4.7 Modellering av långsamfilter

Fram till nu finns mycket lite publicerat rörande matematisk modellering av långsamfilter. Främst nämns Iwasaki (1937), Woodward and Ta (1988) och Ojha and Graham (1996). (18,19).

Ett antal ekvationer har ställts upp som huvudsakligen relaterar till tryckförluster, tid, filterhastighet, råvattenkvalitet och primärproduktion i form av alger mm (18). Idag görs försök att inkludera relationerna mellan olika mikroorganismer och ta hänsyn till betydelsen av Schmutzdecke vid modellering av långsamfilter (19).

Medan mekanismerna i långsamfilter är något så när kända, möter kvantitativa teorier problem på grund av komplexiteten hos, och svårigheterna att mäta, de relevanta specifika variablerna.

Med utgångspunkt från fysikaliska parametrar i processen, och med hänsyn till resultat erhållna från delvis analoga processer (20), har försök till statistisk bearbetning och modellering genomförts för att bestämma relationerna mellan filterhastighet, drifttid och avgörande vattenkvalitetsparametrar. Bearbetningen har utförts i samarbete med Göteborgs Universitet.

En exponentiell empirisk modell med formen $V(t)=ae^{-bx}$ har i olika sammanhang använts, där x är avskiljd susp [mg/m^2] och a och b är filterparametrar. Efter omskrivningar erhålls uttrycket:

$$\mathbf{V(t) = 1/(Cb(t-T_0)+f/A)} \text{ [m/h]}$$

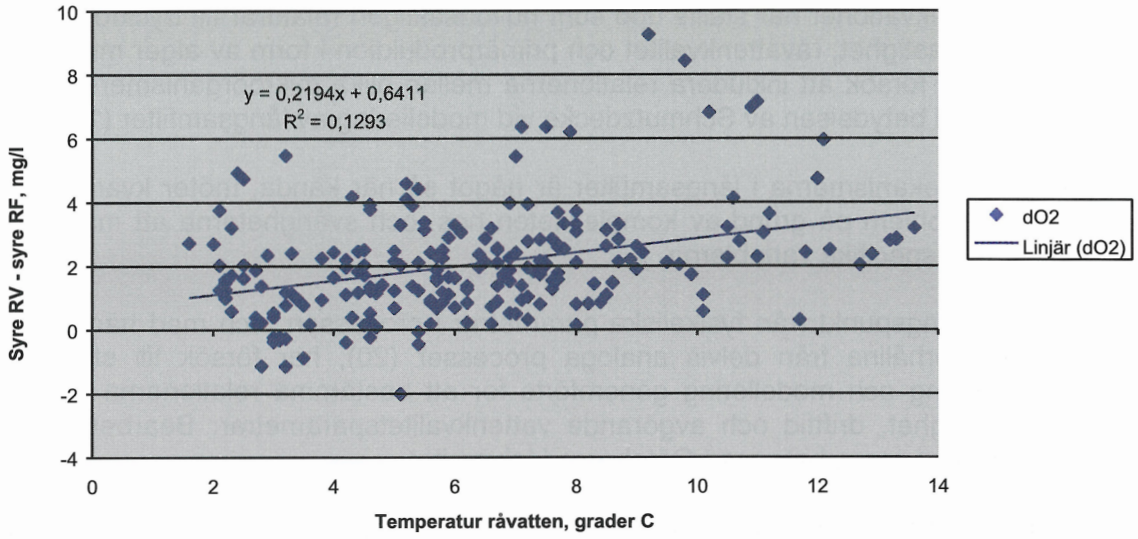
där A [m/h] = initiell filterhastighet = kh/L
t och T_0 [h] = drifttid resp. tid att uppnå filtermognad under aktuell period
f = parameter som avser algeffekt, vid täckt filter f = 1
C [g/m^3] = susp i inloppsvattnet
b (m^2/g] = parameter beroende av råvattenkvaliteten

Modellen har tidigare använts för andra råvatten (t.ex. Donau) för att prognosticera drifttider mm. Undersökningarna vid Häggeberg har dock inte kunnat påvisa några pålitliga resultat, varför modellen inte kan anses tillförlitlig vid vatten med låg turbiditet och låg temperatur. Enligt (19) är en sådan modell endast adekvat i de inledande stegen vid filtreringen.

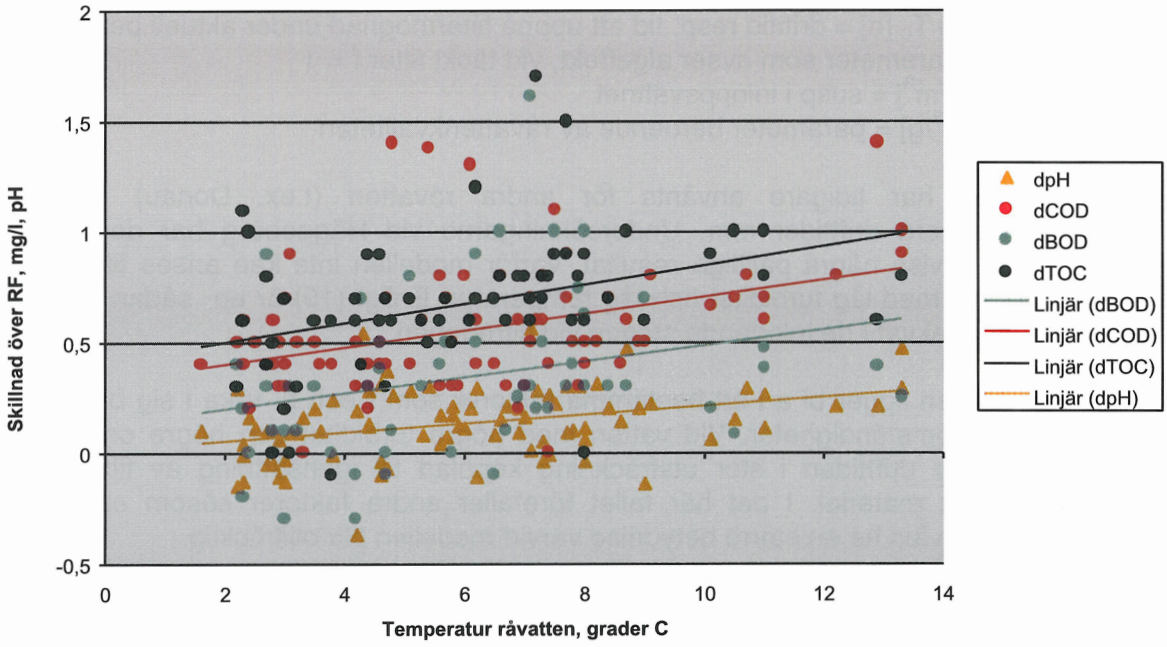
Svårigheten ligger bl a i att bestämma faktorer som f och b, vilka i sig beror av ett antal omständigheter. Vid vatten med högre turbiditet och högre organiskt innehåll är drifttiden i stor utsträckning kopplad till igensättning av filtren av oorganiskt material. I det här fallet förefaller andra faktorer såsom alg- och bakterietillväxt ha en större betydelse varvid modellen blir otillräcklig.

Tillförlitliga modeller som kan beskriva funktionen hos långsamfilter vid svenska förhållanden saknas således. Åtskillig forskning återstår att utföra innan såväl kemiska, biologiska som fysikaliska faktorer kan beskrivas matematiskt, antingen genom anpassning av en befintliga modeller till svenska förhållanden, eller genom andra tillvägagångssätt.

När det gäller enskilda parametrar som t.ex. COD, TOC och BOD kan dock en nära relation till filtermognad ses. Förändringar i COD, TOC, BOD, pH och syre mellan råvatten och filtrerat vatten är starkt beroende av temperaturen, se figur 39 och 40. Figuren visar förhållandena för referensfiltret eftersom detta varit moget under hela projektet och mätserien därmed är stor.



Figur 39. Korrelation mellan temperatur och ändring i syrehalt före och efter referensfiltret.



Figur 40. Korrelation mellan temperatur och förändringar i pH, COD, TOC och BOD före och efter referensfiltret

5 Slutsatser

5.1 Hydraulik

5.1.1 Undertryck

Uppkomsten av undertryck påverkar både långsamfiltrens hydrauliska kapacitet och förmåga att avskilja föroreningar i vattnet negativt.

Försöken visar att problem till följd av undertryck kan undvikas genom att reglera filtrens utlopp. Generellt bör utloppsnivån ligga högre än sandytan för att helt eliminera risken för uppkomsten av lokala undertryck. Ett flertal olika alternativa lösningar kan diskuteras, t.ex att använda fasta skibord.

Undertryck kan uppstå då tillgängligt tryckfall Δh utnyttjas samtidigt som olämplig utformning av utloppet föreligger. Vanliga situationer i ett par av Sveriges största vattenverk är t.ex. då vattennivån varierar över tiden då filtren nyttjas som reservoar, eller om en överfyllnad av sand har skett över avsedd nivå för att slippa fylla på ny sand så ofta. Resultatet blir i båda fallen att utloppet hamnar under sandytan och undertryck uppstår i slutet av driftsperioden.

Normalt börjar undertrycket i övre delen av sanden och beror av utvecklingen av schmutzdecke och tillväxen av alger. Undertrycket utbildas sedan relativt snabbt ner i filtret.

5.1.2 Intermittent drift och plötsliga tryckförändringar

Resultaten visar att intermittent drift och plötsliga tryckförändringar, t ex vid snabba flödesförändringar till följd av öppning av en ventil, kan ge upphov till tillfälliga läckage av bakterier, alger och sannolikt även virus, mikrosvamp och andra mikroorganismer.

Erfarenheten är att antalet heterotrofa bakterier och alger som lämnar ett filter som drivs intermittent varierar kraftigt. I synnerhet då möjlighet till undertryck samtidigt föreligger kan skillnaden i reningsresultat avseende dessa parametrar bli mycket stor mellan olika tidpunkter. Vid ett par tillfällen har även koliforma bakterier noterats trots att tidigare analyser under lång tid inte kunnat spåra sådana.

En jämförelse visar att färre bakterier i filtratet återfinns vid kontinuerlig drift än vid intermittent. Samtidigt noteras ingen negativ påverkan på avskiljningen av COD och TOC, varför det i första hand är intressant att studera bakterie- och alganalyser om man vill kontrollera ett filters funktion.

Bakterieprov på vatten direkt från långsamfilter utan vidare efterbehandling bör ingå i egenkontrollen vid vattenverket.

Kontinuerlig och jämn drift av långsamfilter är väsentligt för att uppnå en god vattenkvalitet och för att undvika risken för tillfälliga försämringar/svängningar i vattenkvaliteten. Plötsliga tryckförändringar bör så långt möjligt undvikas.

5.1.3 Effekt av olika tryck Δh

Generellt gäller ett starkt samband mellan tillgängligt tryckfall och drifttid hos ett långsamfilter.

För Häggebergs vattenverk gäller att man med bibehållande av befintlig sand kan driva långsamfiltren kontinuerligt i ca 6 månader med en genomsnittlig filterhastighet om 0,15 m/h om Δh sätts till 150 cm. Detta innebär att vattenytan hamnar ca 155 cm över sandytan och utloppsnivån 5 cm över sandytan.

Ursprunglig vattennivå avsågs ligga 125 cm över sandytan, vilket resulterade i minst 1 ytterligare rensning per år.

Vid samma tryck, 150 cm Δh, och filterhastighet erfordras ca 3 rensningar per år vid mellansand och 4 rensningar per år vid fin sand.

Normalt rekommenderas ett vattendjup mellan 0,9-2 m i långsamfilter. För att minska erforderligt antal rensningar måste Δh anpassas till använd filtersand. Ju finare sand och högre hastighet som avses tillämpas, desto större måste Δh sättas.

5.1.4 Filterhastighet

Fortsatta försök med olika filterhastigheter utförs under perioden april 1998 till sommaren 1999. Härvid kontrolleras olika filterhastigheter, 0,2-0,4 m/h, vid Häggebergssand och fin sand.

Fram till mars 1999 noteras att vattenkvaliteten med avseende på turbiditet, lösta organiska ämnen och bakterier från 0,2 till ca 0,3 m/h inte uppvisar några större skillnader. Vid test 3 med 0,34 m/h kan dock en tydlig försämring i vattenkvalitet registreras avseende COD och turbiditet. Vid 0,39 m/h ökar antalet heterotrofa bakterier och turbiditeten dramatiskt. Det förefaller som om det finns en gräns runt 0,35 m/h som inte bör överskridas. Vid grövre sand kan skillnaderna förväntas bli än större.

En ökning av filterhastigheten innebär en minskning av uppehållstiden i filtret. Detta borde ha en betydelse för möjligheten att bryta ner löst organiskt material tillsammans med alla andra förhållanden såsom sandtyp, temperatur, solintensitet mm.

Beroende på väderförhållandena förefaller det även uppträda kapacitetsproblem vid för höga filterhastigheter, eftersom filtret sätter igen alltför snabbt.

Effekten på alger har inte studerats.

5.2 Filtersand

Undersökningarna visar att vattenkvaliteten med avseende på ett antal parametrar ökar med finare sand. En jämförelse mellan ordinarie filtersand vid Häggeberg och den finaste undersökta sanden noteras följande ytterligare avskiljning/polering vid fin sand:

- Turbiditet 10-20 %
- COD och TOC 15 %
- BOD 5-10 %

Dessutom är antalet alger från filter med fin sand lägre än vid grövre sand.

Valet av sand tycks dock inte påverka antalet bakterier i filtrerat vatten.

Vid grövre sand tränger föroreningarna ner djupare i sanden, vilket medför att mer sand måste avlägsnas i samband med rensning. För Häggebergssand ca 4 cm och för fin sand ca 2 cm vid 0,15 m/h i genomsnitt. Vid högre filterhastighet tränger föroreningarna längre ner i sanden, vilket medför att rensningarna måste göras djupare.

Minsta lämpliga sandtjocklek är ca 40-50 cm.

5.3 Öppna respektive täckta filter

Under svenska förhållanden har inga större skillnader noterats vad gäller hydraulisk kapacitet. Under ett par försöksperioder noterades 20-25% högre kapacitet hos det täckta filtret, medan förhållandet var det omvända under en annan försöksperiod. Sannolikt kan alger under vissa väderförhållanden påverka kapaciteten positivt genom att luckra upp schmutzdecke.

Mätningarna visar att ett täckt filter har jämnare drift och stabilare tryckförhållanden än ett öppet filter.

Ur vattenkvalitetssynpunkt kan inga signifikanta skillnader noteras avseende lösta organiska ämnen, BOD, COD och TOC, som kan motivera att täckning av filtren skulle kunna ge några väsentliga fördelar. I stället noteras en lägre turbiditet och något färre heterotrofa bakterier i det öppna filtret, vilket kan förklaras av ett starkare schmutzdecke på grund av algtillväxt.

5.4 Filtermognad

Under svenska förhållanden tar det mycket lång tid innan en mikroflora etablerats ordentligt i ny sand, 6 månader till ett år beroende på vilka vattenkvalitetsparametrar man studerar.

Genom att tvätta filtersand vid vattenverket och endast komplettera med ny sand när så erfordras kan tiden innan ett djuprensat filter kan tas i drift minimeras. Även vid nyläggning av filter kan använd sand nyttjas för att få igång filteraktiviteten snabbare.

Följande mognadstider har uppskattats vid försöken.

- Turbiditet ca 2 månader
- Koliforma bakterier ca 2,5 månader
- Heterotrofa bakterier ca 3 månader
- Alger flera månader
- COD och BOD kontinuerlig förbättring från 6 månader till 1 år

Efter dessa tidpunkter har en stadig förbättring noterats med tiden för ett antal parametrar, men inte så stora förändringar som i början. Efter varje rensning erfordras 1-2 veckors drift för att uppnå erforderlig vattenkvaliteten.

5.5 Vattenkvalitet

Med aktuella råvattenförhållanden vid Häggeberg och med korrekt utformade långsamfilter kan följande reningsresultat förväntas långsiktigt med Häggebergssand:

• Tubiditet:	0,10-0,20 FNU i renvattnet
• Syreförbrukning:	0-5 mg/l
• Koliforma bakt.:	-
• Heterotrofa 7d:	<200, normalt <100
• Alger:	95-99 % avskiljning
• TOC:	30 % minskning
• COD	30 % minskning
• BOD	10-25 % minskning

Med finare sand kan ytterligare putsning av resultaten erhållas.

5.6 Vattenkapacitet vid Häggeberg

Häggebergs vattenverk har kapacitet att producera ett maxflöde om ca 46 000 m^3/d vid en filterhastighet om 0,24 m/h då alla filter är i kontinuerlig drift. Vid 2 filter avställda kan maximalt ca 42 750 m^3/d produceras vid en högsta filterhastighet om 0,3 m/h. Vid medelproduktion om 24 000 m^3/d blir filterhastigheten ca 0,13 m/h. Med Δh 150 cm erfordras 2 rensningar per år.

Ytterligare filter behöver således inte byggas under förutsättning att filtren kan drivas kontinuerligt, vilket kräver ökad reservoarvolym alternativt omdisponering av reservoarvolymer, ändrad styrning mm.

6 Rekommendationer

Forskning pågår runt om i världen med bl a högre filterhastigheter, förbehandling med ozon, inblandning av aktiverat kol i sanden mm, men resultaten av dessa undersökningar är i dagsläget inte tillräckligt säkra för att man skall våga grunda ett samhälles vattenförsörjning på dessa.

I stället ges nedan generella rekommendationer om hur långsamfilter bör konstrueras, drivas och kontrolleras under svenska förhållanden. Rekommendationerna grundas på erfarenheterna i aktuellt projekt, den samlade erfarenheten hos driftspersonalen vid Häggeberg och andra svenska vattenverk samt internationella erfarenheter.

6.1 Konstruktion av långsamfilter

6.1.1 Kvalitetskrav på sand och grusmaterial

Sand skall vara tvättad och ha sådan mineralsammansättning att inga ämnen i sanden kan påverka vattnet negativt. Vanligt förekommande filtersand består därför till största delen av kvarts. Organiskt material, ler- och siltmaterial och andra föroreningar får inte förekomma i sanden.

Lämplig filtersand bör uppfylla följande kriterier:

d_{10}	0,2-0,4
Olikformighet	<2,5

Ju finare sand, desto bättre reningsresultat kan förväntas.

För material som används i dränerings- och övergångslagret gäller samma kvalitetskrav.

Övergångslagret består av flera lager av sand- och grusmaterial med olika kornstorlek. Kornstorleken i varje lager bestäms av vald filtersand och dräneringsmaterial.

6.1.2 Sandlager, övergångslager och dräneringslager

Sand:	min. sandtjocklek	0,4-0,5 m
	max. sandtjocklek	0,9-1,0 m
Övergångslager		0,15-0,25 m
Makadamlager (8-16)		0,25-0,3 m

6.1.3 Vattendjup

Vattendjup över max sandyta 1,0-1,6 m

Ökat vattendjup = ökat Δh, vilket ger längre driftsperioder. Egna erfarenheter från större vattendjup än 1,6 m saknas.

Fluktuationer i vattendjup bör minimeras.

6.1.4 In- och utlopp

Beskickning av långsamfilter skall ske så att en jämn fördelning sker över filterytan. Vid små filter räcker oftast ett inlopp godtyckligt placerat.

Utloppet bör utformas med ett fast skibord, t.ex. i en brunn. Skibordsnivån bör placeras minst 5 cm över maximal sandnivå. Maximalt tillgängligt Δh utgörs av avståndet mellan vattenytan och skibordet.

Vattenytan i filtret regleras t.ex. av en motorstyrd ventil på ledningen mellan filtret och utloppsbrunnen. På denna ledning installeras vanligen även flödesmätare.

6.1.5 Drifttid

Kontinuerlig drift 24 h/d bör eftersträvas.

I de fall där vattenverket måste stå still under delar dygnet bör en recirkulationspump installeras så att långsamfiltren ändå hålls igång. Vid start och stopp är det viktigt att detta sker mjukt utan snabba flödesförändringar.

6.1.6 Filterhastighet

Långsamfilter bör drivas mellan 0,05-0,3 m/h med hänsyn till rimliga krav på både kapacitet och kvalitet.

Vid beräkning av erforderlig filteryta kan följande värden ansättas:

Filterhastighet vid dimensionerande flöde: 0,2 m/h

Filterhastighet vid maxflöde: 0,3 m/h

Observera att maxflödet bör kunna produceras även då ett filter är avstängt efter djuprensning eller nyläggning, vilket kan ta månader. Antalet filter och faktorer såsom rensningsintervall mm liksom spannet mellan medel- och maxflöde avgör således erforderlig filteryta i det enskilda fallet.

6.1.7 Förbehandling

För att upprätthålla tillräckligt långa drifttider och försäkra sig om att dricksvattnet får önskad kvalitet är det avgörande att råvattnet förbehandlas i tillräcklig utsträckning. Följande halter kan nyttjas som tumregel:

Parameter	Krav	Anmärkningar
Turb (in)	< 5 NTU	<1 NTU ger hög kapacitet och lång drifttid
O_2 (ut)	> 2 mg/l hela dygnet	Erfordrar luftning i en del fall
Alger (in)	Inga algblomningar	Annat intag, mikrosilning mm
COD (in)	< 3 mg/l	Aktiverat kol, ozon, kemfällning mm
Al/Fe	Enbart spår	Restflock sätter snabbt igen filtren

Beroende på råvattenkvalitet och krav på dricksvattnet kan allt från en enkel mikrosilning som vid Häggeberg till kemisk fällning, ozonering mm erfordras.

6.2 Drift av långsamfilter

Under svenska förhållanden tar det lång tid, ofta flera månader, att etablera en aktiv mikroflora i filtersanden, i synnerhet då råvattnet är kallt, och därmed uppnå en optimal vattenkvalitet. Mikrofloran i ett långsamfilter skall därför behandlas med stor omsorg och skyddas mot ämnen som kan skada denna. Fritt klor, ozon eller andra oxidanter samt toxiska ämnen får inte tillåtas nå ett långsamfilter.

Grundläggande för att uppnå goda resultat är att långsamfiltren utformats hydrauliskt korrekt. Undertryck, plötsliga tryckförändringar och intermittent drift kan ge upphov till allvarliga kvalitetsstörningar, särskilt avseende biologiska parametrar.

Filterhastighet och sandkvalitet är viktiga parametrar som måste balanseras i avvägningen mellan olika kvalitets- och kapacitetskrav. Finare sand ger t ex bättre vattenkvalitet, med medför tätare rensningar. Filterhastigheten måste bestämmas med hänsyn till råvatten, sandkvalitet och sanddjup och höga hastigheter bör inte tillämpas utan föregående pilotförsök.

Råvattnet måste i förkommande fall förbehandlas så att det organiska innehållet reduceras och anpassas till långsamfiltrens reningskapacitet. Dessutom måste en tillräcklig syrehalt upprätthållas, eventuellt genom luftning, så att syrebrist under inga omständigheter uppträder.

För att uppnå bra vattenkvalitet bör långsamfilter således:

- drivas kontinuerligt
- belastas med så jämna flöden som möjligt utan snabba förändringar
- ha fastlagda gränser för max och min sandnivå
- skyddas mot ämnen som kan skada mikrofloran
- beskickas med ett tillräckligt förbehandlat vatten så att syrehalt och innehåll av organiska ämnen motsvarar filtrets kapacitet
- skummas så snabbt som möjligt utan att avsänka vattennivån mer än nödvändigt.

6.3 Vattenundersökningar

Utöver de analyser som krävs i dricksvattenkungörelsen är det av största vikt att i driftskontrollen undersöka ytterligare ett antal parametrar regelbundet, dels i förbehandlat vatten, dels i långsamfiltrerat vatten före ytterligare beredningssteg såsom t.ex. alkalisering och desinfektion.

För att kunna avgöra funktionen hos ett långsamfilter föreslås att följande parametrar undersöks:

Heterotrofa bakterier
Alger
Syrehalt

För att underlätta framför allt algundersökningarna föreslås en provtagningsmetodik som innebär en uppkoncentrering av provet. Samtidigt uppnås säkrare analysresultat för parametrar såsom TOC, COD, BDOC, AOC, THM mm där halterna ofta är mycket låga.

Provtagning bör ske vid olika tidpunkter på året och vid olika driftsförhållanden hos långsamfiltren, t.ex. i början, mitten och slutet av en driftscykel.

6.4 Behov av fortsatt forskning

Mekanismerna i långsamfilter är mycket komplicerade och mycket återstår att göra innan vi fullt ut kan förstå dessa. Några områden där det finns uppenbara behov av fortsatta undersökningar har berörts tidigare. Några intressanta frågeställningar ges nedan.

Förbehandling

- Samband mellan olika former av förbehandling och filterkapacitet.
- Lämpliga metoder att öka nedbrytningen av organiska ämnen genom att öka den biologiska aktiviteten i långsamfilter.
- Metoder att garantera fullständigt avskiljande av patogena bakterier, virus, protozoer mm.

Hydraulik

- Samband vattenkvalitet kontra sandtjocklek, filterhastighet och sandkvalitet genom tryckmätningar och vattenprovtagningar i sanden på olika djup.
- Effekten av olika vattentryck Δh, samt fluktuerande vattenyta

Modellering av långsamfilter

- Tillförlitliga matematiska/empiriska modeller som beskriver funktionen hos långsamfilter saknas för t.ex. simuleringar, optimeringar, processtyrning mm.

7 Referenser

1 Visscher J.T. (1988): Water Treatment By Slow Sand Filtration. Considerations For Design, Operation and Maintenance. Slow Sand Filtration: Recent Development in Water Treatment Technology. Edited by Graham N.J.D. Chichester, U.K. Ellis Horwood Ltd.

2 Van Dijk J.C. and Oomen J.H.C.M. (1978): Slow Sand Filtration for Community Water Supply in Developing Countries, A Design and Construction Manual. WHO, Hague, Netherlands.

3 Barret J.M., Collins M.R., Janonis B.A., Logsdon G.S. (1991): Manual for Design of Slow Sand Filtration. Edited by Hendricks D. AWWA Research Foundation, Denver.

4 Task Committee on Slow Sand Filtration (1994): Slow Sand Filtration. Edited by Cary S. Logsdon, New York.

5 Huisman L. and Wood W.E. (1974): Slow Sand Filtration. WHO, Geneva.

6 Rachwal A.J., Bauer M.J. and West J.T. (1988): Slow Sand Filtration: Advanced Techniques for Upgrading large Scale Slow Sand Filters. Recent Development in Water Treatment Technology. Edited by Graham N.J.D. Chichester, U.K. Ellis Horwood Ltd.

7 VAV publikation P72 (1992): Dricksvattenteknik - Ytvatten

8 Tomas L.P. and Bayley R.G. (1988): Slow Sand Filtration; An Approach to Practical Issues. Slow Sand Filtration: Recent Development in Water Treatment Technology. Edited by Graham N.J.D. Chichester, U.K. Ellis Horwood Ltd.

9 Andersson E. (1998): Långsamfilters reningspotential. VA-Forsk Rapport 98-04.

10 Jabur H. and Öllös G. (1971): Theoretical, Operation and Design Criteria of Slow Sand Filters. Hidrológiai Közlöny, 12, Budapest.

11 Lambert S.D. and Graham N.J.D. (1995): A Comperative Evaluation of the Effectiveness of Potable Water Filtration Processes. Aqua vol 44 No 1.

12 Rachwal A.J., Bauer M.J., Chipps M.J., Colbourne J.S and Foster D.M. (1996): Comparisions Between Slow Sand and High Rate Biofiltration. Advances in Slow Sand and Alternative Biological Filtration. Edited by N.J.D Graham and R. Collins. John Willey & Sons.

13 Eighmy T.T., Collins M.R. et al (1993): Biologically Enhanced Slow Sand Filtration for Removal of Natural Organic Matter. AWWA Research Foundation, Denver.

14 Seger A. (1998): Ozonbehandling följt av långsamfiltrering vid dricksvatten-framställning. VA-Forsk Rapport 98-11.

15 Clarke K.B. (1988): Some Aspects of the Filtration of Water Containing Centric Diatoms. Slow Sand Filtration: Recent Development in Water Treatment Technology. Edited by Graham N.J.D. Chichester, U.K. Ellis horwood Ltd.

16 Jabur H. and Hegedüs J. (1973): The Role of Algae in the Treatment Process on Slow Sand Filters. Hidrológiai Közlöny, 12, Budapest.

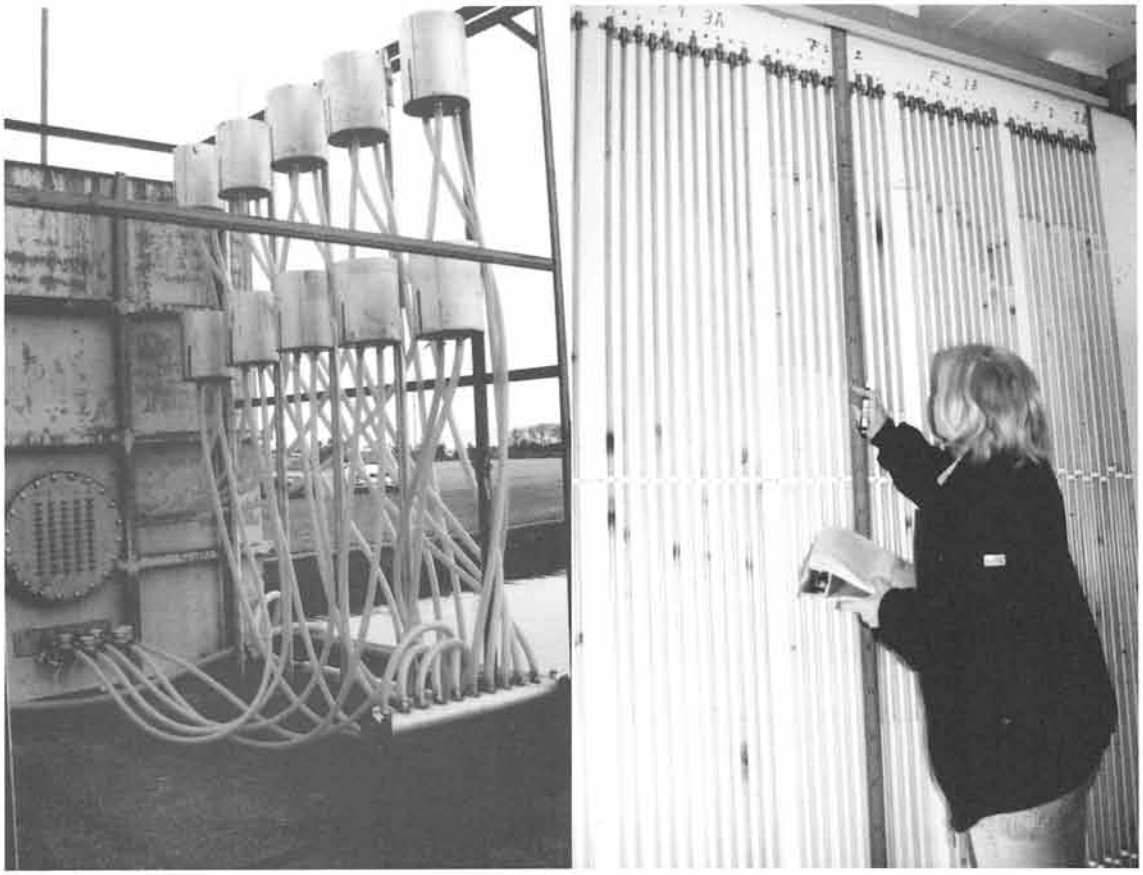
17 Ellis K.V. and Aydin M.E. (1995) Penetration of Solids and Biological Activity into Slow Sand Filters. Water Research, Vol 29 No 5.

18 Ojha C.S.P. and Graham N.J.D. (1996): Numerical Assessment of Microbial Interactions in Slow Sand Filtration Modelling. Advances in Slow Sand and Alternative Biological Filtration. Edited by N.J.D Graham and R. Collins. John Willey & Sons.

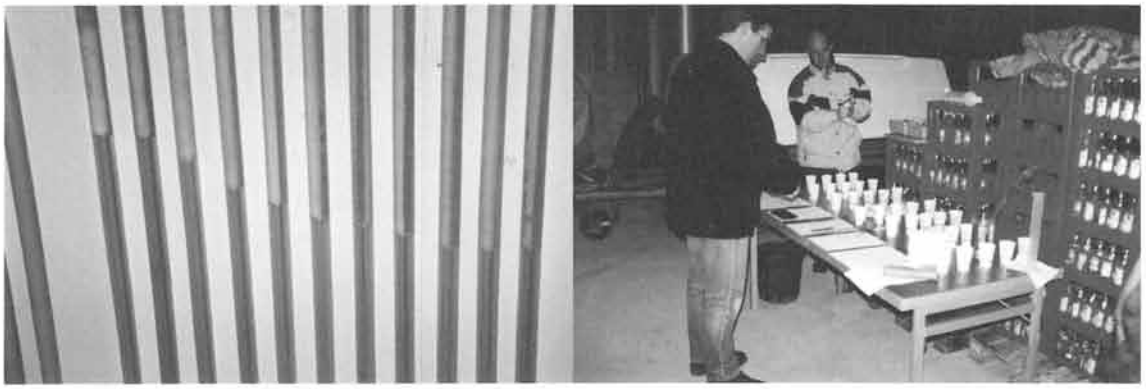
19 Woodward C.A. and Ta G.T. (1988): Development in Modelling in Slow Sand Filtration. Slow Sand Filtration: Recent Development in Water Treatment Technology. Edited by Graham N.J.D. Chichester, U.K. Ellis horwood Ltd.

20 Jabur H. (1976) : Slow Filters and its Role in Water Treatment. PhD thesis. Hungarian Academy of Sciencis.

Bilder från projektet



Figur 1. In- och utloppsanordningar, Ida i färd med att avläsa piezometrarna



Figur 2. Piezometrar filter 2, Bo och Mikael utför kloreringsförsök under 24 h.

Figur 3. Provtagarea limnologicus v. sandelli vid sandprovtagning 1998-05-13.

Figur 4. Ida med syremätaren, Husam förevisar piezometrarna vid ett referensgruppsmöte.

Figur 5. Studie av utloppsanordning och rensutrustning vid Berggårgens vattenverk, Linköping, vid besök 1998-01-15.

Figur 6. Nylagda filter på Ringsjöverket vid ett möte mellan Jönköping, Linköping, Sydvatten och VBB VIAK 1998-06-05.

Långsamfilterförsök Häggeberg

MÄTPROGRAM SAND OCH HYDRAULIK (upprättat 97-06-05, reviderat 98-01-27)

Parameter	Ansv. provtagning	Analys	Omfattning	Provintervall	Provmängd
Filtersand					
Siktanalys	Brogårdsand	Brogårdsand	3 st sandtyper	1 gång före försök	-
Effektiv kornstorlek	”	”	”	”	-
Specifik yta	”	”	”	”	-
Porositet	”	”	”	”	-
Densitet	”	”	”	”	-
Form	”	”	”	”	-
Olikformighetskoefficient	VBB VIAK	VBB VIAK beräkning	”	”	-
Permeabilitet	”	”	”	”	-
Siktanalys använd filtersand	VBB VIAK	Brogårdsand	5 filter x 10 prover	Efter försöksdrift	-
TS+glödrest använd filtersand	VBB VIAK	Lab Simsholmen	5 filter x 10 prover	Efter försöksdrift	-
”	”	”	1-2 ggr för 1 bef filter	Under försöksdrift	-
Hydraulik					
Tryckförhållanden	Personalen Häggeberg	Avläsn nivårör	5 x 11 nivårör	Dagligen	-
Flöde	VBB VIAK	Avläsn flödesmätare	5 st flödesmätare	**2 ggr/v**	-
Filterhastighet referensfilter	”	Avläsning dator	1 st bef. filter	Dagligen	-

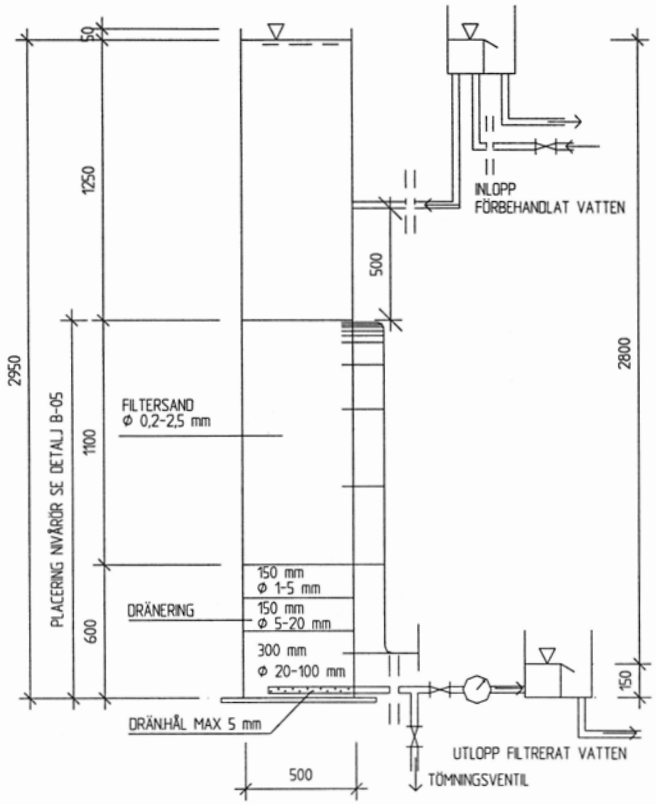
Långsamfilterförsök Häggeberg

MÄTPROGRAM VATTEN (upprättat 97-06-05, reviderat 97-06-11, reviderat 97-09-15, reviderat 97-11-14, reviderat 98-01-27), fet stil=reviderad provtagn

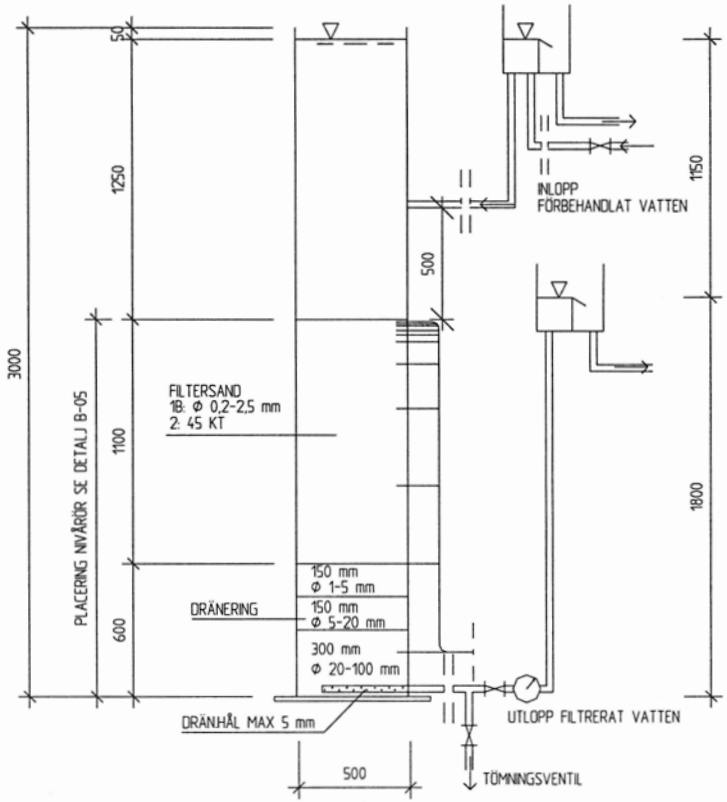
Första provtagningen **tis 10 juni** (som "måndagsprovtagning"). Sedan torsdagar och måndagar enligt nedan.

Parameter	Ansv. provtagning	Analys	Omfattning	Provintervall	Provmängd
Temperatur (°C)	Lab Simsholmen	Fältinstrument	7-8 prover/gång*	(Dagl. Inledn vis) **2 ggr/v**	-
pH	"	"	"	(Dagl. Inledn vis) **2 ggr/v**	-
Löst syre (mg/l)	"	"	"	(Dagl. Inledn vis) **2 ggr/v**	-
Mättnadsgrad	"	"	"	(Dagl. Inledn vis) **2 ggr/v**	-
Konduktivitet (mS/m)	"	"	"	(2 ggr/v) **1 ggr/v**	-
Turbiditet (NTU)	"	Lab Simsholmen	"	Mån, Tors varje v.	50 ml
alkalinitet (mg/l)	"	"	"	"	100 ml
Totalhårdhet (°dH)	"	"	"	(Tors varje v) **1 ggr/2v**	50 ml
Lukt	"	"	"	" **4 ggr/år**	
Färg, spektrofotometri	"	"	"	" **4 ggr/år**	150 ml
SS	"	"	"	1ggr/2v RV IV	1 l
COD_{Mn}	"	"	"	Tors varje v.	1 l
BOD_7	"	"	"	"	ingår ovan
TOC	"	Svelab	"	"	100 ml
AOC			"	**1 ggr/år**	
Heterotrofa bakterier	"	Svelab	"	Tors varje v.	0,5 l
Escherichia coli	"	"	"	"	ingår ovan
Koliforma bakterier	"	"	"	"	ingår ovan
Alganalyser	"	BS Sötvattenkonsult	"	3-4 ggr/år	
Fosfat PO_4-P	"	Lab Simsholmen		**2-3ggr/år**	
Fenol	"	Svelab		**2-3ggr/år**	

* Prov på råvatten, (inkommande vatten till filter), utgående vatten från 5 filterkolonner och ett referensfilter.

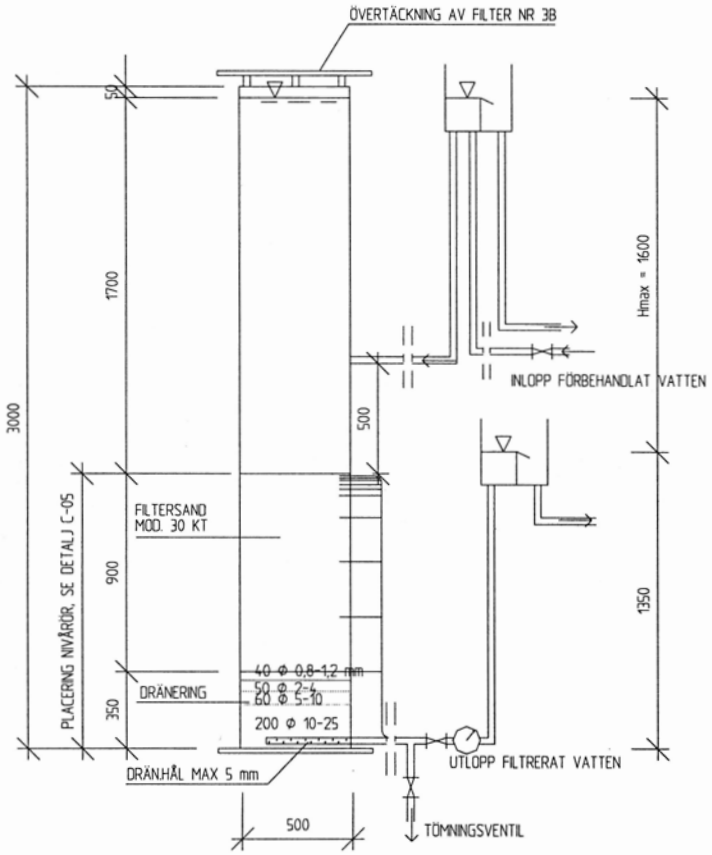


FILTER 1A



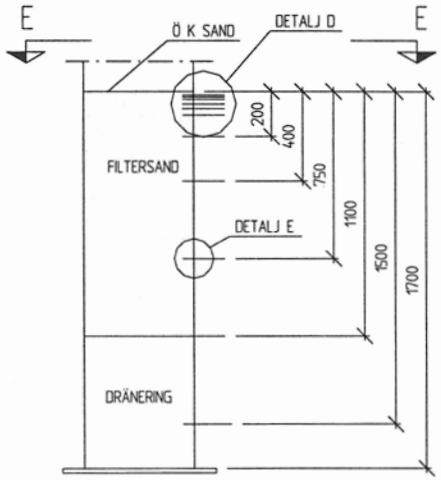
FILTER 1B OCH 2

VBB VIAK SWECO
Vatten och Miljö Jönköping



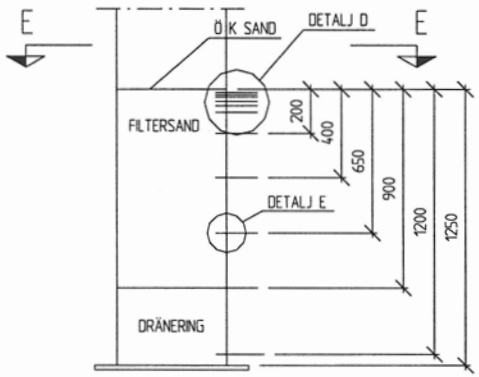
FILTER 3A OCH 3B

VBB VIAK SWECO
Vatten och Miljö Jönköping



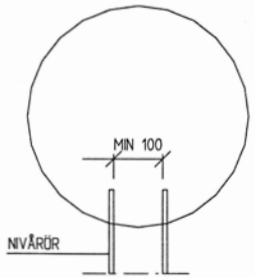
DETALJ A

PLACERING AV NIVÅRÖR FÖR FILTER 1A, 1B OCH 2
OBS! AVSER AVSTÅND FRÅN Ö K SAND TILL HJÄSSA NIVÅRÖR



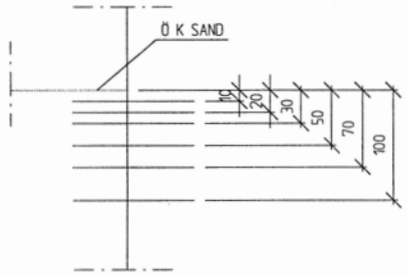
DETALJ B

PLACERING AV NIVÅRÖR FÖR FILTER 3A OCH 3B
OBS! AVSER AVSTÅND FRÅN Ö K SAND TILL HJÄSSA NIVÅRÖR



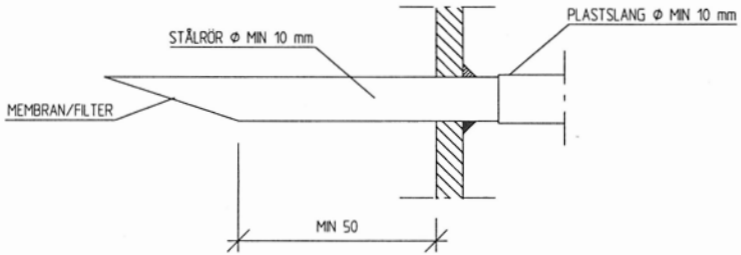
SEKTION E

GÄLLER DE ÖVERSTA 6 NIVÅRÖREN.
HORISONTELLT AVSTÅND MELLAN
RÖREN MIN 100 mm.



DETALJ C

PLACERING AV DE 6 ÖVERSTA NIVÅRÖREN I SAMTLIGA FILTER
OBS! AVSER AVSTÅND FRÅN Ö K SAND TILL HJÄSSA NIVÅRÖR



DETALJ D

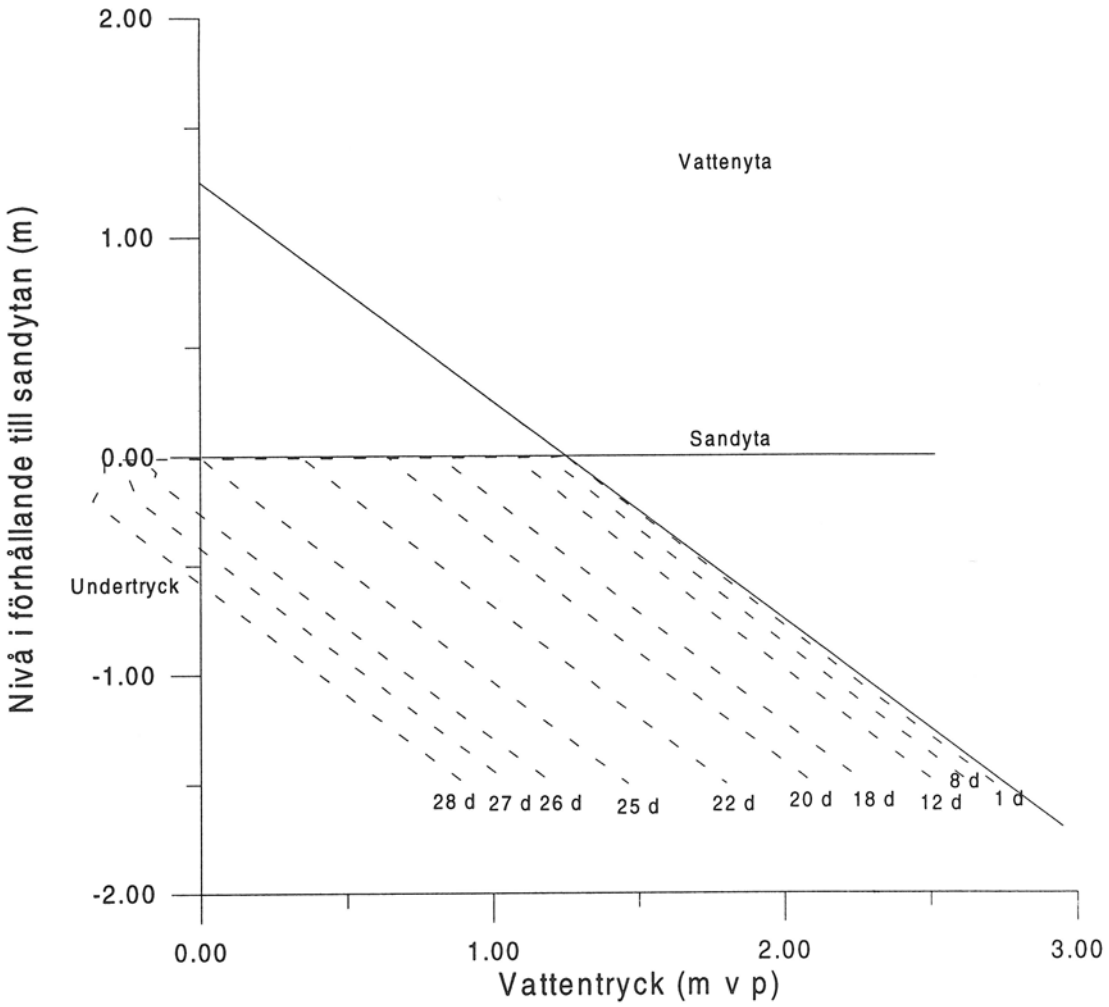
ANSLUTNING AV NIVÅRÖR

VBB VIAK SWECO
Vatten och Miljö Jönköping

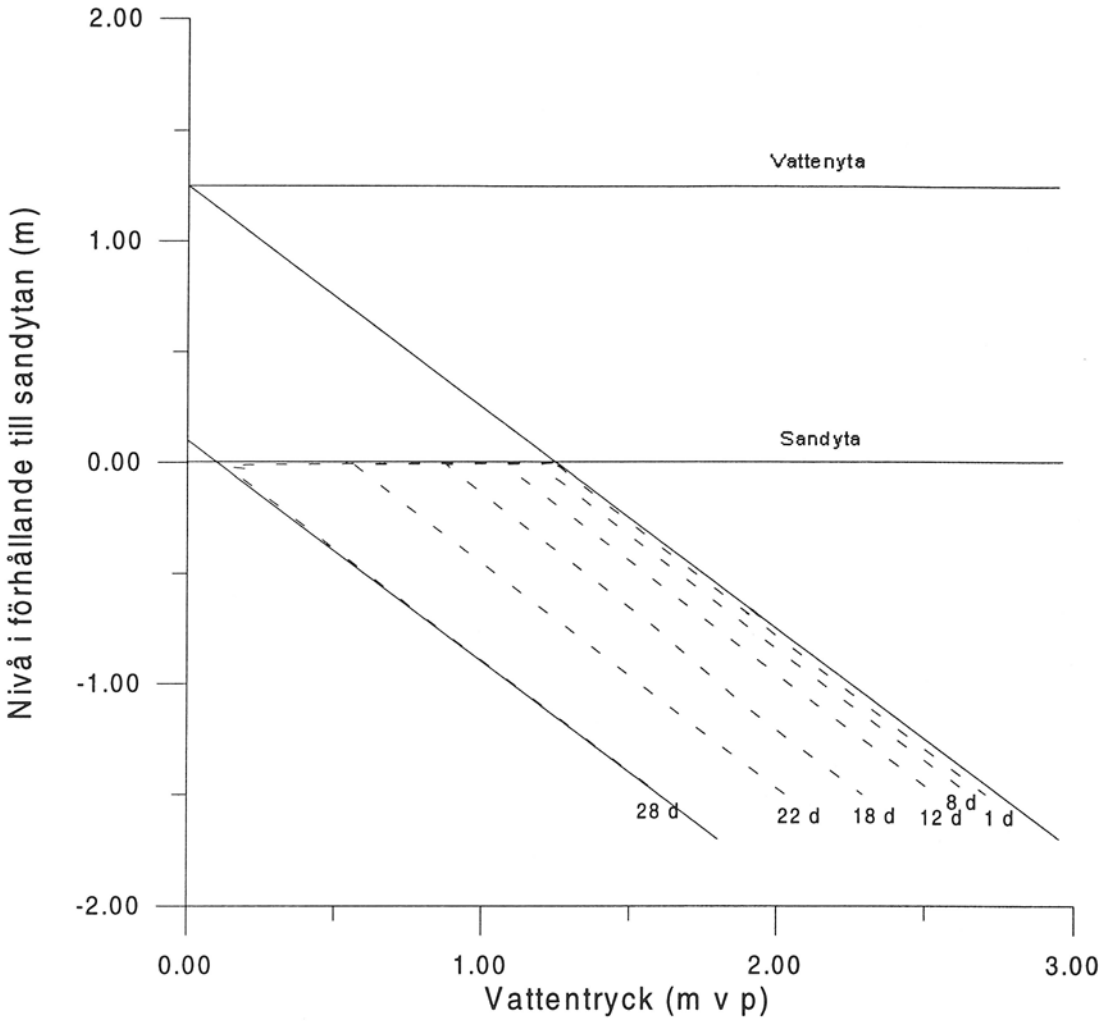
SANDSPECIFIKATIONER

	Sandtyp			
	Filter 1a/b	Filter 1b	Filter 2	Filter 3a/b
	Häggebergssand, ny	Från 20 cm efter 8 mån	45 KT	K1F7
Kornstorlek	0,18-4,0	0,18-2,0	0,18-0,85	0,18-0,70
d_{10}, mm	0,42	0,41	0,28	0,21
$d_{közeny}$, mm	0,60	0,54	0,37	0,26
KC d_{60}/d_{10}	1,55	1,46	1,50	1,23
Specifik yta, m^2/m^3	9857	10950	13780	17900
Formfaktor (ψ)	0,70	0,70	0,80	0,85
Porositet, n %	31	31	32	35
k, cm/s•10^{-2}, 0°C	2,46	2,00	0,81	0,46
10°C	3,39	2,74	1,12	0,64
20°C	4,36	3,54	1,45	0,83

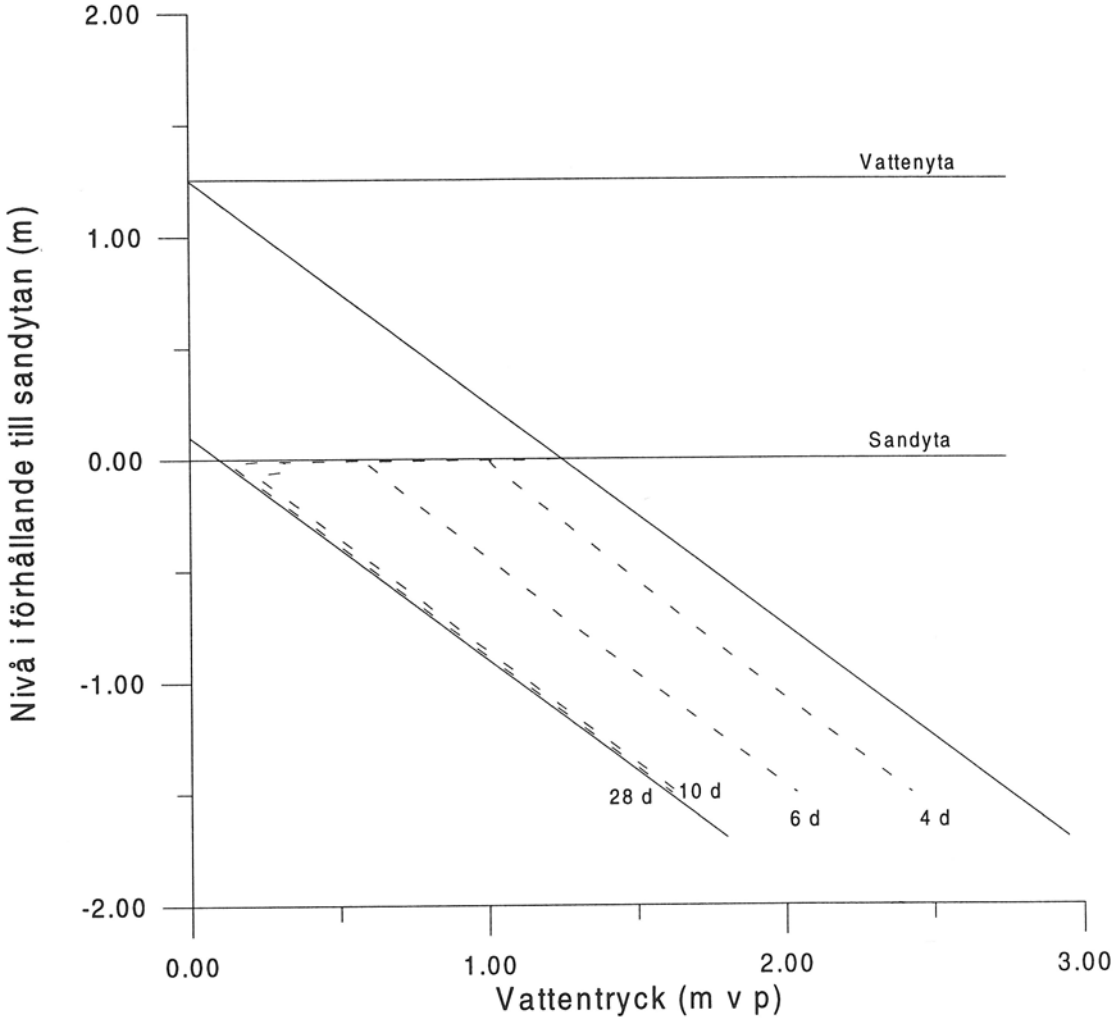
Vattentryck på olika nivåer i filter 1a, försök 1



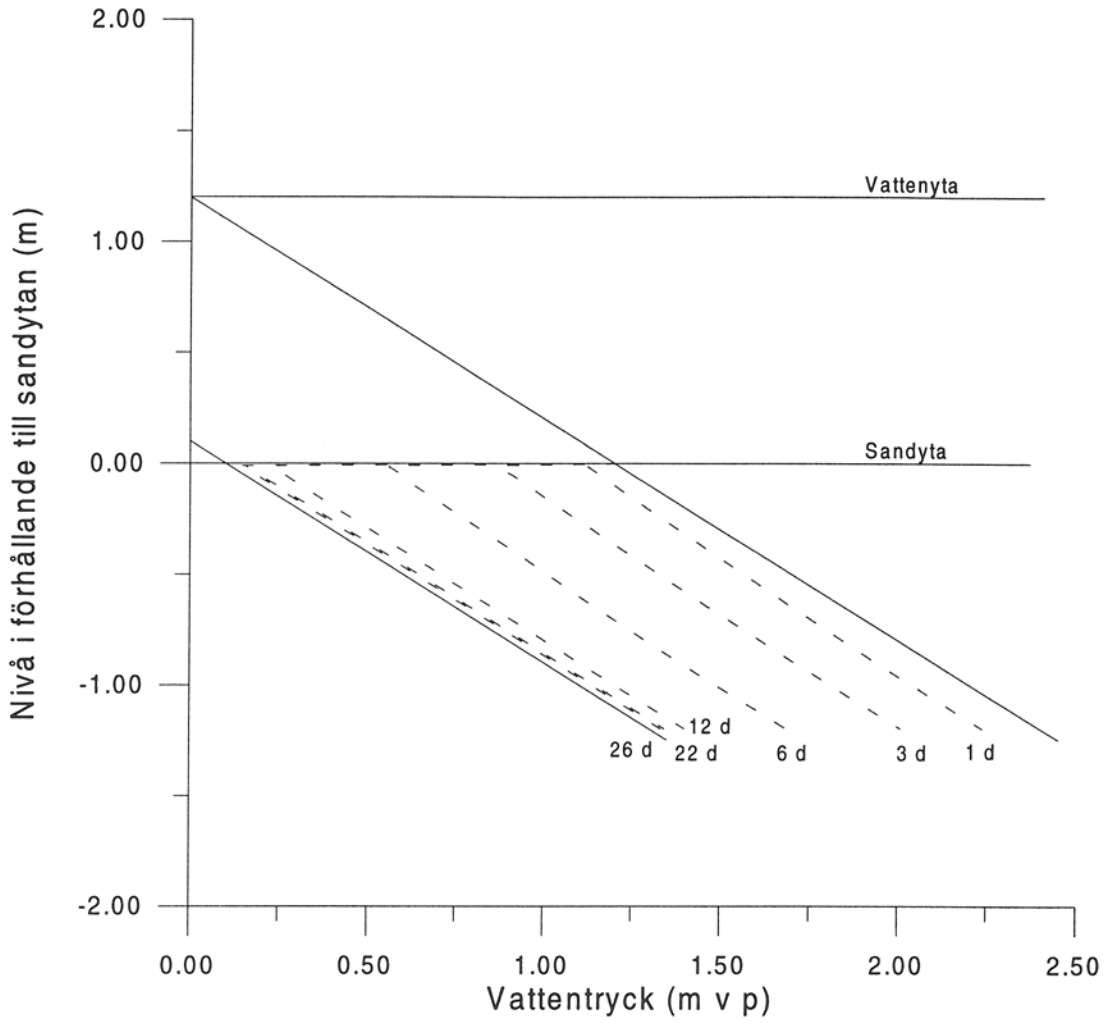
Vattentryck på olika nivåer i filter 1b, försök 1



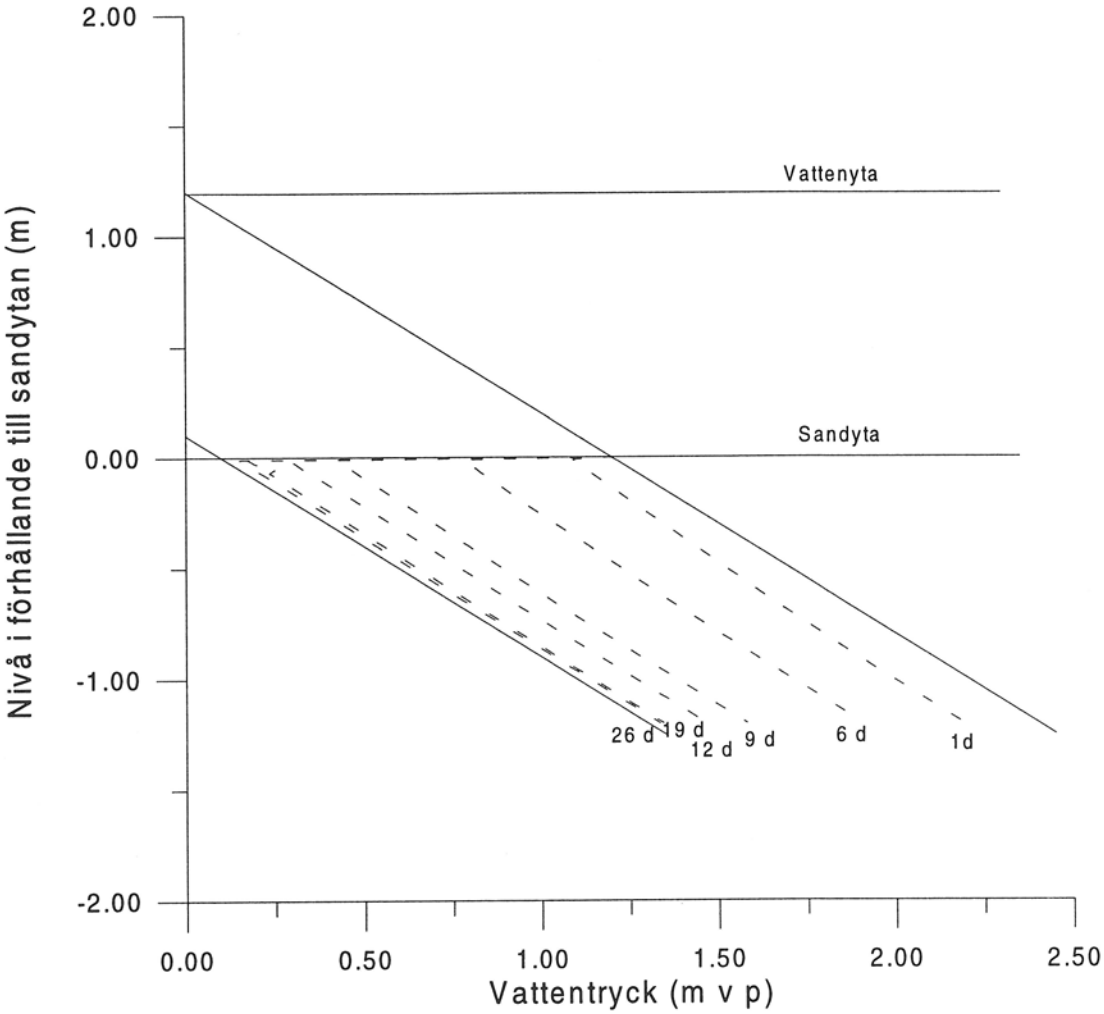
Vattentryck på olika nivåer i filter 2, försök 1

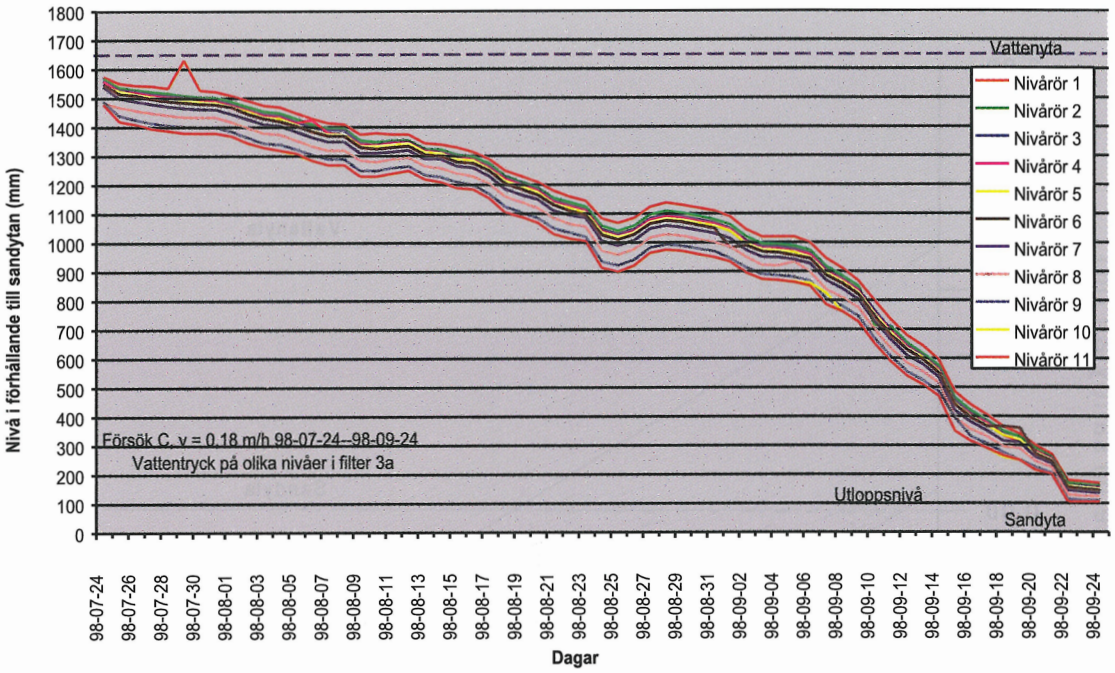


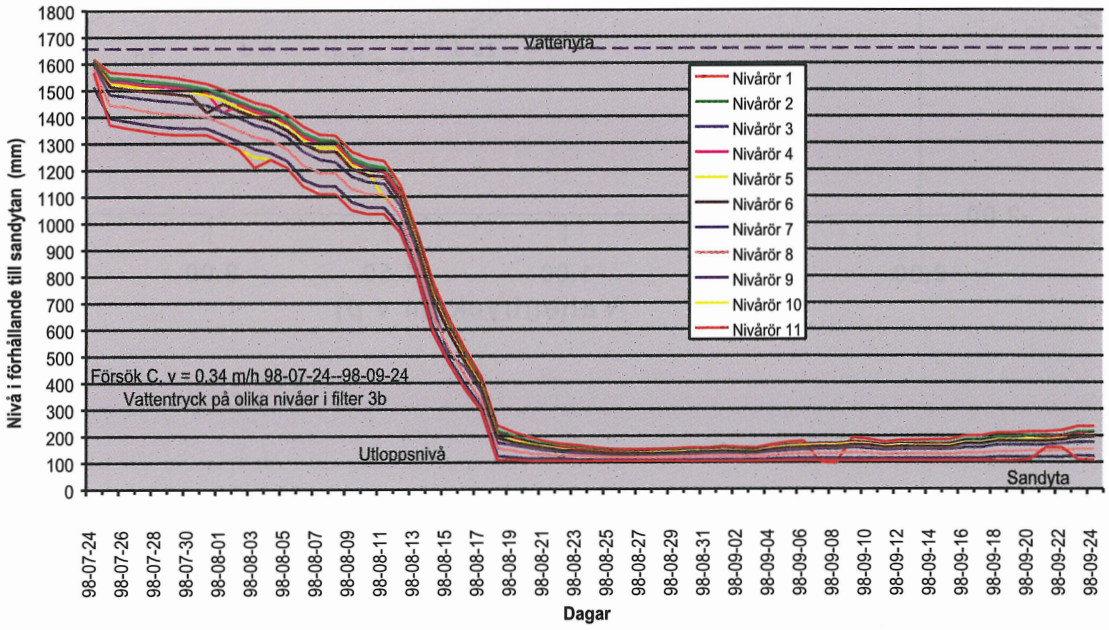
Vattentryck på olika nivåer i filter 3a, försök 1



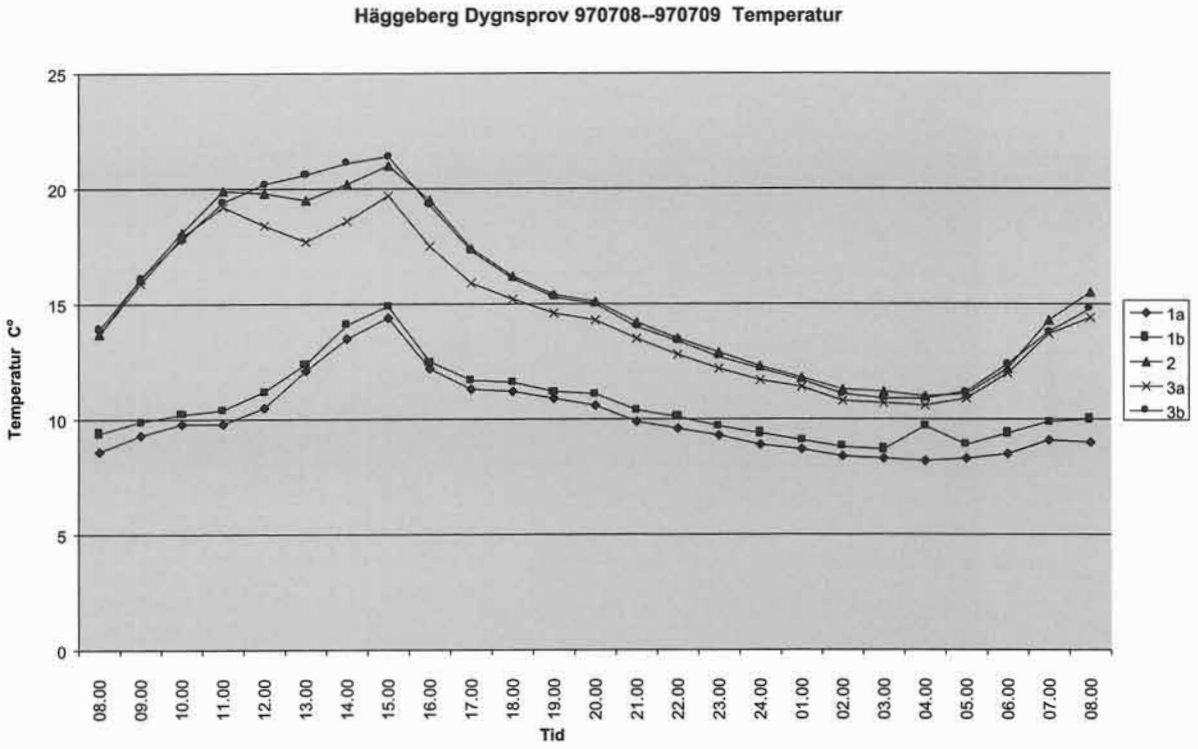
Vattentryck på olika nivåer i filter 3b, försök 1

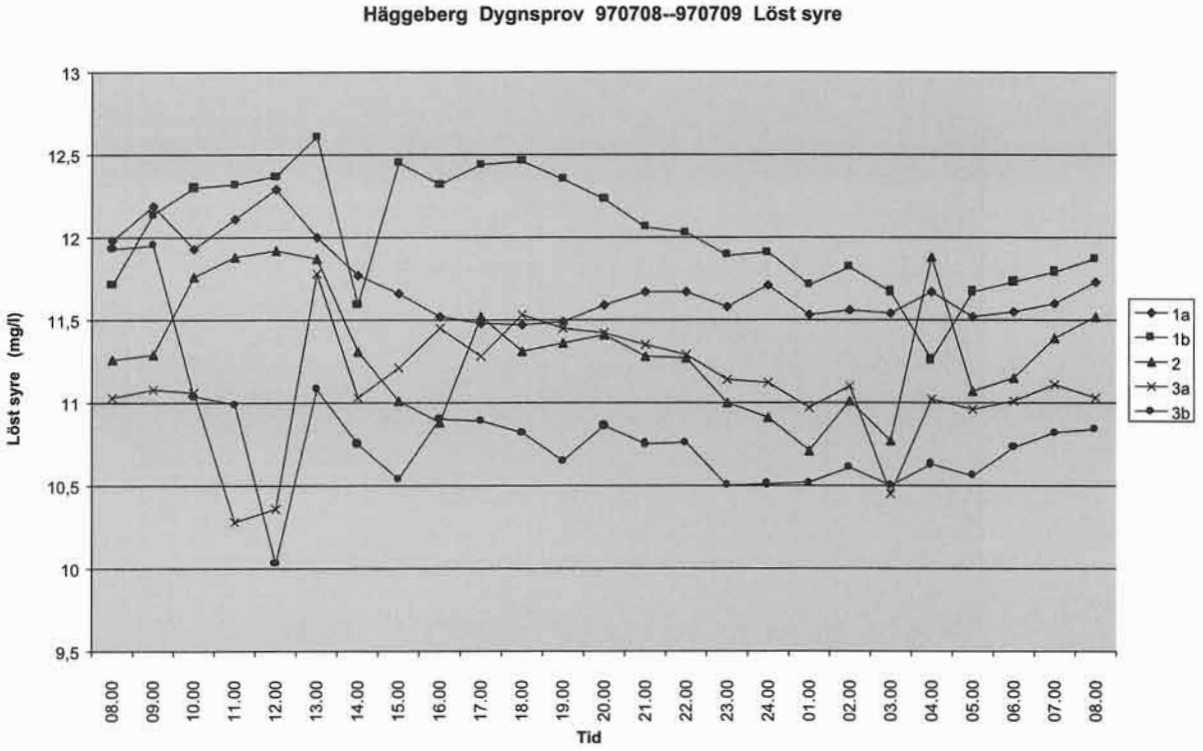


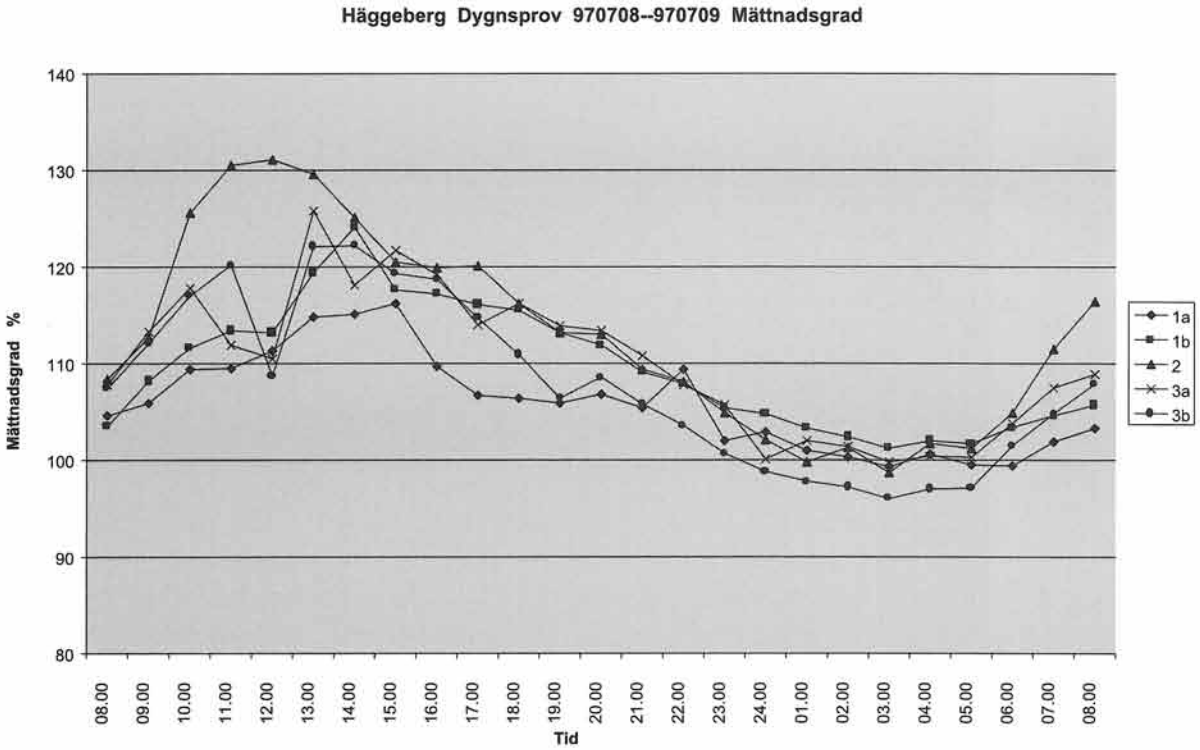


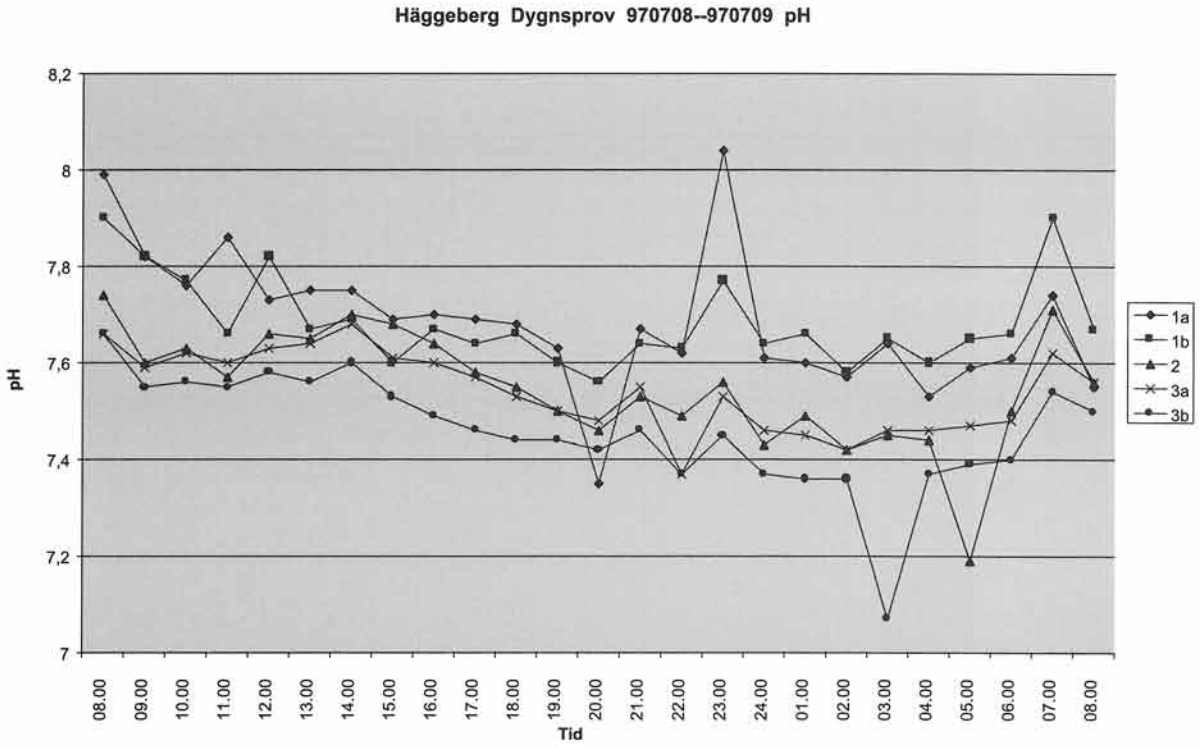


Tryck i filter 3a och 3b under försök C, förhöjd filterhastighet


Häggeberg Dygnsprov 970708--970709 Temperatur
Temperatur C°
25
20
15
10
5
0
08.00
09.00
10.00
11.00
12.00
13.00
14.00
15.00
16.00
17.00
18.00
19.00
20.00
21.00
22.00
23.00
24.00
01.00
02.00
03.00
04.00
05.00
06.00
07.00
08.00
Tid
1a
1b
2
3a
3b


Häggeberg Dygnsprov 970708--970709 Löst syre
Löst syre (mg/l)
13
12,5
12
11,5
11
10,5
10
9,5
08.00
09.00
10.00
11.00
12.00
13.00
14.00
15.00
16.00
17.00
18.00
19.00
20.00
21.00
22.00
23.00
24.00
01.00
02.00
03.00
04.00
05.00
06.00
07.00
08.00
Tid
1a
1b
2
3a
3b


Häggeberg Dygnsprov 970708--970709 Mättnadsgrad
Mättnadsgrad %
140
130
120
110
100
90
80
08.00
09.00
10.00
11.00
12.00
13.00
14.00
15.00
16.00
17.00
18.00
19.00
20.00
21.00
22.00
23.00
24.00
01.00
02.00
03.00
04.00
05.00
06.00
07.00
08.00
Tid
1a
1b
2
3a
3b

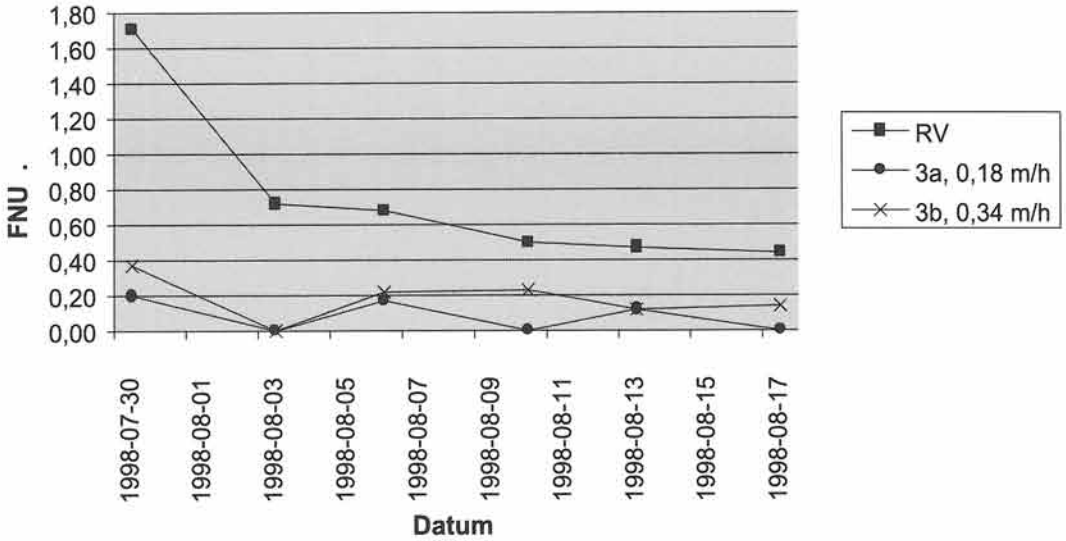

Häggeberg Dygnsprov 970708--970709 pH
pH
8,2
8
7,8
7,6
7,4
7,2
7
08.00
09.00
10.00
11.00
12.00
13.00
14.00
15.00
16.00
17.00
18.00
19.00
20.00
21.00
22.00
23.00
24.00
01.00
02.00
03.00
04.00
05.00
06.00
07.00
08.00
Tid
1a
1b
2
3a
3b

Datum	Fri Kolsyra (mg/l)								Tillhörande Kolsyra (mg/l)								Aggressiv Kolsyra (mg/l)							
	RV	IV	RF	1a	1b	2	3a	3b	RV	IV	RF	1a	1b	2	3a	3b	RV	IV	RF	1a	1b	2	3a	3b
Försök 1																								
97-06-16	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
97-06-19	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
97-06-23	x	x	2	x	x	x	x	x	x	x		x	x	x	x	x	x	x	2	x	x	x	x	x
97-06-26	x	x	x	x	x	x	x	2	x	x	x	x	x	x	x		x	x	x	x	x	x	x	2
97-06-30	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
97-07-03	x	x	5	x	x	2	2	2	x	x	0	x	x				x	x	5	x	x	2	2	2
97-07-07	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
97-07-10	x	x	x	x	x	x	x	2	x	x	x	x	x	x	x		x	x	x	x	x	x	x	2
97-07-14	x	x	3	x	x	2	x	3	x	x		x	x		x		x	x	3	x	x	2	x	3
97-07-17	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
Försök 2																								
97-07-21	x	x	7	x	x	x	x	x	x	x	2	x	x	x	x	x	x	x	5	x	x	x	x	x
97-07-24	x	x	3	x	x	x	x	x	x	x		x	x	x	x	x	x	x	3	x	x	x	x	x
97-07-28	3	x	4	x	x	2	3	3		x		x	x				3	x	4	x	x	2	3	3
97-07-31	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
97-08-04	x	x	2	x	x	x	x	x	x	x		x	x	x	x	x	x	x	2	x	x	x	x	x
97-08-07	x	x	2	3	x	x	x	x	x	x			x	x	x	x	x	x	2	3	x	x	x	x
97-08-11	x	x	3	x	x	x	x	x	x	x		x	x	x	x	x	x	x	3	x	x	x	x	x
97-08-14	x	x	2	5	2	2	2	2	x	x		0					x	x	2	5	2	2	2	2
97-08-18	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
97-08-21	x	x	2	x	3	2	x	2	x	x		x			x		x	x	2	x	3	2	x	2
97-08-25	6	2	7	5	3	3	3	4	1		2						5	2	5	5	3	3	3	4
97-08-28	x	x	2	2	3	2	x	2	x	x					x		x	x	2	2	3	2	x	2
97-09-01	x	x	x	3	2	2	2	2	x	x	x						x	x	x	3	2	2	2	2
97-09-04	x	x	2	3	2	3	2	3	x	x							x	x	2	3	2	3	2	3
97-09-08	6	4	6	4			3	3	5		1						5	4	5	4			3	3
97-09-11	x	x	x	x			2	x	x	x	x	x				x	x	x	x	x			2	x
97-09-18	8	5	6	5			3	3	3		1	0					5	5	5	5			3	3
97-09-22	6	3	5	2			3	3	1								5	3	5	2			3	3
97-09-25	2	2	3	x			2	3				x					2	2	3	x			2	3

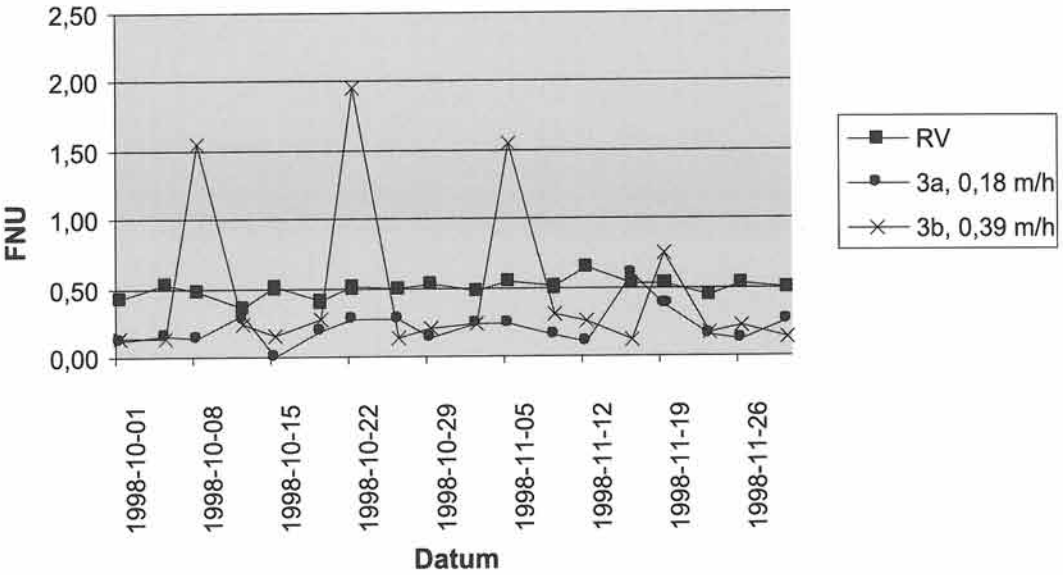
Kolsyra under period 1 och 2, x anger värde < 2 mg/l

Datum	Fri Kolsyra (mg/l)								Tillhörande Kolsyra (mg/l)								Aggressiv kolsyra (mg/l)							
	RV	IV	RF	1a	1b	2	3a	3b	RV	IV	RF	1a	1b	2	3a	3b	RV	IV	RF	1a	1b	2	3a	3b
97-09-08					3	3															3	3		
97-09-11					x	x							x	x							x	x		
97-09-18					3	3,2															3	3,2		
97-09-22					2,2	2,3															2,2	2,3		
97-09-25					2,2	2,5															2,2	2,5		
97-09-29	x	x	2,1	x	x	x	x	2	x	x		x	x	x	x		x	x	2,1	x	x	x	x	2
97-10-02	2,4	7,4	3,3	5	3,2	3,2	4	4,4		2,4							2,4	5	3,3	5	3,2	3,2	4	4,4
97-10-06	2,5	2,5	3,2	x	2,4	2,5	2,4	2,5				x					2,5	2,5	3,2	x	2,4	2,5	2,4	2,5
97-10-09	3	3	3,7	5	3,9	3,9	3,9	3,9									3	3	3,7	5	3,9	3,9	3,9	3,9
97-10-13	4,8	2,5	4,5	4	3,1	3,1	2,7	2									4,8	2,5	4,5	4	3,1	3,1	2,7	2
97-10-16	2,5	2,7	3,2	4	3,2	3	3	2,8									2,5	2,7	3,2	4	3,2	3	3	2,8
97-10-20	2,2	2,8	3,4	2,8	2,5	2,4	2,4	2,4									2,2	2,8	3,4	2,8	2,5	2,4	2,4	2,4
97-10-23	2,2	2,5	-	4	3,2	2,7	2,9	3			-						2,2	2,5	-	4	3,2	2,7	2,9	3
97-10-27	5,4	2,5	5	4	3,1	3,1	3	3	0,4								5	2,5	5	4	3,1	3,1	3	3
97-10-30	x	x	x	2	2	x	x	2,5	x	x	x			x	x		x	x	x	2	2	x	x	2,5
97-11-03	2,8	2,8	3,3	2,5	2,5	2,4	2,4	2,5									2,8	2,8	3,3	2,5	2,5	2,4	2,4	2,5
97-11-06	6,4	2,5	6	5	4	3,9	4	-	1,4		1					-	5	2,5	5	5	4	3,9	4	-
97-11-10	2,8	2,8	3,2	3,2	3,2	3,2	3	3									2,8	2,8	3,2	3,2	3,2	3,2	3	3
97-11-13	5	2,4	6,4	4	4	3,9	3,9	4			1,4						5	2,4	5	4	4	3,9	3,9	4
97-11-17	3,2	6	7,8	5	4,4	3,9	4	3,2		1	2,8						3,2	5	5	5	4,4	3,9	4	3,2
97-11-20	4	3	4	3,2	3,2	3	3	3									4	3	4	3,2	3,2	3	3	3
97-11-24	6	3	3,2	5	3,9	4	3,9	3	1								5	3	3,2	5	3,9	4	3,9	3
97-11-27	x		x	2	2	2	x	2,4	x		x				x		x		x	2	2	2	x	2,4
97-12-01	2,5		2,5	2,5	2,4	2,4	2,5	2,4									2,5		2,5	2,5	2,4	2,4	2,5	2,4
97-12-04	x		2	x	x	x	x	x	x			x	x	x	x	x	x		2	x	x	x	x	x
97-12-08	6,4		5	4	4		3,2	3,2	1,4								5		5	4	4		3,2	3,2
97-12-11	3,2		3,7	4,4	4		3	2,7									3,2		3,7	4,4	4		3	2,7
97-12-15	6		7	5	6,2		3,6	3,6	1		2		1,2				5		5	5	5		3,6	3,6
97-12-18	x		x	x	x		x	x	x		x	x	x		x	x	x		x	x	x		x	x
97-12-22	5		6,2	5	4		3,9	3,7			1,2						5		5	5	4		3,9	3,7
97-12-29	x		x	x	x		x	x	x		x	x	x		x	x	x		x	x	x		x	x
98-01-05	2,9		3,2	3,2	2,9		3	3,1									2,9		3,2	3,2	2,9		3	3,1
98-01-08	x		x	x	x		2	2,5	x		x	x	x				x		x	x	x		2	2,5
98-01-13	7		4,5	6,6	4,4		4,5	4,5	2			1,6					5		4,5	5	4,4		4,5	4,5
98-01-15	6		7,8	6,2	5,2		4,4	5	1		2,8	1,2	0,2				5		5	5	5		4,4	5
98-01-19	5,2		5,2	5	4,6		4,4	5	0,2		0,2						5		5	5	4,6		4,4	5
98-01-22	x		x	x	x				x		x	x	x				x		x	x	x			
98-01-26	3,9		3,3	3,6	2,5												3,9		3,3	3,6	2,5			
98-01-29	8,8		4	6,4	6,2				3,8			1,4	1,2				5		4	5	5			
98-02-02	x		4,1	3,1	3,2				x								x		4,1	3,1	3,2			

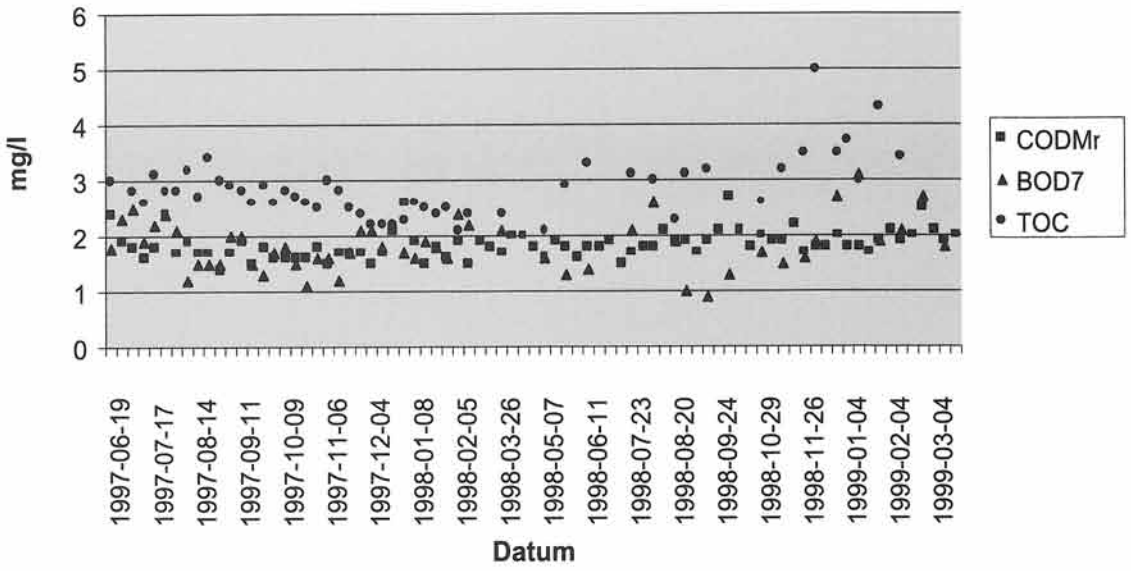
Kolsyra under period 3, x anger värde < 2 mg/l



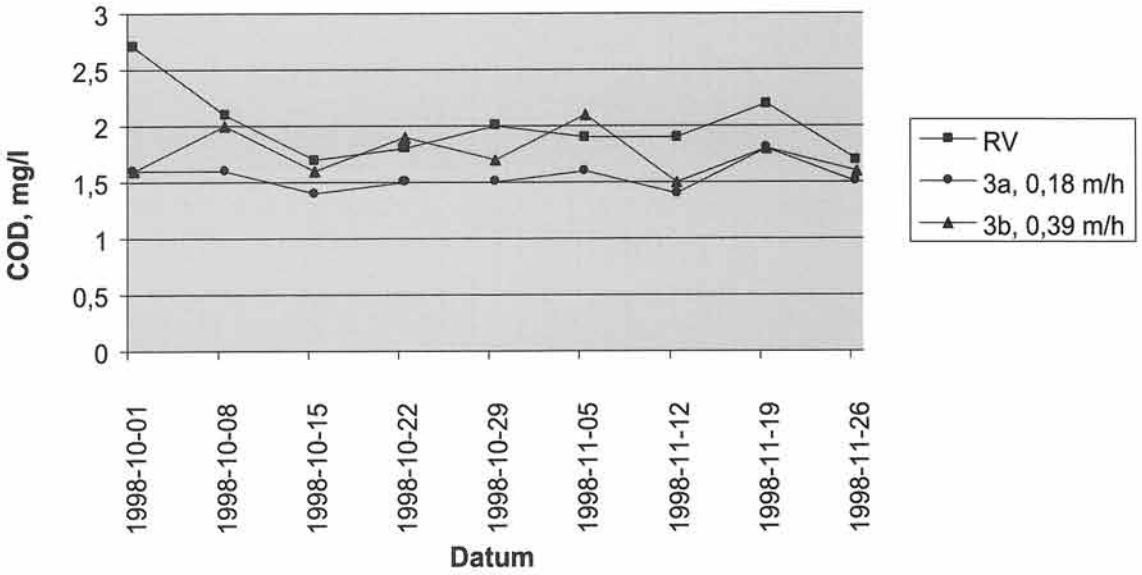
Turbiditet under försök C, förhöjd filterhastighet



Turbiditet under försök D, förhöjd filterhastighet



Råvattenkvalitet med avseende på COD, BOD och TOC



Reningsresultat avseende COD under försök D, förhöjd filterhastighet