



Potentiel udvaskning af problematiske stoffer i forbindelse med nyttiggørelse af nedknuste bølge- eternitplader uden asbest

Udgiver: Miljøstyrelsen

Redaktion:

Dorte Harrekilde, Rambøll Danmark A/S

Anette Specht, Rambøll Danmark A/S

ISBN: 978-87-7038-156-7

Miljøstyrelsen offentliggør rapporter og indlæg vedrørende forsknings- og udviklingsprojekter inden for miljøsektoren, som er finansieret af Miljøstyrelsen. 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.

Må citeres med kildeangivelse

Indhold

1.	Indledning	4
1.1	Baggrund	4
1.2	Formål	4
1.3	Afgrænsning	5
1.4	Fremgangsmåde	5
2.	Basismaterialer i fibercement	7
2.1	Produktion	7
2.2	Cement	8
2.3	Fyldstoffer	9
2.4	Fibre	10
2.4.1	Procesfibre	10
2.4.2	Armeringsfibre	10
2.5	Overfladebehandling	10
2.6	Øvrigt	11
3.	Problematiske stoffer i tagplader	12
3.1	Uorganiske stoffer	12
3.2	Organiske stoffer	14
4.	Udvaskning af problematiske stoffer fra tagplader	16
4.1	Litteratursøgningen	16
4.2	Udvaskningsprocesser i tagplader / fibercement	16
4.3	Udvaskning af uorganiske stoffer fra tagplader	18
4.4	Udvaskning af organiske stoffer fra tagplader	21
4.5	Ekstrapolation fra viden om udvaskning fra nedknust beton	22
5.	Teknisk nyttiggørelse af bølge-eternittagplader	23
5.1	Nyttiggørelse ved anlægsarbejder	23
5.2	Nyttiggørelse i konstruktionsprodukter	24
6.	Anbefalinger vedrørende nyttiggørelse af nedknuste bølge-eternittagplader	26
6.1	Vidensgrundlag	26
6.2	Nyttiggørelse i praksis	26
7.	Referencer	28

1. Indledning

1.1 Baggrund

Eternitplader fremstilles af fibercement, som er et sammensat konstruktionsmateriale bestående af cement, fyldstof og fibre. Pladerne kan være bølgeformede eller flade og benyttes primært som tagplader og i mindre omfang som facadebeklædning.

Produktionen af eternitplader i Danmark startede i slutningen af 1920'erne. I dag er der to producenter på det danske marked, men de får udelukkende produceret pladerne i udlandet. Ifølge Danmarks Statistik er der i perioden 2007 til 2017 årligt i gennemsnit importeret ca. 100.000 ton bølgeplader af cellulosecement eller lignende uden indhold af asbest.

I de første eternitplader blev der anvendt asbestfibre. Asbest er kun farligt, hvis det asbestholdige materiale beskadiges, og der derved frigives asbestholdigt støv til luften. Det kan være skadeligt at indånde asbestholdigt støv. I Danmark anvendtes asbest i eternitplader frem til slutningen af 1980'erne, hvorefter asbestfibre blev erstattet af andre typer fibre. Asbestholdige plader har en levetid på 50-100 år, mens de asbestfrie har en væsentlig kortere levetid. Det betyder, at der i dag udskiftes plader af begge typer.

Asbestholdige plader skal altid deponeres, mens de asbestfrie eventuelt kan nyttiggøres, såfremt de ikke indeholder andre problematiske stoffer, der kan udgøre en miljømæssig risiko. Nyttiggørelse af nedknuste plader som erstatning for primære råstoffer ved anlægsarbejde kan bidrage væsentligt til den cirkulære økonomi. Udover besparelsen på primære råstoffer kan der spares på den høje CO₂-udledning forbundet med at fremstille cementen til pladerne. Der til er der væsentlige omkostninger forbundet med unødigt deponering af asbestfriplader, lige som der ses en stigende tendens til, at pladerne efterlades uhensigtsmæssige steder.

Det er Kommunalbestyrelsen, der afgør, om et stof eller en genstand er affald. Det er ligeledes Kommunalbestyrelsen, der, såfremt det kan godtgøres, at affaldet er egnet hertil, afgør om affaldet kan klassificeres til materialenyttiggørelse.

Hidtil har man typisk af forsigtighedshensyn valgt at deponere alle eternitplader, fordi det visuelt er vanskeligt at afgøre om pladerne indeholder asbest. Ifølge Miljøstyrelsens affaldsdatabase deponeres årligt omkring 100.000 tons affald, der er klassificeret asbestholdigt. Det registreres ikke, i hvilket omfang dette omfatter tagplader, eller hvorvidt det registrerede affald reelt indeholder asbest eller ej.

Der er således behov for at udvide grundlaget for eventuel nyttiggørelse af asbestfrie eternitplader. Den manglende viden handler blandt andet om sontring mellem asbestfrie og asbestholdige plader, potentiel udvaskning af miljøfremmede stoffer fra asbestfrie plader samt pladernes tekniske egnethed i forskellige former for nyttiggørelse.

1.2 Formål

Formålet med projektet er at få afklaret, om det på grundlag af eksisterende viden kan vurderes, om der vil være en uacceptabel udvaskning af problematiske stoffer ved nyttiggørelse af nedknuste asbestfrie eternitplader som erstatning for primære råstoffer ved anlægsarbejde.

der. Der skal dermed skabes overblik over indholdsstoffer i de basismaterialer, der indgår i fibercement, samt indholdsstoffernes potentielle miljøpåvirkning. Herunder skal det vurderes, om der kan ekstrapoleres fra tilsvarende viden vedrørende beton og tegl.

Det skal endvidere afklares, om eternitplader rent teknisk kan nyttiggøres på samme måde, som anden beton bliver nyttiggjort, ligesom eventuelt andre muligheder for nyttiggørelse skal kortlægges.

Projektets resultat skal danne udgangspunkt for udvide vidensgrundlaget for håndtering, behandling, samt evt. anvendelsesmuligheder for den del af tagpladerne, der ikke indeholder asbest.

1.3 Afgrænsning

Der er alene tale om et litteraturstudie. Der er dermed udelukkende søgt i eksisterende publikationer samt blandt den viden og erfaring, som har kunne hentes fra fagfolk.

Eternitprodukter omfatter både tagplader og facadebeklædning, hvoraf tagpladerne er de mest almindelige. De fleste plader er bølgeformede, men kan også forekomme flade. Dog er alle produkter uanset form og anvendelse lavet af fibercement, og det er dette materiale i bred forstand, der behandles i projektet.

For vurdering af egenskaber i forhold til teknisk nyttiggørelse er der foretaget en udvidelse i forhold til oprindeligt opdrag, som udelukkende omfattede anlægsarbejder. Således er der også redegjort for anvendelse i nye konstruktionsmaterialer. Det skyldes, at erfaring med at bruge eternit i anlægsarbejder er meget begrænset, mens der tilsyneladende er større opmærksomhed omkring produktion.

Der er kendskab til at eternitprodukter anvendes i anlæg uden fast belægning, så som ridebaner, MTB-baner og lignende. Disse typer af anlæg anvendes til støvskabende aktiviteter, som kan omfatte sundhedsmæssige risici, der ikke er beskrevet i projektet. Projektet favner derfor alene anlæg med overliggende fast belægning.

Projektet behandler kun eternitplader *uden asbest*. Sondringen mellem asbestholdige og asbestfri plader er afgørende for eventuel genanvendelse af asbestfri plader, men det emne behandles i parallelle studier bl.a. under Miljøstyrelsen.

1.4 Fremgangsmåde

Miljøstyrelsen har gennemført en række studier om mulighederne for genanvendelse af nedknust beton og tegl. Nærværende projekt er et litteraturstudie, og det tager udgangspunkt i de tre miljøprojekter om beton og tegl:

- Miljøprojekt 1806, 2015. Forurenende stoffer i beton og tegl.
- Miljøprojekt 1991, 2018. Forekomst og udvaskning af problematiske stoffer i knust beton og tegl.
- Miljøprojekt 2055, 2018: Modellering af udvaskning af problematiske stoffer fra beton og tegl.

Supplerende viden er søgt gennem:

- Deklarationer, godkendelser og datablade fra danske eternitproducenter.
- Artikler fra offentligt tilgængelige databaser (hovedsageligt engelske).
- Fagspecifikke rapporter fra forskningsinstitutioner og myndigheder.
- Erfaringsbaseret viden fra erhvervet (producenter, affaldsselskaber og entreprenører).

For at skabe en overordnet forståelse af fibercement, er der i kapitel 2 redegjort for produktets basismaterialer: Bindemiddel, fyldstoffer, fibre og eventuel overfladebehandling.

Herefter er der opstillet en oversigt over indholdsstoffer i eternitplader samt stoffernes fysiske/kemiske egenskaber og toksikologiske og økotoxikologiske data. Da cement indgår som hovedbestanddel i både beton og eternit, tager en del af denne oversigt udgangspunkt i ovennævnte miljøprojekter. Resterende dele af overblikket er skabt ved øvrige kilder. For indholdsstoffer som går igen i begge produkter sammenlignes faststofindhold, sammensætning, struktur og binding. Herudfra vurderes, om udvaskningspotentialet fra eternit kan forventes at være sammenligneligt med udvaskningen fra beton. For alle stoffer er der desuden søgt efter forskningsresultater, der omhandler udvaskning af fibercement, relaterede produkter eller dele af fibercement. Overblik over problematiske stoffer samt redegørelse for udvaskning af problematiske stoffer findes i kapitel 3 og 4.

For en vurdering af eternits tekniske egenskaber i forhold til nyttiggørelse er udover granskning af publicerede studier taget kontakt til branchefolk og myndigheder både i Danmark og i landene omkring os, særligt i Belgien, Holland og Tyskland. Tilgængelig viden på området er gengivet i kapitel 5.

I kapitel 6 sammenfattes den viden om bølgeeternitplader, som er kommet frem i forbindelse med projektet.

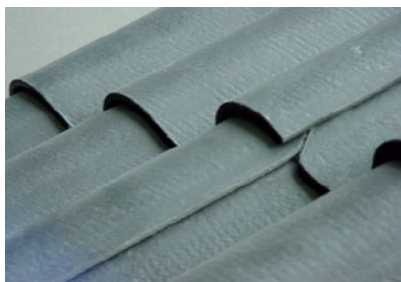
2. Basismaterialer i fibercement

2.1 Produktion

Udgangspunktet for produktion af fibercement er en vandig opslæmning af cement, fyldstoffer og fibre. Opslæmningen gennemgår en proces bestående af dehydrering og formning af plader, hvorefter pladerne hærdes ved hydrering. Nogle produkter får en afsluttende overfladebehandling.

Dehydrering og formning sker typisk ved Hatschek-metoden. Den omfatter roterende sier, som opsamler fine lag af fibercement fra den samlede opslæmning. Disse lag stemples herefter til prædefinerede tykkelser og forme.

Fibercement bruges både i facadebeklædning og tagbeklædning. Som tagbeklædning fremstilles både bølgeplader og flade plader i tykkelser på 4-12 mm.



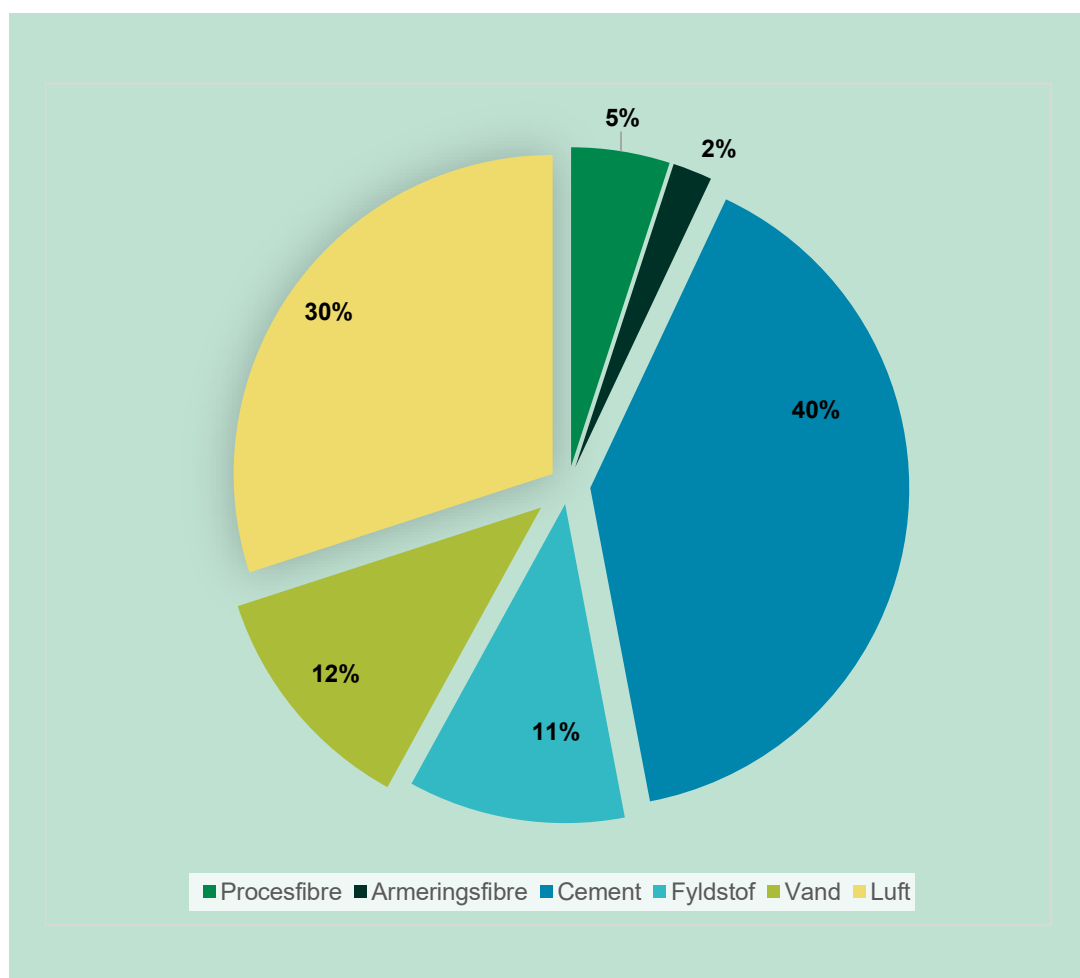
Hærdning sker ved hydrering gennem lufttørring i 21 dage, alternativt i autoklaver i 12 timer. Den valgte metode influerer på indhold af for eksempel cellulose og flyveaske i det færdige produkt. Det vurderes dog irrelevant i forhold til nærværende undersøgelse, dels er der tale om mindre variationer, dels kan hærdningsmetoden ikke spores i praksis i forbindelse med nedtagning af plader.

Hydreringen fortsætter længe efter, at tagpladerne er blevet etableret. Der sker også løbende CO₂-optag fra atmosfæren og deraf følgende karbonisering. Denne reaktion er mere udtalt på fibercementprodukter end på beton- og mørtelprodukter, dels fordi fibercementprodukterne er tynde, og dels fordi de grundet cellulosefibrene er signifikant mere porøse dvs. at karboniseringen nemmere kan ske i hele pladens tykkelse. Omfanget af hydrering og karbonisering afhænger bl.a. af råmaterialer og den lokale atmosfære.

Af Miljøprojekt 1806 (2015) om forurenende stoffer i beton og tegl fremgår en lang række hjælpestoffer, som anvendes i betonindustrien. Der er ikke kendskab til, at der indgår hjælpestoffer i produktion af fibercementplader, der anvendes i Danmark, jf. produktblade fra Cembrit og ETEX (Cembrit Holding A/S (2012), Eternit AG (2013)).

Den relative sammensætning af basiselementer varierer fra produkt til produkt, men fælles for dem alle gælder, at cement udgør det primære bindemiddel. Vand spiller en væsentlig rolle i forhold til hydrering. Luft optager også en stor andel, idet porerummet fungerer som ekspansionsrum for frysende vand og dermed sikrer materialets bestandighed over for frost.

I Figur 2-1 er gengivet et eksempel på sammensætningen af basiselementer i et hærdet fibercementprodukt (efter Anette Müller et al, 2011).



FIGUR 2-1 Eksempel på sammensætning af basiselementer i fibercement

I det følgende beskrives basiselementerne og deres rolle i produktet samt variationen over specifikke materialer anvendt inden for de forskellige basiselementer. På baggrund heraf gives et sammenfattende overblik over problematiske stoffer i fibercementprodukter.

2.2 Cement

Cement er et pulverformet bindemiddel, der hærder ved reaktion med vand til et produkt, der er bestandigt i vand. Det udgør det primære bindemiddel i fibercement (40-80%). Der anvendes primært Portland cement.

Portland cement produceres i to led: Fremstilling af cementklinker og formaling af klinkerne.

Cementklinkerne fremstilles ved brænding og herefter delvis smeltning (sintring) af en blanding af kalk- og ler- og/eller sandprodukter, i nogle tilfælde tilsat flyveaske. Ved brændingen frigives CO₂ fra calciumcarbonaten under dannelse af calciumoxid (såkaldt kalcinerings). Ved den efterfølgende sintring dannes klinkerne bestående primært af calciumsilikat, oxider og alkaliforbindelser.

De afkølede klinker formales under tilsætning af en lille mængde gips og/eller triethanolamin (3%) for at hindre, at klinkerne klumper sammen på formalingsudstyret.

Den kemiske sammensætning af klinkerne ligger inden for et forholdsvis snævert variationsområde. Men selv inden for dette område kan små variationer føre til temmelig store udsving i klinkermineralsammensætningen. Indholdet i klinkerne består primært af calciumsilikater, men indeholder også silicium, aluminium og jern (herunder vandopløseligt $\text{Cr}^{+6} < 2 \text{ mg/kg cement}$), jf. Amternes Videncenter for Jordforurening (2004).

Som konsekvens af brændingen er materialerne stærkt oxiderede og har for Portland cementens vedkommende et højt indhold af hydroxider og er derfor stærkt basiske i uafbundet tilstand. Efterhånden som betonen binder af (karboniserer), bl.a. ved at CO_2 optaget fra atmosfæren omdanner hydroxiderne til karbonater, falder pH.

Opløseligheden af mange metaller og ioner i råmaterialer til cement og flyveaske ændres i forbindelse med brændingen og den efterfølgende afbinding.

Fibercement indeholder typisk ca. 12% vand og 30% luft, jf. figur 1. Friskt produceret cement vil typisk have en pH på ca. 13 i porevandet.

Ved formaling af rå cementklinker anvendes ofte triethanolamin (TEA) som hjælpestof i koncentrationer på 1 – 3 % af cementindholdet for at hindre, at klinkerne klumper sammen på formalingsudstyrets overflader, Miljøstyrelsen (2015).

2.3 Fyldstoffer

Som bindemiddel tilsættes også en mængde mineralske fyldstoffer. Ved at 'erstatte' dele af cementen med fyldstoffer opnås både økonomiske og miljømæssige besparelser og et stærkere produkt. Fyldstofferne omtales også som fillers eller mineralske tilsætninger. Nogle af dem er reaktive, andre inerte. I nogle sammenhænge bruges betegnelsen *fillers* kun om inerte materialer.

ProduktdeklARATIONER og øvrige publikationer peger på en bred vifte af anvendte fyldstoffer i form af både industrielle restprodukter og naturligt forekommende mineralske materialer. De fleste har egenskaber, som bevarer eller forbedrer de tilsigtede egenskaber i det færdige produkt.

Herunder beskrives typisk anvendte fyldstoffer:

Puzzolan er et kiselmateriale af vulkansk oprindelse kendetegnet ved, at det ved normale temperaturer reagerer med calciumhydroxid og skaber svært opløselige produkter med bindemiddelegenskaber. Naturlige puzzolaner er for eksempel moler, vulkansk aske, tuff, trass og pimpsten.

Flyveaske er restprodukt fra kulkraftværker og består primært af glaspartikler af aluminiumsilikat på størrelse med cementkorn og kan desuden indeholde spor af diverse metaller fx bly, chrom, nikkel og vanadium. Flyveaske vides blandt andet at forårsage forhøjet indhold af chrom i cement og beton. Flyveasken har puzzolanegenskaber og er et almindeligt anvendt bindemiddel i cementproduktion, hvor det indgår som led i fremstilling af klinkerne. Derudover har det også været almindeligt anvendt som yderligere tilsætning ved produktion af fibercement, men denne er ifølge én af de danske producenter ophørt grundet mangel på flyveaske af god kvalitet.

Mikrosilika er et biprodukt fra produktion af siliciummetal og ferrosilicium. Mikrosilika har også puzzolanegenskaber og er dertil kendetegnet ved at være ekstremt finkornet og dermed have en tætnende effekt på cementpastabindemidlets struktur. Mikrosilika indgår tilsyneladende i de

fleste fibercementproduktioner. Det omtales også som *condensed silica fume* (CSF) eller silika sand.

Granuleret højovnsslagge er et biprodukt fra stålframstilling og består af fint formalede glasagtige mineraler domineret af aluminium-, kalk- og siliciumoxider. Pga. ringe kalkindhold opnås en rimelig reaktion kun i sammenhæng med calciumhydroxid.

Kalkstensmel anvendes p.t. som fyldstof på alle ETEX fabrikker.

Perlit er en naturligt forekommende kiselholdig vulkansk bjergart, hvis hovedbestanddele er oxider af silicium og aluminium. Kendetegnenende i forhold til andre vulkanske glas er, at den ved opvarmning udvider sig fra fire til tyve gange dets oprindelige volumen. Malet perlit anvendes som ultralet fyldstof i en lang række produkter, herunder nogle fibercementprodukter.

Inerte fillers anvendes typisk i indhold på ca. 15 % i dag, hvor andelen tidligere har været mindre (ETEX, 2018).

2.4 Fibre

Fiberfraktionen i eternitplader består af procesfibre og armeringsfibre.

2.4.1 Procesfibre

Procesfibre sikrer, at cementopslæmningen klæber til sierne og hermed en homogen tekstur i lagene. Typisk anvendes cellulose/pulp som procesfibre. Cellulosefibre (0,5-3 mm) er typisk indkøbt fra FSC-kilder, (Miljøstyrelsen, 2015), og kan stamme fra en bred vifte af planter afhængig af tilgængelighed.

2.4.2 Armeringsfibre

Fibercementplader er forholdsvis tynde. For at sikre holdbarheden i så tynde produkter er armering nødvendigt. Hertil anvendes fibre. Oprindeligt anvendtes asbestfibre. De er i dag erstattet af syntetiske fibre.

Syntetiske fibre er i dag baseret på polyvinylalkohol (PVA), polypropylen (PP) eller polyethylen (PE), alle sammen opbygget af polymeriserede hydrocarboner. Ofte anvendes fibre af polyvinylalkohol (PVA, 4-6 mm, CAS 9002-89-05). PP kan også indgå som et indstøbt riflet bånd i tagpladerne.

Herudover har Wollastonit (CaSiO_3) været brugt en overgang umiddelbart efter asbest. Wollastonit er asbestlignende og kan måske indeholde spor af asbest. Ifølge oplysninger fra NCC (2018) var plader med wollastonit ikke særligt solide de holdt ikke ret længe. De kan derfor allerede være udskiftet.

2.5 Overfladebehandling

Tagpladerne leveres med og uden overfladebehandling i form af maling. Bagsiden af pladerne er behandlet med en blocker i et tyndt lag. Pladerne fra ETEX kan desuden være gennemfarvede.

Som maling bruges oftest vandbaserede akryl-produkter med især jernoxid pigmenter. Herudover anvendes carbon black pigmenter og evt. titanium dioxid. Der kan tidligere være anvendt andre malingstyper.

Cembrit (2018) anfører, at der kan være op til 4 % (vægt) farvestof i gennemfarvede plader.

Der er i udenlandske artikler rapporteret om forekomst af biocider i tagpladerne, Lupsea (2014), Burkhardt (2012), Schoknecht (2009). Biociderne kan være tilsat enten for at hindre bionedbrydning af cellulosefibre (imprægnering) og/eller for at hindre vækst af svampe, alger og bakterier på pladerne. Følgende biocider er især påvist i udenlandske undersøgelser; bor (tidligere anvendt som fungicid), terbutryn (triazin), naphthalen, anthraquinon og fenuron, jf. Lupsea (2014).

De danske producenter har oplyst, at pladerne fra producentens side ikke behandles med pesticider i dag.

Plader, der af brugeren algebehandles, vil for at sikre holdbarheden typisk skulle behandles hvert andet år. Det må dog forventes, at algebehandling ikke foregår i årene op til en udskiftning (af sparehensyn).

2.6 Øvrigt

På bølgeplader er af hensyn til arbejdssikkerheden indstøbt 4 – 5 PVC pakke-/ ballebånd i pladerne, for at sikre håndværkere mod gennemfald, hvis en plade skulle knække under arbejde på taget. Disse bånd vil relativt enkelt kunne frasorteres i en knusningsproces, ETEX (2018).

Producenter og litteratursøgning har ikke givet oplysninger om andre tilsætningsstoffer eller stoffer anvendt til overfladebehandling af eternitbølgetagplader.

3. Problematiske stoffer i tagplader

Hovedbestanddelen i fiber cement tagplader er cementen, der især udgøres af uorganiske salte og i mindre grad af metaller. Herudover er der som ovenfor beskrevet en del miljøfrememde organiske stoffer, som enten er anvendt under cementproduktionen eller i forbindelse med overfladebehandling af pladerne. Derudover kan der være tilsat organisk stof i form af cellulose fibre til cementen under produktionen. I det følgende vurderes, hvilke uorganiske og organiske stoffer kan være problematiske i tagpladerne i forhold til udvaskning til grundvand og overfladevand. Der er således ikke taget stilling til stoffer, der kan være problematiske arbejdsmiljømæssigt f.eks. ved nedknusning af pladerne.

3.1 Uorganiske stoffer

I Tabel 3-1 er vist den typiske sammensætning af primære salte i Portland cement, der udgør grundmaterialet i tagpladerne.

TABEL 3-1 Sammensætning af Portland cement, (Galvín *et al.*, 2014)

Kemisk sammensætning	%
Calciumoxid CaO	66,02
Silicium dioxid SiO ₂	19,29
Jernoxid Fe ₂ O ₃	4,44
Svovltriioxid SO ₃	3,29
Aluminiumoxid Al ₂ O ₃	1,43
Magnesium oxid MgO	1,27
Natriumoxid Na ₂ O	0,09
Kaliumoxid K ₂ O	0,34
Chlor	0,01

I Tabel 3-2 er desuden vist variationerne i salt- og ionindhold i fiber cement (20 prøver af forskellig oprindelse undersøgt).

TABEL 3-2 Stofindhold i fiber cement, (Emberger *et al.*, 2013)

	Min. indhold	Max. indhold
TOC	1,75	3,78
CO ₂	0,74	15,88
H ₂ Oc	15,03	25,24
CaO	36,92	49,35
MgO	0,58	3,04
SiO ₂	16,15	21,48
Al ₂ O ₃	2,80	5,69
Fe ₂ O ₃	1,40	3,30

K ₂ O	0,10	0,76
Na ₂ O	0,05	0,26
SO ₃	0,98	2,27
TiO ₂	0,17	0,71
Mn ₂ O ₃	0,02	0,09
P ₂ O ₅	0,03	0,39
Cl ⁻¹	0,02	0,04

Endelig er der i Tabel 3-3 vist et eksempel på indhold af ioner/metaller i Portland cement sammenlignet med indhold i kulflyveaske, mikrosilika og danske jorde. Indholdene er desuden sammenlignet med Miljøstyrelsens jordkvalitetskriterier.

TABEL 3-3 Eksempler på indhold af sporelementer og tungmetaller i sammenstilling af Aalborg Portland Rapidcement, flyveaske og mikrosilika. Alle værdier er i mg/kg. (Miljøstyrelsen, 2015)

Metal	Rapid cement	Kulflyveaske	Microsilika	Danske jorde	Jordkvalitetskriterier
Ag	< 0,8	< 0,8	< 0,8	-	50
As	13	41	16	3,3	20
Ba	323	940	16,5	-	100
Bi	0,56	0,55	0,76	-	-
Cd	0,8	0,4	0,39	0,16	0,5
Cr	27	33	25	9,9	500
Cu	78	22	35	7,0	500
Hg	<0,3	0,79	<0,3	0,04	1
Mn	156	186	323	-	-
Mo	2,8	11	2,4	-	5
Ni	27,7	19,3	10	5	30
Pb	13,6	6,7	35	11,3	40
Sb	<0,5	1,1	0,85	-	-
Tl	0,32	0,43	1,2	-	1
V	80	68	1,13	-	-
Zn	103	39	42	26,8	500

De miljømæssigt mest betydende risici ved genbrug af nedknuste tagplader stammer fra de primære indholdsstoffer dvs. cement og fyldstof og deraf følgende stigende pH og udvaskning af ioner og salte.

Generelt vil hovedionerne som calcium (Ca), silicium (Si), magnesium (Mg) og aluminium (Al) ikke være problematiske ved udvaskning, da disse ioner i sig selv ikke er toksiske i miljøet og derudover findes naturligt i høje koncentrationer i jorden. Herudover forventes jern (Fe), kalium (K), natrium (Na) og mangan (Mn) ikke at kunne udvaskes i indhold, der udgør et miljømæssigt problem.

Det er således særligt tagpladernes indhold af metaller/sporstoffer, der vurderes at være problematiske. I Deponeringsbekendtgørelsen er der krav om udvaskningstests for bl.a. inert og mineralsk affald for følgende metaller; Ni, Cr, Sb, Se, Mn, Hg, As, Pb, Cd, Cu, Ba, Mo og Zn. Det er således disse metaller, der vurderes at kunne være problematiske.

Fibercementen kan være overfladebehandlet med jernoxidpigment eller titanium dioxid. Jernoxidpigment har en lav giftighed og vurderes ikke at være problematisk ved udvaskning. Titanium dioxid er i ECHA (2018) angivet at være praktisk talt ikke-toksisk. Det er dog påvist at kunne være muligt kræftfremkaldende i rotter, men det er ikke blevet bekræftet ved forsøg med andre dyr. Stoffet er desuden ikke klassificeret som giftigt overfor vandlevende organismer.

3.2 Organiske stoffer

I fibercementen indgår cellulose fibre, som er organisk og naturligt plantemateriale. Udvas-kning af organisk stof fra fibrene i takt med at de nedbrydes vurderes ikke at være problematisk i sig selv, da den vil være sammenlignelig med udvaskning af plantebestanddele i naturen og i øvrigt er ugiftig. Udvas-kningen kan dog forsure cementens porevand og dermed medføre udvas-kning af ioner og metaller. Denne virkning vil dog i lang tid blive neutraliseret af de basiske tilstande i cementen (se kapitel 4.2).

I tagpladerne indgår også følgende plaststoffer:

- PVA
- PP
- PE
- PVC (muligvis, www.affald.dk)

Plaststofferne er karakteriseret ved at være dannet af enkeltstoffer (monomerer), der polymeriseres. Polymeriseringen vil nedsætte udvas-kningspotentialet af stoffet og plastmaterialerne i sig selv vil være inerte.

PVA anvendes til mange formål udover til forstærkning af cement, f.eks. til smøring af kontaktlinser. Det er en ikke-toksisk og bionedbrydelig plast.

PP og PE plast er generelt ikke-toksiske (bruges bl.a. som rør til drikkevandsforsyning).

Oplysningerne om indhold af PVC i bølgetagplader af eternit er usikre. PVC kan produceres med tilsætningsstoffer som blødgørere, stabilisatorer, farvestoffer, antistatika, brandhæmmere og fyldstoffer. Af disse tilsætningsstoffer vil blødgørerne typisk udgøre langt den største andel i blødt og fleksibelt PVC. Der er ikke fundet oplysninger om de specifikke tilsætningsstoffer, der kan indgå i PVC i tagplader.

Akrylmaling, som bruges til overfladebehandling af nogle tagplader, er en plastbaseret maling, der er forholdsvis modstandsdygtig mod kemikalier og ultraviolet lys. Der er generelt ikke oplysninger om malingens indhold af tilsætningsstoffer (malingen i sig selv vurderes ikke at være problematisk).

Akrylmaling til udendørs brug tilsættes ofte fungicider og der i udenlandske undersøgelser påvist følgende biocider i tagplader (Lupsea, Tiruta-Barna and Schiopu, 2014);

- Naphthalen
- Ametryn
- DNOC
- Propiconazol
- Tertbutryn

- 2- og 4-methylphenol
- Fenuron

Herudover er der ved de samme undersøgelser påvist følgende problematiske organiske stoffer i tagplader uden at stoffernes oprindelse er fastlagt:

- Anthraquinon (farvestof)
- Ethylbenzen
- M- og p-xylén
- Acetone
- Acetaldehyd
- Formaldehyd
- Para-tert-octylphenol

Pigment af carbon black, der muligvis bruges til indfarvning af tagplader, består af fine partikler dannet ud fra højere kogende mineralolie fraktioner. Carbon black indeholder bl.a. PAH (polyaromatiske kulbrinter) og er i ECHA (2018) mistænkt for at være kræftfremkaldende. Da den kræftfremkaldende virkning sker ved indånding og ikke oral indtagelse og den akutte orale toxicitet er lav vurderes det tvivlsomt om stoffet er problematisk i forhold til udvaskning.

TEA (triethanolamin), der anvendes ved formaling af rå cementklinker, er i (Miljøstyrelsen, 2015) vurderet på baggrund af toksikologiske egenskaber og nedbrydelighed, kun i begrænset omfang at udgøre et problem for mennesker og miljø.

4. Udvaskning af problematiske stoffer fra tagplader

4.1 Litteratursøgningen

Søgning af nyeste viden om udvaskning af problematiske stoffer fra tagplader er foretaget ved søgning på ord i følgende offentligt tilgængelige databaser; Web of science, Scopus, Google Scholar, Sciencedirect, Search Analyser. Herudover er der søgt fagspecifikke rapporter fra EU, forskningsinstitutioner og danske og udenlandske myndigheder. Endelig er der indhentet viden fra erhvervet (producenter og affaldsselskaber).

Generelt konkluderes, at der er gennemført meget få undersøgelser af udvaskning af stoffer fra asbestfrie tagplader af fibercement. Af disse få undersøgelser er de fleste baserede på laboratorieforsøg. Tagpladers mekaniske egenskaber har været genstand for lidt flere undersøgelser, der bl.a. har set på de processer, der sker når tagpladen ældes og udsættes for karbonisering. Nogle af disse undersøgelser har også omfattet brugen af nedknuste tagplader til f.eks. vejbygningsformål med fokus på materialets fysiske egenskaber og hvorvidt genbrug af stoffet forringer egenskaberne af det samlede produkt.

Der er fundet en del artikler omkring udvaskning fra cement, der udgør hovedbestanddelen i tagpladerne.

I det følgende er først givet en indledende beskrivelse af de parametre, der er styrende for udvaskning fra tagplader af fibercement. Dernæst er gengivet de få data, der er fundet om udvaskning fra tagplader af fibercement. Herefter er der beskrevet udvaskning fra cement, og det er vurderet, hvorvidt udvaskning fra tagplader og cement er sammenligneligt og om der kan korreleres til de mange data, der findes om udvaskning fra beton.

4.2 Udvaskningsprocesser i tagplader / fibercement

Udvaskning fra fiber cement tagplader sker ved de samme processer som udvaskning fra cement for så vidt angår salte og metaller, (Lupsea, Tiruta-Barna and Schiopu, 2014) (Dias *et al.*, 2008). Da fibercement indeholder cellulose fibre vil udvaskningen fra tagpladerne medføre en betydelig udvaskning af organisk stof i forhold til cement uden fibre.

Udvaskning fra tagplader sker ved opløsning af stoffer fra overfladen af pladerne og/eller ved diffusion af stoffer via porevandet fra pladernes indre. Diffusionsprocessen påvirkes af materialets porøsitet og porestruktur. Indeholder cementen i tagpladerne flyveaske giver dette cementen en tættere og langtidsholdbar mikrostruktur, der hindrer frigivelse af metaller ved diffusion.

En af de vigtigste aldriingsprocesser i cement er carbonisering: Kuldioxid fra atmosfæren fordeles sig i cementens porer og opløses i porevandet, hvorved der dannes kulsyre. Syren frigiver carbonat/hydrogencarbonat og opløser calciumhydroxid. Herved dannes calciumcarbonat, der udfælder. Carboniseringen medfører dermed et fald i cementens alkalinitet (lavere $\text{Ca}(\text{OH})_2$), en lavere porøsitet pga. udfældet kalk i mikroporerne og en forøget vægtfylde. Med tiden kan porøsiteten øges pga. udvaskning af ustabile carbonater, (Tonoli *et al.*, 2010).

Fibercementen har en høj bufferkapacitet og det forventes, at udvaskning fra tagpladerne i mange år, hvis ikke hele tagpladens levetid, vil foregå under basiske forhold i fibercementens porer og overflade. Carbonisering er således en længere varende proces og brugte plader vil have et højere indhold af vand og kuldioxid end nyproducerede plader, (Etex Group, 2010), (Engelsen *et al.*, 2009).

Carbonisering resulterer i et lag kalk på pladernes overflade og dette lag vil medføre en væsentlig reduktion i udvaskning af sporstoffer fra pladerne. Kalkudfældningen vil gradvist bevæge sig ind i fibercementens porer.

Carboniseringen anvendes også aktivt i produktionsprocessen for at øge holdbarheden af cement, der er tilsat cellulose fibre, da processen hindrer opløsning af fibre.

Tagplader forstærket med vegetabiliske fibre er undersøgt for så vidt angår accelereret ældning og udvaskning. Det er påvist, at carbonisering forstærker de vegetabiliske fibre (Pizzol *et al.*, 2014). I de første mange år af tagpladernes levetid medfører denne accelererede ældningsproces reduceret porøsitet og vandabsorption og deraf afledt mindre udvaskning, (Tonoli *et al.*, 2010; Teixeira *et al.*, 2014). Se i øvrigt afsnit 4.3.



4.3 Udvaskning af uorganiske stoffer fra tagplader

I Tabel 4-1 er angivet udvaskningsdata for tagplader fra ETEX (fra produktets datablad). I tabellen er eluatkoncentrationerne sammenlignet med acceptkriterier for deponering på losseplads.

TABEL 4-1 Udvaskningstests udført på nyproducerede tagplader, jf. produktbladet fra ETERNIT AG (2013)

Parameter	Measured value [mg/l]	Class I landfill limit value
Mercury	LOQ	< 0.005
Arsenic	LOQ	< 0.2
Lead	LOQ	< 0.2
Cadmium	LOQ	< 0.05
Zinc	LOQ	< 2
Nickel	LOQ	< 0.2
Copper	LOQ	< 1
Cyanide, easily released	LOQ	< 0.1
Phenol index	LOQ	< 0.2
TOC	22	< 20
AOX	LOQ	< 0.3
Fluoride	0.29	< 5
Chrome VI	LOQ	< 0.05
Ammonium nitrogen	0.56	< 4
pH value	12.2	5.5 - 13
Conductivity	6320 µS/cm	< 10000 µS/cm

LOQ = below the limit of quantification

Tabellen viser, at porevandet i pladerne har et pH på 12,2 og at der fra pladerne udvaskes ammonium og fluorid – dog i ubetydelige koncentrationer. Ligeledes er der målt udvaskning af organisk stof (TOC). For alle metallerne er der ikke påvist udvaskning over detektionsgrænserne, hvilket formentlig skyldes, at der er anvendt højere detektionsgrænser, da udvaskningen kun har haft til formål at sammenligne med acceptkriterier for lossepladser.

Det bemærkes, at der er meget stor variation i de råmaterialer og restprodukter, der anvendes ved produktion af fibercement. Der må derfor forventes væsentlige variationer i udvaskningspotentialer.

(Lupsea, Tiruta-Barna and Schiopu, 2014) har undersøgt udvaskning af uorganiske stoffer (30 metaller/sporstoffer) fra hele stykker og nedknuste prøver af fibercement tagplader i laboratoriet. Endvidere er der opstillet en kemisk transportmodel, der simulerer udvaskningen over 10 år for realistiske in-situ forhold.

I undersøgelsen konstateres, at udvaskningspotentialet for metaller/sporstoffer ved sure forhold (pH ca. 3,2) er højt sammenlignet med faststofindholdet i cementen. Således ses under

meget sure forhold et udvaskningspotentiale, fra nedknuste tagplader, for kobber og molybdæn på ca. 60 %, for bor på 98 %, for chrom på 17 %, strontium på 100 % og for nikkel på 79 %. Testen udtrykker den totalt tilgængelige del af metallerne.

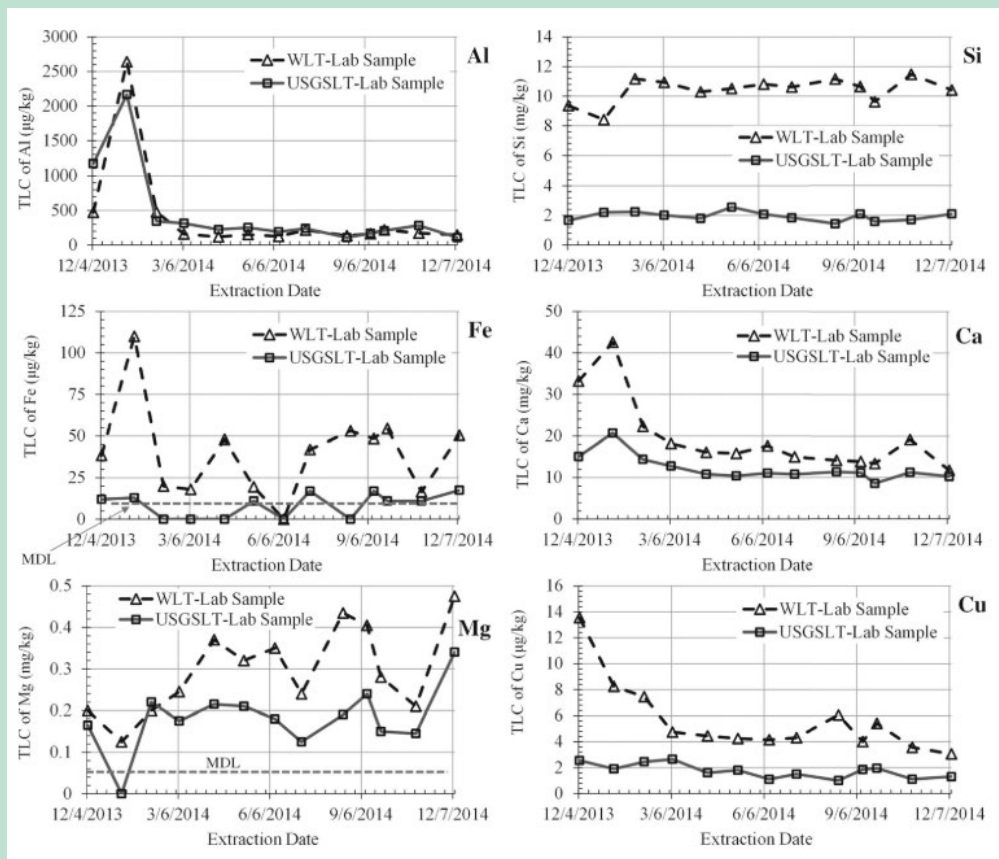
Tages der højde for fibercementens bufferkapacitet (syreneutraliseringskapacitet) er der ved en standard udvaskningstest på tagpladestykker påvist følgende udvaskningspotentiale, der mere svarer til forhold i felten;

- Kobber 2 %
- Bor og strontium 6 %
- Chrom 0,8 %
- Nikkel 0 % (ikke påvist)

Udvaskningstestene viser, at bufferkapaciteten væsentligt hindrer udvaskning af metaller.

Modelleringen, der simulerer udvaskning fra tagplader, der har været i brug i 10 år, viste generelt eluatkoncentrationer for metaller under de franske drikkevandskvalitetskrav. Undtagelsen er for chrom, der overskred drikkevandskvalitetskravene, og koncentrationerne af bor og kobber, der lå på niveau med kvalitetskravene. Modelsimuleringerne viste også, at en stor del af metallerne er udvasket fra tagpladerne efter 10 års brug, og at udvaskningen fortsætter i mange år endnu.

(Abbaspour, Tanyu and Cetin, 2016) har undersøgt udvaskning af metaller og ioner og de processer, som udvaskningen er afhængig af herunder carboniseringen som følge af at tagplader er udsat for vind og vejr. Geokemisk modellering viste, at Al, Si, Fe, Ca, Mg og Cu findes i deres oxiderede form. Disse elementer er primært kontrolleret af opløseligheden af cementmineralerne. Carboniseringen medførte ændringer i udvaskningsmønstrene for Ca, Si, Mg, Al, Fe og Cu som vist i Figur 4-1. Af figuren fremgår, at aluminium udvaskes kraftigt i begyndelsen af carboniseringen for derefter at falde til et lavt stabilt niveau. Tilsvarende ses for kobber (Cu) en initial forøget udvaskning efterfulgt af en lavere og mere stabil udvaskning med tid.



FIGUR 4-1 Ændringer i total udvasket koncentration af Al, Si, Fe, Ca, Mg og Cu som funktion af aldringstiden, ved to udvaskningsmetoder (WLT og USGSE). (MDL: laveste detektionsgrænse). Fra (Abbaspour, Tanyu and Cetin, 2016)

I (Tonoli *et al.*, 2011) er den mineralske sammensætning af bølgeplader undersøgt efter 14 års brug af pladerne på et tag og deraf følgende aldring. Tagpladerne var forstærket med vegetabiliske fibre (Figen). Undersøgelsen bekræftede, at tagpladerne efter at have været udsat for aggressivt vind og vejr under tropiske forhold udviste højere vandabsorption og porøsitet end plader opbevaret i samme antal år under beskyttede forhold i laboratoriet. Årsagen er, at pladerne i felten undergår carbonisering, jf. afsnit 4.1, og en kraftig hydratisering.

(Engelsen, van der Sloot and Petkovic, 2017) har undersøgt udvaskning fra genbrugsbeton (herunder tagplader) genanvendt til vejbygning. Udvasning er undersøgt efter mere end 10 års brug af produkterne. De udvaskede niveauer af uorganiske stoffer, effekten af mindre udsving i pH og brugen af vejsalt blev undersøgt. pH varierede fra 7.5 til 8.5 for vej bunden, hvorimod et pH omkring 8 blev opnået for den vejsektion, der ikke var påvirket af trafik og vejsaltning (kontrolsektionen). Til trods for en mindre variation i pH, var udvaskningen af Al, Ca og Mg stærkt afhængig af pH. Modellering indikerede, at opløseligheden af Al, Ca og Mg er styret af carboniseringsprocessen, der sker under ældning af pladerne. Den større variation i pH observeret på test sektionen udsat for trafik og vejsaltning medførte forøgede udvaskning af oxyanioner. Den same effekt sås ikke for metallerne Cd, Cu, Ni, Pb, V og Zn. En simplificeret risikovurdering viste, at de udvaskede mængder og koncentrationer ikke overskrider kvalitetskriterier for grundvand og overfladevand (i Norge anno 2016-17).

(Müllauer, Beddoe and Heinz, 2015) undersøgte udvaskning af ioner og metaller fra beton fremstillet af varierende andele af Portland Cement, flyveaske og slagge. Der er ingen korrelation mellem fastindholdet af stofferne og den tilgængelig del. Især udvaskningen af calcium, sulfat, aluminium, vanadium og zink styres af opløsning af stoffer på materialets overflade. Hvorimod udvaskningen af natrium, barium, strontium styres af diffusion, hvilket betyder udvaskningen og tilgængeligheden af stoffet afhænger af betonens struktur og porøsitet. Vanadium viste ved forsøgene en udvaskning, der er kraftigt afhængig af pH og viste en tilgængelighed på under 10 % af totalindholdet. For chrom blev der målt opløsning af Cr(VI) svarende til et indhold på max. 2 % af totalindholdet (faststof), tilgængeligheden falder med stigende pH. Udvasningen af chrom er styret af både opløsning ved materialets overflade og diffusion. Indholdene af kobber, kobolt, nikkel og bly blev påvist i meget lave indhold i eluaterne, og der blev ved tilgængelighedstesten ikke målt indhold af kobolt og bly.

Udvasning af beton fremstillet af nedknuste genbrugsmaterialer (RCA), herunder beton/cement som erstatning for grus og andet, er undersøgt af (Galvin *et al.*, 2014), der også påviser carbonisering. Udvasning af oxyanioner og metalkationer er undersøgt. Oxyanioner (Mo, Se, As, Sb, Cr) udviser forøget udvasning ved neutral og højere pH. Meta kationer (Zn, Cu, Ni, Pb, Cd) viser forøget udvasning ved faldende pH, de er mere mobile og udvaskes hurtigere når først en passende pH er nået. Barium opfører sig som oxyanion og frigives ved diffusion. Anvendelsen af RCA giver betonen en større syreneutraliseringskapacitet (ANC), hvis den erstatter grus, men en lavere ANC, hvis den erstatter sand.

Et slovakisk forsøg af (Estokova, Palascakova and Kovalcikova, 2016) viste, at der fra Portland cement med et totalindhold af chrom på 173-219 mg/kg kunne udvaskes op til 0,2-7,5 % som Cr(VI). Det lave tal er udvasning med deioniseret vand, det høje tal er udvasning med saltsyre. Chrom i cement stammer fra råmaterialer som f.eks. ler og særligt høje chromindhold i cement stammer ofte fra tilsætning af flyveaske. Der vil være store forskelle i forskellige cements chromindhold afhængig af råmaterialernes sammensætning og produktionsprocessen.

4.4 Udvasning af organiske stoffer fra tagplader

Som beskrevet i afsnit 4.1 har (Lupsea, Tiruta-Barna and Schiopu, 2014) påvist indhold af miljøfremmede organiske stoffer i fibercement tagplader (der er screenet for 700 organiske stoffer). Udvasningsforsøg ved standardiseret test viser, at følgende 4 stoffer kan være miljømæssigt problematiske;

- Naphthalen
- Anthraquinon
- Tertbutryn
- Fenuron

De øvrige organiske stoffer nævnt i afsnit 4.1 er enten påvist på meget lave niveauer tæt på detektionsgrænsen, eller kun påvist ved pH under 4, eller er bionedbrydelige, flygtige eller ikke-toksiske.

Naphthalen, tertbutryn og fenuron kan være tilsat som biocid til enten cellulosefibre eller farvestof/maling eller anvendt for at bekæmpe algevækst o.l. på tagpladerne. Naphthalen kan måske også stamme fra urenheder i fibercementprøverne.

Biociderne tilføres facaderne for at hindre vækst af svampe og alger og for at hindre mikrobiel nedbrydning af bygningsmaterialerne. Biociderne vil ved nedbør på facaden blive opløst i vandet og inhibere den mikrobielle vækst. Ved samme proces kan biociderne udvaskes til overfladevand.

Tertbutryn er, udover at være påvist i eluat fra fibercement tagplader, også påvist i eluat fra udvaskningstests af cement/beton baseret materiale anvendt til overfladebehandling på bygningsfacader (coatings og maling), (Schoknecht *et al.*, 2009). Denne undersøgelse påviste også indhold i eluaterne af følgende biocider; OIT, DCOIT, IPBC, carbendazim, isoproturon, diuron, tertbutryn, og Ingarol 1051. Styrende for udvaskningen er aktivstoffets vandopløselighed og oktanol-vand fordelingskoefficient (K_{ow}) og muligheden for diffusion igennem materialet. Andre faktorer, der påvirker udvaskningen, er produktets sammensætning, koncentrationen af aktivstoffet, nedbørsmængder og udsættelsen for UV-lys. Forsøgene viser, at 1-3 % af biocidet kan udvaskes – udvaskningspotentialet stiger med vandopløseligheden og falder med K_{ow} . Udsættelse for sollys nedsætter udvaskningspotentialet men kan øge potentialet for udvaskning af nedbrydningsprodukter f.eks. stoffet M1, der er et nedbrydningsprodukt af triazinerne tertbutryn og Ingarol. Forsøgene peger på, at hovedparten af udvaskningen sker i begyndelsen af udvaskningsforsøgene.

Et tysk studie udført af Jungnickel (2008) viste, at polyacrylamid overfladebehandling af tage ofte resulterer i udvaskning af biocider fra malingen. Der er ikke fundet data om udvaskning af biocider fra akrylmaling anvendt til tagplader. Biocider kan være tilsat maleprodukter til uden-dørs brug generelt, uden at det nødvendigvis fremgår af produktbladet.

Det sidste stof på listen ovenfor er farvestoffet anthraquinon, der antages at stamme fra farvning/maling af pladerne.

Der er ikke oplysninger om, at ovennævnte stoffer er anvendt i danske tagplader. Der er under litteratursøgningen desuden ikke fundet data om udvaskning af andre miljøfremmede stoffer fra fibercement tagplader.

4.5 Ekstrapolation fra viden om udvaskning fra nedknust beton

Som nævnt er der fundet meget få data om udvaskningspotentiale for uorganiske og organiske stoffer i tagplader. Til gengæld findes der en del viden om udvaskningspotentialet for nedknust beton (Miljøstyrelsen, 2015, 2018a, 2018b). Det er derfor vurderet, om viden om udvaskning fra nedknust beton kan ekstrapoleres til også at gælde for tagplader.

Udvaskning fra cement er jf. (Miljøstyrelsen, 2015) sammenligneligt med udvaskning fra beton, der udover cement indeholder sten, grus, sand og i nogle tilfælde filler (der også findes i cement). Portland cement kan udgøre mere end 95% af det mineralske bindemiddel i beton.

Cement og beton vil derfor udvise ens udvaskningsprocesser og udvaskede stofmængder og flux må forventes nogenlunde sammenlignelige også for de nedknuste produkter.

Fibercement adskiller sig fra cement ved at indeholde vegetabiliske og/eller syntetiske fibre, som for de vegetabiliske fibres vedkommende måske kan fremskynde carboniseringsprocessen – dog i mindre grad. Det vil således være muligt at overføre data om udvaskning af salte og metaller fra beton til tagplader.

For så vidt angår de organiske stoffer er der store forskelle på indholdet heraf i beton og fibercement og det vurderes dermed ikke muligt at ekstrapolere udvaskningsdata for beton til tagplader.

5. Teknisk nyttiggørelse af bølge-eternittagplader

I det følgende gives en opsamling på eksisterende viden om fibercementens tekniske egenskaber i forhold til genanvendelse. Søgningen har ikke givet noget viden om egentlig praktisk erfaring med genanvendelse, hvilket hænger naturligt sammen med, at eternitplader af forsigtighedshensyn altid deponeres uden hensyn til, om der er asbest i eller ej.

Der er fundet nogle studier på området. Som et led i udviklingen af en bæredygtig forretning, har fibercementindustrien selv initieret en del af studierne.

Studierne har primært omfattet produktionsaffald og i mindre grad udtjente produkter fra nedrivning og renovering. I nogle tilfælde arbejdes der med kunstigt ældede produkter. Derudover er de overvejende rettet mod genanvendelse i konstruktionsprodukter og i mindre grad rettet mod genanvendelse i forhold til anlægsarbejde.

Der ses generelt et potentiale i genanvendelse, men der peges også på behovet for en tilstrækkeligt forskelligartet portefølje af genanvendelsesruter for at opnå logistisk, økonomisk og teknisk gennemførlige løsninger.

5.1 Nyttiggørelse ved anlægsarbejder

Som nævnt har det inden for dette projekt ikke været muligt at spore eksempler på reel genanvendelse af fibercement i anlægsarbejde. Det til trods er det ifølge en belgisk producent en veletableret om end meget udokumenteret praksis. For at løfte det teknologiske niveau for denne genanvendelsesmulighed har den belgiske producent derfor iværksat en række studier på det tyske Bauhaus Universitet.

Først og fremmest har man undersøgt nedknuste tagplader (det vil sige lufthærdede produkter) for en lang række parametre, som kan anvendes i en vurdering af materialets egnethed ved anlægsarbejde. På trods af produktets relativt høje porøsitet og vandabsorption, udviser det høj modstandsdygtighed over for frysning/optøning og ligeledes over for slid. I studiet testes også indvirkningen ved opblanding af op til 10% fibercement i genbrugsbeton. Her har fibercementen positiv indflydelse på både komprimeringsevne (Proctor densitet) og bæreevne (CBR værdi), (Anette Müller et al, 2011). Udover en anbefaling om at gå videre med at styrke genbrugsbeton med fibercement stilles i publikationen også forslag om at se på anvendelsesmuligheden inden for jordstabilisering.

I ovennævnte studie er fibercementen knust til en egnet fraktion (0/8 mm) og herefter blandet sammen med den nedknuste beton. På samme universitet har man også testet betydningen af at blande de to komponenter før knusning. Dette er testet både i laboratorium og i industriel skala. Ved kombineret knusning reduceres størrelsen på fibercementmaterialet mindre end ved separat knusning og også i forhold til betonen. Dette har kun indflydelse på enkelte af de testede parametre.

Den samlede konklusion fra Bauhaus studierne er, at fibercementen kan indgå i opbygningen af bærende og frostbeskyttende lag og for nogle parametre endda med positiv effekt uanset om der anvendes separat eller kombineret knusning. Det bemærkes dog, at den difference-

rede neddeling af fibercement og beton ved kombineret knusning har den u hensigtsmæssighed, at fibercementen fremstår tydeligere og kan forveksles med asbestfibre, hvorved blandingen kan få en upopulær modtagelse. På den baggrund anbefales det at nedknuse fibercementen separat til 0/8 mm før blanding med beton. (Luc Van der Heyden, Redco N.V., 2012). Den vinkel kan dog blive irrelevant med udviklingen af værktøjer til identificering og frasortering af asbestholdigt materiale.

At nedknuste fibercement tagplader er velegnede til vejbygning bekræftes af (Hoyos, Puppala and Ordonez, 2011), der har udført tests, der viser, at genbrugsasfalten forstærkes ved brug af nedknuste tagplader.

5.2 Nyttiggørelse i konstruktionsprodukter

Da den kemiske sammensætning af fibercement varierer inden for et forholdsvis lille område og er meget sammenlignelig med portlandcementen, kan der være en oplagt mulighed i at genanvende udtjente fibercementprodukter i cementproduktionen. Små mængder af nedknust fibercement genanvendes i dag i den europæiske produktion af cement og fibercement, men det er udelukkende produktionsrester, der genanvendes. Rester fra renovations- og nedrivningsprocesser er ikke i spil.

Flere studier inden for den europæiske cementindustri har behandlet mulighederne for genanvendelse af fibercement. Det er blandt andet påvist, at CO₂-emission forbundet med kalcinerings under klinkerfremstilling (jf. afsnit 2.2) reduceres ved at substituere dele af de traditionelle råmaterialer med fibercement. Det hænger sammen med, at fibercementen allerede er kalcineret. Af samme årsag nedbringes det termiske energiforbrug til forbrænding. Studierne viser også, at kemisk og mineralogisk sammensætning i de færdige klinker ikke påvirkes af substitution. Det er dog nødvendigt at introducere fibercementen et varmt sted i processen fx i forvarmeren for at opnå fuld termisk nedbrydning af de organiske fibre. Det er for at sikre overholdelse af emissionskrav og for at undgå tilstopning af filtersystemer. (Colangelo *et al.*, 2018) konkluderer desuden, at livscyklus-værdien øges ved at genanvende cementbaserede produkter som bl.a. tagplader frem for at anvende råmaterialer. Der er således processuelle udfordringer, som cementindustrien skal arbejde videre med forud for øget genanvendelse af fibercement (Schoon *et al.*, 2012; Emberger *et al.*, 2013).

Et italiensk studie sammenfatter diverse forsøg med genbrugsmaterialer i beton-, mørtel- og cementprodukter (Moriconi, 2007). Som incitament for at bruge erstatningsprodukter nævnes udtømning af råstoffer, den høje CO₂-udledning forbundet med produktion af portlandcement samt endelig kvalitetsudfordringer forbundet med byggeri i nutidens tempo. Som eksempel på det sidste bemærkes, at moderne armeret beton forringes inden for 10-20 år primært fordi portlandcementen sprækker, hvorved stålforstærkningen blottes og korroderer. For at imødekomme denne udfordring kan det være relevant at tænke nye teknologier og ingredienser ind i cementproduktionen. I omtalte studie kigges især på formbarhed, elasticitet og holdbarhed. Blandt de vigtigste konklusioner er, at der kan opnås samme eller bedre kompressionsstyrke ved at erstatte dele af de fine aggregater i cementen med flyveaske. Forskellige indikatorer på holdbarhed viser også neutral eller positiv indflydelse fra flyveaske. Da pozzolanske fyldstoffer som for eksempel flyveaske udgør op til 15% af fibercementprodukterne, kan nedknust fibercement muligvis bruges ind i cementproduktion med samme positive virkning.

Moriconi (2007) bemærker, at der ved erstatning med flyveaske vil være behov for at tilsætte en lille mængde superplastificerende middel. Det er for at opretholde et lavt vand/cement-forhold og dermed sikre den rette partikelsuspension. Som superplastificerende middel anvendes jf. Teknologisk Institut vandopløselige, modificerede polycarboxylat. I branchevejledning om beton- og cementvarefabrikker knyttes plastificeringsstoffer sammen med lignosulfonater, som er et restprodukt fra celluloseindustrien.

Ved en af de danske eternitproducenter har man lavet forsøg med at recirkulere nedknust fibercement produktionsaffald i produktionen af nye fibercement produkter. Her blev det konkluderet, at kvalitetskrav til klinkerne samt emissionskrav stadig blev opfyldt, lige som produktionen forløb smidigt. En teknisk, økonomisk, logistisk vurdering førte til en anvendt dosis på 1,5% fibercement produktionsaffald. Recirkulation af nedknuste fibercementprodukter fra byggeri og/eller renovation har derimod ikke vist sig rentabelt og eksisterer ikke i praksis, sandsynligvis pga. ringe volumen og manglende infrastruktur (ETEX Group 2010, ETEX 2018).

.

6. Anbefalinger vedrørende nyttiggørelse af nedknuste bølge-eternittagplader

6.1 Vidensgrundlag

Litteratursøgningen har vist, at der er meget få data om udvaskningspotentialer for tagplader fremstillet af fibercement. Udvasningsprocesserne er dog nogenlunde ens for beton og cement, og cement udgør hovedbestanddelen i beton. Cement og fibercement adskiller sig, for så vidt angår udvasningsprocesser, ved fibercementens indhold af vegetabiliske fibre, der dog ikke vurderes at ændre udvasningsprocessen i betydelig grad. Det er derfor vurderet, at data om udvasningspotentialer af uorganiske stoffer i beton kan overføres direkte til tagplader.

Undtagelsen er bor, der er rapporteret at stamme fra tilsætning af biocid til tagplader.

Herudover er der stor forskel i indhold af organiske miljøfremmede stoffer i tagplader og beton. Data om udvasningspotentialer af disse stoffer fra beton kan derfor ikke overføres direkte til tagplader. Der er desuden stor usikkerhed om tagplader, både under produktion og brug, tilsættes biocider. Et evt. indhold af biocider kan være kritisk i forhold til risici for miljø og mennesker ved genbrug af tagpladerne til bygge- og anlægsarbejder. Det anbefales derfor, at der søges indhentet flere oplysninger om evt. indhold af biocider, og at der evt. udføres udvasningsforsøg på repræsentative prøver af nedknuste tagplader.

6.2 Nyttiggørelse i praksis

Det vurderes på baggrund af den gennemgåede litteratur, at der allerede findes udenlandsk data om mulighederne for at genanvende nedknuste tagplader til fremstilling af nye plader og cement og til brug i anlægs- og byggeprojekter. Generelt er materialet vurderet velegnet til genbrug teknisk set.

Der findes tilsyneladende en række barrierer mod genanvendelse af materialet, bl.a. manglende tiltro til, at genanvendte tagplader i mange tilfælde forbedrer materialeegenskaberne i produktet.

Det anbefales at foretage materialeteknisk vurdering af de knuste materialer med henblik på bedst mulig dansk genanvendelse ved anvendelse af prøvningsmetoder beskrevet i DS/EN 13242 og andre europæiske produktstandarder for tilslagsmaterialer f.eks.

- Kornstørrelsesfordeling til vurdering af materialets potentiale til bærelag, drænegenskaber etc.
- Densitet og absorption
- Permeabilitet
- Vibrationsindstampning (tørdensitet, optimalt vandindhold)

På baggrund af ovenstående egenskaber vurderes mulighederne for at erstatte produkt bestående af naturlige tilslagsmaterialer ved sammenlignende test af egenskaber i laboratoriet og dernæst ved indbygningsforsøg.

Tests kan gennemføres i VD vejlaboratorium, som er udliciteret til NCC.

VD har lavet forskrifter for anvendelse af knust asfalt, beton og forbrændingsslagger til vejbygning. De kan anvendes som inspiration, hvis fibercement skal anvendes på steder, hvor der forventes trafikbelastning. Til ledningsarbejder, støjvold, rekreative formål vil kravene være mindre.

7. Referencer

- Abbaspour, A., Tanyu, B. F. and Cetin, B. (2016) 'Impact of aging on leaching characteristics of recycled concrete aggregate', *Environmental Science and Pollution Research*. Environmental Science and Pollution Research, 23(20), pp. 20835–20852. doi: 10.1007/s11356-016-7217-9.
- Amternes Videncenter for Jordforurening (2004). Teknik og Administration nr. 1, Branchebeskrivelse for beton- og cementvarefabrikker.
- Cembrit Holding A/S (2012). Environmental Product Declaration. Fibre Cement Corrugated Sheets. EPD-CEM-2012311-E. Udført af Institut Bauen und Umwelt e.V.
- Cembrit A/S (2018). Personlig kommunikation med Esben Moos.
- Colangelo, F. *et al.* (2011) 'Treatment and recycling of asbestos-cement containing waste', *Journal of Hazardous Materials*. Elsevier B.V., 195, pp. 391–397. doi: 10.1016/j.jhazmat.2011.08.057.
- Colangelo, F. *et al.* (2018) 'Life Cycle Assessment (LCA) of Different Kinds of Concrete Containing Waste for Sustainable Construction', *Buildings*, 8(5), p. 70. doi: 10.3390/buildings8050070.
- Dias, C. M. R. *et al.* (2008) 'Long-term aging of fiber-cement corrugated sheets - The effect of carbonation, leaching and acid rain', *Cement and Concrete Composites*, 30(4), pp. 255–265. doi: 10.1016/j.cemconcomp.2007.11.001.
- DS/EN 13242+A1:2008, Tilslag til ubundne og hydraulisk bundne materialer til vejbygning og andre anlægsopgaver.
- ECHA (2018). European Chemicals Agency, www.echa.europa.eu
- Emberger, B. *et al.* (2013) 'The Use of Fibre Cement Refuse as a Raw Material Substitute for Cement Clinker Production', *Cement International*, 11(2), pp. 89–98.
- Engelsen, C. J. *et al.* (2009) 'Release of major elements from recycled concrete aggregates and geochemical modelling', *Cement and Concrete Research*. Elsevier Ltd, 39(5), pp. 446–459. doi: 10.1016/j.cemconres.2009.02.001.
- Engelsen, C. J., van der Sloot, H. A. and Petkovic, G. (2017) 'Long-term leaching from recycled concrete aggregates applied as sub-base material in road construction', *Science of the Total Environment*. Elsevier B.V., 587–588, pp. 94–101. doi: 10.1016/j.scitotenv.2017.02.052.
- Estokova, A., Palascakova, L. and Kovalcikova, M. (2016) 'Chromium-leaching study of cements in various environments', 10(6), pp. 727–730.
- Eternit AG (2013). Environmental Product Declaration. Roof and facade panels. EPD-ETE-2013411-E. Udført af Institut Bauen und Umwelt e.V.
- ETEX (2018). Personlig kommunikation med Peter Bech.
- ETEX Group. (2010) 'Fibre-cement recycling - From the grave back to the cradle'. Global Cement Magazine, (October).

Galvín, A. P. *et al.* (2014) 'Leaching assessment of concrete made of recycled coarse aggregate: Physical and environmental characterisation of aggregates and hardened concrete', *Waste Management*, 34(9), pp. 1693–1704. doi: 10.1016/j.wasman.2014.05.001.

Hoyos, L. R., Puppala, A. J. and Ordóñez, C. A. (2011) 'Characterization of Cement-Fiber-Treated Reclaimed Asphalt Pavement Aggregates: Preliminary Investigation', *Journal of Materials in Civil Engineering*, 23(7), pp. 977–989. doi: 10.1061/(ASCE)MT.1943-5533.0000267.

Lupsea, M., Tiruta-Barna, L. and Schiopu, N. (2014) 'Leaching of hazardous substances from a composite construction product - An experimental and modelling approach for fibre-cement sheets', *Journal of Hazardous Materials*. Elsevier B.V., 264, pp. 236–245. doi: 10.1016/j.jhazmat.2013.11.017.

Miljøstyrelsen (2015) *Forurenende stoffer i beton og tegl*.

Miljøstyrelsen (2018a) *Forekomst og udvaskning af problematiske stoffer i knust beton og tegl*.

Miljøstyrelsen (2018b) *Modellering af udvaskning af problematiske stoffer fra beton og tegl*.

Moriconi, G. (2007). Recyclable materials in concrete technology: sustainability and durability. Proceedings of Sustainable Construction Materials and Technologies.

Müllauer, W., Beddoe, R. E. and Heinz, D. (2015) 'Leaching behaviour of major and trace elements from concrete: Effect of fly ash and GGBS', *Cement and Concrete Composites*, 58, pp. 129–139. doi: 10.1016/j.cemconcomp.2015.02.002.

Müller, A. *et al.* (2011). Stoffliche Verwertung von Faserzementabfällen. Zement, Kalk und Gips vol. 3, 2011.

NCC (2018). Personlig kommunikation med Lars Møller Nielsen.

Pizzol, V. D. *et al.* (2014) 'Mineralogical and microstructural changes promoted by accelerated carbonation and ageing cycles of hybrid fiber-cement composites', *Construction and Building Materials*. Elsevier Ltd, 68, pp. 750–756. doi: 10.1016/j.conbuildmat.2014.06.055.

Schoknecht, U. *et al.* (2009) 'Leaching of biocides used in façade coatings under laboratory test conditions', *Environmental Science and Technology*, 43(24), pp. 9321–9328. doi: 10.1021/es9019832.

Schoon, J. *et al.* (2012) 'Waste fibrecement : An interesting alternative raw material for a sustainable Portland clinker production', *CONSTRUCTION & BUILDING MATERIALS*. Elsevier Ltd, 36, pp. 391–403. doi: 10.1016/j.conbuildmat.2012.04.095.

Teixeira, R. S. *et al.* (2014) 'Different ageing conditions on cementitious roofing tiles reinforced with alternative vegetable and synthetic fibres', *Materials and Structures/Materiaux et Constructions*, 47(3), pp. 433–446. doi: 10.1617/s11527-013-0070-0.

Tonoli, G. H. D. *et al.* (2010) 'Effect of accelerated carbonation on cementitious roofing tiles reinforced with lignocellulosic fibre', *Construction and Building Materials*. Elsevier Ltd, 24(2), pp. 193–201. doi: 10.1016/j.conbuildmat.2007.11.018.

Tonoli, G. H. D. *et al.* (2011) 'Effects of natural weathering on microstructure and mineral composition of cementitious roofing tiles reinforced with fique fibre', *Cement and Concrete Composites*. Elsevier Ltd, 33(2), pp. 225–232. doi: 10.1016/j.cemconcomp.2010.10.013.

”

Potentiel udvaskning af problematiske stoffer i forbindelse med nyttiggørelse af nedknuste bølge-eternittagplader uden asbest

I nærværende projekt har man, via et litteraturstudie, undersøgt, om der kan forekomme en udvaskning af problematiske stoffer til grundvand og overfladevand, hvis nedknuste asbestfrie bølgeeternittagplader nyttiggøres til bygge-og anlægsarbejde.

Formålet med projektet har været at afklare, om det alene på baggrund af eksisterende viden kan vurderes, om der vil være en uacceptabel udvaskning af problematiske stoffer ved nyttiggørelse af nedknuste asbestfrie eternittagplader. Det skal endvidere afklares, om eternittagplader kan nyttiggøres på samme måde som anden beton bliver nyttiggjort.

Litteraturstudiet har vist, at der er meget få data om udvaskningspotentialer for tagplader fremstillet af fibercement. Udvasningsprocesserne for beton og cement er dog tilnærmelsesvis ens, og på den baggrund er det vurderet, at for de uorganiske indholdsstoffer kan data om udvaskningspotentialer overføres direkte til fibercementplader. Tilsvarende er ikke tilfældet i forhold til de organiske stoffer, hvor forskellen i indhold vurderes langt større mellem beton og fibercement. Det anbefales derfor, at der udføres udvaskningsforsøg på repræsentative prøver af nedknuste tagplader.

Det anbefales endvidere, at der foretages en materialeteknisk vurdering af de knuste materialer for at opnå den bedst mulige nyttiggørelse af pladerne.



Miljøstyrelsen
Tolderlundsvej 5
5000 Odense C

www.mst.dk