



Udvikling af teknologi til sikker identifika- tion af asbestfri eternitplader



MUDP-rapport

Marts 2023

Udgiver: Miljøstyrelsen

Redaktion:

Lykke Rasmussen, tidligere DanRobotics A/S

Jette Bjerre Hansen, Norrecco A/S

Peter Vig, Cembrit A/S

Richard Kristensen, Kingo Karlsen A/S

Winnie Søndergaard, I/S Deponi Syd

Thomas Højberg Giselsson, Teknologisk Institut

Thilde Fruergaard Astrup, Teknologisk Institut

Bjørn Malmgren-Hansen, Teknologisk Institut

Sofie Kastbjerg, Teknologisk Institut

ISBN: 978-87-7038-498-8

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

Forord	5	
1. Sammenfatning og konklusion	6	
2. Introduktion	9	
2.1 Om eternitmaterialer	9	
2.1.1 Mærkningstyper	9	
2.2 Nuværende affaldshåndtering og lovgivning	10	
2.3 Anvendelse af asbestfri eternit og lovgivning	10	
2.4 Projektets afgrænsninger	12	
3. Udvikling af detektionsteknologi	13	
3.1 Baggrund og motivation	13	
3.2 Forsøgsmateriale	13	
3.3 Sensorvalg	15	
3.4 Databehandling	16	
3.5 Pilotforsøg med automatisk identifikation af asbestfri eternitplader	20	
3.6 Delkonklusioner	22	
4. Udvikling af automatiseret anlæg til håndtering af bølgeplader	23	
4.1 Baggrund for udvikling og konstruktion af pilotanlæg	23	
4.2 Beskrivelse af pilotanlægget	23	
4.2.1 Sekvensbeskrivelse	24	
4.3 Pilottest af sorteringsanlæg	24	
4.3.1 Step 1: Håndtering af eternitplader	24	
4.3.2 Step 2: Afrensning af plader	26	
4.3.3 Step 3: Identifikation og sortering af plader	29	
4.4 Delkonklusion og fremtidigt fuldskalaanlæg	29	
5. Eksperimentelle materialeundersøgelser	30	
5.1 Forsøgsemner	30	
5.2 Neddelingsforsøg	31	
5.2.1 Forsøg 1: Nye Cembritplader	32	
5.2.2 Forsøg 2: Gamle plader fra nedrivninger	35	
5.3 Analyser på neddelte fraktioner	36	
5.3.1 Indhold af større plaststykker	36	
5.3.2 Bestemmelse af kornstørrelsesfordelinger	36	
5.4 Materialekarakterisering af asbestfri eternitplader	38	
5.4.1 Fugtindhold og -mætning	38	
5.4.2 Densitet og maksimal vandabsorption	39	
5.4.3 Kemisk materialesammensætning	39	
5.5 Delkonklusion	41	
6. Muligheder for materialenyttiggørelse af asbestfri eternit	42	
6.1 Generelle overvejelser om materialenyttiggørelse	42	
6.2 Genbrug af hele, asbestfri eternitplader	42	

6.3	Genanvendelse til produktion af nye eternitplader	43
6.4	Genanvendelse i beton og mørtel	43
6.4.1	Beton	43
6.4.2	Mørtel	44
6.5	Genanvendelse til cementproduktion	44
6.5.1	Sammensætning af fibercement	44
6.5.2	Cementfremstillingsproces hos Aalborg Portland	46
6.5.3	Fuldskalaforsøg: Cementfremstilling hos Aalborg Portland	47
6.6	Anden nyttiggørelse i ubundet bærelag under pladser/veje	49
6.7	Andre anvendelsesmuligheder	54
6.8	Opsummering	54
7.	Potentialer og businesscase	55
7.1	Mængder af eternitplader	55
7.2	Setup og businesscase	58
7.2.1	Businesscase for sorteringsanlæg samt knusning	59
7.3	Perspektiver og potentialer	61
8.	Konklusion	62
	Bilag 1.Mærkning af plader fra Cembrit	64
	Bilag 2.Eksempler på mærkning med NT	68
	Bilag 3.Udvaskningstest	69
	Bilag 4.Knusning af plader til fuldskalaforsøg	72

Forord

Dette er slutrapporten for projektet 'Udvikling af teknologi til sikker identifikation af asbestfri eternitplader' under Miljøstyrelsens tilskudsordning MUDP 2018. Projektet er gennemført i perioden fra 1. januar 2019 til 30. april 2022 som et samarbejde mellem DanRobotics A/S, Norrecco A/S, Cembrit Holding A/S, Kingo Karlsen A/S, I/S Deponi Syd og Teknologisk Institut. Derudover har Aalborg Portland A/S bidraget med yderst værdifuld viden og udførelse af stor-skalaforsøg med materialenyttiggørelse af de asbestfri materialer.

Det overordnede formål med projektet har været at udvikle og demonstrere et automatiseret pilotanlæg til identifikation og håndtering af asbestfri eternitmaterialer, hvilket muliggør udsortering af garanteret asbestfri eternitplader. Denne sikre sortering skaber nye genanvendelsesmuligheder for de asbestfri eternitplader, f.eks. i form af direkte genbrug i byggeindustrien eller materialenyttiggørelse i andre byggeprodukter. Der er således udviklet et pilotsetup til automatisk håndtering og identifikation af asbestfri eternitbølgetagplader, ligesom forskellige genanvendelsesruter for de asbestfri materialer er undersøgt.

Rapporten indledes med en introduktion til projektets baggrund ift. eternitmaterialer og nuværende affaldshåndtering (kap. 2). Herefter følger en beskrivelse af udvikling af hhv. detektions-teknologi og automatisk håndtering (robotpilotanlæg) i kapitlerne 3 og 4. I kapitel 5 beskrives neddelingsforsøg og generelle materialeundersøgelser mhp. genanvendelse og/eller nyttiggørelse af materialerne gennem forskellige materialenyttiggørelsesruter, som beskrives, undersøges og vurderes i kapitel 6. Slutteligt præsenteres i kapitel 7 vurderinger af potentialer og implementeringsmuligheder for sortering og genanvendelse af asbestfri eternitplader.

Projektets styregruppe har bestået af:

- Lykke Rasmussen/Michael Friis, DanRobotics A/S
- Karsten Ludvigsen/Jette Bjerre Hansen, Norrecco A/S
- Peter Vig, Cembrit Holding A/S
- Richard Kristensen, Kingo Karlsen A/S
- Poul Thorn/Peter Klausen Schibye/Winnie Søndergaard, I/S Deponi Syd
- Dorthe Hamann/Sofie Kastbjerg, Teknologisk Institut
- Jakob Kortbek, Teknologisk Institut
- Rune Østergaard Haven/Thilde Fruergaard Astrup, Teknologisk Institut
- Cecilie Østerskov Madsen, Miljøstyrelsen.

Øvrige aktive projektdeltagere var:

- Thomas Høiberg Giselsson, Teknologisk Institut
- Bjørn Malmgren-Hansen, Teknologisk Institut.

1. Sammenfatning og konklusion

Eternit er et fiberforstærket cementmateriale, også kaldet fibercement, med helt unikke egenskaber, som bl.a. høj styrke og lang holdbarhed, der gør materialet særligt velegnet som byggemateriale til bl.a. tag og facader. Eternit blev oprindeligt fremstillet som asbestcement ved at blande cement og asbestfibre i vand i mange tynde lag, der tilsammen udgjorde en formbar plade. Asbest har dog vist sig stærkt skadeligt for den menneskelige organisme pga. asbestfibreneres fine struktur, hvorfor produktion af tagplader med asbestfibre blev forbudt efter 1988.

Eternittagplader produceret efter 1988 og fremefter er således baseret på alternativ fiberforstærkning og garanteret asbestfri, hvilket dog ikke umiddelbart er synligt. Derfor bliver alle brugte og udtjente tagplader af eternit – både asbestholdige og asbestfri – deponeret som farligt affald med unødvendig optagelse af deponeringskapacitet og store bortskaffelsesomkostninger som konsekvens. Således ligger der en betragtelig miljømæssig og økonomisk værdi i at få bekræftet, at asbestfri eternitplader faktisk er asbestfri, idet det vil reducere mængden af deponerede eternitplader og samtidig muliggøre genbrug og materialenyttiggørelse af de asbestfri eternitmateriale til nye produkter i byggeindustrien.

På denne baggrund er der gennem MUDP-projektet "Udvikling af teknologi til sikker identifikation af asbestfri eternitplader" udviklet og demonstreret et automatiseret pilotanlæg til udsortering af garanteret asbestfri eternitplader. Denne udsortering muliggør såvel direkte genbrug af hele, intakte plader som materialenyttiggørelse af de asbestfri eternitplader i form af genanvendelse som råstof i cementfremstilling.

Identifikationen af de asbestfri eternitbølgeplader er baseret på vision-teknologisk aflæsning af den specifikke mærkning, der er printet eller præget på pladerne under produktionen, men som ikke altid umiddelbart er synlig for det menneskelige øje. De specifikke mærkninger varierer fra forskellige producenter, men siden starten af 2001 har alle asbestfri plader leveret til det danske marked været mærket med koden NT ('Non-asbestos Technology'). Identifikationsteknologien havde således til formål at demonstrere detektion af 'NT'-delen af en mærkning og blev udviklet og testet gennem forsøgsopstillinger baseret på hhv. fotometrisk stereo og sheet-of-light. Begge teknikker kan generere et relativt dybdebillede, hvor mærkninger i form af præget tekst bliver fremhævet. En model baseret på et neuralt netværk blev trænet med ca. 80 eksempler på 'NT' og efterfølgende anvendt på et valideringsdatasæt. Valideringsdatasættet bestod ligeledes af ca. 80 eksempler, og det kunne konkluderes, at modellen havde en præcision på ca. 95 %. Både falske positive og falske negative kunne forklares og anses ikke som egentlige fejl, men derimod som tilfældigheder, der vil kunne undgås ved en simpel forfining af modellen. Alle forsøg er baseret på forsøgsmateriale bestående af 150 eternitplader af forskellig beskaffenhed. Dette anses dog som et begrænset datasæt, og yderligere forsøg og modelforfining bør udføres før konstruktion af et fuldskaalanlæg.

I udviklingen af selve det automatiserede pilotanlæg til håndtering og sortering af eternitpladerne har der været stort fokus på at få detektionsteknologien kombineret med de nødvendige håndterings- og behandlingstrin i forbindelse med sorteringen, dvs. løft, transport, afrensning, detektion og sortering. Håndteringen af eternitpladerne er designet som en automatiseret løsning med en industrirobot, som løfter og placerer eternitpladerne enkeltvis ved hjælp af vakuum. Pladerne transporteres hen til robotten på europaller, hvorfor det er en forudsætning for brug af anlægget,

at tagpladerne er placeret på paller ved modtagelse. Robotten flytter herefter en plade gennem afrensning og scanning, hvorefter pladerne sorteres efter, om der detekteres et 'NT' eller ej.

Det konstruerede pilotanlæg er testet med brugte, asbestfri eternitplader af blandet beskaffenhed for at demonstrere teknologiens performance ved driftslignende forhold. Gennem tre pilottests er det demonstreret, at det er muligt at designe et automatiseret anlæg, der med stor sikkerhed kan håndtere, rense og sortere eternitplader af forskellig beskaffenhed. Testene har vist, at der med robotter og vakuumbremser kan foretages en meget sikker håndtering af pladerne, selv for meget skrøbelige og skadede plader. Afrensningen af pladerne kan ligeledes foretages i en kvalitet, så der med høj sikkerhed kan ske korrekt identifikation og efterfølgende sortering af pladerne. De udviklede metoder er brugt til designudvikling og simulering af et fuldskalaanlæg, som DanRobotics har udarbejdet med henblik på mulig fremtidig konstruktion og salg af et fuldskalaanlæg til sortering af eternitplader fra modtagelse af paller med nedtagne eternitplader, over afrensningsproces til identifikation og sortering på paller med henholdsvis ikke-asbestholdige og potentielt asbestholdige eternitplader. De sorterede plader kan herefter transporteres til henholdsvis genbrug/genanvendelse eller deponi.

For at undersøge og vurdere forskellige muligheder for materialenyttiggørelse af de asbestfri eternitmaterialer er der foretaget adskillige neddelings- og materialekarakteriseringsforsøg. Baseret på de gennemførte og beskrevne neddelingsforsøg, kan det konkluderes, at det er muligt at neddele både nyere bølgeeternitplader og ældre plader med tilgængeligt neddelingsudstyr hos Norrecco. De nyere plader gav et tab som følge af indholdet af plaststrips i pladerne. Materialeanalyser blev udført på de asbestfri materialer for blandt andet at undersøge fugtegenskaber, størrelsesfordelinger for de neddelte fraktioner og kemiske sammensætninger. Analyserne viste blandt andet, at fibercementplader er vandsugende, og at kornstørrelsesfordelinger for de neddelte fraktioner indikerer, at >90 % af materialet er over 1 mm. Der er et indhold af organisk materiale i form af PVA/cellulosefibre i pladerne, organiske bindere i overfladebehandlede plader og organiske rester af algebegrøning m.m. Grundstofsammensætningen er svagt varierende, men var domineret af grundstoffer, som typisk findes i cement, dvs. calcium, silicium og aluminium.

Baseret på de gennemførte materialekarakteriseringsforsøg er forskellige muligheder for materialenyttiggørelse af de bekræftede asbestfri eternitplader vurderet (se opsummering i TABEL 13) med hensyn til tekniske muligheder og miljømæssigt perspektiv, herunder placeringen i affaldshierarkiet (FIGUR 40). For hele, intakte, asbestfri eternitplader er direkte genbrug af de hele tagplader det meste oplagte valg, idet materialerne udnyttes højst muligt i affaldshierarkiet og med minimal håndtering/bearbejdning. Hvis direkte genbrug ikke er mulig, er det nødvendigt at neddele eternitplader i grovere eller finere fraktioner. Finneddelte fraktioner (<0,1 mm) kan potentielt anvendes til fremstilling af nye eternitplader eller som tilsætning i fremstilling af beton og mørtel, men fælles for disse muligheder er, at der kun kan tilsættes meget små mængder uden at forringe egenskaberne af det færdige produkt, og følsomheden for urenheden er stor, hvilket kræver afrensning/finsortering i tillæg til den omstændige finneddeling. En anden undersøgt mulighed for nyttiggørelse af neddelte eternitplader er som ubunden bærelag. Her kræves dog en kontrolleret kornstørrelsesfordeling, og erfaringer viser, at eternitmaterialernes natur giver en fjedrende effekt, som ikke er ønsket under fx veje og pladser. Ydermere er kapaciteten i denne løsning begrænset, og der kan der forekomme udvaskning af problematiske stoffer til miljøet, når de neddelte materialer anvendes i ubundne bærelag.

Den mest lovende mulighed for materialenyttiggørelse af de plader, der ikke kan genbruges direkte som hele plader, vurderes at være anvendelse som råstof til cementproduktion hos Aalborg Portland. Her udnyttes eternitpladernes kemiske sammensætning, som ligner portlandcementen meget, ligesom der ikke kræves særlig afrensning eller materialebearbejdning udover en grovneddeling. Der er således med stor succes udført fuldskalaforsøg hos Aalborg

Portland for at demonstrere anvendeligheden af eternitmaterialerne som råstof til ny cement. Der blev tilsat 17 tons neddelte, asbestfri plader til Aalborg Portlands proces med et flow på 4 ton/time svarende til en dosering på 2 % af den totale klinkeproduktion. Der blev ikke observeret nogen ændringer eller udfordringer med hverken procesparametre eller kvaliteten af de resulterende cementklinker, og med Aalborg Portlands produktionskapacitet og materialeforbrug vil det ikke være noget problem at aftage minimum 10.000 ton asbestfri eternitplader årligt.

Endelig indikerer beregninger og vurderinger af fremtidige mængder nedtagne eternitplader, mulige setups, etablerings- og driftsomkostninger for et sorteringsanlæg samt sorterings- og genanvendelseskapaciteter store potentialer for opskalering og implementering af projektets udviklede løsninger i fuldskala. De største potentialer for projektets udviklede sorteringsanlæg ses i at køre et anlæg, der skal fungere som en automatiseret løsning, der kan sikre og dokumentere, at eternitplader, der af fx nedrivere allerede er forventet at være asbestfri, rent faktisk også er det. Med dokumentation for, at materialerne er asbestfri, vil pladerne kunne sælges til direkte genbrug eller til materialenyttiggørelse som råmaterialer til ny cementproduktion som testet med succes i projektet.

2. Introduktion

Dette indledende kapitel beskriver projektets baggrund i form af en introduktion til eternitmaterialer og mærkninger af disse samt affaldshåndteringen og genanvendelsesmulighederne, som de ser ud i dag.

2.1 Om eternitmaterialer

Eternit er et fiberforstærket cementmateriale, også kaldt fibercement, med helt unikke egenskaber, som bl.a. høj styrke og lang holdbarhed, der gør materialet særligt velegnet som byggemateriale til bl.a. tag og facader. Tagplader af eternit har en typisk sammensætning på ca. 75 % cement, 10 % inert fyldstof, 5-8 % organiske fibre, 0-5 % pozzolan og ca. 1 % andre additiver.

Eternit er langt fra nogen ny opfindelse. Eternit blev oprindeligt fremstillet som asbestcement, der blev opfundet af østrigeren Ludvig Hatschek i slutningen af 1800-tallet. Inspireret af papirindustrien fandt han på at fremstille plader ved at blande cement og asbestfibre i vand, som efterfølgende blev samlet op i mange tynde lag, der tilsammen udgør en plade. Pladerne blev efterfølgende presset på en formlade, som gav den ønskede geometri, fx som bølgeplade. FLSmidt & Co. erhvervede sig patentrettighederne for Skandinavien, hvorefter Dansk Eternit Fabrik A/S blev stiftet i 1927. Det blev starten på produktionen af eternitmaterialerne, der ligger på mange tage rundt omkring i Danmark.

Asbest er en fællesbetegnelse for en række naturligt forekommende mineraler i fin fiberstruktur, der gør dem lette at forme, og som giver stor styrke, men som først og fremmest kan modstå meget høje temperaturer. Op gennem 1900-tallet har asbest været meget anvendt i en lang række af industrier, herunder i byggebranchen. Asbest har dog vist sig stærkt skadeligt for den menneskelige organisme pga. asbestfibreneres fine struktur. Indånding af asbestholdigt støv kan blandt andet forårsage lungesygdommene asbestose og lungekræft. Da det i 1970'erne og 1980'erne stod klart, at asbest havde disse sundhedsskadelige egenskaber, blev brugen heraf forbudt i de fleste lande, herunder Danmark. Der blev desuden indført strenge regler for arbejdet med allerede indbyggede asbestholdige materialer.

Dansk Eternit hedder i dag Cembrit. Hos Cembrit produceres stadig eternitplader efter samme principper, som Ludvig Hatschek opfandt, men alle asbestfibre er erstattet af en blanding af cellulose og syntetiske fibre af fx PVA. Produktion af tagplader med asbestfibre ophørte i 1988, og fra 1984 var det i en overgangsperiode muligt at købe asbestfri bølgeplader af fibercement. Generelt gælder det, at:

- bølgeplader fra før 1984 indeholder asbest
- bølgeplader fra 1985-1987 kan indeholde asbest
- bølgeplader produceret efter 1987 altid er asbestfri.

2.1.1 Mærkningstyper

Når eternitbølgeplader produceres, påføres en specifik mærkning enten som print eller som prægning. De specifikke mærkninger varierer fra forskellige producenter, men siden starten af 2001 har asbestfri plader været mærket med koden NT (Non asbestos Technology), jf. standarden EN 494, som omfatter bølgepladerne. Dette gælder for alle leverandører til det danske marked.

Før 2001 har Cembrit anvendt forskellige mærkningstyper, som er nærmere beskrevet i Bilag 1. Selv om mærkningerne ikke indeholder betegnelsen 'NT', kan det stadig aflæses, hvorvidt

materialet er asbestholdigt eller ej. Eksempelvis har asbestfri bølgeplader fra Cembrit produceret i perioden oktober 1986 til marts 2001 mærkninger bestående af 8 cifre. Hvis første ciffer er et 4- eller et 5-tal, er pladen produceret uden asbest. Der indgik færre cifre i mærkningen af plader produceret før oktober 1986, samt asbestholdige plader produceret frem til december 1987.

Fra 2001 og frem har der været anvendt forskellige koderstreng, som udover 'NT' indeholder en række andre oplysninger, fx blev 'DE' for Dansk Eternit brugt som start af mærkningen fra januar 2001 til december 2004. Fra januar 2005 og frem til i dag er starten af mærkningen ofte 'CEMBRIT' (eller af og til et 'huspiktogram').

'NT' kan være placeret forskellige steder i mærkningen, som vist i eksemplerne i Bilag 2.

2.2 Nuværende affaldshåndtering og lovgivning

Eternitplader med asbest er klassificeret som farligt og som deponeringsegnet affald. De danske deponeringsanlæg modtager årligt omkring 100.000 tons affald¹ som asbestholdigt til deponering efter reglerne i bekendtgørelse om deponeringsanlæg (BEK 719:2011)². Eternitplader uden asbest anvises oftest af kommunerne, enten i kommunernes erhvervsaffaldsregulativ eller ved en konkret anvisning, til deponering, og pladerne deponeres som asbestholdigt affald. Det sker ud fra et forsigtighedshensyn, da det udover mærkningen ikke er muligt visuelt at skelne mellem asbestfri og asbestholdige plader. Det registreres ikke, om de eternitplader, der modtages til deponering, indeholder asbest eller ej.

Eternitplader fra nedrivninger og renoveringer køres oftest direkte fra nedtagningslokaliteten til deponering. Små håndværkere og private borgere har i mange kommuner også mulighed for at aflevere eternitplader på den lokale genbrugsstation. Flere og flere kommuner og forsyningsselskaber igangsætter permanente ordninger eller forsøgsordninger med afhentning af emballeret asbestaffald og eternitaffald hos borgerne. Det gælder fx for Kolding Kommune og hos AVV. Der skelnes i de ordninger ikke mellem asbestholdige og asbestfri eternitplader. De indsamlede plader deponeres i deponeringsceller for asbestaffald.

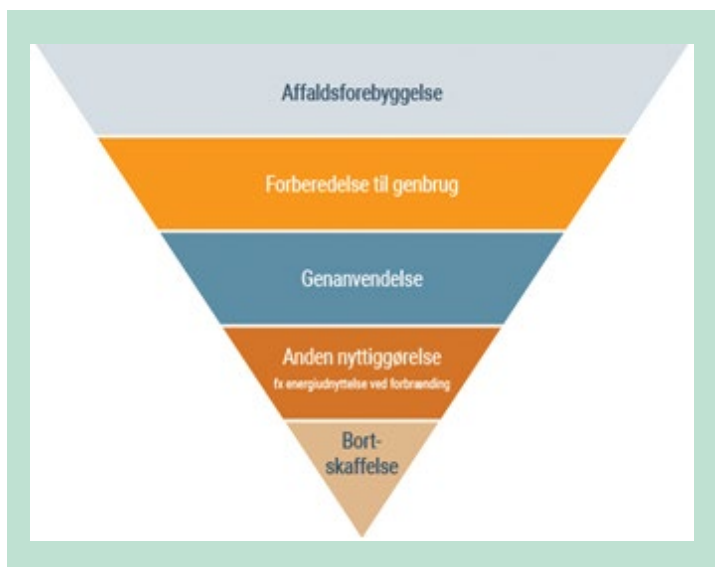
2.3 Anvendelse af asbestfri eternit og lovgivning

Med en ny teknologi til at sikre, at udsorterede eternitplader ikke indeholder asbest, er det igen relevant at undersøge mulighederne for genbrug, genanvendelse og anden nyttiggørelse af de asbestfri eternitplader. Det er et princip i den danske model for affaldshåndtering, at affald behandles så højt i affaldshierarkiet som muligt (se FIGUR 1).

I det følgende beskrives de lovgivningsmæssige rammer for genbrug, genanvendelse og anden nyttiggørelse af asbestfri eternitplader.

¹ Affaldsstatistik 2019. Miljøprojekt nr. 2152. Miljøstyrelsen.

² Bekendtgørelse om deponeringsanlæg, BEK 719:2011



FIGUR 1. Affaldshierarkiet. Asbestfri eternitplader søges behandlet så højt i affaldshierarkiet som muligt.

Genbrug af asbestfri eternitplader

Genbrug af asbestfri eternitplader er en oplagt mulighed, hvis pladerne er uskadede og hele efter nedtagningen. Genbruges eternitpladerne direkte, når pladerne ikke skal blive til affald og er derfor ikke omfattet af affaldsdefinitionen. Det er dog altid kommunen, som afgør, om der i en given situation er tale om affald jf. affaldsbekendtgørelsens § 4, stk. 1 (BEK 2159:2020)³.

Hvis eternitpladerne tages ned og efterfølgende sorteres i et sorteringsanlæg, vil der formentlig være tale om forberedelse til genbrug, og eternitpladerne vil være omfattet af affaldsreglerne. Et centralt anlæg til sortering af eternitplader vil derfor skulle have en miljøgodkendelse efter miljøbeskyttelseslovens kap. 5 (MBL 1218:2019)⁴.

Genanvendelse af asbestfri eternitplader i nye produkter

Genanvendelse af neddelte eternitplader i nye produkter kræver, at materialet er egnet til formålet og kan opfylde eventuelle produktstandards krav til råmaterialet. Desværre tager mange produktstandarde endnu ikke højde for at kunne anvende genanvendte materialer i produkterne, og krav til genanvendte råstoffers kvalitet er fraværende. Dette er dog et område, som i disse år udvikler sig.

I dag er det oftest op til den enkelte producent at vurdere, om materialet er egnet til genanvendelse i et produkt og at opstille modtagekrav til det neddelte materiale.

Anden nyttiggørelse af asbestfri eternitplader

Anden nyttiggørelse⁵ af neddelte asbestfri eternitplader som ubundne materialer, fx i forbindelse med etablering af pladser, mindre vejanlæg, ridebaner mv., kræver en konkret tilladelse efter miljøbeskyttelseslovens § 19 eller en egentlig godkendelse efter miljøbeskyttelseslovens kap 5. Neddelte asbestfri eternitplader er ikke omfattet af restproduktbekendtgørelsens (BEK 1672:2016)⁶ bestemmelser. Miljøstyrelsen understreger dette på deres hjemmeside, hvor følgende fremgår:

³ Bekendtgørelse om affald, BEK 2159:2020

⁴ Bekendtgørelse af lov om miljøbeskyttelse, BEK 1218:2019

⁵ Defineret som 'Anden endelig materialenyttiggørelse' i affaldsbekendtgørelsen

⁶ Bekendtgørelse om anvendelse af restprodukter, jord og sorteret bygge- og anlægsaffald, BEK 1672:2016

'Det er Miljøstyrelsens vurdering, at tagplader ikke kan anvendes efter reglerne i bekendtgørelse nr. 1672 af 15. december 2016 om anvendelse af restprodukter, jord og sorteret bygge- og anlægsaffald (restproduktbekendtgørelsen), da disse kan indeholde asbestfibre eller andre fibre, som kan indeholde miljøskadelige stoffer. Herudover vil tagplader, der er malede, alene af den grund ofte ikke kunne anvendes uden en konkret tilladelse efter miljøbeskyttelsesloven.'

Tilladelse efter miljøbeskyttelseslovens § 19, stk. 1 og 2 gives af den kommune, i hvilken det neddelte materiale tænkes nyttiggjort.

Ved en nyttiggørelsesoperation erstatter affald andre materialer, der ellers ville være anvendt til formålet, fx naturmaterialer. Der ligger derfor i begrebet, at affaldet, som tænkes nyttiggjort, skal være egnet til formålet og være begrænset til den strengt nødvendige mængde til at opfylde formålet.

Deponering af eternitplader

Asbestholdige og ofte også ikke asbestholdige eternitplader deponeres som nævnt på danske deponeringsanlæg som asbestholdigt affald efter reglerne i bekendtgørelse for deponeringsanlæg (BEK 711:2019). Inden ankomst til deponeringsanlægget skal affaldet være anmeldt til deponeringsanlægget (deklaration), og anlægget skal godkende affaldet til modtagelse. Pladerne deponeres på særskilte celler for asbestaffald på enheder for mineralsk affald eller blandet affald. Deponeringsanlæggene modtager kun hele eternitplader, eller - hvis de er gået i stykker - forsvarligt indpakket i plast, big bags eller lignende materiale, som kan holde til håndteringen. På deponeringsanlægget afdækkes det asbestholdige affald på daglig basis med et afdæknings-lag på minimum 0,2 meters tykkelse.

Ifølge bekendtgørelse om deponeringsanlæg (BEK 711:2019) må affald, der deponeres som asbestholdigt affald ikke indeholde andre farlige stoffer end bundet asbest og asbestfibre, der er bundet af et bindemiddel eller indpakket i plast.

2.4 Projektets afgrænsninger

I nærværende projekt arbejdes der udelukkende med bølgetagplader af eternit. Pladerne kan i princippet være af alle typer B5, B6, B7, B9 og af forskellige fabrikater, men i projektet er kun undersøgt identifikation på et begrænset antal typer. Der vil således ikke blive undersøgt sorterings- eller genanvendelsesmuligheder for andre eternitprodukter. Denne afgrænsning er valgt, da der her vurderes at være de største potentialer og samtidig største udfordringer ift. håndtering og løft pga. bølgeformen.

Derudover er det valgt at fokusere detektionsteknologien (beskrives i kapitel 3) på at identificere 'NT' i projektets demonstrationssetup. På denne måde er det kun asbestfri eternitplader fra 2001 og frem, der godkendes som asbestfri, men systemet vil kunne udvides til at identificere flere tal-/kødestrengte som værende asbestfri i et fuldskalasystem, hvis det ønskes. (Det må dog forventes, at pladerne er af ringere kvalitet, desto ældre de er).

3. Udvikling af detektionsteknologi

Følgende kapitel beskriver baggrunden for og resultaterne af de projektaktiviteter, der omhandler udvikling og demonstration af detektionsteknologi. Afsnit 3.1 opsummerer kort baggrunden for, hvorfor der arbejdes med detektionsmetoder for identifikation af asbestfri profilerede, fiberforstærkede betontagplader, herefter refereret til som eternitplader. Afsnit 3.2 beskriver det forsøgsmateriale, der er anvendt under forsøg i laboratorie. Forsøgsmaterialet er ligeledes basis for de forsøgsresultater, der beskrives i nærværende kapitel. Afsnit 3.3 beskriver de sensorteknikker, der er afprøvet og anvendt gennem projektarbejdet. Afsnit 3.4 beskriver databehandlingsmetoder samt opnåede resultater for identifikation af asbestfri eternitplader.

3.1 Baggrund og motivation

Projektets mål er at undgå deponering af asbestfri eternitplader. Dette kræver, at der er sikkerhed for, at pladerne er produceret uden asbest, hvorfor der er arbejdet med udvikling af metoder og teknikker til at kunne identificere eternitplader uden asbestfibre.

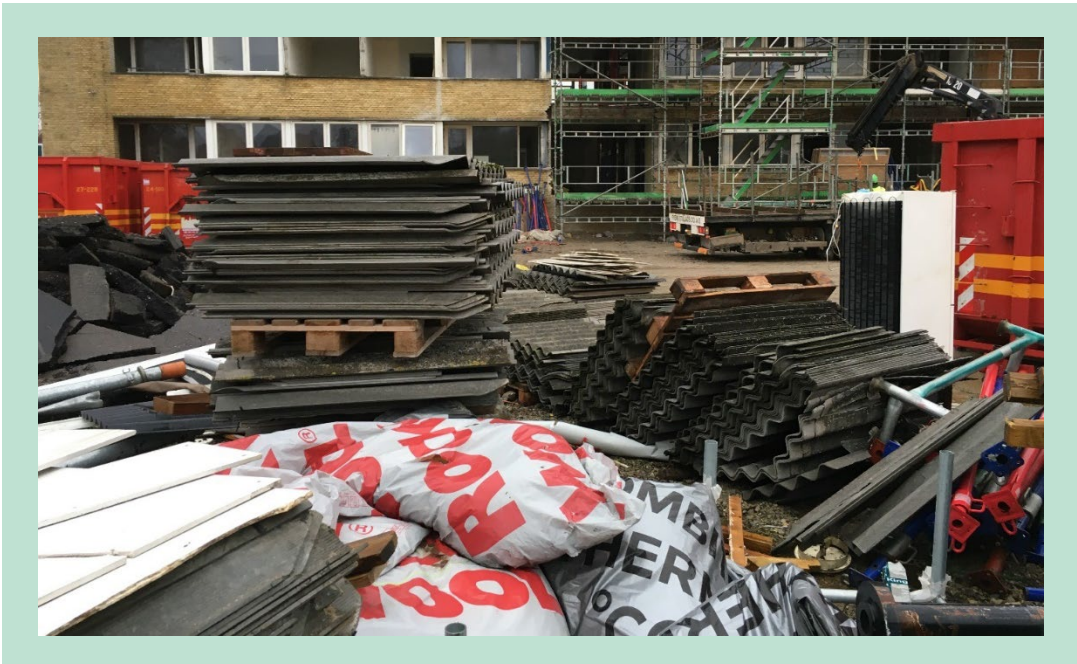
Det stod tidligt i projektet klart, at der eksisterer kommercielt tilgængelige, håndholdte scannere, der kan anvendes til at analysere et materiale for tilstedeværelsen af asbestfibre. Produktet microPHAZIR™ fra Thermo Fisher Scientific er en håndholdt scanner, der via ikke-destruktiv spektrumanalyse kan identificere tilstedeværelsen af asbestfibre. Scanneren baserer sig på spektralanalyse af tilbagekastet infrarødt lys. Gennem dialog med Thermo Fisher Scientific blev det dog klart, at deres udstyr primært er beregnet til at bekræfte en mistanke om, at et emne indeholder asbestfibre. Det kan således ikke garanteres, at et emne er fri for asbestfibre, hvis udstyret ikke detekterer fibre. Det må dog forventes, at sandsynligheden for tilstedeværelse af asbestfibre i et emne er lille, hvis udstyret ikke identificerer en tilstedeværelse.

Det konkluderes således, at en metode, der bygger på en spektrumanalyse baseret på spektraldata optaget i det nærinfrarøde område kan anvendes til at detektere asbestfibre, men ikke med 100 % nøjagtighed for 'negativ-resultater'. Metoden vil kunne anvendes i samspil med andre metoder.

Som beskrevet i afsnit 2.1.1 er eternitpladerne opmærket med en talkode, en tekststreng og/eller grafik, herefter refereret til som ID, der indeholder oplysninger såsom produktionslinje, produktionsår og produkttype, samt om en given eternitplade er produceret uden asbestfibre (jf. EN 494). Projektgruppens valg af strategi for detektion af asbestfri plader blev således identifikation via aflæsning af ID på hver enkelt eternitplade.

3.2 Forsøgsmateriale

Projektgruppens repræsentanter fra nedrivning og deponi, Kingo Karlsen A/S og Deponi Syd, verificerede, at en stor del af muligt asbestholdige materialer udgøres af profilerede tagplader. Der er i projektet derfor fokuseret på disse emner. Projektarbejdet er udført på forsøgsemner fra flere oprindelser. De første undersøgelser på <10 emner blev gjort på plader fra en nedrivningsopgave ved Nyborgvej, Odense, se FIGUR 2. Disse plader havde en identificerbar mærkning, omend med væsentligt smuds og mindre begroning på overfladen. De indledende forsøg gjorde det klart, at det sandsynligvis vil være nødvendigt med en renseproces, der fjerner løst materiale og begroning. Afrensningen blev foretaget manuelt på forsøgsmaterialet. Se eksempel på FIGUR 3 og FIGUR 4. Afsnit 4.3.2 beskriver aktiviteter relateret til afrensning.



FIGUR 2. Byggeaffald fra nedrivning, Nyborgvej, Odense.



FIGUR 3. Tagplade fra nedrivning før afrensning.



FIGUR 4. Tagplade fra nedrivning efter manuel afrensning med nylonbørste og vand.

I de indledende forsøg blev der arbejdet på ikke-malede og sortmalede plader. I de senere forsøg med op mod 150 plader blev der primært arbejdet med ikke-malede plader. Derudover blev det besluttet primært at arbejde med nye, ubrugte plader for at undgå at fokusere på renseprocessen. De primære forsøg er udført i værksted på Teknologisk Institut i Odense. Der er arbejdet med pladestykker for at undgå unødigt tunge løft. Alle pladestykker indeholder ID-præget mærkning.

Visse aktiviteter i projektet blev udfordret af, at det viste sig vanskeligere end forventet at skaffe et større sæt varierende forsøgsemner. Det lykkedes dog at samle 151 forsøgsemner fordelt på 11 pladetyper. En oversigt kan ses i TABEL 1. Pladerne i kategori 1, 2, 3, 5 og 6 var sammenlignelige i forhold til font og tekststørrelse og blev kombineret til et datasæt. Dette refereres fremadrettet til som plader tilhørende 'Type2'.

TABEL 1. Oversigt over mærkninger på de forskellige forsøgsemner.

Kategori	Mærkning top (udad)	Mærkning bund (mod hus)	Farve	Antal
1	NT C1X C091098	ja (sort skrift)	natur/grå	19
2	C1X 261599 NT	nej	natur/grå	7
3	G4 C1X 221199 NT	nej	natur/grå	53
4	CEMBRIT CX 01100012 NT	nej	natur/grå	1
5	C1X311699NT	nej	natur/grå	6
6	C1X 461599 NT	nej	natur/grå	15
7	51290170	nej	natur/grå	10
8	C1X 140601 NT S-R		natur/grå	10
9	CEMBRIT C1X 0218 1002 NT S	C1X NT S 07.01.20-1 (grøn skrift)	sort	10
10	trekant 02 19 08 7 resten mangler	C1X NT S 26.11.19-2 (grøn skrift)	rødbrun	10
11	CEMBRIT B2Y 1318 0674 NT	nej	natur/grå	10

3.3 Sensorvalg

Cembrit, projektpartner og producent af eternittagplader, har oplyst, at ID ofte bliver præget ind i pladerne under produktion. Det betyder, at ID'et primært kan karakteriseres som en geometrisk ændring af overfladen frem for fx farvepigment på en plan flade. Af denne grund er der arbejdet med sensorteknikker, der er følsomme for geometriske variationer. De to primært undersøgte teknikker er derfor fotometrisk stereo og sheet-of-light.

Ved fotometrisk stereo optages et billedsæt af en given overflade. For hvert billede ændres lyssætningen, således at skygger, der opstår på grund af de geometriske strukturer på overfladen, er forskellige fra billede til billede. Ved fotometrisk stereo optages et billedsæt af en given overflade. Ved at kende til lyssætningen kan prægningen i en given overflade gøres fremtrædende i genereret data. En forsøgsopstilling kan ses på FIGUR 5. Fordelen ved denne målemetode er, at der kan genereres et relativt dydbillede af et større område ad gangen. I den anvendte forsøgsopstilling blev der genereret et relativt dydbillede af et område på ca. 300 x 300 mm for hvert opsamlet billedsæt.



FIGUR 5. Laboratorieopsætning for afprøvning af fotometrisk stereo. 6 lyskilder placeret i forskellige positioner belyser alle det samme område på ca. 30x30 cm. Kamera er placeret direkte over dette område med billedfeltet rettet mod området.

Ved sheet-of-light-metoden optages 3D-profiler af overfladen ved hjælp af en linjelaser og et kamera. Ved at bevæge eternitpladen under sensoren kan der opsamles 3D-profiler for hele pladen, som kan kombineres til et 3D-datasæt. Med en tilstrækkelig høj opløsning på sensorens dybdemåling kan prægningerne i eternitpladen identificeres.

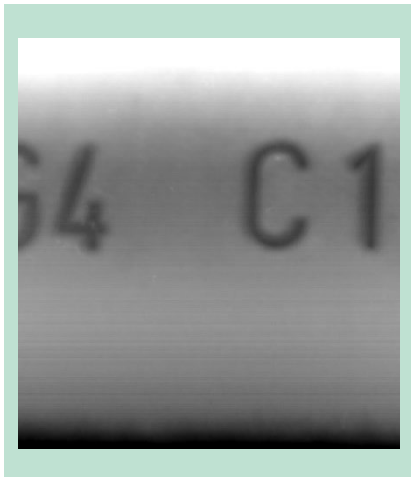
Der er arbejdet med begge teknikker i projektet, og de relative dydbilleder, der kan fremstilles, anses for at være sammenlignelige i forhold til muligheden for efterfølgende at arbejde med identifikation af mærkninger.

3.4 Databehandling

Data opsamlet fra sensorforsøgsopstillingerne efterbehandles på meget forskellig vis på grund af den underliggende måleteknik. Fælles er dog, at det resulterende data kan fortolkes som et relativt dydbillede af eternitpladen. ID'et bliver derved fremhævet. Se eksempel i FIGUR 6 og FIGUR 7.



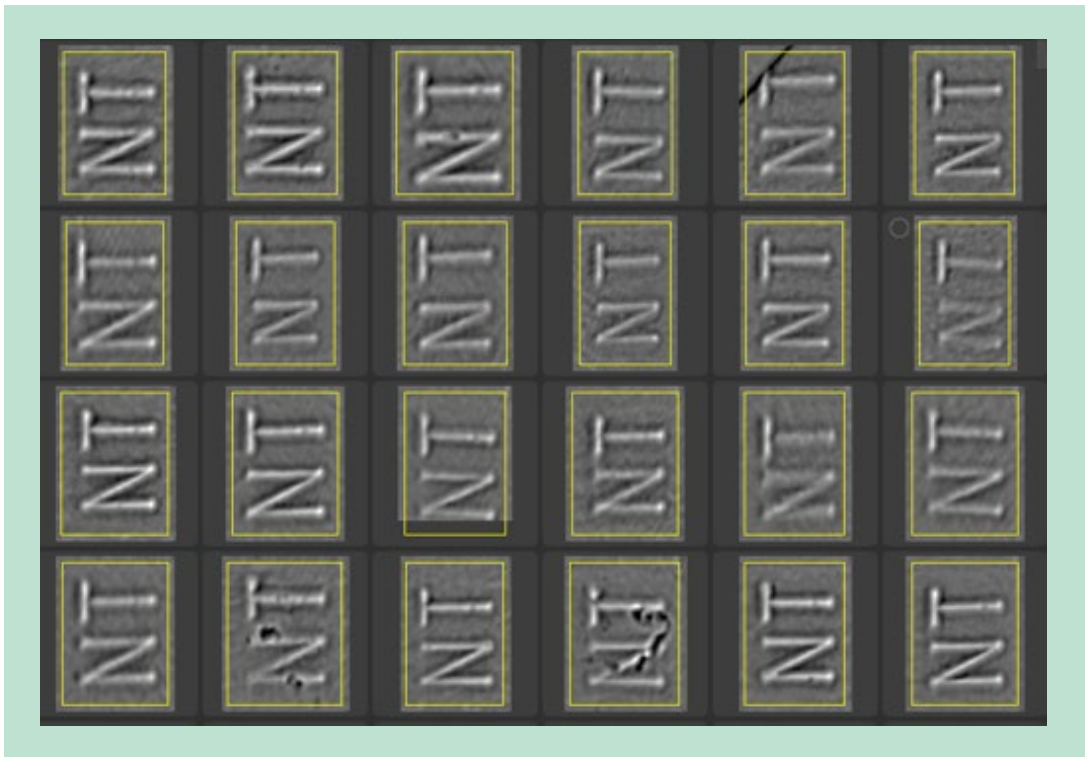
FIGUR 6. Relativ dybde af præget ID i forhold til pladens overflade. Billedet er genereret via fotometrisk stereo ud fra et billedsæt af 6 billeder.



FIGUR 7. Relativ dybde af præget ID i forhold til pladens overflade. Rådata kommer fra SmartRay ECCO 55.050.

Efter denne proces bruges en del af det tilgængelige datamateriale til at træne et neuralt netværk til at identificere 'NT'-delen af ID-teksten. At det kun er 'NT'-dele af ID'et skyldes, at dette er den gennemgående fællesnævner for alle asbestfri eternitplader. De øvrige karakterer kan ligeledes identificeres og anvendes til at udlede, om pladen kan være asbestholdig eller ej, ved at sammenholde med historiske fortegnelser for, hvordan ID-strengen er sammensat.

FIGUR 8 viser eksempler på 'NT' fra forskellige eternitplader, der dog alle er af samme produktionsbatch.

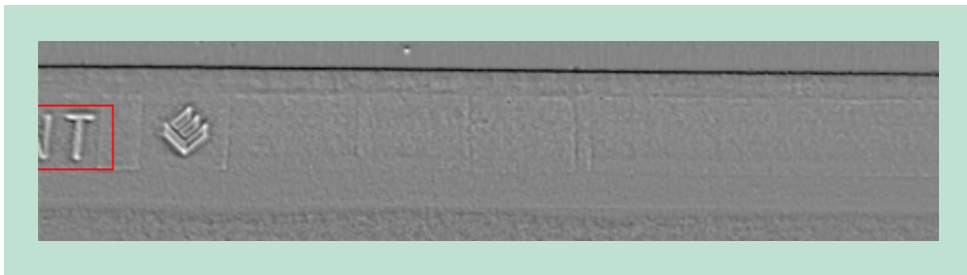


FIGUR 8. Eksempler på "NT" fra forskellige plader.

Første delforsøg fokuserede på at vise, at en model kan trænes til at identificere 'NT' på plader med 'kendt' typografi. Her skal kendt forstås således, at modellen er trænet på lignende eksempler. Modellen blev trænet på halvdelen af datasættet svarende til ca. 80 eksempler på 'NT'. Herefter blev modellen anvendt på den resterende del af datasættet for at kunne udlede performance. Valideringsdatasættet bestod ligeledes af ca. 80 eksempler. Ved visuel inspektion kunne følgende konstateres:

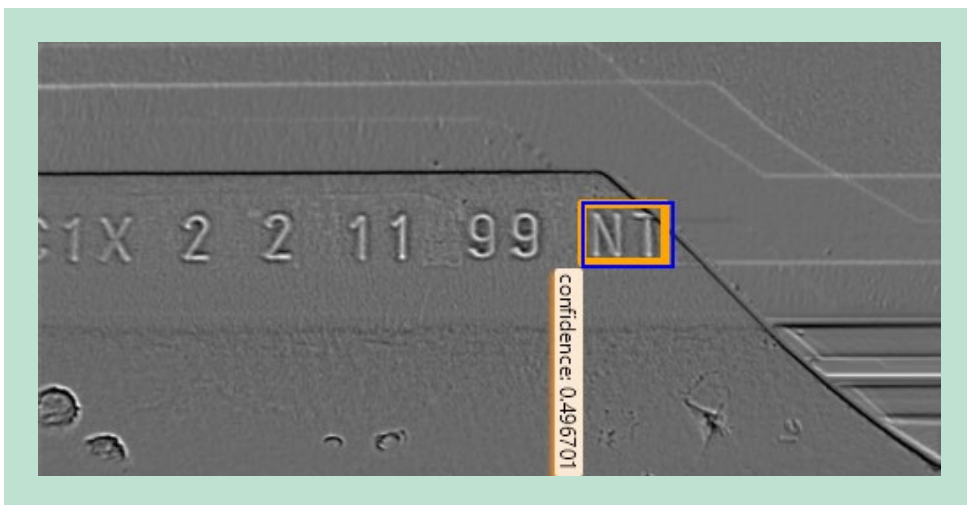
- Ud af 81 eksempler blev 80 eksempler korrekt genkendt
- Modellen detekterede 3 falske positive
- Modellen overså et eksempel.

En falsk positiv betyder, at modellen har fundet 'NT' et sted i datasættet, hvor den manuelle annotering af datasættet ikke har angivet, at der står 'NT'. Dette udgør en væsentlig risiko, da disse eksempler i et endeligt anlæg vil være ensbetydende med, at 'NT' detekteres på en plade, der potentielt set ikke indeholder 'NT', hvilket igen betyder, at en potentiel asbestholdig plade kan være identificeret som asbestfri. Undersøger man de fejlslutninger, der er foretaget, kan det dog konstateres, at modellen faktisk markerer steder på pladen, hvor 'NT' er delvist synlig. Se eksempel på FIGUR 9. Der er altså ikke tale om, at 'NT' findes tilfældige steder, og da alle 3 eksempler på falske positive skyldes samme situation, anses det som muligt at håndtere dette i præ- og post-processering.



FIGUR 9. Eksempel på 'NT' detekteret af model et sted på pladen, hvor den manuelle annotering ikke har udpeget 'NT'.

Ud over falske positive blev der også detekteret en falsk negativ. Her er der tale om et eksempel, der manuelt er markeret som værende et eksempel på 'NT', men hvor modellen har overset eksemplet. Ses der nærmere på dette tilfælde, kan det konstateres, at 'NT'-mærkningen kun er delvist synlig, og at modellen har fundet eksemplet, men angivet en sandsynlighed, der er under den valgte tærskelværdi. Dette eksempel kan ses på FIGUR 10.



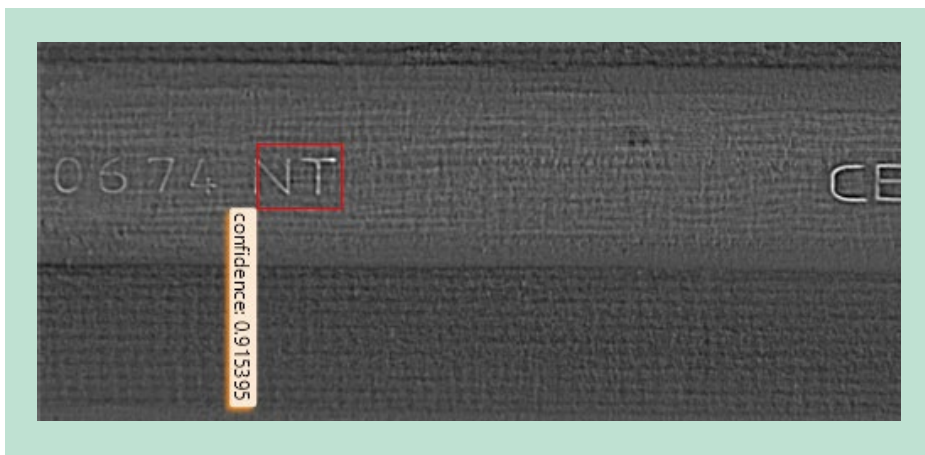
FIGUR 10. Eksempel på falsk negativ, hvor 'NT' kun er delvist synlig.

Det må derfor konstateres, at de fejlslutninger, den trænedede model fører til, kan forklares og antages at kunne håndteres ved præ- og/eller post-processering

Delforsøg nummer 2 fokuserede på at undersøge effekten af at anvende den trænedede model på pladeemner, hvor typografi og generelt visuelt udtryk adskilte sig fra de eksempler, der blev anvendt til at træne modellen.

Modellen blev anvendt på i alt ca. 100 plader, hvoraf hver plade kan indeholde op til 2 eksempler på 'NT', da ID'et kan gentages to gange på den samme plade. Da modellen ikke er trænet på sammenlignelige eksempler, var hypotesen, at 'NT' ikke ville blive detekteret, da variationen formodes at være for stor.

Resultatet af at anvende modellen på forsøgssættet blev, at 9 falske positive blev detekteret. Igen undersøges de enkelte tilfælde i et forsøg på at identificere svagheder i metoden. Eksempler på tilfælde, hvor modellen finder 'NT', kan ses på FIGUR 11.



FIGUR 11. Detektion af 'NT'.



FIGUR 12. Detektion af 'NT'.

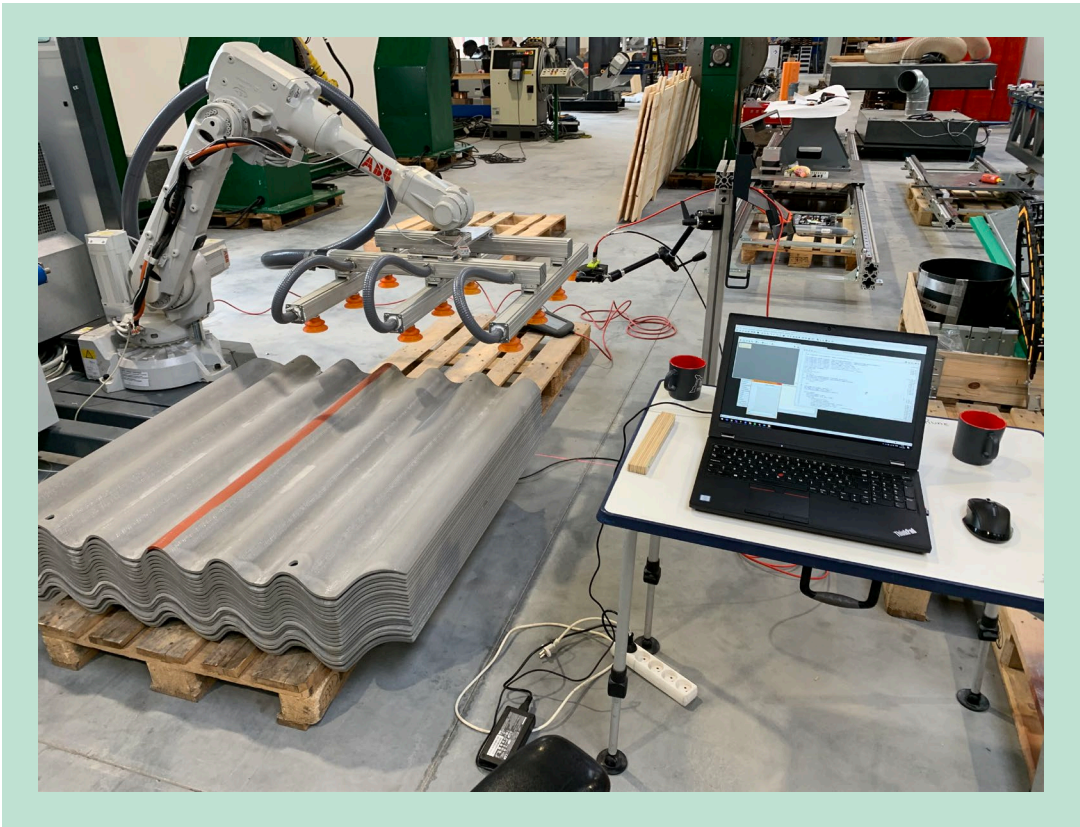
Det ses af billederne, at 'NT' faktisk forefindes i de positioner, som modellen slår ud på. Det fortolkes således, at selvom lignende eksempler ikke kan findes i modellens træningsdata, så er der tilstrækkelig lighed mellem prægningerne til, at 'NT' også kunne genfindes i disse.

Vigtigst er, at modellen ikke har identificeret 'NT' i valideringssættet, hvor der reelt ikke står 'NT', og dette anses som et tegn på robusthed.

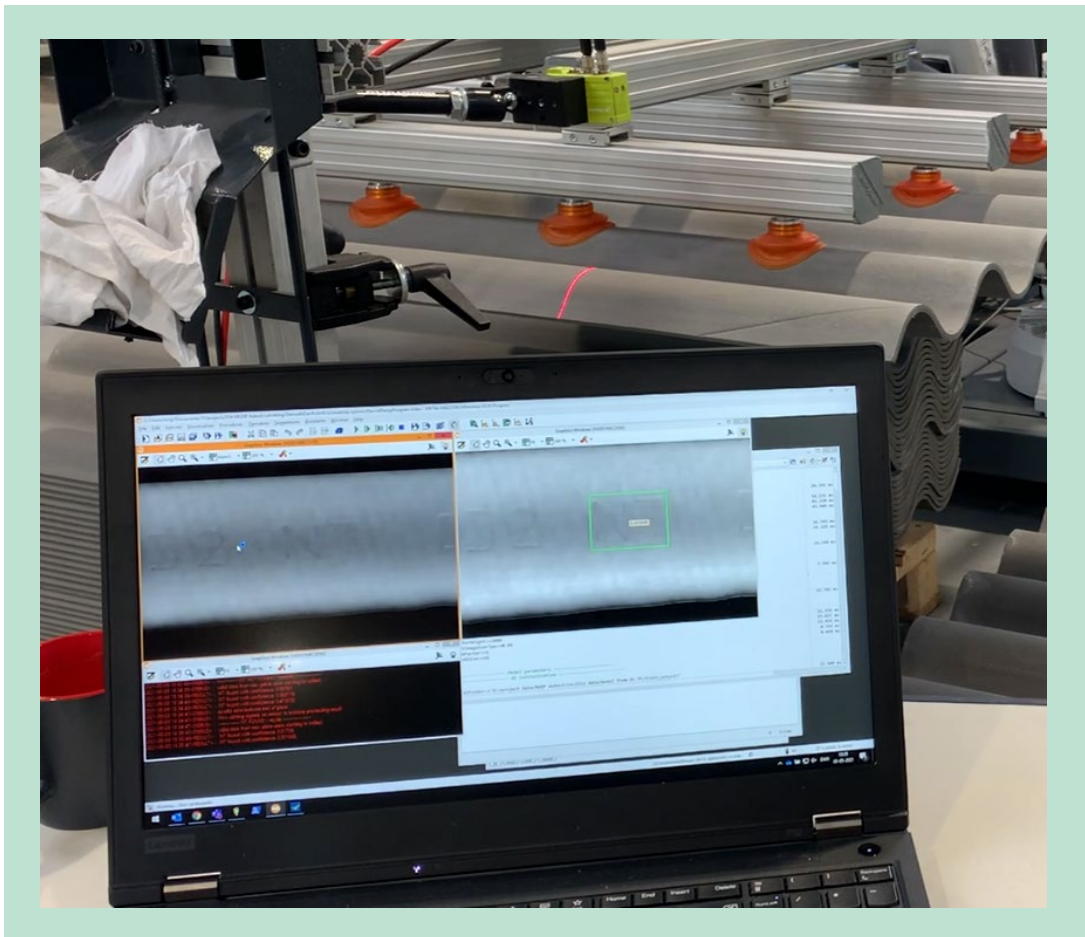
3.5 Pilotforsøg med automatisk identifikation af asbestfri eternitplader

Pilotforsøget havde til formål at demonstrere dataopsamling og realtidsprocessering i samspil med en robot. Målet var at sandsynliggøre, at de undersøgte metoder kan anvendes i et endeligt anlæg. Til dette forsøg blev der anvendt en sheet-of-light-sensor. I afsnit 4.4 beskrives et fuldskalaanlæg, hvor dataopmåling sker, mens pladerne er placeret på et transportbånd. Denne proces er emuleret ved at lade robotten bevæge en plade forbi sensoren i en flydende bevægelse.

Data blev opsamlet og behandlet under denne proces, og når hele pladen havde passeret sensoren, afventede robotten et analyseresultat for, om 'NT' blev detekteret eller ej. Afhængigt af analyseresultatet blev pladen placeret på en af to mulige paller. Til pilotforsøgene blev der anvendt nye plader fra Cembrit. FIGUR 13 viser pilotsetuppet primært bestående af robot, sensor og PC. Fotoet i FIGUR 14 er taget midtvejs i behandlingen af en plade og viser den samtidige dataopsamling og analyse. Den grønne firkant indikerer, at der er fundet 'NT' på pladen.



FIGUR 13. Demonstrations-setup med løft af eternitplader.



FIGUR 14. Billede taget midtvejs i behandlingen af en plade. Her ses den samtidige dataopsamling og analyse. Den grønne firkant indikerer, at der er fundet 'NT' på pladen.

Pilotforsøget gjorde det muligt at estimere takttider og dermed mulig kapacitet. I pilotforsøget blev takttiden målt til ca. 39 sekunder. Det giver ca. 92 plader i timen. Antages det, at én plade vejer 18 kg, svarer det til 1.660 kg/time. I pilotforsøget agerer robotten transportbånd, når man sammenholder med anlægsdesignet beskrevet i afsnit 4.2. Tages robotbevægelserne ud af cyklostidsberegningerne, kommer cyklostiden ned på 14 sekunder, hvilket giver 257 plader i timen eller ca. 4.630 kg/time. Dertil kommer en række kendte muligheder for optimeringer, men cyklostiden er allerede på et tilstrækkeligt lavt niveau til, at det ikke anses for at være scanningstiden, der vil udgøre en flaskehals i et fuldskalaanlæg.

3.6 Delkonklusioner

Der blev konstrueret to forsøgsopstillinger. En baseret på fotometrisk stereo og en baseret på sheet-of-light. Begge teknikker kan generere et relativt dybdebillede, hvor ID-mærkninger i form af præget tekst bliver fremhævet.

Der er udført detektionsforsøg med det formål at demonstrere detektion af 'NT'-delen af et ID, der er præget ind i hver plade. En model baseret på et neuralt netværk er trænet med ca. 80 eksempler på 'NT' og efterfølgende anvendt på et valideringsdatasæt. Valideringsdatasættet bestod ligeledes af ca. 80 eksempler, og det kunne konstateres, at modellen havde en præcision på ca. 95 %. Både falske positive og falske negative kunne forklares og anses ikke som egentlige fejl. Alle forsøg er baseret på forsøgsmateriale bestående af 150 eternitplader. Det anses som et begrænset datasæt, og yderligere forsøg bør udføres før konstruktion af et fuldskalaanlæg.

4. Udvikling af automatiseret anlæg til håndtering af bølgeplader

Dette kapitel beskriver udvikling og demonstration af et automatiseret robotanlæg til håndtering og sortering af eternitbølgeplader. Aktiviteterne er hovedsageligt udført af og hos DanRobotics A/S i Middelfart. Delresultater og specifikke detaljer om det designede robotanlæg er udeladt af fortrolighedshensyn.

I første omgang blev anlægsdesign udviklet og evalueret gennem en computergenereret simulering af robotens bevægelser og sekvenser, hvorefter det valgte robotsetup blev konstrueret fysisk og testet. Håndteringen af eternitplader er testet med både fabriksnye og gamle, nedtagne eternitplader.

4.1 Baggrund for udvikling og konstruktion af pilotanlæg

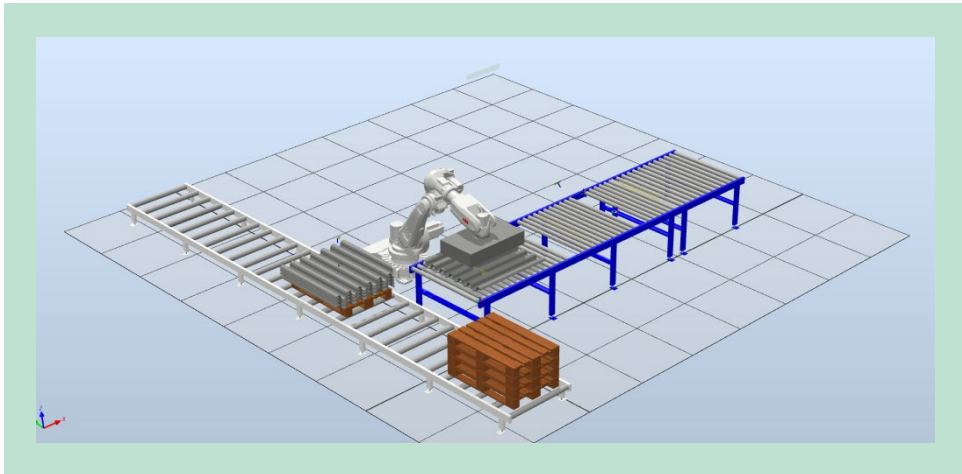
I udviklingen af pilotanlægget har der været stor fokus på at få sensorteknologien kombineret med de nødvendige håndterings- og behandlingstrin i forbindelse med sorteringen. Dette inkluderer afrensning for identifikation, transport til identifikation og efterfølgende sortering.

Der er i udviklingen af anlægget gjort brug af DanRobotics' erfaring med automatisering af løft og håndtering af større emner, og en række forskellige designs af gribe mekanismer og vakuum har været drøftet internt og med eksterne underleverandører i udviklingsarbejdet.

Det er en forudsætning for udviklingen af anlægget, at den valgte løsning skal kunne håndtere pladerne uanset beskaffenhed i forhold til fx skidt og mosbevoksning, og renseprocesser før håndteringen vurderes unødvendig. Dog har der i markedsundersøgelserne af brugte eternitplader vist sig at være et behov for en afrensningsproces før identifikation af pladerne, da den valgte detektionsteknologi er afhængig af at kunne scanne den prægede tekst 'NT' i pladerne, se kapitel 3.

4.2 Beskrivelse af pilotanlægget

Håndteringen af eternitpladerne er designet som en automatiseret løsning med en industrirobot, som løfter og placerer eternitplader ved hjælp af vakuum. Pladerne transporteres hen til robotten på europaller. Det er en forudsætning for brug af anlægget, at tagpladerne er placeret på paller ved nedtagning.



FIGUR 15. Eternitpladerne løftes af industrirobot med påmonteret vakuumværktøj.

4.2.1 Sekvensbeskrivelse

1. Palle med eternitplader placeres ved robot
2. Pladerne løftes enkeltvis af industrirobot med påmonteret vakuumværktøj
3. Pladerne flyttes ved hjælp af robotten hen til scanner. Denne sekvens skal simulere transportørbaner hen til afrensning og scanning for opmærkning
4. Identifikation/scanning af opmærkning
5. Scanner sender signal til robot om, hvorvidt 'NT' forefindes på den aktuelle tagplade
6. Sortering af plader.

4.3 Pilottest af sorteringsanlæg

Det konstruerede pilotanlæg er testet med brugte eternitplader, som kommer fra stald- og halbygninger. Denne pilottest har demonstreret teknologiens performance ved driftslignende forhold og vist, at den udviklede teknologi med god sandsynlighed vil kunne opskaleres til et fremtidigt fuldskalaanlæg. Testen er udført med testemner uden asbest.

Testen deles op i tre steps:

- Step 1: Håndtering af eternitplader
- Step 2: Afrensning af plader
- Step 3: Identifikation og sortering af plader

4.3.1 Step 1: Håndtering af eternitplader

Pladerne løftes enkeltvis af industrirobot med påmonteret vakuumværktøj. Testen udføres med brugte, hele eternitplader nedtaget fra staldbygning. Pladerne er synligt beskidte med mos, snavs og materialer såsom befæstningsskruer, grene og plastikaffald.

For en realistisk pilottest af håndteringen af de brugte eternitplader er pladerne ikke afrenset for sne, mos eller affald før test, men håndteret direkte som de er kommet ind fra nedrivningen, se billeder fra testen i FIGUR 16.



FIGUR 16. Nedtagne tagplader (B9) med sne.



FIGUR 17. Robothåndtering af de gamle tagplader.



FIGUR 18. Pladerne er synligt beskidte med mos, snavs og materialer såsom befæstnings-skruer, grene og plastikaffald.

Testresultat, step 1: Håndtering af eternitplader

Pilottesten for håndtering af eternitplader med robot er udført med 105 stk. gamle eternitplader. Testen af de 105 plader er gennemført uden fejl, dvs. at eternitplader er flyttet med robot fra én position til en anden position uden at knække, blive tabt eller på anden måde fejle i test.

TABEL 2. Testskema for løftetest. Automatiseret håndtering af brugte eternitplader nedtaget fra halbygning. De brugte plader er naturligt belagt med fugtig snavs/mos samt løsdele såsom grene, skruer fra befæstning og plastikaffald.

Kontrolpunkt	Bestået	Fejlet (mistet greb, plade knækket eller andet)	I alt
Plader, tørre	4		4
Plader, naturligt fugtige	81		81
Plader, våde (tilført vand)	20		20
I alt	105	0	105

4.3.2 Step 2: Afrensning af plader

Det blev konstateret, at det er vanskeligt (oftest umuligt) at aflæse prægningen af tal og bogstaver på brugte eternitplader grundet snavs, mos, kornstøv mv. Formålet med afrensningen er at frembringe prægningen af tal og bogstaver i eternitpladerne, så det er muligt at læse prægningen eller som minimum 'NT' på pladerne med den udvalgte teknologi, se kapitel 3.



FIGUR 19. Eternitplade før afrensning.



FIGUR 20. Samme eternitplade som FIGUR 19, børstet med flad hånd.

Af hensyn til et ønske om mindst mulig kontaminering af anlægget samt ønske om en forholdsvis lille mængde affald i processen, er det valgt at gøre brug af laserafrensning. Afrensning med laser efterlader en forholdsvis lille mængde affald, som kan opsamles med udsugning over afrensningsstationen på anlægget. Da det opsamlede affald i afrensningsprocessen kan indeholde asbest, bør dette deponeres.

Testresultat, step 2: Afrensning af plader

Afrensning af eternitplader er i projektet demonstreret med tilfredsstillende resultat af et eksternt firma. Et mindre antal eternitplader er sendt til MR LASER AB i Sverige for forsøg og test. Eternitpladerne er afrenset lokalt hen over prægningen med en 100 W-laser. Jo flere watt der bruges, desto hurtigere vil afrensningen kunne foretages. Afrensningen med laser kan skaleres op til et muligt fuldskalaanlæg og er taget med i business casen for projektet.

Efter afrensning med 100 W laser fremstår prægningen af tal og bogstaver forholdsvis tydeligt for det blotte øje. Det er i forsøget med afrensning med laser også bevist, at pladerne ikke tager skade eller bliver porøse af laserbehandlingen, malede overflader renses ligeledes fint uden skader på pladerne. Se billeder herunder.



FIGUR 21. Eternitplade efter afrensning med laser - prægning i pladen fremstår tydeligt.



FIGUR 22. Malet eternitplade efter afrensning med laser – ingen prægning i denne plade.

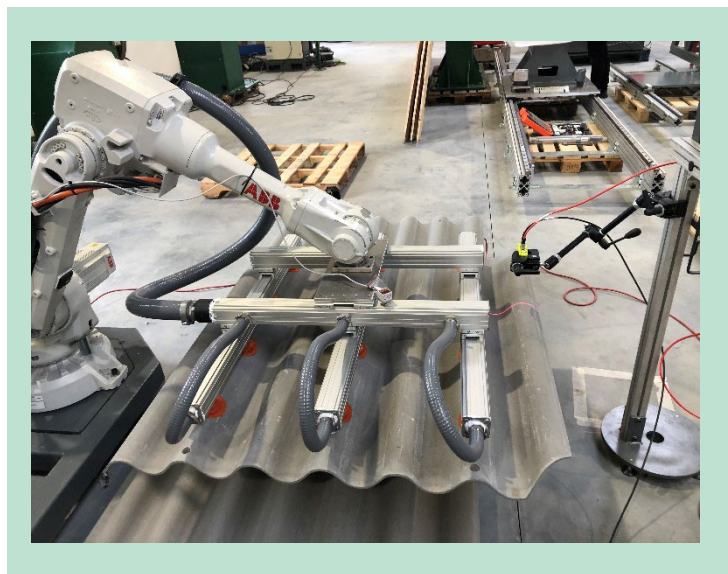
De afrensede plader er efterfølgende undersøgt ved Teknologisk Institut, og testresultater viser, at prægningen 'NT' efter afrensning med laser kan aflæses med den valgte scanningsteknologi. Denne del af testen er demonstreret på et eksternt anlæg og godkendt i projektet.

4.3.3 Step 3: Identifikation og sortering af plader

Denne del af testen er udført med nye eternitplader, da afrensning af gamle plader ville vanskeliggøre og komplicere testen unødigt. Den egentlige test af scanningsteknologien er allerede udviklet og testet, se afsnit 4. I denne arbejdsopgave kombineres scanningsteknologien med det valgte robotsetup.

Testresultat, step 3: Identifikation og sortering af plader

Testen af kommunikation imellem scanner og robot er udført med tilfredsstillende resultat. Efter scanning for 'NT' af tagpladerne samt løbende databehandling, sender scanner information tilbage til robotten om, hvorvidt 'NT' forefindes på den aktuelle tagplade. Plader med et identificeret 'NT' palletteres på en palle med plader uden asbest. Plader uden et identificeret 'NT' palletteres i stakken med potentielt asbestholdige plader.



FIGUR 23. Test af kommunikation imellem scanner og robot for sortering af plader.

Tagpladerne er herefter sorteret og palletteret i separate stakke bestående af:

- Tagplader uden asbest
- Tagplader potentielt indeholdende asbest.

4.4 Delkonklusion og fremtidigt fuldskalaanlæg

De tre gennemførte tests har vist, at det er muligt at designe et automatiseret anlæg, der med stor sikkerhed kan håndtere, rense og sortere eternitplader af forskellig beskaffenhed. Testene har vist, at der med robotter og vakuumbremser kan foretages en meget sikker håndtering af pladerne, selv for meget skrøbelige og skadede plader. Afrensningen af pladerne kan ligeledes foretages i en kvalitet, således at der med høj sikkerhed kan ske korrekt identifikation og efterfølgende sortering af pladerne. De udviklede metoder er brugt til designudvikling og simulering af fuldskalaanlæg som beskrevet nedenfor.

DanRobotics har udarbejdet en simulering af et muligt design for fuldskalaanlæg til håndtering af de brugte eternitplader, som ligger ud over indholdet i dette MUDP-projekt. Simuleringen af fuldskalaanlægget er delt med projektgruppen, men skal betragtes som fortroligt og tages derfor ikke med i denne rapport. Dette afsnit er blot medtaget for den information, at der er arbejdet på et koncept, som vil kunne håndtere de brugte eternitplader fra modtagelse af paller med nedtagne eternitplader, over afrensningsproces til identifikation for asbest til sortering på paller med henholdsvis potentielt asbestholdige og ikke-asbestholdige eternitplader. De sorterede plader kan herefter transporteres til deponi henholdsvis til genanvendelse/genbrug.

5. Eksperimentelle materialeundersøgelser

Dette kapitel beskriver resultater for neddelingsforsøg og karakterisering af de asbestfri eternitmaterialer med henblik på identifikation af bedst egnede løsninger for materialenytiggørelse. Baseret på disse resultater beskrives i kapitel 6 vurderinger af egnetheden til forskellige formål.

5.1 Forsøgsemner

I projektet er fremskaffet en række forskelligartede (asbestfri) forsøgsemner til brug i både udviklingen af detektionsteknologi (kapitel 3) og til nedknusningsforsøg i forbindelse med udvikling og vurdering af potentielle genanvendelsesruter.

Forsøgsemnerne er vist på FIGUR 24 og FIGUR 25 og opsummeret i TABEL 3.

TABEL 3. Forsøgsemner.

Prøve	Leveret af	Antal plader	Bemærkninger	Prøvemærkning (neddelt)
A	Cembrit Holding A/S	1.200	Rester fra lager / kasseret i logistik	A
B	Kingo Karlsen A/S	100	Silkeborg	B+C
C	Kingo Karlsen A/S	150	Brøndby	



FIGUR 24. Ubrugte eternitplader leveret af Cembrit (A).



FIGUR 25. Plader (leveret af Kingo Karlsen A/S) fra nedrivninger tv: B, th: C.

5.2 Neddelingsforsøg

Der er udført neddelingsforsøg i fuldskala med fabriksnye, blandede plader fra Cembrit (prøverne A) og en blanding af ældre plader fra nedrivningsprojekter (pladerne B+C i TABEL 3).

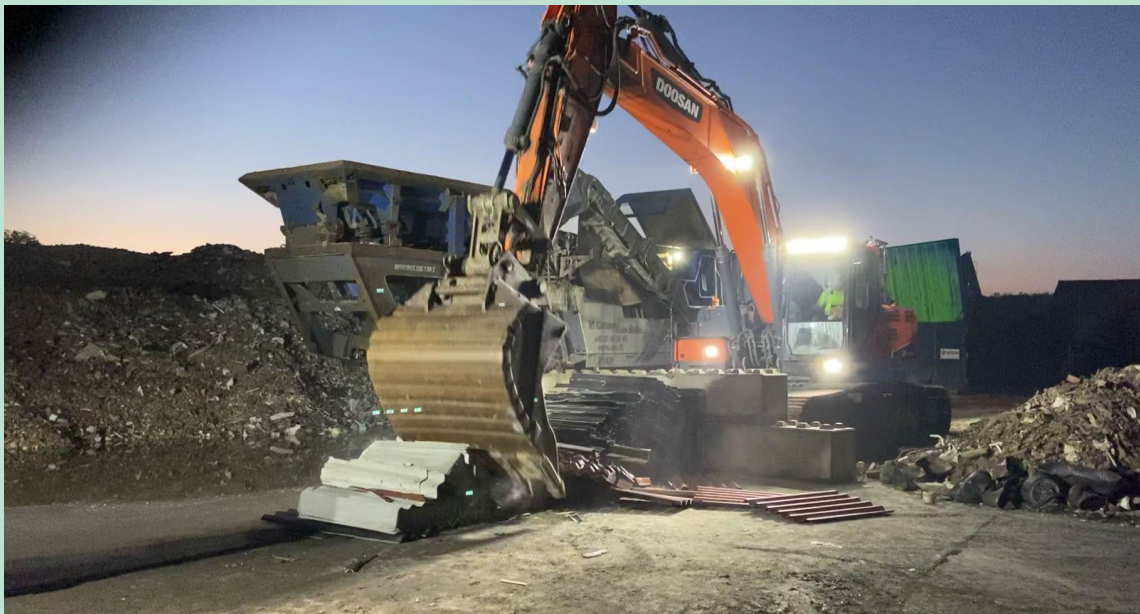
Til forsøgene blev benyttet en gummiged til at flytte og tømme paller samt en gravemaskine og en kæbeknuser med 16 mm sigte (Kleeman Mobirex MR 130Z). Maskinen er forsynet med overbåndsmagnet og en justerbar blæser til at fraseparere let materiale såsom plast.



FIGUR 26. Kæbeknuser og gravemaskine anvendt til forsøg.

5.2.1 Forsøg 1: Nye Cembritplader

I forsøg 1 blev Cembritpladerne (A) tilført maskinen. Det var nødvendigt at forneddele pladerne med gravemaskinen, for at de kunne tilføres indfødningsbeholderen i kæbeknuseren uden at skabe blokeringer.



FIGUR 27. Forneddeling med gravemaskine.



FIGUR 28. Neddelling af asbestfri eternitplader med kæbeknuser.

Pladerne indeholdt indstøbte plaststrips, som ikke blev neddelte nævneværdigt ved knusningen. I stedet kørte plaststrips rundt på returbåndet og ophobede sig, hvorfor det blev valgt at skrue op for blæseren, så en større del af plaststrips og pladestumper blev blæst ud. Fraktionen er vist på FIGUR 29. Herved kunne maskinen holdes i gang uden blokeringer. Et støvreduktionssystem med vanddysning på materialerne var aktiveret, da processen med neddeling af pladerne ellers støvede voldsomt.



FIGUR 29. Fraseparerede plaststrips og pladestumper.

Den tilførte mængde var ca. 21.500 kg eller ca. 1.200 plader, som opgivet af Cembrit, og der blev vejet et spild i form af frasorterede strips og stumper af plader på ca. 3.500 kg (inkl. fugt). Heraf kan beregnes et tab på ca. 16 % af den tilførte mængde.

Den neddelte outputfraktion ses på FIGUR 30. Det blev umiddelbart vurderet, at der var få strips, som endte i outputproduktet, idet kun et par enkelte neddelte strips blev observeret i det neddelte output.



FIGUR 30. Neddelt output fra forsøg 1.



FIGUR 31. Stump af plaststrip, som har passeret sigten på 16 mm.

Tidsforbrug til knusning og estimeret kapacitet

Neddelingen blev udført på 2 timer og 12 minutter. Der var dog pauser undervejs, hvor driften måtte justeres, bl.a. grundet problemer med tilstopning af returbånd med plaststrips. Den reelle driftstid var derfor noget lavere. Med en vurderet reel driftstid på 2 timer blev der med en behandlet mængde på 21,5 tons processeret med en hastighed på over 10 ton/time.

5.2.2 Forsøg 2: Gamle plader fra nedrivninger

Efter at have kørt maskinen tom blev de ca. 150 plader (B+C) fra nedrivninger behandlet. Pladerne her var af ældre dato og indeholdt ikke plaststrips, hvorfor det ikke var nødvendigt at starte blæseren til at fraseparere disse. Der var derfor ingen tab, og neddelingen forløb uden problemer.

Den tilførte mængde er estimeret til ca. 4,2 ton ud fra en antaget gennemsnitsvægt på 18 kg/plade og med korrektion for afbrækkede bølger til forsøg med identifikationsudvikling (kapitel 3). Outputtet blev vejlet til 5,1 ton, men dette er inkl. doseret vand til støvdæmpning.



FIGUR 32. Output fra forsøg med neddeling af gamle, brugte plader.

Tidsforbrug til knusning samt estimeret kapacitet

Der blev neddelt ca. 4,2 ton tørre plader på 28 min (inkl. vejningen). Således vurderes den reelle knusningstid at være 10-15 min, hvilket svarer til en kapacitet på 16-25 ton/time.

Forsøgsdata fra forsøg 1 og 2 er opsummeret i TABEL 4.

TABEL 4. Oversigt over knusningsforsøg.

Forsøg	Input ton	Produktionstid Minutter	Estimeret kapacitet Ton/time	Tab %	Bemærkning
1 (nye Cembrit-plader)	21,5	120	10	16	Tab grundet strips
2 (gamle plader fra nedrivninger)	4,2	10-15	16-25	0	

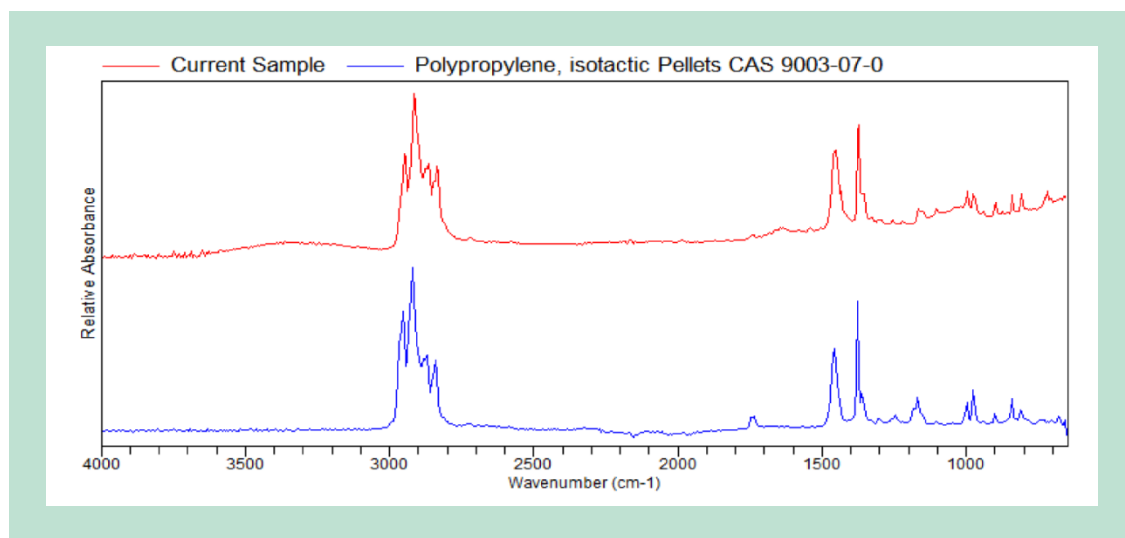
5.3 Analyser på neddelte fraktioner

Der er udført en række analyser af de neddelte materialefraktioner for at undersøge kvaliteten af producerede materialer og for at kunne vurdere anvendelsesmuligheder og tiltag til eventuelle forbedringer i oparbejdningen.

5.3.1 Indhold af større plaststykker

Da der blev konstateret et indhold af plaststrips i Cembrit-pladerne (prøve A), blev der analyseret for indholdet af visuelt synlige plaststykker i udtagne prøver fra A, som var neddelt til mindre end 16 mm. Der blev i alt undersøgt 63 kg prøve, hvori der blev identificeret 7 plaststykker fra plaststrips med en samlet vægt på 0,53 gram. Indholdet af plaststrips kan heraf beregnes til 8,4 ppm (massebaseret).

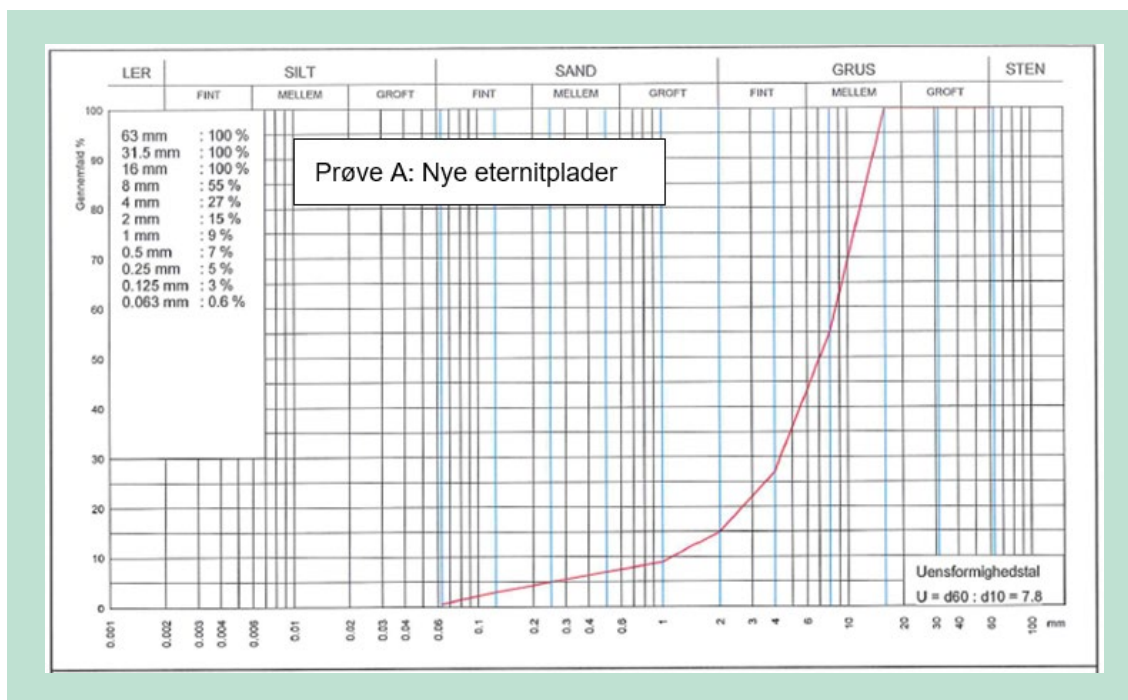
En FTIR-analyse på plaststrips viste, at der er tale om polypropylen-plast (PP), som vist i FIGUR 33.



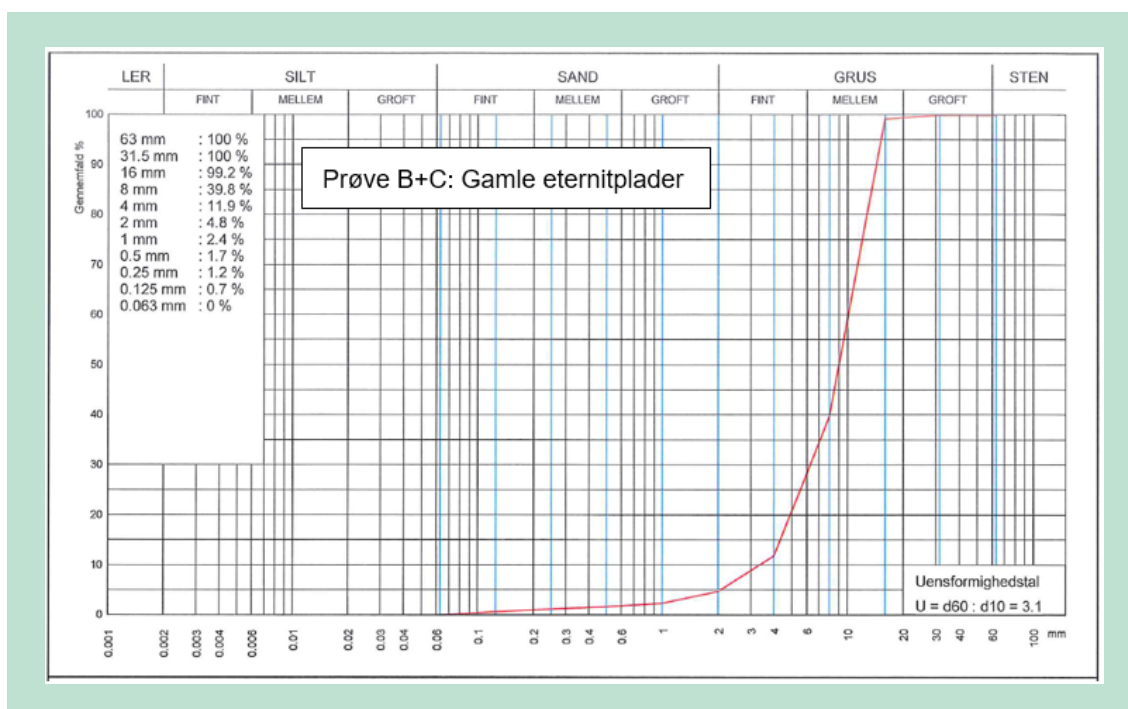
FIGUR 33. FTIR-analyse af strips med identifikation af PP.

5.3.2 Bestemmelse af kornstørrelsesfordelinger

Der er for de neddelte materialefraktioner foretaget en bestemmelse af kornstørrelsesfordeling ved en sigteanalyse i henhold til EN 933-1:2013 for hhv. nye eternitplader (prøve A) og gamle eternitplader (blanding af prøve B og C). Resultaterne af sigteanalyserne er vist i FIGUR 34 og FIGUR 35.



FIGUR 34. Kornstørrelsesfordeling via sigteanalyse for neddelte fraktion af prøve A (nye eternitplader).



FIGUR 35. Kornstørrelsesfordeling via sigteanalyse for neddelte fraktion af prøve B+C (gamle eternitplader).

Herudover er der foretaget en analyse af finfraktionen (< ca. 1 mm) for prøve A, hvor materialerne er forsigtigt vendt og sigtet i en køkkensigte (firkantede huller ca. 1*1 mm). Finfraktionen blev vejet til at udgøre 4,4 % af den samlede neddelte fraktion (vist i FIGUR 36).



FIGUR 36. Neddelt eternitplader fra Cembrit (prøve A).

Af den traditionelle sigtetårnsanalyse, som masserer materialet forholdsvis hårdt (FIGUR 34), aflæses et indhold på mindre end 9 % partikler under 1 mm, hvilket som forventet er lidt mere end den blide separation i laboratoriet, som gav 4,4 %.

5.4 Materialekarakterisering af asbestfri eternitplader

For at indsamle viden om de neddelte materialer med henblik på at identificere mulige genanvendelsesruter, blev der udført en række generelle karakteriseringstest. Prøverne var alle neddelt til <1 cm, og der blev udført analyser på plader af typerne A, B og C, som angivet i TABEL 3.

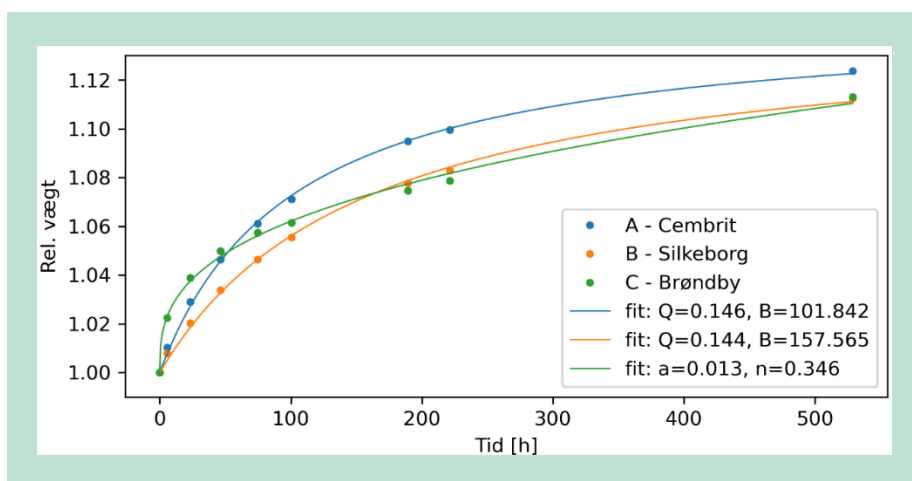
5.4.1 Fugtindhold og -mætning

Bølgeplader af fibercement er vandsugende, men denne egenskab kan give udfordringer ift. visse materialenytiggørelsesmuligheder. Indholdet af fugt i pladerne efter oplagring i uopvarmet hal hos Norrecco i Agerskov blev analyseret ved at måle tørstofvægten efter tørring i 24 timer ved 105° C. Som vist i TABEL 5 ligger denne over 90 % for alle prøverne.

TABEL 5. Tørstof-vægt% for neddelte prøver ved tørring i 24 timer ved 105° C.

Prøve	Kilde	Tørstof-vægt%
A	CEMBRIT, fabriksnye	91,2
B	Silkeborg, nedrivning	94,7
C	Brøndby, nedrivning	90,1

Der blev ligeledes målt fugtmætning i desiccator ved ophold i 22° C med 100 % relativ luftfugtighed (beholder med vand var indsat). Resultaterne ses i FIGUR 37, som viser en langsomt indstillende ligevægt, hvor 11-12 % fugtoptag er nået på 21 dage (6 % nås på 4 dage).



FIGUR 37. Fugtmætning i desiccator ved ophold i 22° C med 100 % relativ luftfugtighed.

5.4.2 Densitet og maksimal vandabsorption

Der er gennemført vibrationsforsøg (i henhold til DS/EN 13286-5:2003) på både nye og gamle, neddelte eternitplader med henblik på at bestemme densitet og maksimal vandabsorption. Resultaterne fremgår af TABEL 6.

TABEL 6. Densitet og maksimal vandabsorption bestemt for neddelte eternitplader.

	Densitet (kg/m ³)	Vandabsorption (w/w%)
Nye plader (A)	930	26,8
Gamle plader (B+C)	850	23,4

5.4.3 Kemisk materialesammensætning

De kemiske sammensætninger af de neddelte asbestfri eternitmaterialer blev analyseret gennem askeanalyse og elektronmikroskopiske metoder. Askeanalysen udførtes som en udglødning i 24 timer ved 550° C, hvilket gav en relativt aske-procentdel ift. tørstofindhold på 75-87 %, som vist i TABEL 7.

TABEL 7. Askeanalyse ved udglødning i 24 timer ved 550° C.

Prøve	Kilde	Aske % af TS (middel)	Standardafv.
A	CEMBRIT	86,7	0,4
B	Silkeborg	86,2	0,4
C	Brøndby	75,6	0,4

Vægttabet på 13-25% kan dels skyldes indholdet af organisk materiale (fx fibre, mos og andet begroning) dels ændringer, der kan ske i mineralsammensætningen/hydratvand under opvarmning.

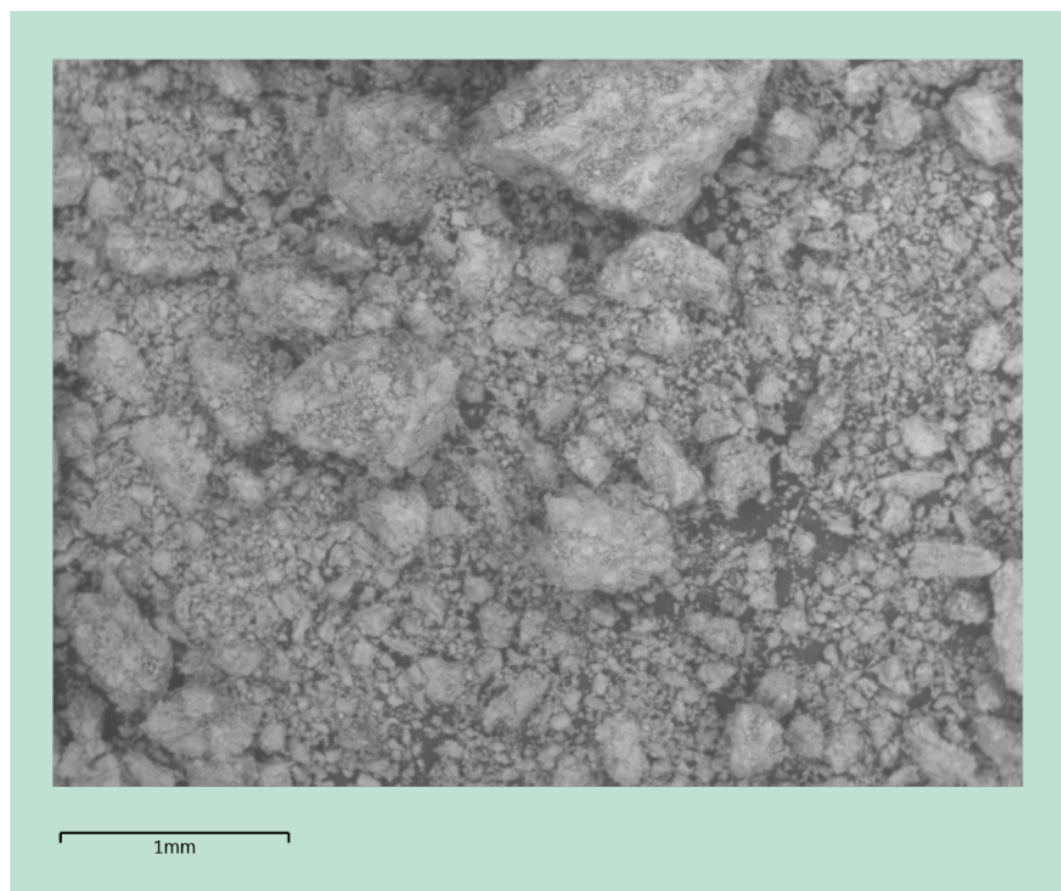
Der blev ligeledes udført analyser af pladernes kemiske sammensætning via SEM/EDS (Scanning Electron Microscopy with Energy Dispersive Spectroscopy). Prøverne A, B og C blev neddelte til finere pulvere (< ca. 2 mm), og der blev udført SEM/EDS-analyser på udglødede prøver af materialerne. Eksempler på mikroskopibilleder ses i FIGUR 38 og FIGUR 39. Hermed identificeredes sammensætningerne som angivet i TABEL 8.

TABEL 8. Kemisk sammensætning for prøverne A, B og C målt via. SEM/EDS.

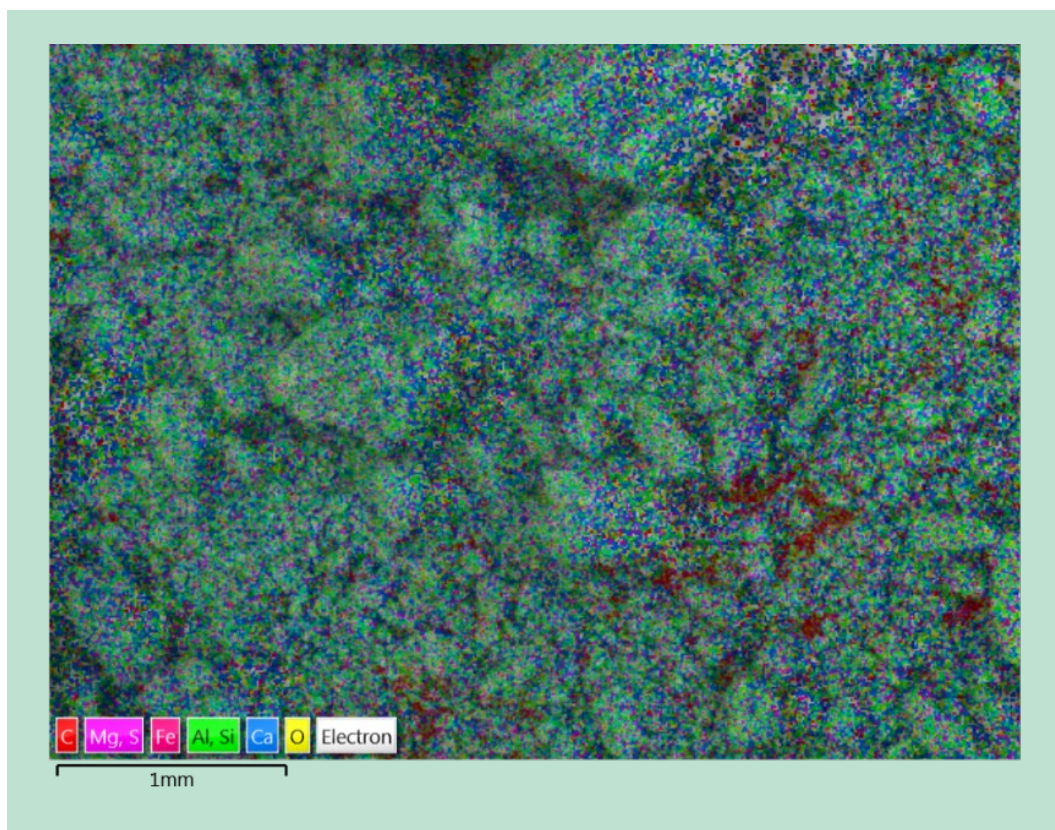
Element	A (Nye Cembrit-plader) wt%	B (Brugte plader, Silkeborg) wt%	C (Brugte plader, Brøndby) wt%
O	38,35	39,71	43,2
Na	0,1	0,17	0,33
Mg	0,39	0,48	0,51
Al	1,53	2,26	1,79
Si	6,47	9,71	17,7
P	0	0,1	0,09
S	1,12	1,25	0,45
K	0,51	0,34	0,6
Ca	47,88	44,03	33,01
Ti	0,18	0	1,01

Tabellen viser en forholdsvis ens sammensætning af prøve A og B, mens indholdet af kalcium (Ca) er lavere i prøve C, der så til gengæld har højere siliciumindhold. Ud fra detektionsgrænsen for udstyret vil klorindholdet for alle prøver være <0,1 %.

De ikke-udglødede prøver vil ifølge producenten Cembrit indeholde ca. 5-8 % organiske fibre (bestående af PVA og/eller cellulose) samt lidt organiske rester på overfladen fra alge-/mosbeponing og muligvis lidt organiske bindere for overfladebehandlede/malede plader.



FIGUR 38. Eksempel på analyse for prøve A.



FIGUR 39. SEM-billede, der viser partikelstørrelser og fordeling af elementer (Prøve A).

5.5 Delkonklusion

Baseret på de gennemførte og beskrevne neddelingsforsøg, kan det konkluderes, at det er muligt at neddele både nyere bølgeeternitplader og ældre plader med tilgængeligt neddelingsudstyr hos Norrecco. De nyere plader gav et tab som følge af indholdet af plaststrips i pladerne. Disse blev frasorteret under neddelingen, så indholdet af PP-plast fra strips i den resulterende produktfraktion var meget lavt (8 ppm).

Materialeanalyser er udført på de asbestfrie materialer for blandt andet at undersøge fugtegenskaber, størrelsesfordelinger for de neddelte fraktioner og kemiske sammensætninger med henblik på identifikation af bedste muligheder for materialenyttiggørelse af de asbestfrie materialer. Fibercementplader er vandsugende og indeholdt ved prøvetagning af oplagrede plader inden neddeling 5-10 % fugt. Fugtmætningsforsøg viser, at pladerne har suget ca. 12 % fugt efter 20 dage, mens et forsøg med maksimal vandabsorption i vibrationsforsøg med neddelt materiale viser en absorption på ca. 25 %.

Analyser af kornstørrelsesfordelinger viser, at mere end 90-95 % af materialet er over 1 mm (og mindre end sigtehulstørrelsen på 16 mm). Analyser af askeindhold viser et indhold på mellem 75 og 87 % grundet indhold af organisk materiale. Det organiske materiale vil primært stamme fra 5-8 % PVA eller cellulosefibre i pladerne samt organiske rester af algebegroning eller organiske bindere i overfladebehandlede plader. Grundstofsammensætningen er analyseret med SEM/EDS, der viser en lidt varierede sammensætning, der dog var domineret af typiske grundstoffer, som findes i cement, dvs. calcium (33-48 %), silicium (6,5-18 %), aluminium (1,5-2,3 %). Klorindholdet var lavt (<0,1 %).

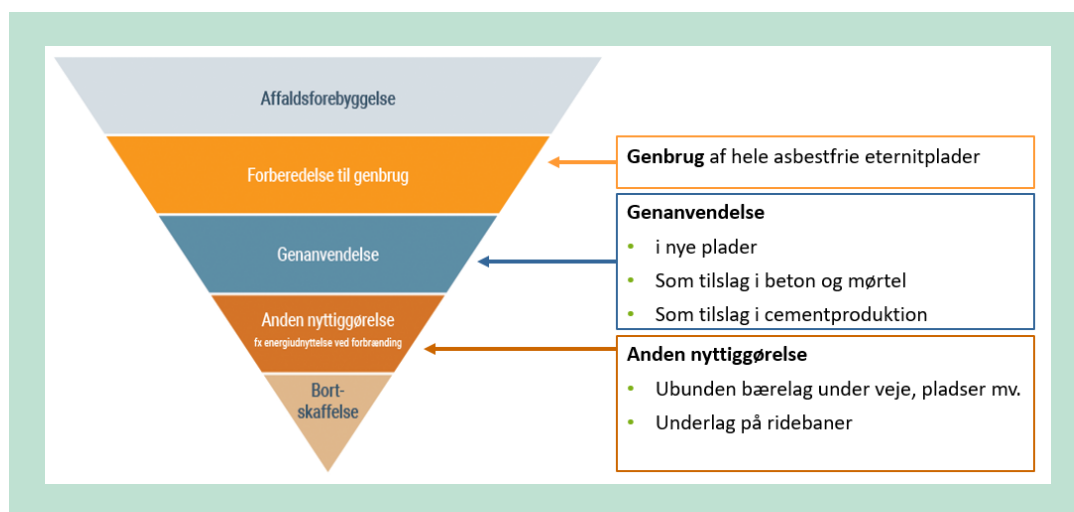
6. Muligheder for materialenyttiggørelse af asbestfri eternit

Dette kapitel indledes med generelle overvejelser og strategier for materialenyttiggørelse af de asbestfri eternitmaterialer, hvorefter de forskellige konkrete undersøgte muligheder gennemgås og vurderes.

6.1 Generelle overvejelser om materialenyttiggørelse

I dette projekt undersøges forskellige muligheder for materialenyttiggørelse af asbestfri eternitplader. Begrebet materialenyttiggørelse omfatter både forberedelse til genbrug, genanvendelse i nye produkter og anden nyttiggørelse ('anden endelig materialenyttiggørelse', jf. affaldsbekendtgørelsen), fx som bærelag under veje.

Som et grundlæggende princip i den danske affaldsmodel søges affald materialenyttiggjort så højt i affaldshierarkiet som muligt. Det betyder, at asbestfri eternitplader bør forberedes til genbrug frem for at blive genanvendt, og hvis det ikke er muligt, bør genanvendelse i nye produkter foretrækkes frem for anden nyttiggørelse af materialet. FIGUR 40 giver et overblik over de relevante muligheder for materialenyttiggørelse, som er identificeret for asbestfri eternitplader, og som i dette kapitel vil blive belyst og vurderet i forhold til både tekniske og miljømæssige egenskaber.



FIGUR 40. Overblik over muligheder for materialenyttiggørelse af asbestfri eternitplader.

6.2 Genbrug af hele, asbestfri eternitplader

Genbrug af eternitplader er en oplagt mulighed, og allerede i dag sker det, at eternitplader, der ved en miljøkortlægning har vist sig at være asbestfri, afsættes til genbrug. Der er derfor ikke tvivl om, at der vil være et marked for hele, brugte, asbestfri eternitplader. Udvikling af teknologi til sikker identifikation og sortering af asbestfri eternitplader vil kunne understøtte et mar-

ked for brugte, asbestfri eternitplader. Det vil med den udviklede løsning være muligt at garantere overholdelse af asbestbekendtgørelsen (BEK 1792:2015)⁷, da løsningen sikrer, at hver enkelt plade er asbestfri.

6.3 Genanvendelse til produktion af nye eternitplader

Den mest cirkulære vej til genanvendelse af eternitmaterialerne er at anvende dem til fremstilling af nye eternittagplader. Det er således blevet afprøvet og vurderet, om bølgepladerne kan nedknuses og genanvendes som råmateriale i fremstillingen af nye fibercementprodukter hos Cembrit.

Først og fremmest skal de brugte bølgeplader renses for mos, alger osv., inden de bliver neddelt. Herefter skal de for at kunne bruges som råmateriale i fibercementproduktionen nedknuses relativt fint, således at 95 % af materialet er mindre end 90 µm. Det neddelte materiale vil kun kunne benyttes i produkter, som skal males, da der forventeligt vil være farvevariation i et sådant materiale. Dette vurderes dog ikke som et kritisk problem, da langt størstedelen af Cembrits fibercementprodukter er malet.

Ud fra tests i produktionen hos Cembrit er det vist, at der kun kan tilsættes en meget lille mængde neddelt genbrugsmateriale til recepterne, uden at der observeres en forringelse af produktkvaliteten. Denne mængde svarer cirka til det, der allerede nu bruges for at udnytte slibe- og skærestøv fra egen produktion. På baggrund heraf vil fibercementproduktionen sandsynligvis ikke blive en væsentlig genanvendelsesrute for asbestfri tagplader fremadrettet.

Økonomiske aspekter omkring nedknusning, transport osv. er ikke evalueret, da denne genanvendelsesrute ikke anses som en teknisk mulig vej til materialenyttiggørelse af betydelige mængder af eternitplader. Der er alene taget udgangspunkt i erfaringer fra Cembrit samt tests i såvel laboratoriet som produktionen, der tidligere har været foretaget med henblik på at anvende de affaldsstrømme, som kommer fra produktionen af fibercement.

6.4 Genanvendelse i beton og mørtel

6.4.1 Beton

Det er ikke nogen fjern tanke, at neddelt eternit kan genanvendes som tilslag i beton til erstatning for sten og/eller sand eller som filler, der delvist kan erstatte cement. Eternit består som tidligere nævnt af en stor del cement, og cement er som bekendt en vigtig bestanddel i beton.

Krav til materialer, der indgår i byggeriet, fremgår først og fremmest af bygningsreglementet og i de tilknyttede anvisninger, normer og standarder. Det betyder, at hvis neddelt eternit skal genanvendes i beton som fillertilslag, kan det kun ske i de produkter, som ikke er omfattet af bygningsreglementets bestemmelser, og såfremt de specifikke produktstandarder tillader dette.

Hvad angår de tekniske egenskaber af neddelt eternit, kan tilsætning af en lille mængde (ikke nærmere fastsat) potentielt have en positiv effekt, idet eternitpartiklerne pga. deres høje evne til at suge vand kan fungere som en superabsorberende polymer, der kan bidrage til at reducere svind ved udtørring af betonen. Dette er bekræftet ved samtale med betoneksperter, men ikke nærmere undersøgt i nærværende projekt. Omvendt kan tilsætning af neddelt eternit til beton også forventes at have en negativ effekt i forhold til fx trykstyrke og bøjningsstyrke.

⁷ I henhold til § 3 i Bekendtgørelse om asbest (BEK 1792: 2015) er det forbudt at fremstille, importere, markedsføre, anvende eller arbejde med asbest eller asbestholdigt materiale under enhver form, jf. dog stk. 2 og 4.

Der er ikke fundet undersøgelser af rapporteret i litteraturen, hvor neddelt eller formalet eternit er forsøgt genanvendt som fillertilslag til beton.

6.4.2 Mørtel

Genanvendelse af formalet eternit uden asbest er undersøgt i to uafhængige studier.

I et afgangprojekt gennemført på DTU-Byg⁸ i 2020 blev effekten af tilsætning af 20 % neddelt (formalet) eternit som erstatning for cement i mørtel undersøgt. Der blev anvendt et vand/cement-forhold på 0,5. Effekten på mørtlens egenskaber blev undersøgt i forhold til trykstyrke og bøjningsstyrke. Forsøget viste, at trykstyrken blev reduceret med op til 35 %, hvilket tyder på, at neddelt eternit ikke har cementlignende egenskaber, når det tilsættes direkte til mørtel. Det hænger formentlig sammen med, at den cement, der er indeholdt i eternitpladerne, allerede er hærdnet, dvs. har reageret med vand, og dermed ikke umiddelbart kan reagere igen. Bøjningsstyrken var mindre påvirket (den blev reduceret med 2-9 %).

Tilsvarende resultater blev fundet i et andet studie gennemført af Bouharoun et al.⁹. Her udføres ligeledes forsøg med anvendelse af neddelt eternit (fibercement) til fremstilling af mørtel, hvor hhv. 5 % og 20 % af cementen erstattes i mørtlen. Fibercementprøverne blev neddelt og sigtet til 80 µm, 100 µm og >100 µm. De tre størrelsesfraktioner blev anvendt til fremstilling af mørtel. Til sammenligning blev der fremstillet prøver, hvor tilsvarende procentuelle andele af cementen blev erstattet med kalkstensfiller (CaCO₃).

På baggrund af de gennemførte forsøg blev det konkluderet, at erstatningen af cement med fibercement har en tendens til at øge den samlede krympning af mørtel.

Trykstyrken – målt efter 28 dage – reduceredes med hhv. 14 % og 35 % afhængigt af substitutionsraten (5 % og 20 %) i forhold til de prøver, hvor der alene er anvendt cement. Reduktionen i trykstyrke var større end for prøver med tilsvarende substitution med kalkstensfiller. Dog var forskellene i trykstyrke mellem anvendelse af formalet eternit og kalkstensfiller noget mindre. Afslutningsvis konkluderes det i undersøgelsen, at de opnåede trykstyrker formentlig er acceptable for 'strukturelle anvendelser'.

6.5 Genanvendelse til cementproduktion

Da eternitplader indeholder en stor andel cement, er anvendelsen som råstof til cementproduktion en oplagt mulighed ud fra en cirkulær tankegang. For at undersøge denne genanvendelsesmulighed sammenholdes først fibercementpladernes typiske kemiske sammensætning med kravene til råstofferne for cementproduktionen.

6.5.1 Sammensætning af fibercement

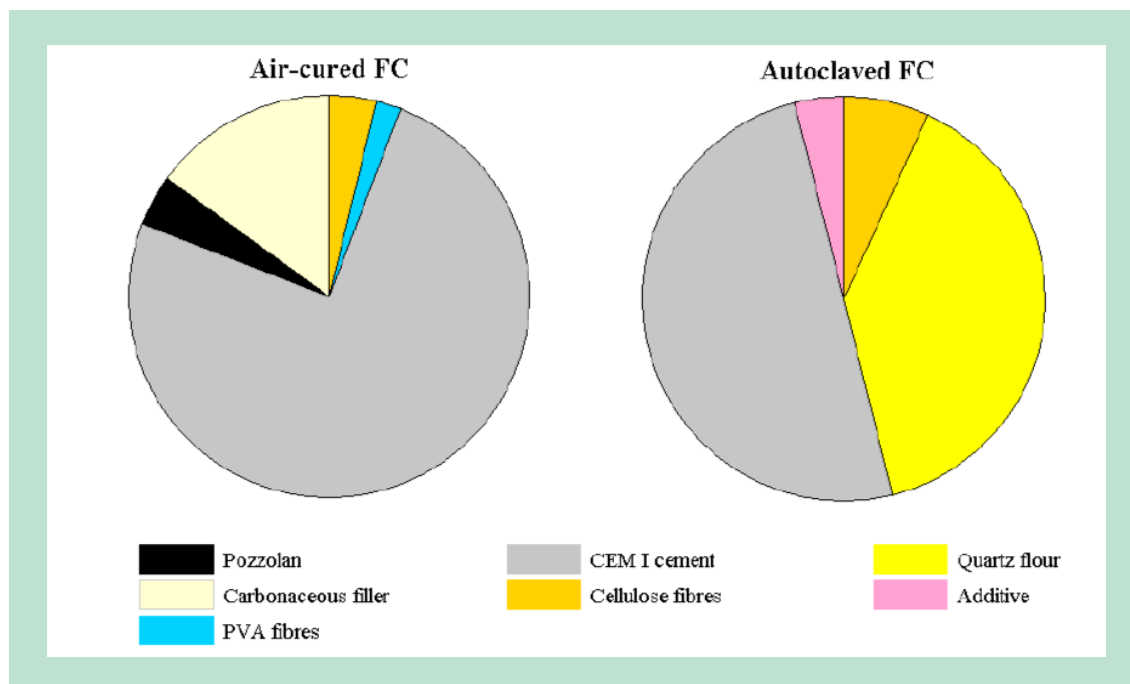
Eternitplader fra Cembrit er som nævnt i afsnit 2.1 baseret på en sammensætning af ca. 75 % cement, 10 % inert filler, 5-8 % organiske fibre, 0-5 % pozzolan og ca. 1 % andre additiver. Pladerne er lufthærdede.

Der findes endvidere fibercement, som er autoklaveret og med lavere cementindhold. Denne type fibercement anvendes dog typisk ikke til fremstilling af bølgeplader.

⁸ Recyclability of Fibre Cement Panels and Glass Wool. Dani Fadi Hassan, august 2020, DTU-Byg, Danmark

⁹ S. Bouharoun et al. 'Use of asbestos-free fiber-cement waste as a partial substitute of Portland cement in mortar', *Materials and structures* (2015) 48:1679-1687.

Ifølge Van der Heyden¹⁰ er det typiske cementindhold i lufthærdet fibercement 75 % (svarede nogenlunde til Cembrits eternitbølgeplader), mens autoklaveret fibercement indeholder ca. 50 % cement. Den øvrige sammensætning af de to typer fibercement er vist i FIGUR 41.



FIGUR 41. Sammensætning af to forskellige typer fibercement, fra Van der Heyden¹⁰.

Den kemiske sammensætning af cement opgives oftest som indhold af oxider. I TABEL 9 er sammensætningen fra prøverne A, B og C i afsnit 5.4 derfor omregnet til oxider (ud fra forhold mellem molmasser af grundstoffer og oxider). Disse er sammenlignet med data for typisk portlandcement angivet af Van der Heyden¹⁰ og Beton-teknik (1983)¹¹ samt prøver af udglødet lufthærdet fibercement¹⁰.

TABEL 9. Kemisk sammensætning for prøverne A, B og C omregnet til oxider og sammenlignet med portlandcement angivet i vægt%.

Oxid	A wt%	B wt%	C wt%	Udglødet fibercement ¹⁰ wt%	Cement ¹⁰ wt% (Intervaller)	Cement ¹¹ wt%
Na ₂ O	0,27	0,46	0,89	0,3	(0,1-0,5)	0,27
MgO	0,65	0,80	0,85	1,6	(1-5)	0,93
Al ₂ O ₃	5,78	8,54	6,76	4,2	(4-6)	2,7
SiO ₂	13,86	20,81	37,93	23,4	(20-23)	24,8
SO ₃	2,80	3,13	1,13	2	(0,1-2)	1,89
K ₂ O	1,23	0,82	1,45	0,5	(0,1-1)	0,32
CaO	67,03	61,64	46,21	65	(65-68)	65,3
Fe ₂ O ₃	9,90	5,58	3,69	3	(2-4)	2,57
Total	101,52	101,76	98,90			

¹⁰ L. Van der Heyden: 'Fibre Cement: A perfectly recyclable building material' IIBCC International Inorganic Bonded Composite Conference 2021, [link](#)

¹¹ Portlandcementer Beton-teknik 1/01/1983 Rev.1999. CtO Cementfabrikkernes tekniske oplysningskontor, Aalborg Portland

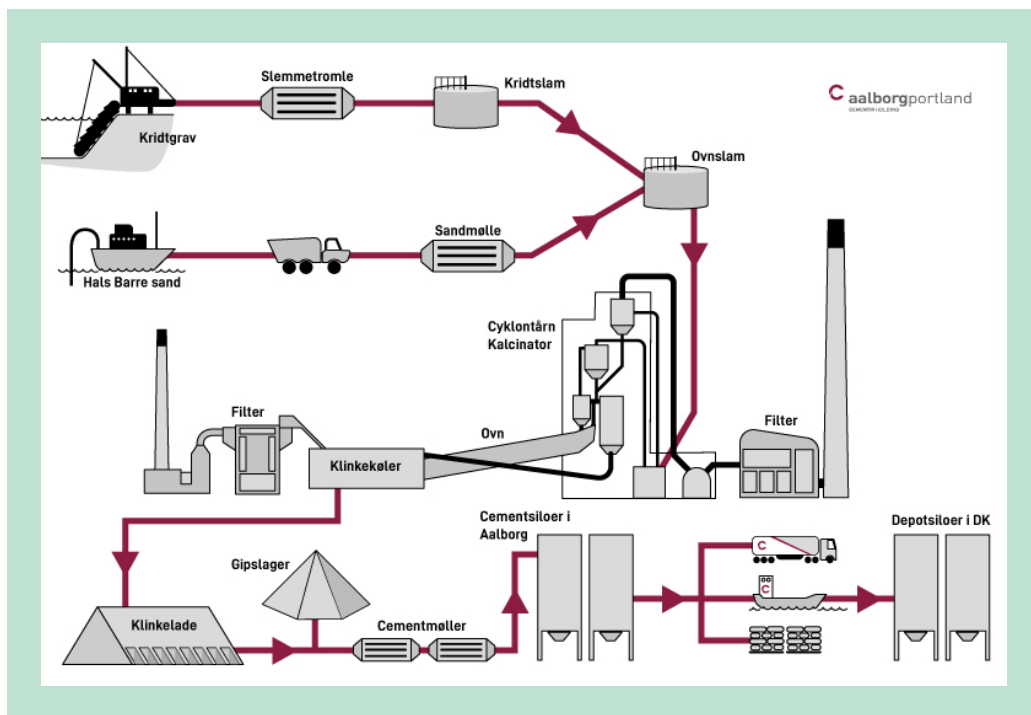
Klorid og andre stoffer er ikke fundet (mængderne er under detektionsgrænsen på 0,1 %). Prøverne A, B og C indeholder samme stoffer som typisk portlandcement, men i lidt andre koncentrationer. Prøve B ligner mest Aalborg Portlands cement. Prøve C afviger særligt i indholdet af CaO og SiO₂, mens prøve A især afviger på indholdet af SiO₂.

Ifølge Van der Heyden¹⁰ har HeidelbergCement siden 2003 implementeret genanvendelse af produktionsaffald af lufthærdet fibercement i Antoing (Belgien) og siden 2005 med produktionsaffald i HeidelbergCement (Tyskland). Begge steder er doseringen dog kun 0,3-0,4 %, og den sker ved at opblende forneddelt fibercement (40-50 mm partikelstørrelse) til råmaterialer, inden disse neddeles i råmaterialemløllen.

6.5.2 Cementfremstillingsproces hos Aalborg Portland

Gennem samtaler med Aalborg Portland¹² er anvendelse af asbestfri eternitplader som råmateriale i Aalborg Portlands produktion blevet indledende bedømt ud fra de fundne analyseresultater i afsnit 6.5.1. Aalborg Portlands proces er en vådproces, som ikke maler råmaterialerne tørt som ved HeidelbergCement. På FIGUR 42 ses, at materialerne tilføres som vådt ovnslam til cyklontårnet, hvor materialerne tørres og calcineres (forbrændes) og opnår en temperatur på op mod 1.000° C, inden de føres til roterovnen, hvor materialerne færdigbrændes ved 1.500° C.

Aalborg Portland producerer ca. 2 mio. ton cement pr. år. Hvis der tilføres 10.000 ton, svarer dette til 0,5 %, hvilket svarer nogenlunde til de mængder, som behandles af produktionsaffald af fibercement ved HeidelbergCement (jf. afsnit 6.5.1).



FIGUR 42. Overblik over Aalborg Portlands produktionstrin fra www.aalborgportland.dk.

Aalborg Portland vurderer indledende, at man, hvis man neddelser pladerne tilstrækkeligt, kan dosere materialet til cyklontårnet sammen med ovnslam. Hvor stor tilsats der kan accepteres, vurderes at være afhængig af flere parametre:

¹² Aalborg Portland, dialog med 'Group Sustainability and R&D Director' Jesper Damtoft

- 1) Det analyserede natrium- og kaliumindhold i prøverne A-C er ifølge Aalborg Portland til den høje side i forhold til danske forhold, men ved en dosering på op til 0,5 % vil det formentlig være uden betydning.
- 2) Indholdet af organisk materiale i fibercementen i form af PVA, cellulose og overfladerester af organisk materiale kan være et problem, da der vil afgives røggasser med VOC'er, når neddelte fibercementplader tilledes i den kolde ende af processen (toppen af cyklontårnet), hvor råmaterialerne fortørres og calcineres ved op til 800-1.000° C).

Hvad angår afgivelse af VOC'er, er fibercement undersøgt af J. Schoon et al. som alternativt råmateriale i produktion af portlandcement med udgangspunkt i HeidelbergCements tørreprocesser¹³. I artiklen diskuteres muligheder for behandling af fibercement med højere tilsats og muligheder for at undgå udledning af forhøjede mængder VOC'er ved tilledning i den kolde ende af cementprocessen, hvor det anføres, at VOC'er kan lede til tilstopninger, hvis de ud-kondenserer i kolde dele (formentlig indgangen til tørretårnet, hvor der er koldest).

Det foreslås i referencen, at man ved behandling af større tilsatsmængder fibercement kan introducere en pre-calciner eller forvarmer med en behandlingstemperatur på over 900° C i et par sekunder, hvilket vil sikre dekomponering af organisk materiale og dermed muliggøre fremtidig behandling af denne type materialer i større tilsats.¹³

Ved tilstrækkeligt lave doseringer som ved HeidelbergCement med ca. 0,4 % vurderede Aalborg Portland indledende, at afgivne VOC'er ikke ville være et væsentligt problem

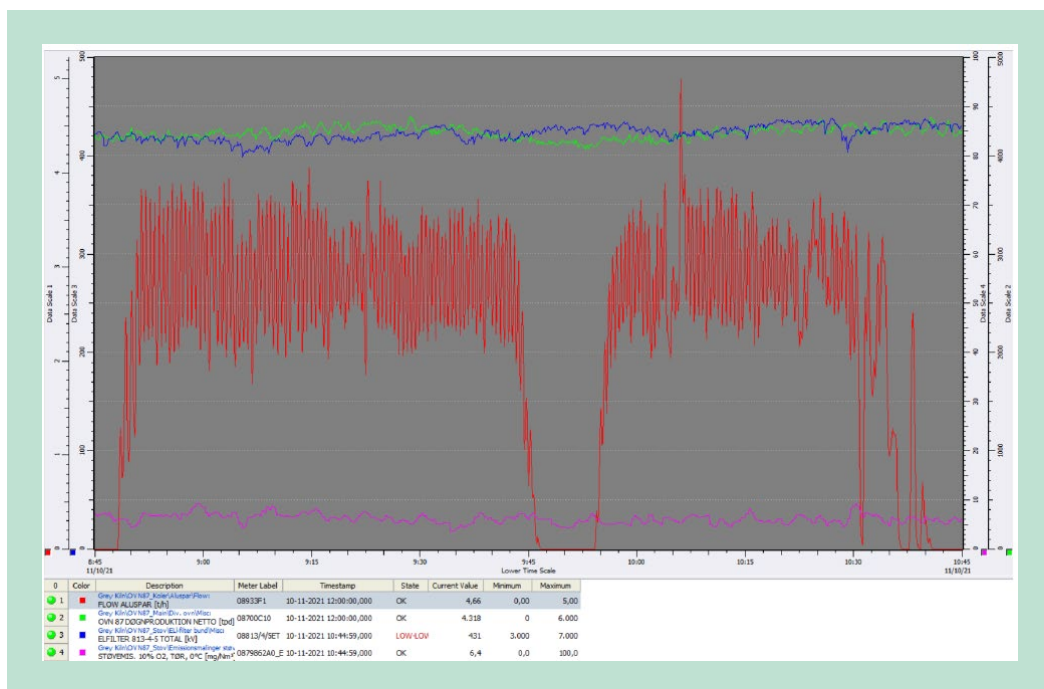
6.5.3 Fuldskalaforsøg: Cementfremstilling hos Aalborg Portland

For at undersøge, om det er teknisk muligt at dosere fibercementplader ved Aalborg Portland, blev gennemført to forsøgsserier med dosering af neddelte asbestfri eternitplader.

Doseringsforsøg 1

Ved første doseringsforsøg blev der doseret 6 ton neddelte asbestfri eternitplader (2,5 ton gamle plader fra nedrivninger og 3,5 ton nye plader fra Cembrit). Forsøget viste, at der ikke var problemer med fjernelse af støv i elektrofiltrene ved en dosering på 3 ton/time. Forsøget var dog for kort til at undersøge klinker kvaliteten, hvorfor der blev planlagt et forsøg med større mængder.

¹³ J. Schoon et al. 'Waste fibrecement: An interesting alternative raw material for a sustainable Portland clinker production', Construction and building materials 36 (2012), 391-403

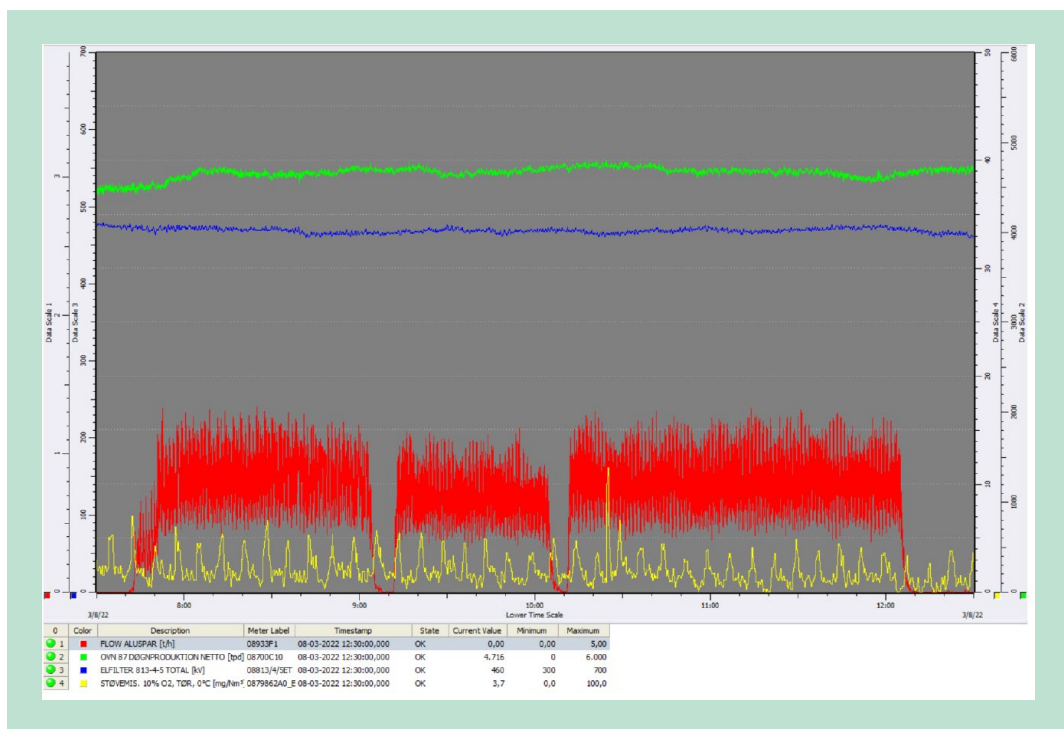


FIGUR 43. Logkurver fra doseringsforsøg 1. Rød kurve er dosering (3 t/h); blå er spænding over elektrofiltre (som ikke påvirkes).

Doseringsforsøg 2

Ved andet doseringsforsøg blev der doseret ca. 17 tons neddelte asbestfri plader (9 ton gamle fra nedrivninger og 9 ton nye plader fra Cembrit). Pladerne blev håndteret og neddelt som beskrevet i Bilag 4. Forsøget blev udført med et flow på 4 ton/time svarende til en dosering på 2 % af den totale klinkeproduktion.

Igen var der ingen målbar forskel i belastning af støv på elektrofiltrene. Materialerne blev doseret over ca. 4,5 time, hvor der blev taget prøver ud af producerede klinker for hver time. Klinkeprøvernes sammensætning blev analyseret hos Aalborg Portland med XRF og XRD. Ved sammenligning med sammensætningen af klinker uden tilsætning af fibercement var det ikke muligt at se forskel inden for den statistiske variation; eksempelvis varierede CaO i prøverne kun +/-0,3 % og Al₂O₃ +1,3/-0,9 %.



FIGUR 44. Logkurver fra doseringsforsøg 2. Rød kurve er dosering (måler forkert grundet fejl, men viser konstant flow beregnet til 4 t/h); blå kurve er spænding over elektrofilter, som ikke viser markante udsving grundet eventuelt ekstra støv fra doseret fibercement.

Samlet er resultaterne meget lovende, og det lykkedes at dosere en mængde på 2 % pr. time uden negativ effekt på hverken drift eller klinkekvalitet. Dette er en 4-5 gange højere dosering end den, der anvendes ved behandling af produktionsspild ved HeidelbergCement. Dertil kommer at der i nærværende forsøg er tale om 50 % udtjente plader fra hustage. Den anvendte dosering ville svare til en mængde af fibercementplader på 32.000 ton/år ved 8.000 driftstimer, hvilket er rigeligt til behandling af den forventede danske mængde, hvis de asbestfri plader udsorteres.

For at oparbejdningen kan gennemføres effektivt i kontinuert drift, kræves der imidlertid:

1. Etablering af en effektiv sortering af plader, som sikrer 100 % asbestfri plader
2. Optimering og forbedringer af benyttet neddelingsudstyr og -processer
3. Etablering af supplerende indfødningsystemer ved Aalborg Portland.

6.6 Anden nyttiggørelse i ubundet bærelag under pladser/veje

Ved anden nyttiggørelse af affaldsprodukter som erstatning for naturmaterialer skal materialets tekniske og miljømæssige egenskaber være egnet til formålet. Men da der i sagens natur ikke foreligger krav til hverken tekniske eller miljømæssige egenskaber for neddelt eternit til anden nyttiggørelse i bygge- og anlægsarbejder, vil det bedste udgangspunkt for en vurdering derfor være at anvende de krav, der stilles til andre affaldsprodukter, der anvendes i bygge- og anlægsarbejder, som fx neddelt beton og tegl. Disse krav findes i hhv. Vejdirektoratets forskrifter^{14, 15}, hvad angår de tekniske egenskaber, og restproduktbekendtgørelsens (BEK 1672:2016) bestemmelser for slagter, hvad angår de miljømæssige egenskaber.

Vurdering af tekniske egenskaber

Der anvendes i dag neddelt beton, tegl og asfalt i vejbygning. De neddelte materialer kan anvendes i forskellige lag i vejbygningen:

¹⁴ Ubundne bærelag af knust beton og tegl, Vejledning, februar 2011

¹⁵ Ubundne bærelag af knust beton og tegl, Almindelig arbejdsbeskrivelse (AAB), februar 2011

- Fyldlag
- Bundsikring/drænlag
- Bærelag.

Anvendes materialerne til ubundne bærelag testes materialerne efter Vejdirektoratets forskrifter, som refererer til standarderne *DS/EN 13285:2018*¹⁶ og *DS/EN 13242+A1:2008*¹⁷.

Med henblik på at vurdere, om neddelt eternit teknisk set vil være egnet til nyttiggørelse som erstatning for primære råstoffer ved anlæg af pladser, veje mv., er der gennemført følgende tests på prøver af neddelte nye hhv. gamle eternitplader:

- Kornkurven og indhold af finstof (DS/EN 933-1:2013)
- Vibrationsinddampning (DS/EN 13286-5:2003).

Resultaterne af testene ses i afsnittene 5.3 og 5.4.

Vejdirektoratets forskrifter indeholder krav til kornstørrelsesfordelingen for fire forskellige kategorier af neddelt beton og beton/tegl (KB, KBTI, KBTII, KBTIII), som er bestemmende for, hvor stor trafikbelastningen kan være på det sted, hvor de neddelte materialer anvendes.

Sammenlignes de kornstørrelsesfordelinger, der er bestemt for de neddelte eternitplader, med disse krav, fremgår det, at kravene til anvendelse i ubundne bærelag ikke er overholdt i nogen af de fire kategorier. Kornstørrelsesfordelingerne for de neddelte eternitplader er for 'snævre', idet omkring 75 % og 90 % af materialet i hhv. neddelte nye og gamle eternitplader har en kornstørrelse på mellem 4 og 16 mm. Uensformighedstallene for neddelte eternitplader ligger på hhv. 7, 8 og 3,1 for de neddelte nye og gamle eternitplader. For stabilgrus, som er det materiale, de neddelte eternitplader potentielt skulle erstatte i vejbyggeri, ligger denne værdi typisk omkring 50.

Også ved nyttiggørelse som bundsikring/drænlag og i fyldlag vil det være nødvendigt med en mere jævn kornstørrelsesfordeling i hele intervallet af materialet. Det hænger sammen med, at der er risiko for sætninger i materialet, hvis kornstørrelsesfordelingen er for ensartet. En mere jævn og egnet kornstørrelsesfordeling vil evt. kunne opnås ved anvendelse af anden knusemetode eller ved iblanding af sand.

Resultaterne af de gennemførte vibrationsforsøg på både nye og gamle neddelte eternitplader (se 5.4.2) viser, at neddelt eternit er et let materiale. Med en densitet svarende til densiteten for vand eller endda lidt lavere vil materialet være flydende, og man risikerer ustabilitet ved anvendelse. Densiteten på neddelt eternit er meget forskellig fra de materialer, der ellers anvendes som bærelag, bundsikring eller fyldlag. Til sammenligning har 'genbrugsmaterialer' (neddelt beton/tegl) en densitet på omkring 1.650 kg/m³. Heller ikke som drænlag vil neddelt eternit være egnet, da det vil være problematisk, at materialet synes at holde på vandet. Det mættede vandindhold i neddelt eternit er bestemt til over 20 %. Teknisk set synes neddelt eternit ikke i sig selv at have egenskaber, som karakteriserer et kvalitetsmateriale i forhold til at erstatte naturmaterialer én til én ved anvendelse som ubundet materiale til anlægsformål.

Samme konklusion nåede et dansk affaldsselskab frem til, da man efter at have opnået en § 19-tilladelse efter miljøbeskyttelsesloven forsøgte at anvende neddelte, asbestfri eternitplader som bærelag under egen plads. Erfaringerne herfra var, at neddelt eternit (0-50 mm) i sig selv var yderst vanskeligt at indbygge på grund af en 'fjedrende' effekt, og at bæreevnen var ringe.

¹⁶ DS/EN 13285:2018, Ubundne blandinger – specifikationer

¹⁷ DS/EN 13242 + A1:2008, Tilslag til ubundne og hydraulisk bundne materialer til vejbygning og andre anlægsarbejder

Man endte med kun at udlægge et lag på 1 cm tykkelse under den faste belægning. Der er i dag ingen revner eller defekter på det sted, hvor den neddelte eternit er lagt ud.

Der er, som det fremgår af Miljøprojekt 2120:2020¹⁸, kun fundet få afrapporterede undersøgelser i litteraturen, som har haft til formål at belyse de tekniske egenskaber af neddelte eternitplader i forhold til nyttiggørelse som ubundne materialer i anlægsarbejder. I Miljøprojekt 2120:2020 refereres til, at nyttiggørelse i anlægsarbejder ifølge en belgisk producent er en vel-etableret, omend udokumenteret praksis¹⁹. Dette billede genkendes også fra Danmark, hvor det tidligere ikke var ualmindeligt at se neddelt eternit nyttiggjort/bortskaffet i mindre veje, indkørsler mv.

I Miljøprojekt 2120 (2020) henvises til en tysk undersøgelse gennemført ved Bauhaus-Universität Weimar (Müller et al., 2011²⁰). I undersøgelsen blev det fundet, at neddelt eternit (0-8 mm) ved tilsætning i op til 5 % til fx neddelt beton udviste positive egenskaber. Neddelt beton iblandet neddelt eternit udviste højere pakningsevne (proctor densitet) end neddelt beton alene. Dog var behovet for vand ved indbygning højere pga. eternits høje absorptionsevne. Ved en test af bæreevnen (CBR-test) blev det fundet, at tilsætningen af op til 10 % neddelt eternit havde en positiv effekt. Det ville ifølge forfatterne være helt uproblematisk i forhold til anvendelse som ubundne materialer i fx vejbygning at tilsætte op til 5 % neddelt eternit til den neddelte beton.

Vurdering af miljømæssige egenskaber

Ved nyttiggørelse af neddelt, asbestfri eternit som erstatning for naturmaterialer i bygge- og anlægsarbejder er det vigtigt at vurdere, om nyttiggørelsen ville kunne give anledning til uacceptabel påvirkning af miljøforhold. Miljøstyrelsen gennemførte i perioden 2018-2020 to Miljøprojekter^{21, 22}, som havde til formål at belyse, om nyttiggørelse af blandt andet neddelt eternit uden asbest vil kunne give anledning til miljømæssigt uacceptable påvirkninger af det omkringliggende miljø. Projekterne skal bidrage til at danne grundlag for, at Miljøstyrelsen kan vurdere, om det er relevant at revidere restproduktbekendtgørelsen med henblik på en udvidelse af bekendtgørelsens anvendelsesområde.

I Miljøprojekt nr. 2143:2020 er indhold af miljøproblematiske stoffer samt udvaskningsegenskaber bestemt for fem prøver af tageternitplader. Det skal bemærkes, at de tageternitplader, hvorpå tests er udført, alle er nye eternitplader modtaget direkte fra producenter. Det vil forventeligt have betydning for udvaskningen af visse miljøproblematiske stoffer fra materialerne, da stofudvaskningen kan være stærkt afhængig af pH-værdien i materialet. Gamle eternitplader vil typisk have en lavere pH-værdi end nye plader pga. optagelse af CO₂ fra luften. Der er derfor i dette projekt gennemført både analyser af faststofindholdet og udvaskningstest for én prøve af gamle, neddelte eternitplader. Resultaterne vil kunne bidrage til at vurdere de miljømæssige forhold ved nyttiggørelse af gamle, neddelte eternitplader (se Bilag 3). TABEL 10 giver et overblik over de miljøproblematiske stoffer, der indgik i analyseprogrammet og vurderingerne i Miljøprojekt 2143:2020.

¹⁸ Potentiel udvaskning af problematiske stoffer i forbindelse med nyttiggørelse af nedknuste bølgeeternitplader uden asbest. Miljøprojekt nr. 2120, 2020. Miljøstyrelsen.

¹⁹ Van Der Heyden (2012), Fibre Cement: A perfectly recyclable building material, IIBCC International Inorganic-Bonded Fiber composites conference, 211-225

²⁰ Müller et al. (2011). Material utilization of fibre cement waste. Material Science ZKG International, vol.3, 60-72.

²¹ Identifikation af problematiske stoffer i overfladebehandlet tegl og beton, herunder eternitplader, fiberarmet beton, klinker og sanitet. Miljøprojekt nr. 2127, 2020. Miljøstyrelsen.

²² Forekomst og udvaskning af problematiske stoffer i udvalgte affaldsfraktioner af beton og tegl, Miljøprojekt nr. 2143, 2020. Miljøstyrelsen.

TABEL 10. Overblik over test- og analyseprogram i Miljøprojekt 2143:2020.

Indhold af miljøproblematiske stoffer	
Uorganiske stoffer efter oplukning DS 259	Al, As, B, Ba, Ca, Cd, Co, Cr(total), Cu, Fe, Hg, K, Mg, Mn, Mo, Na, Ni, P, Pb, S, Sb, Se, Sr, Ti, V, og Zn
Organiske stoffer	TOC, kulbrinter (THC), polycykliske aromatiske hydrokarboner (PAH), polyklorede biphenyler (PCB7) og klorparaffiner (CP)
Udvaskning af miljøproblematiske stoffer	
EN 12457-1	Al, As, B, Ba, Ca, Cd, Co, Cr, Cu, Hg, K, Mn, Mo, Na, Ni, Pb, Sb, Si, Sn, V, Zn, DOC, fluorid, klorid, sulfat, pH og ledningsevne
	Udvalgte biocider

Resultaterne af analyser af faststofindholdet af miljøproblematiske stoffer blev vurderet i forhold til jordkvalitetskriterier i Miljøstyrelsens liste over kvalitetskriterier i relation til forurenede jord fra 2018²³ svarende til kategori 1-grænseværdier i restproduktbekendtgørelsen (BEK 1672:2016). Resultater af udvaskningstests er vurderet i forhold til grænseværdier for kategori 1, 2 og 3 i restproduktbekendtgørelsen (BEK 1672:2016).

Som det fremgår af TABEL 11, overskrider indholdet af enkelte metaller samt sum af kulbrinter (THC) i eternitpladerne jordkvalitetskriteriet. Man kan derfor argumentere for, at en styret form for nyttiggørelse af neddelte eternit vil være nødvendig.

TABEL 11. Oversigt over stoffer i de undersøgte materialer, som overskrider grænseværdierne for kategori 1-nyttiggørelse af restprodukter i henhold til BEK 1672/2016 eller jordkvalitetskriterierne (JKK). For metaller og metalloider er indhold bestemt efter partieloplukning med DS 259.

Materiale-ID	Materialetype	Overskrider grænseværdi for kategori 1-anvendelse	Overskrider JKK	Kommentar
3.1	Grå ikke-overfladebehandlet bølgetagplade	Zn	Ba, Zn	TOC >3 %
3.2	Grå ikke-overfladebehandlet bølgetagplade	Pb, Zn	Ba, Mo, Pb, Zn	TOC >3 %
4.3	Sortmalet bølgetagplade af fibercement	Cd, Zn	Ba, Cd, Zn	TOC >3 %
4.5	Rødmalet bølgetagplade af fibercement	Cd, Pb	Ba, Cd, Pb, THC	TOC >3 %
4.6	Sortmalet bølgetagplade af fibercement		Ba, THC	TOC >3 %
Gammel eternit	Neddelte, asbestfri eternitplader fra nedrivninger	Cd	Cd	TOC >3 %

I forhold til beskyttelse af jord og vandmiljø ved et nyttiggørelsesprojekt er materialets udvaskningsegenskaber mindst lige så relevante at belyse som koncentrationen af miljøproblematik-

²³ <https://mst.dk/kemi/kemikalier/graensevaerdier-og-kvalitetskriterier/sundhedskvalitetskriterier/graensevaerdier-for-jord/>

ske stoffer i faststoffasen. Der blev derfor i Miljøprojekt 2143:2020 gennemført udvaskningstest på de fem prøver af nye, neddelte tageternitplader, og der er i nærværende projekt gennemført en udvaskningstest på brugte neddelte eternitplader (se Bilag 3).

Af TABEL 11 ses, at udvaskningen af Ba, Cr, Na, Pb og Zn fra nye plader overskrider kategori 1+2-grænseværdierne i restproduktbekendtgørelsen (BEK 1672:20216), og Pb overskrider desuden kategori 3-grænseværdien.

For gamle, neddelte eternitplader ses først og fremmest, at pH-værdien er faldet til omkring 10 som følge af carbonatisering (TABEL 12). Udvasningen af Cr, Cu, Ni og sulfat fra gamle, neddelte eternitplader overskrider kategori 1 og 2, mens alle parametre overholder kategori 3 i restproduktbekendtgørelsen (BEK 1672:20216). Forskellen i udvaskningsegenskaberne for nye og gamle eternitplader kan bl.a. skyldes forskellen i pH-værdien. Det kan derfor være relevant at overveje et krav til pH-værdien ved nyttiggørelse af neddelt, asbestfri eternit som ubundne materialer under veje, pladser mv.

TABEL 12. Oversigt over stoffer, som ved udvaskning af materialerne efter DS/EN 12457-1 overskrider grænseværdierne for nyttiggørelse af restprodukter i Restproduktbekendtgørelsen, BEK 1672/2016.

Materiale-ID	Materialetype	Overskrider grænseværdi		Kommentar
		Kat. 1+2	Kat.3	
3.1	Grå ikke-overfladebehandlet bølgetagplade	Ba, Cr, Na, Pb	-	pH > 12,5
3.2	Grå ikke-overfladebehandlet bølgetagplade	Ba, Cr, Na, Pb	Pb	pH > 12,5
4.3	Sortmalet bølgetagplade af fibercement	Ba, Cr, Na, Pb, Zn	-	pH > 12,5
4.5	Rødmalet bølgetagplade af fibercement	Ba, Cr, Na, Pb	Pb	pH > 12,5
4.6	Sortmalet bølgetagplade af fibercement	Ba, Cr, Na, Pb	Pb	pH > 12,5
Gammel eternit	Neddelte, asbestfri eternitplader indsamlet fra nedrivninger	Cr, Cu, Ni, SO ₄	-	pH = 10

Som nævnt i TABEL 10 blev der i Miljøprojekt nr. 2143:2020 også analyseret for udvaskning af udvalgte biocider, mere specifikt isothiazolinoner, idet der i Miljøprojekt nr. 1991:2018²⁴ og Miljøprojekt nr. 2127: 2020²⁵ blev påvist en teoretisk mulighed for, at disse stoffer kan være til stede i beton, fibercement og fiberbeton. Isothiazolinoner anvendes som konserveringsmidler i tilsætningsstoffer, som anvendes i produktionen af eternitplader. En enkelt prøve blev undersøgt for udvaskning af udvalgte biocider, og der blev ikke påvist udvaskning af isothiazolinoner fra bølgetagplader.

Afsluttende bemærkninger

Nyttiggørelse af neddelt eternit som ubundne materialer, fx som bærelag, drænlag eller fyld, vil kræve, at det neddelte materiale både teknisk og miljømæssigt besidder egenskaber, som kvalificerer materialet som en god erstatning for naturmaterialer, eller med egenskaber, som forbedrer et allerede anerkendt produkt ved tilsætning. Det er samtidig væsentligt, at markedet reelt ønsker og efterspørger neddelt, asbestfri eternit til anden nyttiggørelse. Endelig er det vigtigt, at der ikke opstår en usikkerhed omkring materialet ved, at stykker af neddelt eternit forveksles med asbestholdige materialer.

²⁴ Forekomst og udvaskning af problematiske stoffer i knust beton og tegl. Miljøprojekt nr. 1991, 2018. Miljøstyrelsen.

²⁵ Identifikation af problematiske stoffer i overfladebehandlet tegl og beton, fiberarmeret cement og beton samt klinker og sanitet. Miljøprojekt nr. 2127, 2020. Miljøstyrelsen.

På baggrund af de gennemførte vurderinger kan det konkluderes, at neddelt eternit i sig selv teknisk set ikke har egenskaber, der kvalificerer materialet som en god erstatning for naturmaterialer (100 % erstatning) til vejbygningsformål. Dette bekræftes i et konkret forsøg med anvendelse af neddelt eternit under egen plads hos et dansk affaldsselskab. En tysk undersøgelse har vist, at tilsætning af op til 5 % neddelt eternit (0-8 mm) i neddelt beton er uproblematisk og på nogle områder vil have en positiv effekt ved anvendelse som ubundne materialer i fx vejbygning. Der bør dog gennemføres et egentligt udviklingsarbejde, som kan bekræfte og underbygge disse resultater.

De miljømæssige krav i relation til beskyttelse af jord og vandmiljø ved anden nyttiggørelse af neddelte eternitplader som ubundne materialer er ikke veldefinerede. Anden nyttiggørelse af neddelt eternit kræver i dag en § 19-tilladelse eller en § 33-godkendelse efter miljøbeskyttelsesloven. I den sammenhæng ville det være ønskeligt, at der opstilles klare rammer for, i hvilke situationer neddelt eternit kan benyttes, og hvilke krav materialet skal opfylde for at være miljømæssigt egnet til formålet.

I nærværende projekt er det ikke undersøgt nærmere, om der i markedet vil være en reel efterspørgsel på neddelt eternit som tilsætning til eller erstatning for naturmaterialer. Man kan dog frygte, at der altid vil kunne opstå tvivl om, hvorvidt det neddelte materiale er asbestfrit. Så længe eternitpladerne ikke er neddelte, vil det altid være muligt at kontrollere, at de enkelte plader er asbestfrit, men på neddelt form tabes denne mulighed. Jævnligt dukker frygten for spredning og eksponering med asbest fra gamle eternitplader op i medierne (senest i DR i juli 2020).

6.7 Andre anvendelsesmuligheder

Der har gennem gode dialoger i og uden for projektgruppen været diskuteret adskillige mulige anvendelser af særligt de neddelte, asbestfrie eternitmaterialer. Materialet har blandt andet tidligere været anvendt til udlægning på stier og ridebaner, hvor den let fjedrene effekt i materialerne har været særligt ønsket. Det vurderes dog i projektgruppen, at det grundet frygten for asbestindhold ikke vil være hensigtsmæssigt med disse anvendelser. For den almindelige befolkning kan fritliggende, neddelt materiale skabe frygt for asbestindhold, selv om materialerne er dokumenteret asbestfrie inden neddelingen. Det er ikke muligt at bevare sikkerheden for, at materialerne rent faktisk er asbestfrie, når de først er neddelt.

Derudover har det været på tale at anvende neddelte materialer til fremstilling af LECA-produkter, men det vurderes ikke, at kapaciteten for denne mulighed svarer til de mængder af eternit, der skal afsættes, da LECA også har mulighed for anvendelse af mange andre affaldsfraktioner i produktionen.

Endelig har det været overvejet, om neddelt eternit kan indgå i asfaltproduktion, men efter dialog med NCC, blev det vurderet, at fugtabsorptionen og -indholdet i de neddelte materialer er alt for høj(t) til asfalt, da disse er kritiske parametre for denne anvendelse.

6.8 Opsummering

Det vurderes umiddelbart, at den bedste måde at udnytte asbestfrie eternitplader på, er ved direkte genbrug af hele plader, når dette er muligt, dvs. intakte plader. For plader, der er meget slidte, har knækkede hjørner eller på anden måde er skadet, vurderes anvendelse i cementproduktion at være den mest lovende løsning, som beskrevet i afsnit 6.5.

For at opsummere de mange undersøgte muligheder er vurderingerne samlet i TABEL 13.

TABEL 13. Opsummering af muligheder for materialenyttiggørelse af asbestfri eternitplader.

	Teknisk muligt	Kapacitet i DK/mængder	Miljømæssigt perspektiv	Behov for forarbejdning
Genbrug af hele plader	Ja, for intakte plader	Ukendt	Pladerne holdes længe tid i materialekredsløbet, og der undgås produktion af nye plader	Minimal. Kræver ingen neddeling (men muligvis afrensning)
Genanvendelse i nye plader	Ja, men neddedelt eternit kan kun udgøre en meget lille mængde af råvarerne	Kapacitet allerede fyldt af produktions-spild	Kan potentielt erstatte cement. Eventuelle problematiske stoffer i gamle plader overføres til de nye plader	Evt. afrensning og efterfølgende finneddeling
Tilslag i beton/mørtel	Ja, men produktets trykstyrke forringes	Kun små mængder kan tilsættes	Kan potentielt erstatte cement og fungere som en filler. Eventuelle problematiske stoffer i gamle plader overføres til de nye plader	Evt. afrensning og efterfølgende finneddeling
Cementproduktion	Ja	Aalborg Portland forventes at kunne aftage min. 10.000 ton/år	Kan potentielt erstatte cement. De organiske stoffer i eternitpladerne kan potentielt danne VOC'er i røggassen	Evt. afrensning og efterfølgende grovneddeling
Ubundet bærelag	Umiddelbart ikke egnet som bærelag pga. fjedrende effekt	Ikke relevant	Anvendelsen kan være problematisk, da problematiske stoffer i eternitpladerne kan udvaskes til miljøet	Evt. afrensning og efterfølgende neddeling med kontrolleret kornkurve

7. Potentialer og businesscase

Dette kapitel samler beregninger og overvejelser angående mængder, kapaciteter og mulige fremtidige scenarier for et sorteringsanlæg (i det omfang projektets partnere har ønsket at offentliggøre data).

7.1 Mængder af eternitplader

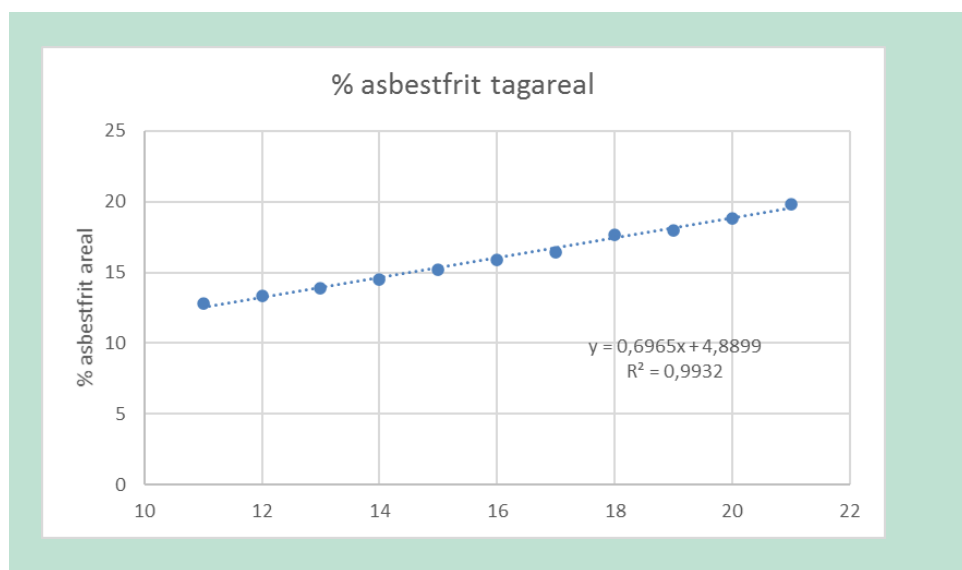
For at få et overblik over mængder af eternitplader er der foretaget udtræk fra Danmarks Statistik for perioden 2011-2021 vedrørende bygninger i Danmark med fibercement med asbest henholdsvis asbestfrit. I tabellen er endvidere beregnet areal med fibercement og heraf, hvor store arealer der er med asbestfri fibercement.

TABEL 14. Data fra Danmarks Statistik om fibercementarealer.

	Fibercement, inkl. asbest 1000 m²	Fibercement (asbestfri) 1000 m²	Fibercement m. asbest 1000 m²	% asbestfrit areal
2011	233.021	29.820	203.201	12,8
2012	231.596	30.954	200.642	13,4

2013	230.336	32.030	198.306	13,9
2014	229.360	33.239	196.121	14,5
2015	228.129	34.726	193.403	15,2
2016	226.894	36.010	190.884	15,9
2017	225.628	37.134	188.494	16,5
2018	224.698	39.673	185.025	17,7
2019	223.627	40.219	183.408	18
2020	221.940	41.755	180.185	18,8
2021	220.296	43.620	176.676	19,8

Det ses, at det asbestfrie areal er steget fra 12,8 % i 2011 til 19,8 % i 2021. Ud fra fortsættelse af den lineære regression kan det estimeres, at 40 % af det danske tagareal med fibercement med den nuværende udskiftningsstakt vil være asbestfrit i 2050 (se FIGUR 45).



FIGUR 45. Regression af andelen af asbestfrit fibercementareal.

I det følgende antages, at 75% af fibercementplader er bølgeplader og ikke skiferplader (baseret på estimat fra Cembrit). Ud fra en antaget gennemsnitshældning på 30 grader for tagkonstruktioner og en vægt på 15 kg/bølgeplade er den totale mængde bølgeplader med asbest estimeret (se TABEL 15, 2. kolonne)²⁶.

Den mængde, der forsvinder fra et år til det efterfølgende, må svare til mængden af asbestplader, der årligt deponeres, idet der jo ikke tilføres nye plader med asbest til tagene efter 1987.²⁷ Generelt gælder således, at:

$$\text{Mængden af plader i år } n \text{ med asbest} = \text{mængden af plader i år } (n-1) - \text{deponeret.}$$

Det betyder, at den deponerede mængde hvert år kan estimeres som vist i TABEL 15.

²⁶ Beregningseksempel for 2011 og 2012:

Bølgepladeareal m. asbest (2011) = 203.201.000 m².

Mængde bølgeplader m. asbest (2011) = 203.201.000 m² /cos(30°) *15 kg/m² *75% /1000 = 2.639.658 ton. Tilsvarende fås for 2012 en mængde på 2.606.416 ton asbestholdige bølgeplader.

²⁷ Deponeret mængde i 2012 = (Mængde bølgeplader m. asbest i 2011) – (mængde bølgeplader m. asbest i 2012) = 2.639.658 ton - 2.606.416 ton = 33.242 ton.

Endvidere er angivet den estimerede mængde af plader uden asbest på tagene, hvoraf de ældste er opsat i 1987. De ældste plader er derfor 34 år gamle og ude over den typiske levetid, hvorfor de vil være udskiftet. En del af andre asbestfri plader tilføres løbende affaldsstrømmen i forbindelse med renovering. Ifølge prognosen deponeres ca. 45.000 ton asbestholdigt tag pr. år. Herudover deponeres en mængde af asbestfri plader. Mængden af asbestfri plader til deponi kan ikke udledes direkte af statistikken, da mængden af tilførte plader ikke kendes. Herudover vil fraførte plader fordele sig på plader til deponi og direkte genbrug.

Man kan dog forsøge at beregne et estimat under følgende forudsætninger:

- den deponerede (fracførte mængde) asbestholdige plader pr. år fra 2011-2021 udgør 1,4 % pr år med en standardafvigelse på 0,4 %
- det antages, at der ligeledes fracføres 1,4 % asbestfri plader pr. år.

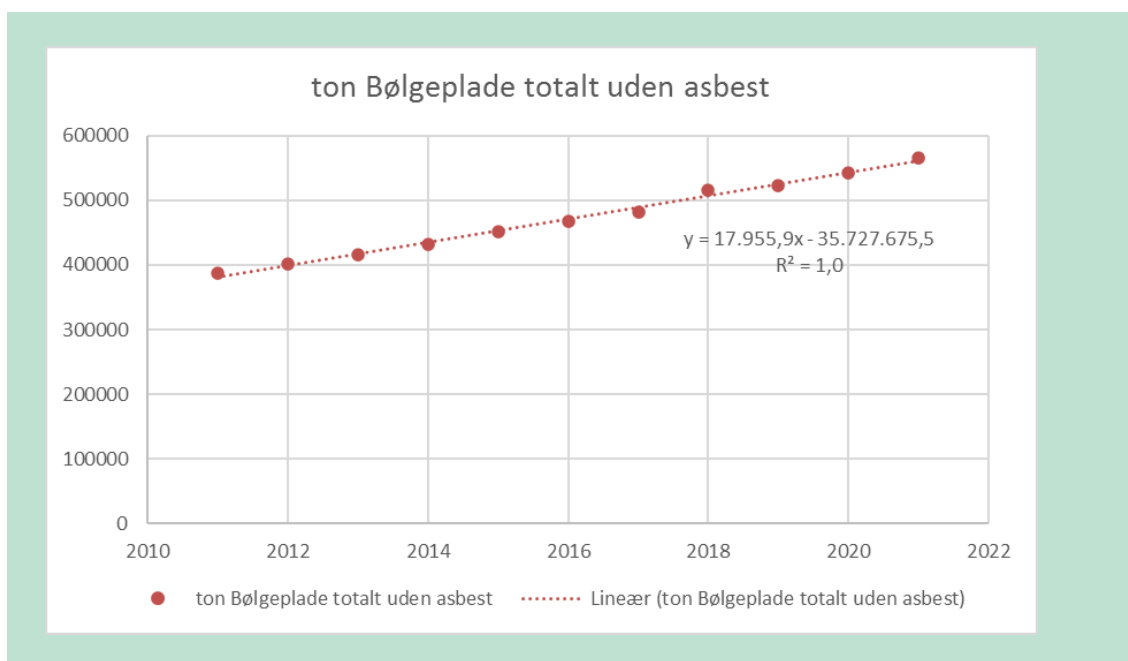
Dermed må der i 2021 blive fracført 7.850 tons asbestfri plader.

TABEL 15. Estimerede mængder af asbestfri bølgeplader.

	Bølgeplader med asbest, total Ton	Årlig deponeret mængde (= differens) Ton	Bølgeplader uden asbest, total Ton
2011	2.639.658		387.373
2012	2.606.416	33.242	402.104
2013	2.576.071	30.346	416.082
2014	2.547.687	28.384	431.787
2015	2.512.379	35.308	451.104
2016	2.479.656	32.723	467.784
2017	2.448.609	31.047	482.385
2018	2.403.545	45.064	515.367
2019	2.382.540	21.005	522.460
2020	2.340.672	41.868	542.413
2021	2.295.089	45.583	566.640

FIGUR 46 viser et plot af mængden af asbestfri bølgeplader fra TABEL 15. Ud fra regression på kurven vil mængden af asbestfri plader på tagene i 2050 udgøre 1.081.919 ton. Dermed vil mængden af nedtagne asbestfri plader udgøre $1,4/100 \cdot 1.081.919 = 15.100$ ton/år.

Hvordan det reelt vil se ud, vil afhænge af, om udskiftningshastigheden af asbestholdige tage øges, og hvilken tagtype der skiftes til.



FIGUR 46. Lineær regression af mængden af asbestfri bølgeplader.

7.2 Setup og businesscase

Etablering af et anlæg til sikker identifikation og sortering af asbestfri eternitplader vil kunne ske på forskellige måder med dertil knyttede fordele og ulemper. I det følgende er to mulige og helt forskellige scenarier for etablering af et anlæg beskrevet og diskuteret.

Mobilt anlæg

Det er på flere måder attraktivt for den efterfølgende håndtering, hvis byggeaffald kan sorteres så tæt på kilden som muligt. Med et mobilt anlæg vil det være muligt at foretage en identifikation og sortering af asbestfri eternitplader på nedtagningsstedet eller decentrale opsamlingssteder som fx genbrugsstationerne. Når arbejdet er udført, vil anlægget kunne flyttes til en ny lokalitet.

Ved renoveringer og nedrivninger, der foretages af professionelle virksomheder, vil der oftest være taget prøver af et eternittag mhp. at afgøre, om pladerne indeholder asbest eller ej. På den måde kan det på forhånd sandsynliggøres, at pladerne ikke indeholder asbest. Det er dog ikke alle plader, der er kontrolleret på den måde, og da der kan være foretaget en udskiftning af enkelte plader, vil det derfor give god mening at anvende den udviklede teknologi til at kontrollere og dokumentere, at de enkelte plader ikke indeholder asbest. Dette kan gøres på stedet, men vil formentlig af bl.a. af arbejdsmiljømæssige hensyn samt hensyn til plads mv. blive foretaget på et modtageanlæg.

Private og mindre håndværkere kan aflevere et ofte begrænset antal hele eternitplader på landets genbrugsstationer. Flere af landets genbrugsstationer anviser større mængder eternitplader direkte til deponering. Genbrugsstationerne modtager også andet asbestholdigt affald, som kommer i samme container som eternitpladerne. Støvende asbest skal være emballeret forsvarligt, og på flere genbrugsstationer skal eternitplader også være emballeret i plast ved modtagelse. Plastemballagen vil selvsagt være et problem for den udviklede teknologi til identificering og sortering af pladerne. Et mobilt anlæg vil i princippet kunne opstilles på en genbrugsstation, enten til permanent sortering eller til sortering af en større indsamlet mængde. Det vil i begge tilfælde være nødvendigt at etablere en række forholdsregler, som kan sikre forsvarlig håndtering af de asbestholdige plader i sorteringsanlægget, og at de fornødne godkendelser er på plads.

Netop for at reducere risikoen for spredning af asbestfibre og samtidig sikre bedre arbejdsmiljø på genbrugsstationerne har flere kommuner etableret nye ordninger for eternitplader. Således har AVV og Kolding Kommune forsøgsvis etableret en henteordning hos borgerne. En sådan ordning kunne formentlig give gode muligheder for inden afhentning at sandsynliggøre, om pladerne kan forventes at være asbestfri og egnet til at 'komme en tur gennem' anlægget, eller om de skal køres direkte til deponering.

Centralt placeret anlæg

En anden mulighed for at etablere et anlæg til sikker identificering og sortering af asbestfri eternitplader ville være på et modtageanlæg for bygge- og anlægsaffald eller et andet centralt sted, som har en miljøgodkendelse til at modtage eternitplader. Da der - uanset de forholdsregler, der træffes inden pladernes ankomst til modtageanlægget - vil være en vis risiko for, at nogle af pladerne indeholder asbest, vil det højst sandsynligt kræve, at miljøgodkendelsen omfatter asbestholdigt materiale. På et centralt placeret anlæg vil der forventeligt være gode muligheder for at sikre både arbejdsmiljø og eksternt miljø mod spredning af asbestfibre. En ulempe vil være den øgede transport af eternitpladerne og dermed en øget klimabelastning – afhængigt af, hvor anlæggene til identificering og sortering vil blive placeret.

Der er således en række overvejelser vedrørende arbejdsmiljø og miljø knyttet til etablering og drift af et anlæg til identificering og sortering af asbestfri eternitplader.

7.2.1 Businesscase for sorteringsanlæg samt knusning

Der er udarbejdet en businesscase for sortering og neddeling af plader med henblik på afsætning til materialenyttiggørelse. Følgende forudsætninger danner baggrund for den mulige businesscase:

Tilført materiale og kapacitet af sorteringsanlæg

Vægt/plade:	18,4 kg
Kapacitet sorteringsanlæg:	6,6 ton/time
Drift:	7 timer/dag i 200 dage/år, 80 % effektivitet
Behandlet input/år:	7.400 ton

Data til kapitalomkostninger for sorteringsanlæg

Investering i bygning:	3 mio. kr.
Investering i anlæg:	6,25 mio. kr.
Afskrivning, rente:	Anlæg, afskrivning 5 år, rente 3 % Bygning, afskrivning 12 år, rente 3 %

Data til driftsudgifter for sorteringsanlæg

Bemanding:	1 pers./skift
Strømforbrug:	100 kWh
Strømpris:	2 kr./kWh ²⁸
Vedligehold:	100.000 kr./år

Data til transportudgifter

Transport til knusning:	150 km
Transport af materialer til oparbejdning:	150 km
Transportudgift:	0,37 kr./ton/km

Knusning

²⁸ Elprisen er i andet halvår 2022 unormalt høj. Typisk har man tidligere afregnet til under 1 kr./kWh. Her er prisen sat til 2 kr./kWh.

Behandlingsudgift knusning: 35 kr./ton

Deponiudgifter

Deponipris inkl. afgift: 950 kr./ton

Udgift til oparbejdning

Afregning ved modtageanlæg: 0 kr./ton

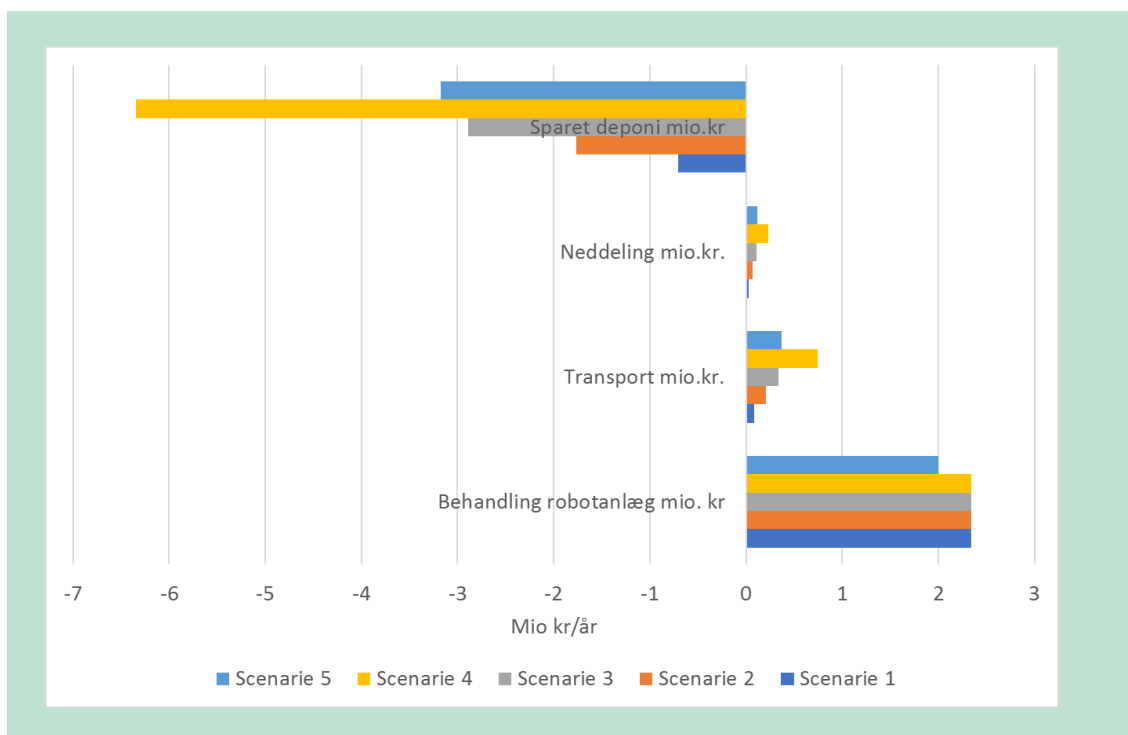
Det antages, at plader afsættes til modtageanlæg, fx Aalborg Portland for 0 kr./tons.

Der er i det følgende regnet på fem scenarier for en behandlet mængde fibercementbølgeplade. I Scenarie 1-4 behandles 7.400 ton/år, hvor hhv. 10 %, 25 %, 41 % og 90 % af de modtagne mængder plader detekteres og godkendes som værende asbestfri. I Scenarie 5 behandles 3.700 ton/år, hvor 90% detekteres som værende asbestfri. Med det foreslåede setup forventes det at hovedparten af bølgepladerne kan bekræftes at være asbestfri, svarende til scenarierne 4 og 5. Asbestfri plader transporteres til knuseanlæg og herfra til behandlingsanlæg.

TABEL 16. Businesscase for sorteringsanlæg og knusning.

	Scenarie 1	Scenarie 2	Scenarie 3	Scenarie 4	Scenarie 5
Inputmængde behandlet t/år	7.419	7.419	7.419	7.419	3.709
% asbestfri bølgeplader	10	25	41	90	90
Behandling robotanlæg, mio. kr.	2,34	2,34	2,34	2,34	2,00
Transport, mio. kr.	0,082	0,206	0,338	0,741	0,371
Neddeling, mio. kr.	0,026	0,065	0,106	0,234	0,117
Sparet deponi, mio. kr.	-0,705	-1,762	-2,890	-6,343	-3,172
Netto behandlingsomk., mio. kr.	1,74	0,85	-0,11	-3,03	-0,68
Netto behandlingsomkostninger, kr./ton input	235	114	-14	-408	-184

Det ses, at behandlingsomkostningerne falder, når mængden af detekterede asbestfri plader stiger, da der herved spares deponiudgifter. Ved 41 % detekterede plader løber oparbejdningen rundt med en behandlingsomkostning på ca. -14 kr./ton. Regnestykket forbedres betydeligt, hvis anlægget kun modtager forsorterede, forventede asbestfri plader som i scenarie 4, hvor der opnås et overskud, og scenarie 5, som også opnår overskud selv med den halve mængde behandlede plader. De indgående udgifter til behandling og oparbejdning samt sparede deponiudgifter er illustreret på figuren nedenfor.



FIGUR 47. Businesscase for sorteringsanlæg.

Anlæggets kapacitet kan ved treholdsskift øges til 22.000 ton pr. år, hvilket vil kunne dække alle forventede plader frem til 2050, hvis 68 % af de modtagne plader er asbestfri.

Det skal bemærkes, at der er tale om et estimat af behandlingsomkostningerne ud fra et foreløbigt design af et sorteringskoncept og en oparbejdningsmetode, hvorfor beregningen af behandlingsøkonomi skal betragtes som et overslag, der kræves justeret, hvis der udvikles et fuldskalabehandlingskoncept.

7.3 Perspektiver og potentialer

Der ses således store potentialer for opskalering og implementering af sortering af eternitplader i fuldskala. De største potentialer for det i projektet udviklede setup vil være at køre et anlæg, der skal fungere som en automatiseret løsning, der kan sikre og dokumentere, at eternitplader, der fx af nedrivere allerede er forventet at være asbestfri, rent faktisk også er det. Med dokumentation for, at materialerne er asbestfri, vil de kunne sælges til direkte genbrug eller til materialenyttiggørelse, fx som råmaterialer til ny cementproduktion, som testet med succes i projektet. Med dette setup skal sorteringsanlægget ikke indrettes til at kunne modtage store mængde asbestholdige materialer, men i de tilfælde, hvor der ikke genkendes et 'NT' skal arbejdsmiljø- og sikkerhedsforanstaltninger selvfølgelig kunne håndtere materialer, som potentielt set er asbestholdige. Sorteringsprocessen vil principielt også kunne sortere på tilførte blandinger af plader, hvor en større andel af pladerne er asbestholdige, men her vil nettobehandlingsomkostningerne øges, da der så ikke spares så store mængder materiale til deponi.

8. Konklusion

Der er gennem MUDP-projektet "Udvikling af teknologi til sikker identifikation af asbestfri eternitplader" udviklet og demonstreret et automatiseret pilotanlæg til udsortering af garanteret asbestfri eternitplader. Denne udsortering muliggør både direkte genbrug af hele, intakte plader og etablering af materialenyttiggørelse i form af genanvendelse i cementfremstilling.

Identifikationen af de asbestfri eternitbølgeplader er baseret på vision-teknologisk aflæsning af den specifikke mærkning, der er printet eller præget på pladerne under produktionen, men som ikke altid umiddelbart er synlig for det menneskelige øje. De specifikke mærkninger varierer fra forskellige producenter, men siden starten af 2001 har alle asbestfri plader leveret til det danske marked været mærket med koden NT ('Non-asbestos Technology'). Identifikationsteknologien havde således til formål at demonstrere detektion af 'NT'-delen af en mærkning og blev udviklet og testet gennem forsøgsopstillinger baseret på hhv. fotometrisk stereo og sheet-of-light. Begge teknikker kan generere et relativt dydbillede, hvor mærkninger i form af præget tekst bliver fremhævet. En model baseret på et neuralt netværk blev trænet med ca. 80 eksempler på 'NT' og efterfølgende anvendt på et valideringsdatasæt. Valideringsdatasættet bestod ligeledes af ca. 80 eksempler, og det kunne konkluderes, at modellen havde en præcision på ca. 95 %. Både falske positive og falske negative kunne forklares og anses ikke som egentlige fejl, men derimod som tilfældigheder, der vil kunne undgås ved en simpel forfining af modellen. Alle forsøg er baseret på forsøgsmateriale bestående af 150 eternitplader af forskellig beskaffenhed. Dette anses dog som et begrænset datasæt, og yderligere forsøg og modelforfining bør udføres før konstruktion af et fuldskalaanlæg.

I udviklingen af selve det automatiserede pilotanlæg til håndtering og sortering af eternitpladerne har der været stort fokus på at få detektionsteknologien kombineret med de nødvendige håndterings- og behandlingstrin i forbindelse med sorteringen, dvs. løft, transport, afrensning, detektion og sortering. Håndteringen af eternitpladerne er designet som en automatiseret løsning med en industrirobot, som løfter og placerer eternitpladerne enkeltvis ved hjælp af vakuum. Pladerne transporteres hen til robotten på europaller, hvorfor det er en forudsætning for brug af anlægget, at tagpladerne er placeret på paller ved modtagelse. Robotten flytter herefter en plade gennem afrensning og scanning, hvorefter pladerne sorteres efter, om der detekteres et 'NT' eller ej.

Det konstruerede pilotanlæg er testet med brugte, asbestfri eternitplader af blandet beskaffenhed for at demonstrere teknologiens performance ved driftslignende forhold. Gennem tre pilottests er det demonstreret, at det er muligt at designe et automatiseret anlæg, der med stor sikkerhed kan håndtere, rense og sortere eternitplader af forskellig beskaffenhed. Testene har vist, at der med robotter og vakuumgribere kan foretages en meget sikker håndtering af pladerne, selv for meget skrøbelige og skadede plader. Afrensningen af pladerne kan ligeledes foretages i en kvalitet, så der med høj sikkerhed kan ske korrekt identifikation og efterfølgende sortering af pladerne. De udviklede metoder er brugt til designudvikling og simulering af et fuldskalaanlæg, som DanRobotics har udarbejdet med henblik på mulig fremtidig konstruktion og salg af et fuldskalaanlæg til sortering af eternitplader fra modtagelse af paller med nedtagne eternitplader, over afrensningsproces til identifikation og sortering på paller med henholdsvis ikke-asbestholdige og potentielt asbestholdige eternitplader. De sorterede plader kan herefter transporteres til henholdsvis genbrug/genanvendelse eller deponi.

For at undersøge og vurdere forskellige muligheder for materialenyttiggørelse af de asbestfri eternitmaterialer er der foretaget adskillige neddelings- og materialekarakteriseringstests. Baseret på de gennemførte og beskrevne neddelingsforsøg, kan det konkluderes, at det er muligt at neddele både nyere bølgeeternitplader og ældre plader med tilgængeligt neddelingsudstyr

hos Norrecco. Dog er der ved etablering af et fuldskalaanlæg behov for optimering af neddelingsprocessen. Neddeling af nyere plader gav et tab som følge af indholdet af plaststrips i pladerne. Materialeanalyser blev udført på de asbestfrie materialer for blandt andet at undersøge fugtegenskaber, størrelsesfordelinger for de neddelte fraktioner og kemiske sammensætninger. Analyserne viste blandt andet, at fibercementplader er vandsugende, og at kornstørrelsesfordelinger for de neddelte fraktioner indikerer, at >90 % af materialet er over 1 mm. Der er et indhold af organisk materiale på op til 25 % i form af PVA/cellulosefibre i pladerne, organiske bindere i overfladebehandlede plader og organiske rester af algebegrøning m.m. Grundstofsammensætningen er svagt varierende, men var domineret af grundstoffer, som typisk findes i cement, dvs. calcium, silicium og aluminium.

Baseret på de gennemførte materialekarakteriseringsforsøg er forskellige muligheder for materialenyttiggørelse af de bekræftede asbestfrie eternitplader vurderet (se opsummering i TABEL 13) med hensyn til tekniske muligheder og miljømæssigt perspektiv, herunder placeringen i affaldshierarkiet (FIGUR 40). For hele, intakte, asbestfrie eternitplader er direkte genbrug af de hele tagplader det meste oplagte valg, idet materialerne udnyttes højst muligt i affaldshierarkiet og med minimal håndtering/bearbejdning. Hvis direkte genbrug ikke er mulig, er det nødvendigt at neddele eternitplader i grovere eller finere fraktioner. Finnedelte fraktioner (<0,1 mm) kan potentielt anvendes til fremstilling af nye eternitplader eller som tilsætning i fremstilling af beton og mørtel, men fælles for disse muligheder er, at der kun kan tilsættes meget små mængder uden at forringe egenskaberne af det færdige produkt, og følsomheden for urenheden er stor, hvilket kræver afrensning/finsortering i tillæg til den omstændige finnedeling. En anden undersøgt mulighed for nyttiggørelse af neddelte eternitplader er som ubunden bærelag. De tekniske egenskaber for neddelt eternit som ubundne materialer til vejbygning er derfor undersøgt. På baggrund af resultaterne fra blandt andet sigteanalyse samt densitet og vandabsorption blev det konkluderet at, at neddelt eternit i sig selv teknisk set ikke har egenskaber, der kvalificerer materialet som en god erstatning for naturmaterialer (100 % erstatning) til vejbygningsformål. Ydermere er kapaciteten i denne løsning begrænset, og der kan der forekomme udvaskning af problematiske stoffer til miljøet, når de neddelte materialer anvendes i ubundne bærelag.

Den mest lovende mulighed for materialenyttiggørelse af de plader, der ikke kan genbruges direkte som hele plader, vurderes at være anvendelse som råstof til cementproduktion hos Aalborg Portland. Her udnyttes eternitpladernes kemiske sammensætning, som ligner portlandcementen meget, ligesom der ikke kræves særlig afrensning eller materialebearbejdning udover en grovneddeling. Der er således med stor succes udført fuldskalaforsøg hos Aalborg Portland for at demonstrere anvendeligheden af eternitmaterialerne som råstof til ny cement. Der blev tilsat 17 tons neddelte, asbestfrie plader til Aalborg Portlands proces med et flow på 4 ton/time svarende til en dosering på 2 % af den totale klinkeproduktion. Der blev ikke observeret nogen ændringer eller udfordringer med hverken procesparametre eller kvaliteten af de resulterende cementklinker, og med Aalborg Portlands produktionskapacitet og materialeforbrug vil det ikke være noget problem at aftage minimum 10.000 ton asbestfrie eternitplader årligt.

Endelig indikerer beregninger og vurderinger af fremtidige mængder nedtagne eternitplader, mulige setups, etablerings- og driftsomkostninger for et sorteringsanlæg samt sorterings- og genanvendelseskapaciteter store potentialer for opskalering og implementering af projektets udviklede løsninger i fuldskala. De største potentialer for projektets udviklede sorteringsanlæg ses i at køre et anlæg, der skal fungere som en automatiseret løsning, der kan sikre og dokumentere, at eternitplader, der af fx nedrivere allerede er forventet at være asbestfrie, rent faktisk også er det. Med dokumentation for, at materialerne er asbestfrie, vil pladerne kunne sælges til direkte genbrug eller til materialenyttiggørelse som råmaterialer til ny cementproduktion som testet med succes i projektet.

Bilag 1. Mærkning af plader fra Cembrit

CEMBRIT

28.08.2018
Version 02

Mærkning af tagplader i fibercement til identifikation

Koder til nummersystem på Eternit bølgeplader:

Plader med asbest 1970 - '84:	<p>Nummeret på plader med asbest var på enten 5 eller 6 cifre.</p> <p>For numre med 5 cifre gælder, at første ciffer er maksinummeret, det er dette ciffer, som også fortæller om produktet er fremstillet med asbest. Nummeret kan her starte med 3, 6, 8 eller 9. Nummer to ciffer fra venstre var udtryk for årstal i årtiet. 1971 eller 1981 = "1" Eksempel: 6 1 748 Denne plade er fremstillet med asbest.</p> <p>For numre med 6 cifre gælder, at de to første cifre er maskinummeret, det er disse to cifre, som også fortæller om produktet er fremstillet med asbest. Nummeret kan starte med 10, 11, eller 12. Nummer tre ciffer fra venstre var udtryk for årstal i årtiet. 1971 eller 1981 = "1" Eksempel: 10 1 748</p> <p>Alle plader med disse startcifre (3; 6; 8; 9; 10; 11 eller 12) er fremstille MED asbest.</p> <p><i>Undtagelse: Der er i 1984 kørt test på maskine nr. 9. Disse plader starter med "49" og er således asbestfri.</i></p>
Plader med asbest 1985 – sep. '86:	<p>Nummeret på plader med asbest var på 6 cifre; Eksempel: 06 5 748</p> <p>Første 2 cifre var maskinummeret (03; 06; 08; 09; 10; 11 eller 12) Alle plader med disse startcifre er fremstille MED asbest.</p> <p>Det 3. ciffer var udtryk for årstal i årtiet (5 eller 6) – F.eks. 5 = 1985. Efterfulgt af 3-cifret nummer for det vagtskifte der har fremstillet pladen. F.eks. 748</p>
Plader uden asbest 1985 – sep. '86:	<p>Nummeret på plader fremstillet uden asbest i denne periode var på 7 cifre.</p> <p>Her var første ciffer "4" efterfulgt af 6 cifre. Eksempel: 4 06 5 748 Denne plade er fremstillet uden asbest "4" i 1985 "5"</p>
Plader med asbest 29. Sep. 1986 – dec. 1987	<p>Nummeret på plader med asbest var på 7 cifre; Eksempel: 06 7 0748</p> <p>Første ciffer i koden var altid 0 eller 1. Maskinummeret (06; 08; 09; 10; 11 eller 12) Alle plader med disse startcifre er fremstille MED asbest.</p> <p>Det 3. ciffer var udtryk for årstal i årtiet (6 eller 7) – F.eks. 7 = 1987. Efterfulgt af 4-cifret nummer for det vagtskifte der har fremstillet pladen. F.eks. 0748</p>

<p>Plader uden asbest Fra okt. '86 til 1. maj 1996:</p>	<p>Nummeret på plader UDEN asbest var herefter altid på 8 cifre; Eksempel 4 06 7 0748</p> <p>Disse plader er fremstillet med numre, hvor første ciffer altid er "4" Det blev aftalt med miljømyndighederne, at plader med dette startciffer, var kendetegnet for asbestfrie bølgeplader</p> <p>De efterfølgende 2 cifre viser maskinnummeret (03; 06; 08; 09; 10; 11 eller 12)</p> <p>Det 4. ciffer var udtryk for årstal i årtiet (0, 1, 2, 3 osv.) – F.eks. 7 = 1987. De sidste 4 cifre viser hvilket vagtskifte der har fremstillet pladen. F.eks. 0748</p>
<p>Plader uden asbest 1.maj 1996</p>	<p>15 års produktgaranti på tagpladerne – Pladerne starter med "5"</p>
<p>Plader uden asbest Fra okt. '96 – mar. 2001:</p>	<p>Alle plader starter med "5" og er UDEN asbest. Eksempel: 5 14 7 0748</p> <p>De efterfølgende 2 cifre viser anlægsnummeret (09; 11; 12; 14 eller 15)</p> <p>Det 4. ciffer var udtryk for årstal i årtiet (6, 7, 8, 9 eller 0) – F.eks. 7 = 1997. De sidste 4 cifre viser hvilket vagtskifte der har fremstillet pladen. F.eks. 0748</p>
<p>Plader uden asbest Jan. 2001 – 22. dec. 2004</p>	<p>Nummeret er nu en kombination af bogstaver og tal, hvor den sidste del af nummeret afsluttes med "NT" Disse plader er fremstillet UDEN asbest.</p> <p>Eks. På mærkning af B5: DE B2Y 08 01 0022 NT</p> <p>Eks. På mærkning af B6: DE C1X 15 01 00022 NT</p> <p>Eks. På mærkning af B7: DE C 15 01 0022 NT</p> <p>Eks. På mærkning af B9: DE C1X 14 01 0022 NT</p> <p>Firmanavn: Dansk Eternit = DE Profiltype og styrkeklassifikation = B2Y; C1X eller C Efter EN 494 De første 2 cifre viser anlægs nummer = 06; 08; 09;10; 11; 12; 14 (X1) eller 15 (X2) 3. og 4. ciffer viser de to sidste cifre i årstallet for produktionstidspunktet 2001 = 01</p> <p>De sidste 4 cifre viser hvilket vagtskifte der har fremstillet pladen. F.eks. 0022</p> <p>Non-asbestos Teknology = NT. Plader er uden asbest.</p>
<p>Tilbehør</p>	<p>Tilbehør, herunder rygninger fra Dansk Eternit blev fremstillet på anlæg 02 og 08</p> <p>Prægning vil se ud som følgende f.eks. DE 08 02 0555 NT</p> <p>Fremstillet på anlæg nr. 08 i 2002, i vagt nr. 0555.</p>
<p>Plader uden asbest April 2001</p>	<p>Stribs i B9-S plader, markeret med "S", bliver valgbar – de kan tilkøbes. S er trykt sidst i produktionsstemplet, efter NT.</p> <p>Eks. på mærkning: DE C1X 14 01 0022 NT S</p>

CEMBRIT







28.08.2018

Version 02

Plader uden asbest Feb. 2003	<p>Stribs i B6-S plader, markeret med "S", bliver valgbar – de kan tilkøbes. S er trykt sidst i produktionsstempet, efter NT.</p> <p>Eks. På mærkning: DE C1X 15 01 0022 NT S</p>
Plader uden asbest Jan. 2005	<p>Nummeret er en kombination af bogstaver og tal, hvor den sidste del af nummeret afsluttes med "NT" Disse plader er fremstillet UDEN asbest.</p> <p>Eks. På mærkning af B5: CEMBRIT B2Y 08 07 0022 NT</p> <p>Eks. På mærkning af B6: CEMBRIT C1X 15 07 0022 NT</p> <p>Eks. På mærkning af B7: CEMBRIT C 15 07 0022 NT</p> <p>Eks. På mærkning af B9: CEMBRIT C1X 14 07 0022 NT</p> <p>Firmanavn = CEMBRIT Profilype og styrkeklassifikation = B2Y; C1X eller C Efter EN 494 De første 2 cifre viser anlægs nummer = 06; 08; 09;10; 11; 12; 14 (X1) eller 15 (X2) 3. og 4. cifre viser de to sidste cifre i årstallet for produktionstidspunktet 2007 = 07</p> <p>De sidste 4 cifre viser hvilket vagtskifte der har fremstillet pladen. F.eks. 0022</p> <p>Non-asbestos Technology = NT. Plader er uden asbest.</p>
Plader uden asbest 10. Aug. 2009	<p>B9-S MAX kommer på markedet. De leveres altid MED stribs.</p> <p>Eks. På mærkning: CEMBRIT C1X 13 14 0748 NT S</p> <p>CEMBRIT er firmanavn/stempel Profilype og styrkeklassifikation; C1X De første 2 cifre viser anlægs nummer = (11=M-1; 12=M-2; 13=M-3) 3. og 4. cifre viser de to sidste cifre i årstallet 2014 = 14</p> <p>De sidste 4 cifre viser hvilket vagtskifte der har fremstillet pladen. F.eks. 0748</p> <p>Non-asbestos Technology = NT. Plader er uden asbest. Stribs indstøbt mod gennemtrængning = S</p>

CEMBRIT

28.08.2018
Version 02

<p>Plader uden asbest Jun./August 2013</p>	<p>Model 2013 Alle tagplader afkortes 40 mm. Pladelængden går fra 1220 mm til 1180 mm eller 610 mm til 570 mm. Enkelte typer/farver fås stadig i 1220 mm.</p> <p>Nummeret starter med 0 eller 1, men hele nr. slutter på NT eller S Pladerne er fremstillet UDEN asbest.</p> <p>Eks. På mærkning af B5: CEMBRIT B2Y 08 17 0367 NT</p> <p>Eks. På mærkning af B6-S: CEMBRIT C1X 13 17 0748 NT S eller  C1X 02 17 0748 NT S eller  02 17 0748</p> <p>Eks. På mærkning af B7:  C 15 17 0748 NT eller  02 17 0748</p> <p>Eks. På mærkning af B9-S:  C1X 14 17 0748 NT S</p> <p>Eks. På mærkning af B9-S MAX: CEMBRIT C1X 13 17 0367 NT S</p> <p>Firmanavn = CEMBRIT Firmalogo: </p> <p>Profiltype og styrkeklassifikation = B2Y; C1X eller C Efter EN 494 De første 2 cifre viser anlægs nummer = 06; 08; 09;10; 11; 12; 14 (X1) eller 15 (X2) 3. og 4. cifre viser de to sidste cifre i årstallet for produktionstidspunktet 2007 = 07</p> <p>De sidste 4 cifre viser hvilket vagtskifte der har fremstillet pladen. F.eks. 0022</p> <p>Non-asbestos Teknology = NT. Plader er uden asbest. Stribs indstøbt mod gennemtrængning = S</p>
<p>Generel info. vedr. malede plader</p>	<p>På bagsiden af malede tagplader er der altid en maledato – datoen er typisk ca. tre uger senere end fremstillingstidspunktet.</p>
<p>Generel info vedr. Skifer</p>	<p>Skifer er mærket på bagsiden. Det er 15% eller ca. hver 7. skifer der har et nr. på bagside. Eks. På mærkning: B049613NTB1 1820832 CEMBRIT 13 er året de er produceret = 2013 Non-asbestos Teknology = NT. Plader er uden asbest. Fremgår NT <u>ikke</u> tydeligt af nr. må pladerne betragtes som at være fremstillet <u>med</u> asbest. Der er Asbest i skifer frem til og med 1986. Produktionslinje = B1, kan også være mærket B2, W1 eller W2</p>
<p>Nummer på facadeplader (bagsidemærkning)</p>	<p>Alle facadeplader har et produktionsstempel på bagsiden. Eks. På mærkning af PLAN/Patina facadeplader: 68 A 4 NT 04 07 Y 069 (07 x 74) 67 CE eller A4 NT CE CEMBRIT P070 26. 08.17 20.12</p> <p>Non-asbestos Teknology = NT. Plader er uden asbest. NT skal fremgå tydeligt af produktions nummer, ellers må pladen betragtes som at være med asbest.</p>

CEMBRIT

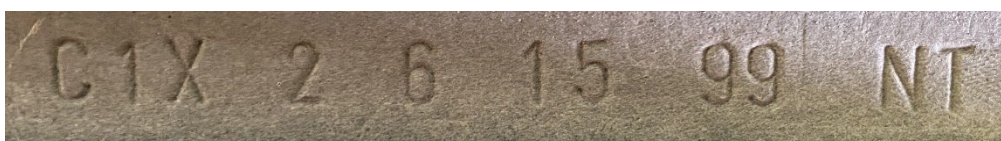
28.08.2018
Version 02

	<p>Farvekode på pladen = 67 / P020 – Granit. 010 / P222 – Perle 11 / P545 – Sand 21 / P070 – Flint 030/22 / P050 – Grafit</p>
--	--

Bilag 2. Eksempler på mærkning med NT



Eksempel på NT-mærkning på ydersiden (th).



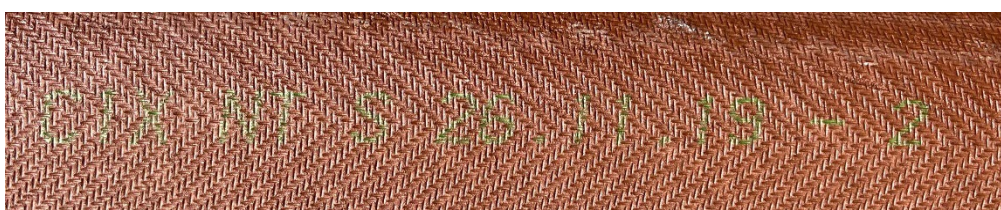
Eksempel på NT-mærkning på indersiden (tv).



Eksempel på NT-mærkning på indersiden (th).



Eksempel på påtrykt mærkning. Der er anvendt grøn farve (NT 2. tegn tv).



Eksempel på mærkning på indersiden, grøn skrift NT = 4 tegn tv.

Bilag 3. Udvaskningstest



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

ANALYSERAPPORT

NORRECCO A/S
K-Vej 19
2300 København S
Att.: NORRECCO A/S

Udskrevet: 20-07-2021
Version: 1
Modtaget: 01-06-2021
Analyseperiode: 01-06-2021 -
20-07-2021
Ordrenr.: 656906

Sagsnavn: jbh
Lokalitet: NORRECCO
Udtaget: 27-05-2021
Prøvetype: Materiale
Prøvetager: Norrecco
Kunde: NORRECCO A/S, K-Vej 19, 2300 København S, Att. Jette Bjerre Hansen

Prøvenr.:	160152/21		
Prøve ID:	Knust eternit (asbestfrit)		
Dybde:	- m u t		
Kommentar	*1		
Parameter		Enhed	Metode
pH	10	pH	DS/EN ISO 10523:2012
Ledningsevne	150	mS/m	DS/EN 27888:2003
Fluorid, F-	0.34	mg/l	DS/EN ISO 10304-1:2009
DOC	140	mg/l	DS/EN 1484:1997
Silikat, Si	69	mg/l	DS/ISO 15923-1:2013
Chlorid, Cl-	70	mg/l	DS/ISO 15923-1:2013
Sulfat, SO4--	520	mg/l	DS/ISO 15923-1:2013
KONCENTRATION I ELUAT, # L/S 2		-	DS/EN 12457-1
Mangan, Mn	7.9	µg/l	DS/EN ISO 11885:2009
Calcium, Ca++	200	mg/l	DS/EN ISO 11885:2009
Kalium, K+	40	mg/l	DS/EN ISO 11885:2009
Natrium, Na+	94	mg/l	DS/EN ISO 11885:2009
TOC	32000	mg/kg	DS/EN 13137:2001
Kalium, total	# 3300	mg/kg	DS 259:2003+DS/EN 16170:2016
Aluminium, Al	14000	mg/kg	DS 259:2003+DS/EN 16170:2016
Aluminium, Al	170	µg/l	DS/EN ISO 17294-2:2016
Antimon, Sb	# 8.1	mg/kg	Oplukning med saltsyre +DS/EN 16170:2016
Antimon, Sb	7.4	µg/l	DS/EN ISO 17294-2:2016
Arsen, As	3.0	mg/kg	DS 259:2003+DS/EN 16170:2016
Arsen, As	7.8	µg/l	DS/EN ISO 17294-2:2016
Bly, Pb	0.96	µg/l	DS/EN ISO 17294-2:2016
Bor, B	290	µg/l	DS/EN ISO 11885:2009
Bly, Pb	11	mg/kg	DS 259:2003+DS/EN 16170:2016
Cadmium, Cd	0.035	µg/l	DS/EN ISO 17294-2:2016
Barium, Ba	32	mg/kg	DS 259:2003+DS/EN 16170:2016
Barium, Ba	77	µg/l	DS/EN ISO 17294-2:2016
Calcium, Ca	130000	mg/kg	DS 259:2003+DS/EN 16170:2016
Cadmium, Cd	0.55	mg/kg	DS 259:2003+DS/EN 16170:2016

side 1 af 3

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 målesikkerhed findes på www.alsglobal.dk

Tegnforklaring:
#: Ikke akkrediteret i.p.: Ikke påvist
<: 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.:	160152/21		
Prøve ID:	Knust eternit (asbestfrit)		
Dybde:	- m u t		
Kommentar	*1		
Parameter		Enhed	Metode
Chrom (total), Cr	44	mg/kg	DS 259:2003+DS/EN 16170:2016
Chrom, Cr	170	µg/l	DS/EN ISO 17294-2:2016
Jern, Fe	9000	mg/kg	DS 259:2003+DS/EN 16170:2016
Kobber, Cu	80	mg/kg	DS 259:2003+DS/EN 16170:2016
Kobolt, Co	# 4.2	mg/kg	DS 259:2003+DS/EN 16170:2016
Kobolt, Co	6.2	µg/l	DS/EN ISO 17294-2:2016
Kobber, Cu	260	µg/l	DS/EN ISO 17294-2:2016
Kviksølv, Hg	<0.010	mg/kg	DS 259:2003+DS/EN 16175-1:2016
Kviksølv, Hg	<0.050	µg/l	DS 259:2003+DS/EN ISO 12846:2012
Mangan, Mn	# 260	mg/kg	DS 259:2003+DS/EN 16170:2016
Molybdæn, Mo	51	µg/l	DS/EN ISO 17294-2:2016
Molybdæn, Mo	<0.20	mg/kg	DS 259:2003+DS/EN 16170:2016
Nikkel, Ni	47	µg/l	DS/EN ISO 17294-2:2016
Nikkel, Ni	14	mg/kg	DS 259:2003+DS/EN 16170:2016
Svovl, syreopløselig	8400	mg/kg	DS 259:2003+DS/EN 16170:2016
Selen, Se	# 4.0	mg/kg	DS 259:2003+DS/EN 16170:2016
Zink, Zn	16	µg/l	DS/EN ISO 17294-2:2016
Tin, Sn	0.80	µg/l	DS/EN ISO 17294-2:2016
Vanadium, V	25	mg/kg	DS 259:2003+DS/EN 16170:2016
Vanadium, V	190	µg/l	DS/EN ISO 17294-2:2016
Zink, Zn	250	mg/kg	DS 259:2003+DS/EN 16170:2016
Total phosphor, P	680	mg/kg	DS 259:2003+DS/EN 16170:2016
Emballage	Membranglas	-	-
PAH'er, 7 komp. Materiale			DS EN 15527:2008
Fluoranthen	# <0.010	mg/kg	DS EN 15527:2008
Benzo(b+j)fluoranthen	# <0.010	mg/kg	DS EN 15527:2008
Benzo(k)fluoranthen	# <0.010	mg/kg	DS EN 15527:2008
Benz(a)pyren	# <0.010	mg/kg	DS EN 15527:2008
Indeno(1,2,3-cd)pyren	# <0.010	mg/kg	DS EN 15527:2008
Dibenzo(a,h)anthracen	# <0.010	mg/kg	DS EN 15527:2008
PAH, sum af 7 stoffer	# i.p.	mg/kg	DS EN 15527:2008
Kulbrinter REFLAB 1 2010			REFLAB 1 2010
Kulbrinter n-C6 - n-C10	# <2.0	mg/kg	REFLAB 1 2010
Kulbrinter > n-C10 - n-C15	# <5.0	mg/kg	REFLAB 1 2010
Kulbrinter > n-C15 - n-C20	# <5.0	mg/kg	REFLAB 1 2010
Kulbrinter > n-C10 - n-C20	# <5.0	mg/kg	REFLAB 1 2010
Kulbrinter > n-C20 - n-C35	# 65	mg/kg	REFLAB 1 2010
Total kulbrinter	# 65	mg/kg	REFLAB 1 2010
Strontium, Sr	*2 7.97	mg/kg	ICP/SFMS SS EN ISO 17294-2: 2016

side 2 af 3

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 målesikkerhed findes på www.alsglobal.dk

Tegnforklaring:
#: Ikke akkrediteret i.p.: Ikke påvist
<: 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.:	160152/21		
Prøve ID:	Knust eternit (asbestfrit)		
Dybde:	- m u t		
Kommentar	*1		
Parameter		Enhed	Metode
Bor, B	*2	20.0	mg/kg ICP/SFMS SS EN ISO 17294-2: 2016
Natrium, Na	*2	1600	mg/kg ICP/SFMS SS EN ISO 17294-2: 2016
Magnesium, Mg	*2	4800	mg/kg ICP/SFMS SS EN ISO 17294-2: 2016
Titan, Ti	*2	1140	mg/kg ICP/SFMS SS EN ISO 17294-2: 2016

Kommentar

- *1 Laboratoriet vurderer: Prøvens totalkulbrinter består af højt kogende kulbrinter såsom fuel-, smøre-, transmissionsolie m.m. og/eller fra et tjæreprodukt som asfalt, tagpap el. lign.
- *2 # Underleverandør: ALS Scandinavia AB, SWEDAC 2030

Dianna Andersen

side 3 af 3

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 målesikkerhed findes på www.alsglobal.dk

Tegnforklaring:
#: Ikke akkrediteret i.p.: Ikke påvist
<: mindre end >: Større end

RIGHT SOLUTIONS | RIGHT PARTNER

Bilag 4. Knusning af plader til fuldskalaforsøg

Til brug i et fuldskalaforsøg med genanvendelse af asbestfri eternitplader til cementfremstilling hos Aalborg Portland blev der indsamlet og neddelte omkring 17 tons plader. Ca. halvdelen af pladerne blev indsamlet fra et nedrivningsprojekt i Aarhus Kommune og anvist til forsøget af kommunen. Pladerne blev taget ned som hele plader og stablet på paller. Alle pladerne blev gennemgået mhp. at sikre, at de var asbestfri (nummeret blev aflæst). Den anden halvdel af pladerne blev leveret direkte fra Cembrit. Nedenstående billeder viser pladerne som modtaget fra hhv. et nedrivningsprojekt og fra Cembrit (produktionsspild).



Billedet til venstre viser eternitpladerne fra et nedrivningsprojekt i Aarhus Kommune, som de blev modtaget, og på billedet til højre ses pladerne modtaget direkte fra Cembrit.

Til knusning af eternitpladerne blev anvendt en rotationsknuser, som blev fødet langsomt. På den måde kunne stop pga. tilstopning med plaststrips, som er indlejret i pladerne, undgås. Det neddelte materiale blev sorteret over et 16 mm sold. Materiale over 16 mm blev ført tilbage til knuseren på et returbånd, hvor en vindsigte blæste plaststrips ud fra returbåndet (se billedet nedenfor). Efter produktion af ca. 8 tons blev maskinen kørt tom og renses for plaststrips, der måtte sidde fast.

Det blev erfaret, at det var nødvendigt at støvbekæmpe ved knusning af især de gamle eternitplader.



Billede af plaststrips frasorteret med vindsigte på returbåndet.

Knusningen inkl. stop og rengøring af maskine tog 3 timer, og der blev brugt 6,83 l diesel per tons.

Der blev produceret i alt:

- 8,3 tons 0-16 mm neddelte materiale fra de gamle plader fra en nedrivning i Aarhus Kommune
- 8,4 tons 0-16 mm neddelte materiale fra de nye plader fra Cembrit.



Billede af de neddelte asbestfri eternitplader (gamle plader fra en nedrivning).

Udvikling af teknologi til sikker identifikation af asbestfri eternitplader

Asbest har i en årrække været brugt i produktion af eternittagplader, men brugen af asbest blev i 1988 forbudt, da man blev opmærksom på asbestfibreneres sundhedsskadelige effekter. Det er dog ikke umiddelbart synligt, om nedtagne plader er produceret før eller efter 1988, hvorfor alle eternitplader antages at indeholde asbest, hvilket udelukker genbrug og genanvendelse. Dette miljøprojekt har udviklet og demonstreret et automatiseret pilotanlæg til udsortering af garanteret asbestfri eternitplader. Denne udsortering muliggør såvel direkte genbrug af hele, intakte plader som materialenyttiggørelse af de asbestfri eternitplader i form af genanvendelse som råstof i cementfremstilling



Miljøstyrelsen
Tolderundsvej 5
5000 Odense C

www.mst.dk