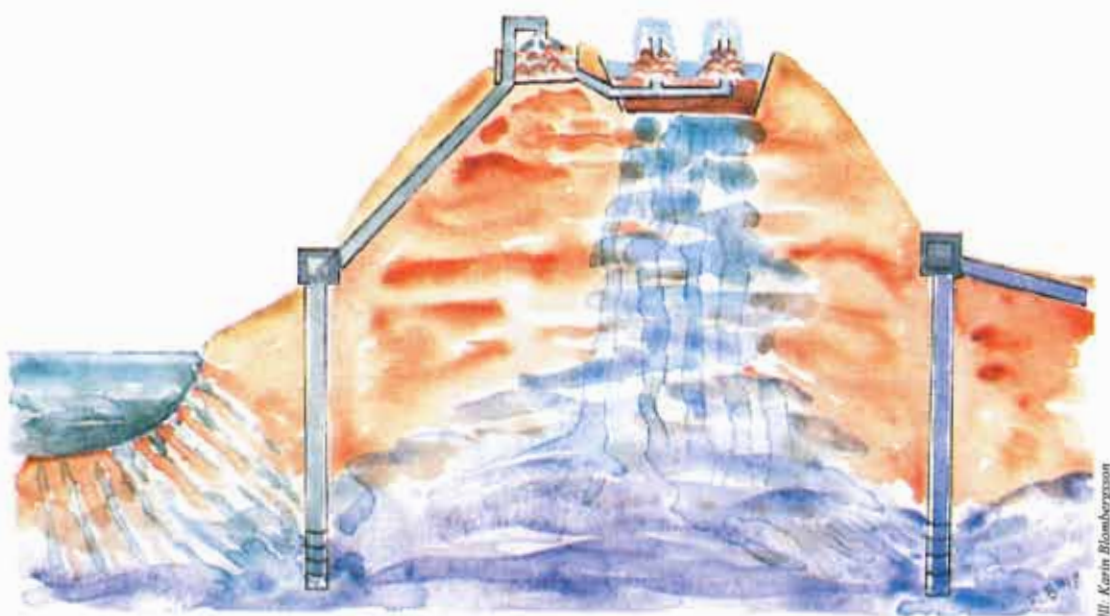


Kapitel 5

För- och efterbehandling



Orientering

För- och efterbehandling är centrala frågeställningar inom tekniken konstgjord grundvattenbildning där man kan särskilja två olika huvudstrategier:

- **Maximal rening i infiltrationsbassängerna och marklagren.**

Infiltrationssystemet nyttjas som naturens eget reningsverk för att uppnå en så fullständig fysikalisk-kemisk och biologisk behandlingsprocess som möjligt. För- och efterbehandling med kemikalier ska med detta synsätt minimeras, helst undvikas helt.

- **Långtgående förbehandling av råvattnet innan infiltration.**

Infiltrationsprocessen nyttjas huvudsakligen för temperaturutjämning och finpolering av vattenkvaliteten. Grundvattenmagasinet ses i huvudsak som en "låg-reservoar". Ett argument för denna strategi som ibland framförs är att marklagren måste skyddas mot råvattnets föroreningar för att förhindra igensättningar. Dessutom antas reningseffekten vid infiltration vara otillräcklig för att producera ett fullgott dricksvatten.

En viktig faktor vid val av system och utformning av infiltrationsanläggningar är de givna naturförutsättningarna, se kapitel 3 och 4. Dessa styr inte enbart valet av infiltrationsmetod utan påverkar även möjligheten för och behovet av för- och efterbehandling.

Vid *inducerad infiltration* är möjligheterna till förbehandling av råvattnet begränsade. Behandlingskemikalier skulle teoretiskt kunna spridas i råvattentäkten (t ex sjökalkning) eller läggas ut på botten eller i strandkanten inom områden där infiltrationen sker. En sådan förbehandling är både dyr (stora förluster till det övriga sjövattnet) och praktiskt svår att genomföra (svårt att lokalisera infiltrationspunkterna på sjöbotten).

Vid *inducerad infiltration* är efterbehandling vanlig, speciellt brukar järn- och manganhalterna vara alltför höga och kräva behandling. Vanliga efterbehandlingsmetoder är bl a luftning och snabbfiltrering, snabbsandfiltrering, återfiltration samt s k Vyredox-metoder. Metoderna beskrivs kortfattat i det följande.

Vid *djupinfiltration* (infiltration på brunnar) krävs en hög kvalitet på infiltrationsvattnet för att inte infiltrationsbrunnarna ska sätta igen. Vid anläggningarna i Olofström och Kristinehamn förbehandlas därför råvattnet i långsamfilter, se kapitel 4, avsnittet om djupinfiltration.

Vid *bassänginfiltration* nyttjas ett flertal metoder som förbehandling, bl a mikrosilning, förfiltrering på öppna sandfilter samt kemisk flockning och efterföljande sedimentering/flotation. Snabbsandfiltrering, alkalinitets- och hårdhetsökning med kalk-kolsyra (även krita-kolsyra och alkalisk massa-kolsyra) och kontaktfiltrering (typ DynaSand eller motsvarande) kan förekomma både som för- och efterbehandlingsmetod.

Vanlig efterbehandling vid samtliga infiltrationsmetoder är alkalisering och klorering. Kloreringsutrustning finns som regel i beredskap även vid vattenverk som

inte regelmässigt klorerar vattnet i händelse av bakteriell förorening i utgående vatten eller på ledningsnätet.

Ibland erfordras justering av vattnets hårdhet. Vid alltför låga värden krävs hårdhetsökning, dvs en höjning av Ca/Mg-halterna, för att minska korrosionsriskerna. En metod som används vid ett flertal infiltrationsanläggningar är inblandning av kalksten i filterbäddar. Avhärdning (minskning av Ca/Mg-halterna) är främst aktuellt i områden med kalkrik berggrund, t ex på Öland och Gotland samt i Skåne.

Se kap 3:
Specialutformning av
filterbäddar,
inblandning av kalksten

Förbehandling

Råvattenintag

Lokalisering av ett råvattenintag beskrivs i kapitel 3, avsnittet "Val av råvattentäkt - lokalisering av intagsplats".

Råvattenintaget består normalt av en intagsledning och pumpstation. I pumpstationen sker ofta en grovrensning av t ex kvistar, löv, fisk m m innan vattnet pumpas vidare i systemet. Vid bassäng-, djup-, och sprinklerinfiltration pumpas råvattnet vanligen till infiltrationsanläggningen, i sällsynta fall kan det ledas med självfall (t ex i Hallstahammar).

Bild 5.1 visar pumpstationen i Lindby kanal på Öland för vattenförsörjningen till Borgholm med omnejd. Under torrperioder kan vattenföringen bli praktiskt taget noll i kanalen, vilket innebär att grundvattenmagasinet tidvis inte kan förstärkas med ytvatten. Detta resulterar i sin tur i förhöjda järn- och manganhalter genom den ökade andelen naturligt grundvatten i inkommande vatten till vattenverket i Köpingsvik. Behandlingen sker här med hjälp av förstärkt oxidation (KMnO_4) och filtrering i kontaktfilter (DynaSand).

Foto: Göran Hanson



Bild 5.1 Råvattenintag i Lindby kanal för vattenverket i Köpingsvik på norra Öland som bl a försörjer Borgholm.

Mikrosilning

Silning sker för att minska mängden partiklar, huvudsakligen växt- och djurplankton. Vanligen förekommande maskvidder ligger mellan 20-60 µm men även finare sildukar används (ner till 5 µm). Vid Hyndevadsverket i Eskilstuna har man både mikrosilar och snabbsandfilter före infiltration. Råvattnet från Hyndevadsån har tidvis hög grumlighet (turbiditet). När grumligheten består av lerpartiklar sker en obetydlig minskning vid passage genom mikrosilarna, se bild 5.2. Om grumligheten däremot beror på råvattnets planktoninnehåll är effekten normalt betydligt bättre.

Även vid Kerstinboda i Katrineholm har man mikrosilar men dessa utnyttjas normalt inte utan står som reserv i händelse av förorening i grundvattnet (t ex vid en farligtgods olycka) då man skulle behöva distribuera ytvatten till konsumenterna utan föregående infiltration. När man tidigare utnyttjade mikrosilarna blev den biologiska aktiviteten i infiltrationsbassängerna inte tillräcklig. Filterhuden fungerade inte tillfredsställande för nedbrytning av organiskt material eller som filter för att avskilja partikulärt material i råvattnet (sjön Viren). Resultatet blev igensättningar i filterbäddarna och underliggande jordlager. Man blev då tvungna att schakta ur bassängerna (djupgrävning) och byta både filtersand och naturliga jordlager under anläggningen.

Snabbfiltrering

Snabbfiltrering (snabbsandfiltrering) är en beprövad teknik som används vid flera infiltrationsanläggningar, bl a Hyndevadsverket (Eskilstuna), Gälleråsen (Karlskoga) och Sörmon (Karlstad). Vid snabbfiltrering avlägsnas det grövre partikulära materialet medan däremot finpartiklar (lergrumlighet) i hög grad kan passera dessa filter.

Snabbfilter belastas betydligt högre än långsamfilter samt filterbäddar i infiltrationsbassänger. Vanliga belastningar i snabbfilter är 5-10 m/h (öppna filter) och 10-15 m/h (tryckfilter).

Vid Hyndevadsverket i Eskilstuna förekommer ibland problem med kvarvarande lergrumlighet efter mikrosilarna och snabbfiltren. Bild 5.2 visar 10 års turbiditetsmätningar vid Hyndevadsverket, där det framgår att turbiditeten inte påverkas nämnvärt av mikrosilning, betydligt mer av snabbfiltren. Grumligheten i det vatten som infiltreras på bassängerna är dock hög.

I Eskilstuna har man ställt sig frågan om grumligheten, som till största delen utgörs av lergrumlighet, kan ge upphov till igensättningar i filterbädd och jordlager. I ett

Intag i Viren, se bild 3.4

Se kap 3, avsnittet om
igensättningar

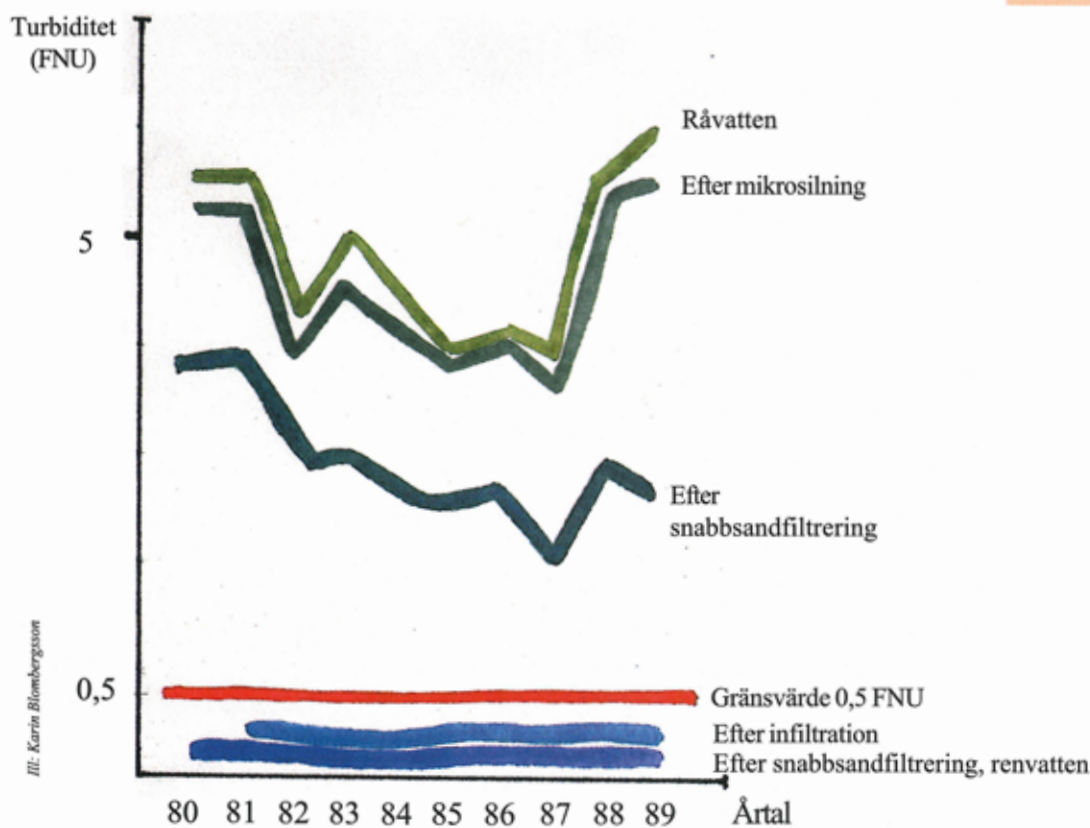


Bild 5.2. Turbiditetsmätningar vid Hyndevadsverket, Eskilstuna. Minskningen av turbiditeten är obetydlig efter mikrosilning, betydligt bättre efter snabbsandfiltrering dock kvarstår anmärkningsvärt höga värden vid infiltrationen på bassänger (efter Dricksvattenteknik - Ytvattenteknik, 1992, se lästips).

nyligen avslutat forskningsprojekt studerades om lerpartiklarna från Hyndevadsån kunde spåras i filterbäddarna och marklagren mellan infiltrations- och uttagsplats och där ge upphov till igensättningar som på sikt skulle kunna äventyra anläggningens funktion. Någon sådan igensättning eller risk har dock inte kunnat spåras, se artikeln "Inga igensättningsproblem i Eskilstuna" i VAV-Nytt 5/99 av prof Gunnar Jacks, KTH.

Se kap 3, avsnittet om igensättningar och kap 7, avsnittet om pågående forskning

Se lästips

Förfiltrering i öppna filter

Förfiltrering i öppna filter utomhus för avskiljning av bl a järn och mangan är ovanligt som förbehandlingsmetod. Tekniken utnyttjas dock bl a vid Jonstorp, Falkenberg, se bild 5.3. Infiltrationen vid Jonstorp sker främst för att sänka grundvattnets nitrathalt genom inblandning av ett ytvatten med lägre nitrathalt.

Foto: Göran Hanson



Bild 5.3. Förfilter för att avskiljning av järn, mangan och humus vid Jonstorp, Falkenberg. Högen med förorenad filtersand ska forslas bort och ny filtersand läggs ut i bassängen. Högen inspekteras här av Jonas Hedström, Göteborgs Universitet, som studerat igensättningar vid infiltrationsanläggningar i Falkenberg (se kap 7), och Christer Gedda, KM, Halmstad.

Långsamfiltrering

Det är ovanligt med förbehandling i långsamfilter före bassänginfiltration eftersom långsamfiltersand även används i infiltrationsbassängernas filterbäddar.

Vid Fjärås Bräcka i Kungsbacka har man dock nyligen rustat upp ett långsamfilter som vid behov kan användas som förfilter före bassänginfiltration. Även Örebro planerar att iordningställa sina långsamfilter som varit ur drift sedan man införde kemisk flockning och sedimentering, se nedan.

Se kap 5: Övriga
infiltrationstekniker, av-
snittet om djup-
infiltration

I långsamfilter är belastningen vanligen 0,2 - 0,4 m/h, se kapitel 3, avsnittet om filtersand.

Långsamfiltrering används som förbehandling vid djupinfiltration eftersom infiltrationen på brunnar ställer stora krav på infiltrationsvattnets kvalitet. De djupinfiltrationsanläggningar som för närvarande är i drift i Sverige (Kristinehamn och Olofström) har bägge långsamfilter som förbehandling.

Se kap 8, avsnittet om
inblandning av kalksten
i filterbäddar

I kapitel 4, avsnittet om djupinfiltration visas uppbyggnaden av långsamfiltret vid Lilla Holje i Olofström vilket utgör förbehandling före infiltration på brunnar (djupinfiltration), se bild 4.9. I Olofström har finkrossad kalksten blandats in i långsamfiltersanden för att höja vattnets pH, hårdhet och alkalinitet.

Två VA-FORSK projekt om långsamfiltrering har genomförts de senaste åren.

Långsamfilters reningspotential studerades av Essie Andersson (VA-FORSK Rapport nr 1998-04). Resultaten baserades dels på en enkätundersökning från 35 långsamfilteranläggningar (ca 60 % av landets totala antal), dels på kompletterande provtagning från 11 anläggningar. Resultaten visade bl a att halten organiskt material (mätt som COD_{Mn}) minskade över filtren med i genomsnitt 20%. Avskiljningen av organiskt material visade sig vara temperaturberoende med sämre funktion vintertid. Grumligheten minskade avsevärt medan färgvärdena endast påverkades måttligt. Några anläggningar klarade inte Livsmedelsverkets gränsvärden beträffande COD_{Mn}-halt (4 mg/l O₂) och färgvärde (tekniskt gränsvärde = färgtal 15; estetiskt /tekniskt gränsvärde = färgtal 30).

Se kap 3, avsnittet
om filtersand samt
lästips

Optimering av långsamfilter har studerats vid Hägebergs vattenverk i Jönköping av Husam Jabur och Jonas Mårtensson (VA-FORSK Rapport nr 1999-17). Resultaten visade bl a att det tog lång tid innan långsamfiltren inarbetades (> 6 mån). Vattnet har extremt låg TOC-halt och är näringsfattigt vilket gör att inkörningsperioden sannolikt är betydligt längre än genomsnittligt. Vid kolonnförsöken i Norsborg tog det ca 2-3 mån innan filtren inarbetats.

Se lästips

Se kap 7: VA-FORSK
projekt

Vid försöken i Hägeberg undersöktes filtersand med olika gradering, varvid det visade sig att en finare kornstorleksfördelning gav något bättre reningsresultat avseende avskiljningen av organiskt material.

Kemisk flockning och sedimentering

Den process som oegentligt benämnes ”kemisk fällning” är inte en fällningsprocess utan en flockningsprocess som följs av sedimentering eller flotation. Tekniken utnyttjas vid flera infiltrationsanläggningar, bl a Skråmsta (Örebro), Hässlö (Västerås), och Getasjökvam (Emmaboda).

Vid Sörmoverket i Karlstad fanns tidigare kemisk flockning och sedimentering som förbehandling men i och med förbättringar av råvattenkvaliteten (Kattfjorden i Vänern) har anläggningen ställts av.

I Örebro infördes kemisk flockning och sedimentering 1989 beroende på stora problem med råvattenkvaliteten, bl a höga halter organiskt material (lukt- och smakproblem), samt höga bakteriehalter på ledningsnätet. Tidigare hade man långsamfilter som förbehandling. Idag utgör långsamfiltren en reserv som bara nyttjas vid hög vattenförbrukningen då infiltrationskapaciteten i bassängerna kan bli otillräcklig. Eftersom långsamfiltren sällan används är de inte biologiskt inarbetade när de tas i drift. Örebro har därför undersökt möjligheterna att kunna ha väl fungerande långsamfiltrering som efterbehandling.

Vid kemikaliekrävande processer är det viktigt att minimera kemikalieanvändningen av såväl kostnads- som miljöskäl. Bild 5.4 visar en flockningsbassäng vid Skråmsta, Örebro under försök med en strömningspotentialmätare som styr doseringen av flockningskemikalierna. Försöket slog väl ut varför instrumentet nu används kontinuerligt.

Foto: Göran Hanson



Bild 5.4 Flockningsbassäng i vattenverket vid Skrämså, Örebro under utprovning av en apparatur för optimering av kemikaliedosering. På bilden ses Royne Larsson (två från vänster) i diskussion med en grupp från VBB VIAK (fr v Bengt Dahlberg, Husam S Jabur och Thorsten Blomquist)

Vid Getasjökvam i Emmaboda sker flockning och sedimentering i utomhusbassänger, se bild 5.5. Innan infiltration sker pH-justerings med släckt kalk direkt i sedimentationsbassängen. Sommaren 1997 tillsattes kalk i filterbäddarna för att åtminstone minska kalkdoseringen. En bildserie som visar utläggningen och infräsningen av kalksten på filterbäddarna visas på bild 3.23.

Foto: Göran Hanson



Bild 5.5 Öppna flocknings- och sedimentationsbassänger vid Getasjökvam, Emmaboda.

Kontaktfiltrering

Många anläggningar, speciellt i södra Sverige är utrustade med kontaktfiltre. De används ibland som förbehandling, ibland som efterbehandling, ibland bådadera.

De kontaktfiltre som installerats på de besökta anläggningarna (Hovmantorp, Vetlanda, Osby samt Löttorp och Köpingsvik på Öland är av typ kontinuerligt uppströmsfilter (DynaSand). Dessa filter behöver inte ställas av för backspolning utan rensas kontinuerligt genom mammutpumpning av sanden underifrån, därav namnet. Kontaktfiltren kräver betydligt mindre ytor än konventionell teknik med flockning och sedimentering i bassänger.

Bild 5.6 visar en principskiss av ett DynaSand-filter. I kontaktfiltret doseras flockningskemikalien direkt i inloppsledningen. Det filtrerade vattnet efterbehandlas i ett polersteg, vanligen kolfilter och/eller långsamfilter, ibland bassänginfiltration.

Tvättvattnet med föroreningarna från filtreringen måste tas omhand. I vissa fall tillåts avledning till det kommunala avloppsreningsverket, i andra fall sker avvattning i speciella lamellseparatorer. Vid vattenverket i Maglaröd, Osby leds tvättvattnet till öppna bassänger för sedimentering/infiltration. När anläggningen var ny slammade dock bassängerna igen inom några dagar. Genom att installera en förtjockare har slamproblemet övervunnits. Numera krävs tömning efter flera månaders drift, se bild 5.7.

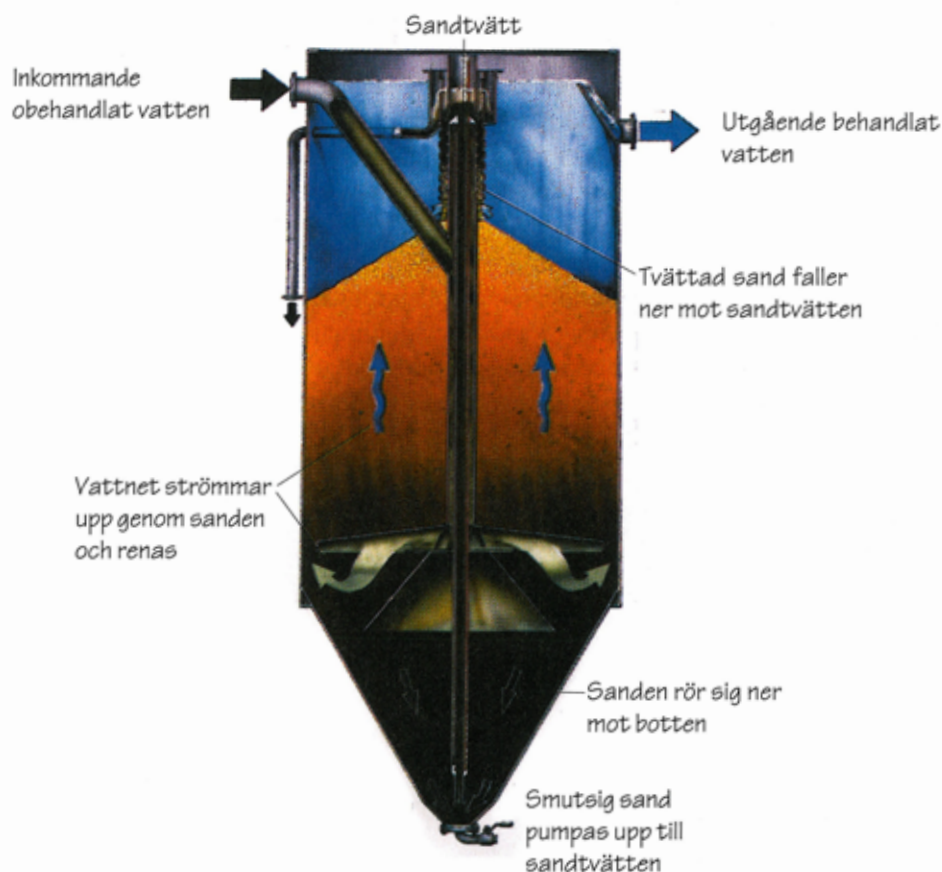


Bild 5.6 Principritning av ett kontinuerligt kontaktfiltre, DynaSand (modifierad efter broschyr av Nordic Water Products).

Foto: Göran Hansson



Bild 5.7. Bassänger som satts igen av tvättvattnet efter kontaktfiltrering vid vattenverket i Maglaröd, Osby. Bilden togs i maj -97 när anläggningen var ny. Numera har problemet lösts genom installation av förtjockare som gör tvättvattnet mindre slambemängt (slammet körs i stället till deponi).

Funktionen av olika kontaktfilter som finns på den svenska marknaden och vilka faktorer som är avgörande för behandlingsresultat har studerats av Maria Byström i "Kontaktfiltrering av ytvatten - en teknik på frammarsch" (VA-FORSK Rapport nr 1998-05). En slutsats var att driften av filtren har större betydelse än råvattenkvaliteten. Ett "besvärligt" och ett "bra" råvatten visade sig således kunna resultera i vatten med likvärd beskaffenhet efter passage av kontaktfiltret.

Gränsvärdena för nyckelparametrar som turbiditet, färg och COD_{Mn} underskreds vid nästan samtliga (7 av 8) undersökta anläggningar direkt efter filtret medan dock aluminiumhalten i flertalet (5 av 8) anläggningar översteg gränsvärdet (0,1 mg/l). Kontaktfiltren kan således fungera bra förutsatt att de sköts på rätt sätt. Vikten av utbildning av driftpersonal betonas särskilt i rapporten.

Efterbehandling

När vattenkvaliteten inte är tillfredsställande efter infiltration krävs någon form av efterbehandling. Om halterna organiskt material och/eller järn och mangan är för höga kan dessa bl a minskas med hjälp av återinfiltration eller Vyredox-metoder.

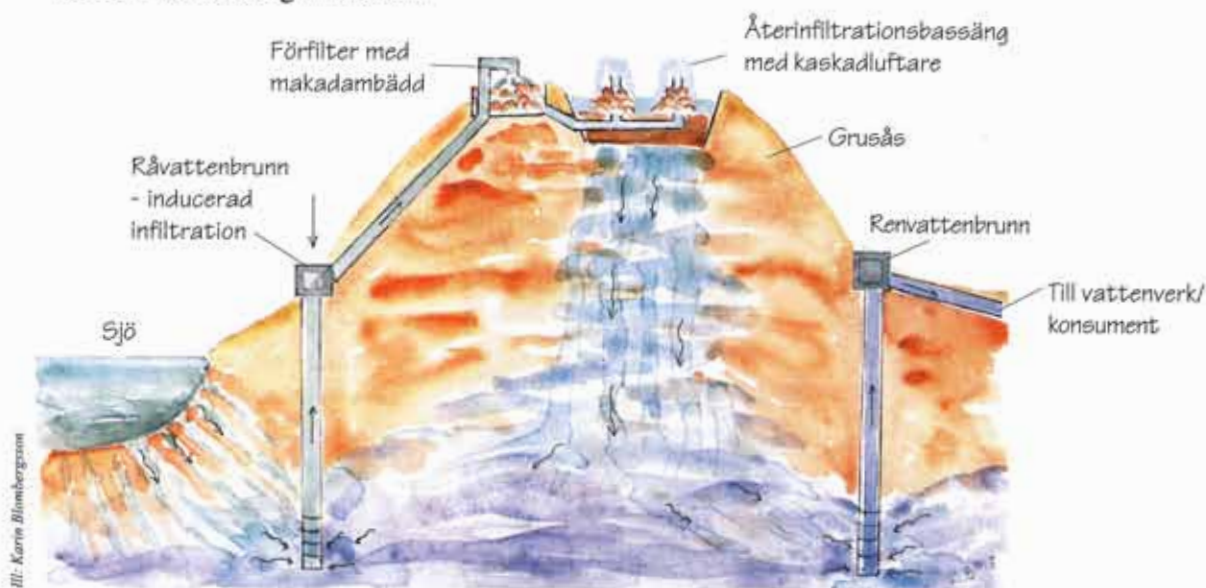
Återinfiltration

Återinfiltration är en behandlingsmetod som baseras på luftning och infiltration på bassänger. Principen är lika som vid bassänginfiltration med den skillnaden att vattnet som infiltreras utgörs av grundvatten i stället för ytvatten.

Se lästips

Avsikten med återinfiltration av grundvatten är att avskilja förhöjda halter av framför allt järn, mangan och organiskt material. Metoden introducerades i Sverige i slutet av 1950-talet av Torgny Agerstrand vid konsultföretaget VIAK AB.

I samband med konstgjord grundvattenbildning är återinfiltration speciellt vanlig efter inducerad infiltration. Principen för detta system visas på bild 5.8. Vattnet pumpas ur en brunn intill ett vattendrag vilket leder till ett inducerat flöde från ytvattendraget till grundvattenmagasinet. Om järn- och manganhalterna är höga pumpas vattnet först till ett förfilter, t ex ett makadamfilter som ofta är rensningsbart genom störtappning. Därefter leds vattnet ut på infiltrationsbassänger på liknande sätt som vid bassänginfiltration.



Ill.: Karin Blombergsson

Bild 5.8 Principen för återinfiltration efter inducerad infiltration. Vid höga järn- och manganhalter sker ofta förfiltrering, t ex i ett makadamfilter.



Foto: Göran Hansson

Bild 5.9 Förfilter av makadam (i förgrunden) vid återinfiltrationsanläggningen Visbohammar, Gnesta. I bakgrunden ses infiltrationsbassängen.

Anläggningar med iducerad infiltration och återinfiltration som besöktes var Rävsnäs (Surahammar), Vackå (Järna), Sandköping (Kristinehamn) och Visbohammar (Gnesta). Exempel på andra anläggningar, som dock inte besökts, är anläggningarna i Åtvidaberg och Gävle.

Om man inte behöver förfiltrera vattnet kan luftning ske antingen i bassängerna (kaskadluftare) eller i en luftningstrappa. Bild 5.10 visar en luftningstrappa före



återinfiltration vid vattenverket i Sandköping, Kristinehamn.

Återinfiltrationen sker främst på grund av höga manganhalter i råvattenbrunnarna på Långholmen i Bergsjön där det sker en iducerad infiltration, se bild 4.2.

Filtersanden vid återinfiltration utgörs vanligen av en modifierad långsamfiltersand liknande den som används vid bassänginfiltration, se bild 3.20. Belastningarna på infiltrationsbassängerna är i storleksordningen 0,3 - 0,5 m/h, dvs endast marginellt högre än vid långsamfiltrering (0,2-0,4 m/h, se avsnittet om långsamfiltrering).

Bild 5.10 Luftningstrappa vid vattenverket i Sandköping, Kristinehamn

Vyredox-metoder

Vyredox-metoder syftar till att minska framför allt järn och mangan i grundvatten. Principen för Vyredox-metoderna bygger på reningsprocesserna som förekommer naturligt i marklagren och som beskrivs i kapitel 2. Vid brunnsborrning uppmärksammades att vattnet i rödbruna zoner (rostjordslager) i den vattenmättade zonen hade bättre kvalitet än i vita och/eller grå zoner (blekjordslager) där naturligt infiltrerat vatten renas vid passage genom ett rostjordslager.

Vyredox-metoderna försöker efterlikna de naturliga processerna genom att få järn- och manganföreningar fällas ut i marken genom tillförsel av syresatt vatten till syresättningsbrunnar som anlagts kring en central uttagsbrunn. Vid passagen från syresättningsbrunnarna till uttagsbrunnen avskiljs järn- och manganföreningarna genom utfällning, ofta med hjälp av järn- och manganbakterier.

Se bild 2.1

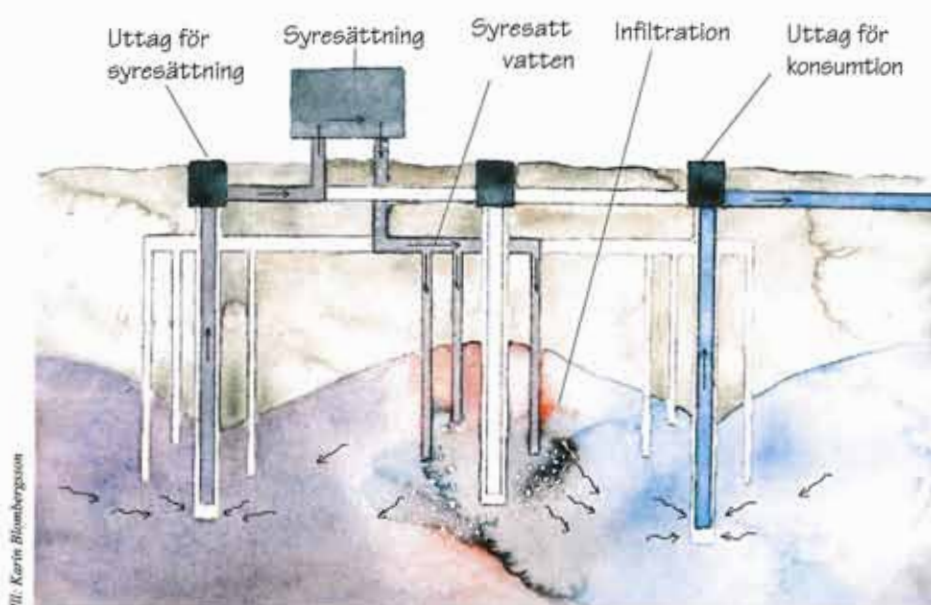


Bild 5.11 Principen för en Vyredox I-anläggning. Uttag och infiltration sker växelvis i de tre brunnarna.

Man kan fråga sig om inte marklagren sätts igen av allt järn och mangan som faller ut i marken. Enligt VYR-metoder AB tar det 100-tals eller 1000-tals år innan fullständig igensättning skett av marklagren mellan infiltrations- och uttagsbrunnar med de dimensioneringsprinciper som används.

Av de besökta anläggningarna har Näs (Hallstahammar) en Vyredox-anläggning efter inducerad infiltration (bild 5.12) och Högåsen (Nyköping) två olika anläggnings-typer efter bassänginfiltration (bild 5.13).

Vid Näs pumpas syresatt vatten till syresättningsbrunnar i ring kring en uttagsbrunn. Järn- och manganavskiljningen har i stort sett varit tillfredsställande.



Bild 5.12. Vyredox II-anläggning vid Näs, Hallstahammar. Bilden visar uttagsbrunnen (där flertalet personerna står) och i ring runt denna ett antal syresättningsbrunnar. Ive Blomberg (vid brunnsöverbyggnaden) demonstrerar anläggningen för en SIDA-grupp från Uruguay. Th rapportförfattaren.

Foto: Göran Hansson



Bild 5.13 Vyredox IV-anläggning vid Högåsen, Nyköping - Oxelösund. Utanför pumphuset står driftingenjör Alf Dahlin.

I Nyköping syresätts vattnet med hjälp av tryckluft i syresättningsbrunnarna, vilka även här är placerade i ring runt uttagsbrunnen (pumphuset). Efter vissa igångkörningsproblem har järn- och manganavskiljningen varit bra.

Hårdgörning och alkalinitetsökning

Hårdgörning (ökning av vattnets kalcium- och manganiumhalt) och alkalinitetsökning (ökad vätekarbonathalt, HCO_3) sker vid flera anläggningar och med olika metoder, bl a kalk-kolsyra, alkalisk massa-kolsyra eller krita-kolsyra. I kapitel 3, avsnittet om inblandning av kalksten i filterbäddar beskrivs hur hårdgörning och alkalisering kan åtgärdas genom inblandning av finkrossad kalksten i filterbäddar vid bassänginfiltration.

Av de besökta anläggningarna har Sörmon (Karlstad) och Gäddvik (Luleå) efterbehandling med kalk-kolsyra metoden, se bild 5.14. För att få utnyttja krita-kolsyra metoden krävdes tidigare dispens från Livsmedelsverket på grund av emulgeringsmedlet, men det behövs inte längre. Kalk-kritametoden används för närvarande vid tre vattenverk i Sverige. Ett av dessa är infiltrationsanläggningen vid Maglaröd i Osby.

Foto: Göran Hansson



Bild 5.14 Kalk - kolsyraanläggning vid Gäddvik, Luleå. I bild ses driftchefen Sixten Aronsson. Ryggstavlan tillhör Robert Jönsson.

Avhärdning och alkalinitetsminskning

Vid Vombverket som förser Malmö/Lundregionen med vatten har en avhärningsanläggning (fluidiserad bädd) byggts som sänker hårdheten från ca 12 till 7 °dH.

Ett annan infiltrationsanläggning med mycket hög hårdhet är Köpingsvik på Öland för Borgholm med omnejd, se artikeln "Borgholm prövade metoder för avhärdning" av Jan Andersson (1997). Två metoder för avhärdning prövades:

Se lästips

- **Pelletsreaktor** Hårdheten sjönk från 20 till 8 °dH och alkaliniteten halverades. Järn- och manganhalterna reducerades dock inte tillräckligt, varför det krävs oxidation och filtrering före avhärdning.
- **Flotationsreaktor** Försök visade att metoden både klarade avhärdning och järn- och manganavskiljning.

Även Uppsala har byggt en mindre avhärningsanläggning med fluidiserad bädd vid vattenverket i Lejsta (ett grundvattenverk utan infiltration). Man planerar att i framtiden även avhärda vattnet i kommunens huvudvattentäkter som baseras på infiltration av vatten från Fyrisån vid Tunåsen och Stora Vallskog. Eftersom grundvattnet är hårt både i åsen och i Fyrisån (infiltrationsvattnet) sker ingen nämnvärd hårdhetssänkning, vilket annars är vanligt i samband med infiltration (de flesta råvattentäkterna har mjuka vatten).

Minskning av halten organiskt material med ozon - aktivt kolfiltrering

Ingen infiltrationsanläggning har ännu för- eller efterbehandling med ozon. Ett pilot-skaleförsök genomfördes 1997 vid vattenverket i Kerstinboda, Katrineholm, se bild 5.15. Utgående dricksvatten innehöll förhöjda COD_{Mn} -värden, ca 4-5 mg/l O_2 . Försöket gav inte tillfredsställande resultat varför kommunen lät genomföra orienterade laboratorieundersökningar med kombinationen ozon - aktivt kol under sommaren -98. Försöken visade att det går att väsentligt minska COD_{Mn} -halten med kombinationen ozon - aktivt kolfiltrering. COD_{Mn} -värdena kunde sålunda sänkas med ca 40%, till ca 3 mg/l O_2 . Med ledning av dessa positiva resultat planeras ett förnyat större pilot-skaleförsök.

Ozonbehandling har dock prövats under forskningsmässiga betingelser som förbehandling vid långsamfiltrering (Annette Seger, 1998).

Se lästips



Foto: Göran Hanson

Bild 5.15 Ozonförsök vid vattenverket i Kerstinboda, Katrineholm, 1997. I bild Peter Sundin.

Lästips

Andersson, Essie, 1998. Långsamfilters reningspotential.
VA-FORSK Rapport nr 1998-04.

Andersson, Jan, 1997. Borgholm prövade metoder för avhårdning.
Artikel i Cirkulation 3/97.

Byström, Maria, 1998. Kontaktfiltrering av ytvatten - en teknik på
frammarsch. VA-FORSK Rapport nr 1998-05.

Jabur, Husam S och Mårtensson, Jan, 1999. Optimering av långsamfilter.
VA-FORSK Rapport nr 1999-17.

Jacks, Gunnar, 1999. Inga igensättningsproblem i Eskilstuna.
Artikel i VAV-Nytt 5/99.

Sege, Annette, 1998. Ozonbehandling följt av långsamfiltrering vid
dricksvattenframställning. VA-FORSK Rapport nr 1998-11.

VAV, Svenska Vatten- och Avloppsverksföreningen, 1992.
Dricksvattenteknik - ytvatten. VAV publikation P72.

Kapitel 6

Skydd av infiltrations- anläggningar



Skydd av yt- och grundvatten

Skydd av en infiltrationsanläggning omfattar både skydd av råvattnet (som för en ytvattentäkt) och infiltrations- och uttagsdelen (som för en grundvattentäkt).

Skyddet för vattentäkter har hittills fastställts av länsstyrelsen i ett vattenskyddsområde med en eller flera skyddszoner samt skyddsföreskrifter. I och med den nya miljöbalken som trädde i kraft vid årsskiftet 1998/99 kan även kommunerna förklara ett område som vattenskyddsområde. Skyddet kan gälla både för en befintlig yt- eller grundvattentäkt eller en vattentillgång som kan antas komma att utnyttjas i framtiden. Ofta saknar mindre yt- och grundvattentäkter ett fastställt skyddsområde. De flesta av de studerade infiltrationsanläggningarna är större anläggningar med fastställda skyddsområden.

För skydd av ytvattentäkter saknas ett modernt regelverk. En vägledning för att upprätta skyddsplaner för yt- och grundvattentäkter gavs ut 1964 och nytrycktes 1971. Livsmedelsverket har publicerat en rapport som diskuterar överväganden och metodik för avgränsning av skyddsområden för ytvattentäkter. Det finns ett stort behov av allmänna råd för ytvattenskydd och sådana är för närvarande under utarbetande vid Naturvårdsverket.

För skydd av grundvattentäkter föreligger ett modernare regelverk i de allmänna råd som utgivits av Naturvårdsverket (1991). Någon motsvarighet till dessa saknas således för skyddet av ytvattentäkter.

I vid bemärkelse omfattar skyddet av en vattentäkt samtliga åtgärder inom avrinningsområdet som syftar till att säkerställa en bra, uthållig råvattenkvalitet.

Det är även av stor vikt att vattentäkterna skyddas mot olika former av akut förorening t ex vid olyckor. Olyckor som inträffat på senare tid, t ex tankbilsolyckorna i Karlshamn och i Jämtland vid Ammarån, samt spridningen av kemiska tätningsmedel i samband med tunnelbygget i Hallandsås, har visat att saneringskostnaderna kan bli mycket höga vid vattenförorening. Det är därför både kostnadseffektivt och viktigt ur miljösynpunkt att vidtaga förebyggande skyddsåtgärder för att inte behöva åtgärda akuta skador på värdefulla yt- och grundvattentillgångar.

Olyckor av det slag som nämns ovan och ett generellt påtagligt ökande intresse för vattenkvalitetsfrågor på såväl kommunal nivå som från konsumenterna har lett till ökade insatser för skydd av vattentäkter. Som exempel på förebyggande insatser kan nämnas arbeten i kommunerna med risk- och sårbarhetsanalyser för vattentäkter samt upprättande av beredskaps- och katastrofplaner för olika typer av olyckor, bl a sådana som innebär hot mot vattenförsörjningen. Ett nytt hjälpmedel för kommunerna i skyddsarbetet är den riskhandbok för dricksvattenförsörjning som utgivits av Livsmedelsverket (1997).

Exempel på konkreta åtgärder är de insatser som Vägverket genomför för att minska förorening av yt- och grundvatten från förorenat vägdragvatten och minska riskerna för farligtgods-olyckor samt mildra konsekvenserna om en sådan olycka trots allt skulle inträffa vid en vattentäkt. Vägverket har även gett ut en manual om yt- och grundvattenskydd kring vägar (Vägverket, 1995).

Se lästips:
Rapport 5/97

Se lästips

- Se lästips:
- Kemikalieolyckor vid vattentäkter
 - Förorening av vattentäkt vid vägtrafikolycka

Se lästips

Se lästips

Skyddsåtgärder inom avrinningsområden

I Sverige kommer ökade insatser att ske på avrinningsområdesnivå för att förbättra sjöarnas och vattendragens kvalitet. Pådrivande i denna riktning är dels ett nytt ramdirektiv för vatten som arbetats fram inom EU och som ska gälla samtliga medlemsländer, dels ett förslag till avrinningsområdesbaserad vattenadministration som presenterats i en statlig utredning "En ny vattenadministration - vatten är livet" (SOU 1997:99).

Se lästips kap 8

Exempel på problemområden som kan åtgärdas på avrinningsområdesnivå för att uppnå en hållbar råvattenkvalitet beskrivs nedan.

Försurning av nederbörd och vattendrag

Skyddsåtgärder mot försurning omfattar bl a skogskalkning, kalkning av sjöar och internationellt arbete för reduktion av tillförseln av försurande ämnen till atmosfären (främst svavel- och kväveföreningar). Sjöalkning kan dock ge problem för vattenförsörjningen. I Hovmantorp, Lessebo kommun, fick man en så kraftig algproduktion i infiltrationsbassängerna efter det att sjön Rotten kalkats att bassängerna satte igen och vattenförsörjningen allvarligt stördes.

Övergödning av sjöar och vattendrag - algblomning

Övergödning av sjöar och vattendrag med algblomning som följd är speciellt allvarligt för dricksvattenberedning om det produceras algtoxiner (t ex levergiftet microcystin) från cyanobakterier (blågröna alger). Det bör påpekas att även näringsfattiga sjöar kan ha problem med blågrönalgbloomning. Även en typ av slembildande växtplankton *Gonyostomum semen* (s k gubbslem) har börjat breda ut sig och skapa problem för vattenförsörjningen. Enligt Lindmark och Cronberg (1988) kan *Gonyostomum semen* lätt bli en "vinnare" i försurade vatten och inta en mycket dominerande plats i sjöarnas ekosystem. Filtren i vattenverken sätts igen av "gubbslem" och badande kan råka ut för klåda och hudirritationer.

Se kap 8, avsnittet om vattenkvalitet - hälsoaspekter

Se lästips

Skyddsåtgärder inriktas på att begränsa läckaget av växtnäringsämnen (kväve och fosfor) till råvattentäkten från jord- och skogsbruk, trafik, industrier, hushåll etc. Åtgärderna kan bestå av anläggning av reningsverk, olika åtgärder inom jordbruket, t ex ändrade bruksmetoder som förlänger perioden då marken är vegetationstäckt, optimering av gödselgivor och generellt förbättrad gödselhantering. Skyddsåtgärderna kan även bestå av anläggning av dammar eller våtmarker för fastläggning av växtnäringsämnen och kväveavgång (som kvävgas, N_2) direkt till luften.

Hög grumlighet i vattendragen

Hög grumlighet (turbiditet eller slamhalt) i vattendragen inträffar speciellt under vårflod och intensiva regn. Åtgärderna omfattar olika former av erosionskontroll utmed vattendragen, anläggning av dammar och våtmarker som sedimentfällor etc. Vid extremt hög grumlighet kan man temporärt behöva stänga en infiltrationsanläggning.

Se bild 3.30

Hot och olyckor vid infiltrations- anläggningar

Hotbilden mot svenska infiltrationsanläggningar är både av långsiktig och akut art.

Långsamma vattenkvalitetsförändringar

Långsamma vattenkvalitetsförändringar kan bl a härröra från diffusa källor, t ex föroreningen, växtnäringssläckage från skogs- och jordbruksmark till yt- och grundvatten, utlakningsprocesser i marklagren samt saltvatteninträngning till kustnära grundvattenmagasin (även uppträngning av relik saltvatten). Även inverkan från punktkällor, t ex industrier, deponier, grustäcker, väg-, järnvägs- och tunnelbyggen, vägsaltning, tätortsbebyggelse etc kan ge upphov till långsamma vattenkvalitetsförändringar.

Olyckor och olyckstillbud

Infiltrationsanläggningar kan utsättas för olika typer av olyckor som kan orsaka akut skada på vattenförsörjningen t ex:

- **leveransavbrott** (vattenläckor, elavbrott, långvarig torka m m).
- **föroreningar** (avloppsvatten, oljeföroreningar, kemikalieutsläpp, bekämpningsmedel, algtoxiner, radioaktivitet m m).

Vattenläckor och elavbrott

Denna typ av tillbud inträffar ofta men brukar kunna avhjälpas utan större olägenheter för konsumenterna. Många vattenverk har för övrigt egen reservkraft.

Långvarig torka

Vissa regioner i Sverige lider av "vattenbrist". Ett sådant område är sydöstra Kalmar län och Öland, ett annat är Gotland. För Ölands del har det diskuterats överledning av vatten från fastlandet pga hög förbrukning sommartid.

Saltvatteninträngning

Skärgårdsregionerna utgör i allmänhet vattenfattiga områden som dessutom ofta har problem med saltvatteninträngning/-uppträngning i grundvattnet. Konstgjord grundvattenbildning kan vara ett sätt att motverka saltvatteninträngning som nämnts i kapitel 1, avsnittet om användningsområden, hydraulisk spärr.

Avloppsförorening

Avloppspåverkat brunnsvatten har orsakat de flesta sjukdomsutbrotten i Sverige medan klorbrist eller bristande klorering lett till de flesta sjukdomsfallen enligt Livsmedelsverkets "Riskhandbok för dricksvattenförsörjning" (1997).

Se bild 1.13

Se lästips

Olyckshändelser

Naturvårdsverket har låtit utföra en studie över olyckshändelser som slagit ut eller allvarligt hotat vattentäkter och vattenförsörjning "Kemikalieolyckor vid vattentäkter - erfarenheter av sanering". Ingen av de redovisade olyckorna har gällt infiltrationsanläggningar men rapporten har påvisat de risker som yt- och grundvattentäkter kan utsättas för.

Se lästips

Vid genomgången av infiltrationsanläggningar i föreliggande rapport har följande incidenter noterats:

- Brandsvig, Ängelholm - en personbil körde av vägen och hamnade i en infiltrationsbassäng. Ingen skada uppstod.
- Getasjöckvarn, Emmaboda - en bilist påträffades som tvättade bilen i en infiltrationsbassäng. Ingen skada uppstod.
- Kerstinboda, Katrineholm - en hydraulslang gick av på en lastbil som befann sig i en infiltrationsbassäng. Olja läckte ut men togs snabbt om hand av en grävmaskin som fanns i närheten. Ingen skada uppstod. Olyckstillbudet ledde till krav på vegetabilisk olja för maskiner och fordon som arbetar i infiltrationsbassängerna.
- Hyndevad, Eskilstuna - en stor hemvärnsövning genomfördes av misstag inom vattenverksområdet. Ingen skada uppstod.

Sabotage

Flertalet svenska infiltrationsanläggningar är sårbara mot sabotage i fredstid och har endast begränsade skyddsanordningar. I ofärdstider skulle dock infiltrationsanläggningar liksom övriga strategiskt viktiga samhällsanläggningar bli bevakade av militär eller civilförsvär.

Vattenförsörjning i kris och krig

Livsmedelsverkets "Riskhandbok för dricksvattenförsörjning" belyser hotet mot vattenförsörjningsanläggningar under kris- och krigstillstånd liksom även Livsmedelsverkets "Dricksvattenförsörjning vid allvarliga störningar". Generellt gäller att distributionsnätet är den svagaste länken i kedjan vattentäkt- vattenverk- distributionsnät vid ett vapenangrepp.

Se lästips

Se lästips

Alla kommuner har dimensionerat sin reparationsberedskap för att kunna laga små och stora läckor i fredstid. Flera kommuner har även planerat för en flerdubbling av reparationskapaciteten i händelse av allvarliga störningar.

Vattenskyddsområden

Ett vattenskyddsområde med skyddsföreskrifter upprättas normalt för kommunala vattentäkter. Vid infiltrationsanläggningar gäller skydd av både ytvattentäkten och grundvattenmagasinet mellan infiltrations- och uttagsplats. Vattenskyddsområdet är ofta indelat i tre zoner med olika skyddsföreskrifter; ett brunnnsområde, en inre skyddszon samt en yttre skyddszon.

Brunnsområde

Inom brunnnsområdet (som normalt inhägnas) får endast vattenverksamhet bedrivas.

Inre skyddszon

Det inre skyddszonen utgörs som regel av det område inom vilket strömningstiden från en föroreningskälla (punktutsläpp) till uttagsbrunnen är mindre än 2-3 månader.

Avståndet är satt med hänsyn tagen till den uppehållstid i jordlager och grundvatten som ansetts krävas för att uppnå fullständig nedbrytning av en bakteriell förorening. Tanken har även varit att ge räddningstjänst och andra instanser tillräcklig tid för att vidta nödvändiga motåtgärder mot en eventuell förorening.

Vid bassänginfiltration omfattar den inre skyddszonen ofta hela området mellan infiltrations- och uttagsplats. Vid inducerad infiltration är den förlagd till de strand- och bottenavsnitt där den huvudsakliga infiltrationen sker, vilket ibland kan vara svårt att fastställa.

Ett bra exempel på ett skyddsområde för en vattentäkt med inducerad infiltration är Wifsta vattentäkt i Timrå kommun för Sundsvall Vatten, se bild 6.1. Av denna framgår att den inre skyddszonen (uppdelad på två delområden) är lokaliserad till just infiltrationszonerna. Infiltrationen sker huvudsakligen inom ett område som tidigare utgjorts av öar (isälvsavlagringar) i Indalsälven, men som genom reglering av älven kommit att stå under vatten. Den visar också att ett skyddsområde kan omfatta områden som reserveras för eventuell framtida vattenförsörjning.

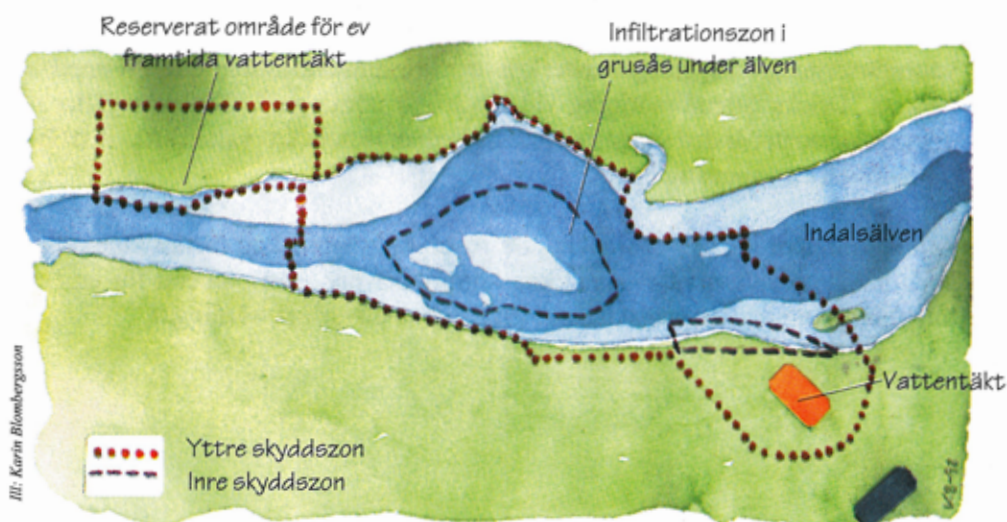


Bild 6.1. Skyddsområde för Wifsta vattentäkt, Timrå, Sundsvall.

Yttre skyddszon

Den yttre skyddszonen ska i princip omfatta hela tillrinningsområdet till grundvattentäkten. Av olika skäl har den dock ibland begränsats till ett mindre område.

Skyddsföreskrifter

För inre och yttre skyddszon upprättas skyddsföreskrifter. Skyddsföreskrifterna innebär förbud och restriktioner för vissa aktiviteter. Normalföreskrifter finns redovisade i Naturvårdsverkets Allmänna Råd 90:15. Nedan redovisas föreslagna skyddsföreskrifter för Hudiksvalls nya vattentäkt vid Sanna, enligt broschyren "Hallstaåsen - Vård att vårda".

Se lästips

Se lästips

Hantering av petroleumprodukter

Endast tillåten för befintliga byggnader i inre skyddszon. Tillstånd från miljö- och räddningsnämnden krävs i den yttre zonen.

Jord- och skogsbruk

Hantering av växtnäringssämnen och bekämpningsmedel får inte förekomma i inre skyddszonen. Befintligt jordbruk kan dock ges tillstånd av miljö- och räddningsnämnden. Tillstånd krävs även i den yttre zonen.

Avledning av avloppsvatten och deponering av avfall

Nya infiltrationsanläggningar för hushållsspillvatten och kommunalt dagvatten får inte anläggas i inre zonen. Tillstånd kan erhållas från miljö- och räddningsnämnden i yttre zonen. Deponering av avfall får inte förekomma.

Industriell verksamhet

Ny verksamhet får inte etableras i den inre zonen, tillstånd kan erhållas av miljö- och räddningsnämnden i den yttre. Kemikalier skall förvaras så att den lagrade volymen vid läckage säkert kan förhindras tränga ner i marken.

Väghållning

Upplag av asfalt, oljegrus eller vägsalt får inte förekomma i den inre zonen, tillstånd krävs i den yttre. Vägsaltning får inte ske i den inre zonen, tillstånd krävs i den yttre. Asfalt och oljegrus får inte användas utan miljö- och räddningsnämndens tillstånd i den inre zonen.

Täktverksamhet och andra schaktnings- och borrhingsarbeten

Nya täkter får inte etableras i den inre zonen, befintliga tillstånd får utnyttjas, dock inte till lägre nivå än 3 m ovan grundvattenytan. I den yttre zonen får täkt ske ner till 2 m ovan grundvattenytan.

Markvärmeanläggningar

Markvärmeanläggningar får ej anläggas i den inre skyddszonen, tillstånd från miljö- och räddningsnämnden krävs i den yttre zonen.

Transport av farligt gods

Transport av farligt gods får enbart ske på av Länsstyrelsen rekommenderad väg.

Enskilda grundvattentäkter

Nya brunnar får inte anläggas i den inre skyddszonen och i den yttre krävs tillstånd från miljö- och räddningsnämnden.

Terrängtrafik med motordrivna fordon

Trafik för andra ändamål än jord- och skogsbruk är inte tillåten inom den inre skyddszonen och endast på markerade leder i yttre.

Länsstyrelsen har möjlighet att efter ansökan ge dispens från de fastställda föreskrifterna.

Se kap 2, miljöbalken

I miljöbalken liksom tidigare i vattenlagen finns en allmän aktsamhetsregel som innebär att alla som bedriver verksamhet som kan skada en vattentillgång är skyldiga att vidta skäligen anordningar, tåla skäligen begränsningar och iaktta skäligen försiktighetsmått för att förebygga skada. För kostnader förenade med denna aktsamhet utgår ingen ersättning. Om skyddsföreskrifterna innebär krav utöver detta och att pågående markanvändning avsevärt försvåras har fastighetsägare, arrendatorer och andra rättighetshavare rätt till ersättning.

Katastrofberedskap

Det är viktigt att ett vattenskyddsområde tydligt utmärks med skyltar utmed vägar som korsar skyddsområdet. Den gamla blå skyltningen (bild 6.2 t v) har för liten text och bör bytas ut mot den nya gula skyltningen (bild 6.2 t h), enligt Naturvårdsverkets anvisning "Utmärkning av vattenskyddsområde" (1999). En nyhet är att nu markeras även platsen där man lämnar vattenskyddsområdet, med en överkorsad skylt. Ett viktigt underlag för katastrofberedskapen vid en eventuell olycka är de beredskaps- och katastrofplaner som finns upprättade i många kommuner.

Se lästips

Foto: Göran Hansson



Bild 6.2. T v visas skyltning för vattenskyddsområde på Sörmon utmed E18 för Karlstads vattenförsörjning. T h ses den nya skyltningen enligt Naturvårdsverkets anvisningar (1999). Bilden är från Stavsnäs, Värmdö kommun.

Karlstads vattenförsörjning baseras på vatten från Vänern som infiltreras på bassänger på Sörmon som är en mäktig isälvsavlagring. E18 går rakt genom den inre skyddszonen och avståndet från vägen till de närmaste uttagsbrunnarna är endast ca 40 m, se bild 6.2. t v.

För att optimera driften av anläggningen som består av ett stort antal infiltrationsbassänger och uttagsbrunnar upprättades en finit elementmodell (FEM-modell) över grundvattenmagasinet. Modellen kan även användas för beredskapsändamål.

För att testa beredskapsplanen och effekterna av en farligtgoods olycka inom skyddsområdet för vattentäkten genomfördes under oktober -96 en beredskapsövning med samtliga berörda parter: SOS Alarmering, Brandförsvaret, Polisen, Tekniska Verken (VA- och Gatukontoret), Miljökontoret och Länsstyrelsen.

Se löstips:
Karlstad kommun (1996)
och VAV-nytt 1/97.

Övningen genomfördes som ett insatsspel där scenariet som testades var att en tankbil välte och läckte ut stora mängder bensin utmed E18 intill vattentäkten. Sörmon består här i ytan av sandigt material (fin-mellansand) och avståndet till grundvattenytan är 2-3 m. Som hjälp vid övningen utnyttjades ett datorprogram som tagits fram av Räddningsverket "Utbildningsprogram för kemikalietransport i mark och skadebegränsning av kemikaliespill". Dessutom användes en karta som visar grundvattnets flödesriktning och med vars hjälp utbredningen av föroreningen kunde uppskattas. Kartan bygger på mätningar av grundvattennivåer i observationsrör som ingår i Sörmonverkets kontrollprogram samt i beredskapsplanen. Uppritning sker med hjälp av datorprogrammet "Surfer".

Bild 6.3 visar grundvattnets flödesriktningar och hur föroreningen kunde antas spridas med grundvattnet, den s k föroreningsplymen. Det är värt att notera att flödesriktningarna var motsatta på olika delsträckor av E18.

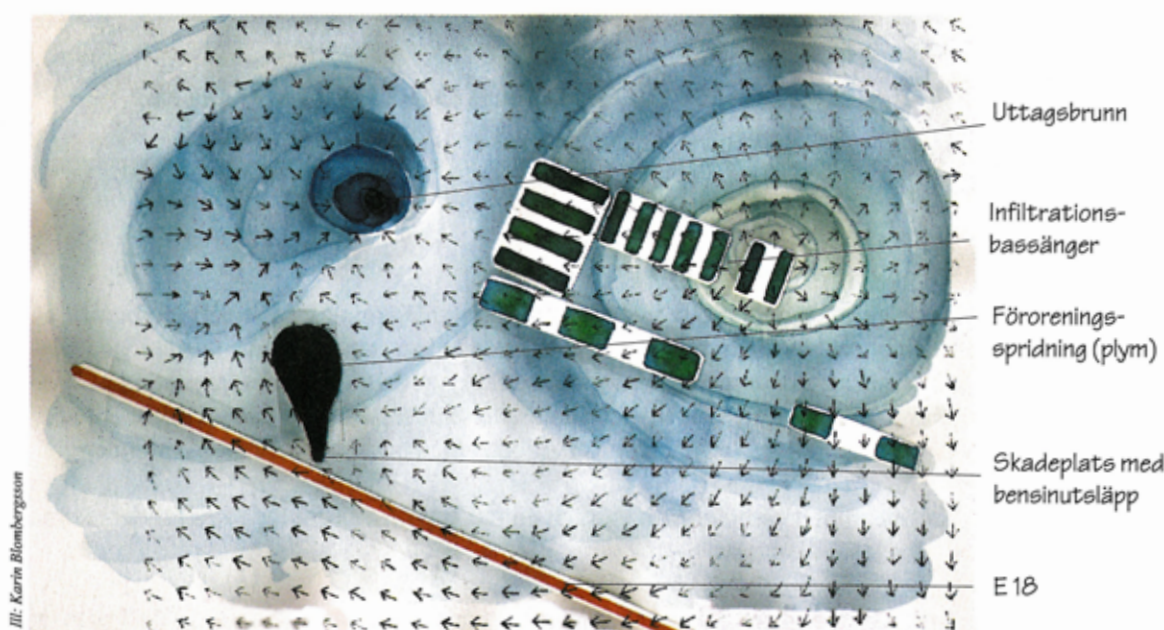


Bild 6.3. Akvarell baserad på grundvattenmodellering. Modellen har använts för bedömning av förorenings-spridning vid en fingerad olycka i samband med en beredskapsövning vid Sörmonverket, Karlstad. Pilarna anger grundvattnets flödesriktning.

Med hjälp av kartan kunde saneringsinsatserna dirigeras. Först visade den på vilken sida av vägen som föroreningen spreds och sedan mer i detalj var man skulle schakta upp avskärande diken för att samla upp bensinen och om möjligt förhindra den att nå vattentäkten.

Driften vid vattenverket lades om på det sätt som föreskrivs i beredskapsplanen och med hjälp av FEM-modellen. Pumpar i brunnar nära olycksplatsen stängdes av och infiltrationen ökades i bassänger mellan olycksplatsen och uttagsbrunnarna för att bygga upp en hydraulisk spärr mot föroreningsspridningen, s k skyddsinfiltation.

Trots den goda beredskapen och de tekniska hjälpmedlen visade övningen likväl att räddningsinsatsen inte kunde förhindra att den utrunna bensinen nådde grundvattnet. Troligtvis skulle man kunna förhindra att föroreningen nådde uttagsbrunnarna och därmed klara vattenförsörjningen för Karlstad. Det skulle dock krävas en rad åtgärder, t ex avställning av det förorenade området och en långvarig och kostsam sanering, ökad infiltration och uttag i andra delar av grundvattenmagasinet, skyddsinfiltation i bassänger nära olycksplatsen samt utnyttjande av reservvattentäkter.

Övningen pekade på angelägenheten av en tidigare omläggning av E18 som enligt planerna ska byggas om till motorvägsstandard, alternativt att ett omfattande skydd byggs längs vägen för att förhindra att en last med farligt gods når grundvattnet i händelse av en olycka.

I januari -98 beslöt Vägverket Region Väst att påbörja projektering av skyddet för den aktuella vägsträckan baserad på tidigare upprättad riskanalys och förprojektering. Skyddsåtgärderna utgjordes bl a av täta diken, utjämningsmagasin med oljeavskiljare och avkörningsvänliga vägslänter. De senare åstadkoms genom en utfackning av slänterna till lutning 1:6, vilket minskar risken att ett fordon som kör av vägen även välter.

FEM-modellen har nu ersatts av en modell som heter "Visual Modflow".

Praktiska erfarenheter av skydds- åtgärder

Katrineholm

Som exempel på hotbilden vid en infiltrationsanläggning visas ett flygfotografi på Kerstinboda, Katrineholm, se bild 6.4. Bilden visar vattentäktens utsatta läge i centrala Katrineholm omgiven av vägar med farligtgods-trafik, en bensinstation på kanten av infiltrationsbassängen samt industrier och förråd intill vattentäkten. Bild 6.5 visar en infiltrationsbassäng vid Kerstinboda med bensinstationen i bakgrunden.

I Katrineholm har kommunen vidtagit en rad åtgärder för att reducera skaderiskerna vid en eventuell olycka:

- s k katastrofbrunnar har anlagts som vid behov kan tas i drift för att förhindra att förorenat grundvatten når uttagsbrunnarna, se bild 6.6. I förgrunden syns ett observationsrör som kontinuerligt registrerar grundvattnets kvalitet (ledningsförmågan) och larmar vid en plötslig vattenkvalitetsförändring.

- vägarna kring vattentäkten har försetts med vallar och tätta diken med bentonitmattor.
- bensinstationen har försetts med speciella skyddsanordningar, bl a har tankarna placerats i betongkasuner. Gasvarnare och sonder i marken larmar om petroleumprodukter läcker ut i omgivande jordlager.
- kommunen har upprättat en katastrofplan för vattenverket i Kerstinboda.
- Sveriges Geologiska Undersökning (SGU) har genomfört grundvattenundersökningar för lokalisering av en reservvattentäkt.

Foto: Katrineholms kommun arkiv



Bild 6.4 Flygfotografi över centrala Katrineholm som visar det utsatta läget för infiltrationsanläggningen vid Kerstinboda.

Foto: Göran Hansson



Bild 6.5 Infiltrationsbassäng vid Kerstinboda, Katrineholm med en bensinstation i bakgrunden som försetts med speciella skyddsanordningar, bl a invallning av tankar samt olika larmsystem i händelse av förorenings-spridning.

Foto: Göran Hansson



*Bild 6.6. Kerstinboda, Katrineholm.
I bakgrunden ses en "katastrofbrunn";
i förgrunden ett observationsrör för
kontroll av vattenkvalitet som försetts
med larmanordning.*

Karlskoga

Ett annat exempel på en hotbild visas på bild 6.7, där tung trafik passerar tvärs igenom brunnnsområdet vid Gälleråsen utmed väg 205. Det är lätt att föreställa sig omfattningen av den skada som här skulle uppstå om en tankbil välte och läckte ut farligt gods. Vägverket, Region Mälardalen har utrett frågan om ett lämpligt skydd inom detta vägavsnitt. Även tänkbara reservvattentäkter har undersökts.

Foto: Göran Hansson



Bild 6.7

Vid Gälleråsen i Karlskoga passerar väg 205 igenom området med uttagsbrunnar. En studie av nödvändiga skyddsåtgärder har genomförts.

Uppsala

I Uppsala har ett mycket påkostat grundvattenskydd utförts för att skydda vattentäkten i Uppsalaåsen vid anläggning av Bärbyleden. Kommunen beräknade att värdet på grundvattentäkten översteg en miljard varför det bedömdes som motiverat att utföra ett dubbelt skydd med såväl bentonitmattor som geomembran (s k HDPE-membran). En bildsvit från anläggningen av vägskyddet visas på bild 6.8.



Foto: Bo Gyllander

Bild 6.8. Anläggning av vägskydd vid Bärbyleden för skydd av Uppsalas vattentäkter i Uppsalaåsen. Överst t v översiktsbild. Ett bentonitmembran läggs ut som ett extra skydd ovanpå ett geomembran av HDPE. Överst t h och nederst t v utläggning av bentonitmembran. Nederst t h fogning av HDPE-membran.

Se lästips

Norraryd

Andra typer av skyddsåtgärder kring vägar finns i ett förslag för infiltrationsanläggningen i Norraryd i Tingsryds kommun (1997). Förslaget innebär att vägdikena intill vattentäkten tätas med tätjord (ca 0,5 m morän) samt att vägsränorna utflackas. Förslaget pekar även ut lämpliga platser för s k skyddsinfiltation om en olycka skulle inträffa. Detta är en förebyggande planeringsåtgärd som torde vara tillämplig även vid andra infiltrationsanläggningar. Förslaget presenteras på bild 6.9. Skyddsåtgärderna har sedermera genomförts men med en något annorlunda utformning. Förslaget nedan visas trots detta då det är av intresse rent principiellt.



Bild 6.9. Förslag till vägskydd utmed väg 119 vid infiltrationsanläggningen i Norraryd, Tingsryds kommun. Åtgärderna avser tätning av vägdikena och utflackning av vägsränor. Lokalisering av lämpliga platser för skyddsinfiltation anvisas i händelse av en farligt godsolycka.

Lästips

Hudiksvalls kommun, Tekniska verken, 1998. Hallståsen - värd att vårda. Broschyr framställd av VBB VIAK AB, Stockholm.

Lindmark, Gunilla och Cronberg, Gertrud, 1988. *Gonyostomum semen* - en problemalg på frammarsch i försurningskänsliga sjöar. Blekinges Natur 1988.

Livsmedelsverket, 1996. Dricksvattenförsörjning vid allvarliga störningar. Rapport 6/96.

Livsmedelsverket, 1997. Skydd av ytvattentäkter - Överväganden och metodik för avgränsning av skyddsområden. Rapport 5/97.

Livsmedelsverket, 1997. Riskhandbok för dricksvattenförsörjning.

Naturvårdsverket, 1991. Grundvattentäkter: Skyddsområden - Skydds-föreskrifter. Allmänna råd 90:15.

Naturvårdsverket, 1996. Kemikalieolyckor vid vattentäkter, erfarenheter av sanering. Rapport 4655.

Naturvårdsverket, 1999. Utmärkning av vattenskyddsområde. Broschyr.

Karlstad kommun Tekniska Verken, 1996. Dokumentation: Beredskapsövning - Farligt godsolycka. Sörmoverket 1996-10-01.

Skorup, Ulf, 1998. Miljöbalken till skydd för våra vatten. Artikel i VAV-Nytt 6/98.

Stejmar, Helen, 1998. Kommunal översiktsplanering för grundvattenförsörjning i krislägen. Överstyrelsen för civil beredskap, ÖCB.

VAV-Nytt 1/97. Beredskapsövning i Karlstad: Stora skador på vattentäkten vid tankbilsolycka i skyddsområdet.

Vägverket Region Väst, 1993. Väg E18 väster om Karlstad, Riskanalys och förslag till skyddsåtgärder vid passage av Karlstads vattentäkt Sörmon. VBB VIAK.

Vägverket, 1995. Yt- och grundvattenskydd. VV Publ 1995:1.

Vägverket, Region Sydöst, 1997. Skyddsåtgärder vid vägarna 119 och 120, i anslutning till Norraryds vattentäkt i Tingsryds kommun. VBB VIAK 1993-12-10.

Vägverket och Räddningsverket, 1998. Förorening av vattentäkt vid vägtrafikolycka. VV Publ 1998:064.

Kapitel 7

Forskning och utveckling



Allmänt

Den tidiga forskningen och utvecklingen (FoU) avseende konstgjord grundvattenbildning kring sekelskiftet av professor J Gust Richert beskrivs i inledningskapitlet under historikavsnittet.

FoU-verksamheten i Sverige har till stor del fokuserats kring processer, vattenkvalitet och behandlingseffekter vid bassänginfiltration och inducerad infiltration samt eventuella samband med hydraulisk belastning på filterbäddarna (ytbelastning), mäktigheten på den omättade zonen och uppehållstider mellan infiltrations- och uttagsplats. Annan FoU-verksamhet har rört filtersand samt uppbyggnad och utformning av filterbäddar, bl a genom inblandning av kalksten.

Metodik för att bestämma vattnets uppehållstid mellan infiltrations- och uttagsplats med hjälp av spårämnesförsök har studerats. Andra viktiga frågor som studerats är risken för igensättning av filterbäddar och underliggande marklager samt förekomsten av toxiska ämnen i samband med algblomning (algtoxiner).

VA-FORSK har sedan i början på 1990-talet stött olika forskningsprojekt inom ämnesområdet "konstgjord grundvattenbildning". VA-FORSK har även stött flera angränsande forskningsområden, bl a långsamfiltrering och kontaktfiltrering, metoder som ibland används som för- eller efterbehandling vid infiltrationsanläggningar. Eftersom uppbyggnaden av filterbädden vid långsamfiltrering och bassänginfiltration är likartad kan forskningsresultat från långsamfiltrering även vara tillämpliga inom infiltrationstekniken. En väsentlig skillnad är dock att full vattenmättnad råder vid långsamfiltrering medan strömningen i en infiltrationsanläggnings filterbädd oftast är omättad.

Beträffande kommunala erfarenheter från konstgjord grundvattenbildning hänvisas läsaren till följande avsnitt i rapporten:

Reningsprocesser	kapitel 2:	Avsnitten om reningsprocesser vid bassänginfiltration och inducerad infiltration.
Behandlingseffekter	kapitel 3-5:	Avsnitten om behandlingseffekter vid olika infiltrationsmetoder (kap 3 och 4) samt vid för- och efterbehandling (kap 5).
Igensättningar	kapitel 3-4:	Avsnitten om igensättningar.
Specialutformning av filterbäddar	kapitel 3:	Avsnittet om inblandning av kalksten i filterbäddar.

Det är inte möjligt att här redovisa all FoU-verksamhet som bedrivits i ämnet konstgjord grundvattenbildning i Sverige. De beskrivna forskningsinsatserna torde dock omfatta merparten av forskningsprojekten i ämnet. En omfattande referenslista finns i Cristina Frycklunds doktorsavhandling, se lästips, kap 3.

Äldre forsknings- och utvecklings- projekt

Genomgång av tretton svenska anläggningar Victor Jansa 1952

Vid ett symposium i Paris 1952 presenterade Victor Jansa anläggnings- och drift-data från tretton infiltrationsanläggningar: Eksjö, Eskilstuna, Göteborg, Helsingborg, Karlskoga, Katrineholm, Kristinehamn, Landskrona, Luleå, Malmö, Södertälje, Västerås och Örebro. Nedan listas några viktiga slutsatser enligt VA-FORSK Rapport nr 1992-13:

Se avsnittet om
VA-FORSK projekt
nedan

- förbehandling av infiltrationsvattnet ansågs viktigt för att förhindra igensättningar.
- bassänginfiltration föredrogs framför indirekt induktion (= inducerad infiltration).
- bassängerna borde förses med långsamfiltersand med mindre kornstorlek ($d_{10} = 0,2-0,3$ mm) än den underlagande naturliga sanden.
- intermittent beskickning av infiltrationsbassängerna rekommenderades.
- en metod för bevattning av naturlig mark föreslogs (jfr finska erfarenheter i kapitel 4, avsnittet om sprinklerinfiltration).

Vidare konstaterades att:

- luft i porerna vid infiltrationsstart kunde ge kapacitetsproblem.
- den omättade zonen varierade mellan 0-35 m i de undersökta anläggningarna.
- ytbelastningen som är en funktion av ytlagrets genomsläpplighet, varierade mellan 1,5 -16 m/d (m^3/m^2 och dygn).
- avståndet mellan infiltration och brunnar var i allmänhet minst 200 m. Största möjliga avstånd borde eftersträvas.

Försök vid Hyndevadsverket i Eskilstuna på 1950-talet

Under 1950-talet genomfördes omfattande fältförsök vid Hyndevadsverket i Eskilstuna under ledning av Victor Jansa vid VBB. Försöken avsåg att klarlägga vattenkvalitetens utveckling vid infiltrationsprocessen under olika betingelser (kornstorleksfördelningar, vattentemperaturer etc).



Bild 7.1 Undersökningstorn vid Hyndevadsverket i Eskilstuna. Tornet användes under 1950-talet för studier av infiltrationsprocesser.

Ett 20 m högt torn byggdes i vilket vatten- och jordprover kunde tas ut på olika nivåer för analys. Tornet finns kvar än i dag men den används inte längre för forskningsändamål utan framstår närmast som ett historiskt monument över teknikutvecklingen inom konstgjord grundvattenbildning, se bild 7.1.

En djup schakt utfördes i en infiltrationsbassäng som försågs med hissanordning för inspektion och provtagning. Det omfattande analysmaterialet detaljbearbetades och presenterades först under 1970-talet, se lästips "Rapport angående undersökningar av grundvattenbildning genom konstgjord infiltration" av Victor Jansa (1978).

Följande resultat erhöles vid studierna i Eskilstuna:

- **Minskning av halten bakterier och organiskt material.** Minskningen av organiskt material visade sig ske längs hela flödesvägen, totalt ca 45 % fördelat enligt följande: Den organiska substansen (mätt som KMnO_4 -förbrukning) i infiltrationsvattnet angavs till 100%. Efter passage av filterbädden var halten 90% av den ursprungliga, efter den omättade zonen 75-80% och efter 500 m mättad zon ca 55%. Ju högre vattentemperatur desto större var minskningen av det organiska materialet. Bakteriesänkningen var påtaglig. Näringstillgången visade sig kunna begränsa bakteriekulturens tillväxt.
- **Övriga parametrars förändring.** Kontinuerlig men marginell höjning (10-20%) av alkalinitet och hårdhet kunde konstateras. Koldioxidhalten ökade medan syrehalten minskade.
- **Behov av artificiell syretillförsel.** Syrehalten minskade men det uppstod aldrig syrebrist. Koldioxidhalten ökade tydligt.

- **Inverkan av chockbelastning.** Infiltration av urinämnen ledde till nitrifikation. Infiltration av socker, fenol och metylmerkaptan resulterade i tydlig och ökande nedbrytning samt bakterietillväxt.
- **Temperaturmätningar vid bestämning av uppehållstid.** Transporthastigheten (uppehållstiden) bestämdes till ca 20 dagar mellan infiltrations- och uttagsplats (300 m) med hjälp av temperaturmätningar. Ett spårämnesförsök borde med dåtida driftsituation ha gett ca 8 dagars uppehållstid. Senare spårämnesförsök har gett ca 5 dagars uppehållstid, se tabell 3.2.

VA-FORSK projekt

Utöver föreliggande rapport har VA-FORSK finansierat flera forskningsarbeten som behandlat olika aspekter av konstgjord grundvattenbildning. Sammanfattningar av VA-FORSK rapporter utgivna 1992-98 finns redovisade i VA-FORSK nr 1999-0.

Se lästips

Artificial Groundwater Recharge - State of the Art.

(Konstgjord grundvattenbildning - kunskapsläge)

Cristina Frycklund, 1992.

VA-FORSK Rapport nr 1992-04.

Rapporten är en sammanställning av det internationella kunskapsläget om konstgjord grundvattenbildning (1992).

Rapporten behandlar olika mekanismer och processer vid infiltration med tonvikt på avskiljning av järn och mangan samt organiskt material. Dessutom presenteras internationella erfarenheter från elva europeiska länder samt USA och Kanada.

Genomgången visar att kunskaperna om mekanismer som påverkar förekomsten av järn och mangan är relativt goda. Däremot finns få uppgifter dokumenterade som kan ligga till grund för utformning av filterbäddar (t ex mäktighet, kornstorlek och mineralogi). Detsamma gäller uppehållstider och transport i omättad zon.

Problem med igensättningar i filterbädden kan uppstå vid bassänginfiltration. Följande mekanismer anges:

- Oorganiskt material som transporteras med infiltrationsvattnet avsätts i porerna så att dessa successivt täpps igen.
- Bakterier och andra mikroorganismer som lever i filtermaterialet producerar gaser och andra nedbrytningsprodukter som ackumuleras i och täpper igen porerna.
- Kemiska reaktioner mellan infiltrationsvattnet och filtermaterialet medför utfällningar av järnoxider och kalciumkarbonater i porerna.

Olika sätt att undvika eller åtgärda igensättningar behandlas i rapporten.

I rapporten konstateras vidare att det borde finnas en mängd erfarenhetsmässiga kunskaper inom ämnesområdet hos konsulter och driftpersonal vid vattenverk. En del av dessa erfarenheter har föreliggande rapport försökt ta till vara och presentera.

Konstgjord grundvattenbildning - Nulägesbeskrivning av tjugo svenska anläggningar.

Bertil Sundlöf och Lars Kronqvist.

VA-FORSK Rapport nr 1992-13.

I rapporten görs en statusbeskrivning och utvärdering av huvudvattentäkterna, baserat på tillgängligt material och på en enkätförfrågan, i följande kommuner: Eksjö, Eskilstuna, Helsingborg, Hudiksvall, Kalmar, Karlskoga, Karlstad, Katrineholm, Kristinehamn, Kumla, Köping, Luleå, Malmö, Nyköping -Oxelösund, Ronneby, Södertälje, Umeå, Uppsala, Västerås och Örebro.

I rapporten presenteras uppgifter om förhållanden vid anläggningarna och vattenkvaliteten i ytvatten, brunnsvatten och dricksvatten.

Utgående från beskrivningen analyseras funktionen ur teknisk och kemisk synpunkt varvid problem och brister identifieras. Förslag till förbättringar och framtida tillämpning av tekniken lämnas.

Vattenkvalitetens förändring från ytvatten till grundvatten beskrivs. Alkaliseringsteknik och åtgärder för begränsning av järn och mangan i vattnet diskuteras.

En naturlig metod att, med hjälp av kolsyra och kalksten, alkalisera och hårdhetshöja vattnet vid infiltrationen har prövats med gott resultat.

Några slutsatser och rekommendationer:

- Uppehållstiden i mark har betydelse för reningsgraden. Längre uppehållstid tycks ge bättre rening.
- Tendens till igensättningar under bassängerna kunde konstateras i vissa fall.
- Låg ytbelastning, alkalisering i samband med infiltrationen och maximering av uppehållstiden förordas.

Rapporten avslutas med en beskrivning av utvecklingslinjer för drift och utbyggnad av nya infiltrationsanläggningar.

Algtoxiner i dricksvatten - En undersökning vid två svenska vattenverk samt en litteraturstudie.

Heléne Annadotter, Hässleholms gatukontor.

VA-FORSK Rapport nr 1993-03.

Rapporten redovisar resultatet av en undersökning vid Hässleholms infiltrationsanläggning, Galgbacken (råvattentäkt: Finjasjön) och Vombverket för Malmö/Lund-regionen (råvattentäkt: Vombsjön) avseende algtoxinförekomst. Syftet var att studera om blågrönalgbloomning i råvattentäkter kan utgöra ett hälsoproblem för dricksvattenkonsumenter.

Undersökningen utfördes 1989 och 1991 vid de bägge infiltrationsanläggningarna. Bakgrunden till undersökningen var att toxiska blågrönalger påvisats i råvattentäkterna (Finjasjön och Vombsjön) och att det inte fanns tillräcklig kunskap om vilka risker detta innebar för dricksvattnets kvalitet.

En studie av algtoxinitet samt olika vattenkemiska och fysikaliska parametrar utfördes dessutom i Finjasjön 1988-1991. Undersökningen visade att algtoxiniteten kan variera starkt, såväl under en och samma säsong som mellan olika år. Ett samband mellan ljustillgång och algtoxinitet påvisades. Däremot upptäcktes inte något samband mellan vattenkemi och algtoxinitet. Det existerade inte heller något samband mellan vattentemperatur och algtoxinitet under algbloomningsperioden och någon korrelation mellan algtoxinet och algmängd förelåg ej.

Blågrönalger som innehöll levergiftet microcystin påvisades i råvattnet i bägge vattenverken. I ett av elva prov förekom vattenlöst microcystin i råvatten som passerat mikrosilen på Vombverket. Däremot påträffades inte något microcystin i utgående renvatten från något av verken.

Litteraturstudien fann uppgifter om två andra undersökningar där alggift och blågrönalgförekomst studerats i vattenverk. En av dessa rapporterade förekomst av microcystin i vatten som renats med direktfiltrering. I den andra undersökningen upptäcktes förekomst av blågrönalgceller i dricksvatten som renats med både konventionell vattenrening och aktivt kolfiltrering.

Blågrönalger kan producera lipopolysackarid endotoxin. Förhöjda halter av lipopolysackarid endotoxin i dricksvatten har rapporterats från USA och Finland i samband med utbrott av magtarmkatarr och feberattacker, vilka har sammanfallit med massutveckling av blågrönalger i dricksvattentäkterna. Magtarmkatarr misstänks dessutom ha orsakats av påvisad förekomst av blågrönalgceller i dricksvatten. Blågrönalgceller i dricksvatten har misstänkts orsaka klåda och hudinflammationer i samband med dusch. Levertoxiska blågrönalger i dricksvattentäkter i Australien misstänks ha orsakat utbrott av hepatit samt leverskador.

Det existerar idag inga gränsvärden för algtoxiner och blågrönalgceller i dricksvatten.

Konstgjord grundvattenbildning - Processtudier vid inducerad infiltration och bassänginfiltration.

Cristina Frycklund, Gunnar Jacks, Per-Olof Johansson och Kerstin Lekander.
VA-FORSK Rapport nr 1994-08.

Rapporten redovisar resultat från undersökningar i Järna och Södertälje (bassänginfiltration) samt Oskarshamn och Surahammar (inducerad infiltration). Processerna som medverkar till förändring av vattnets kvalitet har studerats. Kvalitetsförändringarna har följts genom fältstudier vid bassäng- och inducerad infiltration.

Processtudierna har visat att god kännedom om de hydrogeologiska förhållandena på platsen är av helt avgörande betydelse för en optimal utformning av en anläggning och dess drift. Utbytet av infiltrationen kan bara bedömas med god kännedom om den lokala hydrogeologin. Noggranna undersökningar med hydrogeologiska, hydrokemiska och geofysiska metoder är nödvändiga. Infiltrationsvattnets strömvägar har stor betydelse för grundvattenkvantiteten och -kvaliteten. Användning av spårämnen ger goda möjligheter att bedöma vattnets strömvägar och uppehållstider.

Vid bassänginfiltration ackumuleras ofta finmaterial i övergången mellan filtersanden och det underliggande naturmaterialet. Finmaterialet dämmer infiltrationsvattnet och försvårar vidare perkolation nedåt. Med en omsorgsfull uppbyggnad av filtersanden med ett finkornigare skikt i filtersandens yta än därunder, skulle processen kunna förbättras. Ett sådant ytskikt skulle skydda akviferen från igensättningar på större djup och vara åtkomligt för regelbunden tvätt eller utbyte.

Det organiska materialet i infiltrationsvattnet avskiljs vid bassänginfiltration ytligt i filtersanden. Avskiljningen sker till stor del av mikroorganismer, varför den blir mer effektiv under sommarsäsongen. Detta bör beaktas vid skötseln av infiltrationsbassängerna, genom att gynsamma förhållanden för mikroorganismerna bevaras samtidigt som en fullgod infiltrationskapacitet upprätthålls. Inblandning av kalksten i filterbädden vid bassänginfiltration är en användbar metod för att höja vattnets alkalinitet, hårdhet och pH. Det är dock fråga om långsamma vittringsprocesser och vid stora avstånd mellan infiltrations- och uttagsplats kan responstiden vara flera år. Detta kan emellertid vara en fördel genom att årstidsvariationer utjämnas.

Studierna har visat att bassänginfiltration även vid en kort transport genom marken effektivt avskiljer järn och mangan från infiltrationsvattnet, sommartid gäller detta även organiskt material. En alltför kort marktransport förmår däremot inte jämnas ut de årstidsbundna temperaturvariationer som ibland motverkar en övergång från ytvatten till grundvatten med konstgjord grundvattenbildning.

En god hydraulisk kontakt med korta uppehållstider och liten kontaktyta mellan vatten och sediment ger ofta ett minnerfattigt vatten med stora årstidsbundna temperaturvariationer och dålig avskiljning av tex organiskt material. Vid infiltration genom lågpermeabla lager uppstår ofta reducerande förhållanden som kan ge sekundära effekter i form av höga järn- och manganhalter i vattnet. Variationer i ytvattennivån kan starkt påverka infiltrationsförhållandena. Problem med avskilj-

ning av organiskt material samt järn och mangan är vanliga vid inducerad infiltration och ofta kopplade till varandra. Här krävs ytterligare forskning med kombinerade laboratorie- och fältstudier.

I studien drogs följande slutsatser:

Bassänginfiltration

- **Spårämnesstudier** visade sig värdefulla för bestämning av strömningsvägar, uppehållstider och återvinningsgrad av infiltrerat vatten.
- **Dämning.** Både i Järna och Södertälje skedde ackumulation av finmaterial i gränsskiktet mellan filtersand och underliggande jordlager, vilket ledde till dämning. Skiktet fungerar troligen som filter och skyddar djupare delar av akviferen mot nedträngning av finmaterial.
- **Upphållstid.** Upphållstiden i mättad zon visade sig vara av mindre betydelse för avskiljning av järn, mangan, organiskt material, färg och turbiditet. Dessa parametrar minskade påtagligt i filterbädden och den omättade zonen. Kalcium och magnesium, som är beroende av jonbytesprocesser, krävde däremot en längre uppehållstid för att halterna skulle öka.
- **Organiskt material (TOC-halt).** I Järna visade sig avskiljningen av organiskt material vara mest effektiv sommartid. I de översta 20 cm av filtersanden avskildes 50 % av den ursprungliga TOC-halten. Temperatur befanns vara en viktig faktor vid avskiljningen. Vid jämförelse mellan parallella analyser av TOC, COD_{Mn} och färgtal, som alla ger upplysningar om förekomsten av organiskt material, visade det sig att variationerna inte var samstämmiga, speciellt inte i Järna. Författarna rekommenderar därför att halten organiskt material bestäms med fler metoder vid vattenverken än bara med COD_{Mn} eftersom även oorganiska ämnen kan oxideras vid denna metod, liksom svårnedbrytbara organiska ämnen kan undgå oxidation.
- **Ackumulation.** I Järna var ackumulationen av organiskt material i filtersanden större än den mängd som tillförts med infiltrationsvattnet, vilket tydde på produktion av organisk substans genom fotosyntes, ovanför och i filtersanden.
- **Inblandning av kalksten.** Försök vid Källtorp i Södertälje med inblandning av kalksten i filterbäddar gjorde att vattnets karaktär ändrades från ett mjukt, mineralfattigt vatten till ett hårdare, mindre aggressivt och mer mineralrikt vatten. Det konstaterades att detta är en enkel och billig metod som höjer vattnets hårdhet och alkalinitet. Sannolikt krävs dock efterbehandling vid mycket mjuka vatten.

Inducerad infiltration

- **Ytvattennivå.** I Surahammar påverkades vattenkvaliteten av vattennivån i Kolbäcksån. Vid låga nivåer var andelen naturligt grundvatten större och järn- och manganhalterna högre, på vissa ställen t o m högre i det inducerade vattnet än i det opåverkade grundvattnet. Vid låga nivåer sker infiltrationen till större

del genom organiska bottensediment i en reducerande miljö, vilket medför utlösning av järn och mangan. Vid höga nivåer antogs ytvatteninfiltrationen kunna öka genom direktkontakt mellan ytvattnet och åsformationen, vilket skulle kunna leda till ökad halt organiskt material. En sådan analys rekommenderades.

- **Hydrogeologi.** Vid mäktiga formationer är det viktigt att klarlägga vertikala variationer i genomsläpplighet, kontakt med ytvattendraget, uppehållstid och vattenkvalitet. Avsevärda vertikala variationer påträffades både i Surahammar och Oskarshamn.
- **Spårämnen.** Spårämnesteknik visade sig vara en mycket bra metod för bestämning av uppehållstider och blandningsförhållanden. Konduktiviteten, som är ett mått på vattnets totala salthalt, utnyttjades men för mer exakta bestämningar krävdes spårämnen. Dessa ska följa vattnet och inte fastläggas, brytas ner eller delta i andra reaktioner. Klorid och kisel (vid korta uppehållstider), användes för detta ändamål.
- **Infiltrationszoner.** Eftersom det var svårt att fastställa exakt var i ytvattnet som den inducerade infiltrationen skedde, bestämdes endast uppehålls- och transporttider, inte vattnets strömningsvägar. Injicering av spårämne i botten-sedimenten föreslogs, men utfördes ej.
- **Organiskt material (TOC).** Avskiljningen av organiskt material var otillfredsställande i Oskarshamn. I rapporten föreslogs att det organiska materialets karaktär studeras vid anläggningar där avskiljningen är god resp. mindre god. Ett krav är att uppehållstiderna måste vara kända.
- **Organiska metallkomplex.** Sambandet mellan organiskt material och höga järn- och manganhalter kunde inte klarläggas. Ytterligare forskning föreslogs vid anläggningar med god hydraulisk kontakt mellan yt- och grundvatten, som samtidigt uppvisar höga halter organiskt material, järn och mangan.

Spårämnesförsök som undersökningsmetodik vid konstgjord grundvattenbildning.

Lena Tilly, Lena Maxe och Per-Olof Johansson.

VA-FORSK Rapport 1999-14.

I detta forskningsprojekt har spårämnesteknikens användbarhet för bestämning av framför allt vattnets uppehållstid mellan infiltrations- och uttagsplats, dess strömningsvägar samt återvinningsgrad studerats. I rapporten redovisas en kunskaps- och erfarenhetssammanställning som bygger på litteraturstudier. Dessutom presenteras fallstudier från infiltrationsanläggningar i Örebro (Jägarbacken och Bista vid Skrämså vattenverk), Kumla (Blacksta) och Mjölby (Högby).

Studien omfattade en analys av olika typer av spårämnen; deras möjligheter och begränsningar för användning vid undersökningar i anläggningar med bassänginfiltration.

Följande ämnen testades:

- Klorid, NaCl
- Natriumnaftionat, $C_{10}H_8NNaO_3S$
- Nitrat, $Ca(NO_3)_2$

Klorid användes som referensämne parallellt med test av natriumnaftionat respektive nitrat. Resultaten visade på en omfattande fastläggning av natriumnaftionat då det tillsattes i infiltrationsbassäng. Nitrat kan vara användbart, men hänsyn måste tas till risken för nitratreduktion.

För att bredda studien gjordes jämförelser med tidigare utförda försök med jodid (KI) och litium (LiCl). Jodid är praktiskt att använda eftersom de naturliga koncentrationerna är låga och endast små mängder behöver tillsättas. Nackdelen är att jodid kan fastläggas vid låga pH-värden samt att det inte kan användas då dricksvattnet kloreras. För litium finns risk för fastläggning, det kan dock vara användbart på korta sträckor.

Sammantaget bedömdes klorid vara det mest användbara spårämnet. Nackdelen är att stora mängder måste hanteras. Detta kompenseras dock av den mycket enkla metodiken vid detekteringen.

Resultaten visar att spårämneshöjningar kan ge värdefull information vid vattenförsörjningsanläggningar med konstgjord grundvattenbildning beträffande hydraulisk kontakt mellan infiltrations- och uttagsplats, uppehållstid, strömningsmönster samt återvinning av infiltrerat vatten (uppehållstider mellan infiltrations- och uttagsplats i ett antal svenska anläggningar redovisas i kapitel 3, tabell 3.2).

Resultaten från spårämneshöjningarna kan bland annat ge underlag till förbättringar av vattentäkten, optimering av driften, avgränsning av skyddsområden samt beredskap för eventuella föroreningsincidenter.

Konstgjord grundvattenbildning - avskiljning av organiskt material i den omättade zonen.

Johanna Blomberg, redaktör.

VA-FORSK Rapport nr 1999-18.

Stockholm Vatten och Norrvatten bedrev under 1995-99 ett projekt avseende möjligheterna att i framtiden försörja Storstockholm med konstgjord grundvatten genom infiltration av Mälarvatten i grusåsarna på Ekerö och/eller Södertörn. Inledningsvis gjordes en utredning av möjligheterna till konstgjord grundvattenbildning samt en strategisk miljökonsekvensbeskrivning.

Se lästips kap 1

Den inledande utredningen rekommenderade att forskning skulle initieras för att skaffa bättre kunskaper om reningsprocesser och behandlingseffekter för att kunna optimera infiltrationsanläggningarna, vilket var nödvändigt eftersom mycket stora vattenmängder ($10 \text{ m}^3/\text{s}$) skulle hanteras i projektet. Resultatet av forskningen redovisas i VA-FORSK Rapport nr 1999-18.

Se lästips

Avskiljningen av organiskt material (mätt som TOC) och av mikroorganismer från vattnet i den omättade zonen studerades i tre delprojekt: (1) ett kolonnförsök där

Mälarvatten infiltrerades i sand insamlad från Uppsalaåsen; (2) undersökningar i en infiltrationsanläggning (Skytteholm) och (3) laboratorieexperiment där inverkan av vattentemperaturen, det lösta organiska materialets kvalitet och jordar med olika sorptionsegenskaper studerades.

Forskningen inleddes med kolonnförsök vid vattenverket i Norsborg för att studera fysikalisk-kemiska och mikrobiologiska processer vid omättade förhållanden under kontrollerade former, se omslagsbilden till detta kapitel som visar försöksarrangemanget (i bild Per-Olof Johansson, VBB VIAK).

Kolonnerna fylldes med sand från Uppsalaåsen på Ekerö, ett tilltänkt infiltrationsområde. Sanden var en normal långsamfiltersand med kornstorleken 0,1-4 mm. I en av kolonnerna lades ett lager finare filtersand (0,1-1,0 mm) ovanpå Löten-sanden. Ytbelastningen var i tre av kolonnerna 1 m/d, och i en av kolonnerna 2 m/d. Vattnets uppehållstid var <1 dygn (8-9 tim vid i ytbelastningen 1 m/d och 15-16 tim vid 2 m/d).

Under försökets första månader (juni-september 1997) byggdes en filterhud successivt upp på överytan i kolonnerna, se bild 7.5.

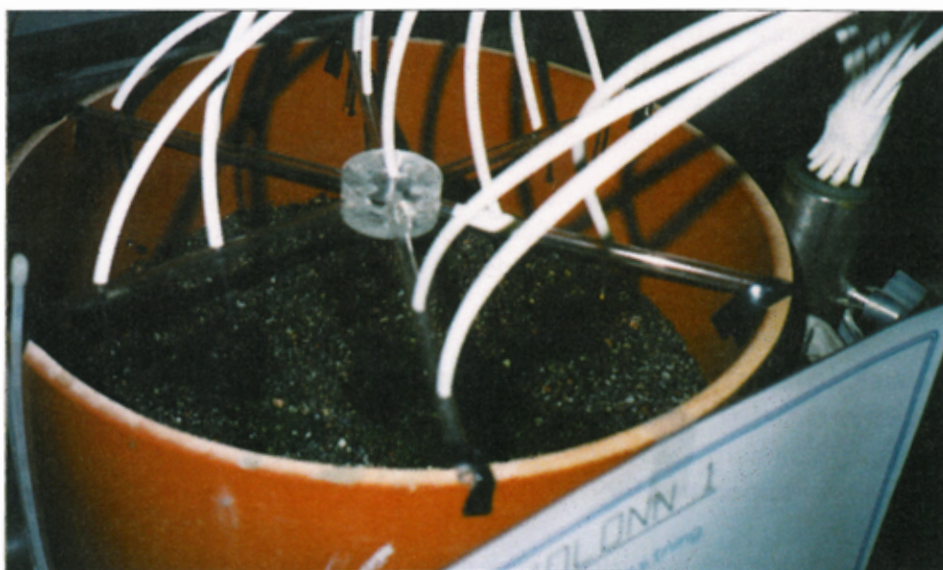


Foto: Göran Hansson

Bild 7.5 Försökskolonn vid Norsborgs vattenverk. En filterhud byggdes upp på filtrets överyta. Bilden togs efter ca 9 månader. Graderingen på filtersanden var i denna kolonn 0,1-4 mm och belastningen 1 m/d.

Den genomsnittliga TOC-koncentrationen i Mälarvattnet var 6,3 mg C/l. Kolonnförsöket visade att avskiljningen av TOC (3-25%) i den omättade zonen (4 m) var otillräcklig i förhållande till uppställda vattenkvalitetsmål. pH-värdet i in- och utgående vatten (i genomsnitt 7,6 respektive 7,8) var för högt för att en effektiv TOC-sorption på sandmaterialets ytor skulle kunna ske. TOC-avskiljningen ökade med ökande vattentemperatur och bestod huvudsakligen av en avskiljning av negativt laddade hydrofoba och hydrofila syror. Varken de undersökta faktorerna uppehållstid, kornstorlek och rensningsmetod, eller de tre tillkommande experimentella manipulationerna (tillförsel av näringssubstrat; tillförsel av rostjord med potentiellt hög sorptionskapacitet; sänkning av pH i det infiltrerade sjövattnet till ca 6), hade

någon nämnvärd inverkan på TOC-avskiljningen. Laboratorieexperiment visade att $\text{pH} < 5$ var nödvändigt för att uppnå en TOC-avskiljning på 25% som enbart skulle bero på kemiska sorptionsprocesser.

Bakterierna i Mälarvattnet kvarhölls effektivt av sandmaterialet. Spårämnesförsök visade att retentionen av virus inte var helt tillfredsställande, även om den ökade markant med minskande kornstorlek på sanden. Mikroorganismerna kunde effektivt minska mängden assimilerbart organiskt kol (AOC) i inkommande sjövattnet. Bakterierna som fanns på sandkornens ytor ökade sin nedbrytning av hydrofoba syror vid höga AOC-halter, vilket indikerade att AOC hade en co-metabolisk funktion och att de vattenlevande bakterierna möjligen föredrog de hydrofila syrorna.

Orsakerna till den generellt måttliga avskiljningen av organiskt material kunde inte med säkerhet fastställas. Fältförsök genomfördes därför vid infiltrationsanläggningen Skytteholm på Ekerö.

I Skytteholm erhöles en minskning av TOC med nära 25% i genom snitt, medan vid de lägsta temperaturerna var minskningen endast ca 10%. Den omrättade zonen var 11 m och uppehållstiden i den mättade zonen var ca 1,5 dygn. En fullskaleanläggning för Storstockholm med en kapacitet upp mot 10 m³/s kommer med nödvändighet att ha relativt korta uppehållstider. Resultaten från Skytteholm indikerar att TOC-avskiljningen i grundvattenzonen inte blir tillräcklig för att uppfylla kravet på en TOC-avskiljning som är åtminstone likvärdig med den som erhålles med dagens teknik.

Även vid dessa försök visade sig avskiljningen av organiskt material vara otillfredsställande.

En slutsats i rapporten är att det finns ett fortsatt behov av forskning för att bättre kunna förstå processerna vid avskiljning av organiskt material och patogena organismer vid konstgjord grundvattenbildning. Det är också angeläget att klarlägga om svenska infiltrationsanläggningar som uppvisar större skillnader mellan TOC-halten i infiltrerat och uttaget vatten jämfört med denna studie, också har en avsevärt bättre TOC-avskiljning eller om inblandning av naturligt bildat grundvatten är betydande. Vidare bör betydelsen av interaktionen mellan adsorption och mikrobiell nedbrytning studeras närmare. Alternativa filtermaterial med positiv nettoyt-laddning även vid höga pH-värden bör testas liksom inverkan på nedbrytningen av tillförsel av biologiskt lättillgängligt kol och mineralämnen. Uppgifter om genombrott av patogena mikroorganismer i anläggningar med konstgjord grundvattenbildning bör sammanställas och utvärderas. Fördjupade studier av risken för virusgenombrott är angelägna.

På grund av de negativa resultaten främst avseende avskiljningen av organiskt material, har Stockholm Vatten och Norrvatten beslutat att inte, i nuläget, satsa på konstgjord grundvattenbildning i fullskala, se artikel i VAV-Nytt 5/99 av Johanna Blomberg m fl (1999), "Stockholm satsar inte på konstgjord infiltration i fullskala".

Se lästips

Artificial Recharge of
Groundwater =
Konstgjord grundvatten-
bildning

Se artikel i VAV-Nytt
3/96

VA-FORSK-projektet "Infiltration - igensättning av marklager" och EU-projektet "Artificial Recharge of Groundwater".

KTH har medverkat i ett EU-finansierat forskningsprojekt om konstgjord grundvattenbildning som omfattat nio institutioner från sju länder som samordnats av Vattenkvalitetsinstitutet (VKI) i Danmark. Tre av institutionerna var danska, de övriga från Belgien, Finland, Holland, Spanien, Sverige och Tyskland.

KTH, avdelningen för mark- och vattenresurser, arbetade med de fyra förstnämnda av följande forskningsområden inom projektet:

- Redoxdynamik
- Igensättning och heterogenitet i akvifererna
- Organiska ämnen och biologisk nedbrytning
- Interaktion mellan vatten och geologiskt material
- Patogener

Arbetena med redoxdynamik avsåg nitratreduktion (denitrifikation) vid återinfiltration av grundvatten. I ett Tekn lic arbete av Johan Lindberg gjordes experiment dels i kolonner, dels vid ett mindre grundvattenverk i Halmstad (Dettan). Försöken gick ut på att utforma ett markfilter som med hjälp av en kolkälla (pappersmassa) och andra tillsatser (fosfor och kalk) erbjöd en lämplig miljö för att få igång mikrobiella denitrifikationsprocesser och därmed reducera nitrat-halterna i grundvattnet.

Studierna av igensättningar, nedbrytning av organiskt material samt interaktionen mellan infiltrationsvattnet och jordlagren påbörjades 1997 vid Hyndevadsverket i Eskilstuna. EU-projektet samordnades med ett VA-FORSK projektet "Infiltration - igensättningar av marklager".

Resultaten från Eskilstuna redovisas i EU-projektets slutrapport "Artificial Recharge of Groundwater" (Jos H. Peters et al, 1999, manuskript) enligt följande:

- Sektion 4.6 "Site description, Eskilstuna, Sweden", Cristina Frycklund, KTH.
- Sektion 5.3 "Colloids in infiltration water and their retention in filter sand", Cristina Frycklund, KTH.
- Sektion 5.5 "Clogging investigations at the surface of recharge site of Eskilstuna (Sweden), Gunnar Jacks, KTH.
- Sektion 6.10 "Organic material retention at the Eskilstuna field site", Gunnar Jacks, KTH.

Dessutom redovisas svenska erfarenheter från inblandning av kalksten i filterbäddar:

Se lästips

- Sektion 7.4. "Basin recharge 1: Limestone filters for alkalinity correction in Sweden", Cristina Frycklund och Gunnar Jacks, KTH.

Forskningen vid Hyndevadsverket utgjordes av kolonnförsök i vattenverket samt fältundersökningar i en infiltrationsbassäng och vidare längs vattnets flödesväg till uttagsbrunnarna.

Kolonnförsöken utfördes av Cristina Frycklund. Vid försöken som pågick 7-8 månader under 1997/98 studerades bl a avskiljningsprocesser för oorganiskt material (grumlighet) under såväl mättade som omättade förhållanden. Resultaten utvisade i slutet av försöksperioden en bättre avskiljning under omättade än under mättade förhållanden.

Syftet med fältundersökningarna var att studera avskiljningen av suspenderat och löst material (både oorganiskt och organiskt) i infiltrationsprocessens olika "behandlingssteg" (biozon, omättad zon och grundvattenzon) samt eventuella igensättningar i filterbäddar och jordlagren mellan infiltrationsplats och uttagsbrunnar.

Undertryckslysimetrar (markvattenspetsar) installerades i en infiltrationsbassäng för analys av vattnet i den omättade zonen, se bild 7.3. Provtagningspetsen bestod av en cylindrisk ihålig kropp av teflon och glas med pordiametern 1-5 μm . En slang var ansluten till spetsen och vattnet sögs upp med hjälp av en vacuum pump, se detalj bild 7.4. För analys av luften i markens porer installerades även ett antal marklufrör.



Foto: Göran Hanson

Bild 7.3. Installation av markvattenspetsar (undertryckslysimetrar) och marklufrör vid Hyndevadsverket, Eskilstuna. Genom analys av porvatten och markluft studerades avskiljningen av framför allt organiskt material samt järn och mangan vid vattnets perkolation genom filterbädden och underliggande naturliga jordlager. På bilden ses prof Gunnar Jacks, avd för mark- och vattenresurser, KTH.

Foto: Göran Hansson



Bild 7.4. Detalj av en markvattenspets under installation i en infiltrationsbassäng vid Hyndevadsverket, Eskilstuna. Spetsen som är gjord av teflon med en porstorlek av 1-5 μm .

Resultaten visade på en betydande avskiljning av organiskt material i filterbädden och den omättade zonen (ca 50%) och grundvattenzonen (ca 25%). Att avskiljning även sker i grundvattenzonen var ett viktigt resultat eftersom det ibland i debatten hävdats att väsentligen all avskiljning av organiskt material sker i filterbädden och den omättade zonen.

Det organiska materialets ursprung och art samt pH-värde är viktiga faktorer för avskiljningsresultatet. Generellt gynnas nedbrytning av ett material som består av växt- och djurplankton av ett högre pH-värde medan adsorption (t ex av humus) gynnas av ett lägre pH-värde. I Eskilstuna där vattnets pH-värde är ca 7 och materialet huvudsakligen utgörs av alger visade sig avskiljningen till ungefär lika delar ske genom adsorption och nedbrytning. Det kunde även konstateras att avskiljning av partikulärt material i filterhuden (biohuden) är en viktig avskiljningsmekanism. Totalt avskiljs således ca 75%, vilket kan jämföras med resultaten från Victor Jansas undersökningar på 1950-talet på samma plats, vilka uppvisade en reduktion av organiskt material (mätt som KMnO_4 -förbrukning) på totalt 45%.

Se tidigare avsnitt om äldre forsknings- och utvecklingsprojekt, försök vid Hyndevadsverket i Eskilstuna på 1950-talet.

En frågeställning var om lergrumligheten i Hyndevadsån gav upphov till igen-sättningar i bassängerna och jordlagren. För att klarlägga detta jämfördes den ler-mineralogiska sammansättningen i Hyndevadsåns vatten med analyser av fin-material från jordprover i filterbäddar och underliggande jordlager samt från under-sökningsborrningar mellan infiltrations- och uttagsplats. Avståndet mellan infiltra-tionsplatsen och uttagsbrunnarna är 600-800 m. På bild 7.5 visas uppgrävning av en filterbädd för att studera eventuella igen-sättningar.

Resultatet av undersökningen visade att finmaterialet i hög grad ansamlas i filterhuden. Inget tydde på att någon avsevärd del fortsatte nedåt i filterbädden, se artikeln "Inga igen-sättningar i Eskilstuna" i VAV-Nytt 8/99.

Se lästips



Foto: Göran Hanson

Bild 7.5. Uppgrävning av infiltrationsbassäng vid Hyndevad, Eskilstuna för att studera eventuella igensättningar i filterbädden. Överst t h ses prof Gunnar Jacks och Cristina Frycklund ta sandprover. Nederst t v studeras ett finsedimentkikt i filterbädden. Nederst t h visas en detalj av filterbädden i övergången mot underliggande naturliga jordlager. Inga igensättningar kunde konstateras i övergångszonen, se kap 3 avsnittet om igensättningar, praktiska erfarenheter.

Avhandlingar och examensarbeten

I detta avsnitt presenteras ett större forskningsarbete som utförts av Cristina Frycklund vid avdelningen för mark- och vattenresurser vid KTH. Det är en licentiatavhandling från 1993 med titeln "Den konstgjorda grundvattenbildningens kemi" och en doktorsavhandling från 1998 med titeln "Artificial recharge of groundwater for public water supply - Potential and limitations in Boreal conditions".

Se lästips

Se lästips

Dessutom presenteras två examensarbeten, ett av Lisa Gunnemyr vid Lunds Universitet om spårämnesförsök för bestämning av vattnets uppehållstid; och ett annat av Johan Hedström vid CTH om igensättningar. Ett antal andra forskningsarbeten presenteras eller refereras till i olika avsnitt av rapporten.

Se lästips

Se lästips

Den konstgjorda grundvattenbildningens kemi

Cristina Frycklund, 1993.

Licentiatavhandling vid avd för mark- och vattenresurser, KTH.

Avhandlingen består av en inledande del om den konstgjorda grundvattenbildningens kemi, en artikel om konstgjord infiltration vid Emmaboda vattenverk som publicerats i tidskriften Vatten nr 49 1993 samt "Artificial Groundwater Recharge - State of the Art" (VA-FORSK Rapport nr 1992-04).

Vid undersökningarna av infiltrationsanläggningen i Getasjökvärn, Emmaboda drogs följande slutsatser:

- **Biozon.** Infiltrationsvattnet genomgår störst förbättring i den övre delen av filtersanden. Genom val av lämplig kornstorleksfördelning på filtersanden, och genom att gynna tillväxt av filterhud, skulle uppehållstiden i biozonen kunna förlängas och därmed förbättra reningseffekten. Detta förfaringsätt skulle dock kräva lägre ytbelastningar och större bassängytor än idag.
- **Järn- och manganhalterna** minskade dramatiskt, i storleksordningen 90-95% i de översta 15 cm av filterbädden. Järnhalten var låg i det översta skiktet 0-8 cm som regelmässigt tvättas och hög strax därunder (8-28 cm) som utgörs av naturlig rostjord. Manganhalten var däremot hög i det översta skiktet och uppvisade förhöjda halter i hela profilen (ner till 140 cm djup). Vissa bakterier gynnade utfällningarna, *Gallionella* och *Siderocapsa* (järn) och *Metallogenium* (mangan).
- **Organiskt material.** DOC-halterna var låga och resultaten visade att halterna före respektive efter förbehandlingen (kemisk flockning/ sedimentering och tillsats av släckt kalk) inte skiljde sig nämnvärt. Det bevarade rostjordslagret som föreligger strax under det tunna lagret av filtersand borde vara gynnsamt för avskiljningen av organiskt material genom att järnhydroxiderna binder humus så länge adsorptionskapaciteten är omättad.
- **Koldioxid/ inblandning av kalksten.** Markluften i filtersanden innehöll 10 ggr mer koldioxid än atmosfärluft, vilket tyder på på mikrobiell aktivitet och nedbrytning av organiskt material. Den höga koldioxidhalten skulle kunna utnyttjas för att lösa upp kalksten som inblandas i filterbädden för att på så sätt eventuellt kunna slippa doseringen av släckt kalk innan infiltration. I Emmaboda har man följt förslaget och blandat in kalksten i flera infiltrationsbassänger.

Artificial recharge of groundwater for public water supply - Potential and limitations in Boreal conditions.

Cristina Frycklund, 1998.

Dissertation (doktorsavhandling).

Cristina Frycklunds forskning vid avd för mark- och vattenresurser vid KTH rörande konstgjord grundvattenbildning som presenteras i denna doktorsavhandling består av en sammanfattning samt fem artiklar/publikationer:

Se referat ovan

Se bild 3.23

- "Artificial Groundwater Recharge -State of the Art". VA-FORSK Rapport nr 1992-04.
- "Total organic carbon retention by filtersand in infiltration pond for artificial groundwater recharge". Aqua Fennica 25:5-14, 1995.
- "Iron and artificial recharge of groundwater". Frycklund och Jacks. Boreal Environment Research 2:171-181, 1997.
- "Limestone filters in artificial recharge of groundwater". Frycklund, Sundlöf och Jacks. Manuskript godkänt för publicering i tidskriften "Environmental Technology".
- "Colloids in infiltration water and their retention in filter sand". Manuskript.

Spårämnesförsök i konstgjort infiltrerat vatten - en geologisk och hydrogeologisk studie av Strömsholmsåsen.

Lisa Gunnemyr, 1997. Examensarbete vid Geologiska Institutionen, Lunds universitet.

Studien består av en beskrivning och kartering av Strömsholmsåsen vid Hallstahammar med hjälp av befintliga borrhdata, kompletterande geofysiska undersökningar (geoelektrik) samt medverkan i ett spårämnesförsök.

Vid spårämnesförsöket doserades koksalt i infiltrationsbassängerna vid Skantzen invid Strömsholms kanal (Kolbäcksån). Bild 7.2 visar försöksutrustningen.



Foto: Göran Hanson

Bild 7.2. Spårämnesförsök med klorid vid Skantzen, Hallstahammar för bestämning av vattnets uppehållstid mellan infiltrations- och uttagsplats (Karlsro). Saltet, 350 kg granulerat koksalt (NaCl), blandades med vatten i en container till en 10 %-ig saltlösning som därefter pumpades ut på bassängen.

För att kunna registrera en eventuell snabb passage av saltfronten utfördes kontinuerlig registrering av konduktiviteten (ett mått på vattnets totala saltinnehåll) i uttagsbrunnen vid Karlsro ca 800 m söder om infiltrationsplatsen. Responstiden tills dess saltet kunde konstateras i uttagsbrunnen visade sig uppgå till 55 dagar.

Orsaker till igensättningar i infiltrationsbassänger vid konstgjord infiltration av ytvatten - med exempel från Falkenbergs kommun.

Jonas Hedström, 1997. Examensarbete, Institutionen för Geovetenskap, Göteborgs Universitet.

Infiltrationsanläggningarna Kärreberg och Jonstorp i Falkenberg valdes ut för fältundersökningar. Vid Kärreberg har man tidigare haft problem med igensättningar i filterbäddarna som resulterat i djupgrävning och utbyte av hela filterbädden.

I undersökningen studerades variationerna i järn- och manganhalter, organiskt material, finmaterial och hydraulisk konduktivitet i profiler i filterbädden och underliggande naturligt åsmaterial.

Resultaten visade bl a att huvuddelen av järn- och manganutfällningarna skedde i de översta decimetrarna av filtersanden (biozonen). Något samband mellan hydraulisk konduktivitet i filterbäddarna och järn- och manganhalterna kunde inte påvisas (för låga halter). Ackumulatation av organiskt material kunde däremot konstateras i övergången mellan filterbädd och den naturliga avlagringen.

Pågående forskning och utveckling

Filter av järnoxidtäckt olivinsand för avskiljning av naturligt organiskt material vid dricksvattenrening.

Sveriges Lantbruksuniversitet, KTH, VBB VIAK och Stockholm Vatten.

I svenska vattenreningsverk uppgår avskiljningen av naturligt organiskt material (NOM) vid långsamfiltrering vanligen till ca 20%, med en avskiljning på mindre än 10% vid låga temperaturer. Senare tids forskning visar att detta i flera fall även gäller för den omättade zonen vid konstgjord grundvattenbildning. En ny typ av filtermaterial - järnoxidtäckt olivinsand - har i amerikanska studier visat sig ge 4-6 ggr högre avskiljningsgrad än konventionell filtersand, med den största effektivitetsskillnaden vid låga vattentemperaturer. Målsättningen med detta projekt är att undersöka detta materials förmåga att avskilja NOM från några svenska vatten. Speciellt studeras inverkan av kontaktid och temperatur på fastläggning och nedbrytning av NOM, samt möjligheten att öka avskiljningen genom förozonering.

Se tabell 3.2

Den långsiktiga uthålligheten hos filtermaterialet bedöms med avseende på avskiljningsgrad och igensättning, samt möjligheter för regenerering. Filtermaterialet testas i skak- och kolonnförsök. Kolonnförsöken genomförs under såväl omättade som mättade förhållanden för att efterlikna förhållandena vid bassänginfiltration respektive långsamfiltrering.

Forsknings- och utvecklingsbehov

Trots att tekniken ”konstgjord grundvattenbildning” praktiserats i mer än hundra år föreligger ändå ett betydande forsknings- och utvecklingsbehov. Nedan beskrivs några identifierade områden där ny eller fortsatt FoU är angeläget.

Bassänginfiltration

Det mesta forskningsarbetet inom konstgjord grundvattenbildning har rört vattenkvalitet, processer och behandlingsresultat vid bassänginfiltration.

Avskiljning av organiskt material

Avskiljning av organiskt material hör till det allra viktigaste processerna vid konstgjord grundvattenbildning.

Typ av organiskt material

Det finns resultat som tyder på stor skillnad i nedbrytningsförmåga för vatten som domineras av algmaterial jämfört med humusrikt vatten. Det finns även indikationer på att halten organiskt material ökat med tiden i anläggningar med humusrikt vatten. I Eskilstuna (Hyndevad) där alger dominerar det organiska materialet är däremot avskiljningen av organiskt material bättre idag än den var på 1950-talet (Victor Jansas undersökningar). Är detta ett tecken på olikheter i långtidseffekterna mellan algdominerade och humusrika vatten, eller är det andra faktorer som orsakat de olika långtidseffekterna?

Resultaten från Skytteholm (VA-FORSK Rapport nr 1999-18) visar på ett behov att studera avskiljning av organiskt material vid anläggningar med hög TOC-minskning mellan infiltration och uttaget grundvatten. Beror den goda avskiljningen på avskiljningsmekanismerna eller inblanding av naturligt grundvatten?

Förslag till FoU-verksamhet

- Jämförelse mellan olika metoder för karaktärisering av organiskt material.
- Studie av avskiljningen av organiskt material för humusrika och algdominerade vatten, både som kolonn- och fältförsök, inklusive spårämnesförsök.
- Studie av avskiljning av organiskt material vid anläggningar med god avskiljning av organiskt material.

Avskiljningsmekanismer

Två processer påverkar avskiljningen av organiskt material nämligen adsorption och mikrobiell nedbrytning.

Förslag till FoU-verksamhet

- Studier som syftar till att klarlägga den relativa betydelsen av adsorption och nedbrytning för optimering av avskiljning av organiskt material, samt hur de samverkar.

Avskiljning vintertid

De mikrobiella nedbrytningsprocesserna är starkt temperaturberoende. Flera undersökningar (bl a kolonnförsöken i Norsborg samt fältförsöken vid Skytteholm) har påvisat dålig avskiljning av organiskt material vintertid. Kan vattenberedningen vintertid ske på annat sätt än sommartid för att förbättra avskiljningen?

Förslag till FoU-verksamhet

- Försök under vinterförhållanden med olika metoder, t ex tillsatser av näringsämnen och lättillgängligt kol, reaktiva filter, olika typer av långsamfiltersand, förbehandling genom ozonering m m (liknande försök bör även göras under andra säsonger).

Reaktiva filter

Forskning och försöksverksamhet pågår med att utveckla filter som på ett bättre sätt än normal filtersand avskiljer organiskt material och även andra ämnen, t ex metaller. Naturlig rostjord har provats i kolonner i Katrineholm (Kerstinboda) och Oskarshamn (Fredriksbergs vattenverk) för att avskilja organiskt material. Rostjord har för övrigt även använts för att avskilja metaller (arsenik och cyanid) i förorenade områden med god effekt.

Järnoxidtäckt sand och masugnsslagg har testats i laboratorieskala för metallavskiljning med goda resultat.

Ett VA-FORSK projekt pågår avseende avskiljning av organiskt material med järnoxidtäckt olivin som ett samarbete mellan SLU, KTH, VBB VIAK och Stockholm Vatten.

Inblandning av kalksten i filterbäddar är en annan typ av reaktivt filter. Sistnämnda metod har lämnat det inledande forskningsstadiet. Mycket intressanta resultat med bestående långtidseffekter har erhållits i Södertälje. Ronnebys fullskalesatsning är också väl värd att noggrannt följas upp.

Förslag till FoU-verksamhet

- Fortsatt FoU inom ämnesområdet reaktiva filter med såväl naturliga som framställda filtermaterial.
- Fortsatt FoU för optimering av kalkstensinblandning i filterbäddar, t ex genom uppföljning av vattenkvalitetsdata från Södertälje (Djupdal) samt i Ronneby vid infiltrationsanläggningarna i Leråkra och Djurtorp.

Mikrobiell nedbrytning

Hur påverkas nedbrytningshastigheten av tillgången på lättillgängligt kol, näringsämnen och viktiga spårämnen? Skulle en tillsats av mer lättillgängligt kol innebära att även mer svårnedbrytbart organiskt material skulle kunna brytas ner mikrobiellt? Detta är några tankegångar som förts fram inom projektet "Storstockholms framtida vattenförsörjning".

Förslag till FoU-verksamhet

- Praktiskt inriktad FoU beträffande betingelser för mikrobiell nedbrytning som en viktig process i avskiljningen av organiskt material (även adsorptionens roll bör studeras).

Filtersand (gradering, krossmaterial)

Forskning med långsamfilter vid Hågeberg, Jönköping har påvisat en något bättre reningsverkan med finare gradering av filtersanden. Detta är ett eftersatt forskningsområde. I Sverige används en grövre långsamfiltersand än vad som är normalt utomlands.

Förslag till FoU-verksamhet

- Långsamfiltersand. Behandlingseffekter vid olika kornstorlek, mineralsammansättning, specifik yta etc.
- Krossmaterial som alternativ till natursand som filtermaterial. Hydrauliska egenskaper, behandlingseffekter, igensättningar etc.

Förbehandling

Försök med ozonering har gjorts vid vattenverket i Kerstinboda, Katrineholm (bild 5.15) som efterbehandling för avskiljning av organiskt material. Resultatet var emellertid inte tillfredsställande varför nya försök planeras där ozoneringen ska ske som förbehandling.

Förslag till FoU-verksamhet

- FoU med ozon som förbehandling före infiltration. Försöken föreslås vid Kerstinboda och eventuellt andra infiltrationsanläggningar som har problem med höga halter organiskt material.

Igensättningar

Några vanliga frågeställningar i samband med konstgjord grundvattenbildning är: Hur länge kan jordlagren fungera som "reningsanläggning"? Kommer jordlagren sätta igen genom utfällningar? I så fall – hur lång tid tar det?

Igensättningar i filterbäddar och underliggande naturliga jordlager förekommer vid bassänginfiltration. FoU-verksamheten har dock varit begränsad till ett fåtal anläggningar, bl a Kärreberg (Falkenberg) och Hyndevadsverket (Eskilstuna). En tidigare forskningsansökan till VA-FORSK omfattade även Örebro, Västerås och Uppsala.

Förslag till FoU-verksamhet

- FoU angående igensättningar avseende processer och praktiska motåtgärder, förslagsvis ett brett program som omfattar ett flertal kommunala anläggningar (t ex Örebro, Västerås och Uppsala).

Buffringsförmåga/hårdhetsbildning

Vid långvarig infiltration finns risk att buffringsförmågan i den omättade och mättade zonen inte längre förmår neutralisera infiltrationsvattnet. Buffringen sker genom jonbytesprocesser där de sura vätejonerna byter plats med katjoner som löses ut ur lättvittrade markmineral, bl a hårdhetsbildarna kalcium och magnesium. I Eskilstuna där infiltration skett sedan början på 1950-talet är infiltrationsvattnet och uttaget grundvatten idag praktiskt taget identiska avseende bl a pH och hårdhet. Ett forskningsprojekt vid KTH har planerats för att följa upp historiska vattenkvalitetsdata i Eskilstuna, men ännu ej genomförts. Uppföljning behövs dessutom från ytterligare infiltrationsanläggningar med långa vattenkvalitetsserier.

Förslag till FoU-verksamhet

- FoU angående långtidseffekter av infiltrationen på den omättade och mättade zonens förmåga att ombilda ytvatten till grundvatten (buffringsförmåga, hårdgörning etc) genom studier av långa serier med vattenkvalitetsdata.

Sandtvätt

Sandtvätt blir allt vanligare för återanvändning av filtersand. Kunskaperna om effekten av sandtvätt är dock dåligt undersökt och dokumenterad. Jämförande undersökningar med vanligt förekommande tvättutrustning vore av intresse. Stationära sandtvättar förekommer bland annat vid Hyndevadsverket (Eskilstuna) och Vombverket (bild 3.39). Exempel på mobila sandtvättar visas på bild 3.40 och 3.41.

I Örebro finns en lång serie av data från mobil sandtvätt.

Förslag till FoU-verksamhet

- Jämförande undersökningar av sandtvätt vid stationära och mobila anläggningar avseende effekterna på bl a färg och grumlighet.
- Utvärdering av sandtvättsdata från Örebro.

Rensningsutrustning

Det sker för närvarande olika utvecklingsarbeten beträffande maskiner för rensning (s k skumning) av infiltrationsbassänger (bild 3.42 visar en prototyp). En tanke är att ”skumning” ska kunna ske utan avställning av infiltrationsbassängerna.

Förslag till FoU-verksamhet

- Jämförande undersökningar med olika typer av rensningsutrustning.
- Utveckling av ny rensningsutrustning på kommersiell basis.

Inducerad infiltration

Kunskaperna om processerna vid inducerad infiltration är begränsade genom att endast ett fåtal FoU-projekt genomförts. Ett intressant objekt är en planerad reservvattentäkt för Mariestad vid Stallbrorgrund där grundvatten ska pumpas från en sand- och grusformation under Vänern (bild 4.3). Förundersökningarna har antytt intressanta kemiska processer, bl a kvävereaktioner. En uppföljning av eventuellt framtida driftdata skulle vara intressant för studier av processer och behandlingsresultat vid inducerad infiltration.

Livsmedelsverket har påbörjat en studie om eventuell förekomst av algtoxiner vid inducerad infiltration.

Förslag till FoU-verksamhet

- Processkemiska studier vid inducerad infiltration.
- Studie av processer vid inducerad infiltration från driftdata vid en eventuellt framtida anläggning under Vänern.
- Studie av ev förekomst av algtoxiner i anläggningar med inducerad infiltration.

Djupinfiltration

Forskning och utveckling kring djupinfiltration för vattenförsörjningsändamål har hittills varit begränsad. Inom byggnadsgeologin däremot har det förekommit en FoU-verksamhet avseende infiltration som skydd mot grundvattensänkning/sättningsskador. Djupinfiltrationsanläggningen vid Lilla Holje i Olofström som beskrivs i kapitel 4 är intressant ur flera aspekter, bl a utformningen med ett långsamfilter som har inblandad kalksten i filterbädden samt goda uppföljningsmöjligheter.

Se bild 4.9

Förslag till FoU-verksamhet

Tänkbar FoU vid Lille Holje i Olofström och Sandköping i Kristinehamn.

- Uppföljning av driftdata vid djupinfiltration avseende behandlingseffekter längs hela processkedjan: ytvatten - långsamfilter - infiltrationsbrunnar - uttagsbrunnar.
- Studier av eventuella igensättningar i infiltrationsbrunnar.

Sprinklerinfiltration

De finska FoU-verksamheten i Tavastehus har skett vid en sprinkleranläggning med en exceptionellt hög belastning, ca 10 m/d. Det skulle vara av intresse att studera processer och behandlingseffekter även vid normalbelastningen för bassänginfiltration (1-3 m/d) samt även vid lägre belastning (0,1-1,0 m/d).

Förslag till FoU-verksamhet

- Ett pilotprojekt i Sverige avseende processer och behandlingsresultat vid sprinklerinfiltration med förslag till utformning av anläggningar, förutsatt att metoden visar sig vara av intresse.

Övriga användningsområden

Se bild 1.9

Vid Brygga på Ekerö har infiltration av sommarvarmt ytvatten infiltrerats för uttag av grundvattenvärme vintertid med värmepump. Detta användningsområde för infiltration bedöms som intressant och borde prövas på andra platser.

Förslag till FoU-verksamhet

- Teoretiska beräkningar och praktiska försök med infiltration sommartid för uttag av grundvattenvärme vintertid.
- Infiltration för kylvattenändamål.

Lästips

Blomberg, Johanna (redaktör) 1999. Konstgjord grundvattenbildning - avskiljning av organiskt material i den omättade zonen.

VA-FORSK Rapport nr 1999-18.

Frycklund, Cristina, 1992. Artificial Groundwater Recharge - State of the Art. VA-FORSK Rapport nr 1992-04.

Frycklund, Cristina, 1993. Den konstgjorda grundvattenbildningens kemi. Tekn licentiatavhandling vid avd för mark- och vattenresurser, KTH.

Frycklund, Cristina, 1994. Artificial recharge of groundwater for public water supply - Potential and limitations in boreal conditions. Doktorsavhandling vid avd för mark- och vattenresurser, KTH.

Frycklund, Cristina, 1999. Långt ifrån färdigforskat om konstgjort grundvatten. Artikel i VAV-Nytt 5/99.

Frycklund, Cristina; Jacks, Gunnar; Johansson, Per-Olof och Lekander, Kerstin, 1994. Konstgjord grundvattenbildning - Processtudier vid inducerad infiltration och bassänginfiltration. VA-FORSK Rapport nr 1994-08.

Gunnemyr, Lisa, 1997. Spårämnesförsök i konstgjort infiltrerat vatten - en geologisk och hydrogeologisk studie av Strömsholmsåsen, examensarbete, Geologiska Institutionen, Lunds Universitet.

Hedström, Jonas, 1997. Orsaken till igensättningar i infiltrationsbassänger vid konstgjord infiltration av ytvatten med exempel från Falkenbergs kommun.

Jacks, Gunnar, 1999. Clogging investigations at the surface recharge site of Eskilstuna (Sweden). In Artificial Recharge of Groundwater (draft version), submitted to EU-commission in April 1999, Chapter 5.5.

Jacks, Gunnar, 1999. Organic material retention at the Eskilstuna field site. In Artificial Recharge of Ground water (draft version), submitted to EU- commission in April 1999, Chapter 6.10.

Jacks, Gunnar, 1999. Inga igensättningsproblem i Eskilstuna. Artikel i VAV-Nytt 5/99.

Jansa, Victor, 1952. Genomgång av tretton svenska anläggningar. Presentation vid ett symposium i Paris.

Jansa, Victor, 1978. Rapport angående undersökningar av grundvattenbildning genom konstgjord infiltration. VBB.

Lindberg, Johan, 1999. Ecological Engineering for Treatment of Contaminated Groundwater - Two Examples. Dissertation (Licentiatavhandling). Avd för mark- och vattenresurser, KTH.

Peters, Jos. P. m fl, 1999. Artificial Recharge of Groundwater (manuskript).

Sundlöf, Bertil och Kronqvist, Lars, 1992. Konstgjord grundvattenbildning-
nulägesbeskrivning av tjugo svenska anläggningar.
VA-FORSK Rapport nr 1992-13.

Tilly, Lena; Maxe, Lena och Johansson, Per-Olof, 1999. Spårämnesförsök
som undersökningsmetodik vid konstgjord grundvattenbildning.
VA-FORSK Rapport nr 1999-14.

VAV AB, 1999. VA-FORSK-rapporter, 1992-1998. VA-FORSK Rapport nr
1999-0.