



Det här verket har digitaliserats vid Göteborgs universitetsbibliotek och är fritt att använda. Alla tryckta texter är OCR-tolkade till maskinläsbar text. Det betyder att du kan söka och kopiera texten från dokumentet. Vissa äldre dokument med dåligt tryck kan vara svåra att OCR-tolka korrekt vilket medför att den OCR-tolkade texten kan innehålla fel och därför bör man visuellt jämföra med verkets bilder för att avgöra vad som är riktigt.

This work has been digitized at Gothenburg University Library and is free to use. All printed texts have been OCR-processed and converted to machine readable text. This means that you can search and copy text from the document. Some early printed books are hard to OCR-process correctly and the text may contain errors, so one should always visually compare it with the images to determine what is correct.



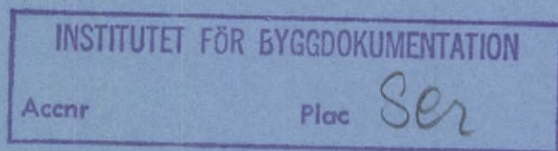
Rapport

R130:1983

Igensättning vid värmeuttag ur grundvatten

Kartläggning och litteraturstudie

Annika Lindblad



Byggforskningsrådet

R130:1983

IGENSÄTTNING VID VÄRMEUTTAG UR GRUNDVATTEN
Kartläggning och litteraturstudie

Annika Lindblad

Denna rapport hänför sig till forskningsanslag
811835-1 från Statens råd för byggnadsforskning
till geologiska institutionen, CTH, Göteborg.

I Byggforskningsrådets rapportserie redovisar forskaren sitt anslagsprojekt. Publiceringen innebär inte att rådet tagit ställning till åsikter, slutsatser och resultat.

R130:1983

ISBN 91-540-4038-8

Statens råd för byggnadsforskning, Stockholm

LiberTryck Stockholm 1983

INNEHÅLL		SID
INLEDNING		
SAMMANFATTNING		
		1
1	Grundvattenvärme	3
1.1	Värmepumpen	3
1.2	Systembeskrivning	4
2	Probleminventering	7
2.1	Sammanställning av kontakter och intervjuer	7
2.2	"Studiebesök"	9
3	Litteraturstudier	13
3.1	Grundvatten	13
3.2	Brunnar	20
3.3	Värmepumpsystem	25
3.4	Övrigt	28
4	Slutsatser	31
5	Litteratur	33

Inledning

Utvecklingen på marknaden för grundvattenvärmepumpar har under de senaste åren varit mycket snabb. Denna förstudie har utförts för att försöka klarlägga dels vilka risker som finns för igensättning av systemen, dels om några speciella igensättningsproblem redan har visat sig.

Arbetet har utförts genom rundfrågning hos värmepumpstillverkare, brunnsborrhare och konsulter samt genom studiebesök vid en del anläggningar. Parallellt med detta har en litteraturstudie genomförts. I rapporten redovisas resultat från "intervjuerna" och korta referat av relevanta artiklar.

Sammanfattning

Inom ramen för förstudien har en rundfrågning utförts, för att om möjligt klarlägga förekomst av igensättningsproblem i system, i vilka grundvatten används som värmekälla för värmepumpar.

Ett tjugotal värmepumpsfirmor, brunnborrare och konsulter har tillfrågats om sina driftserfarenheter från grundvattenvärmepumpssystem. Resultatet av rundfrågningen visade att flera olika problem förekommer eller förekom vid introduktionen av systemen för några år sedan. Vanligast är korrosion av förångaren på grund av aggressivt vatten, järn- och manganutfällningar i brunnar och pumpar samt svårigheter med temperatur och vattentillgång. Inget av dessa problem ansågs dock av tillverkarna som allmänt förekommande.

Det var svårt att erhålla uppgifter om driftsproblem eftersom de flesta anläggningar varit i drift en relativt kort tid. Uppföljning har ännu inte påbörjats av speciellt många tillverkare. En mer omfattande undersökning hos brukare och återförsäljare ger kanske mer relevanta uppgifter.

Några anläggningar med järnutfällningar i pumpar, ledningar och brunnar har undersökts närmare. Vattenprover har tagits och utfällningarna analyserats.

En litteraturstudie har genomförts parallellt med det övriga arbetet. Det har visat sig att det finns mycket litet skrivet om driftserfarenheter från värmepumpssystem i vilka grundvatten utnyttjas som värmekälla. I de enskilda artiklar som funnits diskuteras problem som kan uppstå eller har uppstått i systemen. Vanligast är kalk-, järn- och manganutfällningar samt korrosion. I litteratur som behandlar grundvattenkemi, brunnsteknik och liknande konstateras att vanligen sker utfällningar av något slag om grundvattnets tryck, hastighet eller syrenehåll

förändras. Speciellt om vattnet återinfiltreras till marken är igensättning vanligt förekommande.

En slutsats av arbetet är att ännu så länge är kunskapen hos tillverkare och återförsäljare dålig om driftsproblem i grundvattenvärmepumpssystem. Goda belägg finns dock i litteraturen att igensättning av olika typer kan förväntas eftersom det är vanligt i liknande system.

1 Grundvattenvärme

1.1 Värmepumpen

Med hjälp av en värmepump kan värme upptas vid en låg temperatur och avges vid en högre. För att detta skall kunna ske måste en viss mängd högvärdig energi tillföras. Det är den tillförda drivenergin tillsammans med det lågvärda värmets som avges vid den höga temperaturen.

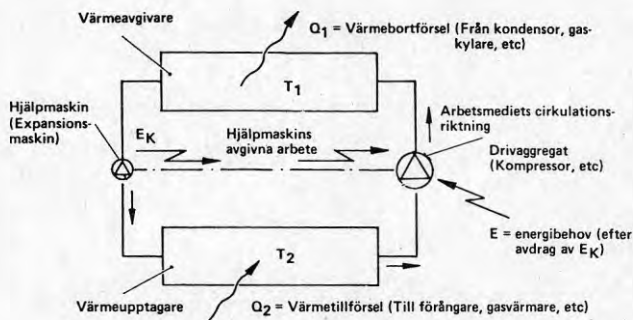
Värmepumpen fungerar effektivare ju närmare den högre och den lägre temperaturen ligger varandra.

Värmeffektorn för en värmepump skrives

$$\phi = \frac{Q_1}{E}$$

där Q_1 är avgiven värme och E är tillförd drivenergi. Värmeffektorn uttrycker alltså förhållandet mellan avgiven värmemängd och drivenergibehov.

Ett exempel på en typ av värmepump är förångningsvärmepumpen, vars princip ses i figur 1.



Figur 1. Kyl-värmepumpsprocessen (Glas 1978).

Vatten är lämpligt att använda i värmepumpar därför att dess värmeinnehåll och värmeledningsförmåga per volymenhet är mycket hög jämfört med t ex luft. Det innebär att värmeväxlare som utnyttjar vattenvärme kan göras relativt små. Nackdelar med att använda vatten är

att det kan vara svårtillgängligt och kräva dyrbara distributionsanläggningar. Ytvatten har den nackdelen att det har ojämn temperatur och blir för kallt vintertid. Grundvatten är ett bättre alternativ genom att det har en jämn temperatur året om.

Den vattenvolym som behövs kan beräknas enligt följande

$$Q_2 = Q_1 - E = m \cdot c \cdot (t - 2)$$

Q_1 = värmebehovet

E = drivaggregatets energibehov

m = vattenmängd

c = vattnets värmekapacitet, 4,2 kWs/kg °C

t = vattnet ingående temperatur

2 = kylning 2°C

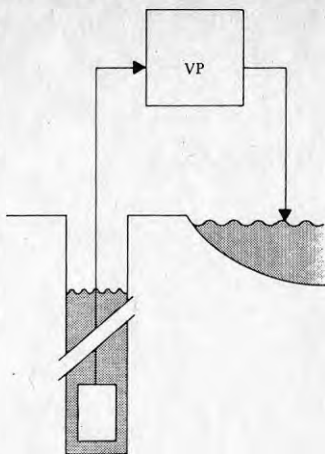
$$m = \frac{Q_1 - E}{c(t - 2)}$$

Ex. En villa behöver ca 25 000 kWh under värmesäsongen som är 5000 h. Grundvattnets temperatur antages vara 6°C. E sätts till 0,3 Q_1 . Vattenmängden blir då 3 750 m³.

1.2 Systembeskrivning

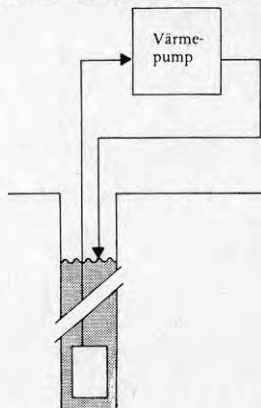
Vid utnyttjande av grundvatten som värmekälla vid värmeproduktion med hjälp av värmepump används för närvarande flera olika system. De fyra vanligaste kan beskrivas enligt följande (AhlSELL, 1982)

1) Förbrukningsbrunnar där vattnet uppfordras ur en brunn, går genom värmepumpen och därefter återförs till marken i en brunn, stenkista eller dike, eller släpps i ett vattendrag. Detta system kräver stora vattenuttag. För en enfamiljvilla behövs 1200-2000 l/h. Figur 2.



Figur 2, Förbrukningsbrunn (Ahlzell 1982).

2) Recirkulationsbrunnar där vattnet återförs, efter passage genom värmepump, till samma brunn som det pumpats upp ur. Avgörande för systemets funktion är bergets temperatur och värmeledningstal, brunnens djup, jordlagerföljder, grundvattenomsättning m m. En fördel med recirkulationsbrunnar är att relativt lite vatten försvinner från brunnen. Figur 3.

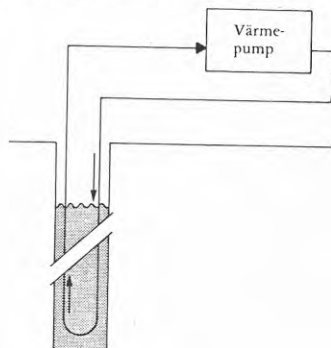


Figur 3 Recirkulationsbrunn (Ahlzell 1982)

3) Kylslangbrunnar är bergborrade brunnar i vilka en slang eller rörslinga innehållande kylvätska är nedlagd. Med ett sådant system kan värme uttagas ur berget även om temperaturen är lägre än 0°C .

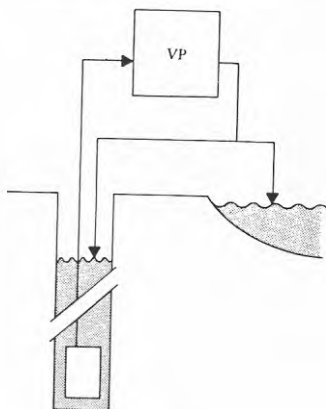
Bestämmande för möjligt energiuttag är bergmassans temperatur och värmeledningstal samt brunnens djup.

En fördel med kylslangbrunnen är att temperaturen kan sänkas till fryspunkten men risk finns för att slangar och borrhållsvägg kan frysa sönder och därmed risk för förorening av grundvattnet. Figur 4.



Figur 4. Kylslangbrunn (Ahlseil 1982).

4) Kombinationsbrunnar fungerar vanligen som en recirkulationsbrunn förutom att en viss mängd vatten släpps ut för att varmare vatten skall strömma till brunnen. Temperaturen hos det inströmmade brunnsvattnet avgör hur mycket av flödet som kan recirkuleras, ju högre temperatur desto större flöde. Figur 5.



Figur 5. Kombinationsbrunn (Ahlseil 1982).

2 Probleminventering

Under projektarbetet har kontakt tagits med ett tjugotal värmepumpstillverkare, fyra stora brunnsborrarfirmor samt ett par konsultfirmor.

Inledningsvis skickades ett frågeformulär till värmepumpsfabrikanterna och efter påstötningar per telefon erhöles svar från tretton firmor. De utskickade frågorna var följande:

- o Hur många grundvattenvärmepumpar av Ert fabrikat är installerade i Sverige?
- o Var i Sverige finns anläggningarna? (Svara så preciserat som möjligt.)
- o Hur länge har anläggningarna varit i drift?
- o I vilken typ av system används Era pumpar? (uppföring ur bergborrad brunn - värmepump - återinfiltration eller dyl ...).
- o Har några problem uppstått? Beskriv i så fall problemen, hur länge anläggningen varit i drift, var i Sverige den finns + andra relevanta uppgifter.
- o Vilka typer av vattenprover tas innan Era värmepumpar installeras?
- o Tillämpas några gränsvärden, och i så fall vilka, för vatten där värmepumpar installeras?
- o Lämna gärna alla synpunkter Ni har på problem kring grundvattenvärmeutvinning.

2.1 Sammanställning av kontakter och intervjuer

De firmor som svarat har uppgivit att de sammanlagt, våren 1982, har drygt 2000 anläggningar som utnyttjar grundvattenvärme, i drift i Sverige. De flesta anlägg-

ningarna har installerats under de två senaste åren. Några enstaka grundvattenvärmepumpar har använts i sex år.

Värmepumpanläggningarna är spridda över i stort sett hela Sverige, utom i nordligaste norrland. Merparten finns dock i syd- och mellansverige där Skåne har överlägset flest anläggningar.

De system som används redovisas i kapitel 1.2.

På frågan om problem uppstått i anläggningarna erhöles följande svar

- o inga problem
- o vet ej, anläggningarna har varit i drift så kort tid
- o problem med korrosion av förångarna om vattnet är aggressivt
- o manganavlagringar i ventiler (åtgärdat)
- o järnutfällningar i pumpar och brunnar
- o sjunkande temperatur i grävda brunnar
- o problem med kompressorer
- o för mycket Cl^- i vattnet på västkusten
- o svårt att klara pumpeffekten till stora anläggningar till vilka mycket stora vattenmängder krävs
- o svårt att få tillräckligt med vatten

Inte någon av värmepumpstillverkarna ansåg att problemen var speciellt allvarliga eller allmänna. Brunnsborrharna ansåg järnproblemet vara allvarligast. Speciellt kan det vara problem att återinfiltrera järnrikt vatten. En brunnsborrhare menade att samtliga anläggningar som byggdes för något år sedan hade problem av något slag, men att många av dessa nu kan undvikas.

Vissa av värmepumpstillverkarna kräver att vattenprover skall tas innan en anläggning byggs. Vissa firmor överlåter detta åt brunnsborrharna medan andra överhuvudtaget inte bryr sig om vattenkvalitetsfrågor.

De analyser som utförs varierar alltifrån analys av järnhalt till fullständig kemisk fysikalisk vattenanalys.

Några värmepumpstillverkare tillämpar gränsvärden för vattnet vad gäller pH, järn, kolsyra, klorid, nitrat, sulfat, sulfid och ammonium.

I sista frågan fick de tillfrågade dryfta övriga synpunkter på grundvattenvärmepumpar. Följande synpunkter framkom:

- o Grundvattenvärme är utmärkt. En investering i en värmepump för grundvatten är en god satsning
- o Stora system kan bli problematiska; allt för mycket vatten krävs
- o Vatten från värmepumpar borde få släppas på de kommunala dagvattensystemen. Detta skulle ge en jämnare belastning eftersom mest vatten släpps från grundvattenvärmepumpar vintertid
- o Valet av förångarmaterial är väsentligt. Viktigt att inte kopparförångare används i korrosiva vatten. Några firmor har kemikalier för att rensa igensatta förångare.

Det är svårt att bedöma hur relevanta svaren är eftersom inte de som äger värmepumpsanläggningarna tillfrågats. För att få en riktig uppfattning om omfattningen av olika problem borde återförsäljare och brukare kontaktas. Utrymme för sådana omfattande utredningar fanns inte inom denna förstudie.

Brunnsarkivet på Sveriges geologiska undersökning har nu börjat samla in data om energibrunnar. Detta register bör vara lämpligt att använda om en grundligare undersökning skall genomföras.

2.2 "Studiebesök"

Inom projektets ram har ett antal besök vid olika anläggningar med grundvattenvärmepumpar genomförts. Flera av

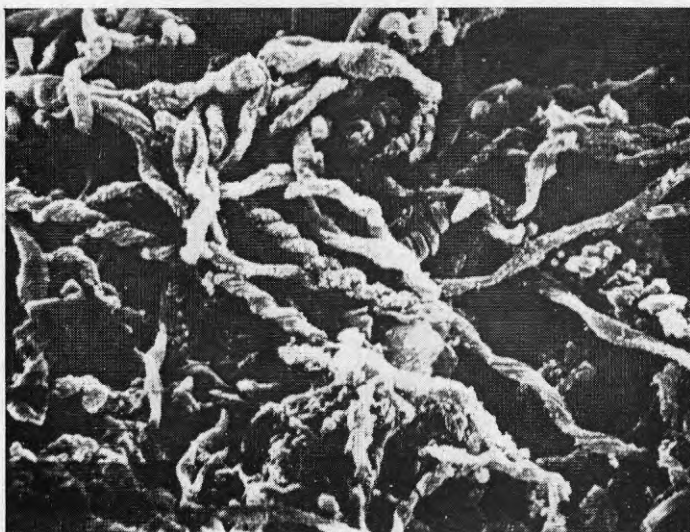
de platser som har besökts har anläggningar där problem kan befaras p g a vattenkvaliteten eller där problem redan har uppstått.

I Falkenberg finns två anläggningar med risk för problem p g a järnrikt vatten. Den ena värmepumpen finns i en villa där vattnet pumpas upp och återinfiltreras i brunnar på tomten. Under ett års tid har värmepumpen provkörts och under den tiden har uppfordringspumpen behövt rensas från järnutfällningar flera gånger. Vattenanalyser från brunnarna finns redovisade i tabell 1. I flockar från infiltrationsbrunnen fanns rikligt med järnbakterier, figur 6.

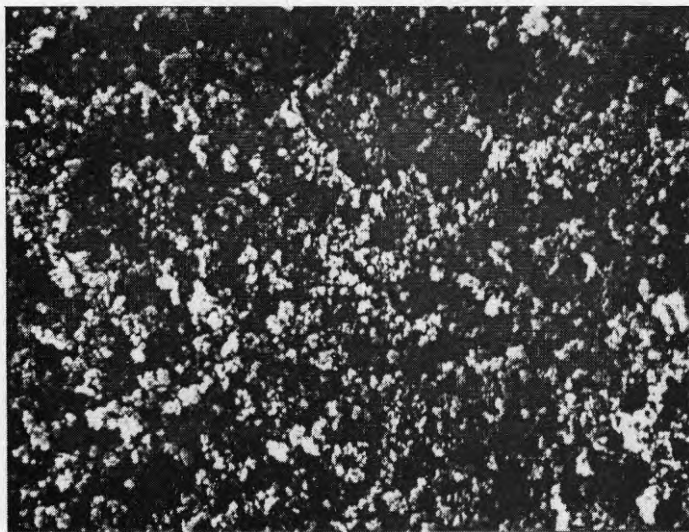
Den andra anläggningen i Falkenberg är större och förser en industrilokal med värme. Vattnet till värmepumpen tas upp med hjälp av well-point spetsar. Efter att ha passerat värmepumpen släpps vattnet ut i Ätran. Vissa driftsproblem dels med spetsarna och dels med värmepumpen har uppstått. Vattnet har mycket höga järnhalter och luktar starkt av svavelväte. Figur 7 visar järnutfällningar från den utgående ledningen. Denna anläggningen är mycket intressant att följa upp på grund av kvaliteten på det vatten som används i den.

I Skåne och Halland är det vanligt att lantbrukare installerar värmepumpar. Tillgången på vatten är god så de flesta försöker inte återföra vattnet till marken utan släpper det i dike. Risken för problem blir då mindre, även om vattnet är järnrikt.

Vid ett besök i Yngsjö studerades en infiltrationsbrunn som var helt igensatt av järn efter en kort tids drift. Vattnet innehöll ca 3 mg järn per liter.



Figur 6. Järnbakterier från infiltrationsbrunn i Falkenberg. (Förstoring 3000x)



Figur 7. Järnutfällning från utloppsledning från en värmepump i Falkenberg. (Förstoring 3000x)

PROTOKOLL

ÖVER FYSIKALISK-KEMISK OCH BAKTERIOLOGISK VATTENUNDERSÖKNING

Uppdragsgivare

Provs art Grundvatten

Provtagningsplats

Provet märkt

Provet taget den 1980-10-13 kl. 1300 av

Provet inkom den 1980-10-13 kl. 1615

FYSIKALISK-KEMISK UNDERSÖKNING	RESULTAT	UTLÅTANDE OCH BEDÖMNING
Temperatur vid provtagning (enl. uppg.).	9,0	Efter bedömning enligt gällande råd och anvisningar har vattnet vid detta undersökningstillfälle i fysikalisk-kemiskt avseende befunnits vara <input type="checkbox"/> tjänligt <input type="checkbox"/> med tvekan tjänligt <input type="checkbox"/> otjänligt såsom
Temperatur vid upppackningen	15	
Färgvärde	4,4	Järn- och manganhalter kan förorsaka igensättning av ledningar. Vattnet har ledningsangripande egenskaper på ett lågt pH och hög halvtäml. hög även innehålla sulfider som kan ha korroderande verkan.
Grumlighet	ingen	
Lukt (styrka, art)	ingen	
Smak (styrka, art)	ingen	
Bottensats	liten	
Permanganatförbrukning	9	
Gödningensrest (beräkn.)	162	
Specifik ledningsförmåga 25°C	25,5	
pH, pot.	5,7	
Ammonium,	0,6	
Totalhårdhet	19	
Totalhårdhet	2,7	
Järn,	1,0	hög
Mangan,	0,36	täml. hög
Aluminium, Al,	—	
Bikarbonat, HCO ₃ ,	18	
Klorid, Cl,	50	
Fluorid, F,	—	
Sulfat, SO ₄ ,	37	
Nitrat, NO ₃ ,	< 2	
Nitrit, NO ₂ ,	< 0,01	
Fosfat, PO ₄ ,	< 0,1	
Aggressiv kolsyra, CO ₂ ,	40	
BAKTERIOLOGISK UNDERSÖKNING		
Totala antalet bakterier (22°C)	per ml	Efter bedömning enligt gällande råd och anvisningar har vattnet vid detta undersökningstillfälle i bakteriologiskt avseende befunnits vara <input type="checkbox"/> tjänligt <input type="checkbox"/> med tvekan tjänligt <input type="checkbox"/> otjänligt såsom
Totala antalet bakterier (35°C)	per ml	
Totala antalet coliforma bakterier (35°C)	per 100 ml	
Antalet termostabila coliforma bakterier (44°C)	per 100 ml	
Anmärkningar:		

Tabell 1. Analysresultat från vattenprov taget ur en infiltrationsbrunn i Falkenberg.

3 Litteraturstudier

Det finns inte mycket skrivet om grundvattenvärmepumpar och nästan inget alls om driftserfarenheter från sådana system. Däremot finns mycket om brunnar och problem med att upprätthålla kapaciteten i dessa. Från litteraturstudien redovisas här artiklar som behandlar grundvattenkemi, brunnar, infiltrationsbrunnar, grundvattenvärmepumpar, karbonatutfällningar och brunnsbakterier.

Som en kort summering av litteraturstudien kan sägas att det finns vissa problem som är vanligen förekommande när grundvatten uppfordras eller när vatten skall infiltreras. De vanligaste är:

- o inkrustation, dvs mineralutfällningar som vanligen består av järn- och manganföreningar
- o kalkutfällningar
- o korrosion
- o bakterieslam
- o igensättning på grund av suspenderat material

3.1 Grundvatten

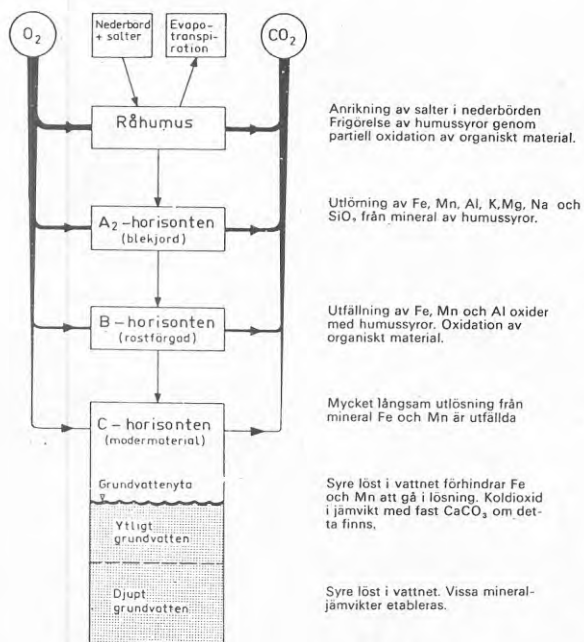
Grundvatten definieras som det vatten som helt fyller hålrum i jord och berg och vars hydrostatiska tryck är större än eller lika med atmosfärstrycket (Ejdelling, 1980).

Eriksson, E, et al. (1970): Grundvatten. Kort sammanfattning av kapitlet "Grundvattnets kemi".

De salter som finns i nederbörden anrikas i grundvattnet tack vare avdunstningen. Sammansättningen hos nybildat grundvatten beror därför till stor del på nederbördens innehåll och avdunstningens storlek.

I jordmänen pågår biologiska och kemiska processer som medför vittring av mineralkorn. När grundvattnet passerar denna aktiva zon i marken påverkas vattnets sammansättning, men förhållandevis lite jämfört med vad nederbör-

dens innehåll betyder för sammansättningen. Orsaken till att de översta marklagren har liten betydelse för grundvattnets kemi är antagligen att skiktet har blivit urlakat genom årtusenden. I figur 8 visas hur fysikaliska och kemiska processer påverkar grundvattnets sammansättning vid passage genom en podsolprofil.



Figur 8. Schematisk bild över de fysikaliska och kemiska processer som påverkar grundvattnets sammansättning vid passagen genom en podsolprofil till en grundvattensyta som ligger nedanför anrikningshorisonten B i profilen (Eriksson et al 1970).

Den biologiska aktiviteten i marken förbrukar syre och avger koldioxid. I vattenomättad jord diffunderar syre ner i porerna och koldioxid avges till atmosfären vilket medför att syre finns i en mängd som motsvarar lösligheten i vatten och CO₂-halten är obetydligt högre än den i atmosfären. Syre finns i grundvattnet om det inte passerat lager med organiskt material som förbrukar det. CO₂-överskottet minskar med djupet speciellt om kalkhaltiga mineral förekommer som då bildar bikarbonat med CO₂.

Järn i marken kan ofta vara av speciellt intresse att studera.

Det löses ut ur den s k A_2 -horisonten och fälls åter ut i B-horisonten som är rostfärgad, se figur 8. Om grundvattennivån av någon anledning stiger upp i B-horisonten går järn och mangan i lösning och höga ferro-järnkonzentrationser uppstår i vattnet. Orsaken till detta är att grundvattnet har låg syrehalt som inte räcker för den organiska omsättningen och därmed uppstår reducerande förhållanden som medför utlösning av mineral.

För övrigt redovisar och diskuterar författarna stabilitetsdiagram för järn- och manganföreningar, ex figur 9 och figur 10.

Hem, J.O., Cropper (1959): Survey of ferrous-ferric chemical equilibria and redox potentials.

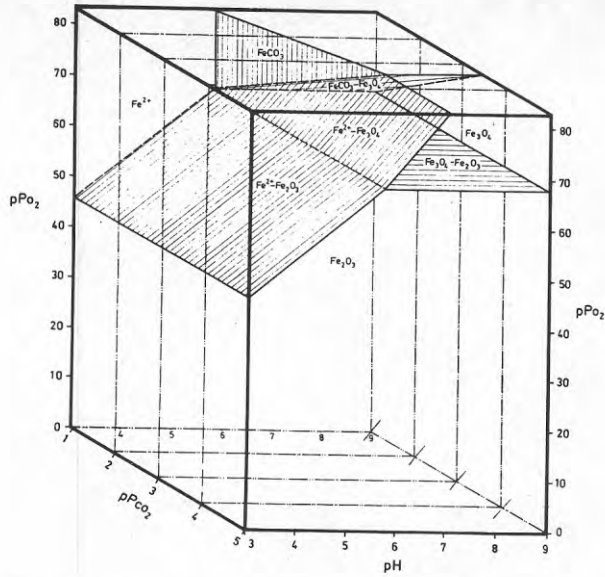
Järn är en vanlig beståndsdel i jordskorpan, speciellt i magmatiska bergarter innehållande silikatmineral, pyroxen eller amfibol.

Järn förekommer i två oxidationsstadier dels tvåvärt ferrojärn, Fe^{2+} och dels trevärt ferrijärn, Fe^{3+} .

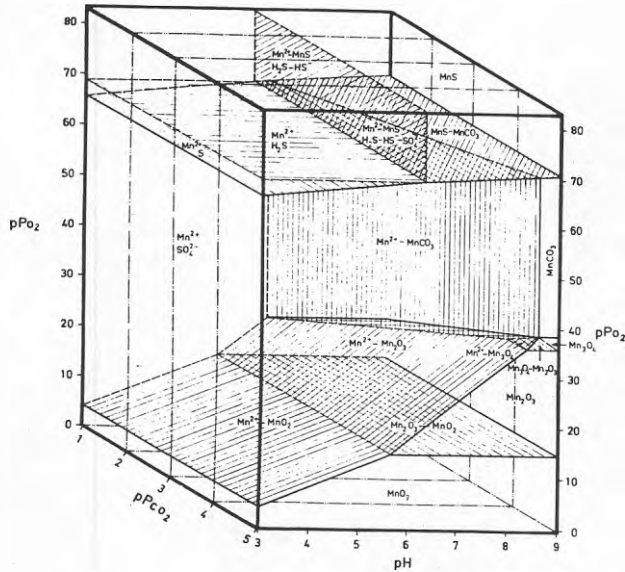
Hydroxider av järn har låg löslighet. Hydroxidbildningen beror av pH och i de flesta naturliga vatten är pH så högt att hydroxider bildas och faller ut. Järn har även tendens att bilda komplex med både oorganiska och organiska ämnen. Komplexen är stabila och ofta lösliga. Ferrijärn bildar starka komplex med fluorid, fosfat, sulfat, karbonat och många organiska ämnen. Ferrojärn bildar svagare komplex än ferrijärn.

Vanligast i naturliga vatten är järn i form av ferrihydroxid $Fe(OH)_3$ men många andra föreningstyper kan uppträda.

Oxidationsbetingelserna i en lösning definieras vanligen av redoxpotentialen, Eh, som uttrycks i volt relaterat till normalväteelektroden. I en lösning som befinner sig i ett jämviktstillstånd är redoxpotentialen en funktion av den re-



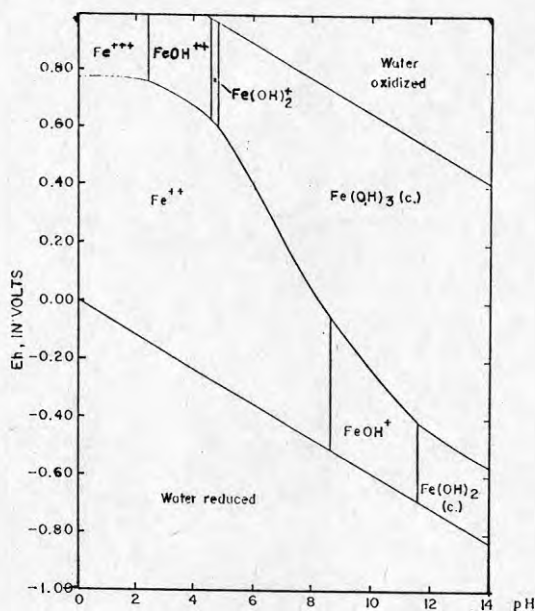
Figur 9. Stabilitetsdiagram i tre dimensioner för några järnföreningar vid växande pH, syrgas- och koldioxidtryck. Totala trycket i systemet är 1 atm. och den totala järnkonzentrationen 1 mM/l (56 mg/l). Streckade ytor utgör fasgränser, dvs gränser mellan olika mineralfaser eller mellan mineral och lösning. pP_{O_2} är negativa logaritmen för syrgastrycket uttryckt i atmosfärer, pP_{CO_2} för koldioxid (Eriksson et al, 1970)



Figur 10. Stabilitetsdiagram för manganföreningar av liknande typ som det i figur 9 (Eriksson et al 1970)

lativa aktiviteten av de oxiderade och reducerade former av järn som finns. De flesta redoxreaktionerna av betydelse i järnsystemet är starkt pH-beroende.

I ett stabilitetsdiagram redovisas de olika järnspecierna vid olika pH och Eh, figur 11.



Figur 11. Stabilitetsdiagram för ferri - ferrosystem (Hem, Cropper 1959)

Linjen som delar diagrammet i en reducerad och en oxiderad del kan räknas fram med Nernst ekvation

$$E_h = E^{\circ} + \frac{R \cdot T}{n \cdot F} \ln \frac{A_{\text{Ox}}}{A_{\text{red}}}$$

E_h = redox potential

E° = standard oxidations potentialen (för $\text{Fe}^{2+} \rightarrow \text{Fe}^{3+} + e = + 0,771\text{v}$)

R = universiella gaskonstanten

T = temperatur i grader Kelvin

n = antal elektroner inblandade i kemiska reaktionen

F = Faradays konstant

A_{Ox} = aktiviteten för den oxiderade specien

A_{red} = aktiviteten för den reducerade specien

För ferro - ferrisystemet vid 25°C blir ekvationen

$$Eh = 0,771 + 0,0592 \log \frac{[Fe^{3+}]}{[Fe^{2+}]}$$

De övriga linjerna i diagrammet räknas fram bl a med hjälp av dissociationskonstanter och jämviktsekvationer. Ingående redogörelser för detta finns i artikeln.

Vatten under markytan vilket inte har kontakt med luften kan ha Eh-värde mindre än 0,20 volt och har relativt lågt pH(<6) om tillräckligt med CO₂ finns. Under dessa förhållanden är ferrojärn stabilt upp till koncentrationer på 50 ppm. Om det reducerade vattnet blandas med syre bryts jämviktstillståndet och järnhydroxid faller ut. Detta kan jämföras med tillståndet i en källa eller brunn med järnutfällningar.

Matthess, G. (1982): The properties of groundwater.

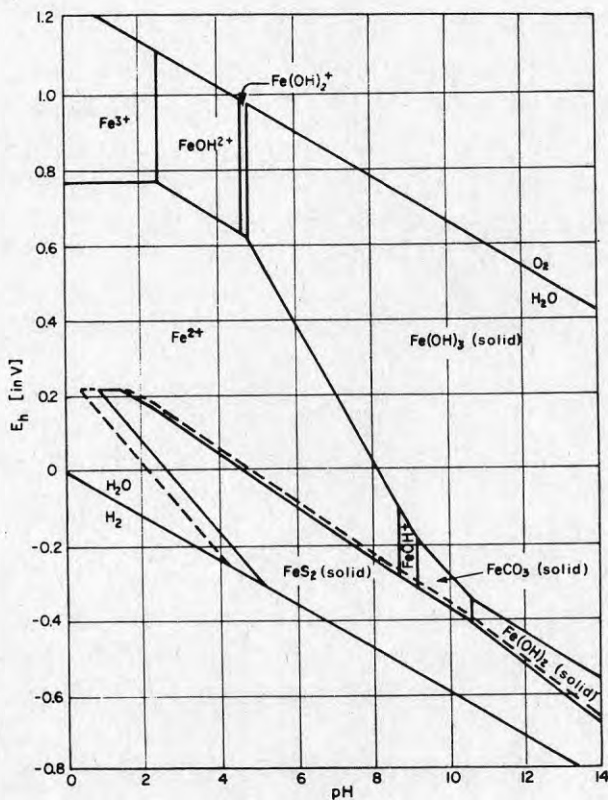
Utdrag ur Kap 3.2. Grundvattnets egenskaper och beståndsdelar.

Järn är en av de viktigaste beståndsdelarna i magmatiskt berg speciellt i mörka mineral. Genom vittring frigörs järnet och omvandlas till stabil trevärd järnoxid. I havsvatten är järnhalten låg vilket visar järnets låga mobilitet. I sediment förekommer järn som pyrit, FeS₂, och siderit, FeCO₃, blandat med magnetit och glaukonit.

Järn är biokemiskt viktigt för växter och djur. Förekomst av järn i grundvatten påverkas av mikroorganismer som katalyserar oxidation till ferrijärn under aeroba förhållanden och reduktion till ferrojärn under anaeroba förhållanden.

Förekomst av järnspecier i olika miljöer redovisas av Matthess. Sålunda förekommer t ex FeSO₄ i grundvatten med SO₄²⁻-halt på flera hundra mg/l.

Utlösning av järn genom vittring och järnhalten i naturliga vatten är resultat av kemiska processer i vilka innefattas oxidation/reduktion, utlösning, utfällning av hydroxider, karbonater och sulfider, bildning av organiska komplex samt biologiska metabola processer. Den sammanlagda effekten av pH Eh, CO_2 och svavelföreningar redovisas b.st med stabilitetsdiagram, figur 12.



Figur 12. Stabilitetsområden för ferro- och ferrispecier vid en totalkoncentration av 0,01 mg/kg järn och 100 mg/kg vätekarbonat. Systemet innehåller sulfat motsvarande 10 mg/kg (heldragen gränslinje) eller 100 mg/kg (streckad gränslinje) (efter Hem 1961).

Små förändringar av pH eller Eh kan drastiskt förändra lösligheten. Vid de pH som är normala för grundvatten, 5-9, är relativt stora mängder Fe^{2+} lösliga vid relativt låga Eh-värden, 0,10 - 0,20 mV. Totala lösligheten påverkas även av utfällning av karbonater. Om syre kommer till ökar Eh och järnet oxiderar och faller ut som järnhydroxid.

Höga järnhalter i grundvattnet kan ofta kopplas till oxidation av reducerade järnmineral som t ex järnsulfid. I anaerob miljö kan organiskt material medföra reducerande förhållanden och därmed reduceras järn så att grundvattnet blir rikt på Fe^{2+} .

3.2 Brunnar

"Ground water and wells" (1975).

Sammandrag av kapitel 16.

Det finns ingen enkel metod att upprätthålla funktionen i brunnar. Förutsättningarna för varje brunn måste studeras för att problem skall kunna lösas.

En brunns kapacitet kan minska bl a på grund av

- o pumphaveri
- o sänkning av grundvattenytan
- o påverkan från andra brunnar
- o långtidspåverkan
- o igensättning av formationen nära brunnen
- o igensättning av brunnsfiltret

Igensättning orsakas av främmande material som samlas på och i filter och hålrum.

Korrosion är påverkan på metaller som kan öka igensättningen genom att metalljoner frigörs.

Orsaken till igensättning och korrosion är grundvattnets innehåll av mineraler och gaser. Vanligen är jämviktsförhållandena i grundvatten så känsliga att små förändringar kan medföra utfällningar. Avsättning av ytterst små fraktioner av mineraler kan orsaka allvarliga igensättningar.

För att kontrollera om igensättning pågår i en brunn krävs uppföljning av funktionen genom att kontrollera avsänkning, vattenkvalitet, pumptider mm. Med hjälp av vattenanalyser

kan risken för avsättning av olika ämnen bedömmas.

De vanligaste utfällningarna i brunnar är

- o kalcium- och magnesiumkarbonater eller sulfater
- o järn- och manganhydroxider eller oxider
- o slam orsakat av järnbakterier eller andra slambildande organismer
- o silt eller lera i suspension

Utfällningarna har olika utseende beroende på förhållandena. Dels kan de vara hårda, sköra, cementliknande och dels kan de vara mjuka, gjyttjelika eller geleaktiga.

Kalcium m fl karbonater kan cementera ihop sandkornen i brunnsfiltret. Detta kan orsakas av att kalciumkarbonat fälls ut när CO_2 -halten i vattnet sjunker pga att det hydrostatiska trycket kring brunnen sjunker vid pumpning.

Normalt rör sig grundvattnet mycket långsamt i marken och befinner sig i jämvikt med omgivningen. Varje förändring kan orsaka utfällning av ämnen.

Trycksänkningar medför t ex att CaCO_3 fälls ut. Hastighetsförändringar kan medföra utfällning av geleliknande järn- och manganhydroxider.

För att hindra igensättning av brunnsfilter bör dessas öppningsarea ha maximal yta så att flödehastigheten genom slitarna minimeras. Filterröret måste ha lagom avpassad längd och det omgivande grusfiltret utformas på rätt sätt.

Rensning bör utföras var 8:e till 12:e månad. De utfällningar som förekommer bör analyseras så att lämplig kemisk behandling kan utföras.

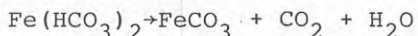
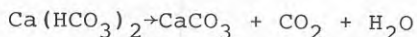
Det är viktigt att ingripa med behandling i god tid annars försvåras rensningsarbetet avsevärt.

FAO (1981): Encrustation of wells.

Inkrustation definieras som en avsättning av oorganiskt eller organiskt material i grusfilter, på brunnsrörets yta eller i pump- och uppfodringsanordningarna. Två olika orsaker till igensättning nämns i FAO:s sammanställning

- 1) Sand och silt som sätter igen slitsarna. Orsaken är för dåligt filter och för fint material närmast brunnen.

- 2) Karbonatutfällningar av två typer dels från kalciumbikarbonat $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$ som är vanligt i grundvatten och dels från järnbikarbonat som också är relativt vanligt. Dessa ämnen faller ut då CO_2 -halten minskar i vattnet



I rapporten diskuteras om tryckfall över filterslitsarna kan initiera utfällningen. Det råder delade meningar om detta men utfällningen förekommer dock av denna eller någon annan anledning både i grusfiltret och på metallytor i brunnen.

Även pga elektrokemisk korrosion kan calcium- och järnkarbonater fällas ut. Detta kan förhindras genom användande av plaströr.

I syrefritt grundvatten finns ofta organiska eller oorganiska järnföreningar. Om syre kommer in i brunnen oxideras Fe^{2+} till Fe^{3+} som faller ut som järnhydroxid. Utfällningarna kan bli rikliga och förutom att de påverkar brunnens kapacitet kan de även medföra ökad korrosion genom att elektrolitiska anoder bildas under avsättningarna.

Vissa mikroorganismer orsakar utfällning av trevärt järn antingen genom utvinnande av oxidationsenergin eller genom att de lever på organiskt material som innehåller järn vilket fälls ut. Mikroorganismerna producerar rödbrun järnhydroxid som ibland täcker svarta avlagringar av järnoxider och geleliknande filmer av levande organismer. Vanliga ar-

ter i brunnar är Siderocapsa, Gallionella, Clonothrix, Leptothrix och Crenothrix. Vissa av organismerna kan leva i vatten med järnhalter på 0,02 mg/l men ett mer realistiskt tröskelvärde är 1 mg/l. Syrebehovet varierar men ofta klarar de sig med mycket lite syre. En del arter utnyttjar sulfat- och nitratjoner som syrekälla. Övriga gynnsamma miljöbetingelser är pH-värde mellan 5,4 och 7,2, temperatur mindre än 24°C och halten suspenderat material i vattnet mindre än 1000 mg/l.

McDonald, R.B. (1976): Encrustation.

I artikeln redovisas orsaker och åtgärder mot inkrustation.

Orsaker till inkrustation i brunnar är följande

- 1) Mineralutfällningar sker på grund av sänkt tryck i brunnen vilket i sin tur orsakas av pumpningen. En trycksänkning under normala, statistiska förhållanden stör löslighetsjämvikterna i grundvattnet så att mineraler vilka normalt finns i lösning i form av salter fälls ut som olösliga material. Kalk som fälls ut från kalciumkarbonat, liksom mangan från manganklorid är exempel på detta. Kännedom om de lokala förhållandena upplyser om riskerna.
- 2) Järnbakterier orsakar igensättning på grund av att de bildar trådigt slam som innehåller utfällt järn och mangan. Porerna i sand och grus runt en brunn kan snabbt sätta igen av slammet. Järnbakterier påträffas ofta i grunda brunnar där det finns en viss tillgång till syre. Idealtemperatur för bakterierna är ungefär 20°C och järnhalten i vattnet bör vara 1 mg/l eller mer.

För att förhindra igensättning pga inkrustation bör följande åtgärder vidtagas

- o maximal öppen area i brunnsfiltret så att vattenhastigheten blir så låg som möjligt

- o minsta möjliga avsänkning runt brunnen
- o regelbunden kemisk behandling
- o absolut syrefritt i brunnen

Andersson, A. (1979): Djupinfiltration.

Ur rapporten sammanfattas i korta drag kapitlet "Igensättning av infiltrationsbrunnar".

Med igensättning menas minskning av genomströmningsarean i och omkring ett brunnsfilter, vilket medför att permeabiliteten sjunker och därmed brunns kapacitet vid konstant tryck över brunnen.

Avgörande faktorer för igensättning av en djupinfiltrationsbrunn är

- 1) Suspenderat material i infiltrationsvattnet. En filterkaka kan bildas av partiklar i vattnet. Den blir tätare ju mindre partiklarna är. Denna typ av igensättning kan undvikas genom filtrering.
- 2) Luft och andra gaser. Gas kan tillföras infiltrationsvattnet före eller vid infiltrationen. Även mikrobiell växt i brunnen kan medföra gasbildning. När en vätska övermättad med gas strömmar genom ett poröst medium avsätts bubblor i mediets porer vilket medför sänkt permeabilitet. Åtgärder mot gas i vattnet är luftningsventiler, vacuumpump, sänkt infiltrationsrör eller helt vattenfyllt system.
- 3) Kemiska reaktioner mellan grundvattnet och infiltrationsvattnet med voluminösa utfällningar som slutprodukt. Normalt finns alltid lösta salter i grundvatten. De har lösts ur jord- och bergmaterial eller funnits i nederbörden. Om nytt vatten tillförs kan de jämvikter som är etablerade störas och nya jämvikter uppstå. I Sverige har grundvattnet normalt höga halter av järn, mangan, vätekarbonat och ibland

kalcium. De ändrade jämviktsförhållande medför inkrustation vilket är utfällning av olika ämnen runt kornen i formationen. Detta medför mindre porutrymme och därmed sämre permeabilitet. I vissa vatten lever järnbakterier som omvandlar tvåvärt järn till trevärt. Kemisk utfällning av järn beror på redoxpotential och pH. Järn som är bundet i komplex faller inte ut även om syre finns i vattnet.

I grundvatten finns CO_2 som transporterats dit med sjunkvatten. När grundvattnet kommer i kontakt med atmosfären avges CO_2 och då fälls CaCO_3 ut, eftersom CO_2 styr dess jämvikt. Detta problem är störst i uttagsbrunnar. Med hjälp av en kemisk-fysikalisk vattenanalys kan vattnets aggressivitet och benägenhet till kalkutfällningar bedömas.

4) Dispergering av lera. Normalt bildar lerpartiklar starkt sammanbunda aggregat. Om dessa slås sönder kan lerpartiklar transporteras med vatten och fastna i trånga passager och orsaka igensättningar. Risken för att leraggregat skall slås sönder är störst i salt vatten.

5) Mikrobiell aktivitet. Mikroorganismers aktivitet på den nivå där djupinfiltration sker är låg pga låg temperatur och litet antal organismer. Problem kan dock uppstå om mikroorganismer och näringsämnen tillförs med infiltrationsvattnet. Bakterier kan då börja växa och bilda trådformiga, voluminösa och slemmiga avsättningar. Vanligast i ledningsnät är de s k järn-manganbakterierna som oxiderar löst järn och mangan till olösliga hydroxider. Olika arter av bakterier trivs i olika vatten. Genom att undersöka driftsproblem vid vattenverk och på ledningsnät kan problemets omfattning uppskattas. Om infiltrationsvattnen kloreras bör risken för bakterieigensättning vara liten.

3.3 Värmepumpsystem

Person, J.; Hart, D. (1980): What experience teaches us about scaling incrustation and corrosion.

Författarna beskriver scaling (pannsten), inkrustation och korrosion samt diskuterar riskerna för detta i grundvattenvärmepumpsystem.

Kalciumkarbonat CaCO_3 , är ansvarig för huvuddelen av alla kalkutfällningar. Den mängd CaCO_3 som kan hållas i lösning i vatten beror av mängden CO_2 i lösning. I genomsnitt innehåller grundvatten 50 ppm totalkarbonat men kommer vattnet från områden rika på organiskt material kan halten stiga till 300 ppm totalkarbonat. Lösligheten för CO_2 minskas om trycket sänks eller temperaturen höjs. Kalkutfällningar förekommer vanligen vid höga temperaturer men även då känsliga jämvikter störs. I en anläggning i Florida medförde ett par graders temperaturförändring mellan brunn och vattenledning, kalkutfällningar i vattenledningen, ventiler och värmeväxlare. Vanligast är problemet i luftkonditioneringsystem där vattnet upptar värme. Tecken på kalkutfällningar är:

- o sjunkande kapacitet i systemet
- o ökat tryck i kompressorn
- o ökat vattenflöde för att kompensera förhöjt vattentryck
- o reduktion av kondensorvattnets utgående temperatur

Åtgärder mot kalkutfällningar kan vara att köra systemet med omvänd flödesriktning, eller om möjligt sänka kylningstemperaturen till frysning så att iskristaller bryter loss avlagringarna, eller rensa med kemiska eller mekaniska metoder.

Tryckinducerade kalkutfällningar är ganska vanligt i brunnar och pumpsystem. Detta orsakas av stora avsänkningar eller att vattnet sätts under negativt tryck så att CO_2 släpps ut.

Inkrustation innebär beläggningar som orsakas av mineralutfällningar. Dessa uppkommer ofta på grund av järn-svavelbakterier som finns i brunnar och vattenledningssystem. Genom chockklorering följt av rensning och syrabehandling kan inkrustationen avlägsnas. Genom vattenanalyser och studier av befintliga anläggningar kan riskerna bedömmas på förhand.

Olika typer av korrosion kan förekomma i värmepumpsystem. Anledningen därtill är ofta dåligt materialval, löst syre eller svavelväte i vattnet, höga halter av suspenderat material, koldioxid eller kloridjoner. Med hjälp av Ryznar stability index kan risken för korrosion bedömmas.

En företeelse som på engelska kallas fauling och som innebär en tunn hinna av järnoxid på rörinsidan förekommer nästan alltid på värmeväxlare. Inverkan av den kan minskas genom att överdimensionera anläggningen något.

Heiss, H.W. (1977): Research foundation utilizes ground-water heat pumps.

Ett forskningsinstitut i Ohio har i nästan 20 år använt grundvattenvärmepumpar för att värma och kyla fyra byggnader med en sammanlagd yta av 30 000 m². Tekniken var ny när värmepumparna installerades så mycket av arbetet var experimentellt. Fem grunda och en djup brunn försörjer systemet med vatten. Under den tid som systemet använts har endast tre allvarliga problem uppstått.

- 1) Problem med järnbakterier uppstod tidigt i systemet. Små rör blev igentäppta av bakterieutfällningar. Genom att installera en klordoseringsapparat som höll klorhalten i vattnet på 0,35 ppm försvann bakterierna.
- 2) Korrosion i förångarna avhjälpes till stor del med magnesiumanoder. Inkrustation pga kalkutfällningar förhindrades genom tillsats av polyfosfat.
- 3) Ett tredje problem var vibrationer som uppstod vid låg last på systemet. Detta avhjälpes genom att helt stänga värmepumpen vid låg last. Sammanfattningsvis menar de ansvariga för systemet att de problem som varit, vida har uppvägts av nyttan med anläggningen.

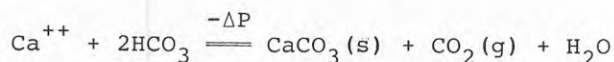
3.4 Övrigt

Baron, D. (1982): A well system can be designed to minimize the incrusting tendency.

I artikeln redovisar Baron hur man med enkla formler och vattenanalyser kan förutsäga inkrustationsproblem. Data från vattenanalyser jämförs med vilka koncentrationer som behövs för att olika ämnen skall fällas ut.

Vid risk för utfällningar kan alternativa utformningar eller tärter diskuteras. Genom att minska hastigheten genom filtret samt maximera öppen filterarea utan att sand dras in kan problemen minska.

Inkrustation pga kalciumkarbonat uppstår då kalciumjoner och bikarbonat finns i större mängd än vad som kan lösas. Om trycket sjunker går utfällningen snabbare



Reaktionen går åt höger om CO_2 avges vilket kan ske vid pumpning. Vanligast i krutor är svårlösliga magnesium- och kalciumkarbonater som kan vara associerade med järn. I artikeln diskuteras löslighetsprodukter och jämvikter för karbonater. Risken för utfällning kan bl a bedömmas mha "incrustation potential ratio", IPR, som beräknas enligt

$$\text{IPR} = \frac{(\text{total alkalinitet som ppm CaCO}_3)(\text{kalciumhårdhet som ppmCaCO}_3)}{10,3 \times 10^{\text{H}^+}}$$

Uppgifter för beräkning av IPR erhålls från kemisk vattenanalys. Om $\text{IPR} < 1$ finns ingen risk för inkrustation eller utfällning. Om $\text{IPR} \geq 1$ uppstår inkrustation eftersom det då finns överskott på ämnen som kan falla ut. Baron redovisar analyser och beräkningar för tio olika brunnar i USA

och värdena på IPR stämmer väl överens med de redovisade uppgifterna om inkrustation.

Smith, S., (1980): A layman's guide to iron bacteria problems.

Författaren konstaterar i inledningen att man kan tillbringa sitt liv med att läsa om sjukdomsalstrande bakterier men bara en vintereftermiddag med vetenskapliga arbeten om brunnsbakterier.

De bakterier som åsyftas är huvudsakligen järn-svavelbakterier som orsakar stor kostnader i förebyggande syfte, för korrosion och för förbrukning av brunnsmaterial och återuppbyggnad av brunnar.

Järnbakterier finns i brunnar om brunnsfiltret är täckt med vitt eller rödbrunt geleaktigt slam. De kan försämra kapaciteten eller ge dålig smak och lukt åt vattnet. Däremot äter järnbakterier inte metallrör eller brunnsfilter. Inte heller orsakar de svavellukt men de gynnar processer som orsakar korrosion och de gör miljön gynnsam för svavelbakterier.

Det var först när pumpning från brunnar började som järnbakterier blev ett problem. De förekommer naturligt i mark och vatten i två huvudgrupper dels skaftade Gallionella och dels trådformiga Lepthotrix och Crenothrix.

Alla järnbakterier oxiderar lösligt, tvåvärt järn och utnyttjar oxidationsenergin bl a för CO_2 -fixering. Bakterierna bildar en trådig massa täckt med järnhydroxid.

Galvanisk korrosion som är vanligast i brunnar uppstår genom att en galvanisk cell bildas mellan områden med olika elektriska laddningar eller mellan röryta och vatten. Dessa celler är vanligen mycket svaga och upphör när ett lager av järnhydroxidmolekyler täcker ytan. Järnbakterierna som utnyttjar järnhydroxiden avlägsnar moderatoren i den galvaniska

cellen och metallen korroderar. Bakterien Gallionella orsakar även indirekt korrosion genom att bilda gelelika avsättningar som är idealisk livsmiljö för andra bakterier. I sulfatinnehållande vatten kan de anaeroba svavelbakterierna växa under utfällningarna. Thiobacillus bildar svavelsyra och Desulfovibrio bildar svavelväte vilket är korrosivt.

Järnbakteriernas miljökrav är vida. Sålunda kan pH variera mellan 6 och 10, järnhalten mellan 0,01 och 4 ppm, syrehalten mellan 0,5 och 4 ppm och temperaturen mellan 4 och 16 °C.

Lämpliga förhållanden finns i miljontals brunnar.

Vissa åtgärder kan vidtagas för att förhindra spridning av järnbakterier. T ex bör alla redskap som används i brunnar desinficeras. Kemikaliebehandling eller uppvärmning kan avlägsna befintliga bakterier.

4 Slutsatser

Ett allmänt intryck från arbetet med projektet är att frågor som rör vattenkvaliteten åsidosatts av många värmepumpsfabrikanter. De hänvisar till brunnborrarna i dessa frågor och dessa har inte alltid tillräckliga kunskaper.

Det har varit svårt att få fram uppgifter om drifts- erfarenheter eftersom systemen varit i drift så kort tid. De eventuella svårigheter som har uppstått har troligen rapporterats till återförsäljare och lokala brunnborrare. Dessa har inte kontaktats i någon större utsträckning under projektets gång.

Från litteraturstudierna, kontakter och erfarenheter kan slutsatsen dras att utfällningsproblem mycket ofta uppstår i system där vatten cirkulerar. I grundvatten- system är följande typer av igensättning vanliga

- o inkrustation pga mineralutfällningar, vanligen järn eller mangan och ofta orsakade av järn-manganbakterier
- o scaling, dvs kalciumkarbonatutfällning
- o suspenderat material som bildar filterkakor
- o bakterieslam

Även korrosion är vanlig om vattnet har hög halt av CO_2 eller svavelväte, eller om olämpliga installationer utförts.

Igensättning pga järnutfällningar är antagligen vanligast i relativt grunda brunnar. I Bremen i Tyskland har flera anläggningar där vatten från grävda brunnar utnyttjats fått stänga igen pga järnutfällningar i systemen. (Personligt besök vid lantbruksskolan i Bremen).

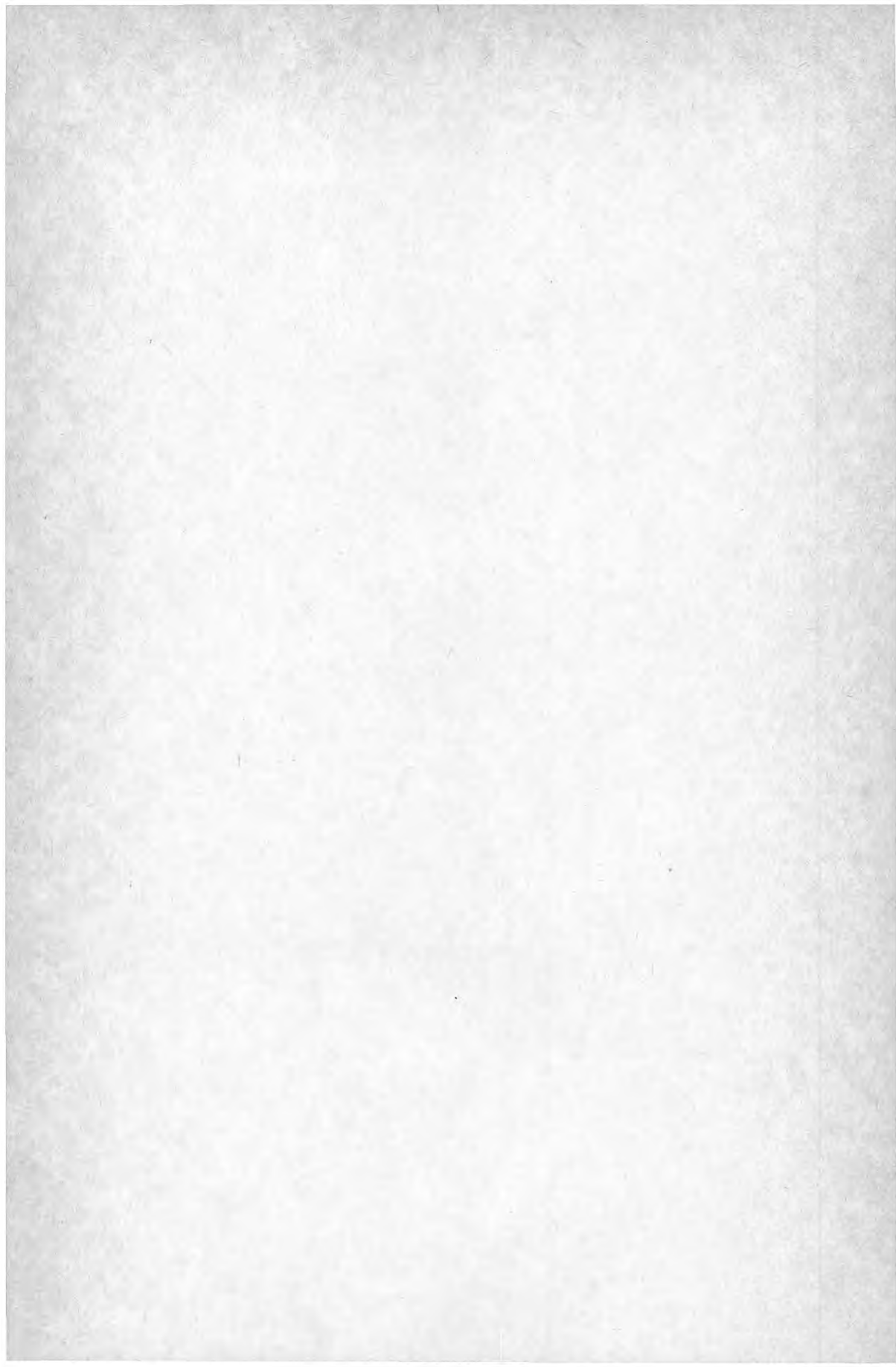
En noggrannare undersökning än den här genomförda krävs för att klarlägga i vilka miljöer och i vilka system risken för igensättning är störst.

Eftersom problemen är vanliga i dricksvattenbrunnar finns flera olika metoder för att rensa igensatta brunnar eller avlägsna oönskade ämnen från vattnet. Dessa metoder kan dock vara dyra och omständiga och de måste sättas in på ett tidigt stadium för att effekten skall bli bra. Lämplig forskning inom detta område är att studera metoder som kan passa för rensning av grundvattenvärmepumpssystem. Även förebyggande åtgärder bör undersökas och lämpliga gränsvärden för ämnen i vattnet bör framtagas.

En fortsättning av projektet planeras att genomföras i anknytning till pågående projekt på Chalmers: "Bergarters och mineralers löslighet i hetvatten", "Igensättning av järnutfällningar i husdräneringar", samt jordvärmegruppens projekt. Erfarenhet från litteraturstudier, fält- och labförsök inom nämnda projekt skall utnyttjas.

5 Litteratur

- Agerstrand T & Ericsson L, 1980. Energi ur grundvatten NE-projekt 2060-51.
- Ahlsell V V S, 1982. Stora värmepumpshandboken (Ahlsell Värmeekonomi AB) Varberg.
- Andersson A-C et al, 1980. Djupinfiltration. BFR rapport R 166:1980.
- Baron D, 1982. A well system can be designed to minimize the incrusting tendency. The Johnson Driller's Journal No. 1, 1982.
- Ejedeling G, 1979. Hydrogeologisk ordlista. Geologiska institutionen, CTH/GU. Publ B 114.
- Eriksson E, et al, 1970. Grundvatten (PA Nordstedt & söners förlag) Stockholm.
- FAO, 1980. Corrosion and encrustation in water wells. FAO. Irrigation and drainage paper 34. Food and Agriculture Organization of the UN, Rome.
- Glas L-O, 1978. Research foundation utilizes ground water heat pumps. Water Well Journal. Vol. 31, No. 4.
- Hem J D, Cropper W H, 1959. Survey of ferrous - ferric chemical equilibria and redox potentials. Water Supply Paper. 1459-A US Geological Survey, Washington.
- Ground water and wells, 1975. (Johanson Division, VOP) Minnesota.
- Matthess G, 1982. The properties of groundwater (John Wiley & Sons Inc) New York.
- Mc Donald R B, 1976. Encrustation. Water Well Journal. Vol 30, No 8.
- Persons J, Hart D, 1980. What experience teaches us about scaling, incrustation and corrosion. Ground water Heat Pump Journal, Vol 1, No. 3.
- Smith S, 1980. A Layman's guide to iron bacteria problems in wells, Water Well Journal, Vol 34, No. 6.



**Denna rapport hänför sig till forskningsanslag
811835-1 från Statens råd för byggnadsforskning
till geologiska institutionen, CTH, Göteborg.**

R130: 1983

ISBN 91-540-4038-8

Statens råd för byggnadsforskning, Stockholm

Art.nr: 6700830

**Abonnemangsgrupp:
W. Installationer**

**Distribution:
Svensk Byggtjänst, Box 7853
103 99 Stockholm**

Cirkapris: 25 kr exkl moms