



Det Danske Stålvalseværk, Frederiksværk
Håndtering af affaldsdepoter
Vurdering af foreliggende miljøundersøgelser

GEO projekt nr. 28917
Rapport 1, 2006-11-11

Udarbejdet for
Miljøstyrelsen
Att.: Specialkonsulent Jørgen G. Hansen
Jord og Affald
Strandgade 29
1401 København K

Udarbejdet af
Morten Kjærgaard, GEO
87412355, mok@geoteknisk.dk

Steen Kofoed Munch, GEO
Peter Kjeldsen, DTU

og

Kontrolleret af Jens Baumann, GEO

Frederiksborg Amt
Att.: Nils Kjellerup
Teknik og Miljø
Kongens Vænge 2
3400 Hillerød

Indhold:

1	Indledning og formål	4
2	Baggrund	5
2.1	Stålværkets etablering og drift	5
2.2	Affaldsdepoterne - efter produktionsstop	6
2.3	Affaldshåndteringen ved Det Danske Stålvælværk A/S	7
3	Kystvoldene	9
3.1	Historik	9
3.2	Kystsikring og kystvolde	9
4	Affaldsdepoterne 1-3	12
4.1	Historik	12
4.2	Depoternes opbygning	13
4.3	Affaldstyper og -mængder	16
5	Geologi, geoteknik og grundvandsforhold	20
5.1	Geologi	20
5.2	Geoteknik	20
5.3	Hydrogeologi	23
6	Kemiske analyser	26
6.1	Analyseresultater for faststofsprøver	26
6.2	Udvaskningsforsøg	26
6.3	Perkolatanalyser	27
6.4	Analyser fra gravninger	28
6.5	Kommentarer til tidligere foretaget estimering af udvaskning	28
6.6	Vurdering af datagrundlag	29
7	Vurdering af udsivningen fra depoterne 1-3	33
7.1	Indstrømning til Elektrostålværkshalvøen fra "fastlandet"	33
7.2	Udstrømmende forureningsflux fra affaldsdepoterne 1-3	35

7.3	Forureningskoncentration i udsivende grundvand.....	39
8	Supplerende undersøgelser.....	41
8.1	Affaldsdepoterne nedlukkes med tæt slutaafdækning	42
8.2	Affaldsdepoterne bliver liggende og åbnes	43
8.3	Udvalgte affaldstyper fjernes	44
8.4	Alt affaldet fjernes.....	47
9	Referencer	48

Bilag:

- 1 Analyseresultater fra faststofanalyser
- 2 Analyseresultater fra udvaskningsforsøg samt prøver fra kontrolbrønde
- 3 Beskrivelse af affaldstyper

Annekser:

- A Planskitse med angivelse af kystsikring og kystvold.
Bilag 7 fra /10/.
- B Tværsnit af kystvoldene. Bilag 8 og 9 fra /10/.

1 Indledning og formål

Miljøstyrelsen har, i samarbejde med Frederiksborg Amt, anmodet GEO om at vurdere foreliggende undersøgelser i forhold til den fremtidige håndtering af de efterladte affaldsdepoter på Det Danske Stålvalseværk A/S i Frederiksværk. Opgaven omhandler alene de tre efterladte affaldsdepoter (benævnt depot 1-3) og ikke de øvrige opfyldninger og deponeringer på stålvalseværkets område.

2006-03-09 besøgte Morten Kjærgaard og Thomas Carentius Larsen (GEO) affaldsdepoterne og kystdæmningen sammen med Jørgen G. Hansen (Miljøstyrelsen) og Nils Kjellerup (Frederiksborg Amt).

Ved efterfølgende møde hos Frederiksborg Amt gennemgik Nils Kjellerup kort de vigtigste undersøgelser og beslutninger, som han vurderede relevante for sagen. GEO fik endvidere udleveret en række dokumenter, som skulle danne grundlag for en vurdering /1-25/. Efterfølgende har vi modtaget supplerende materiale /26-28/.

Målet med projektet er at vurdere /29/, om eksisterende undersøgelser giver tilstrækkelig viden til efterfølgende at vurdere de miljømæssige påvirkninger (for arealanvendelse og ved udsivning til Roskilde Fjord) i forbindelse med følgende scenarier for den fremtidige håndtering af affaldsdepoterne:

1. Affaldsdepoterne bliver liggende og nedlukkes med tæt slutafdækning.
2. Affaldsdepoterne bliver liggende og åbnes inkl. etablering af perkolatopsamling med udledning enten til offentlig kloak eller recipient.
3. Udvalgte affaldstyper fjernes og deponeres/behandles/genanvendes andetsteds. Dvs. at den resterende del af depoterne bevares i reduceret form – med eller uden tæt slutafdækning.
4. Alt affaldet fjernes og bortskaffes/behandles/genanvendes andetsteds.

I forbindelse med scenarierne 3 og 4 skal der indgå en vurdering af et brev fra firmaet Cleanfield /24/ vedrørende bortskaffelsesmuligheder for affaldet eller dele heraf.

I GEO's vurdering vil der ikke indgå udarbejdelse af opblandingsmodeller til vurdering af påvirkningen af Roskilde Fjord og Frederiksværks Stålværkshavn, idet dette forudsættes gjort i den vurdering af udledningsforholdene, som i øjeblikket er under udarbejdelse af Rambøll, samt i de forestående beregninger af fortyndingsforholdene langs danske kyster og fjorde, der udføres af DHI.

2 Baggrund

2.1 Stålværkets etablering og drift

Det Danske Stålvalseværk A/S (herefter også kaldet DDS) blev grundlagt i 1940 /28/. Baggrunden var et ønske fra danske stålfabrikker om at sikre stabile forsyninger af stål, baseret på indenlandsk skrot. Placeringen i Frederiksværk blev valgt på grund af de naturlige forudsætninger for at anlægge en havn, den gode adgang til jernbane og vejnet samt til elektricitets- og ferskvandsforsyning (Arresøkanalen).

Det nye stålværk, som blev anlagt på en opfyldning i Roskilde Fjord, startede i 1942 med to Siemens-Martin ovne til smeltning af skrot samt et valseværk til udvalsning af profiler.

Virksomheden blev i 1949 udbygget med yderligere to Siemens-Martin ovne og yderligere et valseværk til produktion af stålplader. I 1960 blev der etableret et tentorværk til produktion af armeringsstål. Samme år blev et nyt pladevalseværk etableret.

I begyndelsen af 1960'erne blev virksomhedens areal udvidet første gang, idet der på en opfyldning mod syd blev etableret et såkaldt kontiværk, hvor profilstål bliver valset i én kontinuerlig proces.

Da virksomheden i løbet af 1960'erne manglede metallurgisk kapacitet til at kunne udnytte skrottet fuldt ud, blev det besluttet at etablere en kupolovn på virksomheden. Denne ovn blev taget i brug i 1967.

I 1974 gennemførtes endnu en opfyldning i fjorden vest for det eksisterende værk. På dette areal anlagdes Elektrostålværket, som forinden ibrugtagningen blev godkendt af det daværende Hovedstadsråd. Værket blev taget i brug i 1975. Skrotsmeltningen i dette værk skete ved hjælp af en elektrisk lysbue, en metode der var langt mere energioekonomisk end de indtil da anvendte smeltemetoder. Ved godkendelsen af Elektrostålværket i 1975 var det en betingelse, at produktionen på de gamle Siemens-Martin ovne ophørte i 1980. Ved tilladelse af 13.3.1979 forlængede Hovedstadsrådet dog denne frist til 1982. Såvel Siemens-Martin ovnene som kupolovnen blev imidlertid nedlagt i 1980.

Udstøbningen af det flydende stål foregik indtil 1975 udelukkende ved hjælp af enkeltstående kokiller, hvori stålet blev udstøbt i enkeltblokke. Fra starten i 1942, og indtil kontiværkets etablering, foregik den videre forarbejdning (udvalsningen) af disse blokke i det der i dag betegnes Pladeværket. Med Kontiværkets bygning i 1965 blev udvalsning til profiler og tråd flyttet over i dette værk.

Med ibrugtagningen af Elektrostålværket i 1975 indførtes et helt nyt støbeprincip, den såkaldte "strengstøbning". Med denne teknik sker udstøbningen af stålet i princippet i uendeligt lange "streng", som siden skæres over i såkaldte slabs og knipler. Slabs vales ud til plader, knipler til profiler og tråd. Strengstøbningsteknikken medførte et væsentligt højere udbytte end den hidtil anvendte blokstøbningsteknik. Elektrostålværket

var fra starten kun forsynet med et anlæg for støbning af slabs, idet knippelstøbningsanlægget først blev etableret i 1980.

I 1986 etableredes et skemetallurgianlæg i Elektrostålværket. Hermed flyttede raffineringen af stålet fra skrotsmeltningsovnene i elektroovnshallen til den såkaldte skeovn (også en lysbyeovn), som var placeret i den tilstødende skehal. Udstøbningen af stålet sker efter raffinering direkte fra disse skeer og over i de nævnte strengstøbningsanlæg for slabs og knipler. Etableringen af skeovnen gav mulighed for en forøget udnyttelse af kapaciteten i de to elektroovne, hvor skrotsmeltningen sker.

En mere detaljeret beskrivelse af processerne på Elektrostålværket findes i Frederiksborg Amts miljøgodkendelse fra 2004 /27/.

2.2 Affaldsdepoterne - efter produktionsstop

DDS blev erklæret konkurs den 28. juni 2002. Affaldsdepoterne 1-3 tilhører stadig konkursboet. Der vurderes i den nuværende situation ikke at være noget fremtidigt behov for at oplagre eller deponere produktionsaffald på området.

Frederiksborg Amt har afgjort /27/, at deponeringsanlægget er omfattet af bestemmelserne i Deponeringsbekendtgørelsen /38/. Ifølge denne bekendtgørelse skal der for alle bestående deponeringsanlæg udarbejdes en overgangsplan, hvorefter anlægget revurderes af tilsynsmyndigheden med henblik på at opnå godkendelse for fortsat drift – alternativt at få meddelt påbud om nedlukning. Efter anke afgjorde Miljøstyrelsen den 25. oktober 2002, at konkursboet er forpligtet til at udarbejde en overgangsplan for depoterne 1-3 ved DDS.

I forbindelse med konkursbehandlingen på DDS har konkursboet ikke udarbejdet denne overgangsplan. Frederiksborg Amt besluttede derfor at udarbejde overgangsplanen /15/ som en selvhjælpshandling efter miljøbeskyttelsesloven. Idet deponeringsanlægget ikke fortsat skal modtage affald, har overgangsplanen form af en nedlukningsplan /16/.

Frederiksborg Amt har 15. april 2004 påbudt konkursboet at nedlukke og overvåge depoterne efter den overgangsplan, som amtet har fået udarbejdet. Kurator i konkursboet har påklagede påbudet til Miljøstyrelsen.

Miljøstyrelsen ophævede 10. februar 2005 amtets påbud og hjemviste sagen. Under forløbet har Miljøstyrelsen anført, at styrelsen fortsat mener, at der kan meddeles påbud efter miljøbeskyttelsesloven til konkursboet. Når påbudet ophæves, skyldes det først og fremmest, at styrelsen mener, at formuleringen af påbudets vilkår/indhold er for upræcise.

Den 9. marts 2005 påklagede Frederiksborg Amt Miljøstyrelsens afgørelse af 10. februar 2005 til Miljøklagenævnet.

Frederiksborg Amt har endvidere anmeldt krav i konkursboet efter Det Danske Stålvalseværk A/S. Kravene vedrører amtets udgifter til konsulentbistand til udarbejdelse af overgangsplan, til reparationer, som amtet har udført på depoterne, samt til nedlukning og monitorering af depoterne i 10 år. Frederiksborg Amt har anlagt sag mod konkursboet ved retten i Frederikssund og fået dom for, at boet er forpligtet til at udrede disse udgifter.

2.3 Affaldshåndteringen ved Det Danske Stålvalseværk A/S

Stålvalseværkets affald, hovedsageligt i form af ovnslagge, blev blandt andet benyttet til etablering af Slaggemolen, som ligger nordvest for elektrostålværket. Molen var oprindeligt projekteret som adgangsvej til en planlagt højovnsø, men selv om planerne for højovnen blev skrinlagt, udnyttedes opfyldningstilladelsen til moleanlægget fortsat. Deponeringen i molen foregik fra 1955 til omkring 1984 /4/.

Uden miljøgodkendelse deponerede Det Danske Stålvalseværk A/S igennem en årrække affald i vandet og på opfyldte områder beliggende vest og syd for elektrostålværket /10/.

Det fremgår ikke helt klart, hvornår der er sket opfyldning af arealet, hvor affaldsdepoterne 1-3 nu ligger. I 1974 gennemførtes en opfyldning i fjorden hvorpå Elektrostålværket blev opført /28/. I forbindelse med vurdering af sætninger i området, har Enviroplan A/S gennemgået de af DDS opgivne indvejede mængder af skrot for tidsperioden 1965 - 90 /8/. Tallene, som findes gengivet i tabel 1, viser, at der blev oplagret skrot, på det areal hvorpå affaldsdepoterne 1-3 nu ligger, allerede inden opførelsen af Elektrostålværket.

Periode	Mængde oplagret skrot (tons)	Oplagringsareal (m ²)
1965 - 71	145.000	27.800
1971 - 75	250.000	27.800
1972 - 75	315.000	30.100
1975 - 80	20.000	14.300
1980 - 90	56.700	14.300

Tabel 1. Oplagrede skrotmængder i etape II og den nordlige del af etape I (svarende til affaldsdepoterne 2 og 3). Mængderne er opgjort som den oplagrede skrotmængde over kote ca. 2 (DNN). Opfyldning i området under denne kote er således ikke medtaget.

I efteråret 1989 bliver Frederiksborg Amt opmærksom på de ulovlige deponeringer og meddeler Det Danske Stålvalseværk A/S, at deponeringerne (der flere steder er udført i form af volde ud mod kystlinien og derfor kaldes "kystvoldene") skal standses. Fra 1989 og frem til 2002, hvor DDS stoppede produktionen, er deponering foregået i depoterne 1-3; se afsnit 4.1.

I efteråret 1989 anmoder Frederiksborg Amt endvidere Det Danske Stålvalseværk A/S om at fremkomme med forslag til sikring af det opfyldte områdes kystlinie, således at

det hurtigt sikres, at erosionen i kystvoldene og den deraf følgende tilførsel af affald til Roskilde Fjord forhindres /10/. I maj 1990 fremkommer DDS med et forslag til sikring af kystlinien. Dette forslag revideres senere bl.a. på baggrund af ny viden om kystvoldenes ringe stabilitet.

Med breve af 24. og 31. august 1990 meddelte Frederiksborg Amt DDS påbud om, at der hurtigst muligt skulle foretages en midlertidig sikring af kysten, at DDS skulle fremkomme med et forslag til en mere permanent sikring af kysten, samt at DDS skulle komme med en redegørelse for sammensætningen af det deponerede materiale, og for hvor og hvordan affaldet i kystvoldene kunne bortskaffes/opbevares på en miljømæssigt set forsvarlig måde.

Med baggrund i ovennævnte påbud er der i løbet af 1991 og 1992 gennemført omfattende kystsikring af dele af kysten langs det opfyldte område ved Elektrostålværket. Kystsikringen er nærmere beskrevet i afsnit 3.2.

DDS har omkring 1990 søgt at klarlægge, hvilke affaldstyper der er deponeret i voldene og i hvilke mængder. DDS oplyser, at de fremkomne resultater er overslagsmæssige, da der ikke på noget tidspunkt er foretaget nogen registrering af de deponerede fraktioner. Overslaget er derfor baseret på interview, kortmateriale og mængdemæssige vurderinger i forhold til den viden om virksomhedens produktionsforhold, som kendtes omkring 1990.

DDS oplyser således, at voldene er opbygget af forskellige affaldstyper, idet hovedparten er elektroovns slagge. Det oplyses, at størstedelen af fraktionerne har et forventet forureningsindhold svarende til niveau III og opefter, jf. Frederiksborg Amts deponeringsregler fra december 1991 for forurennet og rensset jord (se tabel 2) /42/.

Chrom	Nikkel	Kobber	Zink	Bly	Cadmium
500	500	2.000	10.000	1.000	10

Tabel 2. Nedre grænse for indhold af visse tungmetaller i "niveau III" jord (mg/kg TS).

3 Kystvoldene

3.1 Historik

Det fremgår ikke klart, hvornår der er sket opfyldning af arealet, hvor affaldsdepoterne 1-3 nu ligger; se rapportens afsnit 2.3. I efteråret 1989 bliver Frederiksborg Amt opmærksom på deponeringerne, og meddeler Det Danske Stålvalseværk A/S at deponeringerne (der flere steder er udført i form af volde ud mod kystlinien og derfor kaldes "kystvoldene") skal standses. I 1991/92 er affaldet i kystvoldene modelleret til en egentlig vold, og der er udført kystsikring på det meste af kysten ud for det oplagrede affald.

I forbindelse med Frederiksborg Amts kapitel 5 godkendelse af den samlede virksomhed /10/ blev der i 1994 stillet krav om udførelse af afværgeforanstaltninger i form af supplerende kystsikring samt en afdækning af affaldet i kystvoldene med lavpermeabel skeovnslagge.

3.2 Kystsikring og kystvolde

Som nævnt i afsnit 2.3 er kystvoldene opbygget af affald fra DDS (hovedsageligt elektroovnslagge). For at beskytte kystvoldene mod erosion er der udført en egentlig kystsikring samt en afdækning af affaldet med lavpermeable lag. Udstrækningen af det kystsikrede område fremgår af annek A.

3.2.1 Kystsikring

Punktsikring

På de dele af kysten, som var mest udsat for bølgeerosion, er der foretaget en såkaldt punktsikring /10/. Punktsikringen er udført i 1991 ved udlægning af skeovnslagge (godkendt af Frederiksborg Amt den 20. juni 1991), hvorpå der blev lagt en geotekstil og herover endvidere et lag mindre sten, som drænlag, efterfulgt af et lag større sten.

Den egentlige kystsikring

Station -15 til 80:

Som underlag krævede Frederiksborg Amt udlagt en vævet geotekstil (min. 300 kN/m) /10/. Herpå skulle der udlægges et lag skeovnslagge, et filterlag af 20 cm ral samt en slutafdækning med grabsten.

Station 80 til 600:

På grund af blød bund kunne tunge konstruktioner ikke etableres i umiddelbar tilknytning til kystlinien. I stedet blev der etableret en fremskudt kystbeskyttelse i form af to hølfer, hvorimellem der anlagdes et stenrev, der skulle fungere som bølgebryder.

For at opnå en æstetisk tilfredsstillende afslutning af ydersiden af kystvoldene etablerede Det Danske Stålvalseværk A/S yderligere en sikring svarende til punktsikringen. Herud-

over forventede Det Danske Stålvalseværk A/S, at skeovnsslaggen kunne være medvirkende til at forhindre udsivning af tungmetaller fra det bagved liggende affald.

Station 600 til 860:

Da opfyldningen på stedet bestod af skeovnsslagge, som blev delvist bortgravet for at rette kysten ud, var det ikke nødvendigt at udføre kystbeskyttelsen med en membran af denne slagge.

3.2.2 Kystvoldenes afdækning

Under hele kystvolden findes stærkt sætningsgivende aflejringer af gytje. I de tidligere opbyggede volde sås en del sætninger, opskydning af fjordbunden ud for volden og dybe trækrevner bag den nordlige kronekant (station 494 til 680), svarende til et dybt rotationsbrud under volden /10/.

Kystvolden er ud fra variationen i skrænternes hældning, og ud fra vurderingen af eventuelle risici for stabilitetsproblemer, opdelt i afsnit, hvor der er anvendt en af følgende tre forskellige metoder (løsninger) til afdækning:

Løsning 1 (se anneks B); station -15 til 55 samt 160-210:

Efter fjernelse af større ujævnheder afrettes og afdækkes skrænten med mindst 20 cm skeovnsslagge. Voldens krone afrettes med skeovnsslagge til en jævn flade med et tværfald på 10 promille ud mod fjorden. Over afretningslaget udlægges et 10 cm tykt beskyttelseslag af grus, som afdækkes med en 1,0 mm tyk LDPE-geomembran. Geomembranen beskyttes med en non-woven geotekstil (min 400 g/m²) på overfladen.

Langs voldens vestlige kronekant etableres en drænrende, som følger faldet på voldkronen i længderetningen. I længdeprofilets dybdepunkter etableres opsamlingsbrønde med rørlagt afløb ned langs skrænten til foden af samme. Langs kørevejen på voldens krone, og på den vestlige skrænt, slutafdækkes med muld. På skrænten skal muldlaget beskyttes mod erosion ved overdækning med en erosionsmåtte, der forankres med jordspyd pr. 1-2 m². Muldklædte flader tilplantes med hårdføre vækster.

Løsning 2 (se anneks B); station 55 til 160 samt 210 til 516:

Skrænten afrettes med skeovnsslagge, men der udlægges ikke noget lag af skeovnsslagge. Konstruktionen er herudover som beskrevet for løsning 1. Dog skal muldafdækningen på skrænten fastholdes mod nedskridning ved hjælp af en geocelle-konstruktion med jordspyd.

Løsning 3 (se anneks B); station 516 til 680:

Efter afretning af voldens vestlige skrænt og kronen udlægges et beskyttende lag af non-woven geotekstil (min 400 g/m²), ovenpå hvilket der udlægges en min 1,0 mm tyk LDPE geomembran. Til slutafdækning udlægges en armeret geomåtte, der muldfyldes (ca. 2 cm muld). Langs voldkronens vestlige kant etableres en drænrende, hvori geomåtten

forankres. Drænrenden skal forhindre overfladevand fra voldkronen i at strømme ned over skrænterne.

I forbindelse med løsning 3 kan der ikke plantes buske eller lignende, men kun foretages tilsåning med græsser.

4 Affaldsdepoterne 1-3

4.1 Historik

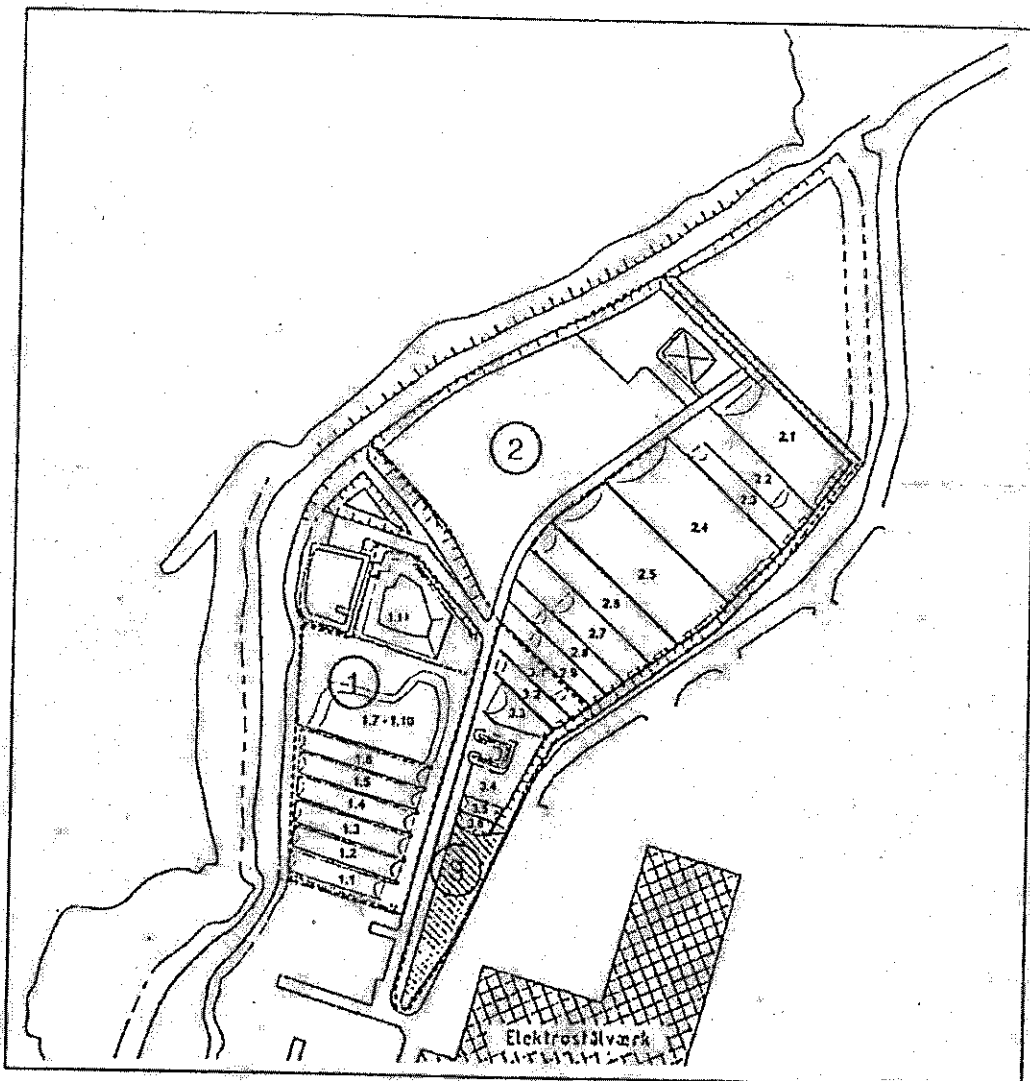
Som nævnt i afsnit 2.3 deponerede Det Danske Stålvalseværk A/S igennem en årrække affald (bl.a. fra et skrotrensingsanlæg) i vandet og på opfyldte områder beliggende vest og syd for elektrostålværket /10/. Det fremgår ikke klart, hvornår der er sket opfyldning af arealet, hvor affaldsdepoterne 1-3 nu ligger. I 1974 gennemførtes en opfyldning i fjorden hvorpå Elektrostålværket blev opført /28/, men Enviroplans gennemgang /8/ af de af DDS opgivne indvejede mængder af skrot for tidsperioden 1965 – 90 indikerer, at der blev oplagret skrot, på det areal hvorpå affaldsdepoterne 1-3 nu ligger, allerede inden opførelsen af Elektrostålværket.

Fra 1989 og frem til 2002, hvor DDS stoppede produktionen, er deponering foregået i depoterne 1-3, der har følgende godkendelser /16/:

- Depot 1: Støvdepot.
Miljøgodkendt 27. december 1989. Godkendelsen af depotet er senere indarbejdet i Frederiksborg Amts samlede miljøgodkendelse af DDS i juni 1994.
- Depot 2: Permanent Depot anvendt som mellemlager – produktionsaffald.
Permanent depot for produktionsaffald – blev miljøgodkendt 17. juni 1993.
- Depot 3: Depot for særligt affald.
Blev miljøgodkendt med Frederiksborg Amts samlede miljøgodkendelse i juni 1994.

En miljøgodkendelse for hele DDS, inklusiv depoterne 1-3, blev meddelt af Frederiksborg Amt d. 21. juni 1994 /10/. Den endelige godkendelse er meddelt af Miljøklagenævnet den 21. september 1999.

Udgangspunktet for deponeringen har været, at det deponerede affald skulle kunne udtages igen for slutdisponering eller for genanvendelse. Aktuelt er der sket genanvendelse af store mængder deponeret affald.



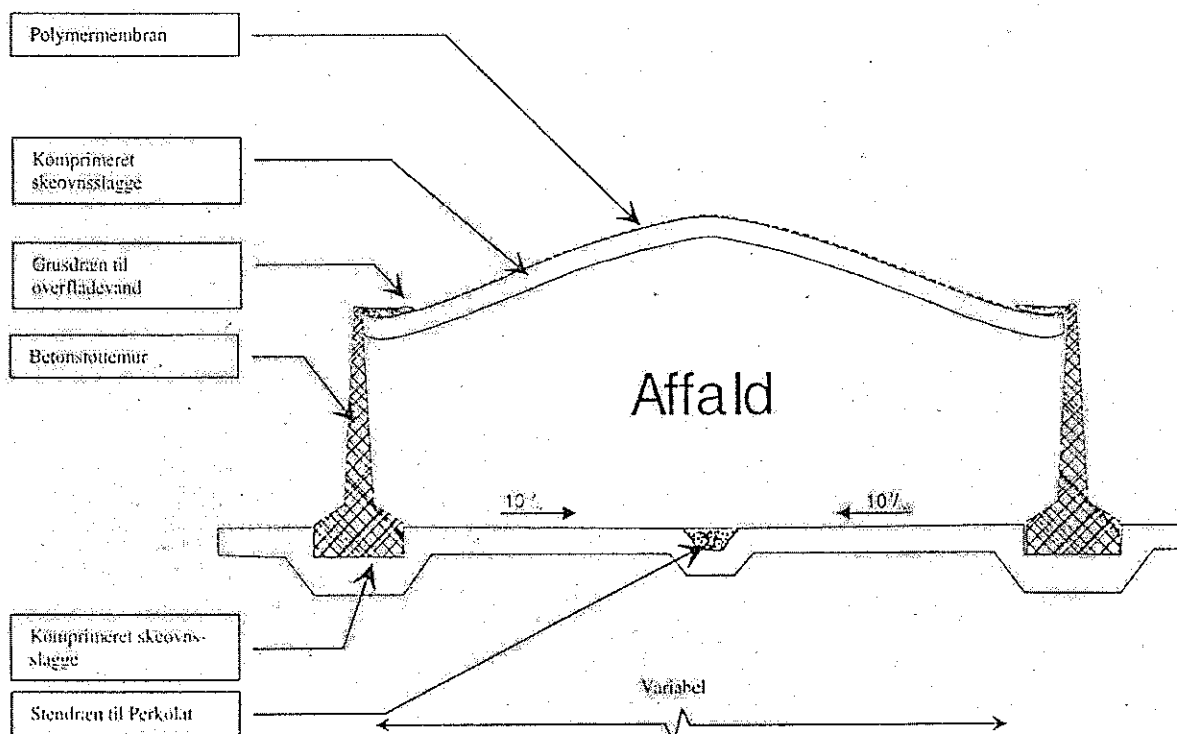
Figur 1. Situationsplan over affaldsdepoterne 1-3 med celleopdeling /16/.

4.2 Depoternes opbygning

Frederiksborg Amt opfatter de tre depoter som ét deponeringsanlæg. Deponeringsanlægget er opdelt i flere celler, hvor affald med ensartede udvaskningsegenskaber er deponeret sammen, jf. afsnit 4.3. Deponeringsanlæggets overordnede opdeling i de tre depoter samt i mindre celler fremgår af figur 1.

Udgangspunktet for deponeringen har dels været, at det deponerede affald skulle kunne udtages igen for slutdisponering eller genanvendelse, dels at der under indfyldningsperioden og i den efterfølgende oplagsperiode ikke måtte ske en udvaskning af affaldet og dermed en perkolatdannelse.

Efterfølgende beskrivelse af affaldsdepoternes opbygning stammer i det væsentlige fra den udarbejdede overgangsplan /16/.



Figur 2. Principtværsnit af affaldscellerne i etaperne 2 og 3 /16/.

4.2.1 Cellernes opbygning

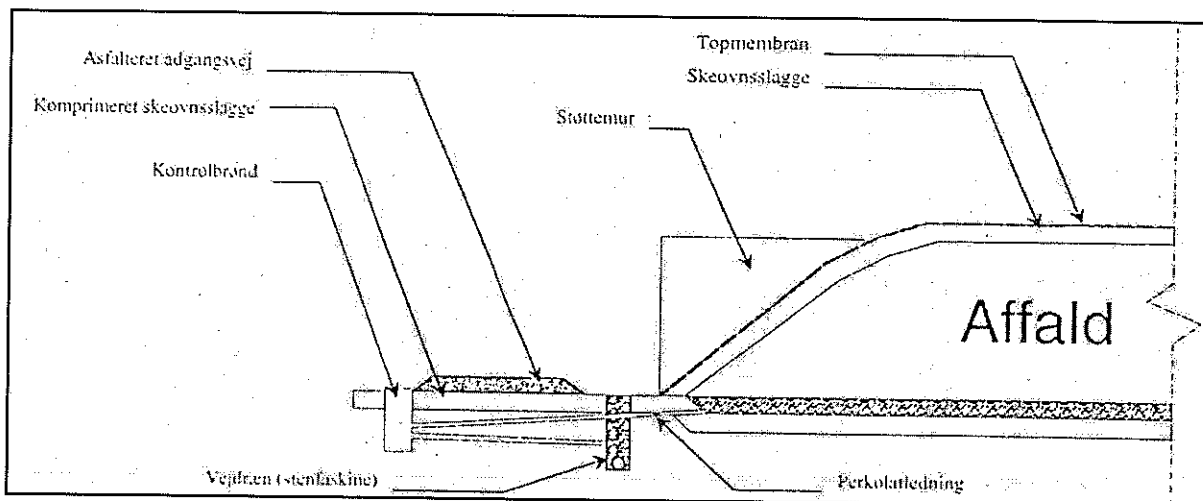
I etaperne 2 og 3 er de enkelte celler opbygget med en lodret afskærmning mellem cellerne i form af plan-silo elementer i beton, med en bundforsegling i form af et min. 0,5 m tykt lag af komprimeret skeovns-slagge og en topforsegling i form af et lag komprimeret skeovns-slagge overdækket af en polymermembran, jf. fig 2. I etape 1 er affaldscellerne adskilt med volde af skeovns-slagge.

I cellernes indfyldningsperiode er fronten holdt afdækket med presenninger, og der er løbende etableret topforsegling bag fronten. Under indfyldningsperioden, og efter etablering af topforsegling, forhindres regnvand derved i det væsentlige i at trænge ind til affaldet, hvorved også dannelsen af perkolat stort set forhindres.

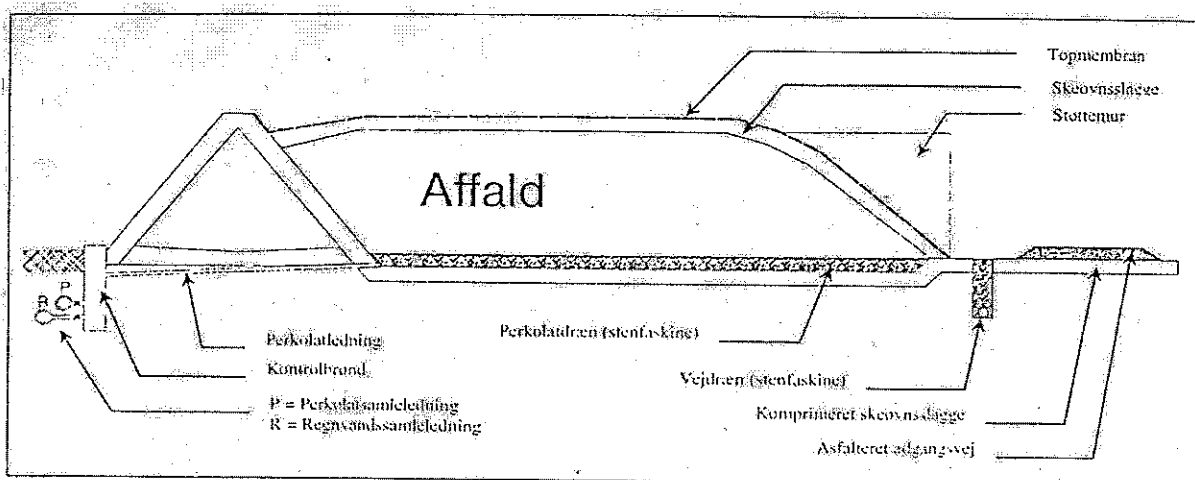
4.2.2 Overflådevand og perkolat

I bunden af de enkelte celler er der etableret langsgående dræn i form af stenfasiner med en indbyrdes afstand af 8-11 m. Bunden af cellerne er udformet med en tagformet hældning på ca. 10 ‰ mod dræne, se fig. 2.

I de langsgående stendræn er der installeret drænrør, som via en tæt ledning er forbundet til en kontrolbrønd uden for cellen, jf. skitserne i fig. 3 og 4.



Figur 3. Længdesnit gennem en celle i depot 1 /16/.



Figur 4. Længdesnit gennem en celle i depot 2 /16/.

Det grundlæggende princip for driften var helt at undgå perkolatdannelse ved at holde affaldet afdækket hele tiden. Afhængigt af stedet af indfyldningen i den enkelte celle er det opsamlede vand blevet håndteret som følger:

- **Depot 1:**

Vand opsamlet i bunddrænene fra ubenyttede celler, og fra celler under indfyldning, ledes fra kontrolbrønden til vejdrænet langs den asfalterede adgangsvej. Når indfyldningen var afsluttet, og topforseglingen etableret, formodedes der ikke at være perkolatproduktion, og ledningen mellem kontrolbrønden og vejdrænet

blev afproppet. Kontrolbrøndene blev jævnligt inspiceret for perkolatindhold, idet en eventuel perkolatproduktion ville indikere en defekt topforsegling.

Overfladevand, der opsamledes over topforseglingen, blev ledt til vejdrænet.

Alt vand i vejdrænet ledes via en tæt ledning til pumpestation syd for depoterne og herfra til udløb i Roskilde Fjord. Se figur 5.

- **Depot 2 og cellerne 3.1-3.6:**

I ubenyttede celler, og i celler under indfyldning, var stikledningen mellem kontrolbrønden og perkolatsamleledningen afproppet i kontrolbrønden. Vand, som blev opsamlet i bunddrænene, blev således ledt fra kontrolbrønden til regnvandsledningen langs depotets yderside, jf. fig. 5, og videre til pumpestationen i celle 3.4 og herfra til udløb i Roskilde Fjord.

Når indfyldningen var afsluttet, og topforseglingen etableret, formodedes der ikke at være perkolatproduktion. Forbindelsen mellem kontrolbrønden og regnvandsledningen blev derfor afproppet, og forbindelsen til perkolatsamleledningen blev åbnet.

Overfladevand, som opsamles over topforseglingen, ledes via regnvandsledningen langs depotets yderside til den interne pumpestation og videre til udløb i Roskilde Fjord.

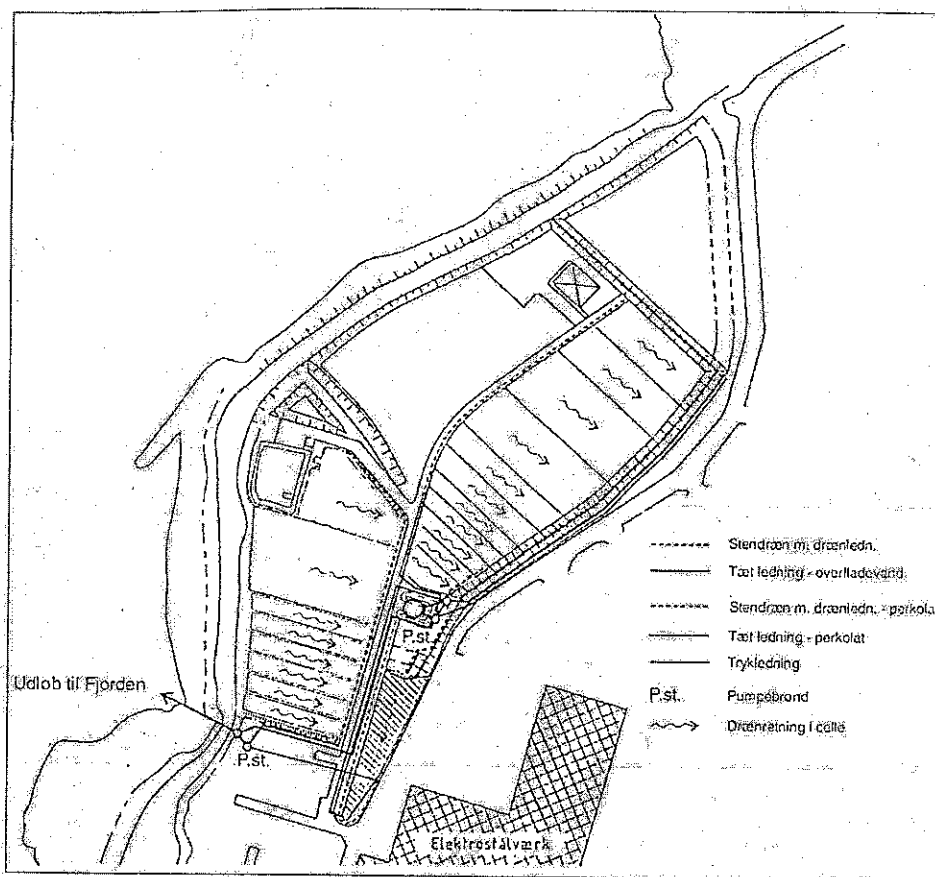
Alt vand, som opsamles i vejdrænet, ledes via en tæt ledning til pumpestationen i celle 3.4 og herfra til udløb i Roskilde Fjord.

- **Depot 3 (ekskl. Celle 3.1-3.6):**

Denne del af depot 3 er opfyldt, og der er etableret slutafdækning. Eventuel perkolat opsamles via et centralt stendræn og ledes til en kontrolbrønd placeret udenfor og umiddelbart syd for depotet. Der er ikke afløb fra kontrolbrønden, og der er ikke konstateret perkolatdannelse, siden depotet blev topforseglet /16/.

4.3 Affaldstyper og -mængder

I tabel 3 fremgår en oversigt over deponerede affaldstyper og mængder (pr. 2001-08-01) i depot 1-3. Pr. 1. januar 2001 var der deponeret i alt deponeret ca. 105.000 tons affald i depot 1-3. Affaldstyperne er nummereret med et typenummer, som bl.a. anvendes i forbindelse med miljøgodkendelserne. I bilag 3 findes en oversigt over, hvordan de enkelte affaldsprodukter er fremkommet. Oplysningerne er primært baseret på miljøgodkendelsen fra 2004 samt affaldsplaner fra Det Danske Stålvalseværk A/S /27, 12/. De kemiske analyser af affaldet er beskrevet i afsnit 6.



Figur 5. Overordnede føringsveje for overfladevand og perkolat /16/.

I forhold til de deponerede mængder (pr. 2001-08-01), som fremgår af tabel 3, indeholder affaldsdepoterne 1-3 i dag materiale fra yderligere knapt 1 års deponering, idet deponeringen først ophørte ved konkursen i juni 2002.

Den årlige produktion af affald til affaldsdepoterne 1-3 /13/ fremgår af tabel 4.

De tre depoter indeholder en lang række forskellige affaldstyper hidrørende fra stålproduktionen på Det Danske Stålvalseværk A/S. Affaldstyperne 2, 8, 9.1, 9.4, 9.5 og 10 er primært højtemperaturaffaldstyper, der ikke vil have organisk indhold. Affaldstyperne 7.2 og 7.5 er blandede typer (støvsugerstøv), der formentlig mest indeholder uorganiske fraktioner, men som også kan indeholde organiske fraktioner. Affaldstypen "Jord fra skrotrens" kan bl.a. indeholde træ samt have væsentligt organisk indhold hidrørende fra diverse plastmaterialer samt olie hidrørende fra det skrottede metalholdige materiale (fx fra biler, maskiner og lignende).

Celle	Deponerede affaldstype	Type nr.	Mængder (t)	Kg TS/kg	% af celle opfyldt*	Kilde
Depot 1	Totalt i depot		28.265			
1.1	Blandet støvsugerstøv	7.2	1.311	0,95	87	11, 15, 12
	Blandet støvsugerstøv	7.2	637	0,95		11, 15, 12
1.2	Støvsugerstøv fra veje	7.5	1.032	0,89	100	11, 15, 12
1.3	Blandet støvsugerstøv	7.2	1.324	0,95	100	11, 15, 12
1.4	Blandet støvsugerstøv	7.2	1.591	0,95	100	11, 15, 12
1.5	Flammehøvlstøv	8	777	1	100	11, 15, 12
	Støvsugerstøv fra veje	7.5	2.009	0,89	100	11, 15, 12
1.6	Flammehøvlstøv	8	338	1		11, 15, 12
1.7	Jord fra skrotrens 1. og 2 gangs sorteret	11.1	10.352	0,87	64	11, 15, 12
1.8	Jord fra skrotrens 1. og 2 gangs sorteret	11.1		0,87		11, 15, 12
1.9	Jord fra skrotrens 1. og 2 gangs sorteret	11.1		0,87		11, 15, 12
1.10	Jord fra skrotrens 1. og 2 gangs sorteret	11.1		0,87		11, 15, 12
1.11	Jord fra skrotrens 2 gange rensset	11.1		8.894		0,87
Depot 2	SUM		71.316			
2.1	Skeovnsslugge (saltvandsoverbruset)	2	11.242	0,77	98	6, 11, 15, 12
2.2	Tom		0		0	11, 15, 12
2.3	Udhug fra skeer, gammelt samt rest	9.1	4.885	0,87	84	11, 15, 12
2.4	Sten og støv fra bjørnekasse	9.4	18.956	0,86	100	11, 15, 12
2.5	Oprens fra kipstande	9.5	17.753	0,92	100	11, 15, 12
2.6	Oprens fra kipstande	9.5	9.700	0,92	100	11, 15, 12
2.7	Skærver og glødeskaller fra adjustage	10	4.749	0,98	57	11, 15, 12
2.8	Støvsugerstøv fra veje	7.5	2.309	0,89	72	11, 15, 12
2.9	Blandet udhug (chamotte)	09	1.722	0,89	69	11, 15, 12
Depot 3	SUM		5.367			
	Niveau III jord	12.70	19	1	7	11, 15, 12
	Niveau III jord	12.74	14	1		11, 15, 12
	Niveau III jord	12.82	116	1		11, 15, 12
	Niveau III jord	12.97	14,7	1		11, 15, 12
3.1	Niveau III jord	13.06	0,94	1		11, 15, 12
3.2	Niveau III jord	12.36	2.000	1	100	11, 15, 12
	Niveau II jord	12.59	1.353	1	100	11, 15, 12
3.3	Niveau II jord	12.60	963	1		11, 15, 12
3.4	Tom		0		0	11, 15, 12
3.5	Niveau II jord	12.90	486	1	59	11, 15, 12
	Niveau III jord	12.43	150	1	100	11, 15, 12
3.6	Niveau III jord	12.53	250	1		11, 15, 12

*: Jf. /12/ er opfyldningsprocenten i depot 2 ikke helt så høj, som den fremgår af ovenstående tabel.

Tabel 3.

Oversigt over deponerede affaldstyper og mængder i depot 1-3 pr. 2001-08-01.

Affaldstype	Årlig produktion (ton) /13/
2. Skeovns slagge	3.500
7.2. Blandet støvsugerstøv	49
7.5. Støvsugerstøv fra veje	417
8. Flammehøvlstøv	-
9.1. Udhug fra skeer, gammelt samt rest	-
9.4. Sten og støv fra bjørnekasse	2.287
9.5. Ørens fra kipstande	1.799
09. Blandet udhug	352
10. Skærver og glødeskaller fra adjustage	359
11.1. Jord fra skrotrens (sorteret)	2.477
12.3?. Niveau II-III jord	Ca. 1.000 (anslået)

Table 4. Årlig produktion af affald til deponi fordelt på affaldstyper /13/.
Baseret på en stålproduktion på 840.000 t/år.

Der foreligger ikke tilgængelige oplysninger om analyser fra affaldsdepot 3. Jf. /11/ blev depotet anvendt til jord og forurenede materialer fra anlægsprojekter på Stålvalseværkets område, hvor koncentrationen af et eller flere tungmetaller overstiger niveau II jord jf. Frederiksborg Amts deponeringsregler for forurenede og rensede jord. Det fremgår af affaldsplanen /12/, at ca. halvdelen af den deponerede mængde er materialer, der overskrider niveau II, mens den øvrige del overskrider niveau III. I tabel 2 fremgår den nedre grænse i 1995 for indholdet af visse tungmetaller i niveau III jord /42/.

Det må forventes, at niveau II-III jorden/materialerne, foruden tungmetaller (et eller flere) svarende til minimum niveau III, også kan have væsentlige indhold af andre forureningskomponenter herunder olie, PAH'er og andre organiske forbindelser.

5 Geologi, geoteknik og grundvandsforhold

5.1 Geologi

De udførte undersøgelser /8, 30, 31/ viser, at der inden opfyldningen generelt fandtes stærkt sætningsgivende dynd- og gytjelag, med mægtigheder på op til ca. 10 m, på hele det område, hvor Elektrostålværks-halvøen findes i dag. Herunder findes postglaciale lag (sand/silt og enkelte steder ler), som typisk har organisk indhold i de øverste 5 til 10 m. Det skal dog bemærkes, at der ikke i det foreliggende materiale findes geotekniske boringer på selve det aktuelle depotareal. Der er således alene kendt geologisk viden om områderne under Elektrostålværket, samt under kystsikringen og på det vanddækkede område mellem kystsikringen og slaggemolen.

Den skønnede geologi fremgår af figur 6 og 7 /8/. På figur 6 er der angivet koter til undersiden af de stærkt sætningsgivende gytje-aflejringer, og på figur 7 findes et omtrent nordøst-sydvest gående geologisk længdesnit gennem affaldsdepoterne. Figureerne er udarbejdet på grundlag af boringer fra 1990 /31/.

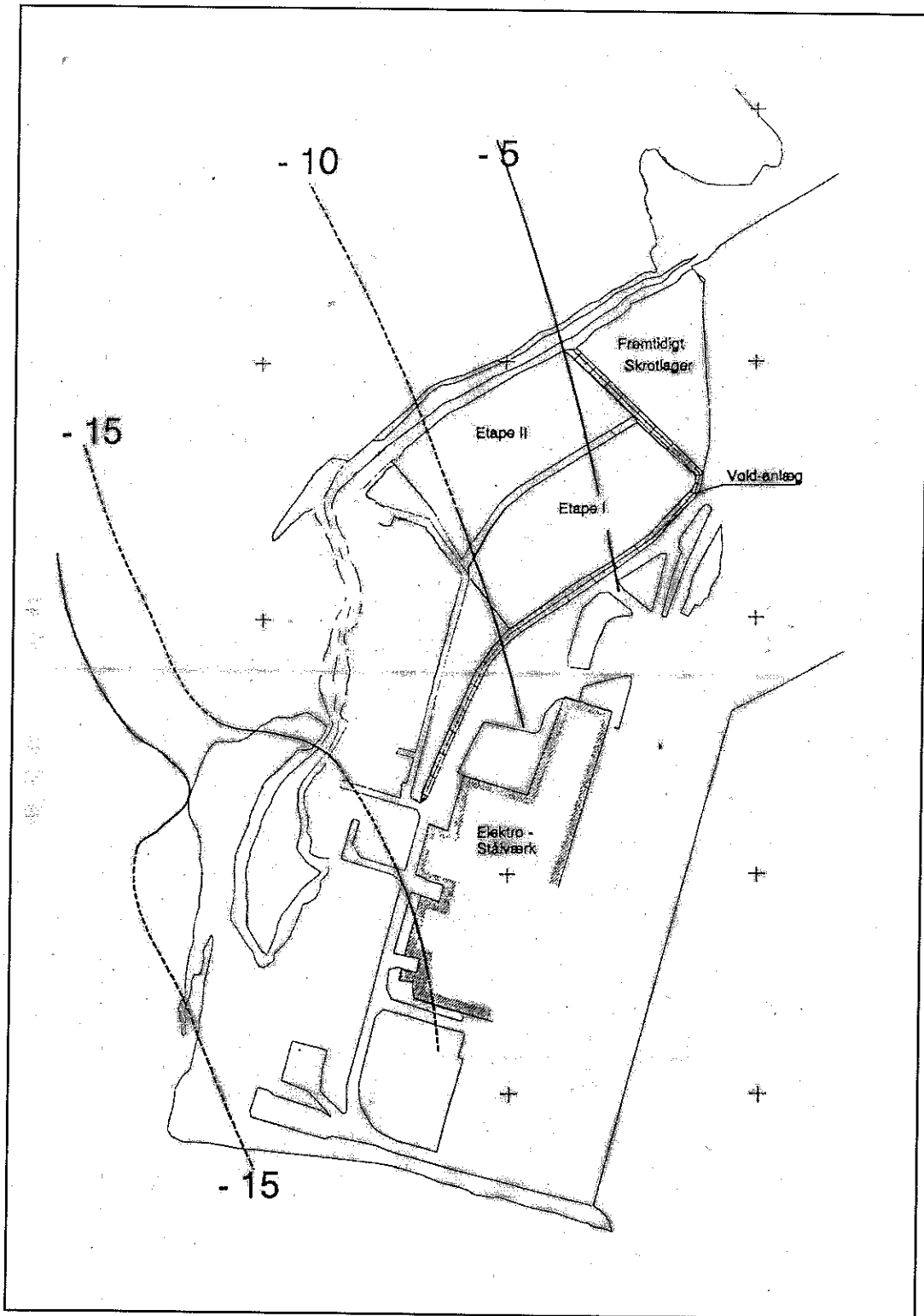
Den generelle opfyldning i området har tilsyneladende dels fortrængt de øverste lag af gytje, og dels medført sætninger, således at undersiden af fyld-materialerne ligger i kote -6 eller derunder.

Som det fremgår af figurene, må der forventes stærkt sætningsgivende gytje-lag af en begrænset tykkelse, ca. 6 m, under størstedelen af det aktuelle areal, mens der under en mindre del af arealet, den sydligste del af affaldsdepoterne, må forventes tykkelser af gytjelaget på mellem 5 og 10 m.

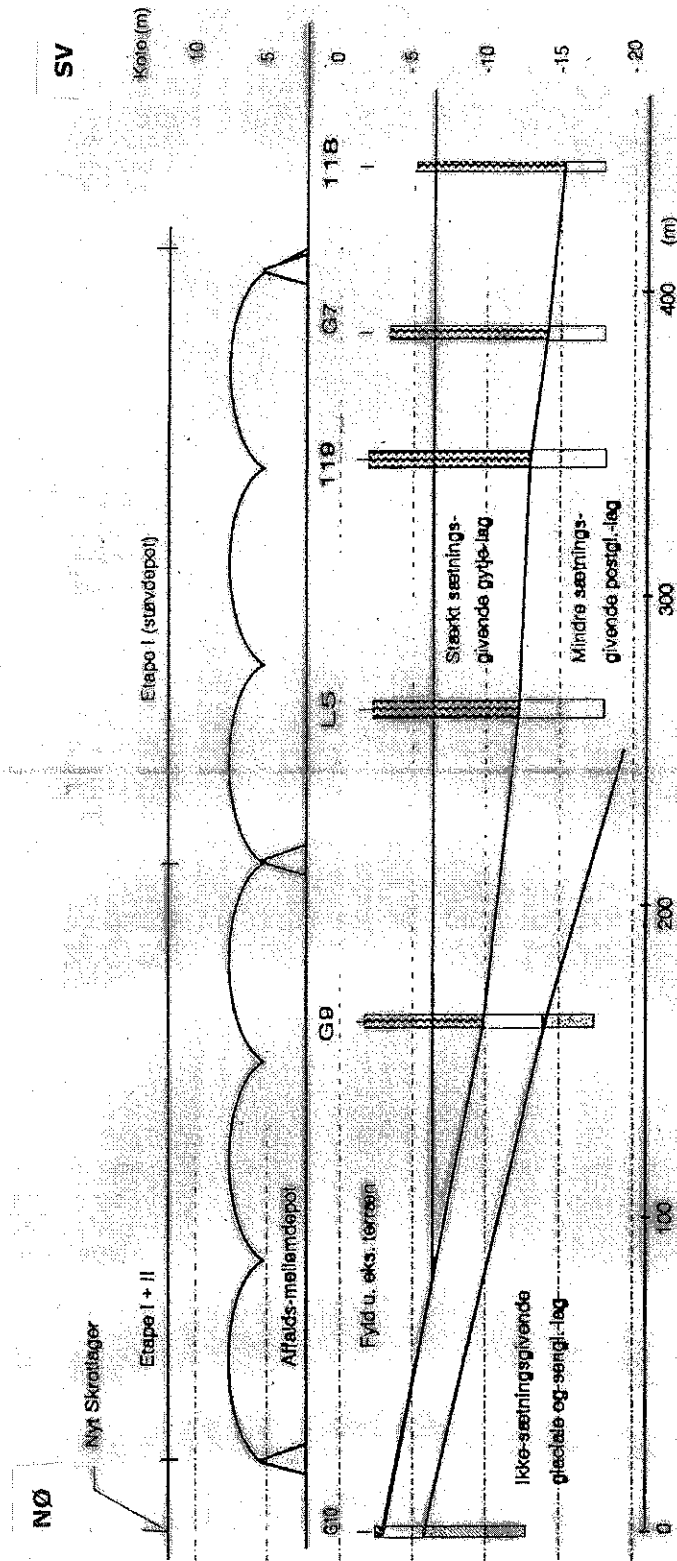
Over gytjen er der opfyldt med sand, hvor Elektrostålværket ligger, eller med affald fra Det Danske Stålvalseværk A/S. På området, hvor affaldsdepoterne 1-3 ligger, er der inden etableringen af disse, opfyldt med affald fra stålvalseværket til kote ca. 2,0. Som nævnt i afsnit 2.3 er der benyttet forskellige affaldstyper, idet hovedparten er elektroovns slagge.

5.2 Geoteknik

De seneste kontrolmålinger af bevægelser i affaldsdepoterne 1-3 er foretaget i oktober 2004 /19/. Disse målinger viser, at der fortsat er betydelige differensbevægelser – såvel lodret som vandret – to år efter at deponeringerne i affaldsdepoterne 1-3 ophørte.



Figur 6. Koter til underside af stærkt sætningsgivende gytjeaflejringer /8/.



Figur 7. Et skitseret nordøst-sydvest gående snit gennem affaldsdepoterne /8/.

Da de gennemførte deformationsmålinger viser, at hele området har sat sig betydeligt, må det forventes, at der samtidig er sket en sammentrykning af de sætningsgivende lag. Dermed må det formodes, at der er sket en tilsvarende konsolidering af de sætningsgivende lag.

Da der mangler kendskab til såvel den aktuelle geologi, som de aktuelle deformationsforhold, vurderes det samlet set, at det, ud fra de foreliggende oplysninger, ikke er muligt at fremkomme med et kvalificeret bud på det fortsatte deformationspotentiale i affaldsdepoterne.

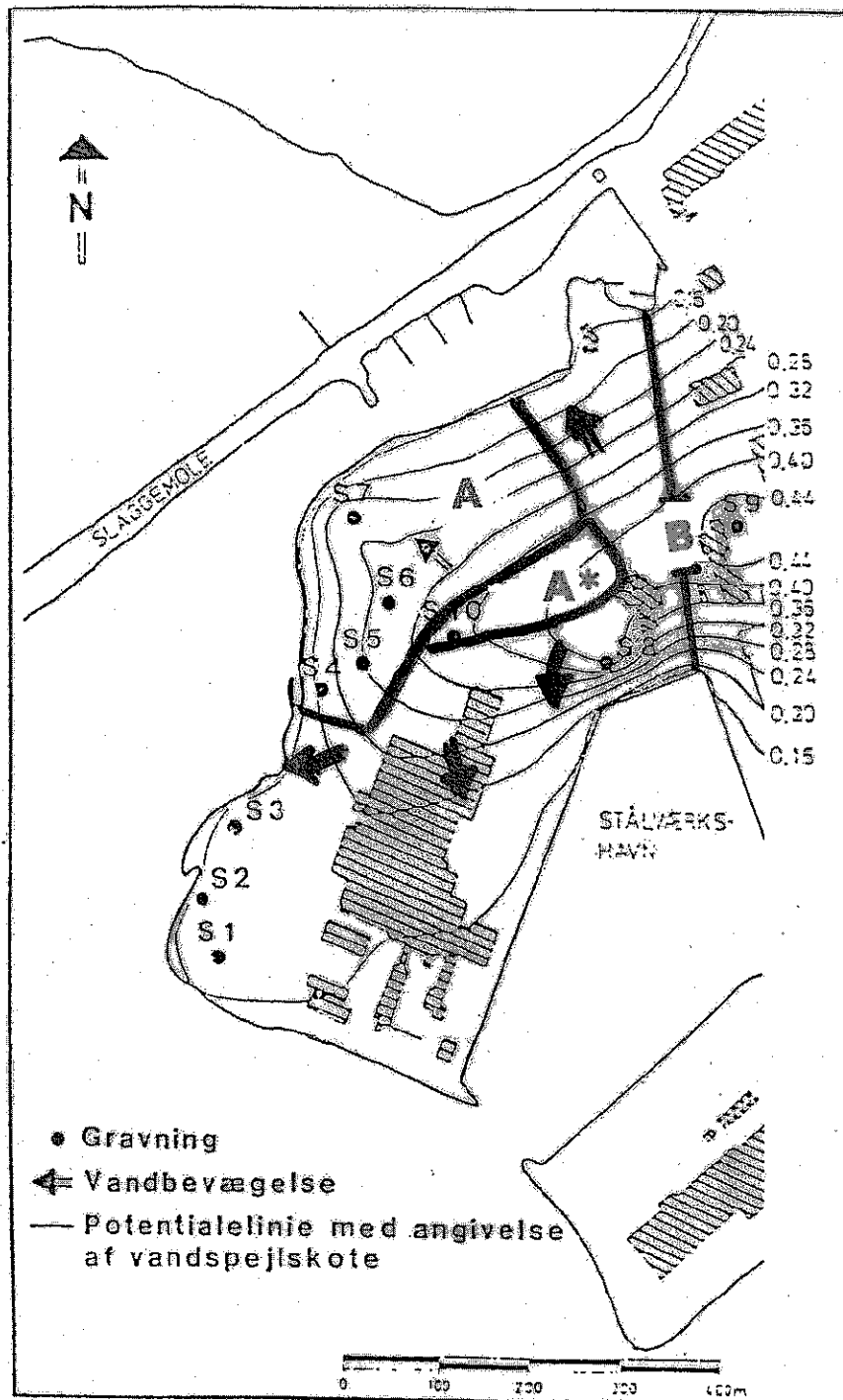
5.3 Hydrogeologi

5.3.1 Strømningsretninger

Vandkvalitetsinstituttet har i perioden 21. januar – 21. februar 1988, ud fra 10 gravninger hvori der blev nedsat pejlerør, udført daglige pejlinger af grundvandsstanden i elektrostålværks-halvøen. På figur 8 ses et skitseret potentialekort /3/. Det må dog bemærkes, at der kun er målt potentialer over en relativt kort tidsperiode, og at der kan være store årstidsvariationer i strømningsretningen. Den hydrauliske gradient må formodes at være ret usikkert bestemt på halvøens "flanker". Da måleserien er mere end 18 år gammel, kan der endvidere være sket ændringer i indvindingsforholdene for Frederiksværk by, og dermed i grundvandspotentialet.

Hvor elektrostålværkshalvøen møder fastlandet, er grundvandets strømningsretning på den nordlige del nordvestlig stik imod bugten ved Slaggemolen, mens strømningsretningen på den sydlige del er stik imod Stålværkshavnen. Kun på en mindre strækning løber grundvandet fra fastlandet ud i Stålværkshalvøen. Umiddelbart skønnes strækningen, hvorover der sker strømning ud i Elektrostålværkshalvøen, at være omkring 75 m.

Under affaldsdepoterne 1-3, som ligger op til halvøens omtrent nord-sydgående grundvandsskel (se figur 8), har grundvandet en nordlig til vestlig strømningsretning. Dette betyder, at nedbør, som falder på den nordlige, østlige eller sydlige del af halvøen, generelt vil strømme væk fra affaldsdepoterne 1-3 og dermed ikke bidrage til at fortynde den perkolat, som siver ud fra affaldsdepoterne. Uden for affaldsdepoterne er der således kun et relativt lille område på halvøen (skønsmæssigt omkring 15.000 m²), hvorfra nedbøren via grundvandet strømmer under affaldsdepoterne; området er angivet som A* på figur 8. Figuren snyder dog lidt, idet der på depotområdet (mærket A på figur 8) også findes områder uden affald, hvor nedbøren vil strømme under affaldsdepoterne og dermed bidrage til fortynding af eventuel perkolat, ligesom der findes områder som afvandes direkte til fjorden (fx veje og kystdæmningen). Depotområdet (mærket A på figur 8) kan deles op i det område, hvor der ligger affald (16.000 m² ifølge /15/), et område som afvandes direkte til fjorden (groft skønnet til 40.000 m²) og et område hvor nedbøren vil sive som grundvand ud under affaldscellerne (groft skønnet til 15.000 m²).



Figur 8. Potentialekort over Elektrostålværkshalvøen.
 Modificeret efter /3/.

5.3.2 Hydrauliske ledningsevner

Den 31. august og den 1. september 1988 udførte Vandkvalitetsinstituttet korttidsprøvepumpninger fra de etablerede filterrør S2, S5 og S9 (se placeringen på fig. 8) /3/. Filterrørene er filtersat i affald fra vandspejlsniveau til ca. 1 m under vandspejl. Ud fra prøve-

pumpningerne, og ud fra lagtykkelserne af det vandførende lag, blev der bestemt de i tabel 5 angivne hydrauliske ledningsevner.

Filterrør (prøvepumpningssted)	Hydraulisk ledningsevne - k (m/s)
S2	$2,0 \times 10^{-3}$
S5	$1,5 \times 10^{-4}$
S9	$2,0 \times 10^{-4}$

Tabel 5. Hydrauliske ledningsevner i grundvandsmagasiner (opfyldning med affald og eventuelt indfyldt sand) bestemt af Vandkvalitetsinstituttet /3/.

Et grundvandsmagasins hydrauliske ledningsevne er en parameter, som ofte er dårligt bestemt, og som typisk kan variere en eller to størrelsesordener.

De ud fra prøvepumpningerne fundne hydrauliske ledningsevner (k-værdier) på Elektro-stålværkshalvøen varierer imidlertid kun en enkelt størrelsesorden, hvilket tyder på en vis homogenitet. Den hydrauliske ledningsevne bestemt i depotområdet (boring S5) ligger i øvrigt nær gennemsnittet af de bestemte hydrauliske ledningsevner; se tabel 5. I beregningen af de hydrauliske ledningsevner har man dog overalt skønnet en tykkelse af grundvandsmagasinet på 4 m, hvilket er en meget usikker størrelse for området hvor affaldsdepoterne ligger, idet der ikke findes boringer i dette område.

Alt i alt vurderes den hydrauliske ledningsevne derfor bestemt med nogen usikkerhed.

5.3.3 Vandstandsvariationernes betydning

De udførte pejlinger viser endvidere, at potentialerne på den sydlige del af halvøen (pejlepunkterne S1 - S3 på fig. 8) er kraftigt påvirket af vandspejlsændringer i fjorden/havnen, mens potentialerne på halvøens nordlige del, herunder affaldsdepoterne 1-3, slet ikke, eller kun i meget ringe grad, er påvirket af vandspejlsændringer i fjorden/havnen.

Dette betyder, at vandspejlsændringer i fjorden/havnen, herunder tidevandseffekt, kun vil have meget ringe, eller slet ingen, betydning for grundvandstransporten under affaldsdepoterne 1-3, og dermed heller ingen betydning for fortyndingen af nedrivende perkolat.

Da bunden af affaldsdepoterne 1-3 ligger i kote ca. 2, vil tidevandet aldrig medføre vandstuvning i selve affaldsdepoterne og dermed heller ikke medvirke til stofudvaskning herfra.

6 Kemiske analyser

6.1 Analyseresultater for faststofsprøver

I perioden fra 1995-2002 er der udtaget og analyseret op til 16 prøver af affaldet i de enkelte celler /12/. Forbehandlingen af prøverne fremgår ikke, men de er sandsynligvis neddelt til en vis kornstørrelse inden syreoplukning og analyse.

Derudover har VKI i 1990 fået udleveret prøver, som er benyttet dels til faststofanalyser, dels til kolonneforsøg og batchtests. Faststofanalyserne er foretaget efter neddeling af prøver, som VKI har fået udleveret. Da der ikke foreligger faktuelle oplysninger om, hvor prøverne er udtaget, tager VKI forbehold for, om de udleverede prøver er udtaget repræsentativt.

En oversigt over analyseresultater af faststofprøver fremgår af bilag 1.

Det kan ikke umiddelbart vurderes, om de af VKI i 1990 udførte udvaskningstest er udført på faststof, som afviger kemisk fra de for DDS løbende udtagne faststofprøver, og som dermed også afviger fra det affald, der i dag er deponeret i depoterne 1-3.

En gennemgang af analyseresultaterne (se bilag 1) viser dog, at resultaterne af VKI's faststofanalyser ligger indenfor det interval, som afgrænses af analyseresultaterne fra de løbende udtagne (1995-2002) faststofprøver.

På baggrund af den forventede inhomogenitet og forskel i kornstørrelse må der forventes en ret stor spredning i resultaterne fra fastofanalyser.

Fra VKI's analyser og de senere løbende udførte faststofanalyser findes analyseresultater for tungmetaller, for affaldstype 1.11 ("jord fra skrotrens") findes endvidere olieanalyser. For nogle affaldstyper er historikken usikker, hvorfor der kan være behov for analyser for andre forureningskomponenter.

For det deponerede affald i depot 3 er der ikke tilgængelige oplysninger om faststofsanalyser.

6.2 Udvasningsforsøg

En undersøgelse foretaget af VKI i 1990 /6/ rapporterer en større undersøgelse af udvaskningen fra Stålvalseværkets affaldstyper med gennemførelse af tre typer tests:

- A. Vandopløselighedsforsøg (batchforsøg) ved $L/S = 4$.
- B. pH-statisk udvaskning v. $L/S = 100$ og $pH = 4$.
- C. Kolonneforsøg ved $L/S = 0-2$.

I tabel 6 findes en oversigt over udførte udvaskningsforsøg for de enkelte affaldstyper /6/. Udvaskningsforsøg af typerne B og C er kun udført for 4 af de 11 affaldstyper. Ud- vaskningsforsøg af type A er udført for 8 af de 11 affaldstyper. Der er ikke udført ud- vaskningstest på affaldstyperne 09, 10 og 12.3x.

Resultatet af de udførte udvaskningstest fremgår af bilag 2.

Affaldstype	Fraktion	A	B	C
Skeovnslagge (saltvandsoverbruset)	2	X	X	X
Blandet støvsugerstøv	7.2	X		
Støvsugerstøv fra veje	7.5	X	X	X
Flammehøvlstøv	8	X	X	X
Udhug fra skeer, gammelt samt rest	9.1	X		
Sten og støv fra bjørnekasse	9.4	X		
Oprens fra kipstande	9.5	X		
Blandet udhug	09			
Skærver og glødeskaller fra adjustage	10			
Jord fra skrotrens (sorteret)	11.1	X		
Niveau III-jord	12.3x			

Tabel 6. Oversigt over udførte udvaskningsforsøg for de enkelte affaldstyper /6/. Blanke celler indikerer, at der ikke findes tilgængelige resultater (eventuelt er der ikke udført udvaskningsforsøg).

6.3 Perkolatanalyser

I 2004 er der udtaget prøver fra de kontroldræn, som ligger i bunden af de enkelte celler.

Der er ved analyserne af vandprøverne fra drænene under de enkelte celler ikke påvist væsentlige indhold af forureningskomponenter /20/. Resultaterne fremgår af bilag 2, hvor de, opdelt på affaldstyper, er sammenholdt med resultaterne fra de udførte udvaskningstest.

Nogle af cellerne er ikke helt fyldt op og derfor ikke afdækket i toppen over hele arealet. Regnvand kan således direkte løbe til drænrenderne fra de ubenyttede dele af cellerne. Vandet fra kontrolbrøndene i disse celler repræsenterer derfor en blanding af perkolat og regnvand.

Hvad angår de celler, hvor kapaciteten er udnyttet fuldt ud, burde der, hvis topafdækningen var fuldstændig tæt, ikke være vand i kontroldrænene. Der er dog jf. /20/ påvist vand i langt de fleste dræn. Det er således usikkert, hvad vandet i kontrolbrøndene fra disse celler repræsenterer. Ud fra pH-værdierne i bilag 2 fremgår det, at vandet i brøn-

dene er påvirket af depotet. Der er dog ikke konstateret væsentlige indhold af metaller, og påvirkningen stammer derfor sandsynligvis ikke fra selve de deponerede materialer men, muligvis fra regnvand som har været i kontakt med bl.a. skeovns slaggen.

På baggrund af ovenstående usikkerheder vurderes det, at analyserne fra kontrol- og ventilbrønde ikke med sikkerhed kan sige noget om den aktuelle udvaskning fra depoterne.

6.4 Analyser fra gravninger

I 1987 har VKI foretaget 10 udgravninger, bl.a. i det område hvor de nuværende depoter 1-3 ligger. Gravningerne er foretaget i det deponerede affald - omkring grundvandspejlet. I forbindelse med gravningerne er der etableret filterrør (Ø 125 mm PVC) i gravningerne, med en filterstrækning fra grundvandspejlet til ca. 1 m under grundvandspejlet. Der er efterfølgende udtaget vandprøver fra disse filterrør.

I flere af vandprøverne er der jf. /2/ konstateret kraftig forurening med olie (op til 17 mg/l), phenol (op til 1,4 mg/l), cresoler (op til 2 mg/l) og xyleneoler (op til 27 mg/l). Derudover er der i flere af vandprøverne konstateret væsentlige indhold af metaller.

6.5 Kommentarer til tidligere foretaget estimering af udvaskning

VKI har estimeret udvaskningen af tungmetaller fra depoterne på basis af de udførte udvaskningstests /9/. De anvender maksimale koncentrationer fra kolonneforsøg for affaldstyperne 7.5 og 11.1 samt resultater fra udførte batchforsøg ved $L/S = 4$ for de resterende affaldstyper. Der ganges en stoffs specifik faktor på resultatet af batchforsøget for at opnå den koncentration, der benyttes i vurderingen. Den stoffs specifikke faktor beregnes for alle forureningskomponenter som den største afvigelse mellem $L/S = 4$ forsøgene og de udførte kolonneforsøg. Det fremgår af tabel 7, at denne faktor ikke er ens for de affaldstyper, hvor der både er udført kolonne- og batchforsøg. På den baggrund må det anses som temmelig usikkert at basere vurderingen på resultater, der stammer fra en blanding af forskellige udvaskningsforsøg. VKIs vurdering omhandler ikke depot 3.

I /15/ forsøges udvaskningen af tungmetaller fra depoterne estimeret på basis af de udførte udvaskningstests. Den oprindelig rapport /6/ optræder ikke i referencelisten, og det virker som om, at de benyttede data for udvaskningen er baseret på indirekte referencer. Estimationen er alene baseret på vandopløselighedstestene (kolonneresultaterne benyttes ikke), samt at nogle udvaskningsdata skønnes, til trods for at der er udført analyser. Dette betyder bl.a., at den estimerede udvaskning for affaldstype 8 (flammehøvisstøv) er kraftigt overestimeret (selv hvis der benyttes resultater fra kolonnetesten - som er udført for affaldstype 8). Til gengæld er udvaskningen (på kort sigt) for affaldstype 7.5 underestimeret, da udvaskningen for $L/S < 1$ (kolonneforsøg) er op til 30 gange højere end ved $L/S = 4$ (batchforsøg).

Affaldstype	Afvigelsesfaktor (eks: $C_{Pb-L/S=0,1}/C_{Pb-L/S=4}$) mellem resultatet fra udvaskning ved L/S=0-0,1 (enkeltprøve) og L/S=4 ved VKIs undersøgelse fra 1990 /6/. I de tilfælde hvor udvaskningsresultatet fra L/S=4 > L/S=0-0,1 sættes faktoren til 1.					
	Pb	Cd	Zn	Ni	Cr	Cu
2. Skeovns slagge	1	180	1	10	7,5	10
7.5. Støvsugerstøv fra veje	115	140	2	130	1	8,5
8. Flammehøvlstøv	2	140	1	1	1	10

Tabel 7. Afvigelsesfaktor mellem resultatet fra udvaskning ved L/S=0-0,1 (enkeltprøve) og L/S=4 ved VKIs undersøgelse fra 1990 /6/.

I forhold til vurdering af udvaskningen fra depot 3 anvendes der i /15/ data fra en undersøgelse af stofkoncentrationer i vandet under depotet foretaget af VKI i 1988 /3/ ca. 6 år før depot 3 miljøgodkendes. Under alle omstændigheder påbegyndes deponeringen i depot 1-3 ikke før 1989 og resultaterne fra vandprøverne udtaget i /3/ vurderes derfor ikke at kunne anvendes til vurdering af udvaskningen fra depot 3.

6.6 Vurdering af datagrundlag

Kolonneforsøgene med et L/S-forhold på 0,1-2 simulerer den indledende udvaskning fra depoterne. Batchforsøgene med et L/S-forhold på 4 simulerer udvaskning i den efterfølgende periode, mens de pH-statiske forsøg med et L/S-forhold på 100 simulerer udvaskningen på meget langt sigt.

I tabel 8 fremgår de beregnede udvaskningstider, som de 3 typer udvaskningsforsøg repræsenterer. Beregningen er foretaget ud fra nedenstående formel /9/:

$$t = t_0 + (L / S) * (dd / dw) * (H / k * i)$$

hvor følgende indgår:

t: Udvaskningstid (år).

*t*₀: Tiden fra depotet anlægges til forekomsten af det første perkolat.

dd: Det deponerede affalds massefylde (g/cm³).

dw: Det gennemstrømmende vands massefylde (1,0 g/cm³).

H: Deponiets gennemsnitshøjde.

i: Nettoinfiltrationen af nedbør.

k: En faktor der angiver hvor stor en del af nettonedbøren der infiltrerer gennem affaldet.

Beregningen er foretaget for både et lukket og et åbent depot. Det er antaget, at infiltreringen i et åbent depot er 200 mm/år baseret på en nettonedbør i Frederiksværk på 250 mm samt 50 mm afløb på overfladen. For et lukket depot anvendes en nedsivning på 25

mm/år, svarende til 10% af nettonedbøren. Dette tal er medtaget, fordi det fremgår af tidligere beregninger /9/, men tallet er baseret på et gæt, og der bør foretages mere eksakte undersøgelser af infiltreringen gennem depoterne. Derudover antages det, at højden af deponiet er ca. 4 m, og at affaldet har en rumvægt på mellem 1,3 og 2,0 t/m³ /6, 9/.

	Lukket deponi	Åbent deponi
L/S=0,1-2	10-500	2-60
L/S=4	500-1.000	80-120
L/S=100	17.000-27.000	2.000-3.000

Tabel 8. Beregnede udvaskningstider (år) ud fra det L/S-forhold, som de 3 typer udvaskningsforsøg repræsenterer.

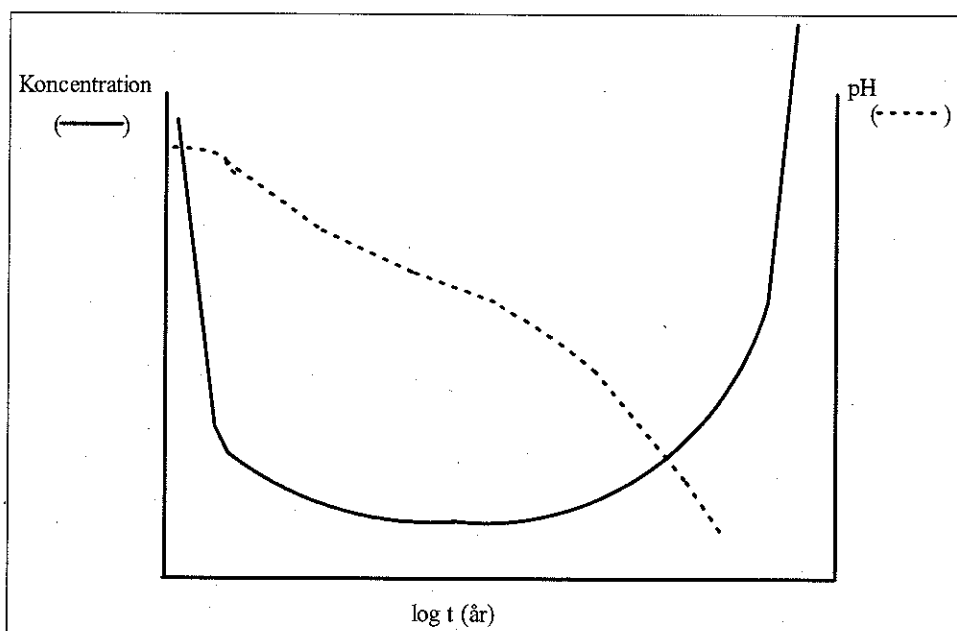
I batchtestene ved L/S=4 benyttes syntetisk regnvand med lav bufferstyrke. Derfor vil slut pH-værdien være styret af affaldets bufferstyrke og pH-forhold. For de affaldstyper, som er domineret af højtemperaturaffald, opnås høje slut-pH-værdier på mellem 11-12,5, dog med enkelte afvigelse (fraktion 8 og 11.1).

De pH-statiske tests repræsenterer udvaskningen på langt sigt (for de fleste affaldstyper) hvor pH-værdien er faldet til 4 i perkolatet. Dette vil jf. tabel 8 tage tusinder af år. Der opnås generelt meget høje udvaskningskoncentrationer (for Pb, Zn og Cd) i disse test. Disse forsøg viser, at hvis man tillader regnvand at gennemsvive depoterne, vil man på meget langt sigt (>1000 år, afhængig af bufferkapacitet) få meget høje metalkoncentrationer i perkolatet. En meget afgørende parameter her er affaldets bufferevne til at modstå pH-sænkning hidrørende fra udvaskningsprocessen.

Ved simulering af den indledende udvaskning (L/S = 0,1-2), er der generelt målt pH-værdier på 11-12, for enkelte affaldstyper (flammeohvsstøv samt nogle prøver fra støvsugning af veje) dog pH på omkring 8.

En konceptuel model for af udvaskningen af tungmetaller og pH-udviklingen som funktion af udvaskningstiden er skitseret i figur 9. Der opnås helt initielt (kolonnetest) en større udvaskning end gældende for udvaskningen på mellemlangt sigt (vandopløselighedsforsøg).

Samme udvikling ses af de foreliggende analyseresultater fra deponterne 1-3. Da der ved VKI's kolonnetest er gennemført en filtrering (gennem 0,45-1 µm filterpapir), kan de høje værdier ikke forklares med tilstedeværelse af større partikler (partikeltransport) i perkolatet fra kolonneforsøget. Det kunne dog være mindre partikler (kolloider) eller kompleksbundne metaller, der gav de høje initiale værdier. Disse fraktioner er dog formentlig så mobile, at de skal medregnes i en spredningsvurdering af perkolatet fra depoterne og ud i omgivelserne.



Figur 9. Konceptuel model for udvaskning som funktion af tid.

Indenfor kolonneforsøgenes tidshorisont (2-500 år svarende til et L/S fra 0-2) observeres også højere udvaskningskoncentrationer på kort sigt (L/S=0-0,1) end på lidt længere sigt (L/S=1-2).

På baggrund af ovenstående, og et ønske om at vurdere depoterne indenfor en rimelig tidshorisont (op til 200 år), bør en vurdering af depoternes påvirkning af omgivelserne således optimalt baseres på udførte kolonnetests for de deponerede materialer. Det fremgår dog af tabel 8, at hvis man betragter et scenarium med et åbent deponi, kan også batchtestene ved L/S=4 tages med i betragtning. Som det fremgår af ovenstående kommentarer til tidligere udførte vurderinger (afsnit 6.5), er der ikke umiddelbart direkte sammenhæng i de koncentrationsforskelle, der observeres ved udførte kolonne- og batchudvaskningsforsøg på identisk materiale. Der kræves således yderligere sammenligninger (dvs. yderligere forsøg) mellem resultater af udvaskningsforsøg, før at man kan vurdere, om det er muligt, at basere vurderinger på en kombination af forskellige udvaskningstests.

Det fremgår af tabel 6, at der alene er udført kolonneudvaskningsforsøg for affaldstyperne 7.5 og 8, mens der mangler oplysninger om de potentielt kritiske affaldstyper 7.2, 11.1 samt muligvis affaldstype 12.3x, som potentielt kan give anledning til en væsentlig udvaskning. For disse affaldstyper er der kun udført batchtest (type A) eller slet ingen udvaskningsforsøg.

De tidligere udførte udvaskningsforsøg, afrapporteret af VKI /6/, belyser alene udvaskningen af tungmetaller. Visse af de beskrevne affaldstyper kan indeholde fraktioner som potentielt kan give anledning til udvaskning af specifikke organiske stoffer. Specielt af-

faldstype 11.1 "Jord fra skrotrensning" vurderes, at kunne indeholde bl.a. træ, rester af olie samt polymermaterialer fra den ikke-metalliske skrotfraktion. Det er kendt /35, 36, 37/ at polymerfraktionen kan frigive forskellige organiske tilsætningsstoffer (blødgørere, flammehæmmere mm). Visse af disse stoffer kan have en betydelig mobilitet. Også andre affaldstyper (primært fraktion 12.3x (niveau II-III jord) samt fraktion 7.2 og 7.5 (støvsugerstøv) kan indeholde organiske komponenter. Disse forhold er ikke belyst i de gennemførte undersøgelser.

Det er ovenstående udvaskningstest fra 1990-1991, der ligger til grund for samtlige senere foretagne vurderinger af udvaskningen fra depot 1-3, og der er ikke senere foretaget supplerende udvaskningstest.

7 Vurdering af udsivningen fra depoterne 1-3

Perkolat (den del der ikke ledes via bundmembranen til bunddrænene) siver nedenunder affaldsdepotet, gennem den umættede zone og ned i grundvandet, hvor det vil blive fortyndet af grundvand, som strømmer under affaldsdepotet.

Når udsivningen fra depoterne skal vurderes, er det relevant at kvantificere såvel fluxen (den stofmængde som udsiver pr. tidsenhed – fx kg/år) som koncentrationen i det grundvand, som siver ud i fjorden. Fluxen er relevant, fordi langt det meste af den udsivende stofmængde fra immobile stoffer (metaller) formentlig vil ophobes i bundsedimentet, med deraf følgende økotoksikologiske effekter. Koncentrationen i det udsivende grundvand er relevant, fordi der for en række stoffer findes kvalitetskrav /39/ i form af koncentrationer i recipienten – efter initialfortynding.

Oftest vil man til kvantificeringen af de udsivende mængder, og til kvantificeringen af stofkoncentrationen i grundvandet, som siver ud i fjorden, anvende en stoftransportmodel, som fx den transportmodel vi har opstillet for Miljøstyrelsen i vejledningen: "Oprydning på forurenede lokaliteter" /32, 33/. Under navnet JAGG findes modellen som et EDB-regneark /34/.

En sådan model kræver imidlertid en række inputparametre, hvoraf flere i det aktuelle tilfælde vurderes at være relativt usikkert bestemt. Hertil hører især den hydrauliske gradient, den hydrauliske ledningsevne og grundvandets naturlige baggrundskoncentration af aktuelle forureningskomponenter. Men også bestemmelse af parametre som opblandingstykkelser, og bredden hvorover der indstrømmer grundvand, er forbundet med nogen usikkerhed.

I det aktuelle tilfælde, hvor affaldsdepoterne ligger på den ene side af en halvø, har vi valgt at erstatte JAGG-modellen med strømningsbetingede volumenbetragtninger.

7.1 Indstrømning til Elektrostålværkshalvøen fra "fastlandet"

Indledningsvist vil vi vurdere den vandmængde Q_F som strømmer ind på Elektrostålværkshalvøen fra "fastlandet", og som kan bidrage til fortynding af nedsivende perkolat fra affaldsdepoterne. Ifølge Darcy's ligning kan fluxen (vandmængden pr. år) bestemmes til:

$$Q_F = B \cdot k \cdot i \cdot d_m,$$

hvor

B = bredden af det område hvorover der sker indstrømning fra "fastlandet" [L]

k	=	den hydrauliske ledningsevne	[LT ⁻¹]
i	=	den hydrauliske gradient	[ubenævnt]
d _m	=	opblandingstykkelsen	[L]

7.1.1 Bredden af det areal, hvorover der sker indstrømning fra "fastlandet", B

I afsnit 5.3.1 er det beskrevet at hvor elektrostålværkshalvøen møder fastlandet, er grundvandet strømningsretning på den nordlige del nordvestlig, stik imod bugten ved Slaggemolen, mens strømningsretningen på den sydlige del er stik imod Stålværkshavnen. Kun på en mindre strækning løber grundvandet fra fastlandet ud i Stålværkshalvøen. Umiddelbart skønnes strækningen B, hvorover der sker strømning ud i Elektrostålværkshalvøen, at være omkring 75 m.

7.1.2 Den hydrauliske ledningsevne, k

Som nævnt i afsnit 5.2.2 er der ud fra korttidsprøvepumpning i affaldsdepoterne (prøvepumpning S5) bestemt en hydraulisk ledningsevne $k = 1,5 \cdot 10^{-5}$ m/s. Den hydrauliske ledningsevne vurderes dog bestemt med relativt stor usikkerhed.

7.1.3 Den hydrauliske gradient, i

Den hydrauliske gradient (i) kan bestemmes ud fra det foreliggende potentialekort, fig. 8. Hvor grundvandet strømmer fra "fastlandet" ud på Elektrostålværkshalvøen fås i $\approx 0,5$ ‰, mens vi under affaldsdepoterne har at $i \approx 0,3$ ‰. Potentialekortet repræsenterer pejlinger, udført over en tidsperiode på en måned i vinteren 1988, af grundvandsstanden i 10 punkter. Grundvandsstanden i perioden kan have været atypisk, ligesom der kan være store årstidsvariationer i strømningsretningen, hvorfor den hydrauliske gradient er bestemt med nogen usikkerhed. Specielt på flankerne af halvøen må den hydrauliske gradient forventes at være bestemt med stor usikkerhed. Da måleserien er mere end 18 år gammel, kan der endvidere være sket ændringer i indvindingsforholdene for Frederiksværk by, og dermed i grundvandspotentiallet.

7.1.4 Opblandingstykkelsen, d_m

Når perkolaten når grundvandet, sker der en opblanding i den øverste del af grundvandsmagasinet. Opblandingstykkelsen er afhængig af den afstand, der sker opblanding over. Der er ikke nogen god viden om opblandingstykkelser, men Miljøstyrelsen har i vejledningen: "Oprydning på forurenede lokaliteter" /32, 33/ opstillet udtryk for en konservativ beregning af opblandingstykkelsen.

Her, hvor affaldsdepoterne ligger fra 20 og op til 200 m fra kysten, vil der typisk ske opblanding i grundvandet øverste ca. 0,5 til 2 m.

7.1.5 Beregning af indstrømmende vandmængde fra "fastlandet"

Vi har i tabel 9 angivet en variationsberegning af Q_F , den vandmængde som strømmer ind på Elektrostålværkshalvøen fra "fastlandet" - og som kan bidrage til fortynding af nedsvivende perkolat fra affaldsdepoterne. Variationsberegningerne er foretaget ud fra inputparametre, hvis størrelse vi skønner fornuftige.

Inputparametre				Q_F ($m^3/\text{år}$)
B (m)	K (m/s)	i (ubenævnt)	d_m (m)	
60	$1,0 \cdot 10^{-5}$	0,0004	0,5	4
100	$2,0 \cdot 10^{-4}$	0,0006	2,0	757
75	$1,5 \cdot 10^{-4}$	0,0005	1,7	302
80	$1,3 \cdot 10^{-4}$	0,0005	1,5	246
70	$1,2 \cdot 10^{-4}$	0,0005	1,3	172

Tabel 9. Variationsberegninger af vandmængden Q_F , som strømmer ind på Elektrostålværkshalvøen fra "fastlandet", og som kan bidrage til fortynding af nedsvivende perkolat fra affaldsdepoterne.

Det ses, at den vandmængde Q_F , som strømmer ind fra fastlandet, er langt mindre end den nedbørsmængde, som falder over depotet (ca. 500 mm/år over et areal på 16.000 m^2 svarende til en nedbørsmængde på 8.000 $m^3/\text{år}$).

I de følgende beregninger og vurderinger har vi derfor, som en konservativ (men ikke væsentlig) forenkling, valgt at se bort fra indstrømningen fra fastlandet.

7.2 Udstrømmende forureningsflux fra affaldsdepoterne 1-3

Vandfluxen Q_i , dvs. den perkolatmængde som siver nenedud af affaldsdepoternes celle nr. i pr. tidsenhed (fx $kg/\text{år}$), kan udtrykkes ved:

$$Q_i = N_i \cdot A_i,$$

og fluxen J_i af forureningskomponenter fra celle nr. i som:

$$J_i = C_i \cdot Q_i = C_i \cdot N_i \cdot A_i$$

hvor

N_i	=	perkolatgennemsvivningen over celle i	$[LT^{-1}]$
A_i	=	den arealmæssige udstrækning af celle i	$[L^2]$
C_i	=	kildestyrkekoncentrationen af perkolat fra celle i	$[ML^{-3}]$

Udstrømningen fra hele affaldsdepotet 1-3 kan nu findes ved at summere udsivningerne for hver enkelt celle, eller ved at vurdere middelværdier for hele affaldsdepotet.

7.2.1 Perkolatgennemsivningen over en celle i affaldsdepotet

Nedsivningen N_i er den mængde perkolat, som siver nedefra af affaldsdepotets celle i.

Med et lukket depot, som nu, er det udgangspunktet, at der stort set ingen perkolatdannelse er (der sker kun perkolatdannelse, når topafdækningen er utæt), hvorfor der som udgangspunkt heller ikke sker nogen nedsivning til grundvandet. Der er dog konstateret vand i kontrolbrønde og drænledninger, så der sker en vis gennemtrængning af topmembranen. Størrelsen af denne gennemtrængning er usikker. I de efterfølgende beregningseksempler har vi gættet, at 10 % af nettonedbøren (svarende til 25 mm/år) siver igennem depotet som perkolat, men tallet er som sagt gættet, og måske for stort.

Hvis affaldsdepoterne åbnes (topmembranen fjernes), vil nedsivningen til grundvandet blive styret af den gennemsivning, som sker gennem bundmembranen.

Den hydrauliske ledningsevne af den udlagte bundmembran af skeovns-slagge i støvdepotet er af Vandkvalitetsinstituttet målt ved dobbeltinfiltrometermetoden /9/. Der blev målt dels på et nyetableret bundlag, dels på et ældre bundlag. Begge steder er skeovns-slaggen komprimeret efter udbringningen. På det ældre lag af skeovns-slagge har der desuden dagligt kørt tunge ladvogne, som yderligere har sammenpresset slaggen. Der blev opstillet dobbeltinfiltrometre to steder på det nyetablerede lag af skeovns-slagge og to steder på det gamle bundlag. Slaggen var generelt meget hård, specielt den ældre, og det lykkedes ikke at få infiltrometrene til at holde tæt på den gamle slagge, hvorfor målingerne ikke kunne gennemføres her. På den nyetablerede slagge holdt det ene infiltrometer tæt. Her kunne der over en periode på to timer ikke konstateres nogen infiltration. Dette svarer til, at den hydrauliske ledningsevne (permeabiliteten) er lavere end 10^{-7} m/s. Vandkvalitetsinstituttet mener, at permeabiliteten af den ældre slagge sandsynligvis er endnu lavere. Det er dog et meget sparsomt undersøgelsesgrundlag, der foreligger, bl.a. er undersøgelsesperioden på 2 timer alt for kort. Desuden vil eventuel afstrømning ovenpå bundmembranen blive hæmmet af indfyldt materiale, hvilket igen øger gennemsivningen. Vandkvalitetsinstituttet kan desuden ikke udelukke, at nattefrost omkring måletidspunktet kan have haft indflydelse på slaggens egenskaber.

Med en hydraulisk ledningsevne på 10^{-7} m/s vil hele den årlige nedbør kunne nedsive gennem en plant udlagt flade. Bundmembranen er imidlertid udlagt med en lille hældning hen imod bunddræne. Dette er formentlig grunden til, at Vandkvalitetsinstituttet angiver, at det forekommer sandsynligt, at hovedparten (> 90 % af den væske, som når skeovns-slaggen (bundmembranen), vil strømme af på overfladen og afledes gennem drænrørene, hvorfor kun en mindre del af væsken vil sive gennem skeovns-slaggen (< 10%) og videre ned til grundvandet.

Der er imidlertid ingen dokumentation for denne antagelse om, at størstedelen af eventuel perkolat, som når ned til bundmembranen/skeovnslaggen, strømmer af på membranoverfladen. Umiddelbart er det vores vurdering, at langt størstedelen af den dannede perkolat vil sive igennem skeovnslaggen (bundmembranen).

I øvrigt viser målinger gennem de sidste ca. 8 år store hævnings/sænkninger i området (hævninger op til 117 mm og sænkninger op til 107 mm), hvorfor man ikke på længere sigt kan regne med, at bundmembranen (skeovnslaggen) har entydigt fald henimod perkolatdrænene.

I de efterfølgende beregningseksempler er det forudsat, at hele nettonedbøren siver igennem et åbent depot (altså ca. 250 mm/år /33/). Aktuelt vil et åbent depot formentlig blive etableret med perkolatopsamling, og efterfølgende perkolatrensning, i en eller anden form, hvorfor gennemsivningen formentlig bliver mindre end nettonedbøren.

Oplandet udenfor affaldsdepoterne (hvor den nedsivende nedbør løber, som grundvand, under affaldsdepoterne) er stort set ubefæstet, hvorfor man også her kan sætte nettoinfiltrationen lig med nettonedbøren på ca. 250 mm pr. år.

7.2.2 Den arealmæssige udstrækning af en affaldscelle/affaldsdepotet

I øjeblikket findes ikke nogen tilgængelig opgørelse over de aktuelle arealer af de enkelte celler, men disse må, med rimelig sikkerhed kunne udmåles fra situationsplanerne, fx figur 1.

Affaldsdepoternes samlede areal er bestemt med stor sikkerhed /15/. Arealerne fremgår af tabel 10.

Depotnummer	Areal (m ²)
Depot 1	5.300
Depot 2	10.000
Depot 3	1.032
Affaldsdepoterne 1-3 ialt	16.332

Tabel 10. Affaldsdepoternes areal /15/.

7.2.3 Kildestyrkekoncentrationen

Som nævnt i afsnittene 6.2 og 8 er det vores vurdering, at der skal flere udvaskningstest til for at kunne vurdere kildestyrkekoncentrationen fra de enkelte affaldsceller. En egentlig beregning kan således først gennemføres, efter at der er udført supplerende udvaskningstests.

I de efterfølgende beregningseksempler har vi taget udgangspunkt i de allerede udførte kolonneforsøg, som fremgår af bilag 2.

7.2.4 Beregning af den udstrømmende forureningsflux

Ved indsættelse af aktuelle værdier kan udvaskningen fra de enkelte celler (eller eventuelt for hele affaldsdepotet) beregnes.

Vurderes fx nikkeludvaskning fra flammehøvlstøv (celle 1.5) fås ved udvaskning på meget langt sigt (pH = 4 og L/S = 100, jf. tabel 8) de inputparametre og de forureningsfluxe J_i som er angivet i tabel 11.

I tabel 11 har vi endvidere givet et regneeksempel for hele affaldsdepot 1-3 (stadig pH = 4 og L/S = 100, altså udvaskningen på meget langt sigt), idet vi har skønnet en gennemsnitlig kildestyrkekoncentration på 500 µg/l. Denne kildestyrkekoncentration er baseret på de foreliggende ufuldstændige data, hvorfor det skal pointeres, at beregningerne alene er et regneeksempel. Som tidligere nævnt er det vores vurdering, at der skal flere udvaskningstest til for at kunne vurdere kildestyrkekoncentrationen fra de enkelte affaldsceller. En egentlig beregning kan således først gennemføres, efter at der er udført supplerende udvaskningstests.

	Celle 1.5		Hele affaldsdepot 1-3	
	Lukket depot	Åbent depot	Lukket depot	Åbent depot
Udvaskningstid (år)	17.000 – 27.000	2.000 – 3.000	17.000 – 27.000	2.000 – 3.000
A_i (m ²)	200 ¹	200 ¹	16.332	16.332
N_i (mm/år)	25	250	25	250
C_i (µg/l)	11.000 ²	11.000 ²	500 ³	500 ³
J (g/år)	55	550	204	2.040

¹: Opmålt fra figur 1.

²: Fra kolonneforsøg – se bilag 2.

³: Gættet gennemsnitlig kildestyrkekoncentration for hele affaldsdepot 1-3.

Tabel 11. Beregnede forureningsfluxe for nikkel, og tilhørende inputparametre.

Det skal bemærkes, at ovennævnte forureningsfluxe alene skyldes affaldsdepoterne 1-3. Herudover kan der også være forureningsbidrag fra det affald, som ligger under eller udenom affaldsdepoterne 1-3.

7.3 Forureningskoncentration i udsivende grundvand

Når perkolaten siver ned i den mættede zone, sker der en opblanding i den øverste del af grundvandsmagasinet, hvorved forureningen fortyndes.

Som nævnt i starten af afsnit 7 kan beregningen af forureningskoncentrationen i grundvandet foretages ud fra en strømningsmodel (fx Miljøstyrelsens JAGG-model). En sådan model kræver imidlertid en række inputparametre, hvoraf flere i det aktuelle tilfælde vurderes at være relativt usikkert bestemt.

I det aktuelle tilfælde, hvor affaldsdepoterne ligger på den ene side af en halvø, har vi valgt at erstatte JAGG-modellen med strømningsbetingede volumenbetragtninger.

I afsnit 5.3.1 beskrev vi, at under affaldsdepoterne 1-3, som ligger op til halvøens omtrent nord-sydgående grundvandsskel (se figur 8), har grundvandet en nordlig til vestlig strømningsretning. Dette betyder, at nedbør, som falder på den nordlige, østlige eller sydlige halvø, generelt vil strømme væk fra affaldsdepoterne 1-3 og dermed ikke bidrage til at fortynde den perkolat, som siver ud fra affaldsdepoterne. Uden for affaldsdepoterne er der således kun et relativt lille område på halvøen (skønsmæssigt omkring 15.000 m²), hvorfra nedbøren via grundvandet strømmer under affaldsdepoterne; området er angivet som A* på figur 8. Figuren snyder dog lidt, idet der på depotområdet (mærket A på figur 8) også findes områder uden affald, hvor nedbøren vil strømme under affaldsdepoterne og dermed bidrage til fortynding af eventuel perkolat, ligesom der findes områder, som afvandes direkte til fjorden (fx veje og kystdæmningen). Depotområdet (mærket A på figur 8) kan deles op i det område, hvor der ligger affald (16.000 m² ifølge /15/), et område som afvandes direkte til fjorden (groft skønnet til 40.000 m²), og et område hvor nedbøren vil sive som grundvand ud under affaldscellerne (groft skønnet til 15.000 m²).

Som angivet i afsnit 7.1, har vi som en konservativ (men ikke væsentlig) forenkling valgt at se bort fra indstrømningen fra "fastlandet".

Koncentrationen i det påvirkede udsivende grundvand $C_{UDSIVENDE}$ kan hermed beregnes som den udsivende forureningsflux fortyndet med den flux af rent grundvand, som siver ud under affaldsdepot 1-3:

$$C_{UDSIVENDE} = C_{PERKOLAT} \cdot A_{1-3} \cdot N_{1-3} / (A_{1-3} \cdot N_{1-3} + A_{OPLAND} \cdot N_{OPLAND})$$

hvor

C_{PERKOLAT} er koncentrationen i det nedsivende perkolat.

A_{1-3} er arealet af affaldsdepotet 1-3.

N_{1-3} er perkolatnedsivningen gennem affaldsdepoterne.

A_{OPLAND} er det oplandsareal hvorfra nedbøren siver som grundvand ud under affaldscellerne.

N_{OPLAND} er nettonedbøren over det ovenfor angivne oplandsareal.

I tabel 12 har vi givet eksempler på variationsberegninger af nikkelkoncentrationen i det grundvand, som siver ud til fjorden (hvor der yderligere sker en initialfortynding). Alle fire beregningsscenarier giver (inden initialfortynding i fjorden) en overskridelse af gældende grundvandskvalitetskriterium for nikkel på 10 $\mu\text{g/l}$ /40/ og kvalitetskravet for saltvands-vådområder på 8,3 $\mu\text{g/l}$ /41/.

Det skal pointeres, at beregningerne alene er et regneeksempel. Som tidligere nævnt, er det vores vurdering, at der skal flere udvaskningstest til for at kunne vurdere kildestyrkekoncentrationen fra de enkelte affaldsceller. En egentlig beregning kan således først gennemføres, efter at der er udført supplerende udvaskningstests.

Depottype	Lukket depot		Åbent depot	
	17.000 – 27.000	2.000 – 3.000	2.000 – 3.000	2.000 – 3.000
C_{PERKOLAT} ($\mu\text{g/l}$)	500	500	500	500
A_{1-3} (m^2)	16.332	16.332	16.332	16.332
N_{1-3} ($\text{mm}/\text{år}$)	25	250	250	250
A_{OPLAND} (m^2)	30.000	30.000	45.000	15.000
N_{OPLAND} ($\text{mm}/\text{år}$)	500	500	500	500
$C_{\text{UDSIVENDE}}$ ($\mu\text{g/l}$)	26	176	133	261

Tabel 13. Beregnede nikkelkoncentrationer i udsivende grundvand, og tilhørende inputparametre.

Endelig skal det bemærkes, at ovennævnte forureningskoncentrationer alene er en merbelastning som skyldes affaldsdepoterne 1-3. Herudover kan der også være forureningsbidrag fra det affald, som ligger under eller udenom affaldsdepoterne 1-3.

8 Supplerende undersøgelser

Målet med dette projekt har været at vurdere, om eksisterende undersøgelser giver tilstrækkelig viden til efterfølgende at vurdere de miljømæssige påvirkninger (for arealanvendelse og ved udsivning til Roskilde Fjord) i forbindelse med følgende fire scenarier for den fremtidige håndtering af affaldsdepoterne:

1. Affaldsdepoterne bliver liggende og nedlukkes med tæt slutafdækning.
2. Affaldsdepoterne bliver liggende og åbnes inkl. etablering af perkolatopsamling med udledning enten til offentlig kloak eller recipient.
3. Udvalgte affaldstyper fjernes og deponeres/behandles/genanvendes andetsteds. Dvs. at den resterende del af depoterne bevares i reduceret form – med eller uden tæt slutafdækning.
4. Alt affaldet fjernes og bortskaffes/behandles/genanvendes andetsteds.

Vores opgave har alene handlet om de tre efterladte affaldsdepoter (depoterne 1-3) og ikke de øvrige opfyldninger og deponeringer ved stålvalseværket. Vurdering af, om det er muligt at kvantificere belastningen til omgivelserne fra de øvrige deponeringer (fx slaggemolen og ældre deponeringer under affaldsdepoterne), som tidligere er skønnet at være væsentlig større end belastningen fra depoterne 1-3, indgår ikke i vores opgave.

Tidshorizonten for udvaskningen fra depoterne er overordentlig stor – op til 10.000'er af år. Som forklaret i afsnit 6.6 er stofudvaskningen stærkt pH-afhængig, og pH-værdien vil stige med tiden. Udvasningen kan derfor ikke med rimelighed vurderes over tusinder af år, men alene for de nærmeste 100 måske 200 år, hvilket er den tidshorizont, som vi regner med i vores vurderinger.

Som det fremgår af afsnit 7.2, mener vi, at der nødvendigvis må fremskaffes yderligere kemiske og hydrogeologiske data for vurderingen af de opstillede håndteringsscenarier. Behovet for supplerende undersøgelser afhænger naturligvis af, hvilket scenarium der vælges for den fremtidige håndtering af affaldsdepoterne.

Hvis affaldsdepoterne 1-3, eller dele heraf, bliver liggende, finder vi (jf. afsnit 5.2), at det er nødvendigt at indhente geotekniske data til vurdering af de fremtidige deformationer i området, idet størrelsen af disse deformationer vil være af afgørende betydning for levetiden af fremtidige membraner og perkolatopsamlingsystemer.

I det følgende har vi, for hvert af håndteringsscenarierne, listet behovet for yderligere undersøgelser. Vi har lavet en opdeling i undersøgelser, som vi finder nødvendige for vurderingen, og undersøgelser ikke er ubetinget nødvendige, men som vil kunne forbedre vurderingsgrundlaget.

Under hvert afsnit fremgår en samlet oversigt i tabelform, over anbefalede supplerende undersøgelser. I samme tabel er omkostninger til de supplerende undersøgelser overslagsmæssigt prissat. Alle beløb er i kr. ekskl. moms. Priserne er baseret på GEOs opgørelser samt indhentede overslagspriser fra DHI. En del af analysepriserne er baseret på listepreiser, og prisen vil muligvis kunne reduceres ved et konkret tilbud eller udbud.

De angivne poster til rapportering af de supplerende undersøgelser indeholder alene en kontrol og en rapportering af data. Der er ikke indregnet omkostninger til vurdering af udvaskningen til grundvandet/fjorden for de forskellige nedlukningsscenarier.

Under hvert scenarium fremgår der desuden en oversigt over de poster, der er nævnt i teksten, men som ikke umiddelbart betragtes som direkte supplerende undersøgelser. Disse poster er ikke prissat.

8.1 Affaldsdepoterne nedlukkes med tæt slutafdækning

For fastlæggelse af geologien og blødbundsforholdenes aktuelle deformationsegenskaber anbefales det at der i depotområdet udføres 4 geotekniske borer, alle indledningsvist ført til 15 m under terræn – dog minimum til 2 m under de egentlige blødbundsaflejringer. Fra hver boring udtages 2 stk. store A-rørs prøver, og på 4 af disse prøver udføres konsolideringsforsøg. Med baggrund i dels de således indhentede geotekniske data, dels den aktuelle geometri af affaldsdepoter og kystsikring gennemføres en fastlæggelse af de fremtidige deformationer af affaldsdepoterne. Da størrelsen og dermed nøjagtigheden i bestemmelsen af disse deformationer vil være af afgørende betydning for levetiden af de fremtidige membraner og perkolatopsamlingssystemer, anbefales det at vurderingerne gennemføres ved hjælp af et Finite Element program som fx Plaxis.

I dette scenarium finder vi ikke behov for supplerende kemiske og hydrogeologiske undersøgelser, forudsat dog at der udarbejdes en kontrolplan, som sikrer, at utætheder i topafdækningen hurtigt opdages og tætnes, og at eventuelt dannet perkolat, som skyldes nedsivning gennem eventuelle utætheder, bortskaffes forsvarligt. Kontrolplanen vil blandt andet indebære, at det med korte mellemrum skal kontrolleres, at der ikke sker perkolatudsivning. Da vi ikke mener, at bundmembranen i affaldscellerne effektivt hindrer perkolatgennemsvivning, er vi heller ikke sikre på, at de nuværende kontrolbrønde er egnede (hvis perkolaten ikke "opfanges" af perkolatopsamlingssystemet, vil man ikke umiddelbart kunne benytte vandmængden i kontrolbrønden til vurdering af eventuel perkolatudsivning).

Det må bemærkes, at vi i denne situation ikke, for alle celler, vil have en fyldestgørende beskrivelse af eventuelt dannet perkolat.

Scenarium 1 - Affaldsdepoterne nedlukkes med tæt slutafdækning		
	Stk.	Øverslagspris
Geotekniske undersøgelser	1	130.000
Pejlerunde og prøvepumpning	1	25.000
I alt		155.000
Ikke prissatte poster		
Kontrolplan for depoter		

8.2 Affaldsdepoterne bliver liggende og åbnes

I scenariet er det forudsat, at der etableres perkolatopsamling med udledning enten til offentlig kloak eller recipient.

Vi mener at der ubetinget er behov for følgende supplerende undersøgelser:

- Faststofanalyser for jord fra depot 3 (niveau II – III jord). Der er behov for analyser af såvel metalindhold (Pb, Cd, Zn, Ni, Cr og Cu), som for organiske parametre (totalkulbrinter, PAH'er, phenoler/cresoler/xylenoler, TOC og evt. phthalater (især DEHP), PCB og bromerede flammehæmmere.
- Faststofanalyser for affaldstyperne 7.2, 7.5 og 11.1. Der er behov for analyser for metaller (Pb, Cd, Zn, Ni, Cr og Cu), totalkulbrinter, PAH'er, phenoler/cresoler/xylenoler, TOC og evt. phthalater (især DEHP), PCB og bromerede flammehæmmere.
- Et indledende screeningsforsøg baseret på et ligevægtskolonneforsøg ved L/S fra 0-2. I screeningsforsøget analyseres eluatet (ved L/S=2) for indhold af metaller (Pb, Cd, Zn, Ni, Cr og Cu), totalkulbrinter, PAH'er, phenoler/cresoler/xylenoler, TOC og evt. phthalater (især DEHP), PCB og bromerede flammehæmmere. Screeningsforsøget vil kunne give en indikation af hvilke organiske stoffer der potentielt kan give anledning til væsentlig udvaskning. Samtidig kan man undgå i senere forsøg at analysere for stoffer der alligevel ikke kan påvises i indhold over detektionsgrænsen.
- To kolonneforsøg for hver af affaldstyperne 7.2, 7.5, 11.1 og 12.3. Der analyseres for indhold af metaller samt de organiske komponenter, som ud fra ovenstående screeningsforsøg, vurderes at kunne udvaskes i væsentlige mængder.
- Et kolonneforsøg fra hver af de øvrige affaldstyper. I disse forsøg analyseres kun for metalindhold.
- De ordinære kolonneforsøg bør udføres med 5 eluatudtag ved L/S fra 0-2 som de tidligere udførte forsøg samt med 2 eluatudtag fra L/S fra 2-10 som erstatning for batchforsøg. Størrelsen af de valgte kolonner bør overvejes ud fra oplysninger

omkring kornstørrelse på affald. Generelt bør der anvendes affald med naturlig kornstørrelse uden neddeling.

- Geotekniske undersøgelser som nævnt i scenarium 1.
- Desuden er der behov for kvantificering af perkolatudsivningen til grundvandet, hvilket vil kræve nye forsøg som bestemmer den effektive gennemsivning af bundmembranen i en opfyldt celle. Hvis scenariet indebærer, at der skal ske perkolatsamling med intern eller ekstern rensning, skal der udarbejdes en kontrolplan, som sikrer, at utætheder i bundmembranen hurtigt opdages og tættes, og at eventuelt dannet perkolat, som skyldes nedsivning gennem eventuelle utætheder, bortskaffes forsvarligt. Kontrolplanen vil blandt andet indebære, at det med korte mellemrum skal kontrolleres, at der ikke sker perkolatudsivning. Da vi ikke mener, at bundmembranen i affaldscellerne effektivt hindrer perkolatgennemsivning, mener vi heller ikke, at de nuværende kontrolbrønde er egnede til formålet (hvis perkolaten ikke "opfanges" af perkolatsamlingsystemet, vil man ikke umiddelbart kunne benytte vandmængden i kontrolbrønden til vurdering af eventuel perkolatudsivning).

Herudover vil det give en forbedret kvantificering af perkolatudsivningen, hvis der fremkaffes mere sikre hydrogeologiske data – dvs. bedre potentialekort. Det er dog ikke noget ubetinget krav at få forbedrede hydrogeologiske data.

Scenarium 2 - Affaldsdepoterne bliver liggende og åbnes		
	Stk.	Overslagspris
Geotekniske undersøgelser	1	130.000
Pejlerunde og prøvepumpning	1	25.000
Prøveudtagning ¹	11 x 2	40.000
Faststofanalyser	2 x 4	95.000
Ligevægtskolonnetest	4	60.000
Kolonnetest, 7 eluater, uorganisk+TOC	8+7	270.000
Laboratoriets rapportering af test og analyser	1	80.000
Samlet rapportering ²	1	60.000
I alt		760.000
Ikke prissatte poster		
Kvantificering af perkolatudsivning		
Etablering af perkolatsamling		

¹ Indeholder opbrydning af membran og skeovnsslæge, håndboringer og retablering af membran.

² Afrapportering indeholder udelukkende opsamling på de udførte supplerende undersøgelser.

8.3 Udvalgte affaldstyper fjernes

I dette scenarium fjernes udvalgte affaldstyper og deponeres/behandles/genanvendes andet steds. Dvs. at den resterende del af depoterne bevares i reduceret form – med

eller uden slutafdækning, hvorfor det skal overvejes, om den del af depoterne som bevarer udgør et miljøproblem for omgivelserne.

Vi finder derfor et ubetinget behov for geotekniske undersøgelser som nævnt i scenarium 1.

8.3.1 Analyser af affaldstyper som fjernes

Behovet for supplerende analyser af de affaldstyper som fjernes, afhænger helt af hvordan og hvor affaldet deponeres/behandles/genanvendes. Her vil affaldsmodtagerens krav være afgørende, og der er formentlig store variationer i hvilke krav (og hvilke deponeringspriser) de enkelte modtagere vil kræve.

Firmaet Cleanfield ApS har foreslået /24/ at dele af materialet granuleres/coates/indkapsles (forarbejdning i Estland) hvorefter granulatet genanvendes i forbindelse med vejbygning i de Baltiske Lande samt Finland. De depoter, som ikke kan genanvendes, køres til depot i Estland/Norge eller forbliver i Danmark. Forslaget fra Cleanfield ApS indeholder imidlertid ingen konkrete forslag til genanvendelse, og heller ingen krav til analyseomfang. Også i forbindelse med Cleanfields forslag må der antages at være store variationer i de krav, som de enkelte modtagere vil stille (fx afhængigt af modtagerland).

Med henblik på bortskaffelse må det dog være et minimumskrav at udføre følgende analyser:

- Faststofanalyser for jord fra depot 3 (niveau II – III jord). Der er behov for analyser af såvel metalindhold (Pb, Cd, Zn, Ni, Cr og Cu), som for organiske parametre (totalkulbrinter, PAH'er, phenoler/cresoler/xylenoler, TOC og evt. phthalater (især DEHP), PCB og bromerede flammehæmmere. Desuden skal indholdet af vandopløseligt chlorid bestemmes.
- Faststofanalyser for affaldsfraktionerne 7.2, 7.5 og 11.1. Der er behov for analyser for metaller Pb, Cd, Zn, Ni, Cr og Cu), totalkulbrinter, PAH'er og phenoler/cresoler/xylenoler, TOC og evt. phthalater (især DEHP), PCB og bromerede flammehæmmere. Desuden skal indholdet af vandopløseligt chlorid bestemmes.

8.3.2 Tæt slutafdækning af efterladte affaldstyper

For de affaldstyper, som efterlades med tæt slutafdækning, finder vi ikke behov for supplerende undersøgelser, forudsat dog at der udarbejdes en kontrolplan, som sikrer, at utætheder i topafdækningen hurtigt opdages og tætnes, og at eventuelt dannet perkolat, som skyldes nedrivning gennem eventuelle utætheder, bortskaffes forsvarligt. Kontrolplanen vil blandt andet indebære, at det med korte mellemrum skal kontrolleres, at der ikke sker perkolatudsivning. Da vi ikke mener, at bundmembranen i affaldscellerne effektivt hindrer perkolatgennemrivning, er vi heller ikke sikre på, at de nuværende kontrolbrønde er egnede (hvis perkolaten ikke "opfanges" af perkolatopsamlingssystemet, vil man ikke umiddelbart kunne benytte vandmængden i kontrolbrønden til vurdering af eventuel perkolatudsivning).

Det må bemærkes, at vi i denne situation kan komme ud for, at vi ikke, for alle celler, vil have en fyldestgørende beskrivelse af eventuelt dannet perkolat.

Scenarium 3.1 - Udvalgte affaldsfraktioner fjernes - tæt slutafdækning		
	Stk.	Overslagspris
Geotekniske undersøgelser	1	130.000
Prøveudtagning ¹	2 x 4	20.000
Faststofanalyser	2 x 4	95.000
Laboratoriets rapportering af test og analyser	1	30.000
Samlet rapportering ²	1	30.000
I alt		305.000
Ikke prissatte poster		
<i>Supplerende analyser krævet af jordmodtager</i>		
<i>Kontrolplan for depoter</i>		

¹ Indeholder opbrydning af membran og skeovnsslage, håndboringer og retablering af membran.

² Afrapportering indeholder udelukkende opsamling på de udførte supplerende undersøgelser.

8.3.3 Åben slutafdækning

Hvis de efterladte affaldstyper efterlades med åben slutafdækning, vil der være behov for de samme undersøgelser som angivet i afsnit 8.1. Der skal dog ikke udføres kolonneforsøg eller batchtest for affaldstyper som fjernes, med mindre affaldsmottageren kræver det.

Scenarium 3.2 - Udvalgte affaldsfraktioner fjernes - åben slutafdækning		
	Stk.	Overslagspris
Geotekniske undersøgelser	1	130.000
Prøveudtagning ^{1, 3}	11 x 22	40.000
Faststofanalyser	2 x 4	95.000
Ligevægtskolonnetest	4	70.000
Kolonnetest, 7 eluater, uorganisk+TOC ³	7	140.000
Laboratoriets rapportering af test og analyser	1	60.000
Samlet rapportering ²	1	45.000
I alt		580.000
Ikke prissatte poster		
<i>Supplerende analyser krævet af jordmodtager</i>		
<i>Kvantificering af perkolatudsivning</i>		
<i>Etablering af perkolatopsamling</i>		

¹ Indeholder opbrydning af membran og skeovnsslage, håndboringer og retablering af membran.

² Afrapportering indeholder udelukkende opsamling på de udførte supplerende undersøgelser.

³ Der forudsættes, at det ikke er nødvendigt at lave udvaskningstest på affaldstyperne 7.2, 7.5, 11.1 og 12.3? idet disse bortskaffes.

8.4 Alt affaldet fjernes

Ligesom i scenarium 3, afhænger behovet for supplerende analyser i denne situation helt af hvordan og hvor affaldet deponeres/behandles/genanvendes. Her vil affaldsmottagerens krav være afgørende, og der er formentlig store variationer i hvilke krav (og hvilke deponeringspriser) de enkelte modtagere vil kræve.

Firmaet Cleanfield ApS har foreslået /24/ at dele af materialet granuleres/coates/indkapsles (forarbejdning i Estland) hvorefter granulatet genanvendes i forbindelse med vejbygning i de Baltiske Lande samt Finland. De depoter, som ikke kan genanvendes, køres til depot i Estland/Norge eller forbliver i Danmark. Forslaget fra Cleanfield ApS indeholder imidlertid ingen konkrete forslag til genanvendelse, og heller ingen krav til analyseomfang. Også i forbindelse med Cleanfields forslag må der antages at være store variationer i de krav, som de enkelte modtagere vil stille (fx afhængigt af modtagerland).

Med henblik på bortskaffelse må det dog være et minimumskrav at udføre følgende analyser:

- Faststofanalyser for jord fra depot 3 (niveau II – III jord). Der er behov for analyser af såvel metalindhold (b, Cd, Zn, Ni, Cr og Cu), som for organiske parametre (totalkulbrinter, PAH'er, phenoler/cresoler/xylenoler, TOC og evt. phthalater (især DEHP), PCB og bromerede flammehæmmere.
- Faststofanalyser for affaldstyperne 7.2, 7.5 og 11.1. Der er behov for analyser for metaller (b, Cd, Zn, Ni, Cr og Cu), totalkulbrinter, PAH'er og phenoler/cresoler/xylenoler, TOC og evt. phthalater (især DEHP), PCB og bromerede flammehæmmere.

Scenarium 4 - Alt affaldet fjernes		
	Stk.	Overslagspris
Prøveudtagning ¹	2 x 4	20.000
Faststofanalyser	8	95.000
Laboratoriets rapportering af test og analyser		30.000
Samlet rapportering ²		40.000
I alt		185.000
Ikke prissatte poster		
<i>Supplerende analyser krævet af jordmodtager</i>		

¹ Indeholder opbrydning af membran og skeovns slagge, håndboringer og retablering af membran.

² Afrapportering indeholder udelukkende opsamling på de udførte supplerende undersøgelser.

9 Referencer

- /1/ Resume og konklusion fra: "Tungmetalundersøgelser i Roskilde Fjord 1984 og 1987 ud for Frederiksværk".
Recipientovervågning nr. 36.
Carl Bro as / Hovedstadsrådet.
- /2/ Stofudvaskning fra opfyldt område ved stålvalseværket.
Fase 1.
Vandkvalitetsinstituttet – ATV, 1988-05-24.
- /3/ Stofudvaskning fra opfyldt område ved stålvalseværket.
1. del af undersøgelsens fase 2.
Vandkvalitetsinstituttet – ATV, 1988-10-20.
- /4/ Udvaskning af tungmetaller fra slaggemolen i Frederiksværk.
Vandkvalitetsinstituttet – ATV, 1988-08-10.
- /5/ Tungmetalberegninger for Roskilde Fjords nordlige del.
Dansk Hydraulisk Institut, maj 1989.
- /6/ Undersøgelse af affaldsprodukter fra Det Danske Stålvalseværk A/S.
Vandkvalitetsinstituttet, 1990-06-11.
- /7/ Rapport til Frederiksborg Amt vedrørende overvågning af sporelement-niveauer i blåmuslinger og ålegræs omkring Frederiksværk.
Vandkvalitetsinstituttet, 11.11.1991.
- /8/ Det Danske Stålvalseværk A/S.
Bilag B: Notat vedrørende områdebelastning/sætninger.
Uddrag af rapporten: "Miljøteknisk beskrivelse vedrørende etablering af et permanent depot anvendt som mellemlager for produktionsaffald på Det Danske Stålvalseværk A/S".
- /9/ Notat til Det Danske Stålvalseværk.
Vurdering af stofudvaskning i forbindelse med mellemlagring og deponering af affaldsprodukter fra Det Danske Stålvalseværk A/S.
Vandkvalitetsinstituttet, 1993-04-15.
- /10/ Godkendelse af særligt forurenende virksomhed i henhold til kapitel 5 i lovbekendtgørelse nr. 358 af 6. juni 1991 om miljøbeskyttelse.
Frederiksborg Amt, Udvalget for Teknik og Miljø, den 1. marts 1994.

- /11/ Det Danske Stålvalseværk A/S.
Klassificering af depot 1, 2 & 3.
COWI A/S, 31. januar 2002.
- /12/ Afsnit 8.0 om analyser af produktionsaffald fra:
"Rapportering i henhold til miljøgodkendelsen's bilag 17."
Det Danske Stålvalseværk A/S, 28. februar 2002.
- /13/ Frederiksborg Amt.
Affald fra Det Danske Stålvalseværk til deponering på Frederiksværk Af-
faldscenter.
COWI A/S, 2. oktober 2002.
- /14/ Frederiksborg Amt – Teknik og Miljø.
Nedlukning af Depoterne 1, 2 og 3 på Det Danske Stålvalseværk A/S.
COWI A/S, 21. nov. 2002.
- /15/ Frederiksborg Amt.
Vurdering og anbefaling vedrørende slutafdækning ved Stålvalseværket.
COWI A/S, maj 2003.
- /16/ Det Danske Stålvalseværk.
Nedlukningsplan for deponiet ved Det Danske Stålvalseværk.
Overgangsplan.
COWI / Frederiksborg Amt, februar 2004.
- /17/ Påbud om nedlukning og efterbehandling af deponeringsanlægget på matr.
nr. 60 æ Frederiksværk Markjorder, Frederiksværk Kommune.
Frederiksborg Amt, 15. april 2004.
- /18/ Det Danske Stålvalseværk A/S.
Omkostningsoverslag ved nedlukning af depoter.
COWI A/S, 20. maj 2004 – revideret 8. juni 2004.
- /19/ Stålvalseværket.
Dokumentation for sætningsmålinger foretaget i oktober 2004.
Landinspektørfirmaet LE34 A/S.
- /20/ Frederiksborg Amt.
Kontrol af dræn- og kontrolbrønde ved depoterne på Det Danske Stålvalse-
værk.
COWI, 4. februar 2005.

- /21/ Miljøstyrelsens afgørelse vedrørende klage over Frederiksborg Amts påbud om nedlukning og efterbehandling af affaldsdepoter på Det Danske Stålvalseværk A/S.
Miljøstyrelsen, 10. februar 2005.
- /22/ Det Danske Stålvalseværk A/S.
Omkostningsoverslag ved nedlukning af depoter.
COWI A/S, 2. marts 2005.
- /23/ Klage over Miljøstyrelsens afgørelse af 10. februar 2005 vedrørende Det Danske Stålvalseværks affaldsdepoter.
Frederiksborg Amt, 9. marts 2005.
- /24/ Vedr. Det Danske Stålvalseværks affaldsdepoter.
Forslag om granulering eller coating/indkapsling og efterfølgende genanvendelse (fx i Baltikum eller i Finland) af affaldet fra Det Danske Stålvalseværk.
Brev fra Cleanfield ApS, Hellerup. Dateret 8. januar 2006.
- /25/ Oversigt over tidligere udførte undersøgelser på Det Danske Stålvalseværks depoter m.m.
Frederiksborg Amt – Teknik & Miljø, 11. januar 2006.
- /26/ Udkast til rapporten: "Vurdering af udledningsforholdene ved DanScan Metal A/S, DanSteel A/S og DDS-depotet.
Rambøll, marts 2006.
- /27/ Miljøgodkendelse. Danscan Steel A/S.
Havnevej 37, 3300 Frederiksværk.
Frederiksborg Amt – Teknik & Miljø, 14. december 2004.
- /28/ Frederiksborg Amts godkendelse af Det Danske Stålvalseværk A/S,
Hovedrapport, juni 1994.
- /29/ Stålvalseværket, Frederiksværk.
Håndtering af affaldsdepoter.
Vurdering af foreliggende miljøundersøgelser.
GEO projekt nr. 92442. Tilbud, 2006-04-26.
- /30/ Det Danske Stålvalseværk A/S. Frederiksværk.
Kopi af alle tidligere boringer udført af Geodan.
Geodan, 1987-06-22.

- /31/ Det Danske Stålvalseværk. Frederiksværk.
Opfyldning af vanddækket område mellem Stålvalseværket og Slaggemolen.
Rambøll & Hannemann, 1990.12.31.
- /32/ Oprydning på forurenede lokaliteter – Hovedbind.
Vejledning fra Miljøstyrelsen. Nr. 6 – 1998.
- /33/ Oprydning på forurenede lokaliteter – Appendikser.
Vejledning fra Miljøstyrelsen. Nr. 7 – 1998.
- /34/ Risikovurdering af forurenede grunde. Regnearket JAGG, ver. 1.5.
- /35/ Borjeson, L., Lofvenius, G., Hjelt, M., Johansson, S., & Marklund, S.2000.
Characterization of automotive shredder residues from two shredding facilities with different refining processes in Sweden. Waste Management & Research, 18(4): 358-366.
- /36/ Sakai, S., Urano, S., & Takatsuki, H. 1998.
Leaching behavior of persistent organic pollutants (POPs) in shredder residues. Chemosphere, 37(9-12): 2047-2054.
- /37/ Sakai, S., Urano, S., & Takatsuki, H. 2000.
Leaching behavior of PCBs and PCDDs/DFs from some waste materials. Waste Management, 20(2-3): 241-247.
- /38/ Bekendtgørelse om deponeringsanlæg.
Bek nr. 650 af 29/06/2001.
- /39/ Bekendtgørelse om kvalitetskrav for vandområder og krav til udledning af visse farlige stoffer til vandløb, søer eller havet.
BEK nr. 921 af 08/10/1996.
- /40/ Liste over kvalitetskriterier i relation til forurenede jord.
Miljøstyrelsen, december 2005.
- /41/ Bekendtgørelse om kvalitetskrav for vandområder og krav til udledning af visse farlige stoffer til vandløb, søer eller havet.
Bekendtgørelse nr. 921 af 08-10-1996.
- /42/ Frederiksborg Amts deponeringsregler for forurenede og rensede jord, 1. udgave, december 1991.

