



KØBENHAVNS KOMMUNE



Juni 2016

Nedsivning af tagvand: Fjernelse af kontaminanter fra tage og tagbelægninger



Titel:

Nedsivning af tagvand: Fjernelse af kontaminanter fra tage og tagbelægninger

Udarbejdet for:

Københavns Kommune

Projektdeltagere:

PKP Regnvandsteknik

Københavns Kommune, Center for Miljø

Teknologisk Institut, Rørcentret

Grundejerforeningen Katrinedal (Vanløse Lokaludvalg og Grundejeren.dk)

HOFOR

Udarbejdet af:

Teknologisk Institut

Gregersensvej 1

2630 Taastrup

Rørcentret

Forfatter:

Kåre Press-Kristensen, PKP Regnvandsteknik

Juni 2016

Grundejeren.dk og PKP Regnvandsteknik ved Kåre Press-Kristensen har i samarbejde med Københavns Kommune, HOFOR og Teknologisk Institut etableret fire testfaskiner i det igangværende grundejerprojekt på Bangsbo Plads, der dels skal måle på regnvandets spredning og nedsivningshastighed - og dels på udledning af zink og tjærestoffer fra tagrender og tage. En del af testfaskine-projektet på Bangsbo Plads betales af Københavns Kommune og Vanløse Lokaludvalg.

Indholdsfortegnelse

Forord	3
Sammenfatning	4
Baggrund	5
Formål	5
Fjernelse af kontaminanter i faskiner	5
Coating af tage og tagrender	9
Konklusion	13
Bilag 1: Testfaskiner.....	14
Bilag 2: Analyseresultater	16
Bilag 3: Akkumulering af metaller	20

Forord

Denne afrapportering er udført af PKP Regnvandsteknik for Københavns Kommune som led i kommunens arbejde med klimatilpasning og lokale regnvandsløsninger. Afrapporteringen dækker skybrudsforsøg udført i en testfaskine anlagt i moræneler ved Bangsbo Plads i Vanløse.

Afrapporteringen har løbende været drøftet i projektets styregruppe, den såkaldte Bangsbogruppe:

- Jan Burgdorf Nielsen, projektleder, Klimatilpasning, Københavns Kommune.
- Morten Ejsing Jørgensen, geolog, Center for Miljøbeskyttelse, Københavns Kommune.
- Erik Honoré, sekretariatsleder, Grundejeren.dk (og Vanløse Lokaludvalg).
- Ulrik Hindsberger, centerchef, Rørcentret, Teknologisk Institut.
- Ida Marie Knudsen, konsulent, Rørcentret, Teknologisk Institut.
- Inge Faldager, seniorkonsulent, Rørcentret, Teknologisk Institut.
- Martin Abrahamsen Vester, planlægger, Regn- & Spildevand, HOFOR.
- Kåre Press-Kristensen, chefkonsulent, PKP Regnvandsteknik.

Sammenfatning

Formålet med projektet var at undersøge indholdet af kontaminanter i tagvand, fjernelsen af disse kontaminanter i faskiner ved nedsivning af tagvand, samt muligheden for at reducere frigivelsen af kontaminanter via coating af udvalgte dele af tagkonstruktionen. De gennemførte forsøg viste, at tagvand kan indeholde væsentlige mængder zink, bly, organisk stof og E. coli. Til gengæld blev ikke målt forurening med PAH'er, selv om der var et tagpaptag med i undersøgelsen. Zink og bly kom hovedsageligt fra hhv. zinkkonstruktioner (kvisttage, indfatninger, tagrender og nedløbsrør) og blyindfatninger. Metaller og E. coli blev effektivt fjernet i faskinerne. Afløbskoncentrationen af bly og zink fra faskinerne anses ikke for at udgøre en risiko i forhold til grundvandsforurening.

Akkumuleringen af zink i faskinerne kan udgøre en risiko i forhold til jordforurening. Særligt hvis zink akkumuleres i eller umiddelbart under faskiner. Laboratorieforsøg viste, at nye zinktagrender frigiver ca. 100 gange mindre zink end de undersøgte zinktagrender ved villaerne i projektet. Ved coating af zinktagrender (og zinktage) reduceres zinkfrigivelsen signifikant (men ikke til et lavt niveau). Også bygningens øvrige zinkkonstruktioner (f.eks. nedløbsrør) gav et markant bidrag til forurening af tagvandet med zink. Det kunne ikke bekræftes, at first flush indeholder højere zink- og blykoncentrationer end last flush. Alt i alt konkluderes, at zinkfrigivelse fra tagkonstruktioner på lang sigt kan udgøre et problem i forhold til lokal jordforurening ved nedsivning af tagvand i faskiner. Myndigheder bør derfor stille krav til f.eks. coating af zinkkonstruktioner før der gives nedsivningstilladelse til faskiner. Ovenstående baseres udelukkende på et begrænset antal forsøg og analyser, hvilket skal holdes in mente ved anvendelse af resultater og konklusioner.

Baggrund

Der er begrænset viden om frigivelse af kontaminanter (tungmetaller, tjærestoffer, bakterier m.v.) fra tage og tagbelægninger til tagvand og den efterfølgende fjernelse i faskiner ved nedsivning af tagvandet. Da mange byer (herunder København) ønsker at fremme nedsivning af tagvand, ønskes mere viden om disse forhold, så nedsivning ikke øger risikoen for jord- og grundvandsforurening. Ligeledes kan denne viden danne grundlag for specifikke krav til tage og tagbelægninger (f.eks. coating af zinktagrender) tilsluttet faskiner og andre nedsivningsanlæg.

På nuværende tidspunkt er krav om coating af zinktagrender (med f.eks. *Flexicoat* eller *Fillcoat*) før nedsivning i Københavns Kommune. Der stilles ikke krav til coating af zinktage på kviste eller blyindfatninger. Coating af zinktagrender fordyrer og besværliggør afkoblingen af tagvandet fra kloaksystemet, hvorfor der er behov for at dokumentere effekten af coatingen.

For at tilvejebringe viden om frigivelse af kontaminanter fra tage og tagbelægninger til tagvand, fjernelsen af kontaminanter i faskiner ved nedsivning af tagvand samt muligheden for at reducere frigivelsen ved coating, besluttede projektets styregruppe at udføre en række kontrollerede forsøg på tage og i testfaskiner anlagt i moræneler ved Bangsbo Plads i Vanløse.

Formål

Formålet med de udførte forsøg var at undersøge:

1. Indholdet af kontaminanter i tagvand fra tage og tagbelægninger.
2. Fjernelsen af kontaminanter i faskiner ved nedsivning af tagvand.
3. Muligheden for at reducere frigivelsen af kontaminanter via coating.

Fjernelse af kontaminanter i faskiner

Tabel 1 angiver tage og tagbelægninger tilsluttet hver af testfaskinerne ved Bangsbo Plads. I bilag 1 findes yderligere detaljer om testfaskinerne herunder dimensionering m.v.

Tabel 1: Tage og tagbelægninger tilkoblet faskinerne ved Bangsbo Plads.

	Tagrende/nedløbsrør	Tag	Indfatninger	Tag på kvist
Kontrolfaskine	Plast	Tegl	---	---
Faskine 1	Zink	Tegl & Tagpap ¹⁾	Bly ²⁾	---
Faskine 2	Zink	Skiffer	Zink	Zink
Faskine 3A ³⁾	Zink	Tegl	Bly ⁴⁾	Zink
Faskine 3B ³⁾	Zink	Tegl	Bly ⁴⁾	Zink

1) Tegl på hustag og ca. 10 år gammelt tagpap på skur. 2) Kun mindre blyindfatninger omkring skorsten.

3) Faskine 3A og 3B er separate faskiner tilkoblet hhv. forsiden og bagsiden af samme villa.

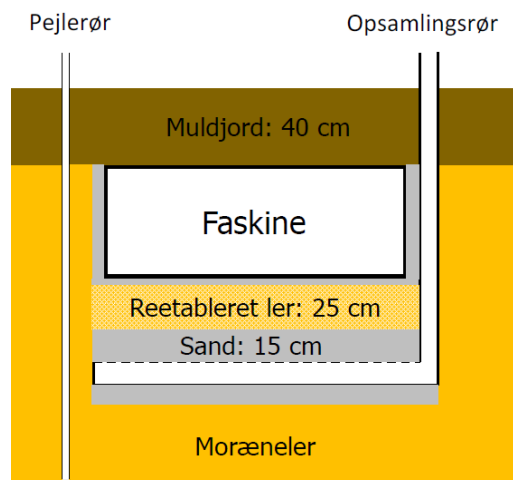
4) Omfattende blyindfatninger ned langs kvistene. ---: Ikke indfatninger eller kvisttage.

Af tabel 1 ses, at faskinerne er tilkoblet huse med tage og tagbelægninger, der umiddelbart giver mulighed for forskellig frigivelse af tre kontaminanter: Zink, tjærestoffer og bly. Desuden blev indholdet af *E. coli* (fra fugleklatter) undersøgt samt andre relevante parametre i tagvandet.

For at undersøge fjernelse af kontaminanter i lerer under faskinerne blev der anlagt opsamlingsrør til prøvetagning under fire af de fem faskiner (en ved hver villa)¹. Princippet ses i figur 1.

Figur 1: Principskitse af faskine med opsamlingsrør.

Prøvetagning: Før prøvetagning blev opsamlingsrøret og faskinens sandfang tømt for vand. Via pejlinger (i pejlerør) blev sikret, at grundvandsstanden var min. ½ m under opsamlingsrøret både før og efter regn, hvorved vandet i røret antages at være infiltrationsvand fra faskinen. Der blev taget prøver fra sandfanget (tilløbet) og opsamlingsrøret (afløbet efter passage af cirka 25 cm reetableret moræneler samt afdækningsand under faskinen)¹. I bilag 1 findes flere detaljer om testfaskinerne.



I tabel 2 og tabel 3 er indholdet af udvalgte kontaminanter i tagvandet fra tilløbene (sandfangene) til faskinerne og afløbene (opsamlingsrørene) fra faskinerne vist fra hhv. december 2013 og juli 2014. I bilag 2 er vedlagt analyse-rapporterne med samtlige kemiske parametre.

Tabel 2: Kontaminanter i tilløb og afløb fra faskiner, december 2013.

2013		Bly *) (µg/l)	Zink *) (µg/l)	PAH sum (µg/l)	COD (mg/l)	E. coli (pr. 100 ml)
Kontrolfaskine	Tilløb	0,47	15	i.p.	9,9	< 1
	Afløb	1,2	29	0,012	15	< 1
Faskine 1	Tilløb	8,8	3.600	i.p.	17	> 300
	Afløb	0,56	88	i.p.	130	< 1
Faskine 2	Tilløb	0,39	2.300	0,014	7,4	> 300
	Afløb	---	---	---	---	---
Faskine 3A	Tilløb	48	3.000	0,021	5,5	> 300
	Afløb	0,42	35	i.p.	43	< 1

*: Filtrerede prøver. COD: Kemisk iltforbrug (oxidering af organisk stof med dichromat). i.p.: Ikke påvist.

---: Afløbet fra faskine 2 var af uforklarlige årsager tørt (ingen afløbsprøve).

Af tabel 2 ses, at tagvandets (tilløbnes) indhold af bly og zink som ventet er væsentligt højere fra huse med hhv. blyindfatninger (faskine 1 og 3A) og zinktagreder (faskine 1, 2 og 3A). Indholdet af PAH'er er lavt i alle prøver, og der ses ikke øget indhold fra faskine 1, der bl.a. modtager vand fra et

¹ Udfordringen ved denne prøvetagningsmetodik er, at vandet i sandfanget ved større regnhændelser primært afspejler koncentrationen i *last flush*, hvorimod opsamlingsrøret (efter passage af reetableret lerlag under faskinen) ikke nødvendigvis afspejler koncentrationen i *last flush*.

tagpaptag. Det ses, at koncentrationen af organisk stof (målt som COD) varierer uafhængig af tage og tagbelægninger. Endelig ses et signifikant indhold af E. coli i tilløbet til tre ud af fire faskiner. Forskellen i E. coli (fugleklatte) skyldes sandsynligvis, at der er flere fugle på tre af tagene. Kigges på fjernelsen af kontaminanter ses en høj fjernelse af bly og zink i faskiner tilkøbet tage med blyindfatninger og zinktagreuder. Det vides dog ikke, om metallerne udfælder i faskinen eller sorberes i lermatricen under faskinen. Hvis det sidste er tilfældet kan bindingskapaciteten opbruges med tiden. Ligeledes ses fjernelse af E. coli, hvilket kan skyldes eliminering i faskinen (henfald/predation) og frafiltrering i matricen under faskinen. Højere COD i afløbet kan skyldes udvaskning af aflejret delvist nedbrudt organisk stof i faskinerne, eller at afløbskoncentrationerne i opsamlingsrøret ikke nødvendigvis afspejler *last flush* (jf. side 1).

Tabel 3: Kontaminanter i tilløb og afløb fra faskiner, juli 2014.

2014		Bly *) (µg/l)	Zink *) (µg/l)	PAH sum (µg/l)	COD (mg/l)	E. coli (pr. 100 ml)
Kontrolfaskine	Tilløb	0,15	140	i.p.	34	> 300
	Afløb	< 0,025	4,7	i.p.	8,2	< 1
Faskine 1	Tilløb	3,4	2.200	i.p.	40	> 300
	Afløb	< 0,025	3,3	i.p.	9,7	< 1
Faskine 2	Tilløb	0,082	480	i.p.	17	> 300
	Afløb	---	---	---	---	---
Faskine 3A	Tilløb	16	920	i.p.	20	> 300
	Afløb	< 0,025	5,1	i.p.	22	12

*: Filtrede prøver. COD: Kemisk iltforbrug (oxidering af organisk stof med dichromat). i.p.: Ikke påvist. ---: Afløbet fra faskine 2 var af uforklarlige årsager tørt (ingen afløbsprøve).

Af tabel 3 ses, at tendenserne i analyseresultaterne fra juli 2014 er de samme som for resultaterne fra december 2013 (jf. tabel 2 ovenfor). Dog ses ikke højere COD i afløbet. Sammenholdes resultaterne fra tabel 2 og 3 fremgår dog, at der i december 2013 (tabel 2) måles markant højere koncentrationer af bly og zink i tagvand fra huse med hhv. blyindfatninger (faskine 1 og 3A) og zinktagreuder (faskine 1, 2 og 3A) end der gøres i juli 2014 (tabel 3). Dette skyldes muligvis forskellig årstidsbestemt mobilisering af metaller og forskellig fortynding af mobiliserede metaller under regnbygerne, der ligger til grund for de to målinger grundet forskellig regnmængde og forskellig tidsrum siden sidste regnhændelse.

Målingerne viser, at blyindfatninger kan frigive signifikante mængder bly og zinktagreuder (eller andre bygningsdele af zink) kan frigive markante mængder zink. Ligeledes viser målingerne, at tagvandet ikke indeholder PAH'er af betydning, men derimod kan indeholde væsentlige mængder E. coli. Både bly, zink og E. coli fjernes effektivt i faskinerne eller umiddelbart under disse. Det vides dog ikke, om metallerne sorberes til lermatricen under faskinerne, og om bindingskapaciteten derved er begrænset. Det skal understreges, at ovenstående resultater alene baseres på målinger fra fire tage og fire faskiner og derved ikke nødvendigvis er generelt repræsentative.

I tabel 4 er den højeste afløbskoncentration (opsamlingsrør jf. figur 1) af bly og zink sammenholdt med relevante grænseværdier for drikkevand.

Tabel 4: Højeste koncentration af bly og zink sammenholdt med drikkevandskvalitetskrav.

	Detaljer	Bly (µg/l)	Zink (µg/l)
Afløb fra faskiner	Den højeste målte værdi (jf. tabel 2 og 3)	1,2	88
Drikkevandskrav ²	Indgang til ejendom	5	100
	Ved taphane	10	3.000
	Efter 12 timers henstand i rørsystem	10	5.000
Naturligt grundvand ¹	Middelværdier	0,42	20

På basis af de målte koncentrationer og kvalitetskrav i tabel 4 ses, at drikkevandskvalitetskravet allerede er opfyldt efter passage af det reetablerede lerlag umiddelbart under faskinerne. Zink og bly fra faskiner anses derfor ikke som en risiko i forhold til grundvandsforurening. Tilbageholdelse af bly og zink i faskiner tilkoblet hhv. tage med blyindfatninger og zinktagreder vidner imidlertid om en akkumulering af metaller, der på sigt risikerer at føre til jordforurening. I tabel 5 er vist en skønnet akkumulering af zink og bly i jorden omkring og under faskiner efter en levetid på 30 år (beregninger vedlagt i bilag 3). Akkumuleringen af bly og zink er sammenholdt med krav ved klassificering af jord og afskæringskriteriet for forurenede jord. Det skal fremhæves, at der er meget store usikkerheder knyttet til, hvor meget jord metallerne fordeles i over 30 år, og koncentrationerne angivet i tabel 5 skal derfor kun ses som et skøn. Hvis metallerne f.eks. bindes til organisk stof i faskinen og akkumuleres i slammet (humusstoffer) på bunden af faskinen, så vil der opstå væsentlig højere koncentrationer af metaller end angivet i tabellen. Til gengæld vil det være let at fjerne slammet og derved forureningen ved opgravning/slamsugning af faskinen.

Tabel 5: Skønnet bly- og zinkkoncentration i jord efter 30 år sammenholdt med jordkvalitetskrav.

	Detaljer	Bly (mg/kg)	Zink (mg/kg)
Jord ved/under faskine	Se forudsætninger i bilag 3	4	300
Jordklassificering ³	Klasse 0-1: Ren jord	< 40	< 500
	Klasse 2: Forurenede jord	40-120	
	Klasse 3: Markant forurenede	120-400	500-1.500
	Specialhåndtering (KMC)	400-1.500	1.500-2.500
	Klasse 4: Ekstremt forurenede	> 1.500	> 2.500
Jordkvalitetskriterier ⁴	Jordkvalitetskriterium	40	500
	Afskæringskriterium	400	1.000
Jord i København (city) ⁵	Grundet forurening fra trafik	120-470	---
Naturligt jordindhold	Middelværdi (interval)	16 (10-40) ⁴	40 (10-300) ⁶

KMC: Kalvebod Miljøcenter. Jordkvalitetskriteriet er relevant, hvis børn kan komme i direkte kontakt med jorden (f.eks. i daginstitutioner), mens afskæringskriteriet afgør, hvornår jorden registreres som forurenede. ---: Ingen data.

² Miljøfremmede stoffer og metaller i Vandmiljøet, NOVANA, DCE, 2015: <http://dce2.au.dk/pub/SR142.pdf>

³ Klassificering af jordprøver i henhold til transport og håndtering af jord, NORRECCO, 2014.

⁴ Miljøstyrelsen, 2014: http://mst.dk/media/mst/9150735/kvalitetskriterier_jord_og_drikkevand_maj_2014.pdf

⁵ Jordkvalitetskriterium for bly: <http://mst.dk/media/mst/83365/Bly%20i%20jord%20dec2002.pdf>

⁶ Jordkvalitetskriterium for zink: <http://mst.dk/media/mst/67650/Zink%20dec2002.pdf>

Af tabel 5 ses, at hvis bly og zink fordeles i jorden under og omkring faskinen som forudsat i bilag 3 (eller i et endnu større jordvolumen), så vil akkumuleringen af bly fra tagvand forsat ligge 10 gange under det niveau, der gør, at jorden skal håndteres som forurenede jord, og 100 gange under det niveau, hvor jorden rent juridisk klassificeres som forurenede. Til sammenligning, så vil zink-koncentrationen kun ligge 40 % under det niveau, der gør, at jorden skal håndteres som forurenede jord, og 3,3 gange under det niveau, hvor jorden rent juridisk klassificeres som forurenede. Det skal dog understreges, at et lokalt zinkindhold på 300 mg pr. kg jord næppe giver skadevirkninger. Zink er et vitalt mikronæringsstof for både mennesker, dyr og planter. Den anbefalede daglige zinkdosis er 12-15 mg dvs. en person skal indtages 40-50 g jord med 300 mg zink pr. kg hver dag for at få sit daglige zinkbehov dækket svarende til det zinkindhold, der er i en vitaminpille. Det kan derfor overvejes, om afskæringskriteriet for zink i dybere jordlag skal hæves. Ifølge Miljøstyrelsen⁷ kan afskæringskriteriet umiddelbart ændres ved at ændre jordforureningsloven.

Coating af tage og tagrender

Ovenstående undersøgelser viser, at tilledning af zink til faskiner kan udgøre en risiko i forhold til jordforurening. Regnvand indeholder små mængder zink. Høje koncentrationer af zink i tagvand skyldes derfor typisk frigivelse fra zinktage (typisk på kviste), zinkindfatninger, zinktagrender og zinknedløbsrør. For at reducere risikoen for jordforurening stiller Københavns Kommune og flere andre kommuner krav om coating af zinktagrender (f.eks. *Flexicoat* eller *Fillcoat*) før nedsivning. Der stilles ikke krav til coating af zinktage (på kviste), zinkindfatninger eller nedløbsrør. For at undersøge effekten af coating blev to zinktagrender (tilkoblet faskine 2 og 3A) coatet, mens to forblev ucoatet (tilkoblet faskine 1 og 3B). Prøvetagningsprincippet blev samtidig justeret⁸.

Prøvetagning: Efter coating af tagrenderne blev tilløbsprøver til faskiner taget i plastspande (5 liter) under indløbet i sandfangene, så prøverne ikke blev forurenede med zink fra tidligere tiders tilledning. Udfordringen er dog forsat, at det opsamlede vand afspejler koncentrationer i *last flush*. Koncentrationer efter regnhændelser kan derfor ikke nødvendigvis sammenlignes, da zinkkoncentrationen i tagvandet kan variere i løbet af regnhændelsen.



I tabel 6 er vist zinkkoncentrationer i tilløbet til faskiner før og efter coating af zinktagrender.

⁷ Personlig kommunikation i foråret 2016, Preben Bruun, sagsbehandler, jordforurening, Miljøstyrelsen.

⁸ Udfordringen ved den justerede prøvetagningsmetodik er forsat, at vandet i tilløbet (spanden) primært afspejler koncentrationerne i *last flush*, hvorfor koncentrationer efter forskellige regnhændelser ikke nødvendigvis kan sammenlignes direkte, da det er sandsynligt, at zinkkoncentrationen i tagvandet varierer i løbet af regnhændelsen.

Tabel 6: Zinkkoncentrationer i tilløbet til faskiner før og efter coating af zinktagrender.

	Zink i tagkonstruktion	Før coating Zink *) (µg/l)		Coating	Efter coating Zink *) (µg/l)		
		2013	2014		---	2014A	2014B
Kontrolfaskine	Ingen	15	140	---	35	22	22
Faskine 1	Tagrende og nedløbsrør	3.600	2.200	---	4.500	---	2.600
Faskine 2	Tagrende, nedløbsrør, indfatninger og kvisttag	2.300	480	Flexicoat	3.700	---	5.500
Faskine 3A	Tagrende, nedløbsrør og kvisttag	3.000	920	Flexicoat	6.200	2.200	4.800
Faskine 3B	Tagrende, nedløbsrør og kvisttag	---	---	---	2.800	1.400	3.900

*: Filtrede prøver. ---: Ingen målinger.

Af tabel 6 ses, at der er signifikante udsving i tagvandets zinkindhold fra de forskellige tage og fra samme tag. Dette var ventet, da udfordringen ved prøvetagningsmetoden som nævnt er, at tagvandsprøverne primært afspejler koncentrationerne i *last flush*, hvorfor koncentrationer efter forskellige regnhændelser ikke nødvendigvis kan sammenlignes. Store regnhændelser og høj regnintensitet kan alt andet lige give større variationer hen gennem regnhændelsen⁹. Selv om koncentrationerne fra forskellige regnhændelser ikke direkte kan sammenlignes, så er der ingen af målingerne i tabel 6, der tyder på, at coating af zinktagrender reducerer zinkindholdet i tagvandet signifikant. Dette kan imidlertid skyldes, at zinkindholdet i tagvandet i høj grad stammer fra andre zinkelementer i tagkonstruktionerne (nedløbsrør, indfatninger og/eller kvisttage), og at frigivelsen fra disse elementer sammen med variationer som følge af forskellige regnhændelser, overskygger effekten af coating af zinktagrenderne.

Som opfølgning på forsøgene blev gennemført en række kontrollerede laboratorieforsøg med nye zink- og stålplustagrender hos Rørcentret på Teknologisk Institut. Resultaterne ses i tabel 7.

Tabel 7: Zinkfrigivelse fra nye zink- og stålplustagrender med og uden coating.

	Coating	Prøveudtagning	Zink *) (µg/l)
Zinktagrende	---	Efter ca. 20 sekunder	42
Zinktagrende	---	Efter et par minutter	15
Zinktagrende	Flexicoat	Efter ca. 20 sekunder	2,8
Zinktagrende	Flexicoat	Efter et par minutter	1,2
Stålplustagrende	---	Efter ca. 1 minut	17
Stålplustagrende	Flexicoat	Efter ca. 1 minut	0,56

*: Filtrede prøver.

⁹ Dette bygger på en antagelse om, at der først i regnhændelsen er en mere mobilt zink end sidst i regnhændelsen. Men andre parameter som asynkron udvaskning af sediment fra tagrenden kan også spille en væsentlig rolle.

Af tabel 7 ses, at zinkkoncentrationerne fra de nye zinktagrender uden coating er ca. 100 gange lavere end i tagvandet fra Bangsbo Plads (tabel 6). Den markante forskel kan skyldes forskelligt tagrendefabrikat, at zinkfrigivelsen øges med tagrendernes alder og/eller, at zinkkoncentrationen ved Bangsbo Plads i høj grad bestemmes af andre zinkelementer i tagkonstruktionerne. Af tabel 7 ses ligeledes, at zinkkoncentrationen falder signifikant i vandet efter et par minutter sammenholdt med koncentrationen i vandprøven efter 20 sekunder, hvilket kunne indikere, at der er om højst zinkkoncentrationer under *first flush* (dette blev dog afkræftet ved senere forsøg). Desuden ses, at en ny stålplustagrende kan afgive zink i samme mængder som nye zinktagrender. Endelig ses, at coating med Flexicoat reducerer zinkkoncentrationen signifikant (over en faktor 10).

For at undersøge zinkbidraget fra hhv. tagrender, nedløbsrør, blyindfatninger og kvisttage samt effekten af coating blev gennemført en systematisk undersøgelse af den villa, hvor forsiden af huset er tilkoblet faskine 3A og bagsiden af huset er tilkoblet faskine 3B (jf. tabel 1). Forsiden og bagsiden af huset er næsten ens (kvisten og kvisttaget er dog ca. 30 % større på forsiden af huset). Tagrenden på forsiden af huset var coatet med Flexicoat (jf. tabel 6). Dertil blev kvisttaget på forsiden af huset coatet med Flexicoat. Herefter blev frigivelsen af zink (og bly) fra zinktage på hhv. kviste, blyindfatninger, tagrender og nedløbsrør undersøgt ved manuelt at hælde 1,5 liter regnvand (*first flush*) på - og opsamle regnvand separat fra - de enkelte bygningsdele på begge husets sider. Forsøget blev senere gentaget for tagrender og nedløbsrør. Regnvandet blev påhældt, så det passerede mindst den halve bygningsdels længde (vandet blev påhældt midt på tagrenden). Tabel 8 viser resultaterne fra undersøgelsen af zink og blyfrigivelsen fra de enkelte bygningsdele.

Tabel 8: Undersøgelse af zink og blyfrigivelsen fra de enkelte bygningsdele.

Coating			Zink *) (µg/l)		Bly *) (µg/l)	
			2014	2015	2014	2015
Forsiden af huset	Zinktag på kvist	Flexicoat	190	---	170	---
	Blyindfatning	---	410	---	1.700	---
	Zinktagrende	Flexicoat	1.300	480	430	84
	Zinknedløbsrør	---	1.500	2.400	87	260
Bagsiden af huset	Zinktag på kvist	---	550	---	21	---
	Blyindfatning	---	110	---	1.100	---
	Zinktagrende	---	4.400	4.900	82	270
	Zinknedløbsrør	---	1.800	1.900	53	62
Anvendt regnvand	Fra plasttag og plasttagrende		14	4,3	0,73	0,21

*: Filtrede prøver. ---: Ingen målinger

Af tabel 8 ses, at zink primært frigives fra bygningsdele i zink (kvisttage, tagrender og nedløbsrør) og bly primært frigives fra blyindfatninger. Der ses dog også en signifikant frigivelse af bly fra bygningsdele i zink og frigivelse af zink fra blyindfatninger. Dette kan skyldes krydsforurening af bygningsdele fra ovenliggende bygningsdele og/eller atmosfærisk afsætning. Der måles markant mindre zinkkoncentration fra det coatede kvisttag og den coatede tagrende sammenholdt med de tilsvarende bygningsdele uden coating. Dette indikerer, ligesom forsøgene fra Teknologisk Institut (jf. tabel 7), at coating reducerer frigivelsen af zink. Frigivelsen af zink fra nedløbsrørene viser imidlertid også, at disse kan være en væsentlig kilde til zink i tagvand. Endelig ses, at selv coatede zinktagrender kan frigive relativt høje koncentrationer af zink (500-1.500 µg/l). Det skal dog fremhæves, at ovenstående koncentrationer er resultatet af en regnhændelse på kun 1,5 liter på hver af de undersøgte bygningsdele, hvorved krydsforurening fra ovenliggende bygningsdele og/eller atmosfærisk

afsætning kan bidrage markant til de målte koncentrationer. Samtidig burde 1,5 liter fungere som *first flush* og derved teoretisk set kunne give højest koncentrationer. Af tabel 8 ses dog, at 2015-målingerne (*first flush*; 1,5 liter vand) ikke er signifikant højere end tidligere 2014-målingerne efter større regnhændelser (*last flush*; vandprøver opsamlet i spand), hvilket ikke bekræfter hypotesen om, at *first flush* indeholder højest metalkoncentrationer.

Konklusion

Nedenstående konklusioner er udelukkende baseret på målinger fra tage og tagbelægninger samt faskiner i lerjord ved fire villaer, hvilket skal holdes in mente ved anvendelse af konklusionerne. Yderligere undersøgelser er nødvendige, hvis resultaterne skal anvendes mere generelt.

De gennemførte undersøgelser viser at:

- 1) Tagvand kan indeholde væsentlige mængder zink, bly, organisk stof og E. coli. Men der blev ikke målt forurening med PAH'er, selv om der var et tagpaptag med i undersøgelsen.
- 2) Zink stammer primært fra zinkkonstruktioner (tage, indfatninger, tagrender og nedløbsrør), mens bly hovedsageligt stammer fra blyindfatninger.
- 3) Zink, bly og E.coli fjernes effektivt i de anlagte faskiner.
- 4) Afløbskoncentrationerne af bly og zink fra faskinerne anses ikke for at udgøre en risiko i forhold til grundvandsforurening. Akkumuleringen af zink kan imidlertid udgøre en risiko for jordforurening. Særligt hvis zink akkumuleres i eller umiddelbart under faskinerne.
- 5) Laboratorieforsøg viste, at de undersøgte nye zinktagrender frigiver ca. 100 gange mindre zink end de undersøgte zinktagrender ved de fire villaer, der deltog i projektet.
- 6) Coating af zinktagrender (og zinktage) reducerer zinkfrigivelsen signifikant (men ikke til et lavt niveau). Men også bygningens øvrige zinkkonstruktioner (f.eks. nedløbsrør) kan bidrage markant til forurening af tagvandet med zink.
- 7) *First flush* ikke nødvendigvis giver højere metalkoncentrationer end *last flush*.

Alt i alt konkluderes, at zinkfrigivelse fra tagkonstruktioner på lang sigt kan udgøre et problem i forhold til lokal jordforurening ved nedsivning af tagvand i faskiner. Myndigheder bør derfor stille krav til f.eks. coating af zinkkonstruktioner før der gives nedsivningstilladelse til faskiner.

Bilag 1: Testfaskiner

De fem testfaskiner til tagvand blev etableret af Ecocon Miljø i fire villahaver ved Bangsbo Plads i Vanløse. Faskinerne blev finansieret af Københavns Kommune, Vanløse Lokaludvalg, Ecocon Miljø og af delvis refusion af villaernes tilslutningsbidrag fra HOFOR. Faskinerne blev etableret i efteråret 2013 i tæt samarbejde med Teknologisk Institut og Grundejeren.dk.

Tagvand

Et af hovedformålene med testfaskinerne var at undersøge tilledningen af bakterier, tjærestoffer og tungmetaller fra forskellige typer tage og tagrender samt fjernelse af disse kontaminanter i leret under faskinerne. Faskinernes placering blev derfor valgt ud fra tagbelægninger og tagrender, så faskinerne modtog tagvand fra huse med forskellige karakteristika (se tabel I).

Tabel I: Tagbelægninger og tagrender tilkøbet faskinerne.

	Tagrende	Tag	Indfatninger	Tag på kvist
Kontrolfaskine	Plast	Tegl	---	---
Faskine 1	Zink	Tegl & Tagpap ¹⁾	Bly ²⁾	---
Faskine 2	Zink	Skiffer	Zink	Zink
Faskine 3A ³⁾	Zink	Tegl	Bly ⁴⁾	Zink
Faskine 3B ³⁾	Zink	Tegl	Bly ⁴⁾	Zink

1) Tegl på hustag og ca. 10 år gammelt tagpap på skur. 2) Kun mindre blyindfatninger omkring skorsten.

3) Faskine 3A og 3B er separate faskiner tilkøbet hhv. forsiden og bagsiden af samme villa.

4) Omfattende blyindfatninger ned langs kvistene.

Faskiner

Faskinerne blev dimensioneret til at kunne magasinere et voldsomt sommerskybrud på 65 mm. Dvs. dimensioneret med omkring 6,5 m³ hulrumsvolumen pr. 100 m² tagareal. Faskinerne incl. rør og sandfang blev anlagt efter gældende normer og standarder. Der blev brugt RIGO-fill faskine- blokke (800·800·663, mm) med 96 % hulrum (omkring 0,4 m³ hulrum pr. faskineblok) indpakket i TyparSF27 fiberduk. Der blev sat to pejlerør i faskinerne til kontinuerlige og manuelle pejlinger af vandstanden. Omkring anlægsdelene blev udlagt ca. 10 cm sand. Et af hovedformålene var at undersøge infiltrationshastigheder i moræneler. Derfor blev faskinebunden placeret ca. 1 m under terræn, så toppen af faskinerne flugtede med muldlaget dvs. faskinerne var anlagt nede i leren. Omkostningerne pr. faskine (incl. 2 stk. autoriseret kloakafpropning) var ca. 75.000 kr pr. 100 m² tagareal (2 nedløbsrør). Anlægsdata for faskinerne er gengivet i tabel II.

Tabel II: Anlægsdata for faskiner.

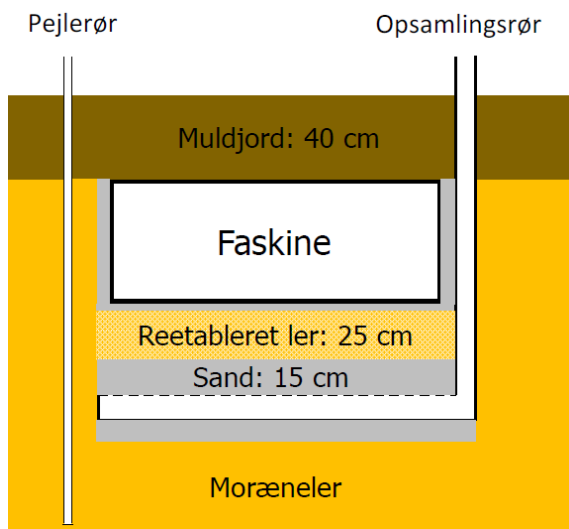
	Tilkøbet tag (m ²)	Faskine (b·l·h, m)	Hulrum (m ³)	Hulrum (m ³) pr. 100 m ² tag
Kontrolfaskine	100	1,6 · 6,4 · 0,66	6,4	6,4
Faskine 1	130	1,6 · 8,8 · 0,66	8,8	6,7
Faskine 2	30	0,8 · 4,0 · 0,66	2	6,7
Faskine 3A	50 (25) ^{a)}	0,8 · 4,0 · 0,66	2	4,0 (8) ^{a)}
Faskine 3B	50 (75) ^{a)}	1,6 · 4,8 · 0,66	4,8	9,6 (6,4) ^{a)}

a) Parenteser angiver det forventede efter montering af ekstra nedløbsrør. Disse er dog (pr. 15/12 2015) ikke etableret.

Prøvetagning

For at undersøge fjernelse af kontaminanter i leret under faskinerne blev der anlagt opsamlingsrør til prøvetagning ca. ½ m under fire af de fem faskiner (en ved hver villa). Princippet ses i figur I.

Figur I: Principskitse af faskine med opsamlingsrør.



Opsamlingsrøret blev slidset i toppen, pakket ind i fiberdug og anlagt i en rende midt under faskinen. Over opsamlingsrøret blev lagt ca. 15 cm sand, hvorefter lermatricen på bedste vis blev forsøgt genetableret ved at fylde renden med opslemmet ler fra udgravningen. Før opfyldning med ler blev rendens sider børstet grundigt af for at undgå sandlommer (se foto).

Foto: Nedlægning af opsamlingsrør til prøvetagning.



Før prøvetagning blev opsamlingsrøret og faskinens sandfang tømt for vand. Via pejlinger i pejle-røret blev sikret, at grundvandsstanden var min. ½ m under opsamlingsrøret. Efter næste regnskyl blev igen sikret, at grundvandsstanden forsat var min. ½ m under opsamlingsrøret, hvorved vandet i røret stammer fra faskinen. Der blev taget prøver fra sandfang (tilløb) og opsamlingsrør (afløb efter passage af ca. 25 cm reetableret moræneler samt afdækningssand). Efter coating af tagrender i sommeren 2014 blev tilløbsprøver taget i plastspande hængt lige under indløbet i sandfangene. Af uforklarlige årsager var der ikke vand i opsamlingsrøret i faskine 2 ved prøvetagning, hvorfor afløbsprøver fra faskine 2 måtte droppes. Analyser blev udført af akkrediterede miljølaboratorier.

Bilag 2: Analyseresultater



ALS Denmark A/S
Bakkegårdsvej 406 A
DK-3050 Humlebæk
Telefon: +45 4925 0770
www.alsglobal.dk

NORRECCO A/S
H-Vej
2300 København
Att.: NORRECCO A/S

ANALYSERAPPORT

Udskrevet: 19-12-2013
Version: 1
Modtaget: 10-12-2013
Påbegyndt: 10-12-2013
Ordrenr.: 250777

Sagsnavn: Bangsbo Plads 59
Lokalitet: Bangsbo Plads 59
Prøvested:
Udtaget: 10-12-2013
Prøvetype: Vand
Prøvetager: Lab/JBE
Kunde: NORRECCO A/S, H-Vej, 2300 København

Prøvenr.:	130454/13	130455/13	130456/13	130457/13	130458/13		
Prøve ID:	Bangsbo Plads 70, udløb	Bangsbo Plads 70, indløb	Klausholmvej 30, udløb	Klausholmvej 30, indløb	Bangsbo Plads 59, udløb		
Kommentar	*1	*1	*2	*1	*1		
Parameter						Enhed	Metode
Escherichia coli	<1	>300	-	>300	<1	Pr. 100 ml	DS/EN ISO 9308-1
pH	7.4	7.3	-	7.8	7.0	pH	DS/EN ISO 10523
Suspenderede stoffer	630	2.5	-	2.1	2.4	mg/l	DS 207(DS/EN 872)
COD iltforbrug m. dichromat	130	17	-	7.4	15	mg/l	ISO 15705
Bly, Pb, filt F	0.56	8.8	-	0.39	1.2	µg/l	ICP/MS
Cadmium, Cd, filt F	0.11	0.12	-	0.11	0.073	µg/l	ICP/MS
Chrom, Cr, filt	0.14	0.20	-	0.10	0.11	µg/l	ICP/MS
Kobber, Cu, filt F	2.1	4.4	-	5.8	2.4	µg/l	ICP/MS
Zink, Zn, filt F	88	3600	-	2300	29	µg/l	ICP/MS
Kulbrintefraktionering							
PAH'er vandforsyning, 6 komp.							
Fluoranthen	<0.010	<0.010	-	0.014	0.012	µg/l	GC/MS/SIM
Benzo(b+h)fluoranthener	<0.010	<0.010	-	<0.010	<0.010	µg/l	GC/MS/SIM
Benzo(a)pyren	<0.010	<0.010	-	<0.010	<0.010	µg/l	GC/MS/SIM
Indeno(1,2,3-cd)pyren	<0.010	<0.010	-	<0.010	<0.010	µg/l	GC/MS/SIM
Benzo(ghi)perylene	<0.010	<0.010	-	<0.010	<0.010	µg/l	GC/MS/SIM
PAH, sum (4 komp. if. bek. 1024)	i.p.	i.p.	-	i.p.	i.p.	µg/l	GC/MS/SIM
PAH, sum (MST - 6 komp.)	i.p.	i.p.	-	0.014	0.012	µg/l	GC/MS/SIM
Kulbrinter i vand							
Kulbrinter n-C6 - n-C10	#	i.p.	i.p.	-	i.p.	µg/l	GC/FID/pentan
Kulbrinter >n-C10 - n-C25	#	i.p.	i.p.	-	i.p.	µg/l	GC/FID/pentan
Kulbrinter >n-C25 - n-C35	#	i.p.	i.p.	-	i.p.	µg/l	GC/FID/pentan
Total kulbrinter	<5.0	<5.0	-	<5.0	<5.0	µg/l	GC/FID/pentan

side 1 af 2

Laboratoriet er akkrediteret af DANAK. Analyseresultaterne gælder kun for de(n) analyserede prøve(r).
Analyserapporten må kun gengives i sin helhed, med mindre skriftlig godkendelse foreligger.
Oplysninger om måleusikkerhed findes på www.alsglobal.dk

Tegnforklaring:
#. Ikke akkrediteret
<: mindre end >: Større end

RIGHT SOLUTIONS | RIGHT PARTNER



ALS Denmark A/S
Bakkegårdsvej 406 A
DK-3050 Humlebæk
Telefon: +45 4925 0770
www.alsglobal.dk

ANALYSERAPPORT

Prøvenr.:	130459/13	130460/13	130461/13		
Prøve ID:	Bangsbo Plads 59, indløb	Bangsbo Plads 45, indløb	Bangsbo Plads 45, udløb		
Kommentar	*1	*1	*1		
Parameter				Enhed	Metode
Escherichia coli	<1	>300	<1	Pr. 100 ml	DS/EN ISO 9308-1
pH	7.4	7.1	7.2	pH	DS/EN ISO 10523
Suspenderede stoffer	8.6	<0.2	390	mg/l	DS 207(DS/EN 872)
COD iltforbrug m. dichromat	9.9	5.5	43	mg/l	ISO 15705
Bly, Pb, filt F	0.47	48	0.42	µg/l	ICP/MS
Cadmium, Cd, filt F	0.12	0.068	0.35	µg/l	ICP/MS
Chrom, Cr, filt	0.039	0.21	0.014	µg/l	ICP/MS
Kobber, Cu, filt F	2.4	2.6	2.7	µg/l	ICP/MS
Zink, Zn, filt F	15	3000	35	µg/l	ICP/MS
Kulbrintefraktionering				-	GC/FID/MS pentan
PAH'er vandforsyning, 6 komp.				-	-
Fluoranthen	<0.010	0.021	<0.010	µg/l	GC/MS/SIM
Benzo(b+j+k)fluoranthener	<0.010	<0.010	<0.010	µg/l	GC/MS/SIM
Benzo(a)pyren	<0.010	<0.010	<0.010	µg/l	GC/MS/SIM
Indeno(1,2,3-cd)pyren	<0.010	<0.010	<0.010	µg/l	GC/MS/SIM
Benzo(ghi)perylene	<0.010	<0.010	<0.010	µg/l	GC/MS/SIM
PAH, sum (4 komp. jf. bek. 1024)	i.p.	i.p.	i.p.	µg/l	GC/MS/SIM
PAH, sum (MST - 6 komp.)	i.p.	0.021	i.p.	µg/l	GC/MS/SIM
Kulbrinter i vand				-	GC/FID/pentan
Kulbrinter n-C6 - n-C10	#	i.p.	i.p.	µg/l	GC/FID/pentan
Kulbrinter >n-C10 - n-C25	#	i.p.	i.p.	µg/l	GC/FID/pentan
Kulbrinter >n-C25 - n-C35	#	i.p.	i.p.	µg/l	GC/FID/pentan
Total kulbrinter	<5.0	<5.0	<5.0	µg/l	GC/FID/pentan

Kommentar

*1 Ingen kommentar

*2 Der er ikke noget vand til dette prøvenummer

Trine Kornbeck



ALS Denmark A/S
Bakkegårdsvej 406 A
DK-3050 Humlebæk
Telefon: +45 4925 0770
www.alsglobal.dk

ANALYSERAPPORT

NORRECCO A/S
H-Vej
2300 København
Att.: NORRECCO A/S

Udskrevet: 10-07-2014
Version: 1
Modtaget: 08-07-2014
Påbegyndt: 08-07-2014
Ordrenr.: 268082

FORELØBIGE RESULTATER

Sagsnavn: NORRECCO
Lokalitet: Bangsbo Plads 59
Prøvested:
Udtaget: 08-07-2014
Prøvetype: Vand
Prøvetager: LAB/JBE
Kunde: NORRECCO A/S, H-Vej, 2300 København

Prøvenr.:	81432/14	81433/14	81434/14	81435/14	81436/14		
Kommentar	*1	*1	*1	*1	*1		
Parameter						Enhed	Metode
Escherichia coli	>300	<1	>300		>300	CFU/100 ml	DS/EN ISO 9308-1
pH	7.5	6.5	6.8		6.5	pH	DS/EN ISO 10523
Suspenderede stoffer	35	9.4	4.3		17	mg/l	DS 207(DS/EN 872)
COD iltforbrug m. dichromat	8.2	34	17		20	mg/l	ISO 15705
Bly, Pb filt	*	*	*	*	*	µg/l	ICP/MS ISO 17294:2
Cadmium, Cd, filt	*	*	*	*	*	µg/l	ICP/MS ISO 17294:2
Chrom, Cr, filt	*	*	*	*	*	µg/l	ICP/MS ISO 17294:2
Kobber, Cu, filt	*	*	*	*	*	µg/l	ICP/MS ISO 17294:2
Zink, Zn, filt	*	*	*	*	*	µg/l	ICP/MS ISO 17294:2
Kulbrintefraktionering	*	*	*	*	*	-	GC/FID/MS pentan
PAH'er vandforsyning, 6 komp.	*	*	*	*	*	-	-
Fluoranthen	*	*	*	*	*	µg/l	GC/MS/SIM
Benzo(b+h+k)fluoranthener	*	*	*	*	*	µg/l	GC/MS/SIM
Benz(a)pyren	*	*	*	*	*	µg/l	GC/MS/SIM
Indeno(1,2,3-cd)pyren	*	*	*	*	*	µg/l	GC/MS/SIM
Benzo(ghi)perylene	*	*	*	*	*	µg/l	GC/MS/SIM
PAH, sum (4 komp. if. bek. 1024)	*	*	*	*	*	µg/l	GC/MS/SIM
PAH, sum (MST - 6 komp.)	*	*	*	*	*	µg/l	GC/MS/SIM
Kulbrinter i vand	*	*	*	*	*	-	GC/FID/pentan
Kulbrinter n-C6 - n-C10	#	*	*	*	*	µg/l	GC/FID/pentan
Kulbrinter >n-C10 - n-C25	#	*	*	*	*	µg/l	GC/FID/pentan
Kulbrinter >n-C25 - n-C35	#	*	*	*	*	µg/l	GC/FID/pentan
Total kulbrinter	*	*	*	*	*	µg/l	GC/FID/pentan

side 1 af 2

Laboratoriet er akkrediteret af DANAK. Analyseresultaterne gælder kun for de(n) analyserede prøve(r).
Analyserapporten må kun gengives i sin helhed, medmindre skriftlig godkendelse foreligger.
Oplysninger om måleusikkerhed findes på www.alsglobal.dk

Tegnforklaring:
#: Ikke akkrediteret
<: mindre end >: Større end

RIGHT SOLUTIONS | RIGHT PARTNER



ALS Denmark A/S
Bakkegårdsvej 406 A
DK-3050 Humlebæk
Telefon: +45 4925 0770
www.alsglobal.dk

ANALYSERAPPORT

Prøvenr.:	81437/14	81438/14	81439/14		
Kommentar	*1	*1	*1		
Parameter				Enhed	Metode
Escherichia coli	12	<1	>300	CFU/100 ml	DS/EN ISO 9308-1
pH	7.5	7.5	6.7	pH	DS/EN ISO 10523
Suspenderede stoffer	560	82	8.0	mg/l	DS 207(DS/EN 872)
COD iltforbrug m. dichromat	*100	9.7	40	mg/l	ISO 15705
Bly, Pb filt	*	*	*	µg/l	ICP/MS ISO 17294:2
Cadmium, Cd, filt	*	*	*	µg/l	ICP/MS ISO 17294:2
Chrom, Cr, filt	*	*	*	µg/l	ICP/MS ISO 17294:2
Kobber, Cu, filt	*	*	*	µg/l	ICP/MS ISO 17294:2
Zink, Zn, filt	*	*	*	µg/l	ICP/MS ISO 17294:2
Kulbrintefraktioner	*	*	*	-	GC/FID/MS pentan
PAH'er vandforsyning, 6 komp.	*	*	*	-	-
Fluoranthen	*	*	*	µg/l	GC/MS/SIM
Benzo(b+j+k)fluoranthener	*	*	*	µg/l	GC/MS/SIM
Benzo(a)pyren	*	*	*	µg/l	GC/MS/SIM
Indeno(1,2,3-cd)pyren	*	*	*	µg/l	GC/MS/SIM
Benzo(ghi)perylene	*	*	*	µg/l	GC/MS/SIM
PAH, sum (4 komp. jf. bek. 1024)	*	*	*	µg/l	GC/MS/SIM
PAH, sum (MST - 6 komp.)	*	*	*	µg/l	GC/MS/SIM
Kulbrinter i vand	*	*	*	-	GC/FID/pentan
Kulbrinter n-C6 - n-C10	#	*	*	µg/l	GC/FID/pentan
Kulbrinter >n-C10 - n-C25	#	*	*	µg/l	GC/FID/pentan
Kulbrinter >n-C25 - n-C35	#	*	*	µg/l	GC/FID/pentan
Total kulbrinter	*	*	*	µg/l	GC/FID/pentan
Kommentar					

*1 Ingen kommentar

Bilag 3: Akkumulering af metaller

Bilaget indeholder beregninger af akkumuleringen af bly og zink i jorden omkring en faskine tilkoblet et tag med blyindfatninger og zinktagrender jf. de udførte målinger i tabel 2 og 3.

Antagelser:

Zinkindholdet i tilløbet til faskinen er i gennemsnit 3.000 µg/l (3.000 mg/m³).

Blyindholdet i tilløbet til faskinen er i gennemsnit 40 µg/l (40 mg/m³).

Den årlige nedbør er 700 mm/år (0,7 m/år).

Der regnes på en faskine tilsluttet 100 m² tag.

Faskinen er i drift i 30 år.

Faskinen har en bredde på 1,6 m og en længde på 6,4 m.

Zink akkumuleres til 1 meter under faskinen og ½ meter omkring faskinens underste ½ m.

Jorden antages at have en densitet (tørstof) på 1,5 ton/m³.

Tilledning af tungmetaller:

Tilledt zink på 30 år: $3.000 \text{ mg/m}^3 * 0,7 \text{ m/år} * 100 \text{ m}^2 * 30 \text{ år} = \underline{6,3 \text{ kg zink}}$ (6.300.000 mg)

Tilledt bly på 30 år: $40 \text{ mg/m}^3 * 0,7 \text{ m/år} * 100 \text{ m}^2 * 30 \text{ år} = \underline{0,084 \text{ kg bly}}$ (84.000 mg)

Metallerne fordeles i følgende mængde jord:

Volumen af jord: $1,6 \text{ m} * 6,4 \text{ m} * 1 \text{ m} + 2 * 6,4 \text{ m} * \frac{1}{2} \text{ m} * \frac{1}{2} \text{ m} + 2 * 1,6 \text{ m} * \frac{1}{2} \text{ m} * \frac{1}{2} \text{ m} \approx \underline{14 \text{ m}^3 \text{ jord}}$

Vægt af jord: $14 \text{ m}^3 * 1,5 \text{ ton/m}^3 = \underline{21 \text{ ton jord}}$ (21.000 kg)

Akkumulering i jorden grundet tilledt tagvand:

Akkumulering af zink i jorden: $6.300.000 \text{ mg zink} / 21.000 \text{ ton jord} = \underline{300 \text{ mg zink /kg}}$

Akkumulering af bly i jorden: $84.000 \text{ mg bly} / 21.000 \text{ ton jord} = \underline{4 \text{ mg bly /kg}}$.

Følsomhedsanalyse

De primære usikkerheder ligger i den gennemsnitlige koncentration af zink og bly i tagvandet samt hvor meget jord metallerne fordeles i under og omkring faskinen, hvoraf den sidste usikkerhed er den største. Hvis metallerne f.eks. bindes til organisk stof i faskinen og således akkumuleres i slammet på bunden af faskinen, så kan der opstå meget højere koncentrationer af metaller i slammet end beregnet ovenfor. Til gengæld vil det være forholdsvis let at fjerne slammet og derved forureningen ved opgravning af faskinen. Endelig er ikke taget højde for, at jorden allerede kan indeholde bly og zink, hvorved yderligere tillædning kan være problematisk i forhold til de eksisterende grænseværdier for jordforurening (jf. tabel 5).