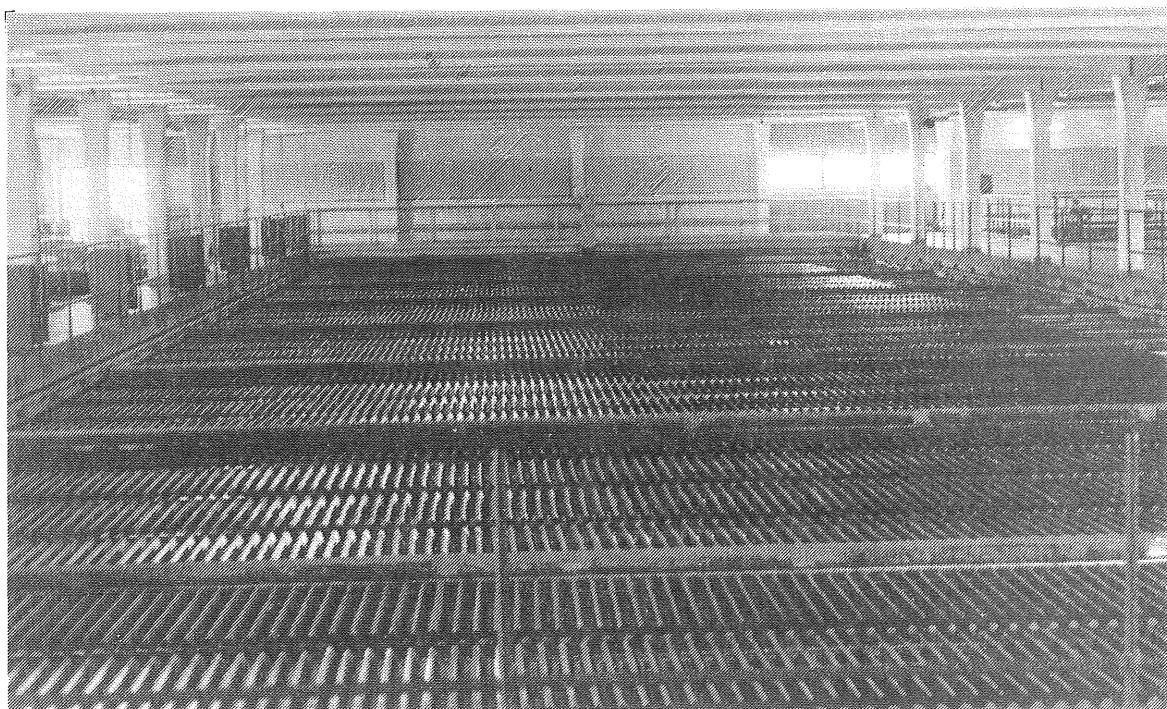
Flockens sjunkegenskaper här uppmätts. Resultat av sjunkanalyser återfinns i fig 3.4 och 3.5.

Tabell 3-2. Sjunkhastigheter

	Medelsjunkhastighet V_m , m/h	Spridning σ , m/h
Linje 4, kammar 4	4.5	2.7
Linje 4, kammar 2	3.2	2.1

Flocksjunkegenskaperna uppfyller med god marginal de krav som uppställdts i bilaga "Sjunkanalyser". Detta kan förklaras med en relativt lång flockningstid och rimlig effekttillförsel, hög aluminiumsulfatdosering (dock inte i relation till reduktion av organiskt material) samt en relativt hög dosering av aktiverad kiselsyra. Den senare tycks här verkligen fungera som ett flockningshjälpmittel.

FällningspH är dock något för högt om optimal reningseffekt sätts som kriterium. Uttagna dekantat- och filtratprov (se tabell 3-3) ger värden runt pH 7.0, vilket också verkets pH-mätare visade. FällningspH ligger på denna höga nivå för att i största möjliga mån förhindra bildandet av stora mängder fri kolsyra vid justering av fällningspH. Detta för att problem med betongkorrosion uppstått inom verket.



3.4 Sedimentering

Vid aktuellt flöde är ytbelastningen, räknat på lamellsedimenteringens fria vattenyta: 5,8 m/h, räknat på total sedimenteringsyta ca 0,35 m/h. I fig 3.4 är sjunkanalyserna omräknade till sedimenteringsresultat vid varierande sedimenteringsbelastning. Som jämförelse är det verkliga resultatet inritat. Härvid antas att sjunkhastighetsfördelningen är oförändrad, oberoende av sedimenteringsdjupet (i regel ökar dock sjunkhastigheten med ökat djup). När det gäller lamellsedimentering är det verkliga sedimenteringsdjupet (här ca 15 cm) mindre än sjunkanalysens 0,3, Det praktiska sedimenteringsresultatet visar också något sämre värden än det resultatet sjunkanalysen förutsäger. Ca 13% av flocken är kvar i vattnet efter lamellsedimenteringsenheten. Dekantatprovet är uttaget i samlingsrännan före inlopp till filter. Att ett sämre sedimenteringsresultat erhålls än det som teoretiskt kan förväntas kan också förklaras med den relativt långa raden av lameller, vilken kan ge svårigheter i fördelning av inkommande vatten och ge upphov till sekundärströmmar som för med sig slam till de längst bort belägna lamellfacken.

3.5 Filtrering

Prov uttogs från två filter, dels från ett relativt nyspolat samt från ett filter med ca 12 h gångtid. Analysresultatet återfinns i tabell 3-3. Inga märkbara skillnader kan konstateras i filtratkvaliteten. Filtratkvaliteten övervakades kontinuerligt på verket med hjälp av grumlighetsmätning. Enligt datautskrift var vid provtagningstillfället grumligheten för filter 7: 6.2, för filter 8: 7.2 grumlighetsenheter.

3.6 Resultat av fällningsförsök

Fällningsförsök utfördes under standardiserade betingelser med aluminiumsulfatdoserna 40, 55 resp 70 mg/l. Fig 3.2 visar resultat efter filtrering som funktion av pH. Svårigheter uppkom vid grumlighetsmätning, p g a stor tendens till luftutfällning i proven. I fig 3.3 har på grundval av fig 3.2 resultatet uttryckts som funktion av aluminiumsulfatdosen, dels vid "optimalt" fällningspH (6.2) och dels vid det pH som verket tillämpade (7.0). Som jämförelse har analysvärden för verkets filtrat införts.

"Erforderlig" aluminiumsulfatdos har beräknats enligt bilaga "Fällningsförsök". Härvid erhölls 83.6 mg Al-sulfat/l. Det bör observeras att detta värde innebär en dosering som är högre än vad som tillämpats vid fällningsförsöken. Det är främst reduktionen av organiskt material som medför detta, jämfört med verkets tillämpade dosering, relativt höga värde. Ur kvalitetssynpunkt lämpligt intervall för fällningspH: 6.1-6.4.

3.7 Sammanfattning, åtgärder

Verket fungerar väl i alla här undersökta avseenden, kanske främst beroende på ett omfattande övervakningssystem. Reduktionen av organiskt material, mätt som permanganatförbrukning eller E_{254} skulle kunna ökas betydligt om fällningen utfördes vid ett ur reningspunkt gynnsammare fällningspH.

Effekttillförseln är något låg i den första flockningstanken. Trots att flockarnas sjunkegenskaper är utomordentliga skulle förmodligen en ytterligare förbättring erhållas om varvtalet här ökades med 50-100 %. Tänkbart är dock att beräkningen av effekttillförseln i den första flockningstanken är något missvisande på grund av att inkommende flödet (genom vertikalt rör i botten) tydligt påverkar strömningbilden. Vattenmassans medrotation borde härvid bli något lägre än antaget värde (40 % av paddelhastigheten) och därmed effekttillförseln något högre än uppskattat. Osäkerheten är dock av en sådan storleksordning att en förändring av varvtalet ändå torde vara motiverad.

Avvikelsen mellan det sedimenteringsresultat som sjunkanalysen förutsäger och det praktiskt erhållna resultatet är av sådan storlek att det förmögligen skulle löna sig att kontrollera och förbättraströmningsbilden i lamell-sedimenteringseenheten.

Vid verket förekom vid besökstillfället försök med pH-justering av aluminiumsulfatlösningen till pH 4.0 före dosering. Det är intressant att konstatera att jämfört med verkets driftresultat erhålls i stort sett identiskt resultat med fällningsförsökens konventionella förfarande (se fig 3.3).

Tabell 3-3. Analysresultat

Prov nr	pH	Grumlighet FTU	UV-absorbans $E_{254}(4\text{ cm})$	Färgvärde $E_{436}(4\text{ cm})$	Permanganat- tal, mg $\text{KMnO}_4/1$	mg $\text{Al}^{3+}/1$
301	7.6	1.1	0.93	0.054	35.2	0.03
302	-	1.1	0.99	0.051	35.2	0.02
304	7.1	0.60	0.49	0.016	17.1	0.40
306	7.2	0.15	0.41	0.009	14.3	<0.01
307	7.0	0.12	0.41	0.009	14.6	0.05

Prov nr

- 301 Råvatten 21/3
 302 Råvatten 22/3
 304 Dekantat system 4, samlingsränna 22/3 kl 18.00
 306 Filtrat filter 7, 22/2 kl 18.00 spolat kl 05.36 22/3 gångtid 12.5 h
 307 Filtrat filter 8 spolat kl 19.19 22/3 gångtid 1.5 h

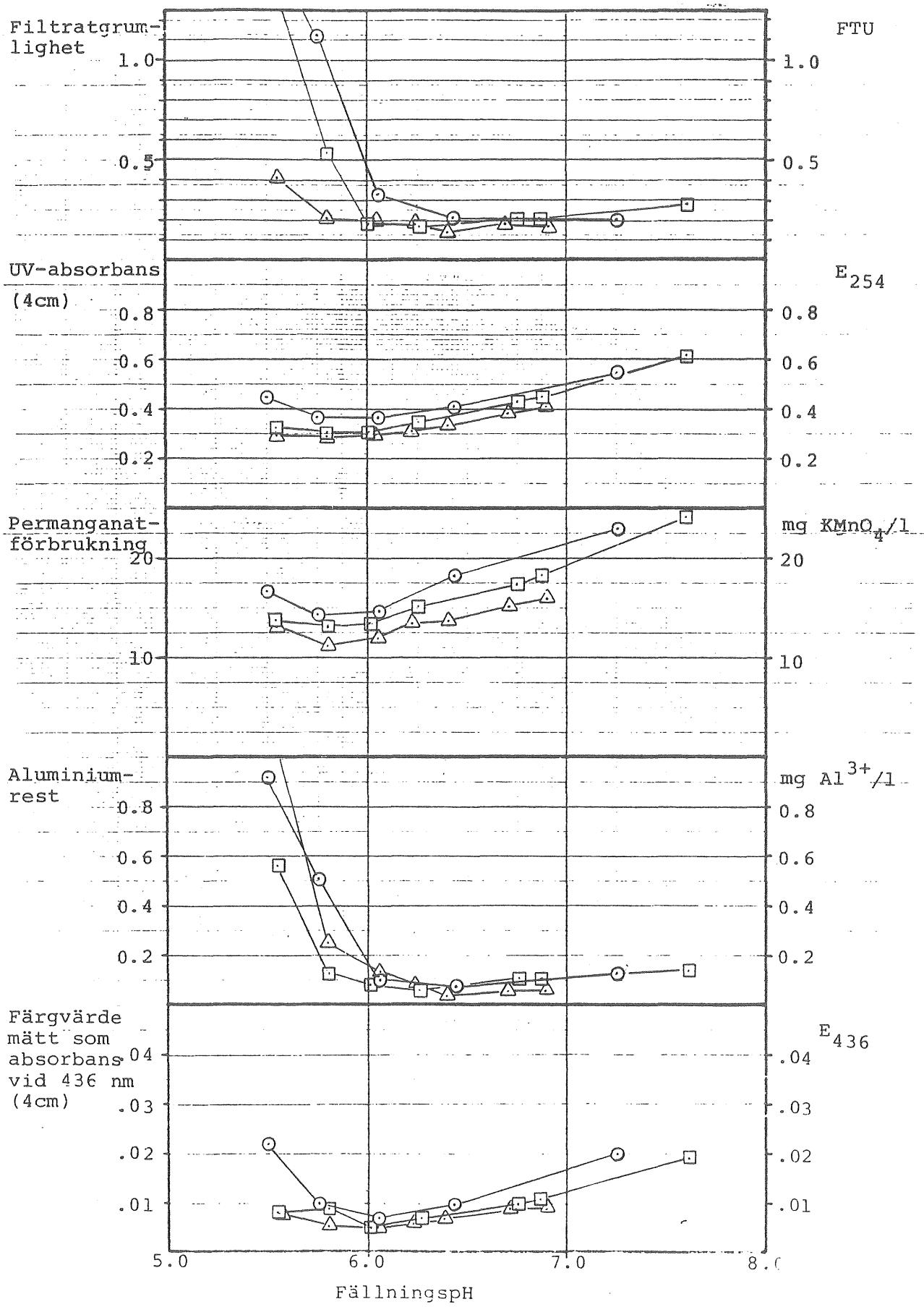
Råvattnets alkalitet analyserades till 1.76 m ekv/l.

Figur 3.2

Ringsjöverket
21-22/3 1979

Resultat av fällningsförsök
Analysvärden efter filtrering

Al-sulfat-
dosering, mg/l
○ 40
□ 55
△ 70

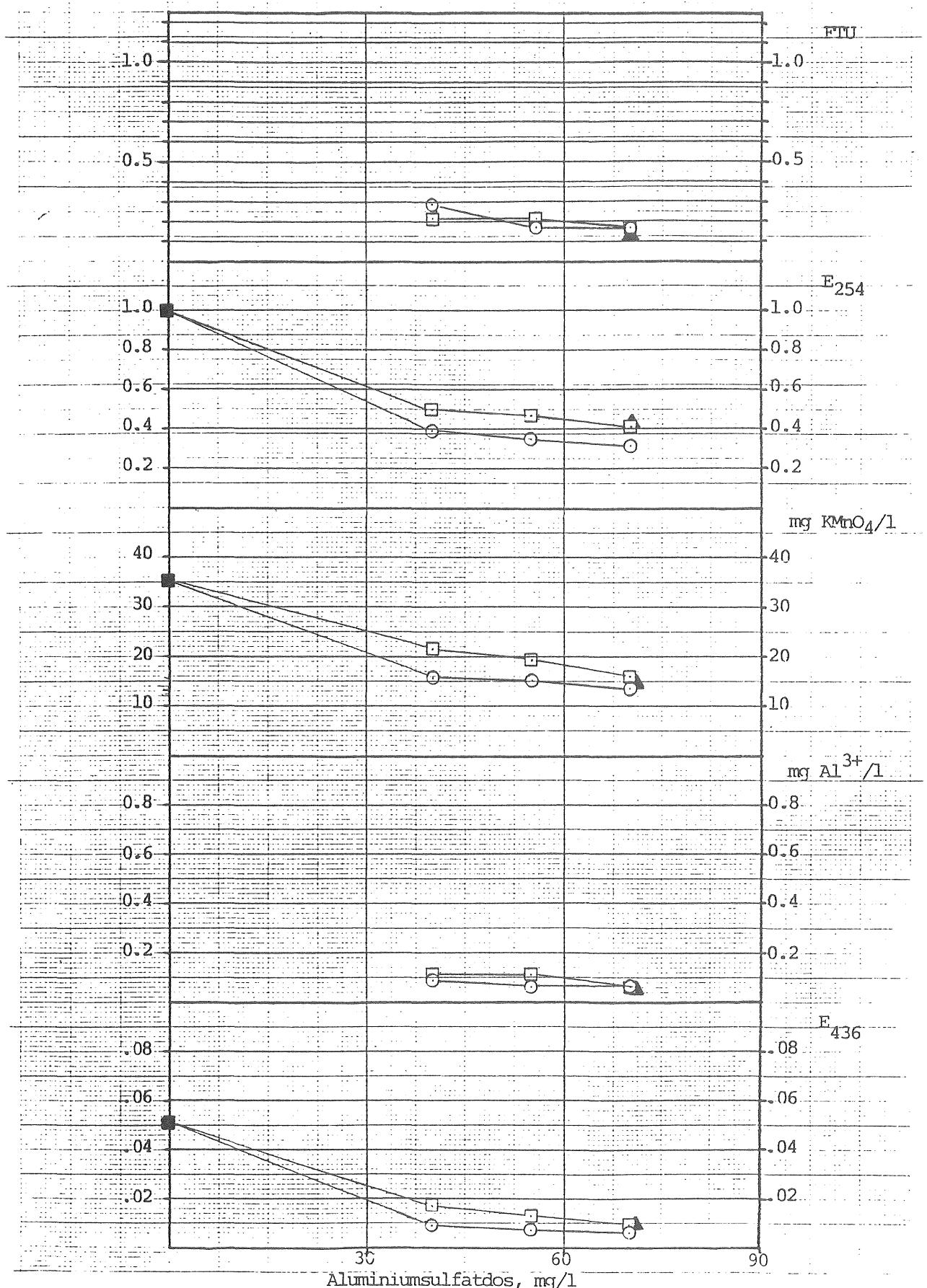


Figur 3.3
Ringsjöverket

Resultat av fällningsförsök
som funktion av aluminiumsulfatdos.

Jämförelse med driftsresultat

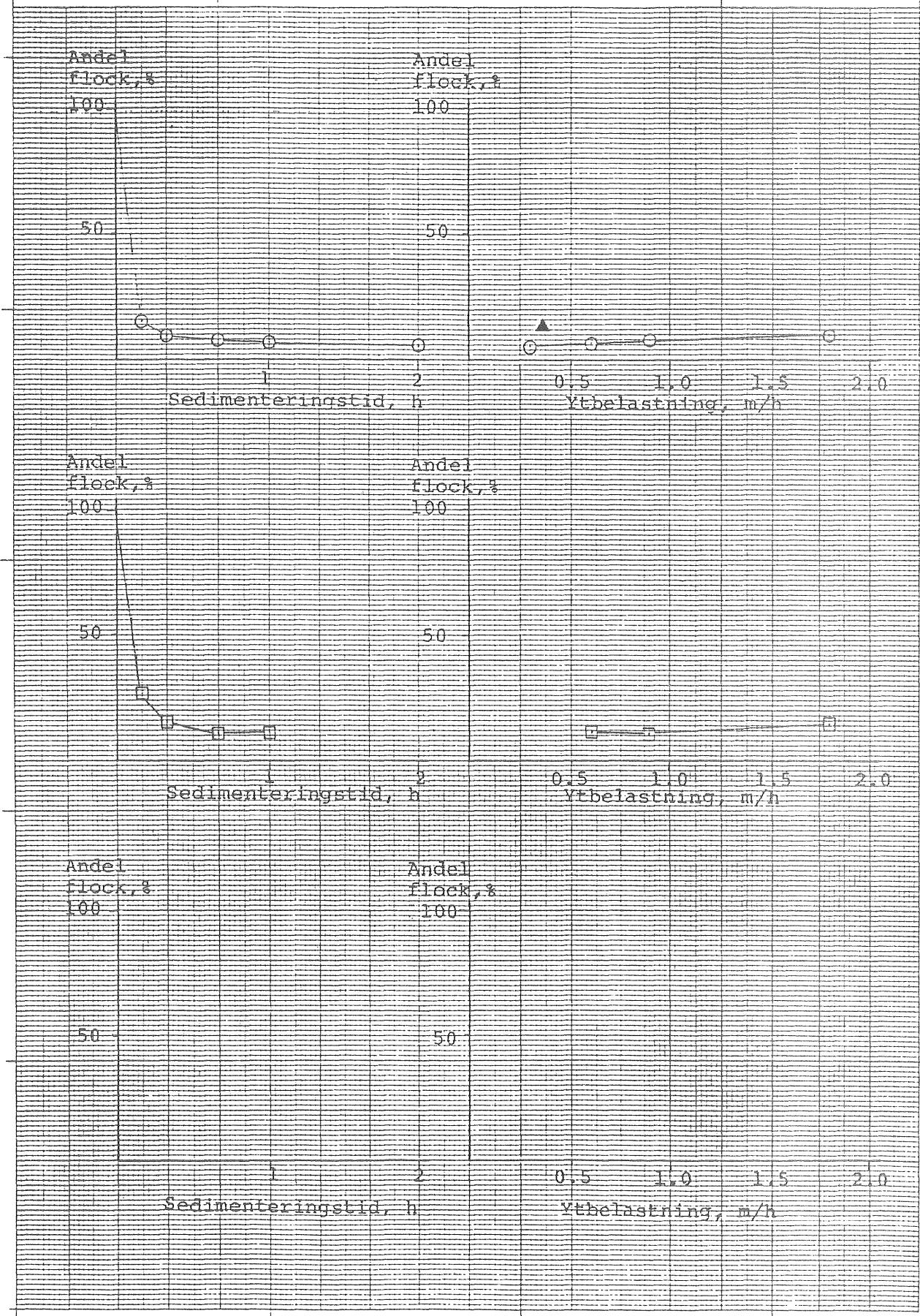
- FällningspH 6.2
- FällningspH 7.0
(verkets fällnpH)
- ▲ verkets driftres.
- ofiltrerat råvatten



Figur 3.4.
Ringsjöverket

Sjunkanalyser och jämförelse
med praktiskt sedimenterings-
resultat.

- System 4, kam 4
- System 4, kam 2
- ▲ driftresultat



Figur 3.5
Ringsjöverket

Utvärdering av sjunkanalyser

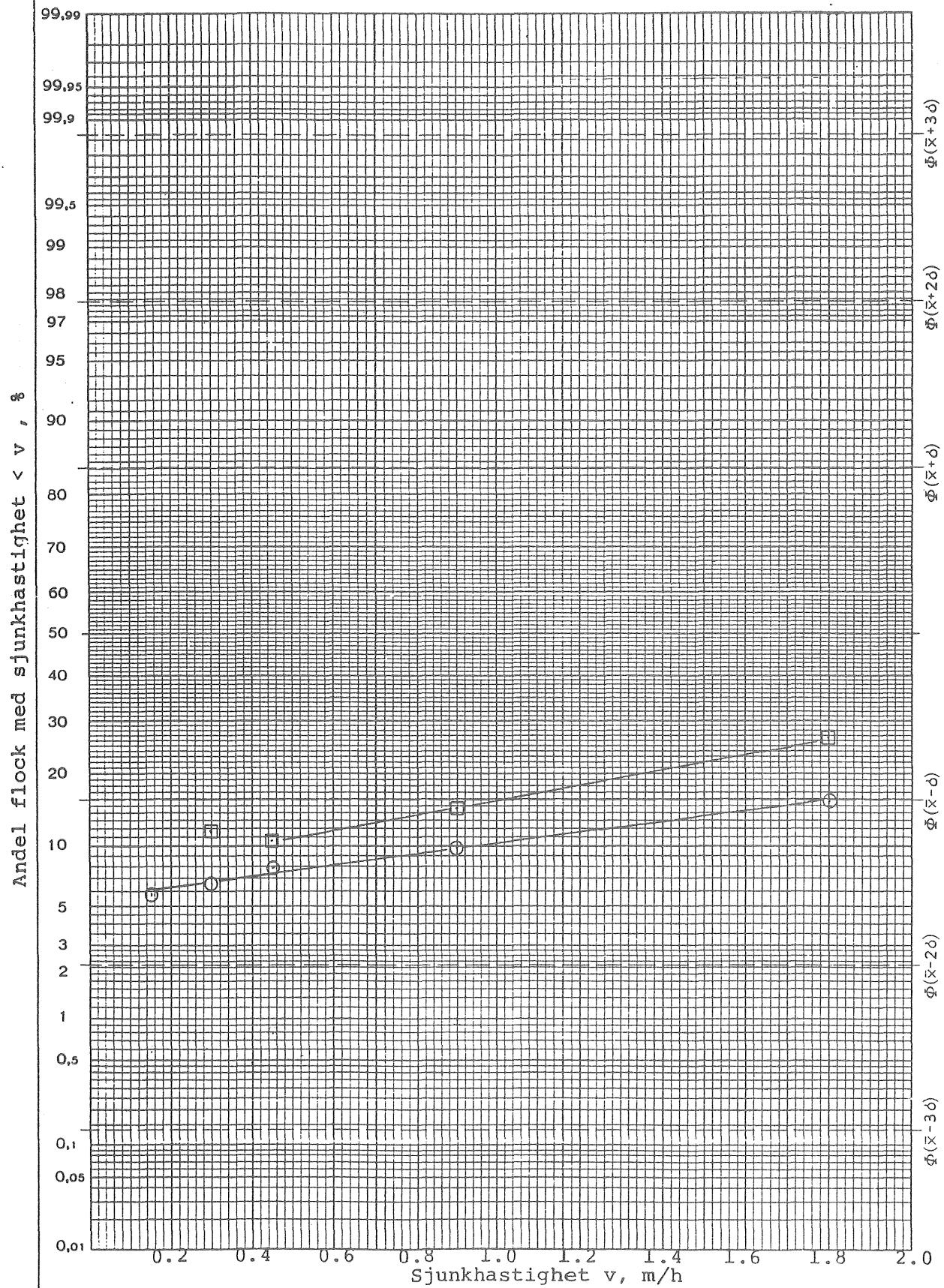
v_m σ

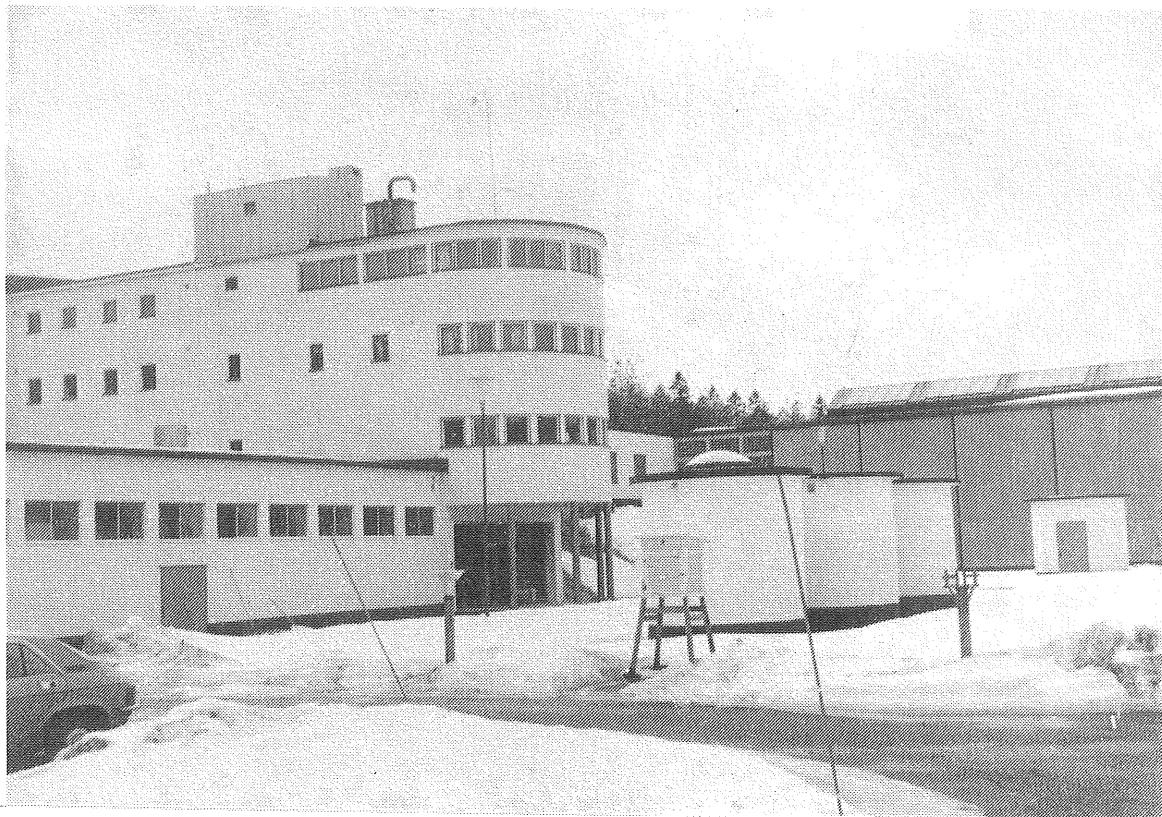
4.5 2.7

3.2 2.1

○ System 4, kam 4

□ System 4, kam 2



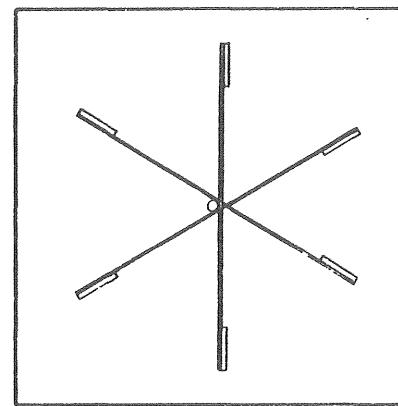
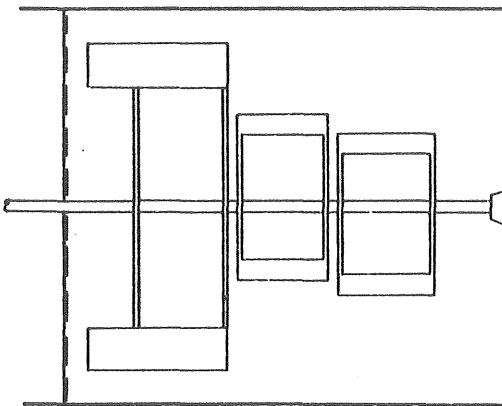


4.1 Beskrivning av verkets funktion

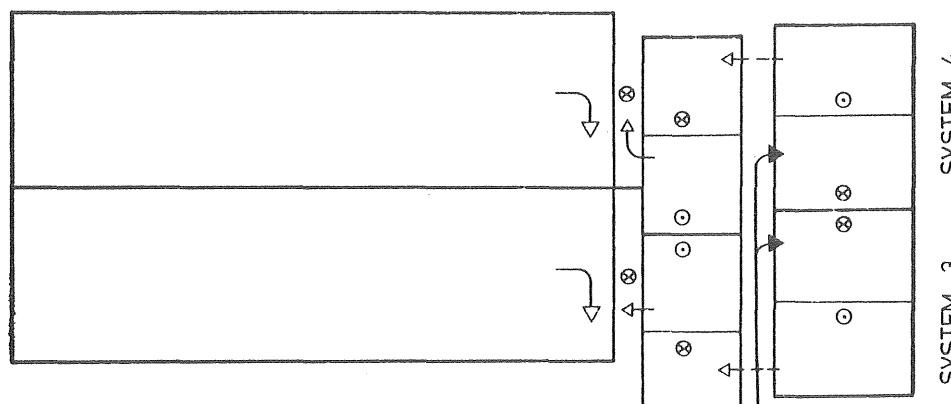
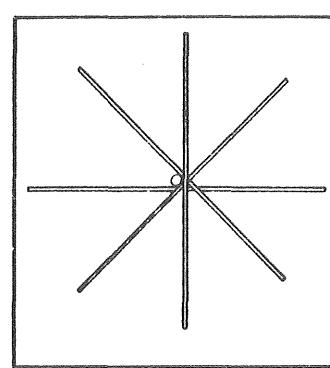
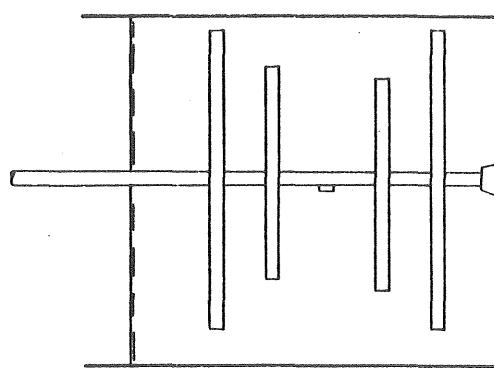
Verket har fyra parallella flockningssystem med efterföljande sedimentering. System 1 och 2 har fem flockningstankar, system 3 och 4 har fyra. Flockningsvolymen i system 1, 2, 3 och 4 är 246, 246, 302 resp 322 m^3 . Sedimenteringen består av s k Lovö-bassänger (2 bottnar, fram- och återgående vattenflöde) med total sedimenteringsyta $375 \text{ m}^2/\text{system}$ för system 1 och 2, $390 \text{ m}^2/\text{system}$ för system 3 och 4.

Omrörarna i flockningstankarna har en rad olika utformningar. De två huvudtyperna illustreras i fig 4.1.

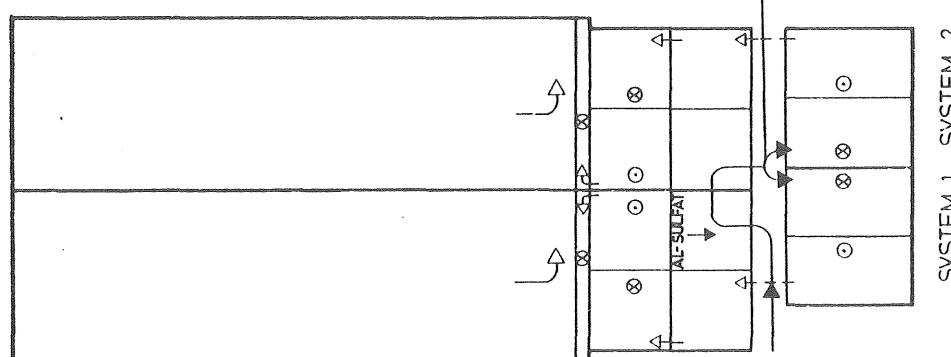
Sandfiltren har en total yta av 240 m^2 .



0 1 2 3m



0 2 4 6 8 10m



Figur 4.1 Borås vattenverk

Angivna flöden och doseringar:

maxflöde (1979): $29\ 000\ m^3/dygn$, medelflöde: $24\ 000\ m^3/dygn$

förförklorering

aluminiumsulfat: $36\ g/m^3$

tidvis doseras pH-justerande kemikalie (kalk), aktiverad kiselsyra
samt aktivt kol i pulverform

efteralkalisering sker med kalk

desinfektion med ammoniak och klor

Dessa värden innebär vid medelflöde flockningstid: 72 min, ytbelastning sedimentering: 0.7 m/h och filtrerhastighet 4.2 m/h. Slam töms i sedimenteringen var tredje vecka. Filten drivs med fast tidsintervall: 100 h eller maximal tryckförlust 1,0 mvp, beroende på vilket värde som uppnås först.

I fortsättningen gäller angivna värden endast de två besöksdygna 26-27/3 1979 samt kompletterande mätningar 26/11 1979.

4.2 Flöden, doseringar

Flödet genom verket var enligt verkets råvattenmätare konstant 280 l/s.

Kompletterande saltförsök utfördes den 26/11 1979. Verkets råvattenmätare visade då 250 l/s. Vid denna tidpunkt erhölls enligt saltförsöket totalflödet $928\ m^3/h$ ($258\ l/s$) fördelat på respektive system 1, 2, 3 och 4 enligt: 217, 194, 254 resp $263\ m^3/h$. Försöken visar att flödet kan skilja upp till 35% mellan systemen. Mellan besökstillfällena i mars respektive november 1979 har samtliga system varit tömda för rengöring. Det är därför osäkert om den uppmätta flödesfördelningen bibehållits sedan mars 1979.

I fortsättningen antas därför flödet fördelat jämnt på de fyra systemen.

Saltförsöket får tas som ett mått på hur ojämnn flödesfördelningen kan vara.

Lösning av aluminiumsulfat bereds kontinuerligt. Vid försöken utfördes ingen mätning av doserad mängd Al-sulfat. Den angivna doseringen kan emellertid kontrolleras på ett annat sätt. I bilaga "Fällningsförsök" återfinns ett diagram där värden på kvoten $(L-A)/B$ kan erhållas som funktion av råvattnets pH-värde (pH_0) samt fällningspH (pH_s). B är råvattnets alkalitet, i detta fall 0.62 m ekv/l . L är doserad mängd pH-justerande kemikalie, i detta fall $= 0$. A är aluminiumsulfatdoseringen uttryckt i m ekv/l . Enligt tabell 4-3 är här aktuella värden för råvattenpH - $pH_0 = 7.3$ - samt fällningspH - $pH_s = 6.4$. För dessa värden erhålls i diagrammet $(L-A)/B = 0.49$. Eftersom $L = 0$ erhålls $A = 0.49 \cdot 0.62 = 0.304 \text{ m ekv/l}$. Multipliceras detta värde med $100/0.85$ erhålls aluminiumsulfatdoseringen uttryckt i g Al-sulfat/m^3 (35.7).

4.3 Flockning

Om flödet antages fördelat lika i de fyra systemen erhålls flockningstider för system 1 och 2: 60 min, för system 3: 72 min samt för system 4: 77 min.

Effekttillförsel och \bar{G} -värden har beräknats på grundval av uppmätning av varvtal och omrörarutformningar, som utförts av verkets personal. Det måste understyrkas att de värden som erhållits endast ger en grov uppskattning. Vattenmassans medrotation har antagits vara 40% av paddelhastigheten. I tabell 4-1 återfinns varvtal, beräknad effekttillförsel, \bar{G} -värde, periferihastighet samt paddelarea som andel (%) av tankvärsnitt. För effekttillförseln har följande uttryck erhållits. n är varvtalet på omrörare (varv/min). Flockningskamrarna har numrerats i ordningsföljd, så att den första flockningskammaren i system 1 har nummer 1 och den sista flockningskammaren i system 4 har nummer 18.

$$\begin{aligned} &\text{Kammare 1, 2, 6, 7} \\ w &= 4.2 \cdot 10^{-3} \cdot n^3 \quad \text{watt/m}^3 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} &\text{Kammare 3, 4, 5, 8, 9, 10} \\ w &= 1.2 \cdot 10^{-2} \cdot n^3 \quad \text{watt/m}^3 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} &\text{Kammare 11, 12} \\ w &= 1.1 \cdot 10^{-2} \cdot n^3 \quad \text{watt/m}^3 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} &\text{Kammare 13} \\ w &= 1.8 \cdot 10^{-2} \cdot n^3 \quad \text{watt/m}^3 \end{aligned}$$

Kammare 14

$$w = 3.9 \cdot 10^{-2} \cdot n^3 \text{ watt/m}^3$$

Kammare 17, 18

$$w = 4.8 \cdot 10^{-2} \cdot n^3 \text{ watt/m}^3$$

\bar{G} -värdet erhålls enligt

$$\bar{G} = \sqrt{\frac{w}{n}} \quad (1/s)$$

där n är vattnets viskositet, vid aktuell temperatur (2^0C) gäller
 $n = 1.7 \cdot 10^{-3} \text{ Ns/m}^2$.



Tabell 4-1. Data för omrörare i flockningssystem

Kammare nr	1	2	3	4	5
SYSTEM 1					
Varvtal, n varv/min	5.0	3.5	2.0	0.88	0.91
Effekttillförsel, w watt/m ³	0.53	0.19	0.098	0.0085	0.0092
Medelhastighets- gradient, \ddot{G} , 1/s	17.7	10.5	7.7	2.2	2.4
Periferihastighet, m/s	0.68	0.48	0.34	0.15	0.15
Paddelarea/ tanktvärsnitt, %	17	17	17	17	17
SYSTEM 2					
Varvtal, n varv/min	4.6	3.3	1.7	1.2	0.77
Effekttillförsel, w watt/m ³	0.41	0.16	0.057	0.020	0.0056
Medelhastighets- gradient, \ddot{G} , 1/s	15.6	9.7	5.8	3.5	1.8
Periferihastighet, m/s	0.63	0.45	0.28	0.20	0.13
Paddelarea/ tanktvärsnitt, %	17	17	17	17	17
SYSTEM 3					
Varvtal, n varv/min	3.2	2.8	0.86	0.75	
Effekttillförsel, w watt/m ³	0.34	0.23	0.012	0.017	
Medelhastighets- gradient, \ddot{G} , 1/s	14.3	11.8	2.6	3.2	
Periferihastighet, m/s	0.60	0.53	0.17	0.14	
Paddelarea/ tanktvärsnitt, %	17	17	18	18	

Kammare nr	1	2	3	4
SYSTEM 4				
Varvtal, n varv/min	3.2	2.4	1.2	0.57
Effekttillförsel, watt/m ³	0.30	0.13	0.083	0.0087
Medelhastighets- gradient, G, l/s	13.3	8.8	7.0	2.3
Periferihastighet, m/s	0.58	0.44	0.24	0.11
Paddelarea/ tanktvärsnitt, %	17	17	19	19

Effekttillförseln är något för låg i början av respektive flockningsystem.

Detta ger i viss mån utslag i flockens sjunkegenskaper. Resultat av sjunkanalyser återfinns i fig 4.4 t o m 4.7.

Tabell 4-2. Sjunkhastigheter

	Medelsjunkhastighet v_m , m/h	Spridning σ , m/h
Kammare 5, system 1	1.0	0.65
Kammare 5, system 2	1.0	0.65
Kammare 3, system 2	0.62	0.46
Kammare 4, system 3	1.0	0.72
Kammare 4, system 4	1.1	0.70
Kammare 2, system 4	0.54	0.32

Flocksjunkegenskaperna i den sista flockningstanken i respektive system är något sämre än vad som uppställdts som krav i bilaga "Sjunkanalyser". Detta skulle kunna avhjälpas genom att öka omrörarhastigheten i början av respektive flockningssystem.

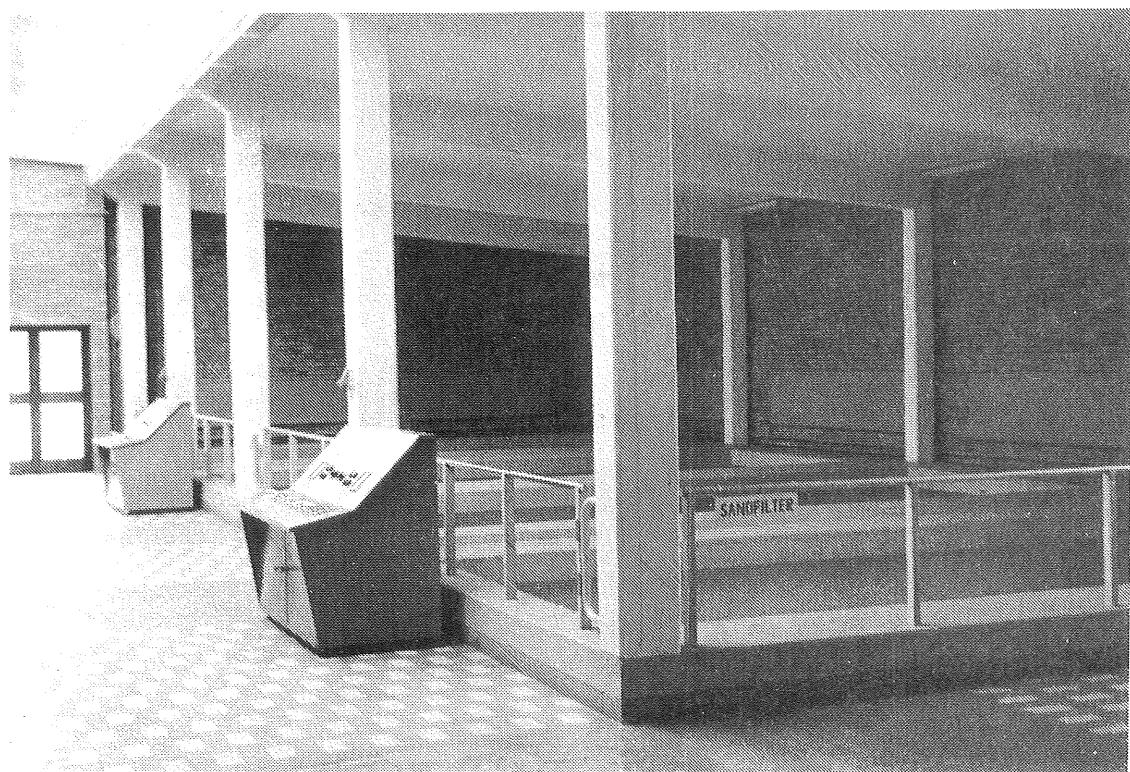
FällningspH ligger helt inom godtagbart intervall. Uttagna dekantat- och filtratprov (se tabell 4-3) ger pH 6.4. Verkets mätare visade 6.2.

4.4 Sedimentering

Vid aktuellt flöde är ytbelastningen, räknat på total sedimenteringsyta (lika flöde genom resp system är antaget) för system 1 och 2: 0.67 m/h samt för system 3 och 4: 0.64 m/h. I fig 4.4 och 4.6 är sjunkanalyserna omräknade till sedimenteringsresultat vid varierande sedimenteringsbelastning. Som jämförelse är det verkliga resultatet inritat. Härvid antages att sjunkhastighetsfördelningen är oförändrad oberoende av sedimenteringsdjupet (i regel ökar dock sjunkhastigheten med ökat djup). Det praktiska resultatet är också något bättre än det resultat som sjunkanalysen förutsäger. Samtliga system visar i stort sett samma sedimenteringsresultat (ca 12% kvarvarande flock).

4.5 Filtrering

Prov uttogs från två filter, ett relativt nyspolat samt från det filter som stod i tur att spolas. Analysresultatet återfinns i tabell 4-3. Inga större skillnader i filtratkvalitet kan spåras, varför filtergångtiden vid aktuell dekantatkvalitet är acceptabel.



4.6 Resultat av fällningsförsök

Fällningsförsök utfördes under standardiserade betingelser med aluminiumsulfatdoserna 25, 35 resp 45 mg/l. Fig 4.2 visar resultatet efter filtrering som funktion av pH. I fig 4.3 har på grundval av fig 4.2 resultatet uttryckts som funktion av aluminiumsulfatdosen, dels vid "optimalt" fällningspH (6.2) och dels vid det pH som verket tillämpade (6.4). Som jämförelse har analysvärden för det bästa filtratet införts.

För att få ett godtagbart resultat har "erforderlig" aluminiumsulfatdos uträknats till 40.9 mg Al-sulfat/l. Lämpligt intervall för fällningspH: 6.1-6.6.

4.7 Sammanfattning, åtgärder

Fördelningen av flödet mellan de fyra systemen fungerar inte helt tillfredsställande, att döma av utförda saltförsök.

Effekttillförseln är något för låg, speciellt i de första flockningstankarna i resp flockningsystem. En möjlig åtgärd vore att öka varvtalet t ex i de två första flockningstankarna i resp system med 20-30%.

pH-mätningen fungerar av allt att döma tillfredsställande.

Aluminiumsulfatdoseringen skulle enligt utförda fällningsförsök behöva höjas något (till ca 40 g Al-sulfat/m³). Detta kanske inte är nödvändigt. Nu erhålls ändå ett tillfredsställande driftsresultat, dessutom innebär kanske den pH-justerande kemikalien onödigt besvärs (när man som här ändå kan klara sig utan).

En måttlig dosering (ungefär 2 g/m³) aktiverad kiselsyra skulle förbättra flockarnas sjunkhastighet och öka hållfastheten hos avsatt flock i filtern. Dock ökar tryckförlusttillväxten, dessutom får olägenheten med hantering av ytterligare en kemikalie vid verket övervägas.

Tabell 4-3. Analysresultat

Prov nr	pH	Grumlighet FTU	UV-absorbans $E_{254}(4\text{ cm})$	Färgvärde $E_{436}(4\text{ cm})$	Permanganat- tal, mg $\text{KMnO}_4/1$	mg $\text{Al}^{3+}/1$
401	7.4	0.46	1.5	0.060	30.0	<0.01
402	7.3	0.45	1.3	0.055	29.3	0.01
404	6.4	1.4	0.36	0.020	12.0	0.31
406	6.4	0.10	0.26	0.005	9.7	0.02
407	6.4	0.11	0.26	0.008	9.7	0.03

Prov nr

401 Råvatten 26/3

402 Råvatten 27/3

404 Dekantat, system 4 27/3 kl 16.30

Gångtid

406 Filtrat, filter 3 " 16.30 spolat kl 10 24/3

78 h

407 Filtrat, filter 4 " 16.30 spolat kl 08 27/3

8 h

Råvattnets alkalitet analyserades till 0.62 m ekv/l.

Figur 4.2

Borås

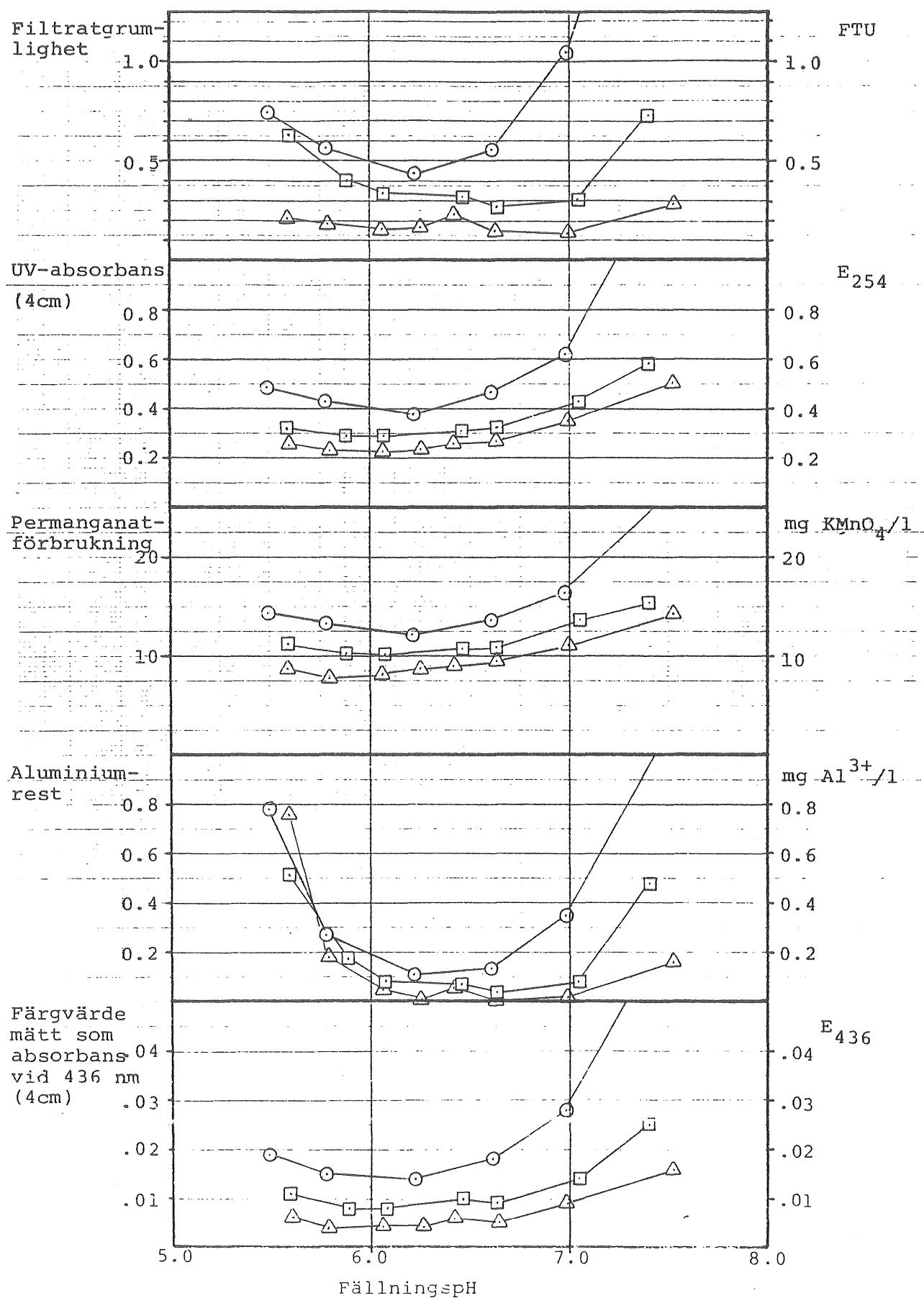
26-27/3 1979

Resultat av fällningsförsök
Analysvärden efter filtreringAl-sulfat-
dosering, mg/l

O 25

□ 35

△ 45

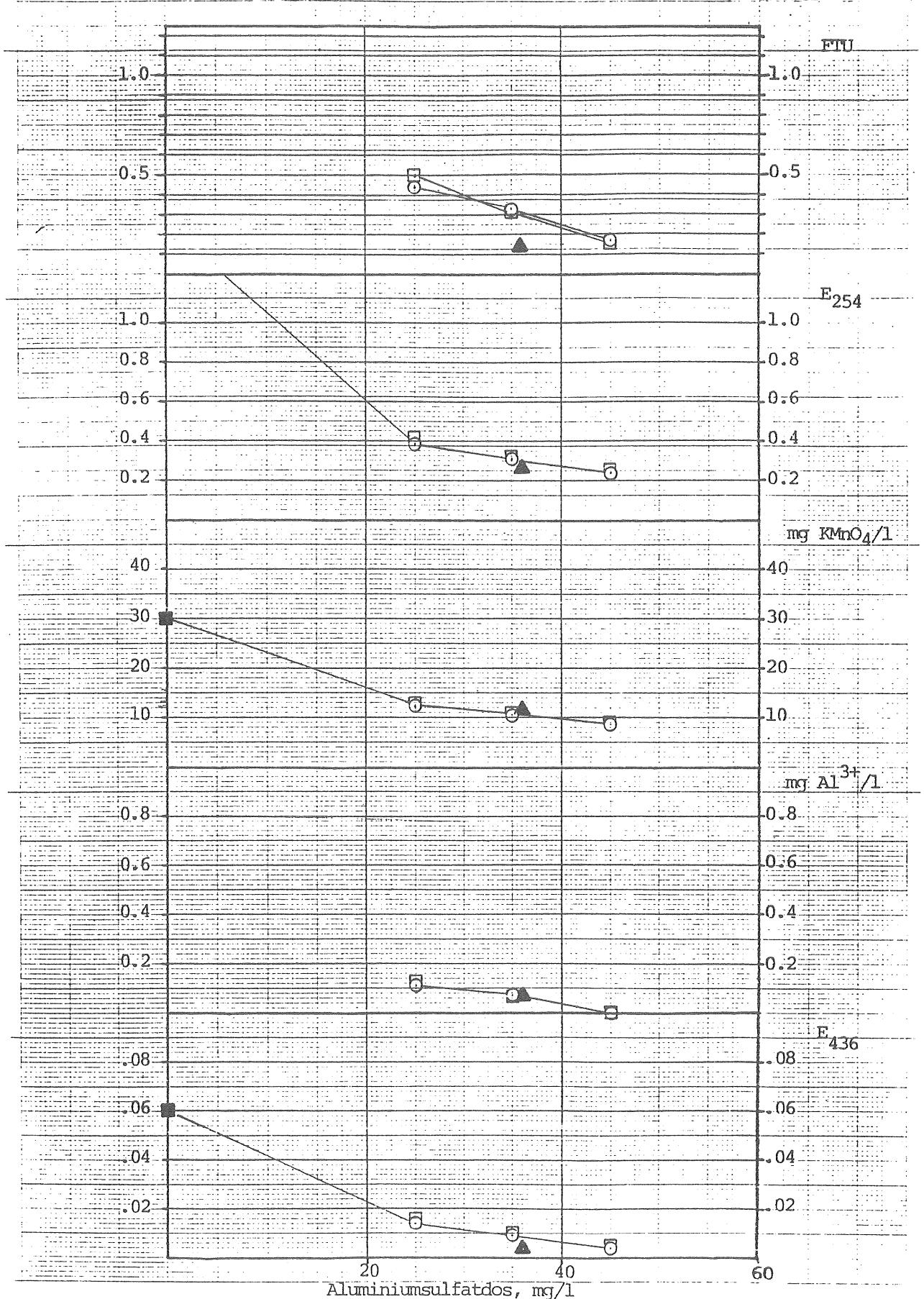


Figur 4.3
Borås

Resultat av fällningsförsök
som funktion av aluminiumsulfatdos.

Jämförelse med driftsresultat

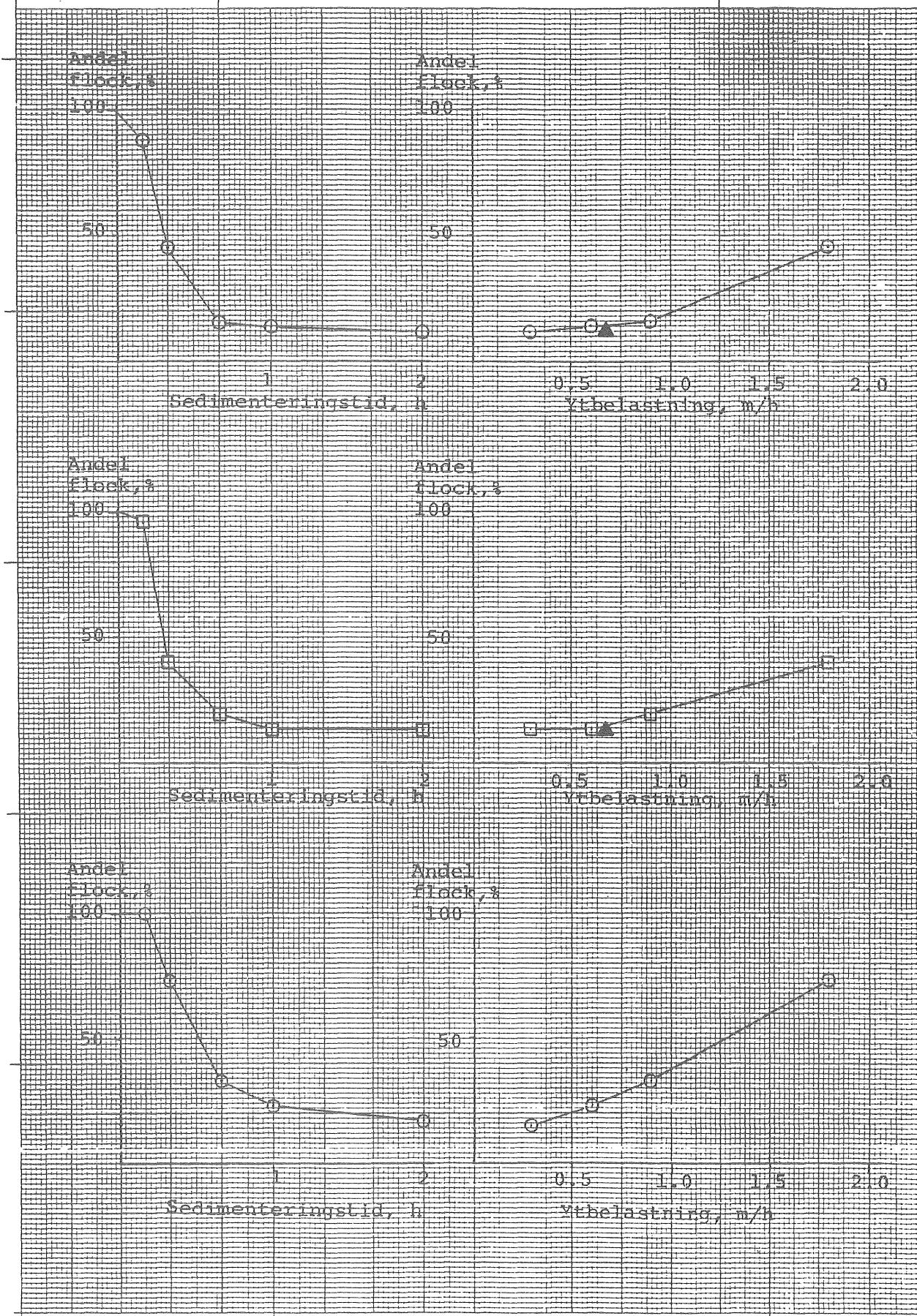
- FällningspH 6.2
- FällningspH 6.4
(verkets fällnpH)
- ▲ verkets driftres.
- ofiltrerat råvatten



Figur 4.4
Borås

Sjunkanalyser och jämförelse
med praktiskt sedimenterings-
resultat.

- System 1, kam 5
- System 2, kam 5
- △ System 2, kam 3
- ▲ driftresultat



Figur 4.5
Borås

Utvärdering av sjunkanalyser

v_m

1.0

1.0

0.62

0.65

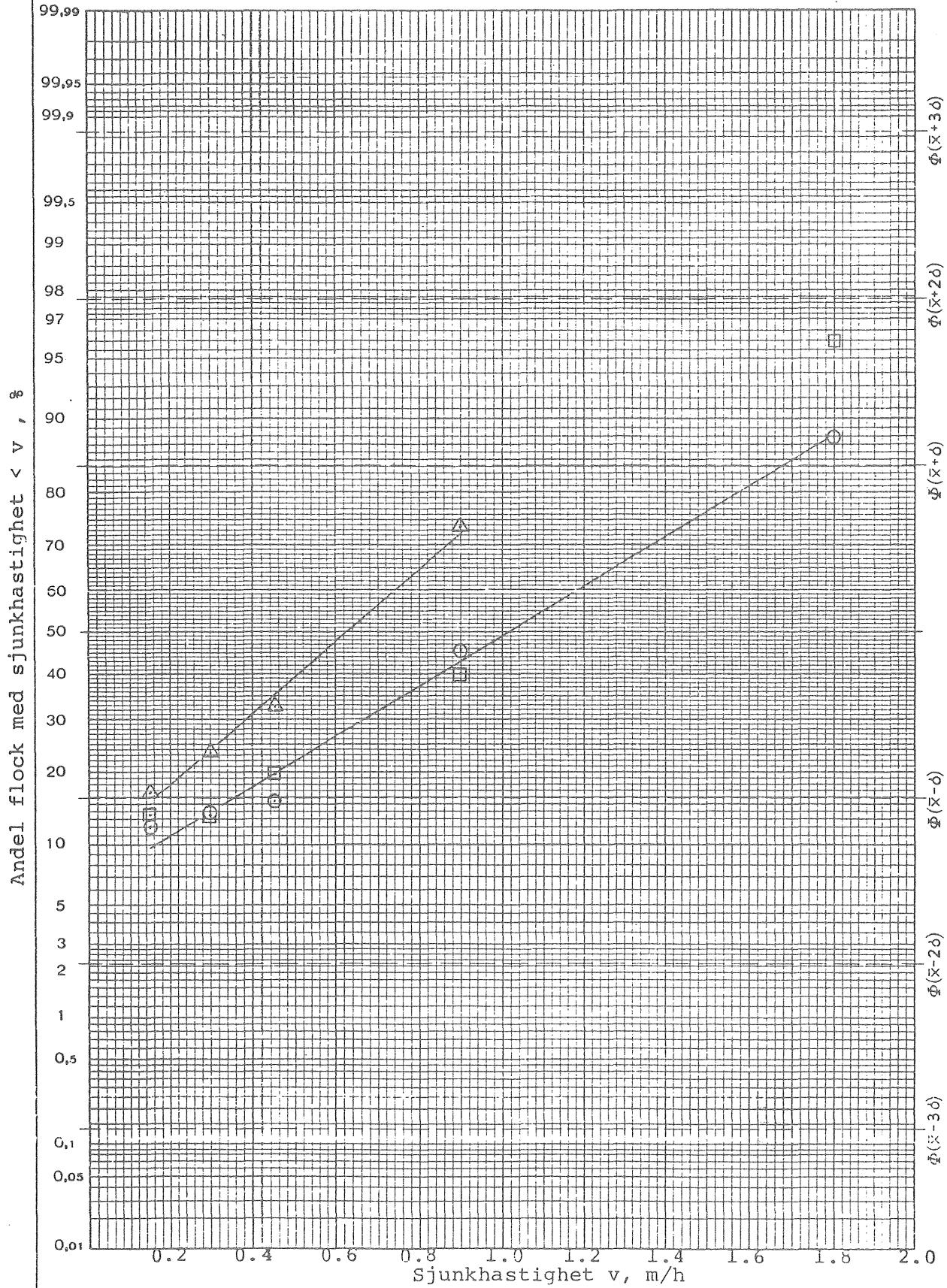
0.46

σ

System 1, kam 5

System 2, kam 5

System 2, kam 3



Figur 4.6

Borås

Sjunkanalyser och jämförelse
med praktiskt sedimentterings-
resultat.

- System 3, kam 4
- System 4, kam 4
- △ System 4, kam 2
- ▲ driftresultat

Andel
flock, %

100

50

Andel
flock, %

100

50

Sedimenteringstid, h

Ytbelastning, m/h

0,5

1,0

1,5

2,0

Andel
flock, %

100

50

Andel
flock, %

100

50

Sedimenteringstid, h

Ytbelastning, m/h

0,5

1,0

1,5

2,0

Andel
flock, %

100

50

Andel
flock, %

100

50

Sedimenteringstid, h

Ytbelastning, m/h

0,5

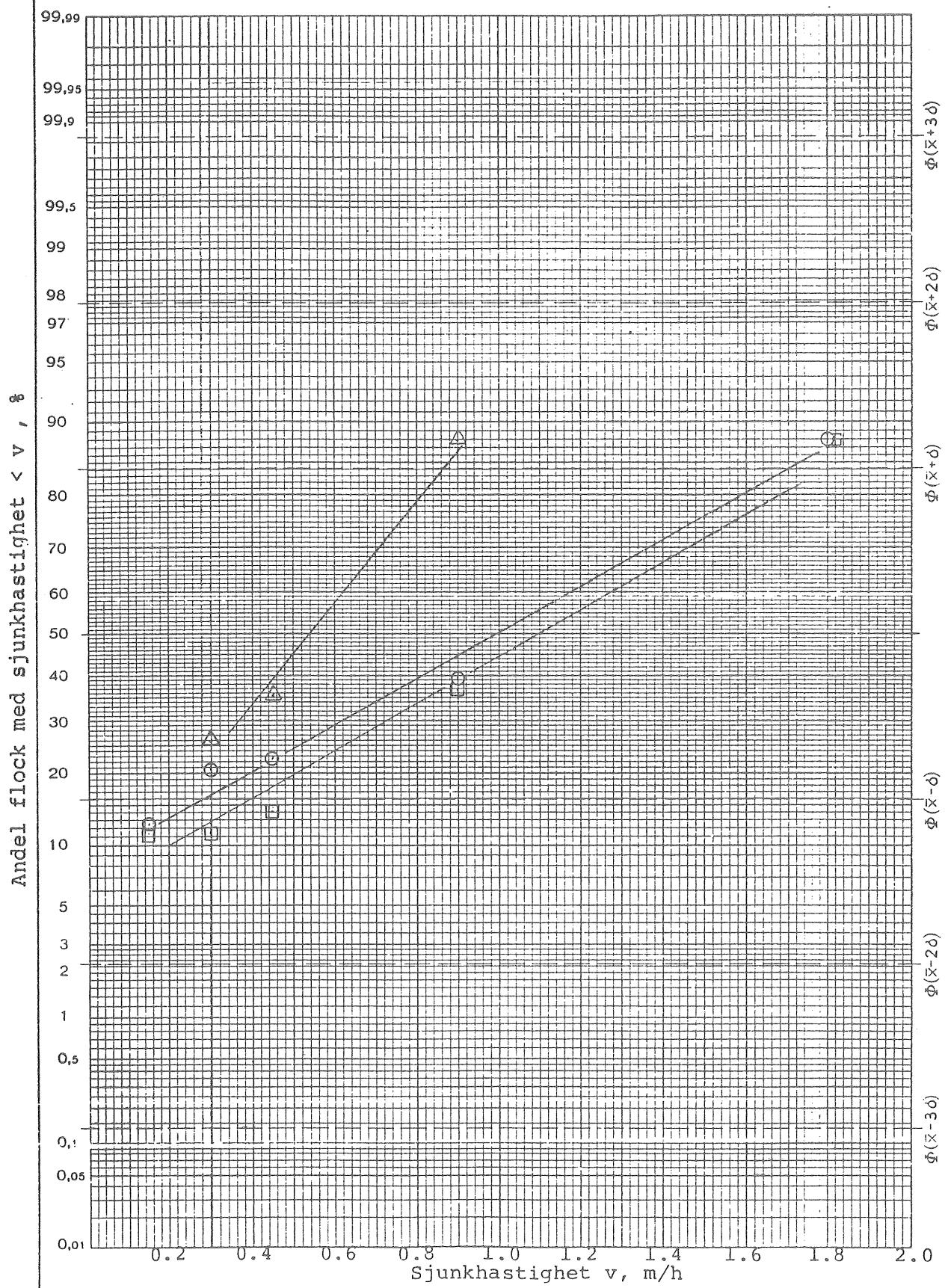
1,0

1,5

2,0

Figur 4.7
Borås

	v_m	σ	
System 3, kam 4	1.0	0.72	
System 4, kam 4	1.1	0.70	
System 4, kam 2	0.54	0.32	





5.1 Beskrivning av verkets funktion

Verket har två parallella flockningssystem med efterföljande sedimentering. De båda flockningssystemen består av sex flockningstankar med den totala volymen $141 \text{ m}^3/\text{system}$. Sedimenteringen består av s k Lovö-bassänger (två bottnar, fram- och återgående vattenflöde) med total sedimenteringsyta $142 \text{ m}^2/\text{system}$.

Den totala sandfilterareaen 84 m^2 är uppdelad på fyra filterenheter.

Angivna flöden och doseringar:

medelflöde (år 1977): $5\ 500 \text{ m}^3/\text{d}$, maxflöde: $420 \text{ m}^3/\text{h}$

förklaring

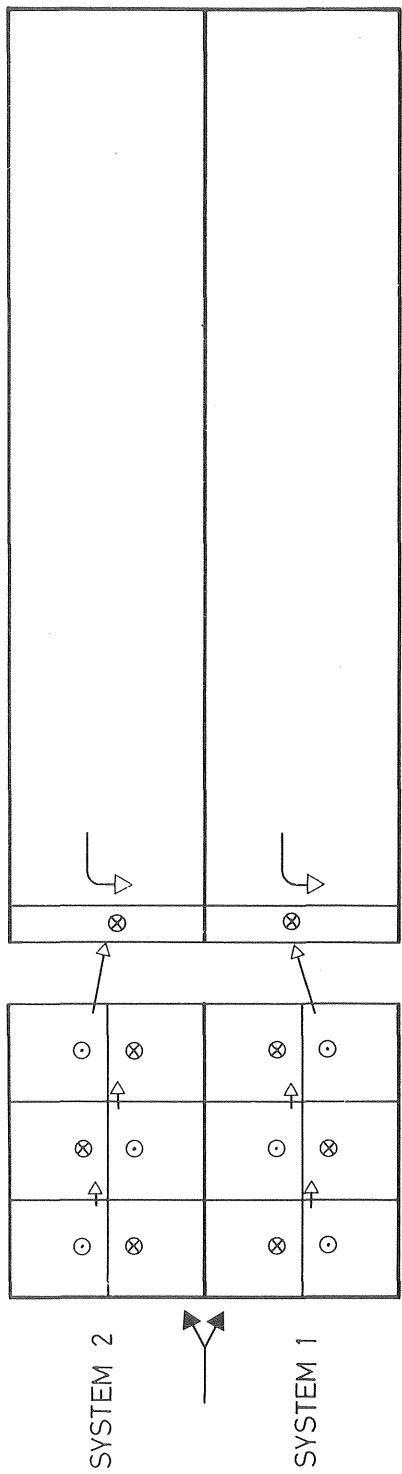
aluminiumsulfat: 35 g/m^3

fällningspH justeras med kalk

ingen hjälpkoagulant doseras

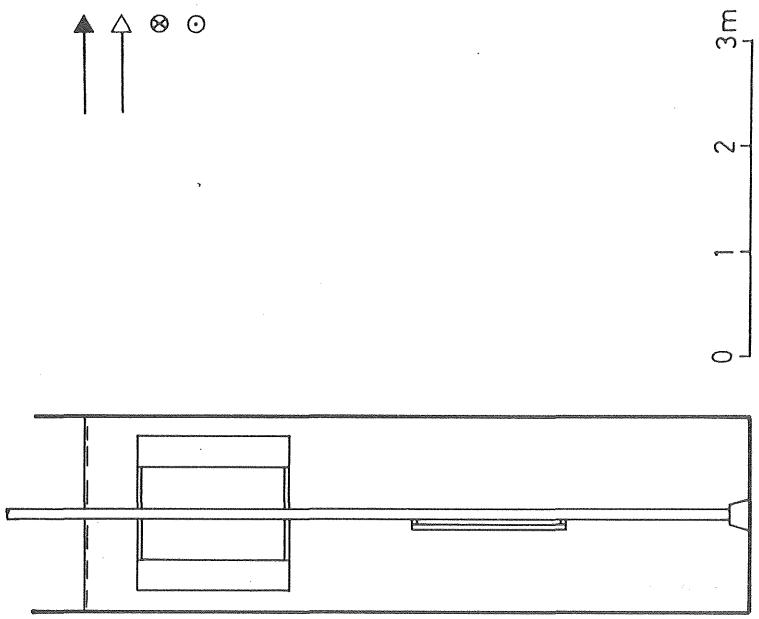
efteralkalisering med kalk

till renvattnet doseras kiselsyra, ammoniak och klor



0 1 2 3 4 5 m

→ INK. VATTEN FLOCKNING
→ DEKANTAT
⊗ STRÖMNING NEDÅT
⊙ STRÖMNING UPÅT



0 1 2 3 m

Figur 5.1 Nässjö vattenverk

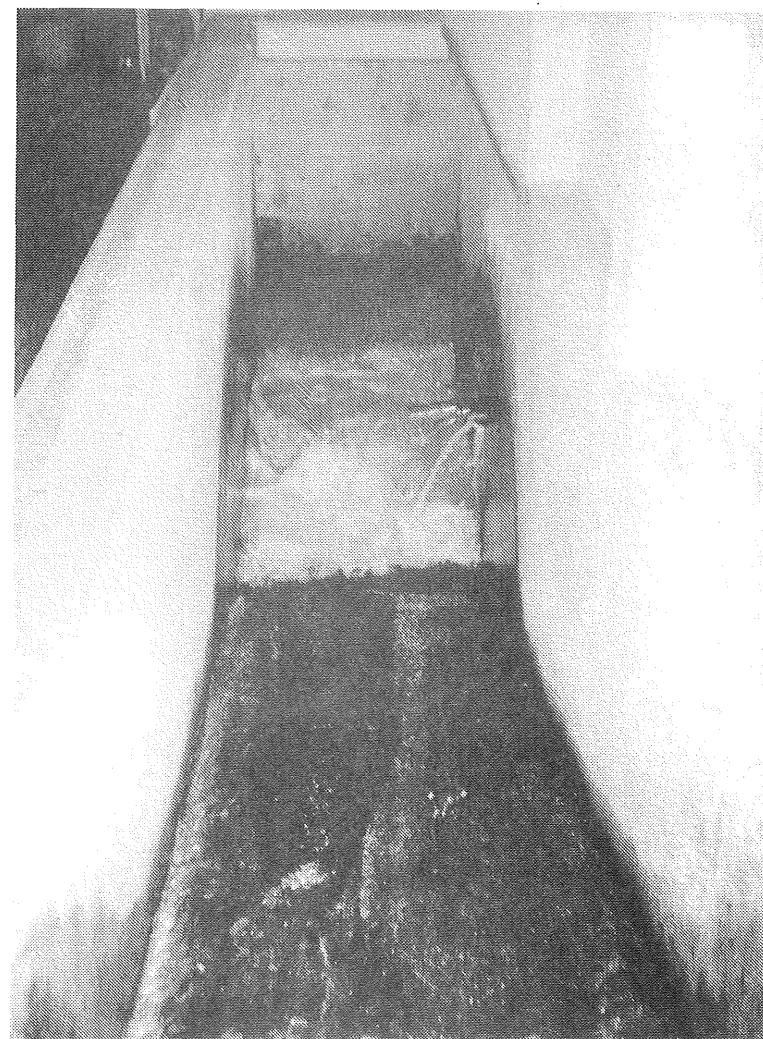
I medeltal drivs verket ca 18 h/dygn. Vid medelflöde (räknat som medeltal under dygnet) är flockningstid: 72 min, ytbelastning sedimentering: 0.8 m/h och filtrerhastighet: 2.9 m/h. Slam töms i sedimenteringen var femte vecka. Tiden mellan filterspolningarna är normalt på vintern 7 dygn och på sommaren 4 dygn. Filten spolas med fasta tidsintervall vid normal drift samt vid tryckförlusten 1.5 mvp vid hög belastning.

I fortsättningen gäller angivna värden endast de två besöksdygnen 28-29/3 1979.

5.2 Flöden, doseringar

Flödet genom verket var under de försök som redovisas nedan enligt verkets råvattenmätare konstant $354 \text{ m}^3/\text{h}$. Vid de saltförsök som utfördes erhölls totalflödet $372 \text{ m}^3/\text{h}$, fördelat på system 1 och 2 enligt: 183 resp $189 \text{ m}^3/\text{h}$.

Lösning av aluminiumsulfat bereds kontinuerligt. Enligt uppgift var den aktuella doseringen $38 \text{ g Al-sulfat}/\text{m}^3$. Koagulanten tillsätts tillsammans med kalk i en inblandningsränna gemensäm för de två systemen.



5.3 Flockning

Ovan angivna flöden ger flockningstid för system 1: 45 min och för system 2: 46 min. Saltförsöken antyder en relativt gynnsam flödesbild för de båda systemen. En momentan dos salt (i detta fall 2 kg NaCl) doserades till inloppet till flockningssystemen. Den från sista flockningstanken utgående saltkoncentrationen (mätt som ledningsförmåga) registrerades som funktion av tiden. Ju högre det maximalt registrerade koncentrationsvärdet är samt ju närmare detta värde i tiden ligger den uträknade medeluppehållstiden, desto fördelaktigare är flödesbilden. Tidpunkten för maximal koncentration var ca 44 min. Den maximala saltkoncentrationen i utloppet i relation till medelhalten - dvs totala saltmängden utspädd i hela flockningsvolymen - $(C/C_0)_{\max}$ var för båda systemen ca 1.45.

Omrörarnas varvtal uppmättes och med hjälp av uppgifter från verkets personal har effekttillförsel och \bar{G} -värden överslagsmässigt beräknats. Vattenmassans medrotation har antagits vara 40% av paddelhastigheten. I tabell 5-1 återfinns varvtal, beräknad effekttillförsel, \bar{G} -värde samt periferihastighet. Den totala paddelareans andel av minsta vertikala tankvärsnitt är ca 15%.

För effekttillförseln erhölls uttrycket:

$$w \approx 4.1 \cdot 10^{-3} \cdot n^3 \quad \text{watt/m}^3$$

där n är varvtalet på omrörare (varv/min)

\bar{G} -värdet erhålls enligt:

$$\bar{G} = \sqrt{\frac{w}{\eta}} \quad \text{1/s}$$

där η är vattnets viskositet, vid aktuell temperatur (2°C) gäller
 $\eta = 1.7 \cdot 10^{-3} \text{ Ns/m}^2$.

Tabell 5-1. Data för omrörare i flockningssystem.

Kammare nr	1	2	3	4	5	6
SYSTEM 1 och 2						
Varvtal, n varv/min	6.7	6.0	4.6	2.5	1.3	0.92
Effekttillförsel, w watt/m ³	1.2	0.88	0.40	0.067	0.0096	0.0032
Medelhastighets- gradient, \bar{G} , 1/s	26.8	23.0	15.5	6.4	2.4	1.4
Periferihastighet, m/s	0.52	0.47	0.36	0.20	0.10	0.07

Effekttillförseln i flockningstankarna är tillfredsställande, kanske kunde varvtalet höjas något i den första flockningstanken.

Detta ger också utslag i flockens sjunkegenskaper. Resultat av sjunkanalyser återfinns i fig 5.4 och 5.5.

Tabell 5-2. Sjunkhastigheter

	Medelsjunkhastighet v_m , m/h	Spridning σ , m/h
System 2, kammar 6	2.0	1.4
System 1, kammar 6	2.0	1.4
System 1, kammar 4	0.5	0.4

Flocksjunkegenskaperna är tillfredsställande. De uppfyller de krav som uppställdts i bilaga "Sjunkanalyser". Detta beror till stor del på att omrörningsintensiteten i flockningstankarna ligger på en rimlig nivå. Dessutom ligger fällningspH inom godtagbart intervall. Uttagna dekantat- och filtratprov (se tabell 5-3) ger värden omkring pH 6.1.

5.4 Sedimentering

Vid aktuella flöden är ytbelastningen, räknat på total sedimenteringsyta, för system 1 och 2 1.33 resp 1.39 m/h. I fig 5.4 är sjunkanalyserna omräknade till sedimenteringsresultat vid varierande sedimenteringsbelastning. Som jämförelse är det verkliga resultatet inritat. Härvid antas att sjunkhastighetsfördelningen är oförändrad, oberoende av sedimenteringsdjupet (i regel ökar dock sjunkhastigheten med ökat djup). Det praktiska sedimenteringsresultatet (ca 11% kvarvarande flock) är något bättre än det resultat sjunkanalysen förutsäger. Det betyder att flockarna tillgodo gör sig det ökade sedimenteringsdjupet - från sjunkanalysens 0.3 m till sedimenteringsbassängens ca 2.5 m.

Före inloppet till sedimenteringen strömmar det flockade vattnet över en trång sektion i form av ett "överfall". Vattenhastigheten här kan beräknas till ca 0.2 m/s, vilket är högre än det värde som brukar rekommenderas för att undvika flocksönderslagning (0.1 m/s). Någon effekt av flocksönderslagning kan dock inte spåras i jämförelsen mellan sjunkanalys och praktiskt sedimenteringsresultat.

5.5 Filtrering

Filtratprov uttogs från två filter, dels från ett relativt nyspolat samt från det filter som stod i tur att spolas. Analysresultatet återfinns i tabell 5-3. Resultatet visar inga större skillnader mellan filtratproven. Det betyder att drifttiden 86 h (brutto 120 h) är godtagbar vid aktuell dekantatkvalitet.

5.6 Resultat av fällningsförsök

Fällningsförsök utfördes under standardiserade betingelser med aluminiumsulfatdoserna 25, 35 resp 45 mg/l. Fig 5.2 visar resultat efter filtrering som funktion av pH. I fig 5.3 har på grundval av fig 5.2 resultatet uttryckts som funktion av aluminiumsulfatdosen vid fällningspH 6.2. Som jämförelse har analysvärdet för verkets filtrat införts.

För att få ett godtagbart resultat har "erforderlig" aluminiumsulfatdos uträknats till 42,5 mg Al-sulfat/l. Lämpligt intervall för fällningspH: 6.1-6.5.

5.7 Sammanfattning, åtgärder

Fördelningen av flödet mellan de två systemen fungerar bra, att döma av utförda saltförsök.

Effekttillförseln i flockningstankarna är tillfredsställande. Flockarna har goda sjunkegenskaper och låter sig väl avlägsnas i sedimenteringen, vilket medför att filtren kan drivas med gångtider upp mot 4 dygn.

En tillfredsställande renvattenkvalitet uppnås, även beroende på att aluminiumsulfatdoseringen är rimlig i förhållande till råvattnets beskaffenhet att fällningspH hålls inom ett godtagbart intervall.

Tabell 5-3. Analysresultat

Prov nr	pH	Grumlighet FTU	UV-absorbans $E_{254}(4\text{ cm})$	Färgvärde $E_{436}(4\text{ cm})$	Permanganat- tal, mg $\text{KMnO}_4/1$	mg $\text{Al}^{3+}/1$
501	6.5	0.30	1.2	0.055	32.1	0.02
502	6.5	0.33	1.25	0.056	32.8	0.02
504	6.1	1.0	0.38	0.018	14.5	0.60
506	6.1	0.14	0.26	0.003	11.1	0.06
507	6.1	0.16	0.27	0.004	10.9	0.07

Rapport 2

Prov nr

501 Råvatten 28/3

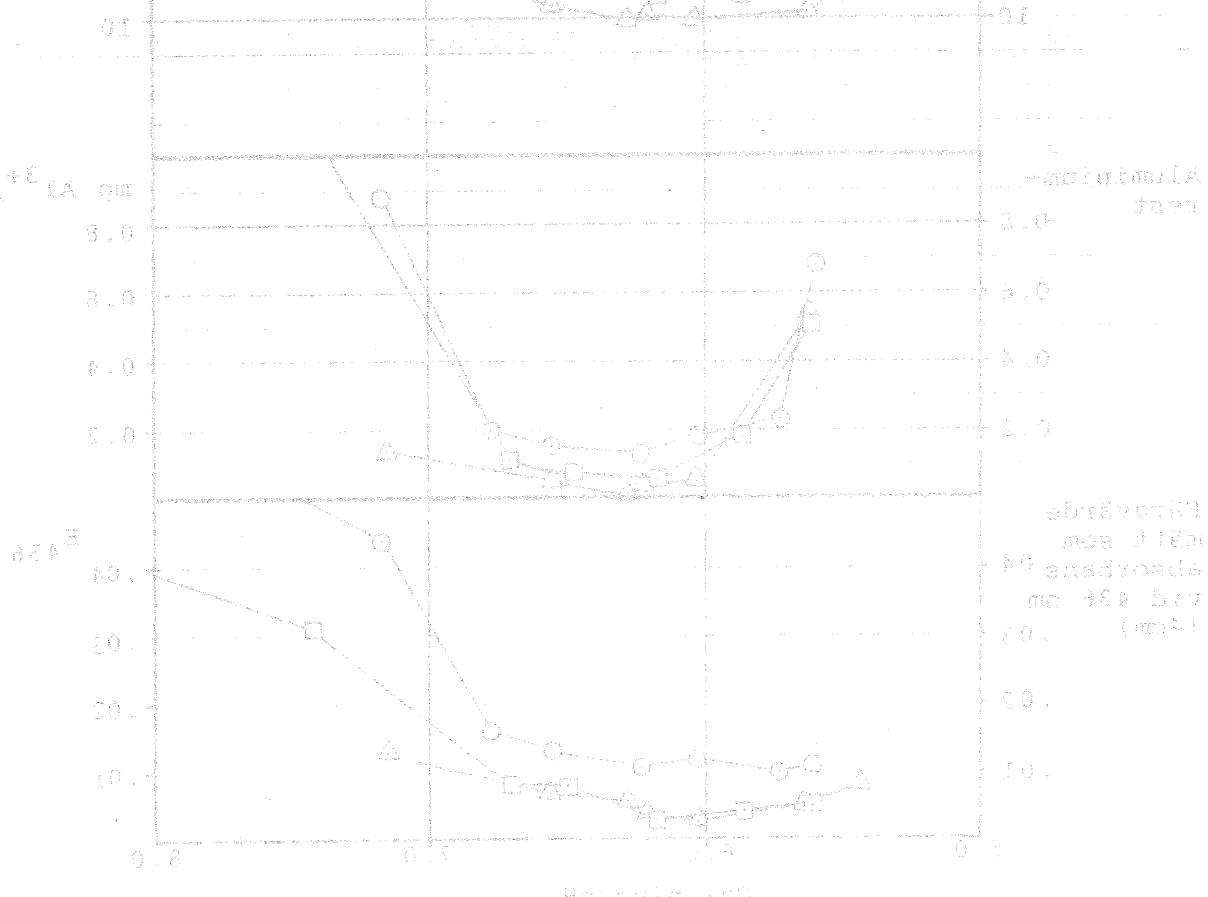
502 Råvatten 29/3

504 Dekantat system 1, 29/3 kl 19.00

506 Filtrat filter 4, 29/3 kl 10.00 spolat 23/3 gångtid 86 h (brutto ca 120 h)

507 Filtrat filter 4, 29/3 kl 19.00 spolat kl 12, 29/3 gångtid 7 h

Råvattnets alkalitet analyserades till 0.23 m ekv/l.

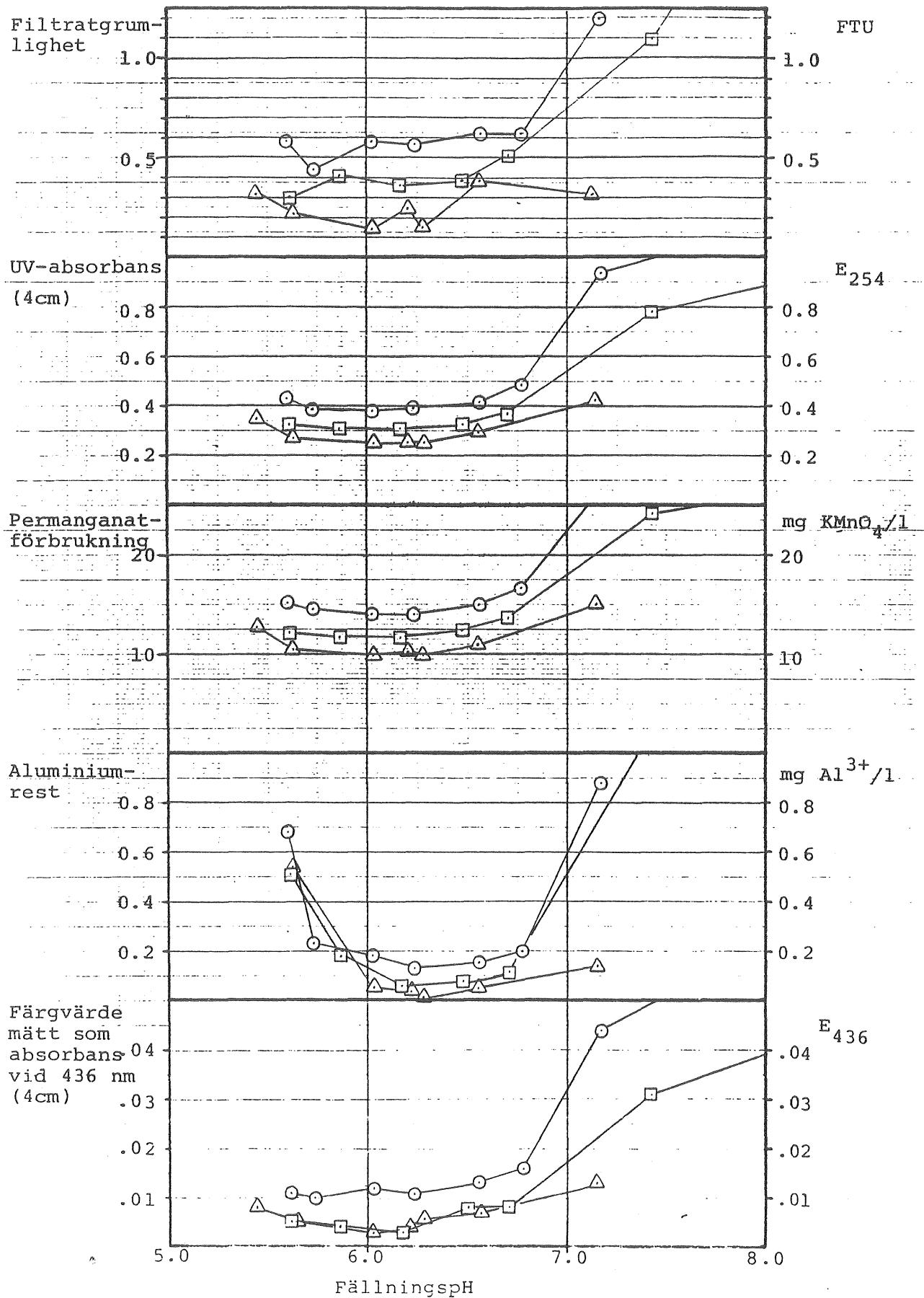


Figur 5.2

Nässjö
28-29/3 1979

Resultat av fällningsförsök
Analysvärden efter filtrering

Al-sulfat-
dosering, mg/l
○ 25
□ 35
△ 45

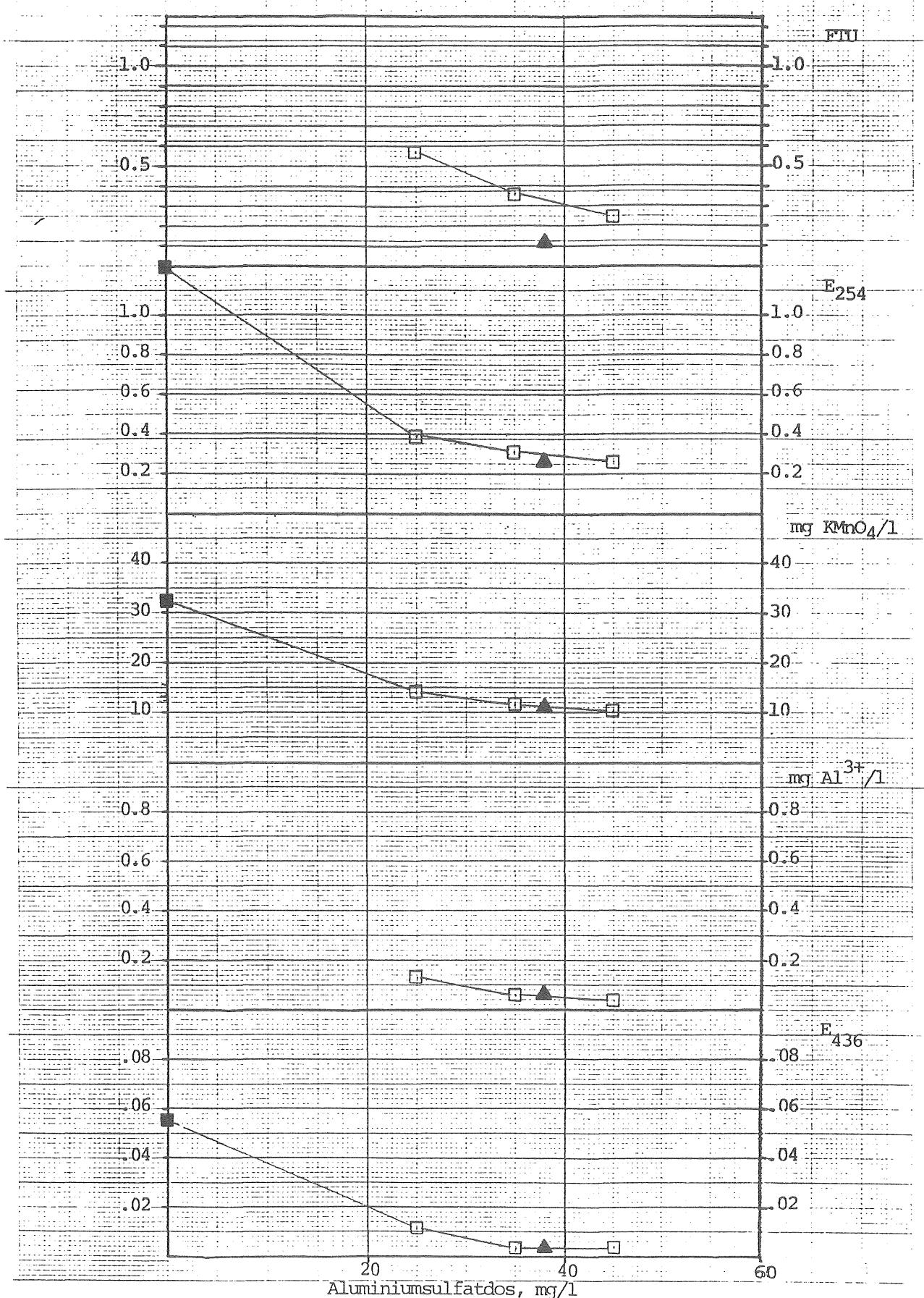


Figur 5.3
Nässjö

Resultat av fällningsförsök
som funktion av aluminiumsulfatdos.

Jämförelse med driftsresultat

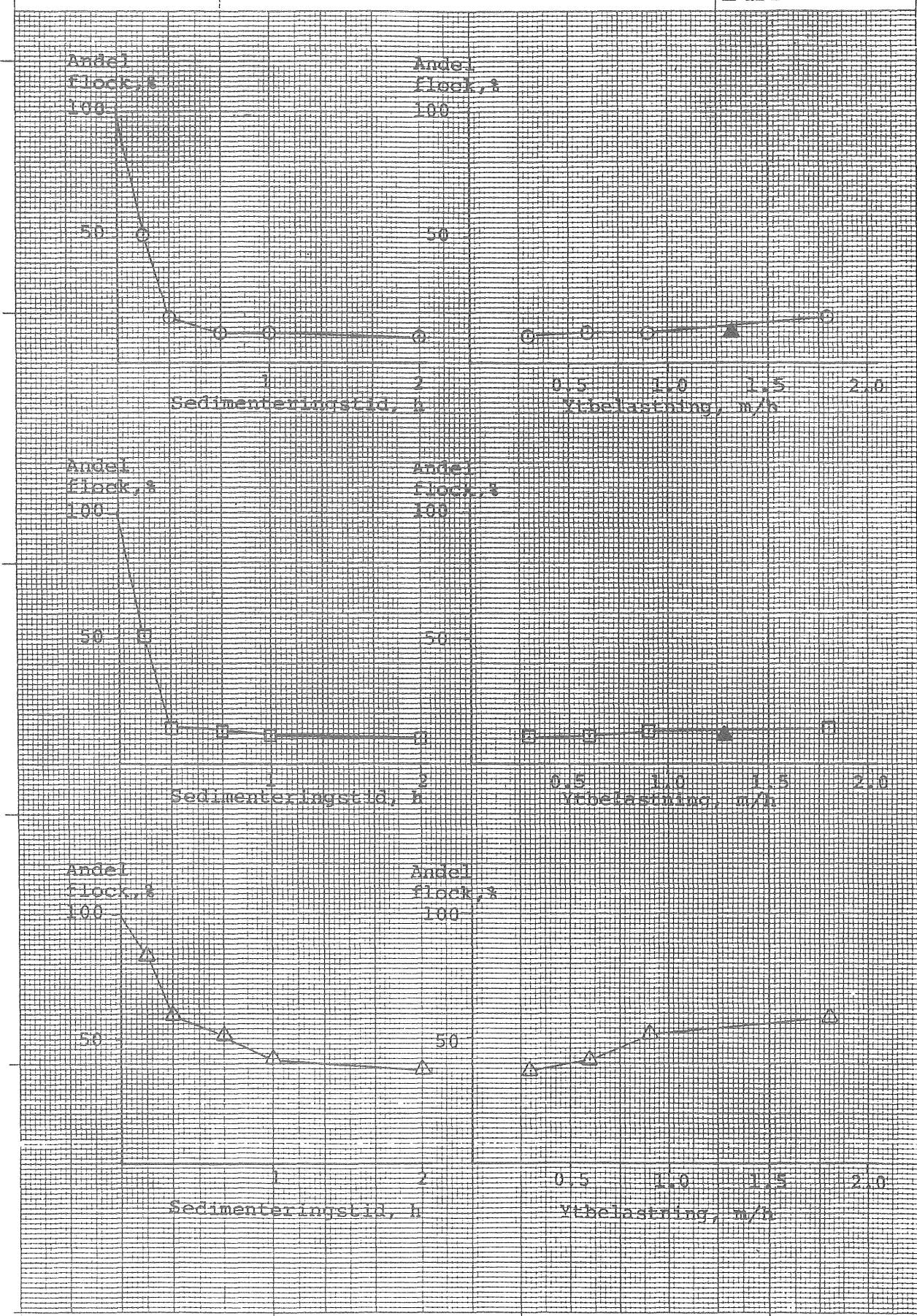
- FällningspH 6.2
(verkets fällnpH)
- verkets driftres.
- ofiltrerat råvatten



Figur 5.4
Nässjö

Sjunkanalyser och jämförelse
med praktiskt sedimentterings-
resultat.

- System 2, kam 6
- System 1, kam 6
- △ System 1, kam 4
- ▲ driftresultat



Figur 5.5
Nässjö

Utvärdering av sjunkanalyser

v_m σ

1.95 1.35

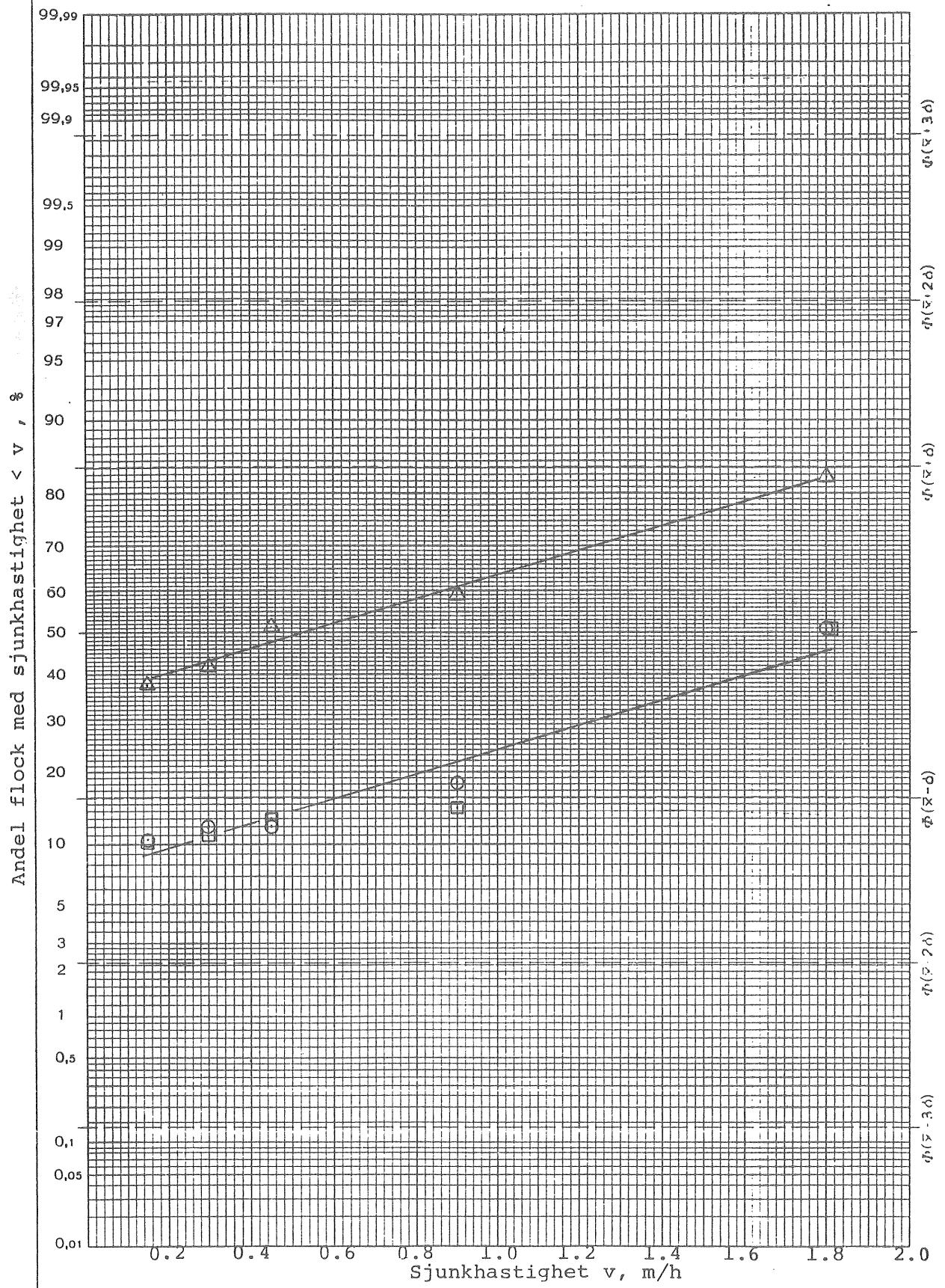
1.95 1.35

0.52 0.44

○ System 2, kam 6

□ System 1, kam 6

△ System 1, kam 4





6.1 Beskrivning av verkets funktion

Verket har två parallella flockningssystem med efterföljande sedimentering. Flockningssystemen består av sex flockningstankar med total flockningsvolym $67 \text{ m}^3/\text{system}$. Sedimenteringen består av s k Lovö-bassänger (två bottnar, fram- och återgående vattenflöde) med total sedimenteringsyta $39 \text{ m}^2/\text{system}$.

Den totala sandfilterarean 17.8 m^2 är uppdelad på två filterenheter.

Angivna flöden och doseringar:

maxflöde: $2\ 400 \text{ m}^3/\text{d}$

förfloering med natriumhypoklorit

aluminiumsulfatdosering: 45 g/m^3

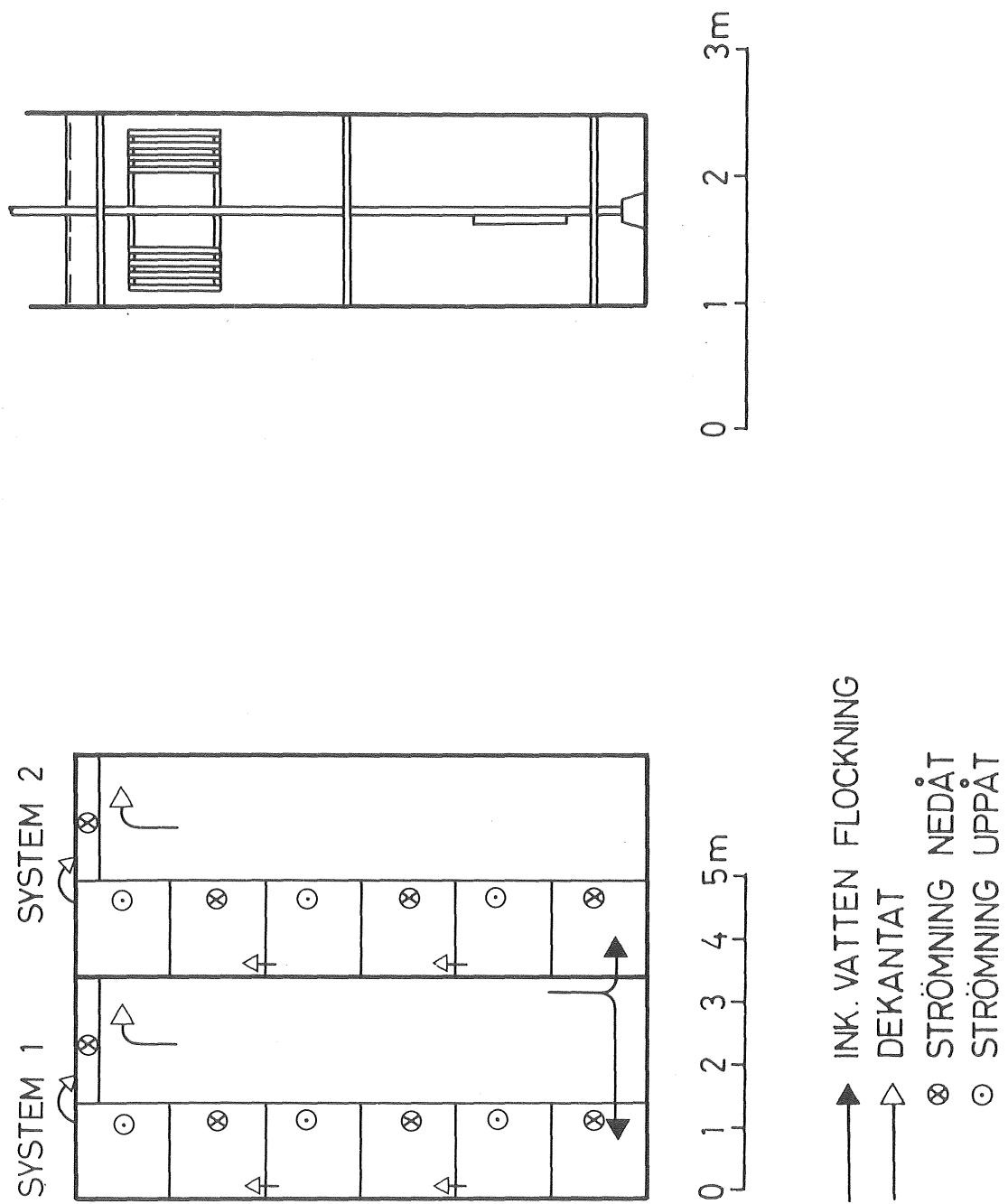
justering av fällningspH med lut

aktiverad kiselsyra: ca 6 g/m^3

efteralkalisering med lut

Dessa värden innebär vid angivet maxflöde flockningstiden: 80 min, ytbelastning sedimentering: 1.3 m/h och filtrerhastighet: 5.6 m/h .

I fortsättningen gäller angivna värden endast de två besöksdygnen 2-3/4 1979.



Figur 6.1 Lilla Edets vattenverk

6.2 Flöden, doseringar

Flödet genom verket var enligt verkets råvattenmätare ca $3\ 000\ m^3/d$. Vid de saltförsök som utfördes erhölls totalflödet $142\ m^3/h$. De båda systemen erhöll vardera $71\ m^3/h$. Flödet vid besökstillfället ligger alltså 40% över angivet maxflöde.

Lösning av aluminiumsulfat bereds kontinuerligt. Enligt uppgift var den aktuella doseringen $45\ g\ Al\text{-sulfat}/m^3$. Koagulanten tillsätts i en inbländningssnäcka gemensam för de två systemen. Den pH-justerande kemikalien (lut) doseras till inkommande ledning.



6.3 Flockning

Ovan angivet flöde ger 57 min flockningstid i båda systemen. Saltförsöken antyder en relativt gynnsam flödesbild. En momentan dos salt (i detta fall 2 kg NaCl) doserades till inloppen till flockningssystemen. Den från sista flockningstanken utgående saltkoncentrationen (mätt som ledningsförmåga) registrerades som funktion av tiden. Ju högre det maximalt registrerade koncentrationsflödet är samt ju närmare detta värden i tiden ligger den uträknade medeluppehållstiden, desto fördelaktigare är flödesbilden. Tidpunkten för maximal koncentration var för båda systemen ca 50 min. Den maximala saltkoncentrationen i utloppet i relation till medelhalten - dvs totala saltmängden utspädd i hela flockningsvolymen - $(C/C_0)_{\max}$ var ca 1.6.

Omrörarnas varvtal uppmättes och med hjälp av vissa mätningar på platsen har effekttillförsel och \bar{G} -värden uppskattats. Flockningstankarna är i tre horisontella plan försedda med fasta rör ($\varnothing 50$) monterade i stjärnform för nedbringa vattnets medrotation. Vid beräkning av effekttillförseln har ändå vattenmassans medrotation antagits vara 40% av paddelhastigheten. I tabell 6-1 återfinns varvtal, beräknad effekttillförsel, \bar{G} -värde samt periferihastighet. Paddelareans andel av minsta vertikala tankvärsnitt var 8%. För effekttillförseln erhölls uttrycket:

$$w \approx 10^{-3} \cdot n^3 \quad \text{watt/m}^3$$

där n är varvtalet på omrörare (varv/min)

\bar{G} -värdet erhålls enligt:

$$\bar{G} = \sqrt{\frac{w}{\eta}} \quad 1/s$$

där η är vattnets viskositet, vid aktuell temperatur ($10^\circ C$) gäller
 $\eta = 1.7 \cdot 10^{-3} \text{ Ns/m}^2$

Tabell 6-1. Data för omrörare i flockningssystem

Kammare nr	1	2	3	4	5	6
SYSTEM 1 och 2						
Varvtal, n varv/min	3.0	2.2	1.9	1.7	1.4	0.9
Effekttillförsel, w watt/m ³	0.026	0.011	0.0065	0.0045	0.0027	0.0022
Medelhastigetsgradient, \ddot{G} , 1/s	3.9	2.5	1.9	1.6	1.2	1.1
Periferihastighet, m/s	0.20	0.15	0.13	0.11	0.10	0.06

Effekttillförseln i flockningstankarna är genomgående låg.

Flockarnas sjunkegenskaper uppmättes. Resultat av sjunkanalyser återfinns i fig 6.4 och 6.5.

Tabell 6-2. Sjunkhastigheter

	Medelsjunkhastighet v_m , m/h	Spridning σ , m/h
Kammare 6, system 1	1.5	1.6
Kammare 6, system 2	1.5	1.6
Kammare 4, system 1	0.9	1.6

Flockarnas sjunkegenskaper är inte tillfredsställande. Detta kan till större delen hänföras till ett för lågt fällningspH. Uttagna dekantat- och filtrat-prov (se tabell 6-3) gav fällningspH 5.5.

6.4 Sedimentering

Vid aktuella flöden är ytbelastningen, räknat på total sedimenteringsyta ca 1.8 m/h för de båda systemen. I fig 6.4 är sjunkanalyserna omräknade till sedimenteringsresultat vid varierande sedimenteringsbelastning. Som jämförelse är det verkliga resultatet inritat. Härvid antas att sjunkhastighetsfördelningen är oförändrad, oberoende av sedimenteringsdjupet (i regel ökar dock sjunkhastigheten med ökat djup). Det praktiska sedimenteringsresultatet är också något bättre än det resultatet sjunkanalysen förutsäger. Mängden kvarvarande flock (ca 25%) är högt, beroende på hög belastning på sedimenteringen och dåliga flocksjunkegenskaper.



6.5 Filtrering

Prov uttogs från de två filtren. Analysresultatet återfinns i tabell 6-3. Båda filtren visade vid provtagningstillfället höga värden.

6.6 Resultat av fällningsförsök

Fällningsförsök utfördes under standardiserade betingelser med aluminium-sulfatdoserna 30, 40 resp 50 mg/l. Fig 6.2 visar resultat efter filtrering som funktion av pH. Försöket med doseringen 30 mg Al-sulfat/l utfördes den 2/4, de båda övriga försöken den 3/4. Råvattenkvaliteten skiljde sig något mellan dessa dagar, se tabell 6-3, varför vissa svårigheter uppstår när inverkan av aluminiumsulfatdoseringen skall illustreras. Ett försök har gjorts i fig 6.3, som har uppritats på grundval av fig 6.2 och där resultatet uttrycks som funktion av aluminiumsulfatdosen, dels vid "optimalt" fällningspH (6.3) och dels vid det pH som verket tillämpade (5.5). Som jämförelse har analysvärdet för det bästa filtratet införts. För att få ett godtagbart resultat har "erforderlig" aluminiumsulfatdos uträknats enligt bilaga "Fällningsförsök" till 40.9 mg Al-sulfat/l. Lämpligt intervall för fällningspH 6.2-6.5.

6.7 Sammanfattnings, åtgärder

Verket var vid besökstillfället högt belastat samt tillämpade ett fällnings-pH som var för lågt. När detta skrives har ett nytt verk tagits i drift, varför utgångsläget har förändrats. Det som ändå kan sägas om det gamla verket vid besökstillfället är följande:

Effekttillförseln är genomgående för låg i flockningstankarna. Varvtalet borde över lag ökas ca 3 ggr.

pH-mätningen bör ses över och ett högre fällningspH bör tillämpas.

Den s k aktiveringsten av kisel-syra bör ses över. Ett uttaget prov på doserad lösning (före spädning) visade inga tendenser till stelning. Provet var ej homogen utan delades i två faser bestående av vatten och silikatgel.

Tabell 6-3. Analysresultat

Prov nr	pH	Grumlighet FTU	UV-absorbans $E_{254}(4\text{ cm})$	Färgvärde $E_{436}(4\text{ cm})$	Permanganat- tal, mg $\text{KMnO}_4/1$	mg $\text{Al}^{3+}/1$
601	7.1	5.2	1.2	0.109	32.2	0.06
601F	-	3.0	1.05	0.069	31.1	0.10
602	7.0	3.5	1.2	0.080	35.5	0.10
602F	-	3.5	1.15	0.110	35.2	0.09
604	5.5	3.3	0.38	0.041	15.5	1.26
606	5.5	2.8	0.39	0.042	14.5	1.12
607	5.5	0.77	0.26	0.017	11.8	0.91

Prov nr

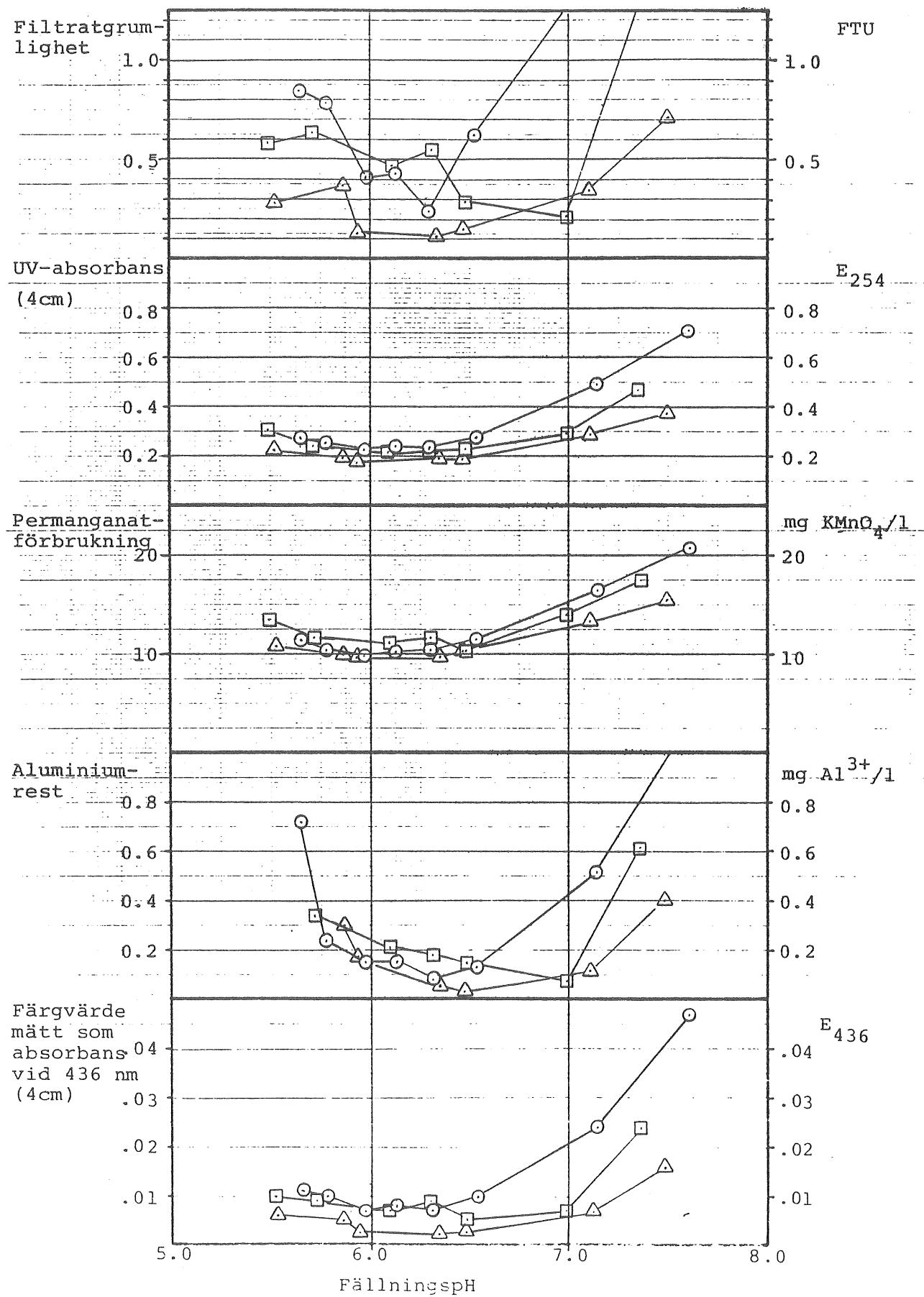
- 601 Råvatten 2/4
- 601F Råvatten 2/4, filtrerat prov
- 602 Råvatten 3/4
- 602F Råvatten 3/4, filtrerat prov
- 604 Dekantat system 2 3/4 kl 09.00
- 606 Filtrat filter 1 " 09.00, spolat 1/4
- 607 Filtrat filter 2 " 09.00 " 3/4, kl 06

Råvattnets alkalitet analyserades till 0.26 m ekv/l.

Figur 6.2
Lilla Edet
2-3/4 1979

Resultat av fällningsförsök
Analysvärden efter filtrering

Al-sulfat-
dosering, mg/l
○ 30
□ 40
△ 50

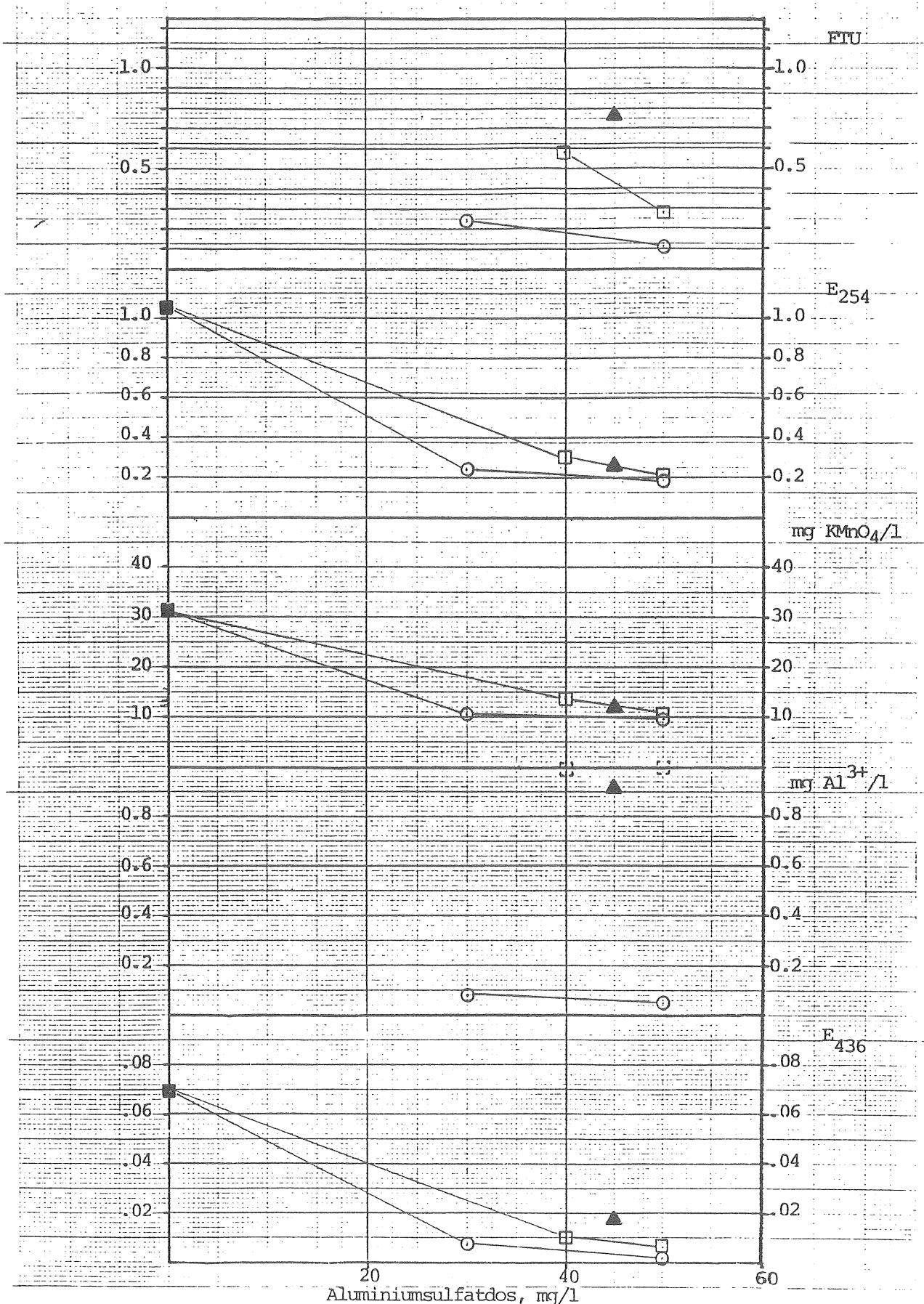


Figur 6.3
Lilla Edet

Resultat av fällningsförsök
som funktion av aluminiumsulfatdos.

Jämförelse med driftsresultat

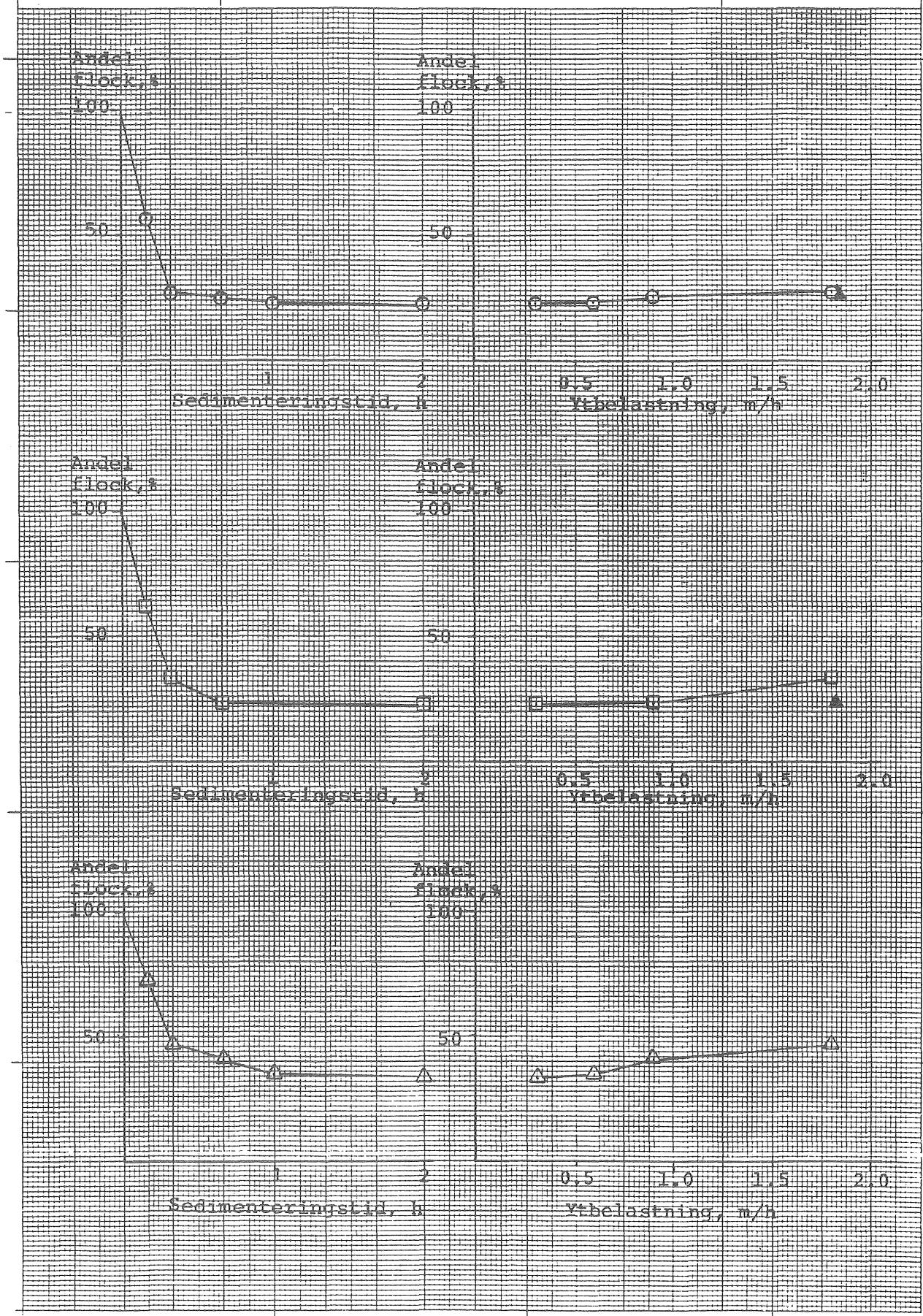
- FällningspH 6.3
- FällningspH 5.5
(verkets fällnpH)
- ▲ verkets driftres.
- filtrerat råvatten



Figur 6.4
Lilla Edet

Sjunkanalyser och jämförelse
med praktiskt sedimenterings-
resultat.

- System 1, kam 6
- System 2, kam 6
- △ System 1, kam 4
- ▲ driftresultat



Figur 6.5
Lilla Edet

Utvärdering av sjunkanalyser

v_m

1.48

1.62

1.48

1.62

0.90

1.62

σ



7.1 Beskrivning av verkets funktion

Verket har två parallella flockningssystem med efterföljande sedimentering. Flockningssystemen består av fem flockningstankar med den totala flockningsvolymen $574 \text{ m}^3/\text{system}$. Sedimenteringen består av parallellströmningsbassänger med tre mellanbottnar. Total sedimenteringsyta $296 \text{ m}^2/\text{system}$.

Den totala sandfilterareaen (120 m^2) är uppdelad på sex filterenheter.

Angivna flöden och doseringar:

maxflöde: $20\ 000 \text{ m}^3/\text{d}$, medelflöde: $14\ 000 \text{ m}^3/\text{d}$

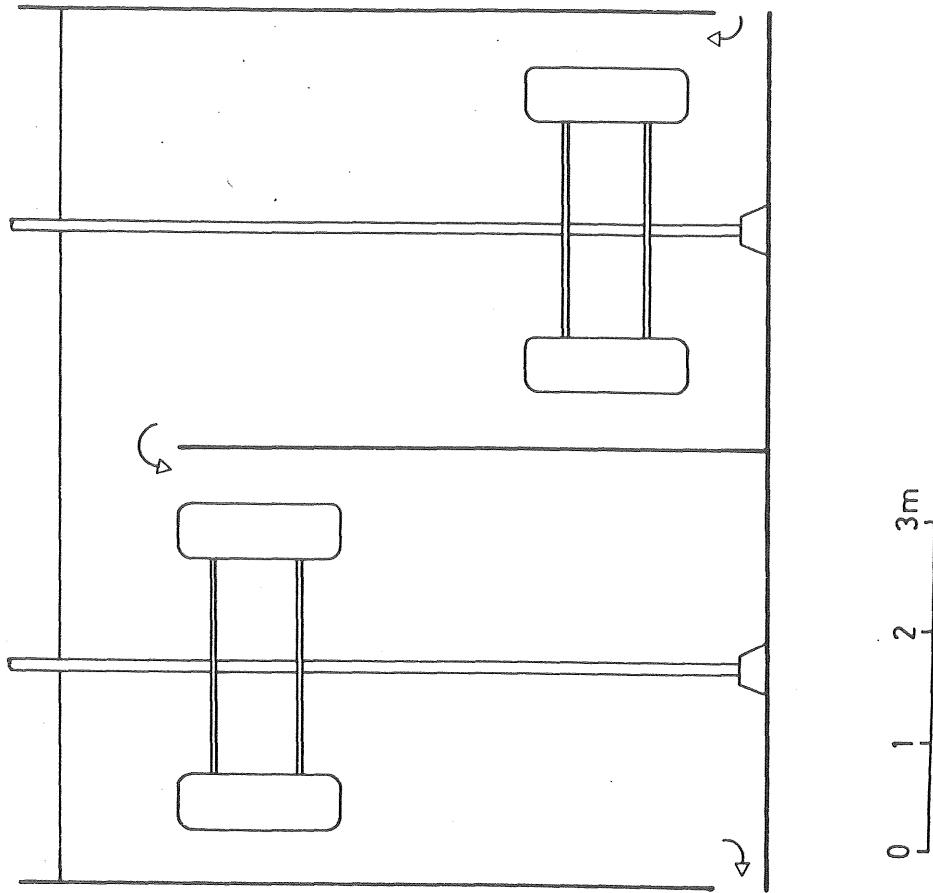
aluminiumsulfat: 40 g/m^3

justering av fällningspH med kalk

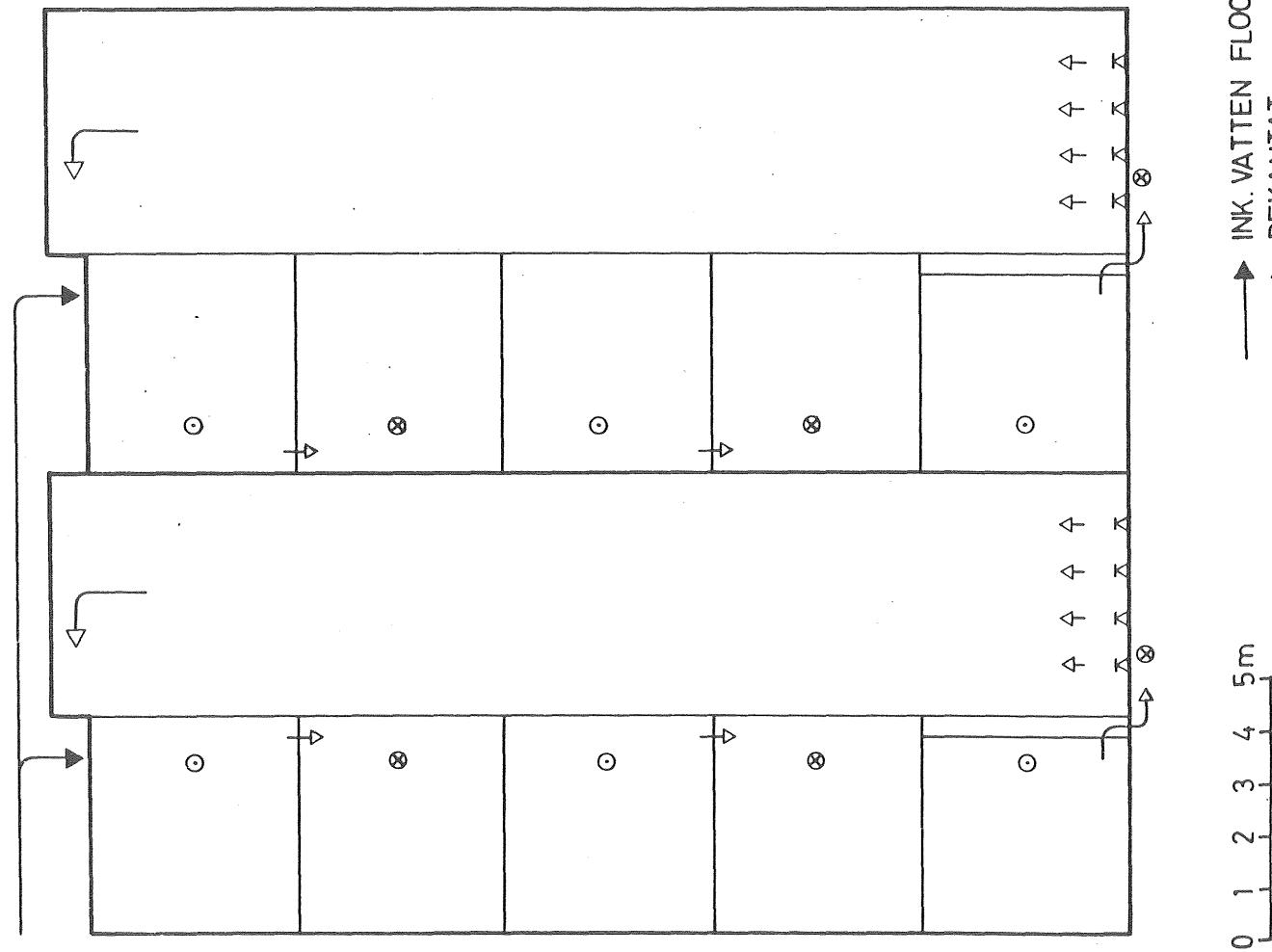
ingen hjälpkoagulant doseras

efteralkalisering med kalk

efterklorering



SYSTEM 2



Figur 7.1 Uddevalla vattenverk

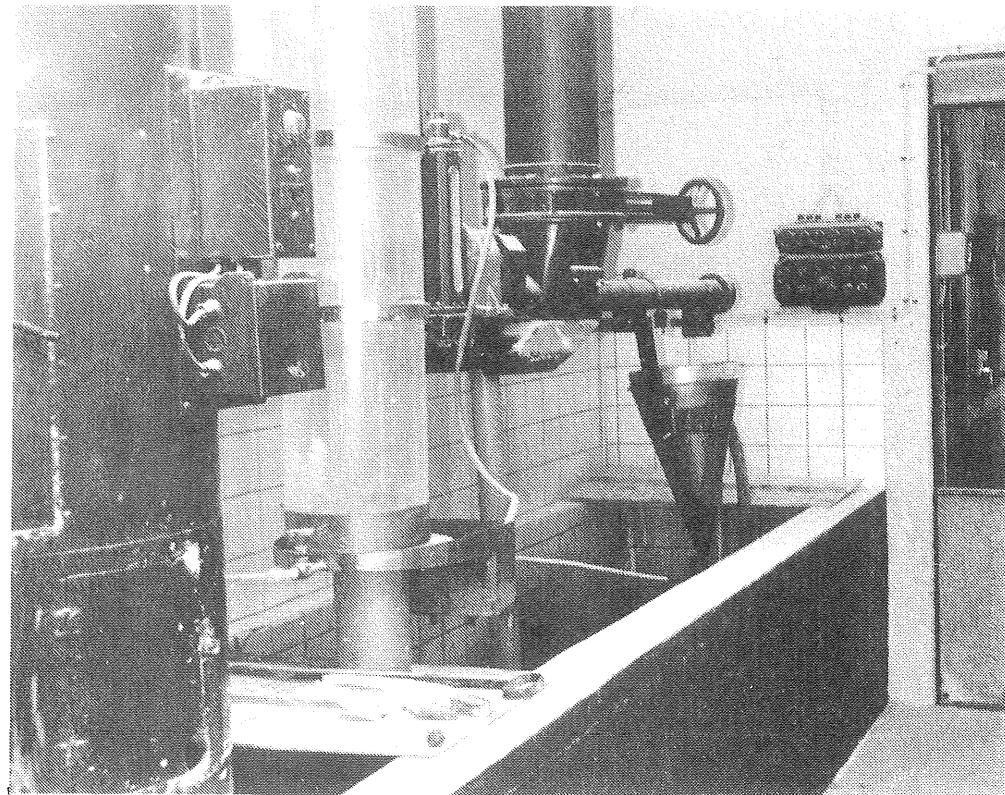
Dessa värden innebär vid medelflöde flockningstid: 113 min, ytbelastning sedimentering: 1.0 m/h och filterhastighet: 4.2 m/h. Slam töms i sedimenteringen varannan vecka. Tiden mellan filterspolningarna är normalt på vintern 55 tim och på sommaren 40 tim. Filtren spolas vid tryckförlusten 1.5-2.0 mvp eller när filtren ej släpper igenom önskad mängd vatten.

I fortsättningen gäller angivna värden endast de två besöksdygnen 4-5/4 1979.

7.2 Flöden, doseringar

Flödet genom verket var enligt verkets råvattenmätare konstant $630 \text{ m}^3/\text{h}$ ($15\ 100 \text{ m}^3/\text{d}$) vid besökstillfället. Vid de saltförsök som utfördes har ej varit möjligt att erhålla rimlig överensstämmelse med detta värde. Vid utvärdering av saltförsöken på två olika sätt erhölls ett totalflöde av storleksordningen $800 \text{ m}^3/\text{h}$. För belastningsberäkningar kommer detta värde att användas i fortsättningen. Eventuella vidare undersökningar får klargöra den bristande överensstämmelsen mellan saltförsöken och verkets råvattenmätare.

Lösning av aluminiumsulfat bereds kontinuerligt. Den aktuella aluminiumsulfat-doseringen var enligt uppgift $40 \text{ g Al-sulfat}/\text{m}^3$. Koagulanten tillsätts tillsammans med kalk i en inblandningsränna gemensam för de två systemen.



7.3 Flockning

Totalflödet $800 \text{ m}^3/\text{h}$ ger flockningstiden 86 min, om flödet antages jämnt fördelat mellan de två systemen. Utförandet av saltförsök innebar vissa problem eftersom inloppet till den första flockningstanken är beläget oatkommigt nära botten. Därför tillsattes en momentan dos salt (i detta fall 6 resp 7 kg NaCl) till inblandningskanalen. Den från sista flockningstanken utgående saltkoncentrationen (mätt som ledningsförmåga) registrerades som funktion av tiden för de båda systemen var för sig vid två olika tillfällen. Härvid erhölls maximal koncentration i utloppet efter ca 76 min. Den maximala saltkoncentrationen i utloppet i relation till medelhalten - dvs total saltmängden utspädd i hela flockningsvolymen - $(C/C_0)_{\max}$ var för båda systemen 1.0.

Omrörarnas varvtal uppmättes och med hjälp av ritningar och vissa mätningar på platsen har effekttillförsel och \bar{G} -värdet uppskattats. Härvid har vattenmassans medrotation antagits till 40% av paddelhastigheten. I tabell 7-1 återfinns varvtal, beräknad effekttillförsel och \bar{G} -värde samt periferihastighet. Paddelareans andel av minsta vertikala tankvärsnitt var 5.5%. För effekttillförseln (utom den femte flockningstanken) erhölls uttrycket:

$$w \approx 6.3 \cdot 10^{-3} \cdot n^3 \quad \text{watt/m}^3$$

där n är varvtalet på omrörare (varv/min)

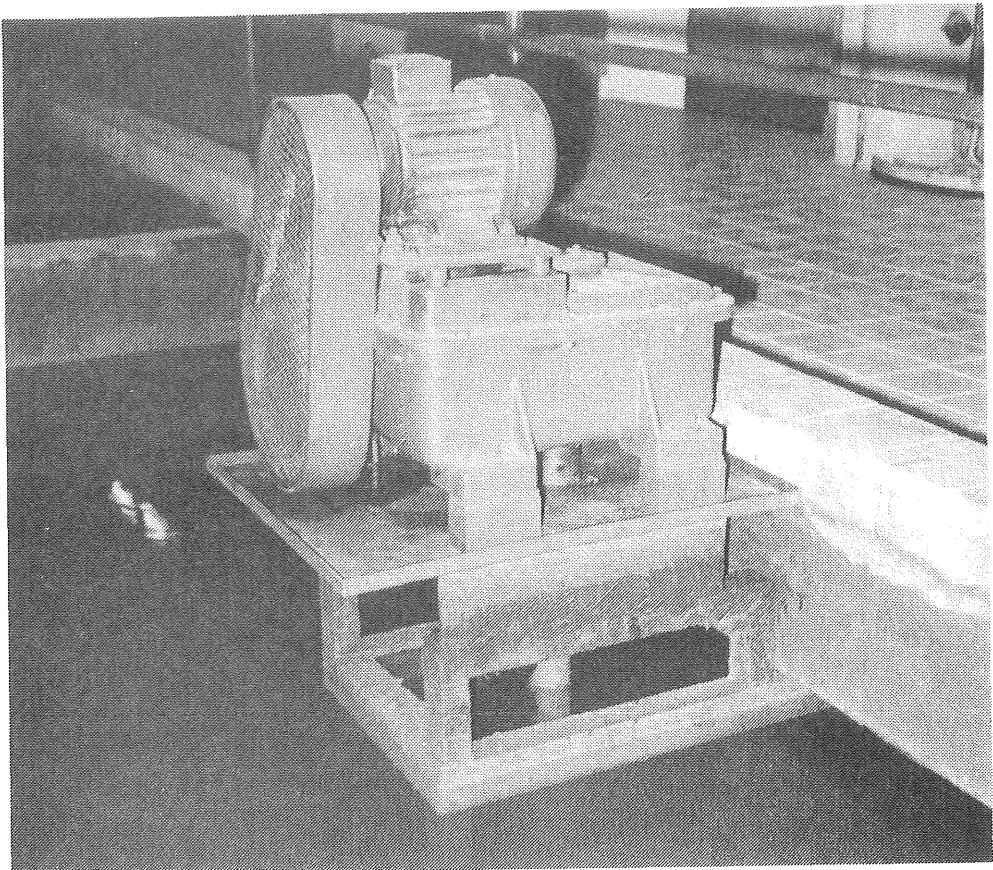
För den femte flockningstanken i båda systemen gäller:

$$w \approx 3.2 \cdot 10^{-3} \cdot n^3 \quad \text{watt/m}^3$$

\bar{G} -värdet erhålls enligt:

$$\bar{G} = \sqrt{\frac{w}{n}} \quad 1/\text{s}$$

där n är vattnets viskositet, vid aktuell temperatur (20°C) gäller
 $\eta = 1.7 \cdot 10^{-3} \text{ Ns/m}^2$.



Tabell 7-1. Data för omrörare i flockningssystem.

Kammare nr	1	2	3	4	5
SYSTEM 1 och 2					
Varvtal, n varv/min	1.0	0.82	0.78	0	0.47
Effekttillförsel, w watt/m ³	0.007	0.0035	0.003	~0	0.0003
Medelhastigetsgradient, G, l/s	2.0	1.5	1.3	~0	0.5
Periferihastighet, m/s	0.16	0.13	0.12	0	0.06

Effekttillförseln i flockningstankarna är genomgående mycket låg. Den fjärde flockningstanken i båda systemen saknade omrörare.

Detta ger också utslag i flockens sjunkegenskaper. Resultat av sjunkanalyser återfinns i fig 7.4 och 7.5

Tabell 7-2. Sjunkhastigheter

	Medelsjunkhastighet v_m , m/h	Spridning σ , m/h
System 1, kammar 5	3.3	2.9
System 2, kammar 5	3.3	2.9
System 2, kammar 3	2.6	2.9

Flocksjunkegenskaperna uppfyller ej till fullo de krav om uppställda i bilaga "Sjunkanalyser" trots en väl tilltagen flockningstid. Detta beror på den låga effekttillförseln samt delvis på att fällningspH är något för lågt. Uttagna dekantat- och filtratprov (se tabell 7-3) ger värden något under pH 6.0. Kontinuerlig mätning av pH i utgående vatten från flockningssystem 1 under en 12-timmars period gav också värden mellan 5.9 och 6.0.

7.4 Sedimentering

Vid beräkning av sedimenteringsbelastningen antages här flödet $800 \text{ m}^3/\text{h}$ jämnt fördelat mellan de två systemen. Detta ger ytbelastningen, räknat på total sedimenteringsyta $1.35 \text{ m}/\text{h}$. I fig 7.4 är sjunkanalyserna omräknade till sedimenteringsresultat vid varierande sedimenteringsbelastning. Som jämförelse är det verkliga resultatet inritat. Härvid antas att sjunkhastighetsfördelningen är oförändrad, oberoende av sedimenteringsdjup (i regel ökar dock sjunkhastigheten med ökat djup). Här uppvisar dock det praktiskt uppnådda sedimenteringsresultatet ett något sämre värde än vad sjunkanalysen förutsäger, vilket är ovanligt. Ca 20% flock återstår i vattnet efter sedimenteringen. Något sämre sedimenteringsresultat uppnås i system 1 jämfört med system 2: 21% jämfört med 20% kvarvarande flock. I system 1 uttogs prov på tre olika nivåer i utloppskanalen från sedimenteringsbassängen svarande mot utlopp från sedimenteringsbassängens tre parallella nivåer (0.3, 3 resp 5 m). Härvid kunde en viss ökning av mängden kvarvarande flock med ökat djup konstateras: 19, 22 resp 23%.

7.5 Filtrering

Filtratprov lutfogs vid tre tillfällen, dels från ett relativt nyspolat filter och dels från ett filter med ca 3 dygns gångtid. En tydlig förhöjning kunde konstateras av bl a det senare filtratets grumlighet. Det betyder att tre dygns gångtid vid aktuell dekantatkvalitet torde vara något för lång. Aluminiumresthalterna hos filtraten är något höga. Dessa skulle kunna minskas genom en ökning av fällningspH (se "Fällningsförsök").

7.6 Resultat av fällningsförsök

Fällningsförsök utfördes under standardiserade betingelser med aluminiumsulfatdoserna 30, 40 resp 50 mg/l. Fig 7.2 visar resultat efter filtrering som funktion av pH. I fig 7.3 har på grundval av fig 7.2 resultatet uttryckts som funktion av aluminiumsulfatdosen, dels vid "optimalt" fällningspH (6.3) och dels vid det pH som verket tillämpade (5.95). Som jämförelse har analysvärden för ett filtrat införts.

För att få ett godtagbart resultat har "erforderlig" aluminiumsulfatdos uträknats till 42.2 mg Al-sulfat/l. Lämpligt intervall för fällningspH 6.2-6.6.

7.7 Sammanfattning, åtgärder

Flödet genom verket mätt med verkets råvattenmätare uppvisar dålig överensstämmelse med gjorda saltförsök. Flödesfördelningen mellan de två systemen har vid aktuellt försöksutförande ej kunnat kartläggas. DeSSA förhållanden borde närmare studeras genom eventuellt ytterligare försök.

Effekttillförseln i flockningstankarna är genomgående för låg. Här föreslås att omrörare åter installeras i flockningskammare 4 samt att följande varvtal tillämpas: 5 varv/min i den första flockningstanken sedan 4, 3, 2,5 resp 2 varv/min i den sista flockningstanken.

Tillämpat fällningspH var något för lågt.

Samtliga filter har gemensam övre vattenytta. Efter spolning stryps ventilen för utgående vatten från filtret manuellt. Detta kan innebära skillnader i flöde mellan olika filter. Dessutom varierar vattennivån i hela anläggningen beroende på filtrens igensättningsgrad. För att erhålla fördelaktigare driftsförhållanden bör anordningar inmonteras som automatiskt reglerar flödet genom filtren till ett konstant värde samt håller vattennivån i verket konstant.

Tabell 7-3. Analysresultat

Prov nr	pH	Grumlighet FTU	UV-absorbans $E_{254}(4\text{ cm})$	Färgvärde $E_{436}(4\text{ cm})$	Permanganat- tal, mg KMnO_4/l	mg Al^{3+}/l
701	6.3	2.3	1.3	0.091	32.9	0.15
701F	-	1.9	1.3	0.082	34.4	0.16
702	6.4	2.3	1.3	0.092	32.6	0.18
704	5.9	2.1	0.44	0.030	13.6	0.96
706	6.1	0.10	0.26	0.005	9.2	0.11
707	5.9	0.37	0.29	0.010	9.9	0.31
708	6.0	0.12	0.25	0.008	9.3	0.27

Prov nr

701 Råvatten 4/4

701F Råvatten 4/4, filtrerat prov

702 Råvatten 5/4

704 Dekantat, samlingsränna 5/4 kl 12.00

Gångtid

706 Filtrat filter 2 5/4 kl 12.00, spolat kl 10 5/4 2 h

707 Filtrat filter 3 5/4 kl 12.00 " 20 2/4 62 h

708 Filtrat filter 2 5/4 kl 15.00 " 10 5/4 5 h

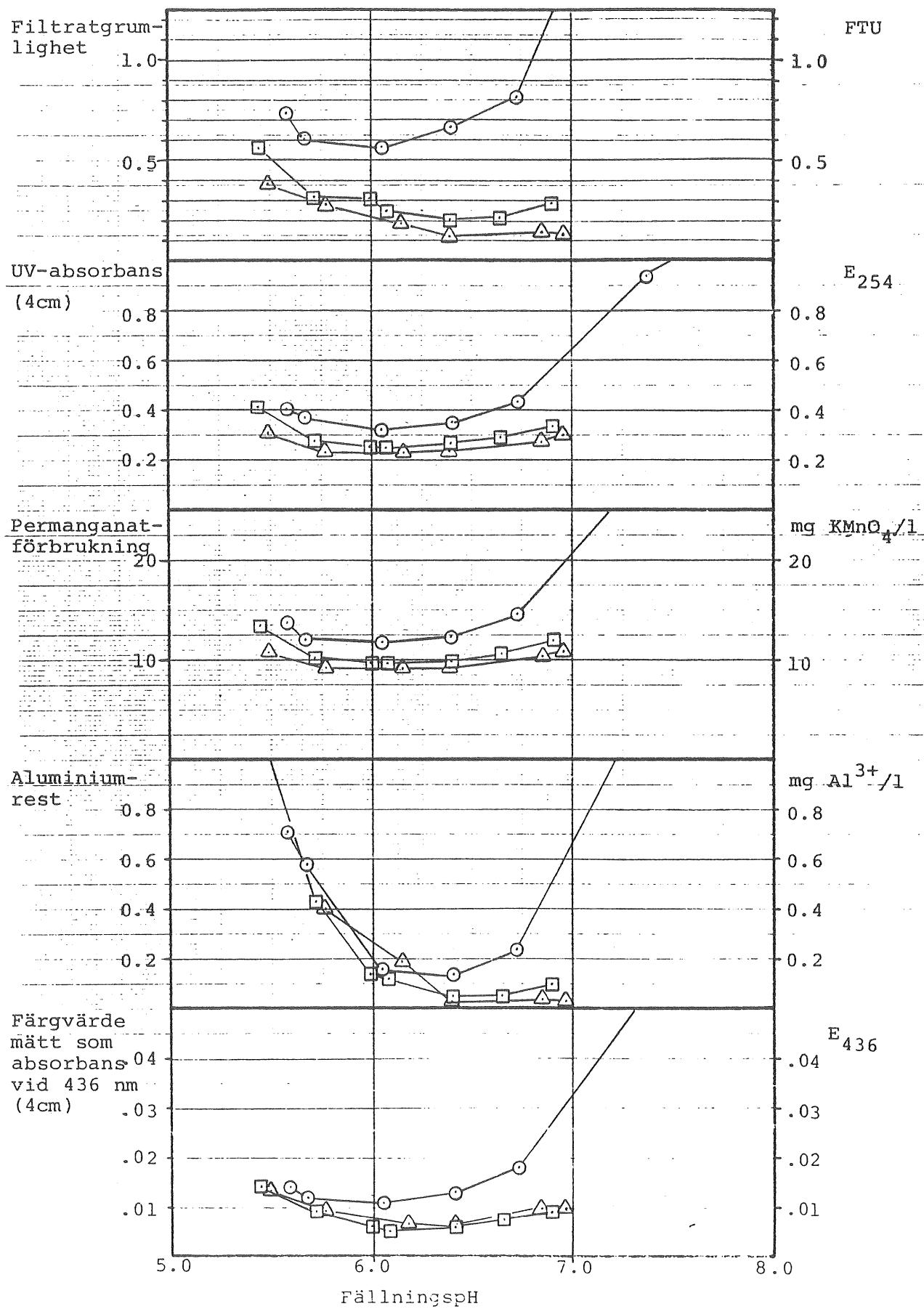
Råvattnets alkalitet analyserades till 0.24 m ekv/l.

Figur 7.2

Uddevalla
4-5/4 1979Resultat av fällningsförsök
Analysvärden efter filtrering

Al-sulfat-
dosering, mg/l

- 30
- 40
- △ 50

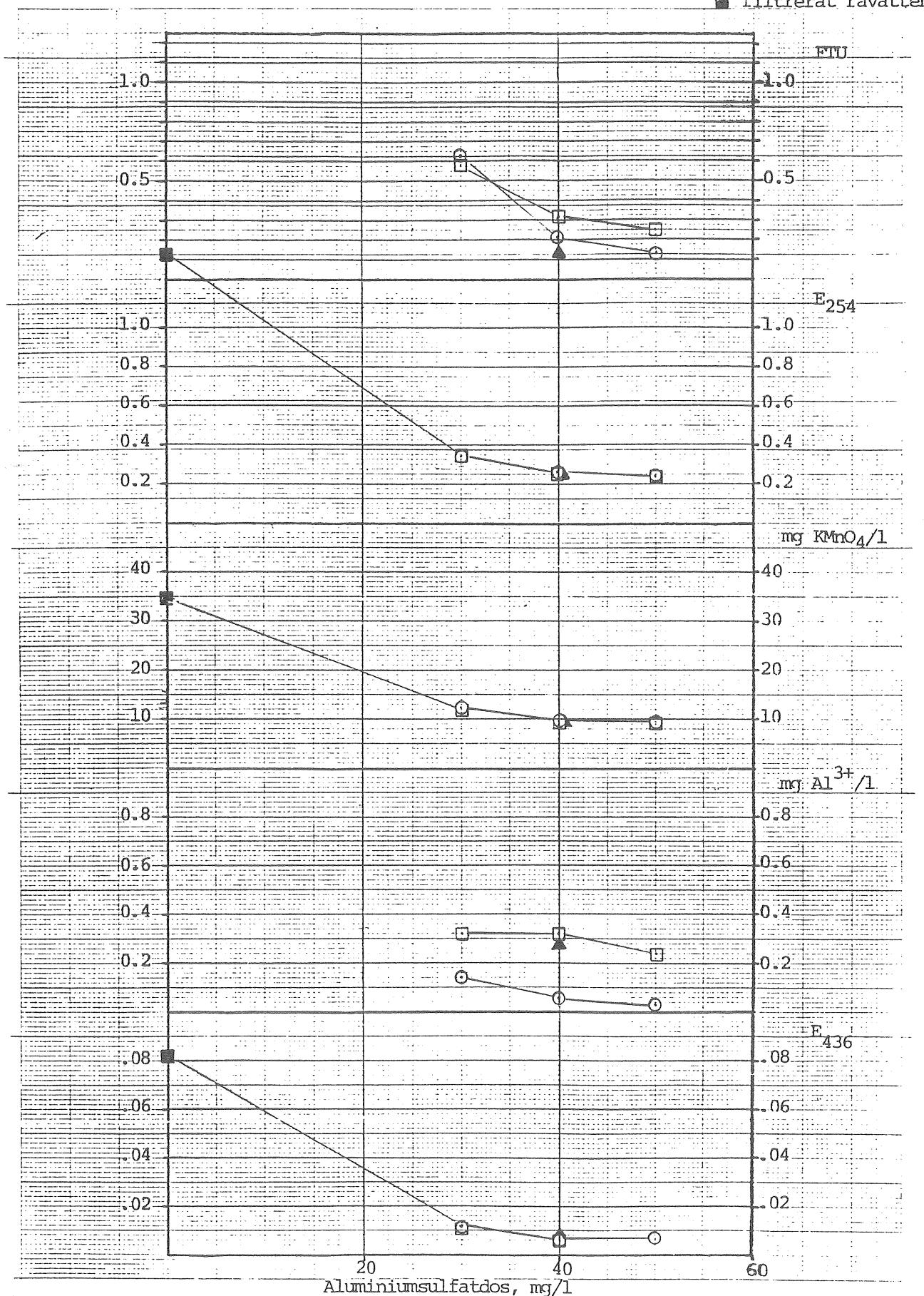


Figur 7.3
Uddevalla

Resultat av fällningsförsök
som funktion av aluminiumsulfatdos.

Jämförelse med driftsresultat

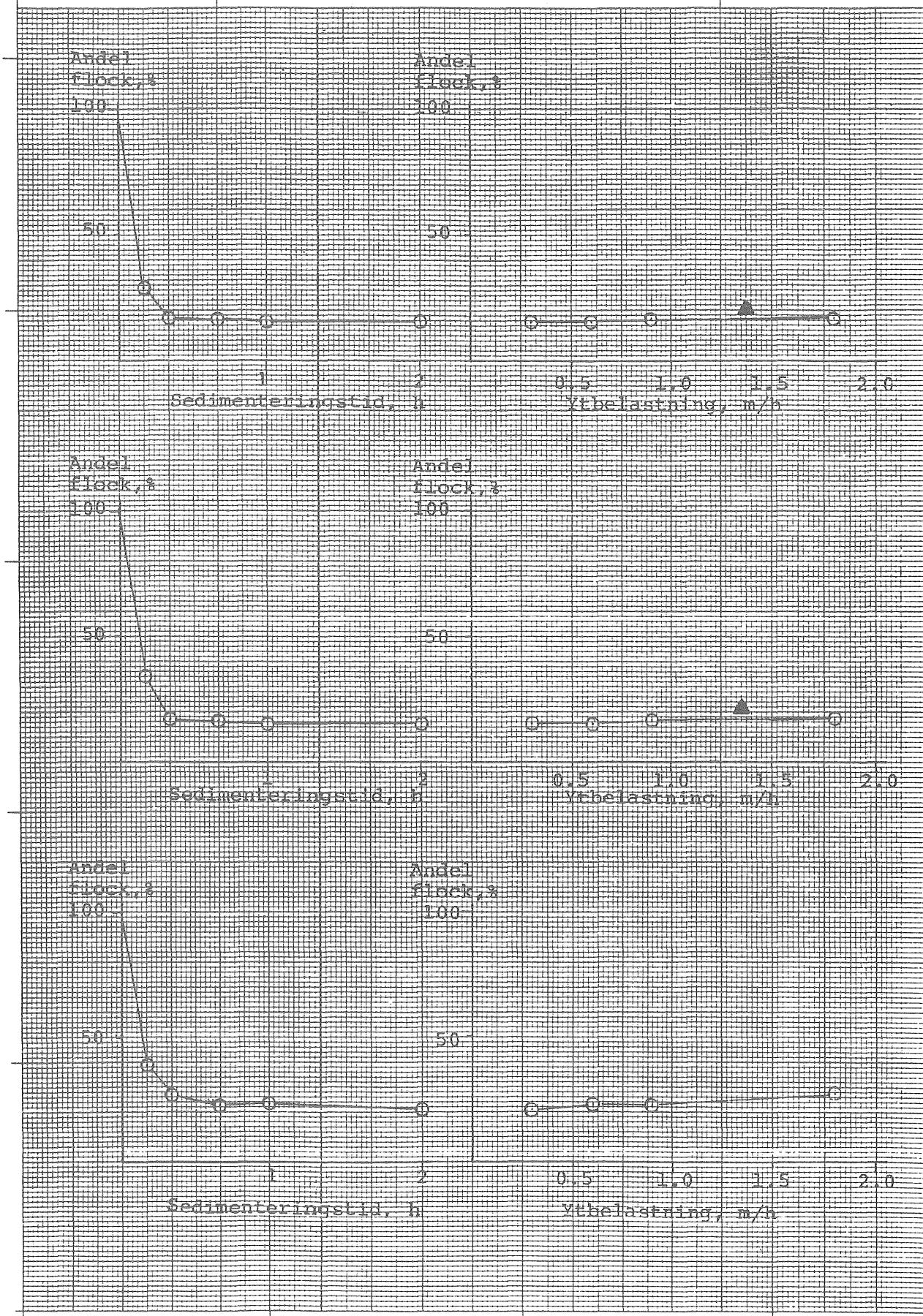
O FällningsPH 6.3
□ FällningsPH 5.95
(verkets fällnpH)
▲ verkets driftres.
■ filtrerat råvatten



Figur 7.4
Uddevalla

Sjunkanalyser och jämförelse
med praktiskt sedimentterings-
resultat.

- System 1, kam 5
- System 2, kam 5
- △ System 2, kam 3
- ▲ driftresultat

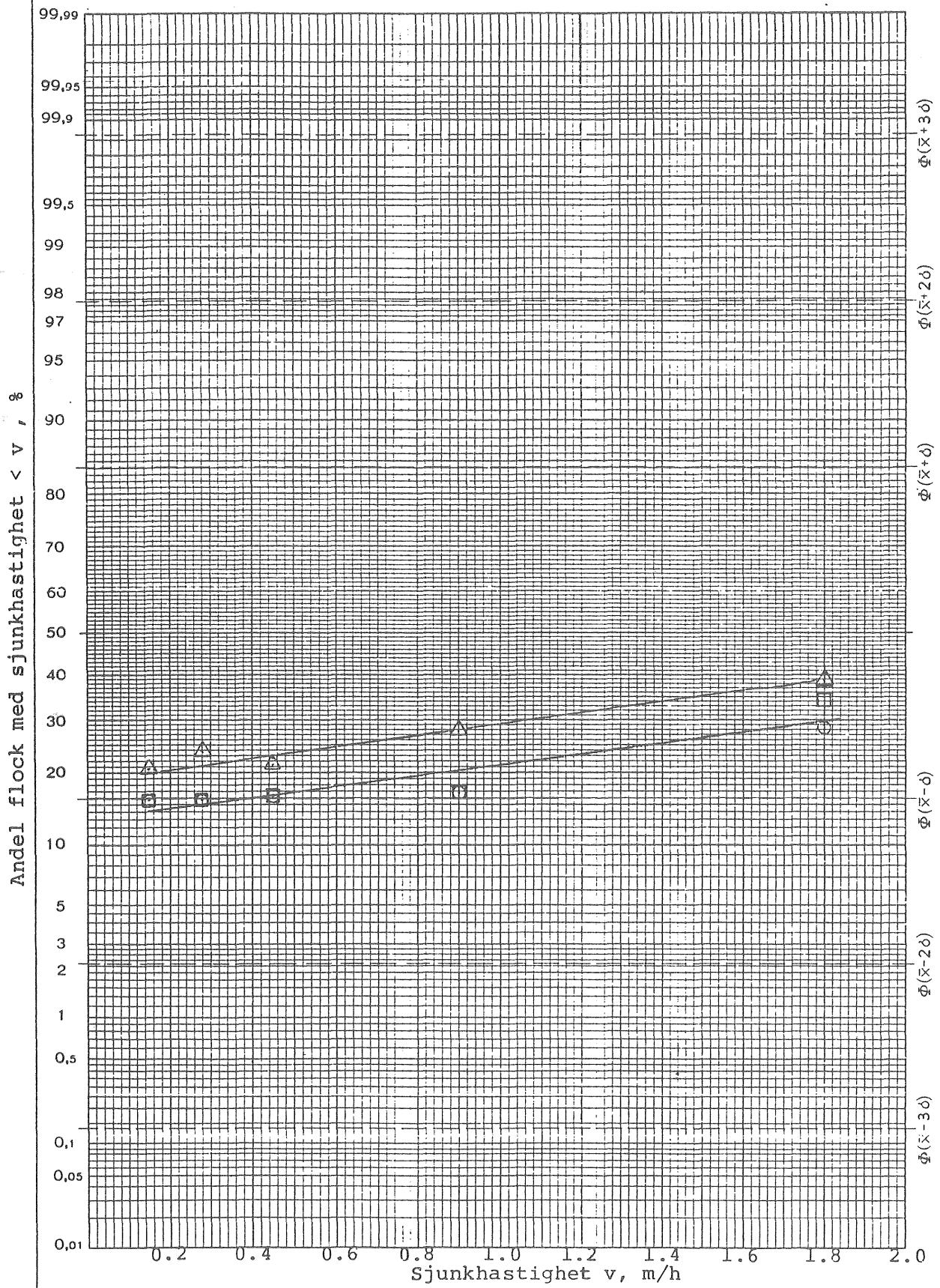


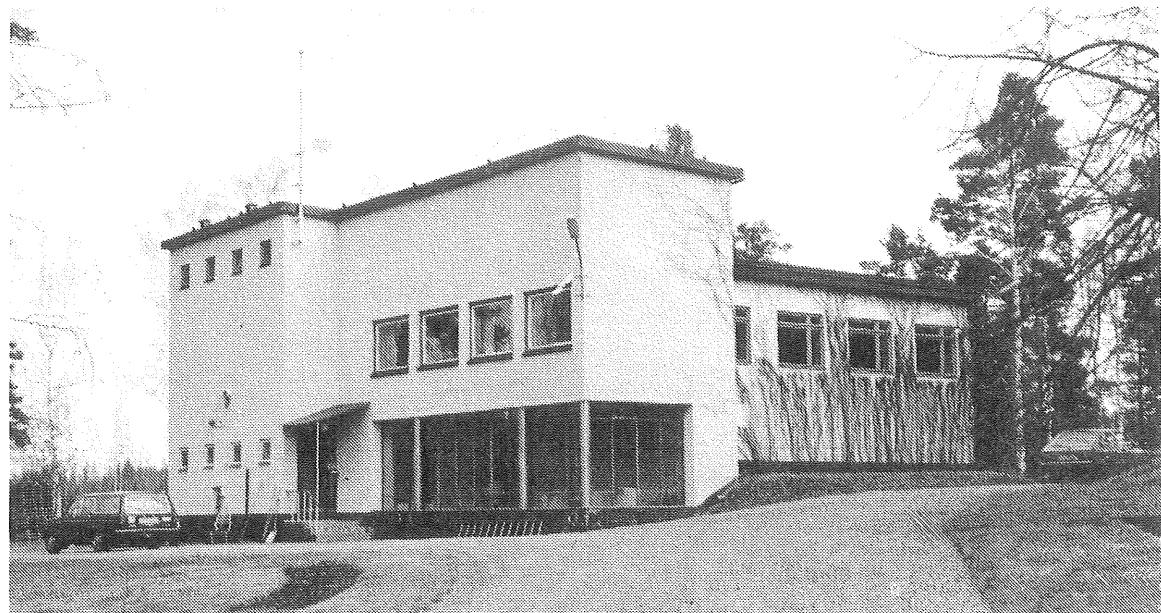
Figur 7.5
Üddevalla

Utvärdering av sjunkanalyser

\bar{v}_m σ
3.3 2.9
3.3 2.9
2.6 2.9

- | |
|-------------------|
| ○ System 1, kam 5 |
| △ System 2, kam 5 |
| □ System 2, kam 3 |





8.1 Beskrivning av verkets funktion

Verket har två parallella flockningssystem med efterföljande sedimentering. Vardera system har fyra flockningstankar i serie, med den totala flockningsvolymen $96 \text{ m}^3/\text{system}$. Sedimenteringen består av s k Lovö-bassänger (två bottnar, fram- och återgående vattenflöde) med total sedimenteringsyta $135 \text{ m}^2/\text{system}$.

Den totala filterarean är 40 m^2 . Filterbäddarna består av granulerat aktivt kol.

Angivna flöden och doseringar:

maxflöde: $5\ 500 \text{ m}^3/\text{d}$, medelflöde: $4\ 000 \text{ m}^3/\text{d}$

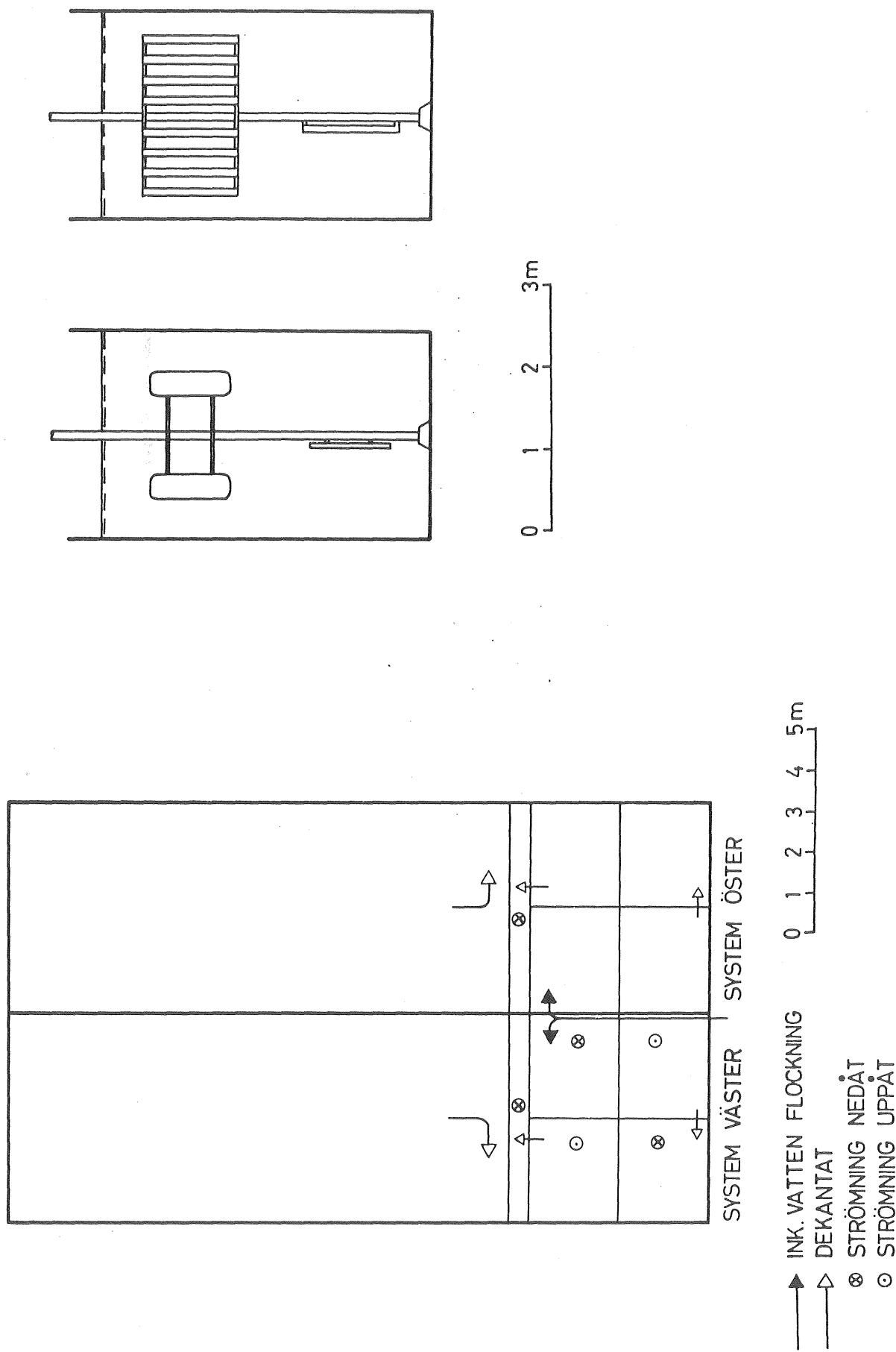
förförklorering

aluminiumsulfat: 25 g/m^3

fällningspH justeras med lut

ingen hjälpkoagulant doseras

till renvattnet doseras lut, kiselsyra samt klor



Figur 8.1 Säffle vattenverk

Dessa värden innebär vid medelflöde flockningstid: 68 min, ytbelastning sedimentering: 0.6 m/h, filtrerhastighet: 4.2 m/h. Slam töms i sedimenteringen 1 gång/mån. Filtern drivs till tryckförlusten 1.0 mvp. Tiden mellan filter-spolningarna är normalt på vintern ca 3 dygn, på sommaren ca 2 dygn.

I fortsättningen gäller angivna värden endast de två besöksdygnen 17-18/4 1979.

8.2 Flöden, doseringar

Flödet genom verket var enligt verkets råvattenmätare konstant 50 l/s (180 m³/h). Vid de saltförsök som utfördes erhölls totalflödet 202 m³/h, fördelat på system 1 (väster) och system 2 (öster) enligt: 109 resp 93 m³/h.

Flödet vid besökstillfället ligger alltså nära angivet medelflöde.

Aluminiumsulfatdoseringen beräknades genom kemikalieförbrukningen 17-18/4 1979. Härvid erhölls doseringen 27 g Al-sulfat/m³. Koagulanten tillsätts tillsammans med lut i en inblandningssnäcka gemensam för de två systemen.

8.3 Flockning

Ovan angivna flöden ger flockningstider för system 1 och 2: 52 resp 61 min. På grund av att flockningsbassängerna till stora delar är inbyggda uppkom svårigheter att finna en lämplig provtagningspunkt i saltförsök för mätning av utgående saltkoncentration från flockningssystemen. Mätningen utfördes i sedimenteringens inströmningsschakt, där tydliga instabila strömningsförhållanden rådde. Detta ger sig till känna genom att kurvan för saltkoncentration - tid får ett starkt pulserande förlopp. Detta gör att kurvorna här inte kan användas för bedömning av uppehållstidsfördelningen i flockningssystemen, däremot torde inte flödesberäkningen påverkas.

Omrörarnas varvtal uppmättes och med hjälp av ritningar och uppgifter från personalen på verket har effekttillförsel och \bar{G} -värden beräknats. Det måste understrykas att de värden som erhållits endast ger en grov uppskattning. Vattenmassans medrotation har antagits vara 40% av paddelhastigheten. I tabell 8-1 återfinns varvtal, beräknad effekttillförsel, \bar{G} -värde, periferihastighet samt paddelarea som andel (%) av tanktvärsnitt.

För effekttillförseln i de två första flockningstankarna i de båda flockningssystemen (omrörare med paddelblad) erhölls uttrycket:

$$w \approx 3.4 \cdot 10^{-3} \cdot n^3 \quad \text{watt/m}^3$$

där n är varvtalet på omrörare (varv/min)

För den tredje flockningstanken (grindomrörare) gäller

$$w \approx 3.3 \cdot 10^{-3} \cdot n^3 \quad \text{watt/m}^3$$

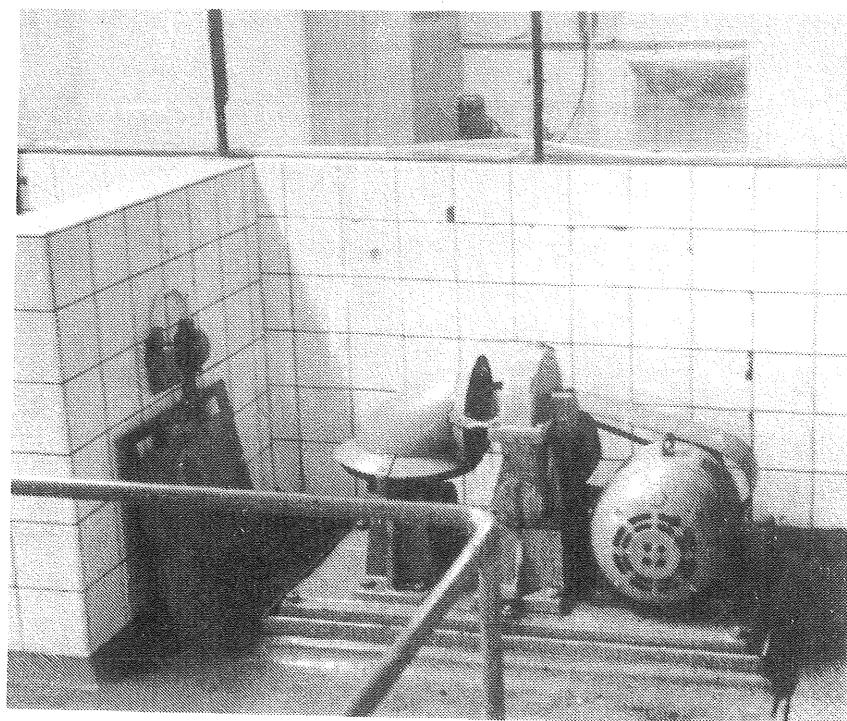
För den sista flockningstanken i respektive system (övre grind borttagen)

$$w \approx 1.6 \cdot 10^{-3} \cdot n^3 \quad \text{watt/m}^3$$

\bar{G} -värdet erhålls enligt:

$$\bar{G} = \sqrt{\frac{w}{n}} \quad 1/\text{s}$$

där n är vattnets viskositet, vid aktuell temperatur (4°C) gäller
 $\eta = 1.6 \cdot 10^{-3} \text{ Ns/m}^2$.



Tabell 8-1. Data för omrörare i flockningssystem

Kammare nr	1	2	3	4
SYSTEM 1 (väster)				
Varvtal, n varv/min	2.4	1.8	2.4	0.59
Effekttillförsel, w watt/m ³	0.047	0.021	0.045	0.00034
Medelhastighets- gradient, \bar{G} , 1/s	5.5	3.6	5.4	0.5
Periferihastighet, m/s	0.20	0.15	0.25	0.062
Paddelarea/ tanktvärsnitt, %	13	13	23	11
SYSTEM 2 (öster)				
Varvtal, n varv/min	2.4	1.8	0.73	0.55
Effekttillförsel, w watt/m ³	0.047	0.021	0.045	0.00034
Medelhastighets- gradient, \bar{G} , 1/s	5.5	3.6	5.4	0.47
Periferihastighet, m/s	0.20	0.15	0.25	0.06

Effekttillförseln är genomgående för låg i de båda systemen, dessutom ökar omrörningsintensiteten omotiverat i den tredje flockningstanken i system 1.

Detta ger också utslag i flockens sjunkegenskaper. Resultat av sjunkanalyser återfinns i fig 8.4 och 8.5.

Tabell 8-2. Sjunkhastigheter

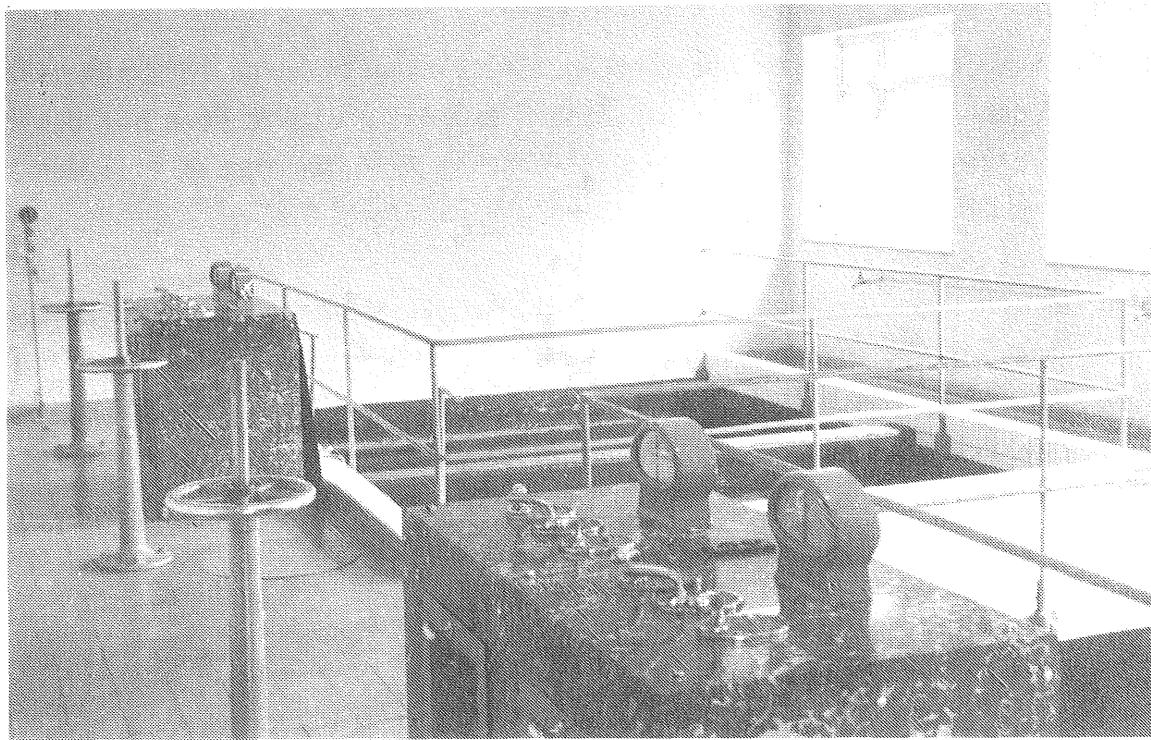
	Medelsjunkhastighet v_m , m/h	Spridning σ , m/h
Kammare 4, system 1 (väster)	1.4	1.5
Kammare 4, system 2 (öster)	1.1	1.8

De dåliga flocksjunkegenskaperna (för uttolkning se bilaga "Sjunkanalyser") kan troligen till största delen hänföras till den låga effekttillförseln i flockningssystemen. FällningspH ligger inom godtagbart intervall. Uttagna

dekantat- och filtratprov (se tabell 8-3) ger värden runt pH 6.5. Trots att ingen aktiverad kiselsyra doseras skall avsevärt bättre sjunkegenskaper kunna åstadkommas genom att förändra omrörarnas varvtal.

8.4 Sedimentering

Vid aktuella flöden är ytbelastningen, räknad på total sedimenteringsyta för system 1:0.81 m/h samt för system 2:0.68 m/h. I fig 8.4 är sjunkanalyserna omräknades till sedimenteringsresultat vid varierande sedimenteringsbelastning. Som jämförelse är de verkliga resultatet inritat. Härvid antas att sjunkhastighetsfördelningen är oförändrad oberoende av sedimenteringsdjupet (i regel ökar dock sjunkhastigheten med ökat djup). Det praktiska sedimenteringsresultatet är också något bättre än det resultat som sjunkanalysdata förutsäger. Flocksjunkegenskaperna är något bättre i system 1 än i system 2. Det visar sig också i sedimenteringsresultatet, ca 20% kvarvarande flock jämfört med 30%.



8.5 Filtrering

Prov uttogs från två filter, från ett nyspolat filter samt från det filter som stod i tur att spolas. Analysresultatet återfinns i tabell 8-3. Det nyspolade filtret visar godtagbara värden medan filtret med en gångtid av ca 1.5 dygn har gett en tydlig förhöjning av främst grumlighet och aluminiumrest hos filtratet. Vid aktuell dekantatkvalitet torde därför gångtiden för filtret vara för lång.

8.6 Resultat av fällningsförsök

Fällningsförsök utfördes under standardiserade betingelser med aluminiumsulfatdoserna 20, 30 resp 40 mg/l. Fig 8.2 visar resultat efter filtrering som funktion av pH. I fig 8.3 har på grundval av fig 8.2 resultaten uttryckts som funktion av aluminiumsulfatdosen, dels vid "optimalt" fällningspH (6.2) och dels vid det pH som verket tillämpade (6.5). Som jämförelse har analysvärdet för det bästa filtratet införts.

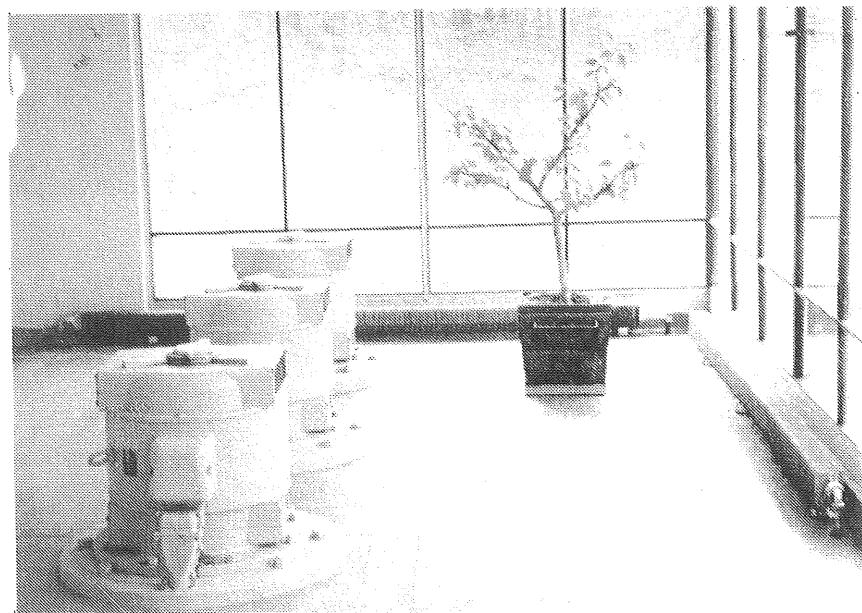
För att få ett godtagbart resultat har "erforderlig" aluminiumsulfatdos uträknats till 25.9 mg Al-sulfat/l. Lämpligt intervall för fällningspH 6.1-6.4.

8.7 Sammanfattning, åtgärder

Saltförsöken gav en skillnad i flöde mellan de två systemen på ca 18%. Totalflödet erhållet med saltförsök skiljer sig ca 10% från verkets råvattenmätare.

Genomgående är effekttillförsern i flockningstankarna för låg, vilket ger flockar med dåliga sjunkegenskaper. En möjlig åtgärd vore att öka varvtalet för befintliga omrörare (i ordning från den första till den sista flockningstanken) till 6, 4, 3 resp 2 varv/min.

En måttlig dosering (ungefärlig 2 g/m³) aktiverad kiselsyra skulle förbättra flockarnas sjunkhastighet, öka hållfastheten hos avsatt flock i filtren och ge jämnare filtratkvalitet. Dock ökar tryckförlusttillväxten samt dessutom får olägenheten med hantering av ytterligare en kemikalie vid verket övervägas.



Tabell 8-3. Analysresultat

Prov nr	pH	Grumlighet FTU	UV-absorbans E ₂₅₄ (4 cm)	Färgvärde E ₄₃₆ (4 cm)	Permanganat- tal, mg KMnO ₄ /l	mg Al ³⁺ /l
801	6.6	3.4	0.74	0.084	22.8	0.07
801F	-	2.4	0.78	0.061	22.2	0.07
802	6.6	3.4	0.78	0.082	21.8	0.08
804	6.5	1.2	0.31	0.023	11.2	0.50
805	6.5	1.7	0.36	0.030	13.0	0.66
806	6.5	0.11	0.20	0.005	8.6	0.04
807	6.5	0.36	0.23	0.010	9.5	0.12

Prov nr

801	Råvatten	17/4				
801F	Råvatten	17/4, filtrerat prov				
802	Råvatten	18/4				
804	Dekantat, system 1	18/4 k1 16.45				
805	Dekantat, system 2	18/4 " 16.45				Gångtid
806	Filtrat, filter 2	" 16.45	spolat k1 06 18/4			10 h
807	Filtrat, filter 3	" 16.45	" 06 17/4			34 h

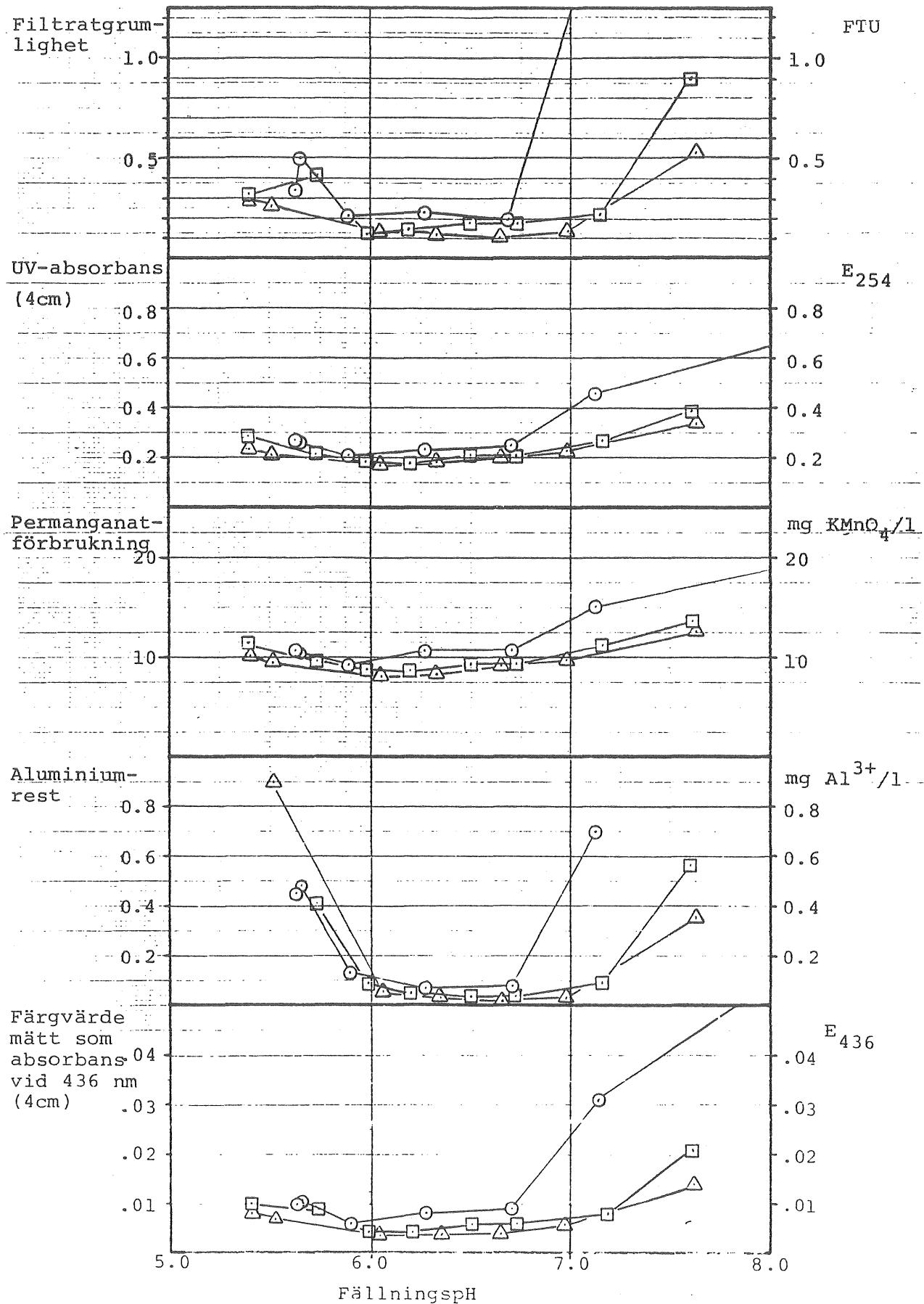
Råvattnets alkalitet analyserades till 0.15 m ekv/l.

Figur 8.2

Säffle
17-18/4 1979

Resultat av fällningsförsök
Analysvärden efter filtrering

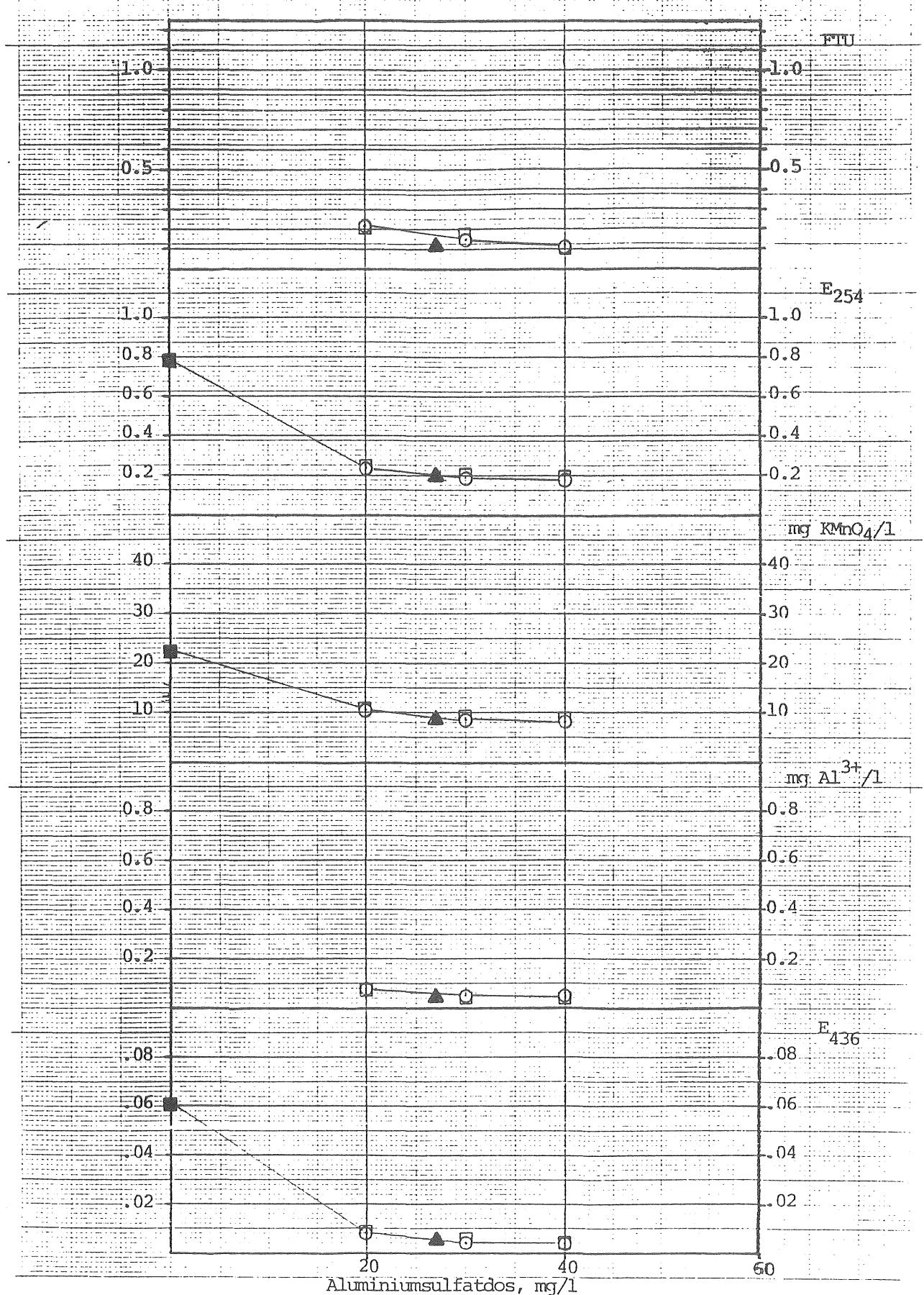
Al-sulfat-
dosering, mg/l
○ 20
□ 30
△ 40



Figur 8.3
Säffle

Resultat av fällningsförsök
som funktion av aluminiumsulfatdos.
Jämförelse med driftsresultat

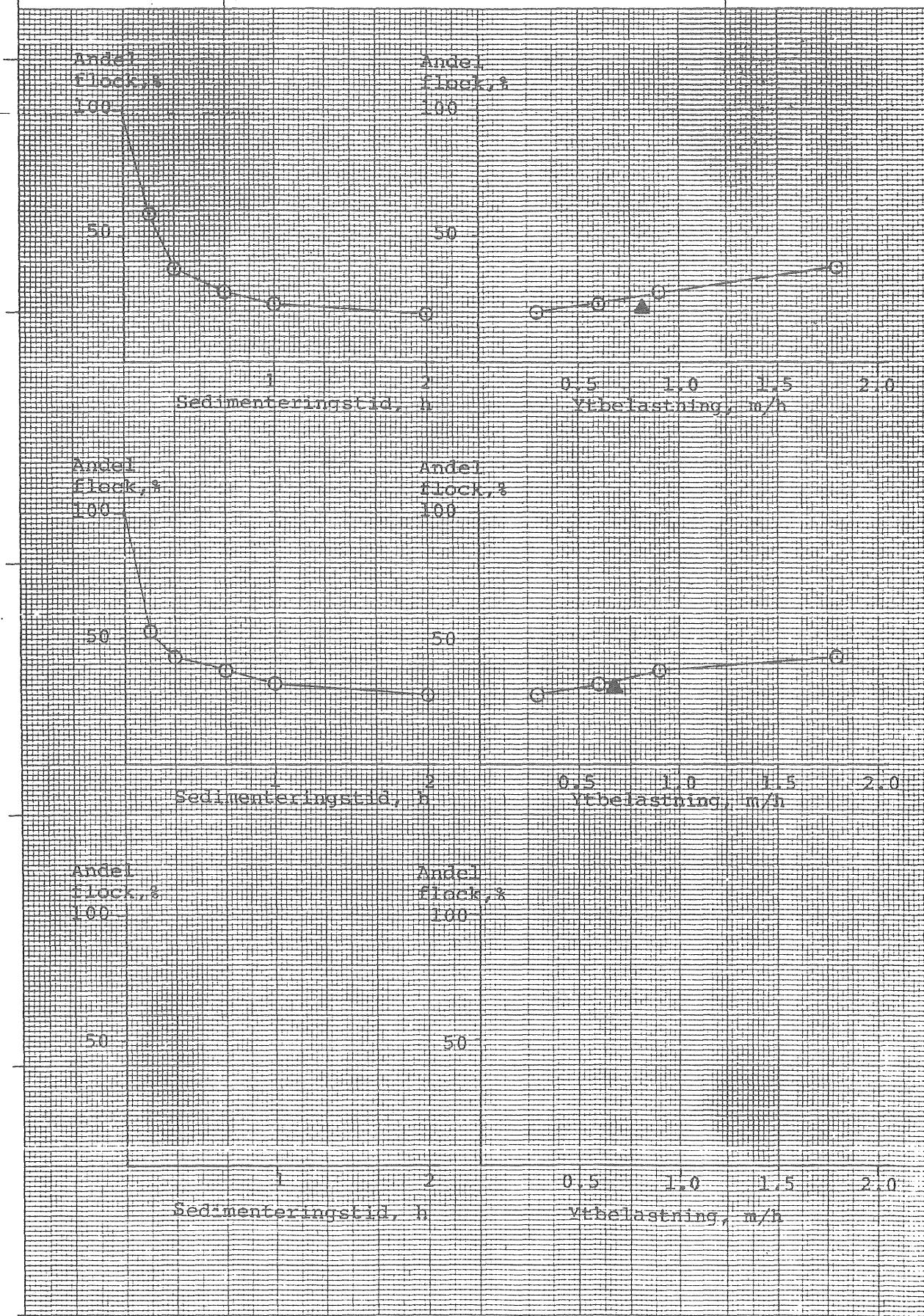
O FällningspH 6.2
□ FällningspH 6.5
(verkets fällnpH)
▲ verkets driftres.
■ filtrerat råvatten



Figur 8.4
Säffle

Sjunkanalyser och jämförelse
med praktiskt sedimentterings-
resultat.

- System 1, kam 4
- System 2, kam 4
- ▲ driftresultat



Figur 8.5
Säffle

Utvärdering av sjunkanalyser

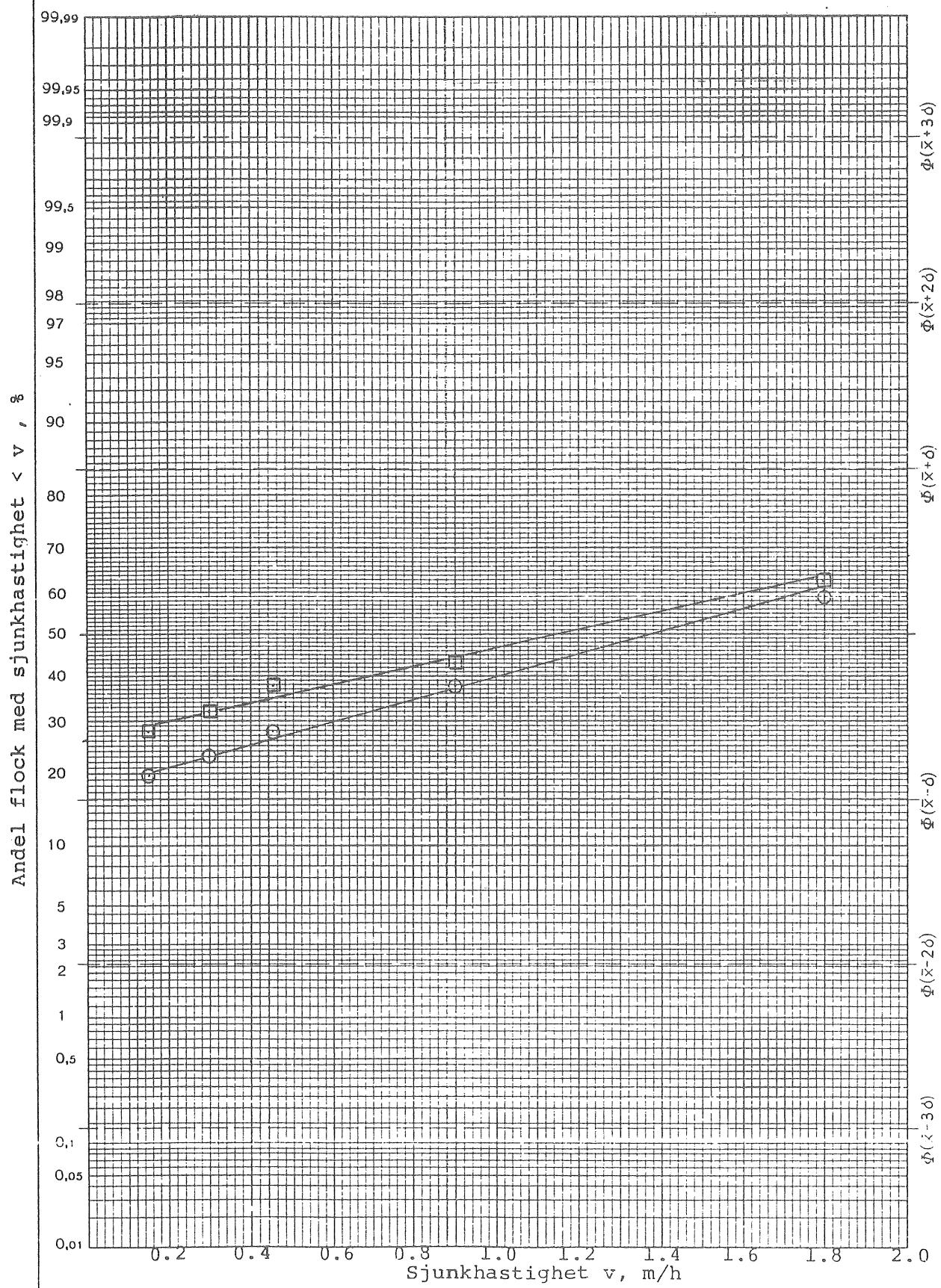
v_m σ

1.38 1.46

1.14 1.78

○ System 1, kam 4

□ System 2" kam 4





9.1 Beskrivning av verkets funktion

Verket består av ett flockningssystem med efterföljande sedimenteringsbassäng. Flockningssystemet består av fyra flockningskammare med den totala volymen 230 m^3 . Sedimenteringen består av två parallelströmningsbassänger med två mellanbottnar. Den totala sedimenteringsytan är 280 m^2 .

Total filterarea: 54 m^2 . Filterbädden består av granulerat aktivt kol.

Angivna flöden och doseringar:

maxflöde: $4\ 600 \text{ m}^3/\text{d}$, medelflöde: $2\ 000 \text{ m}^3/\text{d}$

förklaring

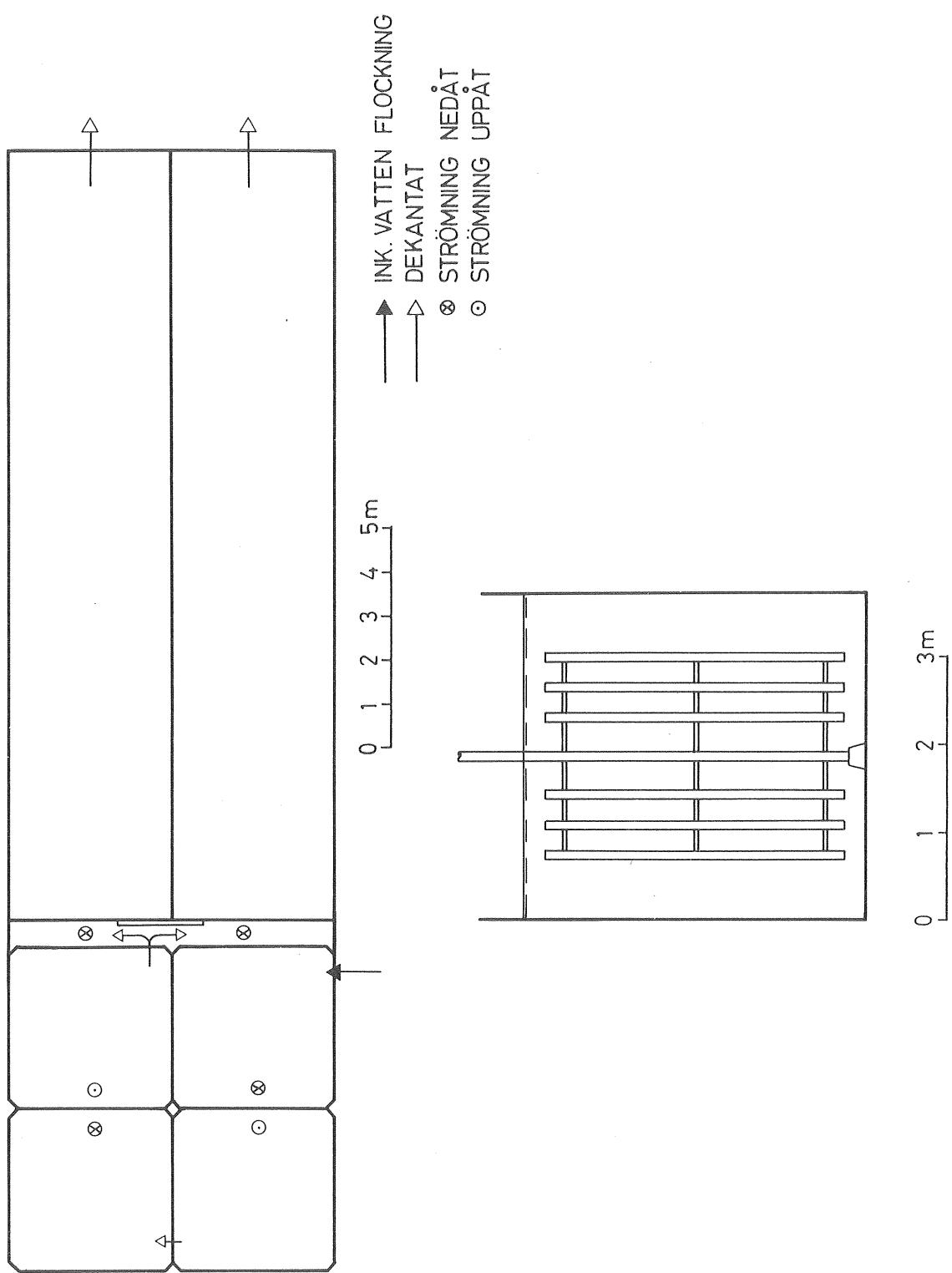
aluminiumsulfat: 105 g/m^3

justering av fällningspH med kalk

aktiverad kiselsyra doseras tidvis

efteralkalisering, kalk

efterklorering



Figur 9.1 Mönsterås vattenverk

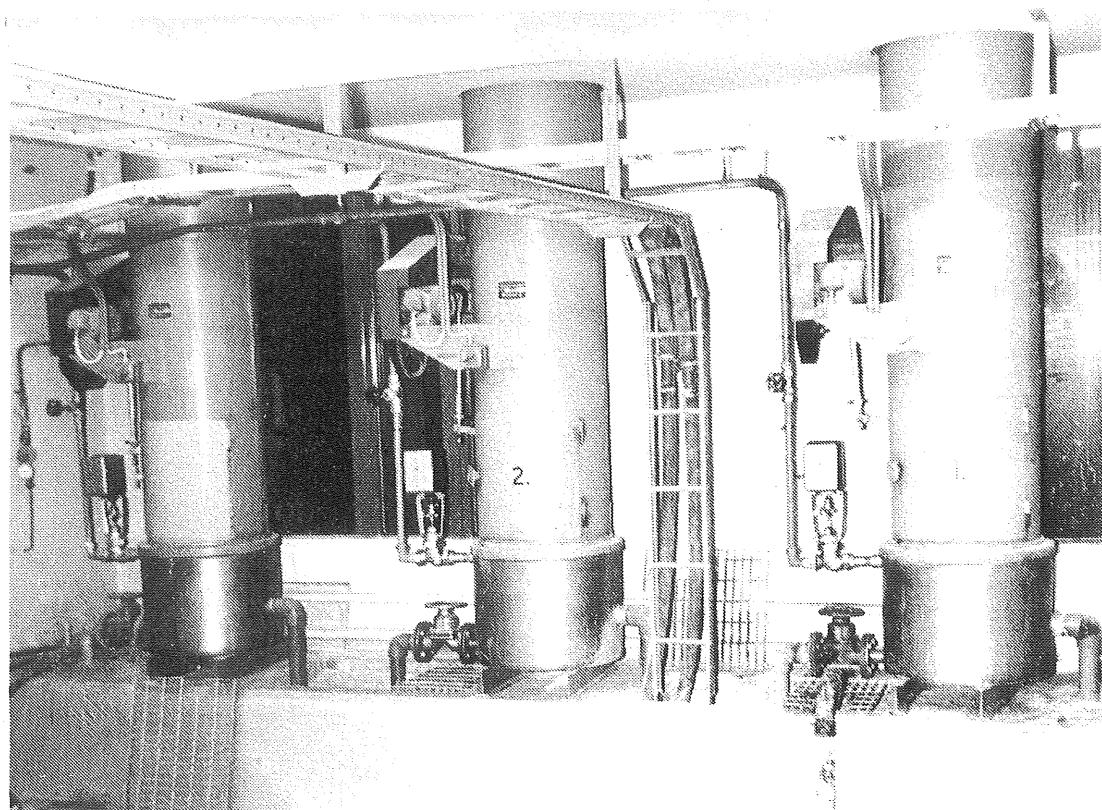
Dessa värden innebär vid medelflöde, flockningstid: 166 min, ytbelastning sedimentering: 0.3 m/h och filtrerhastighet: 1.5 m/h. Slam töms intermittent i sedimenteringen med hjälp av mammotpumpar. Tiden mellan filterspolningarna är normalt 5-7 dygn, både på vintern och sommaren. Filtren spolas med fast tidsintervall eller vid tryckförlusten 1.5 mvp.

I fortsättningen gäller angivna värden endast de två besöksdygnen 23-24/4 1979.

9.2 Flöden, doseringar

Flödet genom verket var enligt verkets råvattenmätare $63 \text{ m}^3/\text{h}$. Vid det saltförsök som utfördes erhölls dock totalflödet $88 \text{ m}^3/\text{h}$.

Lösning av aluminiumsulfat bereds kontinuerligt. Mätning av doserad mängd aluminiumsulfat/tidsenhet gav den aktuella doseringen $108 \text{ g Al-sulfat}/\text{m}^3$. Koagulanten tillsätts tillsammans med kalk i en inblandningsränna före flockningssystemet.



Inblandningsränna med doseringsanordningar.

9.3 Flockning

Ovan angivet flöde ger flockningstiden 157 min. Vid saltförsöket doserades en momentan dos salt (i detta fall 2 kg NaCl) i inblandningsrännan. Den från sista flockningstanken utgående saltkoncentrationen (mätt som ledningsförmåga) registrerades som funktion av tiden. Ju högre det maximalt registrerade koncentrationsvärdet är samt ju närmare detta värde i tiden ligger den uträknade medeluppehållstiden, desto fördelaktigare är flödesbilden. Tidpunkten för maximal koncentration var ca 160 min. Den maximala saltkoncentrationen i utloppet i relation till medelhalten - dvs totala saltmängden utspädd i hela flockningsvolymen - $(C/C_0)_{\max}$ antog värdet ca 0.8.

Omrörarnas varvtal uppmättes och med hjälp av ritningar och vissa mätningar på platsen har effekttillförsel och \bar{G} -värdet uppskattats. Vattenmassans medrotation har antagits till 40% av paddelhastigheten. I tabell 9-1 återfinns varvtal, beräknad effekttillförsel och \bar{G} -värdet samt periferihastighet. Den totala paddelareans andel av minsta vertikala tankvärsnitt var ca 14%.

För effekttillförselet erhölls uttrycket:

$$w \approx 6 \cdot 10^{-3} \cdot n^3 \quad \text{watt/m}^3$$

där n är varvtalet på omrörare (varv/min)

\bar{G} -värdet erhålls enligt:

$$\bar{G} = \sqrt{\frac{w}{n}} \quad 1/s$$

där n är vattnets viskositet, vid aktuell temperatur (6^0C) gäller
 $\eta = 1.5 \cdot 10^{-3} \text{ Ns/m}^2$.

Tabell 9-1. Data för omrörare i flockningssystem.

Kammare nr	1	2	3	4
Varvtal, n varv/min	3.2	2.4	1.3	0.88
Effekttillförsel, w watt/m ³	0.20	0.086	0.015	0.004
Medelhastigets- gradient, G, l/s	11.7	7.7	3.2	1.7
Periferihastighet, m/s	0.38	0.29	0.16	0.11

Effekttillförseln kan generellt betecknas som något för låg, men med hänsyn till den extremt långa flockningstiden är nivån godtagbar.

Flockarnas sjunkegenskaper uppmättes vid ett tillfälle. Resultat av sjunkanalyser återfinns i fig 9.4 och 9.5.

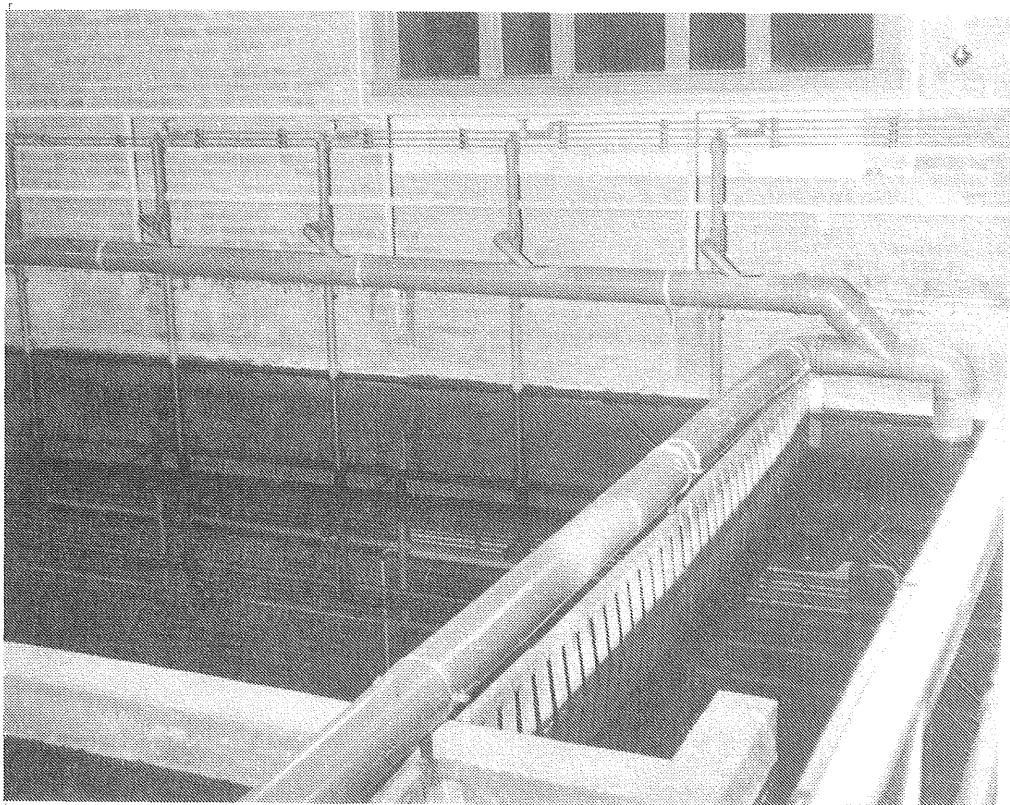
Tabell 9-2. Sjunkhastigheter

	Medelsjunkhastighet v_m , m/h	Spridning σ , m/h
Kammare 4	1.30	0.66
Kammare 2	1.25	0.50

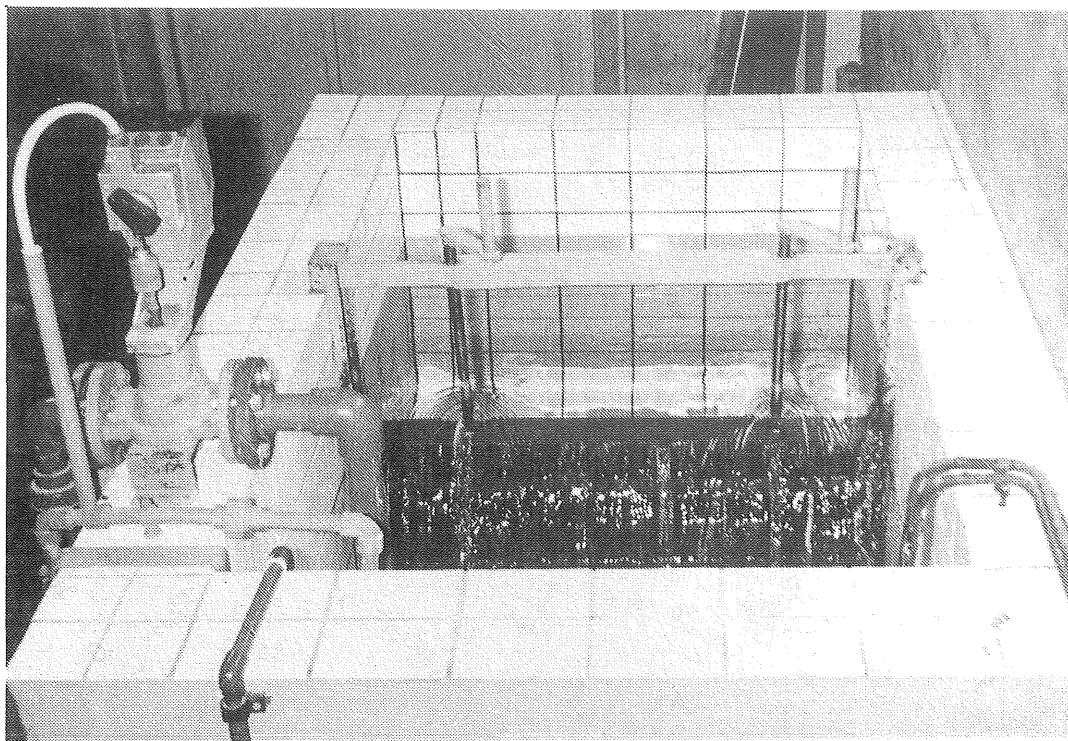
Här inträffar det fatala att flockarnas sjunkegenskaper är bättre i den andra flockningstanken än i den fjärde. I detta fall kunde konstateras att det berodde på en långsam pH-förändring hos det flockade vattnet. Omedelbart före sjunkanalysen erhölls pH 5.8 på det utgående vattnet från flockningssystemet. 60 min efter sjunkanalysens start erhölls pH-värdet 6.0 på samma plats. Detta vatten befann sig ungefär i flockningskammare 2 vid tidpunkten för sjunkanalysprovtagningen.

9.4 Sedimentering

Vid aktuellt flöde är ytbelastning, räknat på total sedimenteringsyta 0.3 m/h . I fig 9.4 är sjunkanalysen omräknat till sedimenteringsresultat vid varierande sedimenteringsbelastning. Som jämförelse är det verkliga resultatet inritat. Värdet överensstämmer i stort sett med det resultat sjunkanalysen förutsäger. Endast ca 3% av flocken, mätt som grumlighet, återstår i vattnet efter sedimenteringen.



Inlopp till sedimentering. Ledningar för borttransport av uppumpat slam.



9.5 Filtrering

Eftersom det inte fanns möjlighet att ta ut prov från varje filter för sig, togs ett samlingsprov i inspektionsschaktet efter de båda filtren vid två tillfällen. Analysresultatet återfinns i tabell 9-3. Aluminiumresthalten var vid provtagningstillfället för hög i filtratet. Detta beror delvis på ett för lågt fällningspH.

9.6 Resultat av fällningsförsök

Fällningsförsök utfördes under standardiserade betingelser med aluminiumsulfatdoserna 40, 80 resp 120 mg/l. Fig 9.2 visar resultat efter filtrering som funktion av pH. I fig 9.3 har på grundval av fig 9.2 resultatet uttryckts som funktion av aluminiumsulfatdosen, dels vid "optimalt" fällningspH (6.3) och dels vid det pH som verket tillämpade (5.75) vid provtagningstillfället för analyser enligt tabell 9-3. Som jämförelse har analysvärdet för det bästa filtratet införts.

För att få ett godtagbart resultat har "erforderlig" aluminiumsulfatdos uträknats till 145 mg Al-sulfat/l. Beräkningen har utförts enligt beskrivning i bilaga "Fällningsförsök". Det bör observeras att beräkningen i detta fall har resulterat i en dos som är större än den högsta dosering som tillämpades vid fällningsförsöken. Av fig 9.3 framgår att vid doseringen 120 mg Al-sulfat/l ligger det optimala pH-värdet i ett snävt intervall runt pH 6.3-6.4.

9.7 Sammanfattning, åtgärder

Belastningsmässigt är verket i alla avseenden överdimensionerat, men den extremt ogynnsamma råvattenkvaliteten kanske motiverar behov av buffertvolymer och säkerhet i dessa avseenden.

Effekttillförseln är något för låg, vilket antagligen inte spelar någon större roll p g a den långa uppehållstiden i flockningssystemet.

pH-mätning och reglering bör ses över. Fällningsförsöken visar betydelsen av att vid aktuell Al-sulfatdosering hålla fällningspH inom ett snävt intervall.

Fällningsförsöken visar även att aluminiumsulfatdoseringen skulle behöva ökas ytterligare vid aktuell råvattenkvalitet.

Utag, som ger möjlighet att ta ut prov på varje filter för sig är nödvändiga om lämpliga filtergångtider skall kontrolleras.

Tabell 6-3. Analysresultat

Prov nr	pH	Grumlighet FTU	UV-absorbans $E_{254}(1 \text{ cm})$	Färgvärde $E_{436}(4 \text{ cm})$	Permanganat- tal, mg $\text{KMnO}_4/1$	mg $\text{Al}^{3+}/1$
901	5.8	2.5	0.78	0.216	92.7	>1.0
901F	-	2.25	0.80	0.209	88.1	0.48
902	5.9	2.6	0.83	0.220	88.1	>1.0
904	5.7	0.46	0.12	0.011	17.9	>1.0
906	5.7	0.10	0.10	0.006	18.1	0.43
907	5.8	0.11	0.10	0.006	18.1	0.37

Prov nr

- 901 Råvatten 23/4
- 901F Råvatten 23/4, filtrerat prov
- 902 Råvatten 24/4
- 904 Dekantat 24/4 kl 15.00
- 906 Filtrat 24/4 kl 12.00
- 907 Filtrat 24/4 kl 15.00

Råvattnets älkalitet analyserades till 0.14 m ekv/l. Järn: 0.70 mg Fe/l.

Figur 9.2

Mönsterås

23-24/4 1979

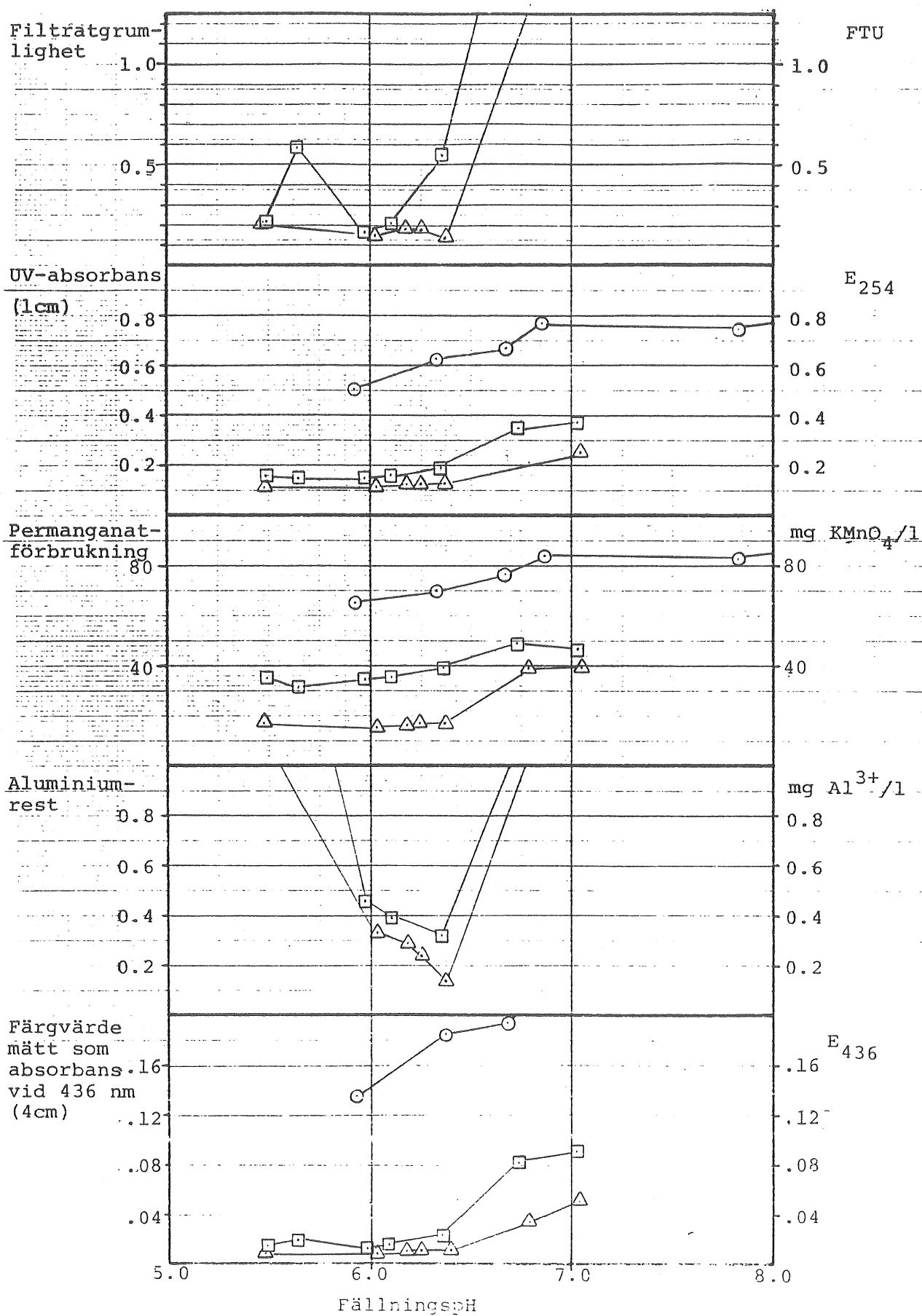
Resultat av fällningsförsök
Analysvärden efter filtrering

Al-sulfat-
dosering, mg/l

(○) 40

(□) 80

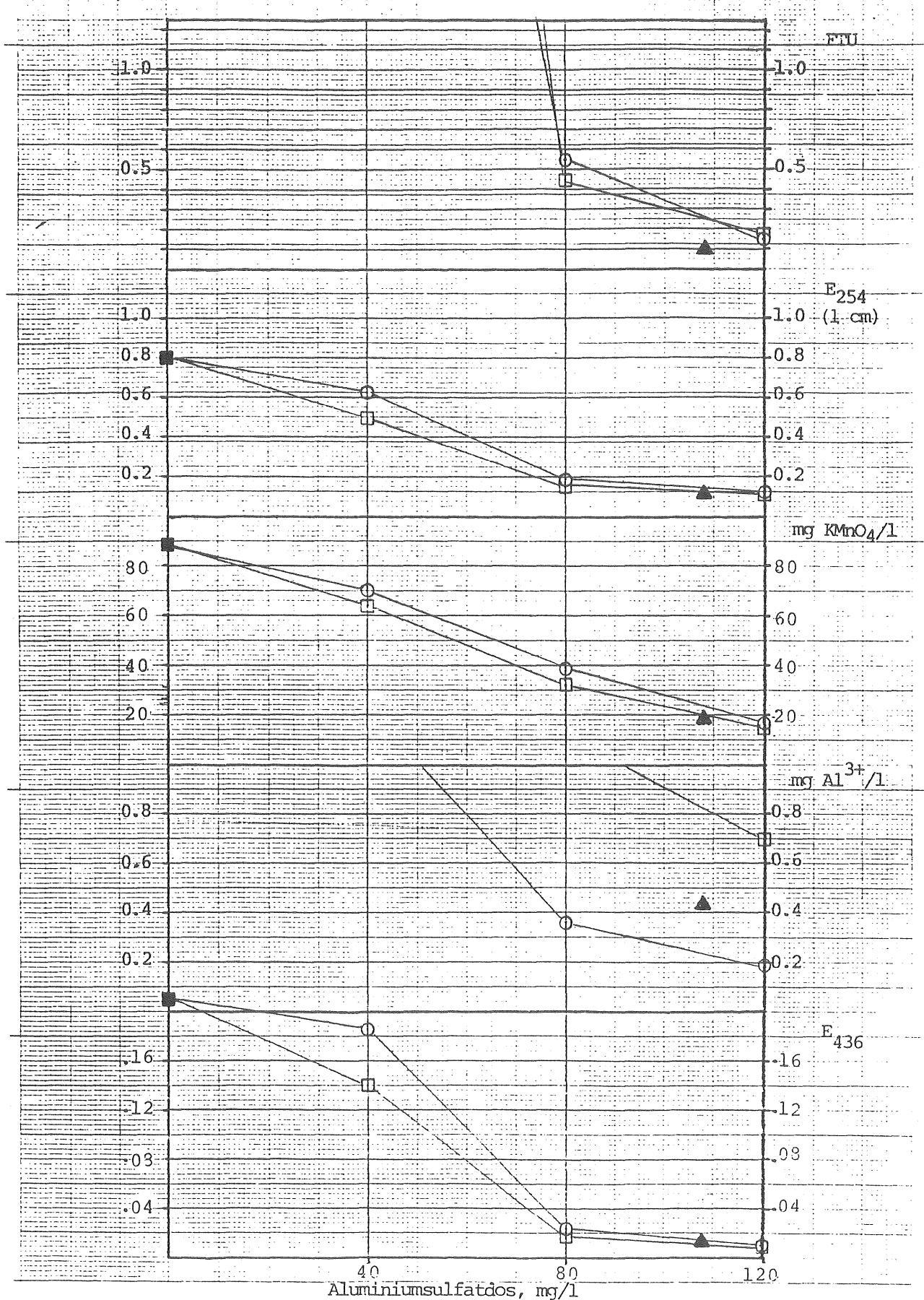
(△) 120



Figur 9.3
Mönsterås

Resultat av fällningsförsök
som funktion av aluminiumsulfatdos.
Jämförelse med driftsresultat

- FällningspH 6.3
- FällningspH 5.75
(verkets fällnpH)
- ▲ verkets driftres.
- filtrerat råvatten



Figur 9.4
Mönsterås

Sjunkanalyser och jämförelse
med praktiskt sedimenterings-
resultat.

- Kammare 4
- Kammare 2
- ▲ driftresultat

Andel
flock, %

100

50

Andel
flock, %

100

50

Sedimenteringstid, h

Andel
flock, %

100

50

Sedimenteringstid, h

Vtbelastning, m/h

Vtbelastning, m/h

Andel
flock, %

100

Andel
flock, %

100

50

Sedimenteringstid, h

Vtbelastning, m/h

Figur 9.5
Mönsterås

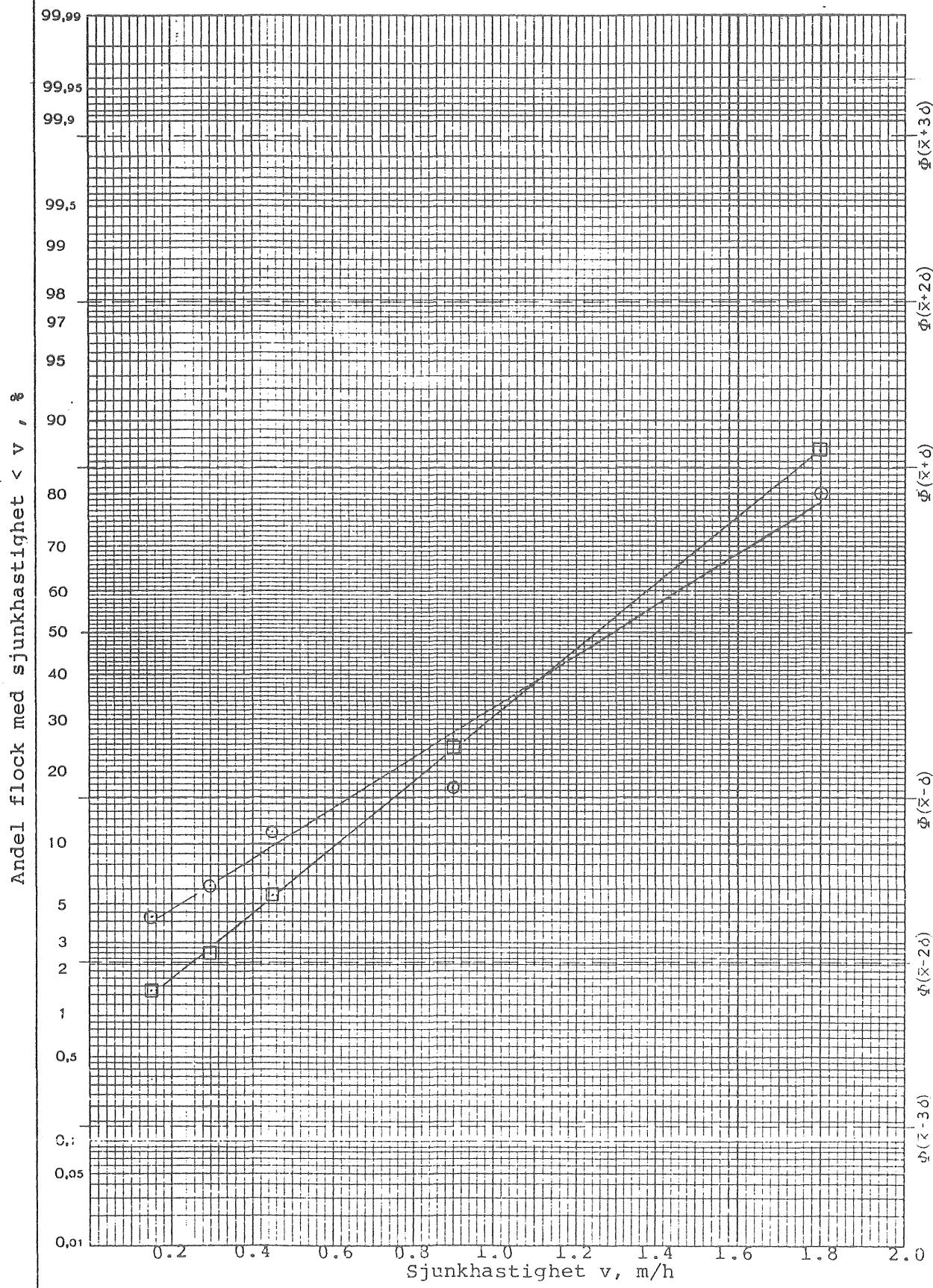
Utvärdering av sjunkanalyser v_m σ

1.30 0.66

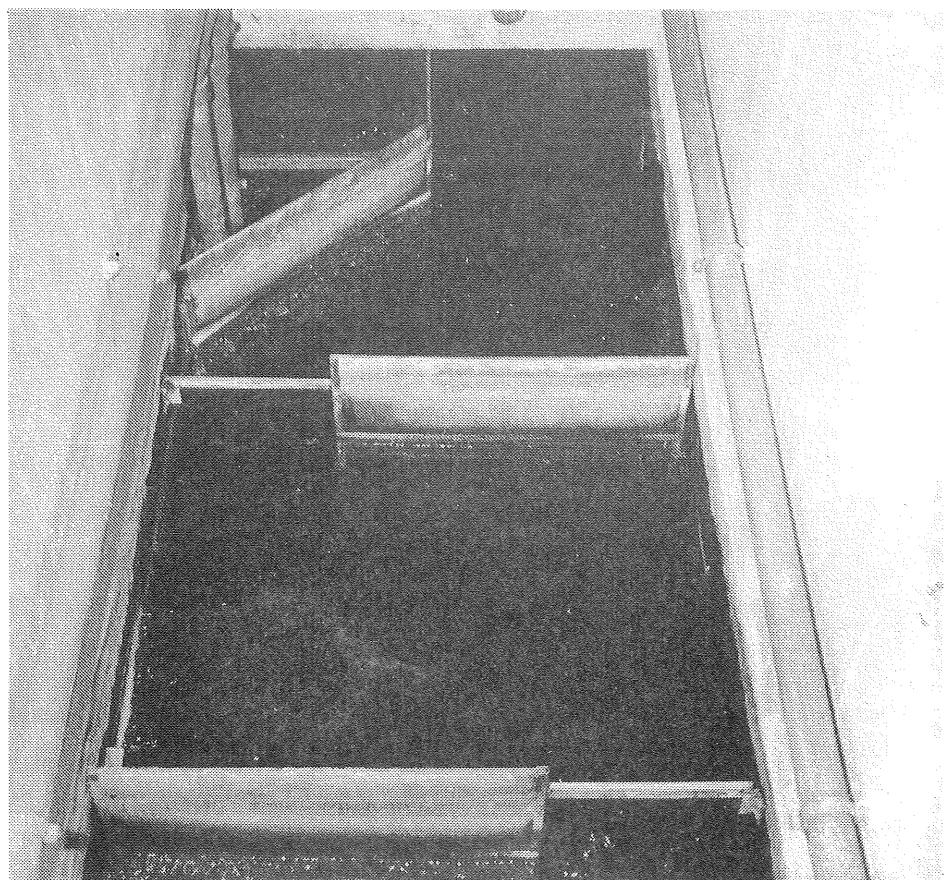
1.25 0.50

○ Kammare 4

□ Kammare 2



Lösning av aluminiumsulfat bereds kontinuerligt. Mätning av doserad aluminiumsulfatmängd per tidsenhet gav den aktuella doseringen 27 g Al-sulfat/m³. Koagulanten tillsätts tillsammans med soda i en inblandningsränna gemensam för de två systemen.



10.3 Flockning

Ovan angivna flöden ger flockningstid för system 1: 52 min och för system 2: 51 min. Vid saltförsöken tillsättas en momentan dos salt (i detta fall 4 kg NaCl) till flockningssystemens inlopp. Den från sista flockningstanken utgående saltkoncentrationen (mätt som ledningsförmåga) registrerades som funktion av tiden. Ju högre det maximalt registrerade koncentrationsvärdet är samt ju närmare detta värde i tiden ligger den uträknade medeluppehållstiden, desto fördelaktigare är flödesbilden. Tidpunkten för maximal koncentration blev ca 44 min. Den maximala saltkoncentrationen i utloppet i relation till medelhalten - dvs totala saltmängden utspädd i hela flockningsvolymen - $(C/C_0)_{\max}$ var ca 0.95.

Omrörarnas varvtal uppmättes och med hjälp av ritningar har effekttillförsel och \bar{G} -värdet uppskattats. Vattenmassans medrotation har antagits vara 40% av paddelhastigheten. I tabell 10-1 återfinns varvtal, beräknad effekttillförsel, \bar{G} -värde, periferihastighet samt paddelarea som andel (%) av tanktvärsnitt.

För effekttillförseln i flockningstankarna (utom kammare 2) erhölls uttrycket:

$$w \approx 6 \cdot 10^{-3} \cdot n^3 \quad \text{watt/m}^3$$

där n är varvtalet på omrörare (varv/min)

För den andra flockningstanken i båda systemen gäller:

$$w \approx 2.5 \cdot 10^{-3} \cdot n^3 \quad \text{watt/m}^3$$

\bar{G} -värdet erhålls enligt:

$$\bar{G} = \sqrt{\frac{w}{\eta}} \quad \text{1/s}$$

där η är vattnets viskositet, vid aktuell temperatur (5^0C) gäller
 $\eta = 1.5 \cdot 10^{-3} \text{ Ns/m}^2$.

Tabell 10-1. Data för omrörare i flockningssystem

Kammare nr	1	2	3	4
SYSTEM 1				
Varvtal, n varv/min	5.5	4.7	3	1.5
Effekttillförsel, w watt/m^3	0.99	0.26	0.16	0.021
Medelhastigetsgradient, \bar{G} , 1/s	25.5	13.0	10.4	3.7
Periferihastighet, m/s	0.63	0.54	0.35	0.17
Paddelarea/ tanktvärsnitt, %	12	9	12	12

SYSTEM 2

Varvtal, n varv/min	0	4.7	3	1.5
Effekttillförsel, w ~0 watt/m ³		0.26	0.16	0.021
Medelhastighets- gradient, G, 1/s	~0	13.0	10.4	3.7
Periferihastighet, v m/s	0	0.54	0.35	0.17
Paddelarea/ tanktvärsnitt, %	12	9	12	12

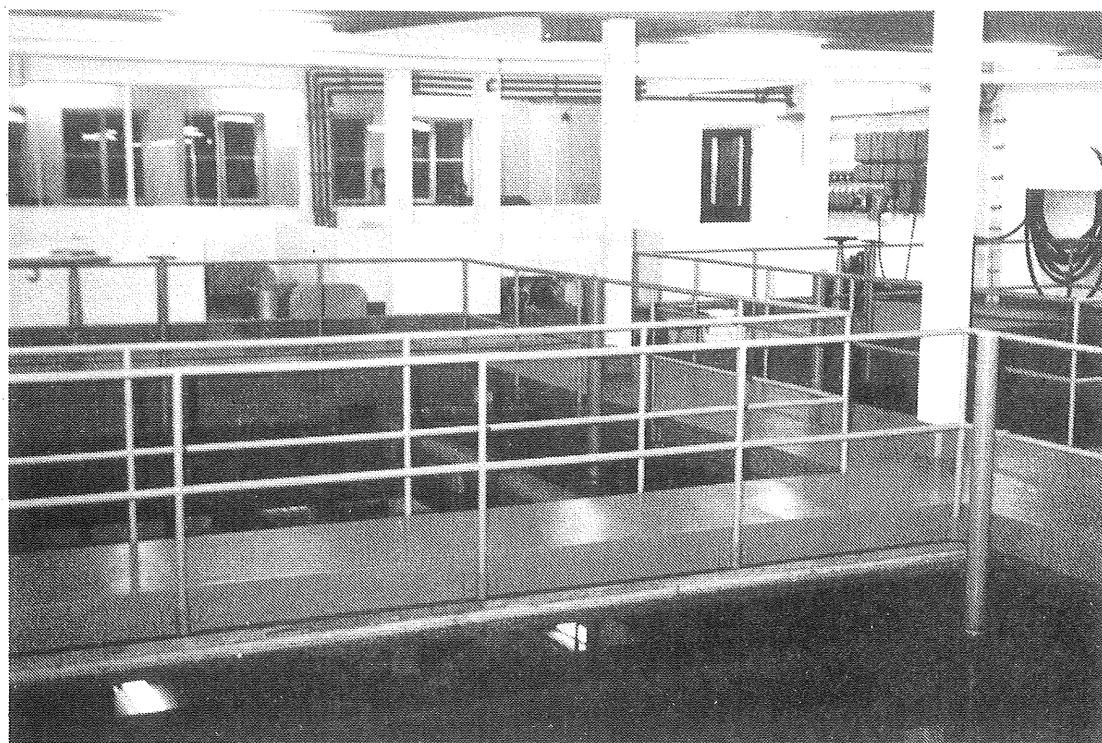
Effekttillförseln får betecknas som fullt tillfredsställande. I den första flockningstanken i system 2 stod omröraren stilla. Flockarnas sjunkegenskaper har uppmätts. Resultat av sjunkanalyser återfinns i fig 10.4 och 10.5.

Tabell 10-2. Sjunkhastigheter.

	Medelsjunkhastighet v_m , m/h	Spridning σ , m/h
Kammare 4, system 1	2.0	1.2
Kammare 4, system 2	2.5	1.4

Flockarnas sjunkegenskaper uppfyller väl de krav som uppställdts i bilaga "Sjunkanalyser". Här är intressant att konstatera att sjunkegenskaperna i det system där den första flockningstankens omrörare stod stilla är något bättre.

De goda flockegenskaperna kan hänföras till en rimlig aluminiumsulfatdosering, dosering av aktiverad kiselsyra, bra omrörningsintensitet i flockningstankarna samt att fällningspH ligger inom godtagbart intervall. Uttagna dekantat- och filtratprov (se tabell 10-3) ger värden mellan pH 6.2 och 6.3.



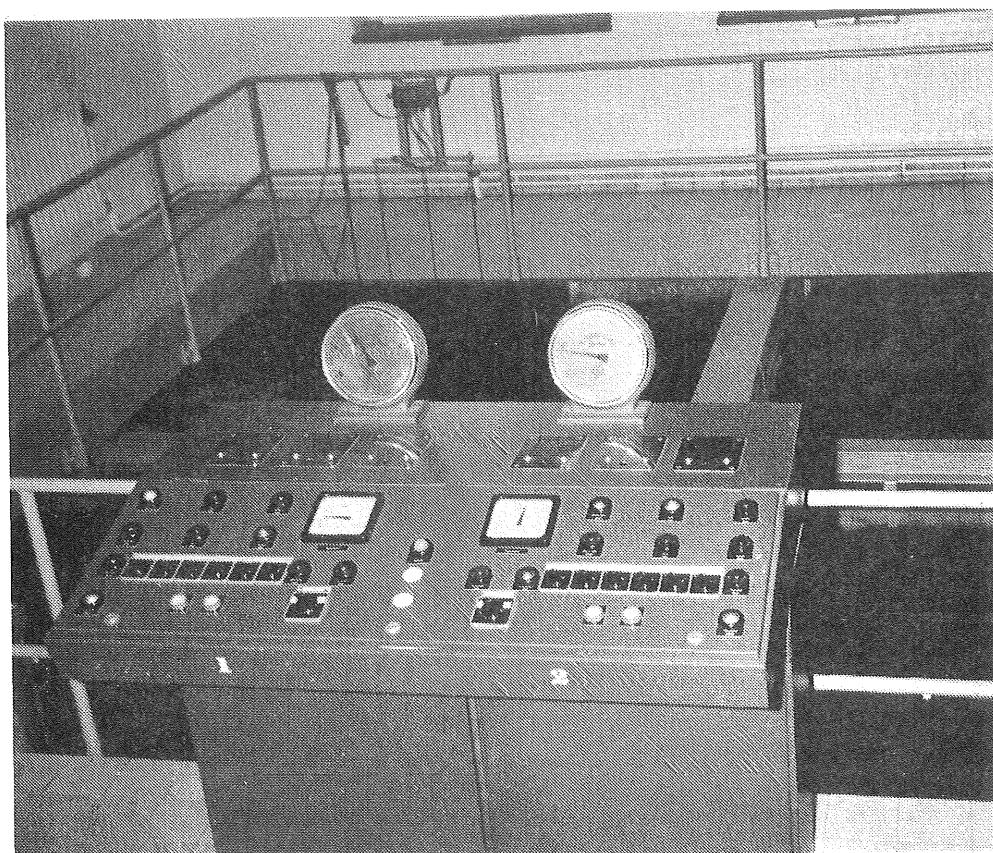
10.4 Sedimentering

Vid aktuella flöden är ytbelastningen, räknat på total sedimenteringsyta, ca 1.3 m/h för de båda systemen. I fig 10.4 är sjunkanalyserna omräknade till sedimenteringsresultat vid varierande sedimenteringsbelastning. Som jämförelse är det verkliga resultatet inritat. Härvid antas att sjunkhastighetsfördelningen är oförändrad, oberoende av sedimenteringsdjupet (i regel ökar dock sjunkhastigheten med ökat djup). Det verkliga sedimenteringsresultatet är också något bättre än vad sjunkanalysen förutsäger. System 2 uppvisar något bättre sedimenteringsresultat i enlighet med sjunkanalysdata (7 resp 8% kvarvarande flock).

10.5 Filtrering

Prov uttogs från två snabbfilter, från ett relativt nyspolat samt från ett filter med gångtiden ca 2 dygn. Analysresultatet återfinns i tabell 10-3. Inga större skillnader kunde konstateras i filtratkvalitet.

Prov uttogs även efter långsamfilter. Här kunde en obetydlig försämring av vissa värden konstateras. Detta kan bero på att den kemiska delen av verket endast varit igång ca 1 vecka och långsamfiltren således ännu ej riktigt inkörda.



10.6 Resultat av fällningsförsök

Fällningsförsök utfördes under standardiserade betingelser med aluminiumsulfatdoserna 20, 30 resp 40 mg/l. Fig 10.2 visar resultat efter filtrering som funktion av pH. I fig 10.3 har på grundval av fig 10.2 resultatet uttryckts som funktion av aluminiumsulfatdosen vid fällningspH 6.2. Som jämförelse har analysvärden för det bästa filtratet införts.

För att få ett godtagbart resultat har "erforderlig" aluminiumsulfatdos uträknats till 30.5 mg Al-sulfat/l. Lämpligt intervall för fällningspH: 6.2-6.5.

10.7 Sammanfattning, åtgärder

Verket fungerar bra i samtliga här undersökta avseenden.

Effekttillförseln i flockningstankarna är tillfredsställande, vilket ger flockar med goda sjunkegenskaper. Sedimenteringseffektiviteten är hög. Filtren belastas ej med onödig flock, vilket resulterar i rimliga filtergångtider.

Tabell 10-3. Analysresultat

Prov nr	pH	Grumlighet FTU	UV-absorbans $E_{254}(4 \text{ cm})$	Färgvärde $E_{436}(4 \text{ cm})$	Permanganat- tal, mg $\text{KMnO}_4/1$	mg $\text{Al}^{3+}/1$
1001	6.7	2.9	0.72	0.070	24.2	0.12
1001F	-	2.1	0.68	0.052	23.9	0.12
1002	6.7	2.8	0.75	0.075	24.4	0.11
1004	6.2	0.43	0.25	0.010	11.0	0.32
1006	7.1	0.21	0.23	0.006	9.3	0.04
1007	6.3	0.065	0.23	0.005	12.6	0.05
1008	6.3	0.08	0.22	0.005	10.2	0.07

Prov nr

1001	Råvatten, 25/4					
1001F	Råvatten, 25/4, filtrerat prov					
1002	Råvatten, 26/4					
1004	Dekantat, system 1 26/4 kl 15.00					
1006	Filtrat, långsamfilter 26/4 kl 11.00					
1007	Filtrat, snabbfilter 2 26/4 kl 15.00	spolat kl 11 26/4			4 h	
1008	Filtrat, snabbfilter 4 26/4 kl 15.00	"	24/4	48 h		

Gångtid

Råvattnets alkalitet analyserades till 0.35 m ekv/l. Järn: 0.32 mg Fe/l.

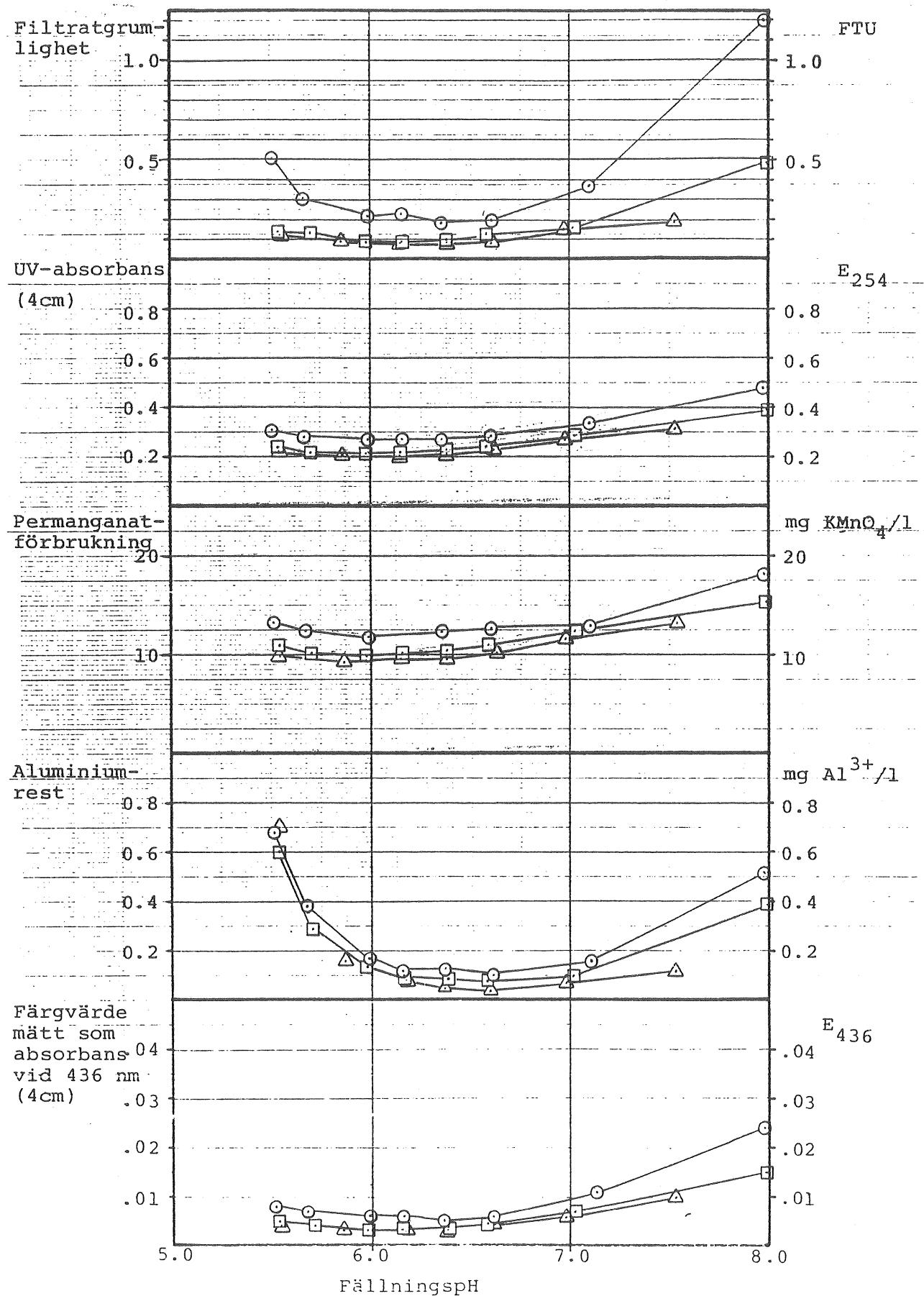
Figur 10.2

Västervik

25-26/4 1979

Resultat av fällningsförsök
Analysvärden efter filtrering

Al-sulfat-
dosering, mg/l
 ○ 20
 □ 30
 △ 40



Figur 10.3

Västervik

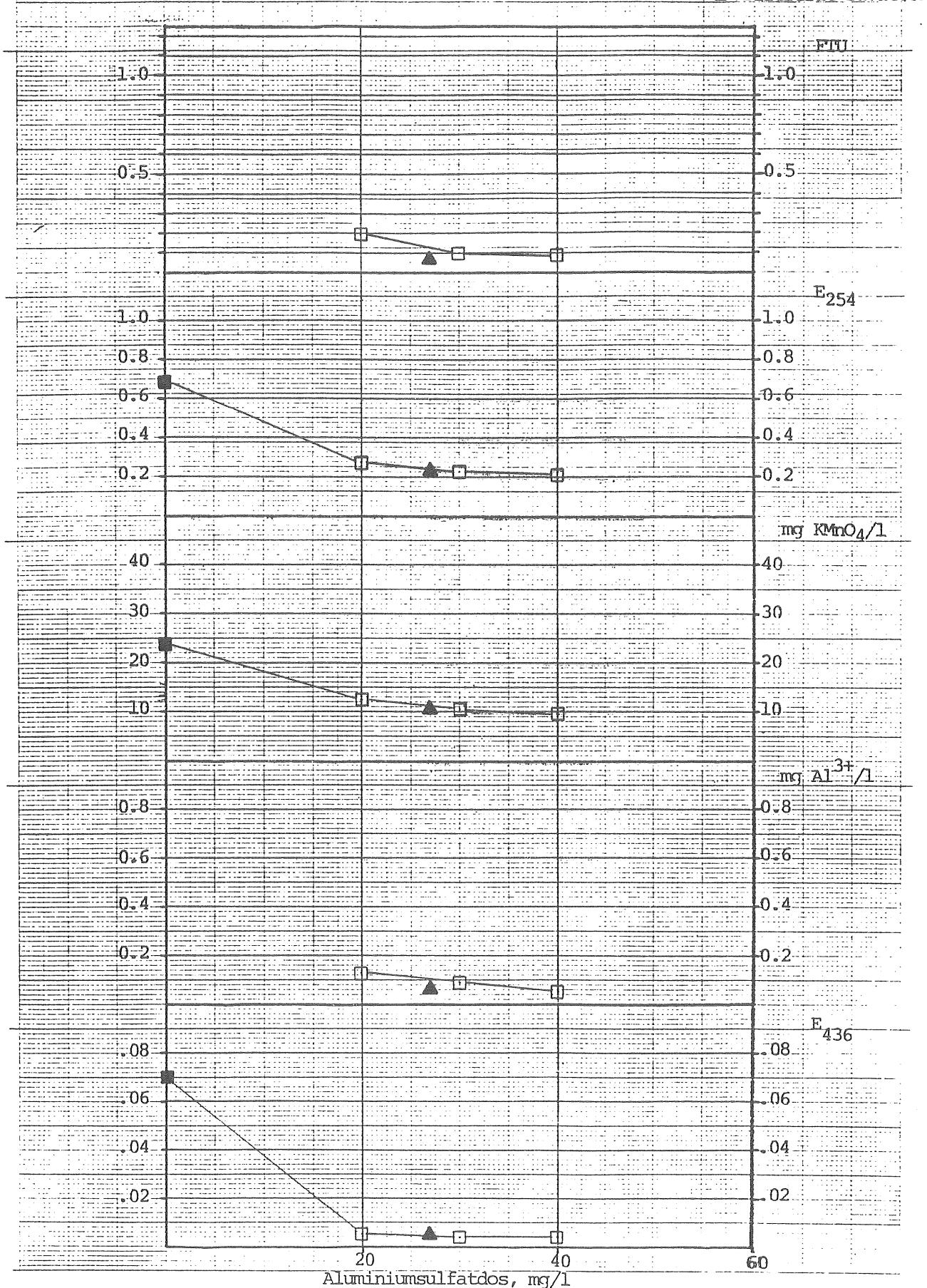
Resultat av fällningsförsök
som funktion av aluminiumsulfatdos.

Jämförelse med driftsresultat

□ FällningspH 6.3
(verkets fällnpH)

▲ verkets driftres.

■ filtrerat råvatten



Figur 10.4
Västervik

Sjunkanalyser och jämförelse
med praktiskt sedimenterings-
resultat.

○ System 1, kam 4
□ System 2, kam 4
▲ driftresultat

Andel
flock, %

100

Andel
flock, %

100

50

50

Sedimenteringstid, h

Vibbelastning, m/h

Andel
flock, %

100

Andel
flock, %

100

50

50

Sedimenteringstid, h

Vibbelastning, m/h

Andel
flock, %

100

Andel
flock, %

100

50

50

Sedimenteringstid, h

Vibbelastning, m/h

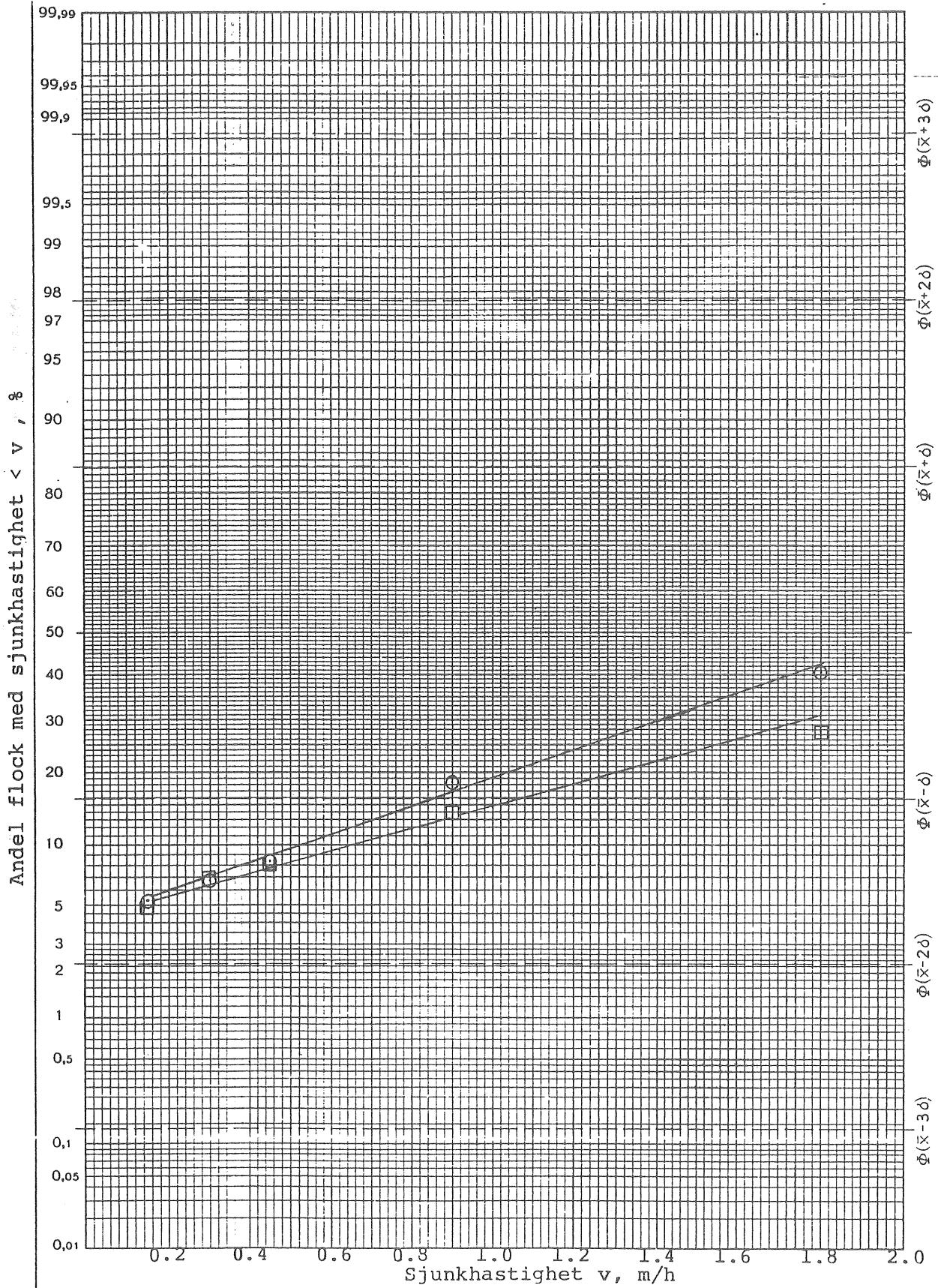
Figur 10.5
Västervik

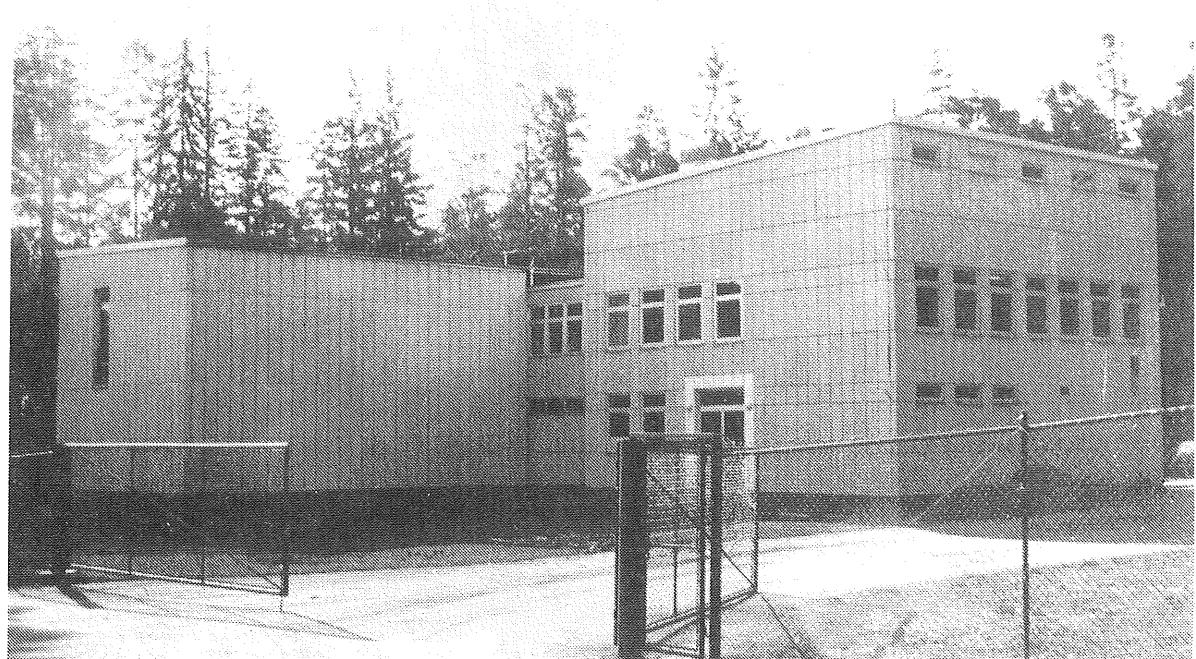
Utvärdering av sjunkanalyser

v_m σ
2.00 1.15

2.51 1.44

- System 1, kam 4
- System 2, kam 4





11.1 Beskrivning av verkets funktion

Verket består av ett flockningssystem efterföljt av fyra parallella sedimenteringsbassänger. Flockningsenheten har 7 flockningstankar med den totala flockningsvolymen 216 m^3 . Sedimenteringen består av parallelströmningsbasänger med fyra mellanbottnar. Den totala sedimenteringsytan är 292 m^2 .

Den totala filterarean 60 m^2 är uppdelad på två filterenheter: den ena fyllt med granulerat aktivt kol, den andra med sand.

Angivna flöden och doseringar:

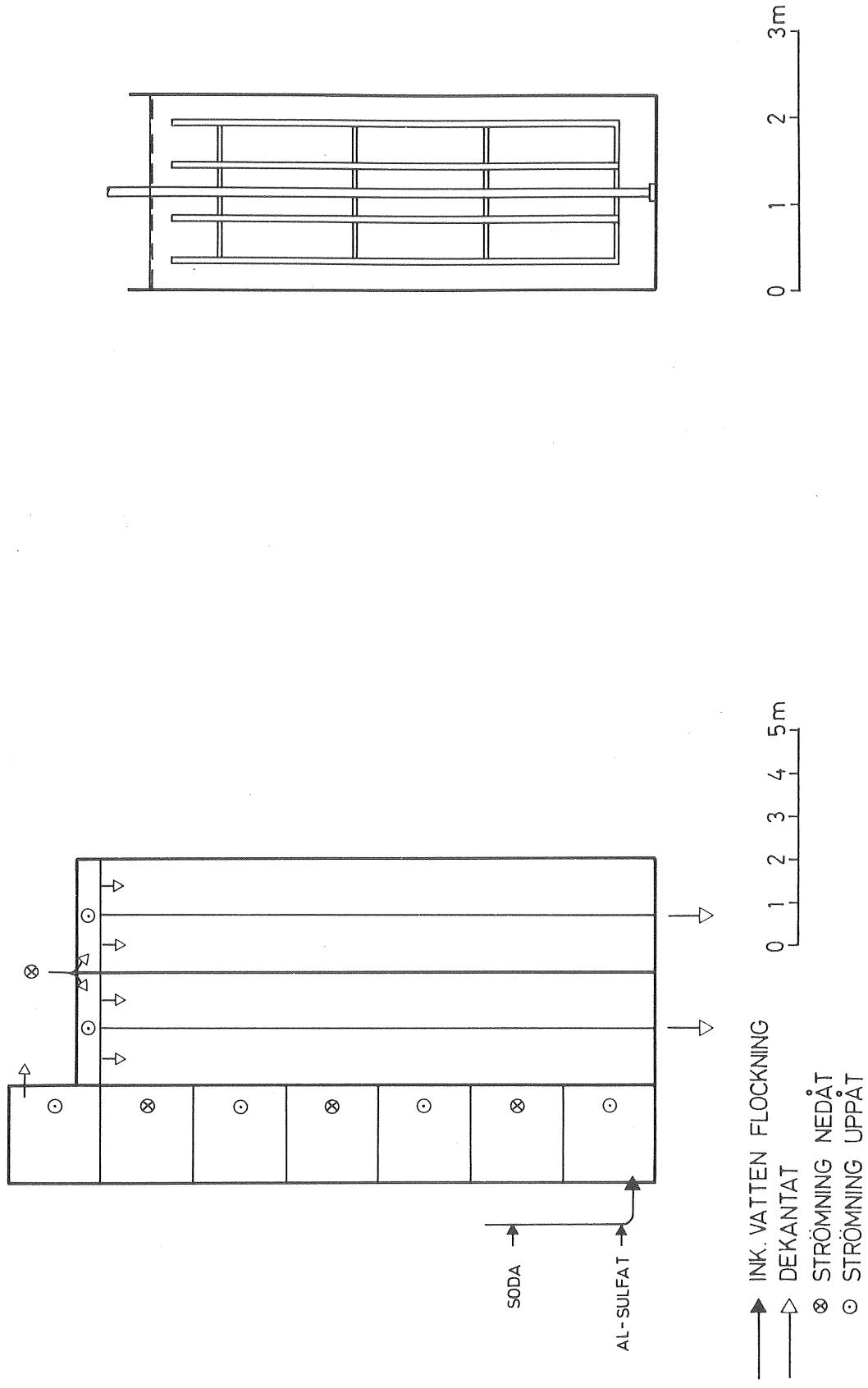
maxflöde: $4\ 600 \text{ m}^3/\text{d}$, medelflöde: $3\ 250 \text{ m}^3/\text{d}$

förklorering: klor

aluminiumsulfat: $40-55 \text{ g/m}^3$

fällningspH justeras med soda

aktiverad kiselsyra doseras till den andra flockningstanken
(ca 6 g/m^3)



Figur 11.1 Åmåls vattenverk

renvatten

efteralkalisering med soda
klor-klordioxid
kiselsyra

Dessa värden innebär vid medelflöde (räknat som dygnsmedelvärde) flocknings-tid: 97 min, ytbelastning sedimentering: 0.5 m/h och filtrerhastighet: 2.3 m/h. Slam töms i sedimenteringen var tredje eller var fjärde vecka. Filtern drivs med gångtider på ca 1 dygn både vinter- och sommartid till tryckförlusten 2.0 mvp.

I fortsättningen gäller angivna värden endast de två besöksdygnen 2-3/5 1979.

11.2 Flöden, doseringar

Flödet genom verket var vid aktuella försök enligt verkets råvattenmätare hela tiden konstant $220 \text{ m}^3/\text{h}$. Vid det saltförsök som utfördes erhölls totalflödet $225 \text{ m}^3/\text{h}$.

Lösning av aluminiumsulfat bereds kontinuerligt. Den aktuella doseringen var $41.7 \text{ g Al-sulfat}/\text{m}^3$, beräknat från uppgifter om dygnsförbrukningen av kemikalier. Den aktuella doseringen aktiverad kiselsyra var ca $5.8 \text{ g vatten-glas}/\text{m}^3$. Vid tillfället producerades ca $4\ 000 \text{ m}^3/\text{d}$.

11.3 Flockning

Ovan angivna flöde ger flockningstiden 58 min. Saltförsöken antyder en gynnsam flödesbild (naturligt med tanke på det stora antalet flockningstankar i serie). En momentan dos salt (i detta fall 4 kg NaCl) doserades till flockningssystemets inlopp. Den från sista flockningstanken utgående saltkoncentrationen (mätt som ledningsförmåga) registrerades som funktion av tiden. Ju högre det maximalt registrerade koncentrationsvärdet är samt ju närmare detta värde i tiden ligger den uträknade medeluppehållstiden, desto fördelaktigare är flödesbilden. Tidpunkten för maximal koncentration var 55 min. Den maximala saltkoncentrationen i utloppet i relation till medelhalten - dvs totala saltmängden utspädd i hela flockningsvolymen - $(C/C_0)_{\max}$ var ca 1.75.



Omrörarnas varvtal uppmättes och med hjälp av ritningar och vissa mätningar på platsen har effekttillförsel och \bar{G} -värdet beräknats. Dessa värden ger endast en grov uppskattning. Vattenmassans medrotation har antagits vara 40% av paddelhastigheten. I tabell 11-1 återfinns varvtal, beräknad effekttillförsel, \bar{G} -värde samt periferihastighet. Den totala paddelareans andel av minsta vertikala tankvärsnitt är 11%.

För effekttillförselet erhölls uttrycket:

$$w \approx 3.6 \cdot 10^{-3} \cdot n^3 \quad \text{watt/m}^3$$

där n är varvtalet på omrörare (varv/min)

\bar{G} -värdet erhålls enligt:

$$\bar{G} = \sqrt{\frac{w}{n}} \quad 1/\text{s}$$

där η är vattnets viskositet, vid aktuell temperatur (20°C) gäller
 $\eta = 1.7 \cdot 10^{-3} \text{ Ns/m}^2$

Tabell 11-1. Data för omrörare i flockningssystem.

Kammare nr	1	2	3	4	5	6	7
Varvtal, n varv/min	7.1	6.4	5.0	2.7	2.7	1.25	1.25
Effekttillförsel, w watt/m ³	1.3	0.94	0.44	0.073	0.073	0.007	0.007
Medelhastigetsgradient, G, 1/s	28	24	16	6.6	6.6	2.0	2.0
Periferihastighet, m/s	0.62	0.56	0.44	0.23	0.23	0.11	0.11

Effekttillförseln i flockningstankarna är tillfredsställande. Kanske borde varvtalet i de första tankarna ändå ökas något, speciellt i den första flockningstanken eftersom den utnyttjas som inblandningsvolym för aluminiumsulfat.

Flocksjunkegenskaperna är något sämre än väntat. Resultat av sjunkanalyser återfinns i fig 11.4 och 11.5.

Tabell 11-2. Sjunkhastigheter

	Medelsjunkhastighet v_m , m/h	Spridning σ , m/h
Kammare 7	2.1	1.8
Kammare 5	1.2	1.1
Kammare 3	0.8	0.8

Med tanke på de relativt höga doseringarna av både aluminiumsulfat och aktiverad kiselsyra borde flocken ha visat något bättre sjunkegenskaper, speciellt som effekttillförseln är på en rimlig nivå. Detta kan delvis förklaras med att fällningspH är något för högt. Uttagna dekantat- och filtratprov (se tabell 11-3) har gett värden mellan pH 6.7 och 6.8. Kontinuerlig mätning på utgående dekantat under en 12-timmars period gav värden mellan pH 6.6 och 6.8. Verkets mätare visade, och pH-regleringen var inställd på, pH 6.1. pH-mätningen bör alltså ses över.

11.4 Sedimentering

Vid aktuellt flöde är ytbelastningen, räknat på total sedimenteringsyta 0.77 m/h. I fig 11.4 är sjunkanalyserna omräknade till sedimenteringsresultat vid varierande sedimenteringsbelastning. Som jämförelse är det verkliga resultatet inritat. Provet är taget vid lucka in mot filter och blir alltså ett blandprov från de två sedimenteringsbassängerna. Vid uppritande av fig 11.4 har antagits att sjunkhastighetsfördelningen är oförändrad, oberoende av sedimenteringsdjupet (i regel ökar dock sjunkhastigheten med ökat djup). Det praktiska sedimenteringsresultatet sammanfaller dock i stort sett med det resultat som sjunkanalysen förutsäger. Det betyder här att flockarnas sjunkegenskaper inte har förändrats med det ökade sedimenteringsdjupet - från sjunkanalysens 0.3 m till sedimenteringsbassängens 1.5 m.

11.5 Filtrering

Normalt drevs endast ett av filtren, då med filtrerhastigheten 7.3 m/h. Prov uttogs på filtrat från ett filter med granulerat aktivt kol. Filtret hade då varit i drift 21 h (bruttogångtid) med verkets totala flöde. När endast ett filter är i drift brukar också filtret spolas efter ca 1 dygn. Efter provtagningen spolades båda filtren varefter både sand- och aktivt kolfilter drevs med ungefär lika stort flöde. Efter ca 4 h gångtid togs prov på filtrat från båda filtren. Inga skillnader erhölls vad gäller grumlighet och aluminiumrest i dessa tre filtratprov. Det betyder att filtergångtider på mer än 1 dygn är godtagbara vid aktuell dekantatkvalitet. Däremot kunde skillnader i halt av organiskt material, mätt både som absorbens vid 254 nm och permanganatförbrukning konstateras. I en jämförelse mellan de nyspolade filtren ger aktivt kol filtret en reduktion av organiskt material på mer än 30%. Vid en jämförelse mellan de två filtraten från aktivt-kol-filtret ser man att en fördubbling av filtrerhastigheten minskar reduktionen av organiskt material till ungefär hälften (om renspolningen av filterbädden inte antas ha någon effekt härvidlag). Om dessa analysvärden är riktiga betyder det att renvattnets kvalitet skulle bli densamma oberoende av om aktivt kolfiltret drivs med det totala flödet eller om flödet fördelas lika mellan sand och aktivt kolfiltret. Det bör påpekas att det aktiva kolet vid försökstillfället var relativt färskt, i drift sedan 4 månader.

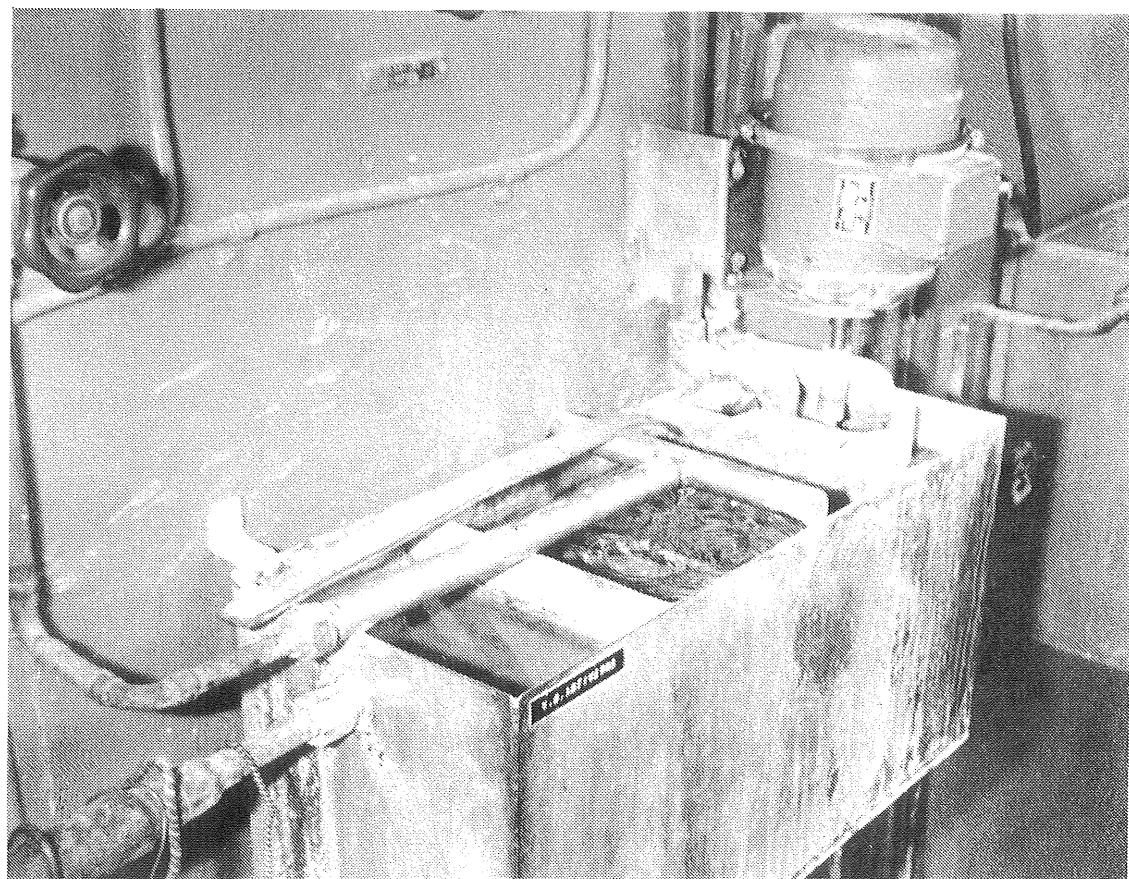
11.6 Resultat av fällningsförsök

Fällningsförsök utfördes under standardiserade betingelser med aluminiumsulfatdoserna 20, 30 resp 40 mg/l. Fig 11.2 visar resultat efter filtrering som funktion av pH. I fig 11.3 har på grundval av fig 11.2 resultatet uttryckts som funktion av aluminiumsulfatdosen, dels vid "optimalt" fällningspH (6.2) och dels vid det pH som verket tillämpade (6.75). Som jämförelse har analysvärdet för filtrat från det nyspolade sandfiltret införts.

För att få ett godtagbart resultat har "erforderlig" aluminiumsulfatdos uträknats till 24.9 mg Al-sulfat/l. Lämpligt intervall för fällningspH: 6.1-6.5.

11.7 Sammanfattnings, åtgärder

Effekttillförselet i flockningstankarna är i stort sett tillfredsställande. Omrörarnas varvtal kan dock lätt ändras, eftersom varje omrörarmotor har tre fasta varvtal som kan ställas in individuellt: 750, 1 000 resp 1 500 rpm. Samtliga motorer var vid besöket inställda på 750 rpm. En möjlig åtgärd vore därför att ändra omrörarmotorernas varvtal till 1 000 rpm i flockningstankarna 1, 2, 3, 4 samt 6.



Beredning av aktiverad kiselsyra

pH-mätningen bör ses över. Här är viktigt att observera att vid kalibrering bör buffertar hålla samma temperatur som råvattnet. Återgång till riktigt mätvärde efter buffring kan ta lång tid - för en bra elektrod 10-15 min.. Kontrollera att elektroden är lämplig för pH-mätning vid låga temperaturer.

När detta skrives har uppenbarligen stora ansträngningar gjorts för att bemästra detta problem. Vissa svårigheter kvarstår dock, vilka ev vidare undersökningar får söka klartlägga orsaken till.

Den s k aktiveringsten av vattenglas bör ses över. En så pass hög dosering som 6 g/m³ borde ge större utslag i flockens sjunkegenskaper.

Tabell 11-3. Analysresultat

Prov nr	pH	Grumlighet FTU	UV-absorbans $E_{254}(4\text{ cm})$	Färgvärde $E_{436}(4\text{ cm})$	Permanganat- tal, mg $\text{KMnO}_4/1$	mg Al ³⁺ /1
1101	7.2	1.7	0.71	0.050	24.9	0.05
1101F	-	1.2	0.70	0.040	24.6	0.04
1102	7.2	1.7	0.72	0.050	24.6	0.06
1103	7.1	2.0	0.72	0.052	25.0	0.04
1104	6.7	1.5	0.26	0.017	10.0	0.67
1106	6.8	1.07	0.13	<0.001	6.8	0.02
1107	6.8	0.08	0.090	0.001	5.3	0.01
1108	6.7	0.075	0.16	0.002	7.8	0.02

Prov nr

- 1101 Råvatten 2/5
- 1101F Råvatten 2/5, filtrerat prov
- 1102 Råvatten 3/5, kl 09.00
- 1103 Råvatten 3/5 kl 14.00
- 1104 Dekantat samlingsränna 3/5 kl 14.00
- 1106 Filtrat från aktivt kol filter kl 10.00 3/5 splat kl 13 2/5
Sedan dess har allt vatten gått genom detta filter, gångtid 21 h.
- 1107 Filtrat aktivt kolfilter 3/5 kl 14.00, splat kl 10 3/5 gångtid 4 h.
- 1108 Filtrat sandfilter 3/5 kl 14.00 splat kl 10 3/5, gångtid 4 h.

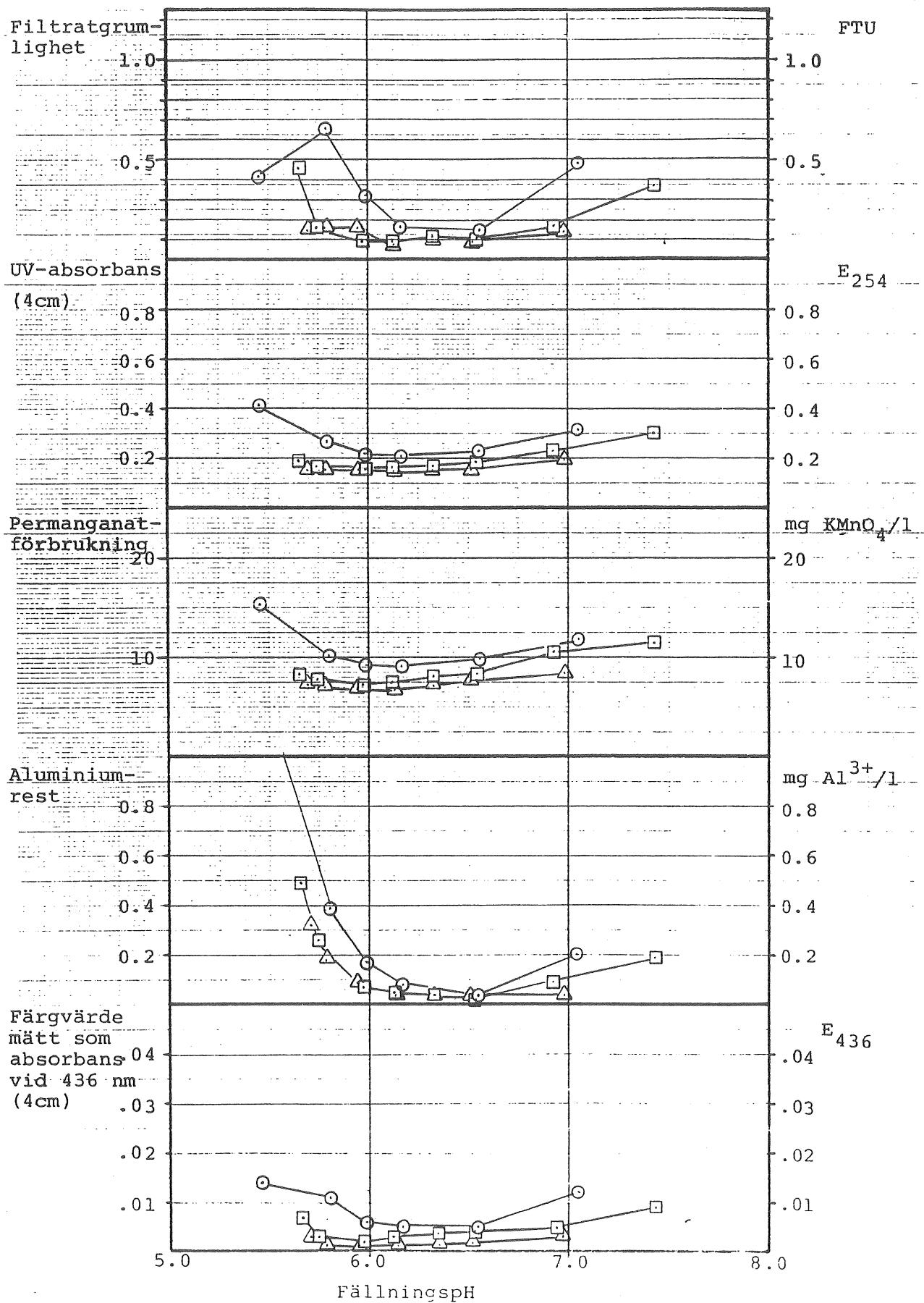
Råvattnets alkalitet analyserades till 0.23 m ekv/l. Järnhalt: 0.12 mg Fe/l.
Det aktiva kolet byttes senast i december 1978.

Figur 11.2

Åmål
2-3/5 1979Resultat av fällningsförsök
Analysvärden efter filtrering

Al-sulfat-
dosering, mg/l

- 20
- 30
- △ 40



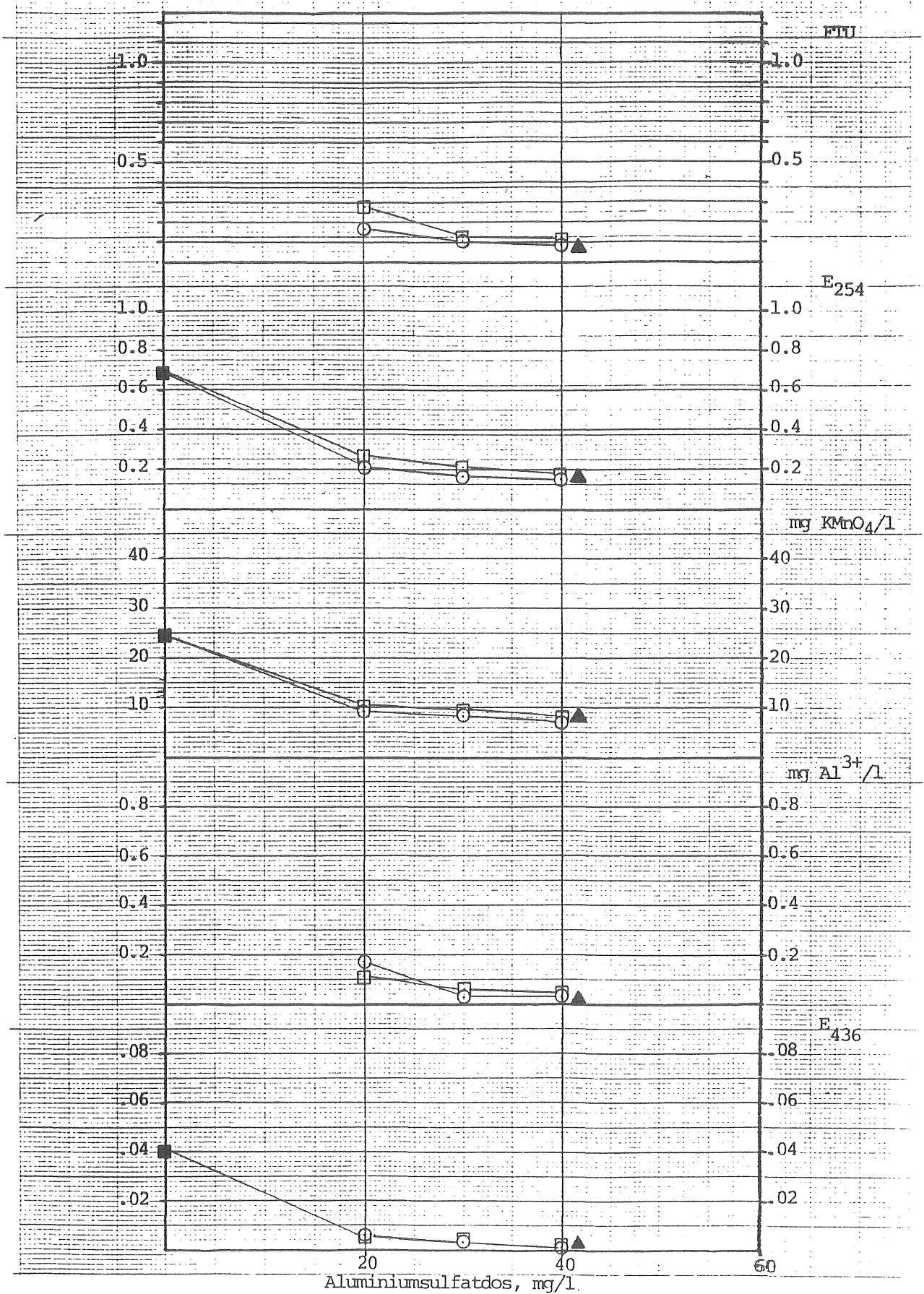
Figur 11.3

Åmål

Resultat av fällningsförsök
som funktion av aluminiumsulfatdos.

Jämförelse med driftsresultat

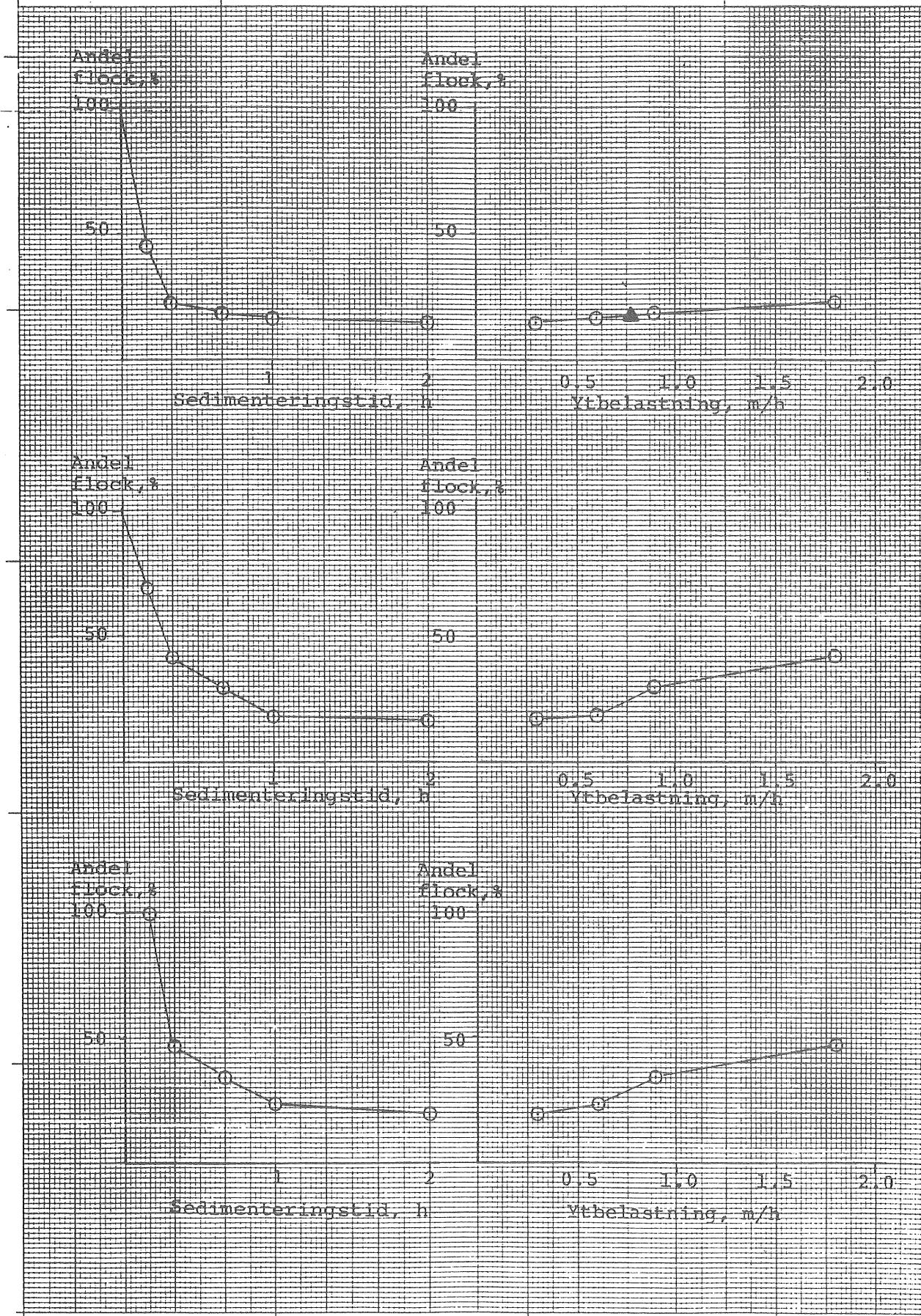
- FällningspH 6.2
- FällningspH 6.5
(verkets fällnpH)
- ▲ verkets driftres.
- filtrerat råvatten



Figur 11.4
Ämål

Sjunkanalyser och jämförelse
med praktiskt sedimenterings-
resultat.

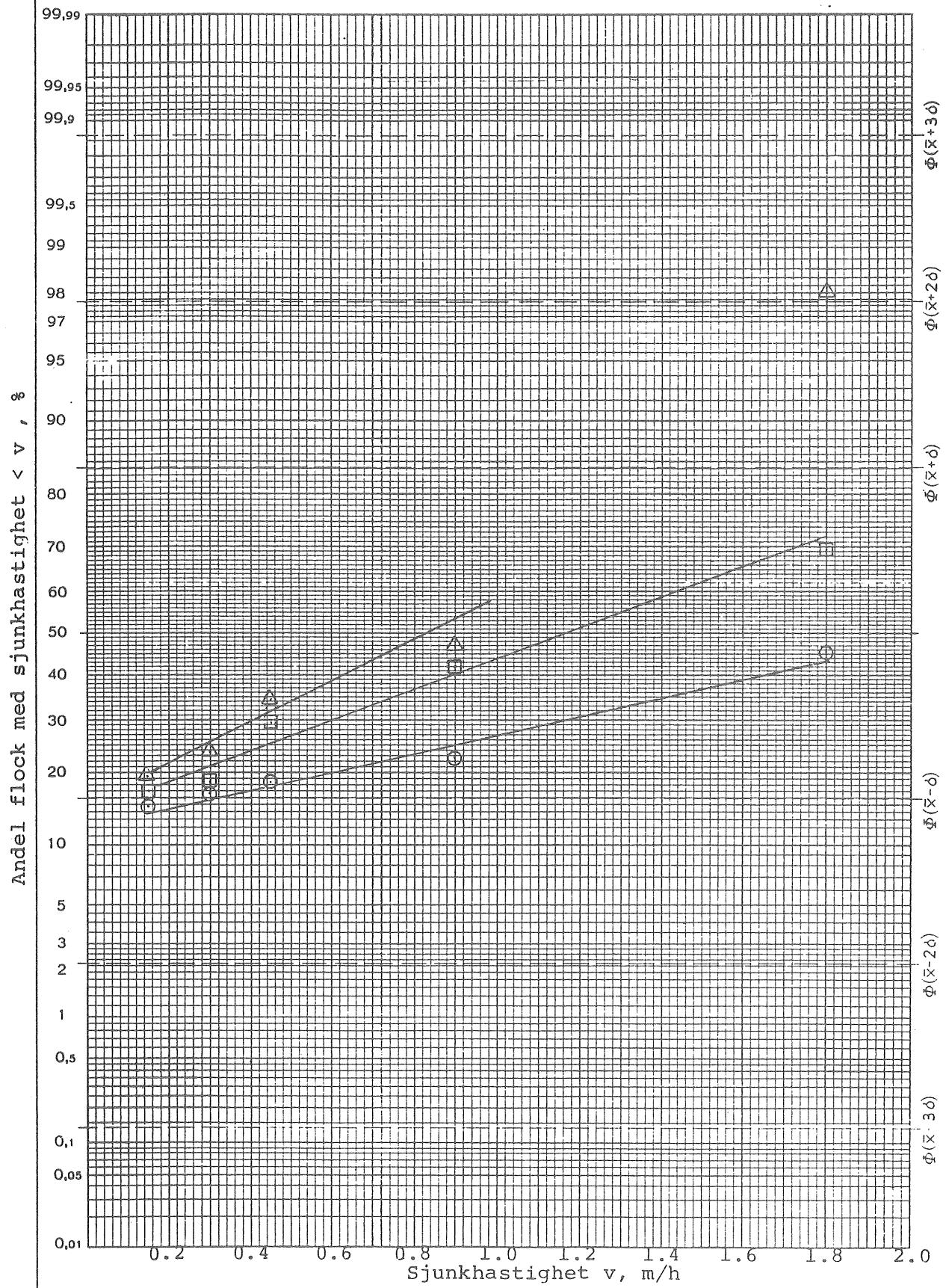
- Kammare 7
- Kammare 5
- △ Kammare 3
- ▲ driftresultat

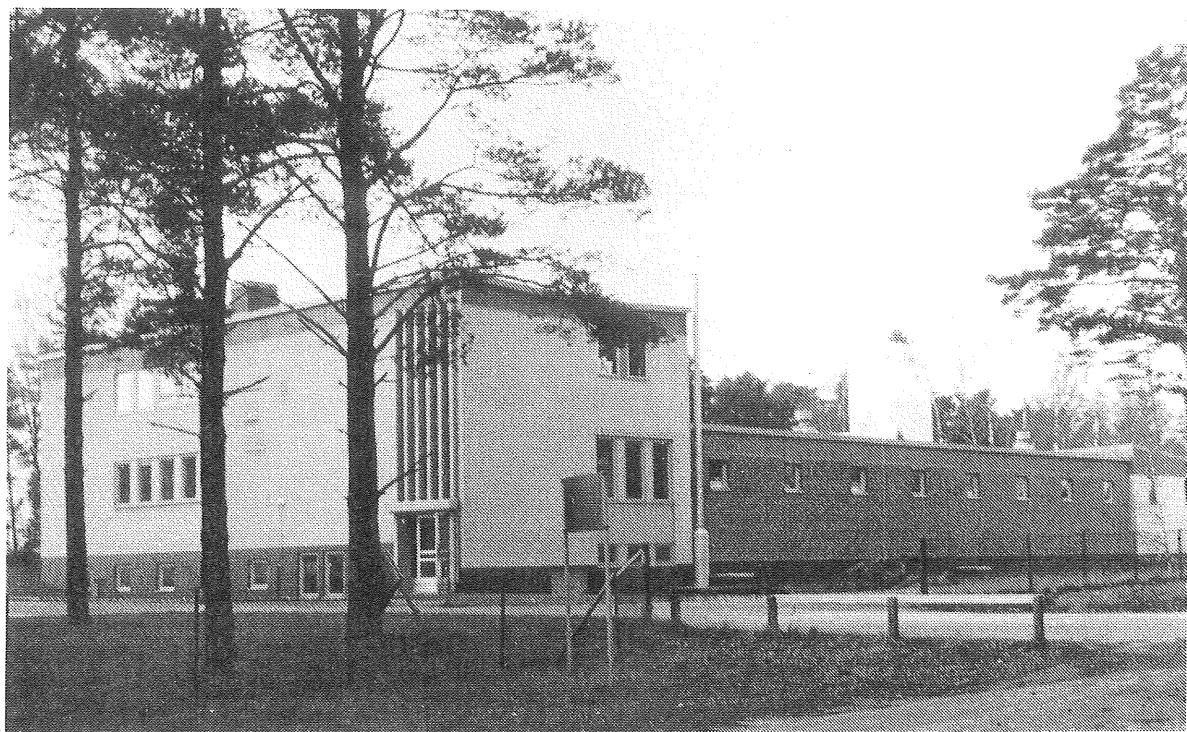


Figur 11.5
Åmål

Utvärdering av sjunkanalyser
 v_m 2.10 1.78
 σ
 1.16 1.06
 0.82 0.80

- Kammare 7
- Kammare 5
- △ Kammare 3





12.1 Beskrivning av verkets funktion

Verket består av tre parallella system för kemisk fällning. Dels ett system (alltid i drift) med pulsator. Dels två konventionella flockningssystem med efterföljande sedimentering, vardera bestående av två linjer med fem flockningstankar samt s k Lovö-bassänger (två bottnar, fram- och återgående vattenflöde). Varje linje har den totala flockningsvolymen 157 m^3 resp den totala sedimenteringsarean 160 m^2 .

Den totala sandfilterareaen är 164 m^2 .

Angivna flöden och doseringar:

maxflöde: $24\ 000 \text{ m}^3/\text{d}$, medelflöde: $10\ 000 \text{ m}^3/\text{d}$

förklaring

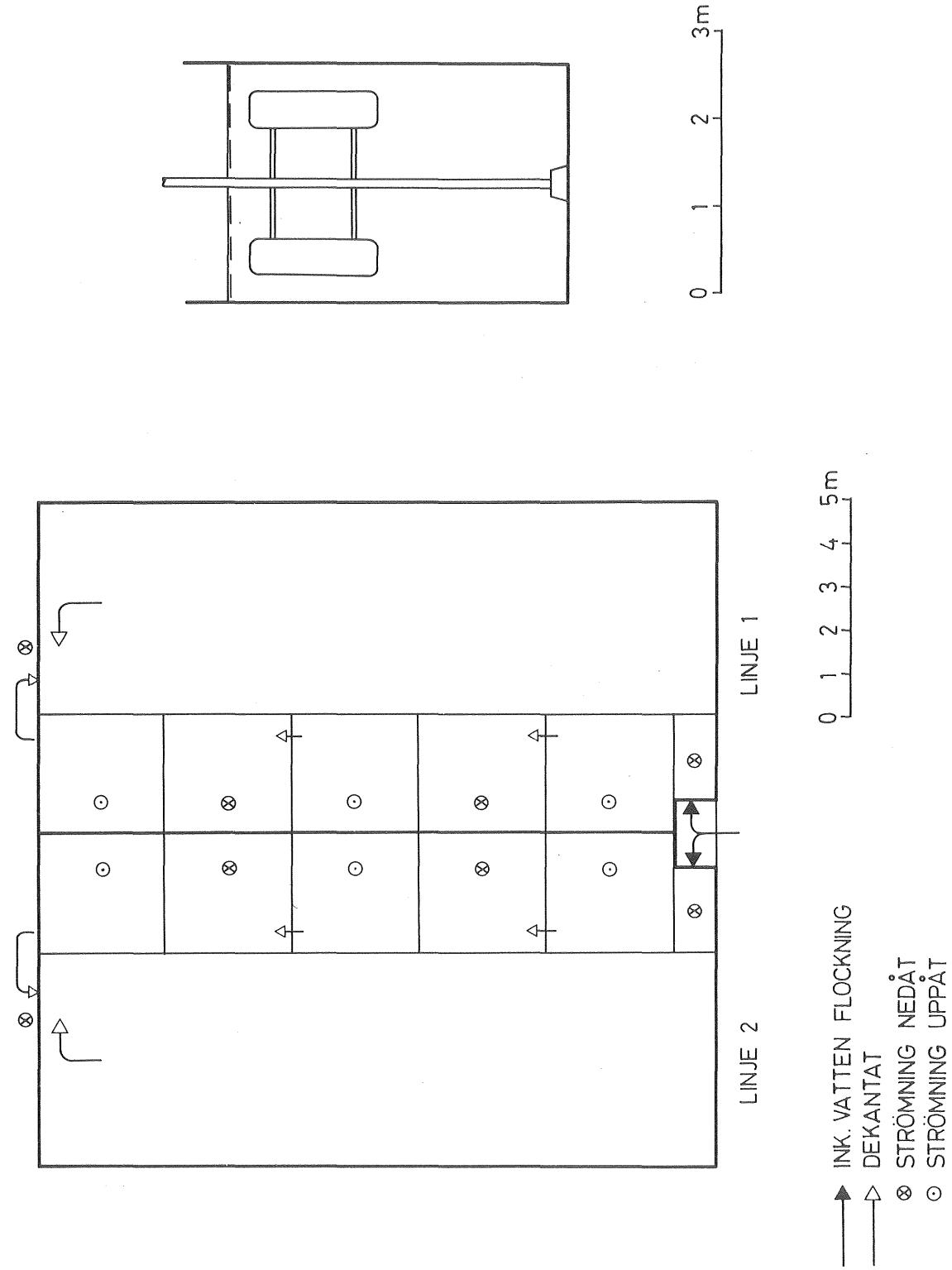
aluminiumsulfat: 32 g/m^3

fällningspH justeras med kalk

aktiverad kiselsyra: 8 g/m^3

efteralkalisering med kalk

till renvattnet doseras kloridioxid och hexametafosfat



Figur 12.1 Lidköping's vattenverk, flockningsystem 1, linje 1 och 2.

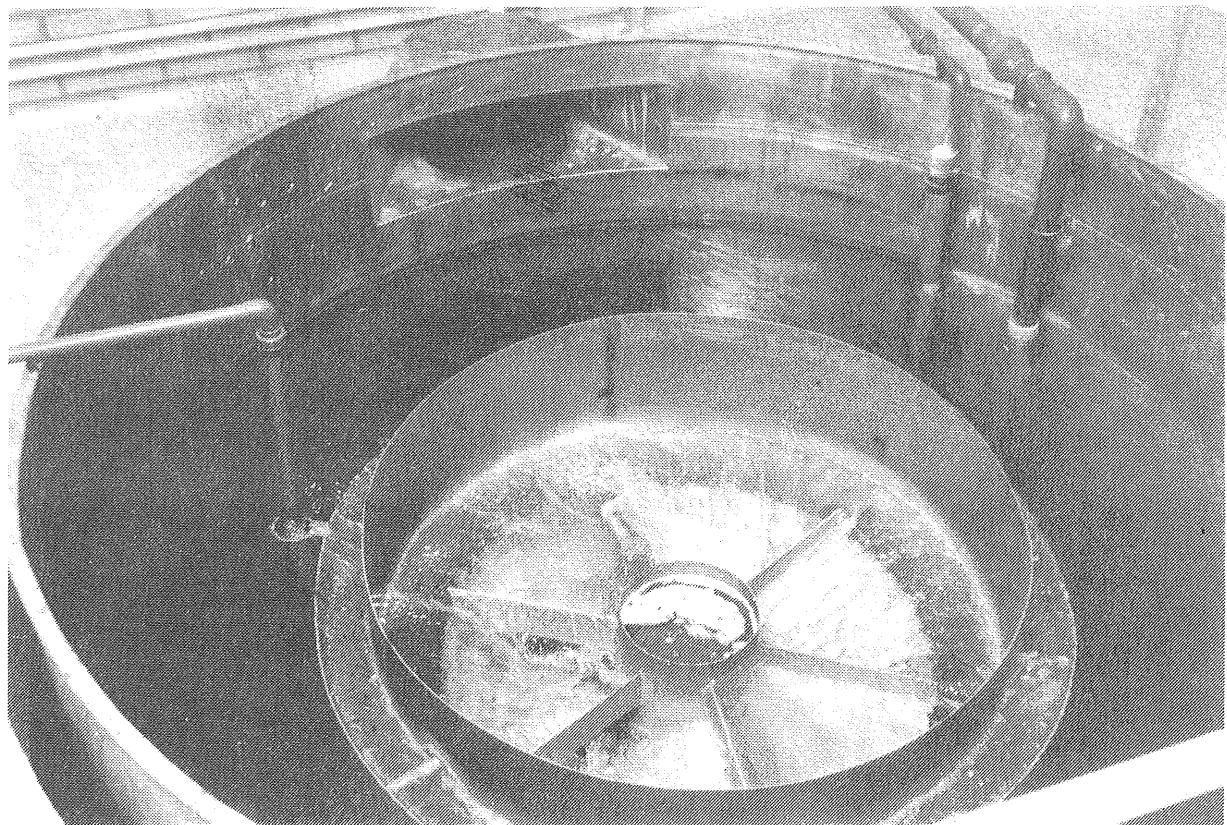
Verket drivs med varierande flöde under dygnet, 180 - 550 m³/h. Vid flöden upp till ca 280 m³/h är enbart pulsatordelen i drift. Vid flöden mellan 300 och 500 m³/h går hälften av flödet till vardera flockningssystem 1 (bestående av två flockningslinjer) och till pulsatordelen. Vid flöden större än 550 m³/h tas även flockningssystem 2 i drift så att varje system erhåller en tredjedel av flödet.

Filtren spolas vid tryckförlusten 1.2 mvp och tiden mellan filterspolningarna är normalt på vintern 95 h, på sommaren 90 h.

I fortsättningen gäller angivna värden endast de två besöksdygnen 7-8/5 1979.

12.2 Flöden, doseringar

Vid här aktuella undersökningar hölls flödet genom verkets råvattenmätare konstant till 305 m³/h. Härvid försörjdes pulsatordelen och det konventionella flockningssystemet 1 (bestående av linje 1 och 2) enligt uppgift med lika stora flöden. Vid de saltförsök som utfördes erhölls totalflödet i system 1 till 166 m³/h, fördelat på linje 1 och 2 enligt: 84 resp 82 m³/h. Mätning av flocksjunkhastigheten och sedimenteringseffekt har utförts vid dessa flöden i system 1.



Lösning av aluminiumsulfat bereds satsvis. Mätning av doseringslösningens flöde resp koncentration gav doseringen 42 g Al-sulfat/m³. Denna mätning utfördes den 8/5 vid totalflödet 540 m³/h. Koagulanten tillsätts tillsammans med kalk i en inblandningssnäcka gemensam för alla system.

12.3 Flockning

Ovan angivna flöden ger flockningstid för linje 1: 113 min samt för linje 2: 115 min. Saltförsöken antyder en relativt gynnsam flödesbild för de båda systemen. En momentan dos salt (i detta fall 2 kg NaCl) doserades till inloppen till flockningssystemen. Den från sista flockningstanken utgående saltkoncentrationen (mätt som ledningsförmåga) registrerades som funktion av tiden. Ju högre det maximalt registrerade koncentrationsvärdet är samt ju närmare detta i tiden ligger den uträknade medeluppehållstiden, desto fördelaktigare är flödesbilden. Tidpunkten för maximal koncentration var nära medeluppehållstiden för de båda systemen. Den maximala saltkoncentrationen i utloppet i relation till medelhalten - dvs total saltmängd utspädd i hela flockningsvolymen - $(C/C_0)_{\max}$ var ca 1,0.

Omrörarnas varvtal uppmätttes och med hjälp av vissa mätningar på platsen har effekttillförsel och \bar{G} -värden beräknats. Det måste understrykas, i synnerhet som inga ritningar på omrörare fanns tillgängliga att de värden som erhållits endast ger en mycket grov uppskattning. Vattenmassans medrotation har antagits vara 40% av paddelhastigheten. I tabell 12-1 återfinns varvtal, beräknad effekttillförsel och \bar{G} -värde samt periferihastighet. Paddelareans andel av minsta vertikala tankvärsnitt har uppskattats vara ca 11%.

För effekttillförseln i flockningstankarna erhölls uttrycket:

$$w \approx 7 \cdot 10^{-3} \cdot n^3 \quad \text{watt/m}^3$$

där n är varvtalet på omrörare (varv/min)

\bar{G} -värdet erhålls enligt:

$$\bar{G} = \sqrt{\frac{w}{\eta}} \quad \text{1/s}$$

där η är vattnets viskositet, vid aktuell temperatur (4°C) gäller
 $\eta = 1.6 \cdot 10^{-3} \text{ Ns/m}^2$

Tabell 12-1. Data för omrörare i flockningssystem.

Kammare nr	1	2	3	4	5
LINJE 1 och 2					
Varvtal, n varv/min	4.6	3.5	2.6	1.4	1.4
Effekttillförsel, w watt/m ³	0.72	0.32	0.13	0.02	0.02
Medelhastighets- gradient, G, l/s	22	14	9	4	4
Periferihastighet, m/s	0.52	0.40	0.29	0.16	0.16

Effekttillförseln är måhända något låg, speciellt i de första flocknings- tankarna, men med hänsyn till den långa flockningstiden kan nivån betecknas som godtagbar. Detta ger också utslag i flockens sjunkegenskaper. Resultat av sjunkanalyser återfinns i fig 12.4 och 12.5.

Tabell 12-2. Sjunkhastigheter

	Medelsjunkhastighet v_m , m/h	Spridning σ , m/h
Kammare 5, linje 1	2.0	1.2
Kammare 5, linje 2	2.0	1.4

Flocksjunkegenskaperna är fullt tillfredsställande. Detta kan hänföras till de relativt höga doserna av både aluminiumsulfat och aktiverad kisel- syra samt att effekttillförseln ligger på en rimlig nivå. Dessutom ligger fällningspH inom ett godtagbart interval. Uttagna dekantat- och filtrat- prov (se tabell 12-3) ger värden mellan pH 6.0-6.4. Kontinuerlig mätning av utgående vatten från inblandningssnäckan (där verkets mätare är place- rad) gav värden mellan pH 5.9 och 6.3. Dessa variationer var av kort varaktighet (<5 min), varför de säkert utjämnas snabbt i verkets bassänger. Vid de tillfällen verkets pH-mätare jämfördes med erhållna värden upp- nåddes inte större skillnader än 0.1 pH-enhet, vilket får anses tyda på att verkets pH-mätning fungerar väl.

12.4 Sedimentering

Vid aktuella flöden är ytbelastning, räknat på total sedimenteringsyta, ca 0.5 m/h för de båda sedimenteringsbassängerna i linje 1 och 2. I fig 12.4 är sjunkanalyserna omräknade till sedimenteringsresultat vid varierande sedimenteringsbelastning. Som jämförelse är det verkliga resultatet inritat. Härvid antas att sjunkhastighetsfördelningen är oförändrad, oberoende av sedimenteringsdjupet (i regel ökar dock sjunkhastigheten med ökat djup). Resultatet från de två sedimenteringsbassängerna uppvisar också något bättre värden än vad sjunkanalysen förutsäger. (5-6% kvarvarande flock).

I tabell 13-3 återfinns också analysvärden för "dekantat från pulsator".

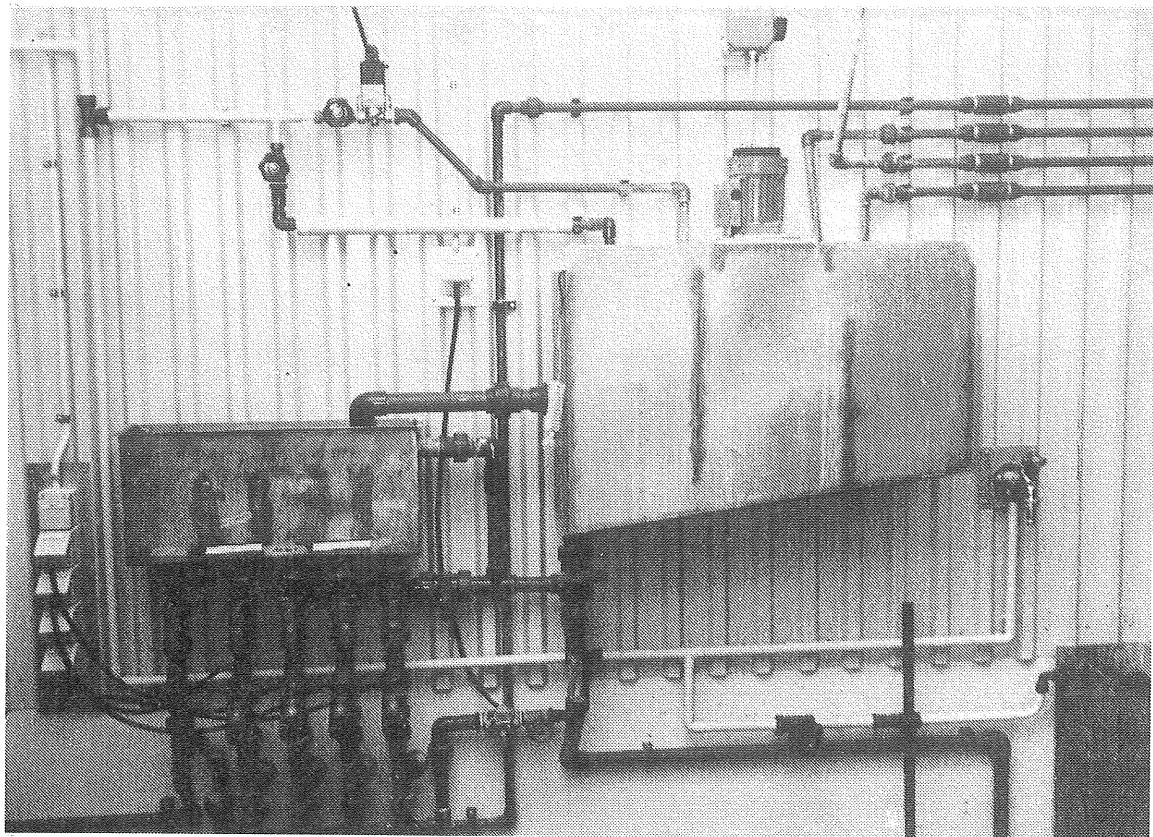
12.5 Filtrering

Prov uttogs från ett relativt nyspolat filter samt från ett filter med en gångtid av hela 6 dygn, om angivna uppgifter är riktiga. Dessutom uttogs filtrat från den nya delen av verket (filter 5 och 6), där filtraten ej gick att skilja åt. Antagligen försörjs dessa filter till större delen med dekantat från pulsatorn. Inga större variationer i filtratkvalitet kunde spåras mellan dessa prov, varför aktuella gångtider ej synes vara för långa vid aktuell dekantatkvalitet. Resultatet återfinns i tabell 12-3.

12.6 Resultat av fällningsförsök

Fällningsförsök utfördes under standardiserade betingelser med aluminium-sulfatdoserna 20, 30 resp 40 mg/l. Fig 12.2 visar resultat efter filtrering som funktion av pH. I fig 12.3 har på grundval av fig 12.2 resultatet uttryckts som funktion av aluminiumsulfatdosen vid fällningspH 6.2. Som jämförelse har analysvärden för det bästa filtratet införts.

För att få ett godtagbart resultat har "erforderlig" aluminiumsulfatdos uträknats till 24.4 mg Al-sulfat/l. Lämpligt intervall för fällningspH: 6.1-6.4.



Beredning av aktiverad kiselsyra

12.7 Sammanfattning, åtgärder

På grund av att verket drivs till stora delar med hänsyn till driftsförhållandena i pulsatordelen och undersökningen utförts till största delen i det konventionella systemet kommer här bara att beröras förhållanden som rör det senare.

Doseringen av både aluminiumsulfat och aktiverad kiselsyra är något högre än erforderligt i det konventionella flockningssystemet.

pH-mätningen fungerar av allt att döma tillfredsställande.

Den vid aktuella driftsförhållandena erhållna dekantatkvaliteten gör att filtren kan drivas med långa gångtider.

Tabell 12-3. Analysresultat

Prov nr	pH	Grumlighet FTU	UV-absorbans $E_{254}(4\text{ cm})$	Färgvärde $E_{436}(4\text{ cm})$	Permanganat- tal, mg $\text{KMnO}_4/1$	mg $\text{Al}^{3+}/1$
1201	7.4	1.1	0.75	0.044	26.0	<0.01
1201F	-	0.73	0.74	0.039	25.7	<0.01
1202	7.4	1.1	0.75	0.045	25.1	<0.01
1204	5.9	0.54	0.19	0.010	7.0	0.42
1205	6.3	0.74	0.25	0.014	9.1	0.52
1206	6.2	0.075	0.14	0.003	5.7	<0.01
1207	6.4	0.10	0.16	0.004	6.5	<0.01
1208	6.3	0.14	0.18	0.005	7.1	<0.01

Prov nr

- 1201 Råvatten 7/5
- 1201F Råvatten 7/5, filtrerat prov
- 1202 Råvatten 8/5
- 1204 Dekantat system 1 8/5 kl 10.00
- 1205 Dekantat pulsator 8/5 kl 16.00
- 1206 Filtrat filter 1 8/5 kl 10.00 spolat 7/5 f m gångtid ca 1 dygn
- 1207 Filtrat filter 2 8/5 kl 10.00 spolat 2/5 gångtid ca 6 dygn
- 1208 Filtrat nya delen (filter 5+6) 8/5 kl 16.00

Råvattnets alkalitet analyserades till 0.29 m ekv/l.

Figur 12.2

Lidköping

7-8/5 1979

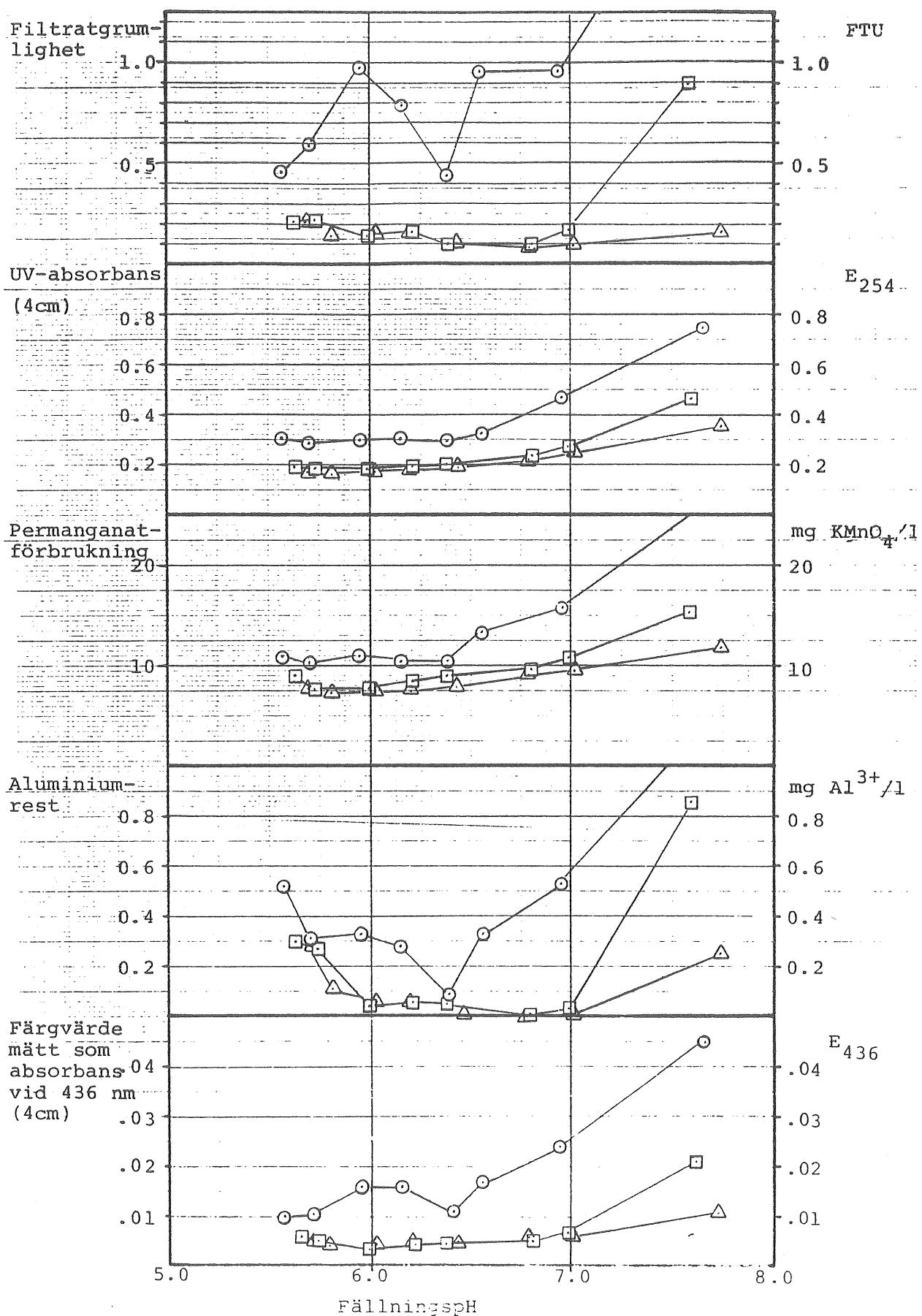
Resultat av fällningsförsök
Analysvärden efter filtrering

Al-sulfat-
dosering, mg/l

O 20

□ 30

△ 40



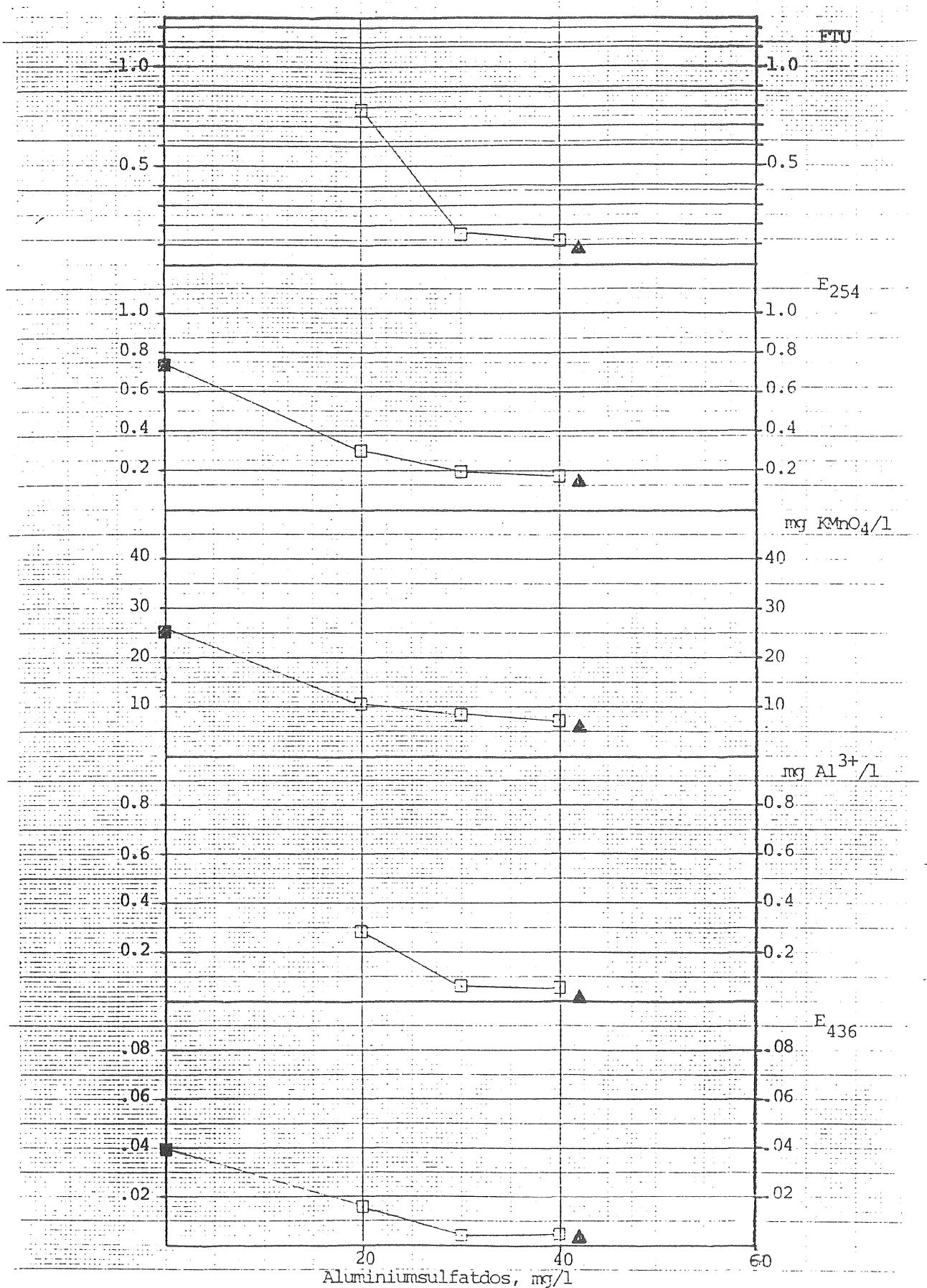
Figur 12.3

Lidköping

Resultat av fällningsförsök
som funktion av aluminiumsulfatdos.

Jämförelse med driftsresultat

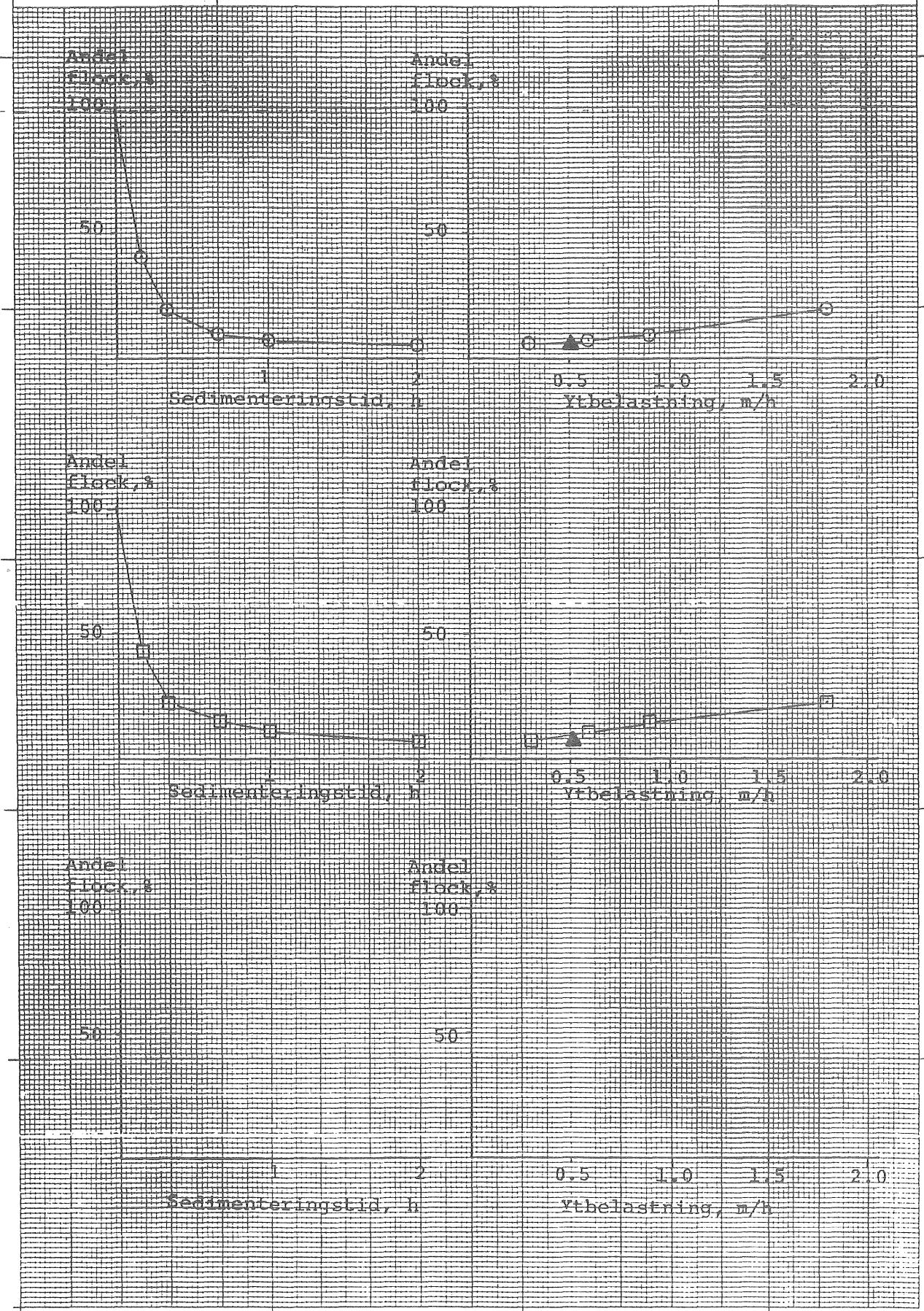
- FällningspH 6.2
(verkets fällnpH)
- ▲ verkets driftres.
- filtrerat råvatten



Figur 12.4
Lidköping

Sjunkanalyser och jämförelse
med praktiskt sedimenterings-
resultat.

- Linje 1, kam 5
- Linje 2, kam 5
- ▲ driftresultat

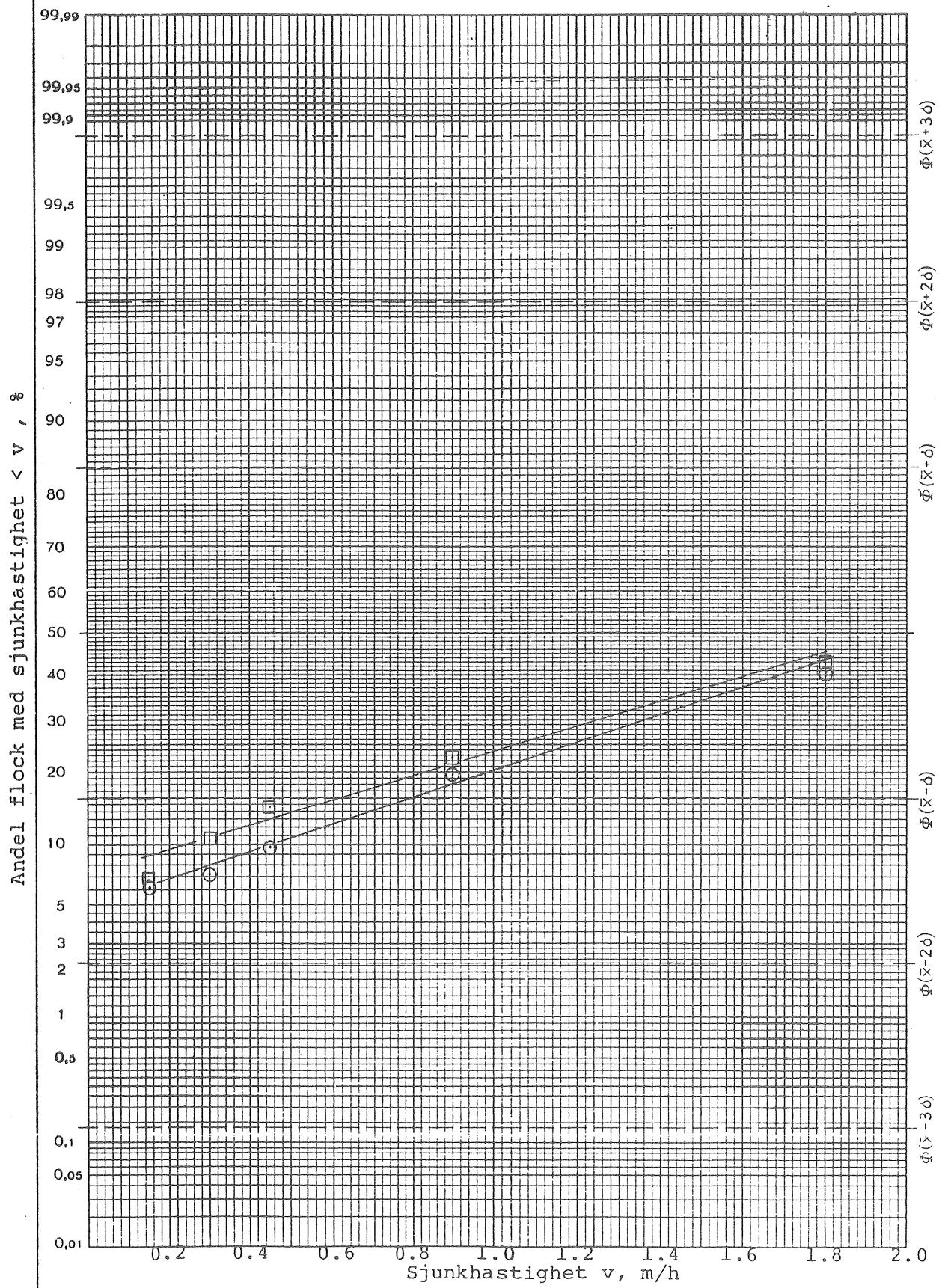


Figur 12.5
Lidköping

Utvärdering av sjunkanalyser

v_m σ
2.00 1.20
1.96 1.36

○ Linje 1, kam 5
□ Linje 2, kam 5





13.1 Beskrivning av verkets funktion

Verket har tre parallella flockningssystem med efterföljande sedimentering. System A och B består av fem flockningstankar, varav de tre första har omrörning med horisontell omröraraxel. Total flockningsvolym $105 \text{ m}^3/\text{system}$. Sedimenteringen består av s k Lovöbassänger (två bottnar, fram- och återgående vattenflöde) med total sedimenteringsyta $92 \text{ m}^2/\text{system}$.

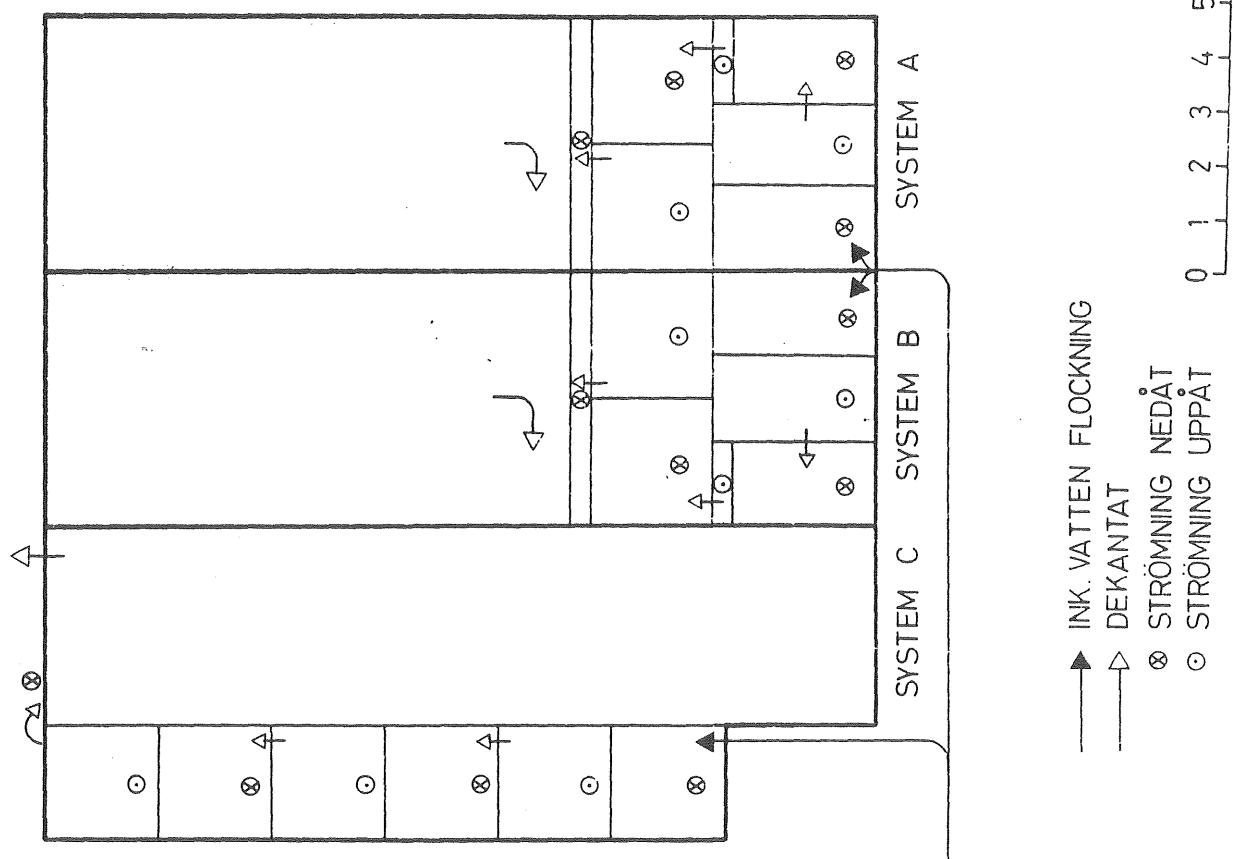
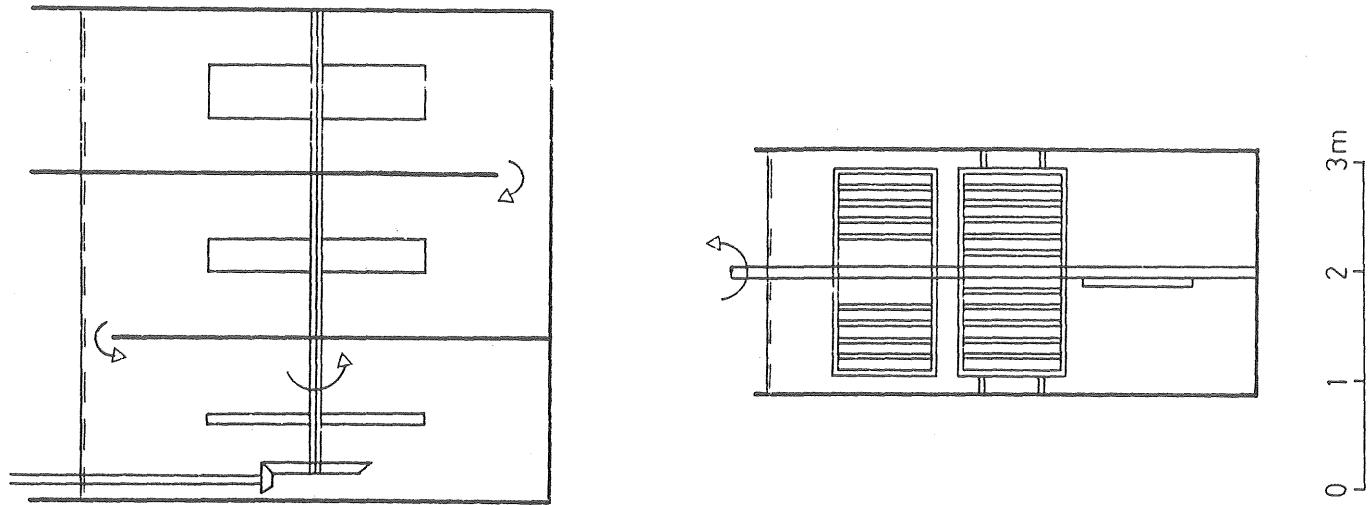
System C har sex flockningstankar med vertikala omröraraxlar, vardera med två rörliga och en fast omrörargrind. Utformningen är densamma som för de två sista omrörarna i resp system A och B. Den totala flockningsvolymen i system C är 132 m^3 , sedimenteringsbassängen har total sedimenteringsyta 116 m^2 .

Sandfilter: total yta 80 m^2

Angivna flöden och doseringar:

maxflöde: $10\ 800 \text{ m}^3/\text{d}$, medelflöde $6\ 000 \text{ m}^3/\text{d}$

förfärgning: klor ($1,5 \text{ g/m}^3$) + natriumklorit (1 g/m^3)



Figur 13.1 Mariestads vattenverk

Flockning

aluminiumsulfat: 40 g/m^3
justering av fällnings-pH, krita: 10 g/m^3
ingen hjälpkoagulant doseras

Renvatten

efteralkalisering, soda: (20 g/m^3)
klor: $0,6 \text{ g/m}^3$
kiselsyra 5 g/m^3

Dessa värden innebär vid medelflöde, flockningstid: 84 min, ytbelastning sedimentering: $0,8 \text{ m/h}$ och filtrerhastighet $3,1 \text{ m/h}$. Slam töms i sedimenteringen varannan vecka. Filten drivs med fast tidsintervall: 4 dygn både vinter- och sommartid.

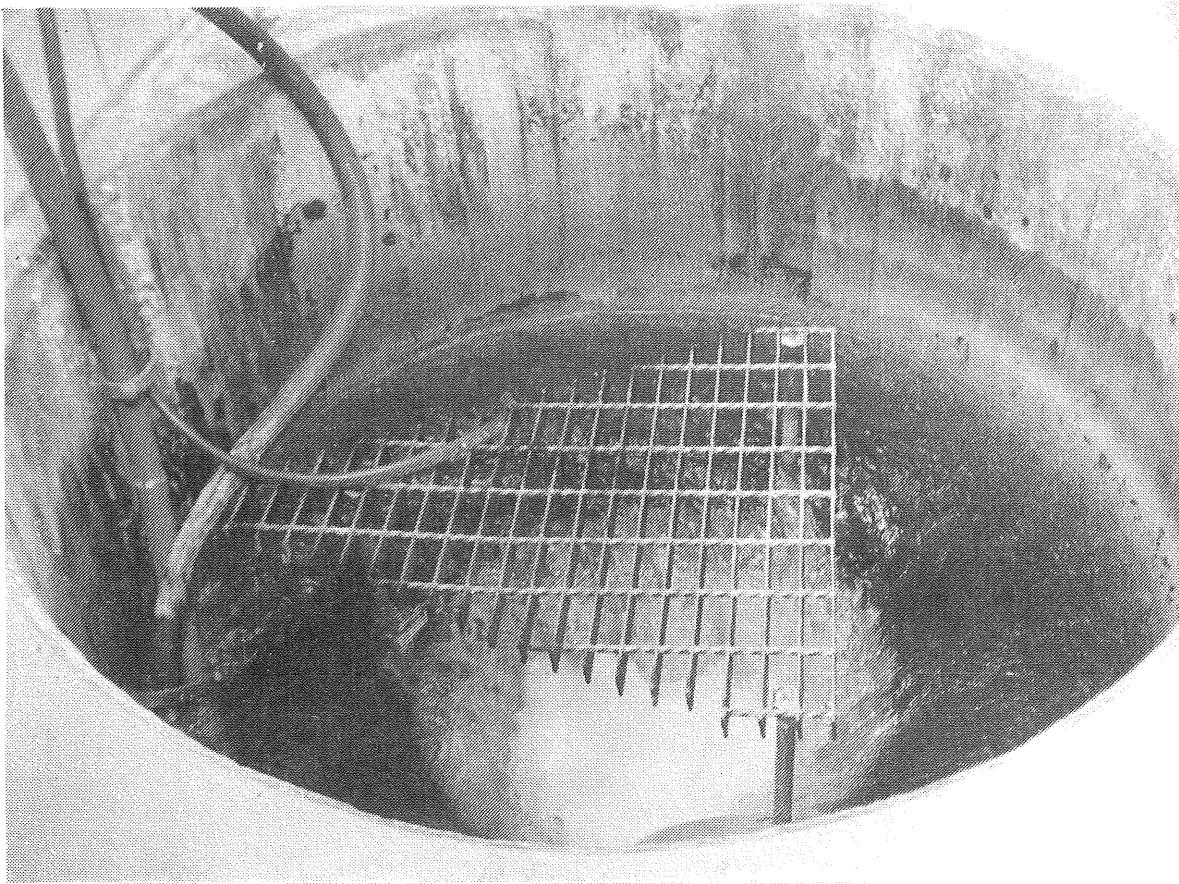
I fortsättningen gäller angivna värden endast de två besöksdyggen 9-10/5 1979.

13.2 Flöden, doseringar

Flödet genom verket var enl verkets råvattenmätare konstant $260 \text{ m}^3/\text{h}$. Vid de saltförsök som utfördes erhölls totalflödet $255 \text{ m}^3/\text{h}$, fördelat på resp system A, B och C enligt: 77 , 77 resp $100 \text{ m}^3/\text{h}$.

Flödet vid besökstillfället ligger alltså nära angivet medelflöde. Dessutom är överensstämmelsen mellan flödesmätningarna förvånansvärt god.

Lösning av aluminiumsulfat bereds satsvis. Mätning av doseringslösningens flöde resp koncentration gav den aktuella doseringen $29 \text{ g aluminiumsulfat/m}^3$. Koagulanten tillsätts tillsammans med krita (samt vid besöket även soda) i en inblandningssnäcka gemensam för de tre systemen.



13.3 Flockning

Ovan angivna flöden ger flockningstider för resp system A: 81 min, B: 81 min samt C: 79 min. Saltförsöken antyder en gynnsammare flödesbild för system C än de båda övriga. En momentan dos salt (i detta fall 2 kg NaCl) doserades till inloppen till flockningssystemen. Den från sista flockningstanken utgående saltkoncentrationen (mätt som ledningsförmåga) registrerades som funktion av tiden. Ju högre det maximalt registrerade koncentrationsvärdet är samt ju närmare detta värde i tiden ligger den uträknade medeluppehållstiden, desto fördelaktigare är flödesbilden.

Tidpunkten för maximal koncentration var för system A och B 70-75 min, för system C nära 80 min. Den maximala saltkoncentrationen i utloppet i relation till medelhalten - dvs totala saltmängden utspädd i hela flockningsvolymen - $(C/C_0)_{\max}$ var för system A och B ca 1,0 och för system C 1,3. Omrörarnas varvtal uppmättes och med hjälp av ritningar och vissa mätningar på platsen har effekttillförsel och \bar{G} -värden beräknats. Det måste understyckas att de värden som erhållits endast ger en grov uppskattning. Här har beräkningarna

komplicerats dels av fasta grindar - dessa har antagits ge en minskad medrotation hos vattenmassan - dels av de horisontella omrörarna i de tre första flockningstankarna i system A och B. Här har den avtagande energiindrivningen erhållits genom att vid konstant varvtal minska paddelbredden. Det är rimligt att vattnets medrotation då också skulle minska, men i brist på underlag för gissningar antas medrotationen vara konstant, 40% av paddelhastigheten. Där fasta grindar förekommer antas medrotationen vara 30%. I tabell 13-1 återfinns varvtal, beräknad effekttillförsel och \bar{G} -värde, periferihastighet samt paddelarea som andel (%) av tanktvärsnitt. I flockningstankarna med fasta grindar har procentsiffran både för omrörare (13%) och fast grind (8%) angetts.

För effekttillförseln i system C samt 4:e och 5:e flockningstanken i system A och B erhölls uttrycket:

$$w \approx 5 \cdot 10^{-3} \cdot n^3 \quad \text{watt/m}^3$$

där n är varvtalet på omrörare (varv/min)

För de tre första tankarna i system A och B gäller

$$w \approx 7 \cdot 10^{-3} \cdot D \cdot n^3 \quad \text{watt/m}^3$$

där D , paddelns bredd, är 0,5, 0,2 resp 0,1 m för kammarne 1, 2 och 3.

\bar{G} -värdet erhålls enligt

$$\bar{G} = \sqrt{\frac{w}{\eta}} \quad (\frac{1}{s})$$

där η är vattnets viskositet, vid aktuell temperatur (5°C) gäller
 $\eta = 1,5 \cdot 10^{-3} \text{ Ns/m}^2$.

Tabell 13-1. Data för omrörare i flockningssystem.

Kammare nr	1	2	3	4	5	6
SYSTEM A						
Varvtal, n varv/min	3,5	3,5	3,5	1,1	0,67	
Effekttillförsel, w watt/m ³	0,15	0,091	0,030	0,007	0,0015	
Medelhastighets- gradient, G, 1/s	10	7,7	4,5	2,1	1,0	
Periferihastighet, m/s	0,37	0,37	0,37	0,11	0,06	
Paddelarea/ tanktvärsnitt, %	26	15	5	13+8	13+8	
SYSTEM B						
Varvtal, n varv/min	3,0	3,0	3,0	1,1	0,67	
Effekttillförsel, w watt/m ³	0,093	0,056	0,019	0,0069	0,0015	
Medelhastighets- gradient, G, 1/s	7,8	6,1	3,5	3,1	1,0	
Periferihastighet, m/s	0,31	0,31	0,31	0,11	0,06	
Paddelarea/ tanktvärsnitt, %	26	15	5	13+8	13+8	
SYSTEM C						
Varvtal, n varv/min	8,6	6,0	3,3	2,2	1,1	0,73
Effekttillförsel, w watt/m ³	3,2	1,1	0,19	0,055	0,0069	0,0020
Medelhastighets- gradient, G, 1/s	46	27	11	6,0	2,1	1,1
Periferihastighet, m/s	0,85	0,60	0,33	0,22	0,11	0,07
Paddelarea/ tanktvärsnitt, %	13+8	13+8	13+8	13+8	13+8	13+8

Effekttillförseln i system C är fullt tillfredsställande, medan däremot nivån är för låg i början av systemen A och B.

Detta ger också utslag i flockens sjunkegenskaper. Resultat av sjunkanalysen återfinns i fig 13-4 och 13-5.

Tabell 13-2. Sjunkhastigheter

	Medelsjunkhastighet v_m , m/h	Spridning σ , m/h
System A	1,3	1,4
B	1,4	1,4
C	1,0	0,8

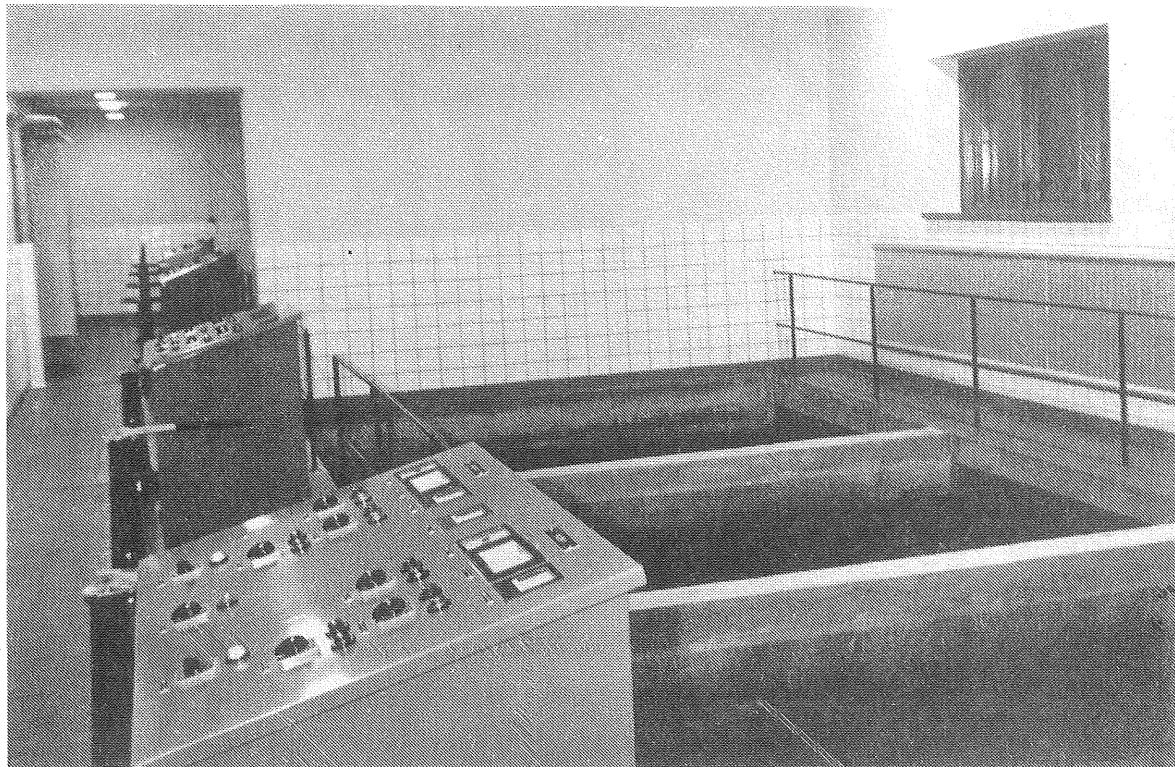
Den lägre medelsjunkhastigheten för system C kompenseras av den avsevärt lägre spridningen kring detta värde. Teoretiskt skulle dessa tre sjunkhastighetsfördelningar vid aktuell belastning ge ungefär samma sedimenteringsresultat. Här visar sig dock system C ge ett bättre värde. Se nedan.

Flocksjunkegenskaperna är dock sämre än man skulle förvänta sig m h t den aktuella effekttillförseln även då ingen hjälpkoagulant doseras som i detta fall. Detta beror säkerligen på att fällnings-pH är för högt. Uttagna dekantat- och filtratprov (se tabell 13-3) ger värden mellan pH 6,9 och 7,1. Kontinuerlig mätning i system C (där verkets mätare är placerad) gav värden mellan pH 6,9 och 7,0. Verkets mätare visade 6,3. En långsam utlösning av doserad krita skulle kunna ge en ökning av pH genom systemet. Ingen skillnad kunde dock konstateras mellan kammar 2 och 4. pH-mätningen bör alltså ses över.

13.4 Sedimentering

Vid aktuella flöden är ytbelastningen, räknad på total sedimenteringsytdensamma för de tre systemen: 0,85 m/h. I fig 13.4 är sjunkanalyserna omräknade till sedimenteringsresultat vid varierande sedimenteringsbelastning. Som jämförelse är det verkliga resultatet inritat. Härför antas att sjunkhastighetsfördelningen är oförändrad, oberoende av sedimenteringsdjupet (i regel ökar dock sjunkhastigheten med ökat djup). Teoretiskt skulle sedimenteringsresultatet vid aktuell belastning i stort sett bli detsamma för de

tre systemen. I praktiken visar system C ett bättre resultat (ca 16% kvarvarande flock) än A och B (ca 20-25%). Det betyder att flockarna i system C bättre kan tillgodogöra sig det ökade sedimenteringsdjupet - från sjunkanalysens 0,3 m till sedimenteringsbassängens ca 2,5 m.



13.5 Filtrering

Eftersom det inte fanns möjlighet att ta ut prov från varje filter för sig, fick tryckgivarledningen lossas. Efter ca 10 min spolning uttogs prov. Analysresultatet återfinns i tabell 13-3. Det nyspolade filtret visar anmärkningsvärt dåliga värden. Om analysvärdena är riktiga skulle detta kunna tyda på bristande reglering av flödet vid renspolad bädd. Analysvärdena visar dock en misstänkt likhet med dekantatvärdena. Detta kan tyda på att provtagningen är felaktig och understryker i så fall vikten av fasta kranar för uttag av prov på resp filtrat. De övriga analyserna visar en ökad genomträngning av material med ökad gångtid. Var man sätter gränsen kan diskuteras, men 4 dygns gångtid är nog i längsta laget vid aktuell dekantat-kvalitet.

13.6 Resultat av fällningsförsök

Fällningsförsök utfördes under standardiserade betingelser med aluminiumsulfatdoserna 20, 30 resp 40 mg/l. Fig 13.2 visar resultat efter filtrering som funktion av pH. I fig 13.3 har på grundval av fig 13.2 resultaten uttryckts som funktion av aluminiumsulfatdosen, dels vid "optimalt" fällnings-pH (6,2) och dels vid det pH som verket tillämpade (6,9). Som jämförelse har analysvärden för det bästa filtratet införts.

För att få ett godtagbart resultat har "erforderlig" aluminiumsulfatdos uträknats till 25,5 mg Al-sulfat/l. Lämpligt intervall för fällnings-pH: 6,1-6,4.

13.7 Sammanfattning, åtgärder

Fördelningen av flödet mellan de tre systemen samt flödesmätaren fungerar bra, att döma av utförda saltförsök.

Effekttillförseln i system C är tillfredsställande, näremot något för låg i början av system A och B. En möjlig åtgärd vore att öka varvtalet för den horisontella omröraraxeln 2-3 ggr, eller att bygga om systemen i enlighet med system C.

pH-mätningen bör ses över. Här är viktigt att observera att vid kalibrering bör buffertar hålla samma temperatur som råvattnet. Återgång till riktigt mätvärde efter buffring kan ta lång tid - för en bra elektrod 10-15 min. Kontrollera att elektroden är lämplig för pH-mätning vid låga temperaturer.

Kontrollera regleringen av flödet genom filtren, så att det inte "rusar" vid renspolad bådd.

En måttlig dosering (2 g/m³) aktiverad kiselsyra skulle förbättra flockarnas sjunkhastighet, öka hållfastheten hos avsatt flock i filtren och ge jämnare filtratkvalitet. Dock ökar trycksförlusttillväxten samt dessutom får olägenheten med hantering av ytterligare en kemikalie vid verket övervägas.

Utag, som ger möjlighet att ta ut prov på varje filter för sig är nödvändiga, om lämpliga filtergångtider skall kontrolleras.

Tabell 13-3. Analysresultat.

Prov nr	pH	Grumlighet FTU	UV-absorbans $E_{254}(4\text{ cm})$	Färgvärde $E_{436}(4\text{ cm})$	Permanganat- tal, mg $\text{KMnO}_4/1$	mg $\text{Al}^{3+}/1$
1301	7,6	1,5	0,83	0,055	26,0	<0,01
1301F	-	0,92	0,81	0,044	25,1	<0,01
1302	-	1,2	0,79	0,056	26,0	<0,01
1304	7,0	0,84	0,30	0,015	13,2	0,44
1306	7,1	1,1	0,35	0,020	11,8	0,50
1307	7,1	0,48	0,28	0,011	10,9	0,02
1308	6,9	0,19	0,25	0,008	10,1	0,01
1309	6,9	0,09	0,22	0,005	9,1	<0,01

Prov nr

1301	Råvatten	9/5				
1301F	Råvatten	9/5, filtrerat prov				
1302	Råvatten	10/5	k1 10.40			
1304	Dekantat system C	"				<u>gångtid</u>
1306	Filtrat filter 7	"	spolat	k1 06 10/5	4,5 h	
1307	"	8	"	18 6/5	88	"
1308	"	1	"	06 7/5	76	"
1309	"	4	16.45	"	18 8/5	47

Råvattnets alkalitet analyserades till 0,36 m ekv/l.

Figur 13.2

Mariestad

9-10/5 1979

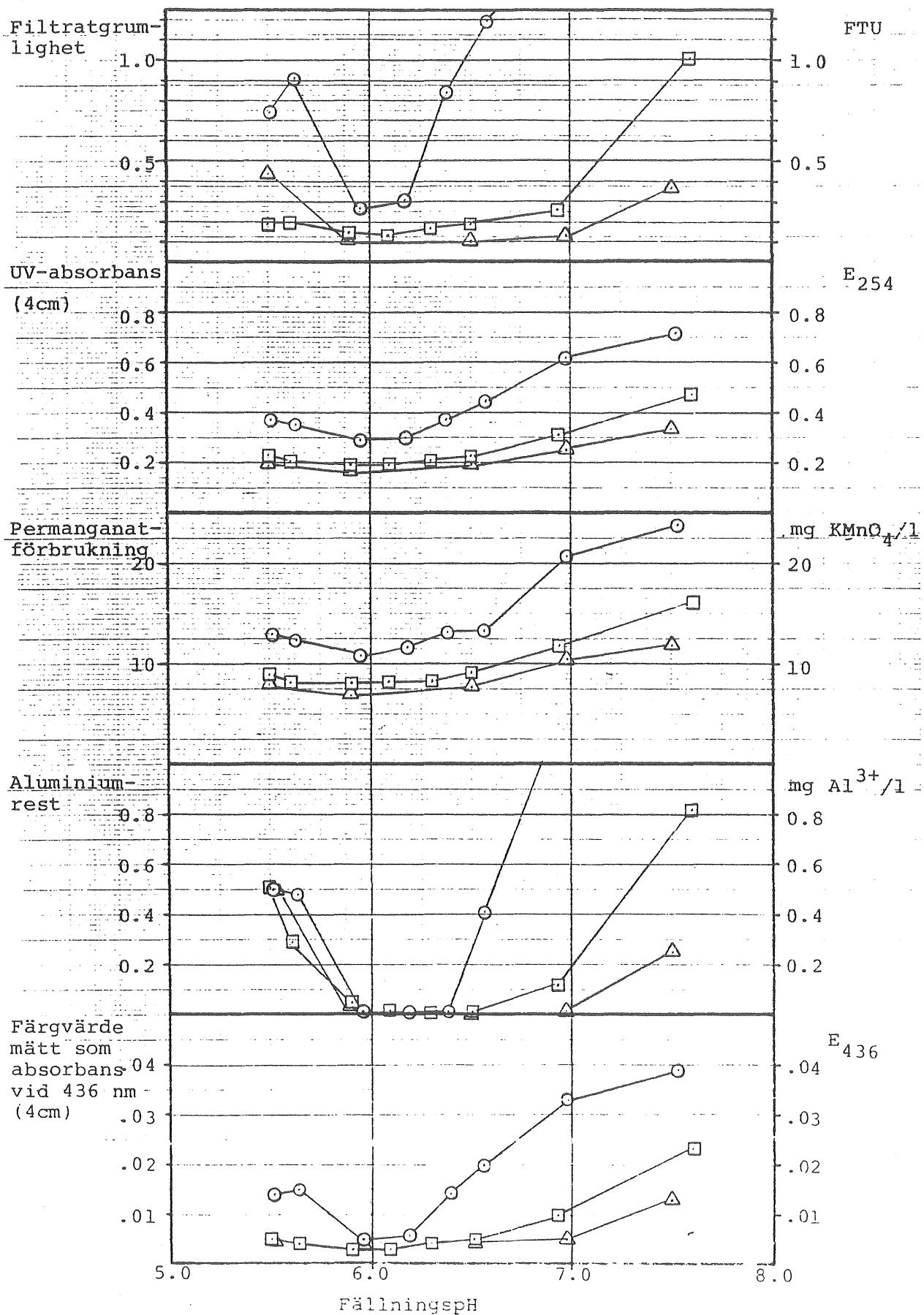
Resultat av fällningsförsök
Analysvärden efter filtrering

Al-sulfat-
dosering, mg/l

○ 20

□ 30

△ 40



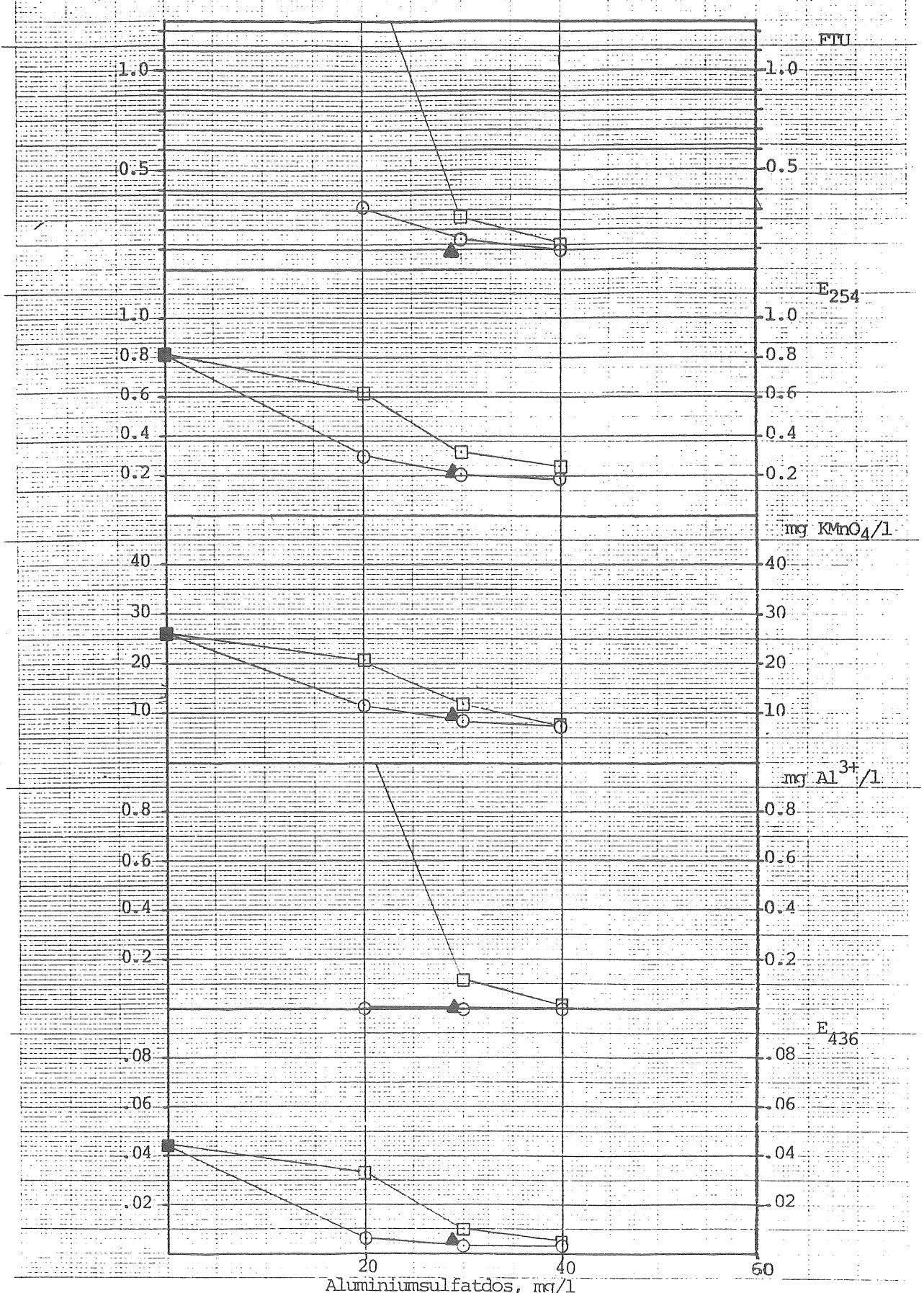
Figur 13.3

Mariestad

Resultat av fällningsförsök
som funktion av aluminiumsulfatdos.

Jämförelse med driftsresultat

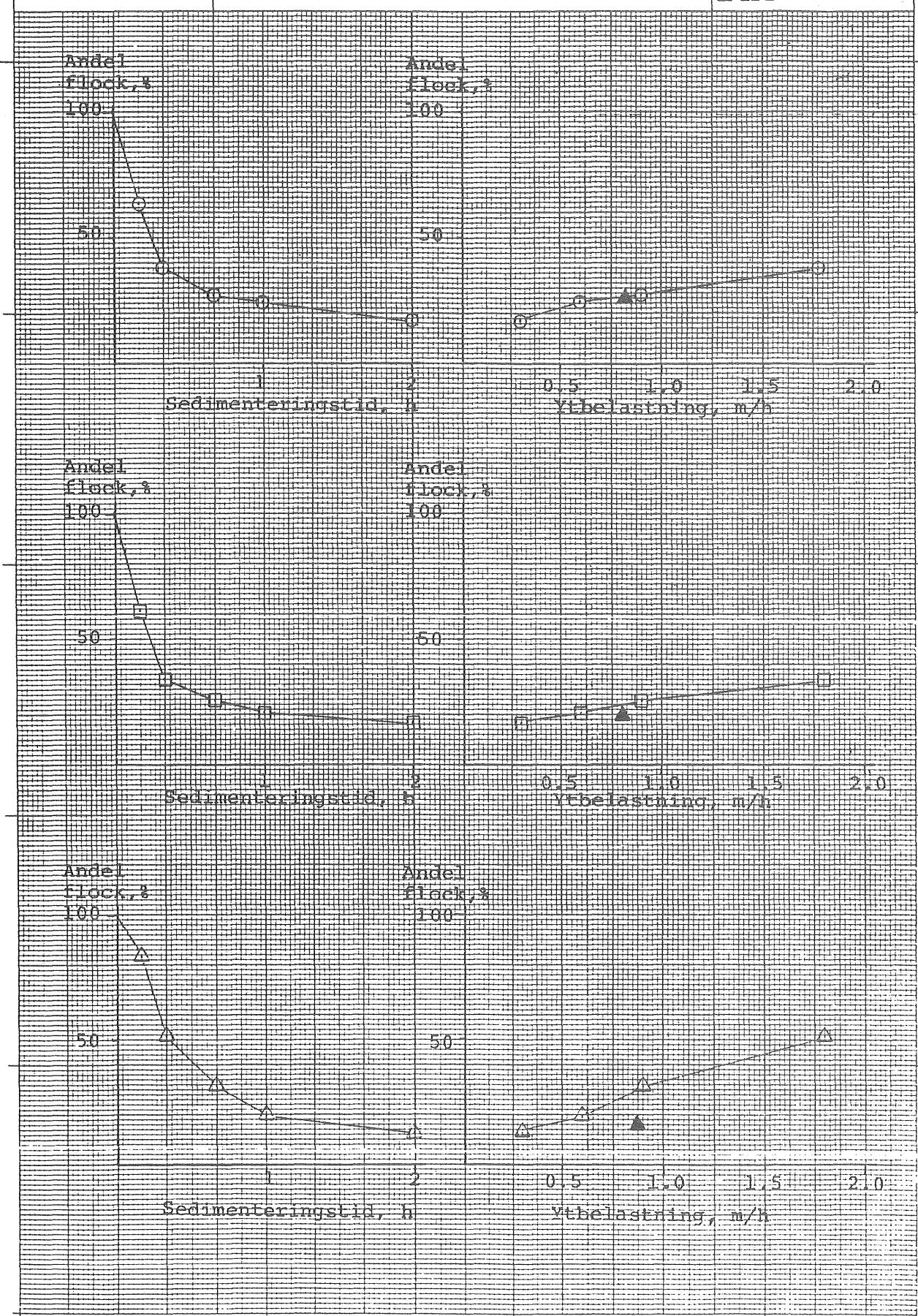
- FällningspH 6.2
- FällningspH 6.9
(verkets fällnpH)
- ▲ verkets driftres.
- filtrerat råvatten



Figur 13.4
Mariestad

Sjunkanalyser och jämförelse
med praktiskt sedimentterings-
resultat.

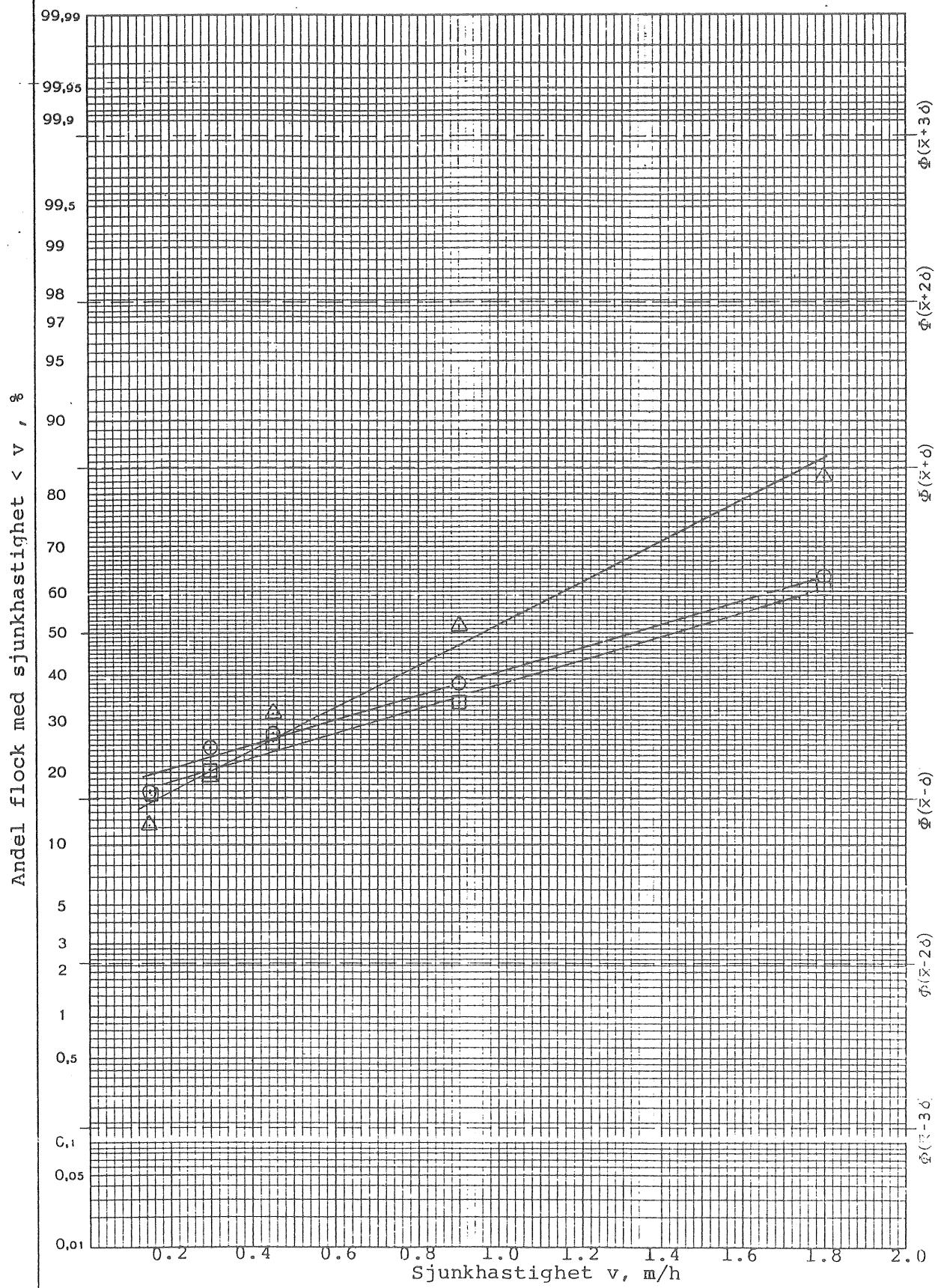
- System A, kam 5
- System B, kam 5
- System C, kam 6
- driftresultat



Figur 13.5
Mariestad

Utvärdering av sjunkanalyser

	v_m	σ
System A, kam 5	1.32	1.40
System B, kam 5	1.43	1.40
System C, kam 6	0.96	0.79



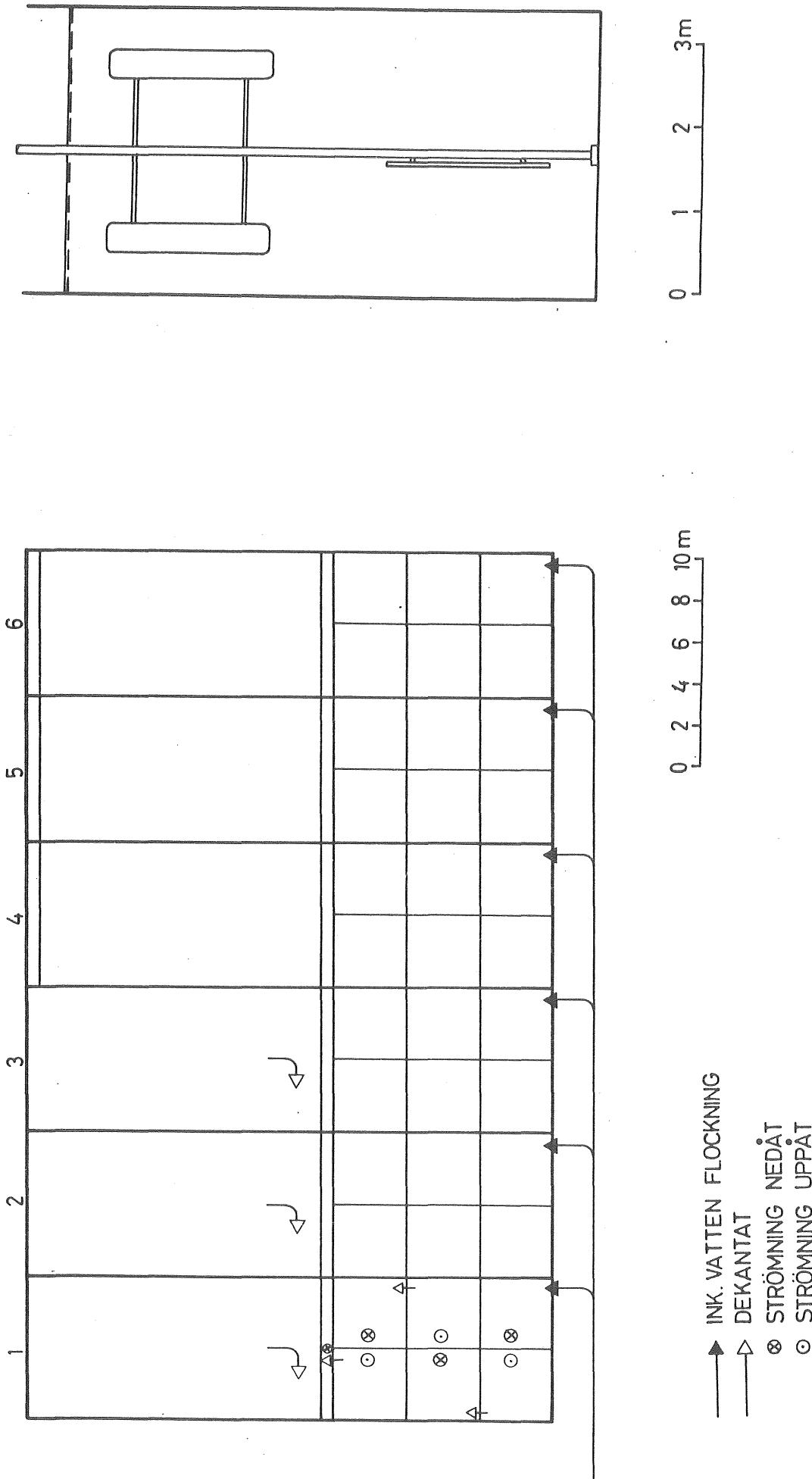


14.1 Beskrivning av verkets funktion

Verket har sex parallella flockningssystem med efterföljande sedimentering. Flockningssystemen består av sex flockningstankar i serie med den totala flockningsvolymen $436 \text{ m}^3/\text{system}$. Sedimenteringsbassängerna är av två olika typer. I system 1-3 har sedimenteringsbassängerna tre mellanbottnar. Vattnet från flockningen leds in mellan de två understa facken. Dessa två flöden förenar sig vid den bortre bassängändan och går gemensamt i det övre facket tillbaka till utloppet. Den totala sedimenteringsytan är $315 \text{ m}^2/\text{system}$. Sedimenteringsbassängerna i system 4-6 består av parallellströmningsbassänger med fyra fack, total sedimenteringsyta 420 m^2 . Dekantatet förs genom en rörledning från den bortre ändan av sedimenteringsbassängen genom flockningskamrarna till snabbfiltren.

Snabbfilter, sand: total yta 370 m^2 .

Långsamfilter: total yta $5\ 900 \text{ m}^2$.



Figur 14.1 Norrköpings vattenverk

Angivna flöden och doseringar:

maxflöde: 55 000 m³/d, medelflöde: 35 000 m³/d

förklaring

aluminiumsulfat: 35-50 g/m³

pH-justerande kemikalie erfordras ej i normalfallet

möjlighet finns att dosera aktivt kol i pulverform samt aktiverad kiselsyra

före långsamfilter justeras vattnets pH-värde till ca 7.0

efteralkalisering med kalk

efterklorering

Dessa värden innebär vid medelflöde flockningstid: 107 min, ytbelastning sedimentering: 0.7 m/h och filtrerhastighet: 4.1 m/h. Slam töms i sedimenteringen varannan vecka. Filtren spolas med fasta tidsintervall samt manuell uppskattning av igensättningsgraden. Gångtiden är på vintern ca 48 tim, på sommaren 24-48 tim.

I fortsättningen gäller angivna värden endast de två besöksdygnen 14-15/5 1979.

14.2 Flöden, doseringar

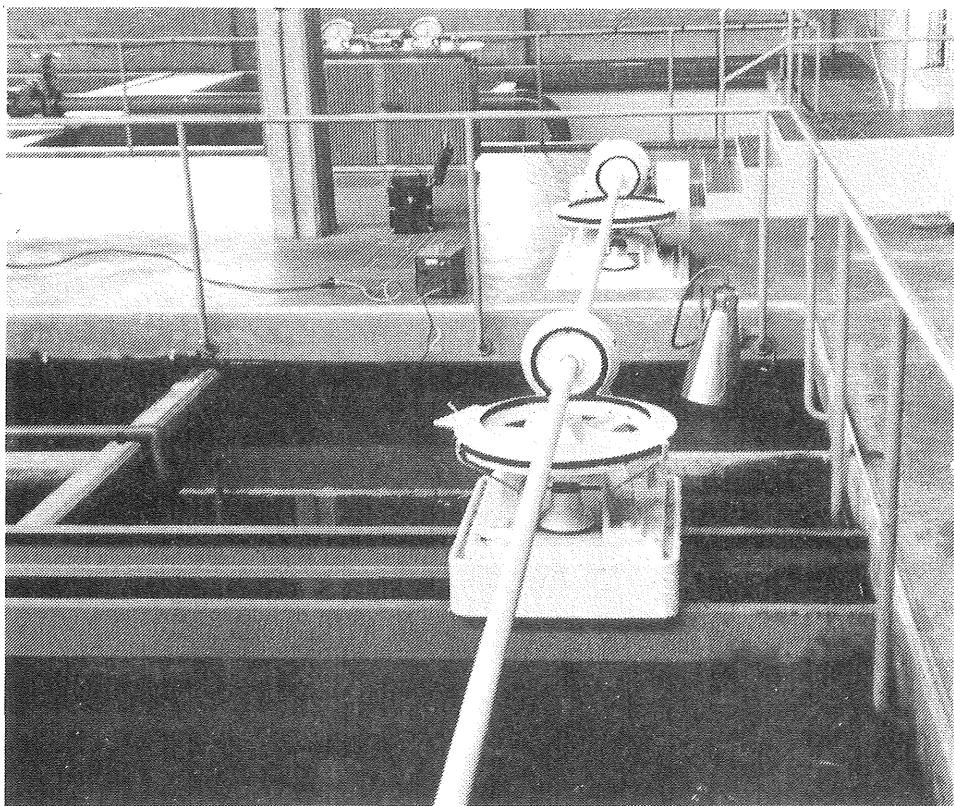
Vid besökstillfället rådde speciella betingelser. Råvattnet innehöll vid tillfället mangan, vilket hade gett problem på ledningsnätet. För att kunna avlägsna manganel måste det först oxideras. Oxidationen skedde här med hjälp av - mangan i form av kaliumpermanganat. Eftersom oxidationen är effektivast vid höga pH-värden tillsattes först kalk så att vattnet erhöll ett pH-värde på ca 8.8. Kaliumpermanganatdosen var ca 0.5 g/m³. Den första flockningstanken i varje system användes som reaktionsvolym för oxidationen. Aluminiumsulfat tillsattes sedan i botten på den första flockningstanken varvid resten av flockningssystemet fungerade som en konventionell flockningsenhets. Härvid erhålls inblandningsförhållanden långt sämre än de som brukar betecknas som ideal. Det är därför intressant att se hur flockarnas separationsegenskaper påverkas av dessa förhållanden.

Det totala flödet genom verket var enligt verkets råvattenmätare konstant 1 600 m³/h, vilket jämnt fördelat på fem system (system 4 var ej i drift) blir 320 m³/h och system. Saltförsök utfördes i system 1, 3 och 5 varvid erhölls flödena 352, 369 resp 386 m³/h.

Lösning av aluminiumsulfat bereddes kontinuerligt. Lösningen fördelades till respektive system med skibordsöverfall.

14.3 Flockning

Ovan angivna flöden ger flockningstider för respektive system 1: 74 min, 3: 71 min samt 5: 68 min. Saltförsöken antyder en relativt gynnsam flödesbild. En momentan dos salt (i detta fall 4 kg NaCl) doserades till inloppet i flockningssystemen. Den från sista flockningstanken utgående saltkoncentrationen (mätt som ledningsförmåga) registrerades som funktion av tiden. Ju högre det maximalt registrerade koncentrationsvärdet är samt ju närmare detta värde i tiden ligger den uträknade medeluppehållstiden, desto fördelaktigare är flödesbilden. Tidpunkten för maximal koncentration var för de tre systemen nära 70 min. Den maximala saltkoncentrationen i utloppet i relation till medelhalten - dvs totala saltmängden utspädd i hela flockningsvolymen - $(C/C_0)_{\max}$ var för de tre systemen av storleksordningen 1.2.



Omrörarnas varvtal uppmättes och med hjälp av ritningar och vissa mätningar på platsen har effekttillförseln och \bar{G} -värdet beräknats. Det måste understyckas att de värden som erhållits endast ger en grov uppskattnings. Vattenmassans medrotation har antagits vara konstant 40% av paddelhastigheten. I tabell 14.1 återfinns varvtal, beräknad effekttillförsel och \bar{G} -värde samt periferihastighet. Paddelareans andel av minsta vertikala tankvärsnitt är ca 14%.

För effekttillförseln erhölls uttrycket:

$$w \approx 1.2 \cdot 10^{-2} \cdot n^3 \quad \text{watt/m}^3$$

där n är varvtalet på omrörare (varv/min)

\bar{G} -värdet erhålls enligt:

$$\bar{G} = \sqrt{\frac{w}{n}} \quad \text{1/s}$$

där η är vattnets viskositet, vid aktuell temperatur (9^0C) gäller
 $\eta = 1.4 \cdot 10^{-3} \text{ Ns/m}^2$

Tabell 14-1. Data för omrörare i flockningssystem

Kammare nr	1	2	3	4	5	6
SYSTEM 1						
Varvtal, n varv/min	1.9	1.2	1.2	1.3	1.3	0.45
Effekttillförsel, w watt/m ³	0.085	0.018	0.018	0.023	0.023	0.0011
Medelhastigets- gradient, G, 1/s	7.9	3.6	3.6	4.1	4.1	0.88
Periferihastighet, m/s	0.25	0.15	0.15	0.16	0.16	0.06
SYSTEM 5						
Varvtal n varv/min	1.33	1.25	1.25	0.88	0.88	0.49
Effekttillförsel, w watt/m ³	0.028	0.023	0.023	0.0080	0.0080	0.0014
Medelhastigets- gradient, G, 1/s	4.5	4.1	4.1	2.4	2.4	1.0
Periferihastighet, m/s	0.17	0.16	0.16	0.12	0.12	0.06

Effekttillförseln är generellt låg i samtliga flockningstankar. Trots detta är flocksjunkegenskaperna utomordentligt goda. Resultat av sjunkanalyser återfinns i fig 14.3 t o m 14.7.

Tabell 14-2. Sjunkhastigheter

	Medelsjunkhastighet v_m , m/h	Spridning σ , m/h
14/5 1979		
kammare 6, system 1	10.0	5.9
kammare 6, system 3	3.9	2.8
kammare 6, system 5	3.4	2.7
15/5 1979		
kammare 6, system 3	7.5	3.6
kammare 6, system 5	6.7	4.5

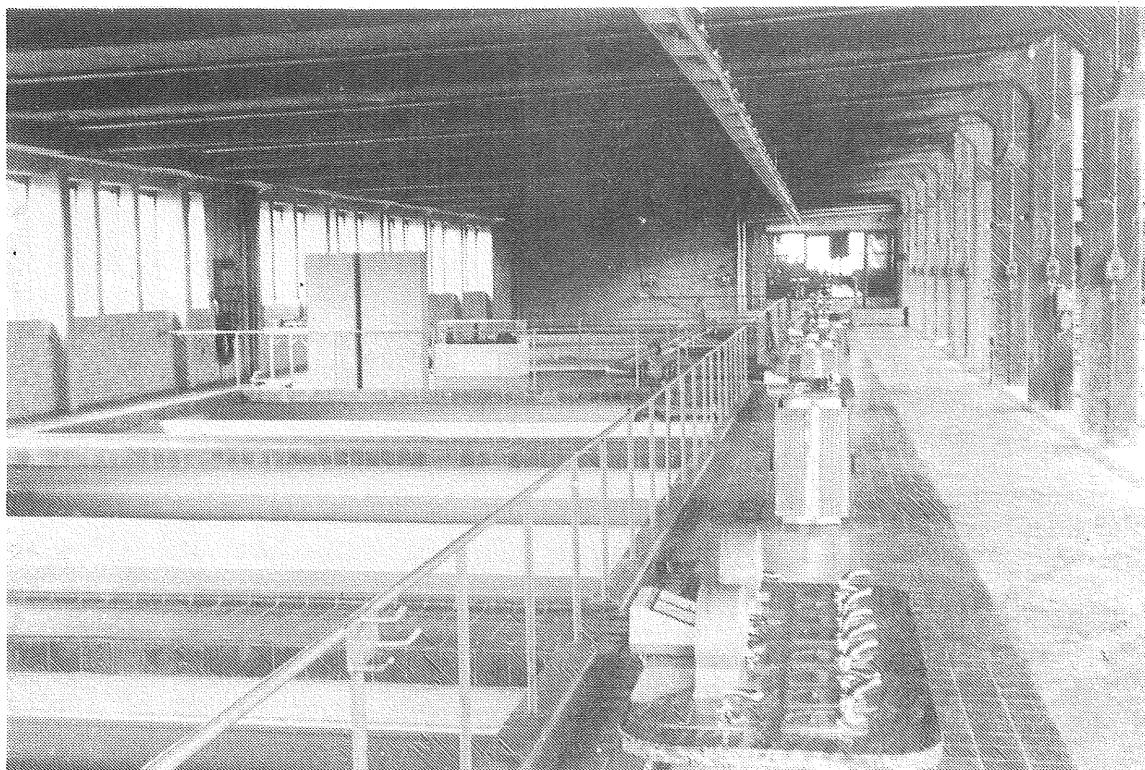
Flocksjunkegenskaperna är avsevärt bättre än man skulle förvänta sig med hänsyn till den aktuella effekttillförseln, i synnerhet då ingen hjälpkoagulant doseras. Absolutvärdena i tabellen är något osäkra, då här tillämpat tillvägagångssätt bäst lämpar sig för flockar med en medelsjunkhastighet < ca 2 m/h.

En bidragande orsak till det gynnsamma flockegenskaperna är säkerligen den relativt höga aluminiumsulfatdoseringen vid tillfället. Möjligen kan strömningsförhållandena i den sista flockningstanken vara sådana att ett representativt prov ej erhållits. En intressant fråga är hur stor del det tillämpade inblandningsförfarandet har på dessa resultat, om nu analyserna är riktiga. Vid sjunkhastigheter av denna storleksordning (nära 10 m/h) är flockarnas sjunkhastighet i relation till stighastigheten i flockningstanken (ca 30 m/h) kanske ej längre försumbar. Detta skulle betyda att flockar ackumulerades i flockningstanken. Detta skulle kunna undersökas genom att ta ut prov på olika djup i flockningstanken och mäta t ex grumlighet. Detta gjordes ej vid besökstillfället. Verkets personal gjorde dock en kompletterande undersökning den 22/11 1979 och fann då inga större variationer i grumlighet hos vatten uttaget på olika djup i den sista flockningsbassängen i system 2. Förhållandena var dock inte helt jämförbara med de vid besökstillfället. Aluminiumsulfatdoseringen var lägre (ca 49 g Al-sulfat/m³), permanganatdoseringen hade avbrutits och därmed utfördes inblandningarna av Al-sulfat på ett mera normalt sätt.

Enligt uttagna dekantat- och filtratprov (se tabell 14-3) var fällnings-pH 6.5. Detta visade också verkets egen pH-mätare.

14.4 Sedimentering

Vid aktuella flöden är ytbelastningen, räknat på total sedimenteringsyta, för system 1, 3 och 5:1.1, 1.2 resp 0.9 m/h. I fig 14.4 är sjunkanalyserna omräknade till sedimenteringsresultat vid varierande sedimenteringsbelastning. Som jämförelse är det verkligaresultatet inritat. Det praktiska sedimenteringsresultatet sammanfaller i stort sett med det resultat som sjunkanalysen förutsäger. Sedimenteringsresultatet är till följd av de goda flockegenskaperna utmärkt, endast ca 5-10% kvarvarande flock. System 5 visar obetydligt sämre resultat än system 1 och 3.



14.5 Filtrering

Prov uttogs på filtrat från filter med olika gångtider. Analysresultatet återfinns i tabell 14-3. Filtratet från det nyspolade filtret visar förhöjda analysvärden. Det kan bero på att detta filter är handreglerat. Har regleringsventilen haft samma öppningsgrad som övriga filter kan filtrerhastigheten vara åtskilligt högre än avsett. Övriga filtrat, dvs upp till 43 tim gångtid uppvisar i stort sett samma värden. Vid aktuell dekantatkvalitet är därför en filtergångtid på ca 2 dygn acceptabel.

I tabell 14-3 återfinns också analysresultat för långsamfiltrerat vatten.

14.6 Resultat av fällningsförsök

Fällningsförsök utfördes under standardiserade betingelser med aluminium-sulfatdoserna 20, 40 resp 60 mg/l. Fig 14.2 visar resultat efter filtrering som funktion av pH. I fig 14.3 har på grundval av fig 14.2 resultatet uttryckts som funktion av aluminiumsulfatdosen, dels vid "optimalt" fällnings-pH (6.2) och vid det pH som verket tillämpade (6.5). Som jämförelse har analysvärdet för det bästa filtratet införts.

För att få ett godtagbart resultat har "erforderlig" aluminiumsulfatdos uträknats till 54.9 mg Al-sulfat/l. Lämpligt intervall för fällnings-pH: 6.2-6.5.

14.7 Sammanfattning, åtgärder

Verkets funktion vid besökstillfället ger inte anledning till några genomgripande förslag till förändringar.

Trots att flockarnas sjunkegenskaper var utmärkta kan ändå en höjning av omrörarvarvtalet i flockningssystemen rekommenderas. Detta grundat på erfarenheter från andra verk. Lämpliga varvtal skulle vara ca 4.5 varv/min i den första flockningstanken vilket successivt nedtrappas till 3.4, 2.6, 2.0, 1.6 resp 1.2 varv/min.

Automatisk reglering av flödet bör inmonteras på de filter som fortfarande är handreglerade.

Tabell 14-3. Analysresultat

Prov nr	pH	Grumlighet FTU	UV-absorbans $E_{254}(4\text{ cm})$	Färgvärde $E_{436}(4\text{ cm})$	Permanganat- tal, mg KMnO ₄ /l	mg Al ³⁺ /l
1401	7.9	4.2	1.2	0.134	34.4	0.05
1401F	-	2.2	1.2	0.078	31.0	0.06
1402	7.9	4.4	1.25	0.141	34.8	0.06
1404	6.5	1.05	0.32	0.017	11.9	0.26
1406	6.5	0.16	0.26	0.006	10.6	0.01
1407	6.5	0.09	0.26	0.006	10.4	<0.01
1408	7.1	0.08	0.23	0.005	9.3	<0.01
1409	7.4	0.08	0.22	0.0045	8.4	<0.01
1410	6.4	0.075	0.24	0.0045	10.1	0.01

Prov nr

1401	Råvatten, 14/5					
1401F	Råvatten, 14/5, filtrerat prov					
1402	Råvatten, 15/5					
1404	Dekantat, system 1 14/5 k1 14.00					Gångtid
1406	Filtrat, filter 5 " 14.00	spolat	k1 11 14/5		2.5 h	
1407	Filtrat, filter 6 " 14.00	"	19 12/5		43 h	
1410	Filtrat, filter 7 15/5 " 15.00	"	19 14/5		20 h	
1408	Långsamfilter 107, i halv drift, 14/5 k1 14.00, skummat 3 dgr tidigare					
1409	Långsamfilter 105, k1 15.00, 15/5, skummat i oktober 1978.					

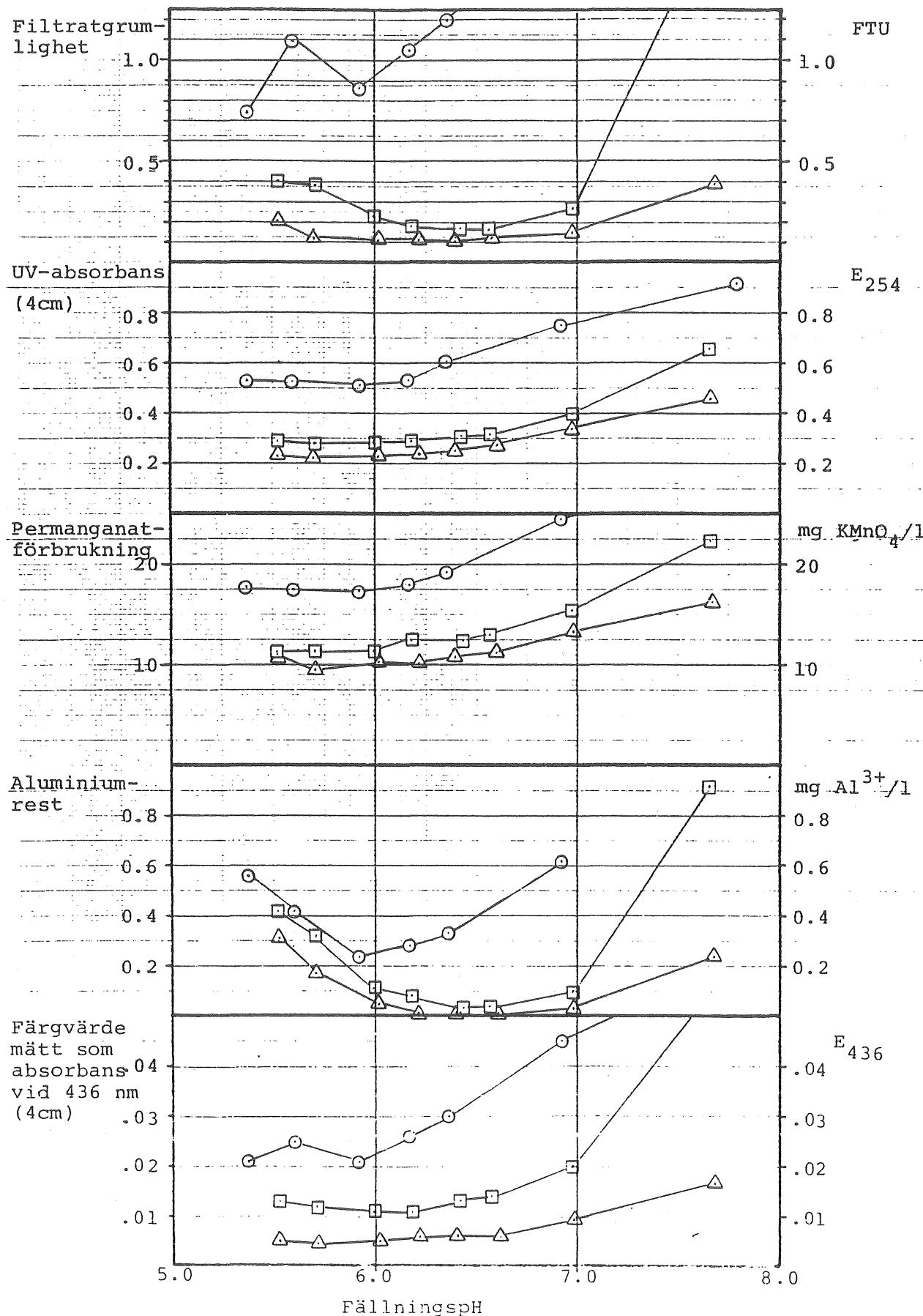
Råvattnets alkalitet analyserades till 0.77 m ekv/l. Järnhalt: 0.36 mg Fe/l.

Figur 14.2

Norrköping
14-15/5 1979Resultat av fällningsförsök
Analysvärden efter filtrering

Al-sulfat-dosering, mg/l

- 20
- 40
- △ 60



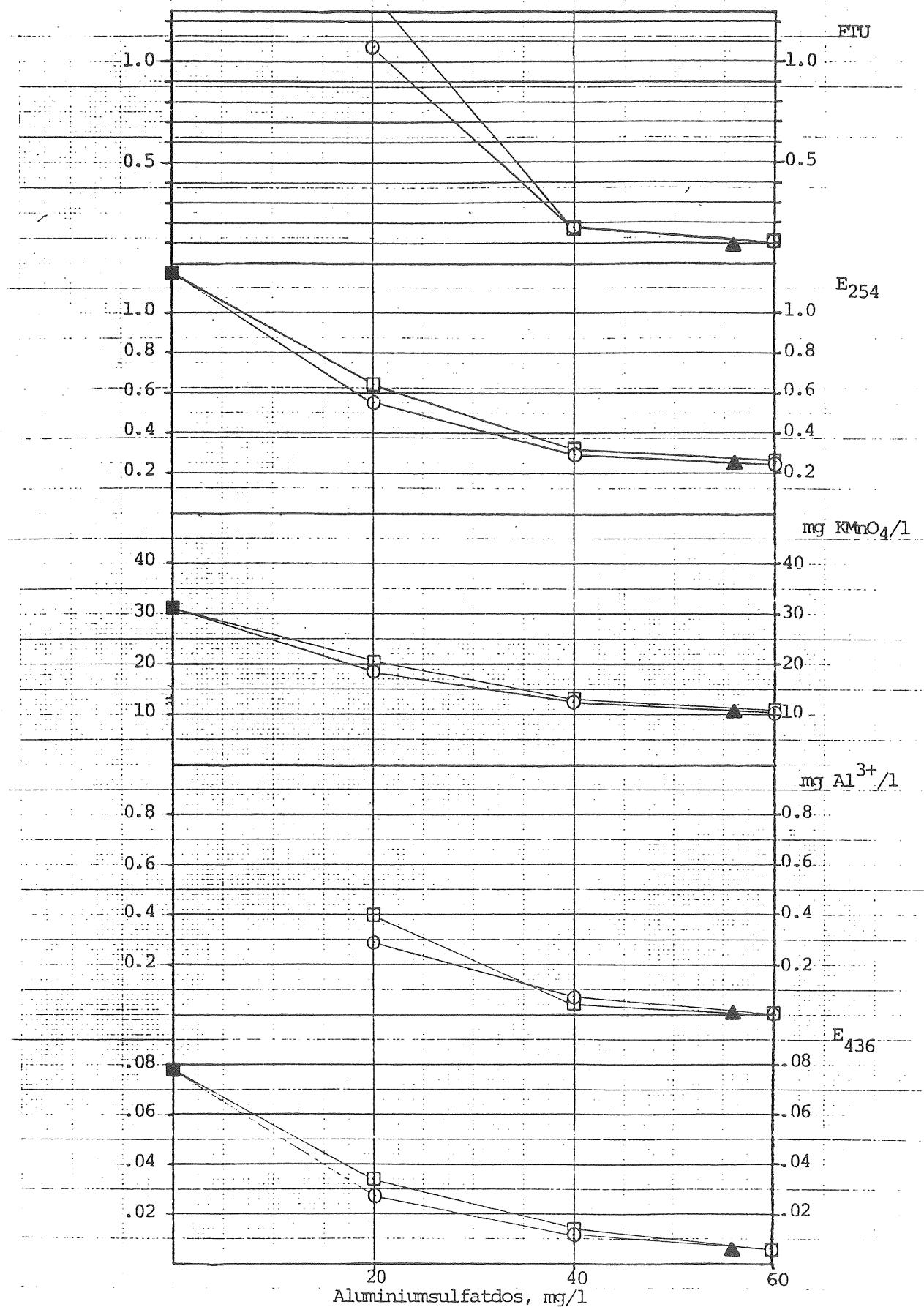
Figur 14.3

Norrköping

Resultat av fällningsförsök
som funktion av aluminiumsulfatdos.

Jämförelse med driftsresultat

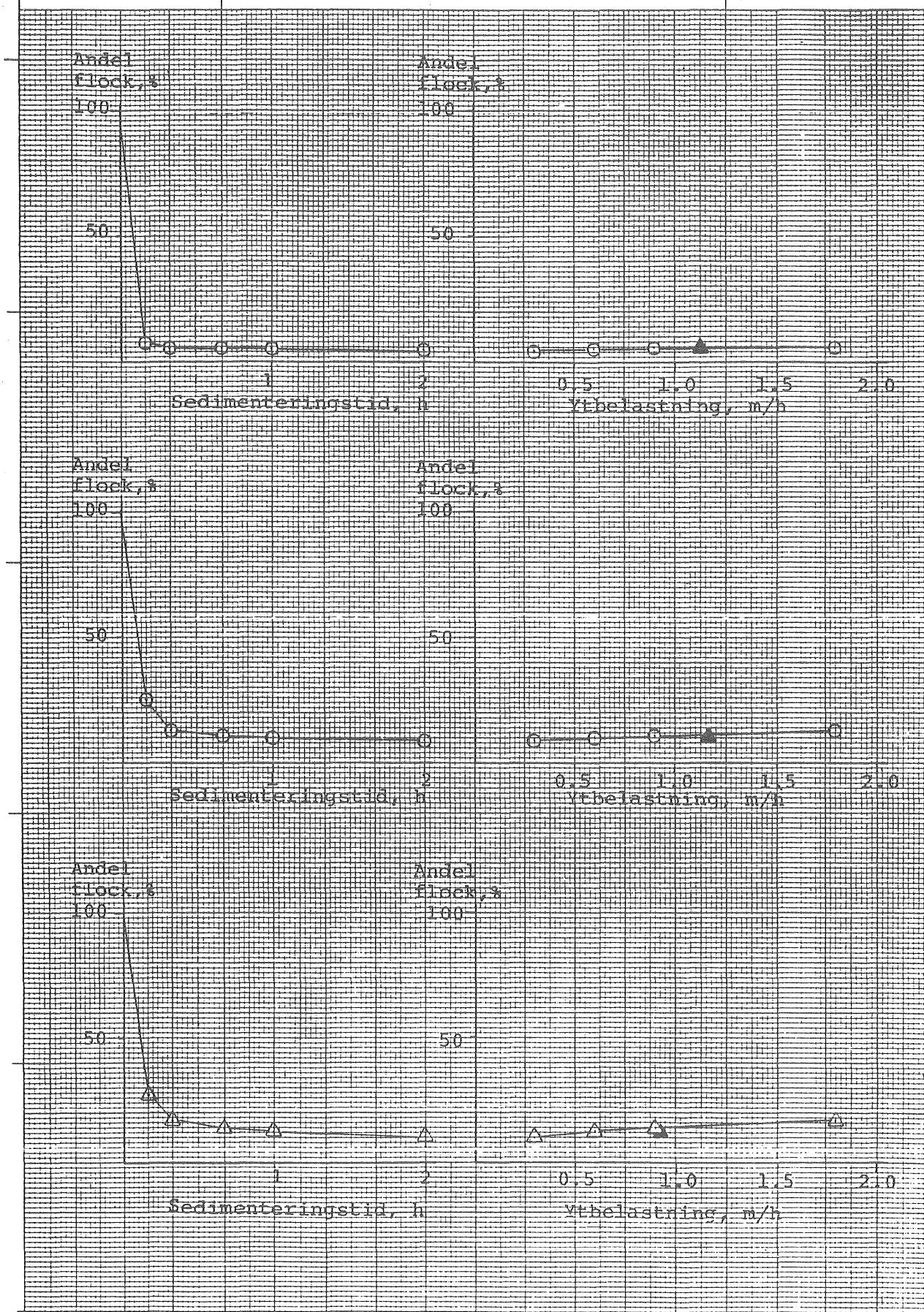
- FällningspH 6.2
- FällningspH 6.5
(verkets fällnpH)
- ▲ verkets driftres.
- filtrerat råvatten



Figur 14.4
Norrköping
14/5 1979

Sjunkanalyser och jämförelse
med praktiskt sedimenterings-
resultat.

- System 1, kam 6
- System 3, kam 6
- △ System 5, kam 6
- ▲ driftresultat

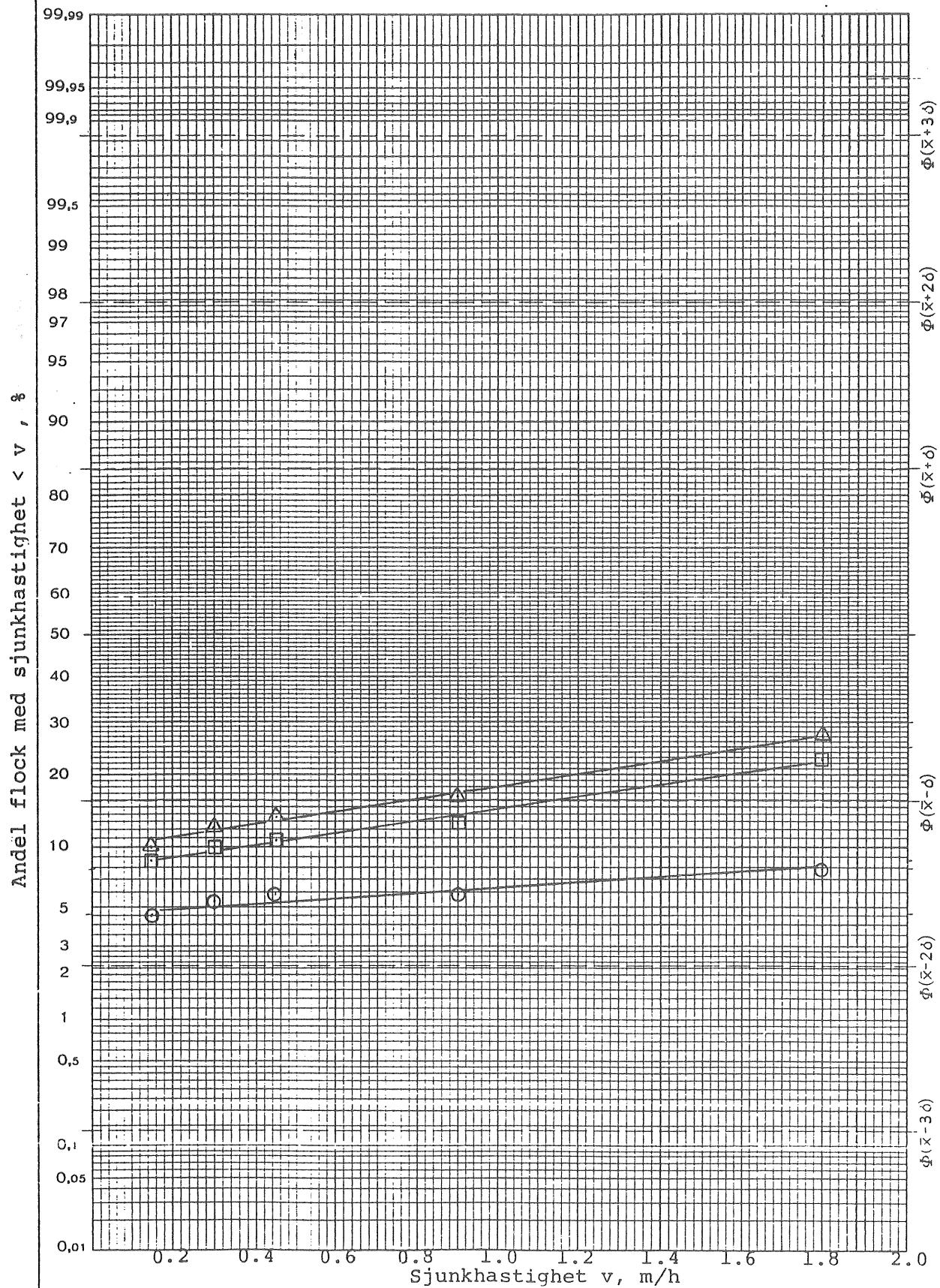


Figur 14.5
Norrköping
14/5 1979

Utvärdering av sjunkanalyser

v_m σ
10.0 5.9
3.9 2.8
3.4 2.7

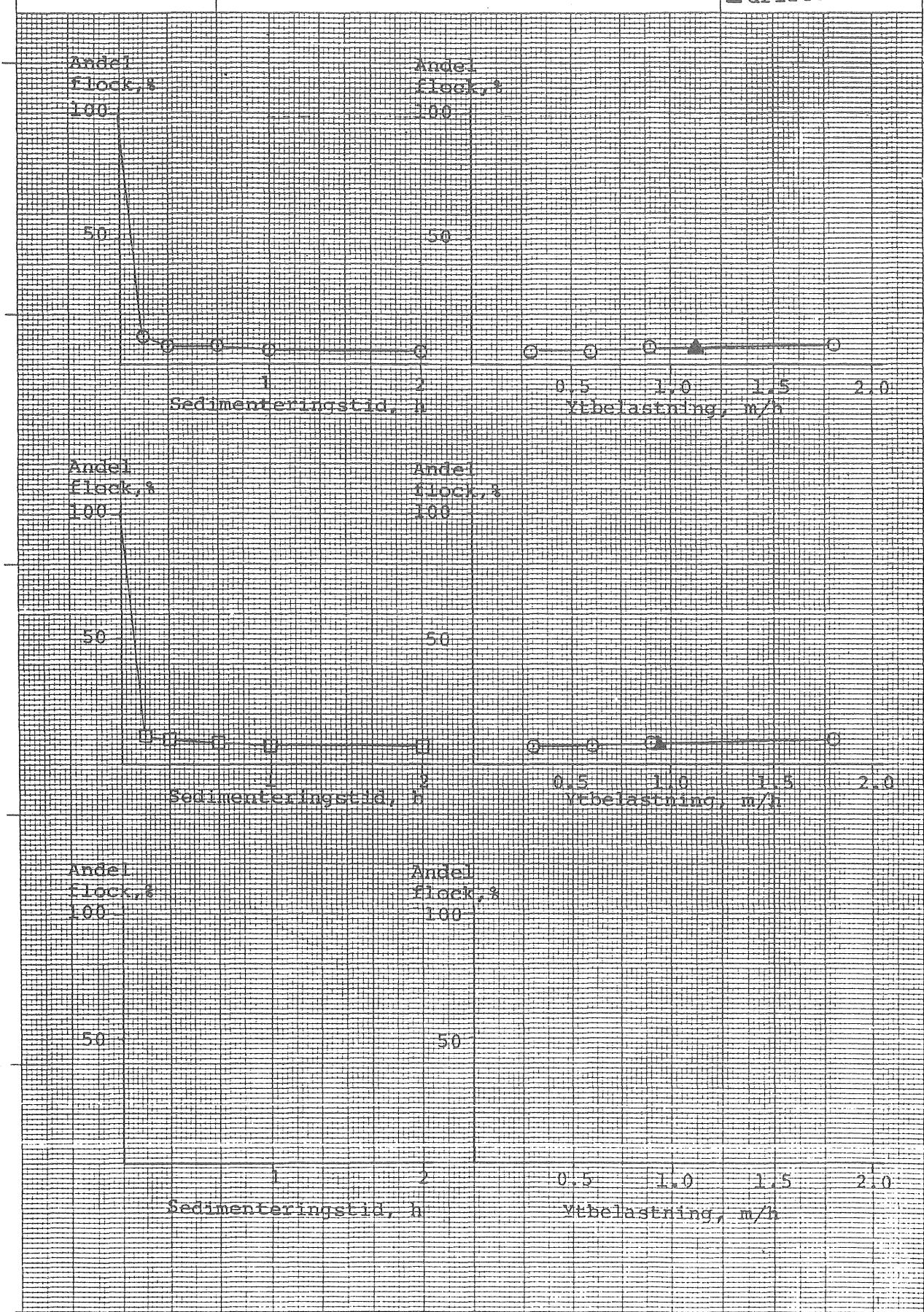
- System 1, kam 6
- System 3, kam 6
- △ System 5, kam 6



Figur 14.6
Norrköping
15/5 1979

Sjunkanalyser och jämförelse
med praktiskt sedimenterings-
resultat.

○ System 3, kam 6
□ System 5, kam 6
▲ driftresultat



Figur 14.7
Norrköping
15/5 1979

Utvärdering av sjunkanalyser

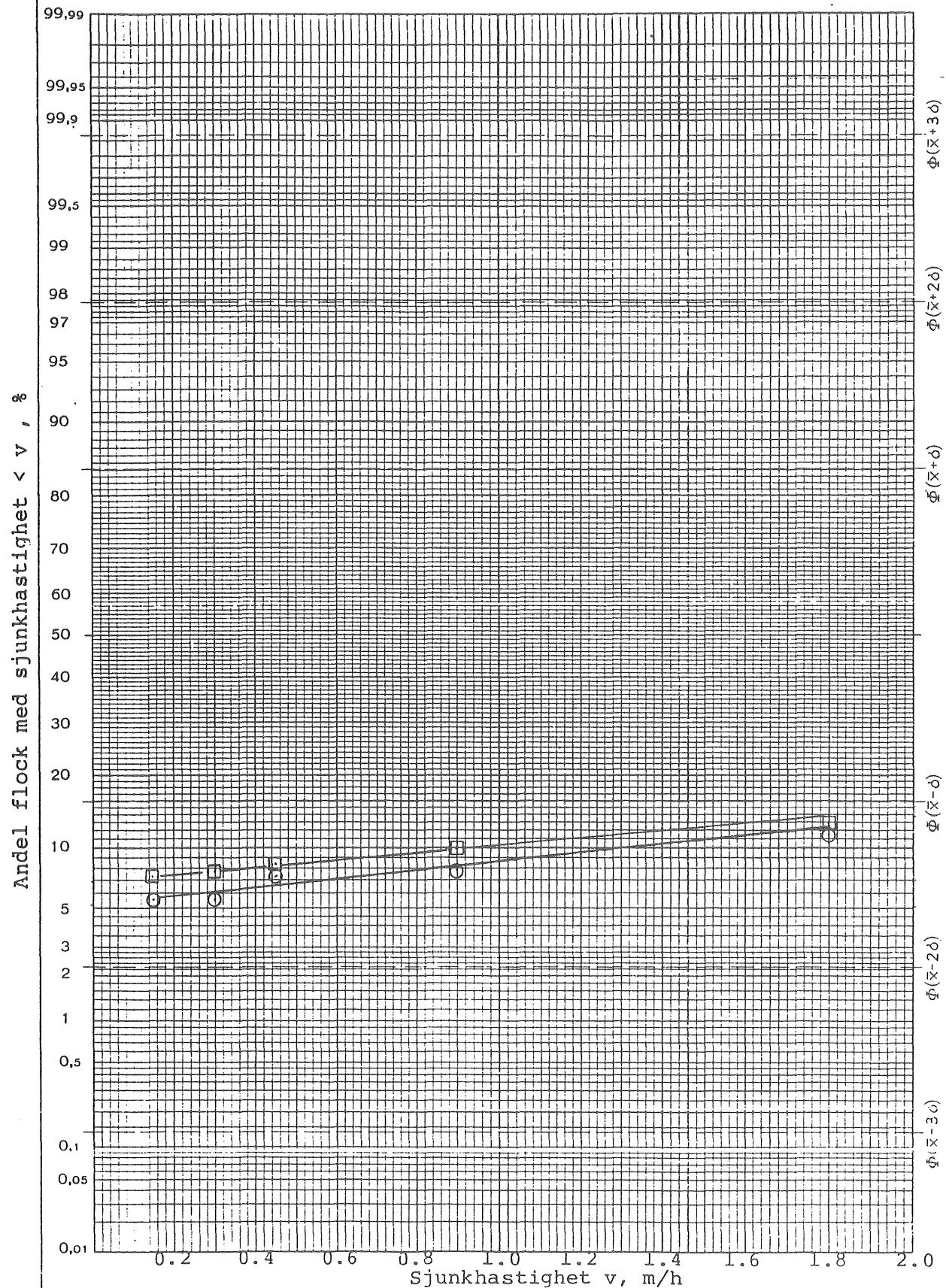
v_m σ

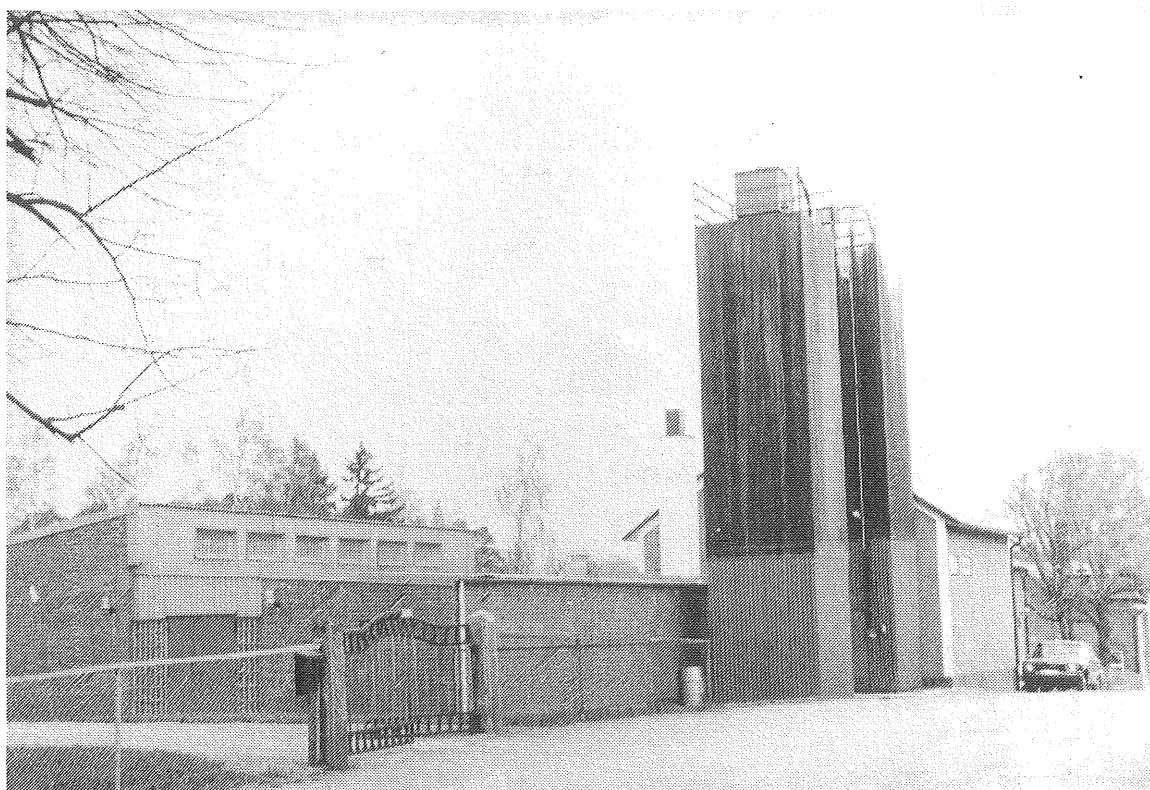
7.5 3.6

6.7 4.7

○ System 3, kam 6

□ System 5, kam 6





15.1 Beskrivning av verkets funktion

Verket består av ett flockningssystem med tre flockningstankar föregångna av två mindre blandningsbassänger. Den totala flockningsvolymen är 149 m^3 . Efter flockningen leds vattnet via en öppning ($\varnothing 400 \text{ mm}$) genom en rörledning ($\varnothing 600 \text{ mm}$) till tre sedimenteringsbassänger av s k Lovö-typ (två bottnar, fram- och återgående vattenflöde) med den totala sedimenteringsytan 480 m^2 .

Sandfiltren har en total yta av 72 m^2 .

Angivna flöden och doseringar:

maxflöde: $9\ 600 \text{ m}^3/\text{d}$, medelflöde: $4\ 600 \text{ m}^3/\text{d}$

desinfektion: endast förklorering

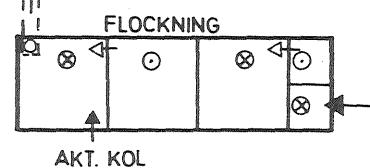
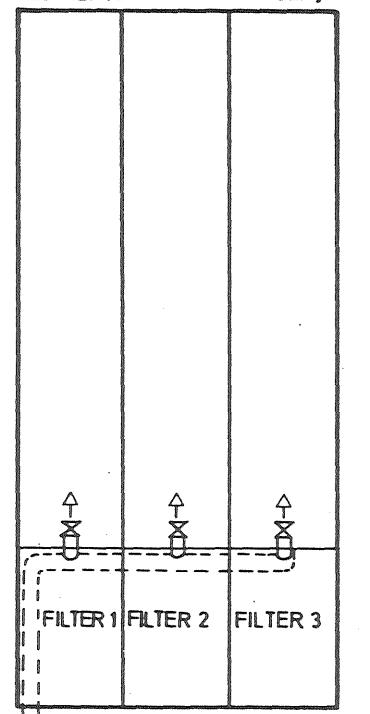
aluminiumsulfat: 30 g/m^3

fällningspH justeras med kalk

ingen hjälpkoagulant doseras

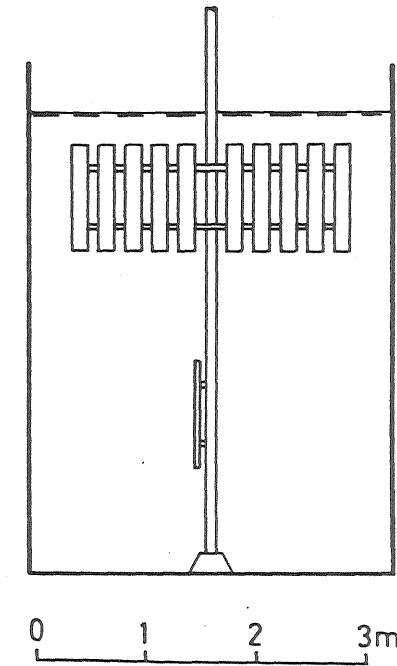
till den sista flockningstanken doseras aktivt kol i pulverform (ca 6 g/m^3)

SEDIMENTERINGSBASSÄNGER, TYP LOVÖ



0 2 4 6 8 10 m

- INK. VATTEN FLOCKNING
- DEKANTAT
- ⊗ STRÖMNING NEDÅT
- STRÖMNING UPPÅT



Figur 15.1 Mjölby vattenverk

Dessa värden innebär vid medelflöde följande belastningar (räknat som dygnsmedelvärde): flockningstid 44 min, ytbelastning sedimentering 0.8 m/h och filtrerhastighet 2.7 m/h. Slam töms i sedimenteringen var tredje vecka. Filten drivs med fast tidsintervall: 3 dygn både vinter- och sommartid.

I fortsättningen gäller angivna värden endast de två besöksdygnen 16-17/5 1979.

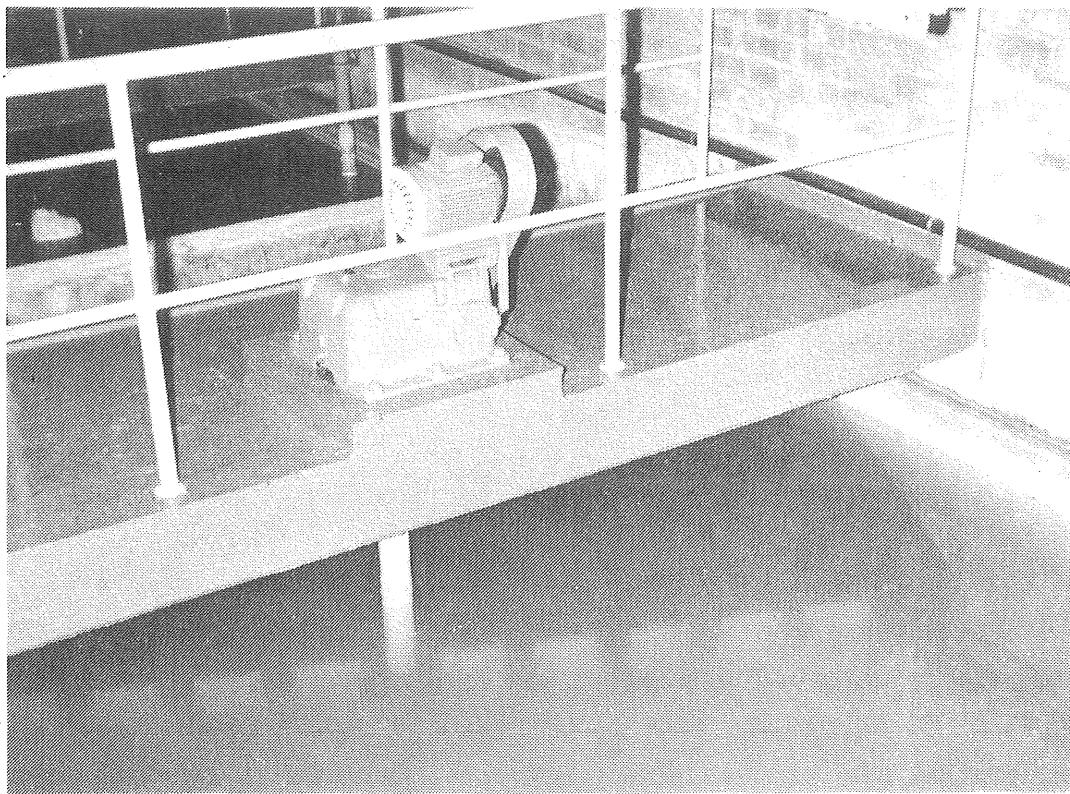
8.2 Flöden, doseringar

Verket drivs intermittent. Under här redovisade försök har emellertid flödet genom verket varit konstant, enligt verkets råvattenmätare $340 \text{ m}^3/\text{h}$. Vid det saltförsök som utfördes erhölls totalflödet $341 \text{ m}^3/\text{h}$. Dygsproduktionen vid besökstillfället låg något högre än normalt, ca $7\ 000 \text{ m}^3/\text{d}$, på grund av påfyllning av ett bad. Den normala dygsproduktionen för den aktuella perioden var ca $5\ 800 \text{ m}^3/\text{d}$. Flödet enligt verkets råvattenmätare visar en förvånansvärd överensstämmelse med flödet erhållet vid saltförsök.

Lösning av aluminiumsulfat bereds kontinuerligt. Mätning av doserad aluminiumsulfatmängd/tidsenhet gav den aktuella doseringen $58 \text{ g Al-sulfat}/\text{m}^3$. Koagulanten tillsätts tillsammans med kalk i en doseringsränna.

15.3 Flockning

Ovan angivet flöde ger flockningstiden 26 min. Saltförsöket antyder en relativt gynnsam flödesbild. En momentan dos salt (i detta fall 4 kg NaCl) doserades till inloppet till flockningssystemet. Den från sista flocknings-tanken utgående saltkoncentrationen (utloppet ligger i botten, varför pumping fick tillämpas) registrerades som funktion av tiden. Ju högre det maximalt registrerade koncentrationsvärdet är samt ju närmare detta värde i tiden ligger den uträknade medeluppehållstiden, desto fördelaktigare är flödesbilden. Tidpunkten för maximal koncentration var ca 23 min. Den maximala saltkoncentrationen i utloppet i relation till medelhalten - dvs totala saltmängden utspädd i hela flockningsvolymen - $(C/C_0)_{\max}$ var ca 0.85.



Omrörarnas varvtal uppmättes och med hjälp av ritningar och vissa mätningar på platsen har effekttillförsel och \bar{G} -värdet beräknats. Det måste understyrkas att de värden som erhållits endast ger en grov uppskattning. Vattenmassans medrotation har antagits vara 40% av paddelhastigheten. Den totala paddelareans andel av minsta vertikala tankvärsnitt var ca 21%. I tabell 15-1 återfinns varvtal, effekttillförsel och \bar{G} -värde samt periferihastighet. För effekttillförseln erhölls uttrycket:

$$w \approx 6.5 \cdot 10^{-3} \cdot n^3 \quad \text{watt/m}^3$$

där n är varvtalet på omrörare (varv/min)

\bar{G} -värdet erhålls enligt

$$\bar{G} = \sqrt{\frac{w}{\eta}} \quad 1/s$$

där η är vattnets viskositet, vid aktuell temperatur (12^0C) gäller
 $\eta = 1.2 \cdot 10^{-3} \text{ Ns/m}^2$.

Tabell 15-1. Data för omrörare i flockningssystem.

Kammarer nr	1	2	3
Varvtal, n varv/min	4.0	2.1	1.2
Effekttillförsel, w watt/m ³	0.41	0.064	0.010
Medelhastigets- gradient, G, 1/s	18.3	7.2	2.8
Periferihastighet, m/s	0.50	0.27	0.14

Effekttillförseln är i stort sett tillfredsställande, kanske kunde varvtalet i den första flockningstanken ökas något.

Flockarnas sjunkegenskaper har uppmätts. Resultat av sjunkanalysen återfinns i fig 15.4 och 15.5. På grund av att utloppet från den sista flockningstanken är beläget i botten är det ej säkert att helt representativa sjunkegenskaper har erhållits, eftersom sjunkanalysen av praktiska skäl måste utföras nära vattenytan.

Tabell 15-2. Sjunkhastigheter

	Medelsjunkhastighet v_m , m/h	Spridning σ , m/h
Kammarer 3	1.6	1.1
Kammarer 2	1.3	1.0

Flocksjunkegenskaperna är fullt tillfredsställande. På grund av den konstruktionsmässigt onödiga transportsträckan via en rörledning till sedimenteringen, kan man misstänka att risk för flocksönderslagning föreligger. Vattenhastigheten i rörledningen (\varnothing 600 mm) blir ca 0.3 m/s samt hastigheten genom öppningen i flockningstankens botten (\varnothing 400 mm) 0.75 m/s. Om en grov uppskattning av medelhastigetsgradienten görs erhålls resultatet 20 s^{-1} för rörledningen och 88 s^{-1} för öppningen i flockningstankens botten. Att döma av sedimenteringsresultatet (se nedan) kan emellertid inga större effekter av flocksönderslagning observeras.

De goda flocksjunkegenskaperna, trots att ingen hjälpkoagulant doseras samt den korta flockningstiden, kan hämföras till den relativt höga aluminiumsulfatdoseringen och att omrörningsintensiteten i flocknings-tankarna ligger på en rimlig nivå. Dessutom befinner sig fällningspH inom godtagbart intervall. Uttagna dekantat- och filtratprov (se tabell 15-3) ger värden mellan pH 6.0 och 6.2.

15.4 Sedimentering

Vid aktuellt flöde är ytbelastningen, räknat på total sedimenteringsyta 0.7 m/h. I fig 15.4 är sjunkanalyserna omräknade till sedimenteringsresul-tat vid varierande sedimenteringsbelastning. Som jämförelse är det verk-liga resultatet inritat. Härvid antas att sjunkhastighetsfördelningen är oförändrad, oberoende av sedimenteringsdjupet (i regel ökar dock sjunkhas-tigheten med ökat djup). Här sammanfaller i stort sett erhållet praktiskt sedimenteringsresultat med det resultat som sjunkanalysen förutsäger. Om nu effekter av flocksonderslagning kan spåras i rörledningen fram till se-dimenteringsbassängerna, kan man säga att resultatet kanske hade blivit ändå något bättre utan denna transportsträcka. Resultatet var dock godtag-bart, ca 12% kvarvarande flock med endast smärre variationer mellan de tre sedimenteringsbassängerna.

15.5 Filtrering

Prov uttogs från de tre filtren. Analysresultatet återfinns i tabell 15-3. Det nyspolade filtret visar förhöjda värden jämfört med de båda andra, med gångtider upp till 53 h. Detta kan bero på att det förflutit för kort tid efter spolningen för att filtratkvaliteten skall ha stabiliserat sig. De övriga värdena visar att gångtider på mer än 2 dygn mycket väl kan till-lämpas vid aktuell dekantatkvalitet. Dock är aluminiumresthalten något hög, vilken skulle kunna minskas något genom att öka fällningspH till 6.2-6.4 eller öka aluminiumsulfatdoseringen (se "Fällningsförsök").

15.6 Resultat av fällningsförsök

Fällningsförsök utfördes under standardiserade betingelser med aluminium-sulfatdoserna 30, 45 resp 60 mg/l. Fig 15.2 visar resultat efter filtre-ring som funktion av pH. I fig 15.3 har på grundval av fig 15.2 resulta-tet uttryckts som funktion av aluminiumsulfatdosen vid fällningspH 6.1. Som jämförelse har analysvärdet för det bästa filtratet införts. Av fig 15.2 framgår att doseringen av aktivt kol inte resulterar i någon för-höjd reduktion av organiskt material med de mått som här tillämpats.

För att få ett godtagbart resultat har "erforderlig" aluminiumsulfatdos uträknats till 62 mg Al-sulfat/l. Lämpligt intervall för fällningspH: 6.1-6.4

15.7 Sammanfattnings, åtgärder

Uppmätning av flödet med saltförsök gav god överensstämmelse med verkets råvattenmätare. Effekttillförseln i flockningstankarna gav flockar med tillfredsställande flocksjunkhastighet. En möjlig förbättring vore att öka varvtalet för omröraren i den första flockningstanken till ca 5 varv/min.

Med tanke på den korta flockningstiden samt risken för flockönderslagning i transportledningen för flockat vatten till sedimenteringen skulle en dosering av hjälpkoagulant vara lämplig. Lämplig dosering (ungefär 2 g/m³) aktiverad kiselsyra skulle förbättra flockens sjunkegenskaper samt öka hållfastheten. Dock ökar filtrens tryckförlusttillväxt samt dessutom tillkommer olägenheten med hantering av ytterligare en kemikalie vid verket.

Tabell 15-3. Analysresultat

Prov nr	pH	Grumlighet FTU	UV-absorbans $E_{254}(4\text{ cm})$	Färgvärde $E_{436}(4\text{ cm})$	Permanganat- tal, mg $\text{KMnO}_4/1$	mg $\text{Al}^{3+}/1$
1501	7.5	1.2	1.39	0.083	35.8	0.06
1501F	-	0.73	1.38	0.076	36.0	0.03
1502	7.4	1.3	1.4	0.084	34.8	0.05
1504	6.0	1.6	0.38	0.011	13.4	0.64
1506	6.0	0.09	0.29	0.003	10.7	0.14
1507	6.2	0.39	0.30	0.008	11.2	0.20
1508	6.1	0.11	0.29	0.004	10.6	0.14

Prov nr

1501	Råvatten 16/5					
1501F	Råvatten 16/5, filtrerat prov					
1502	Råvatten 17/5					
1504	Dekantat, system 2 16/5 kl 17.50					Gångtid
1506	Filtrat, filter 1	" 17.50	spolat kl 12 15/5		29 h	
1507	Filtrat, filter 2	" 17.50	" 15 16/5		2 h	
1508	Filtrat, filter 3	" 17.50	" 12 14/5		53 h	

Råvattnets alkalitet analyserades till 0.72 m ekv/l. Järnhalt 0.33 mg Fe/l.

Figur 15.2

Mjölby

16-17/5 1979

Resultat av fällningsförsök
Analysvärden efter filtrering

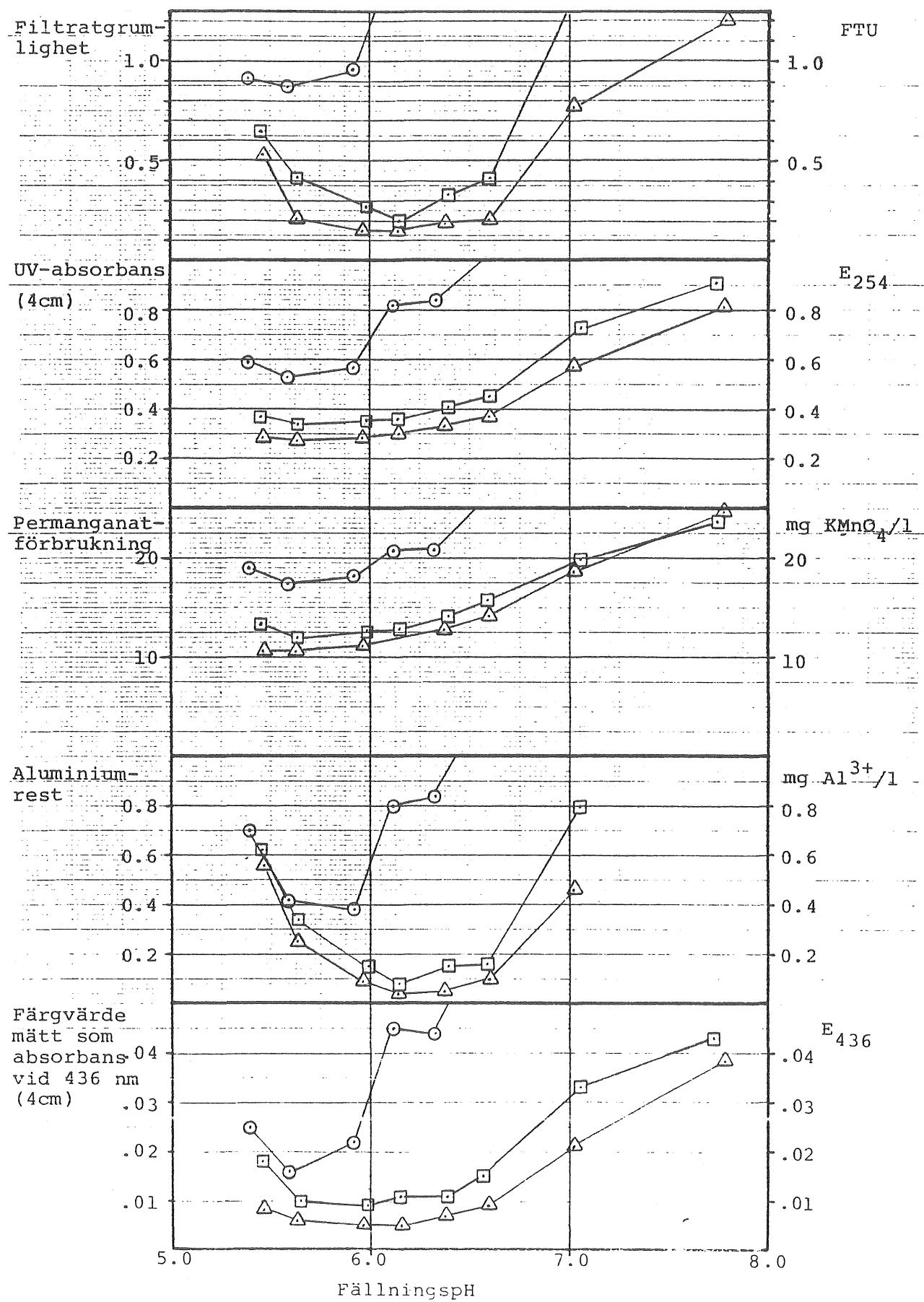
Al-sulfat-

dosering, mg/l

O 30

□ 45

△ 60



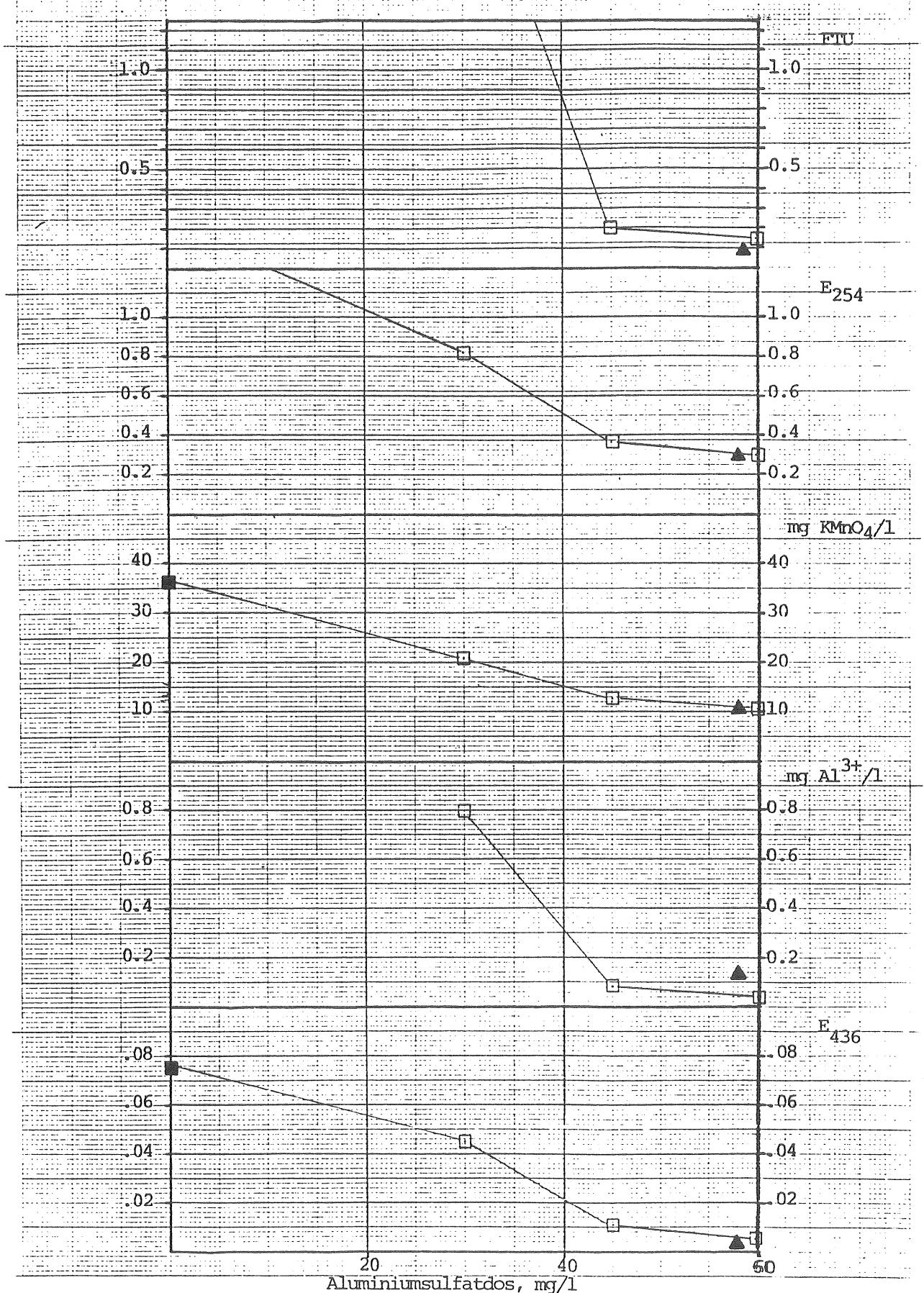
Figur 15.3

Mjölby

Resultat av fällningsförsök
som funktion av aluminiumsulfatdos.

Jämförelse med driftsresultat

- FällningspH 6.1
(verkets fällnpH)
- ▲ verkets driftres.
- filtrerat råvatten

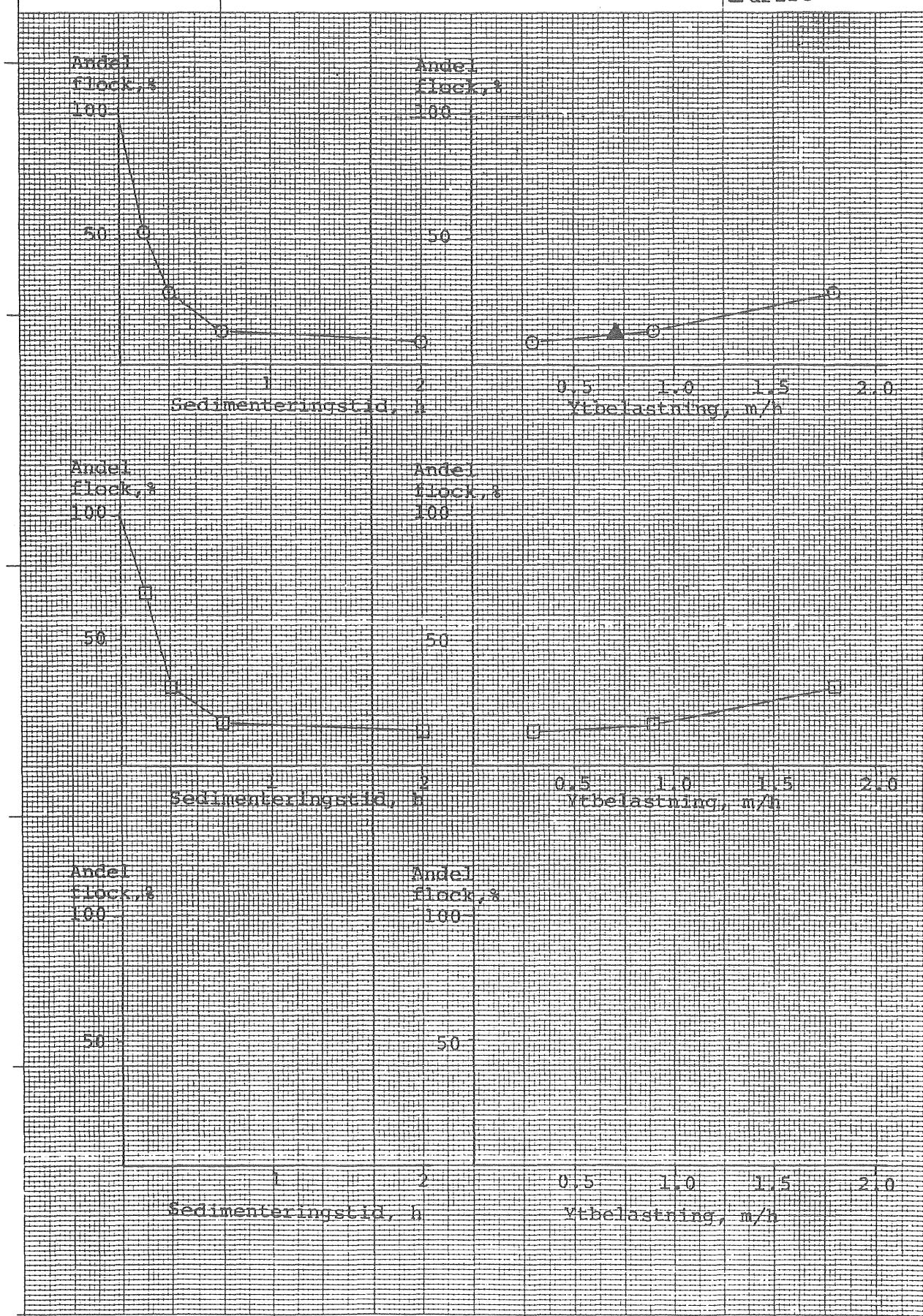


Figur 15.4

Mjölby

Sjunkanalyser och jämförelse
med praktiskt sedimenterings-
resultat.

- Kammare 3
- Kammare 2
- ▲ driftresultat

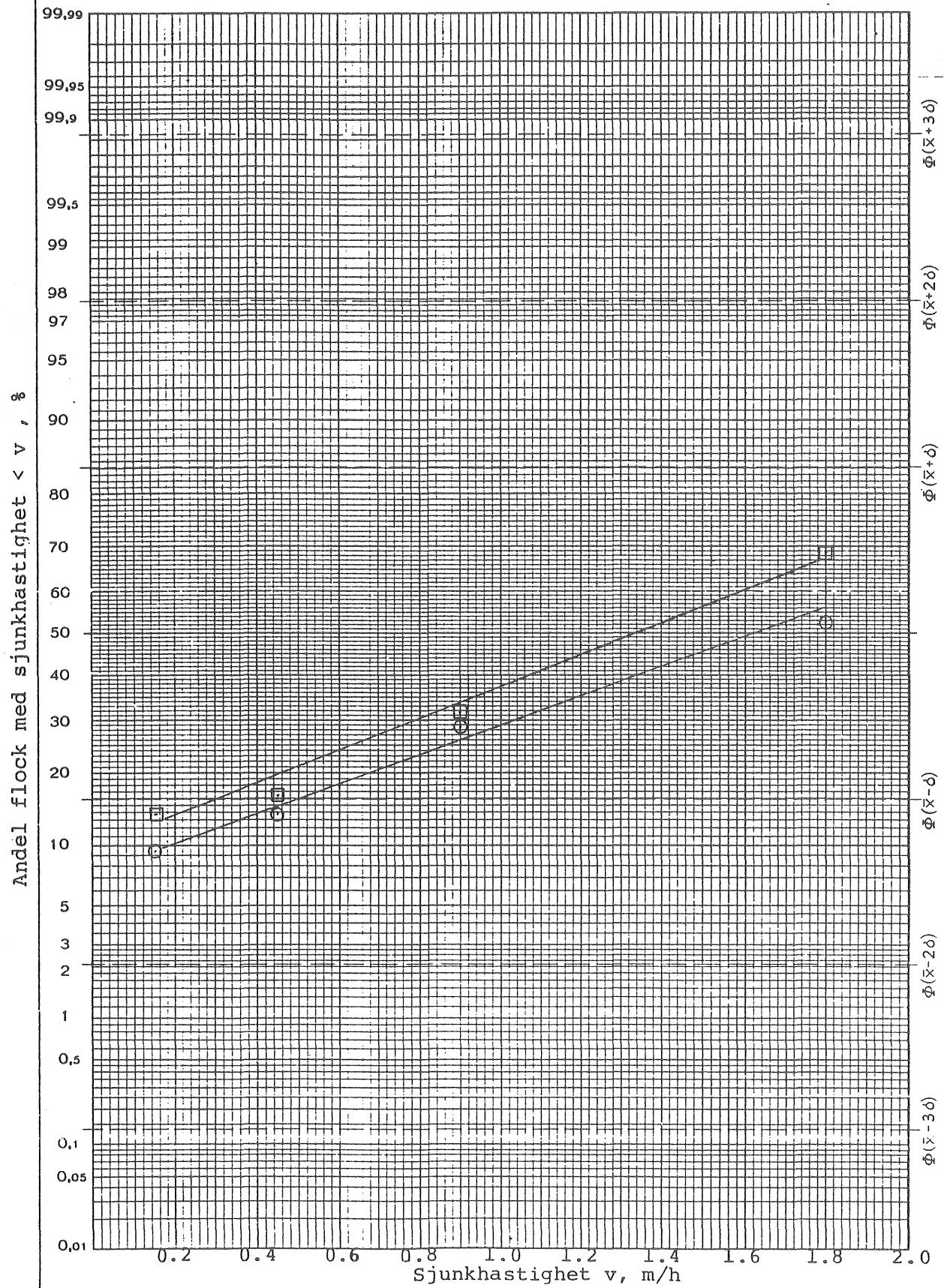


Figur 15.5
Mjölby

Utvärdering av sjunkanalyser

v_m σ
1.62 1.12
1.34 1.04

○ Kammare 3
□ Kammare 2



16.1 Beskrivning av verkets funktion

Verket har två parallella flockningssystem. Ursprungligen har dessa försörjt varsin sedimenteringsbassäng med parallellströmning. Numera är dessa ersatta av en lamellsedimenteringenhet. Flockningssystemen består av 5 flocknings-tankar i serie. Vattnet från den sista flockningstanken i system 1 rinner genom en öppning nära vattenytan in i den sista flockningstanken i system 2, som alltså erhåller vatten från båda systemen. Nära botten på denna flocknings-tank är sedan utlopp till lamellsedimenteringenheten. Total flockningsvolym: 183 m³/system. Lamellsedimenteringenheten består av två rader med lameller, vardera med horisontella ytan 6·1.5 m. Det horisontella lamellavståndet är 7 cm och verksam lamellängd ca 2.2 m.

Sandfiltren har totala ytan 60 m².

Angivna flöden och doseringar:

maxflöde: 5 800 m³/d, medelflöde: 2 700 m³/d

aluminiumsulfat: 24 g/m³

justering av fällningspH, soda: 12 g/m³

aktiverad kiselsyra: ca 4.5 g/m³. Aktivering sker med ammoniumsulfat.

efteralkalisering med lut

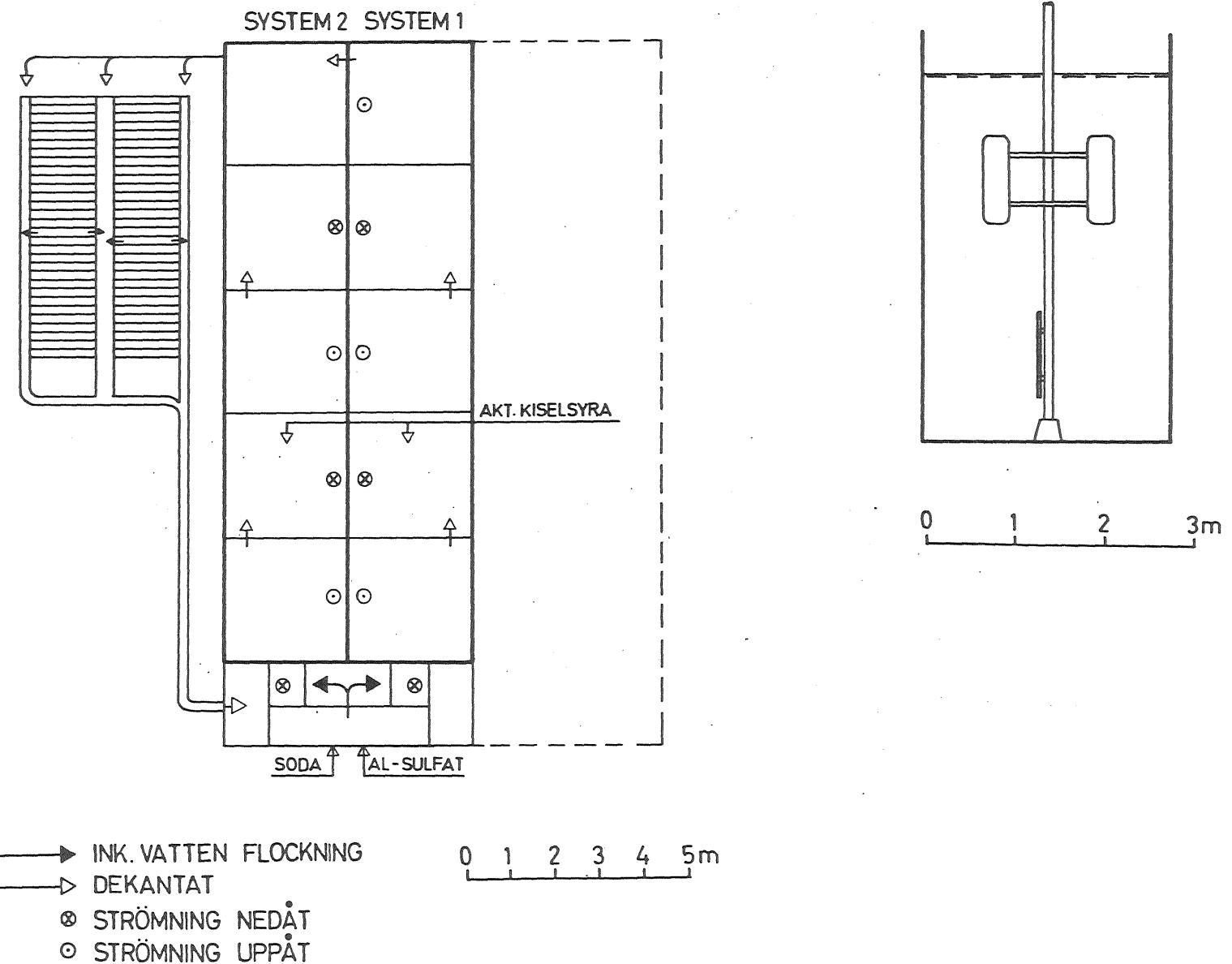
Verket drivs intermittent med flödet ca 240 m³/h. Detta innebär gångtider under dygnet på mellan 8 och 14 h. Slamtömning sker i lamellsedimenteringen 2 gånger/dygn. Filtern drivs med fast tidsintervall: 42 timmar både vinter- och sommartid.

I fortsättningen gäller angivna värden endast de två besöksdygnen 28-29/5 1979.

16.2 Flöden, doseringar

Flödet genom verket (när det ej stod stilla) var enligt verkets råvattenmätare konstant 240 m³/h. Vid de saltförsök som utfördes erhölls totalflödet 246 m³/h, fördelat på system 1 och 2 enligt: 129 resp 117 m³/h.

Lösning av aluminiumsulfat bereds kontinuerligt under verkets drift. Mätning av doserad sulfatmängd gav den aktuella doseringen 22 g Al-sulfat/m³. Koagulanten tillsätts tillsammans med soda i en inblandningsvolym gemensam för de båda systemen.

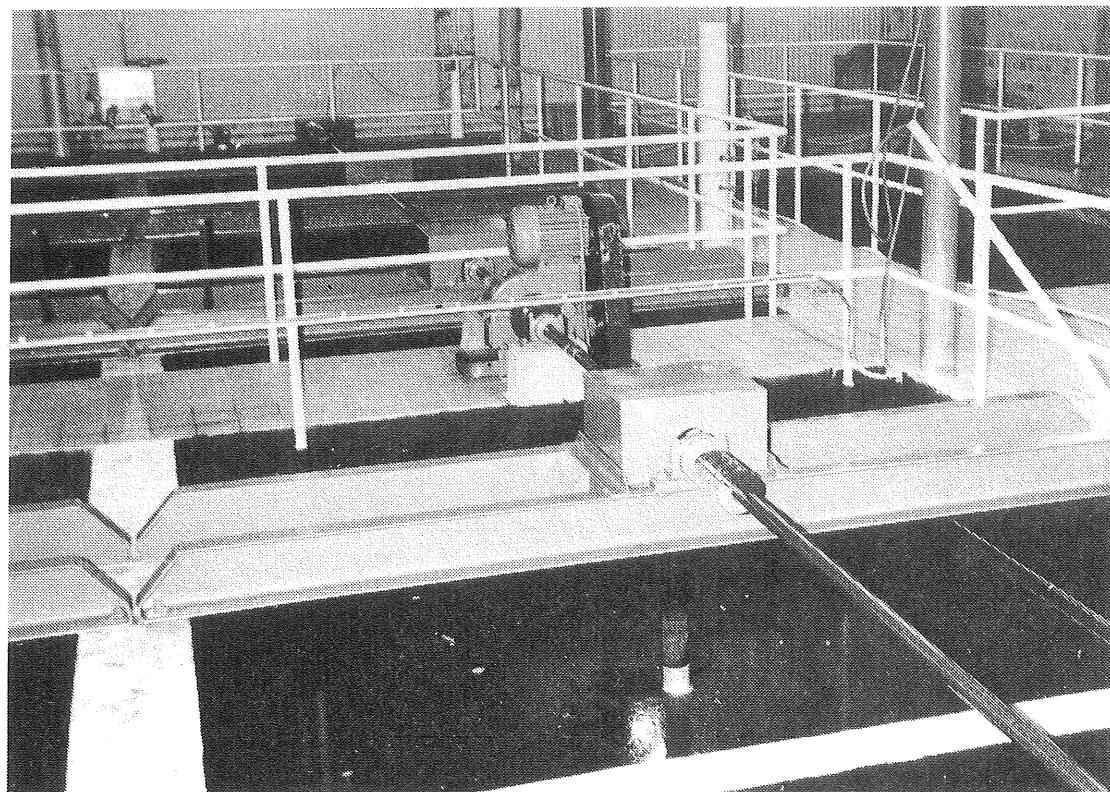


Figur 16.1 Grängesbergs vattenverk

16.3 Flockning

Ovan angivna flöden ger flockningstider för system 1 och 2 på 77 resp 85 min. Saltförsöken komplicerades av att den sista flockningstanken i system 2 var gemensam för de båda systemen. En momentan dos salt (i detta fall 2 kg NaCl) doserades dels till den gemensamma inblandningsvolymen samt vid ett senare tillfälle till inloppet i flockningssystem 1. Den utgående saltkoncentrationen (mätt som ledningsförmåga) registrerades, genom uppumpning, dels vid det gemensamma utloppet till lamellsedimenteringen, dels vid utloppet för system 1. Tidpunkten för maximal koncentration var för sys-1: 77 min samt för den sammanlagrade flödesbilden 65 min. Den maximala saltkoncentrationen i utloppet i relation till medelhalten - dvs totala saltmängden utspädd i totala flockningsvolymen - $(C/C_0)_{\max}$ var vid båda mätningarna ca 1.1.

Omrörarnas varvtal uppmättes och med hjälp av ritningar och vissa mätningar på platsen av effekttillförsel och \bar{G} -värdet uppskattats. Vattenmassans medrotation har antagits vara 40% av paddelhastigheten. I tabell 16-1 återfinns varvtal, beräknad effekttillförsel och \bar{G} -värde samt periferihastighet. Den totala paddelarealet utgör 9% av minsta vertikala tankvärsnitt.



För effekttillförseln i flockningstankarna erhölls uttrycket:

$$w \approx 1.8 \cdot 10^{-3} \cdot n^3 \quad \text{watt/m}^3$$

där n är varvtalet på omrörare (varv/min)

\bar{G} -värdet erhålls enligt:

$$\bar{G} = \sqrt{\frac{w}{n}} \quad (1/\text{s})$$

där n är vattnets viskositet, vid aktuell temperatur (6^0C) gäller
 $\eta = 1.5 \cdot 10^{-3} \text{ Ns/m}^2$.

Tabell 16-1. Data för omrörare i flockningssystem

Kammare nr	1	2	3	4	5
SYSTEM 1 och 2					
Varvtal, n varv/min	2.9	1.9	1.4	1.1	0.9
Effekttillförsel, w watt/m ³	0.041	0.012	0.0051	0.0023	0.0015
Medelhastigets- gradient, \bar{G} , 1/s	5.3	2.8	1.9	1.2	1.0
Periferihastighet, m/s	0.22	0.15	0.11	0.09	0.007

Effekttillförseln är för låg i samtliga flockningstankar. Detta ger också utslag i flockens sjunkegenskaper. Resultat av sjunkanalysen återfinns i fig 16.4 och 16.5.

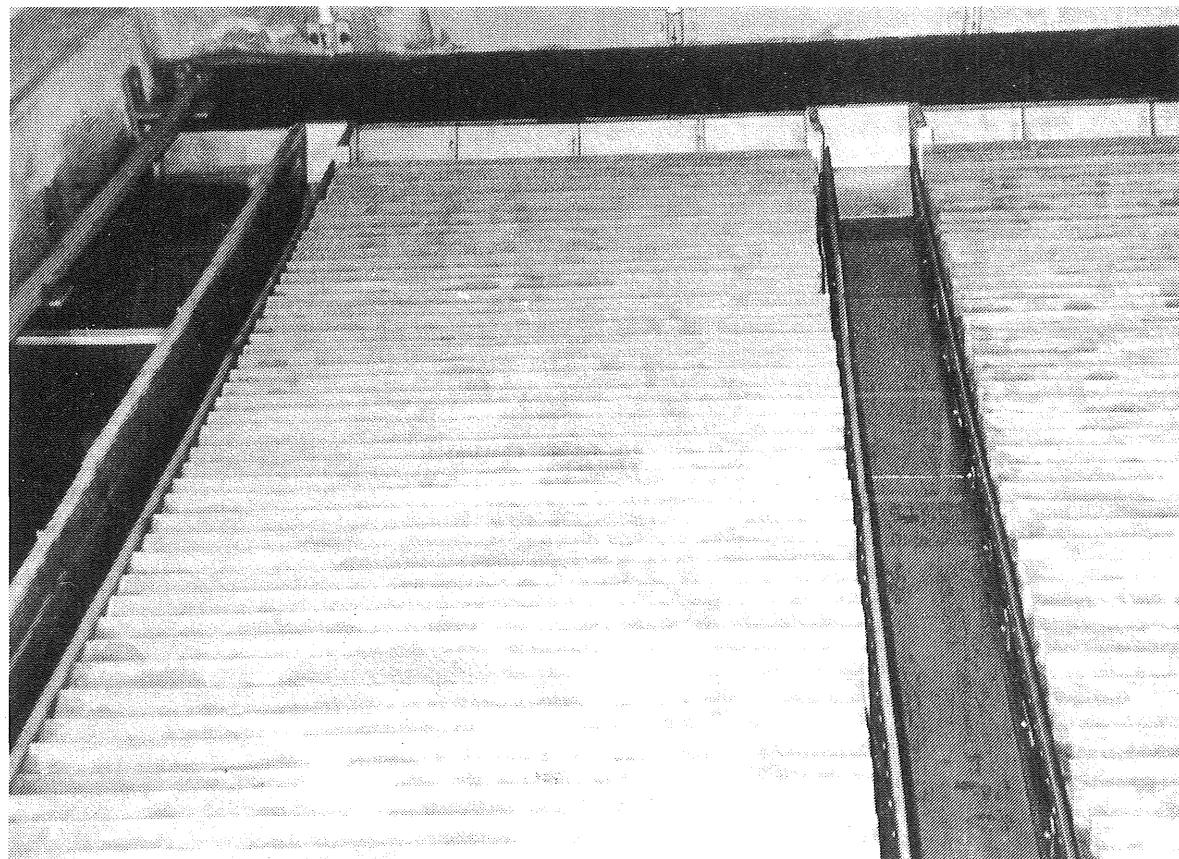
Tabell 16-2. Sjunkhastigheter

	Medelsjunkhastighet v_m , m/h	Spridning σ , m/h
Kammare 5, system 2	0.73	0.85
Kammare 5, system 1	0.66	1.1
Kammare 3, system 1	0.36	0.9

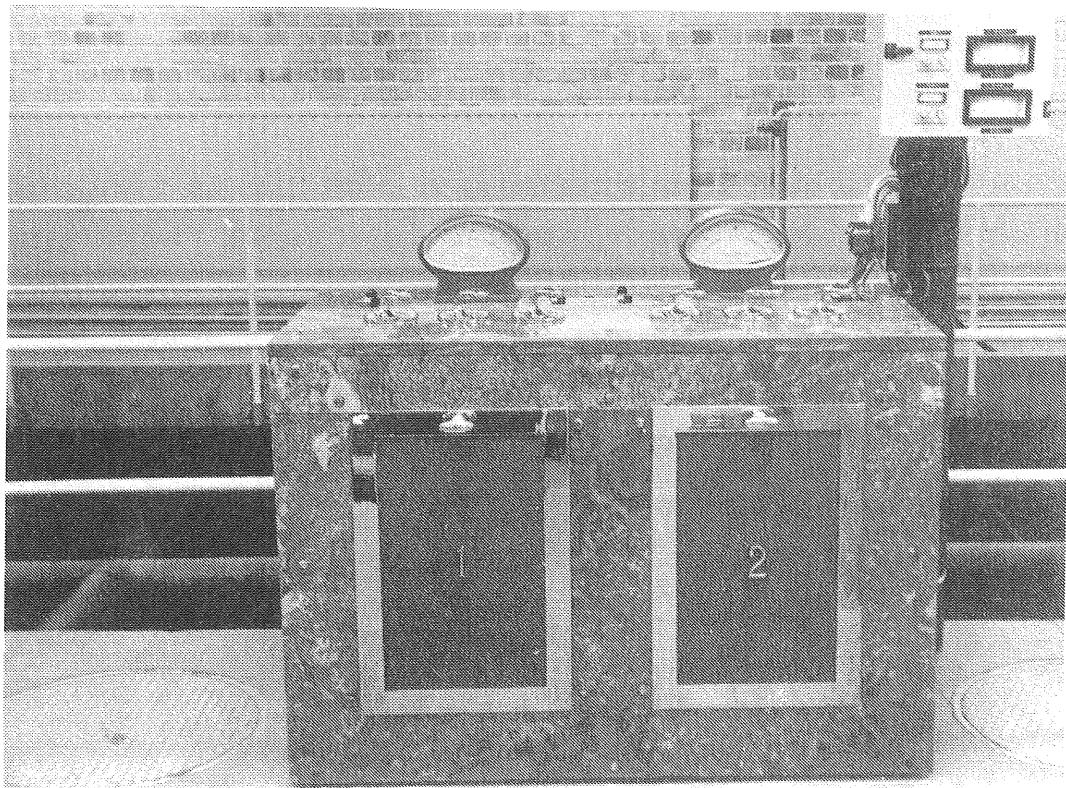
Flocksjunkegenskaperna är sämre än man skulle förväntat sig under rådande betingelser, i synnerhet då aktiverad kiselsyra doseras. Detta beror delvis på den låga effekttillförseln i flockningstankarna, men även den s k aktiveringens av vattenglas bör ses över. FällningspH ligger inom godtagbart intervall. Uttagna dekantat- och filtratprov (se tabell 16-3) gav värden runt 6.5. Verkets mätare visade 6.2.

16.4 Sedimentering

Vid aktuellt flöde är arealbelastningen på lamellsedimenteringen, räknad på fri vattenyta, 15 m/h. Ytbelastningen, räknad på total sedimenteringsyta, blir 0.8 m/h. I fig 16.4 är sjunkanalyserna omräknade till sedimenteringsresultat vid varierande sedimenteringsbelastning. Som jämförelse är det verkliga resultatet inritat. Härvid antas att sjunkhastighetsfördelningen är oförändrad, oberoende av sedimenteringsdjupet (i regel ökar dock sjunkhastigheten med ökat djup). När det gäller lamellsedimentering är det verkliga sedimenteringsdjupet (ca 0.1 m) mindre än sjunkanalysens (0.3 m). Teoretiskt skulle därför det praktiska sedimenteringsresultatet bli något sämre än vad sjunkanalysen förutsäger. Av fig 16.4 framgår att



förhållandet är det omvänta. Detta kan ha två orsaker. Dels har sjunkanalysen, av praktiska skäl, utförts nära vattenytan i den sista gemensamma flockningstanken, medan utloppet till sedimenteringen befinner sig nära botten. Flocksjunkegenskaperna kan därför förändra sig fram till utloppet. Även inloppsanordningarna i lamellsedimenteringen kan ha gynnsamma effekter. Det kan också tänkas att verkets intermittenta drift kan ge gynnsamma, icke förutsägbara effekter i sedimenteringen. Innan sjunkanalysen påbörjades tillsågs att stationära förhållanden hade uppnåtts, dvs tillräcklig tid hade förflutit efter ett driftsstopp för att byta ut vattenvolymen i flockningssystemen. Att så var fallet bekräftas av att dekantatkvaliteten var i stort sett oförändrad från sjunkanalysens början och mer än två timmar framåt. Dekantatkvaliteten är i stort sett godtagbar (ca 20% kvarvarande flock) medan sjunkanalysen förutsäger ca 30%.



16.5 Filtrering

Prov uttogs från två filter, från ett relativt nyspolat samt från det filter som stod i tur att spolas. Analysresultaten återfinns i tabell 16-3. Inga större skillnader i filtratkvalitet kunde konstateras. Den uppskattade effektiva gångtiden på ca 50 h är alltså fullt godtagbar vid aktuell dekantatkvalitet.

16.6 Resultat av fällningsförsök

Fällningsförsök utfördes under standardiserade betingelser med aluminiumsulfatdoserna 20, 30 resp 40 mg/l. Fig 16.2 visar resultat efter filtrering som funktion av pH. I fig 16.3 har på grundval av fig 16.2 resultaten uttryckts som funktion av aluminiumsulfatdosen, dels vid "optimalt" fällningspH (6.2) och dels vid det pH som verket tillämpade (6.5). Som jämförelse har analysvärdet för det bästa filtratet införts.

Råvattnet får betecknas som extremt lättfällt. "Erforderlig" aluminiumsulfatdos har uträknats till 18 mg Al-sulfat/l. Det bör observeras att detta värde ligger lägre än tillämpade doseringar vid fällningsförsöket. Inga större variationer i reningsresultat föreligger inom pH-intervalliet 6.0-6.9.

16.7 Sammanfattnings, åtgärder

Fördelningen av flödet mellan systemen samt flödesmätaren fungerar tillfredsställande, att döma av utförda saltförsök.

Effekttillförselet i flockningstankarna är något låg. En trefaldig ökning av omrörarhastigheten över lag, speciellt i de första flockningstankarna, skulle förbättra flocksjunkegenskaperna.

Effekten av vattenglasdoseringen kan ifrågasättas.

pH-mätning och driften av filter fungerar av allt att döma tillfredsställande.

Tabell 16-3. Analysresultat

Prov nr	pH	Grumlighet FTU	UV-absorbans E254(4 cm)	Färgvärde E436(4 cm)	Permanganat- täl, mg KMnO ₄ /l	mg Al ³⁺ /l
1601	6.5	0.24	0.60	0.034	19.0	0.09
1601F	-	0.16	0.60	0.031	19.3	0.09
1602	6.5	0.19	0.60	0.033	18.9	0.10
1604	6.5	0.83	0.26	0.016	10.0	0.21
1606	6.6	0.11	0.17	0.004	7.3	0.05
1607	6.5	0.11	0.17	0.004	7.6	0.04

Prov nr

1601 Råvatten 28/5

1601F Råvatten 28/5, filtrerat prov

1602 Råvatten 29/5

1604 Dekantat 28/5 k1 17.00 Effektiv gångtid ca

1606 Filtrat, filter 2 " 17.00 spolat 28/5 7 h

1607 Filtrat, filter 3 " 17.00 " 23/5 50 h

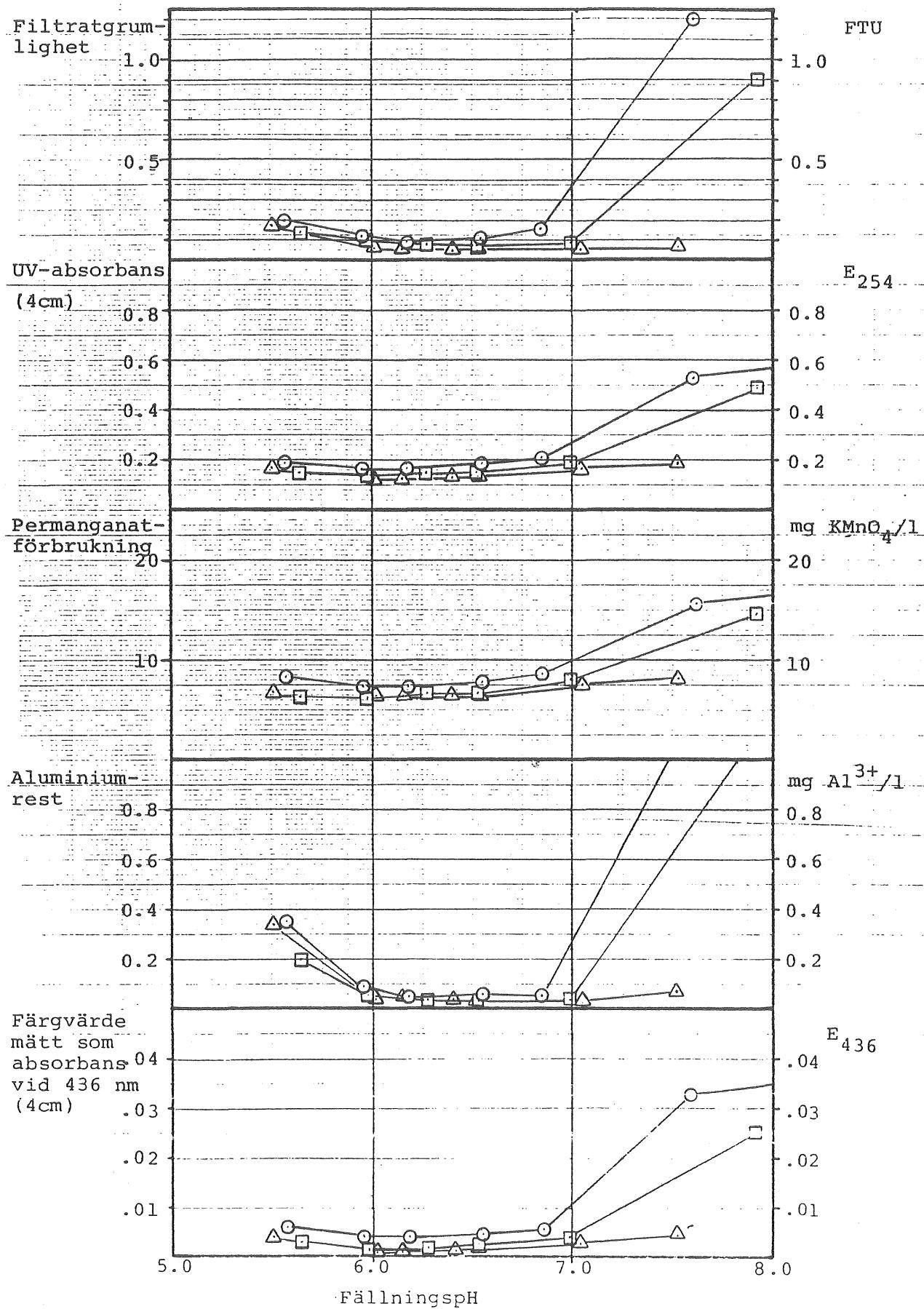
Råvattnets alkalitet analyserades till 0.10 m ekv/l.

Figur 16.2

Grängesberg
28-29/5 1979

Resultat av fällningsförsök
Analysvärden efter filtrering

Al-sulfat-
dosering, mg/l
○ 20
□ 30
△ 40

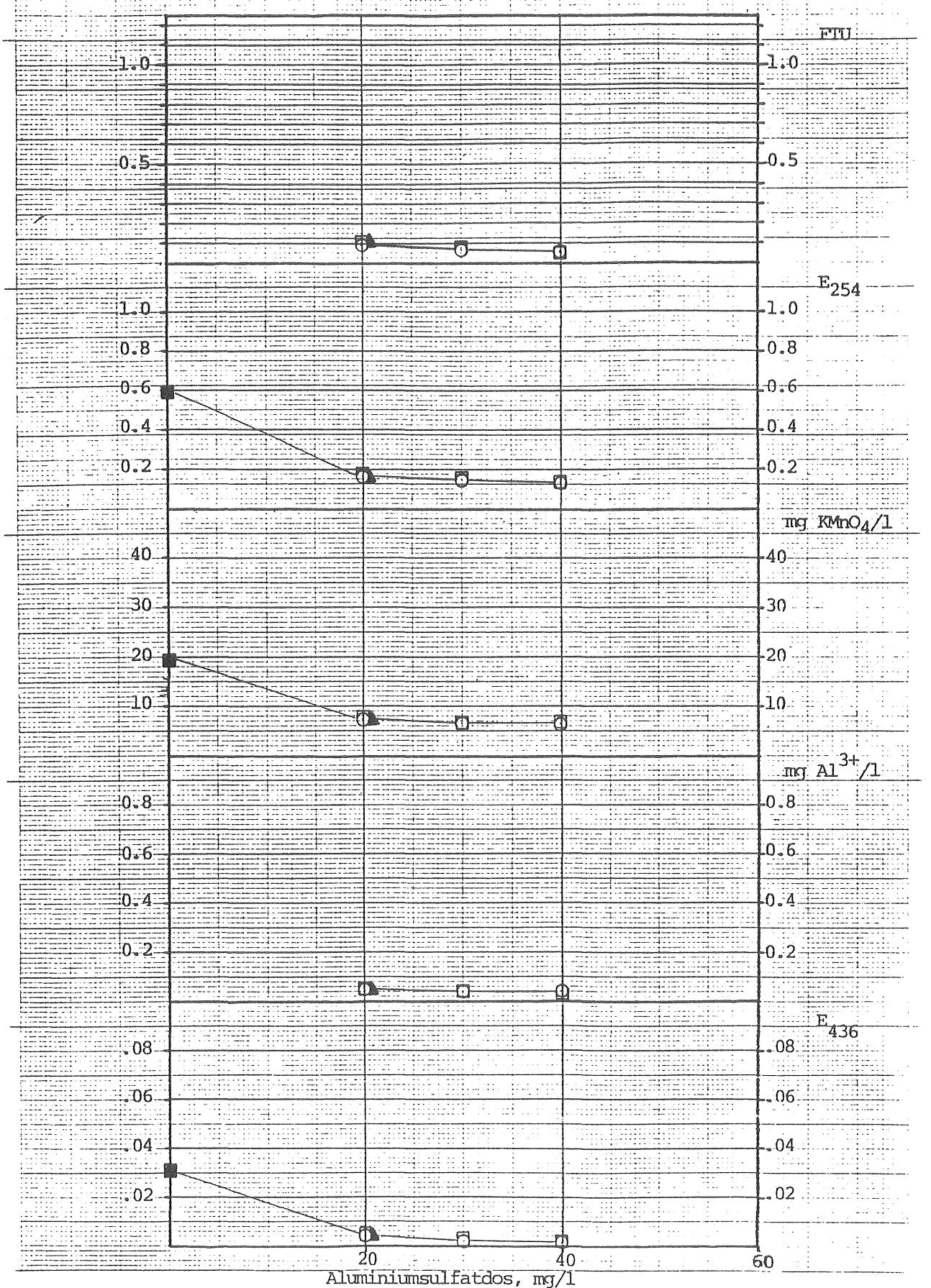


Figur 16.3
Grängesberg

Resultat av fällningsförsök
som funktion av aluminiumsulfatdos.

- FällningspH 6.2
- FällningspH 6.5
(verkets fällnpH)
- ▲ verkets driftres.
- filtrerat råvatten

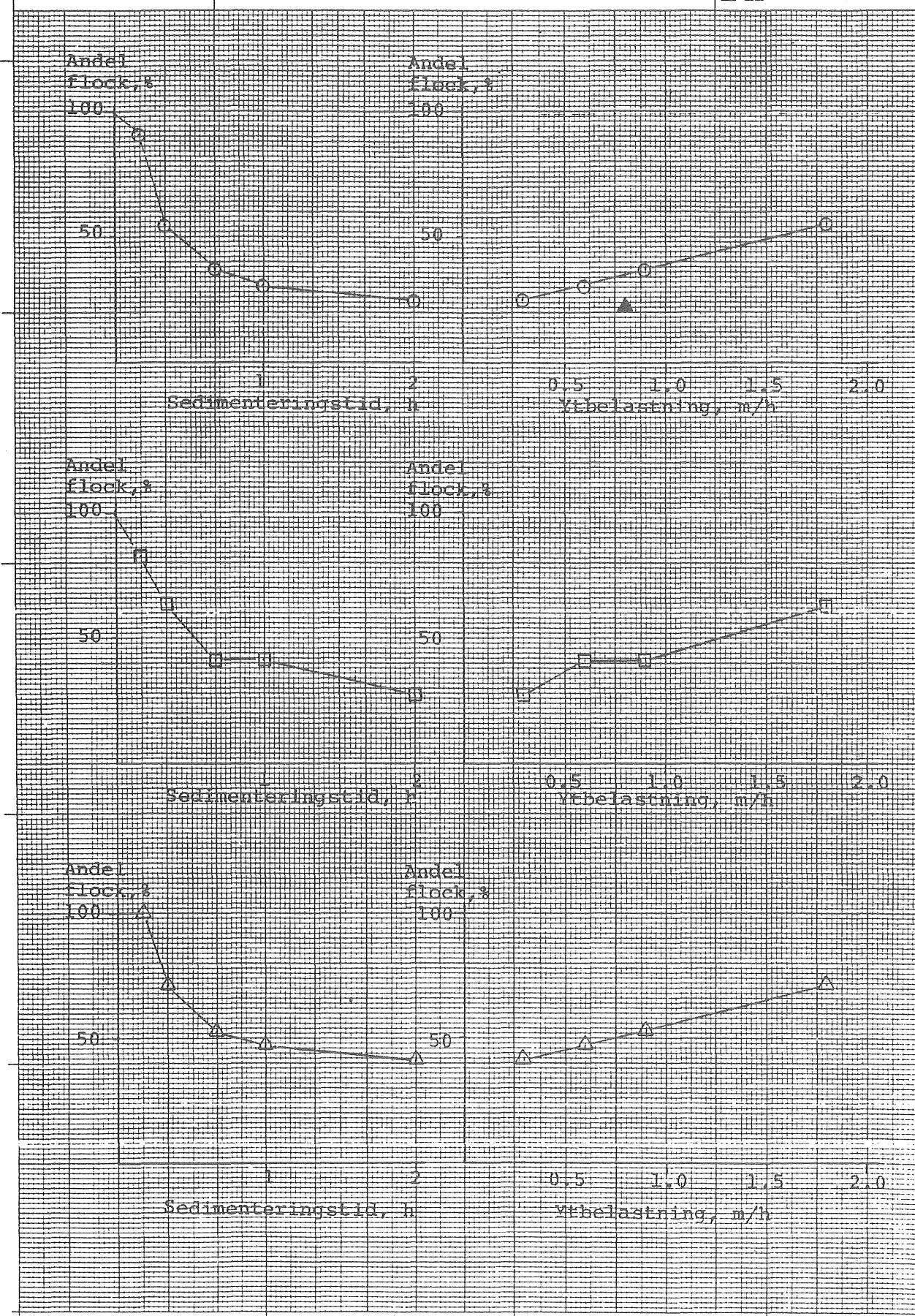
Jämförelse med driftsresultat



Figur 16.4
Grängesberg

Sjunkanalyser och jämförelse
med praktiskt sedimenterings-
resultat.

- System 2, kam 5
- System 1, kam 5
- △ System 1, kam 3
- ▲ driftresultat

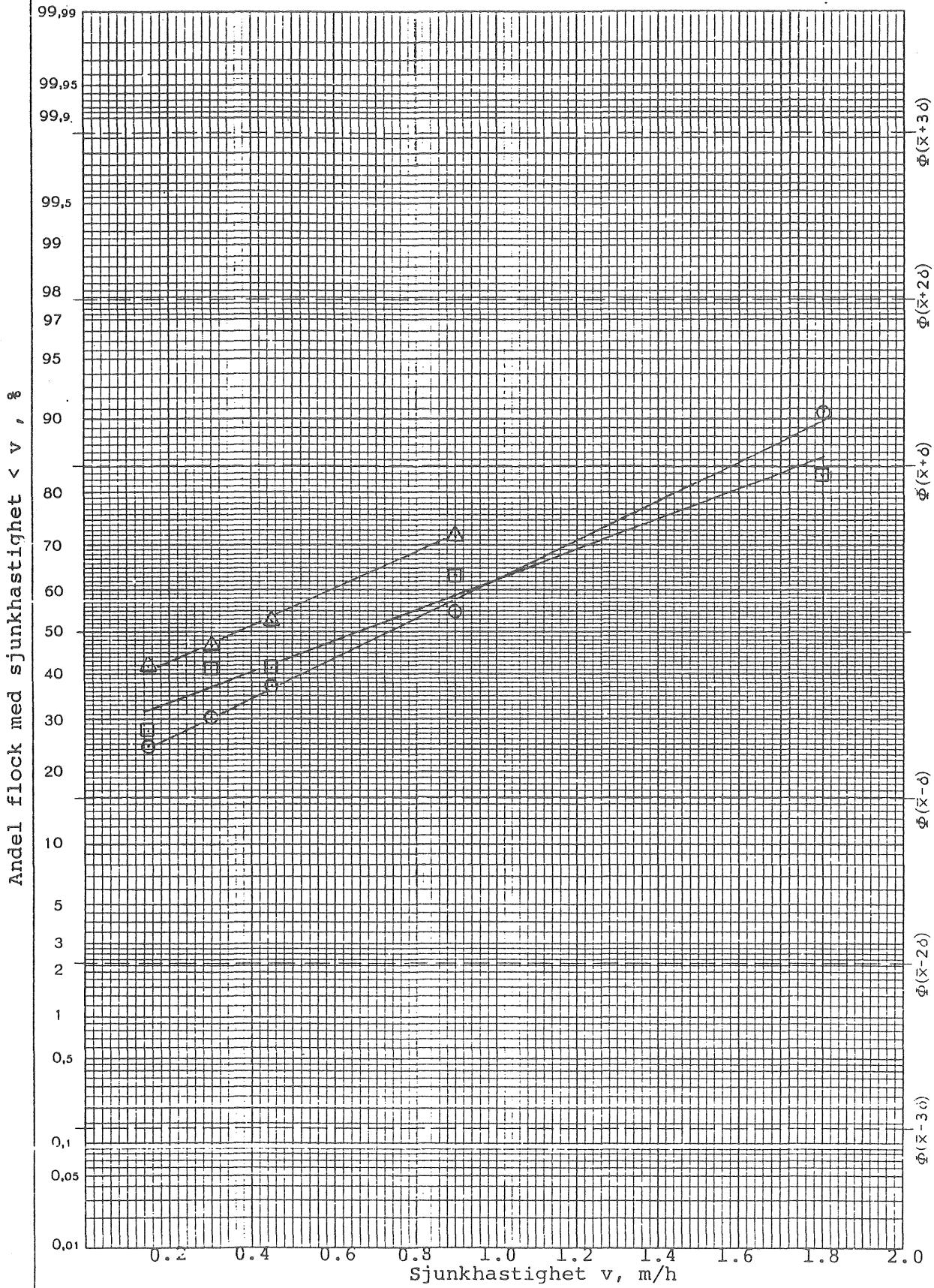


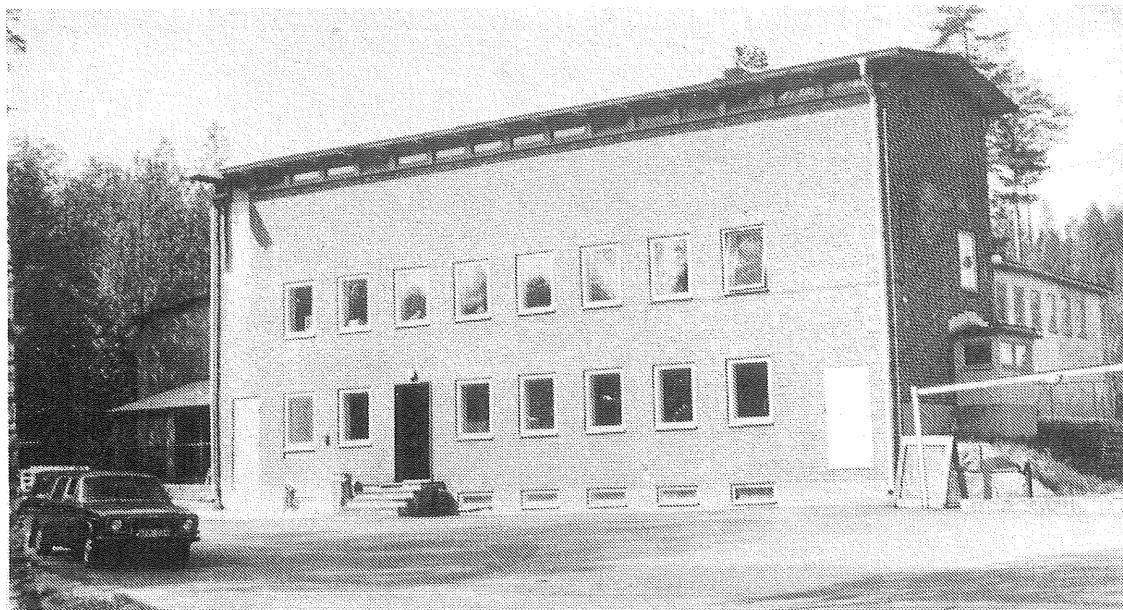
Figur 16.5
Grängesberg

Utvärdering av sjunkanalyser

v_m	σ
0.73	0.85
0.66	1.08
0.36	0.9

C System 2, kam 5
□ System 1, kam 5
△ System 1, kam 3





Undersökningarna vid Hofors vattenverk blev ej utförda som planerat. Detta beroende på att medhavda mätinstrument ej fungerade tillfredsställande. Mycket tyder på att orsaken var störningar på elnätet. De mätvärden som trots allt kunde erhållas uppmätttes på kvällstid när verket ej var i drift (och tydliggen de elektriska störningarna var borta). Här presenteras en allmän beskrivning av verket, fällningsförsök utfört med endast en aluminiumdosering (20 mg Al-sulfat/l) samt några analysresultat för prov uttagna vid verket.

17.1 Beskrivning av verkets funktion

Verket har två parallella flockningssystem med efterföljande sedimentering. Den totala flockningsvolymen är 444 m^3 uppdelad på sex flockningstankar/system. Sedimenteringen består av s k Lovö-bassänger (två bottnar, fram- och återgående vattenflöde) med total sedimenteringsyta $192 \text{ m}^2/\text{system}$.

Sandfilter: total yta 80 m^2 , uppdelat på fyra filterenheter.

Angivna flöden och doseringar:

maxflöde: $10\ 000 \text{ m}^3/\text{d}$, medelflöde: $5\ 200 \text{ m}^3/\text{d}$

aluminiumsulfat: 32 g/m^3

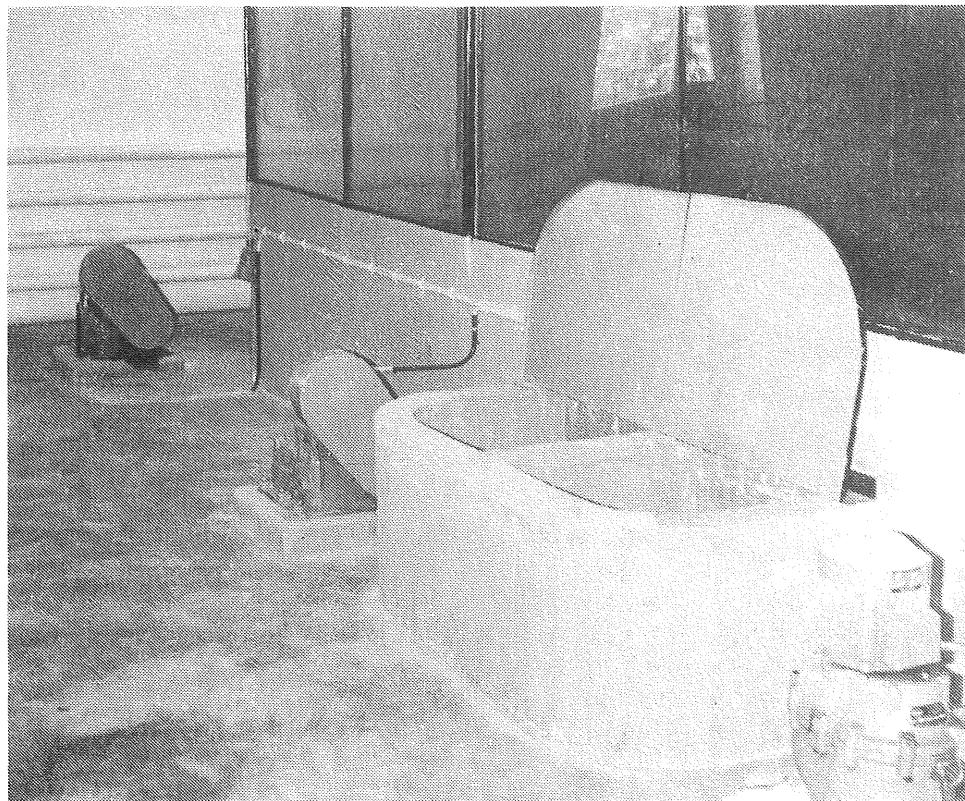
justering av fällningspH med kalk

ingen hjälpkoagulant doseras

efteralkalisering med kalk

efterklorering

Dessa värden innebär vid medelflöde flockningstiden: 2 h, ytbelastning sedimentering: 0.6 m/h och filtrerhastigheten: 2.7 m/h. Slam töms i sedimenteringen varannan månad. Filten drivs till tryckförlusten 1.8 mvp. Tiden mellan filterspolningarna är normalt på vintern 35-40 tim.



17.2 Resultat av fällningsförsök

Fällningsförsök utfördes under standardiserade betingelser med aluminiumsulfatdosen 20 mg/l. Fig 17.1 visar resultat efter filtrering som funktion av pH. Vid denna dosering är lämpligt intervall för fällningspH: 6.0-6.2.

17.3 Verkets driftsresultat

I tabell 17-1 återfinns analysvärden för råvatten, dekantat- och filtratprov. Resultaten uppvisar godtagbara värden både efter sedimentering och filtrering. Filtratet efter två dygns gångtid visar något förhöjda värden. På grund av detta bör nog inte filten drivas längre vid aktuell dekantat-kvalitet.

Tabell 17-1. Analysresultat

Prov nr	pH	Grumlighet FTU	UV-absorbans E254(4 cm)	Färgvärde E436(4 cm)	Permanganat- tal, mg KMnO ₄ /l	mg Al ³⁺ /l
1701	6.8	0.70	0.84	0.056	26.8	0.09
1701F	-	0.32	0.81	0.047	25.8	0.05
1704	6.1	0.68	0.25	0.007	10.7	0.28
1706	6.0	0.24	0.191	0.004	8.7	0.10
1707	5.9	0.08	0.18	0.003	8.2	0.08

Prov nr

1701 Råvatten 30/5

1701F Råvatten 30/5, filtrerat prov

1704 Dekantat system 1 30/5 kl 17.00

1706 Filtrat filter 2 30/5 kl 17.00 spolat kl 17 28/5, bruttogradgångtid 48 h

1707 Filtrat filter 4 30/5 kl 17.00 spolat kl 11 30/5, bruttogradgångtid 6 h

Råvattnets alkalitet analyserades till 0.18 m ekv/l.

Aktuell råvattentemperatur var 13.5°C.



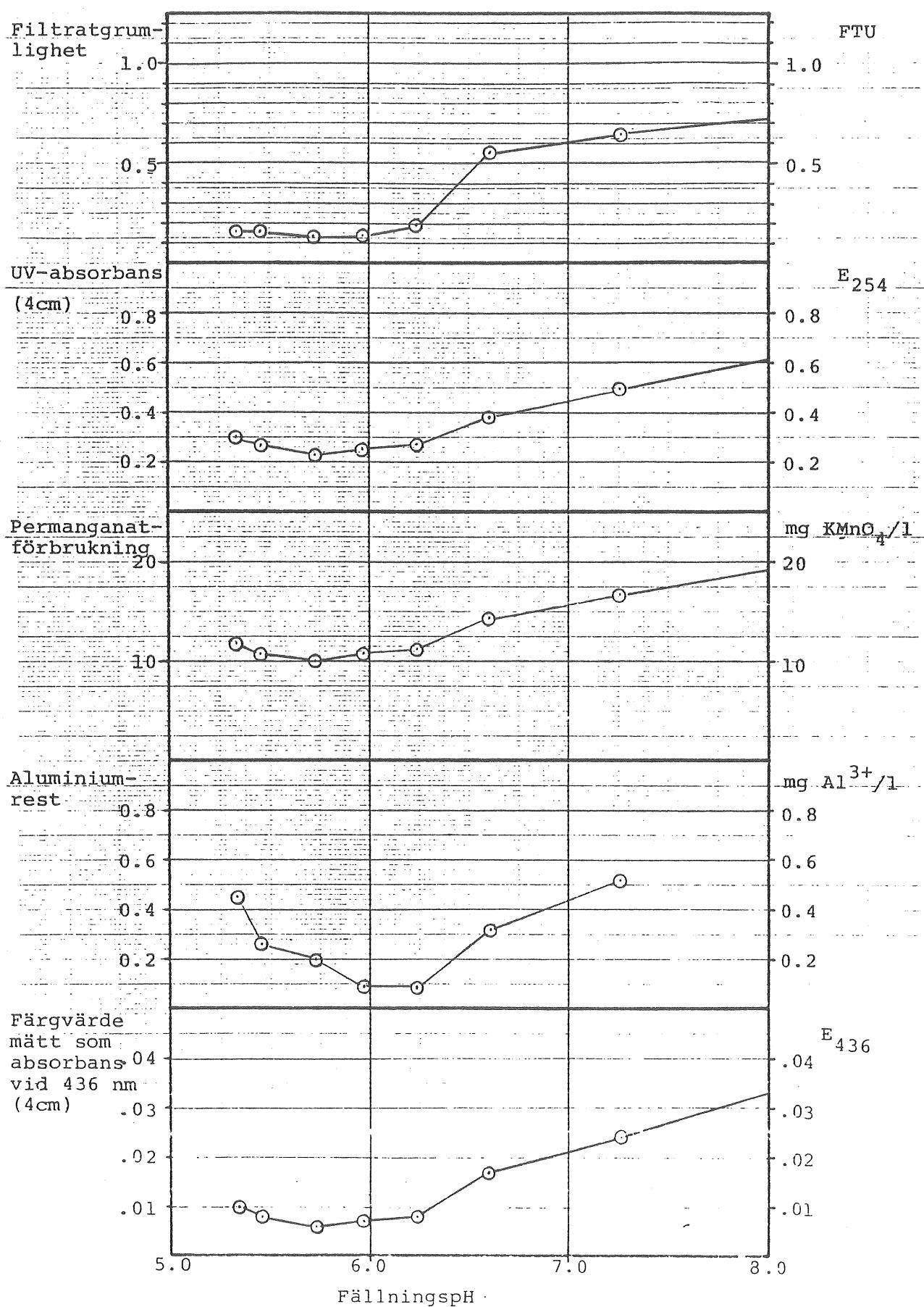
Figur 17.1

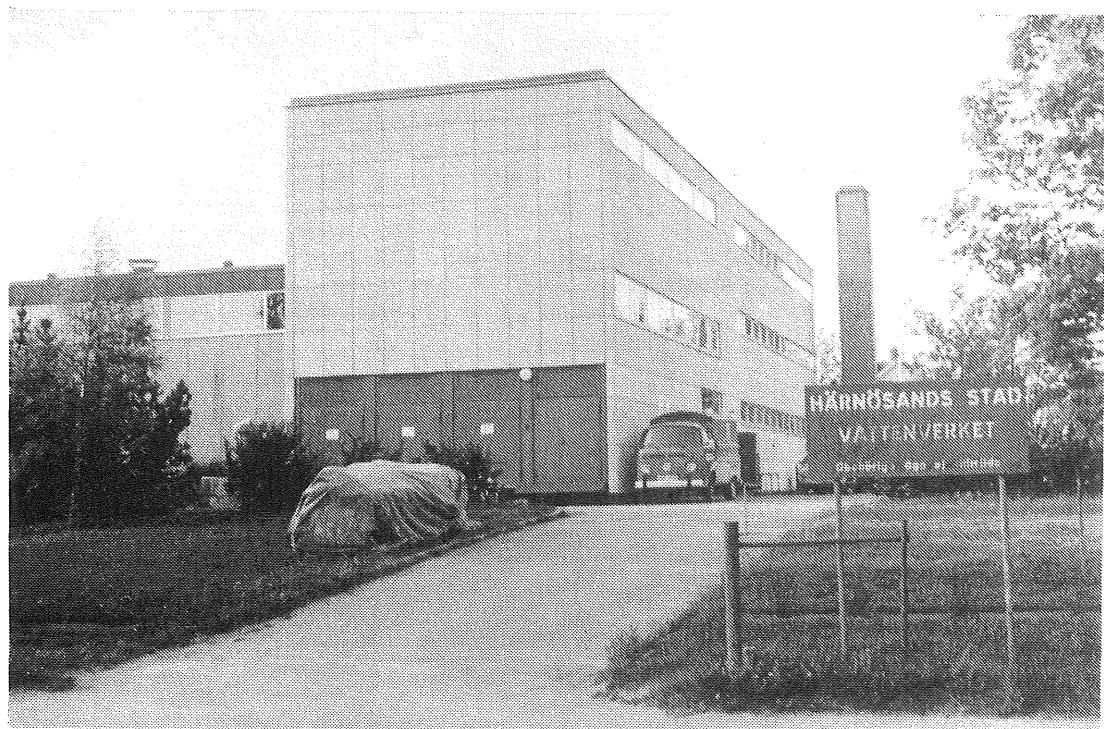
Hofors

30/5 1979

Resultat av fällningsförsök
Analysvärden efter filtrering

Al-sulfat-
dosering, mg/l
○ 20





18.1 Beskrivning av verkets funktion

Verket har två parallella flockningssystem med efterföljande sedimentering, vardera bestående av 6 flockningstankar med vertikala omröraraxlar. Total flockningsvolym 207 m³/system. Sedimenteringen består av parallellströmningsbassänger med två bottnar, total sedimenteringsyta 272 m²/system.

Sandfiltren har en total yta av 122 m².

Angivna flöden och doseringar:

maxflöde: 13 000 m³/dygn, medelflöde: 8 000 m³/d

aluminiumsulfat: 25 g/m³

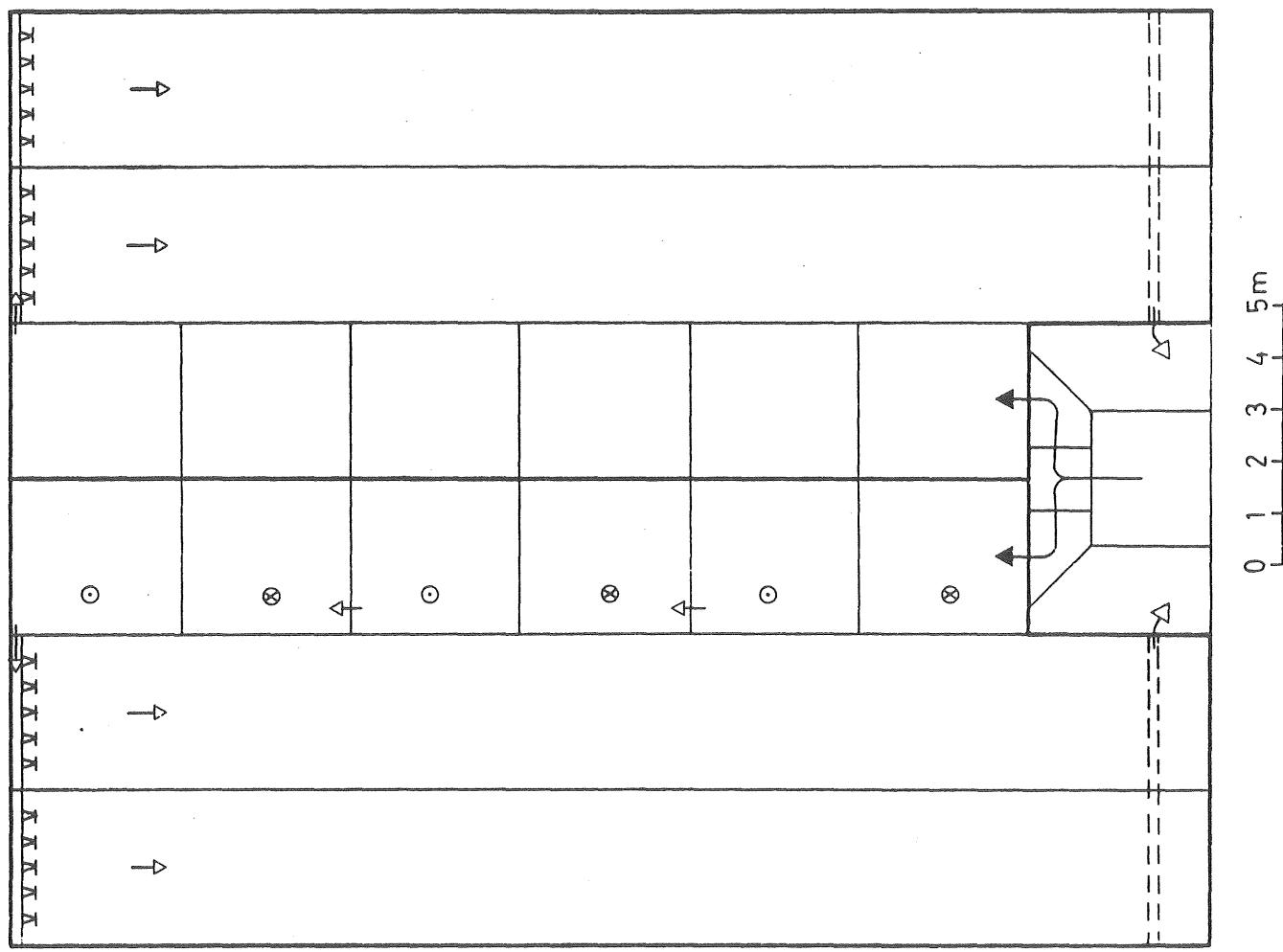
fällningspH justeras med kalk

aktiverad kiselsyra: 2.5 g/m³

möjligheter finns att dosera aktivt kol i pulverform
före flockningen (tillämpas under sommaren)

för desinfektion doseras klordioxid till renvattnet

Figur 18.1 Härnösands vattenverk

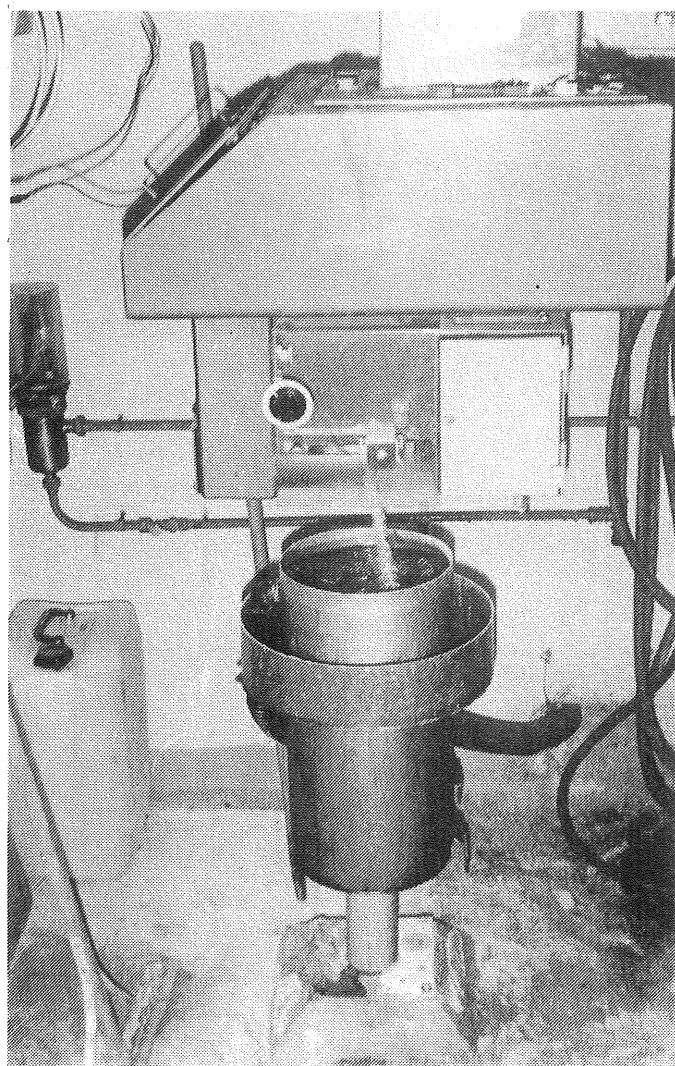


Dessa värden innebär vid medelflöden, flockningstid: 72 min, ytbelastning sedimentering: 0.6 m/h och filtrerhastighet 2.8 m/h. Slam töms i sedimenteringen 1 gång/mån. Filtren drivs med fast tidsintervall: 2 dygn på vintern 1 dygn på sommaren.

I fortsättningen gäller angivna värden endast de två besöksdygnen 6-7/6 1979.

18.2 Flöden, doseringar

Verket drivs intermittent med, enligt verkets råvattenmätare, 600 m³/h (när verket är igång). Vid de försök som utfördes tillsågs att verket varit i drift tillräcklig tid för att uppnå stationära förhållanden. Saltförsöken gav som resultat totalflödet 596 m³/h, fördelat på respektive system 1 och 2 enligt: 292 resp 304 m³/h.



Flödet vid besökstillfället ligger alltså över dimensionerande flöde, när verket går. Överensstämmelsen mellan verkets flödesmätning och flödet erhållet vid saltförsök är förvånansvärt god.

Lösning av aluminiumsulfat bereds kontinuerligt. Mätning av doserad aluminiumsulfatmängd/tidsenhet vid två olika tillfällen gav den aktuella doseringen 23 resp 27 g Al-sulfat/m³. Koagulanten tillsätts tillsammans med kalk i en inblandningsvolym gemensam för de båda systemen.

13.3 Flockning

Ovan angivna flöden ger flockningstid för system 1: 42.5 min samt för system 2: 40.9 min. Saltförsöken antyder en relativt gynnsam flödesbild för båda systemen. En momentan dos salt (i detta fall NaCl) doserades till inloppen till flockningssystemen. Den från sista flockningstanken utgående saltkoncentrationen (mätt som ledningsförmåga) registrerades som funktion av tiden. Tidpunkten för maximal koncentration var för system 1: 40 min och för system 2 37 min. Den maximala saltkoncentrationen i utloppet i relation till medelhalten - dvs totala saltmängden utspädd i hela flockningsvolymen - $(C/C_0)_{\max}$ var för båda systemen ca 1,1.

Omrörarnas varvtal uppmätttes och med hjälp av ritningar och vissa mätningar på platsen har effekttillförsel och \bar{G} -värdet uppskattats. Vattenmassans medrotation har antagits vara 40% av paddelhastigheten. I tabell 18-1 återfinns varvtal, beräknad effekttillförsel, \bar{G} -värde samt periferihastighet. Den totala paddelarean utgör ca 23% av minsta vertikala tankvärsnitt.

För effekttillförseln i flockningstankarna erhölls uttrycket:

$$w \approx 1.2 \cdot 10^{-2} \cdot n^3 \quad \text{watt/m}^3$$

där n är varvtalet på omrörare (varv/min)

\bar{G} -värdet erhålls enligt:

$$\bar{G} = \sqrt{\frac{w}{n}} \quad (1/s)$$

där n är vattnets viskositet, vid aktuell temperatur (6°C) gäller
 $n = 1.5 \cdot 10^{-3} \text{ Ns/m}^2$.

Tabell 18-1. Data för omrörare i flockningssystem.

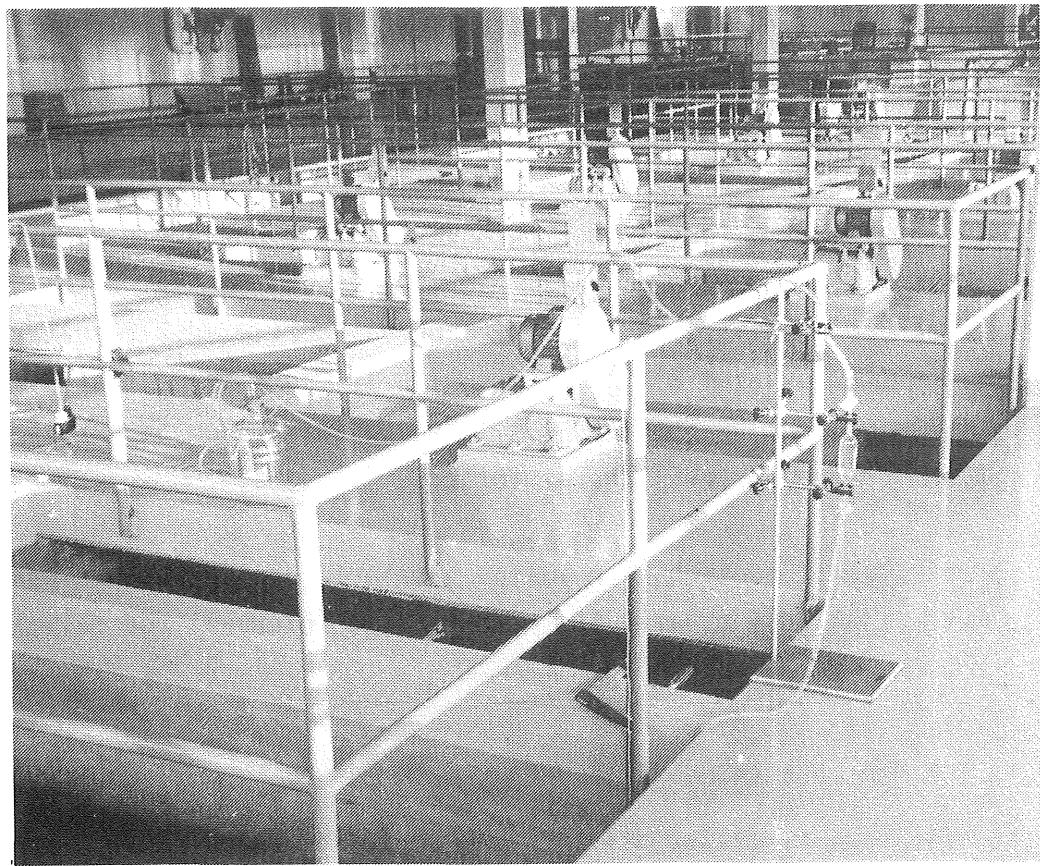
Kammare nr	1	2	3	4	5	6
Varvtal, n varv/min	3.6	2.1	1.3	1.5	1.3	0.8
Effekttillförsel, w watt/m ³	0.53	0.11	0.025	0.039	0.028	0.0066
Medelhastigetsgradient, G, 1/s	19	8.8	4.1	5.2	4.3	2.1
Periferihastighet, m/s	0.42	0.25	0.15	0.18	0.16	0.10

Flockens sjunkegenskaper uppmättes vid två tillfällen. Resultatet återfinns i fig 18.4 t o m 18.7..

Tabell 18-2. Sjunkhastigheter

	Medelsjunkhastighet v_m , m/h	Spridning σ , m/h
6/6		
Kammare 6, system 1	1.3	1.3
Kammare 6, system 2	0.8	0.9
Kammare 4, system 2	0.5	1.2
7/6		
Kammare 6, system 1	0.96	1.1
Kammare 6, system 2	0.82	1.0
Kammare 4, system 2	0.40	1.0

Flocksjunkegenskaperna är avsevärt sämre än man kan förvänta sig. Dels är effekttillförseln i flockningstankarna något för låg, dels bör nog den s k aktiveringens av vattenglas ses över. Den främsta bidragande orsaken till dåliga flockegenskaper är dock säkerligen ett felaktigt fällningspH. Uttagna dekantat- och filtratprov (se tabell 18-3) samt kontinuerlig pH-mätning har gett värden mellan pH 5.6 och 5.8. Enligt verkets personal uppnåddes pH-värdet 6.2 då mätning skedde med verkets lab pH-mätare.



18.4 Sedimentering

Vid aktuella flöden är ytbelastningen, räknat på total sedimenteringsyta 1.5 m/h för de båda systemen. I fig 18.4 och 18.6 är sjunkanalyserna omräknade till sedimenteringsresultat vid varierande sedimenteringsbelastning. Som jämförelse är det verkliga resultatet inritat. Det praktiskt sedimenteringsresultatet överensstämmer här väl med det värde som är härligt från sjunkanalysdata. Normalt ökar sjunkhastigheten med ökat sedimenteringsdjup så att man erhåller bättre driftsresultat än det från sjunkanalysen beräknade. Det betyder i detta fall att flockarna inte kan tillgodogöra sig det ökade sedimenteringsdjupet - från sjunkanalysens 0.3 m till sedimenteringsbassängens ca 1.8 m.

Sedimenteringsresultatet - ca 30-35% kvarvarande flock - innebär dubbelt så höga värden jämfört med vad som kan anses vara normalt. Det medför också en onödig belastning på filtren.

18.5 Filtrering

Prov uttogs från två filter, ett relativt nyspolat, samt ett med ca 1 dygns gångtid. Analysresultatet återfinns i tabell 18-3. En tydlig förhöjning av filtratets grumlighet märks vid en jämförelse av de två proven. Filtergång-

tiden är tydlig för lång vid aktuell dekantatqualitet. Båda filtratproven visar relativt höga aluminiumresthalter, vilket kan härföras till det låga fällningspH..

18.6 Resultat av fällningsförsök

Fällningsförsök utfördes under standardiserade betingelser med aluminiumsulfatdoserna 30, 40 resp 50 mg/l. Fig 18.2 visar resultat efter filtrering som funktion av pH. I fig 18.3 har på grundval av fig 18.2 resultatet uttryckts som funktion av aluminiumsulfatdosen, dels vid "optimalt" fällningspH (6.2) och dels vid det pH som verket tillämpade (5.7). Som jämförelse har analysvärdet för det bästa filtratet införts.

För att få ett godtagbart resultat har "erforderlig" aluminiumsulfatdos uträknats till 30.9 mg Al-sulfat/l. Lämpligt intervall för fällningspH: 6.0 - 6.5.

18.7 Sammanfattning, åtgärder

Fördelningen av flödet mellan systemen samt flödesmätaren fungerar bra, att döma av utförda saltförsök.

Effekttillförseln i båda systemen är något för låg. En möjlig åtgärd vore att öka varvtalet över lag med ca 50%.

pH-mätningen bör ses över. Här är viktigt att observera att vid kalibrering bör buffertar och elektrod hålla samma temperatur som råvattnet. Återgång till riktigt mätvärde efter buffert kan ta lång tid - för en bra elektrod 10-15 min. Kontrollera att elektroden är lämplig för pH-mätning vid låga temperaturer.

Nivån i anläggningen var vid besöket för låg. Detta innebär onödigt höga vattenhastigheter i öppningar mellan flockningskammare och i inloppet till sedimenteringen, där vissa inlopp delvis låg ovanför vattenytan.

Öka aluminiumsulfatdoseringen till ca 30 g Al-sulfat/m³.

Se över "aktivering" av vattenglas.

Tabell 18-3. Analysresultat

Prov nr	pH	Grumlighet FTU	UV-absorbans $E_{254}(4\text{ cm})$	Färgvärde $E_{436}(4\text{ cm})$	Permanganat- tal, mg KMnO ₄ /l	mg Al ³⁺ /l
1801	6.4	0.93	1.0	0.079	29.5	0.07
1801F	-	0.55	1.03	0.062	29.0	0.08
1802	6.4	0.85	1.06	0.077	26.1	0.08
1804	5.6	2.3	0.46	0.045	15.7	> 1.0
1806	5.8	0.13	0.29	0.015	6.8	0.32
1807	5.8	0.38	0.31	0.015	10.7	0.39

Prov nr

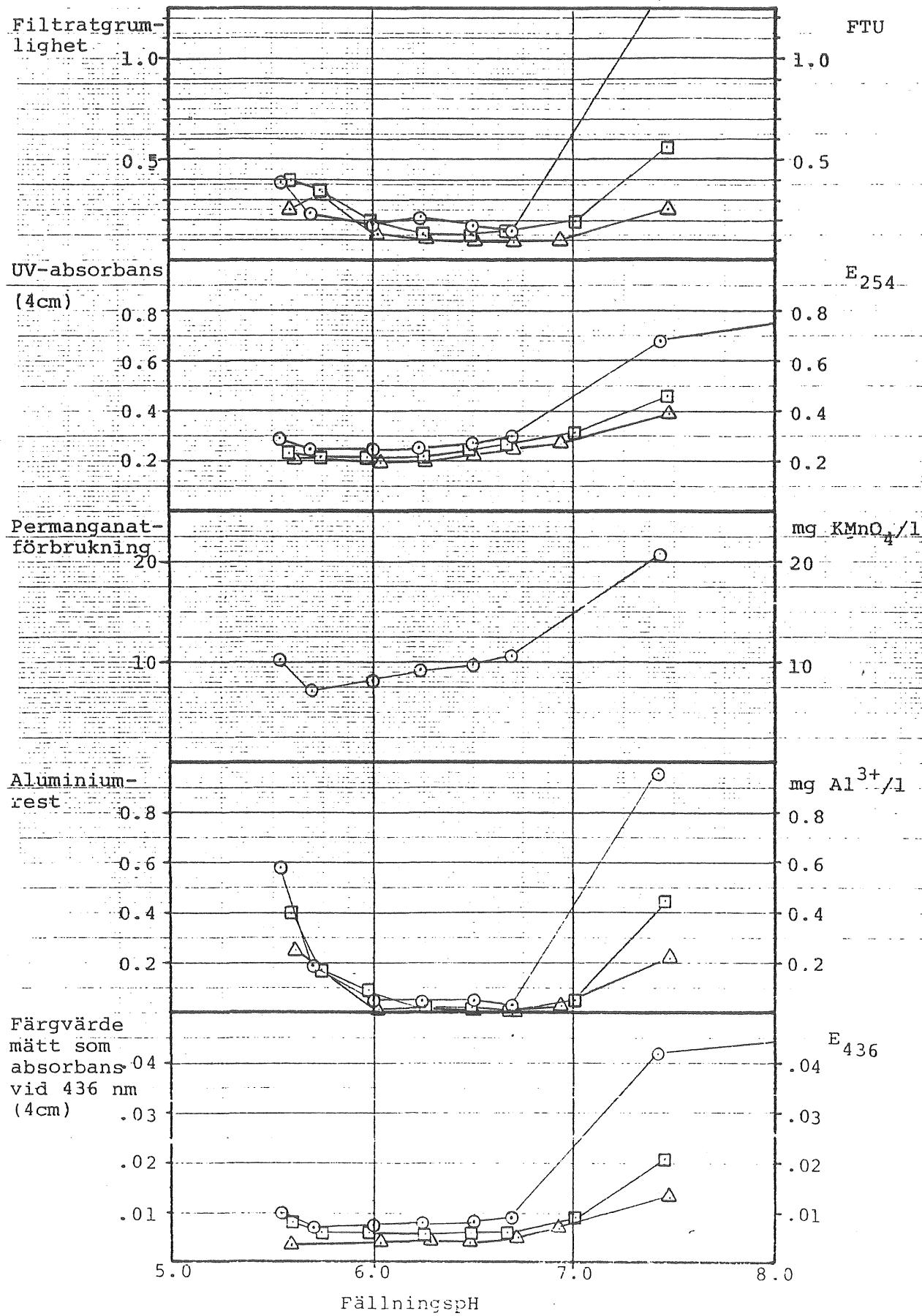
1801	Råvatten 6/6					
1801F	Råvatten 6/6, filtrerat prov					
1802	Råvatten 7/6					
1804	Dekantat, system 2 6/6	k1 11.00				Gångtid
1806	Filtrat, filter 1	" 11.00	spolat k1 07 6/6		3 h	
1807	Filtrat, filter 4	" 11.00	" 09 5/6	26 h		

Råvattnets alkalitet analyserades till 0.23 m ekv/l.

Figur 18.2

Härnösand
6-7/6 1979Resultat av fällningsförsök
Analysvärden efter filtrering

Al-sulfat-
dosering, mg/l
 ○ 30
 □ 40
 △ 50



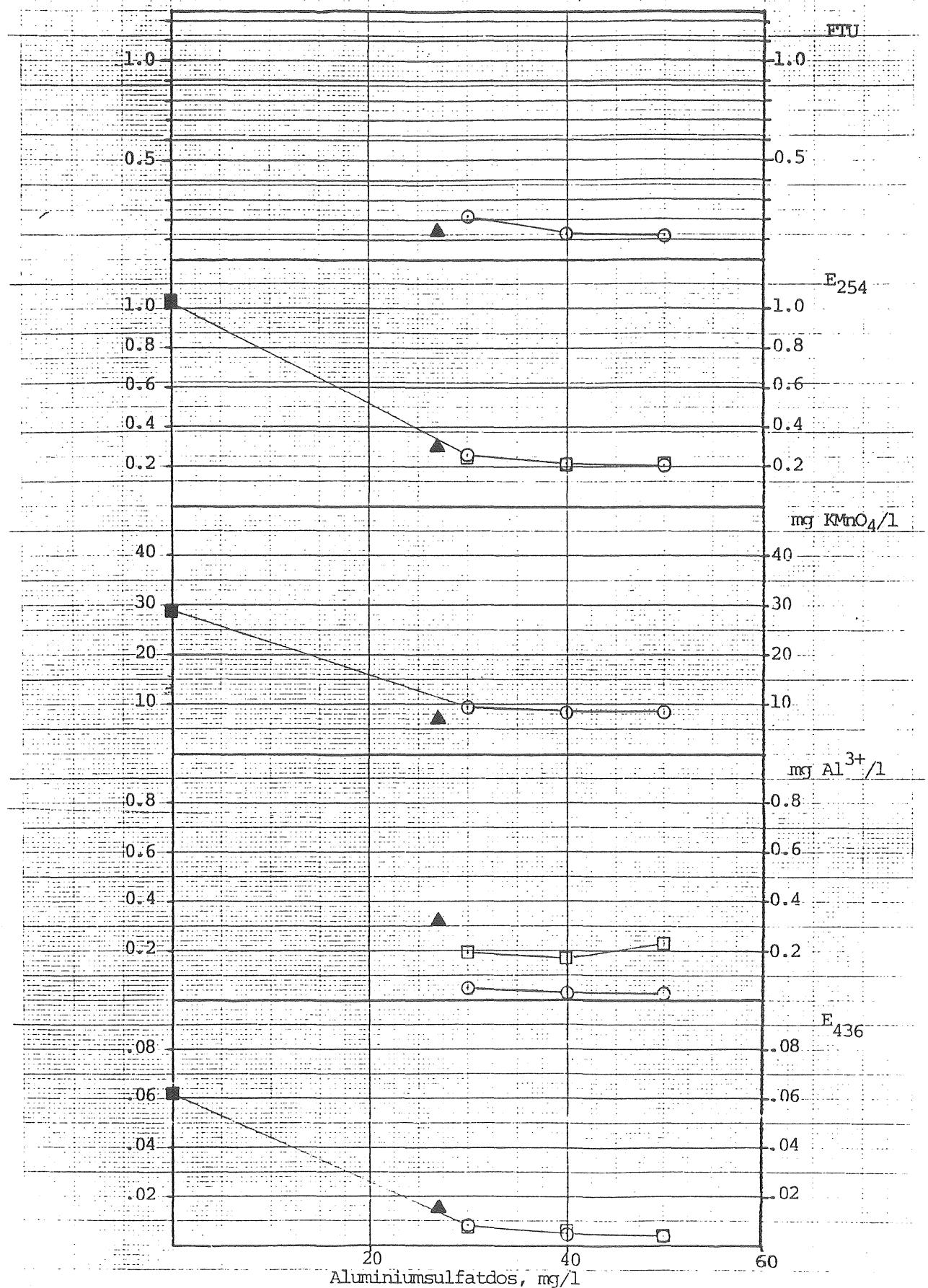
Figur 18.3

Härnösand

Resultat av fällningsförsök
som funktion av aluminiumsulfatdos.

Jämförelse med driftsresultat.

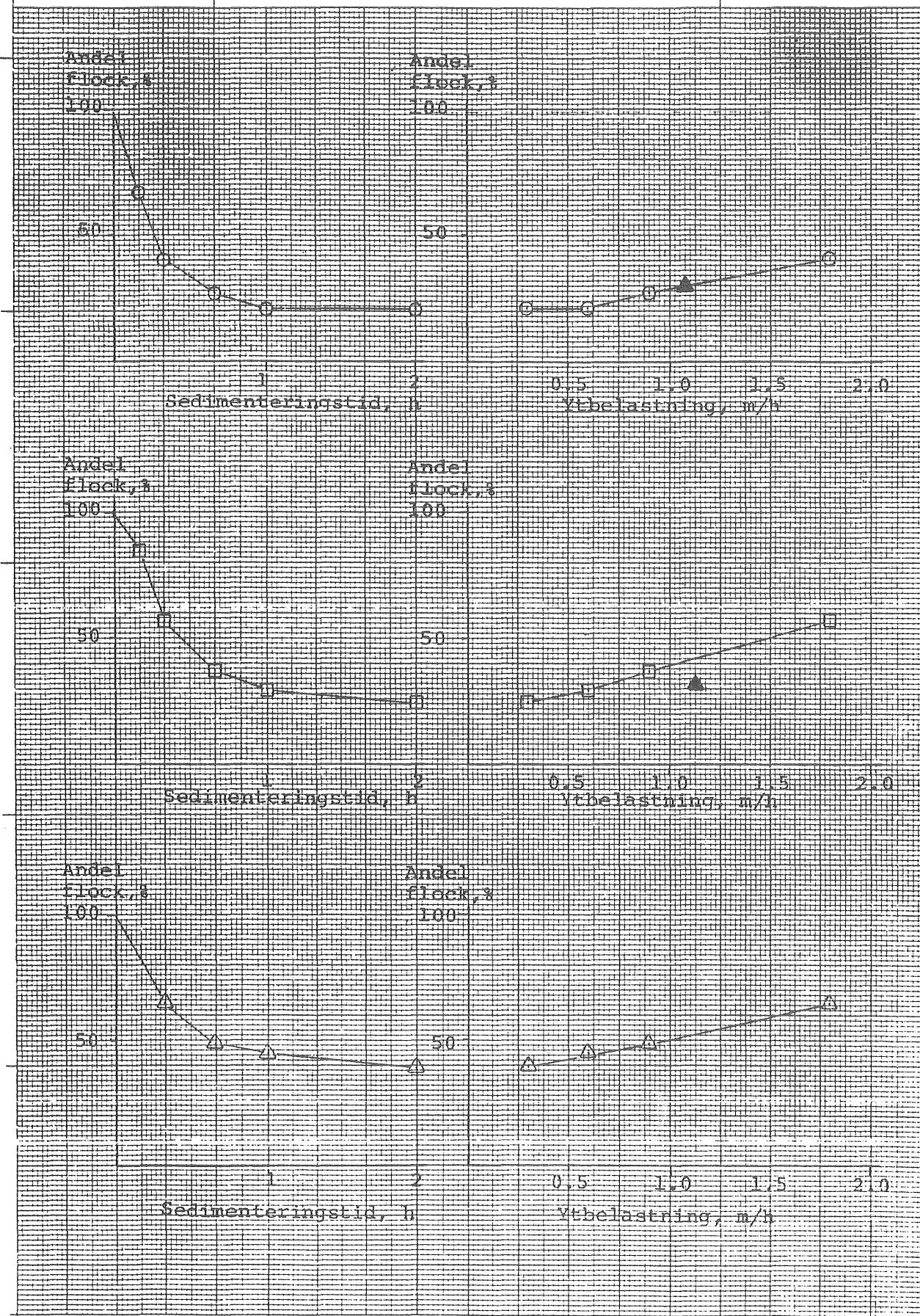
- FällningspH 6.2
- FällningspH 5.7
(verkets fällnpH)
- ▲ verkets driftres.
- filtrerat råvatten



Figur 18.4
Härnösand
6/6 1979

Sjunkanalyser och jämförelse
med praktiskt sedimentterings-
resultat.

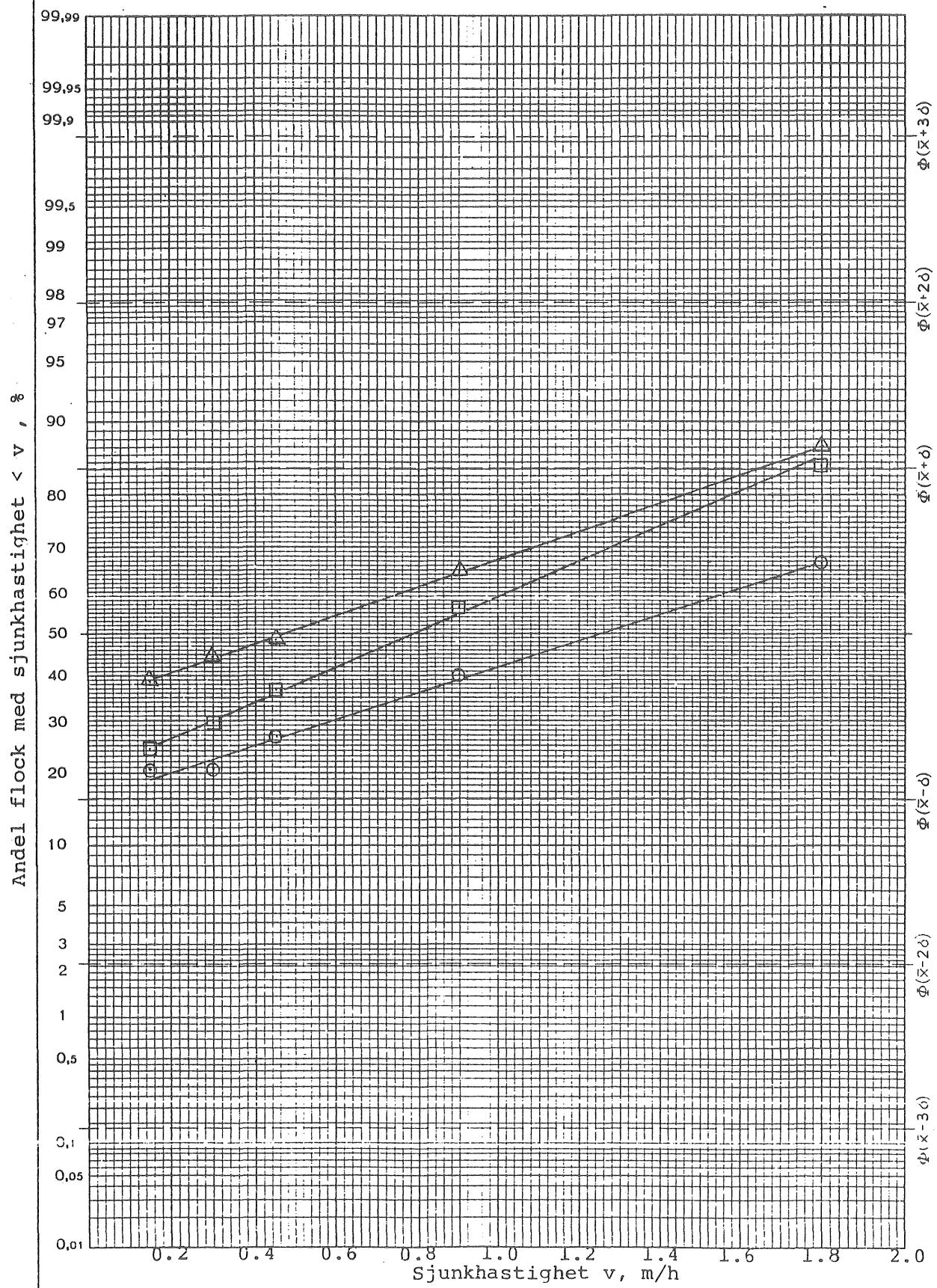
- System 1, kam 6
- System 2, kam 6
- △ System 2, kam 4
- ▲ driftresultat



Figur 18.5
Härnösand
6/6 1979

Utvärdering av sjunkanalyser

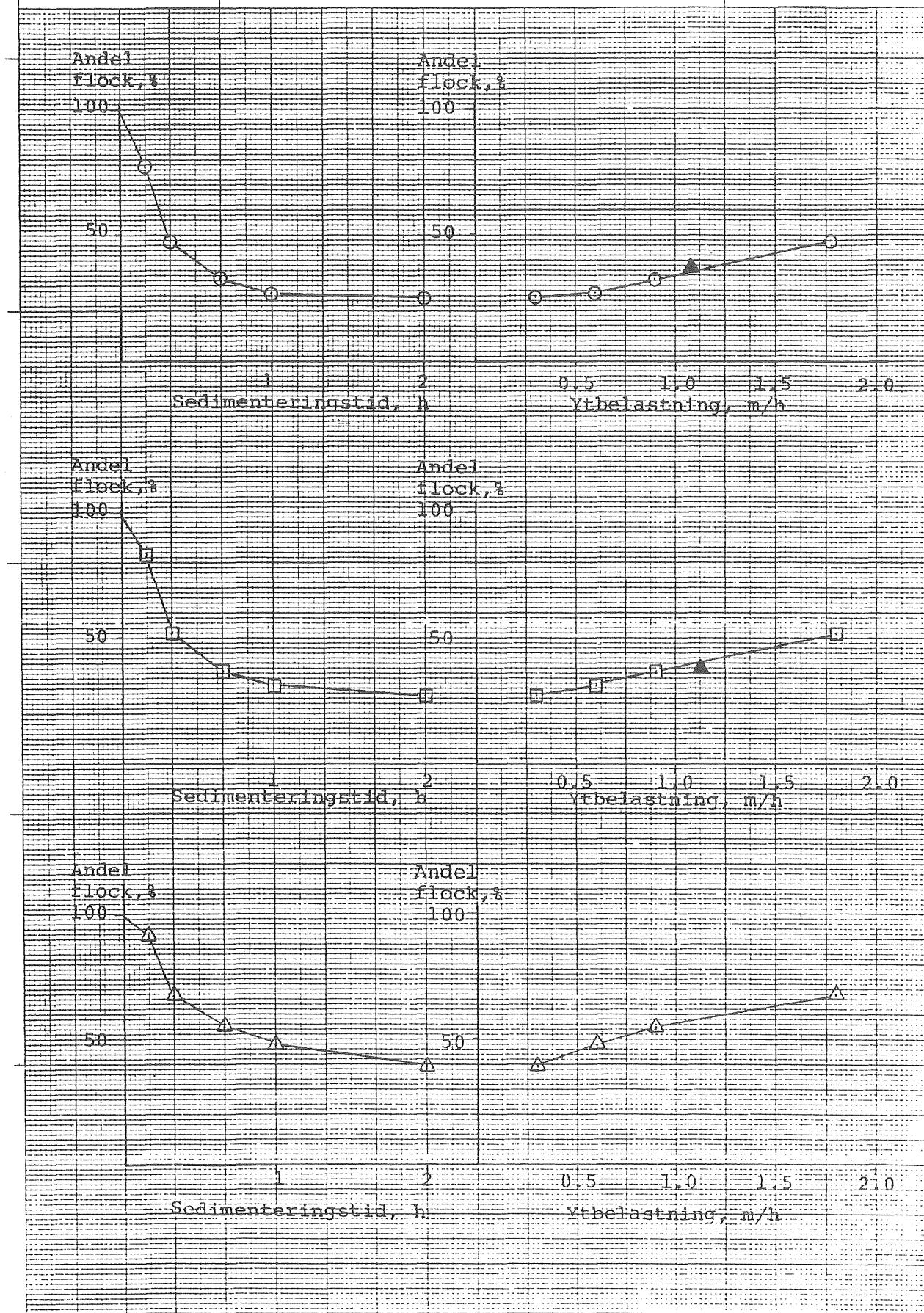
- System 1, kam 6
- System 2, kam 6
- △ System 2, kam 4



Figur 18.6
Härnösand
7/6 1979

Sjunkanalyser och jämförelse
med praktiskt sedimenterings-
resultat.

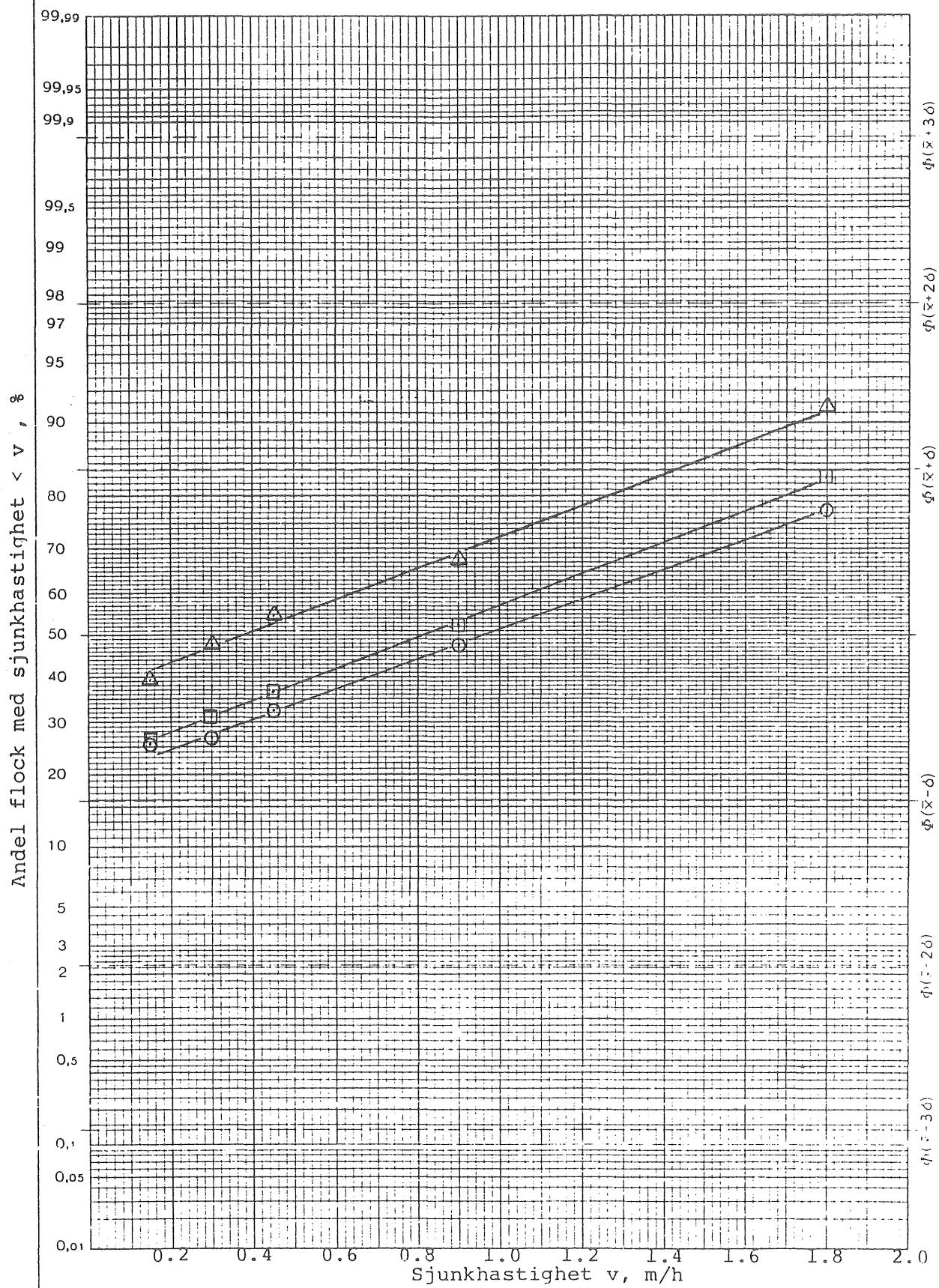
- System 1, kam 6
- System 2, kam 6
- △ System 2, kam 4
- ▲ driftresultat

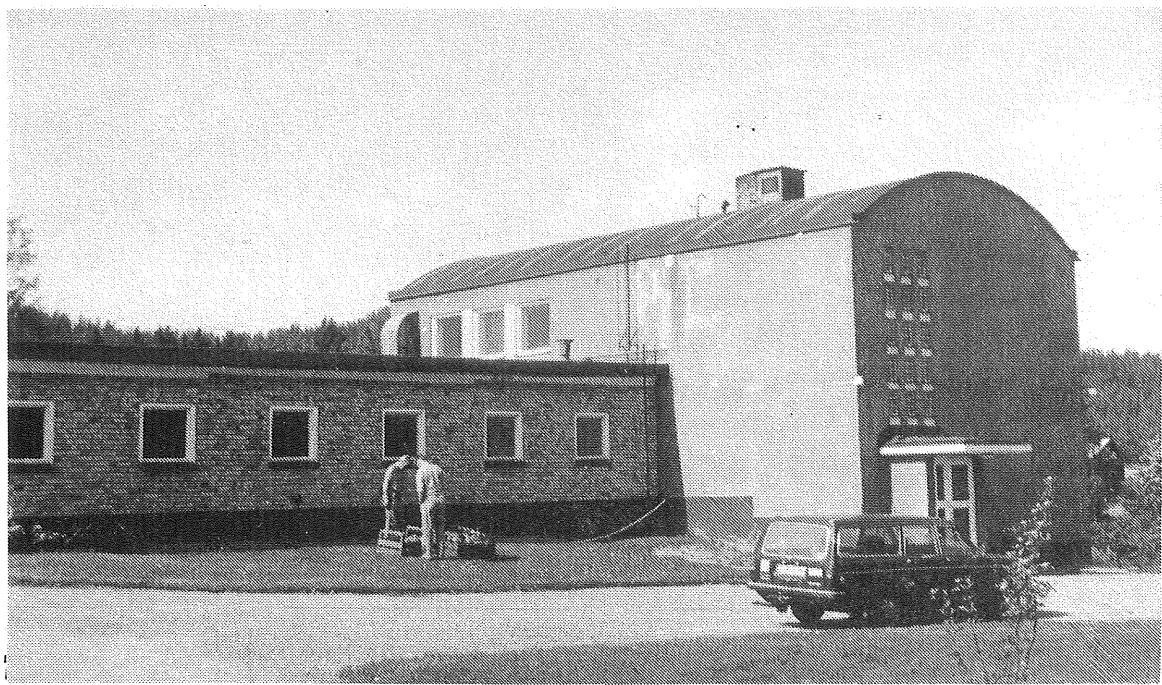


Figur 18.7
Härnösand
7/6 1979

Utvärdering av sjunkanalyser

- System 1, kam 6
- System 2, kam 6
- △ System 2, kam 4





19.1 Beskrivning av verkets funktion

Verket har två parallella flockningssystem med efterföljande sedimentering. System 1 och 2 består av fyra flockningstankar med vertikala omröraraxlar. I system 2 leds dessutom vattnet före sedimentering genom tre vertikala fack. Den totala flockningsvolymen är för system 1: 290 m^3 och för system 2: 300 m^3 . Sedimenteringen består av parallelströmningsbassänger med två bottnar. Den totala sedimenteringsytan är för system 1: 125 m^2 och för system 2: 160 m^2 .

Sandfilter: total yta 60 m^2 , uppdelad på fem filterenheter.

Angivna flöden och doseringar:

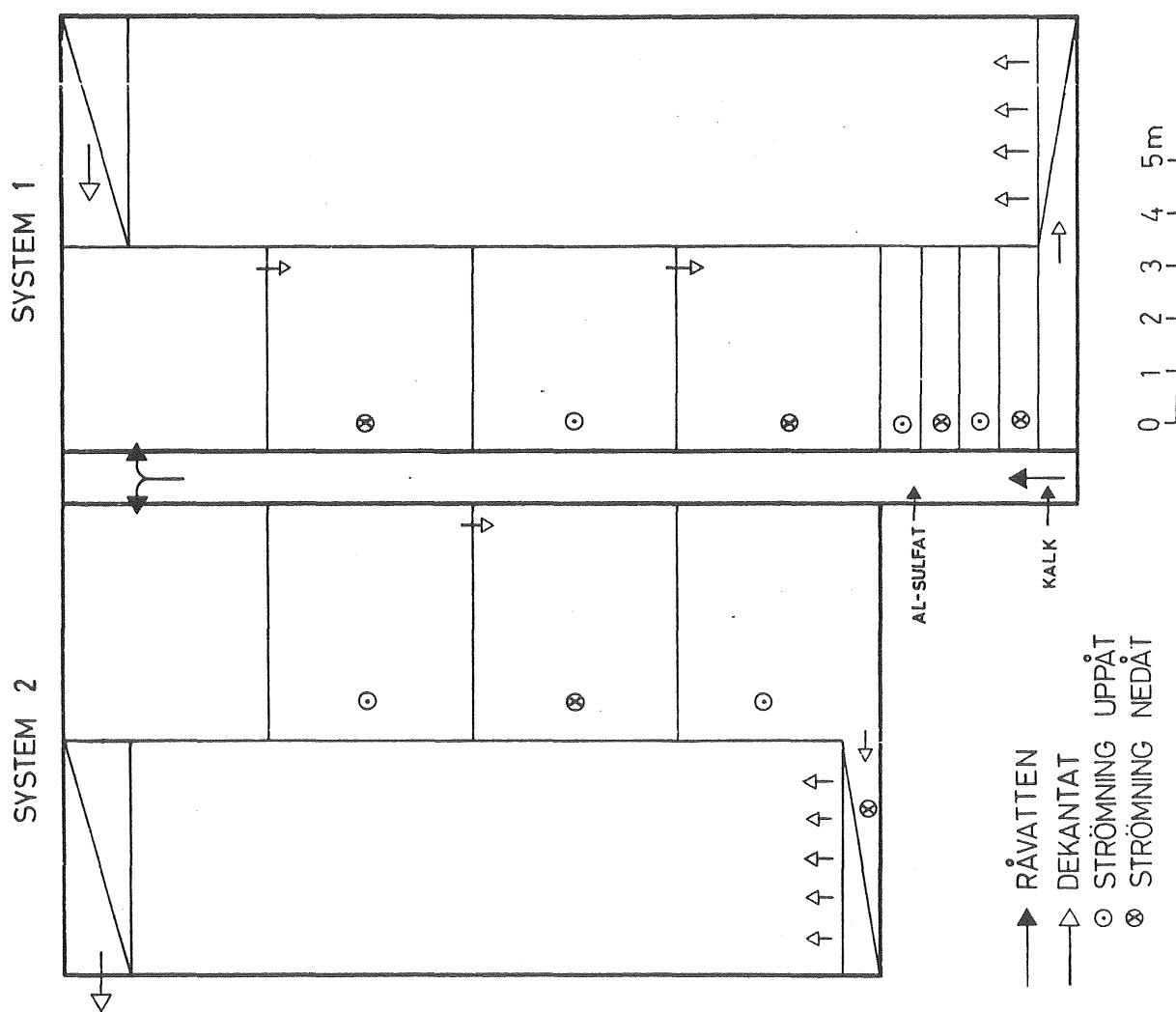
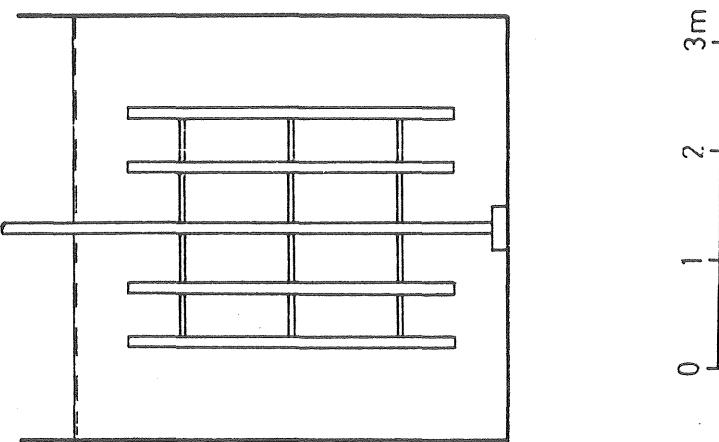
maxflöde: $11\ 000 \text{ m}^3/\text{d}$, medelflöde $7\ 000 \text{ m}^3/\text{d}$

aluminiumsulfat: 31 g/m^3

hjälpkoagulant: vattenglas ca 6 g/m^3

Vattenglaset blandas med soda och vatten före doseringen. För pH-justering används kalk. Slam töms i sedimenteringen varannan vecka. Filten drivs med fast tidsintervall: 65 tim på vintern och 50 tim på sommaren.

I fortsättningen gäller angivna värden endast de två besöksdygnen 11-12/6 1979.



Figur 19.1 Kramfors vattenverk

19.2 Flöden, doseringar

Flödet genom verket var enligt verkets råvattenmätare konstant $420 \text{ m}^3/\text{h}$. Vid de saltförsök som utfördes erhölls totalflödet $450 \text{ m}^3/\text{h}$, fördelat på respektive system 1 och 2 enligt: 240 resp $210 \text{ m}^3/\text{h}$.

Lösning av aluminiumsulfat bereds kontinuerligt. Mätning av mängd doserad aluminiumsulfat/tidseenhet gav den aktuella doseringen 31 g/m^3 . Koagulanten tillsätts tillsammans med kalk i en inblandningsränna gemensam för de två systemen.

19.3 Flockning

Uppmätt flöde ger flockningstid för system 1: 75 min, för system 2: 82 min. Saltförsöken visar en något gynnsammare flödesbild för system 2 än för system 1.

Omrörarnas varvtal uppmätttes och med hjälp av ritningar och vissa mätningar på platsen har effekttillförsel och \bar{G} -värdet beräknats. I beräkningarna har vattnets medrotation antagits vara 40% av vattenhastigheten. I tabell 19-1 återfinns varvtal, beräknad effekttillförsel och \bar{G} -värde, periferihastighet samt paddelarea som andel (%) av tankvärsnitt.

För effekttillförseln i system 1 erhölls uttrycket:

$$w \approx 1.6 \cdot 10^{-3} \cdot n^3 \quad \text{watt/m}^3$$

där n är varvtalet på omrörare (varv/min)

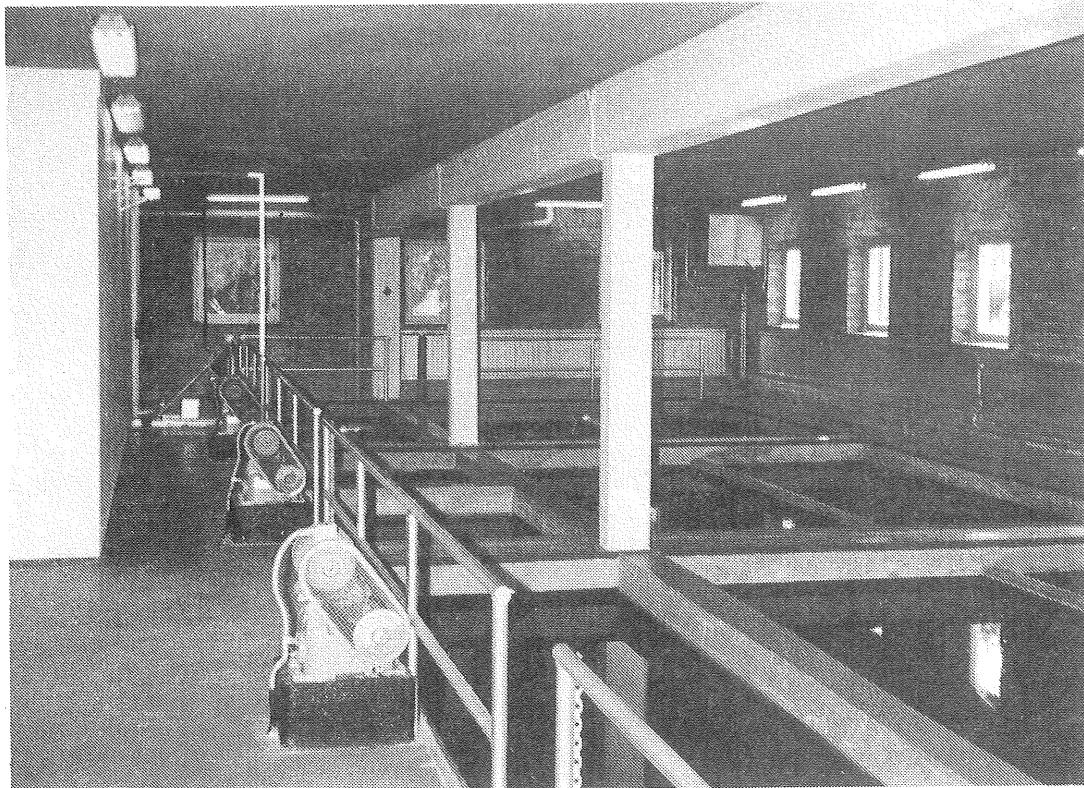
System 2:

$$w \approx 1.8 \cdot 10^{-3} \cdot n^3 \quad \text{watt/m}^3$$

\bar{G} -värdet erhålls enligt:

$$\bar{G} = \sqrt{\frac{w}{n}} \quad \frac{1}{\text{s}}$$

där n är vattnets viskositet, vid aktuell temperatur (15°C) gäller
 $\eta = 1.1 \cdot 10^{-3} \text{ Ns/m}^2$



Tabell 19-1. Data för omrörare i flockningssystem.

Kammare nr	1	2	3	4
SYSTEM 1				
Varvtal, n varv/min	1.2	1.1	0.95	1.9
Effekttillförsel, w watt/m ³	0.0027	0.0022	0.0014	0.011
Medelhastigets- gradient, G, 1/s	1.5	1.4	1.1	3.1
Periferihastighet, m/s	0.14	0.13	0.11	0.23
SYSTEM 2				
Varvtal, n varv/min	0	2.3	1.9	1.9
Effekttillförsel, w watt/m ³	-	0.022	0.013	0.013
Medelhastigets- gradient, G, 1/s	-	4.4	3.4	3.4
Periferihastighet, m/s	-	0.28	0.23	0.23
Paddelarea/ tanktvärsnitt är för båda systemen 7.5%.				

Effekttillförseln är för låg i båda systemen, med en omotiverad ökning av varvtalet i den sista flockningstanken i system 1. Omröraren i den första flockningstanken i system 2 stod stilla.

Detta ger också utslag i flockens sjunkegenskaper. Resultat av sjunkanalyser återfinns i fig 19.4 och 19.5.

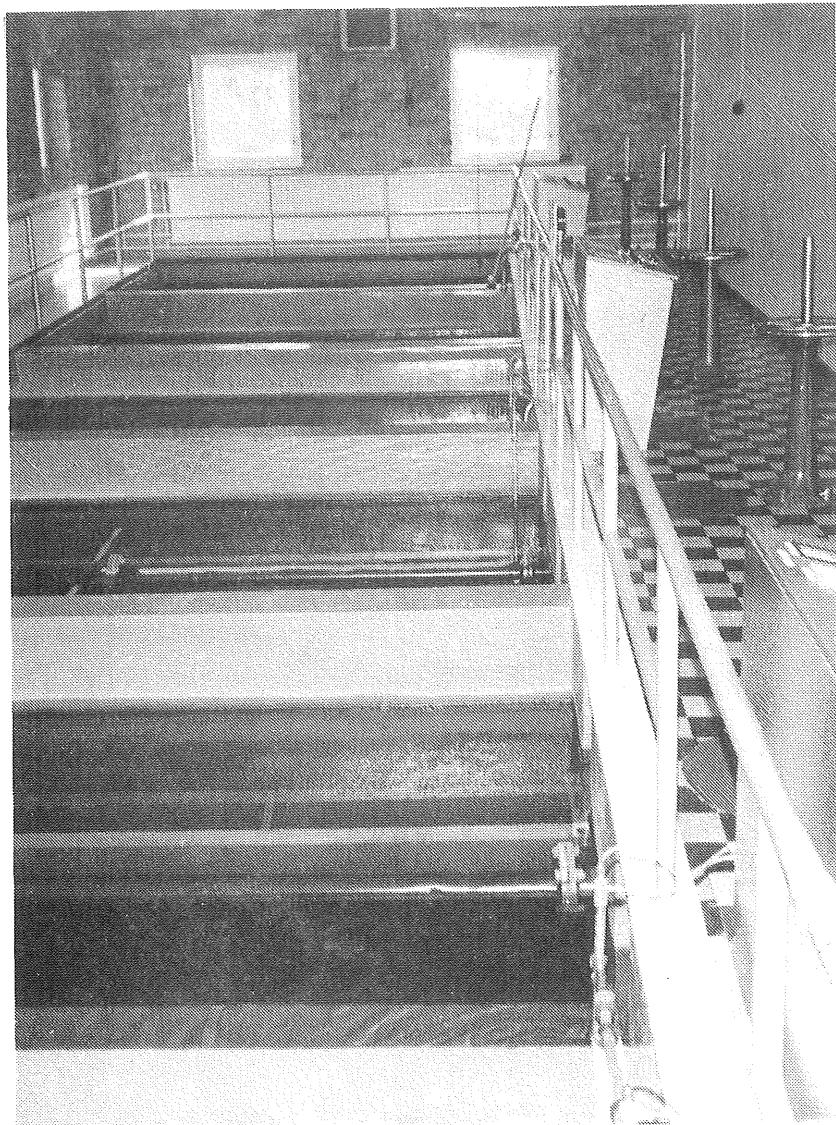
Tabell 19-2. Sjunkhastigheter

	Medelsjunkhastighet v_m , m/h	Spridning σ , m/h
Kammare 4, system 1	1.6	1.6
Före inlopp sediment, system 2	2.4	2.1
Kammare 3, system 2	1.6	1.6

Flocksjunkegenskaperna är sämre än man kan förvänta sig vid den aktuella vattentemperaturen samt med hänsyn till doseringen av hjälpkoagulant. Flocken i system 2 har dock på gränsen till godtagbara värden, medan flocken i sista tanken i system 1 har jämförbara värden med flocken i den tredje flockningstanken i system 2. Detta beror sannolikt på att effekttillförseln är för låg samt att fällningspH avviker något från det önskvärda vid aktuell dosering. Uttagna dekantat- och filtratprov (se tabell 19-3) ger värden mellan pH 5.7 och 5.9. Verkets mätare visade 5.7. Önskvärt fällningspH vid aktuell dosering ligger i ganska snävt intervall runt pH 5.9.

19.4 Sedimentering

Vid aktuella flöden är ytbelastningen, räknat på total sedimenteringsyta för system 1:1.8 m/h och för system 2:1.4 m/h. I fig 19.4 är sjunkanalyserna omräknade till sedimenteringsresultat vid varierande sedimenteringsbelastning. Som jämförelse är det verkliga resultatet inritat. Härvid antas att sjunkhastighetsfördelningen är oförändrad, oberoende av sedimenteringsdjupet (i regel ökar dock sjunkhastigheten med ökat djup). System 1 visar ett sämre resultat (ca 20% kvarvarande flock) än system 2 (ca 15%). Detta beror till en mindre del på den större belastningen hos system 1, den främsta orsaken är sämre sjunkegenskaper hos flock i system 1. Båda systemen visar bättre resultat än vad sjunkanalysen förutsäger. Det beror på att flockarna har förbättrat sina sjunkegenskaper i och med ökat sedimenteringsdjup - från sjunkanalysens 0.3 m till sedimenteringsbassängens ca 2 m.



19.5 Filtrering

Prov uttogs från tre olika filter, varav två relativt nyspolade och det tredje med en gångtid av ca 50 tim. De nyspolade filtren visar enligt tabell 19-3 godtagbara analysvärden. Däremot visar analyserna för filtret med en gångtid över två dygn markant förhöjning av samtliga analysvärden. Detta indikerar att två dygns gångtid är i längsta laget vid aktuell dekantatqualitet.

19.6 Resultat av fällningsförsök

Fällningsförsök utfördes under standardiserade betingelser med aluminiumsulfatdoserna 20, 30 resp 40 mg/l. Fig 19.2 visar resultat efter filtrering som funktion av pH. I fig 19.3 har på grundval av fig 19.2 resultaten uttryckts som funktion av aluminiumsulfatdosen, dels vid "optimalt" fällningspH (5.9) och dels vid det pH som verkets tillämpade (5.7). Som jämförelse

har analysvärdens från det bästa filtratet införts.

För att få ett godtagbart resultat har "erforderlig" aluminiumsulfatdos uträknats till 36.5 mg Al-sulfat/l. Lämpligt intervall för fällningspH: 5.9 - 6.1.

19.7 Sammanfattning, åtgärder

Utförda saltförsök visar att flödet i system 1 är ca 15% högre än i system 2. Med tanke på att system 2 både har större flockningsvolym och total sedimenteringsyta borde förhållandet vara det omvänta.

Omrörningsintensiteten är för låg i början av båda systemen. Sannolikt skulle en höjning av varvtalet påverka flocksjunkeskapserna påtagligt i positiv riktning så att ett bättre sedimenteringsresultat skulle erhållas. Om resultatet efter sedimentering förbättras innebär det också att man kan tillåta sig längre filtergångtider. Här föreslås att varvtalet på omrörarna ändras till ca 8 varv/min i den första flockningstanken, ca 5.5 varv/min i den andra, 3.5 i den tredje samt 2.5 i den sista flockningstanken.

Fällningsförsöken visar att en höjning av aluminiumsulfatdoseringen till 40 g Al-sulfat/m³ påtagligt skulle förbättra renvattnskvaliteten.

I resultaten kan inte spåras någon större inverkan av den relativt höga doseringen vattenglas. Effekten av denna kemikalie vid nuvarande förfaringssätt kan därför ifrågasättas. Receptet till den s k aktiveringens av kisel-syran bör ses över.

Tabell 19-3. Analysresultat

Prov nr	pH	Grumlighet FTU	UV-absorbans E254(4 cm)	Färgvärde E436(4 cm)	Permanganat- tal, mg KMnO ₄ /l	mg Al ³⁺ /l
1901	6.7	0.71	1.40	0.096	39.5	0.09
1901F	6.7	0.41	1.40	0.085	38.3	0.10
1902	6.8	0.74	1.40	0.092	38.3	0.10
1904	5.8	1.4	0.42	0.027	15.6	0.60
1906	5.9	0.10	0.29	0.008	11.4	0.03
1907	5.6	0.7	0.37	0.020	17.5	0.37
1908	5.7	0.10	0.30	0.008	11.5	0.07

Prov nr

1901 Råvatten 11/6

1901F Råvatten 11/6, filtrerat prov

1902 Råvatten 12/6 kl 12.00

1904 Dekantat, system 1 " 12.00

Gångtid

1906 Filtrat, filter 4 " 12.00 spolat kl 11 11/6 1 h

1907 Filtrat, filter 5 " 12.00 " 08 9/6 52 h

1908 Filtrat, filter 3 " 16.45 " 07 11/6 7 h

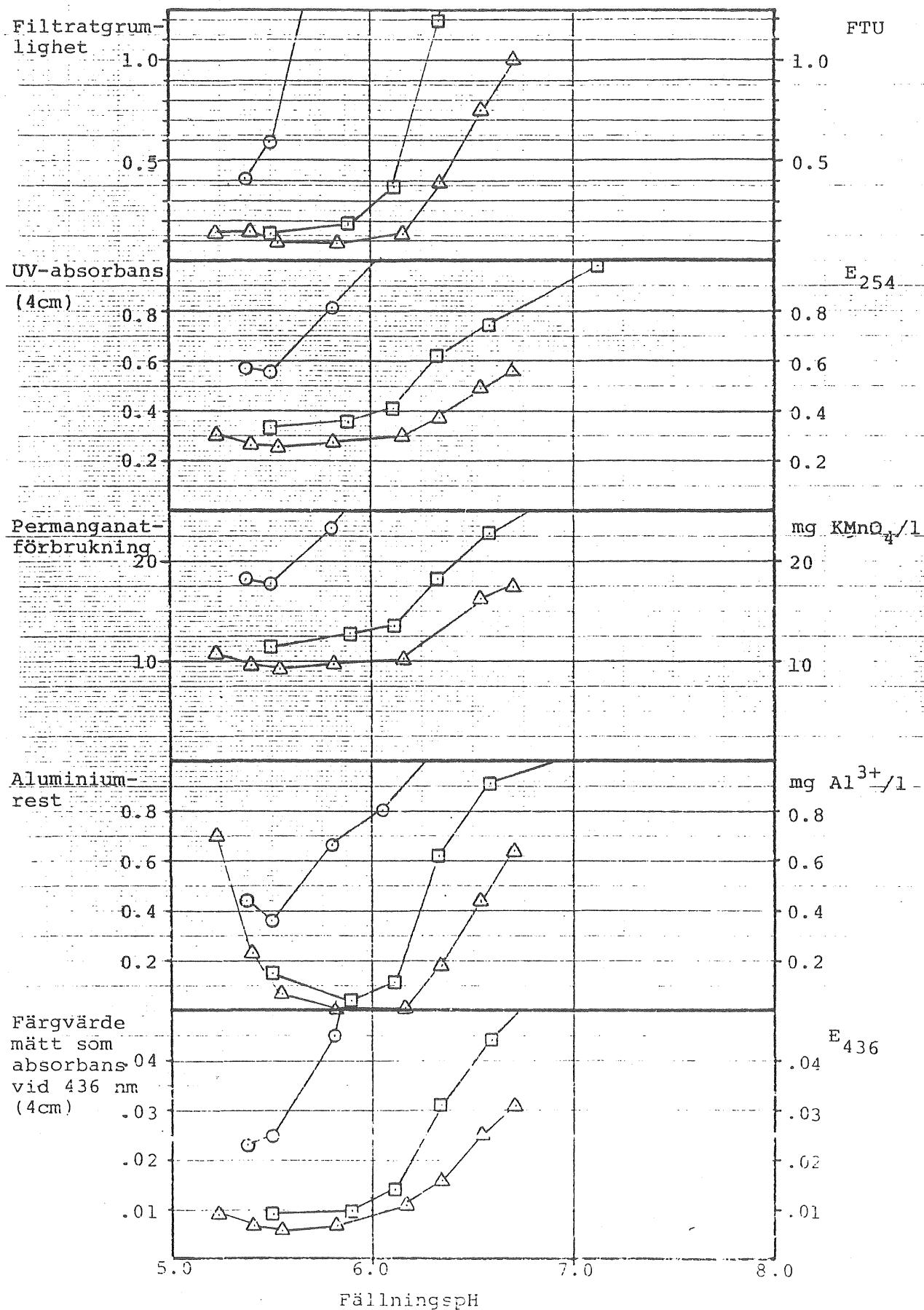
Råvattnets alkalitet analyserades till 0.13 mekv/l.

Figur 19.2

Kramfors
11-12/6 1979Resultat av fällningsförsök
Analysvärden efter filtrering

Al-sulfat-
dosering, mg/l

- 20
- 30
- △ 40



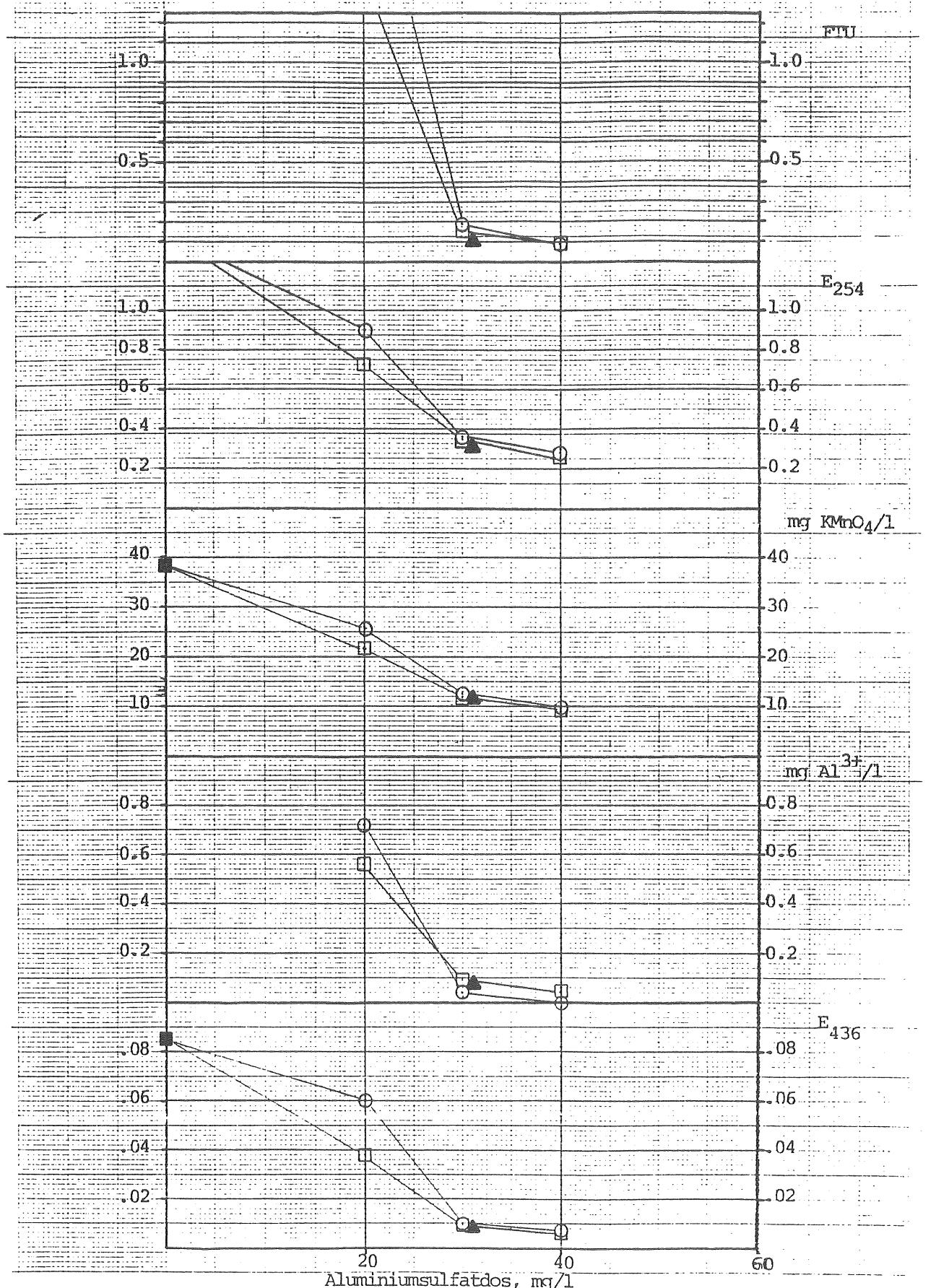
Figur 19.3

Kramfors

Resultat av fällningsförsök
som funktion av aluminiumsulfatdos.

- FällningspH 5.9
- FällningspH 5.7
(verkets fällnpH)
- ▲ verkets driftres.
- filtrerat råvatten

Jämförelse med driftsresultat

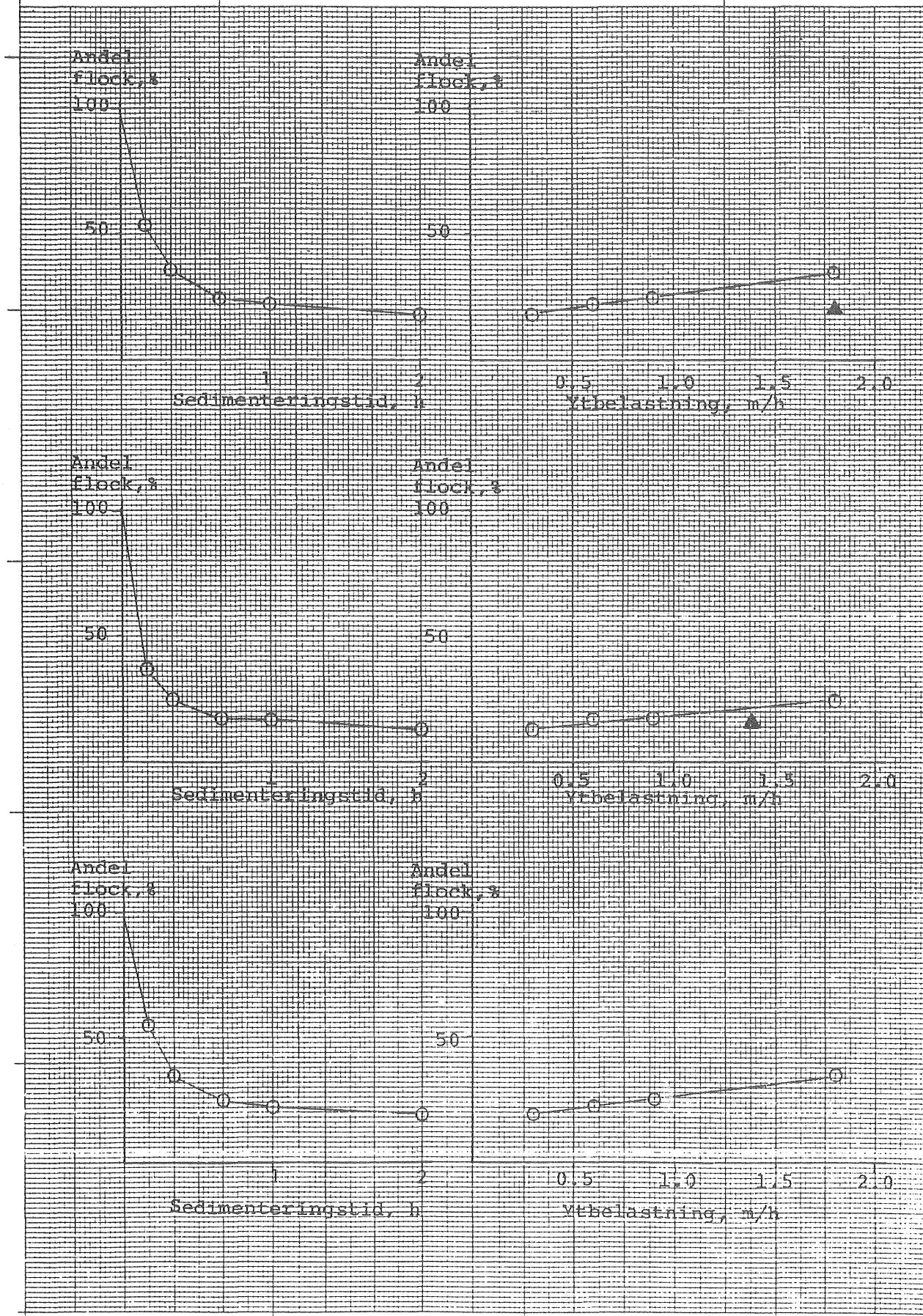


Figur 19.4

Kramfors

Sjunkanalyser och jämförelse
med praktiskt sedimentterings-
resultat.

- kammare4, syst1
- inl sed syst 2
- △ kammare3, syst2
- ▲ driftresultat



Figur 19.5
Kramfors

Utvärdering av sjunkanalyser

v_m

1.56

1.60

σ

2.36

2.06

v_m

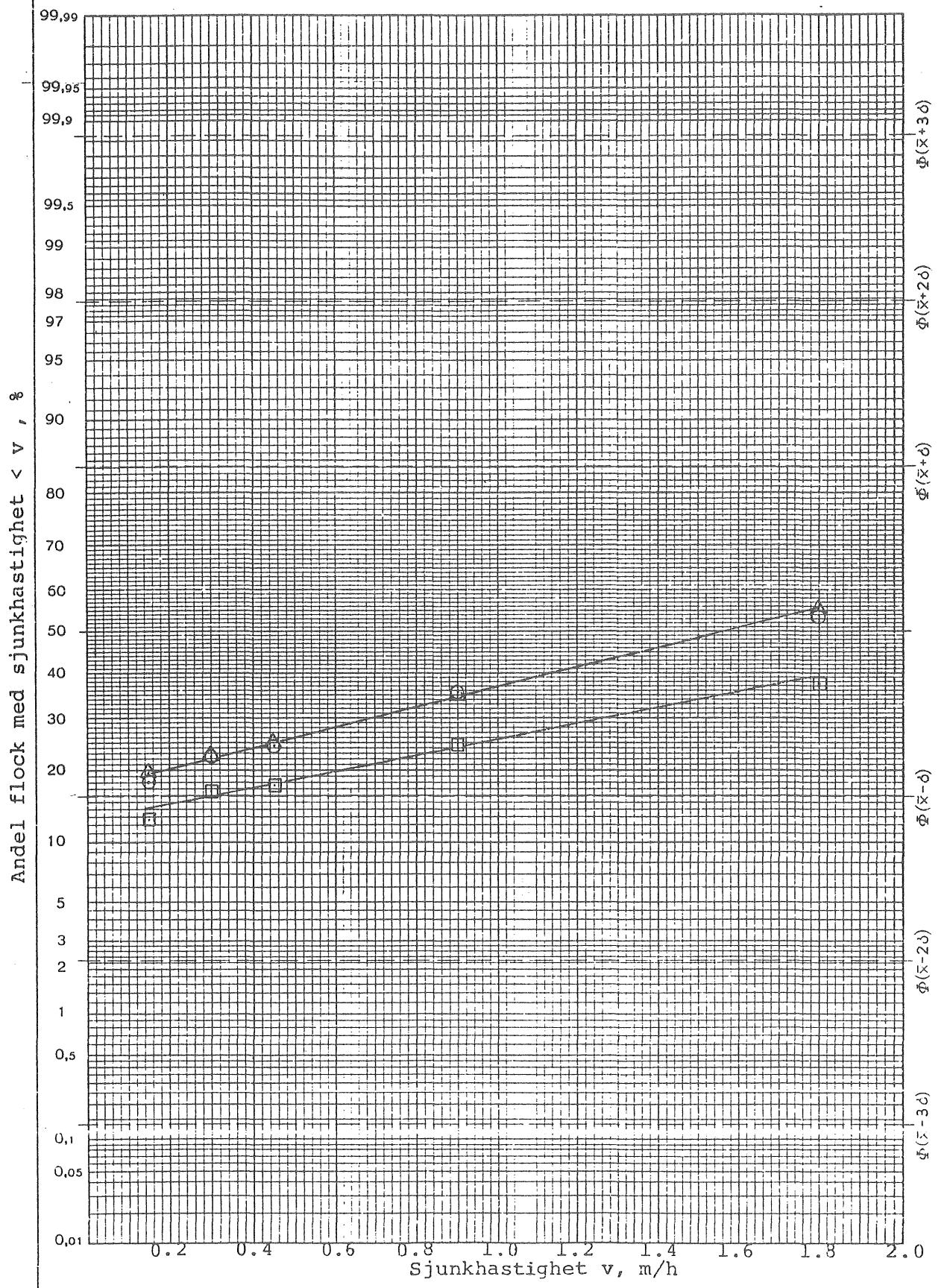
1.56

1.60

○ kammar 4, syst 1

□ int. sed syst 2

△ kammar 3, syst 2



ANALYSER - UTFÖRANDE OCH INNEBÖRD

pH-värde

Att mäta pH vid låg temperatur ($<10^0\text{C}$) och låg buffertkapacitet (= låg vätekarbonathalt $<20 \text{ mg HCO}_3^-/\text{l}$) hos vattnet kan bereda stora svårigheter. Följande principer har tillämpats vid pH-mätning: För det första måste man se till att elektroden är tämpad för mätning vid låga temperaturer - en s k lågtemperaturelektrod. För det andra bör alltid mätningen ske vid aktuell vattentemperatur och även elektroden hållas kyld och buffras (helst med två buffertar) vid denna temperatur. Det har visat sig att pH-värden för ett kallt vatten mätta med en pH-elektrod lagrad och buffrad vid rumstemperatur kan avvika högst väsentligt från det värde man får vid ett riktigt förfarande. pH-mätarens eventuella temperaturjustering fungerar här inte tillfredsställande. Elektroder till labinstrument kan förvaras i provrör med destillerat vatten nedsänkt i ett vattenbad med rinnande vatten. Detsamma gäller buffertlösningar - fabrikanten kan ge upplysning om hur pH-värdet förändras med temperaturen om detta inte står angivet på förpackningen. Vid kontinuerliga pH-mätare gäller naturligtvis detsamma för buffertlösningar. Vidare: pH-mätningen tar tid. Den tid det tar för en bra pH-elektrod att åter visa riktigt värde efter en buffering kan uppgå till 10-15 min. Om mätningen sker i laboratoriet innebär också väntetiden en uppvärmning av provet. Tag därför gärna ett nytt prov om inte stabila värden erhålls.

Vid mätningarna har en digital pH-mätare, Radiometer PHM 52b, med Ingold lågtemperaturelektrod använts.

Grumlighet

Grumligheten eller turbiditeten hos ett vatten är ett mått på mängden partiklar. Ett vatten kan innehålla en hög halt av små partiklar utan att dessa är direkt synliga för ögat. Låter man emellertid en ljusstråle passera genom vattnet blir partiklarna indirekt synliga genom att ljusstrålen kan iakttas från en punkt vinkelrätt mot strälens riktning (Tyndall-effekten). Detta fenomen utnyttjas i de flesta metoder för grumlighetsmätning. Man mäter då hur stor del av utsänd ljus som kan uppfångas i en fotocell placerad vinkelrätt mot den inkommande ljusstrålen. Resultatet av mätningen anges som grumlighet i olika enheter, beroende på vilken referens man använder. Grumlighetsmätningen utförs för att få ett mått på vattnets halt av fasta partiklar. Luftbubblor i provet kan dock ge ett missvisande resultat.

Formazin är ett ämne som i vattenlösning ger kolloidala partiklar med partikelstorlek och form som är stabila och reproducerbara och därför lämpliga som grumlighetsmått. Mätenheten kallas FTU (Formazin Turbidity Unit). Grumligheten har mätts med Hach Turbidimeter 2100 A.

Hur ett bestämt grumlighetsmått skall tolkas och överföras i koncentration av fast substans är mycket problematiskt. Grumligheten är beroende av partikelstorlek, antal och form samt partiklarnas ljusreflektionsegenskaper. Om man väl känner till partiklarnas egenskaper, dvs man kan anta att partikelstorlek, form och reflektionsegenskaper är konstanta, blir grumligheten ett mått på innehållet av fasta ämnen. En sådan approximation kan ofta tillämpas inom renvattentekniken vid grumlighetsmätning av dekanterat och filtrerat vatten. Härvid är viktigt att provet behandlas på ett enhetligt sätt, t ex omskakning för att man skall ha fog för att antaga att partikelstorleksfördelningen är lika. (Efter omskakningen bör dock tillräcklig tid förflyta för att tillåta indrivna luftbubblor att försvinna ur provet innan mätning utförs). Ett grumlighetsmått är dock mindre meningsfullt i jämförelse mellan råvatten och behandlat vatten eftersom förekommande partiklar är av olika karaktär. Normala värden:

	FTU
råvatten	0.5 - 5
flockat vatten	4 - 20
dekantat	0.5 - 2
filtrat	0.08 - 0.2

Alkalitet

Ett vattens alkalitet är förmågan att neutralisera tillsats av en syra. Mätningen tillgår så att en syra tillsätts. Den mängd som åtgår för att komma ner till ett visst pH-värde eller erhålla omslag hos en färgindikator svarar mot vattnets alkalitet. För naturliga vatten med pH lägre än 8.4 är vätekarbonatjonen, HCO_3^- i regel den komponent i vattnet som ger det huvudsakliga bidraget till alkaliteten. Alternativa benämningar på samma analysresultat kan därför vara: alkalitet, alkalinitet, vätekarbonathalt, karbonathårdhet, m-värde (metylorange används som indikator) och syrakapacitet. Här har titrering skett med 0.01 molar saltsyra ned till pH 4.3, varför den erhållna alkaliteten även kan betecknas som syrakapacitet till pH 4.3, SK_{4.3}.

$$\text{mg } \text{HCO}_3^-/\text{l} = 61 \cdot \text{alkalitet (m ekv/l)}$$

Råvattnets alkalitet har betydelse för den mängd av pH-justerande kemikalie som skall doseras för att uppnå lämpligt fällningspH. I avsnittet "Fällningsförsök" har relaterats hur erforderlig dos pH-justerande kemikalie kan beräknas, beroende av bl a alkaliteten, där betecknad B m ekv/l. Den metod och det diagram som relateras där ger dock dålig överensstämelse med praktisk resultat vid låga alkalitetsvärdet (< 0,2 mekv/l).

Spektrofotometriska mätningar

En spektrofotometer mäter hur mycket ljus av en viss våglängd som ett vattnet absorberar. Mätvärdet uttrycks som absorbans (= negativa logaritmen för andelen ljus som passerar genom provet) vid en viss våglängd och betecknas t ex E_{254} , där ljus av våglängden 254 nm ($254 \cdot 10^{-9}$ m) har använts. Ljusabsorptionen är beroende av ljusstrålens väg genom provet. Kyvett-längden brukar vara 1 cm om inget annat anges. Här har i regel använts kyvettter med längden 4 cm för att få en ökad noggrannhet. Absorbansvärdet är direkt proportionellt mot kyvett-längden, varför omräkning lätt kan göras. Vid mätningarna användes en Beckman spektrofotometer DB-G. De spektrofotometriska mätningarna har gjorts för att få ett mått på vattnets halt av organiskt material främst i löst form. I naturliga vatten består det organiska materialet i huvudsak av s k humus, dvs komplicerade ämnen som är nedbrytningsprodukter av växter och annat organiskt material i naturen. Dessa ämnen absorberar i hög grad icke synligt ultraviolett ljus. Man har valt att mäta absorbansen vid 254 nm. Detta värde visar god samvariation med andra mått på organiskt material, t ex permanganatförbrukning. Sambandet kan dock bli olika för olika typer av råvatten.

Traditionellt har ett vattens färgvärde (mg Pt/l) analyserats som mått på halten humusämnen. Färgvärdet har här analyserats med hjälp av spektrofotometer vid våglängden 436 nm (synligt ljus). Vid dessa ljusvåglängder kan en hög grumlighet hos vattnet ge förhöjda färgvärden. En approximativ omräkning från absorbansvärdet vid 436 nm och 4 cm kyvett till mg Pt/l kan dock göras enl

$$\text{mg Pt/l} \approx E_{436} (4 \text{ cm}) \cdot 500$$

	$E_{254}(4 \text{ cm})$	$E_{436}(4 \text{ cm})$
Normala värden råvatten	0.6 - 1.4	0.03 - 0.08
filtrat	0.20- 0.30	0.003- 0.006

Kaliumpermanganatförbrukning

Sedan över 100 år har vattnets halt av organiska ämnen analyserats som permanganatförbrukning. Detta är ett bra skäl att fortsätta. Metoderna varierar dock något (här har den s k oxalatmetoden använts). Metoden går ut på att med hjälp av kaliumpermanganat, $KMnO_4$, på kemisk väg bryta ner - oxidera - organiskt material. Resultatet anger hur mycket $KMnO_4$ provet har förbrukat. Normala värden kan anges till

mg $KMnO_4/1$

råvatten	20-40
filtrat	7-12

Aluminiumrest

Vattnets halt av aluminium efter filtrering antyder hur effektivt den tillsatta aluminiumsulfatmängden har utnyttjats vid verket. Aluminium i vatten har hittills inte ansetts innebära några hälsorisker, men nya forskningsresultat tyder på att det kan innebära en risk under vissa förhållanden. En hög resthalt av aluminium kan ge problem i form av avlagringar i ledningsnätet. Höga värden efter filter orsakas av någon eller några av följande felaktigheter i driftförhållandena vid verket:

- 1) Felaktigt fällningspH
- 2) Filtergångtider är för långa
- 3) Aluminiumsulfatdoseringen är för låg.

Inverkan av en förändring av fällningspH eller aluminiumsulfatdosering framgår i regel tydligt av redovisade fällningsförsök.

Aluminium har bestämts på VA-tekniks laboratorium fotometriskt med Alizarin S enl Deutsche Einheitsverfahren zur Wasseruntersuchung, kap E9.

Normala värden för filtrerat vatten bör ligga under 0.05 mg $Al^{3+}/1$.

FÄLLNINGSFÖRSÖK

Syfte

Avsikten med fällningsförsöken på varje vattenverk var att få jämförbara värden för varje råvatten, hur reningsresultatet påverkas av variationer i aluminiumsulfatdos och fällningspH. Därför utfördes fällningsförsöken i laboratorieskala enligt en standardiserad metod. Härvid kan varje vattenverks förutsättningar i form av råvattenegenskaper vid besökstillfället kartläggas, och verkets driftsresultat kan relateras till det i labskala uppnådda "möjliga" resultatet. Resultaten av fällningsförsöken kan användas för beräkning av erforderlig aluminiumsulfatdosering och lämpligt intervall för fällningspH.

Utförande

Försöksmetodiken efterliknar ett vattenverk med konventionell kemisk fällning med flockning genom omrörning samt sedimentering och filtrering (genom filterpapper). De resultat som redovisas är i huvudsak analyserade på filtrerat vatten.

Försöken utfördes i 2 l-bägare, vilka under flockning och sedimentering var nedsänkta i ett vattenbad genomspolat av renvatten från vattenverket. På detta sätt erhölls konstant vattentemperatur under fällningsförlloppet. Bägarna har kvadratiskt tvärsnitt (90 • 90 mm) och höjden 310 mm. Omrörarnas hastighet är variabel. På den vertikala omröraraxeln är fyra horisontella paddelblad (60•14 mm) fästade med inbördes avstånd av ca 35 mm. Under flockningen tillämpas varvtal och resp varaktigheter enl nedanstående tabell. I denna återfinns också omrörningsintensiteten uttryckt som medelhastighetsgradienten \bar{G} , beräknad under förutsättning av 5°C vattentemperatur och utifrån utförda mätningar.

Varvtal, n varv/min	200	150	85	25
Varaktighet, min	2	4	8	16
\bar{G} -värde, s^{-1}	200	140	60	10

Under intensivomrörning tillsattes först erforderlig mängd pH-justerande kemikalie, sedan aluminiumsulfatdosen. Flockningstiden och omrörning enligt schemat ovan påbörjades då vattnet i samtliga åtta bägare försetts med

kemikalier. Efter flockningstidens slut (30 min) togs omrörarna ur bägarna för sedimentering 60 min. Under flockningen hade fällningspH kontrollerats och grumlighetsprov uttagits, representerande 100% flock, i varje bägare. Efter sedimenteringen togs prov för grumlighetsmätning på 15 cm djup för att bestämma andelen flock med en sjunkhastighet lägre än 0,15 m/h.

Resterande vatten användes för filtrering genom filterpapper (Munktell 00 52-80-150) i en analystratt. De första 100 ml av filtratet kasseras, ca 500 ml av filtratet användes för analyser. För analys av permanganatförbrukning uttogs 100 ml prov var till sattes 5 ml H_2SO_4 (konc spädd 1+3) för konservering samt för aluminiumanalys 250 ml (konserverades ej). Proven transporterades till VA-tekniks laboratorium på Chalmers och dessa två analyser utfördes inom ca 1 vecka. Övriga analyser (grumlighet, absorbans vid 254 och 436 nm) utfördes på platsen.

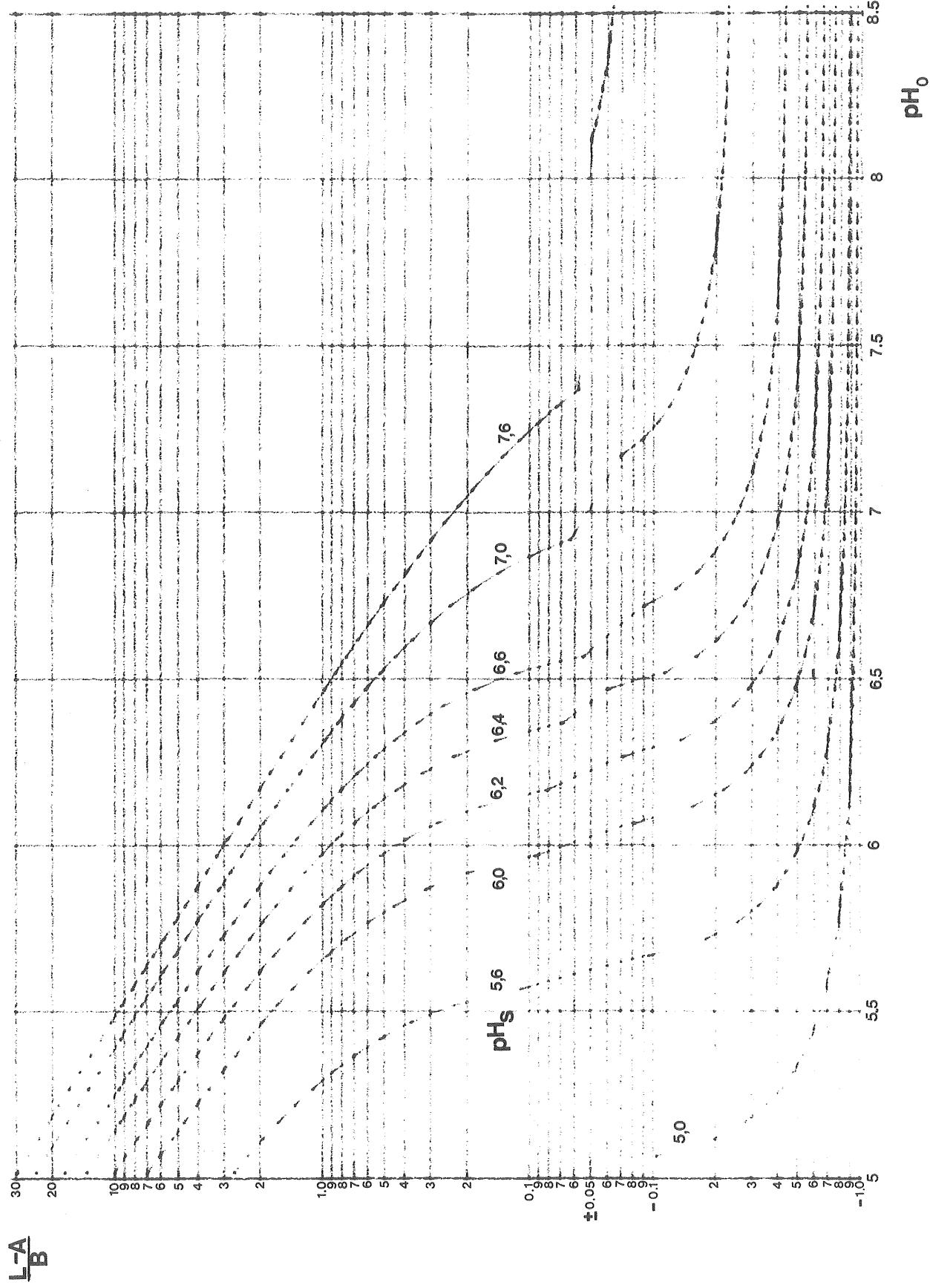
Dosering av kemikalier

Tre olika doseringar av aluminiumsulfat tillämpades, vanligtvis verkets dosering samt denna ökad resp minskad med 10 mg/l. Doseringslösning med halten 20 g Al-sulfat/l tillblandades varje dag ur en stamlösning (200 g/l). Den pH-justerande kemikalien lut eller saltsyra tillsattes till bägarna i sådan mängd att pH-värdet efter aluminiumsulfattillsats skulle variera från ca pH 5-5.5 i den första bägaren till ca 7.5 i den åttonde. För att översiktligt beräkna erforderlig mängd pH-justerande kemikalie tillämpades bifogat diagram, där ingångsvärden är råvattnets pH-värde (pH_0) och önskat fällningspH (pH_s). För varje kombination av pH_0 och pH_s erhålls ett värde på kvoten $(L-A)/B$, där L är doseringen pH-justerande kemikalie (m ekv/l) - positivt värde innebär bastillsats, negativt värde syratillsats. A är aluminiumsulfattillsatsen i syraekvivalenter (m ekv/l), vilken är lägre än den teoretiska syraekvivalenten beräknad efter aluminiumhalten. I praktiken kan följande samband tillämpas (gäller Bolidens aluminiumsulfat, 17-18% Al_2O_3)

$$A = \text{aluminiumsulfatdos (mg/l)} \cdot 0.85 / 100 \text{ m ekv/l}$$

B är råvattnets alkalitet (m ekv/l), mg $HC_0_3^-$ /l dividerat med 61.

Då dosen pH-justerande kemikalie (L) söks kan denna beräknas ur erhållen kvot $(L-A)/B$. Resultatet erhålls i m ekv/l. Observera att y-axeln i diagrammet är logaritmisk i både positiv och negativ riktning och avhugget vid värdet $(L-A)/B = \pm 0.05$. Doseringen uttryckt i mg/l kan för olika pH-juste-



$\frac{L-A}{B}$

rande kemikalier beräknas enl nedan

Natronlut

$$\text{Erf tillsats NaOH (mg/l)} = L (\text{m ekv/l}) \cdot 40$$

Släckt kalk

$$\text{Erf tillsats Ca(OH)}_2 \text{ (mg/l)} = L (\text{m ekv/l}) \cdot 37$$

Svavelsyra

$$\text{Erf tillsats H}_2\text{SO}_4 \text{ (mg/l)} = L (\text{m ekv/l}) \cdot 49$$

För kemiskt intresserade kan omtalas att diagrammet är uppritat som resultatet av en enkel syra-bas jämvikt för kolsyra - vätekarbonat, med kolsyrans första dissociationskonstant satt till $pK_1 = 6.5$ vilket motsvarar t ex temperaturen 4°C och jonstyrkan 2.2 m ekv/l eller 6°C och jonstyrkan $I = 1.5 \text{ m ekv/l}$. Vid sodatillsats gäller inte diagrammet eftersom det härvid bildas dubbelt så många moler vätekarbonat som det förbrukas kolsyra. Detsamma gäller t ex kritatillsats.

En förutsättning för diagrammet är nämligen att den pH-justerande kemikalagens inverkan på kolsyre- resp vätekarbonathalt är lika stor, men motriktad.

Utvärdering av resultat

De analysvärdet som erhållits för de filtrerade proverna har uppritats som funktion av fällningspH. Av dessa diagram framgår lämpligt interval för fällningspH vid aktuell dosering. I regel kan följande generella tendenser observeras:

Med ökad dosering av aluminiumsulfat blir pH-intervall med godtagbart reningsresultat allt bredare. När det gäller avlägsnandet av organiskt material, mätt som permanganatförbrukning, absorbens av ultraviolett ljus (E_{254}) eller färgvärde (E_{436}), erhålls den bästa effekten vid pH-värden nära 6.0 eller något lägre.

Aluminiumresten visar i regel ett lägsta värde för högre pH-värden, nära pH 6.5. Minimipunkten flyttar sig mot något högre värden och kurvan blir bredare när aluminiumsulfatdosen ökar. Med ökad dos följer också allt

lägre värden för både organiskt material och aluminiumrest. Hur inverkan av en ökad dosering blir kan avläsas på de diagram där resultatet inritats som funktion av dosen.

Beräkning av "erforderlig" dosering

När den nödvändiga doseringen av aluminiumsulfat skall bestämmas blir resultatet i hög grad beroende av vilka krav man ställer på vattnet. I bestämmelserna återfinns, av här uppmätta parametrar, krav endast då det gäller permanganatförbrukning ($20 \text{ mg KMnO}_4/1$) och aluminiumrest ($0.15 \text{ mg Al}^{3+}/1$). Vid vattenverken bör dock ambitionsnivån vara avsevärt högre, dels för att erhålla säkerhet naturligtvis, men också för att det utan större besvär vid kemisk fällning går att uppnå lägre värden. Här har följande värden ansetts kunna uppfyllas av varje välskött verk med normalt råvatten:

Permanganatförbrukning	$10 \text{ mg KMnO}_4/1$
UV-absorbans	$E_{254} (4 \text{ cm}) = 0.25$
Färgvärde	$E_{436} (4 \text{ cm}) = 0.005$
Aluminiumrest	$0.05 \text{ mg Al}^{3+}/1$
Grumlighet	0.15 FTU

Vid beräkningar av den erforderliga doseringen av aluminiumsulfat har, för varje parameter, nödvändig dosering för att uppfylla kravet uppskattats. Sedan har ett viktat medelvärde beräknats, där "grumlighetsdoseringen" fått lägsta vikt (1) och doseringen för att uppfylla kravet på aluminiumrest har fått den högsta (3). Övriga värden har viktats med faktorn 2. Detta förfarande har tillämpats för att erhålla ett värde ("erforderlig aluminiumsulfatdos") som är jämförbart mellan olika råvatten.

PROTOKOLL FÄLLNINGSFÖRSÖK

Verk: Nr

Datum: / 1979

Råvatten: Temp °C pH + pH 4.3 ml M HCl

Provvolym ml Alkalitet: mekv/l (B)

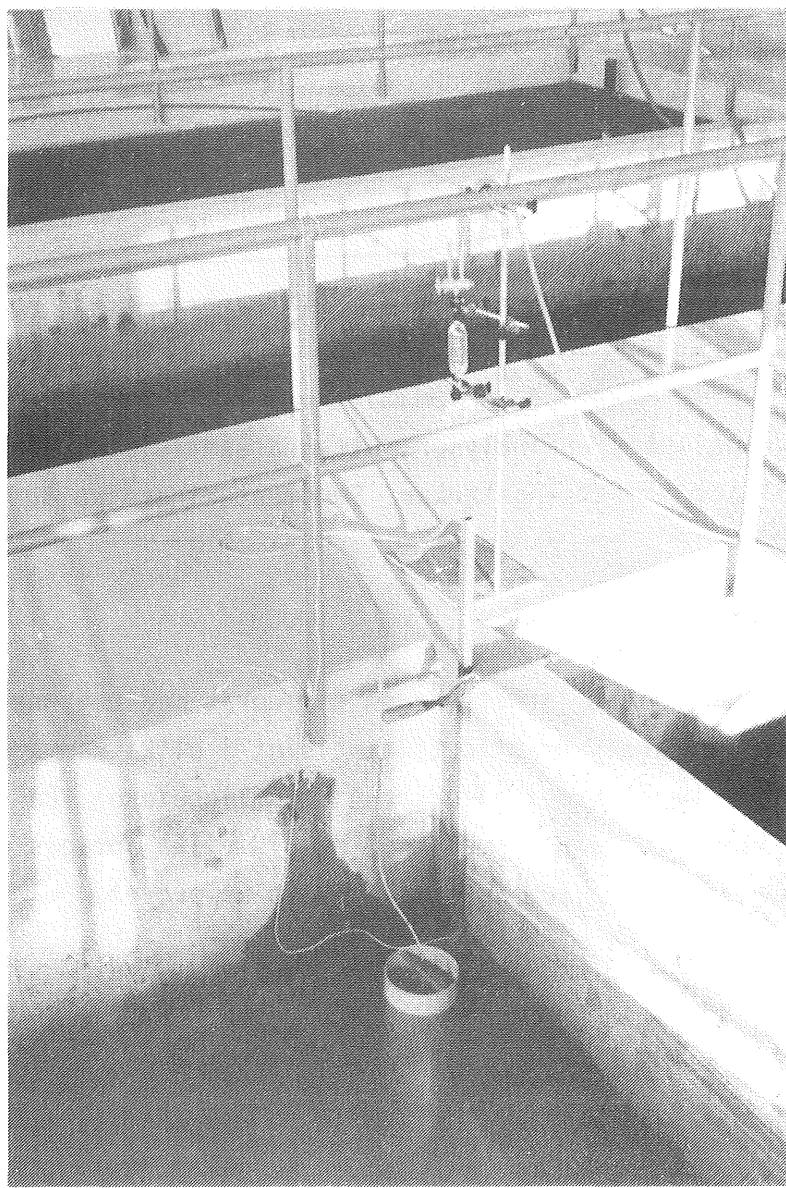
För pH-justering M NaOH, M HCl

Al-sulfatdos, mg/l						
· 0.85/100 = A mekv/l						
Bägare nr	pH _s	L-A B	Lut- (+) resp syradosering (-)			
			L	ml	L	ml
1	5.0					
2	5.6		-		-	
3	6.0					
4	6.2					
5	6.4					
6	6.6					
7	7.0					
8	7.6					

ANALYSRESULTAT

Al-dos		01	11	12	13	14	15	16	17	18	21	22	23	24	25	26	27	28	31	32	33	34	35	36	37	38
Bägare nr	Rå	1	2	3	4	5	6	7	8	1	2	3	4	5	6	7	8	1	2	3	4	5	6	7	8	
Fälln pH																										
Sjunkanalys 15 cm (FTU) 0 min																										
10																										
25																										
45																										
60																										
Filtrat																										
FTU																										
E ₂₅₄																										
E ₄₃₆																										
mg KMnO ₄ /l																										
mg Al ³⁺ /l																										

SJUNKANALYSER

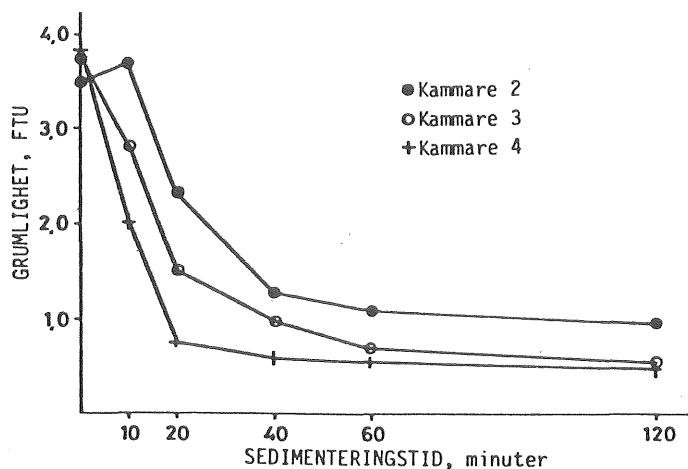


Utförande

Vid flocksjunkanalyser nedsänktes 1,25 m långa rör (\varnothing 150 mm) långsamt i flockningsbassängen. Ur den på så sätt avstängda vattenvolymen togs prover på 30 cm djup vid bestämda tidpunkter. Rörlängden under provtagningspunkten förhindrar störningar från turbulens i flockningskammaren.

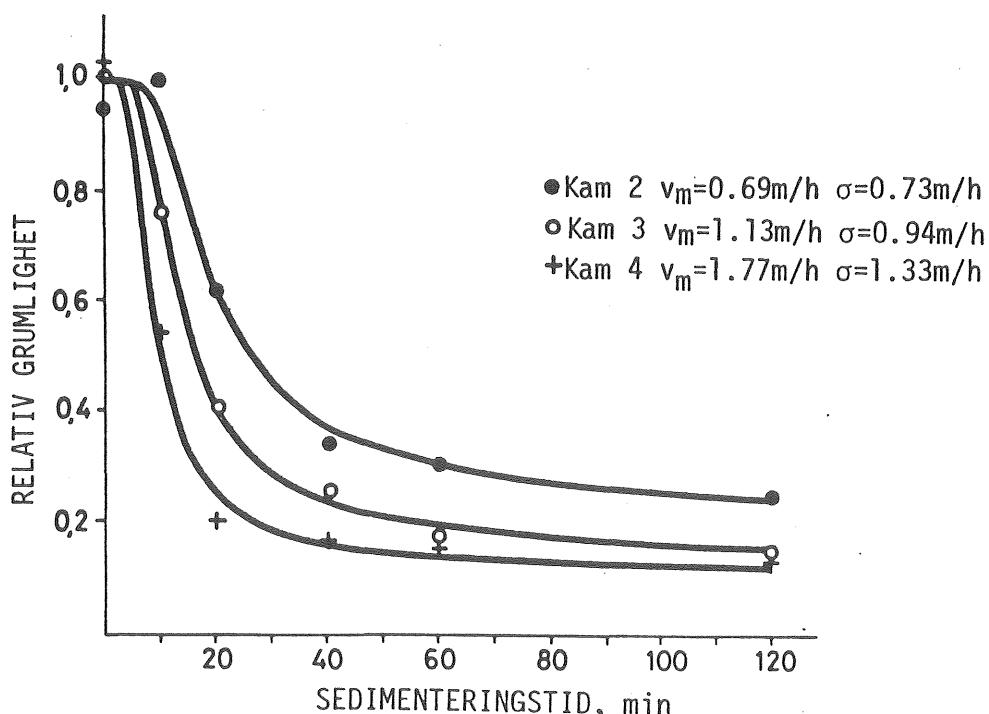
Som mått på mängden flock i vattnet tillämpas grumlighetsmätning. Ett nollprov togs direkt ur flockningsbassängen. Med hjälp av vakumpump sögs prover upp från 30 cm djup i rören efter sedimenteringstiderna 10, 20, 40, 60 resp 120 min.

Utvärdering



Exempel på sjunkanalyser, uttagna samtidigt i tre på varandra följande flockningstankar. Sedimenteringsdjup 30 cm.

Samtliga erhållna grumlighetsvärden divideras med begynnelsevärdet. I de fall flera sjunkanalyser utförts samtidigt i olika kammare eller system, divideras med medelvärdet av ursprungsgrumligheterna. På så sätt erhålls relativ grumlighetsvärden mellan 0 och 1, vilka antages uttrycka hur mycket av ursprunglig flock, som inte avlägsnats ur provet.



Jämförelse mellan erhållna sjunkanalysvärden och teoretiskt framräknade kurvor.

Om provtagningsdjupet (0,3 m) divideras med sedimenteringstiden erhålls en sjunkhastighet (m/h). De flockar som återfinns i provet representerar summan av de flockar som har en lägre sjunkhastighet än den framräknade. Vi har i vattnet flockar med olika sjunkhastighet, detta kan beskrivas som en fördelning av flocksjunkhastigheter med ett medelvärde (v_m) och spridningen (σ) kring detta värde. Dessa värden kan beräknas t ex genom att föra in sjunkanalysvärden på ett s k normalfördelningspapper.

Uttolkning av resultatet

Ju högre flockarnas medelsjunkhastighet är desto bättre sedimenteringsresultat kan man förvänta sig, förutsatt att inte spridningen i sjunkhastighet är för stor.

Flock med en hög medelsjunkhastighet men stor spridning kan ge ett sämre sedimenteringsresultat än flock med förhållandevis låg medelsjunkhastighet och samtidigt låg spridning. Detta är orsaken till att det kan vara svårt att bedöma flockegenskaperna genom att se på det flockade vattnet. Synliga stora flockar behöver inte ge bättre sedimenteringsresultat än om flocken ser mindre ut. Mycket stora flockar är tvärtom i regel ett tecken på en stor spridning i sjunkhastighet och därmed också en förhållandevis stor andel små flockar, som inte syns och ej heller hinner sjunka i sedimenteringen.

Sjunkhastighetsfördelningen påverkas främst av omrörningsintensiteten i flockningsbassängerna, och hur omrörningen varierar med flockningstiden. Den påverkas också naturligtvis av pH, aluminiumsulfatdos och aktiverad kiselsyra etc. Det som sagts ovan om svårigheter med jämförelse av flockens utseende gäller jämförelse mellan system med olika utformning eller mellan olika vattenverk. Om man ändå gör jämförelser mellan system med samma utformning och omrörningsintensitet men med t ex varierande pH, aluminiumsulfatdos eller kiselsyrados, då är också flockens utseende ett mått på vilket sedimenteringsresultat man får.

För att få en uppfattning om vad olika värden på medelsjunkhastighet (v_m) och spridning (σ) betyder, kan vi se vilka villkor som måste uppfyllas och vi vill ha ett visst sedimenteringsresultat. Belästningen på sedimenteringen måste då också fixeras. Vi väljer ytbelastningen 1 m/h. Ytbelastning = flöde/horisontell sedimenteringsarea, vid t ex två bottnar är sedimenteringsarean 2 ggr bassängTängd · bredd.

För att 80% flock skall avlägsnas krävs

$$\sigma \leq 1,2(v_m - 0,5) \text{ m/h}$$

för 85%

$$\sigma \leq 1,0(v_m - 0,5) \text{ m/h}$$

för 90%

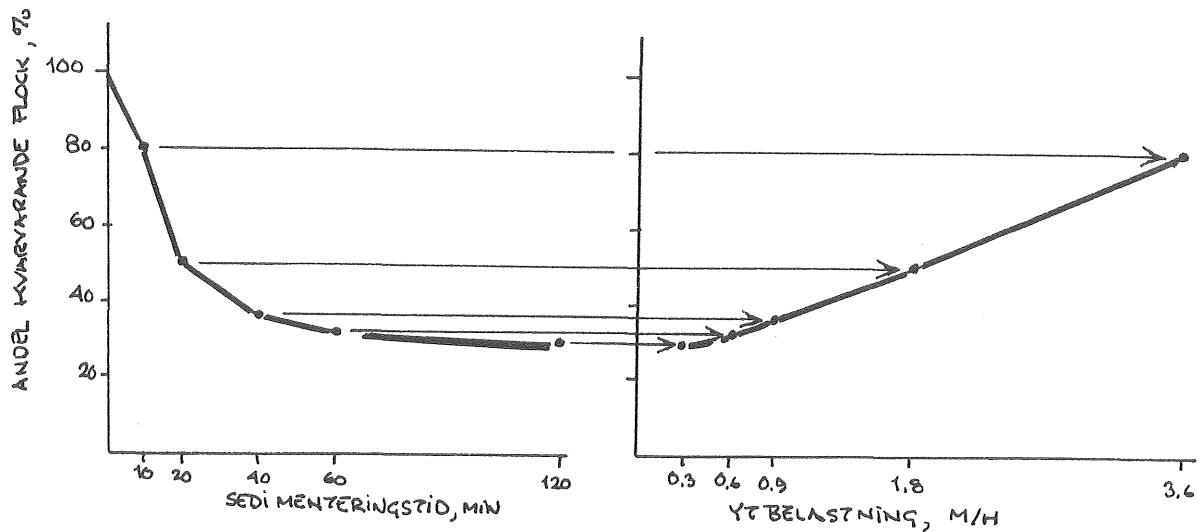
$$\sigma \leq 0,8(v_m - 0,5) \text{ m/h}$$

Samtliga flocksjunkhastighetsfördelningar som uppfyller dessa villkor, oberoende av storleken på medelsjunkhastigheten, ger alltså samma sedimenteringsresultat.

Ett rimligt krav är att 85% av flocken skall avlägsnas vid ytbelastningen 1 m/h. I annat fall fungerar inte flockningen tillfredsställande. Enligt ekvationerna ovan skall då erhållen spridning (σ) vara lägre än medelsjunkhastigheten minskat med 0,5 m/h. Normala värden är medelsjunkhastigheter mellan 1 och 2 m/h. Däremot är det inte "normalt", i betydelsen "vanligt", att ovanstående villkor för spridningen uppfylls vid våra vattenverk.

Om man vill räkna ut motsvarande villkor vid andra ytbelastningar ersätts uttrycket innanför parentesen med medelsjunkhastigheten minskat med halva ytbelastningen: $(v_m - v_F/2)$.

Det är också möjligt att direkt utifrån sjunkanalysdata beräkna förväntat sedimenteringsresultat. För varje provtagning kan en sjunkhastighet räknas ut, här 0,3 m/sedimenteringstiden. Vid t ex sedimenteringstiden 1 h är sjunkhastigheten 0,3 m/h. Det värde som erhållits vid sjunkanalysen, andel kvarvarande flock, är samma värde som man teoretiskt kan förvänta sig vid den dubbla ytbelastningen, dvs 0,6 m/h.



På detta sätt är sjunkanalyser, utförda i den sista flockningstanken i ett system, omräknade till förväntade sedimenteringsresultat och återfinns i figurer bifogat genomgången av varje vattenverk. Som jämförelse är det praktiskt erhållna sedimenteringsresultatet infört.

Nu avviker i regel det praktiskt erhållna resultatet från det resultat som sjunkanalysen förutsäger. Det beror på att resonemanget bygger på en rad förenklade antaganden, t ex att in- och utströmning sker jämnt över tvärsnittet, ingen turbulens och stabil strömning. Avvikelsen från idealtet skulle här ge ett sämre resultat än förväntat. En annan inverkan som gör det praktiska resultatet bättre än förväntat (och det är mera vanligt), är att flockarna förändras under sedimenteringen. Sjunkanalyserna är utförda på 30 cm djup. Det verkliga sedimenteringsdjupet kan dock vara upp till kanske mer än 2 m. Därför borde man välja sedimenteringsdjup efter aktuell sedimenteringseenhet, om syftet är att förutsäga sedimenteringsresultatet så bra som möjligt. Här har syftet främst varit att jämföra flockegenskaper mellan olika vattenverk. Därför har av praktiska skäl det standardiserade djupet 0,3 m valts.

PROTOKOLL DRIFTSUNDERSÖKNING, SJUNKANALYS

Verk: -----

Datum: / 1979

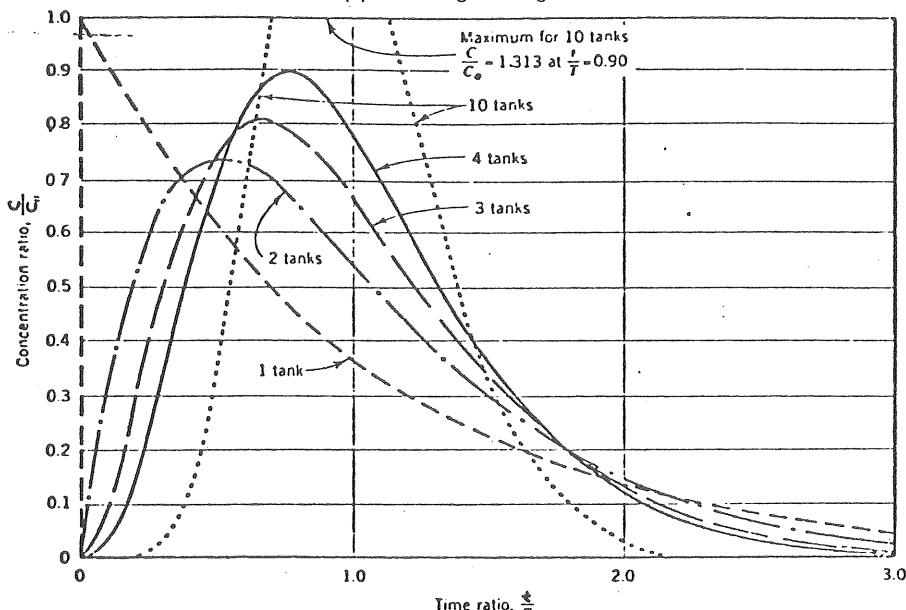
Provtagningspunkter:

Provtagningspunkt	1	2	3
Start k1			
		Grumlighet (FTU)	
0-prov på djup $h_1 =$ ----- m			
$h_2 =$ -----			
$h_3 =$ -----			
10 min			
20			
40			
60			
120			
Dekantatprov svarande mot tidpunkterna	0 min	60 min	120 min
Grumlighet (FTU)			

SALTFÖRSÖK

Utförande

Med hjälp av saltförsök, d v s dosering av en känd mängd koksalt och detektering med ledningsförmågemätare vid utloppet, kan upplysningar erhållas om flödesförhållandena genom flockningssystemet. Försöken tillgick så att 2,0-6,0 kg koksalt löstes i vatten, varefter denna lösning doserades till inloppet till första flockningstanken, där detta var möjligt. Beroende på antalet flockningstankar kopplade i serie kommer koncentrationen av salt i utgående vatten från sista flockningstanken teoretiskt få ett tidsförlopp enligt figur.



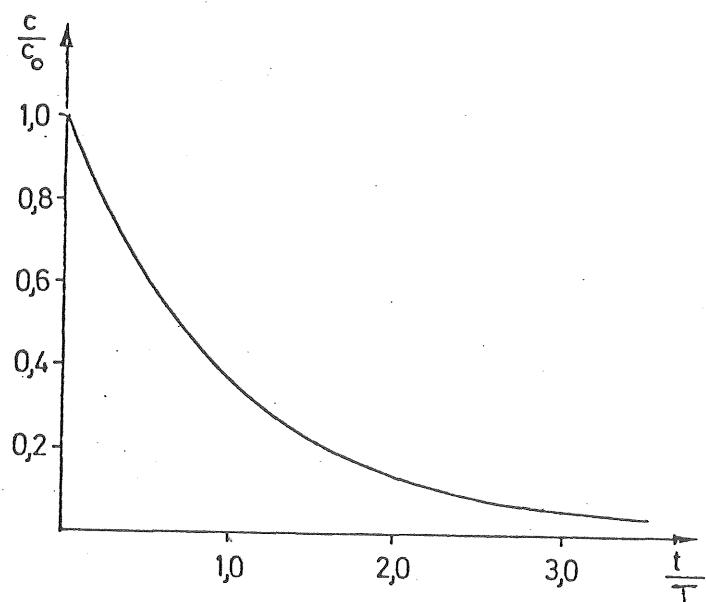
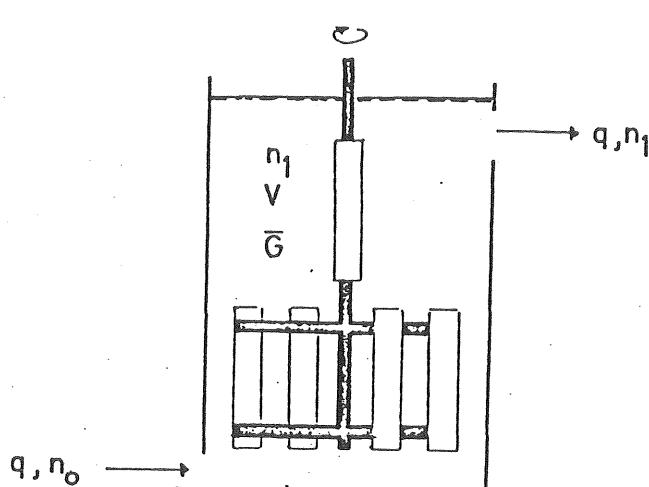
Uppehållstidsfördelningen för ett varierande antal tankar.

På axlarna återfinns den relativta uppehållstiden (t/T), där T är medeluppehållstiden i systemet (volymen/flödet), samt den relativta saltkoncentrationen i utloppet (C/C_0) där C är aktuell saltkoncentration och C_0 är den saltkoncentration som skulle erhållas om den doserade saltmängden fördelades i hela systemets volym. Figuren är uppritad med antagande om s k totalomblandade tankar vilka inte förekommer i renodlad form i verkligheten. En jämförelse med de teoretiska kurvorna kan dock ge värdefulla upplysningar om flödesbilden i flockningssystemet.

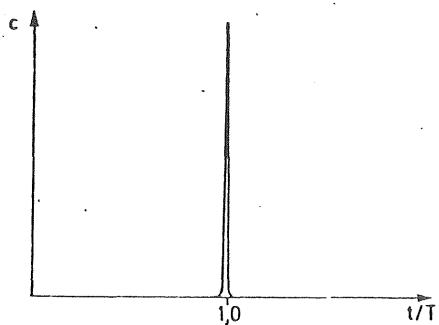
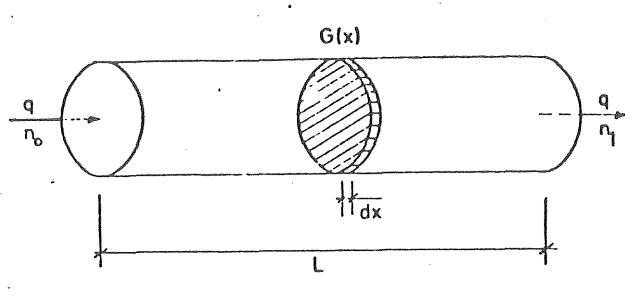
Av figuren framgår att ju flera tankar som är kopplade i serie, desto närmare kommer tidpunkten för maximal koncentration i utloppet medeluppehållstiden T . Maximivärdets storlek ökar också med ökat kammarantal. Dessa två

värden har använts för att karakterisera uppmättta uppehållstidsfördelningen.

Om man tänker sig ett oändligt antal tankar kopplade i serie erhålls en "kurva", där en (oändligt) stor saltkoncentration i utloppet endast kan konstateras vid ett tillfälle - vid medeluppehållstiden i systemet. Denna teoretiska idealbild kallas pluggflöde. Ju högre "grad" av pluggflöde man har desto fördelaktigare är flödesbilden, andelen kortslutningsströmmar är liten d v s kurvan har en utbredning relativt snävt runt medeluppehållstiden.



Principskiss av genomströmningsreaktor med totalomblandning
och dess uppehållstidsfördelning.



Pluggflödesreaktor

BILAGA 5

Utdrag ur Kompendium i VA-teknik, Del V, Rening av försörjningsvatten

3.3.2 Praktisk reaktorutformning, beräkning av effekttillförsel

Omrörningssystem

Den för flockningsförloppet erforderliga energin kan tillföras vattenmassan genom baffles, fig 3-20, eller omrörare fig 3-21.

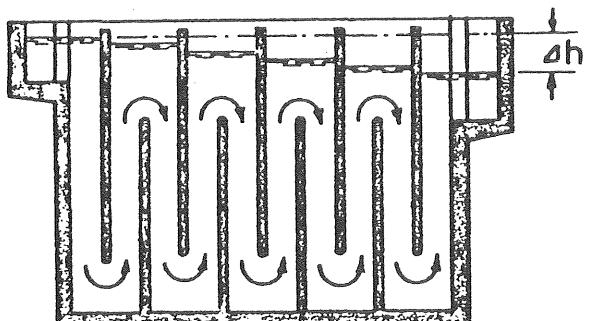
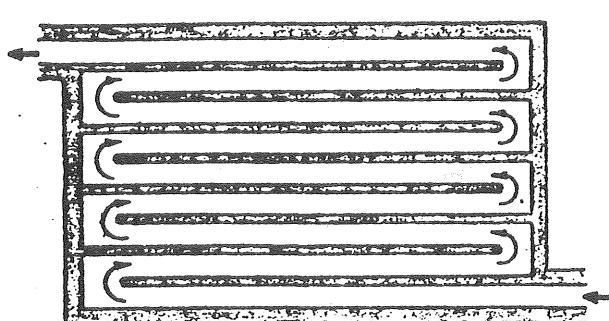


Fig 3-20. Horisontella resp vertikala baffles.

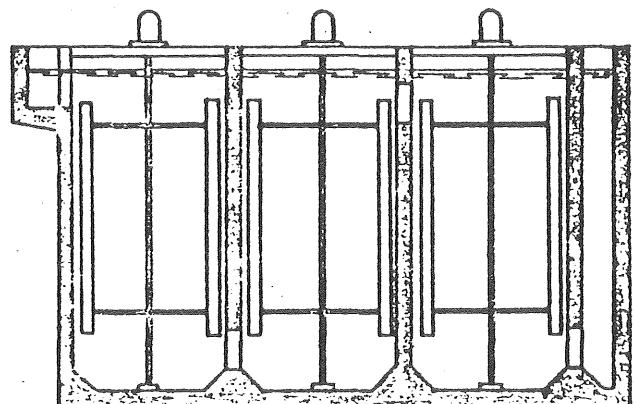
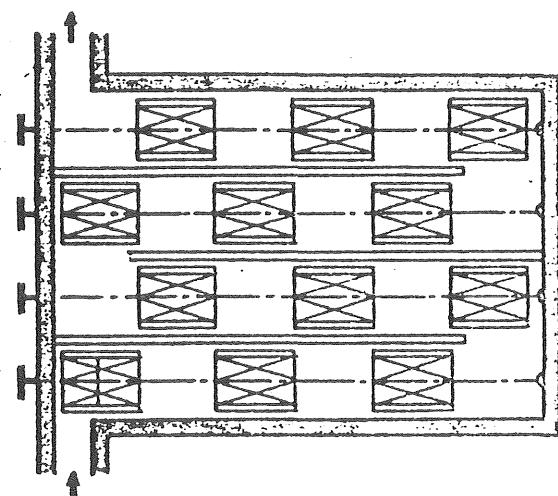


Fig 3-21. Horisontella resp vertikala flockningskammare med omrörare.

Med omrörare är en hög grad av kontroll möjlig - effekttillförseln kan lätt varieras. Vanligtvis önskar man successivt minska effekttillförseln mot slutet av flockningsprocessen. Detta är svårt att uppnå i flocknings-tankar med baffles. Flödeshastigheten i den senare typen av flocknings-enheter (amerikanska anläggningar) varierar mellan 0,25 - 0,6 m/s. Uppe-hållstiden är vanligen 15-30 min.

Reynolds tal kan vid normalt förekommande flockningsbetingelser uppskattas ligga i intervallet 10^2 - 10^5 , varför för cylindriska former kan tillämpas $C_D = 1,2$, samt för platta former $C_D = 2,0$.

Paddelhastigheten relativt vattenmassan kan sättas till $v_r = \alpha \cdot v_p$, där v_p är paddelns hastighet relativt tankväggen. α tar hänsyn till vattnets medrotation, vars andel av paddlarnas rotationshastighet då blir $(1-\alpha)$.

Om C_D och α antages vara oberoende av varvtalet n (varv/min), kan verkande moment som funktion av varvtal skrivas

$$M_D = C_D \cdot \rho \cdot \frac{v_r^2}{2} \cdot A_p \cdot r = \frac{1}{2} \cdot C_D \cdot \rho \cdot \alpha^2 \cdot r^3 \cdot A_p \cdot \left(\frac{2\pi}{60}\right)^2 \cdot n^2, \text{ Nm}$$

(3-55)

där r är paddelavstånd (m) till vridningscentrum.

Härav kan ses att vridande moment är en kvadratisk funktion av varvtalet n .

Om log M_D avsätts som funktion av log n ska alltså en rät linje erhållas med rikningskoefficienten 2. I fig 3-23 visas ett exempel där vridande moment uppmäts som funktion av varvtalet för en typ av omrörare.

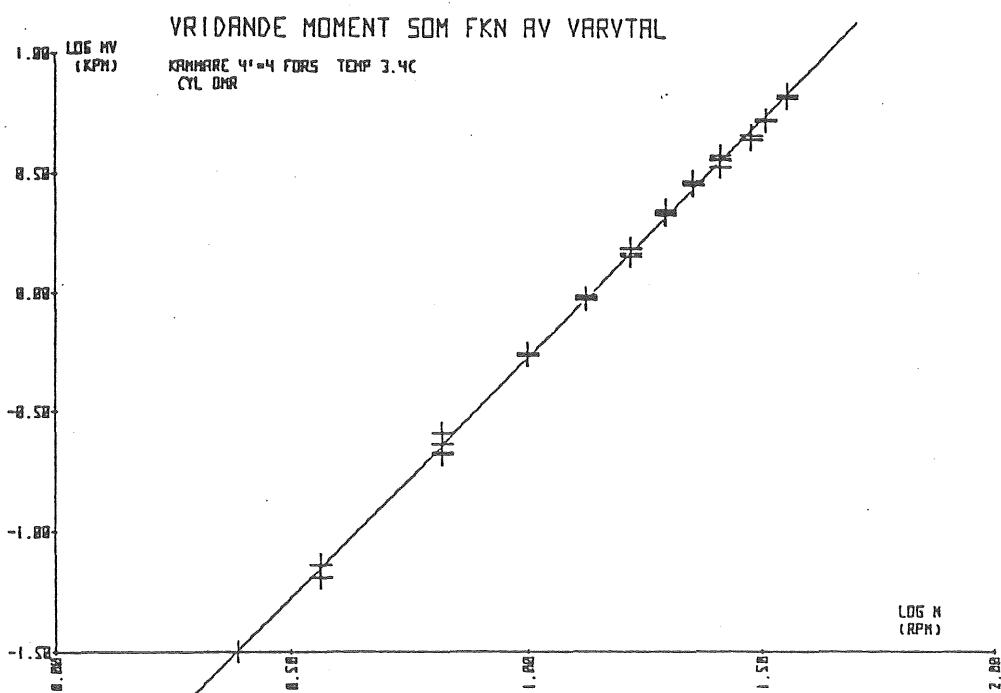


Fig 3-23. Plottning av vridande moment som funktion av varvtal i ett log-log diagram.

Den indrivna effekten per volymsenhet kan beräknas

$$W = \frac{1}{V} \cdot M_D \cdot \frac{2 \cdot \pi \cdot \alpha \cdot n}{60} \quad \text{Watt/m}^3 \quad (3-56)$$

En kombination av ekvationerna 3-55 och 3-56 ger att indriven effekt per volymsenhet kan skrivas:

$$W = \frac{C_D \cdot \rho}{2 \cdot V} \cdot \left(\frac{2 \cdot \pi}{60}\right)^3 \cdot \alpha^3 \cdot n^3 \cdot \sum A_{pi} \cdot r_i^3 \quad (3-57)$$

där index i hänförlig till olika delar av paddelmekanismen.

Om paddelarealet A_p kan antas vara jämnt fördelat mellan radierna r_1 och r_2 kan ett uttryck för "effektcentrums" läge, r_* , härledas för att förenkla beräkningarna.

$$r_*^3 = \frac{r_2^4 - r_1^4}{4(r_2 - r_1)} \quad (3-58)$$

Varvid sedan gäller

$$\sum A_{pi} \cdot r_i^3 = r_*^3 \cdot \sum A_{pi} \quad (3-59)$$

Samtliga termer utom α i ekv 3-57 är givna av den geometriska utformningen. Om man inte har tillgång till direkta mätningar måste denna term uppskattas dvs den andel av paddelverkets absoluta hastighet som utgörs av en rörelse relativt vattenmassan. α beror av utformningen på omrörare och flocknings-tank, tankväggens råhet etc, men kan vanligen anges till 0,6 - 0,75.

