

**Sammenligning af resultater fra
Ydernæs-projektet med lignende
undersøgelser i Sverige og USA**



Sammenligning af resultater fra Ydernæs-projektet med lignende undersøgelser i Sverige og USA

Agern Allé 5
2970 Hørsholm

Tlf: 4516 9200
Fax: 4516 9292
dhi@dhigroup.com
www.dhigroup.com

Juni 2007

Klient DAFONET	Klientens repræsentant Kim Crillesen
-----------------------	---

Projekt Sammenligning af resultater fra Ydernæs-projektet med lignende undersøgelser i Sverige og USA	Projekt nr. 51950
--	--------------------------

Forfattere Jesper Holm	Dato Juni 2007
	Godkendt af Ole Hjelmar

--	--	--	--	--	--

	Teknisk Notat	JEH	JEH	OH	JUNI 2007
--	---------------	-----	-----	----	-----------

Revision	Beskrivelse	Udført	Kontrolleret	Godkendt	Dato
----------	-------------	--------	--------------	----------	------

Nøgleord	Klassifikation <input type="checkbox"/> Åben <input type="checkbox"/> Intern <input checked="" type="checkbox"/> Tilhører klienten
----------	---

Distribution DAFONET DHI:	Kim Crillesen	Antal kopier Pdf-fil
---------------------------------	---------------	-------------------------



INDHOLDSFORTEGNELSE

1	SAMMENLIGNING MED RESULTATER FRA ANDRE UNDERSØGELSER	1
2	VANDÖRA-PROJEKTET - SVERIGE.....	1
2.1	Beskrivelse.....	1
2.2	Resultater.....	2
2.2.1	pH og ledningsevne.....	2
2.2.2	Analyser af totalindhold	3
2.2.3	Udvaskningstests	4
3	UNDERSØGELSER I USA.....	5
4	YDERNÆSPROJEKT	11
4.1	Plads C	11
4.2	Plads A.....	13
5	KONKLUSION.....	15
6	REFERENCER	15



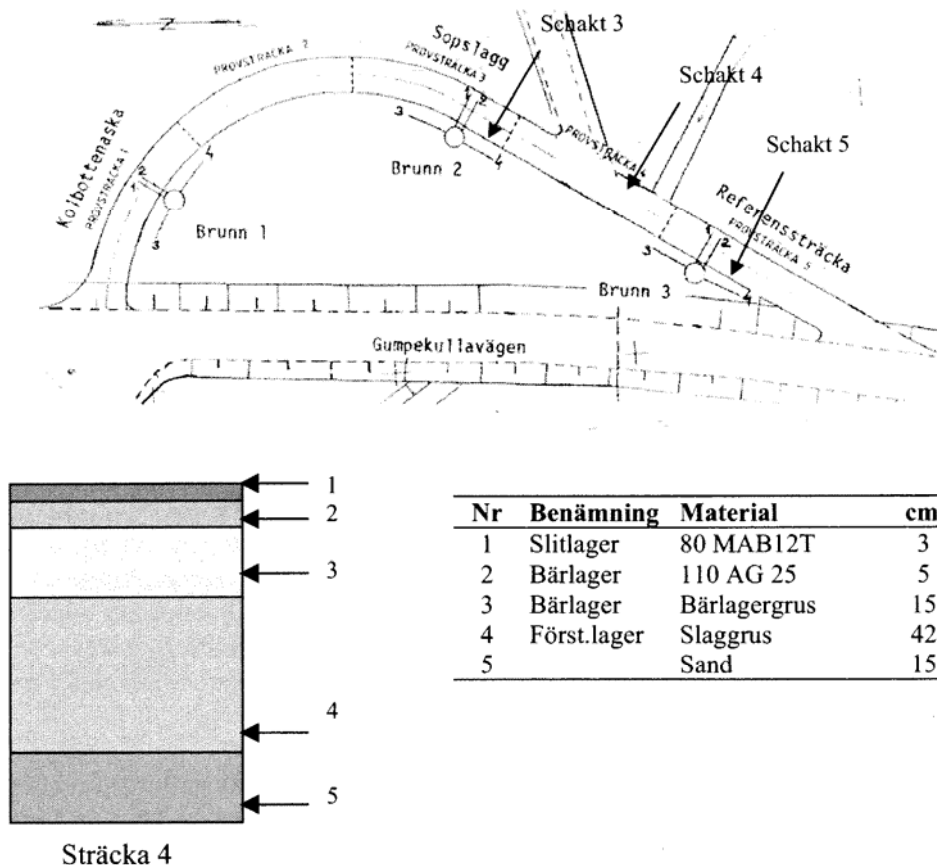
1 SAMMENLIGNING MED RESULTATER FRA ANDRE UNDERSØGELSER

Der er i statusrapporten fra februar 2007 (Holm & Hjelmar, 2007) foretaget en indledende undersøgelse af resultaterne fra projekter i hhv. Sverige og USA omkring udvaskning fra genanvendt slagge i forbindelse med vejbygning. Undersøgelsen videreføres her med en nærmere præsentation af de to udenlandske projekter.

2 VANDÖRA-PROJEKTET - SVERIGE

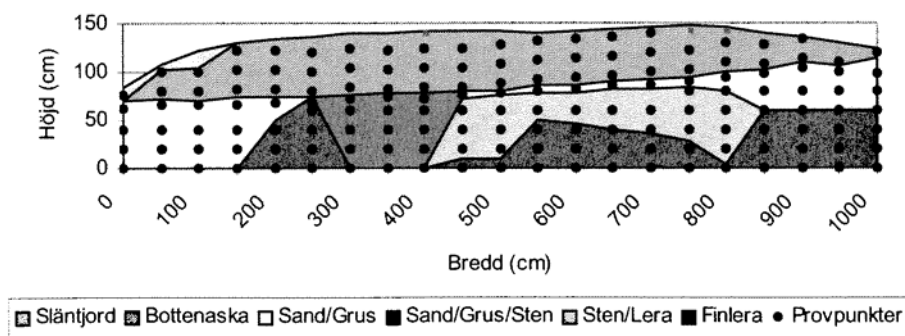
2.1 Beskrivelse

En testvej opdelt i fem strækninger af ca. 30 meters længde med forskellig opbygning blev opført i 1987. I to af strækningerne blev anvendt bundaske fra kulfyret anlæg og i to af strækningerne blev anvendt slagge fra affaldsforbrænding som bundsikringslag ("förstärkningslager") af tykkelse ca. 40 cm. Den sidste strækning blev udført med 'rene' materialer og tjente som reference. Vejen var ca. 7,5 meter bred og var udført med en hældning på asfalterfladen på 3 %. I Figur 1 er vist skitse af prøvevejen samt opbygningen af strækning 4, opbygget med slagge som bundsikringslag.



Figur 1. Skitse over vejanlæg med 5 prøvestrækninger øverst og opbygning af prøvestrækning 4 nederst (Bendz et al., 2005).

Seksten år senere (2003) blev testvejen gravet op, og i denne forbindelse blev der foretaget en undersøgelse af fordelingen af forskellige salte og sporelementer i slaggelaget i den ene teststrækning samt det underliggende jordlag. Der blev i alt udtaget 53 prøver under og i siderne af vejen fordelt over dybden og længden af slagge- og jordlaget. Der blev udført en række bestemmelser af totalindhold og udvaskningstests på de udtagne prøver. I Figur 2 er vist skitse af prøvetagningspunkterne i strækning 4 samt billeder fra prøvetagningen.



Figur 2. Skitse over prøvetagningspunkter i delstrækning 4 øverst og billeder fra prøvetagningen nederst. (Benz et al., 2005).

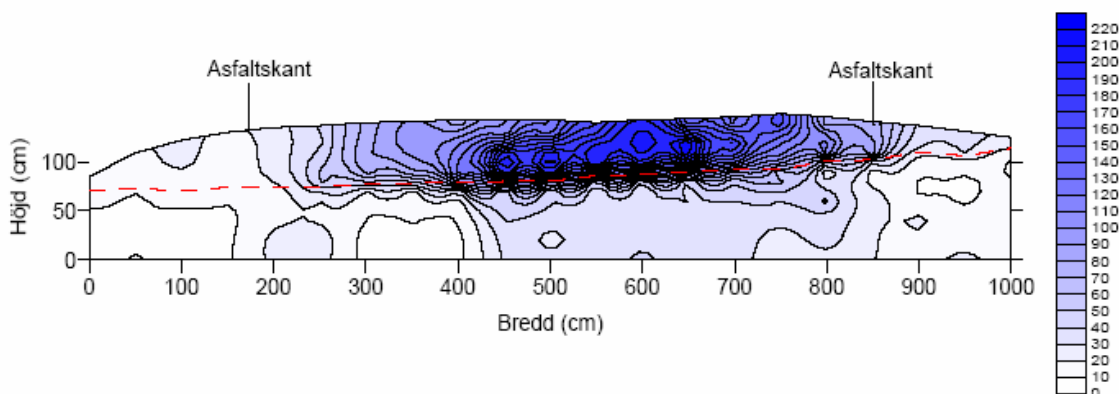
2.2 Resultater

2.2.1 pH og ledningsevne

Prøvematerialet fra forstærkningslaget og det underliggende jordlag blev analyseret med hensyn til pH og elektrisk ledningsevne i strækning 4 og 5 (referencestrækning).

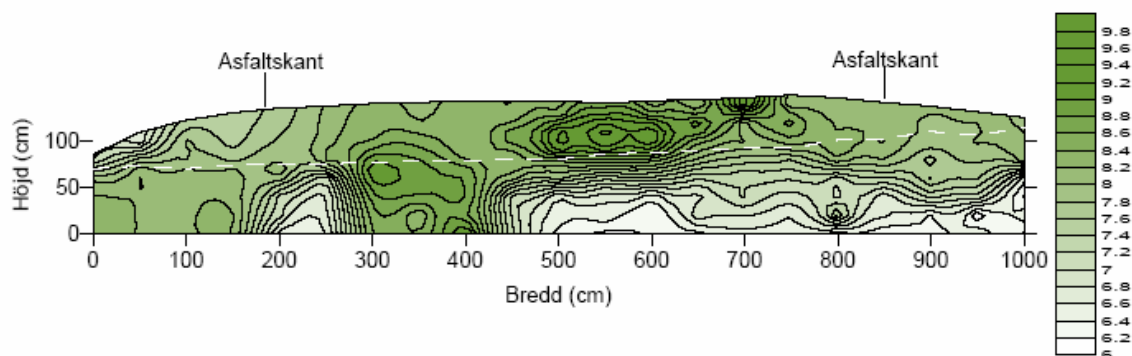
Resultater for den elektriske ledningsevne viste høje værdier i slaggen under midt under asfalten og lavere værdier mod siderne, specielt i den lave ende af vejen, som har modtaget mest vand fra overfladisk afstrømning. Der ses ikke tegn på betydende udvaskning i de øvre dele af slaggelaget, svarende til strømning i de øverste dele af slaggen. Der er en stor gradient mellem bunden af slaggen og den underliggende jord, hvilket antyder

en beskeden vertikal udvaskning fra slaggen under vejen. Det konstaterede mønster i ledningsevnen er konsistent med en udvaskning i siderne af vejen, som følge af nedtrængende vand og diffusion og kapillær transport fra midten af vejen mod siderne. Enkeltelementerne i ledningsevnen (let opløselige salte) viser det samme mønster, dog viser enkelte tendenser til udvaskning omkring revner i asfalten.



Figur 3. Målinger af ledningsevne i delstrækning 4 (Bendz et al., 2005).

For pH ses under midten af vejen høje værdier (omkring pH 10) aftagende mod neutrale værdier (pH 7,5-8) mod siderne. Denne fordeling af pH er formentlig resultatet af diffusion af atmosfærisk CO₂ fra siderne af vejen.



Figur 4. Målinger af pH i delstrækning 4 (Bendz et al., 2005)

2.2.2 Analyser af totalindhold

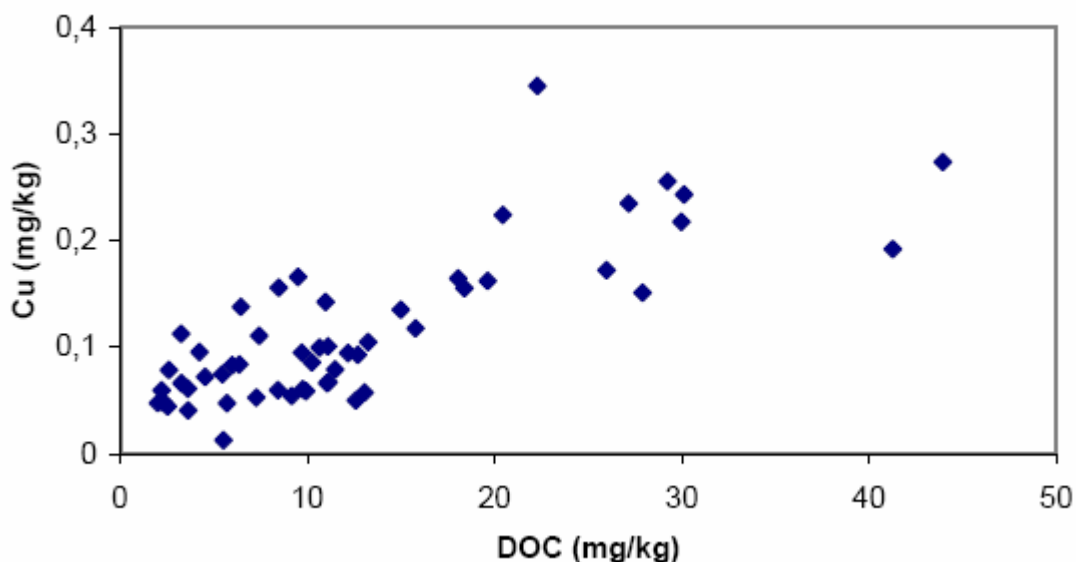
Fra de 53 prøver blev der lavet 10 samleprøver opdelt således, at hver prøve repræsenterede en given del af bredden af vejen. Disse samleprøver blev analyseret mht. totalindhold for sporelementer og enkelte andre elementer. På grund af de lave procentmæssige udvaskninger af sporelementerne i slagge i forhold til totalindholdet (se Tabel 2) skønnes informationen fra disse prøver dog at være beskeden.

2.2.3 Udvaskningstests

Der blev udført udvaskningstest $L/S = 10$ l/kg (EN 12457-2) på samtlige 53 prøver fra delstrækning 4. Testene blev udført på prøver på kun 45 gram tørstof. De mest interessante resultater fra disse undersøgelser fremdrages.

De letopløselige salte (Cl^- , SO_4^{2-} , Ca^{2+} , Na^+ , K^+ og Mg^{2+}) bekræfter det billede, som resultaterne for samleparameteren ledningsevnen viste i Figur 1, dvs. en betydende udvaskning i siderne af vejen og lille udvaskning midt under den asfaldækkede vej.

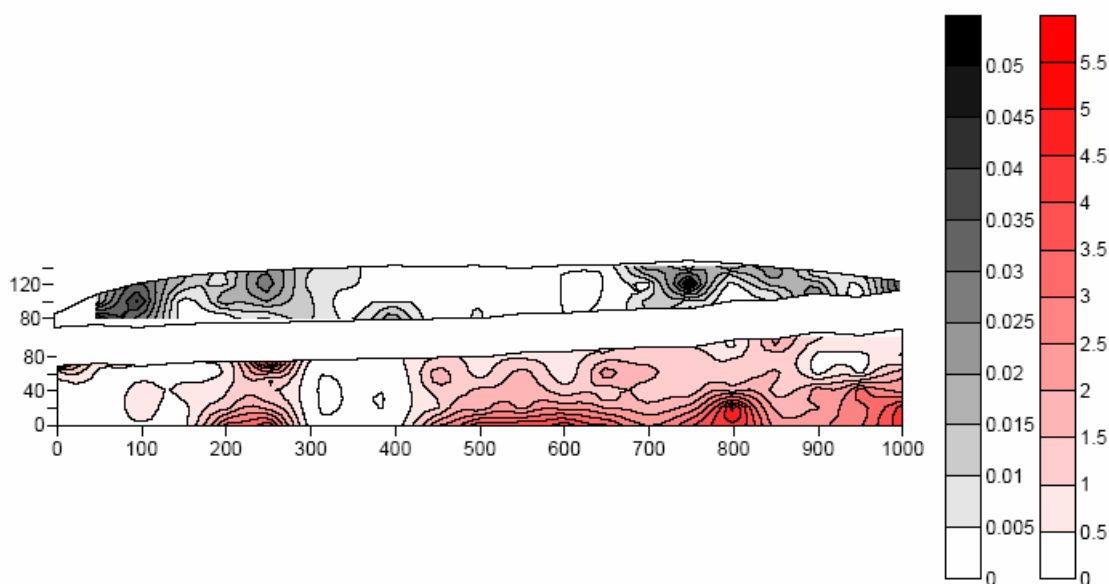
For Cu noterer Bendz et al. (2005), at forhøjede niveauer i vejkanterne kan skyldes trafikgenerede emissioner. Endvidere viste plot af udvaskelig Cu og udvaskeligt DOC en (som også fundet i andre sammenhænge) tydelig sammenhæng (se Figur 5).



Figur 5. Udvaskeleg mængde Cu som funktion af udvaskeleg mængde DOC ved EN 12457-2 udvaskelegstest til $L/S = 10$ l/kg fundet for de 53 prøver.

For Cr viser resultaterne (se Figur 6) en større udvaskelegghed i kantzonerne end midt under vejen. Dette forklares i Bendz et al. (2005) ved, at krom under oxiderede forhold (som antages at forekomme i højere grad tættere på kanterne af vejen) optræder som Cr(VI), der er væsentligt mere mobil end den reducerede form Cr(III).

Det har været forsøgt at opsamle perkolat fra vejstrækningerne, men dette har ikke været vellykket pga. manglende gennemstrømning og opblanding med udefrakommende vand.



Figur 6. Fordelingen af udvaskelig Cr i hhv. slaggelag (øverst) og underliggende jordlag (nederst). Man bemærker større udvaskelighed i kanterne af vejen end under midten af vejen (Bendz et al., 2005).

3 UNDERSØGELSER I USA

De refererede undersøgelser fra USA består af den samling af artikler, som udgør Ph.D.-arbejdet for Defne Apul ved University of New Hampshire, som huser ”Materials Resource Center”, der har forestået meget forskning/udvikling inden for genanvendelse af restprodukter.

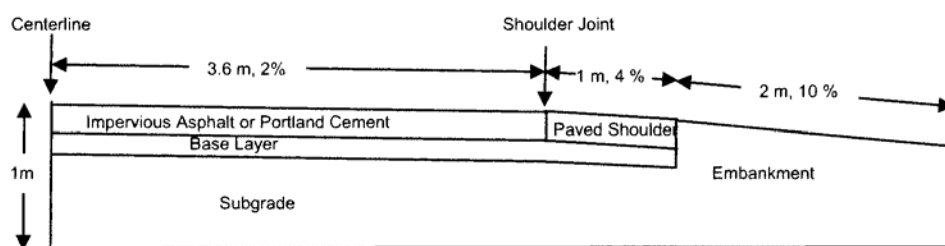
Afhandlingen består af fire artikler, hvor den første er et review omkring vandbevægelse under og omkring vejanlæg. Ifølge denne artikel kan den hydrauliske ledningsevne af den øverste belægning på veje/fortove variere over 8 størrelsesordener alt efter fremstillingsmetoden. Dette skyldes, at der ofte i USA benyttes en betonoverflade i forbindelse med veje/fortove. De tætteste typer ligger med hydrauliske ledningsevner mindre end 10^{-9} m/s, mens porøse strukturer, som er designet til at lade vandet passere igennem har hydrauliske ledningsevner på 10^{-4} - 10^{-3} m/s. Artiklen konkluderer i øvrigt, at der er meget begrænset viden omkring vandbevægelsen under og omkring vejanlæg.

Den anden artikel beskæftiger sig med implementeringen af et værktøj til vurdering af konsekvenser af genanvendelse af restprodukter i vejanlæg. Værktøjet udgøres af beskrivelsen af en fremgangsmåde for sådanne vurderinger og hvilke oplysninger, der kræves og hvilke modeller der kan anvendes. Endvidere illustreres effekten af usikkerheden på parameterbestemmelsen for modellerne.

I den tredje artikel præsenteres resultater af 1D modellering af udvaskning fra skuldrene af vejanlæg, hvor der foretages genanvendelse af restprodukter. Modelleringen af udvaskningen fra restprodukterne blev foretaget ved anvendelse af en K_d -ligvægtstilgang. Den hydrauliske model blev kalibreret mod data fra Minnesota Department of Transportation MnROAD-test facility og efterfølgende blev der foretaget modelsimuleringer af den forventede udvaskning såfremt der blev benyttet kulflyveaske i skulderpartierne. Ved anvendelse af en høj K_d -værdi for Cd opnåedes resultater sammenlignelige med observationer fra lysimeterforsøg med kulflyveaske fra Hjelmar (1990). Forfatterne un-

derstreges, at detaljeret modellering af vandbevægelse og udvaskning er et stærkt værktøj til forudsigelse af miljøpåvirkninger fra genanvendelse af restprodukter i forbindelse med vejanlæg.

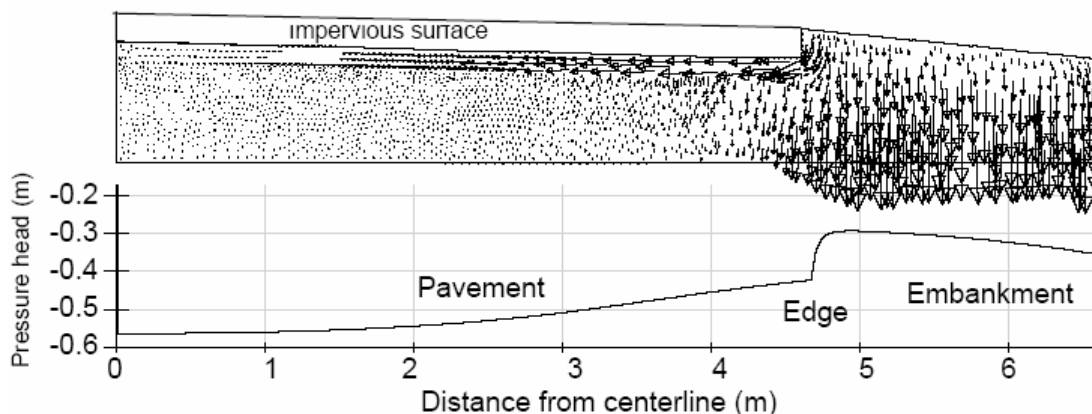
Den fjerde artikel omhandler geokemisk modellering af udvaskning fra weathered steel slag ved anvendelse af modellen MINTEQ, mens den sidste artikel omhandler modellering af vandbevægelse og stoftransport ved vejanlæg. Den ene halvdel af et vejtversnit blev modelleret med den to-dimensionale flow- og transportmodel HYDRUS2D (se Figur 7).



Figur 7. Tværsnit modelleret med HYDRUS2D i Apul (2004).

Tre forskellige scenarier for tilstanden af asfaltbelægningen blev undersøgt, hhv. fuldt intakt belægning (uigennemtrængelig), fuldt intakt belægning med samling mellem asfalt og fortov og helt nedbrudt asfalt (med samme hydrauliske ledningsevne som det underliggende bærelag "base layer"). I stoftransporten benyttedes en ligevægt K_d -beskrivelse af fordelingen mellem fast og opløst fase. Forskellige kombinationer af K_d -værdier i hhv. bærelag ("base layer") og underliggende lag blev benyttet i forskellige scenarier.

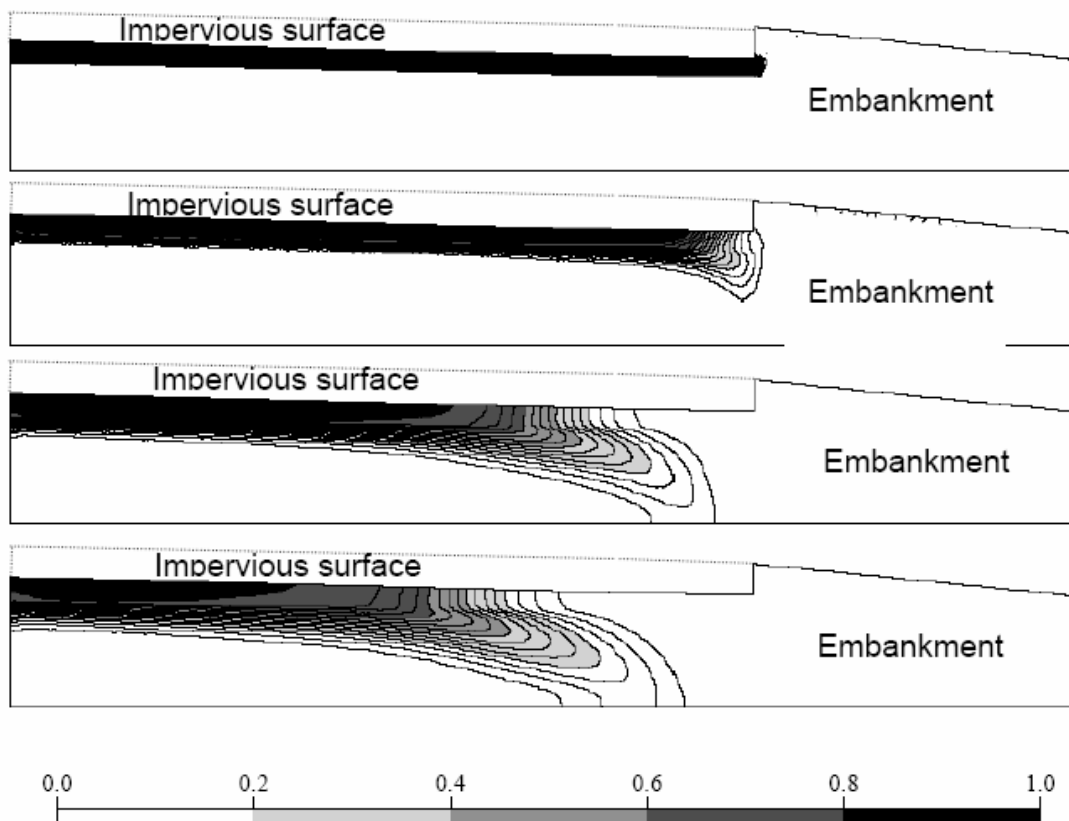
I Figur 8 ses et billede af hastighedsvektorerne for vandbevægelsen og af trykfordelingen under en regnhændelse under antagelse af en uigennemtrængelig asfaltoverflade.



Figur 8. Hastighedsvektorer (øverst) for vandbevægelsen under en regnhændelse med uigennemtrængelig asfaltoverflade og den tilhørende trykfordeling (Apul, 2004).

Man ser, som man ville forvente, at langt den kraftigste vandbevægelse foregår i skuldrene, som aftager alt vandet fra overfladen. Man ser samtidig, at der sker en vis vandbe-

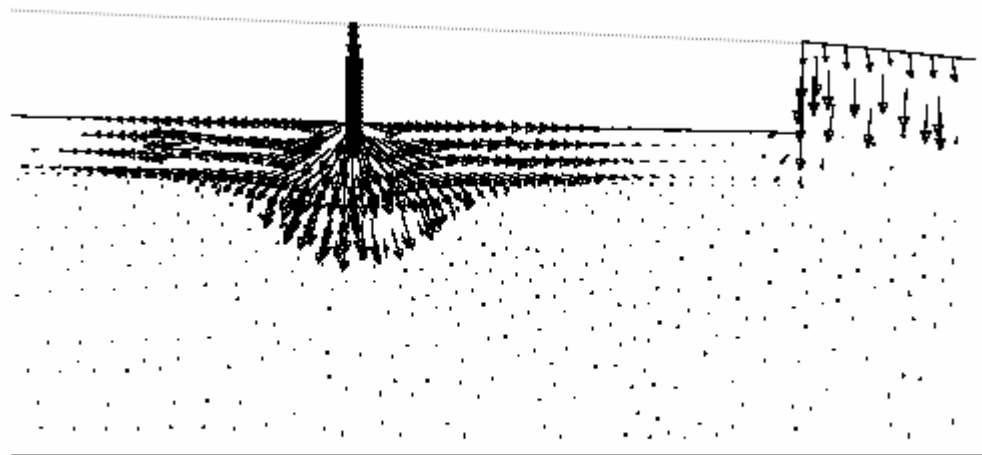
vægelse gennem bærelaget ("base layer") fordi den høje mætningsgrad giver dette lag en højere hydrauliske ledningsevne end det underliggende sandlag (subgrade). Den tilsvarende udvaskning af salt (svarende til ledningsevne) efter hhv. 1, 10 og 20 år med observerede regnhændelser kan ses af Figur 9.



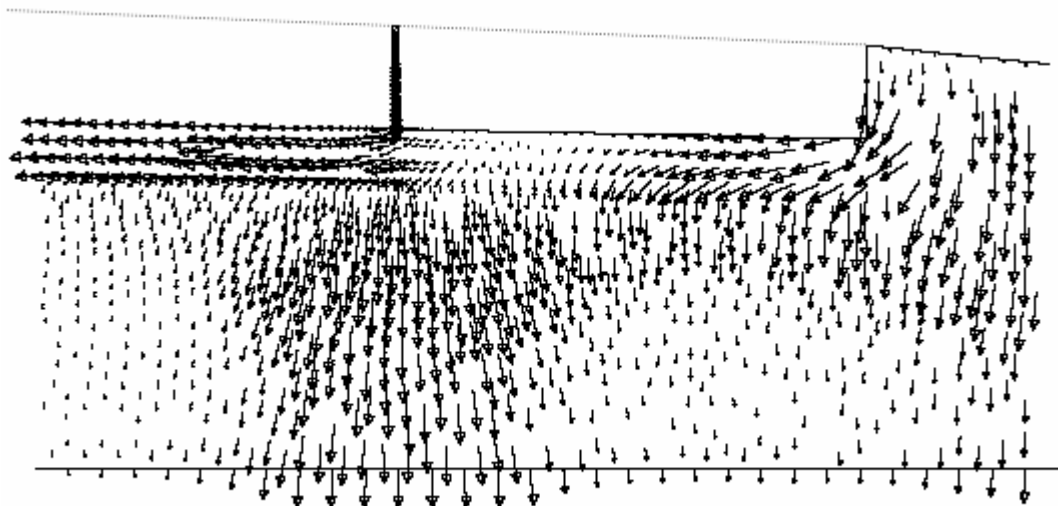
Figur 9. Normerede vandige koncentrationer af salt (ledningsevne) hhv. fra start af simulering og efter 1, 10 og 20 års simulering med observerede regnhændelser på en uigennemtrængelig asfalteret overflade (Apul, 2004).

Disse resultater passer rimeligt med det som er observeret for de svenske undersøgelser (se Figur 3).

Ved indførelse af en ikke-tæt samling mellem de to asfalterede overflader (vejbælgning og fortov) fås et andet billede af fordelingen af vandbevægelsen under en regnhændelse som vist i Figur 10. I starten af regnhændelsen sker en symmetrisk fordeling af infiltrationen omkring samlingen, men der senere pga. infiltrationen fra skulderen af anlægget sker en større transport ind mod midten af vejen fra samlingen.



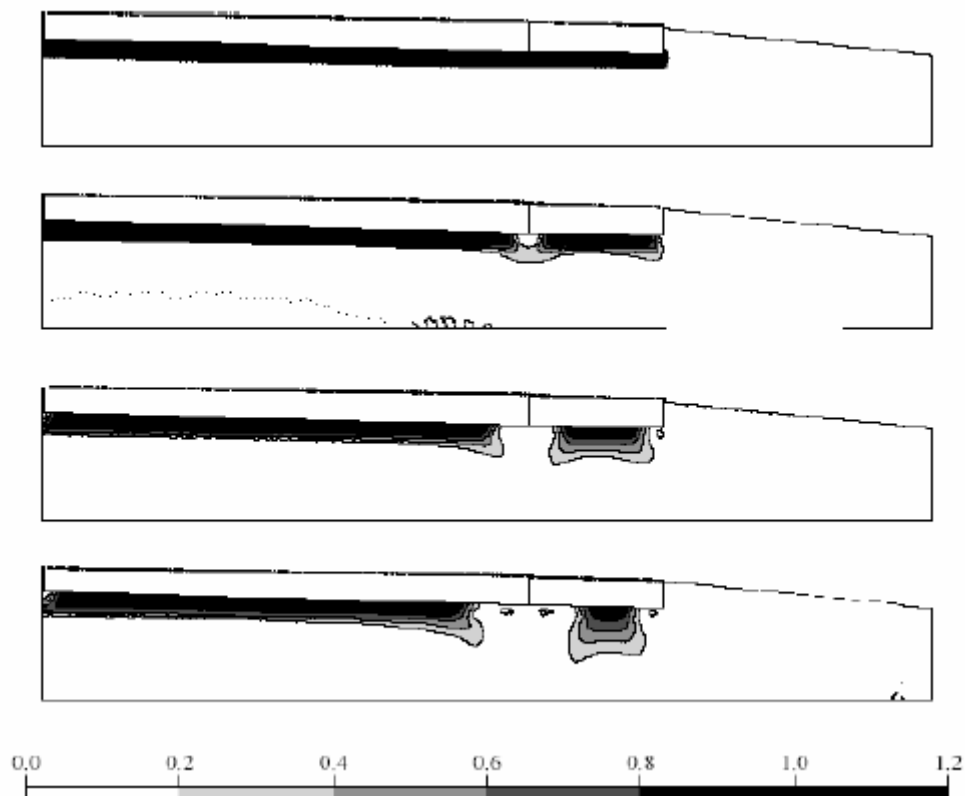
(a)



(b)

Figur 10. Hastighedsvektorer for scenarie med ikke-tæt samling ved begyndelse af regnhændelse (a) og senere i hændelsen (b) (Apul, 2004).

I Figur 11 ser man hvorledes der sker en næsten fuldstændig udvaskning af saltene i en omkreds af ca. 1 meter fra samlingen inden for 1 år.



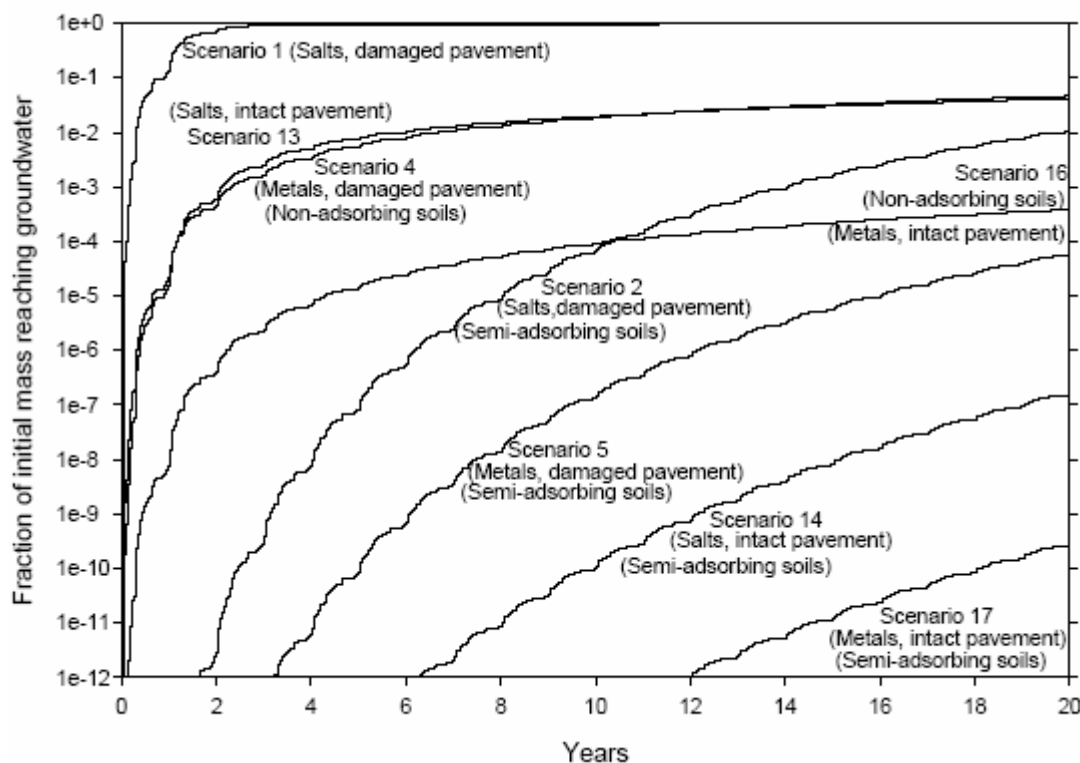
Figur 11. Normerede vandige koncentrationer af salt (ledningsevne) for scenarie med ikke-tæt samling hhv. fra start af simulering og efter 1, 6 og 12 måneders simulering med observerede regnhændelser (Apul, 2004).

Scenariet med intakt asfaltoverflade sammenlignes med scenariet med helt nedbrudt asfaltoverflade sammenlignes efter nedenstående Tabel 1. I Tabellen vises de værdier af K_d , som anvendes i hhv. bærelaget ("base layer") og i det underliggende lag samt tilstanden af belægningen for det givne scenarienummer.

Tabel 1. K_d -værdier og tilstand af asfaltoverflade for forskellige scenarieberegninger

K_d in base (L/kg)	K_d in soil (L/kg)	Representative of	Additional assumptions	Scenario numbering for different pavement conditions	
				Damaged pavement	Intact Pavement
1	1	Salts	Readily released and transported	1	13
1	50	Salts	Moderate attenuation in the soil	2	14
1000	1	Metals	Very low attenuation in the soil	4	16
1000	50	Metals	Moderate attenuation in the soil	5	17
1000	2500	Metals	High attenuation in the soil	6	18

Disse scenarienumre går igen i Figur 12 som angiver, hvor stor en procentdel af den initiale masse, der når grundvandet (som antages at stå 1 meter under terræn) i løbet af en simuleringstid på 20 år.



Figur 12. Fraktion af initial masse i bærelaget ("base layer"), som når grundvandet afhængig af antagelser om sorption i bærelaget og underliggende lag og om tilstand af asfaltbelægning. Scenarienummer henviser til Tabel 1 (Apul, 2004).

Man ser af Figur 12, at kun for saltene i scenarie 1 (nedbrudt asfalt og lav sorption) sker der en udvaskning på mere end 10 % til grundvandet af den initiale masse til stede i bærelaget ("base layer"). Hvis belægningen er intakt (i 20 år) når 4 % af saltene grundvandet. Fordelingen af den resterende saltmængde viser, at disse 4 % primært stammer fra sektionen under skulderen af vejen svarende til koncentrationsprofilerne vist i Figur 9.

Opsummerende har Apul (2004) fundet udvaskningsmønstre i forbindelse med vejanlæg, der i overensstemmelse med resultaterne fra de svenske undersøgelser forudsiger advektiv udvaskning nær kanterne af vejen og diffusion/kapillær transport under vejene kombineret med advektiv udvaskning i forbindelse med revner/samlinger i asfalten. Simuleringsresultaterne antyder ligeledes en vis strømning horisontalt gennem slaggelaget grundet den høje mætningsgrad tæt ved kanterne af vejen. De undersøgte veje er ikke (så vidt det er oplyst) anlagt med hældning på slaggefladen.

For ingen af undersøgelserne er der fundet sammenlignelige analyser af perkolatkvalitet fra vejanlæggene.



Ingen af undersøgelserne giver en egentlig kvantificering af gennemtrængeligheden af de undersøgte asfaltoverflader.

Resultaterne fra de to projekter har givet anledning til en nærmere undersøgelse af nogle resultaterne fra Ydernæsprojekt, specielt udvaskningen fra slaggeprøverne udtaget fra plads C efter ca. 3 års varighed af projektet samt udvaskningen fra delfelterne på plads A, som i lighed med de undersøgte veje er dækket med asfalt. Disse undersøgelser er rapporteret nedenstående.

4 YDERNÆSPROJEKTET

4.1 Plads C

Set i lyset af oplysningerne fra ovenstående undersøgelser foretages en nærmere analyse af data fra plads C på Ydernæs, hvor der efter ca. tre års drift af pladsen blev foretaget opgravning af fire slaggeprøver. I Tabel 2 er foretaget en sammenligning af de akkumulerede udvaskninger ved kolonnetests til $L/S = 10$ l/kg for de fire prøver som blev udtaget fra felt C i juli/august 2005. Prøverne blev udtaget hhv. fra midterfeltet (midt i feltet), fra det opstrøms felt (midt i den øvre del) og fra den nedstrøms del hhv. midt i og i det nedstrøms hjørne. I tabellen er angivet de L/S -værdier, som estimeres på baggrund af den opsamlede perkolatmængde i pågældende felt og slaggemængden i samme felt. På baggrund af de estimerede L/S -værdier for de forskellige pladsafsnit vil man umiddelbart forvente, at der vil være en væsentligt større rest af udvaskeligt materiale i midterfeltet end i det nedstrøms felt. Dette holder for saltene Cl, F og Na og for DOC og i mindre grad for Ca, Mg og K, men ikke for SO_4 og Al. For sporelementerne ses væsentligt større udvaskeligheder i midterfeltet for Mn, Ni, Pb og Zn mens forskellene for As, Ba, Cd, Co, Cu, Mo, Sb og Se er mindre. For Cr og Hg er udvaskeligheden lige så stor i det nedstrøms hjørne som i midterfeltet.

I efterfølgende kolonne er vist de observerede udvaskninger fra midterfeltet i felt C i perioden fra $L/S = 0$ l/kg til $L/S = 0,2$ l/kg (tidspunkt for udtagning af prøver) opgjort ud fra mængde og koncentration i perkolat fra midterfeltet. Næste kolonne angiver summen af udvaskeligheden fundet ved kolonnetesten på prøven udtaget i juni 2005 og den estimerede udvaskning op til juni 2005 for midterfeltet. Hvis man sammenligner denne sum med udvaskningen fundet ved kolonnetesten ($L/S = 10$ l/kg) udført på slaggen i plads C ved starten af projektet ses, at der opnås rimelig overensstemmelse for de fleste af saltene, dog noget lavere udvaskning fra pladsen for SO_4 og Ca. For sporelementerne er der generelt også rimelig overensstemmelse (dog væsentligt højere udvaskningspotentiale fra pladsen for Pb og Zn og væsentligt lavere for DOC). Der er således tilsyneladende stadig ca. samme totale udvaskningspotentiale i materialet i midterfeltet efter ca. 2-3 års ophold i pladsen.

For sporelementerne bemærker, man at tilgængeligheden er væsentligt højere end de udvaskede mængder ved $L/S = 10$ l/kg. For flere af elementerne drejer det sig om størrelsesordener. Derfor er reduktioner i totalindhold (som bl.a. anvendes i den svenske undersøgelse) ikke en god målestok for den udvaskede mængde, fordi små usikkerheder på analyseresultaterne kan sløre disse forskelle. For flere af saltene er der mindre forskel på udvasket mængde ved $L/S = 10$ og tilgængeligheden.



Tabel 2. Total udvasket mængde (mg/kg) ved L/S = 10 l/kg kolonnetest udført på slaggeprøver udtaget fra felt C efter næsten 3 års drift af pladsen (juni 2005). I efterfølgende kolonner findes den estimerede udvaskning fra midterfeltet i perioden fra starten af forsøget til tidspunktet for udtagningen af prøverne (ved L/S = 0,2 l/kg), den summerede udvaskning for midterfeltet, den totalt udvaskede mængde ved L/S 10 l/kg kolonnetest udført ved starten af projektet og den totale tilgængelighed ligeledes testet ved starten af projektet.

	Enhed	Total udvasket mængde ved kolonnetest L/S = 10 l/kg på prøver udtaget fra plads C i juni 2005				Sum af udvasket mængde fra midterfelt		Resultat af tests udført ved start af projekt (2002)	
		Nedstrøms hjørne	Nedstrøms midt	Opstrøms	Midterfelt	Udvasket fra midterfelt fra LS 0-0,2 l/kg	Sum midterfelt	Total udvaskelig mængde LS = 10 l/kg	Tilgængelighed
Estimeret L/S	l/kg	7	7	1,1	0,2	-	-	-	-
pH-interval	-	10,9-11,4	10,6-11,3	10,4-11,4	10,8-11,4	6,9-7,2*	-	10,4-10,9	-
Klorid	mg/kg	45	97	110	224	473	697	748	1000
Fluorid	mg/kg	1,8	1,5	2,3	5,7	0,023	5,8	-	21
Sulfat	mg/kg	1469	1493	1606	1419	369	1789	2653	7100
Ca	mg/kg	373	330	329	425	121	546	774	44000
Mg	mg/kg	0,89	0,90	0,95	1,1	3,3	4,4	1,0	1500
Na	mg/kg	689	717	787	802	330	1132	1153	2500
K	mg/kg	259	271	274	290	12	301	298	1200
Al	mg/kg	152	163	149	27	0,00082	27	186	1800
As	mg/kg	0,013	0,013	0,015	0,014	0,0076	0,022	0,013	3,1
Ba	mg/kg	0,13	0,15	0,15	0,17	0,017	0,19	0,25	230
Cd	mg/kg	0,0008	0,0006	0,0007	0,0009	9,2E-05	0,0010	0,0011	1,1
Co	mg/kg	0,0008	0,0009	0,0011	0,0012	0,00019	0,0014	0,0009	2,5
Cr	mg/kg	0,022	0,014	0,014	0,020	0,0013	0,021	0,024	2,3
Cu	mg/kg	0,80	0,83	0,98	1,12	0,023	1,1	1,10	420
Fe	mg/kg	0,042	0,047	0,28	0,60	0,00081	0,60	0,046	2000
Hg	mg/kg	0,0003	0,0003	0,012	0,0002	4,5E-06	0,0002	0,0002	0,035
Mn	mg/kg	0,0022	0,0038	0,012	0,029	0,0019	0,031	0,0035	330
Mo	mg/kg	0,30	0,26	0,30	0,39	-	-	-	-
Ni	mg/kg	0,025	0,029	0,029	0,032	0,0030	0,035	0,018	10
Pb	mg/kg	0,0031	0,0044	0,024	0,056	6,1E-05	0,057	0,0053	100
Sb	mg/kg	0,30	0,31	0,31	0,32	0,00067	0,32	0,21	2,7
Se	mg/kg	0,0058	0,0058	0,0061	0,0066	0,0011	0,0077	0,0093	0,033
Zn	mg/kg	0,0050	0,020	0,080	0,16	0,0029	0,16	0,033	940
DOC	mg/kg	30	37	36	40	4,8	44	113	1300

*: De lave observerede pH-værdier ved feltforsøget har generelt givet anledning til ønske om nærmere undersøgelser

Det er i øvrigt interessant at bemærke, at selvom den udvaskede mængde af DOC er mindre end 50 % af den mængde som udvaskedes under den oprindelige test et udvaskningen af Cu lige så høj som ved den oprindelige test.



I overensstemmelse med sammenligningen mellem midterfelt og nedstrøms felt viser de svenske resultater en væsentligt større udvaskelighed af salte midt under vejen end i siderne. For Cl ned til 20 mg/kg i siderne og op til 800 mg/kg midt på vejen.

4.2 Plads A

For plads A, som er dækket med asfalt over dele af felterne er der ikke foretaget opgravning af prøver fra de enkelte delfelter. I stedet foretages en opgørelse over den estimerede udvaskning fra hvert af delfelterne. Dette gøres på baggrund af den målte perkolatmængde fra hvert delfelt samt analyserne af perkolatkvaliteten. For de perkolatprøver, hvor der ikke er foretaget analyse interpoleres mellem de nærmeste prøveresultater. Opgørelsen foretages fra starten af forsøget september 2002 og frem til den sidst analyserede prøve (juli 2005). Resultaterne er opgivet som udvasket mængde per m² overfladeareal for det enkelte delfelt i Tabel 3. I Tabel 4 er feltresultaterne sammenlignet med resultaterne af det tilsvarende kolonneforsøg.

Tabel 3. Akkumuleret udvasket mængde (i gram) per m² overfladeareal for delfelter i plads A. Opgjort fra start af projekt i september 2002 til juli 2005.

	Udvasket mængde per m ² (g/m ²) for delfelter i plads A				
	A1 midterfelt	A2 rand under asfalt	A3 rand ned- strøms asfalt	A4 nederste randfelt	A5 øvrige rand- felt
Estimeret L/S (l/kg)	0,1	0,2	1,07	-	2,7
pH-interval	6,8-7,3	6,9-7,5	7,5-8,0	7,1-7,8	7,2-7,7
Klorid	426	525	194	215	498
Fluorid	0,014	0,069	0,091	2,9	0,427
Sulfat	144	178	173	191	323
Ca	73	60	138	807	206
Mg	1,9	1,4	4,6	22,3	6,8
Na	258	465	691	239	391
K	4,2	21,2	34,5	33,0	34,8
Al	0,0011	0,0007	0,0121	0,0635	0,0428
Si	0,5	1,2	5,0	32,1	7,6
As	0,0049	0,0048	0,048	0,017	0,014
Ba	0,019	0,018	0,049	0,19	0,078
Cd	8,4E-05	0,00016	0,00025	0,00045	0,00018
Co	0,00023	0,00031	0,00041	0,00065	0,00026
Cr	0,0011	0,00047	0,0017	0,0045	0,0044
Cu	0,016	0,014	0,036	0,052	0,040
Fe	0,0017	0,00090	0,00084	0,043	0,012
Hg	3,0E-06	4,0E-06	1,4E-05	0,000179	4,9E-05
Mn	0,025	0,00095	0,00049	0,0025	0,0011
Ni	0,0037	0,011	0,0081	0,012	0,0039
Pb	3,3E-05	0,00021	0,00022	0,00090	0,00061
Sb	8,6E-05	0,00024	0,0035	0,0095	0,013
Se	0,00055	0,00053	0,0012	0,0016	0,0012
Zn	0,0011	0,0031	0,013	0,029	0,0085
DOC	4,3	7,3	12	80	17

Tabel 4. Udvasket mængde fra plads A opgjort som mg/kg TS ved et gennemsnitligt L/S for pladsen på 1,8 l/kg. Sammenlignet med den akkumulerede udvaskning ved hhv. L/S = 2 og 10 l/kg ved kolonnetest udført på slagge anvendt i plads A.

	Udvasket fra plads A (mg/kg)	Udvasket ved L/S = 2 l/kg i kolonnetest (mg/kg)	Udvasket ved L/S = 10 l/kg i kolonnetest
	mg/kg TS	mg/kg TS	mg/kg TS
pH-interval	6,8-7,7	10,1-10,5	10,4-10,7
Klorid	487	712	796
Fluorid	0.46	-	-
Sulfat	225	1848	2893
Ca	207	393	852
Mg	5.9	0.25	1.08
Na	370	923	1158
K	19	187	333
Al	0.02	36	183
Si	6.34	-	-
As	0.012	0.0045	0.015
Ba	0.059	0.066	0.23
Cd	0.00018	0.00020	0.0011
Co	0.00034	0.00050	0.0010
Cr	0.0026	0.0022	0.024
Cu	0.030	0.64	1.15
Fe	0.0093	0.0081	0.045
Hg	3.6E-05	4.7E-05	0.00023
Mn	0.017	0.00081	0.00265
Ni	0.0060	0.0090	0.015
Pb	0.00031	0.00043	0.0023
Sb	0.0048	0.035	0.22
Se	0.00097	0.0058	0.00993
Zn	0.0071	0.0024	0.012
DOC	18	50	104

Tabel 3 viser næsten entydigt for sporelementerne en væsentligt højere udvaskning per m² i de to nederste randfelter A4 og A5 end i de øvrige felter. For saltene er billedet mere uklart i det der udvaskes mindre klorid i felt A4 end i alle andre felter undtagen A3. For Ca og Mg udvaskes der derimod langt mere fra A4 end fra de øvrige felter. Dette udvaskningsbillede skyldes formentlig, at A4 og A5 primært modtager perkolat der har strømmet igennem en begrænset mængde slagge i de øvrige felter. For letopløselige salte betyder dette, at tilførslen af disse til perkolatet hurtigt aftager og derfor bliver den udvaskede mængde relativt lille på trods af den store perkolatmængde. For sporelementer, som i højere grad vil være opløselighedsstyrede i udvaskningen vil den større vandmængde i højere grad medføre en konstant koncentration på trods af den begrænsede slaggemængde og derfor bliver de udvaskede mængder fra A4 og A5 højere.

For DOC kan udvaskningen fra jorden have betydning for resultaterne for A4.



I Tabel 4 er vist den gennemsnitlige udvaskning fra plads A opgjort som mg / kg TS baseret på den samlede udvaskning opgjort i Tabel 3 divideret med den samlede slaggemængde i pladsen. Den gennemsnitlige L/S-værdi for plads A omkring juli 2005 var 1,8 l/kg og derfor er den gennemsnitlige udvaskning sammenlignet med udvaskningen fundet ved L/S = 2 l/kg ved den initiale kolonnetest på slaggen fra plads A. For yderligere illustration er der endvidere sammenlignet med udvaskningen fundet ved akkumuleret L/S = 10 l/kg i samme initiale kolonnetest.

Man ser af Tabel 4, at udvaskningen for de fleste af sporelementerne passer pænt overens med udvaskningen fundet ved L/S = 2 l/kg ved kolonnetesten. Dette gælder dog ikke for Cu, Sb og Se. For Cu kan dette bl.a. skyldes den mindre udvaskning af DOC fra pladsen sammenlignet med kolonnetesten. For saltene Cl og Na og SO₄ er der mindre god overensstemmelse, hvilket igen vil stemme overens med, at udvaskningen fra pladsen kunne foregå fra en begrænset del af slaggen, hvilket mindsker udvaskningen fra de tilgængelighedsstyrede komponenter.

5 KONKLUSION

Den svenske undersøgelse antyder en meget beskedne udvaskning fra området midt under den asfalterede vej. Dette underbygges (uden at der dog er forsøgsmæssig dokumentation) af resultaterne fra de amerikanske modelundersøgelser. Fra Ydernæsprojektet opnås en perkolatopsamling på godt 5 % af den jævnt fordelte bruttonedbør under det asfaldækkede midterfelt. På baggrund af resultaterne fra de øvrige undersøgelser kan dette synes som et relativt højt tal, da asfaldækket går hele vejen til den opstrøms kant af pladsen på Ydernæs. På baggrund af modelleringsresultaterne fra USA er det nærliggende at tro, at en del af disse 5 % kunne stamme fra vand, som løber over den nedstrøms asfalkant og efterfølgende på grund af den formodet lave vandmætning i slaggelaget tilbage under asfaltoverfladen til midterfeltet.

6 REFERENCER

Apul, D.S. (2004). Contributions to predicting contaminant leaching from secondary materials used in roads. Ph.D. dissertation from Univeristy of New Hamshire, September 2004.

Bendz, D, Arm, M., Flyhammar, P., Westberg, G., Sjöstrand, K., Lyth, M. och Wik, O. (2005). Projekt Vändöra. Et studie av långtidsegenskaber hos en väg anlagd med bottonaska från avfallsförbränning. Rapport for Värmeforsk, Q4-241, Februar 2005.

Holm, J. & Hjelm, O. (2007): Demonstrationsanlæg for slaggeanvendelse. Status – Februar 2007. DHI-sag: 51950. Rapport til DAFONET fra DHI, Hørsholm.