

# Awarie więźb rozporowych w skutek błędnego połączenia krokwi z murlatą

TOMASZ SZCZESIAK\*, RAFAŁ ROSZCZYC

**SIMPSON**

Simpson Strong-Tie Sp. z o.o.

**Strong-Tie**

**Streszczenie:** Artykuł porusza zagadnienia związane z jednym z najczęściej spotykanych przypadków awarii dachów dwuspadowych o konstrukcji drewnianej. Wyjaśnia genezę problemu, zarówno od strony statyki układu konstrukcyjnego i generowanych przez ustrój reakcji na elementy podpierające, jak i problemu niewłaściwego kształtowania połączeń, niedostosowanego do oczekiwanych sił przekazywanych pomiędzy elementami. Przedstawia efekty zaniedbania zagadnienia oraz formę zniszczenia elementów konstrukcyjnych. Wskazuje możliwe rozwiązania problemu oraz kwestie, na które trzeba zwrócić uwagę przy doborze rozwiązań połączenia krokwi z murlatą oraz murlaty z wieńcem. Prezentuje prosty przykład obliczeniowy doboru połączenia na styku krokiew – murlata z wykorzystaniem rozwiązań systemowych.

Połączenie krokiew-murlata jest prawdopodobnie najważniejszym połączeniem całej więźby dachowej. To od poprawności zaprojektowania i wykonania tego połączenia zależy całe podparcie konstrukcji dachu. Awaryjne tego połączenia skutkujące rozbiórką całej więźby zdarzają się każdego roku. Warto zatem wskazać kilka dobrych praktyk w tym zakresie i uczulić na szczególnie ryzykowne rozwiązania.

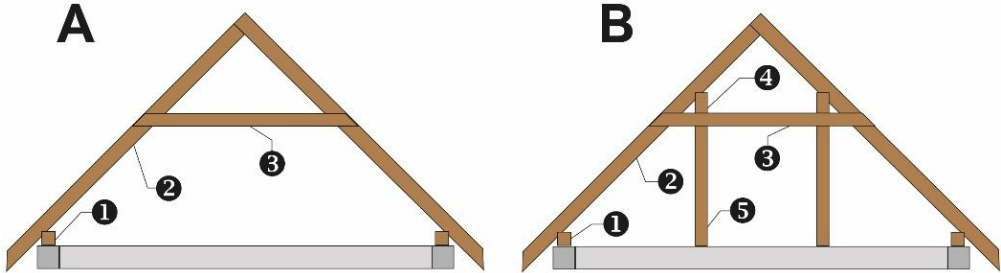
Podjmując temat połączenia krokwi z murlatą, warto w pierwszej kolejności zidentyfikować typ więźby dachowej. Z uwagi na ustrój konstrukcyjny więźby dachowe można podzielić na rozporowe i bezrozporowe. Granica jest oczywiście umowna, ale pewne charakterystyczne rozporowe schematy powinny uczulić konstruktora na etapie wymiarowania tego połączenia. W przypadku więźby dachowej, przez rozpór rozumie się poziomą siłę, o zwrocie na zewnątrz budynku, oddziaływującą na podporę więźby (murlatę) wywołaną obciążeniem pionowym. Z rozporom mamy do czynienia także w przypadku łuków, kopuł i sklepień. Siły poziome na podporach więźby mogą mieć różne pochodzenie, mogą być na przykład skutkiem poziomego oddziaływania wiatru. Żeby mówić o rozporze, siła pozioma w poziomie podparcia więźby musi być wynikiem pionowych obciążeń (np. śnieg, ciężar własny). Wartość siły rozporu dachu zależy od wielu czynników, jak schemat statyczny, nachylenie połaci, ciężar pokrycia, wartości obciążeń zewnętrznych (np. śnieg). Kilka popularnych schematów konstrukcyjnych generuje duże siły rozporu.

Mowa tu głównie o więźbach krokwiowych i krokwiowo-jętkowych, czyli więźbach podpartych wyłącznie na murlatach, bez płatwi pośrednich, czy kalenicowych. Dla przykładu przeanalizujemy reakcje podporowe dla dwóch dachów o identycznym obrysie zewnętrznym,

---

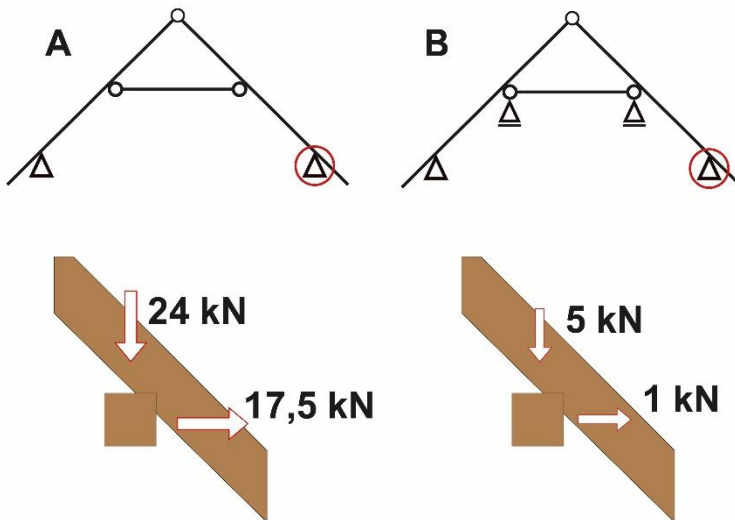
\*Autor do korespondencji: poland@strongtie.com; tel. 22 865 22 00

ale różniących się schematem więźby. Na rysunku 1 przedstawione są więźby krokwiowo-jętkowa i płatwiowo-kleszczowa. Oba dachy są tak samo obciążone, mają identyczną rozpiętość, rozstaw, geometrię zewnętrzną, jętka/kleszcze są na tej samej wysokości. Różnica polega na schemacie konstrukcyjnym i sposobie podparcia.



Rys. 1. A – więźba rozporowa krokwiowo-jętkowa (1 – murlata, 2 – krokiew, 3 – jętka); B – więźba bezrozporowa płatwiowo-kleszczowa (1 – murlata, 2 – krokiew, 3 – kleszcze, 4 – płatew, 5 – słup).

W przypadku dachu krokwiowo-jętkowego wszelkie obciążenia pionowe i poziome przekazywane są z więźby na murlatę. Dach płatwiowo-kleszczowy ma dodatkowe podpory w postaci płatwi i słupów. Dzięki temu obciążenie rozkłada się na większą ilość podpór. W rzeczywistości to właśnie słupy przejmują większość obciążenia pionowego z dachu. Dach krokwiowo-jętkowy podobnie jak czysty dach krokwiowy przekazuje na murlatę duże siły rozporu. W przypadku konstrukcji płatwiowo-kleszczowej i dzięki zastosowaniu podparcia w czterech punktach, wiązár praktycznie nie wykazuje reakcji rozporowych. Na rysunku 2 widoczne są schematy statyczne obu konstrukcji i wartości sił pionowych i poziomych przekazywanych z krokwi na murlatę.



Rys. 2. Schematy statyczne wiązarów i przykładowe obciążenia przekazywane z krokwi na murlatę.

Więźba płatwiowo-kleszczowa (B) praktycznie nie generuje sił poziomych (1 kN), obciążenia pionowe, także są znikome z uwagi na przejęcie większości obciążenia przez słupy podpierające płatwie. Obciążenia przekazywane z krokwi na murlatę są bardzo małe, więc takie połączenie, w wielu przypadkach, można wykonać przez wkręcenie wkrętu ciesielskiego,

przez krokiew w murłatę. W przypadku więzara krokwiowo-jętkowego (A) pojawia się bardzo duży rozpór na poziomie 17,5 kN. Jest to obciążenie kilkukrotnie przekraczające nośność połączenia z użyciem wkrętu ciesielskiego. Niestety część wykonawców nie zauważa tego problemu i w takich przypadkach bardzo często dochodzi do awarii dachu będącej skutkiem niedostatecznej nośności połączenia wykonanego jedynie pojedynczym wkrętem ciesielskim.

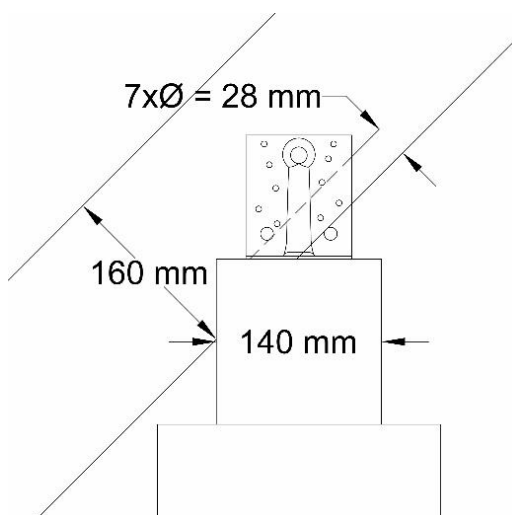
### 1. Jak łączyć krokiew z murłatą w przypadku dachów rozporowych?

W przypadku dachów o rozporach nie przekraczających 10 kN, połączenie można wykonać wykorzystując kątowniki wzmocnione z serii ABR Strong (rys. 3).



Rys. 3. Kątownik ABR10525.

Jest to bardzo uniwersalne połączenie i w przypadku rozporów do ok 10 kN jest bardzo dobrym rozwiązaniem. Niestety nie zawsze jest możliwość zastosowania tego złącza z uwagi na geometrię połączenia krokiew-murłata. W przypadku dachów stromych o niedużych zaciosach, może pojawić się problem z wbiciem wszystkich gwoździ w kątownik. Dodatkowo należy pamiętać o zachowaniu normowych odległości gwoździ od krawędzi elementu drewnianego. W przypadku tego połączenia stosowane są gwoździe CNA o średnicy 4 mm i należy zachować „minimalną odległość od obciążonego boku elementu” równą według normy Eurokod 5 a4,  $t = 7d = 7 \cdot 4 = 28$  mm (rys. 4). Na zdjęciu pokazana jest geometria połączenia krokwi o wysokości 160 mm, nachyleniu 45 stopni, zaciósie 1/3 h i murłaty 140' 140 mm.

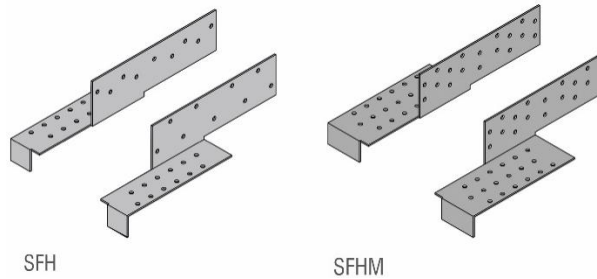


Rys. 4. Geometria połączenia krokiew-murłata i minimalna odległość gwoździ od krawędzi.

Dwa gwoździe nie spełniają minimalnej odległości i z tego powodu nie powinny być wbijane. W związku z tym, takie połączenie nie uzyska pełnej nośności deklarowanej przez producenta. Rozwiązaniem wydaje się przesunięcie kątownika do zewnętrznej krawędzi murlaty. Będzie to niestety skutkowało niespełnieniem minimalnych odległości gwoździ od krawędzi murlaty. Projektując i wykonując takie rozwiązania należy zwracać uwagę na zachowanie normowych odległości minimalnych. Jeżeli zastosowanie kątowników z uwagi na geometrię połączenia jest niemożliwe, należy zastosować rozwiązanie opisane poniżej.

## 2. Połączenie w przypadku dużych sił rozporu

Jeżeli kątowniki z uwagi na ograniczoną nośność lub specyfikę geometrii połączenia nie mogą być zastosowane, należy sięgnąć po złącza przeznaczone do przenoszenia dużych sił rozporu. Są to złącza grupy SFH / SFHM (rys. 5, 6), które uzyskują nośności obliczeniowe od 15 do nawet 40 kN. Nośności zależą od wariantu złącza i zastosowanych łączników. Systemowymi łącznikami są gwoździe pierścieniowe CNA4,0. Można zastosować gwoździe o różnych długościach, więc mamy możliwość dostosowania nośności całego połączenia do potrzeb konkretnej konstrukcji.



Rys. 5. Złącza SFH / SFHM do przenoszenia dużych sił rozporów z krokwi na murlatę.



Rys. 6. Zastosowanie złącza SFH przenoszącego rozpór z krokwi na murlatę.

Zastosowanie tych złączy poza zapewnieniem bardzo dużej nośności daje dodatkową korzyść. Wbicie gwoździ przez płytkę złącza w całą szerokość murlaty ogranicza rozwieranie się pęknięć w osi murlaty będących skutkiem skurczu drewna w czasie wysychania. Na zmniejszenie ryzyka pęknięcia murlaty pozytywnie wpływa też fakt przenoszenia sił rozporu grupą gwoździ na cały przekrój murlaty. Rozwiązanie z użyciem wkrętów ciesielskich

przekazuje rozpór w formie siły skupionej, rozłupującej murłatę w miejscu ich umieszczenia. Efekt ten kumuluje się z pękaniem murłaty w skutek skurczu. W konsekwencji większość murłat ma charakterystyczne zarysowania i pęknięcia w osi na dużej części swojej długości.

### 3. Przykłady awarii połączenia krokiew-murłata

#### Przykład 1:

Więźba krokwiowo-jętkowa. Rozpiętość między murłatami ok 9 m. Nachylenie 35°. Pokrycie – dachówka ceramiczna. Tyle informacji wystarczy doświadczonemu projektantowi, aby wiedzieć, że taki dach będzie miał problem z siłami rozporu na murłatach. Niestety w tym przypadku projektantowi zabrakło czujności i całkowicie zbagatelizował rozpór o wartości 15 kN. W związku z tym, że konstruktor w projekcie nie odniósł się w żaden sposób co do sposobu wykonania połączenia krokwi z murłatą. Wykonawca zastosował rozwiązanie tanie, szybkie i wygodne z jego punktu widzenia – połączył krokiew z murłatą przy użyciu długiego wkrętu ciesielskiego o średnicy 8 mm. W ostatnich latach takie połączenia zyskały na popularności, jednakże ich nośność ogranicza się do kilku kiloniuutonów i nie może zagwarantować spełnienia Stanu Granicznego Nośności w przypadku dachów rozporowych. W konsekwencji już w trakcie układania pokrycia w postaci dachówki ceramicznej, dach „przemieścił się” kilka centymetrów na obu murłatach (rys. 7).



Rys. 7. Przykład awarii połączenia krokiew-murłata z dodatkowym rozwarstwieniem murłaty. Połączenie z użyciem wkrętu ciesielskiego.

#### Przykład 2:

Konstrukcja o wymiarach w rzucie 14'11 m. Odległość między murłatami ok 8,5 m, wysięg okapów ok 1,2 m. Nachylenie połaci 35 stopni. Pokrycie – dachówka ceramiczna. W większej części budynku więźba o schemacie krokwiowo-jętkowym. W tym przypadku wina nie leżała po stronie projektanta, bo w projekcie było wyspecyfikowane rozwiązanie będące w stanie przenieść pojawiające się tutaj siły rozporu (13 kN – wartość obliczeniowa). Projektant rozrysował detal połączenia z wykorzystaniem złącza ciesielskiego SFH. Niestety cieśla przekonał inwestora, że to rozwiązanie to „fanaberia projektanta-biurokraty, który budowy nie widział i że wkręty ciesielskie będą rozwiązaniem równie dobrym”. Jak pokazują zdjęcia z budowy, nie były (rys. 8).



Rys. 8. Przykład awarii połączenia krokiew-murlata z obróceniem murlaty. Połączenie z użyciem wkrętu ciesielskiego.

### Przykład obliczeniowy, poprawnego wymiarowania połączenia krokiew-murlata

Wymiarowanie połączenia krokiew-murlata (drewno klasy C24) w dachu krokwiowo-jętkowych (rozporowym) z użyciem złączy Simpson Strong-Tie.

Obciążenia (Reakcje podporowe):

- $F_{H,d} = 17,0$  kN (reakcja pozioma – wartość obliczeniowa),
- $F_{V,d} = 20,0$  kN (reakcja pionowa – wartość obliczeniowa),
- Klasa trwania obciążenia: obc. średniotrwałe
- Klasa użytkowania konstrukcji – Klasa 2.

### Wymiarowanie połączenia – Reakcja pionowa:

Wymiarowanie przeniesienia składowej pionowej sprowadza się do zaprojektowania odpowiedniego pola docisku między elementami. Uzyskuje się je przez kształtowanie wymiarów zaciosów w krokwi. Należy uwzględnić wytrzymałość drewna murlaty na ściskanie w poprzek włókien. Procedura obliczeniowa jest bardzo prosta i jest opisana w normie Eurokod 5 (6.1.5 Ściskanie w poprzek włókien), warto zwrócić uwagę na możliwość uwzględnienia efektywnego pola docisku. Traktuje się, że złącze ciesielskie nie bierze udziału w przenoszeniu pionowego o zwrocie w dół.

Wymiarowanie połączenia – Reakcja pozioma: Nośność charakterystyczna złączy SFH:

Tablica nośności-1 – Katalog Simpson Strong-Tie

Nr Artykułu	Mocowanie – Łączniki			Nośności charakterystyczne [kN] 1 komplet na połączenie
	Ramię A	Ramię B	Typ	
SFH	9+9 szt.	12+12 szt.	CNA4.0' 40	27,7
			CNA4.0' 60	35,7
SFHM	18+18 szt.	18+18 szt.	CNA4.0' 40	51,6
			CNA4.0' 60	64,8
SFHS	25+25 szt.	37+37 szt.	CNA4.0' 40	79,9
			CNA4.0' 60	102,9

Złącze SFH nośność charakterystyczna dla gwoździ CNA 4,0' 60:  $R_{1,k} = 35,7$  kN.

Współczynnik modyfikacyjny  $k_{mod} = 0,8$  (Eurokod 5 – Tabela 3.1 – dla 2 klasy użytkowania i obc. średniotrwałego).

Nośność obliczeniowa złącza SFH:

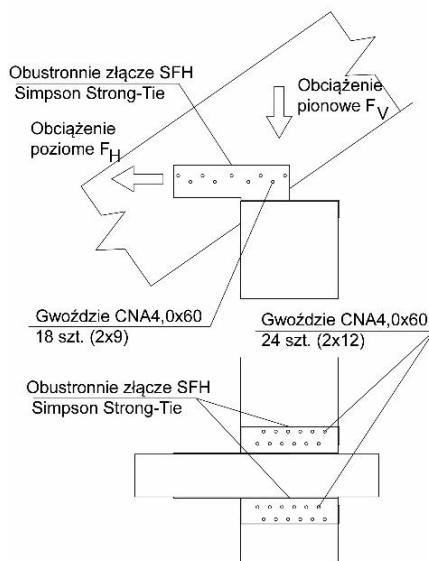
$$R_{1,d} = R_{1,k} \cdot k_{mod} / \gamma_M = 35,7 \text{ kN} \cdot 0,8 / 1,3 = 21,97 \text{ kN}$$

Sprawdzenie Stanu Granicznego Nośności:

$$\left( \frac{F_{H,d}}{R_{1,d}} \right) = \left( \frac{17,0 \text{ kN}}{21,97 \text{ kN}} \right) = 0,77 \leq 1 \rightarrow \text{OK}$$

Co spełnia SGN, detal konstrukcyjny rys. 9.

#### Detal połączenia krokwi z murlatą



Rys. 9. Detal połączenia krokwi z murlatą z użyciem kompletu złączy SFH i gwóździ CNA 4,0' 60.

#### 4. Odpowiednie kotwienie murlaty do wieńca

Jeżeli zastosujemy odpowiednie złącze ciesielskie, które bezpiecznie przeniesie poziomej siły na murlatę, nie oznacza to jeszcze pełnego rozwiązania problemu rozporu dachu. W związku z tym, że rozpór działa na wysokości górnej krawędzi murlaty, pojawia się ryzyko obrotu murlaty (rys. 8). Jest to dość częste zjawisko, niestety problem jest bardziej złożony niż na pierwszy rzut oka może się wydawać. Kilka czynników może przyczynić się do takiej awarii. Przede wszystkim na nośność połączenia murlaty z wieńcem wpływa rozstaw, średnica i klasa wytrzymałości szpilek kotwiących.

Dlatego też te parametry powinny być ustalane przez projektanta w oparciu o pojawiające się obciążenia i ściśle przestrzegane przez wykonawcę. Każdy pręt kotwiący ma określoną nośność. Wartość momentu obracającego murlatę określa się na podstawie wartości siły rozporu i ramienia tej siły, równego wysokości przekroju murlaty. Na nośność tego połączenia wpływa także pole docisku podkładki pod nakrętką szpilki. Niestety pojawia się tu kolejny problem związany ze skurczem drewna. Dobrze dokręcona nakrętka i dociśnięta podkładka do murlaty w dniu montażu nie pozostanie dokręcona po pierwszym lecie lub sezonie grzewczym. Skurcz może postępować nierównomiernie z uwagi na różny stopień nasłonecznienia połaci. Problem

w Polskich realiach jest powszechny, ponieważ typowe przekroje murlat (14' 14, 16' 6 cm) są trudno dostępne w odpowiedniej wilgotności. Bardzo często montowane są zawilgocone murlaty, będzie to skutkowało skurczowi o wartości finalnej w granicach 5–10 mm (rys. 10).



Rys. 10. Poluzowane nakrętki w skutek skurczu murlaty.

W efekcie podkładka będzie poluzowana i zanim dociśnie murlatę, ta już w pewnym stopniu obróci się pod wpływem sił rozporu. Aby temu przeciwdziałać, należy ponownie dokręcić nakrętki szpilek po nastąpieniu skurczu murlaty. Jest to wymagane normowe określone przez normę Eurokod 5: 10.4.3 (3) „(...) jeśli jest to konieczne, śruby i wkręty należy ponownie dokręcić, gdy drewno osiągnie wilgotność równowagową.”

Aby ograniczyć ryzyko obrotu murlaty, może paradoksalnie okazać się, że stosowanie niższych przekrojów murlat jest korzystniejsze.

Przed wszystkim zmniejszając wysokość murlaty ograniczamy ramię siły obracającej. Dodatkowo mniejszy przekrój skurczy się proporcjonalnie mniej. Co także bardzo ważne, mniejsze przekroje prostokątne są łatwiej dostępne w wymaganej wilgotności. Wszystkie te czynniki złożą się na mniejsze ryzyko obrotu murlaty. Pamiętajmy, że nie zawsze mamy możliwość zmniejszenia przekroju murlaty. Często murlata wystaje poza ścianę szczytową stanowiąc podparcie dla skrajnych krokwi.

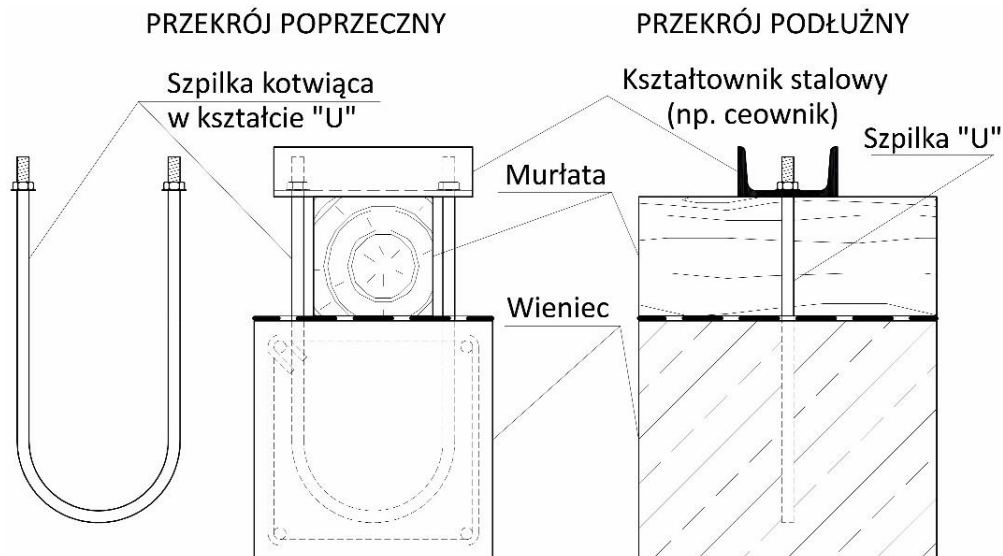
Kolejną kwestią jest sam docisk podkładki do drewna. Przy stosowanych standardowo podkładkach może pojawić się tak duży docisk, że albo podkładka zacznie wciskać się w murlatę, albo podkładka odkształci się. W przypadku dachów o dużych siłach rozporu sugerujemy zastosowanie dodatkowych indywidualnych podkładek dociskowych. Mogą to być stalowe płytki o grubości min 5 mm i wymiarach 50' 100 mm z otworem na szpilkę (rys. 11). Umożliwi to zwiększenie powierzchni kontaktu łącznika z drewnem, ale także dociśnięcie murlaty bliżej krawędzi obracanej.



Rys. 11. Dodatkowa płytka dociskowa ograniczająca obrót murlaty.



Innym rozwiązaniem jest zastosowanie kształtownika (np. ceownika) dociskającego murłatę, połączeniowego z wieńcem szpilką w kształcie litery „U” (rys. 12, 13).



Rys. 12. Detal docięnięcia murłaty z użyciem kształtownika stalowego.



Rys. 13. Kotwienie murłaty do wieńca z zastosowaniem ceownika dociskowego.

Jest to niewątpliwie skuteczne rozwiązanie, ale zdecydowanie bardziej skomplikowane niż wersja ze stalową płytką dociskową. Problemem może być kolizja U-szpilki ze zbrojeniem głównym wieńca, jak również konieczność przygotowania indywidualnych U-szpilek. To połączenie świetnie zapobiega obrotowi, ale nie zapewnia przeciwdziałania przesunięcia się murłaty. Z tego powodu powinno być stosowane naprzemiennie z rozwiązaniem klasycznym. Dodatkową zaletą tego rozwiązania jest mniejsza ilość wierconych otworów w osi murłaty, które często są punktem inicjacji pęknięcia murłaty wzdłuż jej osi. Ryzyko pęknięcia murłaty zwiększa się wraz z zagęszczaniem punktów kotwienia (wierconych otworów) w murłacie. Ryzyko dodatkowo zwiększa murłata o dużej wilgotności w czasie wbudowania. Warto w tym miejscu wspomnieć, że w przypadku dachów rozporowych często stosuje się bardzo

gęste kotwienie murlaty (np. co 50–60 cm). Oczywiście wynika to z obliczeń konstrukcyjnych i informacja taka powinna znajdować się w projekcie.

Jak widać na przykładzie przedstawionych zdjęć i schematów, kwestia połączenia krokwi z murlatą jest bardziej złożona niż można by na pierwszy rzut oka sądzić. Przykłady przytoczonych awarii więźb były skutkiem ewidentnych zaniedbań w obszarze połączenia krokiew-murlata, zarówno po stronie projektowej jak i wykonawczej. Zwracamy uwagę na ryzyko jakie z sobą niesie bagatelizowanie zagadnienia tych połączeń szczególnie w przypadku dachów rozporowych. Przedstawiony przykład obliczeniowy pokazuje, że poprawne zaprojektowanie i wyspecyfikowanie tego połączenia jest kwestią kilku minut. Należy także zadbać o prawidłowe zakotwienie murlaty w wieńcu. Projektantów zachęcamy do przeliczenia wymaganej nośności szpilek i specyfikowanie kompletnej informacji zawierającej rozstaw, średnicę i klasę. Szczególnie ważne jest odpowiednie kotwienie murlaty w przypadku dachów rozporowych. Wykonawca powinien być wyczulony na tą kwestię i nie ulegać pokusie kopiowania rozwiązań z pozornie podobnych dachów. Jak widać na przykładzie dwóch przytoczonych w artykule identycznych co do gabarytów zewnętrznych dachów, siły z którymi przyjdzie nam się mierzyć w połączeniach mogą być skrajnie różne. Czujność powinny szczególnie wzbudzić dachy krokwiowe i krokwiowo-jętkowe bo to te schematy statyczne generują największe siły rozporu.

Siły w połączeniu krokiew-murlata przedstawione w tym artykule są wartościami jedynie poglądowymi. W przypadku konkretnych więźb należy odwołać się do wyników obliczeń statycznych umieszczonych w dokumentacji projektowej.

W razie pytań dotyczących sposobów łączenia krokwi z murlatą, poprawności wykonania lub sposobów montażu złączy ciesielskich zachęcamy do kontaktu z inżynierami z działu wsparcia technicznego Simpson Strong-Tie. Z chęcią podzielimy się z Państwem wiedzą i doświadczeniami naszymi i naszej firmy.

## **Failure of roof trusses due to improper rafter to sill connection**