

DRICKSVATTEN – VATNETS BEREDNING INFÖR DESINFEKTION MED UV KOAGULATIONSFILTRERING I SNABBFILTER

Drinking water – preparation for disinfection with UV-light
Coagulation filtration in rapid sand filters

av ZDENEK VOR, Åkerbyvägen 356, 18738 Täby



Abstract

In the early 70ies, water in lakes and streams in Sweden was generally clean enough for minimal water treatment to be considered sufficient. The situation was altered by the introduction of novel organisms, e.g., *Cryptosporidium* and *Giardia*, into Swedish waters. Since the year 2000, these unicellular parasites are inherent to several surface waters in Sweden. Existing waterworks, however, are not built to handle such infectious agents, and recent years have seen outbreaks in Lidingö, Östersund and Skellefteå affect thousands. In addition, there is a constant risk of both new and recurrent infections, ranging from bed bugs in apartment complexes to tuberculosis or measles. As wastewater is a major source of infectious agents, prolonged treatment of sewage is essential. Parasites such as *Cryptosporidium* are chlorine-resistant; however, UV radiation has proved highly efficient as a means of water disinfection. Previous studies show that prior to radiation treatment, water turbidity and colour must be low. With this method, more than 90 % of all microorganisms are removed, and the overall water quality improved. Ideally, waterworks should be equipped with a two-step purification barrier, which efficiently decreases microbial contamination compared to single-filtration methodology, even though it can never be 100 % impermeable. Pre-treatment prior to UV radiation should utilise modern membrane filtration technology, where adjustable filter and pressure settings allow for control of a broad spectrum of water pollutants at a select level of efficiency. Alternatively, the established method of contact-coagulation-filtration offers water purification in a single step, discarding humic matter that affects the colour, taste and smell of untreated water. More than 98 % of colloidal particles, even up to quantities of more than 1000 g/m³, can thus be removed.

Key words – parasites, cryptosporidium, contact coagulation-filtration, membrane filtration

Sammanfattning

I början av 70-talet var vattnet i sjöar och vattendrag i Sverige ofta så pass rent att minimal vattenbehandling räckte. Invandring av nya organismer in i svenska sjöar och vattendrag förändrade läget på ett avgörande sätt. Till exempel finns encelliga parasiter (*Cryptosporidium*, *Giardia*) efter år 2000 i flera ytvatten. Vattenverken är inte byggda för dem. Epidemier i Lidingö, Östersund, Skellefteå drabbade tusentals personer. Ytterligare nya infektioner kommer med tiden och gamla kan återvända, på samma sätt som väggloss i bostäder, TBC eller mässling. En stor del av problemet kommer från avloppsverk. *Cryptosporidium*-parasiter är klortåliga. Att desinficera vatten med UV-strålning är effektivt och inte nytt. Enligt gammal erfarenhet måste vatten före bestrålningen ha mycket låg grumlighet och färg. När dessa avlägsnas, tas även mer än 90 % av mikroorganismer bort och vattnet förbättras allmänt. Vattenverken måste ha åtminstone en tvåstegsbarriär mot mikroorganismer även om den aldrig blir fullständig. Två helt skilda metoder som förbehandling före UV anses ge liknande renings-effekt. Membranfiltrering, som är en ny metod, täcker stort storleksspektrum av vattnets föroreningar och ger möjlighet att välja sluteffekt genom val av membransystem. Kontaktkoagulering, som är en gammal metod, innebär filtrering och vattenrening i ett steg och avskiljer upp till mer än 98 % kolloidala partiklar och i mängder upp till mer än 1000 g/m³ i råvatten, liksom små partiklar som humusämnen, färg, partikelbunden lukt och smak m.m.

Inledning

Effektivast rening och barriär mot mikroorganismer är infiltration av ytvatten under lämpliga geologiska förhållanden. Dessa är sällsynta och kräver stor areal. Ibland byggs sandfilter före för att skydda infiltrationsbassänger. Med utveckling av membranfiltrering finns möjlighet att utnyttja även geologiskt mindre lämpliga lager som annars skulle anrika vattnet med metaller m.m. Vatten kan dock påverkas på ett bättre sätt nuför tiden.

Långsamfiltrering kan ses som ett försök att efterlikna infiltration. Den kräver inte stora ytor, men är långtifrån så effektiv. Råvatten måste redan vara så rent att det kan kvalificeras som »mindre gott dricksvatten». Långsamfilter ger högst ett par tiotal % minskning avseende färg och kolloidal grumlighet (Vor, 1989). Reningseffekten minskar dessutom vintertid. Aluminium som hittades upp till 1 g/m³ i en i alla avseenden bra vattentäkt passerade rakt genom. Det var dock inte brukligt att redovisa aluminium i journaler från långsamfilterverk.

Vill man öka effektiviteten i den vanliga gamla processen, flockning, sedimentering och snabbfilter, är det snabbfilter som ger möjligheter till effektivisering. Sedimentering är temperaturberoende och kan knappast påverkas. Snabbfilter är avsett att ta bort restflock efter sedimenteringen. Effekten är osäker särskilt vid överbelastning och förutom översta skiktet är resten av bädden måttligt verksam.

Snabbfilter byggs även som sista steg i avloppsverken. Det förbättrar effekten med några % så länge kemisk sedimentering fungerar så bra att filter egentligen inte behövs (Vor 1990, *fig. I*), (Projekt STAMP 1994) m.m. Högre krav på avloppsverk är viktigt eftersom därifrån kommer de flesta smittämnen som sedan förökar sig och sprider sig i recipienten. En annan källa är slam från avloppsverk och även från vattenverk men detta berörs inte här. Inte bara dricksvattentäkter måste skyddas. Ytvatten tjänar även andra ändamål, och inte minst som badvatten.

En ny metod för vattenrening som introducerades under senare årtionden är membranfiltrering. Den erbjuder flera grader av partikelavskiljning. Ultrafiltrering för grövre partiklar, högtrycks- nanofiltrering anses fungera även på humusämnen. Högsta steget om man vill komma åt lösta salter är omvänd osmos. Membraner arbetar med olika tryck, enligt uppgift från ca 1,5 bar för ultra- till 20 bar för nanofilter. Systemet kan säkert räknas som lämplig förberedelse för UV-behandling om det håller i vardaglig drift. Sedan finns den gamla metoden, kontaktkoagulation-filtrering med ungefär samma effekt, tillräcklig som förberedelse inför UV. Även denna rening måste emellertid skötas rätt.

För framställning av dricksvatten har man genom

tiderna således utvecklat olika metoder som använts i olika kombinationer. Syftet med denna artikel är att fästa uppmärksamhet på gamla, beprövade reningsmetoder som tänkbart förberedande steg inför desinfektion med UV.

Membranfiltrering

Det mest eleganta filtret borde vara en fungerande silmaskin med maskvidd $10 \times 10^{-9} = 10\text{nm}$ med möjlighet att fälla i silduken. Annars återstår filter med kornig bädd ... (Vor 1990).

Membranfiltrering anses lämplig att ersätta traditionell beredning av dricksvatten med flockning, sedimentering och sandfilter. Heinicke och Persson (2006) rapporterar omfattande försök och studier på Lackarebäckens vattenverk i Göteborg. Som process är membranfiltrering att betrakta som silning, vatten pressas genom membran med liten porstorlek. Öppningarna i membranen kan vara så små att även kolloider och färg avskiljs i hög grad. Detta är ett omfattande teknikområde som utvecklats och används för bruk i laboratorier, industrier, sjukhus, och på senare tid föreslås även för vatten- och avloppsverk. Försök i pilotskala med produktion 4 m³/h är på gång (2015) i Östersunds vattenverk och med avloppsrening på avloppsverket i Göteborg. Litteraturen i ämnet är omfattande efter 2002.

Vatten i naturen är föränderligt på ett oförutsägbart sätt. Drift under tillfällig försämring av råvatten vid islossning på älvar eller algväxt sommartid diskuteras i Heinicke och Persson (2006) liksom olika förbehandlingsåtgärder av vatten före membranläggningen. Den förbättrar vatten i flera avseenden. Vissa typer av smak och lukt kan ofta filtreras bort. Detta konstaterades vid intrimning av gamla koagulation/kontaktfilter (Vor, 1989). Undersökning i Lackarebäck tyder på att det fungerar på samma sätt med membranläggning.

Ultrafiltrering kan komplettera eller ersätta snabbfiltrering vid kemisk fällning och har membran med en porstorlek i samma storleksordning som virus. Den uppges ha låg energiförbrukning, men har normalt ingen effekt på halten av organiskt material i vattnet (Heinicke och Persson, 2006).

Nanofilter kan ersätta den kemiska fällningen med sedimentering och snabbfilter. Membran har mindre porer än ultramembran och uppges minska organiskt material, framförallt färg i hög grad. Erforderligt tryck ligger på 5–10 bar. Heinicke och Persson (2006) uppger att

alltför höga inkommande halter av partiklar och vissa typer av organiskt material leder till igensättning (fouling) av membranet, vilket minskar kapaciteten man

kan dimensionera för och förkortar livslängden av membranelementen. En noggrant vald förbehandling är därför en avgörande faktor för nanofiltreringens tillämpbarhet. Hydrauliskt lågbelastad nanofiltrering av ytvatten med enkel förbehandling är idag en vanlig process i Norge (Thorsen 1999; Ødegaard et al. 1999, 2000).

Ett mindre avloppsverk med aktivslam, uppströms-kontaktfilter och med UV fanns i Norge sedan 1970-talet. Renat vatten samlades i en liten sjö och därifrån pumpades dricksvatten utan någon vidare behandling till samma samhälle.

Membranutrustningens leveransform kan vara attraktiv för investerare. Det finns flera firmor som erbjuder maskinutrustning som bara monteras in i maskinhallar. Erfarenheter med rengöring av membraner är inte dokumenterade än, för varken vatten- eller avloppsverk.

Kontaktkoagulation-filtrering, en ettstegsrening som beredning inför UV

Vänder man på strömmen i ett snabbfilter – filtrerar uppströms – kan fällningsmedel tillsättas till råvatten strax före bädden där koagulation sedan sker. Teorin för koagulation i bädden, intermolekylära krafter, van der Waals krafter och lämpligt filter härtill utformades av Minz i Ryssland under 40–50 talet och där har tekniken också använts i stor skala (Minz, 1951). I ett idag viktigt avseende, som barriär mot mikroorganismer har uppströmsfilter en principiell brist: spolslam lämnar filtret samma väg som filtrat, renvatten. Bassängväggar och luckor m.m. kan kontaminera filtrat med rester av spolslam. Uppströmsfilter är svårt att betrakta idag som barriär just därför. Kontaktfiltrering som process kan emellertid användas även nedströms.

Ett av vattenverken för Prag byggda under 70-talet för ca 7 m³/s har nedströms snabbfilter, där fällningsmedel tillsätts till råvatten strax före filtren. Råvattnet är mycket rent och dosen av fällningsmedel är liten. Ett snabbfilter med fördjupad bädd användes här som ettstegs rening, som koagulationfiltrering. Som Minz säger i texten »... filtracii malokoncentrirovanych suspensii = filtrering av *litet koncentrerade* suspensioner ...» (Minz, 1951). Lämpligt råvatten är en förutsättning när man vill använda sig av nedströmsfiltrering.

Pragverket tar råvatten från en damm byggd i skyddsområden som förberetts under ett antal tidigare generationer. Med mera förorenat råvatten av varierande kvalitet skulle det vara vanskligt.

I koagulationsfilter som i varje sandfilter, pågår huvudsakligen två processer:

- Mekanisk silning – grövre partiklar och även restflock från sedimentering, vilka är alltid större än kanaler mellan sandkorn, stannar i bäddens inträdesskikt.
- Små partiklar och kolloider rör sig fritt i kanaler i sanden och beter sig ungefär så som kända ekvationer (av t.ex. Ives, Mackerle, Minz m.fl.) beskriver. Samma förhållande råder i finkornigt långsamfilter där även biologisk destabilisering av suspensionen pågår. Destabiliseringen är selektiv, fungerar inte för bl.a. färg.

De små partiklarna som rör sig relativt fritt i de trånga kanalerna mellan sandkorn i sandbädden skulle i fritt vatten med större dos av fällningsmedel bilda flockar, stora och väl synliga. Inne i sandbädden finns inte utrymme för flockar, små partiklar följer den snabba vattenströmmen i kanalerna mellan sandkorn, de kommer i kontakt med varandra eller sandkorn och koagulerar. Tillsats av liten dos av något fällningsmedel är en förutsättning, liksom lämpligt pH. Beläggning, koagulant bildas på sandkorn och utfällningen ses med blotta ögat, fastän en enskild partikel mäter endast några nm. Processen kallas kontaktfiltrering, koagulation-filtrering, kontaktkoagulation-filtrering (Minz, 1951; Nemeth och Nyberg, 1969). Lämpliga konstruktioner av filter för denna process är få, i snabbfilter är det inte genomförbart.

I Sverige infördes Minz-filter för att fälla fosfor i avloppsvatten och tillämpades även för framställning av dricksvatten (Nemeth och Nyberg, 1969; Peterson och Vor, 1974). Filtren kallades kontaktfilter och var lika för både dricks- och avloppsvatten. I avloppsverk tål filtret SS i råvatten upp till mer än hundra g/m³. Det är mycket mer än ett vanligt snabbfilter (Vor, 1988; 1990; NUTEK-projekt nr. 03368 P). Fram till 1990 var knappt 50 verk i drift i Sverige. Filtrat av avloppsvatten blandat ca 50:50 med avfall från ett stort slakteri blev efter aktivt slam och kontaktfilter klart som kranvatten. Personal på avloppsverk styrde filtren så att »varje sandkorn (0,5 mm) är klart synligt» genom ca 2 m vatten – filtrat i uppströms-filter tas ut ovanför sandbädden. Då var även halter av P och BOD som regel tillfredsställande. Ju mindre partiklar desto lättare är att avskilja dem. Vid rening av ej sedimenterande gruvvatten med borrhämm i mängder över 1000 g/m³, mjölkigt vatten, fällades även löst Pb till PbS och avskildes. Partikelstorleken är inte känd, men torde vara liten. Filtratet var klart som kranvatten. Som fällningsmedel fungerade även enkelt Al-sulfat i några tiotal g/m³. På samma sätt avskildes flera andra metaller. Tekniken bör fungera lika bra även på levande mikroorganismer, deras ägg, sporer eller andra smittämnen, dock var analyser av dessa inte obligatoriska vare sig för avloppsverk eller för vattenverk vid normal drift och saknas.

För att få koagulation/kontaktfilter att arbeta och se

ut som vanligt nedströms snabbfilter, lättbegripligt och som man är van vid måste villkoret ».. filtrering av litet koncentrerade suspensioner ..» elimineras.

I alla filter med kornig bädd pågår reningsprocessen på samma sätt som beskrivs i ekvationen för alla typer av filter med kornig bädd, snabbfilter, långsamfilter, koagulation-kontaktfilter (Vor 1990). Händelser i filterbädden beskrivs med motstånd HT :

$$HT = k_1 * T_1 * C * v^2 + k_2 * L_2 + k_3 * L_3 + a * L_4 * v \quad (1)$$

där $k_1 * T_1 * C * v^2$ är motståndsökning i skiktet med både koagulation och silning vilket oftast avgör gångtid mellan spolningar, v är filtreringshastighet, k_1 , k_2 , k_3 är koeficienten för zonens hydrauliska motstånd, L_2 , L_3 , L_4 är zonens höjd, C är partikelmängd och $a * L_4 * v$ är Darcys lag. Ekvationen är resultatet av mätningar både i vatten- och avloppsverk.

På trycklinjerna HT kan urskiljas 4 zoner med olika funktioner:

Zon 1 – inträdeszon – med koagulation och mekanisk funktion – silning.

Zon 2 – zon med skenbar stabilitet. Trycklinjer vid olika tider är nära parallella.

Zon 3 – aktiv zon – här pågår avskiljning av partiklar som passerat zon 1 och 2.

Zon 4 – är ännu outnyttjad zon – zon utan avlagringar, »ren» sand. L_4 minskar under gångtiden.

Zonernas läge i filterbädden räknas från inloppssidan. Läge av zon 1 beror på inloppets arrangemang, i nedströms filter är de belägna upptill, i uppströmsfilter vid filterbotten. I vanliga snabbfilter utan dosering är trycklinjer i zon 2 och 3 nära parallella under hela gångtiden. Det tolkas som att nästan ingen motståndsökning sker där. (Vor, 1990). Samma förhållande gäller i långsamfilter (Jabur m.fl., 2005). Sand i långsamfilter byts ut med ett par års mellanrum. Föroreningar som stannar i långsamfiltrets zoner 2–4 under denna tid har inte möjlighet att hålla sig i färskt tillstånd utan anses nerbrutna, »uppätta» av livet i bädden. Mindre partiklar som kolloider, färg m.m. passerar huvudsakligen igenom bädden. Samtliga rester följer vidare med vatten till nätet, den enda vägen ut ur filtret.

Koagulationsfiltrering i modifierat snabbfilter

Råvatten pumpas vid filtrering – intermittent, anpassat till flöde – *in i bädden* och med samma rörsystem spolas zon 1 där motståndet växer snabbt och igångsätter spolningar. Nedströms snabbfilter fungerar som koagulationsfilter även med starkare förorenat råvatten, det mesta av slammet silas bort i zon 1:

- Sandbädden är djupare. Mellanbotten som i vanligt snabbfilter är lämplig.
- Zon 1 spolas separat enligt förhållanden i zon 1 – övre spolning.
- Hela bädden spolas enligt förhållanden i hela bädden – vanlig djupspolning.

Övre spolning – zon 1 – vid filtrering pumpas råvatten med fällningsmedel in i bädden under sandytan. Övre spolning med flera timmar mellanrum pågår under några minuter och sker med samma råvatten som pumpas in som vid filtrering. Utspolat slam sätter sig på sandytan.

Djupspolning – spolning av hela bädden sker med filtrat från slitsade dysor på dubbelbotten eller från perforerade rör som vid ett vanligt snabbfilter. Även luft bör användas. Spolningen förkortas med högre hastighet. Övre spolning med råvatten är i gång samtidigt, vilket sparar på filtrat. Slammet från kontaktfällning är tungt, lämplig hastighet för utspolning är 30–60 m/h för att slam transporteras bort. Djupspolning startas enligt förinställd gångtid och förloppet styrs av automatik liksom hela filterverket. I gamla uppströmsfilter användes en speciellt konstruerad, enkel dator. Närmare beskrivning av detta filter finns i svenskt patent 8901618-2 (utgången).

Slutsatser

Avgörande för val av system bör vara driftsäkerhet, pålitlighet och anläggningens reningseffekt. Flexibilitet, möjlighet att efterhand öka/minska hårdhet eller form av desinficering, tillfällig avskiljning av metaller kan utgöra ytterligare prioritet vid val av processen. Det kan vara intressant att dosera aktivt kol i pulverform till filtren, något tiotal g/m³ i stället för att bygga kolfilter. Pulvret spolas bort vid filterspolningar och är härmed alltid färskt, medan byte av kol i filtren brukar göras så sällan som möjligt med effekt därefter. Pulverkol är lämpligt särskilt som tillfällig åtgärd.

Till sist övervägs ekonomi, i både investering och drift. Omfattning av teknologiska delar kan ekonomiskt bedömas enligt aktiva areor beräknade på ytbelastning. Funktionsvolymen för vanliga verk som använder sig av flockning–sedimentering–snabbfilter och för ettstegsverk med större reningseffekt ses i Tab. 1 för vattenverk och Tab. 2 för avloppsreningsverk.

Övriga delar av verken, grov rening, personalutrymmen, maskinrum, doseringsutrustning, m.m. är väsentligen lika för alla kombinationer och behöver inte tas med. Bassängtyor är räknade för vattenproduktion 30 000 m³/d eller 1 500 m³/h som motsvarar grovt räknat 100 000 anslutna personer.

Tabell 1. Funktionsvolymen för konventionellt vattenverk och för ettstegsverk.

Alt. 1 Vattenverk med flockning – sedimentering – snabbfilter	
flockning	400 m ²
sedimentering	1500 m ²
snabbfilter	250 m ²
hela verket	2150 m ²

Alt. 2 Vattenverk med koagulation-kontaktfiltrering – ettstegsverk

koagulation-kontaktfiler	250 m ²
hela verket	250 m ²

Tabell 2. Funktion av enskilda reningssteg och deras bidrag till verkets reningseffekt förtydligades i diagram för två ungefär lika stora avloppsverk byggda under 70-talet och utrustade enligt alt. 1 respektive alt. 2 (Vor, 1990).

Alt. 1 avloppsverk med sedimentering – aktivslam – sedimentering – flockning – sedimentering – snabbfilter.

sedimentering	1500 m ²
aktivslam	3000 m ²
sedimentering	1500 m ²
flockning	400 m ²
sedimentering	1500 m ²
snabbfilter	250 m ²
hela verket	8150 m ²

Alt. 2 avloppsverk med aktivslam – sedimentering – koagulation/kontaktfiler.

aktivslam	3000 m ²
sedimentering	1500 m ²
koagulation – kontaktfiler	300 m ²
hela verket	4800 m ²

Referenser

- Heinicke, G., Persson, F. (2006) Dricksvattenberedning av ytvatten: Aktuella frågeställningar. Vatten 62. 65–75.
- Ives, K.J. (1975) The Scientific Basis of Filtration. Noordhoff, Leyden.
- Jabur, H.S. Mårtensson, J., Öllös, G. (2005) Some notes on hydraulics and a mathematical description of low sand filtration. Vatten, 61, 193–200.
- Minz, D.M. (1951) Kinetika filtracii malokoncentriranykh suspensii na vodocistnykh filtrech. Akademia nauk, USSR.
- Nemeth, T., Nyberg, I. (1969) Kontaktflockning – ny metod för närsaltreduktion. – Modern Kemi nr. 1–2.
- NUTEK – projekt nr. 03368 P: Vor, Z., Avloppsvatten – minskning av kväve och fosfor med biologisk metod. Avloppsreningsverk i Kil 1978–1990.

- Peterson, G. Vor, Z. (1974) Kontaktfiler för kemisk slutbehandling av avloppsvatten. Stadsbyggnad 6/1974
- Thorsen, T. (1999). Membrane filtration of humic substances – state of the art. Water science and Technology 40(9): 105–112.
- Vor, Z. (1988) Kontaktfiltrering. Process – användning – konstruktion. Vatten, 44, 256–260.
- Vor, Z. (1989) Långsamfiltrering. Vatten, 45, 20–24.
- Vor, Z. (1990) Filter i avloppsreningsverk. Vatten, 46, 107–111.
- Vor Z, sv. pat. 8901618-2, EU 553076, US 5,368,759
- Ødegaard, H., Eikebrokk, B., Storhaug, R. (1999) Processes for the removal of humic substances from water – An overview based on Norwegian experiences. Water science and Technology 41(9): 37–46.

Stödjande medlemsföretag

AnoxKaldnes AB

AquaP

Arboga Kommun

Brenntag Nordic AB

Christian Berner AB

Falköpings Kommun

Golder Associates AB

Gryaab AB

Göteborgs Stad Kretslopp och vatten

Hudiksvalls Kommun

Hässleholms Vatten AB

Kalmar Vatten AB

Karlstads kommun

Kemira Kemi AB

Kristianstads kommun

Käppalaförbundet

Köpings Kommun

Ljusdal Vatten AB

Malmberg Water AB

Miljö och vatten i Örnköldsvik MIVA AB

Mittskåne Vatten

Mälarenergi AB

Mönsterås Kommun

Norconsult 

Nordiska Plaströrsgruppen

Norrvatten

NSVA

Ragn-Sells Avfallsbehandling AB

Sjöbo Kommun

Skellefteå Kommun

Sollefteå Kommun

Stockholm Vatten VA AB

Stora Enso Hylte AB

Strömsunds Kommun

SWECO 

SYVAB

Säffle Kommun

Tekniska förvaltningen

Trelleborgs Kommun

Trollhättan Energi

Tyréns AB

Uddevalla Vatten AB

UMEVA

Uppsala Vatten och Avfall AB

Urban Water Management Sweden AB

VA-avdelningen NVK

VA-Ingenjörerna AB

Vattenfall AB

Va-verket

Veolia Vatten AB

WSP Sverige AB

Vänersborgs Kommun

Växjö Kommun

Xylem Water Solutions Sweden AB

Yara AB/ Industrial

Ånge Kommun

Östersunds Kommun

Vill ni synas bättre i listan?

För 2000 kr om året kan ni få er logotyp i listan ovan.