



PATENTDIREKTORATET
TAASTRUP

(21) Patentansøgning nr.: **2565/82**

(51) Int.Cl.⁵

C 02 F 3/02

(22) Indleveringsdag: **08 jun 1982**

C 02 F 9/00

(41) Alm. tilgængelig: **10 jan 1983**

(44) Fremlagt: **14 okt 1991**

(86) International ansøgning nr.: -

(30) Prioritet: **09 jul 1981 US 281773**

(71) Ansøger: ***Groundwater Decontamination Systems Inc.; 12 Industrial Park; Waldwick; New Jersey 07463, US**

(72) Opfinder: **Vidyut *Jhaveri; US, Alfred John *Mazzacca; US, Harold *Snyder; US**

(74) Fuldmægtig: **Hofman-Bang & Boutard A/S**

(54) **Fremgangsmåde til behandling af carbonhydrid-forurenede grundvand og jord**

(56) Fremdragne publikationer

GB off.g.skrift nr. **1400256**

US pat. nr. **3846290, 3995436, 4167973**

(57) **Sammendrag:**

2565-82

Carbonhydrid-forurenede grundvand behandles til reduktion af forureningsgraden ved anvendelse af carbonhydrid forbrugende mikroorganismer, hvis vækstbetingelser optimeres gennem tilførsel af næringsstoffer samt oxygen (evt. i form af luft), nitrogen, carbondioxid og/eller andre gasarter, idet hele den gennem et forurenede område strømmende vandmængde udtages gennem passende render, behandles i et beholdersystem og recirkuleres efter tilsætning af næringsstoffer og gasarter til optimalt niveau. Fremgangsmåden er anvendelig til rensning af et jordområde, dersom der ved ekstra vandtilførsel opnås et vandspejl på højde med jordens overflade. Ved fremgangsmåden opnås uskadeliggørelse af de forurenende bestanddele.

Den foreliggende opfindelse angår en fremgangsmåde til behandling af grundvand samt jord, som er blevet foruren-
net med carbonhydrid-materiale og halogeneret carbon-
hydrid-materiale. Behandlingen af det forurenede grund-
5 vand gennemføres ved hjælp af mikroorganismer, som biolo-
gisk kan nedbryde de forurenende bestanddele af carbon-
hydrid og halogenerede carbonhydrid. Behandlingen
finder sted såvel in situ som uden for det pågældende af-
grænsede jorderråde. Ved udtrykket "carbonhydrid" forstås
10 i nærværende sammenhæng ligeledes halogenerede carbon-
hydrid.

I sådanne tilfælde, hvor der foregår spild af carbon-
hydrid-materiale i jorden eller oven på jorden, vil disse
15 materialer forurene det omgivende grundvand gennem ind-
virkning af vandets naturlige bevægelse gennem jorden.
Dersom spildområderne ikke isoleres og materialet på en
eller anden måde fjernes, vil de forurenende bestanddele
sprede sig ud over det oprindelige spildområde gennem
20 grundvandssystemet, hvorved vandforsyningen vil blive
truet. For at undgå dette resultat må det forurenede ma-
teriale fjernes. Der er imidlertid kun få valgmuligheder
med hensyn til at fjerne det. I visse tilfælde kræves fy-
sisk borttagning og bortskaffelse af, henholdsvis behand-
25 ling af jorden. Spildområdet kan alternativt blive isole-
ret til en dybde under den, hvor spildet bevæger sig gen-
nem grundvandets indvirkning, og de forurenende bestand-
dele tilbageholdt i dette jorderråde, som er isoleret fra
de omgivende områder. Disse fremgangsmåder er imidlertid
30 overordentlig kostbare og eliminerer ikke de forurenende
bestanddele, men overfører dem fra et sted til et andet.

En alternativ fremgangsmåde, som er anvendelig i visse
områder, hvor jordbundsforhold og klimatiske forhold til-
35 lader dette, er at fremme væksten af naturlige mikroorga-
nismen i jord og i grundvand, som er i stand til biolo-
gisk at nedbryde de særlige forurenende carbonhydrid-be-

standdele, der er blevet spildt. I nogen udstrækning foregår væksten af de passende mikroorganismer naturligt, når næringsgrundlaget (de spildte carbonhydrid-stoffer) er tilgængelige. Det er ligeledes påvist, at man ved at forøge tilstedeværelsen af visse næringsstoffer samt oxygeniveauet i det vand, som strømmer gennem forurenede jord, kan fremme hastigheden af de biologiske nedbrydningsprocesser. En sådan proces er omtalt i USA patentskrift nr. 3 846 290, hvori omtales tilsætningen af næringsstoffer og oxygen til forurenede grundvand. En ulempe ved denne proces er, at de forurenende bestanddele ikke fjernes fuldstændigt. For at undgå forurening af de omgivende områder må det forurenede grundvand derfor pumpes væk fra jorden og bortskaffes. Dette udgør et alvorligt og kostbart problem, eftersom der behandles store mængder grundvand, og dette har meget fortyndede koncentrationer af de forurenende bestanddele. Processen er yderligere meget langsom, eftersom den biologiske nedbrydning foregår i et stort rumfang af jord. Endelig er den biologiske nedbrydningsproces begrænset af omgivelsernes tilstand, f.eks. af grundvandets temperatur og af den mængde næringsstoffer og oxygen, som kan sive gennem den forurenede jord. Jordens struktur og den naturlige hastighed for bevægelsen af vandet gennem jorden kan sinke den biologiske aktivitet og i væsentlig udstrækning forøge det tidsrum, som er nødvendigt til effektiv behandling af de forurenende bestanddele i jorden.

Der foreligger derfor et behov for en fremgangsmåde til at isolere et spild af carbonhydrid med henblik på biologisk nedbrydning af carbonhydrid-forurenende bestanddele på tilstrækkelig og ikke kostbar måde samt til at skille sig af med de forurenende bestanddele uden blot at fjerne dem ved at skylle jorden og bortskaffe dem uden for det egentlige spildområde.

I US patentskrift nr. 3 846 290 beskrives en fremgangsmåde til biologisk nedbrydning af carbonhydridforurening i jorden under anvendelse af naturligt forekommende mikroorganismer. Fremgangsmåden omfatter indsprøjtning af næringsstoffer og oxygen i forurenede grundvand. Dette synes at føre til hurtig vækst af carbonhydridforbrugende mikroorganismer i jorden, hvilket fører til en ødelæggelse af carbonhydridet i det område, som omgiver punkterne for indsprøjtningen. For at bringe næringsstoffer og hydrogen i berøring med det forurenede område, pumper man vand fra jorden gennem en såkaldt produktionsbrønd. Dette vand får næringsstoffer og oxygen til at strømme fra injektionspunkterne hen mod produktionsbrønden og til at komme i berøring med den forurenede jord mellem injektionspunkterne og produktionsbrønden. I det pågældende patentskrift beskrives ikke, hvorledes det vand, som fjernes fra produktionsbrønden, bliver håndteret. Det er imidlertid klart, at opfinderne ikke har haft til hensigt at recirkulere, idet patentskriftet foreskriver, at pumpehastigheden på produktionsstedet må reguleres således, at grundvandsniveauet bliver opretholdt (se spalte 2 linie 41-45). Dersom det fjernede vand blev recirkuleret, ville der ikke være noget behov for at tage forholdsregler til at opretholde denne balance.

I britisk patentskrift nr. 1 400 256 omtales en fremgangsmåde til biologisk nedbrydning af petroleumsaffald og ikke en behandling til fjernelse af forurening eller såkaldt dekontaminering af grundvand eller af forurenede jord.

I US patentskrift nr. 4 167 973 omtales rensning eller dekontaminering af jord og/eller vand, som er forurenede med organiske materialer. I modsætning til det ved fremgangsmåden ifølge US patentskrift nr. 3 846 290 omtalte benyttes der ikke mikroorganismer til rensningen. I stedet for omtaler patentskriftet en fremgangsmåde til

kemisk dekontaminering, hvilket vil føre til en ødelæggelse af mikroorganismerne. Nærmere bestemt foreskriver patentskriftet, at vand skal tappes væk fra det forurenede område og behandles med et kraftigt kemisk oxidationsmiddel og/eller et baktericid. Det behandlede vand bliver afgasset og ført tilbage til jorden i nærheden af det forurenede område. Når det tilbageførte vand passerer gennem jorden, vil oxidationsmidlet og det bakteriedræbende middel ødelægge tilstedeværende mikroorganismer.

Opfindelsen omfatter en fremgangsmåde til behandling af forurenat grundvand ved anvendelse af mikroorganismer til biologisk nedbrydning af carbonhydridforureninger. Væksten af disse mikroorganismer fremmes ved bortfjernelse af grundvand, som er forurenat af carbonhydrider, behandling af vandet under betingelser, som øger væksten af carbonhydridforbrugende mikroorganismer (under samtidig reduktion af forureningsgraden i vandet) og tilbageføring af det behandlede vand gennem den forurenende jord. Biologisk nedbrydning af forureningerne opnås meget hurtigere end ved fremgangsmåden ifølge den kendte teknik, samtidig med at der opnås en mere fuldstændig fjernelse af forureningen. Fremgangsmåden ifølge opfindelsen er nærmere defineret i kravene.

Det er ligeledes ønskeligt at behandle det forurenede jordområde ved tilføring af næringsstoffer og oxygen og/eller andre gasser til det tilbageførte, behandlede vand til en forøgelse af den biologiske nedbrydningsproces in situ. På denne måde bliver det vand, som indeholder forureningerne, anvendt igen i stedet for at blive fjernet og deponeret på et fjerntliggende sted, og forureningen i jorden og grundvandet bliver reduceret ved den stadig vedvarende biologiske nedbrydning ved hjælp af mikroorganismer, der ernærer sig af carbonhydriderne.

Yderligere formål knyttet til fremgangsmåden ifølge opfindelsen er behandling af et udvalg af forskellige carbonhydrid-forurenende bestanddele, som udviser varierende nedbrydningshastigheder ved anvendelse af mikroorganismer i et miljø, som kan overvåges mere omhyggeligt, end det er tilfældet, hvor den biologiske nedbrydning finder sted i jorden alene. Det er et yderligere formål at tilvejebringe en fremgangsmåde, hvor det forurenede grundvand kan blive tilbageholdt til biologisk stimulerende behandling i kontrollerbare tidsperioder til sikring af behandling til reduktion af forureningsgraden med carbonhydrider, før det returneres til jordsystemet. Det er ligeledes et formål med den foreliggende opfindelse at tilvejebringe en mindre kostbar måde til eliminering af forureningsrisici i forhold til grundvandsforsyninger.

Den foreliggende fremgangsmåde af den i krav 1's indledning nævnte art er ejendommelig ved det i krav 1's kendetegnende del anførte.

20

Den foreliggende fremgangsmåde kan eksempelvis gennemføres ved hjælp af apparatur, som består af midler til at fjerne grundvandet fra et jordområde, som er forurenet med carbonhydridforbindelser, idet sådanne midler er i stand til at ekstrahere stort set alt det vand, der strømmer gennem det kontaminerede jordområde, af midler til behandling af det fjernede vand med næringsstoffer, oxygen eller andre gasarter, til forøgelse af væksten af mikroorganismerne til biologisk nedbrydelse af carbonhydriderne, af midler til recirkulering af mikroorganismerne fra det behandlede vand, af midler til tilsætning af næringsstoffer og oxygen eller andre gasarter til det behandlede vand, samt af midler til genindsprøjtning af det behandlede vand indeholdende næringsstoffer, mikroorganismer og gasarter ind i jorden ved en position, som er nær ved og oven for i strømningsretningen for grundvandsstrømningen gennem det forurenede jordområde, idet

35

positionen for genindsprøjtning vælges således, at det behandlede vand indeholdende næringsstoffer, mikroorganismer og gasarter ved naturlig eller dirigeret strømning af grundvandet bevæger sig hen imod midlerne til udtagning af vandet.

I de vedlagte tegninger er vist en udførelsesform for opfindelsen, og tegningerne vil sammen med beskrivelsen tjene til forklaring af princippet for fremgangsmåden ifølge opfindelsen.

På fig. 1 er vist en skematisk afbildning af indsprøjtning-renderne, grundvandsstrømmen samt en afvandingsrende, som benyttes i overensstemmelse med den foreliggende opfindelse.

På figur 2 er vist et snitbillede af en afvandingsrende.

På figur 3 er vist snit set forfra og fra siden af en rende til genindsprøjtning.

På figur 4 er vist en skematisk afbildning af et strømskema for den biologiske stimulerende behandling af vand, som er forurennet med carbonhydrid.

I det følgende skal mere detaljeret redegøres for den foretrukne udførelsesform af fremgangsmåden ifølge opfindelsen, hvor et eksempel er belyst på vedlagte tegninger.

Den foretrukne udførelsesform for fremgangsmåden til behandling af carbonhydrid-forurennet grundvand består i, at man fjerner det forurenede vand fra en afvandingsgrøft 10 som vist på figur 1, som er dimensioneret og placeret således, at den fjerner stort set alt det vand, der strømmer gennem det jordareal 16, som indeholder carbonhydrid-forureningen. Ved spildområder 11, hvor det naturlige

vandspejls højdeforhold og strømningskemaet for grundvandet kan fastlægges, kan man effektivt isolere det vand, der passerer igennem området, og fjerne det ved hjælp af en rende eller en serie af render, såsom afvandingsrenden 10. Afvandingen gennemføres ved, at man pumper vandet fra en brønd, der er forbundet med afvandingsrør, således som de er vist i snittegningen af en afvandings-rende 10 i figur 2, hvor positionen 20 indikerer drænrør forsynet med lukke anbragt i lavt niveau i renden og forsynende en centralt placeret afvandingsbrønd 22. Et sådant afvandingssystem anvendes til at fjerne stort set alt det vand, der strømmer ind i renden fra det kontaminerede område. I forbindelse med afvandingssystemet anvendes afvandingsbrønd-sumpe 24 til udtagelse af vandprøver til overvågningen, og de kan ligeledes anvendes til at assistere ved afvandingen af renden. Afvandings-rendens længde, dybde og bredde vælges således, at det passer til de dynamiske forhold i området. Et pumpesystem til fjernelse af forurenede grundvand fra brøndsumpene 24 og fra afvandingsbrønden 22 kan være forbundet med et fælles samlerørsystem (ikke vist på tegningen), og det kan betjenes af et automatisk vandstands-overvågningssystem, som aktiverer en pumpe, når vandniveauet i renden stiger til et forud fastlagt niveau. Det forurenede grundvand, som pumpes fra afvandingsrenden, føres gennem rør til en holdetank 12 eller til et behandlingssystem for forurenede vand 13.

Det er velkendt, at en naturligt fastboende population af bakterier i det meste grundvand med lav dybde udfører et lavt niveau af biologisk aktivitet på biologisk nedbrydelige forbindelser. Forbindelsernes nedbrydningshastighed kan forøges mange gange in situ derved, at man tilvejebringer optimale vækstbetingelser for disse naturligt forekommende bakterier. Sådant optimering opnås sædvanligvis ved forøgede koncentrationer af oxygen, nitrogen og fosfor i grundvandssystemet. Det er i visse typer

af forurenede grundvand ligeledes nødvendigt at tilsætte spormængder af uorganiske salte af jern, magnesium og mangan.

5 Ud over at tilvejebringe betingelserne for en hurtigere biologisk nedbrydningsproces, som kan finde sted in situ, underkastes det kontaminerede vand, der fjernes fra afvandringsrenden 10, ifølge opfindelsen en biologisk stimulerende proces uden for jordarealet med henblik på at optimere nedbrydningsprocessen. For med held at gennemføre den eksterne biologiske stimuleringsproces er det nødvendigt at bestemme de nøjagtige næringsstofbehov for mikroorganismene til opnåelse af den maksimale biologiske nedbrydning af de pågældende carbonhydrider. De 15 mikroorganismer, som anvendes ved den biologisk stimulerende proces, kan enten være sådanne, som naturligt forekommer på det forurenede område, eller andre, som specielt vælges for at optage de carbonhydrider, som vides at være til stede i det kontaminerede jordområde, herunder også mutanter af mikroorganismene. Det er ligeledes muligt at anvende en kombination af mikroorganismer, som hører hjemme på området, eller andre som er indført for på effektiv måde at behandle samtlige de tilstedeværende forurenende bestanddele.

25 En blanding af det udtagne, forurenede grundvand med næringsstoffer i et særligt afgrænset område, såsom en dam eller en tank eller et andet lukket kar, som er eksternt i forhold til grundvandssystemet, under kontrollerede betingelser forøger antallet af bakterier mange gange, og 30 accelererer på denne måde den biologiske nedbrydningsproces. Tilsatte næringsstoffer er forbindelser såsom ammoniumchlorid, natriumfosfat, magnesiumsulfat, natriumcarbonat, jernsulfat, calciumchlorid og andre næringsstoffer, som fremskynder den biologiske nedbrydningsproces. 35

En fagmand inden for mikrobiologien kan bestemme de optimale vækstbetingelser for den type mikroorganismer, som anvendes i den biologisk stimulerende proces. Dette muliggør tilsætningen af den korrekte mængde og type af næringsstoffer til det kontaminerede vand. Derudover regulerer man fortrinsvis betingelserne i det behandlede område, såsom temperaturen, til optimering af mikroorganismernes vækst. Alternativt kan det i visse tilfælde være fordelagtigt at lade processen foregå under omgivelsernes temperaturbetingelser.

Efter behandling med næringsstoffer, mikroorganismer, oxygen og/eller andre gasarter, hvorved gasserne indføres ved hjælp af et beluftningssystem, udtages det behandlede vand til en bundfældningstank for at bundfælde nogle af mikroorganismene såvel som andet materiale, som er blevet dannet ved den biologiske nedbrydningsproces.

For at maksimere mængden af biologisk aktivitet i den forurenede jord, blander man behandlet vand fra tilbageholdelsesområdet eller fra udfældningstanken med næringsstoffer, og det recirkuleres gennem det forurenede område 16 ved indsprøjtning ind i genindsprøjtningssrenderne 14. Dersom niveauet af næringsstoffer, som forbliver tilbage i vandet efter behandlingen, er tilstrækkeligt stort til at stimulere væksten af mikroorganismer i jorden, er det muligvis ikke nødvendigt at tilsætte flere næringsstoffer. Render til genindsprøjtning 14 er placeret tæt ved det forurenede område afhængig af jordbetingelserne, retningen af den naturlige strømning af grundvandet, placeringen af spilddområdet og udstrækningen af det forurenede område, således at vand, der indsprøjtes i renderne 14, vil strømme gennem det forurenede område 16 hen imod afvandingsrenden 10. På denne måde befinder afvandingsrenden sig neden for i strømningsretningen, og indsprøjtningssrenderne oven for i strømningsretningen fra det forurenede jorderområde, idet udtrykkene

"neden for" og "oven for" indikerer retningen af grundvandsstrømningen.

5 Renderne til genindsprøjtning 14 er optimalt konstrueret, som det er vist på figur 3a og 3b, således at kun den væg i renderen, der vender ud mod det forurenede område 16, er gennemtrængelig for det vand, som indsprøjtes i renderne 14. De øvrige vægge 36 i renderne er konstrueret således, at de er uigennemtrængelige for vand, hvorved de styrer
10 det behandlede vand, som recirkuleres, hen imod det forurenede område.

Renderne er i det mindste delvis fyldt op med grus og/eller sten til opretholdelse af en porøs brønd, hvorfra
15 det behandlede vand kan strømme ud i den omgivende jord. Gruset og/eller stenene vælges således, at de har en størrelse, som ikke let tilstoppes med mikroorganismerne i vandet, og som virker som et gennemdrypningsfilter.

20 Det behandlede vand genindsprøjtes til renderne 14 gennem en rørledning 32, som leder vandet ned til et lavt niveau i renderne. Derudover gennemfører man beluftning af det genindsprøjtede vand med gasarter gennem sumpene 34, som er forsynet med spredere-enheder 35 i deres nederste ender. Disse brønd-sumpe er forbundet med et pumpesystem
25 for luft eller for gas af en konventionel udformning. Sådanne beluftning forøger mængden af opløste gasarter i det behandlede vand og gør det tilgængeligt til anvendelse ved den biologisk stimulerende proces.

30 For på effektiv måde at behandle det forurenede jordområde er en høj grad af biologisk nedbrydning in situ kun mulig, dersom man fra genindsprøjtning-renderne kommer i kontakt med hele det kontaminerede jordområde. Derudover er indsprøjtning af gasarter igennem hele det kontaminerede område nødvendig til opretholdelse af nedbrydningsprocessen. Indsprøjtning af gas kan gennemføres ved,
35

at man placerer brønd-sumpe 18 forsynet med gasspredere gennem hele det forurenede område. For at sikre, at alle kontaminerende bestanddele gøres til genstand for nedbrydning, er det nødvendigt at opretholde højdeniveauet for vandspejlet ved jordoverfladen i det område, hvor spildet har fundet sted. Indsprøjtning med vand i render, der befinder sig højere oppe med spildområdet, og med en hastighed tilstrækkelig stor til at holde vandspejlet ved jordens overflade er nødvendig til opfyldelse af dette krav. Det vand, som genindsprøjtes i renderne 14, vil perkolere eller strømme ved den naturlige grundvandsbevægelse, eller det kan dirigeres med forskellige midler, såsom ved målrettede genindsprøjtningssrender og pumpning gennem det forurenede område 16. Dersom der ikke leveres tilstrækkeligt vand fra behandlingstankene til opretholdelse af vandspejlets niveau, anvender man yderligere vand fra andre kilder, som er forenelige med mikroorganismene.

Man fortsætter processen med at udtage vand fra afvandrings-renden 10, behandle det med næringsstoffer, oxygen og/eller andre gasarter til fremme af væksten af de mikroorganismer, som findes i jorden og i grundvandet, og tilbageføre det behandlede vand til genindsprøjtningssrenderne, indtil man har fjernet niveauet for carbonhydridkontaminering eller reduceret dette til et acceptabelt niveau. Man kan kontinuerligt overvåge vandkvaliteten ved udtagning af prøver fra afvandrings-renden samt i behandlingsområderne. Man kan således fastlægge passende mængder næringsstoffer, der skal sættes til det vand, som genindsprøjtes i renderne, eller som sættes til behandlingsområderne til opnåelse af optimal biologisk nedbrydning.

I forbindelse med den foreliggende opfindelse består et apparatur som beskrevet til behandling af carbonhydridforurennet grundvand af midler til udtagelse af carbon-

hydridkontamineret grundvand fra et jorderområde, der indeholder forurening med carbonhydrider, midler, som er i stand til at udtage stort set alt det vand, der strømmer gennem sådan forurenede jord. I den omtalte udførelsesform består disse midler af en eller flere render, som er placeret neden for enden af det kontaminede område på en sådan måde, at det tiltrækker stort set alt det vand, der passerer gennem det forurenede jorderområde og hen til renden. For at opretholde rendens porøsitet og for at sikre, hvad der faktisk er en sækning, i hvilken det omliggende grundvand lader sig dræne, fyldes renden med et materiale såsom grus eller sten til opretholdelse af et område med lav modstandsdygtighed over for vandstrømning i sammenligning med den omgivende jord. Det nederste niveau i grøften befinder sig under det niveau i jorden, som indeholder forureningerne.

Apparaturet besidder ligeledes midler til behandling af det udtagne kontaminede vand med næringsstoffer og/eller oxygen eller andre gasarter til fremme af den biologiske nedbrydning. Midlerne består i denne sammenhæng af et pumpesystem og et vandhåndteringssystem, som transporterer forurenede vand fra afvandringsrenden 10 til en holdetank 40, således som det er vist på figur 4. En holdetank er nyttig i det tilfælde, at der forekommer pulseringer i grundvandsrumfanget, som ikke kan optages af behandlingstanken, men denne er ikke absolut nødvendig for behandlingssystemet. Holdetanken 40 er forbundet således, at vandet kan strømme ved pumpevirkningen til en biologisk stimuleringskammer 42. I tanken 42 blandes kontamineret grundvand, som indeholder mikroorganismer, som er i stand til biologisk at nedbryde forurenende forbindelser, med næringsstoffer, som leveres fra tanken 44. Man kan også tilsætte yderligere mikroorganismer fra andre kilder. De tilsatte næringsstoffer er valgt således, at de optimerer den biologiske nedbrydningsproces af de specielle carbonhydrid-forbindelser, som findes i det vand,

der udtages fra det forurenede område. Tanken til biologisk stimulering kan være forsynet med et recirkulations-system, således som det er vist ved 46, til recirkulation af det produkt, som er behandlet i tanken. Tanken til biologisk stimulering har ligeledes midler til beluftning af vandet, såsom et diffusionsrør 48, som direkte er forbundet med pumpen 50, der pumper gasserne gennem diffusionsrøret. Diffusionsrøret bør være planlagt således, at det belufter hele tanken, og således at man minimerer væksten af mikroorganismer på røret. Denne vækst ville ellers resultere i en blokering af beluftningssystemet.

Efter at den biologiske nedbrydningsproces har været i gang i tilstrækkelig lang tid til at sænke forureningsniveauet, overføres det behandlede vand til en udfældningstank 52 ved hjælp af en rørføring og en pumpe. Bundfældning ved henstand udgør et middel til fjernelse af de store mængder mikroorganismer, der trives i behandlingsområdet, såvel som af andet bundfældsmateriale, som indeholdes i vandet. De udfældede faste stoffer aftappes ved hjælp af drænrøret 54 til bortskaffelse eller til recirkulering. Det behandlede vand, som normalt stadig indeholder nogle mikroorganismer, fjernes fra bundfældningstanken 52 med henblik på recirkulering til genindsprøjtning-renderne 14 ved pumpning af vandet gennem rørføringen 56.

For at forøge den biologiske aktivitet i det kontaminede jordområde, anvender man midler til tilsætning af næringsstoffer til det behandlede vand. Derudover anvender man midler til at indsprøjte oxygen, i almindelighed i form af luft, og/eller andre gasarter ind i jorden og i grundvandet hele vejen igennem det forurenede område. De omtalte midler består af en tilsætningstank for næringsstoffer og et indsprøjtningssystem 58, som kan inkludere en aspirator på den pumpe, der er forbundet med tilførselsrøret for behandlet vand 56, hvorved vandet får

et højt indhold af opløste gasarter til genindsprøjtning. Derudover forbindes en luftningsmekanisme, såsom en sprede-enhed 35 til brønd-sumpene 34 til genindsprøjtningen, som vist på figur 3a og 3b, der befinder sig i genindsprøjtningens-renderne 14, og endvidere yderligere genindsprøjtningens-brønd-sumpe 18, der befinder sig i det kontaminerede område, som vist på fig. 1. Det behandlede vand genindsprøjtes i renderne 14 gennem en rørføring, der går ind i renden såsom den tidligere omtalte rørledning 32.

Apparatet inkorporerer midler til recirkulering af det behandlede vand til en position, der er i nærheden af det kontaminerede område. Den position, der vælges til genindføring af det behandlede vand indeholdende næringsstofferne, mikroorganismerne og gasarterne er placeret således, at det vand, som forlader placeringen for genindsprøjtningen, vil strømme gennem det kontaminerede område hen imod midlerne til vandudtagning. I denne forbindelse er midlerne til recirkulering af det behandlede vand de omtalte genindsprøjtningens-render 14. Disse genindsprøjtningens-render er dimensioneret og placeret i afhængighed af størrelsen af det kontaminerede område og af jordbetingelserne i dette område, således at vand, der genindsprøjtes i renderne, vil strømme ved naturlige grundvandsstrømningsbetingelser og/eller ved dirigeret strømning gennem det forurenede område hen imod afvandings-renden 10, som er dimensioneret og placeret således, at den vil modtage stort set alt det vand, der strømmer gennem det forurenede område.

For at belyse, at den biologiske stimuleringsproces fungerer til reduktion af niveauet af carbonhydrid-forurening af grundvandet, gennemførte man eksperimenter i et forsøgsanlæg. Prøver af forurennet grundvand blev pumpet fra et jorderområde, der var kontamineret med carbonhydridforbindelser og halogenerede carbonhydrid-forbind-

elser. Vandprøver på 10 liter udtaget fra det forurenede område blev holdt i en aktiveringstank (en fermentator) i 18 timer for at undergå en biologisk stimuleringsproces ved tilsætning af næringsstoffer og luft. Man pumpede luft ved et tryk på $16,5 \text{ N/cm}^2$ ($1,7 \text{ atm}$) gennem beluftningssystemet for at belufte væsken. Det behandlede vand blev derpå pumpet til en udfældningstank og endelig til en spildevandstank.

I det følgende er vist eksempler på de resultater, som er opnået ved eksperimenterne, og som viser, at niveauet af forurenede bestanddele kan reduceres ved anvendelse af fremgangsmåden ifølge opfindelsen, og at kulturerne af mikroorganismer kan opretholdes i meget lange tidsperioder. Hvert af de omtalte eksperimenter blev gennemført i en periode på flere dage og endte, mens mikroorganismekulturen stadig var i live. De resultater, der er anført for hvert eksempel, henfører til én 18-timers prøve under behandlingen. Der anvendes overalt følgende forkortelser:

COD - kemisk iltforbrug
DMA - dimethylanilin
TSS - total stofmængde i suspension
VSS - flygtig stofmængde i suspension
CFU - kolonidannende enheder
 MeCl_2 - methylenchlorid
ND - ikke-detekterbart
BuOH - n-butanol

EKSEMPEL 1

9 dages kørsel

Beluftningssystem - frittet glasrør med 10-15 μm huller, som dækker en overflade på $95,5 \text{ cm}^2$. Dette dækkede 23% af basisarealet i fermentatoren.

Luft - 10,4 liter/min/10 liter

	(mg/liter)	<u>COD</u>	<u>Acetone</u>	<u>MeCl₂</u>	<u>BuOH</u>	<u>PO₄</u>	<u>pH</u>
5	Start	6115	78	4725	501	106	5,8
	Slut	884	Spor	597	16	13	7,4

Opløst oxygen 6,1 mg/liter

10 Typisk oxygenoptagelse

(min)	0	1,5	3	4,5	6	7,5
(mg/l)	5,8	2,18	1,45	0,72	0,54	0

Total kimtal $>10^{15}$ cfu/ml

15

Faststof TSS 496 mg/liter; VSS 373 mg/liter

EKSEMPEL 2

20

24 dages kørsel

Beluftningssystem - frittet glastrør

Luft - 5,8 liter/min/10 liter

25

	(mg/liter)	<u>COD</u>	<u>MeCl₂</u>	<u>DMA</u>	<u>PO₄</u>	<u>pH</u>
	Start	297	10	59	12,3	6,9
	Slut	120	ND	ND	10,3	7,8

30

Opløst oxygen 6,4 mg/liter

Typisk oxygenoptagelse

(min)	0	10	20	30	40	50	60
(mg/l)	6,4	5,6	4,5	3,5	2,5	2,0	0,7

35

Total kimtal 10^8 cfu/ml

Faststof TSS 41 mg/liter; VSS 35 mg/liter

5 EKSEMPEL 3

15 dages kørsel

Beluftningssystem - frittet glasrør

10 Luft - 6 liter/min/10 liter

Opløst oxygen 2,9 mg/liter

	(mg/liter)	<u>COD</u>	<u>Acetone</u>	<u>MeCl₂</u>	<u>BuOH</u>	<u>PO₄</u>	<u>pH</u>
15	Start	3646	66	1171	1	53	5,9
	Slut	477	1	420	ND	8,12	8,0

Typisk oxygenoptagelse

	(min)	0	1	2	3	4	5
20	(mg/l)	2,9	2,0	1,69	0,36	0,36	0,36

Faststof TSS 426 mg/liter; VSS 360 mg/liter

25

30

35

P a t e n t k r a v :

5 1. Fremgangsmåde til behandling af grundvand og jord, der
er forurenede med carbonhydrid, til reduktion af forure-
ningsgraden, omfattende fjernelse af grundvandet fra en
position i jorden, som ligger i nærheden af og neden-
strøms i forhold til en grundvandstrøm gennem et jord-
område indeholdende carbonhydridforurening, behandling af
10 det fjernede vand og tilbageføring af det behandlede vand
til jorden, k e n d e t e g n e t ved, at

a) det fjernede vand behandles med næringsstoffer og gas-
ser, som egner sig til at reducere graden af carbon-
15 hydridforurening og stimulere væksten af mikroorganismer
som ernærer sig af carbonhydrider,

b) at i det mindste nogle af mikroorganismene og andre
sedimenter fjernes fra vandet,

20 c) at det behandlede vand, som indeholder mikroorganis-
mer, næringsstoffer og gasser, føres tilbage til jorden i
et område ovenstrøms i forhold til grundvandstrømmen
gennem det forurenede område i retning mod udtagelses-
25 positionen, og

d) at der på i sig selv kendt måde tilføres gasser til
jorden i det forurenede område.

30 2. Fremgangsmåde ifølge krav 1, k e n d e t e g n e t
ved, at grundvandet fjernes fra og føres tilbage til po-
sitioner, som omfatter render, der er dimensionerede til
i hovedsagen at isolere det grundvand, som strømmer gen-
nem det forurenede område.

35 3. Fremgangsmåde ifølge krav 1, k e n d e t e g n e t
ved, at behandlingen af grundvandet med næringsstoffer og

gasser finder sted i en beholder, idet blandingen af næringsstoffer, gasser og grundvand holdes i beholderen i et tidsrum, som tillader den biologiske nedbrydningsproces at finde sted.

5

10

15

20

25

30

35

FIG. 1.

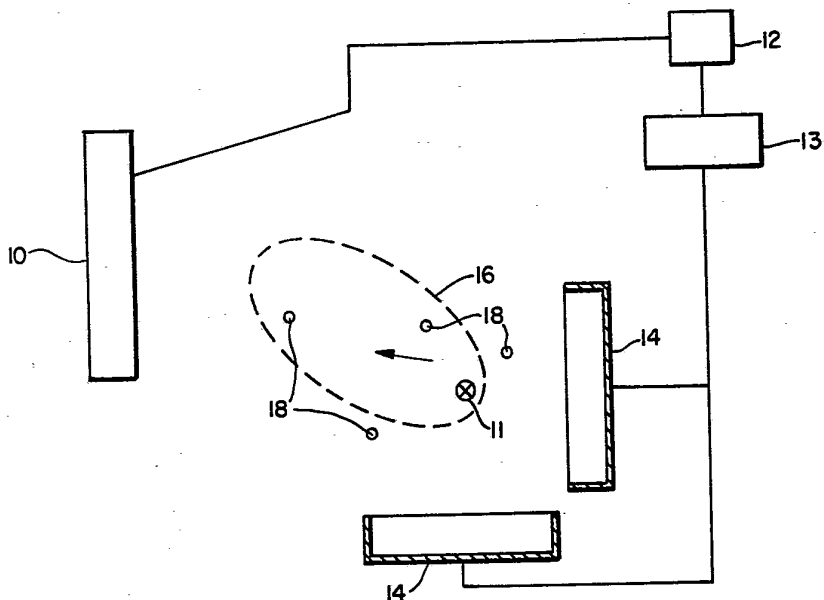


FIG. 2.

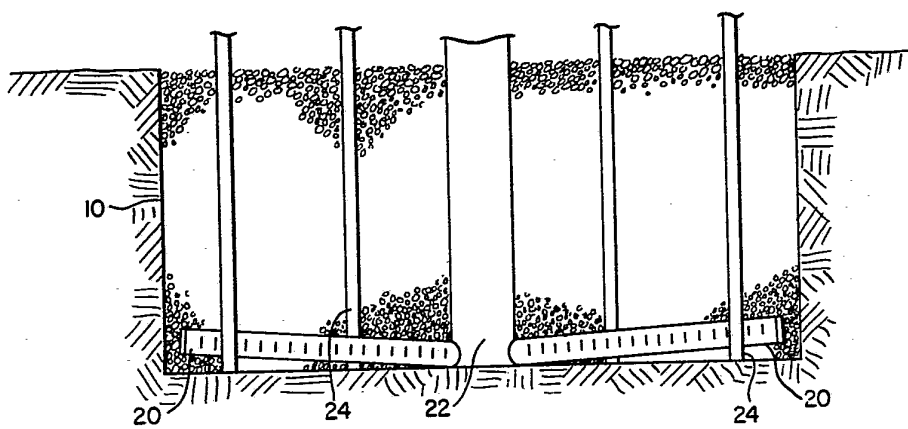


FIG. 3a.

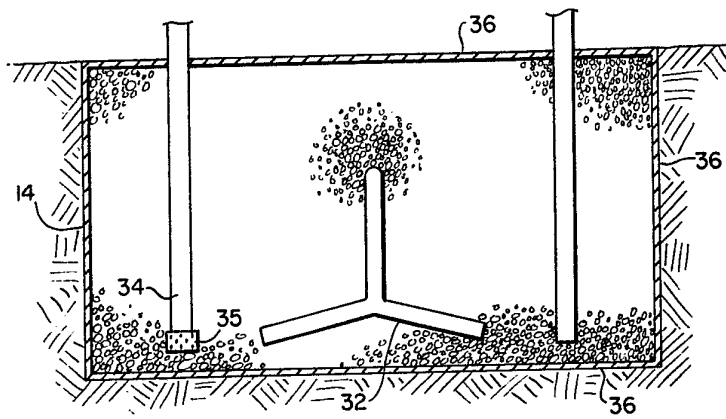


FIG. 3b.

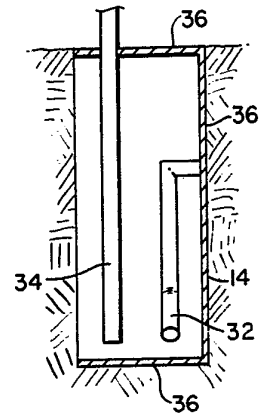


FIG. 4.

