

Projekt zastosowania technologii chłodzenia radiacyjnego w zewnętrznych szafach elektrycznych China Southern Power Grid

Chongqing Yuping Substation – zastosowanie technologii
chłodzenia radiacyjnego.



Spis treści

1. Tło projektu.....	3
2. Plan zastosowania	4
2.1 Zastosowane produkty.....	5
2.1.1 Folia chłodząca – na gładkie metale	5
2.1.2 Powłoka chłodząca – na podłoża mineralne	5
2.2 Efekt chłodzenia	6
2.3 Korzyści z zastosowania.....	8
3. Właściwości produktu	10
3.1 Odporność na starzenie.....	10
3.2 Właściwości izolacyjne	11
3.3 Funkcja zapobiegania kondensacji	13
3.4 Funkcja chłodzenia radiacyjnego.....	14
4. Podsumowanie raportu	14

1. Tło projektu

China Southern Power Grid znajduje się w Guangzhou, w prowincji Guangdong i obejmuje obszar o powierzchni 1 miliona km². Sieć obsługuje 254 miliony osób oraz 96,7 miliona klientów. Ma kluczowe znaczenie dla zapewnienia niezawodności zasilania w pięciu południowych prowincjach oraz optymalizacji struktury szkieletowej sieci przesyłowej.

Guangdong znajduje się w strefie wilgotnego klimatu monsunowego subtropikalnego. Roczne całkowite promieniowanie słoneczne wynosi 4200–5400 MJ/m², a średnia roczna temperatura to około 22,3°C. Region charakteryzuje się wysokimi temperaturami latem, często przekraczającymi 40°C. Tak wysokie temperatury powodują liczne problemy zarówno dla ludzi, jak i dla infrastruktury — w tym dla zewnętrznych szaf elektrycznych. Przegrzewanie prowadzi do mięknięcia metalu, spadku wytrzymałości mechanicznej, skrócenia żywotności urządzeń, obniżenia rezystancji izolacji oraz ryzyka przebicia elektrycznego podczas przepięć. Rozwiązanie problemu przegrzewania jest zatem kluczowe dla zapewnienia bezpiecznej i niezawodnej pracy zewnętrznych szaf elektrycznych.

Ningbo Radi-Cool Advanced Energy Technologies Co. Ltd. (dalej „Radi-Cool”) to innowacyjne przedsiębiorstwo high-tech z miasta Ningbo. Firma jest autorem przełomowego wynalazku – „**supermateriału chłodzenia radiacyjnego**”, opublikowanego w 2017 r. w czasopiśmie *Science*. Technologia ta zdobyła globalne uznanie i liczne nagrody, w tym „Top 10 Physics Breakthroughs” wg *Physics World* oraz „Top 10 News” wg *The Economist* w 2017 roku.



Rysunek 1-1. Wyróżnienia: „10 największych odkryć fizyki na świecie” według *Physics World* oraz „10 najważniejszych wiadomości roku” według *The Economist*.

Technologia wykorzystuje **okno atmosferyczne w zakresie podczerwieni (8–13 μm)**, umożliwiając przekazywanie ciepła z powierzchni Ziemi do przestrzeni kosmicznej bez pochłaniania przez atmosferę. Dzięki temu możliwe jest ciągłe, energooszczędne chłodzenie przez całą dobę, bez potrzeby zasilania. Produkty te znajdują zastosowanie m.in. w budynkach przemysłowych, magazynach oraz transporcie.

2. Zastosowanie

Zewnętrzne szafy elektryczne China Southern Power Grid obejmują różne typy: szafy wysokiego napięcia, niskiego napięcia, transformatory i szafy sterujące. Zgodnie z potrzebami chłodzenia i charakterystyką produktów Radi-Cool, w projekcie zastosowano folie chłodzące radiacyjnie i powłoki chłodzące radiacyjnie na zewnętrznych powierzchniach szaf.

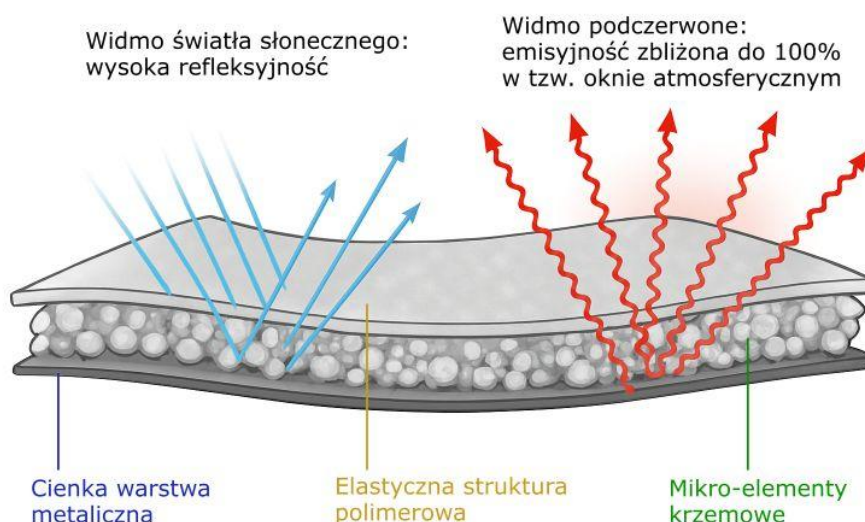


Rysunek 2-1. Przykład zewnętrznej szafy elektrycznej China Southern Power Grid

2.1 Zastosowane produkty

2.1.1 Folia chłodząca – na gładkie metale

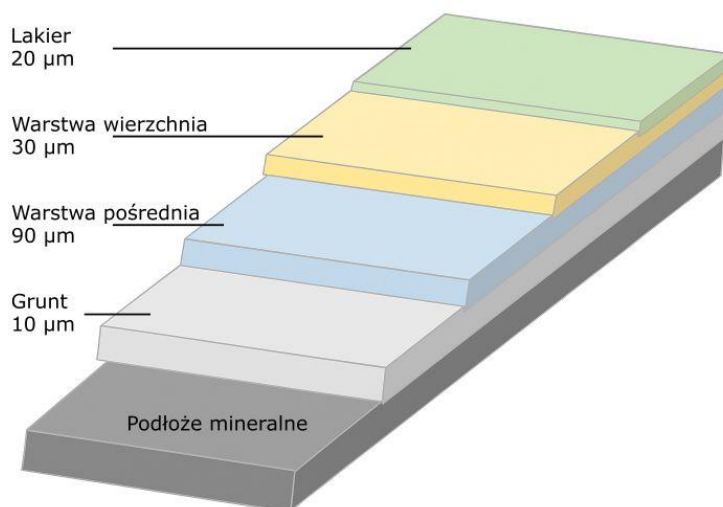
Materiał chłodzący radiacyjnie składa się z polimeru organicznego i funkcjonalnych wypełniaczy nieorganicznych. Zapewnia bardzo wysoką refleksyjność w zakresie promieniowania słonecznego oraz selektywnie wysoką emisyjność w paśmie 8–13 μm . Dzięki temu większość energii słonecznej jest odbita, a ciepło obiektu jest promieniowane poza atmosferę – nawet w pełnym słońcu temperatura powierzchni może być niższa od temperatury otoczenia.



Rysunek 2-2. Skład i mechanizm chłodzenia radiacyjnego folii chłodzącej

2.1.2 Powłoka chłodząca – na podłoża mineralne

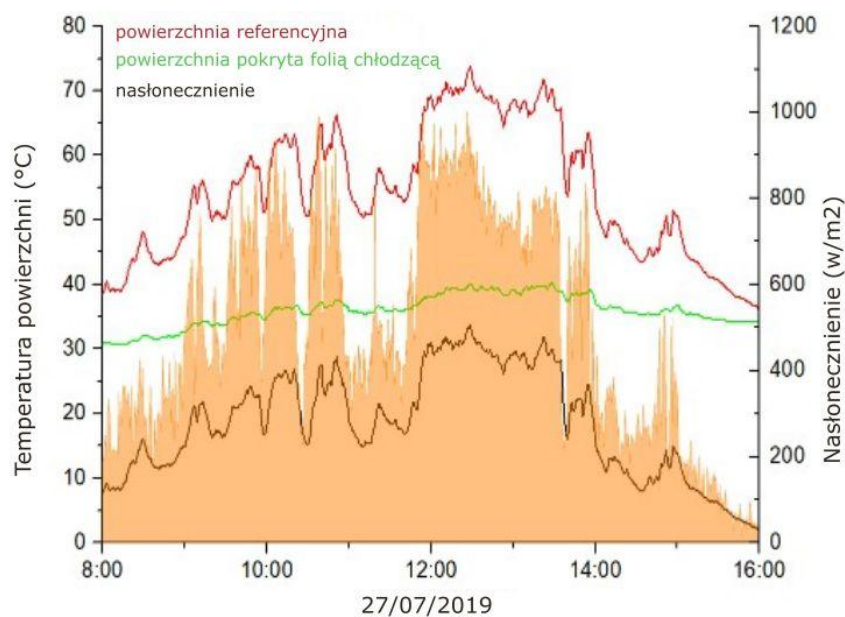
Struktura (od podłoża): warstwa podkładowa (dedykowana) → warstwa środkowa chłodząca → warstwa wierzchnia chłodząca → warstwa nawierzchniowa (ochronna, odporna na warunki atmosferyczne). Łączna grubość układu: min. 150 μm .



Rysunek 2-3. Struktura warstwowa powłoki chłodzącej do podłoży mineralnych. Do podłoży metalowych stosowany jest inny system, składający się z 3 warstw.

2.2 Efekt chłodzenia

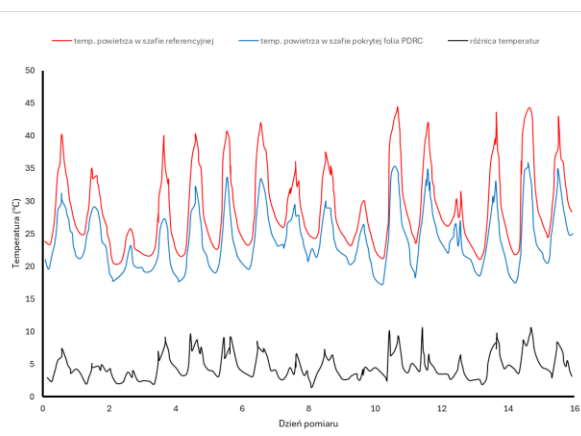
Zewnętrzne szafy wysokiego i niskiego napięcia wykonane są z metalu, co powoduje ich szybkie nagrzewanie się pod wpływem promieniowania słonecznego. W okresie letnich upałów temperatura powierzchni może sięgać 60–70°C. Po zastosowaniu produktów chłodzenia radiacyjnego większość promieniowania słonecznego zostaje odbita, a własne ciepło urządzeń skutecznie wypromieniowane w formie fal elektromagnetycznych w zakresie 8–13 µm. Efekt chłodzenia jest znaczący — temperatura powierzchni spada o ponad 30°C.



Rysunek 2-4 przedstawia wyniki testu efektu chłodzenia powłoki radiacyjnie chłodzącej.



Rysunek 2-5. Zastosowanie powłoki chłodzącej radiacyjnie na zewnętrznej szafie elektrycznej w Xi'an



Rysunek 2-6. Wyniki pomiarów temperatury szafy pierścieniowej w Shandong po zastosowaniu folii chłodzącej radiacyjnie.

Podczas 16-dniowego testu przeprowadzonego w okresie od 10 do 26 lipca 2020 r. różnica temperatur powietrza wewnętrznego po wdrożeniu technologii osiągnęła 13,5°C, co skutecznie zmniejszyło współczynnik awaryjności i wyeliminowało potencjalne zagrożenia bezpieczeństwa.



Rysunek 2-7. Zewnętrzna szafa elektryczna przed zastosowaniem folii chłodzącej radiacyjnie i pokryta folią.

2.3 Korzyści z zastosowania

Zastosowanie folii i powłok chłodzących radiacyjnie redukuje temperaturę zewnętrzną o ponad 30°C, zmniejsza ilość pochłanianego ciepła słonecznego oraz odprowadza ciepło z wnętrza urządzeń. Według danych Lawrence Berkeley National

Laboratory obniżenie temperatury o 1°C pozwala zaoszczędzić około 6% energii. W rezultacie można osiągnąć redukcję zużycia energii o 40–60%.



Rys. 2-8. Zewnętrzna szafa elektryczna

Według dostępnych informacji, urządzenia wewnątrz szaf wymagają utrzymania temperatury pracy poniżej 50°C. W normalnych warunkach klimatyzacja jest w stanie utrzymać temperaturę wewnętrzną na poziomie około 30°C, jednak w okresach letnich, z powodu silnego nasłonecznienia lub ciepła generowanego przez pracujące urządzenia, często dochodzi do przekroczenia tych wartości. Długotrwałe przegrzewanie prowadzi do skrócenia żywotności sprzętu, dlatego konieczne jest zastosowanie skutecznych środków chłodzących.

Po zastosowaniu produktów chłodzenia radiacyjnego w inteligentnych szafach sterowniczych temperatura ich powierzchni może zostać obniżona nawet o ponad 30°C. Znacznie zmniejsza to wpływ promieniowania słonecznego na zewnętrzne ściany szafy, a jednocześnie dzięki efektowi radiacyjnemu ciepło z wnętrza urządzenia jest nieustannie przekazywane do chłodnej przestrzeni kosmicznej.

Rozwiązanie to skutecznie eliminuje problem przegrzewania powietrza wewnątrz szaf podczas upałów.

Zgodnie z danymi Laboratorium Narodowego Lawrence'a w USA, obniżenie temperatury powietrza wewnętrznego o 1°C przekłada się na oszczędność energii na poziomie około 6%. Oznacza to, że zastosowanie technologii chłodzenia radiacyjnego w zewnętrznych szafach elektrycznych może przynieść oszczędności energii rzędu 40–60%

3. Właściwości produktu

3.1 Odporność na starzenie

Zgodnie z wynikami badań Krajowego Centrum Testowania Materiałów Budowlanych, folie i powłoki chłodzące radiacyjnie wykazują doskonałą odporność na starzenie. Wszystkie parametry spełniają wymagania norm jakościowych.





中国认可
国际互认
检测
TESTING
CNAS L6690

检 验 报 告

TEST REPORT

中心编号(号): WT2019B01C01938

委托单位: 宁波瑞凌新能源科技有限公司
Entrusted by: 宁波瑞凌新能源科技有限公司

样品名称: 反射型辐射制冷膜
Sample Name: 反射型辐射制冷膜

检验类别: 委托检验
Test Type: 委托检验

国家建筑材料测试中心
National Research Center of Testing Techniques for Building Materials




ctc 国检集团

国家建筑材料测试中心
(National Research Center of Testing Techniques for Building Materials)

检 验 报 告

(Test Report)

中心编号: WT2019B01C01938 第 2 页 共 2 页

序号	检验项目	检验结果	检验依据
1.	180° 剥离强度	4.6N/cm	GB/T 2792-2014
2.	太阳光反射比	0.90	JG/T 235-2014 6.4, 附录 B
3.	近红外反射比	0.96	
4.	外观	无气泡, 无剥落, 无开裂, 无虫霉	GB/T 16422.2-2014 GB/T 1766-2008
	色差	ΔE*~1.8	
	180° 剥离强度	4.9N/cm	GB/T 16422.2-2014 GB/T 2792-2014
	太阳光反射比变化率	0.33%	GB/T 16422.2-2014 JG/T 235-2014 6.4, 附录 B
5.	近红外反射比变化率	0.73%	
	外观	无气泡, 无剥落, 无开裂, 无虫霉	GB/T 16422.2-2014 GB/T 1766-2008
	色差	ΔE*~5.2	
	180° 剥离强度	7.4N/cm	GB/T 16422.2-2014 GB/T 2792-2014
	太阳光反射比变化率	0.22%	GB/T 16422.2-2014 JG/T 235-2014 6.4, 附录 B
	近红外反射比变化率	2.62%	

备注: L*值=57

本报告结束

检验单位地址: 北京市朝阳区管庄中国建材院南楼 电话: 65728538 邮编: 100024

ctc 国检集团




中国认可
国际互认
检测
CNAS L0690

检 测 报 告

报告编号: WT2020B01C02814

委托单位: 宁波瑞凌新能源科技有限公司

样品名称: 辐射制冷金属涂料

检测类别: 委托检测

国家建筑材料测试中心
中国建材检验认证集团股份有限公司




ctc 国检集团

国家建筑材料测试中心

检 测 报 告

报告编号: WT2020B01C02814 第 1 页 共 2 页

样品名称	辐射制冷金属涂料	检测类别	委托检测
委托单位	宁波瑞凌新能源科技有限公司	商 标	—
生产单位	宁波瑞凌新能源科技有限公司	样品状态	成型试件
收样日期	2020 年 08 月 17 日	样品数量	75mm × 150mm 3 块
生产日期/批号	—	型号规格	—
检测依据	各检测项目检测依据详见数据页。	检测日期	2020 年 08 月 25 日 - 12 月 18 日
检测项目	耐人工老化性 (2000h)		
检测结论	*检测结果见第 2 页。*		

签发日期: 2020 年 12 月 28 日
(检测专用章)

附注: (此处空白)

批准: 张华 审核: 王明 编制: 王明

检测机构地址: 北京市朝阳区管庄东里 1 号 电话: 010-51167681 邮编: 100024

ctc 国检集团

Rys. 3-1. Certyfikat oceny odporności na starzenie produktów chłodzenia radiacyjnego.

3.2 Właściwości izolacyjne

Ningbo Radi-Cool zleciło niezależnym ośrodkom (Shanghai Polymer Materials Research and Development Center oraz National Building Materials Testing Center) badania właściwości elektrycznych produktów. Zgodnie z normą GB/T 1410-2006, rezystancja objętościowa folii wynosi $2,28 \times 10^{12} \Omega$, a powierzchniowa $2,50 \times 10^{13} \Omega$. W przypadku powłoki odpowiednio $2,07 \times 10^9 \Omega$ i $2,31 \times 10^{10} \Omega$. Wyniki potwierdzają doskonałe właściwości izolacyjne.

SCDM

报告编号: 2020-09-0978

检 验 报 告

TEST REPORT

样 品 名 称: 反射型辐射制冷膜
Name of Sample

型 号 规 格: /
Types

委 托 单 位: 宁波瑞凌新能源材料有限公司
Applicant

检 验 类 别: 委托检验
Test Purpose

上海高分子材料研究开发中心
Shanghai R&D Center For Polymer Materials

GFZ-CX22-F1-D1 (2019 修订版)

Shanghai R&D Center for Polymer Materials
9th floor, 2# building, No. 100 Qinzhou Road, Shanghai Tel: 021-51701570 Fax: 021-51701571 www.scpm1999.com

SCDM

报告编号: 2020-09-0978

检 验 报 告

TEST REPORT

样 品 名 称: 反射型辐射制冷膜
Name of Sample

型 号 规 格: /
Types

委 托 单 位: 宁波瑞凌新能源材料有限公司
Applicant

检 验 类 别: 委托检验
Test Purpose

上海高分子材料研究开发中心
Shanghai R&D Center For Polymer Materials

GFZ-CX22-F1-D1 (2019 修订版)

Shanghai R&D Center for Polymer Materials
9th floor, 2# building, No. 100 Qinzhou Road, Shanghai Tel: 021-51701570 Fax: 021-51701571 www.scpm1999.com

MA 180002280586

ILAC-MRA CNAS 中国认可 国际互认 检测 TESTING CNAS L6680

检 验 报 告

TEST REPORT

中心编号(A#): WT2019B01C02440

委托单位: 宁波瑞凌新能源科技有限公司
Entrusted by

样品名称: 辐射制冷涂料
Sample Name

检验类别: 委托检验
Test Type

国家建筑材料测试中心
National Research Center of Testing Techniques for Building Materials

ctc 国检集团

国家建筑材料测试中心
(National Research Center of Testing Techniques for Building Materials)

检 验 报 告

(Test Report)

中心编号: WT2019B01C02440 第 2 页 共 2 页

序号	检验项目	检验结果	检验依据
1.	体积电阻	$2.07 \times 10^{10} \Omega$	GB/T 1410-2006
2.	表面电阻	$2.31 \times 10^{10} \Omega$	
(以下空白)			
备注: (此处空白)			

本报告结束

检验单位地址: 北京市朝阳区管庄中国建材院南楼 电话: 65728538 邮编: 100024

ctc 国检集团

Rys. 3-2. Wyniki testu przewodności elektrycznej produktów chłodzenia radiacyjnego.

3.3 Funkcja zapobiegania kondensacji

Kondensacja to proces, w którym para wodna osadza się na chłodnych powierzchniach, tworząc krople wody. W zimnych warunkach może to stanowić problem dla zewnętrznych szaf elektrycznych. Testy przeprowadzone przez Radi-Cool w grudniu 2018 r. w Wuhan wykazały, że zastosowanie produktów chłodzenia radiacyjnego ogranicza ryzyko kondensacji.

Dwa identyczne modele pomieszczeń testowych zostały przygotowane — jedno z powłoką chłodzącą (budynek testowy) i jedno bez niej (budynek referencyjny).

Wyniki pokazały, że:

1. Podczas pochmurnych dni z opadami, wilgotność w budynku referencyjnym osiągała prawie 100%, powodując kondensację, natomiast w budynku z powłoką była niższa o 5–10%.
2. W dni słoneczne (promieniowanie $>400 \text{ W/m}^2$) wilgotność w budynku testowym nie przekraczała 70%, co oznacza brak ryzyka kondensacji.

3.



4. Rysunek 3-3. Opis testu modelowego budynku w Wuhan Jiuzhoutong.

Wniosek: powłoki chłodzące radiacyjnie skutecznie ograniczają kondensację i pomagają utrzymać stabilny mikroklimat.

3.4 Funkcja chłodzenia radiacyjnego

Produkty Radi-Cool charakteryzują się wysoką refleksyjnością w zakresie promieniowania słonecznego i dużą emisyjnością w oknie atmosferycznym (8–13 μm), co umożliwia pasywne, bezenergetyczne chłodzenie przez całą dobę.

4. Podsumowanie raportu

Na podstawie analizy typów zewnętrznych szaf elektrycznych oraz charakterystyki produktów Radi-Cool, wdrożenie technologii chłodzenia radiacyjnego zapewnia następujące korzyści:

1. Znaczne obniżenie temperatury powierzchni (do 30°C i więcej), redukcja zużycia energii o 40–60% w szafach aktywnie chłodzonych, wydłużenie żywotności urządzeń.
2. Produkty Radi-Cool nie powodują korozji i są bezpieczne dla powierzchni, izolatorów i farb.
3. Wysoka izolacyjność elektryczna – brak wpływu na parametry urządzeń.
4. Skuteczna redukcja kondensacji i regulacja wilgotności (spadek o 5–10%).