

Miljøprojekt Nr. 566 2000

Teknologiudviklingsprogrammet for
jord- og grundvandsforurening

Drift af jernspånefiltre til fjernelse af krom(VI) fra grundvand

Klaus Frelling Andersen

HOH Vand & Miljø A/S

Miljøstyrelsen vil, når lejligheden gives, offentliggøre rapporter og indlæg vedrørende forsknings- og udviklingsprojekter inden for miljøsektoren, finansieret af Miljøstyrelsens undersøgelsesbevilling.

Det skal bemærkes, at en sådan offentliggørelse ikke nødvendigvis betyder, at det pågældende indlæg giver udtryk for Miljøstyrelsens synspunkter.

Offentliggørelsen betyder imidlertid, at Miljøstyrelsen finder, at indholdet udgør et væsentligt indlæg i debatten omkring den danske miljøpolitik.

Indhold

Forord

Sammenfatning og konklusioner

Summary and conclusions

INDHOLD	3
1 FORUDSÆTNINGER	11
1.1 GRUNDEVAND MED INDHOLD AF KROM(VI)	11
1.2 FORSØG PÅ VANDRENSNING FOR KROM(VI)	11
2 MIDLERTIDIG VANDRENSNINGSANLÆG	13
2.1 DIMENSIONERING	13
2.2 OPBYGNING OG ETABLERING	13
2.2.1 <i>Etableringsomkostninger</i>	14
2.3 DRIFT	14
2.3.1 <i>Oppumpning af vand og måling af vandmængder</i>	14
2.3.2 <i>Udtagning af vandprøver inden vandrensning</i>	14
2.3.3 <i>Udtagning af vandprøver efter vandrensning</i>	15
2.3.4 <i>Afslutning af den midlertidige vandrensning</i>	16
3 PERMANENT VANDRENSNINGSANLÆG	17
3.1 PLACERING AF RESTFORURENING OG DRÆN	17
3.2 DIMENSIONERING AF VANDRENSNINGSANLÆG	17
3.3 ETABLERING AF VANDRENSNINGSANLÆG	18
3.3.1 <i>Etableringsomkostninger</i>	18
3.4 DRIFT AF VANDRENSNINGSANLÆG	19
3.4.1 <i>Oppumpning af vand og måling af vandmængder</i>	19
3.4.2 <i>Udtagning af vandprøver i forbindelse med vandrensningen</i>	19
3.4.3 <i>Driftserfaringer</i>	19
4 KONKLUSION	21
4.1 GENERELT	21
4.2 MIDLERTIDIG VANDBEHANDLINGSANLÆG	21
4.3 PERMANENT VANDBEHANDLINGSANLÆG	21
5 REFERENCELISTE	23
BILAG A: OVERSIGTSPLAN, OPRENSNINGSOMRÅDE	25
BILAG B: MIDLERTIDIG VANDBEHANDLINGSANLÆG	27
BILAG C: PERMANENT VANDBEHANDLINGSANLÆG, PLAN	29
BILAG D: PERMANENT VANDBEHANDLINGSANLÆG, PRINCIP	31

Forord

Som led i udviklingen og afprøvningen af metoder til rensning af krom(VI) forurening har Roskilde Amt og Miljøstyrelsen under Teknologiudviklingsprogrammet for jord- og grundvandsforureninger rensset krom(VI)forurenede grundvand i et midlertidigt og i et permanent jernspånefilter.

Nærværende rapport beskriver dimensioneringen og driftsresultaterne fra et jernspånebase-ret vandbehandlingsanlæg etableret i forbindelse med oprensningen på Sankt Clara Vej i Roskilde (det midlertidige vandbehandlingsanlæg). Endvidere beskrives dimensioneringen samt de første erfaringer og resultater fra driften samme sted af et permanent jernspånebase-ret vandbehandlingsanlæg. Anlægget behandler vand fra et dræn, etableret for at forhindre ukontrolleret spredning af forurenede grundvand.

Ved oprensningen af jordforureningen er der fjernet jordfyld forurenede med det miljømæssigt stærkt betænkelige krom(VI), fra et område der anvendes til private haver. Det var ikke muligt at fjerne hele forureningen, idet det forurenede område rækker ind under vejarealer og bygninger, hvor en jordudskiftning ikke var mulig/hensigtsmæssig.

I forbindelse med forureningsundersøgelserne blev det forud for oprensningen vist, at grundvandet i delområder var forurenede med krom(VI) i op til 5.000 µg/l /1/. Ved oprensningen blev der fjernet krom(VI)forurenede jord under grundvandsspejlet i området. Det var derfor nødvendigt - både under afgravningen og efter afgravningen - at sikre en forsvarlig håndtering af grundvand potentielt forurenede med krom(VI), dels for at tørholde afgravningsområderne, dels for at forhindre, at krom(VI)forurenede grundvand ved særligt højt vand skulle stige op og forurene de nye, rene tilkørte materialer.

Som grundlag for beslutning om vandbehandlingsmetode blev der af Roskilde Amt og Miljøstyrelsens Teknologiudviklingsprogrammet for jord- og grundvandsforureninger i samarbejde med DTU, Institut for Miljøteknologi (IMT) gennemført laboratorieforsøg med rensning af jord og grundvand ved reduktion af krom(VI) til krom(IV) ved reaktion med reaktivt jern(0) (jernspåner) /1/. De gunstige resultater af forsøgene med rensning af krom(VI)-forurenede grundvand med reaktive jernspåner dannede grundlag for at etablere et vandrensningsanlæg under gennemførelsen af jordoprensningen og i forbindelse med den efterfølgende sikring mod spredning af krom(VI)forurenede grundvand.

Vandprøvetagningerne samt analyserne blev gennemført for at dokumentere at vilkår for vandudledning overholdtes.

Sammenfatning og konklusioner

På baggrund af teoretiske betragtninger og undersøgelser i laboratorium er det vist, at vand med opløst krom(VI) kan renses ved reducere med jern, hvorefter kromaten vil fælde som tungtopløseligt krom. I forbindelse med laboratorieforsøgene blev der opstillet en vejledning til dimensioneringen af et behandlingsanlæg.

Resultaterne fra laboratoriet og vejledningen til dimensioneringen er eftervist i forbindelse med gennemførelse af en oprensning for krom(VI)forurenede jord og grundvand i Roskilde.

Den praktiske anvendelse ved oprensningen har vist, at både de teoretiske betragtninger og vejledningen til dimensioneringen er anvendelig. Ved den gennemførte vandrensning blev der opnået en betydelig reduktion af opløst krom(VI) i vandet.

I den videre drift af det etablerede vandbehandlingsanlæg forventes der yderligere erfaring med vandrensning, samt erfaring med den praktiske renskapacitet af jernspånefilteret og dermed intervallerne mellem de forventede skift af filtermateriale.

Summary and conclusions

On the basis of theoretical considerations and laboratory tests it has been shown that water contaminated with dissolved chromium(VI) can be purified by means of contact with granular iron. The iron reduces the chromium(VI) to the less soluble chromium(III) that precipitates in the filter. Along with the laboratory tests a guideline was made for the design of a full-scale treatment plant to remove chromium(VI) from groundwater.

The laboratory test results and the design guideline were demonstrated during a remediation of chromium(VI) polluted soil and groundwater in Roskilde. The demonstration showed that the theoretical considerations and the design guideline both apply well to a full-scale treatment plant for on-site removal of chromium(VI) from groundwater. A considerable reduction of the chromium(VI) in the groundwater was obtained through the use of a granular iron filter.

During the future operation of the established water treatment plant further experience with chromium(VI) removal from groundwater is expected, especially concerning the purification capacity of the iron and thus the intervals between change of filter material.

1 Forudsætninger

Ved Sankt Clara Vej i Roskilde er der tilbage i 1930'erne foretaget deponering af affald fra en garverivirksomhed. Affaldet omfatter blandt andet såkaldt garverikalk, hvorfra kromat langsomt udvaskes. Deponeringen blev tilfældigt opdaget i 1988, hvor der blev konstateret en kraftig jord- og grundvandsforurening med krom.

Et afværgeprojekt, som omfatter bortgravning af den forurenede jord, og som forudsætter en grundvandssænkning mens gravearbejdet foregår, blev gennemført.

Efter afslutningen af afgravningen er der fortsat være behov for at fjerne grundvand forurennet med krom(VI). Årsagen her til er, at den forurenede jord under eksisterende bebyggelse ikke er fjernet, og derfor fortsat kan bidrage til en grundvandsforurening. Der var således behov for at rense kromatforurennet grundvand i forbindelse med grundvandssænkningen ved afgravningen samt efterfølgende i tilknytningen til et permanent vandbehandlingsanlæg.

1.1 Grundvand med indhold af krom(VI)

I forbindelse med forureningsundersøgelser i havearealer ved Sankt Clara Vej 42-56 i Roskilde blev der registreret fyldjord med indhold af garveriaffald. I området er der bl.a. deponeret affald stammende fra kromgarvning herunder formentlig affald fra kalkhusprocesserne (forbehandling af skindene med læsket kalk) /3/. Ved analyser blev det påvist, at der i området forekom en høj belastning af fyldjorden med tjærestoffer (specielt benz(a)pyren) og flere tungmetaller, herunder krom og krom(VI).

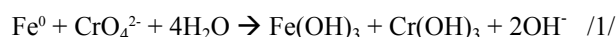
I bilag A er medtaget en oversigtsplan med angivelse af placeringen af området, hvor der blev påvist krom(VI)forurennet jord. I en enkelt vandprøve fra en boring placeret inden for dette område blev der påvist et indhold af krom(VI) på op til 5.000 µg/l. Ved oprensningen blev grundvand og nedbør, der stammede fra dette markerede område behandlet i det midlertidige jernspånefilter, som angivet i afsnit 2.

Det krom(VI)forurenede område er en del af det samlede område, der er oprenset. Ved oprensningen blev vand, fra områder uden for det krom(VI) forurenede område ikke behandlet i det midlertidige jernspånefilteret, men blev efter aftale med recipientmyndighederne kontrolleret for tungmetaller og kulbrinter inden udledning. Disse analyser viste, at vandets indhold af forureningskomponenter var på et meget lavt niveau, derfor blev dette vand kun rensat for suspenderet stof i et partikelfilter med en maskestørrelse på 25 µm inden udledning til regnvandssystemet og videre til Roskilde Fjord.

I det efterfølgende er der kun medtaget en beskrivelse af den udførte vandbehandling for den del af grundvandet og nedbøren fra udgravninger, der stammer fra det krom(VI) forurenede område, og som blev behandlet i det midlertidige jernspånefilter.

1.2 Forsøg på vandrensning for krom(VI)

I forbindelse med planlægningen af oprensningen blev mulighederne for en alternativ rensning af den krom(VI) forurenede vand og jord undersøgt idet omkostningerne til traditionel vandbehandling vurderedes at blive meget store. Den alternative rensningsmetode baseredes på en forventet reduktion af krom(VI) til krom(III) ved reaktion med jern (jernspåner) i oxidationstrin 0. Herunder er angivet et reaktionsskema, hvor Fe(0) oxideres til Fe(III) og der dannes Fe(OH)₃ og Cr(OH)₃ /1/.



Som alternativ til kromhydroxyd kan endvidere dannes en række andre krom/jernforbindelser. Det er ikke klarlagt hvilke produkter der dannes. Da det generelt gælder, at alle krom(III)produkter har meget lav opløselighed, er dette dog mindre betydende /1/.

De dannede produkter indeholdende krom(III) udfælder primært på jernoverfladerne, hvilket bevirker en gradvis inaktivering af jernzonen, svarende til at jernspånerne har en endelig kapacitet med hensyn til reduktion af kromat /1/.

Institut for Miljøteknologi (DTU) gennemførte på foranledning af Roskilde Amt og Miljøstyrelsens Teknologipulje undersøgelserne. Forsøgsresultaterne vedrørende behandling af krom(VI)forurenede grundvand i et jernspånefilter var gunstige, og resulterede i en række forudsætninger og dimensioneringsparametre for rensning af vand med indhold af krom(VI) ved anvendelse af et filter med jernspåner. Resultaterne af disse undersøgelser er beskrevet i /1/.

Ved dimensioneringen af det i det efterfølgende beskrevne jernspånefilter er der anvendt foreløbige resultater fra disse forsøg, idet den endelige rapport fra IMT ikke forelå på daværende tidspunkt.

2 Midlertidig vandrensningsanlæg

I dette kapitel er der beskrevet forhold omkring det midlertidige jernspånefilter til rensning af krom(VI)forurenede grundvand. Det midlertidige vandbehandlingsanlæg blev etableret med henblik på at rense grundvand og nedbør oppumpet fra graveområderne samt fra sugespidsanlæg etableret midlertidigt i forbindelse med forureningsafgravningen /4/.

2.1 Dimensionering

Ved dimensioneringen af jernspånefilteret til rensning af krom(VI)forurenede grundvand er der anvendt følgende forudsætninger:

- Den maksimale vandmængde er skønnet til 1,5 m³/time ud fra en række pessimistiske antagelser baseret på resultater fra forureningsundersøgelserne /3/.
- Den maksimale koncentration af krom(VI) i grundvandet før rensningen i jernspånefilteret er konservativt skønnet til 5 mg/l baseret på de få analyser af grundvand fra området /1/.
- Nødvendig opholdstid for rensning er ud fra laboratorieundersøgelserne i /1/ vurderet til 1,5 time.
- Porøsitet af jernspånerne; 0,4 til 0,6 /2/.
- Permeabilitet af jernspånerne; $k=(2,5 - 5) \times 10^{-4}$ m/sek. /2/.

På baggrund af disse parametre er det nødvendige volumen af jernspånefilteret beregnet til 5,6 m³.

Jernspånefilteret er konstrueret i en åben jernkasse med bredden 2,4 meter og længden 2,8 meter, hvori der er udlagt et ca. 1 meter tykt lag af jernspåner. Det samlede filtervolumen er herved 6,2 m³, svarende til ca. 20% mere end det antaget nødvendige filtervolumen.

Det samlede tryktab i filteret ved et flow på 1,5 m³/time er beregnet til 0,22 m ved anvendelse af det aktuelle filterareal, filtertykkelse og en permeabilitet (k) for jernspånerne på $2,5 \times 10^{-4}$ m/sek.

Det forurenede grundvand blev tilført jernspånefilteret øverst, og herefter er vandet presset gennem jernspånefilteret indtil udløbet i bunden af filterkassen. For at sikre en jævn fordeling af grundvandet igennem jernspånefilteret, og for at sikre jernspånerne mod uønsket påvirkning af luftens ilt er jernspånefilteret udført således, at jernspånerne altid er dækket af minimum 10 cm vand. Udløbet fra jernspånefilteret er derfor ført fra bunden af filteret i et lodret rør til den ønskede udløbshøjde (ca. 10 cm) over jernspånerne.

I bunden af jernspånefilteret er der etableret et drænlag med drænrør og forskellige lag af filterkis og -sand for at sikre en jævnt fordelt, ensartet vandstrømning igennem hele filteret. Den samlede lagtykkelse af drænlagene er ca. 500 mm.

I bilag B er medtaget detailtegning af jernspånefilteret.

2.2 Opbygning og etablering

Kassen for jernspånefilteret er udført i 8 mm stålplade med forstærkninger i bund og sider af 100 x 100 mm RHS profiler med en godstykkelse på 6 mm. Selve kassen er konstrueret på maskinværksted, hvor det beskrevne drænlag m.v. ligeledes er udlagt i bunden af kassen. Efter at filterkassen var opstillet på lokaliteten ved Sankt Clara Vej i Roskilde blev jernspå-

ner lagt i kassen, og hele filteret fyldt med postevand. Herefter var jernspånefilteret driftsklar.

2.2.1 Etableringsomkostninger

Der har været følgende omkostninger i forbindelse med etableringen af det midlertidlige vandbehandlingsanlæg:

- Design, dimensionering og tilsyn	kr.	26.200,-
- Smedearbejde	kr.	42.200,-
- Filtersand og levering	kr.	18.900,-
Samlede omkostninger	kr.	<u>87.300,-</u>

Udgifter til indkøb af jernspånerne er ikke indeholdt i ovennævnte etableringsomkostninger.

2.3 Drift

Inden starten af oprensningen blev Roskilde Amt kontaktet med henblik på at opnå tilladelse til udledning af det rensede vand til det offentlige regnvandssystem og videre til Roskilde Fjord. Den efterfølgende beskrevne procedure for analyser m.v. følger vilkårene givet i udlobstilladelsen fra Roskilde Amt.

2.3.1 Oppumpning af vand og måling af vandmængder

Den samlede jordforureningsafgravning er gennemført i perioden 8. februar til 25. juni 1999. Under oprensningen er vandet fra områder med krom(VI)forurenede jord ledt til opsamlingsstanke beregnet for opmagasinering og bundfældning inden rensning i jernspånefilteret.

Det opsamlede vand bestod af en blanding af grundvand og tilstrømmende overfladevand, idet der i starten af den gennemførte oprensning indtraf en periode med megen nedbør (februar til april 1999). Vandet blev fjernet fra de berørte områder med sugespidsanlæg og med almindelige entreprenørpumper fra åbne udgravninger.

Der blev i alt oppumpet 100 m³ vand til tanke og behandling i jernspånefilteret.

2.3.2 Udtagning af vandprøver inden vandrensning

Fra den første af de opstillede tanke (10 m³ tank) er der, efter at den var fyldt med vand, udtaget vandprøver. Der er udtaget en vandprøve umiddelbart efter at påfyldningen af tanken var afsluttet (0 døgn) og herefter 1 og 2 døgn efter.

Vandprøverne er analyseret for udvalgte tungmetaller ved ICP-AAS (uden oplukning) og suspenderet stof (simpel filtrering, inddampning og vejning). Resultaterne af analyserne af vandprøverne fremgår af tabel 2.1.

Tabel 2.1

Analyseresultater af vandprøver udtaget inden vandrensning

Analyseparameter		0 døgn	1 døgn	2 døgn
Bly	µg/l	<9	<9	<9
Cadmium	µg/l	<0,01	<0,01	<0,01
Nikkel	µg/l	<1	<1	<1
Krom	µg/l	1.000	570	530
Suspenderet stof	µg/l	78.000	8.000	6.500

Som det fremgår af analyseresultaterne falder indholdet af opløst krom - blot ved henstand - fra 1.000 µg/l til omkring 500 µg/l, hvilket måske skyldes simpel reduktion af opløst krom(VI) til ikke opløselig krom(III), der fælder ud.

På baggrund af det konstaterede fald i indholdet af suspenderet stof ved henstand i tankene, blev det aftalt med Roskilde Amt, at vandet skulle henstå i opsamlingsstanke i minimum 1 døgn inden vandet renses i jernspånefilteret.

2.3.3 Udtagning af vandprøver efter vandrensning

Vandet i den første tank blev ledt gennem jernspånefilteret med et flow på ca. 1 m³/time og herfra videre til en opsamlingsstanke for at kvaliteten af vandet kunne kontrolleres ved analyse inden udledning.

Efter rensningen i jernspånefilteret er der udtaget en vandprøve for kontrol af indholdet af metaller og suspenderet stof. Analyseresultatet fremgår af tabel 2.2.

Tabel 2.2

Analyseresultater af vandprøver udtaget efter vandrensning

Analyseparameter	Analysesresultat efter rensning i jernspånefilteret
Bly µg/l	<9
Cadmium µg/l	<0,01
Nikkel µg/l	23
Krom µg/l	<2
Suspenderet stof µg/l	<5.000

Analyseresultaterne dokumenterede, at jernspånefilteret som forventet var i stand til at rense vandet for krom(VI). Vandet kunne derfor efterfølgende udpumpes fra opsamlingsstanke til regnvandssystemet og videre til Roskilde Fjord.

Som det fremgår af tabel 2.2 er der i det rensede, behandlede vand påvist et markant øget indhold af nikkel i forhold til i det ubehandlede vand. Da det konstaterede indhold af nikkel imidlertid er meget lavere end udledningskravet er der ikke gennemført undersøgelser for at belyse, om indholdet af nikkel stammer fra den gennemførte vandrensning (frigivelse fra jernspånerne) eller skyldes andre forhold.

Resultaterne af rensningen af den første tank vand forløb således meget tilfredsstillende. På baggrund heraf er efterfølgende batch af vand efter rensning i jernspånefilteret udledt kontinuerligt til regnvandssystemet. Altså inden resultaterne af vandanalyserne forelå. Denne procedure blev godkendt af recipientmyndighederne og viste sig at være forsvarlig, som resultaterne af analyse af yderligere 6 vandprøver dokumenterer (tabel 2.3).

Til vurdering af den samlede vandrensning skal bemærkes, at det ikke er påvist, at der var opløst krom(VI) i alt vandet inden rensningen, idet der ikke blev analyseret vandprøver af det ubehandlede vand.

Tabel 2.3

Analyseresultater for vandprøver udtaget i forbindelse med driften af vandrensningsanlægget (renset vand)

Analyseparameter	2. tank	3. tank	4. tank	5. tank	6. tank	7. tank
Bly µg/l	<9	<9	<9	<9	<9	<9
Cadmium µg/l	4,4	3,7	3,8	<0,01	<0,01	<0,01
Nikkel µg/l	<1	11	<1	<1	<1	<1
Krom µg/l	<2	<2	<2	<2	<2	<2
Suspenderet stof µg/l	<5.000	<5.000	<5.000	<5.000	<5.000	<5.000

Som det fremgår af tabel 2.3 er der påvist cadmium i det behandlede vand. Cadmium er ikke påvist i det ubehandlede vand jf. tabel 2.1. Også for cadmium gælder imidlertid, at indholdet er langt under udledningskravene. Der er derfor ikke i forbindelse med dette projekt gennemført yderligere undersøgelser for at belyse, hvor indholdet af cadmium stammer fra.

2.3.4 Afslutning af den midlertidige vandrensning

Efter at oprensningen af jordforureningen med krom(VI) var afsluttet blev filteret tømt for jernspåner og flyttet til Roskilde Amts materialplads. Her er filteret opmagasineret og jernspånerne fyldt i filteret på ny, hvorefter der igen blev påfyldt vand for at beskytte jernspånerne mod iltning.

Filteret kan efterfølgende anvendes i forbindelse med tilsvarende sager med behov for rensning af krom(VI)forurenede vand.

3 Permanent vandrensningsanlæg

I nærværende kapitel er der beskrevet forhold omkring dimensionering, etablering og de første resultater af driften af et permanent jernspånefilter med tilhørende drænanlæg ved Sankt Clara Vej i Roskilde. Driftserfaringerne er fra selve indkøringen af anlægget og den første periode med normal drift. Vandbehandlingsanlægget er etableret med henblik på rensning af eventuel krom(VI)forurenede grundvand fra de områder, hvor der er afgraved jord blandt andet forurenede med krom(VI).

3.1 Placering af restforurening og dræn

Ved opstilling af krav til forureningsoprensningen blev det besluttet, at al den tilgængelige del af forureningen skulle fjernes ved bortgravning. Al den forurenede jord i områder uden for bygninger og vejanlæg blev derfor fjernet og erstattet med ren jord. Det var ikke muligt at fjerne den forurenede jord under bygninger. Uden for det aftalte oprensningsområde var der ligeledes områder med krom(VI) bl.a. under vejarealet ved Sankt Clara Vej.

Det blev derfor besluttet, at grundvand stammende fra områder med konstateret restforurening skal opsamles i dræn, således at dette grundvand ikke forurener den nye, rene jord i området. Da en stor del af bygningerne er funderet i fyldlag, og da der under fyldlagene findes tørv og andre sætningsgivende jordlag, er det umuligt at fiksere grundvandsspejlet dybere end 1,0-1,2 m under terræn, da en dybere dræning vil betyde, at der er risiko for sætninger af de dele af bygningerne, hvor der ikke er etableret forstærkninger af fundamentene (indvendige vægge o.lign.). Det blev derfor besluttet at sikre ved dræning og vandbehandling, at de øverste jordlag ikke forurenes af grundvand fra de områder, hvor der findes restforurening.

Umiddelbart efter at jorden omkring husene var udskiftet, blev der etableret dræn omkring de berørte bygninger (Sankt Clara Vej 48, 50, 52 og 54). Der blev ligeledes etableret dræn langs Sankt Clara Vej, i det område hvor der er konstateret krom(VI) forurening i gravefronten. Drænene er etableret som to adskilte drænstrengte, hvilket åbner mulighed for, at man på et senere tidspunkt eventuelt kan stoppe en del af dræningen, hvis grundvandet viser sig at være fri for indhold af krom.

Drænene samles i to sandfang og ledes herefter til en fælles pumpebrønd. Fra pumpebrønden bliver vandet pumpet gennem et jernspånefilter etableret i en større nedgravet brønd. Det rensede vand ledes videre til områdets regnvandssystem, der har udløb til Roskilde Fjord.

3.2 Dimensionering af vandrensningsanlæg

Ved dimensioneringen af jernspånefilteret til rensning af krom(VI)-forurenede grundvand er der anvendt følgende dimensioneringsforudsætninger:

- Den maksimale vandmængde der forventes opsamlet i drænene er vurderet til 0,5 m³/time baseret på observationer fra forureningsafgravningen.
- Den maksimale koncentration af krom(VI) i grundvandet før rensningen i jernspånefilteret er skønnet til 100 µg/l.
- Nødvendig opholdstid for rensning er skønnet til 1,5 time med udgangspunkt i /1/.
- Porøsitet af jernspånerne; 0,4 til 0,6 /2/.
- Permeabilitet af jernspånerne; $k=(2,5 - 5) \times 10^{-4}$ m/sek. /2/.

På baggrund af disse parametre blev det nødvendige volumen af jernspånefilteret beregnet til 1,88 m³.

I forhold til det midlertidige vandrensingsanlæg er muligheden for at anvende standard brøndmaterialer undersøgt. Der er således valgt en ø1,25 m brønd. Jernspånerne er ilagt i et ca. 1,6 m tykt lag. Det samlede filtervolumen er herved 1,96 m³.

Det samlede tryktab i filteret blev beregnet til 0,68 meter ved anvendelse af det aktuelle filterareal og filtertykkelse og en permeabilitet (k) for jernspånerne på $2,5 \times 10^{-4}$ m/sek. Det beregnede tryktab er medregnet i forbindelse med valg af pumpe i pumpebrønden, således at pumpen har tilstrækkelig løftehøjde til at presse vandet igennem filteret. Det forurenede grundvand tilføres rensebrønden i bunden og herefter presses vandet op gennem jernspånefilteret og via afløb fra jernspånefilteret videre til regnvandsledning. I bunden af brønden med jernspånerne er der etableret et ca. 0,5 m tykt stenlag bestående af sten (32-64 mm) og herover en filterdug mellem stenene og jernspånerne.

Den forventede samlede levetid for det etablerede jernspånefilter er beregnet i henhold til eksempel i /1/. I forbindelse med beregning af levetiden er der anvendt følgende parametre:

- Kromkoncentration i indløbet: 100 µg/l.
- Længden af nedbrydningsprofil i filter: 0,15 m.
- Massefylde af jernspåner: 2,6 ton/m³.
- Kapacitet i henhold til forsøg /1/: 3,1 mg krom pr. g Fe⁰.

Beregnet teoretisk levetid for jernspånefilteret:

- Samlet indhold af jernspåner i filteret: $1,96 \text{ m}^3 \times 2.600 \text{ kg/m}^3 = 5.100 \text{ kg}$.
- Jernspåner i filteret til rådighed for vandrensning: $(1,6 - 0,15 \text{ m}) / (1,6 \text{ m}) \times 5.100 \text{ kg} = 4.600 \text{ kg}$.
- Årlig tilløb af krom til jernspånefilter: Vandflow på 0,5 m³/h med et kromindhold på 100 µg/l giver et årligt tilløb af krom til filteret på 0,44 kg krom pr. år.
- Kapaciteten af jernspånerne i henhold til forsøg (min.) /1/: $4.600 \text{ kg} \times 3,1 \text{ mg krom pr. g Fe}^0 = 14,3 \text{ kg krom}$.
- Levetiden af jernspånefilteret kan dermed beregnes til $14,3 \text{ kg krom} / 0,44 \text{ kg krom pr. år} = 30 \text{ år}$.

Den teoretiske levetid af filteret er således meget lang, og det vil sandsynligvis ikke være kapaciteten af jernspånerne, der definerer levetiden af filteret. Det forventes, at renssevnen af jernspånefilteret vil blive reduceret, som følge af en række forskellige kemiske reaktioner på jernspånerens overflade. En nærmere undersøgelse af disse forhold er ikke planlagt ved den normale drift af jernspånefilteret.

3.3 Etablering af vandrensingsanlæg

Pumpebrønden og jernspånefilteret er placeret i nærheden af en afløbsledning til Roskilde Fjord. Anlægget er etableret i henhold til specifikationerne angivet ovenfor. Bunden af brønden er etableret i kote -1,0. Oversigt over anlægget er vist i bilag C.

Filteret blev etableret i oktober 1999 og sat i drift den 10. november 1999.

3.3.1 Etableringsomkostninger

Der har været følgende omkostninger i forbindelse med etableringen af det permanente vandbehandlingsanlæg (pumpebrønd og vandrensingsanlæg):

- Planlægning, design, dimensionering	kr.	10.000,-
- Etablering af kabler og ledninger under vej	kr.	29.100,-
- Etablering af brønde og pumper m.v.	kr.	98.800,-
- etablering af elskab, sikringer m.v.	kr.	22.200,-
- Bortskaffelse af forurenede jord	kr.	28.900,-

- Tilsyn m.v.
Samlede omkostninger

kr. 20.500,-
kr. 209.500,-

Udgifter til etablering af dræn, drænbrønde og indkøb af jernspånerne er ikke indeholdt i ovennævnte etableringsomkostninger.

3.4 Drift af vandrensningsanlæg

Efter etablering af vandbehandlingsanlægget er der gennemført en indkøring af dette. Vand opsamlet i dræne er pumpet til rensning og afledt til Roskilde Fjord via regnvandsledning.

3.4.1 Oppumpning af vand og måling af vandmængder

I perioder efter etablering af vandbehandlingsanlægget har der været problemer med den vandmåler, der blev monteret i pumpebrønden, idet det i en periode ikke har været muligt at måle den aktuelle vandmængde. Ud fra aflæsninger af elmåleren er de aktuelle vandmængder imidlertid beregnet.

I driftsperioden fra den 10. november 1999 og ind til den 20. september 2000 er der i alt bortpumpet ca. 101 m³ vand. Dette svarer til, at der i gennemsnit er fjernet ca. 13 l pr. time. Den fjernede vandmængde er væsentligt mindre, end den skønnede vandmængde (500 l pr. time) der er benyttet som dimensioneringsgrundlag.

De målte eller beregnede vandmængder, der er rensset i filteret er anført i tabel 3.1.

3.4.2 Udtagning af vandprøver i forbindelse med vandrensningen

I forbindelse med driften af jernspånefilteret er der udtaget vandprøver af vandet inden rensning i jernspånefilteret og efter rensningen. Vandprøver udtaget inden vandrensningen er udtaget med engangspumpe i pumpebrønden før jernspånefilter og vandprøven efter rensningen er udtaget direkte i toppen af jernspånefilteret.

I henhold til aftalerne med Roskilde Amt udtages der vandprøver hver måned i det første år.

3.4.3 Driftserfaringer

Fra jernspånefilteret blev sat i drift og ind til 20. september 2000 foreligger der kemiske analyser af vand fra anlægget som vist i tabel 3.1.

Tabel 3.1

Driftdata for det permanente vandrensningsanlæg

Dato	14. oktober 1999		20. januar 2000		21. februar 2000	
Samlet vandmængde m ³	1		45		61	
Kemiske analyser	før	efter	før	efter	før	efter
Bly µg/l	<4	<4	<4	<4	<9	<9
Cadmium µg/l	0,31	0,47	<0,01	0,57	0,35	<0,01
Nikkel µg/l	2,9	<1	3,1	<1	<3	<3
Krom µg/l	26	9	14	12	11	<2
Suspenderet stof µg/l	13.000	29.000	9.000	22.000	160.000	<5.000

Dato	23. marts 2000		1. maj 2000		30. maj 2000	
Samlet vandmængde m ³	73		78		79	
Kemiske analyser	før	efter	før	efter	før	efter
Bly µg/l	<9	<9	<4	<4	<4	<4
Cadmium µg/l	<0,01	<0,01	2,0	1,5	0,03	<0,01
Nikkel µg/l	<3	<3	1,4	<1	<1	<1
Krom µg/l	33	<2	20	0,6	1,6	11,7
Suspenderet stof µg/l	140.000	26.000	83.000	<5.000	12.000	<5.000

Dato	27. juni 2000		19. juli 2000		4. september 2000	
Samlet vandmængde m ³	80		81		97	
Kemiske analyser	før	efter	før	efter	før	efter
Bly µg/l	4	<1	<4	<4	<4	<4
Cadmium µg/l	<0,05	<0,01	<0,01	4	<0,01	<0,01
Nikkel µg/l	46	1	8,7	3,3	<1	<1
Krom µg/l	27	<0,04	28	<2	20,5	4,0
Suspenderet stof µg/l	26.000	<5.000	13.000	<5.000	160.000	<5.000

Dato	20. september 2000	
Samlet vandmængde m ³	101	
Kemiske analyser	før	efter
Bly µg/l	9,3	4,9
Cadmium µg/l	<0,01	<0,01
Nikkel µg/l	3,1	2,5
Krom µg/l	15	2,3
Suspenderet stof µg/l	26.000	<2.000

Som for det midlertidige jernspånefilter er analyserne udført som ICP-AAS analyse for indhold af total opløst krom, der må antages at være tilnærmelsesvist identisk med indholdet af krom(VI). Det kan dog ikke udelukkes, at en del partikulært bundet krom indgår i analyseresultatet, men analyseresultaterne viser, at der ikke er sammenhæng mellem indhold af suspenderet stof og krom. Som det ses af tabel 3.1, er indholdet af opløst krom i vandprøver udtaget før jernspånefilteret meget ringe i forhold til kromkoncentrationerne målt i tilknytning til driften af det midlertidige jernspånefilteranlæg (tabel 2.1). I forhold til dimensioneringsgrundlaget er indholdet af opløst krom mellem 10-35% af det forventede.

Analyseresultaterne dokumenterer, at hidtil har den efterladte restforurening af jorden med krom(VI) ikke forårsaget en betydende grundvandsforurening med krom.

Som det ses af tabel 3.1, har jernspånefilteret en evne til at reducere indholdet af krom i vandet. Der ses således en reduktion af kromindholdet ved alle analyserunderne. Analyserne fra den 14. oktober 1999 og 20. januar 2000 er bemærkelsesværdige ved at kromreduktionen er ringe, og ved at indholdet af suspenderet stof er størst efter filteret. Analyserne fra den 30. maj 2000 er bemærkelsesværdig ved at kromindholdet i udløbsvandet er højere end i indløbsvandet, selv om indholdet af suspenderet stof er mindst efter filter. Der kan ikke gives nogen god forklaring på disse forhold. Ved samtlige de efterfølgende analyserunder ses en reduktion af kromindholdet med mere end ca. 80%.

Analyseresultaterne for cadmium og nikkel viser, at der er store variationer i indholdet både inden og efter vandrensningen. Disse forhold blev ikke undersøgt yderligere i dette projekt.

4 Konklusion

4.1 Generelt

Effekten af en rensning af grundvand for indhold af opløst krom(VI) med jernspåner er tidligere beskrevet og dokumenteret teoretisk og ved laboratorieforsøg /1/. I nærværende projekt er det vist, at vandrensning baseret på jernspåner er gennemførlig i praksis. Dokumentationen af driften er ikke gennemført med henblik på en fuldstændig dokumentation af effekten af rensning af vand for opløst krom(VI) ved hjælp af jernspåner, men for at opfylde vilkår for tilladelse til udledning af vand til Roskilde Fjord.

4.2 Midlertidig vandbehandlingsanlæg

Med mindre forbehold angående dokumentationen som nævnt i afsnit 2 har det midlertidige jernspånefilter, der er anvendt i forbindelse med oprensningen ved Sankt Clara Vej, vist sig effektiv til at rense krom(VI)forurenede grundvand. Det anvendte anlægs renssevne er meget stor i forhold til den vandmængde, der har været behov for at rense. Årsagen er dels mindre vandmængder, dels mindre krom(VI) forureningsbelastning end forudsat. Grundlaget for dimensionering af anlægget viste sig således at være ret usikker. Usikkerheden skyldes vanskeligheder med at forudse krom(VI) belastningen af grundvandet samt vandmængderne.

I forbindelse med driften af det midlertidige vandbehandlingsanlæg er der ikke konstateret gennembrud af krom(VI)forurening i filteret. Den samlede renskapacitet af det midlertidige vandbehandlingsanlæg er derfor ikke fundet i nærværende projekt.

Driften af det midlertidige vandbehandlingsanlæg var forbundet med ret beskedne omkostninger til selve driften og kontrol af renssevne. Ved etablering og flytning af anlæg med den aktuelle størrelse er det forbundet med ret store omkostninger, idet anlægget har en samlet vægt på 30 tons. Det vurderes derfor, at det aktuelle vandbehandlingsanlæg ikke er specielt egnet som mobilt anlæg, hvorimod mindre jernspånefiltre vil være anvendelige som mobile renselanlæg.

4.3 Permanent vandbehandlingsanlæg

De nuværende driftserfaringer med det permanente vandbehandlingsanlæg viser en effektiv fjernelse af krom(VI) i koncentrationer på under 40 µg/l til lavt niveau (fra under detektionsgrænsen til omkring 10 µg/l). Med den her nødvendige renskapacitet er det muligt relativt enkelt at etablere anlægget under terræn.

Grundlaget for dimensioneringen af det permanente vandbehandlingsanlæg viste sig efter idriftsættelse ikke at holde stik. De aktuelle vandmængder er således mindre end skønnet, ligesom krom(VI)belastningen af grundvandet. Der var eksempelvis meget stor variation i belastningen med krom(VI), i de vandprøver der udgjorde grundlaget for dimensioneringen. Ligeledes var det ukendt, hvor meget krom(VI) der udvaskes fra restforureningen i området og tidshorisonten for denne udvaskning.

I forbindelse med driften af det permanente vandbehandlingsanlæg er der som det fremgår af tabel 3.1 ved 2 indledende analyser konstateret krom på lavt niveau efter rensning på jernspånefilteret. Årsagen her til er ukendt og i forhold til udledningskravene er kromkoncentrationerne uden betydning. Den samlede renskapacitet for jernspånefilteret kan ikke fastlægges på det foreliggende grundlag.

Driften af det permanente vandbehandlingsanlæg har indtil nu været forbundet med små udgifter og ringe tidsforbrug til tilsyn. Omkostningerne til etableringen er ligeledes beskedne, idet der er anvendt normale brøndmaterialer.

Der er af gode grunde endnu ikke kendskab til arbejdsomfanget i forbindelse med skift af jernspånerne.

På baggrund af de hidtidige erfaringer vurderes anvendelse af et jernspånefilter som en miljømæssig og økonomisk attraktiv metode til rensning af krom(VI)forurenede grundvand, idet der ikke på nuværende tidspunkt findes andre simple løsninger til rensning af vand med krom(VI).

5 Referenceliste

- /1/ Loch, Th. (1999)
Reduktion af krom(VI) i grundvand ved hjælp af jernspåner
Miljøprojekt nr. 497.
- /2/ Küllerich, O. (1998-99)
Rapport vedr. etablering og drift af væg med jernspåner
Projekt udført for Banestyrelsen's LIFE projekt
- /3/ HOH Vand & Miljø A/S (1996-98)
Undersøgelserapporter.
Rapporter udarbejdet for Roskilde Amt ved undersøgelserne og afgrænsning af forureningen i området.
- /4/ HOH Vand & Miljø A/S (1999)
Tilsynsrapport fra oprensningen.
Rapport udarbejdet for Roskilde Amt efter gennemførelse af oprensningen

Bilag A: Oversigtsplan, oprensnings- område

Drift af jernspånefiltre til fjernelse af krom(VI) fra grundvand

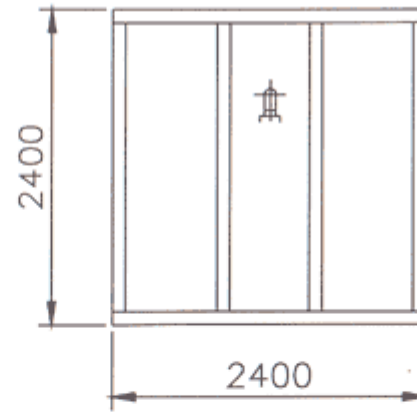
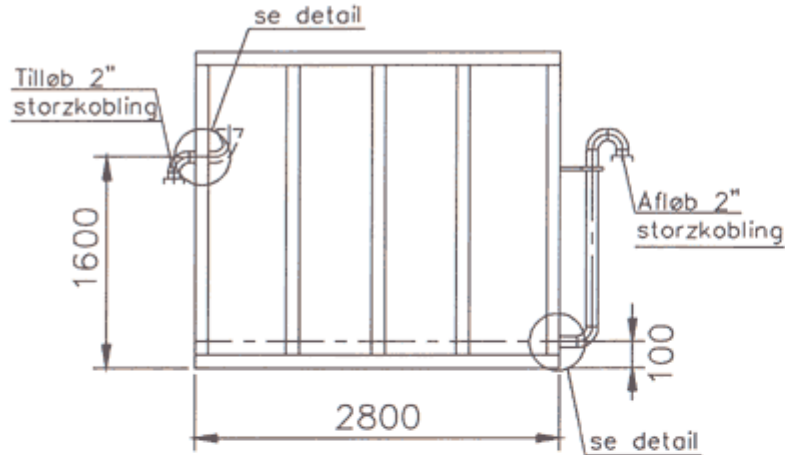
Bilag A: Oversigtsplan, oprensningsområde



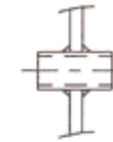
Bilag B: Midlertidig vandbehandlingsanlæg

Drift af jernspånefiltre til fjernelse af krom(VI) fra grundvand

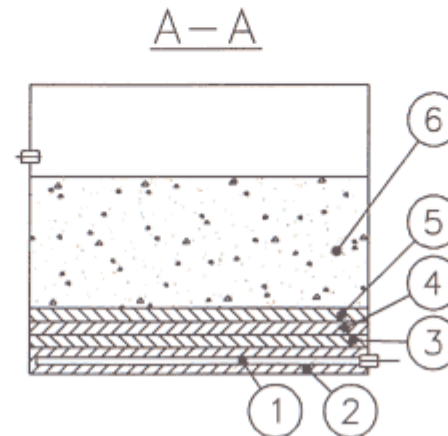
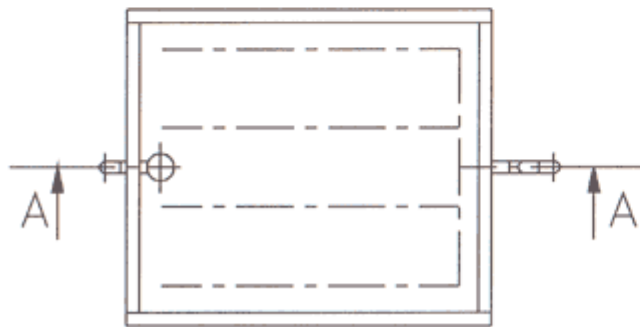
Bilag B: Midlertidig vandbehandlingsanlæg




Detail af 3" muffe i plade



- 1 stk. 3" muffe-tilløb
- 1 stk. 3" muffe-afløb



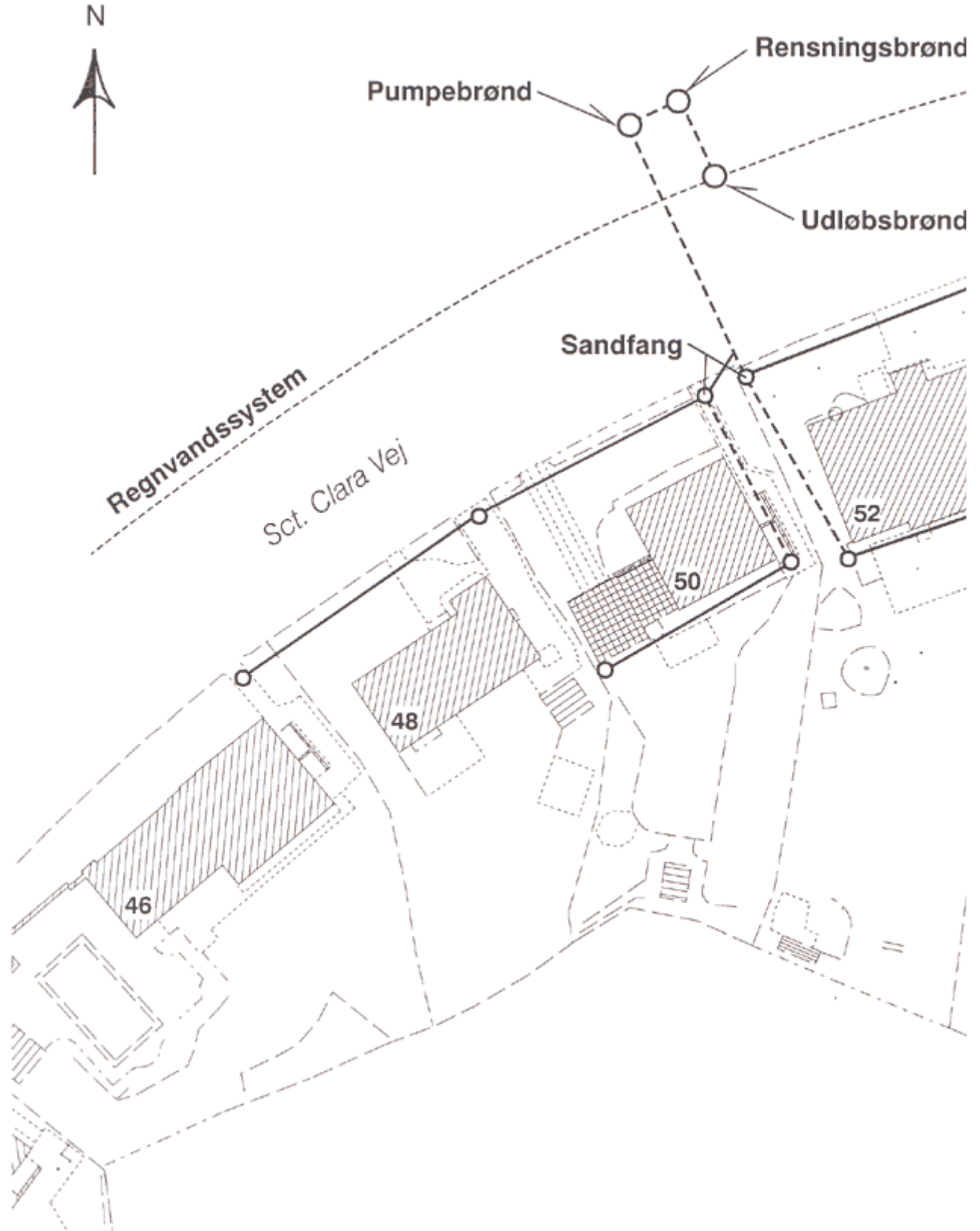
- ① Drænrør med slids ø50mm
- ② Filterkis 3-5 mm laghøjde 200mm
- ③ Filterkis 2-3mm laghøjde 100mm
- ④ Filtersand 1-2mm laghøjde 100mm
- ⑤ Filtersand 0,7-1,2mm laghøjde 100mm
- ⑥ Jernspåner laghøjde 1000mm

Group no.	Rev.	Date	Drawn	Approved	Roskilde Amt Sct. Clara Vej Jernspånefilter	 HOH Vand & Miljø A/S Geminivej 24 DK-2670 Greve Tel. +45 43 600 500 Fax +45 43 600 900
	A	99.02.08	BV			
Page no.	B					
	C					
Related dwg. no.	D					
	E					
Order no.		Drawing no.		Revision		
Designed	99.02.02	BV	T473M01		A	
Drawn		LL				
Approved			Scale: 1:60	CAD File:		

Bilag C: Permanent vandbehandlingsanlæg, plan

Drift af jernspånefiltre til fjernelse af krom(VI) fra grundvand

Bilag C: Situationsplan - Permanent vandbehandlingsanlæg



12.000 000 000 000

- Afledning
- Inspektionsbrønd
- Dræn



Bilag D: Permanent vandbehandlingsanlæg, princip

Drift af jernspånefiltre til fjernelse af krom(VI) fra grundvand

Bilag D: Permanent vandbehandlingsanlæg, princip

