

## Korzyści techniczne płynące z zastosowania Murfor +





## Streszczenie

Murfor + to nowa generacja zbrojeń konstrukcji murowych wprowadzona przez Bekaert, powstała w oparciu o wieloletnią tradycję jakości i innowacyjności. Zastosowanie Murfor + wiąże się ze znacznymi korzyściami dla projektantów/inżynierów oraz dla wykonawców/montażystów.

Murfor + jest lepszym, szybszym i mocniejszym zbrojeniem konstrukcji murowych w porównaniu do tradycyjnych zbrojeń Murfor i porównywalnych produktów, dzięki prefabrykowanemu elementowi dystansowemu w pręcie ukośnym oraz żebrowanym prętom podłużnym. Element diagonalny w pręcie ukośnym gwarantuje łatwiejsze i prawidłowe umieszczanie elementów. Żebrowane pręty podłużne umożliwiają lepsze wiązanie z tradycyjną zaprawą murarską, skuteczniejszą kontrolę spękań oraz mniejsze spękania. Murfor + jest gwarancją maksymalnej efektywności zbrojenia.

## Symbole i skróty

$M_{Rd}$	projektowana wartość nośności przy zginaniu
$A_s$	powierzchnia przekroju poprzecznego zbrojenia stalowego
$f_{yd}$	projektowana granica plastyczności stali zbrojenia, gdzie $f_{yd} = f_{yk}/\gamma_s$
$f_{yk}$	wartość charakterystyczna granicy plastyczności stali
$\gamma_s$	częściowy współczynnik bezpieczeństwa dla stali zbrojenia
$z$	ramię działania
$\sigma$	wytrzymałość na naprężenia
$\sigma_s$	wytrzymałość stali na naprężenia
$\sigma_{mur}$	wytrzymałość konstrukcji murowej na naprężenia
$\epsilon$	wytrzymałość na odkształcenia
$E$	Moduł Younga
$E_s$	Moduł Younga dla stali
$E_{mur}$	Moduł Younga dla konstrukcji murowych
$w$	szerokość spękania
$L_a$	rozpiętość zakotwienia
$L_t$	rozpiętość przekazania
BJR	zbrojenie spoiny wspornej



## Spis treści

<b>1 Murfor + to lepsze rozwiązanie.....</b>	<b>4</b>
1.1 Murfor + posiada elementy dystansowe w prętach ukośnych .....	4
1.2 Murfor + posiada żebrowane pręty podłużne .....	7
<b>2 Murfor + to szybsze rozwiązanie .....</b>	<b>8</b>
<b>3 Murfor + to bardziej wytrzymałe rozwiązanie .....</b>	<b>9</b>
3.1 Murfor + umożliwia zastosowanie wyższej wytrzymałości na rozciąganie w obliczeniach projektowych bez zwiększania rozpiętości zakotwienia.....	9
3.2 Murfor + ułatwia kontrolę szerokości spękań .....	11
<b>4 Wnioski .....</b>	<b>12</b>



## 1 Murfor + to lepsze rozwiązanie

Nowa norma EN 1996-1-1 ustanawia reguły projektowania zbrojonych konstrukcji murowych. Dla zadanego obciążenia projektowanego, projektant oblicza wymaganą rozpiętość elementu stalowego o odpowiedniej wytrzymałości na to obciążenie. W tym celu, jako wartość wejściową, stosuje parametr **granicy plastyczności stali** zbrojenia. Im wyższa granica plastyczności, tym krótszy element stalowy o tej samej **projektowanej nośności przy zginaniu**.

$$M_{Rd} = A_s \times f_{yd} \times z = A_s \times (f_{yk} / \gamma_s) \times z$$

### Wzór 1: Projektowana nośność przy zginaniu zgodnie z normą EN 1996-1-1

Poprawne wykonanie obliczeń ma kluczowe znaczenie dla prawidłowego dobrania projektowanych wartości do pracy zbrojenia w praktyce.

Pomimo szczegółowego opisu zawartego w instrukcji montażu, w przypadku tradycyjnych zbrojeń Murfor nie zawsze udaje się uzyskać poprawność umieszczenia elementu zbrojenia w zaprawie. Zgodnie z instrukcją montażu, murarz powinien w pierwszej kolejności rozprowadzić długą warstwę zaprawy, tj. o tej samej rozpiętości, co rozpiętość zbrojenia Murfor, wynoszącej standardowo 305 cm. Następnie, zbrojenie Murfor należy docisnąć do zaprawy. W praktyce jednak wielu murarzy układa zbrojenia spoin wspornych bezpośrednio na ceglach, a następnie rozprowadza zaprawę po wierzchu. Powoduje to **brak warstwy zaprawy** pod prętami zbrojeniowymi.

W związku z powyższym, uwzględniona przez projektanta **przyczepność do zaprawy** często nie ma zastosowania z powodu **niedostatecznego zatopienia** zbrojenia Murfor w zaprawie. Zatem, pomimo dostatecznych parametrów elementu stalowego oraz granicy plastyczności stali, projektowana wartość nośności przy zginaniu nie zostanie uzyskana. Przy wyższych obciążeniach, element utraci przyczepność z zaprawą przed osiągnięciem projektowanej granicy plastyczności i zostanie po prostu **wyrwany**, co spowoduje uszkodzenie struktury ściany.

### 1.1 Murfor + posiada elementy dystansowe w prętach ukośnych

Nowe zbrojenia Murfor + gwarantują ich **prawidłowe i proste umieszczenie** w zaprawie przez zbrojarzy dzięki elementom dystansowym w prętach ukośnych umożliwiającym poprawne i łatwe zatopienie zbrojenia. Stosując Murfor + zbrojarz może umieścić zbrojenie bezpośrednio na ceglach, a następnie nałożyć zaprawę po wierzchu. Element dystansowy umożliwia swobodny przepływ zaprawy pomiędzy prętami zbrojenia, co gwarantuje perfekcyjne zakotwienie. Minimalną wysokość elementu dystansowego ustalono w drodze badań praktycznych w czasie wznoszenia konstrukcji murowych, będących gwarantem skuteczności rozwiązania. Pracę elementu dystansowego oceniono w drodze badań przyczepności do zaprawy oraz wytrzymałości na ściskanie pionowe.

Murfor + z elementami dystansowymi daje projektantowi **pewność właściwego wykonania**. Idealne umieszczenie zbrojenia w zaprawie gwarantuje zakotwienie niezbędne do zapewnienia wiarygodności projektu architektonicznego lub inżynierskiego.



## Próby przyczepności do zaprawy

W Centrum Technologicznym Beakert w Deerlijk, Belgia, przeprowadzono badanie polegające na umieszczeniu zbrojenia a spoinie wspornej niewielkiej ściany murowej o długości 244 mm. W próbach rozciągania zgodnie z normą EN-846-2, zbrojenie poddano rozciąganiu w celu określenia przyczepności do zaprawy. Jedna partia ścian została wzmocniona za pomocą zbrojeń spoin wspornych umieszczonych bezpośrednio na ceglach, bez warstwy zaprawy. Zaprawę rozprowadzono jedynie po wierzchu. Druga partia ścian została wzmocniona tymi samymi zbrojeniami spoin wspornych umieszczonych bezpośrednio na ceglach, ale posiadających elementy dystansowe w pręcie ukośnym.

Przyczepność do zaprawy okazała się o 16% wyższa dla drugiej partii. Ponieważ elementy dystansowe zapewniają odstęp pomiędzy zbrojeniem, a ceglami, zaprawa może swobodnie przepływać pod prętami, zapewniając pełne zatopienie zbrojenia w zaprawie.



Rys. 1: Ułożenie dolnej warstwy pustaków



Rys. 2: Umieszczenie zbrojenia spoin wspornych bezpośrednio na pustakach



Rys. 3: Rozprowadzenie warstwy zaprawy z wierzchu



Rys. 4: Ułożenie kolejnej warstwy pustaków



Rys. 5: Przygotowanie próby



## Próby przeprowadzone na ścianach murowych w KU Leuven

W Laboratorium Reyntjens Uniwersytetu w Leuven, przeprowadzono próby oceniające pracę elementu dystansowego. Pustaki ceramiczne drążone pionowo o wymiarach 290 x 140 x 140 zostały wykorzystane do budowy 9 ścianek o wymiarach 600 x 140 x 1000 mm<sup>3</sup>. Partię 3 ścian pozostawiono bez zbrojenia, drugą serię wzmocniono zbrojeniem spoin wspornych umieszczonym bezpośrednio na każdej warstwie pustaków, natomiast ostatnią serię wzmocniono zbrojeniem spoin wspornych z elementem dystansowym w przecie ukośnym. Ścianki zostały poddane obciążeniu pionowemu zadawanemu do momentu uszkodzenia ściany.



Rys. 6 Ścianki murowe w maszynie testowej

Wytrzymałość ścianki na ściskanie [kN]			
	Ściana niezbrojona	Ściana zbrojona BJR	Ściana zbrojona BJR z elementem dystansowym
$F_{\text{średnia}}$	389,7	416,0	474,4
$\sigma$	52,5	68,2	30,6
$F_{\text{charakterystyczna}}$	324,7	346,7	395,3

Tabela 1. Wyniki próby wytrzymałości na ściskanie pionowe

Wyniki przedstawione w Tabeli 1 pokazują wzrost wytrzymałości na ściskanie ścianki o 7% dla serii wzmocnionej zbrojeniem spoiny wspornej ułożonej bezpośrednio na pustakach. Jest to wartość o wiele niższa w porównaniu do 22% wzrostu w serii wzmocnionej zbrojeniem spoiny wspornej z elementem dystansowym w prętach skośnych.

Pomimo przeprowadzenia prób w jednym ułożeniu pustaków i zaprawy i wynikłej z tego niemożności generalizacji wyników dla wszystkich przypadków, w oparciu o badania można stwierdzić, że prawidłowe umieszczenie ma korzystny wpływ na pracę zbrojenia spoin wspornych.



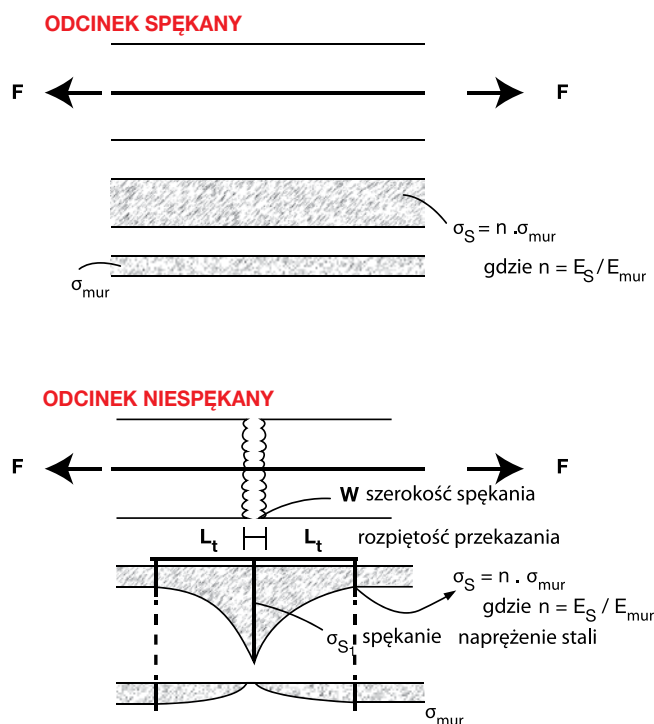
## 1.2 Murfor + posiada żebrowane pręty podłużne

Kolejnym udogodnieniem w projekcie nowego zbrojenia Murfor + poza elementem dystansowym w przecie ukośnym jest żebrowanie prętów podłużnych.

Rozwiązanie to niesie ze sobą dwójakie korzyści. Przede wszystkim, żebrowanie prętów zbrojenia Murfor + zapewnia ponad dwukrotnie większą przyczepność niż w przypadku gładkich prętów okrągłych wykorzystywanych w tradycyjnych zbrojeniach Murfor +, z zastrzeżeniem całkowitego zatopienia zbrojenia w spoinie wspornej, tak jak w przypadku zbrojenia Murfor + z zintegrowanym elementem dystansowym. Powszechnie wiadomo, że powierzchnia żebrowana jest o wiele mniej skuteczna w przypadku niepełnego zatopienia prętów w zaprawie. Po drugie, w przypadku tych samych obciążeń ścianek murowanych, lepsza przyczepność zbrojenia Murfor + prowadzi także to lepszej kontroli spękań i mniejszych spękań.

W przypadku spękania, zbrojenie stalowe wytrzymuje całość obciążenia. Szerokość spękania można zdefiniować jako odkształcenie zbrojenia na całej rozpiętości przekazania po obu stronach spękania. Rozpiętość przekazania oznacza w tym przypadku długość pręta – pomierzonego od spękania – przez który naprężenia efektywne są przekazywane na zaprawę.

Im wyższa przyczepność do zaprawy, tym krótsza rozpiętość przekazania i tym mniejsza szerokość spękania dla tego samego naprężenia. Czyni to Murfor + idealnym produktem dla kontroli spękań i zwiększenia wytrzymałości konstrukcji murowych.



Rys. 7: Naprężenie w przecie stalowym oraz konstrukcji murowej w przypadku obecności i braku spękania



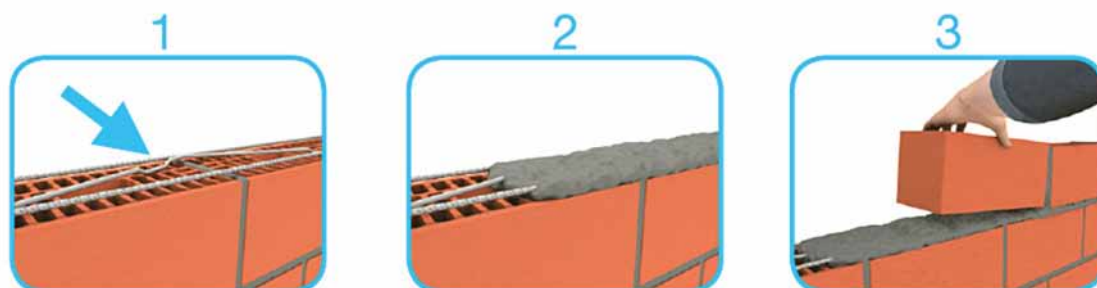
## 2 Murfor + to szybsze rozwiązanie

Aby zapewnić prawidłowe ułożenie tradycyjnych zbrojeń Murfor oraz dostateczną ilość zaprawy po wszystkich stronach prętów zbrojenia, wykonawca musiałby najpierw położyć długą warstwę zaprawy, a następnie docisnąć zbrojenie Murfor do zaprawy. Ponadto, wy poziomowanie zaprawy wymagało często położenia jej drugiej warstwy. Wszystkie te czynności są czasochłonne. Zatapianie elementów w zaprawie jest nie zawsze praktycznym rozwiązaniem z powodu szybkości wysychania.

W przeciwieństwie do tradycyjnych zbrojeń, Murfor + można po prostu umieścić bezpośrednio na konstrukcji murewej ('bezpośrednio na cegłach'), tak jak przedstawiono w kroku 1 rys. 8. Wystarczy położyć jedną warstwę zaprawy (krok 2), ponieważ inteligentne elementy dystansowe umożliwiają przepływ zaprawy pod pręty podłużne. Następnie, murarz może położyć kolejną warstwę pustaków lub cegieł w prawidłowej pozycji.

Jak widać, Murfor + gwarantuje wykonawcom o wiele prostsze i szybsze prawidłowe układanie zbrojenia.

Elementy dystansowe są elementami prefabrykowanymi umieszczanymi na prętach ukośnych. Nie można ich usunąć lub uszkodzić, zatem ich zastosowanie nie wiąże się z dodatkowymi czynnościami prowadzonymi przez wykonawcę.



Rys. 8. Prawidłowe ułożenie zbrojenia Murfor +





### 3 Murfor + to bardziej wytrzymałe rozwiązanie

Optymalne układanie zbrojenia Murfor + połączone z żebrowaniem prętów podłużnych gwarantuje maksymalną efektywność zbrojenia. Usprawnienia produktu zastosowane w rozwiązaniu Murfor + zwiększają jego skuteczność, a co za tym idzie - wytrzymałość - w porównaniu do tradycyjnych zbrojeń Murfor .

#### 3.1 Murfor + umożliwia zastosowanie wyższej wytrzymałości na rozciąganie w obliczeniach projektowych bez zwiększania rozpiętości zakotwienia

Udoskonalone, w porównaniu do tradycyjnych zbrojeń Murfor , zakotwienie Murfor + umożliwia projektowanie z wykorzystaniem wyższych wartości granicy plastyczności stali, nie powodując tym samym zwiększenia szerokości spękania.

Mimo że większość inżynierów stosuje w projektach standardową wartość charakterystyczną granicy plastyczności stali rzędu 500 N/mm<sup>2</sup>, wartości deklarowane przez producentów są często wyższe. Projektant mógłby zatem pokusić się o przyjęcie takiej wyższej wartości w obliczeniach, co jednak mogłoby okazać się niebezpieczne. Jak opisano powyżej, projektant musi uwzględnić zarówno granicę plastyczności stali i rozpiętość elementu stalowego, a także przyczepność do zaprawy. Oznacza to, że zastosowanie wyższej wartości granicy plastyczności stali w projekcie może spowodować nieuwzględnienie rozciągnięć występujących w praktyce. Wyższą granicę plastyczności stali można zastosować jedynie wtedy, gdy zapewniona jest wystarczająca przyczepność. W praktyce przekłada się to na żebrowanie pręta i zapewnienie prawidłowego osadzenia. Poniższy przykład pokazuje, że w przypadku tradycyjnych zbrojeń spoiny wspornej zastosowanie wyższej granicy plastyczności stali w projekcie jest niedopuszczalne z powodu przedwczesnego uszkodzenia konstrukcji na skutek rozciągania, ale dozwolone w przypadku zastosowania zakładu o długości 50 cm. Taka długość zakładu jest praktycznie niemożliwa.

Założono tradycyjne zbrojenie umieszczone w spoinach wspornych z dwoma podłużnymi, gładkimi prętami okrągłymi o średnicy 4 mm oraz właściwościach określonych w Tabeli 2. Wartość charakterystyczna granicy plastyczności stali jest o 20% wyższa od standardowej wartości 500 N/mm<sup>2</sup>.

# prętów		A	f <sub>yk</sub>	F <sub>yk</sub>	l <sub>a</sub>
-	mm	mm <sup>2</sup>	N/mm <sup>2</sup>	N	mm
2	4	25,1	600	15 080	500

Tabela 2. Właściwości tradycyjnych zbrojeń spoin wspornych

$$F_{yk} = A_s \times f_{yk}$$

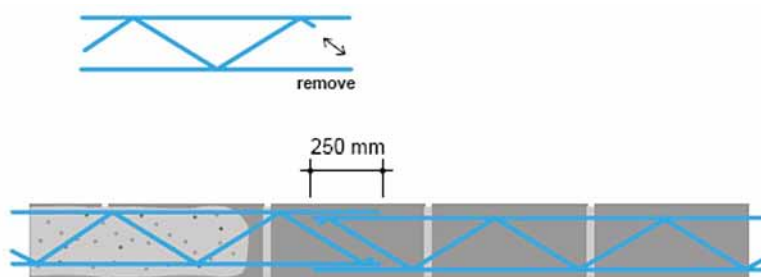
#### Wzór 2: Nośność stali zbrojenia

$$25,1 \text{ mm}^2 \times 600 \text{ N/mm}^2 = 15\,060 \text{ N}$$

Jak opisano powyżej, jeżeli projektant będzie prowadził obliczenia w oparciu o powyższą nośność, należy podać minimalną długość osadzenia - rozpiętość zakotwienia - pozwalającą utrzymać pełną skuteczność zbrojenia.



Aby przekazać obciążenia pomiędzy elementami prefabrykowanymi, należy je ułożyć na zakład. Ułożenie prawidłowego zakładu zdolnego do przekazania pełnych obciążeń, elementy muszą być ułożone obok siebie. Układanie ich jeden na drugim jest niedozwolone - w takim przypadku nie zostaną one w pełni zatopione w zaprawie, co przełoży się na obniżenie przyczepności.



**Rys. 9 Układanie na zakład**

W próbach rozciągania zgodnie z normą EN-846-2, wytrzymałość na rozciąganie elementów tradycyjnego zbrojenia spoiny wspornej osadzonych na długości 244 mm jest o wiele niższa od wartości 15 060 N. Oznacza to, że zakład wykonany z elementów ułożonych obok siebie na długości 250 mm jest nieodpowiedni. Przy obciążeniach wyższych od wytrzymałości na rozciąganie, element tradycyjny ulegnie wyrwaniu z zaprawy, prowadząc do nagłego i niebezpiecznego uszkodzenia konstrukcji murowej.

Ponieważ przyczepność wynika w dużej mierze z mechanicznego zakotwienia pręta ukośnego oraz połączeń zgrzewanych z prętem zbrojenia, zakład należy zwiększyć o długość kroku równą 244 mm. Efektem jest całkowita zalecana rozpiętość zakładu wynosząca 50 cm. W takiej sytuacji jednak umieszczenie elementów obok siebie staje się niemożliwe, a umieszczenie ich jeden na drugim ma negatywny wpływ na przyczepność.

W przypadku Murfor + sytuacja przedstawia się następująco. Murfor + składa się z prętów dwóch podłużnych o średnicy 3,65 mm i wartości charakterystycznej granicy plastyczności stali rzędu 600 N/mm<sup>2</sup>. Elementy dystansowe oraz żebrowanie zapewniają wystarczającą przyczepność do zaprawy i jednocześnie odpowiednią nośność.

# prętów		A	f <sub>yk</sub>	F <sub>yk</sub>	l <sub>a</sub>
-	mm	mm <sup>2</sup>	N/mm <sup>2</sup>	N	mm
2	3,65	20,9	600	12 560	250

**Tabela 2. Właściwości tradycyjnych zbrojeń spoin wspornych**

Nośność zbrojenia Murfor + wynosi zatem  $F_{yk} = A_s \times f_{yk} = 20,9 \text{ mm}^2 \times 600 \text{ N/mm}^2 = 12 560 \text{ N}$

W W próbach rozciągania zgodnie z normą EN-846-2, wytrzymałość na rozciąganie zbrojenia Murfor + osadzonego na długości 244 mm jest wyższa od wartości 12 560 N, stosowanej przez projektanta w obliczeniach. W związku z powyższym, standardowa rozpiętość zakotwienia rzędu 250 mm jest adekwatna dla Murfor +. Zastosowanie wartości 600 MPa w projekcie jest zatem uzasadnione.



### 3.2 Murfor + ułatwia kontrolę szerokości spękań

Zwiększenie w projekcie wytrzymałości na rozciąganie dla tradycyjnego zbrojenia spoiny wspornej oznaczałoby, oprócz niedopuszczalnie wysokiej rozpiętości zakładu i zakotwienia – patrz powyżej, również znaczne szerokości spękań.

Załóżmy zwiększenie wytrzymałości w projekcie do 600 MPa, bez ulepszenia zakotwienia i zapewnienia pełnego zatopienia:

Z prawa Hooke'a wiemy, że wyższe naprężenia przenoszone na stal powodują większe odkształcenia. Zależność ta ma charakter liniowy, ponieważ moduł Younga (E) jest właściwością materiału, a zatem dla stali jest wartością stałą.

$$\sigma_s = E_s \times \varepsilon_s$$

#### Wzór 3: Prawo Hooke'a

Wyższe odkształcenia na tej samej rozpiętości przekazania – przez którą naprężenie efektywne w stali jest przekazywane na zaprawę – będą prowadzić bezpośrednio do większych szerokości spękań. Zwiększenie naprężeń stali o 20% przełoży się bezpośrednio na 20% większą szerokość spękania.

$$w = 2 \times L_t \times \varepsilon_s = 2 \times L_t \times \sigma_s / E_s$$

#### Wzór 4: Szerokość spękania

Jednakże, ponieważ Murfor + gwarantuje prawidłowe ułożenie oraz lepsze zakotwienie dzięki prętom żebrowanym i elementowi dystansowemu, rozpiętość przekazania, w porównaniu do tradycyjnych zbrojeń Murfor, zostanie znacznie zmniejszona. Większe odkształcenia stali zostaną zatem w pełni skompensowane przez krótszą rozpiętość przekazania, co przekłada się na mniejszą szerokość spękań i zwiększenie wytrzymałości konstrukcji.



## 4 Wnioski

Połączenie idealnego ułożenia elementu oraz żebrowania prętów podłużnych gwarantuje natychmiastowe przekazanie obciążeń w konstrukcji murej na zbrojenie i uniknięcie ryzyka rozciągnięcia. Ponadto, większa przyczepność prowadzi do mniejszej szerokości spękań. Lepsza przyczepność dzięki żebrowaniom, bez zapewnienia prawidłowego osadzenia, nie ma większego sensu. Dlatego można założyć stwierdzenie, że element dystansujący i żebrowanie współpracują ze sobą.

W przypadku tradycyjnych zbrojeń spoin wspornych, zastosowanie wyższej wartości granicy plastyczności stali w projekcie prowadzi do niepraktycznych rozpiętości zakotwień - które często nie są realizowane - oraz o wiele szerszych spękań. Dzięki Murfor + projektant może zastosować taką wyższą wartość z pełną świadomością, nawet przy projektowaniu bardziej wytrzymałych konstrukcji.

## Specjalne podziękowania dla

- Vrij Technisch Instituut Kortrijk
- Laboratorium Reyntjens, KU Leuven

## Wyłączenie odpowiedzialności

Niniejszy dokument pozostaje wyłączną własnością NV Bekaert SA. NV Bekaert SA jest wyłącznym posiadaczem praw do składania wniosków patentowych do wszelkich podlegających objęciu patentem elementów opisanych w niniejszym dokumencie. NV Bekaert SA zrzeka się wszelkiej odpowiedzialności wynikającej z zastosowania informacji zawartych w niniejszym dokumencie, z zastrzeżeniem, że spółka nie ponosi odpowiedzialności za kontrolę tych informacji. Ponadto, spółka nie ponosi odpowiedzialności za wszelkie naruszenia praw własności przemysłowej, które mogą wyniknąć z zastosowania informacji zawartych w niniejszym dokumencie. Wszelkie informacje zawarte w niniejszym dokumencie zostały oparte o wiarygodne badania i należyłą selekcję, niemniej jednak nie gwarantują one osiągnięcia pożądanego wyniku.