

## Mulig udvaskning af PFAS-stoffer fra solcellepaneler

---

Rekvirent	European Energy
IPU projekt nummer	1020519
IPU projekt titel	PFAS i solcellepaneler
Version	4
Frigivet den	28. november 2022

---

### Forfattere

Navn

Christian Ravn

Torben Tang

Tilknytning

IPU

IPU

## Indhold

1. Introduktion .....	3
2. Typiske industrielle anvendelse af PFAS-stoffer .....	3
3. Opbygning af solcellepaneler .....	4
3.1 Solceller .....	4
3.2 Glas .....	4
3.3 Strenges .....	4
3.4 Lamineringsmateriale .....	5
3.5 Ramme og fuger .....	5
3.6 Kabler og elektronikboks .....	6
4. REACH certifikat .....	6
5. Konklusion .....	6
6. Referencer .....	7

## 1. Introduktion

European Energy planlægger at opstille en solcellepark på et område på Bornholm, som også anvendes til indvinding af drikkevand. Til belysning af de miljømæssige konsekvenser, har MOE udarbejdet en miljøvurderingsrapport [1] for European Energy. Miljøvurderingsrapporten henviser blandt andet til [2] der beskriver risikoen for grundvandsforurening ved en solcellepark - som følge af udvaskning af farlige stoffer fra solcellepanelerne eller andre nødvendige installationer (såsom transformestationer, kabler, mv.). Med henblik på at komplementere denne rapport med en specifik analyse af mulig udvaskning af PFAS-stoffer - samt evt. andre problematiske stoffer - fra de påtænkte solcellepaneler, og mulig nedsivning heraf til grundvandet, er nærværende notat udarbejdet.

I det nedenstående gennemgås alle komponenterne i de solcellepaneler det påtænkes at sætte op på Bornholm (Longi LR5-72HBD), og for hver af dem vurderer indholdet af problematiske stoffer samt risikoen for at de kan udvaskes i solcellepanelernes levetid (panelerne har en garanteret levetid på op til 30 år [3]).

## 2. Typiske industrielle anvendelse af PFAS-stoffer

PFAS er en forkortelse der dækker perfluoroalkyl- og polyfluoroalkyl-forbindelser (på engelsk "substances"). Bagerst i [8] er der en liste over ca. 1000 specifikke forbindelser af denne type. [5] angiver at der findes omkring 3000 forbindelser i denne gruppe, 11 af disse er så uønskede at de er optaget på EU's liste over meget uønskede stoffer (SVHC).

PFAS er således (organisk)-kemiske forbindelser hvor flere (poly) eller alle (per) hydrogen-atomer er udskiftet med fluor-atomer. Herved sker der nogle markante ændringer af stoffernes egenskaber. Der er typisk tale om at:

- Den kemiske bestandighed øges, hvad der samtidig gør at nedbrydningen i naturen går meget langsomt.
- Den termiske bestandighed øges. Dette er godt i brugssituationen, men gør samtidigt at nedbrydning ved forbrænding er vanskelig.
- Bestandigheden mod UV-lys er god. Dette er særdeles godt til bl.a. solcellepaneler, men gør samtidig at nedbrydningen i naturen går meget langsomt.
- Overfladespændingen falder, så stofferne ikke er blandbare med vand eller olie.
- Der opnås god elektrisk isolationsevne.

Der har i den senere år været stigende interesse for de miljømæssige konsekvenser af brugen af PFAS. [8] viser at der forbruget toppede omkring år 2000, siden er der tilsyneladende sket et fald i forbruget.

PFAS-stoffer anvendes mange steder i elektronikindustrien [5-6], typisk pga. en eller flere af ovenstående egenskaber. Typisk er PFAS et hjælpestof til fremstilling af forskellige materialer eller et stof der indgår i det færdige elektronikprodukt. Et hjælpestof kan for eksempel anvendes til at sprede en ætsevæske over et emnes overflade. Disse hjælpestoffer vil som oftest blive fjernet under produktionen, men spor af PFAS kan i nogen tilfælde stadig findes i f.eks. fluorholdige polymere som TEFLON og TEDLAR. I de færdige produkter kan PFAS-stoffer f.eks. hjælpe med at øge stabiliteten eller hjælpe med at beskytte mod fugt.

### 3. Opbygning af solcellepaneler

Solcellepaneler har været produceret i mange år efterhånden, og bl.a. på grund af de meget lange garantier som producenterne giver, er produktionsmetoden og materialerne kun ændret ganske lidt over årene. Den typiske opbygning af et solcellepanel kan ses i [7], der også gennemgår komponenternes funktion. Det typiske solcellepanel har en forside af glas og en bagside af en kraftig polymerfolie. Ofte er bagsidefolien fremstillet i TEDLAR eller lignende materialer. Disse er i familie med TEFLON og produceres på en måde hvor PFAS-stoffer kan forekomme i små mængder i det færdige produkt.

Bemærk at de solcellepaneler der påtænkes opstillet ved den konkrete solcellepark, forventes at bestå af paneler fra det Kinesiske firma Longi, mere specifikt af paneler i produktfamilien Hi-MO 5. Denne type har glas både på forsiden og på bagsiden af solcellerne, og kan derfor genere lidt ekstra elektricitet fra det lys der rammer bagsiden af cellerne.

På baggrund af en række datablade [8] modtaget – via European Energy – fra producenten, er følgende komponenter i solcellepanelerne identificeret:

#### 3.1 Solceller

Solcellerne består af gallium-doteret mono-krystallinsk silicium. Cellerne er skåret i halve. Hvert panel indeholder 6 rækker med 24 halve celler. Cellerne har et netværk af tynde sølvbaner der leder de generede elektroner væk og er også udstyret med et eller flere beskyttende lag (typisk keramiske belægninger).

Under fremstillingen af halvledere (solceller) kan der benyttes PFOS (en specifik PFAS) som overfladeaktivt middel under ætning p. 46 [5]. Normalt fjernes dette sammen med ætsemidlet under et efterfølgende rengøringstrin. Ætsemidlet afrenses omhyggeligt under produktionen, for at mindske risikoen for korrosion under anvendelsen.

Udvaskning af PFOS, der stammer fra produktionen af solcellerne, vurderes som usandsynlig. Dels fordi solceller normalt afrenses grundigt som et trin i produktionen, dels fordi den type solceller som [5] taler om er en anden end den som påtænkes til den konkrete solcellepark og dels fordi solcellerne sidder i midten af et laminat (se de følgende afsnit) – med glas på begge sider – og derfor ikke udsættes for vind og vejr.

#### 3.2 Glas

Både forsiden og bagsiden af solcellepanelet består af glas. Begge glas er 2 mm tykke, hærdet og har en anti-refleksionsbelægning (kaldet ARC) på den ene side. Anti-refleksionsbelægningen angives til at være 100 nm siliciumdioxid p.9 i [1].

Selve glasset indeholder ikke PFAS fordi fremstillingstemperaturen er så høj at det nedbrydes.

Der er udtaget patenter på anvendelse af PFAS som smudsafvisende belægninger på smartphones og solceller p.44 i [5]. Deres tilstedeværelse forstyrrer ikke den underliggende anti-refleksionsbelægning. Databladene [3] og [8] anpriser ikke en smudsafvisende egenskab eller omtaler stoffer af PFAS-gruppen.

Det virker usandsynligt at glasset, med anti-refleksionsbelægning, kan afgive PFAS-stoffer til omgivelserne, da glasset selv helt sikkert er uden PFAS og anti-refleksionsbelægningen beskrives som værende af siliciumdioxid. Yderligere har IPU modtaget et sikkerhedsdatablad [8], som dog er på kinesisk (CAS-numre er internationale), der ikke opgiver PFAS eller andre problematiske stoffer som værende en del af anti-refleksionsbelægningen.

#### 3.3 Streng

De 6 rækker med 24 halve celler på hvert panel, er forbundet af en række streng (kaldes også "ribbons" eller "bus bars"), der er en smal kobberbane belagt med en loddelegering. Longi oplyser selv [8] at loddelegeringen består af 63% tin og 37% bly. Denne legering er meget udbredt i

solcellepaneler, og er også lovlig i henhold til EU's RoHS direktiv, da forbuddet mod bly ikke gælder for "faste solcelleinstallationer" (på engelsk "Fixed-location photovoltaic panel (PV) installations") [9].

I top og bund bliver disse strenge samlet ved at lodde nogle lidt bredere og kraftigere kobberbånd på, så strømmen kan føres ud af panelet. Disse kraftige bånd består også af kobber med tin-bly loddelegering.

Selve strengmaterialet og loddemetallet (tin-bly) indeholder ikke PFAS, men der kan forekomme PFAS i forbindelse med lodning [4-5]. Det formodes at forekomme i flusmidlet der anvendes til lodning. Flusrester afrenses normalt under produktionen, for at mindske risikoen for korrosion under anvendelsen.

Udvaskning af PFAS-stoffer, der stammer fra flusmidlet der anvendes under lodning af strenge til selve solcellen, vurderes som usandsynlig. Dels fordi flusmidlet normalt fjernes omhyggeligt (for at undgå korrosion) og dels fordi de sammenloddede solceller sidder i midten af et laminat – med glas på begge sider.

Udvaskning af bly fra loddematerialet på strengene vil kunne forekomme, men kun hvis panelerne skades eller knuses - og solceller og strenge udsættes direkte for regnvand. Selv i dette tilfælde vil bly kun meget langsom gå i opløsning, da legeringen af tin og bly er meget korrosionsfast i regnvand og lignende.

### 3.4 Lamineringsmateriale

Når solcellerne er loddet sammen med strengene, skal de lamineres mellem de to stykker glas der udgør for- og bagside af panelet. Lamineringen foregår i en ovn, hvor lamineringsmaterialet smelter og udfylder alle hulrum og højdeforskelle. Under lamineringen presses delene sammen mekanisk og evt. luft suges ud.

Det er ikke fuldstændig klart ud fra det tilgængelige materiale [8], om solcellepanelerne fra Longi lamineres med ethylen-vinyl-acetat (EVA) eller poly-olefin-elastomer (POE). Sandsynligvis er panelerne lamineret med en kombination af de to materialer. POE består ofte af ethylen-acrylat-copolymner, men det er heller ikke oplyst i databladene. Begge materialer er meget kemiske resistente, mekanisk fleksible, har god vedhæftning til både glas og solceller samt er meget transparente for lys i et bredt spektrum.

Den rene EVA eller POE polymer er ikke baseret på PFAS, men PFAS-stoffer kunne måske forekomme som proceshjælpemiddel.

Lamineringsmaterialet, EVA eller POE, bidrager sandsynligvis ikke til udvaskning af PFAS-stoffer. Dels vil det være usædvanligt i forbindelse med laminering af solceller at anvende PFAS og dels er materialet ret utilgængeligt for vind og vejr idet der er 2 mm glas på begge sider.

### 3.5 Ramme og fuger

Til sidst monteres laminatet i en ramme af aluminium. I forbindelse med dette anvendes ofte en lim eller fugemasse, der holder delene sammen og forhindrer regnvand og fugt i at komme ind mellem rammen og laminatet.

Aluminiumrammen indeholder ikke PFAS, men der er set anvendelse af PFAS som smøremiddel i forarbejdning af metaller i særlige tilfælde p. 44 i [5]. Aluminium er dog så let at forarbejde, at det ikke forekommer sandsynligt at der er anvendt PFAS-stoffer her. Databladet [8] nævner heller ikke PFAS.

Der anvendes mindst 3 forskellige fuge- og støbemasser til solcellepanelerne. Dels to forskellige en-komponent fuger, Huitian HT906Z og Tonsan 1527, der begge polymeriserer ved stuetemperatur ("room temperature vulcanisation" eller RTV), og dertil en to-komponent silikone støbemasse, Huitian 5299 RTV. Sidstnævnte bruges til at tætne den tilhørende elektronikboks. De tekniske datablade [8] nævner ikke PFAS og IPU har modtaget et sikkerhedsdatablad [8] på Huitian HT906Z (også på kinesisk). Det har ikke været muligt at finde sikkerhedsdatablade for de to andre produkter på nettet.

Der er ikke fundet skriftligt materiale som indikerer at der findes PFAS-stoffer i rammerne eller i fugemasse og lignende. Det er helt usandsynligt at de anodiserede aluminiumsrammer indeholder PFAS, men små mængder af PFAS-stoffer kunne i princippet forekomme i fugemassen. Selvom arealet af eksponeret fugemasse er ret lille, vil en udvaskning kunne forekomme.

### 3.6 Kabler og elektronikboks

Solcellepaneler leveres med en elektronikboks ("junction box") og en del kabler. Da disse også er udsat for vind og vejr, er kravene til vejrbestandighed og fugtbeskyttelse høje.

BOM'en (Bill of Materials) [8] beskriver kablerne som 1\*4mm<sup>2</sup> fra Longi og stik som PV-LR5 fra Longi. IPU har ikke modtaget datablade for disse produkter. [4] nævner anvendelse af PFAS til overtræk på (dyre) kabler, men [5] nævner ikke anvendelse af PFAS i kabler og stik. Anvendelse af PFAS til dåser (elektronikboks) omtales ikke direkte i hverken [5] eller [4]. I [4] omtales dog anvendelse af PFAS-stoffer til "Anden og ukendt funktion" og til "Overfladebehandlingsmidler til ikke-metal", disse kategorier kan teoretisk dække over anvendelse til samledåser.

Databladet for kablerne [8] oplyser at kablerne er af typen "Halogen Free Low Smoke" og opfylder standarden IEC 62930 ("Electric cables for photovoltaic systems with a voltage rating of 1,5 kV DC"). De fluor tilhører gruppen af halogener (sammen med f.eks. brom og klor), bør denne oplysning betyde at kablerne ikke indeholder PFAS-stoffer. Omvendt er prædikatet halogen-fri ofte møntet på om der er brom- eller klorholdige brandhæmmere i produktet – og det er derfor ikke helt sikkert man også kan udlede at kablerne er PFAS-fri.

Små mængder af PFAS-stoffer kunne i princippet forekomme i kappen på kablerne eller i pakninger eller lignende på samleboxen til elektronikken. Da både kabler og "junction box" er udsat for vind og vejr, vil en udvaskning i så fald kunne forekomme over mange år.

## 4. REACH certifikat

Der er modtaget et såkaldt REACH certifikat [10], der er udført af et firma i Shanghai der er en underafdeling af det tyske måleinstitut TÜV-Rheinland. Certifikatet siger at ingen af de over 200 stoffer på EU's liste over "Substances of Very High Concern" (SVHC) findes i en række prøver udkåret af forskellige dele af solcellepaneler. SVHC-listen indeholder flere PFAS-stoffer, men ingen af dem er altså fundet i koncentrationer over 0.1% (baseret på vægt). Der er dog lidt tvivl om analysen er udført korrekt, idet producenten selv oplyser at loddematerialet indeholder 37% bly – og selvom bly findes på SVHC-listen, er det heller ikke fundet i koncentrationer over 0.1% i henhold til målerapporten.

## 5. Konklusion

På baggrund af det tilgængelige materiale (se referenceliste i næste afsnit), er der ikke noget der tyder på at solcellepanelerne fra firmaet Longi Green Energy Technology Co. Ltd. indeholder PFAS-stoffer der kan udvaskes – heller ikke over længere tid. Risikoen for udvaskning af problematiske stoffer stiger hvis panelerne beskadiges og derfor bør knuste eller beskadigede paneler fjernes eller udskiftes.

De påtænkte paneler beskytter særlig godt mod udvaskning, da både for- og bagside består af hærdet glas. Dermed er den klart største overflade lukket, så selvom små mængder af PFAS-stoffer – eller andre problematiske stoffer – teoretisk kunne forekomme inde i panelet, vil de have meget svært ved at blive udvasket.

Udover de dele at solcellepanelet som er lamineret mellem de to glasplader, er også kabler, ramme med fugemasse samt elektronikboksen udsat for regnvand - og dermed potentiel udvaskning af problematiske stoffer. Der er dog ikke, i det modtagne materiale eller andre steder, fundet tegn på at disse komponenter indeholder PFAS-stoffer – ligesom solcellepaneler erfaringsmæssigt ikke indeholder disse stoffer.

## 6. Referencer

- [1] "Miljøvurderingsrapport, Kildevad solcellepark" rapport skrevet af MOE bestilt af European Energy, 15. august (2022)
- [2] "Risiko for grundvandsforurening ved solcellepark, Kildeplads ved Vittarp", rapport skrevet af Via University College bestilt af European Energy, 18. marts (2021)
- [3] Produktspecifikation, "Hi-MO 5 LR5-72HBD 535-555M (35-30&15) -G2-V16", pdf-fil tilgængelig på [www.longi.com](http://www.longi.com), 22. august (2022)
- [4] "Kortlægning af brancher der anvender PFAS", Miljøstyrelsen, Miljøprojekt nr. 1905 (2016)
- [5] "Förekomst och användning av högfluorerade ämnen och alternativ", Kemikalieinspektionen (Sverige) rapport 6/15 (2015)
- [6] "PFAS i elektronikindustrien", notat udarbejdet af Niras, [Fakta-ark PFAS i elektronik sept22.pdf \(miljoeogressourcer.dk\)](#), september (2022)
- [7] "Intelligent Oparbejdning af Solcellepaneler (IOS) - Fase 1", Slutrapport vedr. MUDP-projekt af samme navn, MST-141-01589, Miljøstyrelsen, Maj (2020)
- [8] Datablade for delkomponenter der indgår i Hi-MO 5 solcellepanelerne samt kortfattet "Bill of Material (BOM)". Samling af datablade modtaget fra European Energy, 3. november (2022)
- [9] Hjemmeside, <https://www.rohsguide.com/rohs-categories.htm>, besøgt 9. november (2022)
- [10] "Screening of substances of very high concern (SVHC) subject to the candidate list by European Chemical Agency (ECHA) according to Regulation (EC) No. 1907/2006 of REACH and its amendments", Målerapport fra TÜV-Rheinland i Shanghai udført for Longi, September (2021)