

Nowe kierunki technologii • KNOW-HOW BELZONA®

KOMPAS

www.belse.com.pl

Wydanie IV Kwartalne



BELSE

• MOC TECHNOLOGII • ZAUFANIE • DOŚWIADCZENIE •

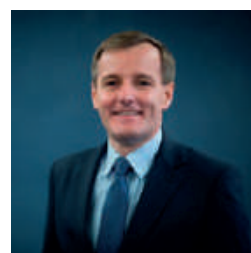
prezentujemy kolejny numer KOMPASu. Znajdują się w nim artykuły „**Naprawa oraz wzmocnienie krawędzi natarcia łopat turbin wiatrowych**”, „**Termoochronna powłoka kompozytowa Belzona®5871**” oraz dodatkowo artykuł poświęcony palącemu problemowi, który dotyczy wielu zakładów. Uszkodzenia posadzek to bolączka wielu firm. Dochodzi do nich wskutek intensywnej eksploatacji, rozmieszczenia ciężaru niezgodnie z planem budynku czy po prostu – przez

zwykły pech. Powoduje to utrudnienia w pracy a nawet spadek możliwości produkcyjnych. Prezentowany tekst przybliży najczęstsze rodzaje uszkodzeń posadzek, ich przyczyny, a także, co najważniejsze, w jaki sposób można je naprawić, wzmocnić i zabezpieczyć

Dobrze wykonana i poprawnie zabezpieczona posadzka to grunt, na którym opiera się poprawne funkcjonowanie parku maszynowego, a „**grunt to BELZONA!**”



Zapraszam do lektury
Wiesław Kuczek
Dyrektor Naczelny BELSE



Teksty
Roman Masek
Dyrektor Techniczny BELSE



- obniżenie kosztów pracy maszyn i urządzeń
- wydłużenie okresu eksploatacji
- ograniczenie czasu przestojów
- zwiększenie bezpieczeństwa pracy

www.belse.com.pl



Naprawa oraz wzmocnienie krawędzi natarcia łopat turbin wiatrowych

Wydawać by się mogło, że uszkodzenia pojawiające się na powierzchni olbrzymich łopat wirników elektrowni wiatrowych, nie mogą być generowane przez niewielkie obiekty. Nic bardziej mylnego!

Wyrwy i głębokie uszkodzenia na powierzchni łopaty wirnika turbiny wiatrowej powstają w wyniku uderzenia niewielkich obiektów, takich jak cząstki wielkości kropli wody. Dlaczego tak się dzieje? Energia uderzenia wynika ze znacznych prędkości łopaty, której końcówka przy pracy z mocą znamionową osiąga wartość ok. 80 m/s (czyli ok. 285 km/h- przy średniej długości łopaty 60 m). Jest to 1/4 prędkości dźwięku w powietrzu. Ponadto, po uwzględnieniu masy łopaty, to zderzenie się jej nawet z najmniejszą cząstką (na przykład kroplą deszczu, bryłką gradu czy nawet drobnymi ilościami piasku), wywołuje wysokie naprężenie na jej powierzchni, szczególnie w obrębie krawędzi natarcia. Niestety, właśnie to naprężenie ma zły wpływ na materiały, z których wykonane są łopaty, a nawet może doprowadzić do ich uszkodzenia.

Największy problem, który występuje w eksploatacji wirnika to cykliczność uderzeń o wysokiej energii. Uszkodzenia

i zmiany faktury powierzchni wirnika wpływają negatywnie na jakość jego pracy, zwłaszcza poprzez pogorszenie jego właściwości aerodynamicznych. Udokumentowane badania wskazują że roczna produkcja energii z uszkodzonego wiatraka może obniżyć się nawet do 20% w stosunku do produkcji nominalnej!

Duży wpływ na eksploatację oraz stan wirników mają także niestabilności wiatru jako źródła energii tj. zmienność jego kierunku oraz siły, czyli tzw. podmuchy. Układy mechaniczne i regulacyjne turbiny zareagują na chwilowe skoki prędkości, ale zanim to nastąpi pierwsze uderzenie przyjmuje na siebie powierzchnia krawędzi natarcia łopaty. Mniej więcej na 1/3 długości - licząc od końcówki łopaty- mamy do czynienia ze strefą szczególnego narażenia na erozję mechaniczną powierzchni krawędzi natarcia. Właśnie ta część ma styczność ze wszystkimi zagrożeniami mechanicznymi, w tym głów-

Belzona®5721



nie erozji wynikającej z prędkości liniowej znacznych wartości i niestabilnej ze względu na podmuchy.

Jak uchronić się przed skutkami erozji krawędzi natarcia lub całej powierzchni łopaty wirnika? Trwałość warstwy wierzchniej w fabrycznie nowej łopacie nie jest, jak pokazują doświadczenia eksploatacyjne, wystarczająca. Co więcej - stosowane do tej pory metody naprawy uszkodzeń powierzchni nie przynosiły zadowalających rezultatów. Samo przeprowadzenie naprawy również narażało na bardzo wiele kłopotów, zaczynając od logistyki, na czasie wyłączenia wirnika z pracy kończąc. Odporność erozyjna krawędzi natarcia nie jest tak wysoka jak wytrzymałość całej łopaty. Bardzo wytrzymałe włókna znajdują się w osnowie z żywicy (poliestrowych lub epoksydowych), które tworzą rodzaj otuliny dla włókien i z tego też powodu stanowią podstawowy składnik warstwy wierzchniej krawędzi natarcia tj. warstwy, która pierwsza przyjmuje energię uderzeń atmosferycznych. W wyniku erozji, wspomniana osnowa odsłania te włókna, które bez otuliny są dużo mniej odporne na uszkodzenia.

Podstawowym zabiegiem staje się więc wzmocnienie samej otuliny, a mówiąc bardziej precyzyjnie - wykonanie warstwy wierzchniej, bardziej wytrzymałej na uderzenia, która jednocześnie zapewni wystarczającą przyczepność do powierzchni laminatowej łopaty.

Doskonałym rozwiązaniem do przeprowadzenia tego typu naprawy jest **Belzona®5721** – polimerowa osnowa kompozytowa, opracowana specjalnie pod kątem ochrony krawędzi natarcia osiąga bardzo wysoką przyczepność do powierzchni laminatowych np. typu GRP. Wartość przyczepności wynosi ponad 10,5 MPa i przekracza wytrzymałość wewnętrzną osnowy laminatu, na który została nałożona.

Moduł sprężystości tego kompozytu wynosi 1050 MPa co czyni go materiałem bardzo podatnym i jednocześnie wytrzymałym na uderzenia. Wytrzymałość erozyjna została potwierdzona badaniami laboratoryjnymi. Badania prowadzone wg standardu ASTM G73 i DNVGL-RP-0171 dla grubości warstwy **Belzona®5721** 500 mikronów i 1000 mikronów przy prędkości uderzenia kropli wody (o średnicy 2,46mm) równej 125 m/s czas przebicia warstwy wynosił odpowiednio: 13 godzin dla $g = 500 \mu m$ i 21 godzin dla $g = 1000 \mu m$.

Kompozyt **Belzona®5721** idealnie nadaje się do trudnych warunków aplikacji, jakie mogą występować podczas napraw łopat w miejscu ich eksploatacji. Nakładanie tego materiału jest bardzo łatwe tj. przy użyciu pędzla i wymagana jest tylko jedna warstwa bez podkładu.

Dzięki technologii zestalania także w niskiej temperaturze (nawet ok. 5°C nieosiągalne temperatury dla większości żywic), materiał **BELZONA®5721** umożliwia ponowne włączenie turbiny do eksploatacji po bardzo krótkim czasie od zakończenia naprawy (3 - 6 godzin).

Kompozyt polimerowy **BELZONA®5721** jest bezrozpuszczalnikowy (nie posiada części lotnych w swym składzie), co umożliwia jego bezproblemowe i bezpieczne stosowanie w warunkach prowadzenia prac w pomieszczeniach zamkniętych (fabrycznych, warsztatowych).



Termoochronna powłoka kompozytowa Belzona® 5871

Jak powszechnie wiadomo, powrót ciepła od elementu ogrzewanego do elementu grzejącego jest niemożliwy. Ta oczywista zasada powoduje, że jeśli chcemy utrzymać stałą temperaturę czynnika lub elementu a przy tym generować jak najniższe straty ciepła, to należy zminimalizować tzw. ciepło zawarte w strumieniu związanym z różnymi sposobami przepływu ciepła.

Przepływ ciepła może odbywać się na trzy różne sposoby tj.:

1. Przewodzenie ciepła
2. Konwekcja (unoszenie ciepła)
3. Promieniowanie

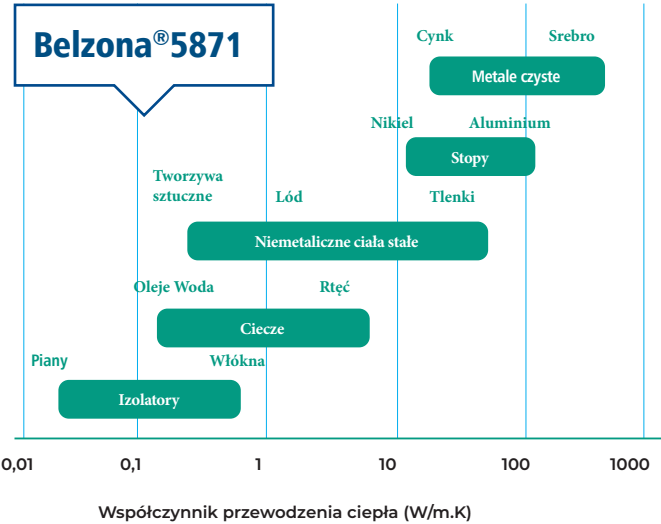
W poniższym opracowaniu, został położony nacisk na ilościowe określenie natężenia przepływu ciepła, związanego z przekazywaniem ciepła pomiędzy ciałami stałymi i środowiskiem (powietrze atmosferyczne, przestrzeń zamknięta), przy czym pominięto ciepło przenoszone przez promieniowanie elektromagnetyczne. Przewodnictwo ciepła w ciałach stałych i płynach polega na przekazywaniu energii pomiędzy punktami materii w wyniku ich wzajemnych oddziaływań zachodzących w mikroukładach, czyli pomiędzy atomami lub cząsteczkami. Zatem intensywność procesu przekazywania ciepła wewnątrz materii wprost zależy od interakcji pomiędzy atomami, a więc także od poziomów energetycznych oraz konformacji (wzajemnego położenia wg siebie) elementów cząsteczki. W gazach transfer ciepła odbywa się w wyniku zderzeń cząsteczek gazu i z powodu dużego ich rozproszenia przekazywanie energii w takim ośrodku jest bardzo słabe. Podobnie jest w cieczach, przy czym odległości pomiędzy cząsteczkami są mniejsze a zatem



ciepło będzie przepływać z większą prędkością. W każdym przypadku przewodnictwa nie występuje jakiegolwiek ruch masowy materii co w szczególności jest wyraźne w ciałach stałych.

Niemetale przenoszą ciepło przez drgania sieci krystalicznej, metale zaś są dużo lepszym przewodnikiem, ponieważ występują w nich swobodne elektrony, które przenoszą energię (w tym przypadku ciepło). Większość urządzeń, zbiorników czy rurociągów w przemyśle wykonanych jest z metali, a więc znakomitych przewodników ciepła i to bardzo często jest niekorzystne w kontekście ponoszonych strat energetycznych procesów przemysłowych. Zmniejszenie strat ciepła zawartego w strumieniu przekazywanej energii do otoczenia może być osiągnięty poprzez zastosowanie izolacji cieplnej, która przy określonej grubości zagwarantuje jak największy opór cieplny. Zagadnienie będzie tym trudniejsze im większy będzie gradient temperatury w elementach wymieniających ciepło z otoczeniem.

Materiał	Współczynnik przewodzenia ciepła λ [W/m²/K]
Stal stopowa	15
Belzona®5871	0,1
farby ogólnego przeznaczenia	0,400–0,500
beton	0,804–1,296
cegła	0,432–0,684
szkło	0,720–0,864
tynek	0,288–0,726



W tabeli 1 oraz rys.1 przedstawiono wartości współczynnika przewodzenia ciepła λ oraz jego zakresy dla różnych materiałów w tym niemetalowych. Współczynnik przewodzenia ciepła λ, to właściwość materiału, która określa, ile energii w watach przemieści się przez jego warstwę o grubości 1m i przekrój 1m² przy różnicy temperatur 1K. Ilość ciepła, która w skutek przewodzenia przepłynęła przez określone pole powierzchni wyodrębnione wewnątrz ciała stałego jest proporcjonalna do tego pola i do różnicy temperatury w kierunku normalnym (prostopadłym) do powierzchni. Prawo to sformułował Jean Baptiste Joseph Fourier i na tej podstawie można zapisać dla ustalonego przepływu ciepła następujące zależności:

1. Dla ścianki płaskiej:

$$Q = \frac{\lambda A}{\delta} \Delta T \quad (1)$$
2. Dla ścianki cylindrycznej (rura):

$$Q = \frac{2\pi L \lambda}{\ln(\frac{d_2}{d_1})} \Delta T \quad (2)$$

gdzie:

- Q – ciepło strumienia
(ilość ciepła wymienionego w jednostce czasu)
- A – powierzchnia wymiany ciepła
- λ – współczynnik przewodzenia ciepła
- T – temperatura
- δ – grubość ścianki
- d₁, d₂ – odpowiednio średnica po stronie niższej i wyższej temperatury
- L – długość rury

Z zależności (1) i (2) wynika, że jednym z istotnych parametrów

Mechanizm przewodzenia (przenoszenia) ciepła przez polimery również kompozyty polimerowe (głównie dotyczy to osnowy) w przeciwieństwie do metali (gdzie jak wspomniano powyżej ten proces polega na ruchliwości elektronów walencyjnych) polega na propagacji drgań cieplnych między makrocząsteczkami. Makrocząsteczka polimerów stosowanych w kompozytach składa się z co najmniej kilkuset do ok. tysiąca atomów, które połączone ze sobą trwałymi wiązaniami kowalencyjnymi „utrudniają” przenoszenie ciepła w poprzek łańcucha. Z tego też powodu przewodność cieplna polimerów jest około trzy rzędy wielkości mniejsza w porównaniu z przewodnością cieplną metali. Ponadto przenoszenie ciepła w polimerach wzdłuż łańcuchów jest szybsze niż w poprzek.

Widać, że na podstawie powyższych stwierdzeń najlepszą barierą dla przepływu ciepła byłoby połączenie polimerów i gazów w jeden materiał cechujący się sumarycznie bardzo niską przewodnością cieplną. Takie działanie udało się przeprowadzić. Stworzono powłokę kompozytową **BELZONA®5871** na bazie żywic m.in. epoksydowych, pod wpływem których, w czasie przebiegu procesu zestalenia (sieciovania) powstaje struktura porowata (fot. 2).

Powłoka w wyniku tego zwiększa dodatkowo jeszcze swoją objętość, a tym samym grubość końcową (np. z 1 mm do 3 mm).

Powstaje pewien rodzaj „pianki” polimerowej. Co ważne, w procesie tworzenia się struktury porowatej włączamy opór cieplny gazów na rzecz izolacyjności powłoki a po trzykrotnym zwiększeniu grubości warstwy (z 1 mm – jest to minimalna grubość po nałożeniu do grubości końcowej 3 mm) hamujemy przepływ ciepła – równania (1) i (2). Zatem oprócz niskiego współczynnika przewodności cieplnej $\lambda = 0,1 \left[\frac{W}{m \cdot K} \right]$ otrzymujemy również zwiększoną grubość warstwy co spowalnia przepływ ciepła przez ten materiał.

Powłoka **BELZONA®5871** jest zatem znakomitym izolatorem cieplnym a fakt, że można ją nakładać pędzlem lub natryskiem (fot. 1), znacznie upraszcza jej implementację oraz pozwala na jej łatwe stosowanie w roli izolacji cieplnej. Jest to szczególnie korzystne w miejscach w których konwencjonalna, bardzo gruba warstwa, izolacji cieplnej jest trudna lub wręcz niemożliwa do zastosowania. Wysoka przyczepność materiału do różnych powierzchni kwalifikuje powłokę jako materiał przeciw-korozyjny. Zastosowanie jej pozwala na wyeliminowanie problemu korozji tzw. korozji pod izolacją, która powstaje pod wpływem wytrącania się wilgoci pomiędzy powierzchnią metalu a izolacją cieplną, gdy brak jest przyczepności do podłoża.



Równie ważnym aspektem wynikającym wprost z właściwości fizyko-chemicznych kompozytu **BELZONA®5871** jest zwiększenie bezpieczeństwa w zakresie BHP. Co ciekawe, powłokę można stosować jako powłokę chroniącą przed oparzeniem na powierzchniach gorących. Dla przykładu: temperaturę wynoszącą 120°C powierzchni bez powłoki, możemy obniżyć do poziomu 36,4°C gdy pomalujemy ją powłoką **BELZONA®5871** w 3 warstwach. Wydaje się to szczególnie interesujące w aspekcie wymagań środowiskowych związanych z dopuszczalną temperaturą obiektów określonej np. w normie ASTM C1055 wg której temperatura bezpieczna dla człowieka nie powodująca oparzeń przy dotyku, to 60°C.



Niska wartość λ dla **BELZONA®5871** pozwala ograniczyć lub całkowicie wyeliminować zjawisko kondensacji wilgoci oraz powstawania szronu na powierzchni kontaktowej z otoczeniem (środowisko atmosferyczne, hala, warsztat itp.).

Poniżej przedstawiono analizę zahamowania takiego zjawiska po zastosowaniu powłoki **BELZONA®5871** o określonej grubości, która w tym przypadku może być traktowana jako „anty kondensacyjna”. Na podstawie wzoru (2) obliczono minimalną grubość warstwy δ_{kr} powłoki, przy której nie nastąpi kondensacja (wykroplenie) wody na powierzchni rurociągu wody technologicznej o temperaturze 8°C: warunek (3).

Określenie granicznej grubości warstwy δ_{kr} powłoki kompozytowej **BELZONA®5871**. Powierzchnia powłoki będzie sucha, jeśli będzie spełniony następujący warunek:

$$\delta_{kr} \leq \delta_{5871} \quad (3)$$

Dane:

Temperatura zewnętrznej powierzchni początku i końca rurociągu na odcinku 30 m:

$$\begin{aligned} t_1 &= 13^\circ\text{C} & (0 \text{ m}) \\ t_2 &= 15^\circ\text{C} & (30 \text{ m}) \end{aligned}$$

Temperatura wody tłoczonej w rurociągu:

$$t_w = 8^\circ\text{C}$$

Wilgotność powietrza w hali:

$$X_{ot} = 34\%$$

Temperatura powietrza w hali:

$$t_{ot} = 28^\circ\text{C}$$

Natężenie przepływu wody:

$$\dot{m} = 8 \text{ m}^3/\text{h} \quad \text{tj.} \quad 2,2 \text{ kg/s}$$

Średnice rurociągu :

$$d_w = 0,110 \text{ m} \text{ i } d_z = 0,118 \text{ m}$$

Wyznaczenie punktu rosy z wykresu i, X dla omawianego przypadku: $X_{ot} = 34\%$, $t_{ot} = 28^\circ\text{C}$, $p = 0,1 \text{ MPa}$

Temperatura punktu rosy wyniesie: $t_r = 24^\circ\text{C}$

Określenie strumienia ciepła dla jednostkowej długości rurociągu (1 m)

$$Q_{L=1} = C_w (t_1 - t_{L=1}) \text{ [kW/m]} \quad (4)$$

$$Q_{L=1} = 2,2 \times 4,19 \times 0,2 = 0,6 \text{ kW/m}$$

oraz dla przypadku całego rurociągu:

$$Q_L = \frac{t_R - t_w}{\frac{1}{2\pi \cdot 15} \ln \frac{d_w}{d_z} + \frac{1}{2\pi \cdot 15 \lambda_{B5871}} \ln \frac{d_z + 2\delta_{kr}}{d_z}} \quad (5)$$

$$\lambda_r = 15, \quad \lambda_{B5871} = 0,1$$

Wyznaczenie granicznej grubości warstwy dla powłoki **BELZONA®5871** powyżej której nie nastąpi kondensacja wilgoci na powierzchni powłoki:

$$e^{0,017118} - 1 = 16,95 \delta_{kr}$$

$$Q_L = \frac{24 - 8}{\frac{1}{2\pi \cdot 15} \ln \frac{0,118}{0,110} + \frac{1}{2\pi \cdot 0,1} \ln \frac{0,118 + 2\delta_{kr}}{0,118}}$$

$$0,6 = \frac{16}{0,74 + 1516,5 \ln (1 + 16,95 \delta_{kr})}$$

$\delta_{kr} = 0,0010017 \text{ m}$ Dla rozważanego przypadku powłoka kompozytowa **BELZONA®5871** zablokuje zjawisko kondensacji i jej powierzchnia pozostanie sucha, gdy grubość zastosowanej warstwy będzie spełniać warunek:

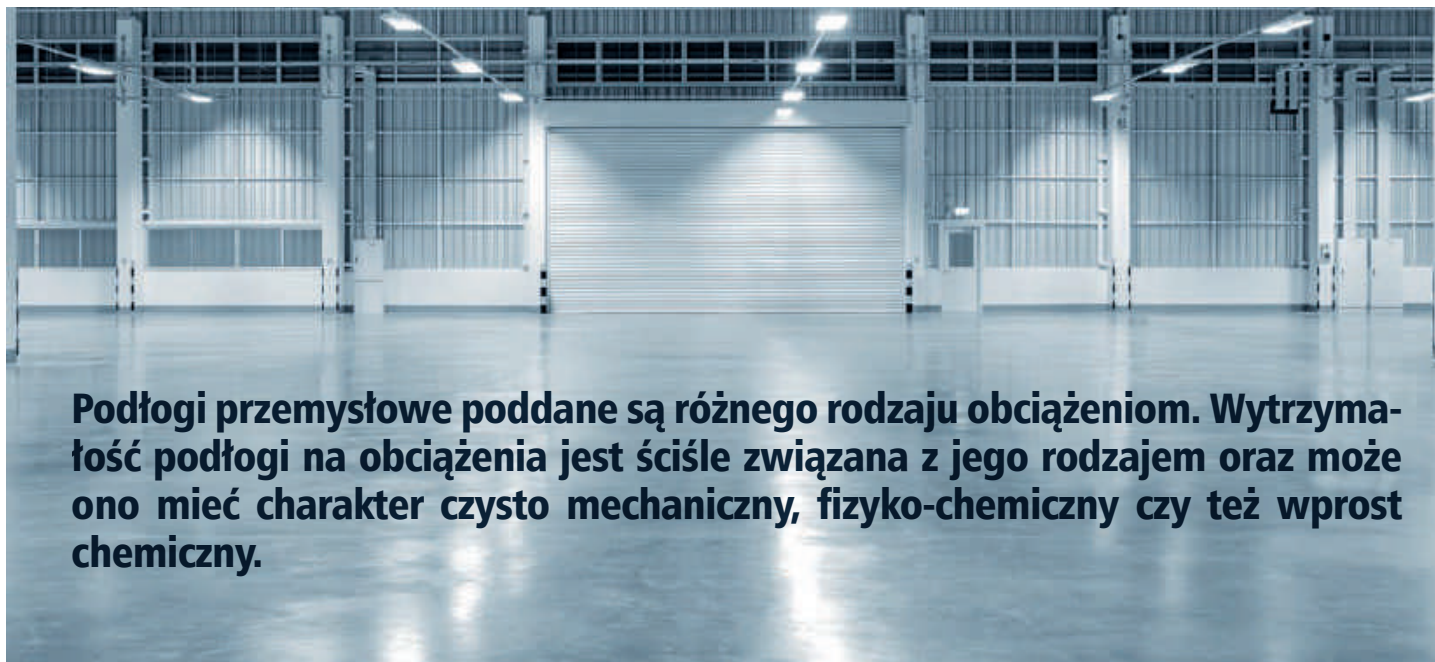
$$\delta_{B5871} \geq \delta_{kr} \geq 1,0017 \text{ mm}$$

Zaleca się zatem zastosowanie warstwy grubości 1 mm co przy aplikacji powłoki **BELZONA®5871**, która dodatkowo ekspanduje do nominalnej grubości 3 mm, zapewnia nam duże bezpieczeństwo związane z brakiem kondensacji na powierzchni („pocenia się”) rurociągu. Zatem nawet przy dużych wahaniami wilgotności powietrza kondensacja nie nastąpi.

Podobnie można rozważyć przypadek ochrony powierzchni przed ryzykiem powstawania szronu. Przeprowadzono test na stanowisku pomiarowym złożonego z odcinka stalowego rurociągu, w którym przepływa czynnik o temperaturze -8°C . W normalnych warunkach przy średniej wilgotności powietrza ok 40%, na powierzchni rur powstaje warstwa szronu, która narasta wraz z upływem czasu próby. Nałożono na powierzchnie rur warstwę powłoki **BELZONA®5871** i zmierzono jej temperaturę po aplikacji dla trzech przypadków:

- 1 warstwa **BELZONA®5871**
 - a. temperatura powierzchni wyniosła 2°C
 - b. mokra powierzchnia, brak szronu
- 2 warstwy **BELZONA®5871**
 - a. temperatura powierzchni wyniosła 7°C
 - b. minimalnie mokra powierzchnia, brak szronu
- 3 warstwy **BELZONA®5871**
 - a. temperatura powierzchni wyniosła 15°C
 - b. idealnie sucha powierzchnia, brak szronu

Naprawa i wzmocnienie podłogi przemysłowej



Podłogi przemysłowe poddane są różnego rodzaju obciążeniom. Wytrzymałość podłogi na obciążenia jest ściśle związana z jego rodzajem oraz może ono mieć charakter czysto mechaniczny, fizyko-chemiczny czy też wprost chemiczny.

Mechaniczne oddziaływanie na podłogę może mieć charakter skupiony lub powierzchniowy pochodzący od ciężkich maszyn-które mogą także znacząco obciążać podłoże dynamicznie - składowanych towarów i przemieszczających się obiektów, pojazdów czy ruchu pieszych.

Każda podłoga przemysłowa składa się z odrębnie zaprojektowanych, lecz ściśle ze sobą współpracujących warstw: gruntu, podbudowy, warstwy poślizgowej i płyty betonowej z odpowiednio dobraną warstwą eksploatacyjną (WW warstwa wierzchnia).

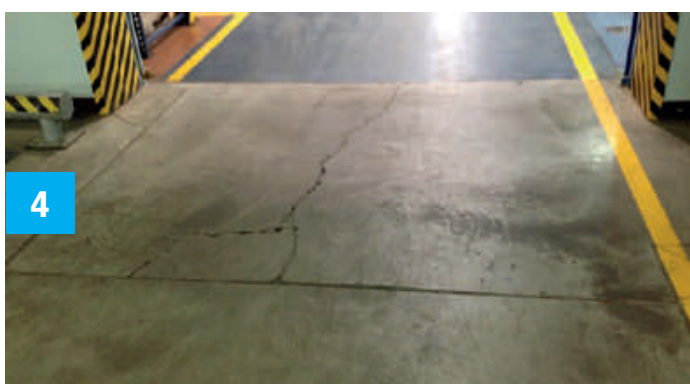
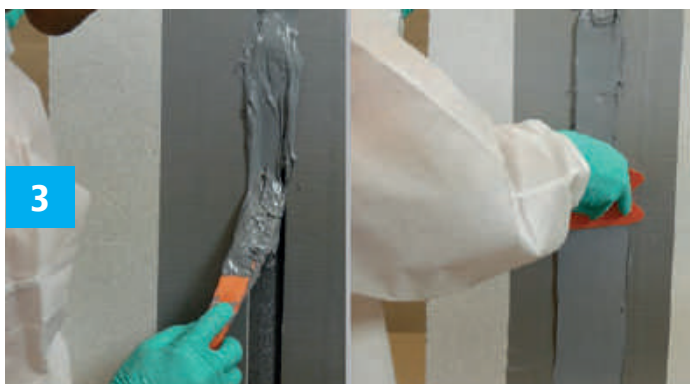
Każda z wcześniej wymienionych warstw musi spełniać konkretne zadanie a także wywiera wpływ na pozostałe warstwy (np. płyta nośna musi przenosić duże obciążenia stałe i dynamiczne). Jednakże, jeśli rozpatrujemy wytrzymałość podłogi na agresję chemiczną, to kluczowe znaczenie ma warstwa wierzchnia, potocznie zwana posadzką.

Poniższe opracowanie ma na celu przedstawienie kilku sposobów wykonania trwałych, szczelnych powierzchni podłóg przemysłowych. Jednym z szczególnych rodzajów obciążeń płyty betonowej są naprężenia własne betonu. Powstają one na skurczu jaki występuje podczas utwardzania betonu (hydratacji). Skurcz ten, jest traktowany w zasadzie jako odkształcenie betonu powstające pod wpływem naprężeń wewnętrznych i narastające w czasie bez udziału obciążeń zewnętrznych oraz bez zmiany temperatury. Proces ten jest długotrwały m.in. z powodu długiego wysychania-utraty

wody z wnętrza betonu. Przy typowych grubościach konstrukcji betonowych zjawisko skurczu może być obecne w betonie nawet 3 lata! Rozróżnia się dwa rodzaje skurczu: powodowany wysychaniem (skurcz fizyczny) oraz skurcz autogeniczny (samoczynny, plastyczny). Skurcz autogeniczny spowodowany jest utratą wody, która wchodzi w reakcję z cementem (skurcz chemiczny) oraz wyparowaniem wody z zewnętrznych warstw zaczynu. Skurcz betonu może mieć charakter równomierny lub nierównomierny. Nierównomierny powstaje w wyniku bardziej intensywnego wysychania górnej powierzchni płyty betonowej w stosunku do wysychania jej wnętrza co prowadzi często do podnoszenia się narożników a co za tym idzie - wyginania płyty. Zjawisko to jest pierwotną przyczyną wielu uszkodzeń posadzki, zwłaszcza w narożnikach płyty betonowej, gdzie dochodzi do wyłamań lub uszkodzeń (fot.1. i fot.2). Skurcz równomierny jest z kolei powodem skracania się płyty posadzki. Prowadzi to w konsekwencji do zwiększenia się szerokości szczelin dylatacyjnych.

W tym miejscu trzeba zwrócić uwagę na fakt, że szczeliny dylatacyjne są ciągle „żywe” nie tylko z powodu skurczu, ale i obciążeń zewnętrznych oraz wpływu temperatury. Wymagają one bardzo dobrych materiałów wypełniających w celu zapewnienia szczelności. Co za tym idzie, materiał do wypełnień powinien być bardzo elastyczny a także posiadać bardzo dobrą przyczepność do powierzchni krawędzi szczeliny dylatacyjnej. Spośród dużej ilości mas stosowanych w budownictwie warto zwrócić uwagę na





elastyczny kompozyt polimerowy (wydłużalność 260%!)

BELZONA®4511 (fot. 3). Produkt ten osiąga przyczepność do betonu, stali czy aluminium na tak wysokim poziomie, że podczas próby odrywania, uszkodzenie powstaje wewnątrz elastomeru a nie na styku z powierzchnią! Zmienność oddziaływań, które zachodzą na podłogi przemysłowe (skurcz, temperatura, obciążenia dynamiczne) powoduje, że strukturze betonu (w tym w płycie betonowej) powstają zarysowania lub niewidoczne spękania. Pęknięcia oraz mikropęknięcia (rysy) poddane ciągłym obciążeniom rozwijają się w strukturze betonu (propagują) łączą się tworząc swego rodzaju sieć, część z nich w końcu ukazuje się na powierzchni płyty co można zaobserwować jako bardzo charakterystyczną dla posadzek strukturę spękań nieregularnych, z pozoru bezładnych określanych również jako spękania klastrowe, a zgodnie z zasadami samoorganizacji powstała struktura wykazuje charakter fraktalny. Finalnym skutkiem propagacji zarysowań, mikropęknięć w betonie jest powstanie bardzo niekorzystnych wręcz uniemożliwiających dalszą eksploatację podłogi tzw. Makropęknięć dobrze widocznych „gołym okiem” (fot. 4 i fot. 5) Podłogi przemysłowe są projektowane tak, aby beton użyty do ich budowy był materiałem sprężystym, a oddziaływania zewnętrzne (obciążenie mechaniczne, temperatura, środowisko), jak i wewnętrzne nie wywołały naprężeń przekraczających wytrzymałość na jego rozciąganie i nie wywołały zarysowania w przekroju. Niestety, w praktyce do zarysowań dochodzi bardzo często. Wówczas beton nie przenosi naprężeń rozciągających i w tym kierunku obciążenia przestaje być materiałem sprężystym. Bardzo często jest tak, że w trakcie użytkowania podłogi wykracza się poza czynniki ustalone na etapie projektowania np. incydentalne wprowadzenie pojazdów ciężkich lub gwałtowne manewry pojazdów kołowych, które przeciążają powierzchnię podłogi. Z tego powodu stan odkształceń i naprężeń może przekroczyć te dopuszczalne, co jest bezpośrednią przyczyną powstania spękań i innych uszkodzeń struktury betonu. Obciążenia dynamiczne podłogi wywoływane przejazdami pojazdów kołowych (wózki widłowe itp.) mogą chwilowo osiągać bardzo wysokie wartości nacisku, zwłaszcza w strefie jej warstwy wierzchniej płyty betonowej. Pojazdy wywołują nacisk, który co do wartości jest równy ciśnieniu jakie występuje w oponie pojazdu (max. 1MPa) natomiast w przypadku opon pełnych, naciski przyjmują znacznie większą wartość - średnio na poziomie 4MPa. Choć oba typy opon przenoszą takie same obciążenia, to jednak ze względu na różne powierzchnie styku opony z płytą podłogi wywołują zupełnie różne naciski na jej powierzchnię! Im bardziej wykonanie kół jest specjalne np. z tworzyw, takich jak PU (poliuretan) PP itp. tym wyższe naciski na powierzchnię i w przypadku wymienionych materiałów osiągają one wartość do 7MPa a zdarza się nawet nacisk na poziomie 20MPa!

W takim przypadku należy wzmocnić warstwę wierzchnią podłogi, w tym naroża szczelin dylatacyjnych. Rozwiązanie tej kwestii może zapewnić warstwa kompozytowa **BELZONA®4111** Magma Quartz, która znacząco zwiększa wytrzymałość powierzchni posadzki tj. do poziomu ponad 100 MPa. Taka wytrzymałość pozwala nawet na bezpieczne przejazdy pojazdów z małymi kołami stalowymi (paleciaki,



wózki samojezdne AGV itp.). Warstwa kompozytowa **BELZONA®4111** jest także odporna na wycieranie a dzięki wysokiej przyczepności do podłoża betonowego zapewnia stabilną pracę podłogi oraz właściwy transfer sił wywołanych obciążeniem zewnętrznym i odkształceniami płyty.

Biorąc pod uwagę strukturę obciążeń, zmienność warunków środowiskowych oraz innych możliwych oddziaływań na powierzchnię w części opisanych w tym opracowaniu, to widać, że podłogi przemysłowe możemy zakwalifikować do najbardziej narażonych na uszkodzenia obiektów budownictwa przemysłowego. Jeśli np. podłoga zaprojektowana jest z uwzględnieniem wszystkich możliwych obciążeń statycznych jest w stanie bezpiecznie (bez ryzyka uszkodzenia) przenosić wymienione obciążenia to już z pozoru drobna zmiana layout 'u lub postawienie ściany w innym miejscu może znacząco wpłynąć na zmianę wartości momentów sił działających na płytę betonową, a w przypadku przekroczenia wartości dopuszczalnych dochodzi do uszkodzeń. W przypadku np. obciążeń punktowych pochodzących od regałów, przy powierzchni kontaktu nogi regału 400 cm²(stopa 20x20 cm) nacisk na beton wynosi ponad 6 MPa! Takie obciążenia wywołują duże momenty zginające w płycie. W wypadku, gdy



dojdzie do przeciążenia regału lub zmiany jego położenia, to przy tak znacznych obciążeniach konieczne będzie zmniejszenie jego ciężaru, lub zmiany parametrów płyty nośnej – zwiększenie grubości płyty lub przyjęcie lepszej klasy betonu. To jednak wymaga uwzględnienia na etapie projektowania podłogi. Wzmocnienie płyty zwłaszcza w strefie kontaktu z podporami, nogami, ramami stalowymi jest jednak możliwe w sytuacji, gdy podłoga jest już wykonana i z jakiegoś powodu trzeba dokonać np. zmiany ustawień obiektów. W takim wypadku zalecane jest zastosowanie warstwy o znacząco wyższej wytrzymałości w stosunku do warstwy

wierzchniej (fot. 6). Opisany już wcześniej kompozyt polimerowy **BELZONA®4111** pozwala na szybkie wzmocnienie powierzchni posadzki. Kompozyt **BELZONA®4111** osiąga pełną wytrzymałość mechaniczną już po 24 godz. od zakończenia aplikacji i co bardzo ważne według badań przeprowadzonych w oparciu o normę ASTM C157 materiał nie wykazuje mierzalnego skurczu chemicznego podczas utwardzania (fot. 7 i fot. 8).

Podstawową kwestią jest to czy materiał użyty do wykonania wzmocnienia osiągnie właściwą przyczepność do betonu? i czy, jak to często się dzieje, nie dojdzie do odrywania się warstwy wzmacniającej. Konieczne jest zatem sprawdzenie jakie są naprężenia w warstwie kontaktowej materiał naprawczy/płyta betonowa. Na wartość tych naprężeń mają wpływ zmienne warunki obciążenia (temperatura, wilgotność, obciążenie mechaniczne w tym skurcz). Rozpatrzmy stan naprężenia układu beton / kompozyt **BELZONA®4111**. Naprężenia w kompozycie w strefie jego styku z podłożem będzie zależało od następujących czynników:

- odkształcenia betonu oraz kompozytu pod wpływem zmiennego nacisku mechanicznego
- odkształcenia betonu oraz kompozytu pod wpływem zmiennej temperatury
- skurczu utwardzania kompozytu
- nasiąkliwości kompozytu
- przyczepności kompozytu **BELZONA®4111** do powierzchni betonu
- grubości warstwy

Określenie naprężeń:

Naprężenie całkowite w warstwie kompozytu:

$$\sigma_{\text{tot}} = \sigma^V \pm \sigma^T \pm \sigma^H \quad (1.1)$$

gdzie:

σ^V – naprężenia wywołane zmianą objętości kompozytu

σ^T – naprężenia wywołane zmianą temperatury

σ^H – naprężenia wywołane nasiąkliwością kompozytu

Założenia:

- Ze względu na stosunkowo cienką warstwę kompozytu w stosunku do grubości betonu naprawianego przyjmujemy płaski stan naprężenia.
- Ze względu na bardzo niską nasiąkliwość kompozytu **BELZONA®4111** przyjmujemy $\sigma^H = 0$.

$$\sigma^V = \frac{E}{1-\nu} \cdot \frac{\Delta V}{3V} \quad (1.2)$$

$$\sigma^T = \int_{T_1}^{T_2} \frac{E}{1-\nu} (\alpha_K - \alpha_{st}) dT \cong \frac{E}{1-\nu} (\alpha_K - \alpha_{st}) \Delta T \quad (1.3)$$

gdzie:

σ^V – naprężenia wywołane zmianą objętości kompozytu

σ^T – naprężenia wywołane zmianą temperatury

σ^H – naprężenia wywołane nasiąkliwością kompozytu

Zatem uwzględniając skurcz utwardzania oraz zmiany temperatury możemy wyznaczyć naprężenia ogólne w warstwie kompozytu, których wartość nie może przekroczyć naprężeń dopuszczalnych na rozciąganie betonu oraz wartości przyczepności warstwy kompozytu.

Dla płaskiego stanu naprężenia wprowadzając ϵ_c (odkształcenie wywołane skurczem) upraszczając wzory 1.2 ,1.3 otrzymamy :

$$\sigma_{tot} = E [\epsilon_c + (\alpha_k - \alpha_{st})\Delta T] \quad (1.4)$$

podstawiając do wzoru (1.4) odpowiednie wartości dla kompozytu **BELZONA®4111**

tzn.:

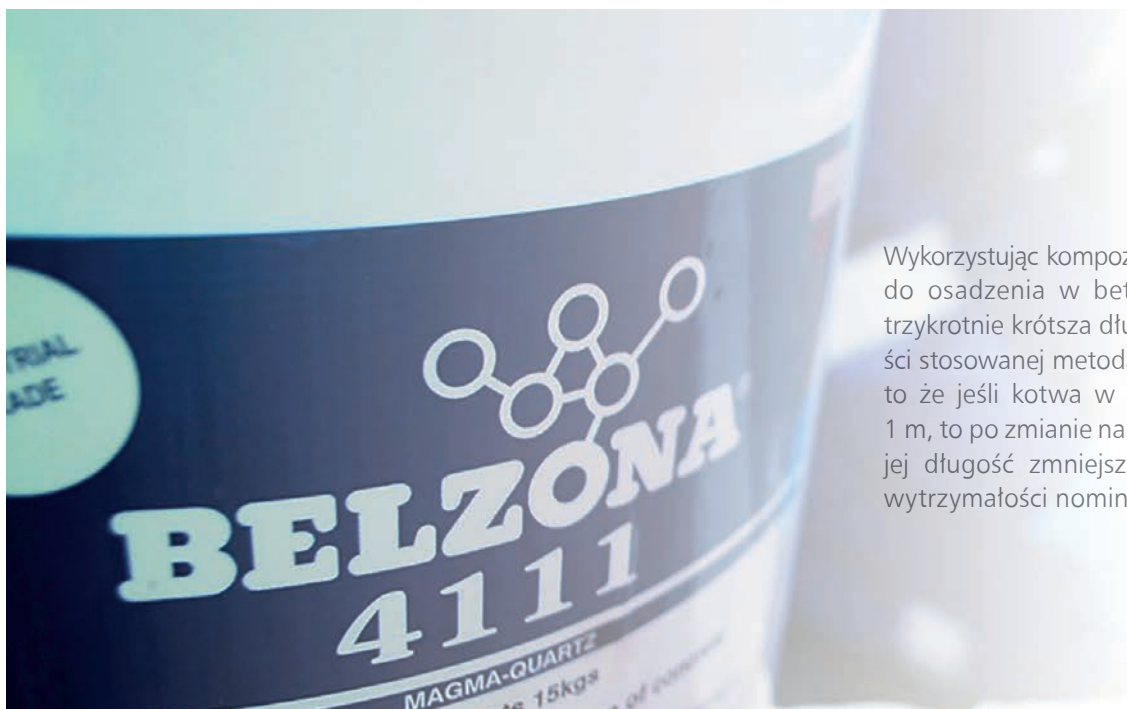
$\epsilon_c=0$, $\alpha_k=2 \times 10^{-5} K^{-1}$, $\alpha_b=1,4 \times 10^{-5} K^{-1}$, $E_{4111} = 1,16 \times 10^3$ MPa oraz wzrost temperatury o 20°C (ogrzewanie lub ochładzanie powierzchni podłogi) wówczas otrzymamy następujący poziom naprężeń w styku:

$$\sigma_{tot}=0,14 \text{ MPa}, < \sigma_{adhezji}=8,8 \text{ MPa} < \sigma_r=1,6 \text{ MPa}$$

a ponieważ wytrzymałość betonu w kierunku rozciągania (najsłabsza) przekracza często wartości naprężeń powyżej 1,6 MPa to można mieć pewność, że nałożony na jego powierzchnię kompozyt nie spowoduje zniszczenia betonu na skutek różnych rozszerzalności termicznych ani też nie oderwie się od betonu, ponieważ przyczepność kompozytu **BELZONA®4111** przekracza wartość wytrzymałości wewnętrznej betonu.



Czy wiecie że...



Wykorzystując kompozyt **Belzona®4111 Magma Quartz** do osadzenia w betonie kotwy stalowej, wystarczy trzykrotnie krótsza długość kotwy w stosunku do długości stosowanej metodą tradycyjnego kotwienia. Oznacza to że jeśli kotwa w metodzie tradycyjnej ma długość 1 m, to po zmianie na wypełnienie kompozytem Belzona jej długość zmniejszy się do 0,3 m z zachowaniem wytrzymałości nominalnej zakotwienia!



W następnym numerze:

► Ochrona powierzchni przeciw erozji i intensywnemu wycieraniu



Zapisz się!

Zapisz się i nie strać szansy na dostęp do szerokiej **BAZY WIEDZY BELSE**, sprawdź jak wiele możesz zyskać.
Aby otrzymać kolejny numer w wersji papierowej, wyślij dane do wysyłki na adres **biuro@belse.com.pl**
Aby otrzymać **eKOMPAS** w wersji elektronicznej zapisz się do newslettera na **www.belse.com.pl**

KOMPAS

BELSE Spółka z o.o.
ul. Szyprów 17, 43-382 Bielsko-Biała
Tel. 33 810 07 18, fax 33 818 46 79



www.belse.com.pl