

Zastosowanie technologii chłodzenia radiacyjnego w projekcie stacji elektroenergetycznej Chongqing Yuping



Spis treści

1. Projekt – tło i cel	3
2. Propozycja zastosowania	5
2.1. Zastosowane produkty	5
2.1.1 Folia chłodząca – na gładkie metale (szafy sterownicze)	5
2.1.2 Powłoka chłodząca – na rurociągi GIS.....	6
2.2. Efekt obniżenia temperatury	7
2.3. Korzyści z zastosowania.....	9
2.3.1. GIS (Gas Insulated Switchgear)	9
2.3.2. Inteligentne szafy sterownicze	11
3. Właściwości produktu	12
3.1. Brak korozyjności	12
3.2. Właściwości izolacyjne.....	12
3.3. Funkcja ograniczania kondensacji	13
4. Podsumowanie raportu.....	14

1. Projekt – tło i cel

Stacja elektroenergetyczna Yuping znajduje się w dzielnicy Shapingba (Chongqing), w miejscowości Chenjiaqiao. Jest to pierwsza inteligentna stacja 500 kV w Chongqing, uruchomiona w kwietniu 2015 r. Zarówno urządzenia 500 kV, jak i 220 kV zastosowano w technologii hermetycznych urządzeń GIS (Gas Insulated Switchgear). Uruchomienie stacji znacząco poprawiło niezawodność zasilania sieci miejskiej i wzmocniło strukturę szkieletową sieci.

GIS (Gas Insulated Switchgear; rozdzielnica gazowo-izolowana) to kompaktowe urządzenie wysokiego napięcia, w którym elementy takie jak wyłączniki i odłączniki są umieszczone w metalowych obudowach wypełnionych gazem, zazwyczaj sześćiofluorkiem siarki (SF_6). Gaz SF_6 zapewnia doskonałą izolację elektryczną oraz skuteczne gaszenie łuku elektrycznego, dzięki czemu całe urządzenie może być znacznie mniejsze niż rozdzielnice izolowane powietrzem.

Dzięki temu rozwiązaniu GIS idealnie sprawdza się w miejscach o ograniczonej przestrzeni, takich jak centra miast, zakłady przemysłowe czy platformy offshore.

SF_6 jest najsilniejszym znanym gazem cieplarnianym, o potencjale globalnego ocieplenia ponad 23 000 razy większym niż CO_2 oraz okresie życia w atmosferze sięgającym nawet 3 200 lat. Dlatego kluczowym jest minimalizacja wydostawania się go do atmosfery. Obecnie trwają intensywne prace nad ograniczeniem jego stosowania w urządzeniach elektroenergetycznych poprzez rozwój alternatywnych rozwiązań.

Chongqing leży w strefie klimatu monsunowego, subtropikalnego i wilgotnego – to klasyczny region ekstremalnie wysokich temperatur latem (często $> 40^\circ\text{C}$). Wysokie temperatury nie tylko wpływają na codzienne życie mieszkańców, lecz także generują poważne wyzwania dla pracy stacji, m.in.:

- rozszerzanie i wzrost ciśnienia gazów izolacyjnych w przewodach, co obniża stabilność konstrukcji;
- spadek rezystancji izolacji i ryzyko przebicia przy przepięciach;
- inne niekorzystne zjawiska termiczne.

Ningbo Ruiling New Energy Technology Co., Ltd. (dalej: „Ningbo Ruiling”) jest innowacyjnym producentem technologii radiacyjnego chłodzenia. Opracowany przełomowy materiał radiacyjnie chłodzący opublikowano w 2017 r. w czasopiśmie Science; technologia zyskała szerokie uznanie (m.in. Physics World: Top 10 Breakthroughs 2017 oraz The Economist: Top 10 News 2017). Wykorzystuje ona wysokoselekcyjną emisję w „oknie atmosferycznym” 8–13 μm , aby bez pochłaniania przez atmosferę przekazywać ciepło z obiektu do zimnej przestrzeni kosmicznej. W efekcie możliwe jest ciągle, wydajne chłodzenie bez zużycia energii, w dzień i w nocy. Produkty znajdują zastosowanie m.in. w budynkach wielkopowierzchniowych, halach, magazynach i transporcie.



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

W odpowiedzi na potrzeby stacji Yuping i po dokonaniu inspekcji terenowej, Ningbo Ruiling zaproponowało zastosowanie powłok chłodzących radiacyjnie na obudowach GIS oraz na obudowach inteligentnych szaf sterowniczych.

2. Propozycja zastosowania

Schemat stacji przedstawia rys. 2-1 (generatory, transformatory, kable energetyczne, linie przesyłowe – urządzenia „pierwotne” – oraz aparatura pomiarowa, przełączniki, sterowanie, sygnalizacja, automatyka – urządzenia „wtórne”). Obiekty uzupełniają inteligentne szafy sterownicze, pomieszczenia zabezpieczeń i centrum sterowania.

Na podstawie przeglądu z dnia 4 stycznia i biorąc pod uwagę właściwości produktów Ningbo Ruiling, plan obejmował aplikację powłok/folii chłodzących radiacyjnie na obudowach GIS i szafach sterowniczych.



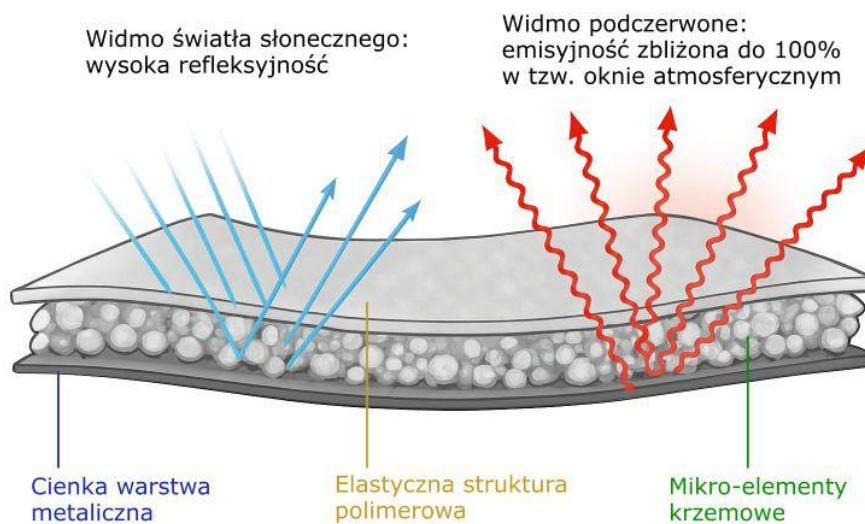
Rysunek 2-1. Schemat stacji elektroenergetycznej Yuping.

2.1. Zastosowane produkty

2.1.1 Folia chłodząca – na gładkie metale (szafy sterownicze)

Materiał radiacyjnie chłodzący składa się z polimeru organicznego i funkcjonalnych wypełniaczy nieorganicznych. Zapewnia bardzo wysoką refleksyjność w zakresie

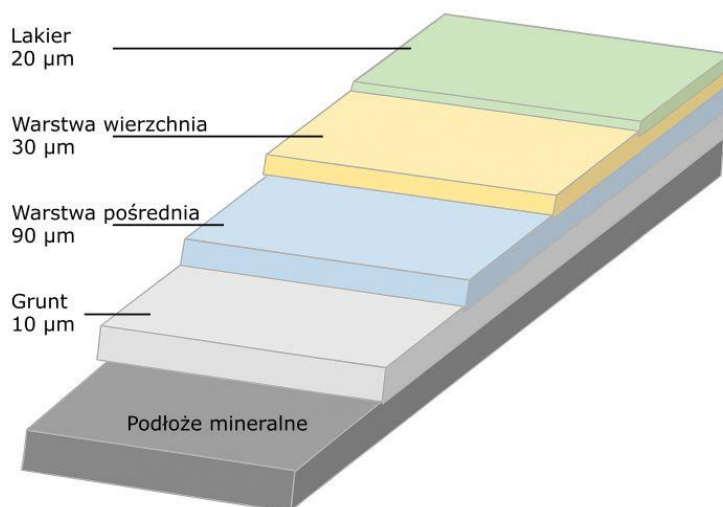
promieniowania słonecznego oraz selektywnie wysoką emisyjność w paśmie 8–13 μm . Dzięki temu większość energii słonecznej jest odbita, a ciepło obiektu jest promieniowane poza atmosferę – nawet w pełnym słońcu temperatura powierzchni może być niższa od temperatury otoczenia.



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

2.1.2 Powłoka chłodząca – na rurociągach GIS

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 .



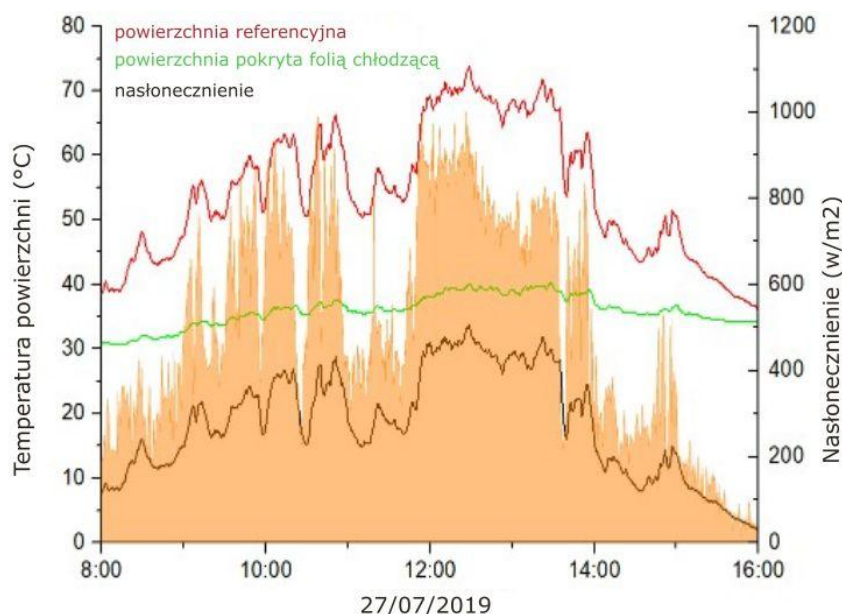
Rysunek 2-3. Struktura warstwowa powłoki chłodzącej do podłoży mineralnych. Do podłoży metalowych stosowany jest inny system, składający się z 3 warstw.

2.2. Efekt obniżenia temperatury

Obudowy GIS (aluminium) i szaf sterowniczych (stal) są metalowe; pod wpływem nasłonecznienia ich temperatura latem osiąga 60–70°C, co podgrzewa wnętrza i elementy instalacji.

Po naniesieniu powłoki radiacyjnie chłodzącej na zewnętrzną powierzchnię rurociągów GIS oraz inteligentnych szaf sterowniczych:

- większość promieniowania słonecznego jest rozpraszana/odbijana;
- ciepło własne efektywnie promieniowane jest w paśmie 8–13 µm;
- temperatura powierzchni spada nawet o $\geq 30^{\circ}\text{C}$.



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

Do badań porównawczych wykorzystano dwie identyczne aluminiowe płyty — jedna została pokryta powłoką radiacyjnie chłodzącą, drugą wykorzystano jako referencyjną. Dla obu płyt zmierzono temperaturę powierzchni podczas ekspozycji na promieniowanie słoneczne latem:

- płyta referencyjna osiągała **~70°C**,
- płyta z powłoką **~40°C**,
- różnica **~30°C**,
- amplituda dobowych zmian na powierzchni z powłoką była ok. **3x mniejsza** i spadła z 30 do 10°C.

W innym studium przypadku, obejmującym szafę sterowniczą w mieście w Xi'an, maksymalny spadek temperatury powierzchni wyniósł >30°C po 20 h od zakończenia prac.

Wniosek dla stacji Yuping: na obudowach GIS i szafach sterowniczych spodziewany jest spadek temperatury powierzchni do **$\geq 30^{\circ}\text{C}$** w okresach wysokich temperatur.



Rysunek 2-5. Przykład zastosowania powłoki radiacyjnie chłodzącej na szafie elektrycznej w Xi'an.

2.3. Korzyści z zastosowania

2.3.1. GIS (Gas Insulated Switchgear)

GIS (Gas Insulated Switchgear) obejmuje m.in. wyłączniki, rozdzielnice hermetyczne, przewody, transformatory. Elementy są zamknięte w metalowych obudowach i osłonach, a wewnątrz wypełnione SF_6 (lub mieszkanką SF_6/N_2) jako medium izolacyjne. W Yuping obudowy to aluminium (z epoksydową farbą bogatą w cynk), a między odcinkami znajdują się kompensatory faliste.



Rysunek 2-6. GIS w stacji elektroenergetycznej Yuping.

Latem, bez ochrony, powierzchnia obudów GIS osiąga $\geq 60^{\circ}\text{C}$. Skutki:

- wzrost ciśnienia SF_6 to częstsze zadziałania i ekstremalne warunki pracy kompensatorów;
- konieczność ręcznego upustu SF_6 powodują koszty, zwiększają ryzyko i pogarszają efekt cieplarniany;
- cykle rozszerzalności cieplnej aluminium $\rightarrow$ kruchość/odkształcenia $\rightarrow$ krótsza żywotność.

Po zastosowaniu powłoki radiacyjnie chłodzącej:

- spadek temperatury powierzchni o **$\sim 30^{\circ}\text{C}$** ;
- ciągłe promieniowanie ciepła z wnętrza to niższa temp. SF_6 i stabilniejsze ciśnienie gazu;
- mniej upustów SF_6 to korzyści zarówno kosztowe jak i środowiskowe, krótsza praca w stanach zbliżonych do granicznych;
- mniejsza amplituda dobowych wahań temperatury rurociągu to stabilniejsze kompensatory i mniejsze zmęczenie materiału, co przedłuża żywotność instalacji.

2.3.2. Inteligentne szafy sterownicze

W stacji Yuping funkcjonują szafy dwu- i trzydrzwiowe z przegrodami i aparaturą sterującą; chłodzone są klimatyzatorami małej mocy. Wymagana temperatura pracy wewnątrz: **< 50°C**. Latem, przy dużym nasłonecznieniu oraz ciepłe własnym urządzeń, częste są przekroczenia granicznej temperatury, co skraca żywotność i zwiększa konieczność kosztownych inspekcji.



Rysunek 2-8. Schemat inteligentnej szafy sterowniczej.

Po zastosowaniu folii chłodzącej radiacyjnie:

- spadek temperatury powierzchni do ~30°C;
- radiacyjne odprowadzanie ciepła z wnętrza;
- wg danych Lawrence Berkeley National Laboratory: -1°C w pomieszczeniu = ~6% oszczędności energii;
- przewidywane 40–60% oszczędności energii chłodniczej dla szaf klimatyzowanych;
- wydłużona żywotność elektroniki.

3. Właściwości produktu

3.1. Brak korozyjności

Skład: żywica akrylowa, dwutlenek tytanu, wypełniacze. Produkt jest słabo zasadowy i nie powoduje korozji. Raporty Shanghai Chemical Industry Research Institute Testing Co., Ltd. potwierdzają, że komponenty są niekorozyjne (w tym dedykowany podkład). W kontakcie z aluminium powlekany epoksydem bogatym w cynk oraz izolatorami epoksydowymi nie zachodzą niekorzystne reakcje chemiczne.



Rysunek 3-1. Certyfikat identyfikacyjny podkładu powłoki radiacyjnie chłodzącej.

3.2. Właściwości izolacyjne

Badania National Building Materials Testing Center (wg GB/T 1410-2006):

- rezystancja objętościowa: $2,07 \times 10^9 \Omega$;
- rezystancja powierzchniowa: $2,31 \times 10^{10} \Omega$.

Wniosek: bardzo dobra izolacyjność elektryczna.



MA 180002280586

中国认可
国际互认
检测
TESTING
CNAS L8699

检验报告
TEST REPORT

中心编号(N): WT2019B01C02440

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: 辐射制冷涂料
Sample Name: 辐射制冷涂料

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

WT2019B01C02440

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	$2.07 \times 10^9 \Omega$	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

Rysunek 3-2. Wyniki testu przewodnictwa elektrycznego powłoki radiacyjnie chłodzącej.

3.3. Funkcja ograniczania kondensacji

Kondensacja (skraplanie pary wodnej) może być ryzykiem zimą. W testach modelowych domków (Wuhan, XII 2018) porównano obiekt z i bez powłoki.

- W dni pochmurne/deszcz/śnieg/odwilż – wilgotność względna w obiekcie bez powłoki zbliżała się do 100% (ryzyko kondensacji), natomiast w obiekcie z powłoką była o 5–10% niższa.
- W dni słoneczne ($> 400 \text{ W/m}^2$) – wilgotność w obiekcie z powłoką była wyższa, lecz $\leq 70\%$, bez kondensacji.

Wniosek: powłoka zmniejsza ryzyko kondensacji i stabilizuje wilgotność.



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

4. Podsumowanie raportu

W oparciu o typy obiektów w stacji Yuping i właściwości produktów radiacyjnie chłodzących Ningbo Ruiling zaleca się dedykowane rozwiązania dla rurociągów GIS, szaf sterowniczych oraz – opcjonalnie – budynków (dach/elewacje), co daje następujące korzyści:

1. Zauważalne obniżenie temperatury i zysk operacyjny

GIS (obudowy):

- spadek temp. powierzchni latem $\geq 30^{\circ}\text{C}$;
- ograniczenie wzrostów ciśnienia SF_6 to mniej upustów;
- krótsza praca kompensatorów w stanach granicznych to większa niezawodność;
- mniejsza amplituda dobowych zmian to mniejsze zmęczenie materiału i dłuższa żywotność.

Szafy sterownicze:

- spadek temp. powierzchni $\geq 30^{\circ}\text{C}$;
- przewidywana oszczędność energii chłodniczej 40–60%;
- utrzymanie prawidłowej temperatury wewnątrz i dłuższa żywotność elektroniki.

2. **Brak korozyjności** – bezpieczny kontakt z aluminium (także z farbą epoksydową bogatą w cynk) i izolatorami.
3. **Wysoka izolacyjność elektryczna** – brak negatywnego wpływu na parametry izolacyjne urządzeń.
4. **Ograniczanie kondensacji** – redukcja wilgotności wewnątrz o ~5–10% w warunkach wysokiej wilgotności; łagodzenie ryzyka kondensacji.