

Karakterisering og behandling af vejopfej

Ole Hjelmar og Dorthe Lærke Baun
DHI – Institut for Vand og Miljø

Karsten Ludvigsen og Uffe Rahbek
RGS 90 A/S

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

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

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

Indhold

FORORD	5
SAMMENFATNING	7
1 BAGGRUND OG FORMÅL	9
2 UNDERSØGELSENS OMFANG	11
2.1 KARAKTERISERING	11
2.2 BEHANDLINGSMULIGHEDER OG BEHANDLING	12
3 PRØVER AF VEJOPFEJ	13
3.1 UDTAGNING OG FORBEHANDLING AF PRØVER	13
3.2 VISUEL OG FYSISK KARAKTERISERING AF PRØVER AF VEJOPFEJ	14
4 MILJØMÆSSIG KARAKTERISERING AF VEJOPFEJ	17
4.1 OVERSICHT OVER PRØVER OG UNDERSØGELSESPROGRAM	17
4.2 BESKRIVELSE AF KARAKTERISERINGSPROGRAM	18
4.2.1 <i>Bestemmelse af vejopfejts sammensætning</i>	18
4.2.2 <i>Bestemmelse af vejopfejts pH, alkalinitet og glødetab</i>	19
4.2.3 <i>Udførelse af tilgængelighedstests for uorganiske komponenter</i>	20
4.2.4 <i>Udførelse af kolonneudvaskningstests for uorganiske komponenter</i>	20
4.2.5 <i>Udførelse af batchudvaskningstests for udorganiske komponenter</i>	25
4.2.6 <i>Udførelse af udvaskningstests for organiske komponenter (PAH)</i>	28
4.3 RESULTATER AF FASTSTOFKARAKTERISERING	30
4.3.1 <i>pH, alkalinitet, glødetab og TOC</i>	30
4.3.2 <i>Indhold af uorganiske komponenter</i>	30
4.3.3 <i>Indhold af organiske komponenter</i>	35
4.4 UDVASKNINGSEGENSKABER	37
4.4.1 <i>Resultater af tilgængelighedstests for uorganiske komponenter</i>	37
4.4.2 <i>Resultater af kolonne- og batchudvaskningstests for uorganiske komponenter</i>	38
4.4.3 <i>Resultater af udvaskningstests for organiske forbindelser</i>	48
4.5 SAMMENLIGNING MED KRAVVÆRDIER	49
4.5.1 <i>Kvalitetskriterier for jord og restprodukter til nyttiggørelse og deponering</i>	49
4.5.2 <i>Sammenligning af resultaterne for vejopfej med kvalitetskriterier</i>	52
5 BEHANDLING AF VEJOPFEJ	56
5.1 KARAKTERISERING AF KORNSTØRRELSESFRAKTIONEREDE PRØVER	56
5.1.1 <i>Oversigt</i>	56
5.1.2 <i>Faststofindhold</i>	57
5.1.3 <i>Tilgængelighed for udvaskning</i>	58
5.1.4 <i>Udvaskning ved kolonne- og batchudvaskningstests</i>	58
5.1.5 <i>Effekt af kornstørrelsefraktionering</i>	62
5.2 ADSKILLELSE EFTER MASSEFYLDE OG KORNSTØRRELSE SAMT VASK	62
5.3 BIOLOGISK BEHANDLING AF VEJOPFEJ	64
5.4 TERMISK BEHANDLING	66

6	KONKLUSIONER	68
7	REFERENCER	71

Forord

Dette projekt er gennemført med støtte fra Miljøstyrelsens Program for renere produkter mv., Del II: "Udviklingsordningen - Affald og genanvendelsessystemer." Projektet er udført af DHI - Institut for Vand og Miljø i samarbejde med RGS 90 A/S med Ole Hjelmar, DHI, som projektleder. Miljøstyrelsens projektansvarlige har været Povl Olsbjerg Rasmussen, Miljøstyrelsens Erhvervsaffaldskontor. Povl Olsbjerg Rasmussen har været formand for projektets styregruppe, som desuden bestod af Ole Hjelmar, DHI, Karsten Ludvigsen, RGS 90 A/S og Gitte Falstrup, Vejteknisk Institut, Vejdirektoratet. Dele af projektet har også været støttet af Center for Restprodukter, C-RES.

Sammenfatning

Med henblik på at fremme mulighederne for en (øget) genanvendelse af opfej fra danske veje er der gennemført en miljømæssig karakterisering af vejopfej fra Københavns kommune. Karakteriseringen har omfattet kemisk analysering af sammensætning af og stofudvaskning fra vejopfej opsamlet på forskellige årstider (vinter, forår og sommer). Undersøgelsen var fra starten fokuseret på indhold og udvaskning af uorganiske forureningskomponenter (salte og sporelementer), men da det under projektførelsen blev klart, at indholdet af organiske forureningskomponenter (kulbrinter og PAH) har afgørende indflydelse på vejopfejts miljømæssige egenskaber, blev disse i et vist omfang inddraget i undersøgelsen. Der er gennemført undersøgelser af mulighederne for oparbejdning af vejopfej til et miljømæssigt bedre produkt ved kornstørrelsesfraktionering, en kombination af denne og vask, ved biologisk nedbrydning og ved termisk behandling.

På grundlag af den gennemførte karakterisering af prøver af vejopfej fra Københavns kommune og de gennemførte undersøgelser af mulighederne for gennem forskellige former for behandling at forbedre vejopfejts miljømæssige egenskaber, kan der blandt andet drages følgende konklusioner:

Ca. 90 vægt-% af vejopfej har en kornstørrelse, der er mindre end 40 mm, og heraf udgøres ca. 2 vægt-% af organisk materiale, som kan frasorteres, mens resten består af et jord/gruslignende materiale, hvoraf ca. 75 vægt-% har en kornstørrelse, som er mindre end 2 mm. Mængden af fint materiale (< 0,125 mm) udgør ca. 10 vægt-%.

På grundlag af analyser af Si, Al, Fe, Ca, Mg, Ti, K, Na, S, Cl, samt TOC kan der, hvis det antages en masse af disse elementer forekommer som oxider, redegøres for mellem 90 % og 95 % af vejopfejts samlede masse. Herudover indeholder vejopfej blandt andet en række sporelementer samt kulbrinter og PAH i varierende mængder.

For de fleste indholdskomponenter er der ikke nogen væsentlig, systematisk årstidsvariation i indhold og udvaskning. Dette gælder dog ikke for komponenter, der kan associeres med glatførebekæmpelse, idet der ses en klart større udvaskning af især natrium og klorid, men også af sulfat, i vejopfej fra vinterperioden end vejopfej fra forårs- og sommerperioden.

De største miljømæssige problemer i forbindelse med en eventuel nyttiggørelse af vejopfej synes at være knyttet til indholdet af kulbrinter, herunder især de tungere fraktioner, snarere end til indhold/udvaskning af sporelementer. Også indholdet af PAH kan være problematisk i forhold til gældende kriterier. På grundlag af faststofindholdet af sporelementer og PAH kan vejopfej generelt karakteriseres som klasse 2-jord i henhold til det jordklassificeringssystem, som anvendes af de sjællandske amter. Men indholdet af kulbrinter bringer vejopfej op i klasse 4, hvilket svarer til kraftigt forurenede jord, som normalt vil blive anvist til rensning. Det er sandsynligt, at en væsentlig del af det store indhold af kulbrinter er knyttet til de mange asfaltpartikler, som observeres i vejopfej. I forhold til bekendtgørelsen om genanvendelse af restprodukter og jord ville vejopfej på grundlag af

faststofindhold og udvaskning af salte og sporelementer blive indplaceret som kategori 3 (anvendelse med væsentlige restriktioner), men materialet kan p.t. på grund af indholdet af organiske stoffer ikke være omfattet af denne bekendtgørelse.

En sammenligning af vejopfejs udvaskningsegenskaber med EU-kriterierne for modtagelse af affald til deponering viser, at vejopfejset sandsynligvis vil kunne overholde udvaskningskravene for modtagelse på en deponeringsenhed for ikke-farligt affald, som modtager stabilt, ikke-reaktivt farligt affald. Det skal dog bemærkes, at EU-kriterierne ikke var kendt, da undersøgelsen blev gennemført, og der mangler data for udvaskningen af fluorid, Sb, Se og DOC. Det kan ikke udelukkes, at udvaskningen af DOC vil kunne give problemer med overholdelse af det ovennævnte kriterium. Faststofindholdet af TOC (1,7 – 3,0 % (w/w)) er for højt til at vejopfejset kan overholde det pt. gældende danske krav på 0,5 % (w/w) til affald, som ønskes deponeret på en enhed for mineralsk affald. Med mindre kravet til indhold af TOC i affald til deponering på enheder for mineralsk affald ændres i forbindelse med implementeringen af Rådsbeslutning 2003/33/EF, vil vejopfej ikke umiddelbart kunne deponeres på sådanne enheder.

Under de gældende bestemmelser kan det således ikke forventes, at vejopfej uden forbehandling/rensning vil kunne nyttiggøres i henhold til amternes vejledning for håndtering af jord på Sjælland eller i henhold til Miljøstyrelsens bekendtgørelse om genanvendelse af restprodukter og jord til bygge- og anlægsarbejder. Tilsvarende vil en reduktion af indholdet af TOC være nødvendig, for at vejopfejset skal kunne deponeres som mineralsk affald i henhold til gældende danske regler (som dog forventes ændret i snarlig fremtid).

Omfattende undersøgelser har vist, at behandling af vejopfejset baseret på kornstørrelsesfraktionering næppe er nogen farbar vej. Lidt bedre, men stadig utilstrækkelige resultater opnås, hvis fraktioneringen kombineres med vask. Selv ved flere års oplagring synes den biologiske nedbrydning af de tungere kulbrinter heller ikke at være tilstrækkelig. Termisk behandling (opvarmning til 550 °C) fjerner effektivt såvel kulbrinter som PAH, men synes muligvis at mobilisere visse sporelementer. Da der kun foreligger sparsomme data om dette, kunne der være grund til at foretage en nærmere undersøgelse af effekten af termisk behandling, f.eks. på udvaskningen af sporelementerne.

1 Baggrund og formål

En af de større enkeltfraktioner af affald, som produceres i Danmark i dag, er vejopfej, der fremkommer i forbindelse med renholdelse af vejarealer, rabatter og vejsandfang. Da vejopfej ikke indgår i som en selvstændig type i den generelle danske affaldsstatistik, som er baseret på indberetninger til Miljøstyrelsens ISAG-system, findes der ingen samlede opgørelser over de årligt fremkomne mængder vejopfej i Danmark. Det skønnedes i 2001, at den årlige danske produktion af vejopfej var ca. 130.000 tons, og at mere end 80 % heraf blev deponeret (Ludvigsen, 2001).

Vejopfej opstår dels som et resultat af glatførebekæmpelse og dels som medslæb af materiale fra køretøjer, der også færdes på ubefæstede arealer (byggepladser, landbrugsarealer, råstofgrave, oplagingspladser etc). Vejopfej kan i større eller mindre udstrækning være opblandet med organisk materiale i form af nedfaldne blade, afslidt dækmateriale, papir o.l., ligesom det også kan indeholde materiale afslidt fra vejoverfladen. Sammensætningen vil i betydeligt omfang være sæsonbestemt. Vejopfej fremkommer typisk kun fra kantstenssatte vejarealer, hvor der anvendes fejmaskiner/støvsugere til opsamling af materialet. Såfremt der sker renholdelse af ikke-kantstenssatte vejarealer, vil skidt typisk blive fejjet ud i rabatten, hvor materialet så til gengæld opstår som "affald" i forbindelse med rabat-afskrælninger, der gennemføres periodisk for at sikre vejafvandingen. Opfej vil da være opblandet med organisk materiale (græstørv, blade o.l.). Skidt fra vejarealer vil endelig løbe til sandfang i såvel rendestensbrønde som vejafvandingsbrønde. Tilsvarende vil der eksempelvis på rensningsanlæg blive opsamlet sand i sandfang.

Vejopfej fremstår som et granulært sandlignende materiale, og bør derfor umiddelbart besidde de anlægstekniske egenskaber, som er nødvendige for at et materiale skal kunne genanvendes/nyttiggøres til bygge- og anlægsarbejder. Det vil dog være nødvendigt først at frasortere organisk materiale i form af blade, papir o.l., hvorfor en direkte genanvendelse af vejopfej uden forbehandling i de fleste tilfælde ikke skønnes mulig. Til trods for dette genanvendelsespotentiale bliver næsten al vejopfej i dag deponeret. Dette bør nok primært tilskrives usikkerhed i forhold til materialets miljømæssige egenskaber samt det forhold, at der ved en genanvendelse formentlig må tages højde for årstidsvariationer i sammensætningen, hvilket alt andet lige vil besværliggøre håndteringen.

Undersøgelser af vejopfej foretaget af DHI – Institut for vand og miljø for Miljøstyrelsen (Miljøprojekt Nr. 414, 1998) viste, at udvaskningen af sporelementer fra det ubehandlede vejopfej kan give problemer i relation til en udvidet anvendelse af materialet til entreprenørmæssige formål i henhold til de retningslinjer, som er angivet i Miljøstyrelsens bekendtgørelse nr. 655 af 27. juni 2000 om genanvendelse af restprodukter og jord til bygge- og anlægsarbejder. Undersøgelserne viste desuden, at nogle af de undersøgte prøver af vejopfej indeholdt så meget organisk stof (primært nedfaldne blade), at materialet ikke uden forudgående behandling ville kunne placeres på en deponeringsenhed for mineralsk affald. DHI's undersøgelser omfattede ikke nogen registrering af årstidsvariationen af sammensætningen af vejopfej. Det er sandsynligt, at størstedelen af de letudvaskelige, forurenende sporelementer

er associeret med de mindste partikler, og det kan derfor forventes, at materialets miljømæssige egenskaber vil kunne forbedres blandt andet ved at fraskille en fraktion af fine partikler.

Med henblik på at fremme mulighederne for en (øget) genanvendelse af opfej fra danske veje og for at sikre, at de fraktioner, som ikke kan genanvendes, kan deponeres på den miljømæssigt og økonomisk mest hensigtsmæssige måde, har Miljøstyrelsen under programmet for renere produkter mv. iværksat et undersøgelsesprojekt. Projektet, som er gennemført af DHI – Institut for Vand og Miljø i samarbejde med RGS 90 A/S, har haft til formål dels at supplere den eksisterende viden om vejopfejs miljømæssige egenskaber og deres variation med årstiden, dels at vurdere mulighederne for gennem behandling af vejopfej at forbedre dets miljømæssige egenskaber, således at det i videst mulige omfang vil kunne nyttiggøres frem for at skulle deponeres.

Da projektet i sin tid blev formuleret, blev der – ligesom i Bekendtgørelse nr. 655 af 27. juni 2000 om genanvendelse af restprodukter og jord til bygge- og anlægsformål – for så vidt angår de miljømæssige egenskaber næsten udelukkende fokuseret på indhold og udvaskning af uorganiske komponenter, herunder specielt salte og sporelementer/tungmetaller. Under projektførelsen blev det imidlertid klart, at de eventuelle miljømæssige problemer, som måtte være forbundet med nyttiggørelse af vejopfej til bygge- og anlægsformål, i mindst lige så høj grad måtte forventes at være associeret med materialets indhold af organiske stoffer, herunder specielt kulbrinter (olie), polycykliske aromatiske hydrokarboner (PAH) og generelt, uspecificeret organisk stof, indhold af total organisk kulstof (TOC). I det omfang, det har været muligt, er der derfor fra andre kilder, herunder undersøgelser foretaget af DHI og RGS 90 A/S udenfor projektet, i begrænset omfang inddraget informationer om vejopfejs indhold af organiske stoffer og udvaskningen disse.

Denne rapport beskriver de gennemførte undersøgelser og de fundne resultater.

2 Undersøgelsens omfang

2.1 Karakterisering

Undersøgelsen har omfattet indsamling og karakterisering af 3-dobbelte prøver af vejopfej indbragt til RGS 90 A/S i hver af perioderne januar – marts 2000 (kaldet A1, A2, A3), april – juni 2000 (kaldet B1, B2, B3) og juli – september 2000 (kaldet C1, C2, C3). Disse 9 prøver er blevet analyseret for pH, alkalinitet, glødetab og TOC samt totalindhold af Si, Al, Fe, Ca, Mg, Ti, K, Na, S, Cl, As, Ba, Cd, Cr, Cu, Hg, Mo, Mn, Ni, Sr, V og Zn. Indholdet af As, Ba, Cd, Cr, Cu, Hg, Mn, Mo, Ni, Pb, Sr, V og Zn er endvidere bestemt efter oplukning med salpetersyre i henhold til DS 259.

Prøverne er blevet underkastet følgende udvaskningstests:

- Tilgængelighedstest (NT ENVIR 003) med efterfølgende analysering for Ca, K, Na, sulfat, klorid, As, Ba, Cd, Cr, Cu, Hg, Mn, Ni, Pb og Zn.
- Batchudvaskningstest (EN 12457-3, del 1) med efterfølgende analysering for pH, ledningsevne, klorid, sulfat, Ca, Na, K, As, Ba, Cd, Cr, Cu, Mn, Ni, Pb og Zn.
- Kolonneudvaskningstests (NT ENVIR 002) med efterfølgende analysering for pH, ledningsevne, klorid, sulfat, Ca, Na, K, As, Ba, Cd, Cr, Cu, Mn, Ni, Pb og Zn. Ved kolonnetesten er 5 væskefraktioner opsamlet og analyseret svarende til L/S 0,1; 0,2; 0,5; 1 og 2 l/kg.

Prøverne er endvidere blevet underkastet sigtning (< 40 mm) og en visuel vurdering af frasigtet materiale.

På grundlag af ovenstående kan der foretages en beskrivelse af vejopfejts indhold af en række uorganiske komponenter og den potentielle og forventede udvaskning af en række af disse. Endvidere fås et indtryk af såvel årstidsvariationen som den samlede usikkerhed på karakteriseringen (prøvetagning + forbehandling + analysering for faststofanalyser og prøvetagning + forbehandling + testning + analysering af eluater for udvaskningstests).

Prøver svarende til samleprøver fra de tre perioder er endvidere blevet analyseret for indhold af kulbrinter, og prøver af vejopfej udtaget i 2003 er blevet analyseret for partikelstørrelsesfordeling, totalindhold af kulbrinter og PAH samt i et enkelt tilfælde for udvaskning af PAH ved såvel en batchudvaskningstest som en ligevægtskolonnetest.

Resultaterne kan forholdes til eksisterende kriterier for nyttiggørelse og deponering, dvs. Miljøstyrelsens bekendtgørelse nr. 655 om genanvendelse af restprodukter og jord til bygge- og anlægsformål, Vejledning i håndtering af forurenede jord på Sjælland Juli 2001 og EU's Rådsbeslutning om opstilling af kriterier og procedurer for modtagelse af affald på deponeringsanlæg, 2003/33/EC (endnu ikke implementeret i Danmark). Det bemærkes, at

vejopfej skal betragtes som jord for at kunne være omfattet af de to første regelsæt, og at undersøgelsesprogrammet ikke har omfattet alle de parametre, som indgår i udvaskningskriterierne i 2003/33/EC, da disse ikke var kendt på det tidspunkt, analyseprogrammet blev planlagt og gennemført.

2.2 Behandlingsmuligheder og behandling

Med henblik på undersøgelse af mulighederne for at oparbejde (en del af) vejopfej til et miljømæssigt acceptabelt produkt, er der gennemført en række analyser og udvaskningstests på prøver af vejopfej, som er blevet fraktioneret efter kornstørrelse.

Prøver af vejopfej udtaget fra bunker svarende til de mængder, fra hvilke der i henholdsvis januar – marts 2000 og april – juni 2000 blev udtaget mængdeproportionale prøver, blev adskilt i kornstørrelsesfraktionerne 0 – 10 mm og 10 – 30 mm og derefter underkastet kemiske analyser og udvaskningstests. Prøver af vejopfej fra prøvetagningen april – juni 2000 og juli – september 2000 blev adskilt i kornstørrelsesfraktionerne 0 – 2 mm og 2 – 10 mm og derefter underkastet kemiske analyser og udvaskningstests. Der er anvendt de samme analyser og udvaskningstests som ved karakteriseringen, men ikke alle prøver har været omfattet af hele analyse- og testprogrammet. Undersøgelserne af de kornstørrelsesfraktionerede prøver har alene omfattet indhold og udvaskning af uorganiske komponenter.

Der er endvidere udført praktiske forsøg med følgende metoder til behandling af vejopfej:

- Adskillelse efter massefylde og kornstørrelse
- Biologisk nedbrydning af kulbrinter
- Termisk behandling

Analyse- og testprogrammerne anvendt til undersøgelse af effektiviteten af de forskellige behandlingsmetoder har været forskellige, afhængigt af metodens karakter og de forureningskomponenter, den har været rettet imod.

3 Prøver af vejopfej

3.1 Udtagning og forbehandling af prøver

I perioderne januar – marts 2000 (vinter), april – juni 2000 (forår) og juli – september 2000 (sommer/efterår) er vejopfej tilført RGS 90 A/S fra Københavns Kommune blevet oplagt i bunker (én for hver periode) under et halvtag. I forbindelse med tilførslen af vejopfejet blev der fra hvert vognlæs af RGS 90 A/S med skovl udtaget delprøver, som blev fordelt ligeligt i 3 store plasttromler. Ved slutningen af hver periode blev de fyldte tromler, som hver typisk indeholdt ca. 100 kg vejopfej, sendt til DHI, hvor prøverne blev neddelt i deletragt. De resulterende prøver á ca. 11 kg blev efter lufttørring sigtet gennem et 40 mm sold. Tabel 3.4 viser størrelse og sammensætning af materialet større end 40 mm. Prøverne < 40 mm blev i kæbeknuser nedknust til en partikelstørrelse < 4 mm til kolonne- og batchudvaskningstests. En delmængde blev i wolframkarbidsvingmølle formalet til < 0,125 mm til kemisk analysering og til tilgængelighedstest. Prøverne fra vinterperioden benævnes A1, A2 og A3, prøverne fra forårsperioden benævnes B1, B2 og B3, og prøverne C1, C2 og C3. Fra hver periode blev der fra materialet < 4 mm fremstillet en blandprøve af lige store mængder af hver af de tre i princippet ens prøver udtaget i perioden. Disse blandprøver benævnes A, B og C.

Af tabel 3.1 ses det, at sigteresten (> 40 mm) generelt udgør mindre end 10 vægt % af den samlede masse. Under 25 % af sigteresten kan underopdeles i fraktionerne organisk materiale, metal (primært kapsler) og plastik, mens størsteparten af sigteresten består af sten og ikke nærmere definerbart materiale.

Tabel 3.1

Størrelse og sammensætning af sigterest (> 40 mm) fra prøverne af vejopfej udtaget fra tilførslerne til RGS 90 A/S i 2000.

Prøve	Tørret neddelt mgd. (kg)	Frasorteret mgd.		Indhold i sigterest			
		(kg)	(%)	Org. (g / %)	Metal (g / %)	Plastik (g / %)	Gummi (g / %)
A1	11,9	0,9	7,6	51,1 / 5,7	35,7 / 4,0	7,9 / 0,9	-
A2	11,5	1,5	13	41,5 / 2,8	10,1 / 0,7	11,0 / 0,7	-
A3	11,8	0,9	7,6	30 / 3,3	14,5 / 1,6	11,2 / 1,2	-
B1	10,8	0,75	6,9	70 / 9,3	33 / 4,4	25 / 3,3	-
B2	10,4	0,4	3,8	59 / 7,9	20 / 2,7	30 / 4,0	-
B3	10,6	0,3	2,8	16 / 6,0	8 / 2,7	45 / 15	-
C1	11,0	-	-	105 / 1,0	65 / 0,6	7 / 0,06	-
C2	11,0	-	-	186 / 1,7	24 / 0,2	17 / 0,2	-
C3	10,8	1,94	18	101 / 0,9	17 / 0,2	7 / 0,06	11 / 0,1

Herudover har RGS 90 A/S udtaget yderligere en række prøver af vejopfej, dels fra de oprindelige bunker, dels fra senere tilført vejopfej, herunder prøve D (tilført i maj 2003) og prøve E (tilført i oktober 2003). Disse prøver har på

DHI undergæet samme forbehandling som prøverne fra 2000, inden de er blevet karakteriseret og testet.

Fra de oprindelige bunker fra vinter 2000 og forår 2000 har RGS 90 A/S udtaget repræsentative prøver, som efterfølgende er blevet sigtet gennem et 40 mm sold til fraskillelse af materiale i overstørrelse. Prøverne er efterfølgende ved sigtning blevet opsplittet i følgende fraktioner:

A'-1: fraktion 0 – 10 mm (vinter 2000), DHI ID = R-095-01

A'-2: fraktion 10 – 30 mm (vinter 2000), DHI ID = R-R096-01

B'-1: fraktion 0 – 10 mm (forår 2000), DHI ID = R-097-01

B'-2: fraktion 10 – 30 mm (forår 2000), DHI ID = R-098-01

Materiale større end 30 mm blev kasseret.

Fra prøverne B2 og C2 er følgende fraktioner på DHI blevet udtaget ved sigtning:

B2-1: fraktion 0 – 2 mm (forår 2000), DHI ID = R-131-01

B2-2: fraktion 2 – 10 mm (forår 2000), DHI ID = R-132-01

C2-1: fraktion 0-2 mm (sommer/efterår 2000), DHI ID = R-129-01

C2-2: fraktion 2 – 10 mm (sommer/efterår 2000), DHI ID = R-130-01

Materiale større end 10 mm blev kasseret.

De 8 kornstørrelsesfraktionerede prøver blev på DHI i kæbeknuser nedknust til < 4 mm til gennemførelse af kolonne- og batchudvaskningstests. Delprøver blev yderligere formalet til < 0,125 mm til kemisk analysering og tilgængelighedstests. Undersøgelserprogrammet for de kornstørrelsesfraktionerede prøver er beskrevet i Kapitel 5.

3.2 Visuel og fysisk karakterisering af prøver af vejopfej

En del af fraktionen > 40 mm består som nævnt i afsnit 3.1 af affald (papir, plast, gummi, metal), grene og sten. En stor del af denne fraktion, som formentlig udgør af størrelsesordenen 10 % af den samlede mængde vejopfej, vil kunne karakteriseres som brændbart affald. Det er alene fraktionen < 40 mm, som er interessant i forhold til eventuel nyttiggørelse. Karakteriseringen og undersøgelserne af behandlingsmulighederne er alene udført på fraktionen < 40 mm. På figur 1 ses et billede af vejopfej efter frasortering af fraktionen > 40 mm ved siden af et billede af den frasorterede fraktion.



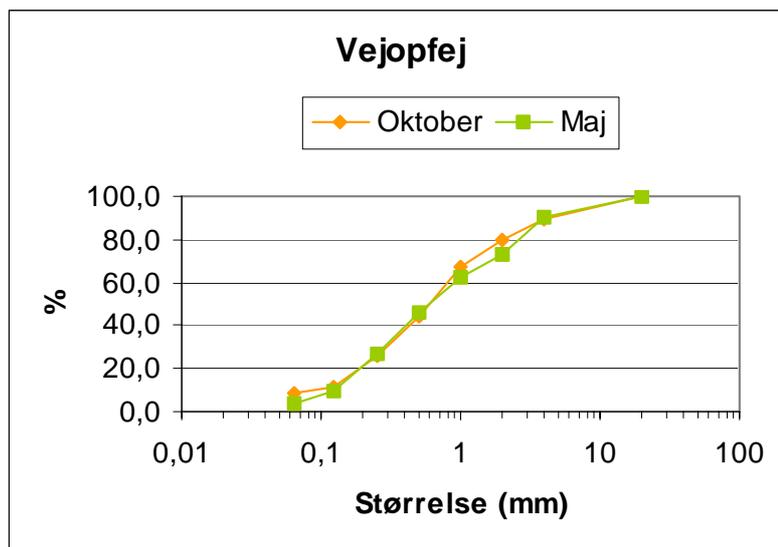
Figur 3.1
Billede af sorteret vejopfej < 40 mm (til venstre) og frasorteret materiale > 40 mm (til højre). Undersøgelserne i dette projekt vedrører alene det sorte rede vejopfej.

På prøverne D (maj 2003) og E (oktober 2003) har RGS 90 A/S udført kornstørrelsesfordelingsanalyser. Resultaterne er vist i Tabel 3.2 og Figur 3.2. Som det fremgår, er sigtekurverne for de to prøver næsten ens, og det antages, at de er generelt repræsentative for vejopfej fra Københavns kommune (og formentlig for dansk vejopfej i det hele taget).

Materialet i de to største fraktioner fra en af de to prøver blev sorteret i hånden med henblik på at fastslå, hvor stor en del af materialet, som bestod af asfaltstykker, da en del af indholdet af organiske forureningskomponenter (kulbrinter og PAH), kunne tænkes at stamme herfra. Resultatet er vist i tabel 3.3, og det ses, at en betydelig del af materialet er afslid fra asfaltbelægninger.

Tabel 3.2
Resultat af sigtning af prøverne D og E, hvor materiale > 40 mm på forhånd var fjernet. Prøverne af vejopfej er sigtet vådt og derefter tørret på sigterne, inden fordelingen blev bestemt.

Størrelse (mm)	Prøve D (maj 2003)		Prøve E (oktober 2003)	
	Mængde (vægt-%)	Kummuleret (vægt-%)	Mængde (vægt-%)	Kummuleret (vægt-%)
> 4 mm	9,7	100,0	10,8	100,0
2-4 mm	17,1	90,3	9,2	89,2
1-2 mm	10,3	73,2	12,7	80,0
0,5-1 mm	16,6	62,8	22,5	67,3
250-500 my	19,3	46,2	19,0	44,7
125-250 my	17,5	27,0	14,1	25,7
63-125 my	5,5	9,5	3,2	11,6
< 63 my	3,3	4,0	6,1	8,4
Organisk del	0,8	0,8	2,3	2,3



Figur 3.2
*Kumuleret kornstørrelsesfordeling for prøverne D (maj 2003) og E (oktober 2003).
 Materiale > 40 mm og organisk materiale er ikke medtaget.*

Tablet 3.3
Indholdet af asfalt i fraktionefind 2 - 4 mm og 4 - 40 mm.

Fraktion	Asfaltstykker (antal)	Natursten (antal)	Vægt-% asfalt
> 4 mm	22	90	20
2-4 mm	50	120	30

4 Miljømæssig karakterisering af vejopfej

4.1 Oversigt over prøver og undersøgelsesprogram

Karakteriseringen har omfattet i alt 11 prøver af vejopfej tilført RGS 90 A/S i 2000 og i 2003. De 9 af prøverne, som i princippet består af 3 gange 3 ens prøver, repræsenterer tre forskellige årstider:

- Vinter (prøverne A1, A2 og A3 udtaget i perioden januar – marts 2000),
- Forår (prøverne B1, B2 og B3 udtaget i perioden april – juni 2000),
- Sommer (prøverne C1, C2 og C3 udtaget i perioden juli – september 2000)

De ovenstående prøver er som beskrevet i afsnit 3.1 udtaget flowproportionalt fra alle lastbiler med vejopfej til RGS 90 A/S i de pågældende perioder. De to sidste prøver er prøver udtaget i henholdsvis maj 2003 (prøve D) og oktober 2003 (E) som sammenstukne stikprøver fra lagerbunkerne på RGS 90 A/S.

I Tabel 4.1 ses en oversigt over de tests og analyser, som prøverne er blevet underkastet med henblik på at beskrive indhold og udvaskning af uorganiske stoffer. Tabel 4.2 beskriver hvilke uorganiske parametre, der er analyseret for i faststofprøver og i eluater fra udvaskningstestene. Tabel 4.3 viser de undersøgelser af indhold og udvaskning af organiske stoffer, som er udført på prøverne.

Tabel 4.1
Undersøgellesprogram for karakterisering af prøver af vejopfej med hensyn til uorganiske komponenter.

Prøvebetegnelse	Prøve-ID	Total-indhold	Partielt indhold	1-trins batchtest	Tilgængelighedstest	Kolonnetest
A1 (jan.-mar. 2000)	R-133-01	X	X	X	X	
A2 (jan.-mar. 2000)	R-134-01	X	X	X	X	
A3 (jan.-mar. 2000)	R-135-01	X	X	X	X	
A (blandingsprøve af A1, A2, A3)	R-99-01					X
B1 (apr.-jun. 2000)	R-136-01	X	X	X	X	
B2 (apr.-jun. 2000)	R-137-01	X	X	X	X	
B3 (apr.-jun. 2000)	R-138-01	X	X	X	X	
B (blandingsprøve af B1, B2, B3) ¹	R-100-01					X
	R-100*-01					X
C1 (jul.-sep. 2000)	R-092-01	X	X	X	X	X
C2 (jul.-sep. 2000)	R-093-01	X	X	X	X	X
C3 (jul.-sep. 2000)	R-094-01	X	X	X	X	X
E (oktober 2003)	R-184-03	X		X		

¹: Dobbeltbestemmelse til vurdering af variationen indenfor en prøve.

Tabel 4.2

Anvendt analyseprogram for karakterisering af vejopfejl med hensyn til indhold og udvaskning af uorganiske komponenter.

Prøve	Analyseparametre
Faststofanalyser Faststofanalyser (totalindhold)	Al, As, Ba, Cd, Cr, Cu, Fe, Mn, Mo, Ni, Pb, Si, Sr, Ti, V, Zn, Ca, K, Mg, Na (For R-133-01 til R-138-01 også : Hg, Cl, SO ₄) (For R-184-03 også: Be, Co, Hg, La, Nb, P, S, Sc, Sn, W, Y, Zr, Cl, SO ₄ , TOC)
Faststofanalyser (Partielt indhold)	As, Ba, Cd, Cr, Cu, Mn, Mo, Ni, Pb, Sr, Zn, Hg
Eluater fra udvaskningstests 1-trins batch-test	Ca, K, Na, Cl, SO ₄ , As, Ba, Cd, Cr, Cu, Hg, Mn, Ni, Pb, Zn (For R-180-03 til R-184-03 også: pH, ledningsevne, Fe, Mg, S, Al, Co, TOC)
Tilgængelighedstest	Ca, K, Na, As, Ba, Cd, Cr, Cu, Hg, Mn, Ni, Pb, Zn (For R-133-01 til R-138-01 også: Cl, SO ₄)
Kolonnetest	Cl, SO ₄ , Na, K, Ca, As, Ba, Cd, Cr, Cu, Mn, Ni, Pb, Zn

Tabel 4.3

Undersøgelserprogram for prøver af vejopfejl med hensyn til indhold og udvaskning af organiske komponenter.

Prøvebetegnelse	Prøve-ID	Indhold af kulbrinter	Indhold af PAH	Udvaskning af PAH
A' (jan.-mar. 2000)	Svarer til A	X		
B' (apr.-jun. 2000)	Svarer til B	X		
C' (jul.-sep. 2000)	Svarer til blanding af C1, C2 og C3	X		
D (maj 2003)	R-109-03	X	X	X
E (oktober 2003)	R-184-03	X	X	

4.2 Beskrivelse af karakteriseringsprogram

4.2.1 Bestemmelse af vejopfejts sammensætning

Det første trin i en karakterisering af et restprodukt vil være at undersøge, hvilke hovedkomponenter det består af, og hvilke forureningskomponenter, det indeholder. Der er derfor på prøverne af vejopfejl gennemført totalanalyser for indhold af en række uorganiske hovedkomponenter og sporelementer. Disse analyser er foretaget efter oplukning af prøverne med en blanding af flussyre, salpetersyre og saltsyre (eller efter en alkalismeltning), som i princippet gør hele indholdet af uorganiske komponenter tilgængeligt for den efterfølgende kemiske analysering. De danske miljøregler, som omfatter grænseværdier for indhold af uorganiske stoffer (f.eks. BEK 655 af 27. juni 2000) foreskriver anvendelse af en anden, partiel oplukningsmetode, DS 259. Prøverne er derfor også blevet analyseret for en række sporelementer efter oplukning i henhold til DS 259. Ved denne metode, hvor prøven oplukkes med salpetersyre under tryk, vil eventuelle silikatmatricer ikke blive fuldstændigt destrueret, og (spor)elementer, som er indbygget i disse matricer, vil ikke nødvendigvis blive medtaget i den efterfølgende kemiske, og de vil derfor muligvis kun blive partielt bestemt. Man skal således være forsigtig med at anvende resultater af analyser baseret på partiel oplukning til massestrømsanalyser og lignende, hvor man som regel har brug for at kende det virkelige totalindhold. DS 259 anvendes primært fordi metoden er mindre

kompliceret og arbejdsmiljømæssigt mindre problematisk end metoder, der involverer håndtering af flussyre. Da vejopfej indeholder betydelige mængder silikater, kan der for nogle elementer forventes en forskel i resultaterne fra de to metoder.

Alle analyser af vejopfejets sammensætning er udført på delprøver, som var formalet til < 0,125 mm.

Til bestemmelse af totalindhold af uorganiske komponenter blev prøverne på DHI oplukket med en blanding af flussyre og kongevand. Fremgangsmåden er som følger: 250 mg prøve tilsættes 2 ml kongevand (3 dele HCl til 1 del HNO₃) og 2 ml HF. Blandingen opvarmes i en teflonbeholder placeret i en destruktionsbombe (Berghof) til 110 °C i 1-2 timer. Efter nedkøling åbnes bomben, og der tilsættes 15 ml mættet borsyre. Efter 30 minutters henstand er prøven klar til analysering, hvilket efterfølgende blev udført af DHI ved atomabsorptionsspektrofotometri (AAS) og ICP (inductively coupled plasmaanalyse). De analyserede parametre fremgår af Tabel 3.2.

Til bestemmelse af sporelementindhold efter partiel oplukning blev prøverne på DHI oplukket i henhold til DS 259 (kogning i halvkonzentreret HNO₃ under 1 ato i 30 minutter). De oplukkede prøver blev efterfølgende på DHI analyseret for sporelementer ved AAS og ICP. De analyserede parametre fremgår af Tabel 4.2.

Delprøver blev også sendt til F.L. Schmidt & Co. A/S til analyse for S (forbrænding i induktionsovn, opløsning og titrering) og Cl (alkalimelting, syreekstraktion og spektrofotometri). Delprøver blev ligeledes sendt til AnalyTech Miljølaboratorium ApS til analysering for total organisk kulstof, TOC (metode: LECO).

Til bestemmelse af indholdet af ikke-flygtigt organisk kulstof (NVOC), blev prøverne på DHI opslæmmet i vand og analyseret på Dohrmann DC-190. Da prøvernes indhold af flygtigt organisk kulstof (VOC) skønnes at være ringe, antages NVOC at svare til totalindholdet af organisk kulstof (TOC). For faststofprøvernes vedkommende anvendes NVOC og TOC derfor synonymt i resten af denne rapport.

Enkelte af prøverne < 0,125 mm er analyseret for indhold kulbrinter (ekstraktion med pentan og analysering ved GC FID) og polycykliske aromatiske hydrocarboner (PAH) (ekstraktion med pentan og acetone og analysering ved GC-MS-SIM).

Alle analyseresultater referer til tørstofindholdet af de prøver, som er formalet < 0,125 mm). Tørstofindholdet er fastlagt ved bestemmelse af massen før og efter tørring til konstant vægt ved 105 °C. En samlet oversigt over de anvendte analysemetoder er angivet i bilag 1.

4.2.2 Bestemmelse af vejopfejets pH, alkalinitet og glødetab

På de delmængder af faststofprøverne, som var formalet til < 125 µm, blev der endvidere foretaget bestemmelse af pH (målt i en 1% (w/w) opslæmning af prøven i demineraliseret vand efter 30 minutters omrøring under tildækning), alkalinitet (kogning med fortyndet HCl og tilbagetitrering med NaOH til pH = 7) og glødetab (opvarmning til 550 °C i 2 timer).

4.2.3 Udførelse af tilgængelighedstests for uorganiske komponenter

På de i Tabel 4.1 angivne prøver (delprøverne $< 125\mu\text{m}$) er der foretaget bestemmelse af den potentielt udvaskelige mængde af en række indholdsstoffer. Bestemmelsen er foretaget ved hjælp af en såkaldt tilgængelighedstest, og den benyttede fremgangsmåde svarer til den, som er beskrevet i den hollandske standard NEN 7341 (NNI, 1995), dog modificeret således, at der udvaskes ved $2 \times L/S = 100 \text{ l/kg}$ (i stedet for $2 \times L/S = 50 \text{ l/kg}$). Metoden svarer også til Nordtestmetoden NT ENVIR 003 (Nordtest, 1995), dog modificeret således, at der benyttes kontakttider på 2×3 timer (i stedet for 2×24 timer).

Idéen i at udføre en tilgængelighedstest er at søge opnå et skøn over hvor stor en del af totalindholdet af en given komponent i et givet affaldsprodukt, der kan forventes at være potentielt tilgængelig for udvaskning over en meget lang tidsperiode under omstændigheder, der uden at være helt ekstreme begunstiger stofudvaskning. For at dette skal kunne gennemføres indenfor et meget kort tidsrum (2×3 timer), søges nogle af de barrierer (faststoffdiffusion og opløselighedskontrol i væskefasen), som vil kunne nedsætte udvaskningshastigheden, minimeret gennem anvendelse af en meget lille partikelstørrelse og store værdier af væske/faststof-forholdet (L/S). De anvendte udvasknings-pH'er (7,0 og 4,0) er fastlagt forholdsvis pragmatisk. Grunden til, at der anvendes to værdier, er at nogle potentielle forureningskomponenter (f.eks. visse sporelementer, der danner oxyanioner) har en højere opløselighed ved $\text{pH} = 7$ end ved $\text{pH} = 4$, hvor de fleste metaller og sporelementer har en forholdsvis stor opløselighed.

Ved tilgængelighedstesten placeredes 8 g (på tørstofbasis) af den formalede prøve i et bægerglas med 800 ml (svarende til et væske/faststof-forhold, L/S, på 100 l/kg). Prøven blev holdt i suspension ved hjælp af hurtig omrøring, og suspensionen blev ved hjælp af automatisk feedback-kontrolleret tilsætning af HNO_3 eller NaOH indstillet til et konstant pH på 7,0 i en periode på 3 timer. Herefter stoppedes omrøringen, suspensionen filtreredes gennem et $0,45 \mu\text{m}$ membranfilter, og faststofprøven samt det brugte filter blev returneret til bægerglasset. Der tilsattes en ny portion demineraliseret vand på 800 ml (igen svarende til $L/S = 100 \text{ l/kg}$), og der blev igen omrørt under et kontrolleret pH, som denne gang indstilledes til 4,0. Efter 3 timers forløb blev omrøringen afbrudt, og den nye suspension blev ligesom den første filtreret gennem et $0,45 \mu\text{m}$ membranfilter. De to filtrater/eluater blev kombineret, og den kombinerede prøve blev analyseret og/eller konserveret med henblik på senere analyse.

Tilgængelighedstestene blev udført af DHI ved hjælp af computerstyret specialudstyr, som muliggør samtidig udførelse af 8 tests. Eluatprøverne blev efterfølgende analyseret af DHI i henhold til det i Tabel 4.2 angivne program.

4.2.4 Udførelse af kolonneudvaskningstests for uorganiske komponenter

Generelt om udvaskning fra granulært materiale som funktion af L/S eller tiden

Et meget væsentligt led i gennemførelsen af risikovurderinger til fastlæggelse/forudsigelse af den miljømæssige belastning som følge af stofudvaskning i forbindelse med nyttiggørelse eller deponering af vejopfej (og restprodukter og jord i almindelighed) vil være en bestemmelse af den hastighed, hvormed de forureningskomponenter, som f.eks. ved en tilgængelighedstest er fundet potentielt tilgængelige for udvaskning i

tilstrækkeligt omfang til at være interessante, udvaskes under forholdsvis realistiske omstændigheder. Det er i den sammenhæng nødvendigt at fastlægge udvaskningshastigheden som funktion af tiden/udvaskningsgraden.

Stoftransporten ud af granulære materialer som ubundne restprodukter og jord afhænger dels af den hastighed (mængde per tidsenhed), hvormed materialet gennemstrømmes af vand (f.eks. nedsivende regnvand), dels af sammensætningen af det gennemsvivende vand, som især i deponeringsammenhænge kaldes perkolat.

For restprodukter på granulær form og jord antages det, at der ved normalt forekommende gennemstrømningshastigheder for de enkelte forureningskomponenter vil eksistere en (eventuelt lokal) ligevægtslignende tilstand mellem det gennemsvivende vand og det udlagte materiale, som vil styre sammensætningen af vandfasen/perkolatet. Denne sammensætning vil som regel ændre sig med tiden eller med mængden af gennemstrømmende vand, fordi der hele tiden fjernes stof. Det er derfor ofte hensigtsmæssigt at beskrive sammensætningen af perkolat fra udvaskning af restprodukter og jord som funktion af det allerede omtalte væske-/faststofforhold ($L/S = \text{Liquid/Solid}$), hvor L er den samlede vandmængde, som på et givet tidspunkt er strømmet gennem materialet, mens S er tørvægten af det gennemstrømmede materiale. Såfremt udvaskningsforløbet beskrives som funktion af L/S, er det under visse forudsætninger muligt i nogen grad at se bort fra de specifikke fysiske forsøgsbetingelser ved forskellige udvaskningsundersøgelser. Dette muliggør bl.a. en anvendelse af laboratorie- og pilotskalaundersøgelser såsom kolonneforsøg, lysimeterforsøg og/eller enkelte eller serielle batchforsøg til estimering af udvaskningsforløbet i en konkret situation.

Når vandgennemstrømningsforholdene for et anvendelses anlæg eller et deponi indeholdende granulære affaldsprodukter eller jord er kendt, kan L/S - skalaen eventuelt omsættes til en tidsskala, således at perkolatsammensætningen kan estimeres som funktion af tiden, se f.eks. Hjelmar & Traberg (1995). Omregningen mellem L/S og tiden, t, kan eksempelvis ske ved hjælp af følgende formel:

$$t = t_0 + (L/S) \times d \times H/I$$

hvor t_0 er det tidsrum, der forløber, inden fremkomsten af det første perkolat ved opfyldningens bund, d er tørdensiteten og H er højden/tykkelsen af det udlagte materiale, og I er nettoinfiltrationshastigheden for nedbøren.

For at sætte sammenhængen mellem L/S og tid lidt i perspektiv, er der i tabel 4.4 beregnet nogle samhørende værdier af L/S og tiden for forskellige værdier af I og H. Der er regnet med en gennemsnitlig tørdensitet på 1 t/m^3 . H = 1 m vil være relevant for mange anvendelsesscenerier, mens H = 10 m vil være relevant i forbindelse med deponering.

Tabel 4.4

Beregninger af sammenhængen mellem L/S og tid for forskellige højder af udlagt materiale og forskellige infiltrationshastigheder. Der er regnet med en gennemsnitlig tørdensitet på 1 t/m³.

Højde H	Infiltration I	L/S	Tid (t-t ₀)	Højde H	Infiltration I	L/S	Tid (t-t ₀)
m	mm/år	l/kg	år	m	mm/år	l/kg	år
1	10	0,1	10	10	10	0,1	100
1	10	0,5	50	10	10	0,5	500
1	10	1,0	100	10	10	1,0	1000
1	10	2,0	200	10	10	2,0	2000
1	10	10	1000	10	10	10	10000
1	100	0,1	1	10	100	0,1	10
1	100	0,5	5	10	100	0,5	50
1	100	1,0	10	10	100	1,0	100
1	100	2,0	20	10	100	2,0	200
1	100	10	100	10	100	10	1000
1	300	0,1	0,3	10	300	0,1	3,3
1	300	0,5	2	10	300	0,5	17
1	300	1,0	3	10	300	1,0	33
1	300	2,0	7	10	300	2,0	67
1	300	10	33	10	300	10	333

Kolonnevaskningstests

Ved et kolonneforsøg placeres det granulære affald i en lodretstående cylinder, hvorefter ekstraktionsvæsken bringes til at perkolere gennem affaldet i upflow eller downflow. I begge ender af kolonnen er der som regel anbragt filtre, som i indløbet fordeler væsken jævnt over kolonnens tværsnitsareal, og som i udløbet forhindrer medrivning af partikler i væskefasen.

Kolonnevaskningsforsøg simulerer i nogen grad de strømningsforhold, som kan forventes at forekomme, når regnvand (eller grundvand) infiltrerer eller gennemstrømmer et granulært/porøst affaldsmateriale, som er deponeret eller nyttiggjort i forbindelse med opfyldning eller lignende. Dog vil gennemstrømningshastigheden ved et kolonneforsøg udført i laboratoriet ofte være accelereret i forhold til naturligt forekommende gennemstrømningshastigheder. Downflow svarer til forholdene ved infiltration af nedbør gennem affaldet og tillader simulering af umættede forhold, men medfører let kanalisering af strømmingen i kolonnen. Kolonneforsøg udføres derfor oftest i upflow under mættede forhold, idet forsøgsresultaterne herved bliver lettere at reproducere.

Det dannede eluat opsamles med henblik på kemisk analysering og/eller andre undersøgelser (f.eks. økotoksikologisk testning). Perkolatet opsamles ofte som fortløbende fraktioner over L/S-intervaller, som i starten er små, men som vokser med stigende L/S. Som tidligere nævnt sker en meget stor del af udvaskningen af mange stoffer i intervallet L/S = 0-1 l/kg, så man vil normalt være interesseret i en forholdsvis detaljeret beskrivelse af denne del af udvaskningsforløbet. Fraktionsvis opsamling og analysering af den samlede mængde af fremkommet eluat er især velegnet til en beskrivelse af de udvaskede stofmængder som funktion af L/S. Eluatets sammensætning vil være beskrevet ved gennemsnitsværdier over de benyttede L/S-intervaller. Da opsamlingen af en eluatfraktion kan tage forholdsvis lang tid, kan det være nødvendigt at tage specielle forholdsregler (f.eks. nedkøling, opbevaring under nitrogen eller argon) med henblik på at undgå ændringer i eluatsammensætningen i løbet af opsamlingsperioden som følge af oxidation eller karbonatisering.

Hvis man ønsker en mere detaljeret beskrivelse af eluatets sammensætning som funktion af L/S, kan man i stedet opsamle mindre eluatfraktioner ved forskellige L/S-værdier. De to perkolatopsamlingsmetoder kan eventuelt kombineres. Hvis forsøget f.eks. afsluttes med udtagelse af fraktionen $L/S = 2,0 - 5,0$ l/kg, kan man eksempelvis til sidst udtage fraktionen $L/S = 5,0 - 5,1$ l/kg for at kunne beskrive eluatsammensætningen ved forsøgets afslutning.

Strømningshastigheden gennem en kolonne bør søges tilpasset således, at der på ethvert sted i kolonnen er ligevægt mellem faststoffasen og væskefasen ("local equilibrium assumption", LEA). Generelt vil der for stoffer, der udvaskes fra affaldsmaterialet, opstå en koncentrationsprofil i såvel faststoffase som porevand i kolonnens længderetning, hvor indløbsenden repræsenterer den mest og udløbsenden den mindst fremskredne udvaskningsgrad. Med mindre specielle forhold gør sig gældende, fortolkes resultaterne dog oftest som gældende som gennemsnit for hele kolonnens indhold af materiale. Sorptionsforholdene kan for en given komponent og et givet materiale have stor indflydelse på koncentrationsprofilens udseende. Det kan være vanskeligt at vide, om LEA er opfyldt for et kolonneforsøg under nogle givne betingelser. Man kan undersøge, om det er tilfældet ved at gennemføre flere parallelle forsøg med forskellige gennemstrømningshastigheder. Hvis man for to forskellige hastigheder får samme resultater, er det overvejende sandsynligt, at LEA er opfyldt for begge hastigheder. Hvis resultaterne er væsentligt forskellige, må man prøve med en lavere hastighed, indtil man får det samme resultat for to forskellige hastigheder.

Praktiske erfaringer viser, at LEA for eksempel for et mineralsk restprodukt som kulflyveaske generelt er opfyldt ved strømningshastigheder svarende til 25 mm/døgn målt over hele kolonnens tværsnitsareal (Hjelmar 1990). Afhængigt af affaldsmaterialets egenskaber kan det jf. ovenstående i nogle tilfælde være nødvendigt at anvende en langsommere strømningshastighed, mens større strømningshastigheder formentlig vil være acceptable i andre tilfælde.

Sammensætningen af især det først fremkomne eluat vil for en række stoffer (f.eks. nogle sporelementer) ofte kunne være opløselighedskontrolleret¹ og stærkt påvirket af pH, redoxforhold, kompleksdannere, ionstyrke m.v. For mange stoffers vedkommende er indholdet i eluatet ved højere, men i nogle tilfælde også allerede ved forholdsvis lave L/S-forhold (f.eks. nogle letopløselige uorganiske salte), i højere grad tilgængelighedskontrolleret.² Nogle stoffer kan dog forblive opløselighedskontrollerede selv ved forholdsvis høje L/S-forhold.

Det bør bemærkes, at der ikke nødvendigvis eksisterer en direkte korrelation mellem resultaterne af fundet ved et kolonneforsøg og stofudvaskningen

¹ En komponent i et udvaskningssystem siges at være opløselighedskontrolleret, hvis dens koncentration i eluatet er styret af andre komponenter i eluatet eller af et mineral i faststoffasen via et opløselighedsprodukt. Eksempelvis vil sulfat i eluater fra nogle restprodukter ofte i starten af udvaskningsforløbet være opløselighedskontrolleret på grund af tilstedeværelsen af gips ($\text{CaSO}_4 \cdot 2 \text{H}_2\text{O}$).

² En komponent i et udvaskningssystem siges at være tilgængelighedskontrolleret, hvis dens koncentration i eluatet ikke er opløselighedskontrolleret, men derimod primært kontrolleret af tilgængeligheden/tilstedeværelsen samt de fysiske forhold i systemet. Klorid er et eksempel på en komponent, som i eluater fra mange restprodukter er tilgængelighedskontrolleret. Tilgængelighedskontrollerede komponenter udvaskes ofte forholdsvis hurtigt i starten af et udvaskningsforløb.

under feltforhold, idet der under accelererede laboratorieforhold ikke altid i fuldt omfang kan tages hensyn til forhold som kontakten mellem væske og faststof, mineralomdannelse, mikrobiologisk aktivitet m.v. Specielt kan ændringer i pH og redoxforhold som følge af ydre påvirkninger (karbonatisering, forsuring, oxidation) med tiden ændre udvaskningsforholdene under feltforhold sammenlignet med forholdene i laboratoriet. Det vil derfor være hensigtsmæssigt bl.a. at kende stofudvaskningens variation med pH.

Den anvendte kolonneudvaskningstest, NT ENVIR 002

Nordtestmetoden, **NT ENVIR 002**, (Nordtest, 1995b), svarer på de fleste områder til den senere udviklede europæiske tekniske specifikation CEN/TS 14405 (CEN, 2004), men er modificeret blandt andet med hensyn til krav til partikelstørrelse, kolonnestørrelse, gennemstrømningshastighed, antal opsamlede eluatfraktioner og slut-L/S. Generelt tillader NT ENVIR større fleksibilitet end CEN/TS 14405, undtagen hvad angår partikelstørrelsen. Materialet, som skal undersøges, og som, hvis det ikke fra starten har en partikelstørrelse < 4 mm, nedknuses til 90% < 4 mm og ingen partikler større end 10 mm, placeres i en opretstående cylindrisk kolonne med en indre diameter på mindst 5 cm (dog skal diameteren altid være mindst 10 gange større end den største partikelstørrelse) og en fyldhøjde, der er mindst 4 gange kolonnediameteren. Kolonnen må gerne være større, blot disse krav er opfyldt. Der placeres om nødvendigt et forfilter (max 1,5 µm) i top og bund, og kolonnen lukkes, således at der ikke er luft over materialet i toppen. Top og bund er udstyret med stutse til henholdsvis ind- og udløb. I udløbsenden placeres efter forfilteret endvidere et 0,45 µm membranfilter. Idet der anvendes upflow, tilledes der fra bunden af kolonnen demineraliseret vand, som på forhånd er indstillet til pH = 4,0 med 0,1 M HNO₃. For materialer, hvor man er sikker på, at der opnås en lokal ligevægtslignende tilstand under disse betingelser, kan der benyttes en gennemstrømningshastighed på 0,1 L/S-enheder (l/kg tørstof i kolonnen) per døgn, hvilket med en kolonnediameter på 5 cm, en fyldhøjde på 20 cm og en tør masserumvægt på 1,2 kg/l eksempelvis svarer til en lineær gennemstrømningshastighed på 2,4 cm/døgn, beregnet på en tom kolonne. For andre materialer, hvor kendskabet til ligevægtsforholdene er begrænset, eller hvor partikelstørrelsen er forholdsvis stor (dog indenfor ovennævnte krav), anbefales en langsommere gennemstrømningshastighed svarende til 0,03 L/S-enheder per døgn. Det anbefales, at man for materialer, der undergår reaktioner, f.eks. puzzolane, selvhærdende reaktioner, efter den indledende mætning af kolonnen lader denne stå i op til en måned, inden man igen starter gennemstrømningen og opsamlingen af eluat. Hvor kolonnetesten NEN 7343 blev afbrudt ved L/S = 10 l/kg, løber NT ENVIR 003 normalt kun til L/S = 2 l/kg. Der kan opsamles enten 4 eluatfraktioner (L/S = 0,0-0,2 l/kg, 0,2-0,5 l/kg, 0,5-1,0 l/kg og 1,0-2,0 l/kg) eller 5 eluatfraktioner (L/S = 0,0-0,1 l/kg, 0,1-0,2 l/kg, 0,2-0,5 l/kg, 0,5-0,1 l/kg og 1,0-2,0 l/kg). Hvis det ønskes, kan testen dog fortsættes under opsamling af yderligere fraktioner i intervallet L/S = 2-10 l/kg. Der måles pH og ledningsevne på eluatfraktionerne straks efter opsamlingen, hvorefter resten af fraktionen, evt. efter fordeling i forskellige flasker, konserveres til senere analysering for de komponenter, som er af interesse.

Kolonnetests på vejopfej

Som det fremgår af Tabel 4.1, er der gennemført enkelte kolonnetests på blandprøverne A, B, mens der på blandprøven C er udført et udvaskningsforsøg in triplo (for at opnå en indikation af usikkerheden på kolonnetesten).

Testene er udført på materiale nedknust til < 4 mm i henhold til NT ENVIR 002, hvor der er anvendt kolonner med 10 cm diameter, demineraliseret vand (i stedet for vand indstillet til pH = 4 med HNO₃), hvilket svarer til fremgangsmåden i CEN/TS 14405, og flowhastigheder på 2 – 4 cm/døgn regnet på åben kolonne.

Følgende eluatfraktioner blev opsamlet: L/S = 0 - 0,1 mg/l, L/S = 0,1 - 0,2 l/kg, L/S = 0,2 - 0,5 l/kg, L/S = 0,5 - 1,0 l/kg og L/S = 1,0 - 2,0 l/kg. Eluaterne blev analyseret for de i Tabel 4.2 angivne parametre.

4.2.5 Udførelse af batchudvaskningstests for udorganiske komponenter

Generelt om batchudvaskningstests

Batchudvaskningstests er en fællesbetegnelse for en række forskellige testformer, hvor en bestemt mængde faststof bringes i kontakt med en bestemt mængde ekstraktionsvæske i et vist tidsrum, hvorefter væske- og faststoffasen adskilles. Væskefasen analyseres for de parametre, som er af interesse. Ved tests, hvor udgangspunktet er et ønske om i nogen grad at simulere udvaskning under feltforhold, vil man ofte ønske at opnå en ligevægtslignende tilstand mellem væsken og faststoffasen, og helst på den kortest mulige tid. Sådanne forsøg udføres derfor oftest på faststofprøver med begrænset partikelstørrelse, typisk < 4 mm, idet man herved sikrer en stor kontaktoverflade mellem væske og faststof og minimerer transportmodstanden og transporttiden for komponenter i faststoffasens indre. Materialer med større partikelstørrelse nedknuses ofte forud for gennemførelsen af et ekstraktionsforsøg. Batchtests udføres i de fleste tilfælde under agitation af testbeholderen for at reducere den nødvendige kontakttid. Typiske kontakttider for ekstraktionsforsøg er fra 6 timer til ét eller flere døgn (kontakttider på mindre et døgn anvendes stort set kun ved serielle tests, hvor den samlede kontakttid er mindst et døgn). Som ekstraktionsvæske benyttes ofte demineraliseret vand eller kunstigt regnvand, hvilket normalt vil medføre, at udvaskningssystemet i sluttilstanden er faststofkontrolleret. I nogle ekstraktionstests anvendes dog væskefasekontrol eller fastholdte forsøgsbetingelser, f.eks. ved styring af pH eller mætning med CO₂ eller tilsætning af kompleksdannere, med henblik på beskrivelse af bestemte scenarier.

Da udvaskningen af komponenter fra en faststofprøve ved ekstraktionsforsøg kan være både opløselighedskontrolleret (typisk ved lave L/S-forhold) og tilgængelighedskontrolleret (typisk ved højere L/S-forhold), kan det være både misvisende og upraktisk at angive den resulterende stofudvaskning for en given komponent som en koncentration i ekstraktionsvæsken (f.eks. mg/l). Med mindre resultatet skal benyttes til ligevægtsbetragtninger eller -beregninger, bør det samtidig eller i stedet opgives som udvasket stofmængde (mg/kg testet prøve); for serielle batchforsøg angives akkumuleret udvasket stofmængde. Dette muliggør en direkte sammenligning af stofudvaskningen fra ekstraktionsforsøg udført ved forskellige L/S-forhold og for sammenligning af stofudvaskningen fundet ved henholdsvis ekstraktionsforsøg og kolonneforsøg. For en koncentration i ekstraktionsvæsken angivet i mg/l fås den tilsvarende udvaskede stofmængde i mg/kg ved at multiplicere koncentrationen med det anvendte L/S-forhold udtrykt i l/kg.

Af praktiske årsager (blandingsforhold i kontaktperioden og efterfølgende adskillelse af væske og faststof) er det sjældent muligt at gennemføre ekstraktionsforsøg ved L/S < 2 l/kg. Den øvre grænse for hvor stor L/S kan

være, hvis man ønsker at kunne måle udvaskningen, vil ofte være bestemt af detektionsgrænsen for analyseringen af de komponenter, som ønskes undersøgt. Den afhænger desuden af de aktuelle komponenters udvaskelighed fra det undersøgte materiale og af ekstraktions væskens aggressivitet. Det er ikke muligt at give generelle retningslinjer for, hvor høje L/S-værdier, man kan anvende. I praksis udføres mange batchudvaskningstests ofte ved $L/S = 10$ l/kg, men også $L/S = 2$ l/kg og $L/S = 20$ l/kg forekommer, sidstnævnte dog med et udvaskningsmedium, som er mere aggressivt end demineraliseret vand.

Et enkelt ekstraktionsforsøg eller et batchforsøg beskriver ligevægtsforholdene ved det bestemte L/S-forhold (og de øvrige fastsatte forsøgsbetingelser), som forsøget udføres ved. Resultatet er en gennemsnitlig koncentration over det benyttede L/S-forhold og udgør eksempelvis på en afbildning af den akkumulerede udvaskede stofmængde mod L/S kun ét enkelt punkt. Informationsværdien af et enkelt batchforsøg er således begrænset. Såfremt man ønsker at beskrive en progression i et udvaskningsforløb, kan dette bl.a. ske ved gennemførelse af serielle batchforsøg, hvor det samme affaldsmateriale underkastes flere på hinanden følgende ekstraktioner med frisk ekstraktionsvæske. Hvis resultaterne, f.eks. i form af akkumuleret udvasket stofmængde for en given komponent, afbildes som funktion af L/S, vil de udgøre punkter på en kurve, som for de gældende betingelser beskriver udvaskningsforløbet.

Den anvendte batchudvaskningstest, EN 12457-3, del 1

Den europæiske standardiseringskomité, CEN/TC 292: Characterisation of waste, har udviklet en standard-batchudvaskningstest, EN 12457, som består af 4 dele:

EN 12457-1: En et-trinstest udført ved $L/S = 2$ l/kg på materiale med partikelstørrelse < 4 mm, uden eller med forudgående nedknusning.

EN 12457-2: En et-trinstest udført ved $L/S = 10$ l/kg på materiale med partikelstørrelse < 4 mm, uden eller med forudgående nedknusning.

EN 12457-3: En to-trinstest udført ved $L/S = 2$ l/kg og $L/S = 8$ l/kg på materiale med partikelstørrelse < 4 mm, uden eller med forudgående nedknusning.

EN 12457-4: En et-trinstest udført ved $L/S = 10$ l/kg på materiale med partikelstørrelse < 10 mm, uden eller med begrænset nedknusning.

Fremgangsmåden og forskellene mellem de forskellige delprocedurer fremgår i store træk af tabel 4.5. De tre af procedurerne er enkelte batchforsøg, hvor EN 12457-1 udføres ved $L/S = 2$ l/kg og EN 12457-2 udføres ved $L/S = 10$ l/kg, begge på materiale, hvor mindst 95% af massen af partikler er mindre end 4 mm, med eller uden forudgående nedknusning, mens EN 12457-4 ligesom EN 12457-2 udføres ved $L/S = 10$ l/kg, men hvor kravet til partikelstørrelsen er svækket til, at mindst 95% af massen af partikler blot skal være mindre end 10 mm, uden eller med begrænset nedknusning af materiale større end 10 mm. I alle tre tests placeres materialet sammen med den beregnede mængde demineraliseret vand i en lukket flaske med lille headspace, og der anvendes en kontakttid på 24 timer, hvor der agiteres ved rotation omkring flaskens tværakse ved 5-10 rpm eller ved anbringelse på et excentrisk rullebord, hvor rullerne roterer med 5-10 rpm. Efter kontakttidens udløb henstår flasken i 15 minutter, hvorefter eluatet filtreres gennem et 0,45

μm filter. Der bestemmes straks pH, ledningsevne, temperatur og evt. redoxpotentiale på eluatet, som derefter konserveres med henblik på efterfølgende analyse.

Tabel 4.5

Øversigt over forsøgsbetingelserne ved batchudvaskningstesten EN 12457 (1-4).

Betegnelsen:	EN 12457-1	EN 12457-2	EN 12457-3	EN 12457-4
Organisation:	CEN/TC 292	CEN/TC 292	CEN/TC 292	CEN/TC 292
Partikelstørrelse:	< 4 mm	< 4 mm	< 4 mm	< 10 mm
Ekstraktions-middel:	DMV	DMV	DMV	DMV
Faststofmængde:	175 g	90 g	175 g	90 g
L/S pr. trin:	2 l/kg	10 l/kg	2 l/kg (trin 1) 8 l/kg (trin 2)	10 l/kg
L/S-akkum. v.slut:	2 l/kg	10 l/kg	10 l/kg	10 l/kg
Antal trin:	1	1	2	1
Kontaktid pr. trin:	24 timer	24 timer	6 timer i 1. trin 18 timer i 2. trin	24 timer
Agitationsmetode:	Rotation omkring flaskens tværsakse m. 5-10 rpm eller excentrisk "rollertable" m. ca. 10 rpm.	Rotation omkring flaskens tværsakse m. 5-10 rpm eller excentrisk "rollertable" m. ca. 10 rpm.	Rotation omkring flaskens tværsakse m. 5-10 rpm eller excentrisk "rollertable" m. ca. 10 rpm.	Rotation omkring flaskens tværsakse m. 5-10 rpm eller excentrisk "rollertable" m. ca. 10 rpm.
Filtrering:	0,45 μm	0,45 μm	0,45 μm	0,45 μm

Den tredje af procedurerne, EN 12457-3, er en to-trins test, hvor der først udvaskes i 6 timer med demineraliseret vand ved $L/S = 2$ l/kg, hvorefter eluatet efter 15 minutters henstand frafiltreres gennem et 0,45 μm filter. Det tilstræbes at frafiltrere den størst mulige mængde eluat. Der bestemmes straks pH, ledningsevne temperatur og evt. redoxpotentiale på eluatet, som derefter konserveres med henblik på efterfølgende analyse. Faststoffresten overføres sammen med de brugte filtre til en ny flaske, der tilsættes en mængde demineraliseret vand svarende til $L/S = 8$ l/kg, og flasken agiteres som før, denne gang med en kontaktid på 18 timer. Herefter henstår flasken i 15 minutter, hvorpå eluatet filtreres gennem et 0,45 μm filter, og der bestemmes straks pH, ledningsevne temperatur og evt. redoxpotentiale på eluatet, som derefter konserveres med henblik på efterfølgende analyse. Begge eluatfraktioner analyseres for de komponenter, som i den givne situation er af interesse.

Den sidste procedure, EN 12457-4, kan ikke anbefales, da de mindre stringente krav til partikelstørrelsen ved denne procedure betyder, at man for en række materialer er mindre sikker på, at forudsætningen om ligevægt er opfyldt, end man er for de øvrige tre procedurer.

Batchudvaskningstests på vejopfej

En række prøver af vejopfej (se Tabel 4.1) er blevet underkastet batchtesten EN 12457-3 (del 1), hvor der er udvasket ved $L/S = 2$ l/kg med en kontaktid på 6 timer. Denne testmetode, som da den blev udført hed prEN 12457-3

(del 1), blev valgt, fordi den er foreskrevet i BEK nr. 655 af 27. juni 2000. Undersøgelser udført af DHI har vist, at der i de fleste tilfælde ikke vil være nogen signifikant forskel på resultater opnået ved denne procedure (6 timers kontakttid) og ved proceduren for EN 12457-1 (24 timers kontakttid), og det forventes, at metodekravet i ovennævnte bekendtgørelse vil blive ændret til EN 12457-1. Det forventes ligeledes, at EN 12457-1 vil blive den foreskrevne overensstemmelsestestmetode i forbindelse med implementeringen af EU-direktivet om deponering og den tilhørende rådsbeslutning om procedurer og testning for accept af affald på deponeringsanlæg (CEC 1999 og 2003). Resultaterne af batchudvaskningstestene ved $L/S = 2$ l/kg er direkte sammenlignelige med resultaterne af kolonneudvaskningstestene ved $L/S = 2$ l/kg, hvis begge udtrykkes som (akkumulerede) udvaskede stofmængder (mg/kg).

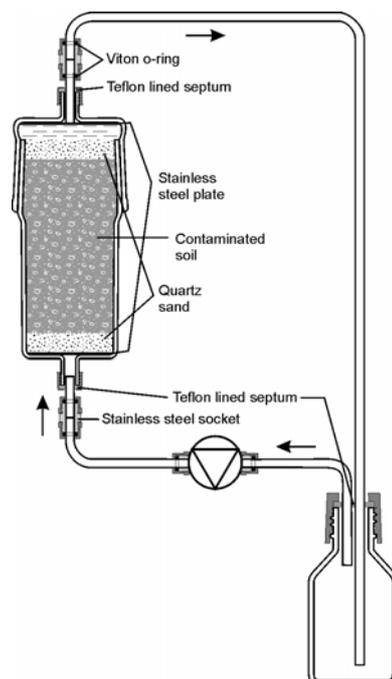
Eluaterne fra de gennemførte batchudvaskningstests blev analyseret for de i Tabel 4.2 angivne parametre.

4.2.6 Udførelse af udvaskningstests for organiske komponenter (PAH)

Beskrivelsen af udvaskningen af organiske komponenter fra affaldsmaterialer og jord er generelt væsentligt mere kompliceret end beskrivelsen af udvaskningen af uorganiske komponenter, og der findes endnu ingen standardiserede testmetoder til dette formål. DHI har siden sidste halvdel af 1990'erne arbejdet med at udvikle metoder til testning af udvaskningen af organiske stoffer fra affald og jord. Som et led i testningen af to sådanne metoder, har DHI gennemført tredobbelte tests på prøver af vejopfej (< 4 mm), se tabel 4.3 (prøve D, maj 2003). Der er testet for udvaskning af PAH ved såvel såkaldte ligevægtskolonneudvaskningstest som ved batchudvaskningstests.

Ligevægtskolonne testen er udviklet i et projekt for Miljøstyrelsen (2003) med henblik på sikring af ligevægt mellem væskefase og faststoffase uden voldsom agitation af systemet. Den er specielt velegnet til undersøgelse af udvaskningen af ikke-flygtige organiske stoffer. Testen gennemføres i en glaskolonne, hvor udvaskningsmediet (i dette tilfælde en 0,005 M opløsning af CaCl_2 i demineraliseret vand tilsat NaN_3) recirkuleres gennem denne i upflow over en periode på 7 døgn. Calciumkloriden blev tilsat for at undgå suspension af meget fine partikler (anvendes til jord og jord-lignende materialer), mens natriumaziden blev tilsat for at undgå biologisk nedbrydning af organiske stoffer under udvaskningsforløbet. På figur 4.1 ses en principskitse og et billede af testopstillingen.

De anvendte testbetingelser er vist i Tabel 4.6, og en nærmere beskrivelse af testmetoden er givet i Bilag x.



Figur 4.1

Principskitse og billede af ligevægtskolonnetest for ikke-flygtige organiske stoffer.

Batchudvaskningstesten, som ligeledes er udviklet for Miljøstyrelsen (2003), blev gennemført i en glasflaske ved $L/S = 2$ l/kg med en 0,005 M opløsning af CaCl_2 i demineraliseret vand med en kontakttid på 24 timer. Adskillelsen af eluat og faststof blev foretaget ved centrifugering ved henholdsvis 27000 g i 30 minutter. De anvendte testbetingelser er vist i Tabel 4.7, og en nærmere beskrivelse af testmetoden er givet i Bilag 3.

Som det fremgår af Tabellerne 4.6 og 4.7 er både ligevægtskolonnetesten og batchtesten blevet udført in triplo.

Tabel 4.6

Testbetingelser anvendt ved udførelse af ligevægtskolonnetest på prøve D (maj 2003).

Vejopfej, prøve D (R-109-03)	Kolonne 1	Kolonne 2	Kolonne 3
Tørstofindhold (g/kg)	971	971	971
Vandindhold (g/kg)	29	29	29
Filtersand – bunden af kolonnen (g)	75,2	75,3	75,4
Filtersand – toppen af kolonnen (g)	75,1	75	75,9
Kontakttid (dage)	7	7	7
Testportion, vådvægt (g)	505,9	518,7	505,9
Testportion, tørvægt (g TS)	491,2	503,7	491,2
Koncentration af CaCl_2 i eluent (M)	0,005	0,005	0,005
Koncentration af NaN_3 i eluent (g/l)	0,5	0,5	0,5
Total mængde af eluent (g)	303,0	292,3	294,7
Gennemstrømningshastighed (ml/time)	20	20	20
L/S-forhold (l/kg)	0,6	0,6	0,6
Eluat			
pH	7,68	7,66	7,74
Turbiditet (NTU)	4,87	3,1	1,33

Tabel 4.7
Testbetingelser anvendt ved udførelse af batchudvaskningstest for organiske komponenter på prøver D (maj 2003).

Vejopfej, prøve D (R-109-03)	1. replikat	2. replikat	3. replikat
Tørstofindhold (g/kg)	962	962	962
Vandindhold (g/kg)	38	38	38
Koncentration af CaCl ₂ i eluent (M)	0,005	0,005	0,005
Testportion (g)	265,2	271	273,1
Volumen af eluent (ml)	521,6	531,3	538,6
Kontaktid (timer)	24	24	24
L/S-forhold (l/kg)	2,08	2,08	2,09
Centrifugering (kraft (g) / tid (min))	27000 / 30	27000 / 30	27000 / 30
Eluat:			
pH	8	8,1	8,1
Turbiditet (NTU)	27	10	14
Ledningsevne (mS/m)	784	763	737

4.3 Resultater af faststofkarakterisering

4.3.1 pH, alkalinitet, glødetab og TOC

I tabel 4.1 ses resultaterne af målinger af pH, alkalinitet, glødetab og TOC på de 3 årstidsprøver af vejopfej fra Københavns Kommune. Som tidligere beskrevet er der tale om tredobbelte bestemmelser, og for alkalinitet og glødetab (ved 550 °C) er standardafvigelsen angivet i tabellen. Detailresultater kan ses i bilag 4. Tabellen viser også variationen af tilsvarende resultater fundet ved en tidligere undersøgelse af vejopfej fra amts- og motorveje i Københavnsområdet (Hjelmar et al., 1998).

Som det fremgår, er der ikke væsentlige årstidsvariationer i disse parametre, og de målte niveauer svarer så nogenlunde til de niveauer, som blev fundet i 1995. Det ses, at der ligesom tidligere observeret, er en positiv korrelation mellem glødetab og TOC.

Tabel 4.8
Resultater af årstidsprøver af vejopfej analyseret for pH, alkalinitet og glødetab. Til sammenligning er vist tilsvarende resultater fra 1995.

Parameter	Enhed	Vinter 2000 (prøve A)		Forår 2000 (prøve B)		Sommer 2000 (prøve C)		Vejopfej 1995
		Middelv.	Std. afv.	Middelv.	Std. afv.	Middelv.	Std. afv.	Variation
pH	-	9,8	-	9,7	-	8,2 -9,6	-	9,5 – 10
Alkalinitet	ækv/kg	1,7	0	1,7	0,06	1,7	0,05	1,3 – 1,6
Glødetab	g/kg	32,8	3,1	37,1	1,7	39,3	2,0	34 - 67
TOC	g/kg	17	1,5	20	0,6	26	2,0	16 - 30

4.3.2 Indhold af uorganiske komponenter

I tabel 4.9 og figur 4.2 ses resultatet af analysering af totalindholdet af en række uorganiske komponenter i årstidsprøverne af vejopfej. Tabellen viser middelværdier og standardafvigelser for de tredobbelte bestemmelser for hver årstid. De detaljerede resultater af enkeltanalyserne er vist i bilag 4.

I tabel 4.10 resultatet af analysering af de samme prøver for en række sporelementer efter partiel oplukning i henhold til DS 259. Også her ses middelværdier og standardafvigelser for de tredobbelte bestemmelser for hver årstid, og detaljerede resultater af enkeltanalyser findes i bilag 4. I figur 4.3 er analyseresultaterne efter henholdsvis totaloplukning og partiel oplukning i henhold til DS 259 sammenlignet.

Af tabel 4.9 fremgår det, at det generelle niveau af totalindholdet af de fleste uorganiske komponenter er nogenlunde det samme som i prøverne fra 1995. Dog synes indholdet af bly at være faldet markant fra en samlet middelværdi i 1995 på 230 mg/kg (Hjelmar et al., 1998) til en samlet middelværdi i 2000 på 61 mg/kg. Tilsvarende synes indholdet af kobber at være faldet fra 220 mg/kg i 1995 (Hjelmar et al., 1998) til 99 mg/kg i 2000. Faldet i blyindhold kan formentlig forklares med udfasningen af bly som tilsætning til benzin.

Det fremgår endvidere af tabel 4.9 og figur 4.2, at årstidsvariationerne i totalindholdet i vejopfejret af de fleste uorganiske komponenter er ubetydelige. For indholdet af klorid ses der dog en betydelig afhængighed, idet vinterprøven indeholder henholdsvis 3,1 og 7,1 gange mere klorid end forårs- og sommerprøverne. Det skyldes givetvis, at der i vintermånederne og det tidlige forår anvendes salt i form af natriumklorid til glatførebekæmpelse. Der er fundet indholdet af As, som er signifikant højere (3 gange så højt) i sommerperioden end i de to øvrige perioder. Dette kan ikke umiddelbart forklares.

For at sikre, at man i forbindelse med karakteriseringen får kendskab til de væsentligste indholdsstoffer i et affaldsmateriale, bør der kunne redegøres for mindst 90 til 95 % (w/w) af den kemiske sammensætning af materialet (se f.eks. Hjelmar et al., 1998). Da mange af hovedkomponenterne i normalt forekommende affaldstyper kan forventes at forekomme som oxider, og da der normalt ikke analyseres for ilt, er der i tabel 4.11 for de tre gennemsnitsårstidsprøver af vejaffald foretaget en omregning af en række af indholdene af en række af hovedkomponenterne til de tilsvarende indhold til de tilsvarende indhold af deres mest sandsynlige oxidformer.

Tabel 4.9

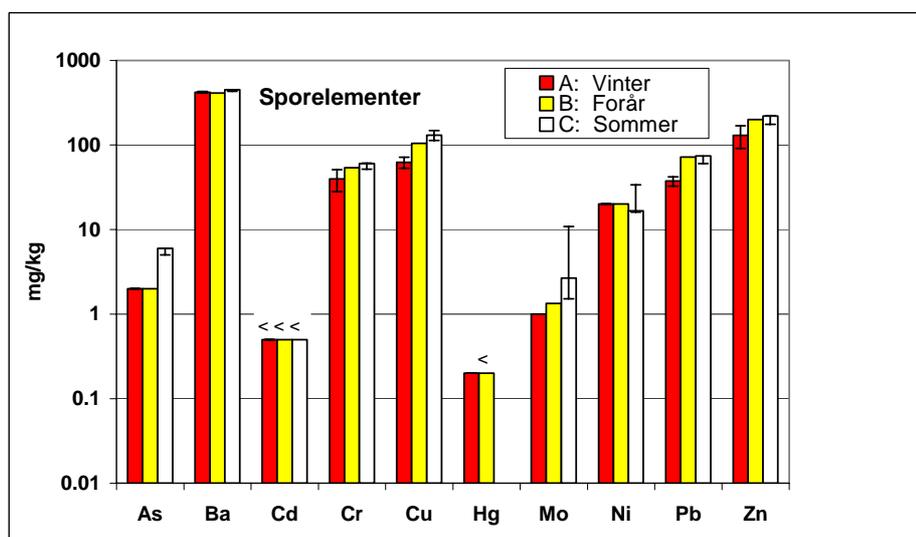
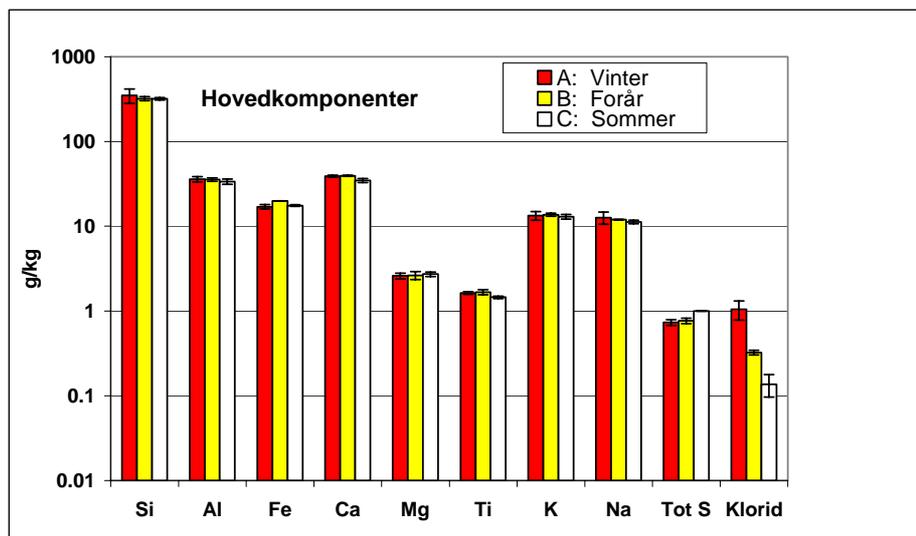
Resultater af årstidsprøver af vejopfej analyseret for totalindhold af uorganiske komponenter. Til sammenligning er vist tilsvarende resultater fra 1995.

Parameter	Enhed	Vinter 2000 (A-prøver)		Forår 2000 (B-prøver)		Sommer 2000 (C-prøver)		Vejopfej 1995
		Middelv.	Std. afv.	Middelv.	Std. afv.	Middelv.	Std. afv.	Variation
Si	g/kg	350	68	320	17	320	11	330 - 350
Al	g/kg	36	2,6	36	1,5	34	2,4	33 - 36
Fe	g/kg	17	1,0	20	0	18	0,36	26 - 29
Ca	g/kg	39	1,0	39	0,6	35	1,9	29 - 35
Mg	g/kg	2,6	0,20	2,6	0,29	2,7	0,16	2,9 - 4,2
Ti	g/kg	1,6	0,06	1,7	0,12	1,5	0,047	1,4 - 1,6
K	g/kg	13	1,5	14	0,6	13	0,8	13 - 15
Na	g/kg	13	2,1	12	0	11	0,53	12 - 13
Total S	g/kg	0,7	0,06	0,8	0,06	1	0	0,50 - 0,60
Klorid	g/kg	1,0	0,27	0,32	0,02	0,14	0,04	0,08 - 0,15
As	mg/kg	2	0	2	0	6	1,0	< 3 - 4
Ba	mg/kg	420	10	410	12	450	18	280 - 370
Cd	mg/kg	< 0,5	0	< 0,5	0	< 0,5		0,48 - 0,81
Cr	mg/kg	40	11,6	54	16,3	60	8,2	56 - 106
Cu	mg/kg	62	9,3	104	14	130	17	110 - 450
Hg	mg/kg	0,2	0	< 0,2		-		< 0,3
Mo	mg/kg	< 1	0	1	0,58	3	1,2	1,5 - 3,8
Mn	mg/kg	-		-		459	57	560 - 1040
Ni	mg/kg	20	0	20	0,0	17	0,58	18 - 46
Pb	mg/kg	37	4,7	72	33	74	14	63 - 770
Sr	mg/kg	140	21	170	15	180	11	85 - 170
V	mg/kg	19	3,8	23	1,0	31	2,0	29 - 33
Zn	mg/kg	130	39	200	12	220	45	210 - 310

Tabel 4.10

Resultater af årstidsprøver af vejopfej analyseret for indhold af sporelementer efter partiel oplukning i henhold til DS 259.

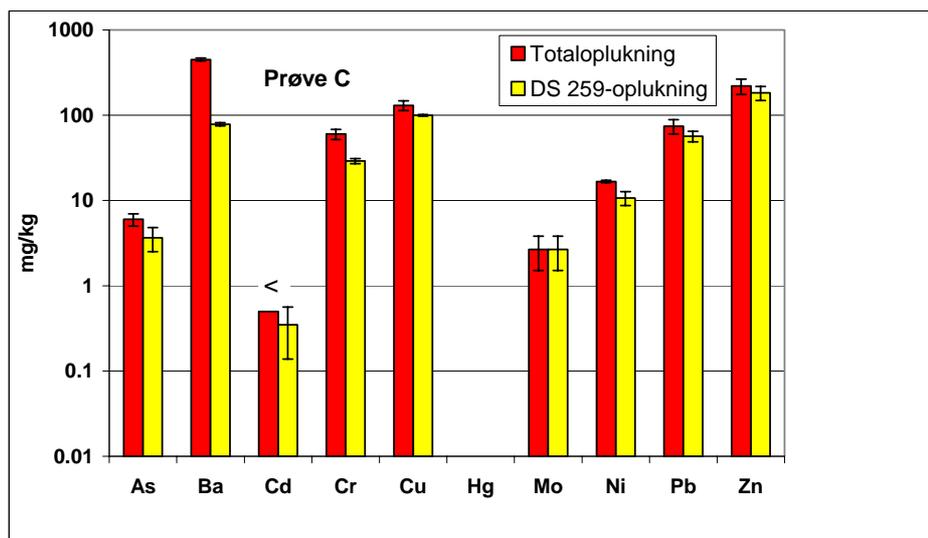
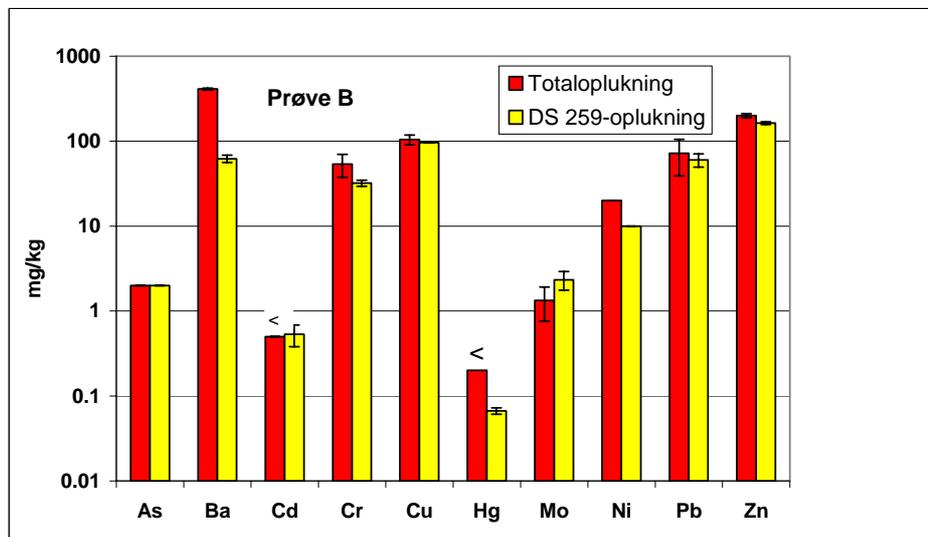
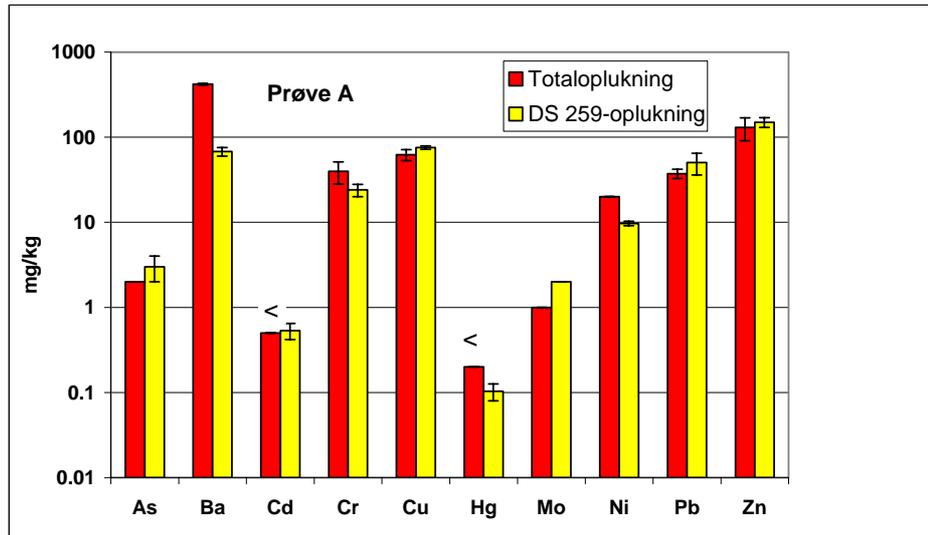
Parameter	Enhed	Vinter 2000 (A-prøver)		Forår 2000 (B-prøver)		Sommer 2000 (C-prøver)	
		Middelv.	Std. afv.	Middelv.	Std. afv.	Middelv.	Std. afv.
As	mg/kg	3	1,0	2	0	3,7	1,2
Ba	mg/kg	68	8,0	62	6,1	78	3,2
Cd	mg/kg	0,53	0,12	0,53	0,15	0,35	0,21
Cr	mg/kg	24	4,0	32	2,6	29	2,0
Cu	mg/kg	75	3,5	96	0,6	100	2,3
Hg	mg/kg	0,10	0,02	0,07	0,01	0,081	0,018
Mn	mg/kg	370	44	330	57	360	53
Mo	mg/kg	2	0	2	0,58	2,7	1,2
Ni	mg/kg	9,7	0,58	10	0,00	11	2,0
Pb	mg/kg	50	14,4	60	10,6	57	7,8
Sr	mg/kg	69	2,3	69	1,0	69	5,3
V	mg/kg	14	0,6	14	1,2		
Zn	mg/kg	150	20	160	5,8	180	35



Figur 4.2
 Årstidsvariationen i totalindholdet af uorganiske komponenter i prøverne af vejopfe. Usikkerheden er angivet som \pm standardafvigelsen på de tredobbelte bestemmelser.

Tabel 4.11
 Resultater af årstidsprøver af vejopfe analyseret for totalindhold af uorganiske komponenter. Til sammenligning er vist tilsvarende resultater fra 1995.

Parameter	Enhed	Vinter 2000 (A-prøver)	Forår 2000 (B-prøver)	Sommer 2000 (C-prøver)	Vejopfe 1995 Middelværdi
		Middelværdi	Middelværdi	Middelværdi	
SiO ₂	g/kg	750	686	686	728
Al ₂ O ₃	g/kg	66	65	61	65
Fe ₂ O ₃	g/kg	24	29	25	39
CaO	g/kg	55	55	49	48
MgO	g/kg	4.3	4.4	4.5	5,9
TiO ₂	g/kg	2.7	2.8	2.4	2,6
K ₂ O	g/kg	16	16	16	17
Na ₂ O	g/kg	17	16	15	17
P ₂ O ₅	g/kg	-	-	-	4,2
Sulfat	g/kg	1.9	2.0	2.6	1,6
Klorid	g/kg	1.0	0.32	0.14	0,12
TOC	g/kg	17	20	26	18,5
Total	vægt-%	95	90	89	95



Figur 4.3
Sammenligning af indhold af sporelementer i vejopfej (middelværdier af 3 bestemmelser) bestemt efter totaloplukning (HF+HCl+HNO₃) og oplukning med HNO₃ i henhold til DS 259 (partiel oplukning).

Som det fremgår af tabel 4.11 er der ved omregningen til oxider og indregning af klorid og TOC redegjort for mellem 89 og 95 % (w/w) af stofmængden i vejopfejjet fra 2000. I 1995 (Hjelmar et al., 1998) var det tilsvarende tal 95 % (w/w). Dette er naturligvis en meget upræcis og i nogen grad fejlbehæftet måde at beskrive vejopfejjet sammensætning på. Det må dog være rimeligt at konkludere, at der ved valget af analyseprogram ikke er overset nogen uorganiske komponenter, som er af væsentlig betydning for vejopfejjet hovedsammensætning.

Figur 4.3 viser, at der for de fleste sporelementer for vejopfejjet kun for nogle få sporelementers vedkommende er signifikant og konsistent forskel mellem totalanalyser efter oplukning med flussyre og kongevand (se afsnit 4.2.1) og analyser efter oplukning med salpetersyre i henhold til DS 259. For Ba, Cr og Ni ses indholdet ved totalanalyserne at være signifikant og konsekvent større end indholdet bestemt efter partiel oplukning. For Ba udgør indholdet bestemt efter partiel oplukning kun 15 – 17 % af totalindholdet, for Cr udgør det 48 – 60 % og for Ni 48 - 64 %. Forskellene skyldes, som nævnt tidligere, blandt andet, at DS 259 ikke kan forventes at destruere silikater. Andre årsager kan være tab af materiale ved fordampning (kunne f.eks. være aktuelt for Cd og Mo). Forskellene mellem resultaterne fra de to metoder må forventes at variere fra materiale til materiale for de forskellige komponenter, afhængigt af faststofmatrixens beskaffenhed.

I bilag 4 findes totalanalyser af endnu en prøve af vejopfej, prøve D, som stammer fra maj 2003. Bortset fra et lidt højere glødetab (55 mg/kg), svarer sammensætningen af prøve D ganske godt til sammensætningen af prøverne A, B og C.

4.3.3 Indhold af organiske komponenter

Der er foretaget en screening for indhold af kulbrinter i prøver fra af hver af de 3 undersøgte årstider (vinter, forår og sommer). Disse resultater er vist i tabel 4.12. Til sammenligning er dels vist baggrundsværdier for uforurennet have- og parkaffald dels kravværdier fra vejledningen om håndtering af forurennet jord på Sjælland (Amterne på Sjælland, juli 2001). Resultaterne er også afbildet på figur 4.4.

Tabel 4.12
Indhold af kulbrinter i vejopfej.

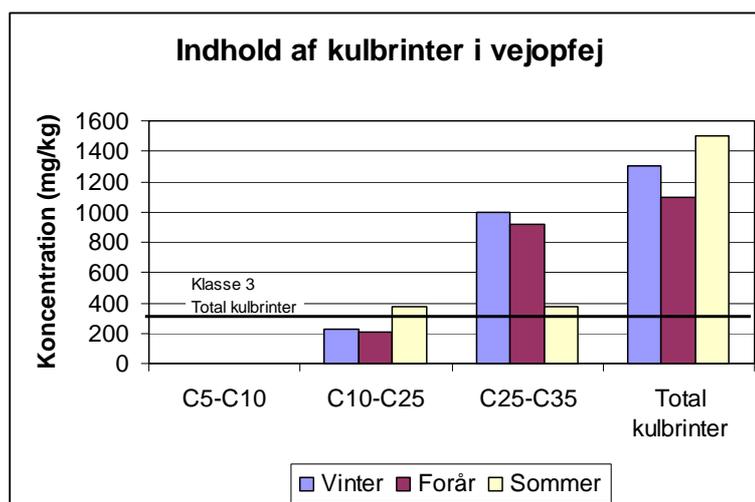
	Vinter mg/kg	Forår mg/kg	Sommer mg/kg	Uforurennet have/park affald ¹ mg/kg	Kravværdier ²		
					Klasse 1	Klasse 2	Klasse 3
C5-C10	< 5	< 5	< 5	-	25	35	50
C10-C25	230	210	380	-	50	75	100
C25-C35	1000	920	380	-	100	200	300
Total kulbrinter	1.300	1.100	1.500	180-700	100	200	300

¹: Oplyst af RGS90

²: Gældende kravværdier (forureningsklasser) jvf. Miljøkontrollen (2003).

Derudover er to prøver fra henholdsvis maj og oktober 2003 også blevet analyseret for totalindhold af kulbrinter. Resultaterne heraf var 490 mg/kg (prøve D, maj 2003) og 610 mg/kg (prøve E, oktober 2003).

Af tabel 4.12 og figur 4.4 fremgår det, at der for alle tre undersøgte årstider findes forholdsvis høje niveauer af kulbrinter. Det er især de tungere kulbrinter (C10-C35), der dominerer, hvilket indikerer, at en væsentlig del af kulbrinteindholdet sandsynligvis kan relateres til asfaltafslidning. Dette stemmer overens med en anden undersøgelse, hvor der i vejopfej blev fundet betydelige mængder afslid fra asfaltbelægninger (RGS90 Watech, 2005). Sammenholdes med de gældende kravværdier til forurennet jord ses det, at der for stort set alle de undersøgte fraktioner af kulbrinter er betydelige overskridelser selv af kravværdierne til klasse 3. Det samme gælder for totalindholdet af kulbrinter i prøverne D og E.



Figur 4.4
Indhold af kulbrinter i prøverne A, B og C af vejopfej fra forskellige årstider.

En prøve af vejopfej, prøve D fra maj 2003, er blevet analyseret for indhold af PAH. Resultatet er vist i tabel 4.13 sammen med kravværdier til indhold af PAH i jord til fri anvendelse eller udlægning på landbrugsjord og i naturområder (Amterne på Sjælland, 2004). Som det fremgår af tabellen, er kravene til benz(a)pyren, dibenz(a,h)antracen og PAH total for klasse 1-jord alle betydeligt overskredet. Mindre omfattende analyser af PAH-indholdet i prøve E gav et lignende resultat (Watech, 2005).

Table 4.13
Resultater af analysering af vejopfej (prøve D) for indhold af PAH.

Parameter	Enhed	Vejopfej, prøve D maj 2003	Kravværdi Klasse 1*
Tørstofindhold	% (w/w)	97,1	
Naphthalen	mg/kg	< 0,05	0,5
Acenaphthylen	mg/kg	0,089	
Acenaphthen	mg/kg	< 0,05	
Fluoren	mg/kg	< 0,05	
Phenanthren	mg/kg	0,34	
Anthracen	mg/kg	0,11	
Fluoranthren	mg/kg	0,82	
Pyren	mg/kg	0,82	
Benz(a)anthracen	mg/kg	0,36	

Chrysen/triphenylen	mg/kg	0,36	
Benz(b+j+k)fluoranthen	mg/kg	0,73	
Benzo(a)pyren	mg/kg	0,69	0,1
Indeno(1,2,3-cd)pyren	mg/kg	0,59	
Dibenz(a,h)anthracen	mg/kg	0,15	0,1
Benzo(g,h,i)perylen	mg/kg	0,73	
Sum PAH (16 EPA)	mg/kg	6,3	
Sum PAH (7 MST)	mg/kg	3,0	1,0

*: Kravværdier for jord til fri anvendelse (Amterne på Sjælland, maj 2004)

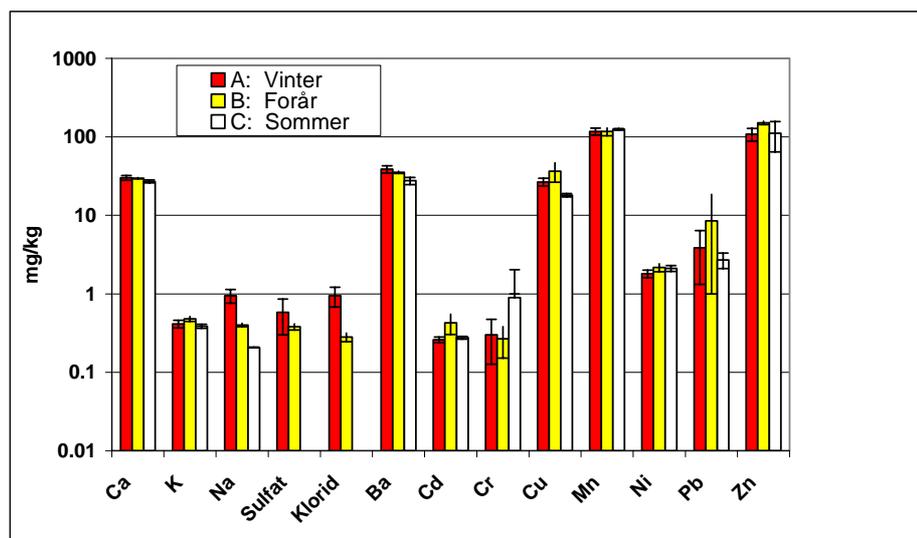
4.4 Udvaskningsegenskaber

4.4.1 Resultater af tilgængelighedstests for uorganiske komponenter

I tabel 4.14 og figur 4.5 ses resultaterne af tilgængelighedstesten NT ENVIR 003 (modificeret) udført på årstidsgennemsnitsprøverne af vejopfej. Resultaterne er middelværdier og standardafvigelser baseret på tredobbelte bestemmelser. Til sammenligning ses resultater af tilgængelighedstests udført på vejopfej fra amtsveje og motorveje i Københavnsområdet i 1995 (Hjelmar et al., 1998). De detaljerede resultater af tilgængelighedstestene findes i bilag 5.

Table 4.14
Resultater af årstidsprøver af vejopfej testet for potentiel tilgængelighed af uorganiske komponenter for udvaskning. Til sammenligning er vist tilsvarende resultater fra 1995.

Parameter	Enhed	Vinter 2000 (A-prøver)		Forår 2000 (B-prøver)		Sommer 2000 (C-prøver)		Vejopfej 1995 Variation
		Middelv.	Std. afv.	Middelv.	Std. afv.	Middelv.	Std. afv.	
Ca	g/kg	30	2,0	30	0,6	27	1,1	21 – 27
K	g/kg	0,41	0,05	0,48	0,03	0,39	0,022	0,43 – 1,1
Na	g/kg	0,95	0,19	0,40	0,02	0,21	0,0017	0,096 – 0,2
Sulfat	g/kg	0,58	0,28	0,38	0,03	-	-	0,26 – 0,59
Klorid	g/kg	0,95	0,27	0,28	0,03	-	-	0,17 – 0,63
As	mg/kg	< 0,2		< 0,3		< 0,3		< 0,2 – 1,0
Ba	mg/kg	39	4,2	35	1,2	28	2,9	25 – 29
Cd	mg/kg	0,26	0,02	0,43	0,12	0,28	0,011	0,27 – 0,30
Cr	mg/kg	0,30	0,17	0,27	0,12	0,89	1,1	0,34 – 0,66
Cu	mg/kg	27	3,1	37	10,3	18	0,9	19 – 57
Hg	mg/kg	< 0,04		< 0,04	0			0,0037 – 0,0059
Mn	mg/kg	117	12	117	13	125	2,8	-
Ni	mg/kg	1,8	0,20	2,2	0,25	2,1	0,18	0,25 – 2,5
Pb	mg/kg	3,9	2,6	8,5	10,0	2,7	0,61	3,4 – 12
Zn	mg/kg	108	20	151	8	111	46	140 - 170



Figur 4.5
Årstidsvariationen i resultaterne af tilgængelighedstesten på prøverne af vejopfej.
Usikkerheden er angivet som \pm standardafvigelsen på de tredobbelte bestemmelser.

Af tabel 4.14 fremgår det, at tilgængeligheden for udvaskning stort set er af samme størrelse for de undersøgte komponenter i vejopfej fra 2000, som det var for de prøver af vejopfej, som blev testet i 1995. En sammenligning mellem tabellerne 4.14 og 4.9 viser, at mens den potentielt udvaskelige mængde af indholdet af de fleste komponenter er begrænset (typisk mindre end ca. 10 % eller endnu mindre), udgør det en betydelig del af nogle af komponenterne, herunder Ca (ca. 75 %), klorid (ca. 95 %), Cd (op til ca. 90 %), Cu (op til 44 %) og Zn (op til 83 %). Dette er yderligere illustreret i figurerne i afsnit 4.4.2, som viser sammenhængende data for totalindhold, indhold potentielt tilgængeligt for udvaskning, og udvaskede mængder ved kolonne- og batchtests.

Figur 4.5 viser, at årstidsvariationen i tilgængeligheden for stofudvaskning er begrænset for de fleste komponenter. Dog kan man både for klorid (som mangler for sommerprøvens vedkommende) og for Na se den samme tendens til faldende værdier fra vinter til forår og sommer. På grund af den store baggrundskoncentration af Na i selve faststofmatricen kunne man på figur 4.2 ikke se nogen signifikante ændringer i indholdet af denne med årstiden. I tilgængelighedstesten ses ændringerne derimod tydeligt, svarende til udvaskning af NaCl fra glatførebekæmpelse.

4.4.2 Resultater af kolonne- og batchudvaskningstests for uorganiske komponenter

Der er udført kolonneudvaskningstests (NT ENVIR 002, modificeret) på blandingsprøver af vejopfej fra vinterperioden (prøve A) og forårsperioden (prøve B). På prøve B er der udført et dobbeltforsøg på to identiske delprøver (B-bl1 og B-bl2). Der er udført en kolonneudvaskningstest på hver af de tre prøver (C1, C2 og C3) fra sommerperioden. For alle kolonneforsøg er der opsamlet 5 eluater i intervallet $L/S = 0 - 2$ l/kg. Resultaterne er vist i tabel 4.15 som akkumulerede udvaskede stofmængder ved $L/S = 2$ l/kg. Detailresultater for hver af de gennemførte kolonne-tests er vist i bilag 6.

Der er endvidere udført batchudvaskningstests (EN 12457-1, trin 1) ved $L/S = 2$ l/kg på de tredobbelte prøver fra hver årstid. Resultaterne i form af

middelværdier og standardafvigelser for de udvaskede mængder for hver årstid er vist i tabel 4.16 sammen med variationen af tilsvarende resultater fra undersøgelsen af vejopfej fra 1995 (Hjelmar et al., 1998). Detailresultater er vist i bilag 7. Figurerne 4.6a og 4.6b er grafiske sammenligninger af de udvaskede stofmængder fra prøverne fra forskellige årstider.

Table 4.15

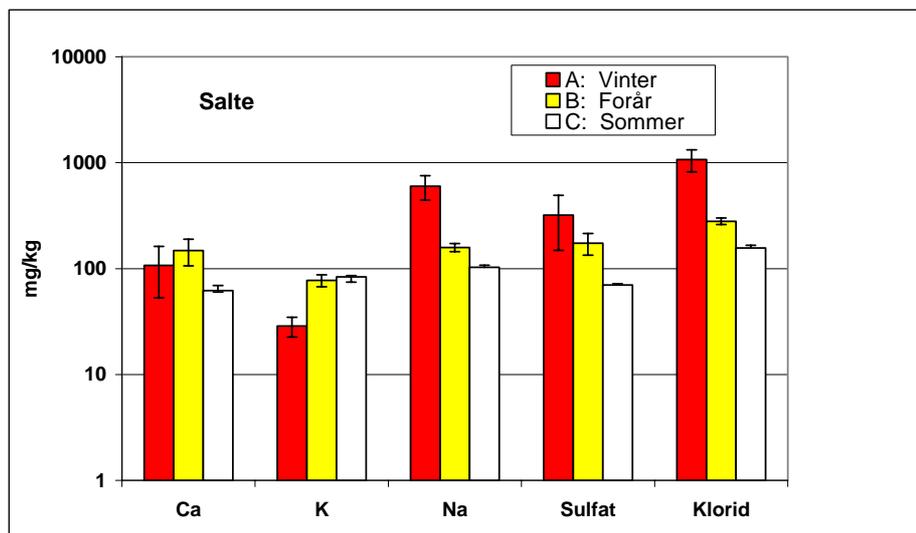
Resultater af kolonneudvaskningstests udført på årstidsprøver af vejopfej (NT ENVIR 002, modificeret). Resultaterne er angivet som akkumuleret udvasket mængde ved L/S = 2,0 l/kg

Parameter	Enhed	Vinter 2000			Sommer 2000		
		Prøve A	Prøve B-bl1	Prøve B-bl2	Prøve C1	Prøve C2	Prøve C3
Ca	mg/kg	232	244	232	231	276	265
K	mg/kg	45	120	122	167	162	164
Na	mg/kg	710	176	189	115	83	120
Sulfat	mg/kg	< 140	< 93	< 101	< 17	< 14	< 11
Klorid	mg/kg	900	161	200	111	112	56
As	mg/kg	0,017	0,018	0,022	0,018	0,017	0,019
Ba	mg/kg	0,26	0,18	0,16	0,29	0,34	0,32
Cd	mg/kg	0,00097	0,0015	0,0014	0,00085	0,00079	0,00084
Cr	mg/kg	< 0,003	0,0040	< 0,0032	< 0,0027	0,0033	0,0032
Cu	mg/kg	0,075	0,12	0,15	0,006	0,008	0,007
Mn	mg/kg	3,7	4,6	3,9	1,9	2,8	2,6
Ni	mg/kg	0,045	0,09	0,075	0,018	0,031	0,017
Pb	mg/kg	< 0,005	< 0,012	< 0,015	< 0,006	< 0,006	< 0,006
Zn	mg/kg	< 0,025	< 0,027	< 0,032	< 0,024	< 0,023	< 0,024

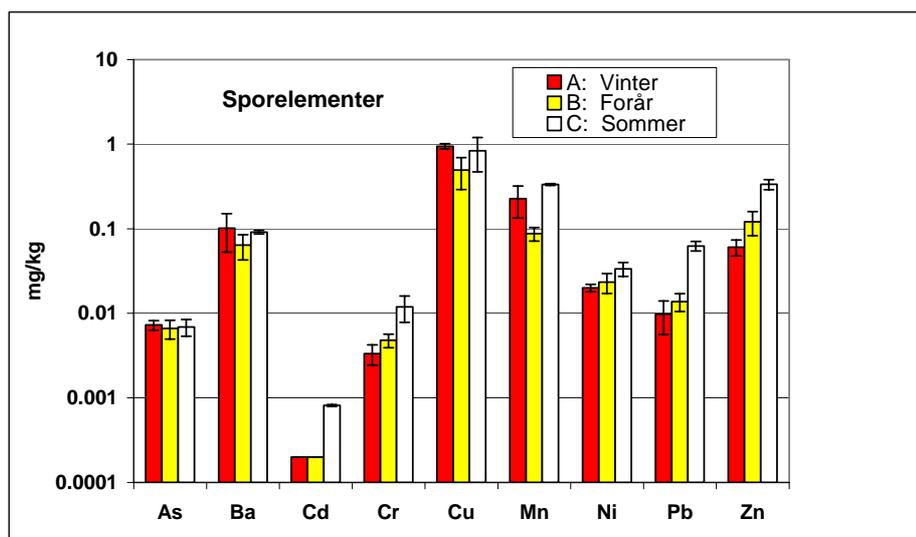
Table 4.16

Resultater af batchudvaskningstests (EN 12457-1, trin 1) udført på årstidsprøver af vejopfej. Resultaterne (undtagen pH og ledningsevne) er angivet som udvasket stofmængde ved L/S = 2 l/kg. Til sammenligning er vist tilsvarende resultater fra 1995.

Parameter	Enhed	Vinter 2000 (A-prøver)		Forår 2000 (B-prøver)		Sommer 2000 (C-prøver)		Vejopfej 1995 Variation
		Middelv.	Std. afv.	Middelv.	Std. afv.	Middelv.	Std. afv.	
pH (variation)	-	7,91-8,05		7,93-7,98		8,16-8,22		7,4 – 7,8
Ledningsevne	mS/m	213	52	108	14	63	5,1	46 - 86
Ca	mg/kg	107	54,4	148	41,6	62	7,4	92 – 160
K	mg/kg	29	6,1	77	10,1	84	2,3	34 – 160
Na	mg/kg	600	156	158	14,0	103	4,9	46 – 71
Sulfat	mg/kg	320	172	174	40,4	70	2,0	80 – 180
Klorid	mg/kg	1070	250	280	20	157	9,0	58 – 105
As	mg/kg	0,0073	0,0009	0,0066	0,0016	0,0069	0,0016	< 0,002 – 0,012
Ba	mg/kg	0,102	0,0490	0,064	0,021	0,091	0,0045	-
Cd	mg/kg	0,0002	0	0,0002	0	0,00081	0,000021	0,0009 – 0,0015
Cr	mg/kg	0,0033	0,0009	0,0048	0,0009	0,012	0,0041	0,0024 – 0,0062
Cu	mg/kg	0,95	0,070	0,49	0,20	0,84	0,37	0,07 – 1,1
Hg	mg/kg	< 0,0004	0	< 0,0004		< 0,0006	0	-
Mn	mg/kg	0,23	0,093	0,087	0,016	0,33	0,0084	-
Ni	mg/kg	0,020	0,0020	0,023	0,0061	0,033	0,0063	0,048 – 0,12
Pb	mg/kg	0,0098	0,0042	0,0138	0,0033	0,063	0,0082	0,0092 – 0,12
Zn	mg/kg	0,061	0,0129	0,12	0,038	0,34	0,046	0,34 – 0,74



Figur 4.6a
 Årstidsvariationen i udvaskningen af salte fra vejopfej, fundet ved ét-trinsbatchtesten EN 12457-1 (trin 1). Usikkerheden er angivet som \pm standardafvigelsen på de tredobbelte bestemmelser.



Figur 4.6b
 Årstidsvariationen i udvaskningen af sporelementer fra vejopfej, fundet ved ét-trinsbatchtesten EN 12457-1 (trin 1). Usikkerheden er angivet som \pm standardafvigelsen på de tredobbelte bestemmelser.

På figurerne 4.7a, 4.7b, 4.8a, 4.8b, 4.9a og 4.9b er de akkumulerede udvaskede stofmængder fundet ved kolonne- og batchudvaskningstestene afbildet som funktion af L/S (batchtestene kun som ét punkt) for vejopfej fra hver af de tre årstider. Figurerne viser desuden for hver komponent middelværdierne for totalindholdet og den mængde, som potentielt er tilgængeligt for udvaskning (resultater af tilgængelighedstests).

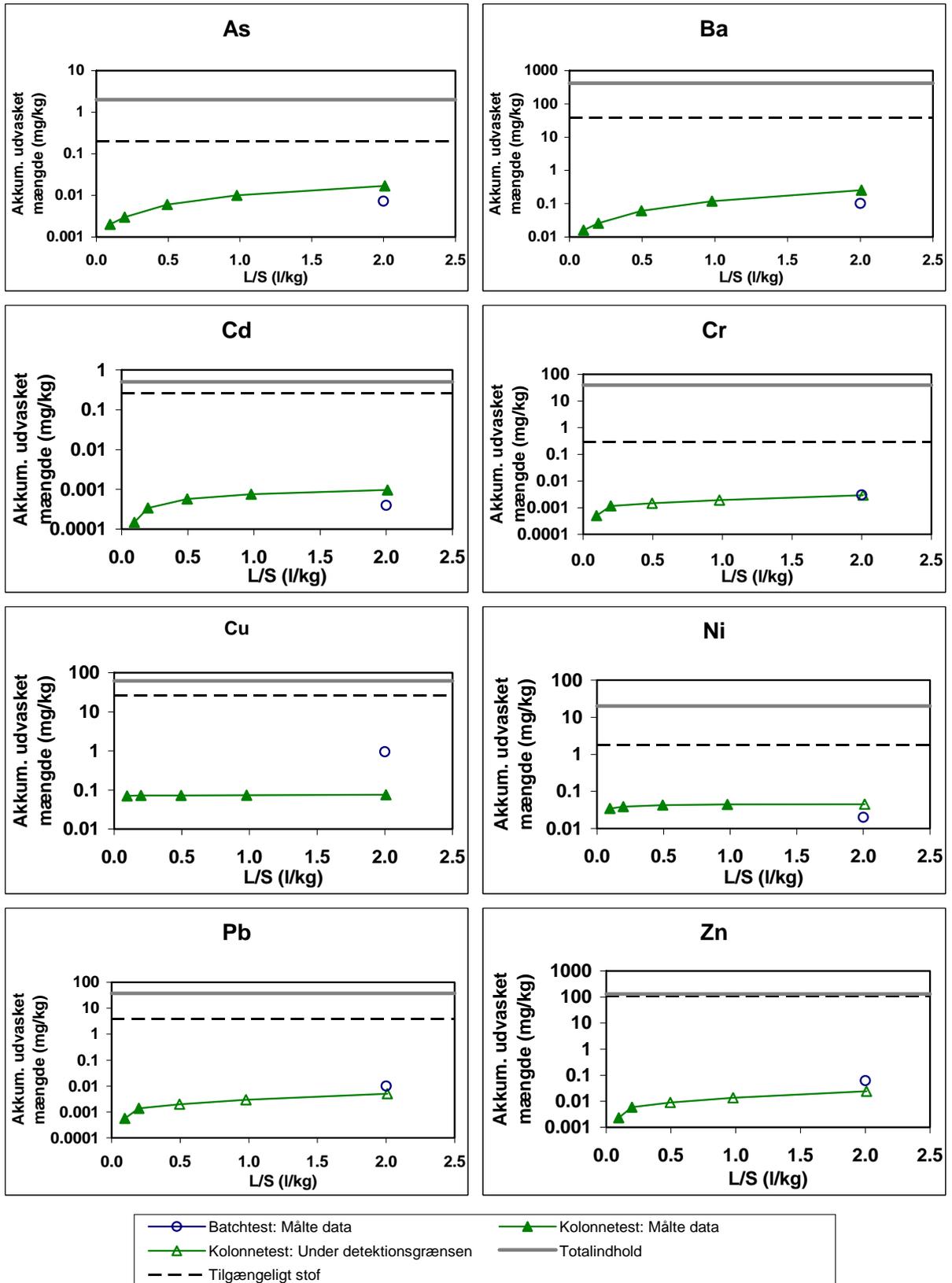
Sammenligningen med resultater af tidligere udførte batchudvaskningstests i tabel 4.16 viser, at det generelle niveau for udvaskningen i 1995 (Hjelmar et al., 1998) og 2000 er af nogenlunde samme størrelsesorden. Dog afspejles den større udvaskning af salte i vinterperioden ikke i prøverne fra 1995, som blev udtaget i efteråret.

Af tabellerne 4.15, 4.16 og figurerne 4.6a og 4.6b fremgår det, at når der ses bort fra saltionerne kalium, natrium, sulfat og klorid, er årstidsvariationen af udvaskningen af de enkelte komponenter med få undtagelser enten ikke-signifikant eller usystematisk. Eksempelvis udvaskes der i sommerperioden mere Cd, Cr og Pb (og Zn) end i vinter- og forårsperioderne, mens der for Zn ses en konsistent tiltagende udvaskning fra vinter over forår til sommer. Dette kan muligvis, ligesom stigningen i Pb-udvaskning i sommerperioden, hænge sammen med den svage stigning som ses i pH. Dette kan dog ikke forklare stigningen i Cd-udvaskning.

For natrium, klorid og sulfat ses bl.a. i tabel 4.6a den samme klare tendens til faldende udvaskning gennem perioden vinter-forår-sommer, som også fremgik af resultaterne tilgængelighedstesten, og som må antages primært at skyldes forskelle i anvendelsen af salt til glatførebekæmpelse. Stigningen i udvaskningen af kalium fra vinter til forår og sommer kan ikke umiddelbart forklares.

Figurerne 4.7 til 4.9 illustrerer dels, at der for en del af komponenterne generelt er god overensstemmelse mellem resultaterne af kolonne- og batchudvaskningstestene, dels at når man undtager de letopløselige salte, specielt klorid og natrium, så er de mængder, som kan forventes at udvaskes under normale omstændigheder (kolonne- og batchtests) generelt væsentligt lavere end både det tilgængelige og det totale indhold af en given komponent. Det indhold, som er tilgængeligt for udvaskning ligger til gengæld ofte betydeligt lavere end totalindholdet. For klorid ses det, at totalindhold, tilgængeligt indhold og udvaskelig mængde stort set er sammenfaldende. For Na vil hele den tilgængelige mængde hurtigt blive udvasket, men den tilgængelige mængde er væsentligt mindre end totalindholdet af Na. I øvrigt ses for kolonnetestene en god overensstemmelse mellem dobbeltforsøg (ens B-prøver) og tredobbelte bestemmelser for de principielt ens prøver C1, C2 og C3.

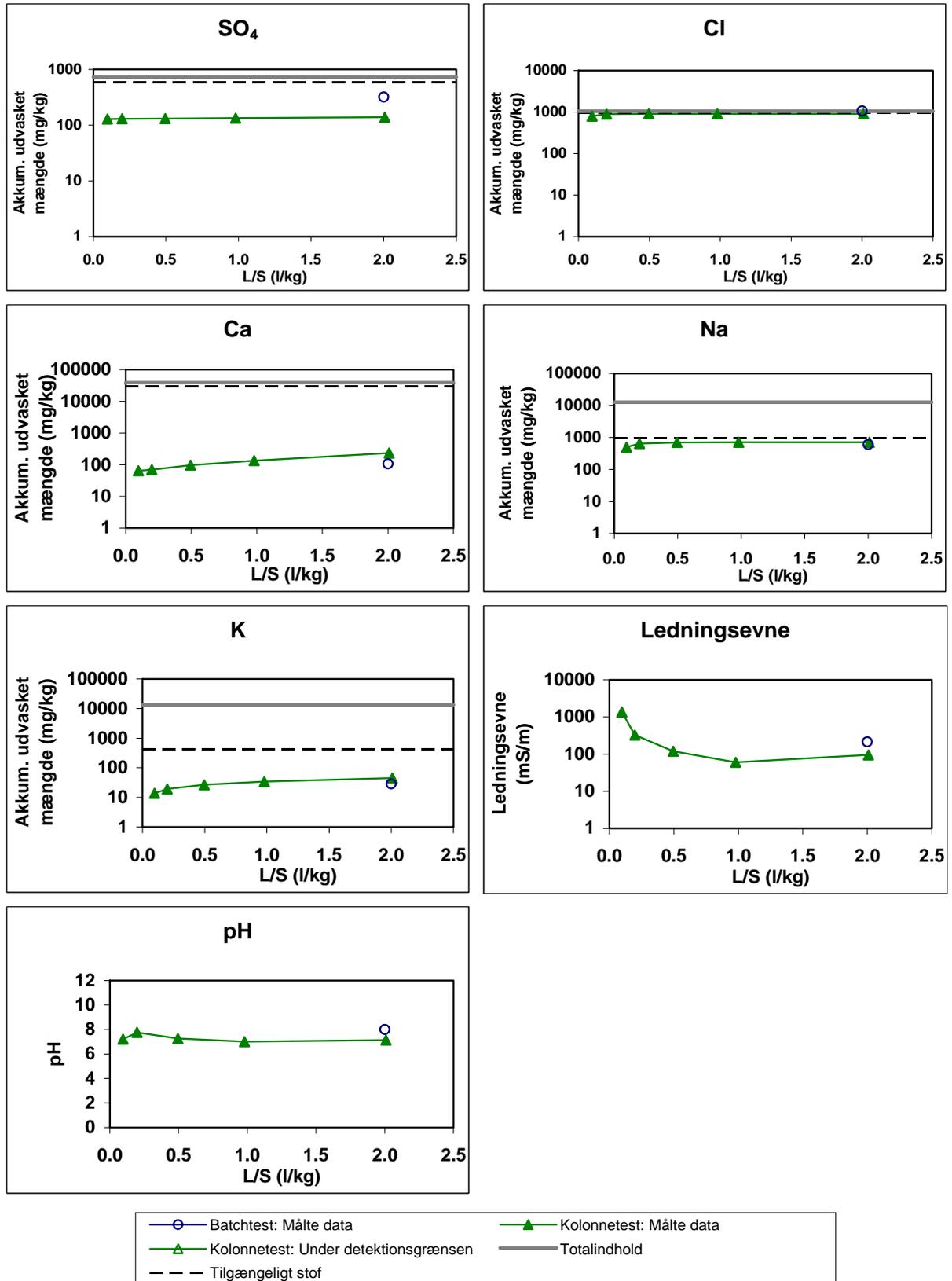
Udvaskning fra vejopfejd, Vinter (A-prøver)



Figur 4.7a

Resultater af kolonnetests og batchtests på blandprøve af vejopfejd fra vinterperioden (A1, A2 og A3). De akkumulerede udvaskede stofmængder er afbildet som funktion af L/S og sammenlignet med totalindhold og de mængder, som er potentielt tilgængelige for udvaskning. Sporelementer.

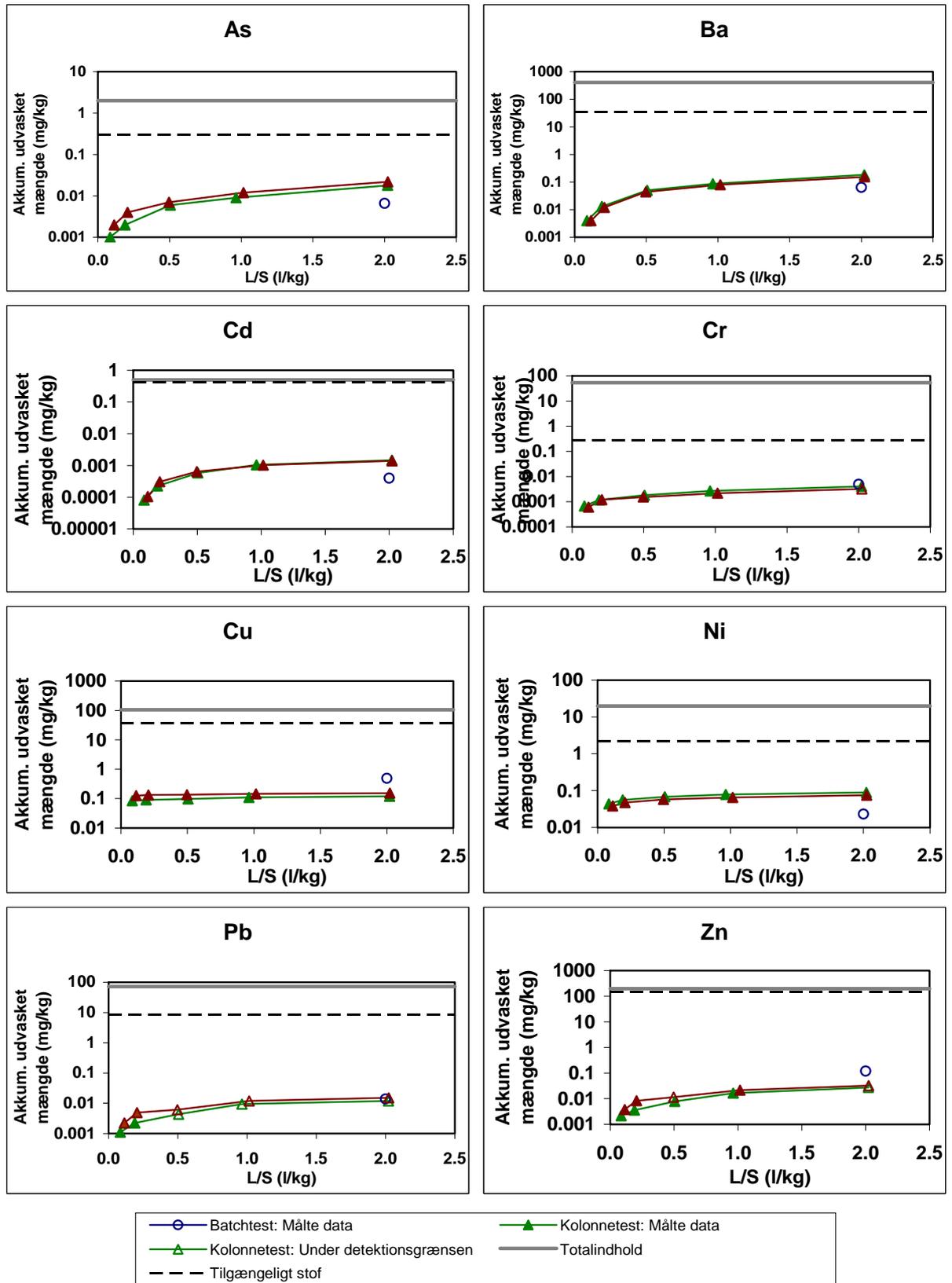
Udvaskning fra vejopfejd, Vinter (A-prøver)



Figur 4.7b

Resultater af kolonnetests og batchtests på blandprøve af vejopfejd fra vinterperioden (A1, A2 og A3). De akkumulerede udvaskede stofmængder er afbildet som funktion af L/S og sammenlignet med totalindhold og de mængder, som er potentielt tilgængelige for udvaskning. Salte, pH og ledningsevne.

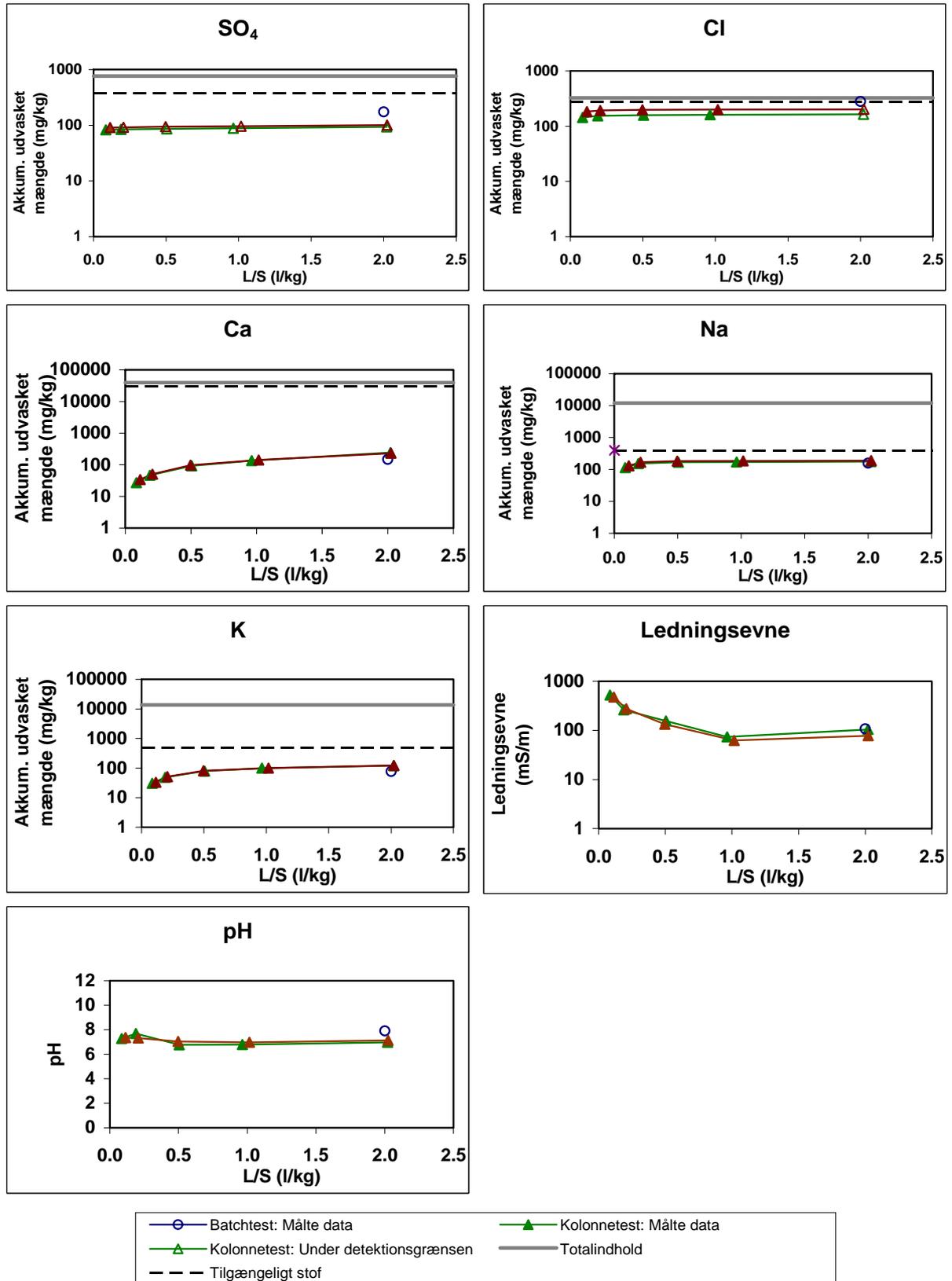
Udvaskning fra vejopfej, Forår (B-prøver)



Figur 4.8a

Resultater af kolonnetests og batchtests på blandprøve af vejopfej fra vinterperioden (B1, B2 og B3). De akkumulerede udvaskede stofmængder er afbildet som funktion af L/S og sammenlignet med totalindhold og de mængder, som er potentielt tilgængelige for udvaskning. Sporelementer.

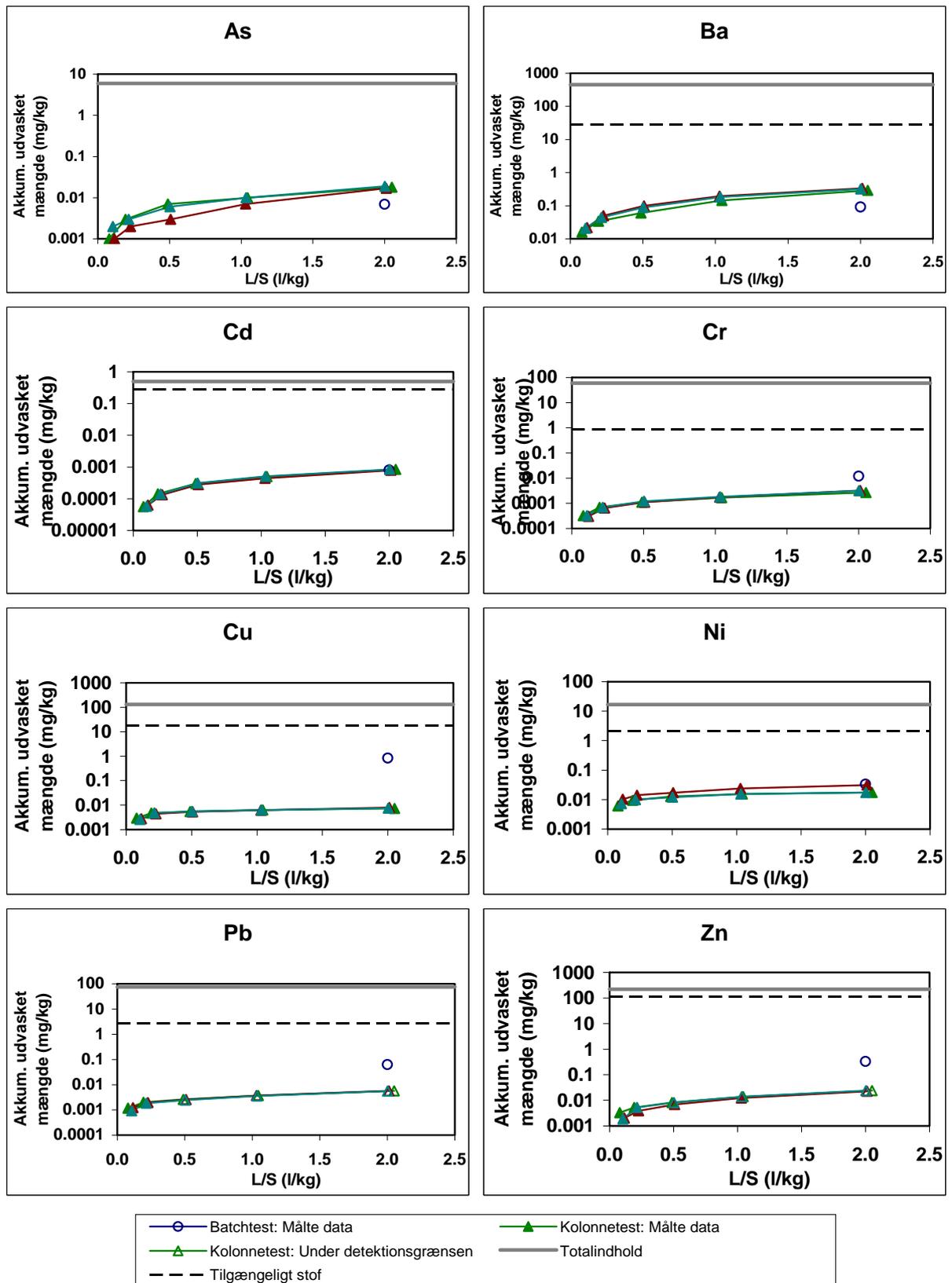
Udvaskning fra vejopfejd, Forår (B-prøver)



Figur 4.8b

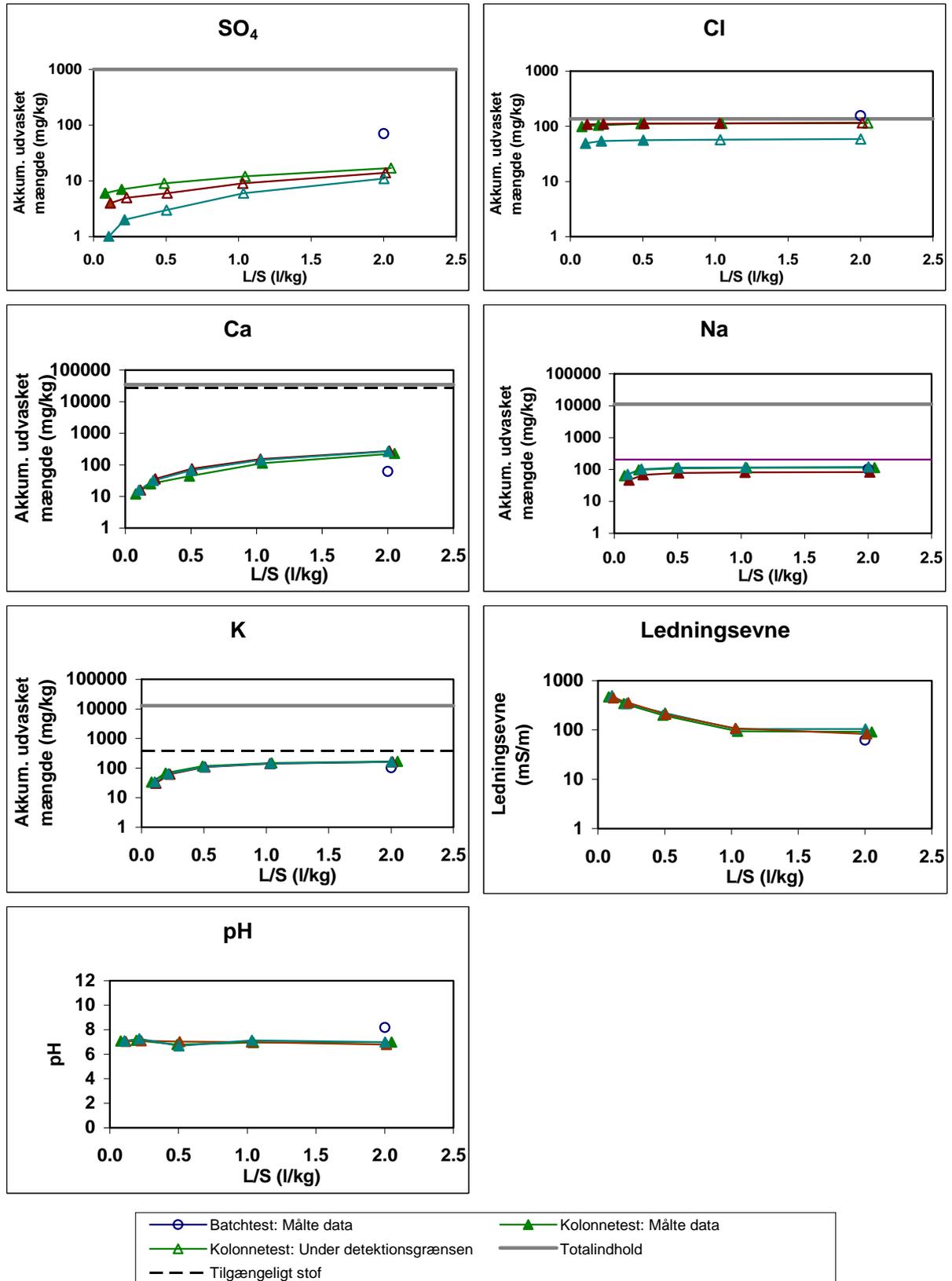
Resultater af kolonnetests og batchtests på blandprøve af vejopfejd fra vinterperioden (B1, B2 og B3). De akkumulerede udvaskede stofmængder er afbildet som funktion af L/S og sammenlignet med totalindhold og de mængder, som er potentielt tilgængelige for udvaskning. Salte, pH og ledningsevne.

Udvaskning fra vejopfejd, Sommer (C-prøver)



Figur 4.9a
Resultater af kolonnetests og batchtests på blandprøve af vejopfejd fra vinterperioden (C1, C2 og C3).
De akkumulerede udvaskede stofmængder er afbildet som funktion af L/S og sammenlignet med totalindhold og de mængder, som er potentielt tilgængelige for udvaskning. Sporelementer.

Udvaskning fra vejopfej, Sommer (C-prøver)



Figur 4.9b

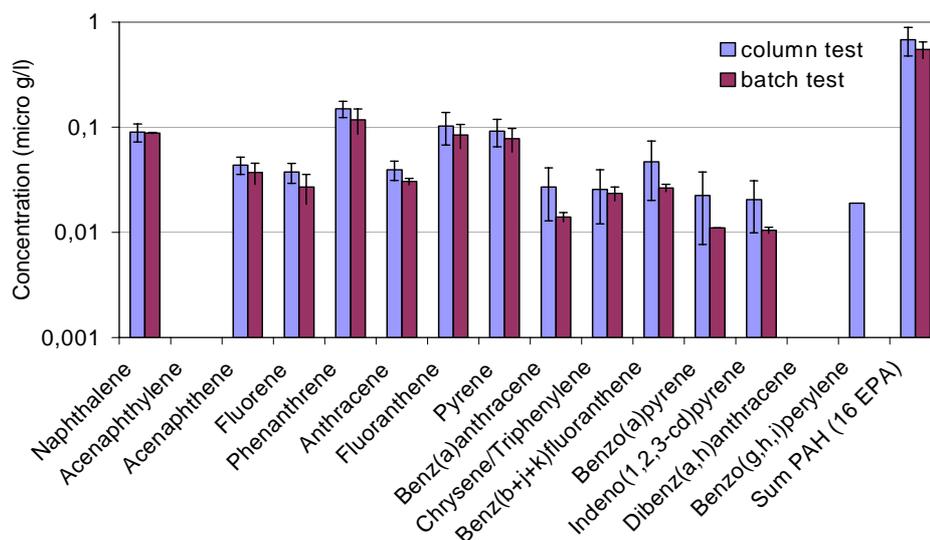
Resultater af kolonnetests og batchtests på blandprøve af vejopfej fra vinterperioden (C1, C2 og C3). De akkumulerede udvaskede stofmængder er afbildet som funktion af L/S og sammenlignet med totalindhold og de mængder, som er potentielt tilgængelige for udvaskning. Salte, pH og ledningsevne.

4.4.3 Resultater af udvaskningstests for organiske forbindelser

I tabel 4.17 og figur 4.10 ses resultaterne af udvaskning af PAH fra en prøve af vejopfej fra maj 2003 (prøve D) ved såvel ligevægtskolonnetest som batchudvaskningstest. Bemærk, at resultaterne er angivet som koncentrationer i eluaterne ($\mu\text{g/l}$). Både for kolonne- og batchtests er der udført tredobbelte bestemmelser, og resultaterne er vist som middelværdier og relative standardafvigelse.

Tabel 4.17
Udvaskning af PAH fra vejopfej (prøve D fra maj 2003) bestemt ved ligevægtskolonnetests og batchtests. Resultaterne er middelværdier og relative standardafvigelser af koncentrationerne i eluaterne fra testene.

Parameter	Ligevægtskolonnetest		Batchtest	
	Middelværdi (n=3) $\mu\text{g/l}$	rel. std. %	Middelværdi (n=3) $\mu\text{g/l}$	rel. std. %
Naphthalen	0,090	19	0,088	2
Acenaphthylene	<0,01	-	<0,01	-
Acenaphthen	0,044	19	0,037	23
Fluoren	0,037	21	0,027	31
Phenanthren	0,15	18	0,118	27
Anthracen	0,039	21	0,031	7
Fluoranthren	0,10	34	0,085	26
Pyrene	0,092	29	0,078	25
Benz(a)anthracen	0,027	52	0,014	10
Chrysen/Triphenylen	0,026	53	0,024	15
Benz(b+j+k)fluoranthren	0,047	57	0,027	8
Benzo(a)pyren	0,023	66	0,011	0
Indeno(1,2,3-cd)pyren	0,021	52	0,011	7
Dibenz(a,h)anthracen	<0,01	-	<0,01	-
Benzo(g,h,i)perylene	0,019	-	<0,01	-
Sum PAH (16 EPA)	0,68	30	0,550	18
Sum PAH (7 MST)	0,19		0,13	



Figur 4.10

Resultater af udvaskningstest for organiske parametre (prøve D). Efter Hansen et al. (2004).

I tabel 4.18 er resultaterne fra tabel 4.17 omsat til udvaskede mængder, som kan sammenlignes med de krav til faststofindhold, som f.eks. findes i amternes vejledning om håndtering af forurenede jord på Sjælland (Amterne på Sjælland, 2004).

Tabel 4.18
Resultaterne fra tabel 4.1.7. omregnet til udvaskede mængder.

Parameter	Enhed	Udvasket fra prøve D		Krav til klasse 1-jord (faststofindhold)
		Ligevægtskolonne	Batchtest	
Naphtalen	mg/kg	0,000054	0,00018	0,5
Benz(a)pyren	mg/kg	0,000014	0,000022	0,1
Dibenz(a,h)anthracen	mg/kg	< 0,000006	0,00002	0,1
Sum PAH (7 MST)	mg/kg	0,00011	0,00026	1,0
Sum PAH (16 EPA)	mg/kg	0,00041	0,0011	-

4.5 Sammenligning med kravværdier

4.5.1 Kvalitetskriterier for jord og restprodukter til nyttiggørelse og deponering

Uanset om vejopfejning ønskes nyttiggjort eller skal bortskaffes ved deponering, skal det opfylde nogle miljømæssige kvalitetskrav. Hvis vejopfejning betragtes som forurenede jord, kan det eksempelvis klassificeres som jord i klasse 1 til klasse 4 i henhold til de regler, som er opstillet af amterne på Sjælland i Vejledning i håndtering af forurenede jord på Sjælland (Amterne på Sjælland, 2001 og 2004).

I dette regelsæt klassificeres jorden alene på grundlag af totalindholdet (for sporelementer indhold bestemt efter partiel oplukning i henhold til DS 259) af en række potentielle forureningskomponenter. Klassificeringen sker med udgangspunkt i de i tabel 4.19 viste grænseværdier for hver klasse.

De enkelte klasser karakteriseres som følger:

Klasse 1

Jord tilhørende klasse 1 kan anvendes frit i industri-, by- og boligområder til bygge- og anlægsarbejder uden tilladelse efter miljølovgivningen. Man skal dog være opmærksom på de særlige regler for tilførsel af jord til råstofgrave.

Klasse 2 – Lettere forurenede jord

Jord tilhørende klasse 2 defineres som lettere forurenede. Jorden skal så vidt muligt genanvendes i for eksempel bygge- og anlægsarbejder. Man skal være opmærksom på, at genanvendelse kræver tilladelse/godkendelse efter miljøbeskyttelsesloven (§ 19 eller § 33), med mindre jorden kan håndteres efter genanvendelsesbekendtgørelsen (Miljøstyrelsen, 2000).

Klasse 3 – Forurenede jord til rensning eller deponering

Jord tilhørende klasse 3 defineres som forurenede jord. Jorden skal oftest til rensning og/eller deponering jf. de i vejledningen nævnte principper, med mindre jorden kan håndteres efter genanvendelsesbekendtgørelsen.

Klasse 4 – Kraftigere forurenede jord til rensning med eventuelt efterfølgende deponering

Jord tilhørende klasse 4 defineres som kraftigt forurenede jord, der som udgangspunkt vil blive anvist til rensning jf. de i vejledningen nævnte principper, med mindre jorden kan håndteres efter genanvendelsesbekendtgørelsen.

I Miljøstyrelsens bekendtgørelse nr. 655 af 27. juni 2000 om genanvendelse af restprodukter og jord til bygge- og anlægsarbejder, inddeles materialerne i tre kategorier på grundlag af såvel faststofindhold som udvaskningsegenskaber (for uorganiske komponenter). Grænseværdierne for inddeling i de forskellige kategorier er vist i tabel 4.20. Det skal bemærkes, at jord, som ønskes genanvendt efter bekendtgørelsen, kun må være forurenede med de i tabel 4.20 viste komponenter. For at blive håndteret i henhold til denne bekendtgørelse skal vejopfejning enten betragtes som jord eller optages som restprodukt i bekendtgørelsens bilag 1. Optagelse af en affaldsstrøm i bilag 1 forudsætter en grundlæggende miljømæssig karakterisering. Dette projekt kan sammen med Hjelmar et al. (1998) ses som et væsentligt bidrag til en sådan generel karakterisering af vejopfejning.

For de enkelte kategorier i bekendtgørelse nr. 655 af 27. juni 2000 gælder følgende:

Kategori 1

Restprodukter og jord i kategori 1 må uden tilladelse genanvendes til bygge- og anlægsarbejder omfattet af bekendtgørelsen, medmindre andet følger af miljøbeskyttelsesloven og den øvrige lovgivning.

Kategori 2

Restprodukter og jord i kategori 2 må uden tilladelse genanvendes til bygge- og anlægsarbejder (veje, stier, pladser, ledningsgrave, ramper, støjvolde, fundamenter og gulve) under nærmere specificerede krav til overdækning og maksimal tykkelse.

Kategori 3

Restprodukter og jord i kategori 3 må uden tilladelse genanvendes til bygge- og anlægsarbejder (veje, stier, ledningsgrave, fundamenter og gulve) under nærmere specificerede krav til overdækning og maksimal tykkelse (mere restriktive end kravene til kategori 2).

Hvis vejopfejning ikke umiddelbart kan genanvendes, må det behandles og/eller deponeres. Da den danske implementering af EU's Rådsbeslutning vedrørende opstilling af kriterier og procedurer for modtagelse af affald på deponeringsanlæg (CEC, 2003) er endnu ikke gennemført, er de generelle EU-krav til deponering på deponier for inert affald, visse typer ikke-farligt affald og farligt affald vist i tabel 4.21.

Tabel 4.19

Grænseværdier for stofindhold i henhold de sjællandske amters klassificering af forurennet jord. Alle talværdier er mg/kg tørstof.

Komponent	Klasse 1	Klasse 2	Klasse 3	Klasse 4
As	10	20	50	> 50
Cd	0,5	1	5	> 5
Cr(VI)	2	35	50	> 50
Cr total	50	500	750	> 750
Cu	30	500	750	> 750
Hg	0,1	1	5	> 5
Ni	15	40	100	> 100
Pb	40	120	400	> 400
Sn	20	50	200	> 200
Zn	100	500	1500	> 1500
Kulbrinter total (C6 - C35), heraf:	100	200	300	> 300
Benzin (C6 - C10)	25	35	50	> 50
Let olie (C10 - C25)	50	75	100	> 100
Tung olie (C25 - C35)	100	200	300	> 300
BTEX total, heraf:	0,6	10	15	> 15
Benzen	0,1	1,5	2,5	> 2,5
PAH total (7 MST), heraf:	1,0	15	75	> 75
Benz(a)pyren	0,1	1	5	> 5
Dibenz(a,h)antracen	0,1	1	5	> 5
Naphthalen	0,5	1	10	> 10
Phenoler	0,1	5	70	> 70
Cyanid, heraf:	5	500	1000	> 1000
Cyanid, syreflygtig	5	10	100	> 100

Tabel 4.20

Kriterier for inddeling af restprodukter og jord i kategorier i henhold til Bekendtgørelse nr. 655 af 27. juni 2000 (Miljøstyrelsen, 2000).

Udvaskningskriterierne er omregnet fra koncentrationer til udvaskede stofmængder ved L/S = 2 l/kg.

Parameter	Enhed	Kategori 1	Kategori 2	Kategori 3
Faststofindhold:				
As	mg/kg	20	> 20	> 20
Cd	mg/kg	0,5	> 0,5	> 0,5
Cr(VI)	mg/kg	20	> 20	> 20
Cr total	mg/kg	500	> 500	> 500
Cu	mg/kg	500	> 500	> 500
Hg	mg/kg	1	> 1	> 1
Ni	mg/kg	30	> 30	> 30
Pb	mg/kg	40	> 40	> 40
Zn	mg/kg	500	> 500	> 500
Udvaskning ved L/S = 2 l/kg:				
Klorid	mg/kg	300	300	6000
Sulfat	mg/kg	500	500	8000
Na	mg/kg	200	200	3000
As	mg/kg	0,016	0,016	0,1
Ba	mg/kg	0,6	0,6	8
Cd	mg/kg	0,004	0,004	0,08
Cr total	mg/kg	0,02	0,02	1
Cu	mg/kg	0,09	0,09	4
Hg	mg/kg	0,0002	0,0002	0,002
Mn	mg/kg	0,3	0,3	2
Ni	mg/kg	0,02	0,02	0,14
Pb	mg/kg	0,02	0,02	0,2
Zn	mg/kg	0,2	0,2	3
TOC	mg/kg	30000	30000	30000

Tabel 4.21

De generelle EU-acceptkriterier (stofudvaskning ved $L/S = 2$ l/kg bestemt ved EN 12457-1) for modtagelse af affald på forskellige kategorier af deponeringsenheder i henhold til Rådsbeslutningen (2003/33/EC).

Parameter	Enhed	Deponeringsenhed for inert affald	Deponeringsenhed for ikke-farligt affald (+stabil, ikke-reaktivt farligt affald)	Deponeringsenhed for farligt affald
As	mg/kg	0,1	0,4	6
Ba	mg/kg	7	30	100
Cd	mg/kg	0,03	0,6	3
Cr	mg/kg	0,2	4	25
Cu	mg/kg	0,9	25	50
Hg	mg/kg	0,003	0,05	0,5
Mo	mg/kg	0,3	5	20
Ni	mg/kg	0,2	5	20
Pb	mg/kg	0,2	5	25
Sb	mg/kg	0,02	0,2	2
Se	mg/kg	0,06	0,3	4
Zn	mg/kg	2	25	90
Klorid	mg/kg	550	10000	17000
Fluorid	mg/kg	4	60	200
Sulfat	mg/kg	560	10000	25000
Phenol-index	mg/kg	0,5	-	-
DOC	mg/kg	240	380	480
TDS	mg/kg	2500	40000	70000

I Rådsbeslutningen 2003/33/EC stilles også krav til det maksimale faststofindhold af visse organiske stofgrupper i affald, som skal modtages på et deponeringsanlæg for inert affald. Disse krav er:

TOC: < 3 % (w/w)
 BTEX: < 6 mg/kg
 PCB (7 congenere): < 1 mg/kg
 Mineralolie (C10-C40): < 500 mg/kg

Derudover skal de enkelte medlemslande selv sætte krav til indholdet af PAH

4.5.2 Sammenligning af resultaterne for vejopfej med kvalitetskriterier

En sammenligning af resultaterne af analysering af vejopfej for sporelementer efter oplukning i henhold til DS 259 (tabel 4.11) med kriterierne i tabel 4.19 viser, at vejopfej kan forventes at overskride de sjællandske amters kriterier for klasse 1-jord for indhold af Cd, Cu, Pb og Zn samt at ligge lige på grænsen af kriteriet for Hg. Indholdene af alle de sporelementer, for hvilke der foreligger analyser, overholder dog kriterierne for jord af klasse 2. Der er ikke analyseret for Cr(VI) og Sn. En sammenligning af de i tabel 4.12 fundne indhold af kulbrinter med kriterierne i tabel 4.19 viser, at vejopfejts indhold af såvel let olie, tung olie og totalkulbrinter langt overskrider kriterierne for både klasse 1-jord, klasse 2-jord og klasse 3-jord. Tilsvarende ses det af tabel 4.13 og 4.19, at vejopfejts indhold af total-PAH (sum 7 MST), benz(a)pyren og dibenz(a,h)antracen alle overskrider kriterierne for klasse 1-jord, men ikke for klasse 2-jord. De kriterieværdier, som er overskredet eller tangeret af resultaterne for prøver af vejopfej fra mindst én af de tre årstider, er markeret med fed skrift i tabel 4.19.

En sammenligning af resultaterne i tabel 4.10 (indhold af sporelementer efter oplukning i henhold til DS 259) og tabel 4.16 (resultater af udvaskningstests ved $L/S = 2$ l/kg) med kriterierne for genanvendelse i henhold til

bekendtgørelse nr. 655 af 27. juni 2000 viser, at kriterierne for faststofindhold i kategori 1 (jordkvalitetskriterierne) må forventes at kunne blive overskredet af vejopfej for Cd og Pb. Den højeste værdi af TOC målt i vejopfej i 1995 tangerer grænseværdien for kategori 1. Det ses endvidere, at vejopfej fra vinterperioden vil overskride kriterierne (kategori 1 og 2) for udvaskning af natrium og klorid, givetvis på grund af anvendelsen af natriumklorid til glatførebekæmpelse. Desuden vil de udvaskede mængder af Cu, Ni, Pb og Zn kunne overskride kriterierne for kategori 1 og 2. De kriterieværdier, som er overskredet eller tangeret af resultaterne for prøver af vejopfej fra mindst én af de tre årstider, er markeret med fed skrift i tabel 4.20. Det må i øvrigt konstateres, at vejopfej i øjeblikket næppe vil kunne håndteres som jord i henhold til bekendtgørelse nr. 655 af 27. juni 2000, da vejopfejet er forurenet med andre stoffer end de i tabel 4.20 viste, herunder kulbrinter og PAH.

En sammenligning af resultaterne i tabel 4.16 (resultater af udvaskningstests ved $L/S = 2$ l/kg) med EU-kriterierne for modtagelse af affald til deponering i tabel 4.21 viser, at kun udvaskningskriteriet for Cu for deponeringsenheder for inert affald er lettere overskredet (markeret med fed i tabel 4.21). Det skal dog bemærkes, at kriterierne ikke var kendt, da udvaskningstestene blev udført, og der er derfor ikke testet og analyseret for alle de komponenter, der er opstillet kriterier for. Som det ses ovenfor, stilles der i Rådsbeslutningen 2003/33/EC også krav til indholdet af visse organiske komponenter, og det fremgår ved sammenligning med de målte værdier af totalkulbrinter i vejopfej (1100 – 1500 mg/kg) i tabel 4.12, at kriteriet for modtagelse på en deponeringsenhed for inert affald (500 mg/kg) er væsentligt overskredet. Rådsbeslutningens kriterier for modtagelse på en deponeringsenhed for ikke-farligt affald, som kan modtage stabilt, ikke-reaktivt farligt affald (modsvarende i nogen grad en dansk deponeringsenhed for mineralsk affald), kan ikke forventes overskredet af vejopfej. Selv om der i Rådsbeslutningen ikke stilles krav til indhold og/eller udvaskning af organiske stoffer for ikke-farligt affald, kan sådanne krav godt tænkes at indgå i den danske implementering af denne. Af tabel 4.8 fremgår det, at vejopfejets indhold af TOC er 1,7 – 3,0 % (w/w), og det vil derfor netop kunne tangere Rådsbeslutningens grænseværdi på 3 % (w/w) for deponering på en enhed for inert affald. Det vil ikke kunne overholde det stadig eksisterende krav på 0,5 % (w/w) for deponering på en enhed for mineralsk affald i henhold til Miljøstyrelsens bekendtgørelse nr. 650 af 29. juni 2001 om deponeringsanlæg.

Af ovenstående fremgår det, at vejopfej under de gældende bestemmelser ikke uden forbehandling/rensning kan forventes at kunne nyttiggøres i henhold til amternes vejledning for håndtering af jord på Sjælland eller i henhold til Miljøstyrelsens bekendtgørelse om genanvendelse af restprodukter og jord til bygge- og anlægsarbejder. Vejopfejet vil sandsynligvis opfylde EU-kravene til modtagelse på en deponeringsenhed for ikke-farligt affald, som kan modtage stabilt, ikke-reaktivt farligt affald. Med mindre kravet til indhold af TOC i affald til deponering på enheder for mineralsk affald ændres i forbindelse med implementeringen af Rådsbeslutning 2003/33/EC, vil vejopfej ikke umiddelbart kunne deponeres på sådanne enheder.

I tabel 4.22 er de forskellige kriterier for faststofindhold i jord og/eller affald til nyttiggørelse eller deponering opsummeret sammen med minimums- og maximumsværdier for stofindhold fundet i vejopfej i denne undersøgelse. Kriterieværdier, der er overskredet af maximumsindholdet af en given komponent, er fremhævet med fed skrift.

Tabel 4.22

Grænseværdier for stofindhold i henhold de sjællandske amters klassificering af forurenet jord og bekendtgørelsen om genanvendelse af restprodukter og jord (BEK 655) samt EU's Rådsbeslutning 2003/33/EF (deponier for inert affald) sammen med værdier fundet i vejopfej i denne undersøgelse. Alle sporelementer er bestemt efter oplukning i henhold til DS 259.

Parameter	Enhed	Klassificering, sjællandske amter				BEK 655	EU-dep.	Observerede værdier	
		Klasse 1	Klasse 2	Klasse 3	Klasse 4	Kategori 1	Inert	Minimum	Maximum
As	mg/kg	10	20	50	> 50	20	-	2	5
Cd	mg/kg	0,5	1	5	> 5	0,5	-	< 0,1	0,7
Cr(VI)	mg/kg	2	35	50	> 50	20	-	-	-
Cr total	mg/kg	50	500	750	> 750	500	-	20	34
Cu	mg/kg	30	500	750	> 750	500	-	72	100
Hg	mg/kg	0,1	1	5	> 5	1	-	0,06	0,13
Ni	mg/kg	15	40	100	> 100	30	-	9	13
Pb	mg/kg	40	120	400	> 400	40	-	34	72
Sn	mg/kg	20	50	200	> 200	-	-	-	-
Zn	mg/kg	100	500	1500	> 1500	500	-	130	220
Cyanid, heraf:	mg/kg	5	500	1000	> 1000	-	-	-	-
Cyanid, syreflygtig	mg/kg	5	10	100	> 100	-	-	-	-
Kulbrinter (C10 – C40)	mg/kg	-	-	-	-	-	500	1100	1500
Kulbrinter total (C6 - C35), heraf:	mg/kg	100	200	300	> 300	-		1100	1500
Benzin (C6 - C10)	mg/kg	25	35	50	> 50	-	-	< 5	< 5
Let olie (C10 - C25)	mg/kg	50	75	100	> 100	-	-	210	380
Tung olie (C25 – C35)	mg/kg	100	200	300	> 300	-	-	380	1000
	mg/kg								
BTEX total, heraf:	mg/kg	0,6	10	15	> 15	-	6	-	-
Benzen	mg/kg	0,1	1,5	2,5	> 2,5	-		-	-
PAH total (7 MST), heraf:	mg/kg	1,0	15	75	> 75	-		3,0*	3,0*
Benz(a)pyren	mg/kg	0,1	1	5	> 5	-		0,69*	0,69*
Dibenz(a,h)antracen	mg/kg	0,1	1	5	> 5	-		0,15*	0,15*
	mg/kg								
Naphthalen	mg/kg	0,5	1	10	> 10	-		< 0,05*	< 0,05*
Phenoler	mg/kg	0,1	5	70	> 70	-		-	-
PCB (7 congenere)	mg/kg	-	-	-	-	-	1	-	-
TOC	mg/kg					3000	3000	16000**	30000**

*: Baseret på måling på kun én prøve

** : Inklusive målinger fra undersøgelsen i 1995.

I tabel 4.23 ses en opsummering af de forskellige kriterier for stofudvaskning i EU-reglerne for deponering og i den danske bekendtgørelse om genanvendelse af restprodukter og jord sammen med resultaterne af udvaskningstestene foretaget på vejopfej i forbindelse med dette projekt og den tidligere undersøgelse fra 1995 (Hjelmar et al., 1998).

Udvaskningsresultaterne stammer fra batchtests, men resultaterne fra kolonneudvaskningstestene i denne undersøgelse er anført i parentes i det omfang de ligger udenfor variationsintervallet for resultaterne fra batchtesten. De danske kriterier for nyttiggørelse referer alene til batchtesten, mens EU-kriterierne for deponering i princippet kan være relateret til resultater af både batch- og kolonnetests. Kriterieværdier, der er overskredet af maximumsindholdet af en given komponent, er fremhævet med fed skrift.

Tabel 4.23

Grænseværdier for stofudvaskning ved deponering af affald i henhold EU's Rådsbeslutning 2003/33/EF og ved nyttiggørelse af restprodukter og jord i henhold til Genanvendelsesbekendtgørelsen (BEK 655 af 27 juni 2000 sammen med udvaskningsresultater for vejopfej (ved L/S = 2 l/kg) fundet ved denne undersøgelse og undersøgelsen fra 1995. De fleste resultater stammer fra batchudvaskningstests, men kolonneudvaskningsresultater (også ved L/S = 2 l/kg) er vist i parentes, når disse ligger udenfor variationsintervallet for batchudvaskningstesten.

Parameter	Enhed	EU-kriterier for deponering ¹⁾			Danske kriterier for nyttiggørelse		Observeret udvaskning ²⁾	
		A	B	C	Kategori 1 og 2	Kategori 3	Minimum	Maximum
As	mg/kg	0,1	0,4	6	0,016	0,1	< 0,002 (0,0017)	0,0085 (0,012)
Ba	mg/kg	7	30	100	0,6	8	0,044	0,15 (0,34)
Cd	mg/kg	0,03	0,6	3	0,004	0,08	0,00040	0,0015
Cr	mg/kg	0,2	4	25	0,02	1	0,0024	0,017
Cu	mg/kg	0,9	25	50	0,09	4	0,007	1,3
Hg	mg/kg	0,003	0,05	0,5	0,0002	0,002	< 0,0004	0,0006
Mn	mg/kg	-	-	-	0,3	2	0,070	0,34 (4,6)
Mo	mg/kg	0,3	5	20	-	-	-	-
Ni	mg/kg	0,2	5	20	0,02	0,14	0,018	0,12
Pb	mg/kg	0,2	5	25	0,02	0,2	0,005 (< 0,005)	0,12
Sb	mg/kg	0,02	0,2	2	-	-	-	-
Se	mg/kg	0,06	0,3	4	-	-	-	-
Zn	mg/kg	2	25	90	0,2	3	0,046 (< 0,03)	0,74
Na	mg/kg	-	-	-	200	3000	46	700 (710)
Klorid	mg/kg	550	10000	17000	300	6000	58	1200
Fluorid	mg/kg	4	60	200	-	-	-	-
Sulfat	mg/kg	560	10000	25000	500	8000	68	500
Phenol-index	mg/kg	0,5	-	-	-	-	-	-
DOC	mg/kg	240	380	480	-	-	-	-
TDS	mg/kg	2500	40000	70000	-	-	-	-

- 1) A: Deponi til inert affald, B: Deponi til ikke-farligt affald, som modtager stabilt, ikke-reaktivt farligt affald, C: Deponi til farligt affald.
2) Værdier fra batchtests. Værdier vist i parentes stammer fra kolonnetests, når disse ligger udenfor intervallet for batchtestene.

5 Behandling af vejopfej

5.1 Karakterisering af kornstørrelsesfraktionerede prøver

5.1.1 Oversigt

Med henblik på at undersøge, om der for vejopfej findes en sammenhæng mellem partikelstørrelse og forureningspotentiale, som er af en sådan karakter, at kornstørrelsesfraktionering kan anvendes som en metode til forbedring af vejopfejets miljømæssige egenskaber, er der foretaget en karakterisering af en række kornstørrelsesfraktionerede prøver af vejopfej.

Det antages på forhånd, at der for en række uorganiske komponenter er en tendens til øget stofkoncentration og i hvert fald øget stofudvaskning med aftagende partikelstørrelse. For at kornstørrelsesfraktionering skal være en attraktiv behandlingsmetode, skal der ved fraskillelse af en ikke alt for stor fraktion af mindre partikler kunne opnås en eller flere fraktioner af større partikler, som dels har de ønskede funktionelle egenskaber, dels har så gode miljømæssige egenskaber, at de kriterier, som gælder for den ønskede anvendelse, kan overholdes. Den fine, mere forurenede fraktion må så deponeres, eventuelt efter yderligere forbehandling.

De undersøgte prøver og det anvendte karakteriseringsprogram er vist i tabel 5.1. Der er foretaget karakterisering af prøver, som er kornstørrelsesopdelt på to forskellige måder, nemlig 0 – 10 mm og 10 – 30 mm for to prøver og 0 – 2 mm og 2 – 10 mm for to prøver.

Tabel 5.1
Karakteriseringsprogram for prøver af vejopfej fraktioneret efter kornstørrelse

Prøvebetegnelse	Prøve-ID	Total-indhold	Partielt indhold	1-trins batchtest	Tilgængelig hedstest	Kolonnetest
A'-1 (vinter 2000) 0-10 mm	R-095-01			X		
A'-2 (vinter 2000) 10-30 mm	R-096-01			X		
B'-1 (forår 2000) 0-10 mm	R-097-01	X	X	X	X	X
B'-2 (forår 2000) 10-30 mm	R-098-01	X	X	X	X	X
B2-1 (forår 2000) 0-2 mm	R-131-01	X	X	X	X	
B2-2 (forår 2000) 2-10 mm	R-132-01	X	X	X	X	
C2-1 (sommer 2000) 0-2 mm	R-129-01	X	X	X	X	
C2-2 (sommer 2000) 2-10 mm	R-130-01	X	X	X	X	

5.1.2 Faststofindhold

I tabel 5.2 ses pH, alkalinitet, glødetab, TOC og totalindhold af uorganiske komponenter i tre af de kornstørrelsesfraktionerede prøver af vejopfej. I tabel 5.3 ses resultater af analyser for sporelementer efter partiel oplukning i henhold til DS 259 for de samme prøver.

Tabel 5.2

Resultater af kornstørrelsesfraktionerede prøver af vejopfej analyseret for pH, alkalinitet, glødetab, TOC og totalindhold af uorganiske komponenter.

Parameter	Enhed	Prøve B'		Prøve B2		Prøve C2	
		0 – 10 mm	10 – 30 mm	0 – 2 mm	2 – 10 mm	0 – 2 mm	2 – 10 mm
pH	-	9,6	9,7	9,5	9,9	9,5	9,7
Alkalinitet	ækv/kg	1,64	1,75	1,66	1,98	1,58	2,04
Glødetab	g/kg	35,8	40,8	48,0	46,4	38,6	34,1
TOC	g/kg	21	27	32	20	24	22
Si	g/kg	338	320	321	294	348	300
Al	g/kg	33	34	31	44	33	39
Fe	g/kg	17	20	18	21	18	18
Ca	g/kg	35	37	34	44	35	46
Mg	g/kg	2,5	3,0	2,4	4,6	2,3	4,1
Ti	g/kg	1,3	1,5	1,2	1,8	1,2	1,8
K	g/kg	13	13	12	15	12	12
Na	g/kg	11	11	10	16	11	14
Total S	g/kg	1,0	0,9	0,9	1,0	0,8	1,1
Klorid	g/kg	0,12	0,15	0,16	0,14	0,30	0,18
As	mg/kg	6	4	6	3	7	3
Ba	mg/kg	432	424	426	467	429	501
Cd	mg/kg	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5
Cr	mg/kg	62	59	58	87	55	42
Cu	mg/kg	134	91	140	46	125	49
Mn	mg/kg	426	479	376	913	350	469
Mo	mg/kg	2	2	2	2	2	1
Ni	mg/kg	18	17	17	14	19	15
Pb	mg/kg	58	63	95	26	67	32
Sr	mg/kg	168	170	149	214	158	303
V	mg/kg	29	32	28	47	27	36
Zn	mg/kg	224	200	237	121	239	227

Tabel 5.3

Resultater kornstørrelsesfraktionerede prøver af vejopfej analyseret for indhold af sporelementer efter partiel oplukning i henhold til DS 259.

Parameter	Enhed	Prøve B'		Prøve B2		Prøve C2	
		0 – 10 mm	10 – 30 mm	0 – 2 mm	2 – 10 mm	0 – 2 mm	2 – 10 mm
As	mg/kg	3	3	3	3	3	3
Ba	mg/kg	65	68	69	63	76	133
Cd	mg/kg	0,1	0,1	0,2	<0,1	0,2	0,2
Cr	mg/kg	24	23	27	29	27	18
Cu	mg/kg	106	71	116	41	114	44
Mn	mg/kg	341	343	288	843	288	394
Mo	mg/kg	2	2	2	2	3	2
Ni	mg/kg	12	10	11	8,1	10	8,1
Pb	mg/kg	41	35	57	16	52	20
Sr	mg/kg	66	71	68	83	64	198
V	mg/kg	161	144	183	88	210	185
Zn	mg/kg	184	60	90	22	62	52

Som det fremgår af tabel 5.2 og 5.3 er effekten af kornstørrelsesfraktioneringen på sammensætningen af faststoffasen temmelig begrænset. Den største effekt ses måske for Cu ved fraktioneringen i 0 – 2 mm og 2 – 10 mm, hvor der både ved totalanalyser og analyser efter partiel

oplukning findes 2,5 – 3,0 gange mere Cu i den finere fraktion end i den grovere. Ingen af fraktionerne overholder dog eksempelvis kriterierne for Cu-indhold i klasse 1-jord (se tabel 4.19).

De kornstørrelsesfraktionerede prøver er ikke analyseret for indhold af organiske forbindelser.

5.1.3 Tilgængelighed for udvaskning

Tre af de kornstørrelsesfraktionerede prøver er blevet underkastet tilgængelighedstests (NT ENVIR 003, modificeret). Resultaterne er vist i tabel 5.4 som udvaskede stofmængder. At tabellen fremgår det, at den generelle effekt af kornstørrelsesfraktionering heller ikke har nogen stor effekt på tilgængelighederne for udvaskning. Der ses dog også her op til en faktor 5,3 i forskel på kobberudvaskningen fra henholdsvis fraktionen 0 – 2 mm og 2 – 10 mm. For Pb og Zn ses også en vis effekt, som dog formentlig må antages at være knyttet til små forskelle i pH.

Tabel 5.4
Kornstørrelsesfraktionerede prøver af vejopfej testet for potentiel tilgængelighed for udvaskning af uorganiske komponenter(NT ENVIR 003, modificeret).

Parameter	Enhed	Prøve B'		Prøve B2		Prøve C2	
		0 – 10 mm	10 – 30 mm	0 – 2 mm	2 – 10 mm	0 – 2 mm	2 – 10 mm
Ca	g/kg	27	28	26	32	26	29
K	g/kg	376	422	386	466	409	511
Na	g/kg	208	222	335	308	225	269
As	mg/kg	< 0,2	< 0,2	< 0,2	0,2	< 0,2	< 0,2
Ba	mg/kg	29	26	24	44	28	25
Cd	mg/kg	0,52	0,29	0,25	0,15	0,29	0,14
Cr	mg/kg	< 0,2	0,20	< 0,2	0,20	0,40	< 0,2
Cu	mg/kg	24,9	17,4	19,4	4,7	26,2	4,9
Hg	mg/kg	0,06	< 0,04	< 0,04	0,04	< 0,04	< 0,04
Mn	mg/kg	138	120	69	94	122	187
Ni	mg/kg	2,3	2,4	1,29	0,65	3,4	1,4
Pb	mg/kg	2,2	1,8	1,7	1,3	2,15	0,37
Zn	mg/kg	99	85	116	68	101	34

5.1.4 Udvasning ved kolonne- og batchudvasningstests

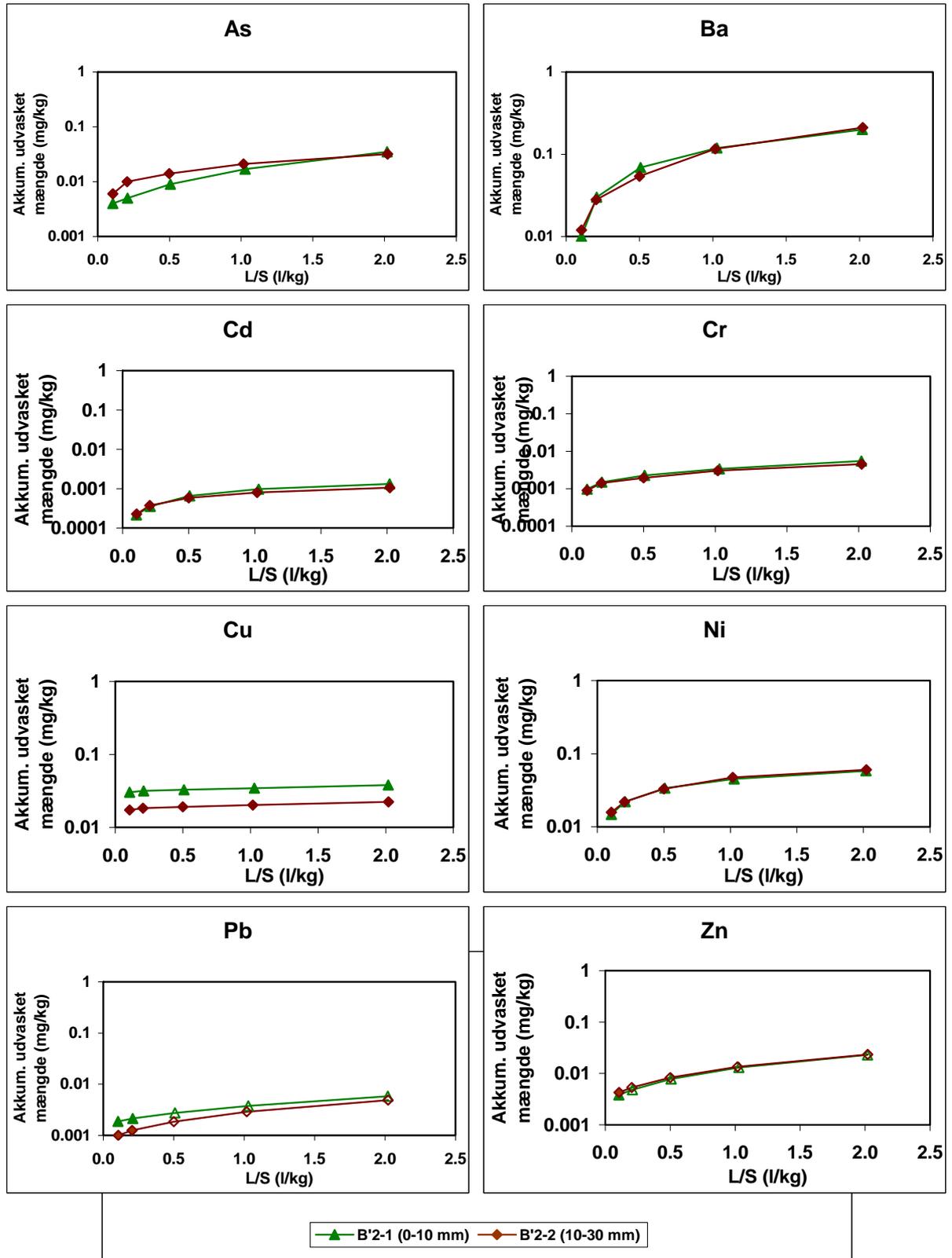
Der er udført kolonneudvasningstests (NT ENVIR 002, modificeret) på de to fraktioner (0 – 10 mm og 10 – 30 mm) af prøven B' fra foråret 2000. Detailresultaterne er vist i bilag 6. På figurerne 5.1a og 5.1b ses de akkumulerede udvaskede stofmængder, pH og ledningsevnen som funktion af L/S.

Af figurerne fremgår det, at udvasningen fra de to fraktioner er temmelig ens. For sulfat, klorid og natrium ses dog en lidt større udvasning fra den grove fraktion end fra den fine! For Cu ses den samme tendens som ved faststofindhold og tilgængelighed til en lidt større udvasning fra den fine fraktion end fra den grove.

Der er udført batchudvasningstests (EN 12457-3, trin 1) ved L/S = 2 l/kg på fraktionerne 0 – 10 mm og 10 – 30 mm for prøverne A' (vinter) og B' (forår) og på fraktioner 0 – 2 mm og 2 – 10 mm for prøverne B2 (forår) og C2 (sommer). Resultaterne er vist i tabel 5.5 som pH, ledningsevne og udvaskede stofmængder.

Som det fremgår af tabel 5.5 har kornstørrelsesfraktioneringen heller ikke nogen stor effekt på resultaterne af batchudvaskningstestene, som i store træk bekræfter tendenserne fra de øvrige udvaskningstests.

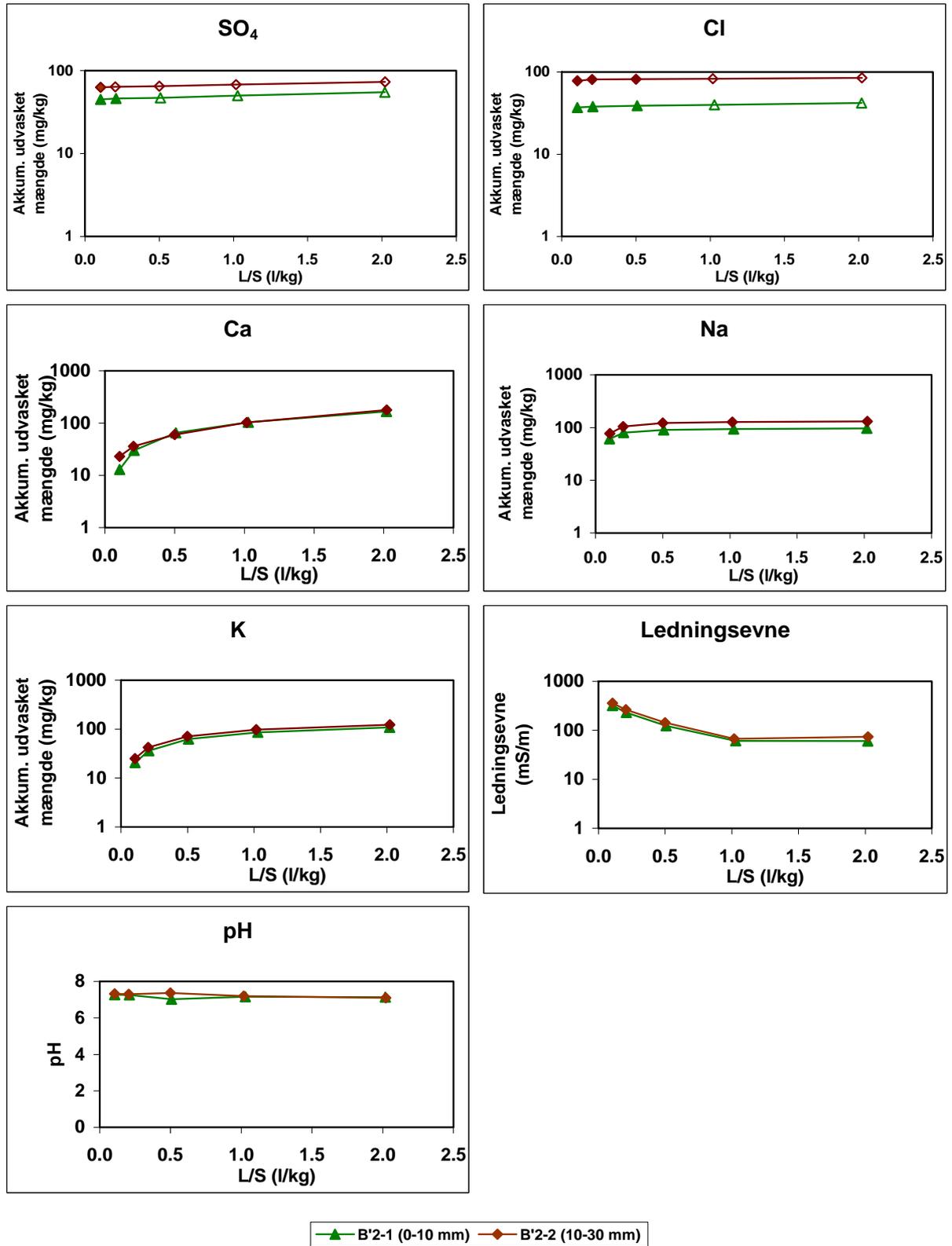
Udvaskning fra vejopfej, Forår (kornstørrelsesfraktionerede B-prøver)



Figur 5.1a

Resultater af kolonnetests udført på kornstørrelsesfraktionerede delprøver af vejopfej (prøve B'2-1 og B'2-2, forår). De akkumulerede udvaskede stofmængder er afbildet som funktion af L/S. Sporelementer.

Udvaskning fra vejopfej, Forår (kornstørrelsesfraktionerede B-prøver)



Figur 5.1b

Resultater af kolonnetests udført på kornstørrelsesfraktionerede delprøver af vejopfej (prøve B'-1 og B'-2, forår). De akkumulerede udvaskede stofmængder er afbildet som funktion af L/S. Salte, pH og ledningsevne.

Tabel 5.5

Resultater af batchudvaskningstests (EN 12457-3, trin 1) ved L/S = 2 l/kg på kornstørrelsesfraktionerede prøver af vejopfej. Resultaterne er angivet som udvaskede stofmængder.

Parameter	Unit	Prøve A'		Prøve B'		Prøve B2		Prøve C2	
		0 – 10 mm	10-30 mm	0 – 10 mm	10 – 30 mm	0 – 2 mm	2 – 10 mm	0 – 2 mm	2 – 10 mm
pH	-	8,14	8,14	8,17	8,09	7,94	8,35	8,11	8,18
Ledningsevne	mS/m	185	203	66	69	122	93,9	78,9	71,0
Ca	mg/kg	107	98	95	90	184	131	99	89
K	mg/kg	33	36	61	67	82	63	94	85
Na	mg/kg	592	671	106	115	207	174	122	110
Klorid	mg/kg	826	950	114	122	278	218	174	164
Sulfat	mg/kg	290	262	132	136	200	118	144	102
As	mg/kg	0,0057	0,0061	0,0087	0,0062	0,0070	0,0090	0,0061	0,0058
Ba	mg/kg	0,19	0,17	0,11	0,11	0,14	0,08	0,13	0,107
Cd	mg/kg	0,00041	0,00045	0,00065	0,00057	< 0,0004	< 0,0004	< 0,0004	< 0,0004
Cr	mg/kg	0,0022	0,0020	0,0036	0,0041	0,0023	< 0,002	0,0047	< 0,002
Cu	mg/kg	0,84	1,0	0,50	0,54	0,7	0,48	1,68	0,89
Hg	mg/kg	< 0,0004	< 0,0004	< 0,0004	0,0018	< 0,0004	< 0,0004	< 0,0004	< 0,0004
Mn	mg/kg	0,18	0,34	0,18	0,18	0,12	0,04	0,23	0,25
Ni	mg/kg	0,023	0,024	0,028	0,032	0,018	0,018	0,099	0,077
Pb	mg/kg	0,011	0,0086	0,012	0,012	0,005	0,0020	0,0261	0,0050
Zn	mg/kg	0,083	0,074	0,11	0,12	0,07	0,02	0,16	0,49

5.1.5 Effekt af kornstørrelsesfraktionering

På grundlag af resultaterne i de foregående afsnit må det konstateres, at en opdeling af vejopfej i kornstørrelsesfraktionerne 0 – 2 mm, 2 – 10 mm og 10 – 30 mm medfører så begrænsede og inkonsistente forskelle i faststofindhold og udvaskning af uorganiske komponenter mellem de enkelte fraktioner, at metoden næppe alene vil kunne anvendes til at oparbejde vejopfej til et miljømæssigt attraktivt materiale, der kan overholde forskellige kriterier for nyttiggørelse. Hvis det antages, at kornstørrelsesfordelingerne i tabel 3.2 og figur 3.2 er generelt repræsentative for vejopfej (når materiale > 40 mm er fjernet), ses det, at fraktionen større end 2 mm kun udgør 20 – 25 % (w/w) af den samlede mængde af vejopfej. Hvis det derfor skulle lykkedes at forbedre fraktionen større end 2 mm tilstrækkeligt gennem kornstørrelsesfraktionering, ville man stå tilbage med en mere foruren rest, som udgør 75 – 80 % (w/w) af den samlede mængde.

5.2 Adskillelse efter massefylde og kornstørrelse samt vask

Med henblik på at afprøve effekten af en kombination af adskillelse efter massefylde og kornstørrelse og simpel vask er der gennemført et forsøg med en prøve af vejopfej fra oktober 2003 (prøve E), hvorfra materiale > 40 mm (ca. 10 % (w/w)) på forhånd var udskilt som forbrændingsegnet.

Gennem en kombination af sedimentation/vask og våd sigtning (inddampning ved tørring af den fineste fraktion), blev prøven opdelt i de i tabel 5.6 viste fraktioner. Udgangsmaterialet og de enkelte fraktioner (undtagen den organiske fraktion, som flød på overfladen af vandet) blev efterfølgende underkastet en batchtest (EN 12457-3, trin 1) til undersøgelse af udvaskningen af uorganiske komponenter. Resultaterne heraf er vist i tabel

5.7. Tal, der er vist med fed skrift, indikerer en overskridelse af kategori 1 og 2-kravene i genanvendelsesbekendtgørelsen (tabel 4.20).

Det ses, at det behandlede vejopfej i udgangspunktet faktisk overholdt bekendtgørelsens krav til udvaskning for kategori 1 og 2, undtagen for Cu. Den grove fraktion overholder faktisk også kravet til Cu. Generelt fremgår det, at udvaskningen fra de behandlede fraktioner på grund af vasken for mange komponenter er mindre end fra udgangsmaterialet. For mange komponenter (dog ikke for Pb) ses ligeledes den mindste udvaskning fra den grove fraktion. Metoden synes således at have en vis anvendelighed med hensyn til de uorganiske forureningskomponenter. Det må dog erindres, at grovfraktionen kun udgør godt 30 % af fraktionen < 40 mm, som igen udgør ca. 90 % af den samlede mængde vejopfej. Der blev ikke analyseret eller testet for udvaskning af kulbrinter og PAH, som jo ser ud til at være hovedproblemet i relation til kriterier for nyttiggørelse af vejopfejet.

En anden prøve af vejopfej fra oktober 2003 blev imidlertid underkastet en lignende proces, hvor en tung fraktion blev fraskilt ved hjælp af sedimentation i vand ved L/S = ca. 1/kg og efterfølgende separation på rystebord. Udgangsmaterialet og den opsamlede grove fraktion blev analyseret for kulbrinter, PAH og nogle sporelementer. Resultaterne er vist i tabel 5.8. Resultater, som ikke overholder kravene til totalindhold for klasse 1-jord i henhold til de sjællandske amters vejledning, er vist med fed skrift.

Tabel 5.6

Vejopfej fra oktober 2003 (prøve E). Oversigt over udgangsmateriale og fraktioner til behandling

Prøvebetegnelse	Prøve-ID	Kornstørrelsesfraktion	Procentdel af masse
Udgangsmateriale (E)	R-184-03	< 40 mm	100
Grovfraktion	R-180-03	1 mm – 40 mm	32,7
Mellemfraktion	R-182-03	0,5 – 1 mm	22,5
Finfraktion	R-183-03	0,125 – 0,5 mm	33,1
Slamfraktion	R-181-03	< 0,125 mm	9,3
Organisk fraktion	-	Flyder på vandoverfladen	2,3

Tabel 5.7

Resultater af batchudvaskningstests (EN 12457-3, del 1) udført ved L/S = 2 l/kg på udgangsmateriale og behandlede fraktioner af vejopfejl (prøve E). Resultaterne angiver pH, ledningsevne og udvaskede stofmængder.

Parameter	Enhed	Udg. mat.	Grov	Mellem	Fin	Slam
		< 40 mm	1 - 40 mm	0,5 – 1 mm	0,125 – 0,5 mm	< 0,125 mm
pH	-	7,95	8,82	7,93	7,89	8,14
Ledningsevne	mS/m	42	13	16	16	46
Ca	mg/kg	64	28	36		113
Na	mg/kg	84	21	21	19	55
Sulfat	mg/kg	103	26	32	34	76
Klorid	mg/kg	90	15	24	26	36
As	mg/kg	0,0024	< 0,002	< 0,002	0,0025	< 0,002
Ba	mg/kg	0,075	0,023	0,042	0,042	0,13
Cd	mg/kg	0,00017	0,00016	0,00025	0,00029	0,00029
Cr	mg/kg	0,0070	0,0021	0,0051	0,0064	0,0039
Cu	mg/kg	0,39	0,073	0,12	0,14	0,17
Hg	mg/kg	< 0,00004	< 0,00004	< 0,00004	< 0,00004	0,00004
Mn	mg/kg	0,021	0,027	0,099	0,11	0,024
Ni	mg/kg	0,019	0,0044	0,0073	0,0065	0,013
Pb	mg/kg	0,0024	0,0079	0,043	0,054	0,017
Zn	mg/kg	0,022	0,036	0,13	0,15	0,077
DOC	mg/kg	76	18	22	18	50

Tabel 5.8

Analyser af faststofindhold i vejopfejl, som er ubehandlet, og behandlet ved sedimentation og separation på rystebord. Sporelementer er bestemt efter partiel oplukning i henhold til DS 259.

Parameter	Enhed	Ubehandlet vejopfejl	Behandlet vejopfejl
Cd	mg/kg	0,27	0,18
Cr	mg/kg	33	16
Cu	mg/kg	130	-
Hg	mg/kg	0,041	-
Ni	mg/kg	9	4,3
Pb	mg/kg	43	23
Zn	mg/kg	300	100
Kulbrinter, total	mg/kg	610	150
C6 – C10	mg/kg	3,2	< 2
C10 – C25	mg/kg	110	28
C25 – C35	mg/kg	500	130
PAH (7 MST)	mg/kg	0,79	0,27
Benz(a)pyren	mg/kg	0,15	0,051
Dibenzo(a,h)antracen	mg/kg	0,033	0,014

Af tabel 5.8 ses det, at behandlingen ikke fjerner indholdet af kulbrinter effektivt nok til at kravene til klasse 1-jord overholdes. Det er især den tunge fraktion C25 – C35), der dominerer. Forureningsniveauet i den ubehandlede prøve med hensyn til kulbrinter ses i øvrigt at være forholdsvis lavt.

5.3 Biologisk behandling af vejopfejl

Biologisk behandling er i mange år blevet anvendt til til rensning af olie- og benzinformuren jord, hvor vand, luft og næringsstoffer kan tilføres jorden, således at bakterier kan vokse og bruge olieforureningen som kulstofkilde. Herved nedbrydes kulbrinterne og forureningen af jorden reduceres. Nedbrydningen foregår naturligt, når de rette vækstbetingelser er til stede. På

denne måde kan en biologisk rensning af jorden bringe den på en form, så den kan nyttiggøres.

Der er mindre erfaring med biologisk nedbrydning af tjære/PAH-forurenede jord. Miljøstyrelsen har offentligt gjort en rapport om biologisk rensning af gasværksgrunde, hvor forureningsgraden på f.eks. Frederiksberg Gasværk blev nedbragt fra 400 mg/kg til ca. 200 mg/kg total tjære efter 496 dage (Lindskov et al., 1999).

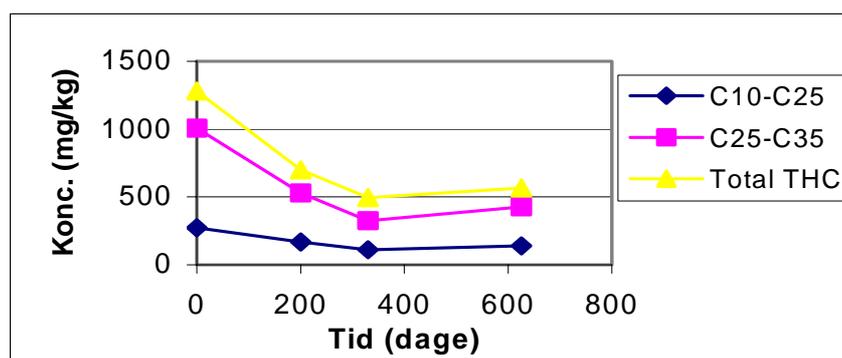
Med henblik på en vurdering af mulighederne for reduktion af indholdet af kulbrinter i vejopfejet gennem biologisk nedbrydning er kulbrinteindholdet i vejopfejet i en lagerbunke blevet fulgt over en periode på næsten 2 år. Der har i perioden ikke været tilført næringsstoffer til vejopfejet, og der er ikke gjort noget aktivt for at øge tilførslen af ilt til bunkens indre. Tabel 5.9 og figur 5.2 viser kulbrinteindholdet i vejopfejet som funktion af den tid, vejopfejet har været mellemlagret i bunken (hos RGS 90 på Selinevej i København).

Tabel 5.9

Nedbrydning af oliekomponenter i vejopfej i lagerbunke

Tid	C5 - C35	C5 - C10	C10 - C25	C25 - C35
dage	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg
0	1280	< 15	273	1007
200	700	< 15	169	529
340	614	< 15	146	465
626	568	< 15	140	427

Det ses, at det totale indhold af kulbrinter i vejopfejet er halveret efter ca. 400 dage, hvilket svarer til resultatet, der er fundet for gasværksgrunden. Det fremgår samtidig, at når niveauet af tunge kulbrinter efter ca. et år er nået ned omkring 460 mg/kg, sker den videre nedbrydning af disse meget langsomt. Nedbrydningshastigheden for kulbrinter vil formentlig kunne øges gennem en optimering af betingelserne (tilførsel af næringsstoffer, ventilation, mv.).



Figur 5.2

Nedbrydningsforløb for kulbrinter i vejopfej i lagerbunke hos RGS90 A/S.

På trods af at kulbrinterne nedbrydes ved denne biologiske metode, er der stadig mere tilbage i vejopfejet end, der kan tillades, hvis det skal nyttiggøres som klasse 1 jord efter "Vejlledning i håndtering af forurenede jord på Sjælland".

Samlet vurderes det, at denne teknik ikke vil kunne levere et tilfredsstillende rensat produkt dels på grund af tidsaspektet og dels at nedbrydningen sandsynligvis stopper omkring 2/3 af startkoncentrationen. Dette kan skyldes de relativt høje indgangskoncentrationer af asfaltstykker.

5.4 Termisk behandling

RGS90 har etableret et termisk behandlingsanlæg til forurenede jord i Stignæs Industripark. I anlægget varmes jorden op til 550 °C i et givet stykke tid, hvorved alle brændbare dele samt organiske forureninger dels vil brænde og dels blive afdampet. Dette produkt vil derfor ikke have problemet med at overholde anlægstekniske krav til et glødetab mindre end 1 %.

Metoden fjerner ikke eller kun i begrænset omfang sporelementer, og i givet fald kun ved fordampning af de stoffer, som har lave fordampningspunkter. Da tungmetalindholdet er under grænseværdien for klasse 1, vil dette ikke være en begrænsning for metodevalget.

Der er i forbindelse med dette projekt lavet et laboratorieforsøg med termisk behandling af vejopfejl. En prøve er udtaget og varmet op til 550 °C i en ovn. Et billede af materialet er vist i 5.3. Det termisk behandlede vejopfejl har mistet den mørke farve, der formentlig er kommet på grund af humussyrer og olierester. Materialet fremstår som sand med enkelte lidt større sten.

Materialet tabte 2,7 % af den oprindelige masse af det tørrede vejopfejl. Dette svarer til den mængde lette, organiske stoffer, som fandtes i prøven. Det vil sige, at denne metode åbner for en mulighed for at foretage en materialeanvendelse af op til 97 %, og en energinyttiggørelse af de sidste 3 % - afbrænding af organisk materiale i vejopfejlet vil indgå i det samlede energiregnskab for den termiske behandling.



Figur 5.3
Termisk behandlet vejopfejl.

En prøve af det termisk behandlede vejaffald blev sendt til analyse for kulbrinter, PAH og sporelementer. Resultatet er vist i tabel 5.10 sammen med et gennemsnit af indholdet i det ubehandlede materiale. Det ses, at kulbrinterne som forventet er bragt under detektionsgrænsen. Det ses dog også, at indholdet af sporelementer ved behandlingen tilsyneladende er blevet forøget mere, end der kunne forventes ud fra vægttabet (resultater vist med fed skrift indikerer en overskridelse af indholdskriterierne for klasse 1-jord i henhold til de sjællandske amters vejledning). Dette kan muligvis skyldes naturlige variationer i prøven, eller at processen har åbnet nogle strukturer i materialet, så sporelementerne bliver mere tilgængelige for den (partielle) oplukning og dermed for den kemiske analyse.

Der foreligger ingen udvaskningstests på det termisk behandlede vejopfej.

Tabel 5.8

Analyser af faststofindhold i vejopfej, som er ubehandlet, og termisk behandlet vejopfej. Sporelementer er bestemt efter partiel oplukning i henhold til DS 259.

Parameter	Enhed	Ubehandlet vejopfej	Termisk behandlet vejopfej
Cd	mg/kg	0,32	0,62
Cr	mg/kg	20	31
Cu	mg/kg	82	290
Hg	mg/kg	0,041	-
Ni	mg/kg	8	17
Pb	mg/kg	44	100
Zn	mg/kg	227	370
Kulbrinter, total	mg/kg	480	< 30
C6 – C10	mg/kg	2,7	< 2
C10 – C25	mg/kg	99	< 5
C25 – C35	mg/kg	450	< 20
PAH (7 MST)	mg/kg	0,86	ikke detekteret
Benz(a)pyren	mg/kg	0,17	< 0,005
Dibenzo(a,h)antracen	mg/kg	0,034	< 0,005

6 Konklusioner

På grundlag af den gennemførte karakterisering af prøver af vejopfej fra Københavns kommune og de gennemførte undersøgelser af mulighederne for gennem forskellige former for behandling at forbedre vejopfejts miljømæssige egenskaber, kan der blandt andet drages følgende konklusioner:

Ca. 90 vægt-% af vejopfej har en kornstørrelse, der er mindre end 40 mm, og heraf udgøres ca. 2 vægt-% af organisk materiale, som kan frasorteres, mens resten består af et jord/gruslignende materiale, hvoraf ca. 75 vægt-% har en kornstørrelse, som er mindre end 2 mm. Mængden af fint materiale (< 0,125 mm) udgør ca. 10 vægt-%.

På grundlag af analyser af Si, Al, Fe, Ca, Mg, Ti, K, Na, S, Cl, samt TOC kan der, hvis det antages en mange af disse elementer forekommer som oxider, redegøres for mellem 90 % og 95 % af vejopfejts samlede masse. Herudover indeholder vejopfej blandt andet en række sporelementer samt kulbrinter og PAH i varierende mængder.

For de fleste indholdskomponenter er der ikke nogen væsentlig, systematisk årstidsvariation i indhold og udvaskning. Dette gælder dog ikke for komponenter, der kan associeres med glatførebekæmpelse, idet der ses en klart større udvaskning af især natrium og klorid, men også af sulfat, i vejopfej fra vinterperioden end vejopfej fra forårs- og sommerperioden.

De største miljømæssige problemer i forbindelse med en eventuel nyttiggørelse af vejopfej synes at være knyttet til indholdet af kulbrinter, herunder især de tungere fraktioner, snarere end til indhold/udvaskning af sporelementer. Også indholdet af PAH kan være problematisk i forhold til gældende kriterier. På grundlag af faststofindholdet af sporelementer og PAH kan vejopfej generelt karakteriseres som klasse 2-jord i henhold til det jordklassificeringssystem, som anvendes af de sjællandske amter. Men indholdet af kulbrinter bringer vejopfej op i klasse 4, hvilket svarer til kraftigt forurenede jord, som normalt vil blive anvist til rensning. Det er sandsynligt, at en væsentlig del af det store indhold af kulbrinter er knyttet til de mange asfaltpartikler, som observeres i vejopfej. I forhold til bekendtgørelsen om genanvendelse af restprodukter og jord ville vejopfej på grundlag af faststofindhold og udvaskning af salte og sporelementer blive indplaceret som kategori 3 (anvendelse med væsentlige restriktioner), men materialet kan p.t. på grund af indholdet af organiske stoffer ikke være omfattet af denne bekendtgørelse.

En sammenligning af vejopfejs udvaskningsegenskaber med EU-kriterierne for modtagelse af affald til deponering viser, at vejopfej sandsynligvis vil kunne overholde udvaskningskravene for modtagelse på en deponeringsenhed for ikke-farligt affald, som modtager stabilt, ikke-reaktivt farligt affald. Det skal dog bemærkes, at EU-kriterierne ikke var kendt, da undersøgelsen blev gennemført, og der mangler data for udvaskningen af fluorid, Sb, Se og DOC. Det kan ikke udelukkes, at udvaskningen af DOC vil kunne give problemer med overholdelse af det ovennævnte kriterium. Faststofindholdet af TOC (1,7 – 3,0 % (w/w)) er for højt til at vejopfej kan overholde det pt. gældende danske krav på 0,5 % (w/w) til affald, som ønskes deponeret på en enhed for

mineralsk affald. Med mindre kravet til indhold af TOC i affald til deponering på enheder for mineralsk affald ændres i forbindelse med implementeringen af Rådsbeslutning 2003/33/EF, vil vejopfej ikke umiddelbart kunne deponeres på sådanne enheder.

Under de gældende bestemmelser kan det således ikke forventes, at vejopfej uden forbehandling/rensning vil kunne nyttiggøres i henhold til amternes vejledning for håndtering af jord på Sjælland eller i henhold til Miljøstyrelsens bekendtgørelse om genanvendelse af restprodukter og jord til bygge- og anlægsarbejder. Tilsvarende vil en reduktion af indholdet af TOC være nødvendig, for at vejopfej skal kunne deponeres som mineralsk affald i henhold til gældende danske regler (som dog forventes ændret i snarlig fremtid).

Omfattende undersøgelser har vist, at behandling af vejopfej baseret på kornstørrelsesfraktionering næppe er nogen farbar vej. Lidt bedre, men stadig utilstrækkelige resultater opnås, hvis fraktioneringen kombineres med vask. Selv ved flere års oplagring synes den biologiske nedbrydning af de tungere kulbrinter heller ikke at være tilstrækkelig. Termisk behandling (opvarmning til 550 °C) fjerner effektivt såvel kulbrinter som PAH, men synes muligvis at mobilisere visse sporelementer. Da der kun foreligger sparsomme data om dette, kunne der være grund til at foretage en nærmere undersøgelse af effekten af termisk behandling, f.eks. på udvaskningen af sporelementerne.

7 Referencer

Amterne på Sjælland (2001): Vejledning i håndtering af forurenede jord på Sjælland. ISBN nr: 87-90723-17-1 (med rettelsesblade fra maj 2004).

CEC (1999): Council Directive 1999/31/EC of 26 April 1999 on the landfill of waste.

Council Decision 2003/33/EC of 19 December 2002 establishing criteria and procedures for the acceptance of waste at landfills pursuant to Article 16 and Annex II to Directive 1999/31/EC.

Hansen, J.B., Grøn, C., Hjelmar, O., Asmussen, O., Klem, S., Mizutani, S., Gamst, J. Wahl-ström, M., Håkansson, K., Breedweld, G. (2004): Leaching test for non-volatile organic compounds – development and testing. Report for Nordtest, 1643-03.

Hjelmar, O., Holm, P.E., Asmussen, O. og Isaksen, J. (1998): Karakterisering af affald. Miljøprojekt nr. 414. Miljøstyrelsen, Miljø- og Energiministeriet.

Ludvigsen, K. (2001): Karakterisering og nyttiggørelse af vejopfej. Dansk Vejtidskrift nr. 4, 2001.

Miljøstyrelsen (2000): Bekendtgørelse nr. 655 af 27. juni 2000 om genanvendelse af restprodukter og jord til bygge- og anlægsarbejder.

Miljøstyrelsen (2001): Bekendtgørelse nr. 650 af 29. juni 2001 om deponeringsanlæg.

Bilag 1

Kemiske analysemetoder

Analysering af faststofprøver				
Parameter	Metode/princip	Udført af	Evt. reference	Bemærkninger
Si	ICP/AES	DHI		Totaloplukning
Al	ICP/AES	DHI		Totaloplukning
Fe	ICP/AES	DHI		Totaloplukning
Ca	ICP/AES	DHI		Totaloplukning
Mg	ICP/AES	DHI		Totaloplukning
Ti	ICP/AES	DHI		Totaloplukning
K	ICP/AES	DHI		Totaloplukning
Na	ICP/AES	DHI		Totaloplukning
As	ICP/AES	DHI		Totaloplukning og partiel oplukning
Ba	ICP/AES	DHI		Totaloplukning og partiel oplukning
Cd	ICP/AES	DHI		Totaloplukning og partiel oplukning
Cr	ICP/AES	DHI		Totaloplukning og partiel oplukning
Cu	ICP/AES	DHI		Totaloplukning og partiel oplukning
Hg	ICP/AES	DHI		Totaloplukning og partiel oplukning
Mn	ICP/AES	DHI		Totaloplukning og partiel oplukning
Mo	ICP/AES	DHI		Totaloplukning og partiel oplukning
Ni	ICP/AES	DHI		Totaloplukning og partiel oplukning
Pb	ICP/AES	DHI		Totaloplukning og partiel oplukning
Sr	ICP/AES	DHI		Totaloplukning og partiel oplukning
V	ICP/AES	DHI		Totaloplukning og partiel oplukning
Zn	ICP/AES	DHI		Totaloplukning og partiel oplukning
Total S	Forbrænding, opløsning og titrering	FLS	Intern metode	
Klorid	Alkalismeltning, syreekstraktion og spektrofotometri	FLS	Intern metode	
pH	pH-måling i opløsning	DHI	VKI-K20	Måling efter 0,1 t omr. v. L/S = 100 l/kg
Alkalinitet	Potentiometrisk titrering	DHI	VKI-K20	Kogn. med HCl og pot. titrering med NaOH til pH = 7
Glødetab	Glødning og gravimetr	DHI	DS 204	Vejning af tør prøve før og efter glødning v. 550 °C
TOC	Oxidation og IR-spektrofotometri	DHI		Opl. i HCl, udblæsning af CO ₂ , forbrænding og måling af dannet CO ₂
Totaloplukning	Opløsning i kongevand +HF	DHI		Opl. i HCl+HNO ₃ +HF og opvarmning under tryk
Partiel oplukning	Opløsning i salpetersyre	DHI		Opl. i 7 M HNO ₃ ved 1 ato
Kulbrinter	Ekstraktion med pentan og analyse ved GC/FID			
PAH	Ekstraktion med pentan og acetone og analyse ved GC-MS-SIM			

Analysering af eluatprøver				
Parameter	Metode/princip	Udført af	Evt. reference	Bemærkninger
Ca	AES	DHI		
K	AES	DHI		
Na	AES	DHI		
As	ICP/MS	DHI		
Ba	ICP/AES	DHI		
Cd	ICP/MS	DHI		
Cr	ICP/MS	DHI		
Cu	ICP/AES	DHI		
Hg	CVAAS	DHI		
Mn	ICP/AES	DHI		
Ni	ICP/AES	DHI		
Pb	ICP/MS	DHI		
Zn	ICP/AES	DHI		
Sulfat		DHI	DS 286	
Klorid		DHI	DS 239	
pH		DHI	DS 287	
Alkalinitet		DHI	DS 253	
Ledningsevne		DHI	DS 288	
DOC	Oxidation og IR-spektrofotometri	DHI	SM 5310 A+B	Dohrman DC-190 og DC-80
Kulbrinter	Ekstraktion med pentan og analyse ved GC/FID			
PAH	Ekstraktion med pentan og acetone og analyse ved GC-MS-SIM			

Bilag 2

Beskrivelse af ligevægtskolonnetest til testning af udvaskningen af ikke-flygtige organiske forbindelser

Metodebeskrivelse for ligevægtskolonne til ikke-flygtige organiske forbindelser (Hansen et al., 2004)

Introduktion:

Frigivelse af organiske stoffer fra restprodukter eller jord til vand anses for at være en betydelig proces, som kan føre til forurening af grundvand og overfladerecipienter ved genanvendelse eller deponering. For at sikre, at produkter forurenede med organiske stoffer ikke giver uacceptable påvirkninger af grundvand og overfladerecipienter, er det nødvendigt at bestemme udvaskningen af de forurenende stoffer fra disse materialer. Formålet med denne test er at bestemme udvaskningen af organiske komponenter fra restprodukter og jord. Det skal pointeres, at ikke alle relevante aspekter af udvaskningsegenskaber kan belyses i én udvaskningstest.

Tests til karakterisering af stofudvaskningen for uorganiske komponenter fra restprodukter og jord kan generelt opdeles i tre kategorier.

- (1) "Grundlæggende karakterisering": Tests, der anvendes til at opnå detaljeret information om udvaskningsegenskaber over varierende tidshorisonter samt karakteristiske egenskaber af testmaterialet.
- (2) "Overensstemmelsestest" anvendes til at bestemme om testmaterialet er i overensstemmelse med en specifik referenceværdi. Testen fokuserer på kritiske betingelser og udvaskningsegenskaber, som er identificeret gennem en grundlæggende karakterisering.
- (3) "On-site verifikation". Tests, der benyttes til en hurtig kontrol af hvorvidt materialet er det samme materiale, som det der er blevet underkastet en overensstemmelsestest.

Ligevægtskolonnetesten til organiske stoffer, som beskrives i denne protokol, bør ses i ovennævnte sammenhæng, og er en test på overensstemmelsesniveau (compliance test).

Anvendelse:

Metoden anvendes til beskrivelse af udvaskningen af ikke flygtige organiske forbindelser fra granulære affaldsmaterialer, restprodukter og jord.

Metoden retter sig mod vurdering af genanvendelse af mod genanvendelse/deponering af granulære restprodukter og opgravet jord.

Der er tale om en test på overensstemmelsesniveau (compliance test), og den gælder for bestemmelse af udvaskningen af PAH-forbindelser, ikke-flygtige olie-komponenter, phenoler og andre ikke flygtige organiske forbindelser.

Definitioner:

Udvaskningstest: Test, hvor et testmateriale (her jord eller granulære restprodukter) bringes i kontakt med et udvaskningsmedium under veldefinerede forhold.

Udvaskningsmedium: Væske, som anvendes i udvaskningstesten.

Eluat: Væske, som fås fra udvaskningstesten efter separation af væske- og faststof-fasen.

Væske/faststof-forhold (forkortelse L/S efter Liquid/Solid): Forhold mellem den totale mængde væske (udtrykt i liter), som under udvaskningen er i kontakt med testmaterialet (udtrykt i kg tørstof).

Tørstofindhold (forkortelse TS): forhold udtrykt i procent som andelen af tørstof i testmaterialet.

Laboratorieprøve: Prøve eller delprøver, som modtages på laboratoriet.

Testprøve: Prøve af passende størrelse, som udtages repræsentativt fra laboratorieprøven.

Testportion: Prøve af passende størrelse, som udtages repræsentativt fra testprøven (i nogle tilfælde dog direkte fra laboratorieprøven) og som anvendes i udvaskningstesten.

Udstyr og reagenser:

Alt materiale, som kommer i kontakt med jordprøverne, **skal være udført i borasilikatglas eller AISI 316 rustfrit stål.**

- (1) Glaskolonne købt hos imw (innovative Messtechnik Weiss) Wilhelmstrasse 107, 72074 Tübingen. Kolonnen skal være syrevasket og skyllet med methanol og placeret i varmeovn ved 200°C i minimum 24 timer. Glaskolonnen består af et 15 cm langt bundstykke med en diameter på 6 cm og et topstykke, der er 6 cm langt med en diameter på ca. 6 cm. De to kolonnedelev har begge et ca. 5 cm langt glasslib, hvor de samles. Samlet er kolonnen ca. 16 cm lang med et volumen på 450 ml.
- (2) Til kolonnen skal der bruges 2 stk. stålflancer, ca. 12 cm lange ($\varnothing = 6$ mm) med en gennemstukket og pålodet stålskive ($\varnothing = 6$ cm), 2 stk. rørforskrutninger GL12 med plads til indlægning af en teflon coated siliconepakning der lukker tæt om åbningen (gennemføringsdiameter = 6 mm).
- (3) Siliconefedt.
- (4) Pumpe med keramisk pumpehoved og stålcylander, pumpekapacitet 0-96 ml / h (Pumpe: QG6 FMI LAB PUMP og pumpehoved: Q1 CSC m. bagskyl). Fås hos Microlab Aarhus A/S)
- (5) 250 ml pyrex flaske med teflon coated septum (red cap flasker), flaskerne skal være syrevasket og glødet ved 550 °C i 2 h.
- (6) Stålrør (vasket fra Sandvik) med udvendig diameter på 6 mm (forbinder pumpe og kolonne).
- (7) Swagelok (6MO-1-4 Male connector) til samling mellem pumpehoved og stålrør.
- (8) Swagelok (6MO-6 Union metric connector) til samling af stålrør.
- (9) 1 rulle Teflon tape
- (10) Kwartssand 1,0-2,5mm.
- (11) 2 stk. gummipropper m. hul ($\varnothing = 5$ mm) -ikke gennemboret.
- (12) 5 ml engangssprøjte m. 20 mm lang silicone (diameter: 5x1 mm)
- (13) 2 stk. 4" svensknøgler.
- (14) 1 stk. papegøjetang.
- (15) 1 stk. niveaubord til pumpemotor
- (16) 1 stk. stativ m. kolbeholder arm.
- (17) Ledningsevne måler.
- (18) pH-måler

- (19) Turbiditetsmåler
- (20) Termometer
- (21) Teknisk vægt 0-2000 g. eller mere, +/- 0,1 g. nøjagtighed.
- (22) Riffelneddelere (til ikke-flygtige stoffer)
- (23) Varmeskab til tørstofbestemmelse
- (24) Demineraliseret vand ($5 < \text{pH} < 7,5$) og ledningsevne $< 0,5 \text{ mS/m}$
- (25) $0,005\text{M CaCl}_2$ -opløsning i demineraliseret vand, som er tilsat NaN_3 (500 mg L^{-1})
- (26) NaN_3 af analyseren kvalitet (Merck nr. 106688-0100)
- (27) $\text{CaCl}_2 \times 2\text{H}_2\text{O}$ af analyseren kvalitet (Merck nr. 102382-0500)

Testprincip

Testen udføres som en kolonneudvaskningstest med recirkulation af eluatet gennem kolonnen. Eluatet recirkuleres indtil der er opnået ligevægt mellem eluat og testmateriale (I praksis recirkuleres eluatet i 7 døgn). Testen udføres ved stuetemperatur ($20 \text{ }^\circ\text{C} \pm 5 \text{ }^\circ\text{C}$).

Prøveforbehandling:

Testmaterialet vil være homogeniseret af DHI, men skal homogeniseres igen af testlaboratoriet umiddelbart inden testning. Efter homogenisering neddeles laboratorieprøven repræsentativt til en testprøve svarende til ca. 600 g tørstof. Fra testprøven udtages 3 testportioner á mindst 10 g repræsentativt til tørstofbestemmelse. Prøverne opbevares i lukkede glas eller metalbeholdere ved $4 \text{ }^\circ\text{C}$.

Homogenisering og neddeling af testmaterialet skal enten foregå på et nedkølet materiale ved $4 \text{ }^\circ\text{C}$ eller på nedkølet materiale ved stuetemperatur, men hvor opholdstiden ved stuetemperatur minimeres.

Bestemmelse af tørstofindhold i testprøven:

Tørstofindholdet i hver af de 3 testportioner bestemmes ved $105 \text{ }^\circ\text{C} \pm 5 \text{ }^\circ\text{C}$ i henhold til DS 204.

Tørstofindholdet (DR i %) beregnes som:

$$\text{DR} = 100 \cdot M_D / M_w$$

hvor

M_D er massen af prøven efter tørring ved $105 \text{ }^\circ\text{C}$ (g)

M_w er massen af prøven før tørring ved $105 \text{ }^\circ\text{C}$ (g)

Vandindholdet i prøven (MC i %) kan beregnes som:

$$\text{MC} = 100 \cdot (M_w - M_D) / M_w$$

Forberedelse af testportion:

Den resterende del af testprøven (**ca. 500 g tørstof**) anvendes til pakning af kolonnen. Mængden af materiale, der skal til for at fylde kolonnen afhænger af testmaterialets vægtfylde (g/cm^3).

Fremstilling af udvaskningsmedie

Der fremstilles en $0,005\text{M CaCl}_2$ -opløsning i demineraliseret vand, hvortil der umiddelbart forinden er tilsat $500 \text{ mg L}^{-1} \text{NaN}_3$ (natriumazid) for at minimere

biologisk nedbrydning i udvaskningssystemet. Der fremstilles udvaskningsmedie efter behov.

Testprocedure:

Pakning af kolonne:

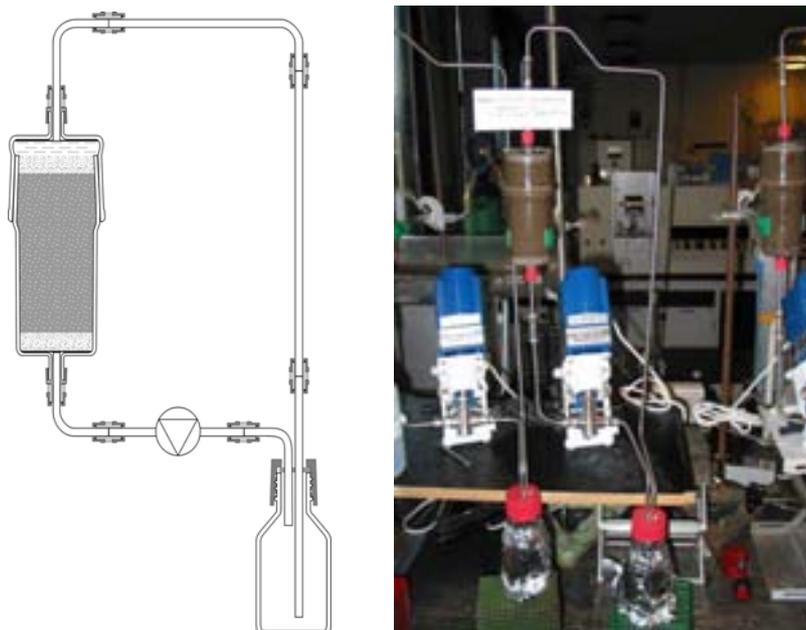
Selve glaskolonnen består af to dele – en lang del (bunden) og en kort del (toppen). Før kolonnen pakkes måles taravægt (inklusive kolonne fittings nævnt under pkt. 2 i afsnit. Udstyr og reagenser) og volumekapaciteten. Procedure for pakning af kolonne er som følgende:

- 1) En lille tot glasuld placeres med pincet i den ende af flancen hvor pladen er monteret. Pres glasulden lidt sammen i røret.
- 2) Flangen lægges i kolonnebunden således at rørstutsen stikker ud gennem bunden på kolonnens indløb.
- 3) Monter rørforskruning og pakning omkring flangerøret og spænd forsigtigt røret sammen med kolonnedelen.
- 4) Sæt en gummiprop i enden af flangerøret.
- 5) Placer kolonnen på en vægt således at delene ikke vælter.
- 6) Tarere vægten.
- 7) I kolonnen pakkes nu først et filterlag svarende ca. 1 cm kvartssand, som sikrer et jævnt vandflow før udvaskningsmediet ledes gennem den forurenede jord. Højden af sandlaget måles og vægten noteres.
- 8) Tarere vægten og afvej beholderen med udvaskningsmedie -noter startvægten
- 9) Med sprøjteflaske tilsættes udvaskningsmediet til søjlen, så der er et frit vandspejl på 1-2 cm.
- 10) Ovenpå filterlaget pakkes et lag af testmaterialet.
- 11) Testmaterialet komprimeres med en stål genstand (evt. med toppen af den anden stålflange).
- 12) Ved pakning af testmaterialet fastholdes et lille frit vandspejl og udvaskningsmediet tilsættes efter behov, så det sikres at der ikke er indelukkede luftbobler i kolonnen.
- 13) Gentag pkt 9-11 indtil kolonnen er fyldt til ca. 1 cm under kanten. Højden af testmaterialet i kolonnen måles og noteres.
- 14) NB. Tilsæt ikke mere udvaskningsmedie end at der er plads til afslutte med filterlag uden at kolonnen løber over!
- 15) Tarere vægten med kolonnen
- 16) Afslutningsvis pakkes et filterlag bestående af ca. 1 cm. kvartssand for at minimere mobilisering af partikler fra testmaterialet. Højden af sandlaget måles og vægten noteres.
- 17) Den anden og sidste flange lægges i kolonnetoppen således at rørstutsen stikker ud gennem toppen af kolonnens udløb.
- 18) Monter rørforskruning og pakning omkring flangerøret, men vent med at spænde sammen.
- 19) Glasslibet på både kolonnetoppen og –bunden påsmøres et tyndt lag siliconefedt. Dette sikrer, at sammenføjnngen er helt vandtæt, og det er vigtigt, at der ikke efterlades rester af siliconefedt på steder, som er i kontakt med udvaskningsmediet.
- 20) Gennem toppen af kolonnens udløb tilsættes det sidste udvaskningsmedie indtil kolonnen er helt fyldt.
- 21) Fortræng alle evt. luftbobler der måtte sidde på over- og undersiden af flangerøret. Dette gøres nemmest ved at bevæge røret lidt.
- 22) Spænd herefter forsigtigt røret sammen med kolonnedelen.
- 23) Sæt en gummiprop i toppen af flangerøret
- 24) Tareres vægten og vej kolonnens totalvægt -noter vægten
- 25) Afvej herefter beholderen med udvaskningsmedie -noter slutvægten.

Følgende oplysninger registreres under pakning af kolonnen:

- Mængde filtersand, der er pakket i hhv. top og bund
- Mængde udvaskningsmedie der er tilsat systemet under pakning.
- Mængden af testmateriale der er anvendt i kolonnen.

Bilag A indeholder et skema, som kan anvendes til registrering af nødvendige oplysninger under pakning af kolonnen og testning. Figur 1 viser en principskitse af kolonnetesten samt et billede af testopstillingen.



Figur 1. Principskitse af ligevægtskolonnetesten, samt billede af testopstillingen

Gennemførelse af testen

Efter pakning henstilles kolonnen i stativ med kolbeholder til equilibrering i 24 timer inden testen sættes i gang. I medens samles testsystemet som angivet på figur 1. Kolonne tilsluttes dog først efter endt ækvilibrering.

Opstarten foreår som følger:

- 1) Placer pumpen på niveaubord og tilslut 220 V.
- 2) Et indløbsrør monteres på pumpen vha. en 6MO-1-4 Male connector.
- 3) Tarere en 250 ml pyrex flaske (forlag) –noter vægten
- 4) Vip indløbsrøret fra pumpen ned i en 250 ml red cap pyrex flaske (forlag) tilsat ca. 250 ml udvaskningsmedie.
- 5) Tænd pumpen.
- 6) Pumpens flow indstilles til en hastighed på 20 mL h^{-1} . Mål flow ved at aflæse ændringen i væskestanden ved hjælp af en 5 ml engangssprøjte monteret på pumpens udløbsrør.
- 7) Når flowet er indstillet, slukkes pumpen igen, og udløbsrøret fastgøres til kolonnens indløbsstuds. Fjern derfor først gummiproppen fra indløbsstudsens og spænd derefter de to rørdele sammen med Swagelok-fitting 6MO-6 Union metric connector.

- 8) Nu fjernes den sidste gummiprop fra kolonnens udløbsstuds. Det lange rørstykke, som går til forlag, tilsluttes udløbsstutsen v.h.a en Swagelok-fitting 6MO-6 Union metric connector.
- 9) Spænd omløberne på swagelokfittings og undgå væsentlige vrid eller spændinger i opstillingen. Dette reguleres vha. niveaubordet og kolonnestativet.
- 10) Neddyk ind-og udløbsrør i en 250 ml redcap pyrexflaske med teflon-coated septum (forlag)
- 11) Tænd pumpen igen og hold øje med at der kommer små bobler ud fra udløbsrøret i forlaget.
- 12) Hold øje med kolonnen i 1 times tid for at sikre, at der ikke er tilstopning eller utætheder. Vær opmærksom på at forlaget ikke må være 100 % tæt lukket eller kan evt. overtryk ikke udløses.
- 13) For at forhindre fotokemisk nedbrydning af de organiske forbindelser i eluatet kan man med fordel pakke forlaget ind i stanniol.
- 14) Eluenten pumpes via recirkulation igennem systemet med en flowhastighed på 20 mL h⁻¹ i 7 døgn.
- 15) Efter 7 døgn er afsluttes testen og det opsamlet eluat i forlaget sendes til analyse. Inden da vejes eluatet i forlaget og flasken tara trækkes fra og vægten noteres.
- 16) Kolonne, stålør, stålfittings og pumpe rengøres efter brug.

Videre håndtering af eluatet:

Eluatet som er opsamlet i pyrex-beholderen sendes umiddelbart til kemisk analyse for ikke flygtige organiske stoffer. Kan eluatet ikke analyseres umiddelbart efter opsamling opbevares det på køl ved 4 °C

Beregninger:

Væske/faststofforholdet (L/S-forholdet) i testen kan beregnes, idet testportionens størrelse angivet i tørstof er registreret og mængden af eluent i systemet er kendt.

Resultaterne af de kemiske analyser, som udføres på eluatet fra udvaskningstesten, angives som koncentrationer af de undersøgte stoffer i eluatet, udtrykt i µg/l. Denne koncentration er et udtryk for en den væskekoncentration, som opnås, når der er ligevægt mellem stofferne i testmaterialet og den gennemstrømmende væske.

Mængden af et stof udvasket fra testportionen kan beregnes ved hjælp af følgende formel:

$$A_2 = C_2 * (L_2 + M * MC / 100 * k) / MD$$

hvor

A_2 er den udvaskede mængde af en given komponent ved L/S = 2 l/kg (i mg/kg tørstof)

C_2 er koncentrationen af komponenten i eluatet (i mg/l)

L_2 er volumenet af udvaskningsmedie i systemet (i ml)

k er en omsætningsfaktor mellem volumen og masse. I

temperaturintervallet 15 – 25 °C sættes $k = 1.00$ ml/g (eller l/kg)

M er mængden af testportion (g)

MD er mængden af testportion (g TS)

Bilag A: Til registrering af oplysninger for ligevægtskolonnetesten til organiske forbindelser

Oplysninger om testmateriale

Masse af testportion, M (g)

Tørstofindhold, TS (g/kg)

Vandindhold (g/kg)

Pakning af kolonne:

Vægt af tom kolonne inkl. kolonnefittings

Vægt af tom pyrex-flask uden låg (g)

Tilsat filtersand i bunden af søjlen (g)

Højde af sandlag i bunden (mm)

Tilsat filtersand i toppen af søjlen (g)

Højde af sandlag i toppen (mm)

Start vægt af udvaskningsmedie incl pyrex-flaske (g)

Vægt af udvaskningsmedie efter pakning af kolonne incl pyrex-flaske (g)

Mængde eluat I pakket kolonne

Vægt af pakket kolonne incl. prop (g)

Højde af testmateriale i kolonnen (mm)

Testforhold

Mætning af kolonne (start-tid)

Mætning af kolonne (slut-tid)

Pumpe startet (dato)

Pumpe stoppet (dato)

kontakttid (døgn)

Flowhastighed for udvaskningsmedie (ml/h)

Gennemsnitlig temperatur under hvilken testen er blevet udført

Vægt af væske i forlag efter testning (g)

Volumen af eluat i rør efter testning (ml)

Beregnet mængde testprøve i kolonnen (g)

Beregnet mængde testprøve i kolonnen (g TS)

Beregnet samlet mængde udvaskningsmedie (g)

Beregnet L/S-forhold

Eluat

Mængde eluat opsamlet i pyrex-flaske (g)

pH-værdi

Turbiditet (NTU)

Ledningsevne (mS/m)

Mængde eluat sendt til analyse

Dato for afsendelse af eluat til analyse

Analyseparametre

Bilag 3

**Batchtest til testning af udvaskningen af ikke-flygtige
organiske forbindelser**

Protokol for udførelse af batchtest til testning af udvaskning af ikke-flygtige organiske forbindelser (Hansen et al., 2004)

Forord

Testprotokollen for batchtesten indeholder testprincipper og -procedurer for testning af ikke-flygtige organiske komponenter. Betegnelserne ikke-flygtige komponenter referer til de i bilag A angivne stofgrupper.

Introduktion

Frigivelse af organiske stoffer fra jord til vand anses for at være en betydelig proces, som kan føre til forurening af grundvand og overfladerecipienter ved genanvendelse eller deponering af jord. For at sikre at jord forurenet med organiske stoffer ikke giver uacceptable påvirkninger af grundvand og overfladerecipienter, er det nødvendigt at bestemme udvaskningen af potentielt forurenende stoffer fra jorden. Formålet med denne test er at bestemme udvaskningen af organiske komponenter fra jord. Det skal pointeres, at ikke alle relevante aspekter af udvaskningsegenskaber kan belyses i én udvaskningstest.

Tests til karakterisering af stofudvaskningen for uorganiske komponenter fra restprodukter og jord kan generelt opdeles i tre kategorier.

- (2) "Grundlæggende karakterisering": Tests, der anvendes til at opnå detaljeret information om udvaskningsegenskaber over varierende tidshorisonter samt karakteristiske egenskaber af testmaterialet.
- (2) "Overensstemmelsestest" anvendes til at bestemme om testmaterialet er i overensstemmelse med en specifik referenceværdi. Testen fokuserer på kritiske betingelser og udvaskningsegenskaber, som er identificeret gennem en grundlæggende karakterisering.
- (3) "On-site verifikation". Tests, der benyttes til en hurtig kontrol af hvorvidt materialet er det samme materiale, som det der er blevet underkastet en overensstemmelsestest.

Batchudvaskningstesten til organiske komponenter, som beskrives i denne protokol, bør ses i ovennævnte sammenhæng, og er en test på overensstemmelsesniveau (compliance test).

Anvendelsesområde

Metoden anvendes til beskrivelse af udvaskningen af organiske komponenter fra jord.

Udvaskningstesten for organiske komponenter retter sig mod vurdering af genanvendelse af opgravet jord samt restprodukter

Definitioner

Udvaskningstest: Test, hvor et testmateriale (her jord) bringes i kontakt med en væske under veldefinerede forhold.

Udvaskningsmedium: Væske, som anvendes i udvaskningstesten.

Eluat: Væske, som fås fra udvaskningstesten efter separation af væske- og faststof-fasen.

Væske/faststof-forhold (forkortelse L/S efter Liquid/Solid): Forhold mellem den totale mængde væske (udtrykt i liter), som under udvaskningen er i kontakt med jorden (udtrykt i kg tørstof).

Tørstofindhold (forkortelse TS): forhold udtrykt i procent mellem mængde af tørstof i jorden og den tilsvarende mængde rå jord.

Laboratorieprøve: Prøve eller delprøver, som modtages på laboratoriet.

Testprøve: Prøve af passende størrelse, som udtages repræsentativt fra laboratorieprøven.

Testportion: Prøve af passende størrelse, som udtages repræsentativt fra testprøven (i nogle tilfælde dog direkte fra laboratorieprøven) og som anvendes i udvaskningstesten.

Udstyr og materialer

Alt materiale, som kommer i kontakt med jordprøverne, skal være udført i glas eller rustfrit stål. For de flygtige stoffer er det vigtigt, at det anvendte udstyr er lufttæt.

Liste over udstyr og reagenser:

- (1) Glasbeholdere (specialfremstillet), glasflasker skal være glødet ved 550 °C i minimum 2 timer (med teflon coated septum (Red cap flaske), syrevasket og glødet ved 550 °C i minimum 2 timer).
- (2) Roterapparat (end-over-end tumbler, 8 ± 2 rpm).
- (3) Centrifuge (centrifugeringstid og -hastighed svarende til en partikelafskæringsdiameter på 0,45 μm).
- (4) Udstyr til bestemmelse af elektrisk konduktivitet
- (5) Udstyr til bestemmelse af pH
- (6) Termometer til bestemmelse af rumtemperatur
- (7) Vægt
- (8) Riffelneddelere (til ikke-flygtige stoffer)
- (9) Varmeskab til tørstofbestemmelse
- (10) Eventuelt en glas- eller stålplade eller et betonunderlag til underlag for homogenisering af jorden
- (11) Demineraliseret vand ($5 < \text{pH} < 7,5$) og ledningsevne $< 0,5$ mS/m
- (12) 0,005M CaCl_2 -opløsning i demineraliseret vand, som er gennemboblet med nitrogen i min. 12 timer
- (13) Et ur

Testprincipper

Testen udføres som en ét-trins batchudvaskningstest ved et L/S-forhold på 2 liter/kg tør prøve og ved stuetemperatur ($20 \text{ }^\circ\text{C} \pm 5 \text{ }^\circ\text{C}$). Udvasningstesten er designet således, at headspace i testbeholderen minimeres. Headspace må maksimalt udgøre 5 %, hvilket for en testbeholder på 650 ml svarer til et volumen på 32,5 ml.

Forbehandling og håndtering af testmateriale og fremstilling af udvaskningsmedium

Forbehandling af jordprøve

For jordprøver, der er forurenede med ikke-flygtige komponenter, vil det af hensyn til testens repræsentativitet være mest hensigtsmæssigt at udtage en passende laboratorieprøve, dog minimum 2 kg, som sendes til laboratoriet til testning. Afhængigt af laboratorieprøvens størrelse udtages en testprøve (testprøven kan eventuelt udgøre hele laboratorieprøven) til videre

forbehandling. Testprøven udtages repræsentativt ved "coning and quartering" eller ved hjælp af en riffelneddeler. Testprøven vurderes visuelt og ved forekomst af klumper større end ca. 4 mm knuses klumperne forsigtigt manuelt med en genstand af metal på et passende underlag, som hverken afgiver eller sorberer stoffer, der indgår i undersøgelsen. Synlige sten og grene frasorteres manuelt. Det frasorterede materiale vejes. Testprøven homogeniseres, hvilket kan foregå ved hjælp af en blandemaskine (hvis prøven er våd) eller ved omskovling og blanding i en lukket beholder af stål eller glas (hvis prøven er tør). Efter homogenisering neddeles testprøven ved hjælp af "coning and quartering" til en mængde svarende til ca. 500 g tørstof. Herfra udtages 3 testportioner á mindst 10 g repræsentativt med en ske til tørstofbestemmelse (se nedenfor). Efter homogenisering opbevares testprøven i en lukket beholder under forhold, som beskrevet i afsnittet "opbevaring af prøven".

Forbehandling af et restprodukt

Der udtages en passende laboratorieprøve laboratorieprøve, dog minimum 2 kg, som sendes til laboratoriet til testning. Afhængigt af laboratorieprøvens størrelse udtages en testprøve (testprøven kan eventuelt udgøre hele laboratorieprøven) til videre forbehandling. Testprøven udtages repræsentativt ved "coning and quartering" eller ved hjælp af en riffelneddeler. Testprøven sigtes gennem en 4 mm sigte og materiale større end 4 mm knuses i en kæbeknuser. Materiale, der ikke kan knuses sorteres fra og vægten på det frasorterede materiale registreres. Testprøven homogeniseres, hvilket kan foregå ved hjælp af en blandemaskine (hvis prøven er våd) eller ved omskovling og blanding i en lukket beholder af stål eller glas (hvis prøven er tør). Efter homogenisering neddeles testprøven ved hjælp af "coning and quartering" til en mængde svarende til ca. 500 g tørstof. Herfra udtages 3 testportioner á mindst 10 g repræsentativt med en ske til tørstofbestemmelse (se nedenfor). Efter homogenisering opbevares testprøven i en lukket beholder under forhold, som beskrevet i afsnittet "opbevaring af prøven".

Opbevaring af testmaterialer

Testmaterialer opbevares i beholdere af rustfrit stål eller andet metal, som kan lukkes tæt med en spænderem. Prøverne opbevares ved 4 °C. Det anbefales, at prøver ikke opbevares længere end 4 døgn før testningen af prøven gennemføres.

Bestemmelse af tørstofindhold i testprøven

- Tørstofindholdet i hver af de 3 testportioner bestemmes ved 105 °C ± 5 °C i henhold til DS 204.

Tørstofindholdet (TS i %) beregnes som:

$$TS = 100 \cdot M_D / M_w$$

hvor

M_D er massen af prøven efter tørring ved 105 °C (g)

M_w er massen af prøven før tørring ved 105 °C (g)

Vandindholdet i prøven (MC i %) kan beregnes som:

$$MC = 100 \cdot (M_w - M_D) / M_w$$

Udtagning af testportion

Testportionens størrelse bestemmes, idet testbeholderens volumen er kendt og headspace i testbeholderen må maksimalt udgøre 5% af testbeholderens volumen. For testbeholdere med et volumen på 650 ml udtages der en testportion (M) svarende til 280 g +/- 10 g tørstof (MD). Den mængde prøve, M, som skal udtages, beregnes af formlen:

$$M = 100 * MD / TS$$

Testportionen (M) udtages fra den neddelte testprøve.

Fremstilling af udvaskningsmedie

Det volumen udvaskningsmedie (L_2 i ml), som skal tilsættes for at opnå $L/S = 2$ l/kg, beregnes ved hjælp af følgende formel:

$$L_2 = 2 * MD - (M * MC) / 100$$

hvor

M er mængden af testportion (g)

MD er mængden af testportion (g TS)

Der fremstilles en 0,005 M CaCl_2 -opløsning i demineraliseret vand, som gennembobles med nitrogen i minimum 12 timer inden brug.

Det beregnede volumen udvaskningsmedie, som skal tilsættes, omregnes til en vægtbaseret mængde udvaskningsmedie (M_2) ved hjælp af følgende formel:

$$M_2 = L_2 / k$$

hvor

k er en omsætningsfaktor mellem volumen og masse. I temperaturintervallet 17 - 23 °C sættes $k = 1.00$ ml/g (eller l/kg).

Testprocedure

Testbetingelser

Testen udføres ved stuetemperatur (20 ± 3 °C), som registreres løbende under testningen.

Gennemførelse af testen

Afvej og tilsæt den beregnede mængde udvaskningsmedie til testbeholderen af glas med tefloncoated septum. Herefter udtages testportionen (M) repræsentativt og overføres til testbeholderen og testbeholderen lukkes omgående.

Testbeholderen med testportionen og udvaskningsmediet rystes hurtigt et par gange i hånden for at sikre god opblanding. Herefter fastspændes testbeholderen opretstående i roter-apparatet, som er indrettet, så testbeholderen bringes til at rotere om sin tværsakse ("end-over-end"). Roter-apparatet igangsættes og kører i 24 timer \pm 0,5 timer med en hastighed på 8 ± 2 omdrejninger/minut, hvorefter det standses. Testbeholderen med testportionen tages ud af apparatet og centrifugeres v. ca. 700 g i 10 minutter. Eluatet overføres forsigtigt til en stål centrifugebeholder med en glaspipette. Prøven centrifugeres ved 6200 g i 60 minutter. Efter centrifugering overføres eluatet med en glaspipette til et prøveglas. Prøveglasset fyldes helt op og sættes omgående på køl.

Opbevaring af eluat

Prøverne opbevares ved 4 °C i højst 3 dage.

Analysering af eluat

Eluaterne analyseres altid for pH, ledningsevne og turbiditet umiddelbart efter testningen. Analyse af øvrige forureningskomponenter i eluat fra batchudvaskningstesten er ikke omfattet af denne testprotokol.

Beregning

Resultaterne af de kemiske analyser, som udføres på eluatet fra udvaskningstesten, angives som koncentrationer af de undersøgte komponenter i eluatet, udtrykt i mg/l. Resultatet kan endvidere udtrykkes som udvasket mængde af den enkelte komponent udtrykt relativt til den totale masse af testportionen, altså i mg/kg TS.

Mængden af en komponent udvasket fra testportionen kan beregnes ved hjælp af følgende formel:

$$A_2 = C_2 * (L_2 + M*MC/100*k) / MD$$

hvor

A_2 er den udvaskede mængde af en given komponent ved $L/S = 2$ l/kg (i mg/kg tørstof)

C_2 er koncentrationen af komponenten i eluatet (i mg/l)

L_2 er volumenet af udvaskningsmedie tilsat (i ml)

k er en omsætningsfaktor mellem volumen og masse. I temperaturintervallet 15 – 25 °C sættes $k = 1,00$ ml/g (eller l/kg)

M er mængden af testportion (g)

MD er mængden af testportion (g TS)

Dokumentation og testrapport

Følgende informationer skal dokumenteres på en sådan måde, at de er tilgængelige. Informationer mærket med stjerne skal inkluderes i testrapporten.

Prøveforberedelse:

- Reference til metoden for udvaskningstesten*
- Reference til laboratorieprøven*
- Dato og tidspunkt for modtagelse af laboratorieprøven/testportioner i testbeholder*
- Adresse på laboratoriet og navne på ansvarlige personer*
- Vægten af laboratorieprøven*
- Dato for forberedelse af testportioner til bestemmelse af tørstofindhold
- Dato for forberedelse af testportion til udvaskningstest
- Opbevaringsforhold for perioden mellem de 3 ovenfor nævnte datoer
- Beskrivelse af hvordan testprøven er blevet forbehandlet (specielt mht. homogenisering, vægt og karakter af frasorteret materiale), og hvordan testportionen er blevet forberedt (neddelingsprocedure)
- Varighed og opbevaringsforhold mellem forberedelse af testportionen og udvaskning.

Produktion af eluat:

- Rå masse af testportion, M (g)*
- Tørstofindhold, TS (%)*

- Adresse på laboratoriet og navne på ansvarlige personer*
- Dato for udvaskningstest*
- Volumen af udvaskningsmedie, som er blevet tilsat (L₂)*
- Størrelse, udformning og materiale af testbeholderen
- Metode til agitation (indstilling)
- Varighed af udvaskningen (kontaktid)*
- Temperatur under hvilken testen er blevet udført
- Beskrivelse af metode til adskillelse af væske og faststof (dimensioner af centrifuge samt indstilling)
- Varighed af periode mellem endt agitation og begyndelse af centrifugering
- Varighed af centrifugering
- Resultater af målinger foretaget umiddelbart efter at der er udtaget prøve til kemiske analyser (pH, ledningsevne og eventuelt redox-forhold)*
- Mængde eluat opnået
- Konservering af eluat
- Opbevaring af eluat
- Dato for afsendelse af eluat til kemisk analyse

Analyse af eluat:

- Dato for analyse af eluat
- Opbevaring af eluat
- Anvendt analysemetode*
- Analysens detektionsgrænser*
- Navn og adresse på udførende laboratorium*
- Navn på ansvarlig person

Resultater af den gennemførte batchudvaskningstest*

Bilag A (informativt)

Tabel A.1 angiver hvilke organiske komponenter, som hører ind under kategorien ikke-flygtige komponenter, samt hvilken type forureninger disse komponenter oftest forekommer i forbindelse med.

Tabel A.1. Forureningstyper, som forskellige ikke-flygtige komponenter typisk forekommer i forbindelse med.

Ikke-flygtige komponenter	Forekommer typisk i forbindelse med følgende typer forurening
PAH	Tjære ved gasværker
Tungere olier (> C10)	Spild på servicestationer og hvor der i øvrigt oparbejdes, håndteres og lagres olie
PCB	Træimprægnering

Bilag 4

Resultater af faststofanalyser

Vejopfej - Karakteriseringsresultater samt variation indenfor samme årstids-prøve

Generel karakterisering

	Enhed	A			Gns	Sta. Afvig. Rel. sta. Afvig		B			Gns	Sta. Afvig. Rel. sta. Afvig		
		R-133-01	R-134-01	R-135-01		B1	B2	B3	R-136-01	R-137-01		R-138-01		
pH		9.8	9.8	9.8	9.8	0	0	9.7	9.7	9.7	9.7	0		
Alkalinitet	ækv/kg	1.7	1.7	1.7	1.7	0	0	1.6	1.7	1.7	1.7	0.06	3.5	
Glødetab	g/kg	35.6	33.3	29.4	32.8	3.1	9.6	37.9	38.3	35.1	37.1	1.7	4.7	
NVOC	g/kg	19	17	16	17	1.5	8.8	20	20	19	20	0.6	2.9	

Totalindhold

	Enhed	A			Gns	Sta. Afvig. Rel. sta. Afvig		B			Gns	Sta. Afvig. Rel. sta. Afvig		
		R-133-01	R-134-01	R-135-01		B1	B2	B3	R-136-01	R-137-01		R-138-01		
Si	g/kg	370	270	400	350	68	19.4	330	330	300	320	17	5.4	
Al	g/kg	39	34	35	36	2.6	7.3	37	34	36	36	1.5	4.3	
Fe	g/kg	16	17	18	17	1.0	5.9	20	20	20	20	0		
Ca	g/kg	38	39	40	39	1.0	2.6	39	39	40	39	0.6	1.5	
Mg	g/kg	2.8	2.4	2.6	2.6	0.20	7.7	2.8	2.3	2.8	2.6	0.29	11.0	
Ti	g/kg	1.6	1.7	1.6	1.6	0.06	3.5	1.6	1.8	1.6	1.7	0.12	6.9	
K	g/kg	12	15	13	13	1.5	11.5	14	13	14	14	0.6	4.2	
Na	g/kg	11	15	12	13	2.1	16.4	12	12	12	12	0		
Total-S	g/kg	0.7	0.8	0.7	0.7	0.06	7.9	0.8	0.8	0.7	0.8	0.06	7.5	
Klorid	g/kg	1.2	1.2	0.74	1.0	0.27	25.4	0.33	0.34	0.3	0.32	0.02	6.4	
As	mg/kg	2	2	2	2	0		2	2	2	2	0		
Ba	mg/kg	420	430	410	420	10	2.4	400	420	400	410	12	2.8	
Cd	mg/kg	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5	0		< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5	0		
Cr	mg/kg	38	29	52	40	11.6	29.2	72	48	41	54	16.3	30.3	
Cu	mg/kg	73	56	58	62	9.3	14.9	96	97	120	104	14	13.0	
Hg	mg/kg	0.2	0.2	0.2	0.2	0		0.2	< 0,1	< 0,1	< 0,2			
Mn														
Mo	mg/kg	1	< 1	< 1	< 1	0		2	1	1	1	0.58	43.3	
Ni	mg/kg	20	20	20	20	0		20	20	20	20	0.0		
Pb	mg/kg	39	32	41	37	4.7	12.7	53	53	110	72	33	45.7	
Sr	mg/kg	160	120	150	140	21	14.9	170	180	150	170	15	9.0	
V	mg/kg	22	15	21	19	3.8	19.6	23	24	22	23	1.0	4.3	
Zn	mg/kg	160	88	150	130	39	30.0	210	190	190	200	12	5.8	

Partielt indhold

	Enhed	A			Gns	Sta. Afvig. Rel. sta. Afvig		B			Gns	Sta. Afvig. Rel. sta. Afvig		
		R-133-01	R-134-01	R-135-01		B1	B2	B3	R-136-01	R-137-01		R-138-01		
As	mg/kg	3	2	4	3	1.00	33.3	2	2	2	2	0		
Ba	mg/kg	76	60	67	68	8.0	11.9	58	69	59	62	6.1	9.8	
Cd	mg/kg	0.4	0.6	0.6	0.53	0.12	21.7	0.4	0.5	0.7	0.53	0.15	28.6	
Cr	mg/kg	24	28	20	24	4.0	16.7	33	29	34	32	2.6	8.3	
Cu	mg/kg	79	75	72	75	3.5	4.7	96	96	97	96	0.6	0.6	
Hg	mg/kg	0.09	0.09	0.13	0.10	0.02	22.3	0.06	0.07	0.07	0.07	0.01	8.7	
Mn	mg/kg	340	420	350	370.00	43.59	11.8	390	280	320	330	55.68	16.9	
Mo	mg/kg	2	2	2	2	0		2	2	3	2	0.58	24.7	
Ni	mg/kg	10	9	10	9.67	0.58	6.0	10	10	10	10	0.00		
Pb	mg/kg	34	56	61	50	14.4	28.5	72	52	56	60	10.6	17.6	
Sr	mg/kg	66	70	70	69	2.3	3.4	70	68	69	69	1.0	1.4	
V	mg/kg	14	14	15	14	0.6	4.0	15	13	15	14	1.2	8.1	
Zn	mg/kg	150	130	170	150	20.00	13.3	160	160	170	163.33	5.77	3.5	

Analyseresultater af faststofprøve (totalindhold)				R-184-03		
Parameter	Enhed	Vejopfej - prøve D maj 2003	Kriterier* Kategori 1	Parameter	Enhed	R-184-03 Vejopfej - prøve D maj 2003
pH		9.7	-	TS	%	99.3
Alkalinitet	mol/kg TS	2.0	-	Glødetab	% TS	5.5
As	mg/kg TS	< 3,0	< 20	SiO ₂	% TS	72
Ba	mg/kg TS	420	-	Al ₂ O ₃	% TS	6.8
Be	mg/kg TS	1.2	< 0,5	CaO	% TS	5.3
Cd	mg/kg TS	0.51	< 500	Fe ₂ O ₃	% TS	2.3
Co	mg/kg TS	12	< 500	K ₂ O	% TS	1.8
Cr	mg/kg TS	61	< 1	MgO	% TS	0.50
Cu	mg/kg TS	89	< 30	MnO	% TS	0.061
Hg	mg/kg TS	< 0,10	< 40	Na ₂ O	% TS	1.8
La	mg/kg TS	< 6,0	< 500	P ₂ O ₅	% TS	0.12
Mo	mg/kg TS	< 6,0		TiO ₂	% TS	0.29
Nb	mg/kg TS	< 6,0				
Ni	mg/kg TS	12		Sum		91
Pb	mg/kg TS	57				
S	mg/kg TS	640				
Sc	mg/kg TS	1.4				
Sn	mg/kg TS	< 20				
Sr	mg/kg TS	200				
V	mg/kg TS	30				
W	mg/kg TS	72				
Y	mg/kg TS	11				
Zn	mg/kg TS	180				
Zr	mg/kg TS	160				
Cl	mg/kg TS	< 160				
SO ₄	mg/kg TS	< 160				
TOC	g/kg TS	18	30**			
	vægt-%	1.8	3**			

*Bekendtgørelse nr. 655 af 27. juni 2000 om genanvendelse af restprodukter og jord

** Alle kategorier

Vejopfej - Karakteriseringsresultater af størrelsesfraktionerede årstidsprøver
Bunkeprøver fra RGS90 og prøver, der er størrelsesfraktionerede på DHI

Generel karakterisering

Enhed		B'-1 (0-10 mm)	B'-2 (10-30 mm)	C2-1 (0-2 mm)	C2-2 (2-10 mm)	B2-1 (0-2 mm)	B2-2 (2-10 mm)
		R-97-01	R-98-01	R-129-01	R-130-01	R-131-01	R-132-01
pH		9.6	9.7	9.5	9.9	9.5	9.7
Alkalinitet	ækv/kg	1.64	1.75	1.66	1.98	1.58	2.04
Glødetab	g/kg	35.8	40.8	48.0	46.4	38.6	34.1
NVOC	g/kg	21	27	32	20	24	22

Totalindhold

Enhed		B'-1 (0-10 mm)	B'-2 (10-30 mm)	C2-1 (0-2 mm)	C2-2 (2-10 mm)	B2-1 (0-2 mm)	B2-2 (2-10 mm)
		R-97-01	R-98-01	R-129-01	R-130-01	R-131-01	R-132-01
Si	g/kg	338	320	321	294	348	300
Al	g/kg	33	34	31	44	33	39
Fe	g/kg	17	20	18	21	18	18
Ca	g/kg	35	37	34	44	35	46
Mg	g/kg	2.5	3.0	2.4	4.6	2.3	4.1
Ti	g/kg	1.3	1.5	1.2	1.8	1.2	1.8
K	g/kg	13	13	12	15	12	12
Na	g/kg	11	11	10	16	11	14
Total-S	g/kg	1.0	0.9	0.9	1.0	0.8	1.1
Klorid	g/kg	0.12	0.15	0.16	0.14	0.30	0.18
As	mg/kg	6	4	6	3	7	3
Ba	mg/kg	432	424	426	467	429	501
Cd	mg/kg	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5
Cr	mg/kg	62	59	58	87	55	42
Cu	mg/kg	134	91	140	46	125	49
Hg	mg/kg						
Mn	mg/kg	426	479	376	913	350	469
Mo	mg/kg	2	2	2	2	2	1
Ni	mg/kg	18	17	17	14	19	15
Pb	mg/kg	58	63	95	26	67	32
Sr	mg/kg	168	170	149	214	158	303
V	mg/kg	29	32	28	47	27	36
Zn	mg/kg	224	200	237	121	239	227

Partielt indhold

Enhed		B'-1 (0-10 mm)	B'-2 (10-30 mm)	C2-1 (0-2 mm)	C2-2 (2-10 mm)	B2-1 (0-2 mm)	B2-2 (2-10 mm)
		R-97-01	R-98-01	R-129-01	R-130-01	R-131-01	R-132-01
As	mg/kg	3	3	3	3	3	3
Ba	mg/kg	65	68	69	63	76	133
Cd	mg/kg	0.1	0.1	0.2	<0,1	0.2	0.2
Cr	mg/kg	24	23	27	29	27	18
Cu	mg/kg	106	71	116	41	114	44
Hg	mg/kg						
Mn	mg/kg	341	343	288	843	288	394
Mo	mg/kg	2	2	2	2	3	2
Ni	mg/kg	12	10	11	8.1	10	8.1
Pb	mg/kg	41	35	57	16	52	20
Sr	mg/kg	66	71	68	83	64	198
V	mg/kg	161	144	183	88	210	185
Zn	mg/kg	184	60	90	22	62	52

Bilag 5

Resultater af tilgængelighedstests

Vejopfej - Karakteriseringsresultater samt variation indenfor samme årstids-prøve

Tilgængelighedstest (NT ENVIR 003, modificeret)

	Enhed	A			Gns	Sta. Afvig.	Rel. sta. Afvig	B			Gns	Sta. Afvig.	Rel. sta. Afvig
		A1	A2	A3				B1	B2	B3			
		R-133-01	R-134-01	R-135-01				R-136-01	R-137-01	R-138-01			
Ca	g/kg	28	30	32	30	2.0	6.7	30	30	29	30	0.6	1.9
K	g/kg	0.44	0.44	0.36	0.41	0.05	11.2	0.46	0.52	0.46	0.48	0.03	7.2
Na	g/kg	1	1.1	0.74	0.95	0.19	19.6	0.42	0.38	0.4	0.40	0.02	5.0
Sulfat	g/kg	0.58	0.86	0.3	0.58	0.28	48.3	0.36	0.42	0.36	0.38	0.03	9.1
Klorid	g/kg	1.1	1.1	0.64	0.95	0.27	28.1	0.32	0.26	0.26	0.28	0.03	12.4
Ba	mg/kg	40	42	34	39	4.2	10.8	34	36	36	35	1.2	3.3
Cd	mg/kg	0.28	0.26	0.24	0.26	0.02	7.7	0.4	0.56	0.32	0.43	0.12	28.6
Cr	mg/kg	0.2	0.5	0.2	0.30	0.17	57.7	0.4	0.2	0.2	0.27	0.12	43.3
Cu	mg/kg	26	30	24	27	3.1	11.5	34	28	48	37	10.3	28.0
Mn	mg/kg	124	124	104	117	12	9.8	102	128	120	117	13	11.4
Ni	mg/kg	1.8	2	1.6	1.8	0.20	11.1	2.2	1.9	2.4	2.2	0.25	11.6
Pb	mg/kg	2.2	6.8	2.6	3.9	2.55	65.9	3.6	2	20	8.5	10.0	116.7
Zn	mg/kg	130	90	104	108	20	18.8	156	142	154	151	8	5.0

Bilag 6

Resultater af kolonneudvaskningstests for uorganiske komponenter

Column leaching test		Nordtest NT ENVIR 002					
Test sample:	R-099-01 , Prøve A, Vejopfej						
Wet mass of test sample:	kg						
Dry mass of test sample:	5730 kg						
Leachant:	Demineralised water						
Column dimensions:	Diameter = 10 cm						
Flow rate in column test:	19,68ml/dg						
Performed by:	DHI						
Date:	2001						
Fractions of leachate collected							
		Fraction	Cummul.				
		L/S (l/kg)	L/S (l/kg)				
Fraction 1 (litres):		0.10	0.10				
Fraction 2 (litres):		0.10	0.20				
Fraction 3 (litres):		0.30	0.49				
Fraction 4 (litres):		0.48	0.98				
Fraction 5 (litres):		1.03	2.01				
Eluate composition:							
Parameter	Unit	L/S (l/kg)					
		From:	0.10	0.20	0.49	0.98	2.01
		To:	0.10	0.20	0.49	0.98	2.01
Ca	mg/l	661	64	87	80	94	
Na	mg/l	5187	1403	184	14	5	
K	mg/l	143	51	26	15	11	
Chloride	mg/l	8270	974	20.1	4.6	3	
Sulphate	mg/l	1338	< 5	< 5	< 5	< 5	
As	mg/l	0.0221353	0.0136349	0.00904	0.00846	0.007143	
Ba	mg/l	0.1620783	0.0972402	0.11844	0.12057	0.131782	
Cd	mg/l	0.0015366	0.0018804	0.00077	0.000376	0.000213	
Cr	mg/l	0.0051567	0.0064548	< 0.001	< 0.001	< 0.001	
Cu	mg/l	0.7310783	0.0177429	0.00101	0.001767	0.001373	
Mn	mg/l	1.4890453	0.6438029	1.19162	1.535799	2.295739	
Ni	mg/l	0.36	0.04	0.014	0.003	< 0.001	
Pb	mg/l	0.0058383	0.0078851	< 0.002	< 0.002	< 0.002	
Zn	mg/l	0.0237691	0.0356736	< 0.01	< 0.01	< 0.01	
pH	-	7.21	7.76	7.27	7.01	7.14	
Conduct.	mS/m	1355	326	119	60	94.6	

Accumulated leached amounts:						
Parameter	Unit	L/S (l/kg)				
		To:	0.10	0.20	0.49	0.98
Ca	mg/kg	64.0000	70	96	135	232
Na	mg/kg	500	643	698	705	710
K	mg/kg	13.8	19	26.6	34	45
Chloride	mg/kg	797	896	902	904	< 907
Sulphate	mg/kg	129	< 130	< 131	< 133	< 138
As	mg/kg	0.002	0.003	0.006	0.01	0.017
Ba	mg/kg	0.016	0.026	0.061	0.119	0.255
Cd	mg/kg	0.000148	0.000339	0.00057	0.00075	0.00097
Cr	mg/kg	0.000497	0.001153	< 0.00145	< 0.00193	< 0.00296
Cu	mg/kg	0.070	0.072	0.073	0.073	0.075
Mn	mg/kg	0.14354	0.209	0.5625	1.3069	3.6707
Ni	mg/kg	0.0347	0.03877	0.04292	0.0444	< 0.0454
Pb	mg/kg	0.00056	0.00136	< 0.00195	< 0.00292	< 0.005
Zn	mg/kg	0.00229	0.00590	< 0.0089	< 0.0137	< 0.0240

Column leaching test		Nordtest NT ENVIR 002					
Test sample:		R100*-01, Prøve B-bl1, Vejopfej					
Wet mass of test sample:		kg					
Dry mass of test sample:		5508 kg					
Leachant:		Demineralised water					
Column dimensions:		Diameter = 10 cm					
Flow rate in column test:		19,68ml/dg					
Performed by:		DHI					
Date:		2001					
Fractions of leachate collected		Fraction	Cummul.				
		L/S (l/kg)	L/S (l/kg)				
Fraction 1 (litres):		0.09	0.09				
Fraction 2 (litres):		0.10	0.19				
Fraction 3 (litres):		0.32	0.51				
Fraction 4 (litres):		0.46	0.96				
Fraction 5 (litres):		1.06	2.02				
Eluate composition:							
Parameter	Unit	L/S (l/kg)		L/S (l/kg)		L/S (l/kg)	
		From:	0.00	0.09	0.19	0.51	0.96
		To:	0.09	0.19	0.51	0.96	2.02
Ca	mg/l		314	191	142	96	102
Na	mg/l		1345	363	51	7.7	3.8
K	mg/l		356	175	98	42	20
Chloride	mg/l		1688	84.1	16.9	5.7	3.2
Sulphate	mg/l		979	12 <	5 <	5 <	5
As	mg/l		0.014	0.012	0.013	0.0074	0.008
Ba	mg/l		0.049	0.090	0.12	0.078	0.092
Cd	mg/l		0.001	0.001	0.001	0.001	0.000
Cr	mg/l		0.0079	0.0049	0.0020	0.0019	0.0013
Cu	mg/l		0.98	0.069	0.019	0.030	0.009
Mn	mg/l		0.49	1.7	2.5	2.0	2.6
Ni	mg/l		0.52	0.12	0.038	0.022	0.011
Pb	mg/l		0.013	0.011	0.0066	0.011	0.002
Zn	mg/l		0.025	0.014	0.013	0.019 <	0.010
pH	-		7.29	7.68	6.77	6.79	6.97
Conduct.	mS/m		524	263	157	74	104

Accumulated leached amounts:							
Parameter	Unit	L/S (l/kg)		L/S (l/kg)		L/S (l/kg)	
		To:	0.09	0.19	0.51	0.96	2.02
Ca	mg/kg		27.0000	47	92	136	244
Na	mg/kg		114	152	168	172	176
K	mg/kg		30.2	48.4	79.4	99	120
Chloride	mg/kg		144	153	158	161 <	164
Sulphate	mg/kg		83	84 <	86 <	88 <	93
As	mg/kg		0.001	0.002	0.006	0.009	0.018
Ba	mg/kg		0.004	0.013	0.050	0.086	0.184
Cd	mg/kg		0.000081	0.000226	0.00058	0.00105	0.00146
Cr	mg/kg		0.000672	0.001183	0.00182	0.00267	0.00404
Cu	mg/kg		0.084	0.091	0.097	0.110	0.120
Mn	mg/kg		0.04133	0.2177	1.018	1.9123	4.6424
Ni	mg/kg		0.04387	0.05633	0.06835	0.0784	0.09
Pb	mg/kg		0.00111	0.00224 <	0.00434 <	0.00936 <	0.012
Zn	mg/kg		0.00216	0.00360	0.0078	0.0166 <	0.0272

Column leaching test		Nordtest NT ENVIR 002					
Test sample:		R-100-01, Prøve B-bl2, Vejopfej					
Wet mass of test sample:		kg					
Dry mass of test sample:		5518 kg					
Leachant:		Demineralised water					
Column dimensions:		Diameter = 10 cm					
Flow rate in column test:		19,68ml/dg					
Performed by:		DHI					
Date:		2001					
Fractions of leachate collected							
			Fraction	Cummul.			
			L/S (l/kg)	L/S (l/kg)			
Fraction 1 (litres):			0.11	0.11			
Fraction 2 (litres):			0.09	0.21			
Fraction 3 (litres):			0.29	0.50			
Fraction 4 (litres):			0.52	1.02			
Fraction 5 (litres):			1.01	2.02			
Eluate composition:							
Parameter	Unit	L/S (l/kg)		L/S (l/kg)	L/S (l/kg)	L/S (l/kg)	
		From:	0.00	0.11	0.21	0.50	1.02
		To:	0.11	0.21	0.50	1.02	
Ca	mg/l		404	160	147	93	86
Na	mg/l		1527	369	43	7.5	3.5
K	mg/l		387	179	94	41	21
Chloride	mg/l		2147	84.8	15.1	5.2	2.9
Sulphate	mg/l		1070	< 5	< 5	< 5	< 5
As	mg/l		0.020	0.018	0.0086	0.011	0.0093
Ba	mg/l		0.050	0.077	0.102	0.079	0.071
Cd	mg/l		0.0012	0.0019	0.0011	0.00082	0.00037
Cr	mg/l		0.0071	0.0059	0.0011	0.0014	< 0.0010
Cu	mg/l		1.5	0.060	0.0076	0.022	0.0085
Mn	mg/l		0.44	1.5	2.4	2.0	1.9
Ni	mg/l		0.45	0.087	0.033	0.017	0.0090
Pb	mg/l		0.026	0.025	0.0040	0.013	0.003
Zn	mg/l		0.045	0.043	< 0.01	0.022	< 0.01
pH	-		7.35	7.33	7.05	6.97	7.14
Conduct.	mS/m		476	275	134	62.6	77.8

Accumulated leached amounts:							
Parameter	Unit	L/S (l/kg)		L/S (l/kg)	L/S (l/kg)	L/S (l/kg)	
		To:	0.11	0.21	0.50	1.02	2.02
Ca	mg/kg		34.0000	51	98	141	232
Na	mg/kg		130	168	182	185	189
K	mg/kg	0	32.9	51.5	81.2	100	122
Chloride	mg/kg		183	192	197	199	< 202
Sulphate	mg/kg		91	< 92	< 94	< 96	< 101
As	mg/kg		0.002	0.004	0.007	0.012	0.022
Ba	mg/kg		0.004	0.012	0.044	0.08	0.155
Cd	mg/kg		0.000104	0.000305	0.00064	0.00102	0.00141
Cr	mg/kg		0.000607	0.001215	0.00155	0.00218	< 0.00324
Cu	mg/kg		0.126	0.132	0.135	0.145	0.154
Mn	mg/kg		0.0373	0.191	0.9412	1.8624	3.8942
Ni	mg/kg		0.03826	0.04729	0.05773	0.0655	0.075
Pb	mg/kg		0.00225	0.00488	< 0.00615	< 0.01193	< 0.0151
Zn	mg/kg		0.00383	0.00830	< 0.0115	0.0215	< 0.0321

Column leaching test		Nordtest NT ENVIR 002				
Test sample:		R-092-01, Prøve C1, Vejopfejl				
Wet mass of test sample:		kg				
Dry mass of test sample:		5061.122 kg				
Leachant:		Demineralised water				
Column dimensions:		Diameter = 10 cm				
Flow rate in column test:		19,68ml/dg				
Performed by:		DHI				
Date:		2001				
Fractions of leachate collected		Fraction	Cummul.			
		L/S (l/kg)	L/S (l/kg)			
Fraction 1 (litres):		0.08	0.08			
Fraction 2 (litres):		0.11	0.19			
Fraction 3 (litres):		0.29	0.49			
Fraction 4 (litres):		0.56	1.04			
Fraction 5 (litres):		1.01	2.05			
Eluate composition:						
Parameter	Unit	L/S (l/kg)	L/S (l/kg)	L/S (l/kg)	L/S (l/kg)	L/S (l/kg)
		From: 0	0.08	0.19	0.49	1.04
		To: 0.08	0.19	0.49	1.04	2.05
Ca	mg/l	145	116	65.6	125	116
Na	mg/l	801	291	43.6	5.81	2.36
K	mg/l	424	302	164	57	18.8
Chloride	mg/l	1230	48.7	24	2	2
Sulphate	mg/l	75.8	10	5.5	5	5
As	mg/l	0.0178	0.0207	0.0122	0.00456	0.00761
Ba	mg/l	0.205	0.156	0.0895	0.153	0.144
Cd	mg/l	0.000704	0.000754	0.00052	0.000359	0.000347
Cr	mg/l	0.0041	0.0032	0.00139	0.001	0.001
Cu	mg/l	0.0371	0.0158	0.00234	0.00153	0.001
Mn	mg/l	0.0889	0.362	0.111	1.03	1.22
Ni	mg/l	0.077	0.03	0.011	0.005	0.002
Pb	mg/l	0.0147	0.00752	< 0.002	< 0.002	< 0.002
Zn	mg/l	0.0415	0.0175	< 0.01	< 0.01	< 0.01
pH	-	7.09	7.14	6.78	6.96	6.99
Conduct.	mS/m	469	344	198	94.7	91.2

Accumulated leached amounts:						
Parameter	Unit	L/S (l/kg)	L/S (l/kg)	L/S (l/kg)	L/S (l/kg)	L/S (l/kg)
		To: 0.08	0.19	0.49	1.04	2.05
Ca	mg/kg	12.0000	25	44	114	231
Na	mg/kg	64	97	110	113	115
K	mg/kg	33.7	68	116.3	148	167
Chloride	mg/kg	98	104	111	112	114
Sulphate	mg/kg	6	7	9	12	17
As	mg/kg	0.001	0.003	0.007	0.01	0.018
Ba	mg/kg	0.016	0.034	0.060	0.145	0.29
Cd	mg/kg	0.000056	0.000142	0.0003	0.0005	0.00085
Cr	mg/kg	0.000326	0.000689	0.0011	0.00166	0.00267
Cu	mg/kg	0.003	0.005	0.005	0.006	0.007
Mn	mg/kg	0.00707	0.0481	0.0808	0.6542	1.8821
Ni	mg/kg	0.00612	0.00952	0.01276	0.0155	0.0175
Pb	mg/kg	0.00117	0.00202	< 0.00261	< 0.00372	< 0.0057
Zn	mg/kg	0.00330	0.00530	< 0.0083	< 0.0138	< 0.0239

Column leaching test		Nordtest NT ENVIR 002						
Test sample:		R-093-01, Prøve C2, Vejopfej						
Wet mass of test sample:		kg						
Dry mass of test sample:		5220.028 kg						
Leachant:		Demineralised water						
Column dimensions:		Diameter = 10 cm						
Flow rate in column test:		19,68ml/dg						
Performed by:		DHI						
Date:		2001						
Fractions of leachate collected								
			Fraction	Cummul.				
			L/S (l/kg)	L/S (l/kg)				
Fraction 1 (litres):		I	0.12	0.12				
Fraction 2 (litres):		I	0.11	0.23				
Fraction 3 (litres):		I	0.28	0.51				
Fraction 4 (litres):		I	0.52	1.03				
Fraction 5 (litres):		I	0.98	2.01				
Eluate composition:								
Parameter	Unit	L/S (l/kg)		L/S (l/kg)	L/S (l/kg)	L/S (l/kg)		
		From:	To:	0.12	0.23	0.51	1.03	
				0.12	0.23	0.51	1.03	2.02
Ca	mg/l			201	179	135	138	122
Na	mg/l			581	190	34.1	6.02	2.46
K	mg/l			385	277	156	60.4	19.5
Chloride	mg/l			1358	21.1	5.1 <	2 <	2
Sulphate	mg/l			53.7	12.7 <	5 <	5 <	5
As	mg/l			0.0115	0.0129	0.00369	0.00729	0.0104
Ba	mg/l			0.276	0.243	0.166	0.175	0.139
Cd	mg/l			0.000797	0.000618	0.0005	0.000293	0.000346
Cr	mg/l			0.00378	0.00302	0.00159	0.00112	0.00152
Cu	mg/l			0.0348	0.0146	0.00308	0.0016	0.00172
Mn	mg/l			0.35	0.884	0.816	1.39	1.62
Ni	mg/l			0.13	0.033	0.011	0.012	0.007
Pb	mg/l			0.0153	0.00661 <	0.002 <	0.002 <	0.002
Zn	mg/l			0.0257	0.0162 <	0.01 <	0.01 <	0.01
pH	-			7.05	7.11	7.03	7	6.79
Conduct.	mS/m			447	356	208	107.7	83.3

Accumulated leached amounts:								
Parameter	Unit	L/S (l/kg)		L/S (l/kg)	L/S (l/kg)	L/S (l/kg)		
		To:	0.12	0.23	0.51	1.03	2.01	
Ca	mg/kg			16.0000	36	76	153	276
Na	mg/kg			46	68	78	81	83
K	mg/kg			30.6	62	108	142	162
Chloride	mg/kg			108	110	112 <	113 <	115
Sulphate	mg/kg			4	5 <	6 <	9 <	14
As	mg/kg			0.001	0.002	0.003	0.007	0.017
Ba	mg/kg			0.022	0.05	0.099	0.196	0.336
Cd	mg/kg			0.000063	0.000133	0.00028	0.00044	0.00079
Cr	mg/kg			0.000301	0.000643	0.00111	0.00173	0.00326
Cu	mg/kg			0.003	0.004	0.005	0.006	0.008
Mn	mg/kg			0.02783	0.1281	0.3685	1.1423	2.7728
Ni	mg/kg			0.01034	0.01408	0.01732	0.024	0.031
Pb	mg/kg			0.00122	0.00197 <	0.00256 <	0.00367 <	0.0057
Zn	mg/kg			0.00204	0.00390 <	0.0069 <	0.0124 <	0.0225

Column leaching test		Nordtest NT ENVIR 002						
Test sample:		R-094-01, Prøve C3, Vejopfej						
Wet mass of test sample:		kg						
Dry mass of test sample:		5325.913 kg						
Leachant:		Demineralised water						
Column dimensions:		Diameter = 10 cm						
Flow rate in column test:		19,68ml/dg						
Performed by:		DHI						
Date:		2001						
Fractions of leachate collected								
			Fraction	Cummul.				
			L/S (l/kg)	L/S (l/kg)				
Fraction 1 (litres):			0.10	0.10				
Fraction 2 (litres):			0.11	0.21				
Fraction 3 (litres):			0.29	0.50				
Fraction 4 (litres):			0.53	1.03				
Fraction 5 (litres):			0.97	2.00				
Eluate composition:								
Parameter	Unit	L/S (l/kg)		L/S (l/kg)	L/S (l/kg)	L/S (l/kg)		
		From:	To:	0.10	0.21	0.50	1.03	
				0.10	0.21	0.50	1.03	2.00
Ca	mg/l			199	139	118	135	122
Na	mg/l			882	283	41.4	5.86	2.55
K	mg/l			422	268	160	59.9	19.7
Chloride	mg/l			619	45.7	5.2 <	2 <	2
Sulphate	mg/l			15.8	8.85 <	5 <	5 <	5
As	mg/l			0.0203	0.01	0.00907	0.00644	0.00877
Ba	mg/l			0.26	0.202	0.152	0.169	0.137
Cd	mg/l			0.000733	0.000721	0.00057	0.000361	0.000327
Cr	mg/l			0.0041	0.00326	0.00176	0.00111	0.00134
Cu	mg/l			0.0326	0.0192	0.00279	0.00134	0.00106
Mn	mg/l			0.119	0.497	0.612	1.32	1.62
Ni	mg/l			0.092	0.024	0.007	0.006	0.002
Pb	mg/l			0.0116	0.00823 <	0.002 <	0.002 <	0.002
Zn	mg/l			0.0234	0.03 <	0.01 <	0.01 <	0.01
pH	-			7.09	7.26	6.68	7.14	6.99
Conduct.	mS/m			496	342	221	104.5	104.4

Accumulated leached amounts:								
Parameter	Unit	L/S (l/kg)		L/S (l/kg)	L/S (l/kg)	L/S (l/kg)		
		To:	0.10	0.21	0.50	1.03	2.00	
Ca	mg/kg			16.0000	32	67	142	265
Na	mg/kg			70	102	114	117	120
K	mg/kg			33.6	64	111.1	144	164
Chloride	mg/kg			49	54	56 <	57 <	59
Sulphate	mg/kg			1	2 <	3 <	6 <	11
As	mg/kg			0.002	0.003	0.006	0.01	0.019
Ba	mg/kg			0.021	0.044	0.089	0.183	0.321
Cd	mg/kg			0.000058	0.00014	0.00031	0.00051	0.00084
Cr	mg/kg			0.000326	0.000696	0.00121	0.00183	0.00318
Cu	mg/kg			0.003	0.005	0.006	0.006	0.007
Mn	mg/kg			0.00946	0.0658	0.2461	0.9809	2.6114
Ni	mg/kg			0.00732	0.01004	0.0121	0.0154	0.0174
Pb	mg/kg			0.00092	0.00185 <	0.00244 <	0.00355 <	0.0056
Zn	mg/kg			0.00186	0.00530 <	0.0083 <	0.0138 <	0.0239

Column leaching test		Nordtest NT ENVIR 002				
Test sample:	R-097-01, B'-2-1 (0-10 mm), Vejopfej					
Wet mass of test sample:	kg					
Dry mass of test sample:	5320 kg					
Leachant:	Demineralised water					
Column dimensions:	Diameter = 10 cm					
Flow rate in column test:	19,68ml/dg					
Performed by:	DHI					
Date:	2001					
Fractions of leachate collected		Fraction	Cummul.			
		L/S (l/kg)	L/S (l/kg)			
Fraction 1 (litres):		0.11	0.11			
Fraction 2 (litres):		0.10	0.21			
Fraction 3 (litres):		0.30	0.51			
Fraction 4 (litres):		0.52	1.03			
Fraction 5 (litres):		0.99	2.02			
Eluate composition:						
Parameter	Enhed	L/S (l/kg)				
		Fra:	L/S (l/kg)	L/S (l/kg)	L/S (l/kg)	L/S (l/kg)
		0	0.11	0.21	0.51	1.03
		Til:	0.11	0.21	0.51	2.02
Ca	mg/l	128	166	118	74.8	63.5
Na	mg/l	579	182	33	6.73	2.96
K	mg/l	197	148	89.6	43.7	23.2
Klorid	mg/l	350	11.8	3.3	2	2
Sulfat	mg/l	427	11.3	5	5	5
As	mg/l	0.0409	0.0137	0.0138	0.0151	0.0181
Ba	mg/l	0.0923	0.196	0.131	0.0961	0.0814
Cd	mg/l	0.00203	0.00133	0.00102	0.000615	0.000335
Cr	mg/l	0.00929	0.00507	0.00261	0.00216	0.0021
Cu	mg/l	0.288	0.0119	0.0038	0.00308	0.00376
Mn	mg/l	0.156	1.1	0.843	0.81	0.77
Ni	mg/l	0.14	0.071	0.039	0.022	0.013
Pb	mg/l	0.0179	0.00249	< 0.002	< 0.002	< 0.002
Zn	mg/l	0.0361	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01
pH	-	7.27	7.26	7.03	7.16	7.14
Conduct.	mS/m	320	231	123	60.9	60.1

Accumulated leached amounts:						
Parameter	Unit	L/S (l/kg)				
		To:	L/S (l/kg)	L/S (l/kg)	L/S (l/kg)	L/S (l/kg)
		0.11	0.21	0.51	1.03	2.02
Ca	mg/kg	13.0000	30	65	104	167
Na	mg/kg	61	80	90	94	97
K	mg/kg	20.7	36	62.8	86	109
Klorid	mg/kg	37	38	39	40	42
Sulfat	mg/kg	45	46	< 47	< 50	< 55
As	mg/kg	0.004	0.005	0.009	0.017	0.035
Ba	mg/kg	0.01	0.03	0.069	0.119	0.2
Cd	mg/kg	0.000214	0.000352	0.00066	0.00098	0.00131
Cr	mg/kg	0.000978	0.001503	0.00228	0.0034	0.00548
Cu	mg/kg	0.030	0.032	0.033	0.034	0.038
Mn	mg/kg	0.01642	0.1304	0.3822	0.804	1.5667
Ni	mg/kg	0.01474	0.0221	0.03375	0.0452	0.0581
Pb	mg/kg	0.00188	0.00214	< 0.00274	< 0.00378	< 0.0058
Zn	mg/kg	0.00380	< 0.00480	< 0.0078	< 0.0130	< 0.0229

Column leaching test		Nordtest NT ENVIR 002				
Test sample:		R-098-01, B'2-2 (10-30 mm), Vejopfej				
Wet mass of test sample:		kg				
Dry mass of test sample:		5298 kg				
Leachant:		Demineralised water				
Column dimensions:		Diameter = 10 cm				
Flow rate in column test:		19,68ml/dg				
Performed by:		DHI				
Date:		2001				
Fractions of leachate collected						
			Fraction	Cummul.		
			L/S (l/kg)	L/S (l/kg)		
Fraction 1 (litres):			0.11	0.11		
Fraction 2 (litres):			0.10	0.20		
Fraction 3 (litres):			0.29	0.50		
Fraction 4 (litres):			0.52	1.02		
Fraction 5 (litres):			1.00	2.02		
Eluate composition:						
Parameter	Unit	L/S (l/kg)		L/S (l/kg)	L/S (l/kg)	L/S (l/kg)
		From:	To:	0.11	0.2	0.5
		0	0.11	0.2	0.5	1.02
		0.11	0.2	0.5	1.02	2.02
Ca	mg/l	216	123	79.4	83.1	76.5
Na	mg/l	735	267	59.3	8.72	3.18
K	mg/l	236	168	97.6	50.6	25.6
Chloride	mg/l	738	30.8	3.3	2	2
Sulphate	mg/l	597	5	5	5	5
As	mg/l	0.0607	0.0396	0.0147	0.0137	0.0115
Ba	mg/l	0.117	0.157	0.087	0.119	0.096
Cd	mg/l	0.00214	0.00144	0.00069	0.000427	0.000265
Cr	mg/l	0.00856	0.00495	0.0018	0.00205	0.00149
Cu	mg/l	0.164	0.0101	0.00268	0.00215	0.00211
Mn	mg/l	0.308	0.55	0.345	0.679	0.734
Ni	mg/l	0.15	0.059	0.037	0.028	0.013
Pb	mg/l	0.00951	0.00245	< 0.002	< 0.002	< 0.002
Zn	mg/l	0.0405	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01
pH	-	7.32	7.3	7.37	7.2	7.1
Conduct.	mS/m	360	265	143	0 67.1	73.8

Accumulated leached amounts:							
Parameter	Unit	L/S (l/kg)		L/S (l/kg)	L/S (l/kg)	L/S (l/kg)	
		To:	0.11	0.20	0.50	1.02	2.02
Ca	mg/kg	0	23.0000	36	60	103	0 179
Na	mg/kg		77	105	123	128	131
K	mg/kg		24.8	42.2	71.4	98	123
Chloride	mg/kg		78	81	82	83	85
Sulphate	mg/kg		63	64	65	68	73
As	mg/kg		0.006	0.01	0.014	0.021	0.032
Ba	mg/kg		0.012	0.028	0.054	0.116	0.211
Cd	mg/kg		0.000225	0.000374	0.00058	0.0008	0.00106
Cr	mg/kg		0.000901	0.001414	0.00195	0.00302	0.0045
Cu	mg/kg		0.017	0.018	0.019	0.020	0.022
Mn	mg/kg		0.03242	0.0894	0.1925	0.5461	1.2732
Ni	mg/kg		0.01579	0.0219	0.03295	0.0475	0.0604
Pb	mg/kg		0.001	0.00125	< 0.00185	< 0.00289	< 0.0049
Zn	mg/kg		0.00426	< 0.00530	< 0.0083	< 0.0135	< 0.0234

Bilag 7

Resultater af batchudvaskningstests for uorganiske komponenter

Vejopfej - Karakteriseringsresultater samt variation indenfor samme årstids-prøve

Batchudvaskningstest (1. Trin af prEN 12457-3; L/S 2 l/kg i 6 timer)

Eluat-koncentration													
	Enhed	A1	A2	A3	Gns	Sta. Afvig.	Rel. sta. Afvig	B1	B2	B3	Gns	Sta. Afvig.	Rel. sta. Afvig
		R-133-01	R-134-01	R-135-01				R-136-01	R-137-01	R-138-01			
pH		8.05	7.91	8.04	8.00	0.08	0.98	7.98	7.8	7.93	7.90	0.09	1.18
Ledningsevne	mS/m	229	256	155	213	52.3	24.5	103	124	97.3	108	14.1	13.0
Ca	mg/l	40	85	36	54	27.2	50.7	62	98	62	74	20.8	28.1
K	mg/l	15	17	11	14	3.1	21.3	38	44	34	39	5.0	13.0
Na	mg/l	340	350	210	300	78	26.0	87	76	74	79	7.0	8.9
Sulfat	mg/l	150	250	79	160	86	53.7	79	110	72	87	20.2	23.2
Klorid	mg/l	590	620	390	530	125	23.6	140	150	130	140	10	7.1
As	mg/l	0.0038	0.0031	0.004	0.0036	0.0005	13.0	0.0031	0.0026	0.0042	0.0033	0.0008	24.8
Ba	mg/l	0.075	0.052	0.026	0.051	0.0245	48.1	0.031	0.043	0.022	0.032	0.0105	32.9
Cd	mg/l	0.0002	0.0002	0.0002	0.0002	0	0	0.0002	0.0002	0.0002	0.0002	0	0
Cr	mg/l	0.0017	0.0012	0.0021	0.0017	0.0005	27.1	0.0019	0.0026	0.0027	0.0024	0.0004	18.2
Cu	mg/l	0.51	0.44	0.47	0.47	0.035	7.4	0.31	0.13	0.3	0.25	0.10	41.0
Hg	mg/l	< 0,0002	< 0,0002	< 0,0002	< 0,0002	0	0	< 0,0002	< 0,0002	< 0,0002	< 0,0002	0	0
Mn	mg/l	0.15	0.13	0.061	0.11	0.047	41.1	0.035	0.051	0.045	0.044	0.0081	18.5
Ni	mg/l	0.011	0.01	0.009	0.010	0.0010	10.0	0.015	0.009	0.011	0.012	0.0031	26.2
Pb	mg/l	0.0059	0.0025	0.0063	0.0049	0.0021	42.6	0.0055	0.0087	0.0065	0.0069	0.0016	23.7
Zn	mg/l	0.035	0.023	0.033	0.030	0.0064	21.2	0.045	0.082	0.055	0.061	0.0191	31.5

Batchudvaskningstest (1. Trin af prEN 12457-3; L/S 2 l/kg i 6 timer)

Udvasket mængde													
	Enhed	A1	A2	A3	Gns	Sta. Afvig.	Rel. sta. Afvig	B1	B2	B3	Gns	Sta. Afvig.	Rel. sta. Afvig
		R-133-01	R-134-01	R-135-01				R-136-01	R-137-01	R-138-01			
L/S-forhold		2.0	2.0	2.0				2.0	2.0	2.0			
Ca	mg/kg	80	170	72	107	54.4	50.7	124	196	124	148	41.6	28.1
K	mg/kg	30	34	22	29	6.1	21.3	76	88	68	77	10.1	13.0
Na	mg/kg	680	700	420	600	156	26.0	174	152	148	158	14.0	8.9
Sulfat	mg/kg	300	500	158	320	172	53.7	158	220	144	174	40.4	23.2
Klorid	mg/kg	1180	1240	780	1070	250	23.4	280	300	260	280	20	7.1
As	mg/kg	0.0076	0.0062	0.008	0.0073	0.0009	13.0	0.0062	0.0052	0.0084	0.0066	0.0016	24.8
Ba	mg/kg	0.15	0.104	0.052	0.102	0.0490	48.1	0.062	0.086	0.044	0.064	0.0211	32.9
Cd	mg/kg	0.0004	0.0004	0.0004	0.0002	0	0	0.0004	0.0004	0.0004	0.0002	0	0
Cr	mg/kg	0.0034	0.0024	0.0042	0.0033	0.0009	27.1	0.0038	0.0052	0.0054	0.0048	0.0009	18.2
Cu	mg/kg	1.02	0.88	0.94	0.95	0.070	7.4	0.62	0.26	0.6	0.49	0.20	41.0
Hg	mg/kg	< 0,0004	< 0,0004	< 0,0004	< 0,0004	0	0	< 0,0004	< 0,0004	< 0,0004	< 0,0004	0	0
Mn	mg/kg	0.3	0.26	0.122	0.23	0.093	41.1	0.07	0.102	0.09	0.087	0.0162	18.5
Ni	mg/kg	0.022	0.02	0.018	0.020	0.0020	10.0	0.03	0.018	0.022	0.023	0.0061	26.2
Pb	mg/kg	0.0118	0.005	0.0126	0.0098	0.0042	42.6	0.011	0.0174	0.013	0.0138	0.0033	23.7
Zn	mg/kg	0.07	0.046	0.066	0.061	0.0129	21.2	0.09	0.164	0.11	0.121	0.0383	31.5

Vejopfej - Karakteriseringsresultater af størrelsesfraktionerede årstidsprøver
Størrelsesfraktionerede bunkeprøver fra RGS90

Batchudvaskningstest (1. Trin af prEN 12457-3; L/S 2 l/kg i 6 timer)

Eluat-koncentration		Enhed	A ⁻¹ (0-10 mm)	A ⁻² (10-30 mm)	B ⁻¹ (0-10 mm)	B ⁻² (10-30 mm)	C2-1 (0-2 mm)	C2-2 (2-10 mm)	B2-1 (0-2 mm)	B2-2 (2-10 mm)
			R-95-01	R-96-01	R-97-01	R-98-01	R-129-01	R-130-01	R-131-01	R-132-01
pH			8.14	8.14	8.17	8.09	8.11	8.18	7.94	8.35
Ledningsevne	mS/m		185	203	66	69	78.9	71.0	122	93.9
Ca	mg/l		53	49	47	45	50	44	92	66
K	mg/l		16	18	31	34	47	42	41	32
Na	mg/l		296	335	53	58	61	55	104	87
Cl	mg/l		413	475	57	61	87	82	139	109
SO ₄	mg/l		145	131	66	68	72	51	100	59
As	mg/l		0.003	0.003	0.004	0.003	0.003	0.003	0.004	0.005
Ba	mg/l		0.094	0.085	0.053	0.055	0.065	0.054	0.069	0.040
Cd	mg/l		0.0002	0.0002	0.0003	0.0003	0.0003	0.0003	<0.0002	<0.0002
Cr	mg/l		0.001	0.001	0.002	0.002	0.002	<0.001	0.001	0.002
Cu	mg/l		0.42	0.51	0.25	0.27	0.84	0.45	0.34	0.24
Hg	mg/l		<0.0002	<0.0002	<0.0002	0.0009	<0.0002	<0.0002	<0.0002	<0.0002
Mn	mg/l		0.089	0.17	0.092	0.089	0.12	0.13	0.061	0.02
Ni	mg/l		0.012	0.012	0.014	0.016	0.050	0.038	0.009	0.009
Pb	mg/l		0.005	0.004	0.006	0.006	0.013	0.002	0.003	0.001
Zn	mg/l		0.041	0.037	0.054	0.061	0.078	0.24	0.033	0.011

Batchudvaskningstest (1. Trin af prEN 12457-3; L/S 2 l/kg i 6 timer)

Udvasket mængde		Enhed	A ⁻¹ (0-10 mm)	A ⁻² (10-30 mm)	B ⁻¹ (0-10 mm)	B ⁻² (10-30 mm)	C2-1 (0-2 mm)	C2-2 (2-10 mm)	B2-1 (0-2 mm)	B2-2 (2-10 mm)
			R-95-01	R-96-01	R-97-01	R-98-01	R-129-01	R-130-01	R-131-01	R-132-01
L/S-forhold			2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0
Ca	mg/kg		107	98	95	90	99	89	184	131
K	mg/kg		33	36	61	67	94	85	82	63
Na	mg/kg		592	671	106	115	122	110	207	174
Cl	mg/kg		826	950	114	122	174	164	278	218
SO ₄	mg/kg		290	262	132	136	144	102	200	118
As	mg/kg		0.0057	0.0061	0.0087	0.0062	0.0061	0.0058	0.0070	0.0090
Ba	mg/kg		0.19	0.17	0.11	0.11	0.13	0.11	0.14	0.080
Cd	mg/kg		0.00041	0.00045	0.00065	0.00057	0.00062	0.00058	< 0.0004	< 0.0004
Cr	mg/kg		0.0022	0.0020	0.0036	0.0041	0.0047	< 0.002	0.0023	0.0031
Cu	mg/kg		0.84	1.0	0.50	0.54	1.7	0.89	0.68	0.48
Hg	mg/kg		< 0.0004	< 0.0004	< 0.0004	0.0018	< 0.0004	< 0.0004	< 0.0004	< 0.0004
Mn	mg/kg		0.18	0.34	0.18	0.18	0.23	0.25	0.12	0.040
Ni	mg/kg		0.023	0.024	0.028	0.032	0.099	0.077	0.018	0.018
Pb	mg/kg		0.011	0.0086	0.012	0.012	0.026	0.0050	0.0052	0.0020
Zn	mg/kg		0.083	0.074	0.11	0.12	0.16	0.49	0.066	0.023

