

# KONSTRUKCJE CIENKO CIENNE – TARCZOWA PRACA POSZYCIA

## WPROWADZENIE - ZASADY PROJEKTOWANIA

Przy projektowaniu konstrukcji z profilowanych na zimno elementów i blach rozróżnia się “klasy konstrukcyjne”, które odpowiadają konsekwencjom zniszczenia zgodnie z EN 1990/ Załącznik B i są zdefiniowane następująco:

Klasa konstrukcyjna I: Konstrukcje, które projektuje się uwzględniając udział poszycia w nośności i stateczności całego układu;

Klasa konstrukcyjna II: Konstrukcje, które projektuje się uwzględniając wpływ poszycia na nośność i stateczność pojedynczych elementów;

Klasa konstrukcyjna III: Konstrukcje, które projektuje się przy założeniu, że poszycie wyłącznie przenosi obciążenia na układ konstrukcyjny.

UWAGA: Klasa konstrukcji może się zmieniać zależnie od fazy budowy.

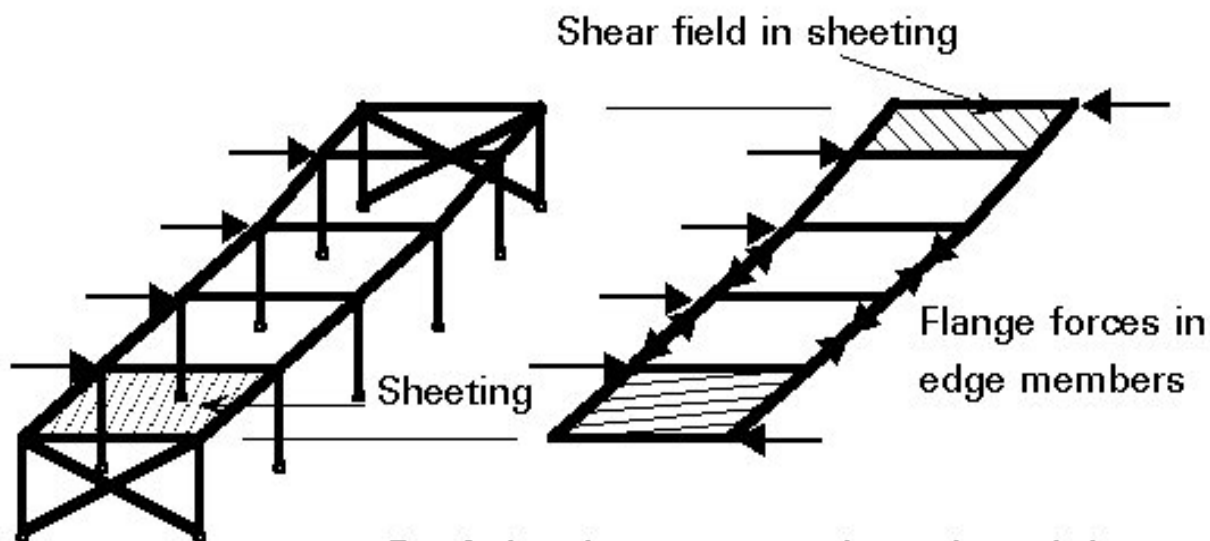
### Założenia dotyczące pracy tarczowej

Od dawna wiadomo, że szkielet budynku jest znacznie wzmocniony i usztywniony po dodaniu dachu, podłóg i ścian. Naprężenia i ugięcia ramy obliczone ramy wyizolowanej zwykle różnią się znacznie od rzeczywistych wartości w budynku z obudową. Biorąc pod uwagę okładzinę, można przewidzieć rzeczywiste zachowanie budynku i zwykle można uzyskać oszczędności w kosztach ram.

Wkład paneli dachowych, podłogowych i okładzin bocznych w wytrzymałość i sztywność ram wynika z ich odporności i sztywności na ścinanie, tj. Odporność płyt prostokątnych na deformację w jej płaszczyźnie. Stąd takie panele są znane jako „tarczownice ścinane” lub po prostu „tarczownice”. W Stanach Zjednoczonych metoda projektowania uwzględniająca ten efekt nazywa się „projektowaniem przepony”, podczas gdy w Europie nazywa się „projektowaniem uwzględnieniem współpracy poszycia” „Metal Sheeting acting as a Diaphragm - Stressed Skin Design”.

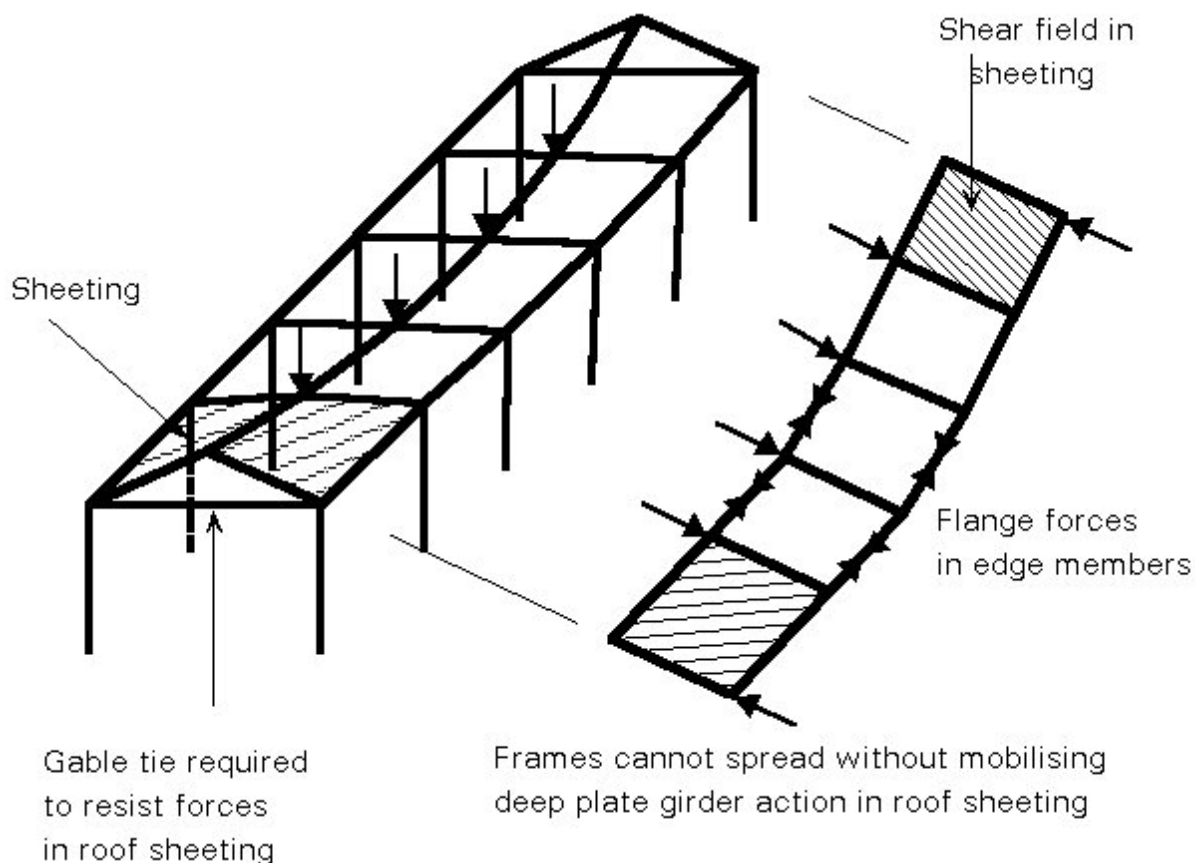
Profilowana blacha stalowa stosowana jako blacha dachowa lub panele, płyty warstwowe lub okładziny ścienne, jest bardzo skuteczna jako ścinanie tarczownica. Pod warunkiem, że jest on odpowiednio przymocowana do drugorzędnych elementów konstrukcyjnych i głównych ram za pomocą mechanicznych elementów złącznych lub spawania. Jest to wyjątkowo niezawodny i przewidywalny sposób wzmocniania konstrukcji obiektu i może być również stosowany jako element konstrukcyjny. Co więcej, zostało to zweryfikowane wieloma badaniami w skali naturalnej i potwierdzone praktycznym doświadczeniem wielu budynków zaprojektowanych na tej podstawie.

Zasady projektowania budynków z uwzględnieniem współpracy poszycia dachowego można zilustrować w odniesieniu do budynków z płaskim dachem lub z dachem dwuspadowym. W budynku z płaskim dachem poddanym obciążeniu bocznemu kładzie z paneli dachowych działa jak przepona, przenosząc obciążenie na ściany szczytowe usztywnione we własnych płaszczyznach za pomocą stref lub tarcz.



**Roof sheeting acts as a deep plate girder carrying load back to stiffened gables**

W budynku z dachem dwuspadowym, obciążenie pionowe powoduje przemieszczenie się w dół w zła kalenicowego, oraz wywołuje siły osiowe w ryglach ram. Te siły powodują przemieszczenia na zewn. trz. w złów okapowych. Uwzględnienie poszycia dachowego jako tarczownicy zapobiega tym przemieszczeniom w złów, oraz kołysaniu się ram. Im bardziej płaskie jest nachylenie dachu, tym mniej skuteczna jest praca tarczownicy ze względu na obciążenie pionowe, ale tym bardziej skuteczna jest w zakresie obciążenia poziomego.



Poszycie w tarczowej pracy działa na dachu tak, że dach zachowuje się jak szeroki dwiżgar tarczowy. Pod obciążeniem w płaszczyźnie niekolejowe ściany szczytowe przejmują reakcje, blacha działa jak panel dźwigni i przejmuje ścinanie, a elementy krzywoliniowe działają jak pasy i przejmują osiowe siły rozciągające i ściskające. W każdym wypadku blacha nie pomaga ramom w przenoszeniu obciążenia i działa w płaszczyźnie nieprostopadłej do połaci dachowej (odciążeniu własnego, śniegu i wiatru), zabezpiecza jednak te elementy prętowe przed utratą stateczności.

### **Założenia konstrukcyjne**

Jeżeli elementy ramy są połączone przegubowo, wówczas obciążenia poziome są całkowicie przenoszone przez działanie efektu tarczownicy. W takim przypadku konstrukcja musi być odpowiednio usztywniona podczas wznoszenia, a paneli z blach nie wolno usuwać czy też wymieniać bez odpowiedniego schematu i zabezpieczeń.

Jeżeli ramy mają sztywne połączenia, wówczas obciążenia poziome jest przenoszony zarówno przez ramy, jak i tarczową pracę poszycia. W tym przypadku dobrą praktyką jest, aby same ramy projektować tak, aby przenosiły pełne obciążenie charakterystyczne bez ulegania awarii, a ukończony budynek z ułożonym i odpowiednio zamocowanym poszyciem zaprojektować tak, aby przenosił pełne obciążenie projektowe. Membranowa praca poszycia skutecznie zapewnia wymagany współczynnik obciążenia.

Konstrukcja z uwzględnieniem tarczowej pracy poszycia powinna być stosowana przede wszystkim w niskich budynkach, w których dach i podłogi mogą zachowywać się jak szeroki dwiżgar płytowy. Należy zauważyć, że działanie przepony zawsze będzie miało miejsce w budynku, niezależnie od tego, czy zostanie ono podjęte uwzględnione w projekcie.

### **Korzyści, warunki i ograniczenia**

#### **Korzyści**

Niektóre zalety projektowania hal z uwzględnieniem tarczowej pracy poszycia:

- Obliczone naprężenia i ugięcia w elementach ramy są zwykle znacznie mniejsze niż w ramie bez uwzględnienia współpracy z poszyciem.
- Obliczone i zaobserwowane naprężenia i ugięcia są zgodne, więc projekt jest bardziej realistyczny.
- Ścienia w płaszczyźnie nie dachu są wyeliminowane lub rozmiary ich prętów są zmniejszone.
- Szczegóły projektowe ram i szczegółów konstrukcyjnych są znormalizowane.
- Metoda jest szczególnie skuteczna, gdy obciążenia boczne działają tylko na jedną lub dwie ramy, np. oddziaływanie lekkich suwnic podwieszonych lub podpartych.
- Biorąc pod uwagę działanie tarczownicy, można obliczyć rzeczywiste siły na poszycie i łączniki łączące je z elementami konstrukcyjnymi jak rygle ram czy płatwie.

#### **Warunki**

Aby blacha stalowa działała jak tarczownica, muszą być spełnione następujące warunki:

- Ściany szczytowe na końcach hali muszą być usztywnione przez ściany cienne lub przez tarczownicę z blachy.
- Do paneli z blach należy zapewnić elementy krzywoliniowe; elementy te muszą być zaprojektowane do przenoszenia sił pasów tarczownicy.
- Arkusze blach muszą być przymocowane do elementów prętowych za pomocą dodatkowych łączników, takich jak rury samowierzące, kołki wstrzeliwane lub przez spawanie.
- Szwy między arkuszami blach należy wykonać za pomocą łączników mechanicznych.
- Należy zapewnić odpowiednie połączenia konstrukcyjne w celu przeniesienia sił z tarczownicy na ramy główne hali.

- Zaleca się, aby naprężenie ścinające w arkuszach było mniejsze niż 25% zwykłego naprężenia zginającego w arkuszach, aby w przypadku skorodowania arkuszy nie zginały się na długo przed zagrożeniem narastaniem naprężonej w panelu z blach.
- Zaleca się, aby otwory w połaci dachu były mniejsze niż 3% odpowiedniej powierzchni dachu, chyba że wykonano szczegółowe obliczenia, w których to przypadku można dopuścić do 15%.

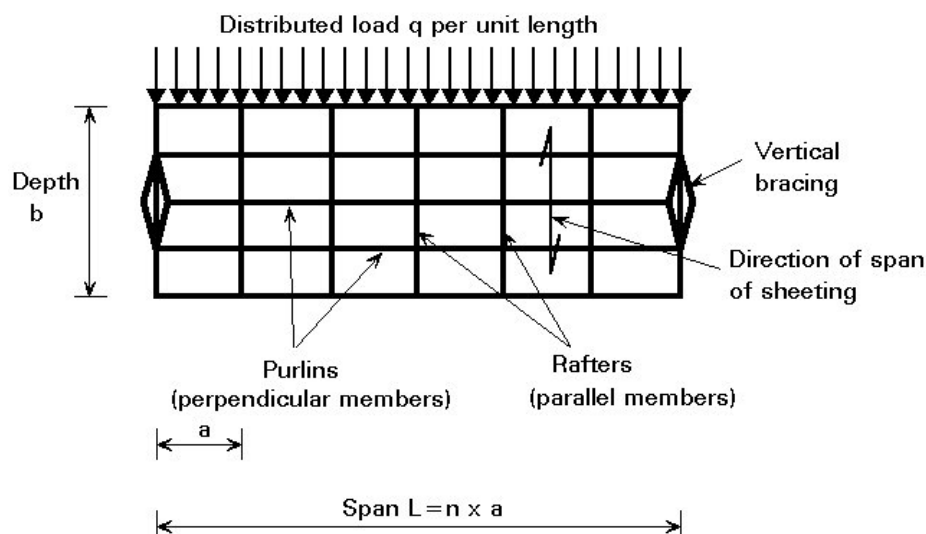
### Ograniczenia

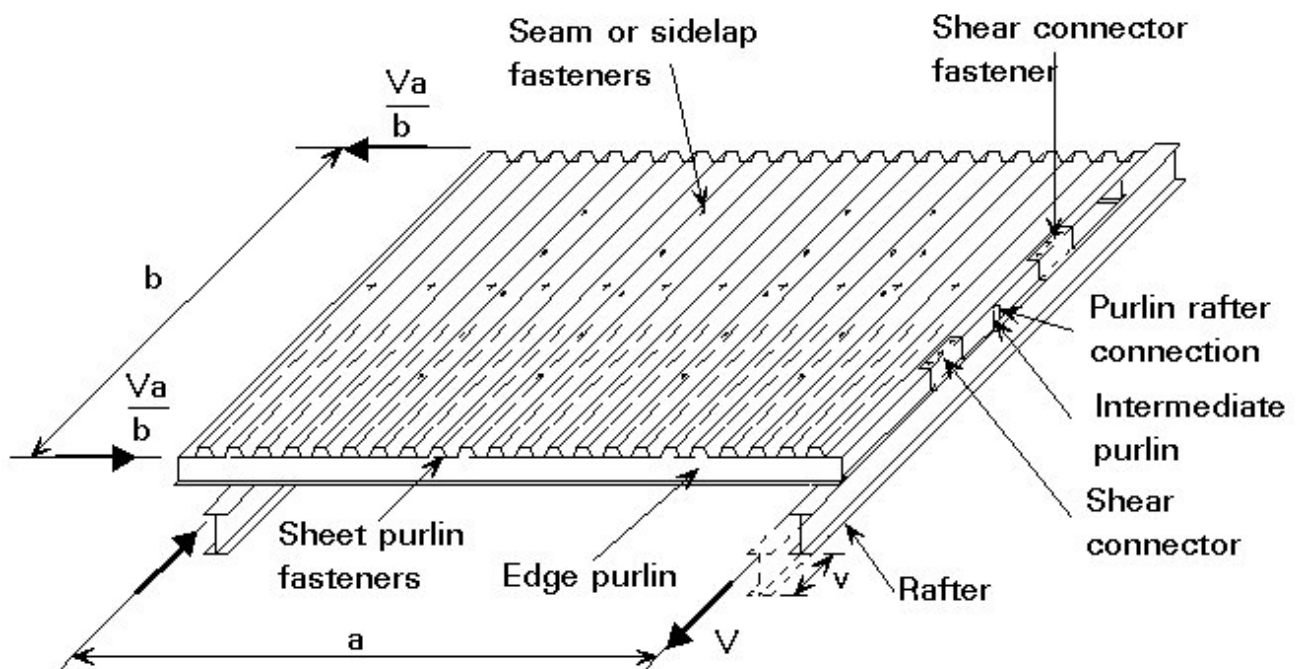
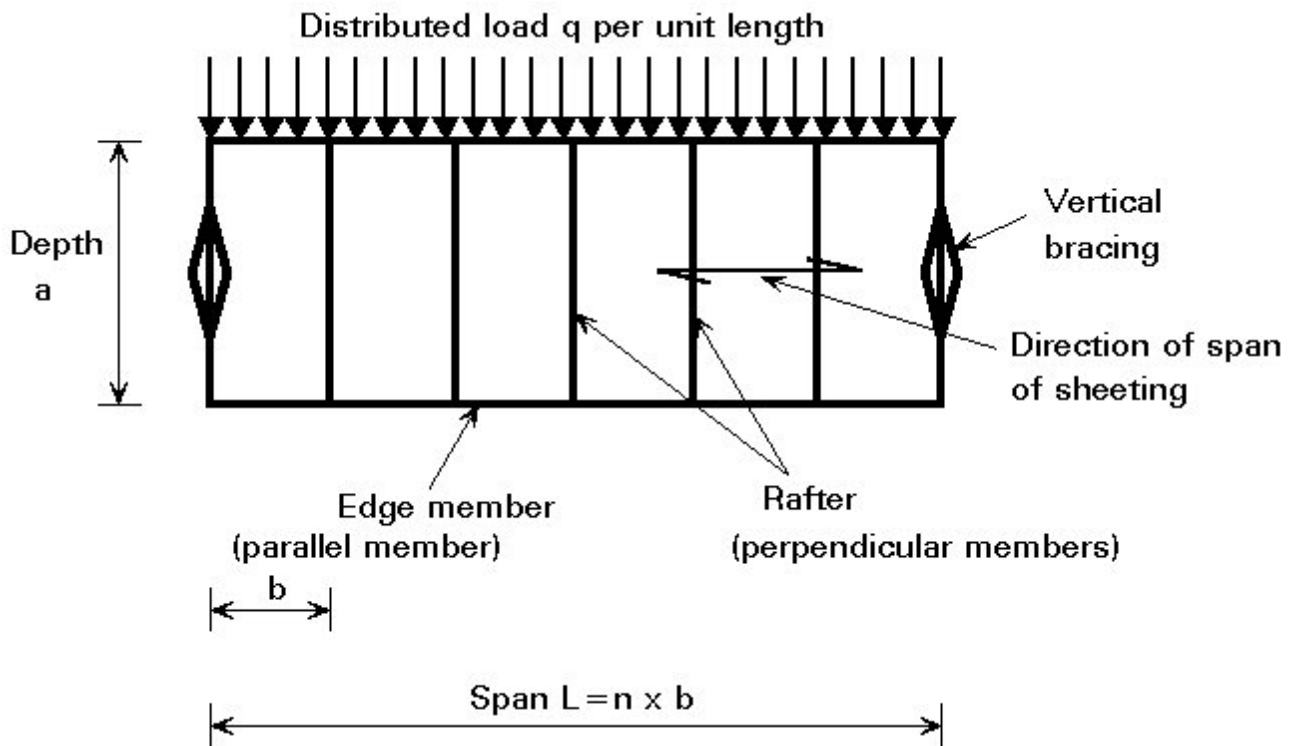
Budynki zaprojektowane na zasadzie współpracy konstrukcji prętowej z poszyciem powinny zwykle być konstrukcjami typu parasolowego, a nie konstrukcjami przenoszącymi stałe obciążenia. Aby zapewnić bezpieczeństwo budynku przez cały czas, na projekt należało wyznaczyć następujące ograniczenia:

- Wiskosobciążenia działające na budynek powinna być przyłożona bezpośrednio na blachy poszycia, np. ciężar własny, obciążenie śniegiem, obciążenie wiatrem.
- Jeżeli arkusz blachy poszycia zostanie usunięty, to wiskosobciążenie również zostanie usunięte i nie będzie wytrzymałości konstrukcji.
- Arkusze nie należy stosować w celu przenoszenia innych obciążeń stałych, np. paneli słonecznych, elementów instalacji klimatyzacyjnej.
- Arkusze blach poszycia należy traktować jako element konstrukcyjny i dlatego nie wolno ich usuwać bez odpowiedniego rozpatrzenia obliczeniowego i podparcia konstrukcji.
- Obliczenia i rysunki powinny wyrazić uwagę na fakt, że budynek został zaprojektowany metodami z uwzględnieniem tarczowej pracy poszycia i współpracy blachy z elementami prętowymi.

### Rodzaje przepony

Arkusze blachy fałdowej mogą być układane prostopadle do długości budynku lub równoległe do długości budynku. O ile to możliwe, każdy panel blachy powinien być przymocowany do wszystkich czterech elementów krawędziowych, ponieważ zapewnia to największą sztywność tarczowniczą. Jeżeli wszystkie elementy nie są na tym samym poziomie, do zapewnienia zamocowania ze wszystkich czterech stron panelu, można zastosować ścinane łączniki dystansowe, jak pokazano na rysunku. Jeżeli nie jest to możliwe, blachy panelu tarczownicy można przymocować do płatwi tylko na dwóch krawędziach pod warunkiem, że panele kolejno są przymocowane trzecią stroną do rygli dachowych ciany szczytowej. Jeżeli blacha jest mocowana tylko do płatwi, wówczas połączenia płatwi z ryglami ram pośrodkowych muszą być wystarczające do przeniesienia obciążenia na tych ryglach do blachy trapezowej poszycia.





Typowy panel tarczownicy pokazany na rysunku słu y do ł czenia blach prostopadle do długo ci budynku. Przy obliczaniu wytrzymało ci na cinanie i podatno ci panelu tarczownicy wyra enia projektowe odnosz si do kierunku równoległego do fałd blachy. W przypadku arkuszy uło onych równoległe do długo ci budynku nale y dokona modyfikacji wyra e projektowych. Ta modyfikacja nie jest rozwa ana w wi kszo ci opracowa .

## NO NO NA CINANIE PANELU TARCZOWNICOWEGO

### Zasady

W przypadku typowego panelu przymocowanego ze wszystkich czterech stron, jak na rysunku powyżej, no no na cinanie  $V_R$  tarczownicy, w kierunku obciążenia  $V$  zależy od wytrzymałości przy zniszczeniu:

- $l$  czników w linii szwów między arkuszami blach
- lub
- $l$  czników w linii cinania nad rygłem ramy.

Te dwa tryby uszkodzenia, jako cięgliwe, są brane jako kryterium projektowe. Każdy inny tryb uszkodzenia, który jest mniej plastyczny, musi mieć znacznie większą wartość z powyżej wymienionych no no ci. Z powodu innych rodzajów zniszczenia można wyróżnić uszkodzenia  $l$  czników pomiędzy arkuszami blach a płatwiami, uszkodzenie arkusza z powodu wyboczenia cieżkiego na fałdach, konieczne załamanie profilu arkusza i uszkodzenie elementów krawędziowych pod wpływem rozciągania lub ściskania. Ponieważ w arkuszach występuje zwykle niski poziom naprężeń cieżkich podczas tarczowej pracy poszycia, zwykle nie jest konieczne uwzględnianie interakcji między działaniem tarczowym poszycia, a jego podstawową funkcją podczas zginania przy przenoszeniu obciążenia grawitacyjnych.

W przypadku typowego panelu przymocowanego do płatwi tylko na dwóch krawędziach, bez  $l$  czników cieżanych w linii dźwigara dachowego, dodatkowym kryterium konstrukcyjnym jest wytrzymałość na rozrywanie  $l$  czników cieżkich blachy konieczne do płatwi w arkuszach w panelu po rednim.

### Oznaczenia

$a$  = długość tarczownicy w kierunku prostopadłym do pofałdowania (mm)

$A$  = pole przekroju wzdłużnego elementu krawędziowego ( $\text{mm}^2$ )

$b$  = szerokość tarczownicy w kierunku równoległym do pofałdowania (mm)

$c$  = ogólna sztywność przy cieżnieniu membrany z blachy fałdowej ( $\text{mm/kN}$ )

$d$  = podziałka fałd blachy (mm)

$E$  = moduł sprężystości stali ( $210 \text{ kN/mm}^2$ )

$f_y$  = granica plastyczności stali z jakiej jest wykonana blacha ( $\text{kN/mm}^2$ )

$F_p$  = obciążeniowa no no na cinanie pojedynczego  $l$  cznika cieżkiego blach do płatwi –  $l$  cznik główny (kN)

$F_s$  = obciążeniowa no no na cinanie pojedynczego  $l$  cznika cieżkiego poszczególne arkusze blach –  $l$  cznik uszczelniający (kN)

$F_{sc}$  = obciążeniowa no no na cinanie pojedynczego  $l$  cznika cieżkiego blach z elementem po rednim –  $l$  cznik po redni (kN)

$h$  = wysokość profilu blachy (mm)

$k$  = sztywność przechyłowa ramy ( $\text{mm/kN}$ )

$K$  = stała poszycia

$l$  = szerokość pasa blachy fałdowej (mm)

$L$  = rozpiętość tarczownicy między stojakami (mm)

$n$  = liczba paneli na długości zespołu tarczownic

$n_b$  = liczba arkuszy na szerokości tarczownicy liczona po długości arkuszy blach

$n_f$  = liczba  $l$  czników pomiędzy blachami a płatwiami na szerokości arkusza –  $l$  czniki główne

$n_p$  = liczba płatwi uwzględniająca zarówno płatwie krawędziowe jak i po rednie

$n_s$  = liczba  $l$  czników uszczelniających na jeden szew (z wyłączeniem tych, które przechodzą przez siednie arkusze i cieżą do płatwi)

$n_{sc}$  = liczba  $l$  czników po rednich cieżkich blach z elementem po rednim na ramie koniecznej

$n_{1sc}$  = liczba ł czników po rednich ł cz cych blach z elementem po rednim na ramach po rednich  
 $n_{sh}$  = liczba arkuszy blachy przypadaj cych na pojedynczy panel mierzonych po szeroko ci arkusza  
 $p$  = rozstaw ł czników głównych ł cz cych arkusze blachy poszycia z płatwiami (mm)  
 $q$  = warto obci enia cinaj cego na tarczownicy (kN/mm)  
 $s_p$  = warto po lizgu przypadaj ca na jeden ł cznik w poł czeniu głównym mi dzy arkuszami blach a płatwi na jednostk obci enia (mm/kN)  
 $s_s$  = warto po lizgu przypadaj ca na jeden ł cznik w poł czeniu uszczelniaj cym pomi dzy poszczególnymi arkuszami blach na jednostk obci enia (mm/kN)  
 $s_{sc}$  = warto po lizgu przypadaj ca na jeden ł cznik w poł czeniu po rednim ł cz cym arkusze blach do elementu po redniego na jednostk obci enia (mm/kN)  
 $t$  = grubo netto blachy, z wył czeniem cynkowania i powlekania (mm)  
 $V$  = przył ona siła cinaj ca do tarczownicy (kN)  
 $V^*$  = obliczeniowa no no tarczownicy na cinanie (kN)  
 $V_{cr}$  = siła cinaj ca przył ona do tarczownicy powoduj ca całkowite wyboczenie cianek przy cinaniu (kN)  
 $V_R$  = no no zwi zana z danym rodzajem zniszczenia lub obci eniem granicznym (kN)  
 $\alpha_1, \alpha_2, \alpha_3$  = współczynniki uwzgl dniaj ce płatwie po rednie  
 $\alpha_4$  = współczynnik uwzgl dniaj cy liczb arkuszy na szeroko ci tarczownicy. W rozpatrywanych przypadkach  $\alpha_4 = (1 + 0,3n_b)$   
 $\beta_1, \beta_2$  = współczynniki uwzgl dniaj ce liczb ł czników głównych ł cz cych arkusze blachy do płatwi na szeroko arkusza blachy  
 $\beta_3$  = odległ o mi dzy zewn trznymi ł cznikami na szeroko ci arkusza podzielona przez szeroko arkusza blachy.  
dla blach (ł czniki w fałdach)  $\beta_3 = \frac{n_f - 1}{n_f}$   
dla blach i płyt warstwowych (ł czniki na fałdach)  $\beta_3 = 1,0$   
 $\Delta$  = ugi cie w rodku rozpi to ci zespołu tarczownic (mm)  
 $\nu$  = współczynnik Poissona dla stali (0,3)

### **Ł czniki stosowane konstrukcji tarczownicowej dachu**

#### Ł czniki poł czenia głównego pomi dzy blach poszycia a płatwiami

Arkusze blach powinny by przymocowany za pomoc ł czników przenosz cych siły cinaj ce bez uwzgl dniania tarcia lub zginania samych elementów zł cznych. Ł czniki te powinny by takiego typu, który nie b dzie wykazywał luzów w trakcie u ytkowania i który nie zostanie wyrwany ani nie zostanie zniszczony przez cinanie przed spowodowaniem rozerwania blachy. Przykładami odpowiednich elementów zł cznych s samogwintuj ce lub samowierc ce ruby, gwo dzie wstrzeliwane (kasetowe lub pneumatyczne). ruby lub przez spawanie. Nie stosuje si rub hakowych, zacisków ani innych elementów zł cznych przenosz cych siły cinaj ce poprzez tarcie.

#### Ł czniki poł czenia uszczelniaj cego pomi dzy poszczególnymi arkuszami blach

Poł czenie mi dzy s siednimi arkuszami powinny by wykonane za pomoc ł czników takiego rodzaju, e nie b d one generowa luzów i b dzie wyst powa ich samowykrelenie, ani nie zostan zniszczone przez cinanie przed spowodowaniem rozerwania blach pokrycia. Przykłady odpowiednich ł cznikami s ruby samowierc ce, nity jednostronne ze stopu monelu (stop miedzi z niklem z dodatkiem elaza i manganu) lub stali nierdzewnej, nity dwustronne, ruby lub przez spawanie. Aluminiowe nity zrywalne zwykle nie s odpowiednie (inicjacja korozji).

Ł czniki poł czenia po redniego pomi dzy blach poszycia a elementem ł cznikowym lub bezpo rednio do rygła ramy głównego układu poprzecznego. W zale no ci od tego jakiej grubo ci ma cianki element do którego jest ł czona blacha, poł czenie to powinno spełnia wymagania poł cze

uszczelniających, gdy blacha jest łączona do elementów po rednich wykonanych z blach gi tych na zimno, lub do połączenia głównego, gdy blacha poszycia jest mocowana bezpośrednio do rygla.

### Nośność czynniki

Charakterystyczne nośności czynniki na rozwaranie połączenia można ustalić na podstawie badań np. zgodnie z wytycznymi ECCS. Obliczeniowe nośności połączenia należy określić, dzieląc wytrzymałość charakterystyczną przez współczynnik bezpieczeństwa  $\gamma_{M2}=1,25$ . Dla wielu typów elementów złącznych mogą być przyjęte wartości określone przez producenta lub ze wzorów podanych w Eurokodzie 3, cz. 1.3.

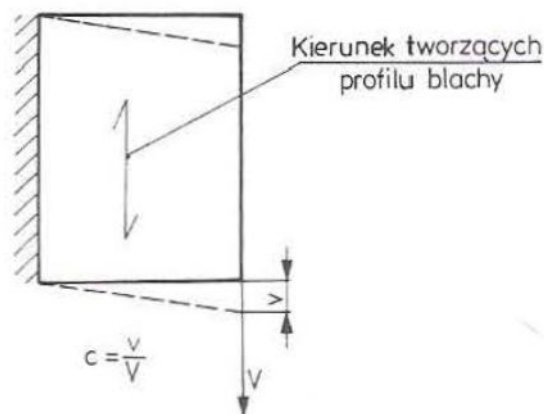
### Połączenia elementów złącznych

Wartości połączenia elementów złącznych w arkuszu blachy można określić na podstawie badań, zgodnie z wytycznymi ECCS. Typowe wartości dla powszechnie stosowanych elementów złącznych są podane w tabelach dla warunków obciążenia charakterystycznego. W obrębie dla podanych grubości blachy można przyjąć wartości połączenia wymienione w tabelach niezależnie od grubości blachy  $t_1$  i granicy plastyczności  $f_y$ .

### **Wytrzymałość tarczownicy**

Projektowanie pokrycia współpracujących można podzielić na dwa główne etapy:

- określenie podatności przepony na ścinanie, tzn. stosunku przemieszczenia  $v$ ; płaszczyzny pokrycia do wartości siły ścinającej wywołującej to przemieszczenie



- określenie nośności przepony.

Podatność przepony jest sumą podatności poszczególnych elementów oraz podatności połączeń między tymi elementami. Zwraca się tu uwagę, że operowanie podatnościami jest wygodniejsza niż sztywnościami, gdy podatność wypadków uzyskuje się w wyniku dodania podatności składowych, zaś sztywność wypadków znajduje się dodając odwrotnie sztywności składowych i następnie obliczając odwrotnie otrzymany wynik.

Określenie nośności przepony wymaga przeanalizowania możliwych postaci jej zniszczenia. Przepona powinna być tak zaprojektowana, aby w przypadku ewentualnego przecięcia nastąpiła owalizacja otworów w blasze przy łącznikach, gdy taka postać zniszczenia nie wykazuje cech zniszczenia kruchej, co oznacza, że zniszczenie następuje stopniowo i zachodzi redystrybucja obciążenia. Wówczas nośność przepony może być określona w sposób pewny.

Inne elementy przepony, których zniszczenie mogłoby mieć skutki groźniejsze niż w przypadku opisanym wyżej, projektuje się tak, aby miały odpowiedni zapas bezpieczeństwa przed zniszczeniem wskutek pracy przepony jako tarczy, działania obciążenia prostopadłych do pokrycia lub kombinacji tych obciążenia. Przepona o zwykłych proporcjach niszczy się w wyniku owalizacji otworów w blasze



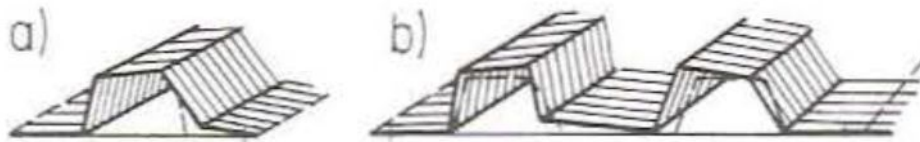
w poł czeniach uszczelniających lub po rednich. Przepona, w której pokrycie jest przymocowane na dwóch brzegach, zazwyczaj niszczy się wskutek owalizacji blachy w poł czeniach głównych, na krawędziach płatwi. Istnieją także inne postacie zniszczenia. Wykazuj one cechy zniszczenia kruche i z tego powodu należy zapewnić odpowiedni zapas bezpieczeństwa przed ich wystąpieniem. Zapas ten powinien wynosić co najmniej 25%. Inne postacie zniszczenia to:

- utrata stateczności pokrycia wskutek ścinania,
- zniszczenie rzędów czników głównych cz sto poprzedzone lokalnym zniekształceniem fałdy wokół cznika: w tym przypadku zapas nośności powinien wynosić 40%.
- utrata stateczności najbardziej obciążonej skrajnej płatwi wskutek ścisnięcia obciążeniem stycznym pochodzącego od oddziaływania pokrycia i zginania spowodowanego obciążeniem prostopadłym do pokrycia,
- kruche zniszczenie rzędów czników.

#### PODATNOŚĆ PRZEPOŃ NA ŚCINANIE

Podatność przepony na ścinanie jest sumą następujących podatności składowych:

- podatność wywołanej spłaszczeniem profilu blachy fałdowej



- podatność wywołanej odkształceniem postaciowym blachy.
- podatność rzędów czników głównych, uszczelniających i po rednich na ścinanie,
- podatność poł czenia płatwi z dwiema, jeżeli pokrycie jest przymocowane tylko do płatwi
- podatność wynikająca z działania sił wzdłużnych w płatwiach.

Znaczenie symboli podanych we wzorach jest następujące:

$c_{1,1}$ ,  $c_{1,2}$ ,  $c_{2,1}$ ,  $c_{2,3}$ ,  $c_3$ : - składowe podatności obciążeniowe tablicach,

$a_p$ ,  $b_p$  - wymiary przepony,

$\alpha_1$ ,  $\alpha_2$ ,  $\alpha_3$  - współczynniki korekcyjne uwzględniające wpływ liczby płatwi w przeponie

$\beta_1$ ,  $\beta_2$  - współczynniki korekcyjne uwzględniające zasadę zgodności przemieszczeń rzędów czników głównych i uszczelniających

$K$  - stała profilu blachy fałdowej.

$p_f$  - podziałka fałd blachy fałdowej,

$h$  - wysokość fałdy,

$p$  - podziałka rzędów czników głównych,

$s_{pr}$  - podatność poł czenia płatwi z dwiema (ramami),

$n_{sh}$  - liczba arkuszy blachy na szerokość przepony  $a_p$ , lub rozpiętość tarczownicy.

$n_s$  - liczba rzędów czników uszczelniających na długość przepony  $b_p$ ,

$n_p$  - liczba płatwi.

$n_{sc}$  - liczba rzędów czników po rednich przypadających na jeden dwuramkowy,

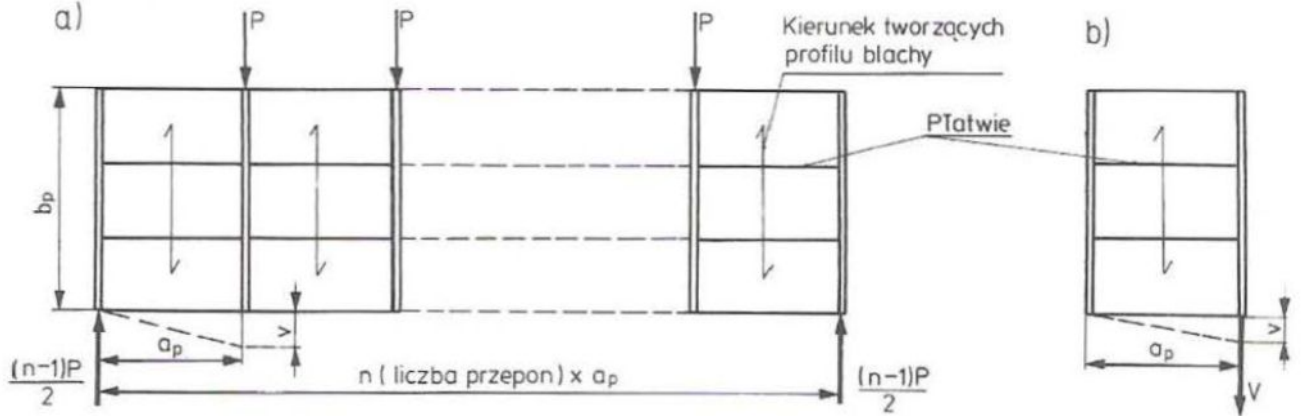
$n'_{sc}$  - liczba rzędów czników po rednich przypadających na jeden dwuramkowy wewnętrzny,

$n$  - liczba przepon o szerokość  $a_p$  na rozpiętość pokrycia,

Dla zespołów składających się z jednakowych przepon, podpartych w płaszczyźnie dwuramków skrajnych i obciążonych w płaszczyznach dwuramków pośrednich siłami  $V$  o jednakowej wartości, maksymalne przemieszczenie wynosi (w przybliżeniu)

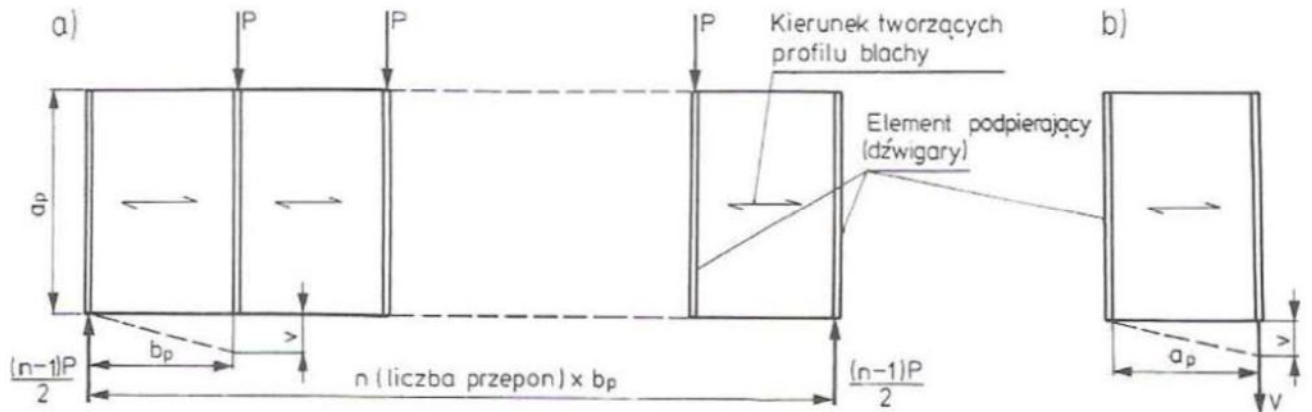
$$\Delta_{max} = \frac{V \cdot n^2}{8} \cdot c$$

rednia podatno przepony na cinanie gdy fałdy blach pokrycia s prostopadłe do płatwi








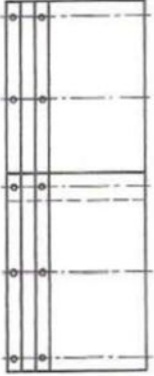
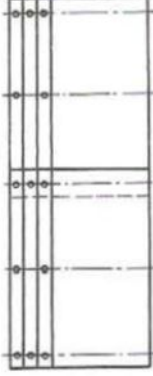
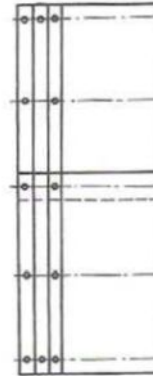
Składniki podatności przy ścinaniu		(1) Zespół przepon (por. rys. 4-6a)	(2) Pojedyncza przepona (por. rys. 4-6b)
Podatność wywołana przez		składniki podatności, mm/kN	składniki podatności, mm/kN
Odształcenie blachy	spaczenie profilu blachy	$c_{1,1} = a_p p_f^{2,5} \alpha_1 \alpha_4 K / (Et^{2,5} b_p^2)^{1,1}$	$c_{1,1} = a_p p_f^{2,5} \alpha_1 \alpha_4 K / (Et^{2,5} b_p^2)$
	odkształcenie postaciowe	$c_{1,2} = 2a_p \alpha_2 (1+\nu) [1 + (2h/p_f)] / (Et b_p)$	$c_{1,2} = 2a_p (1+\nu) [1 + (2h/p_f)] / (Et b_p)$
Odształcenie łącznika lub połączenia	łącznika głównego	$c_{2,1} = 2a_p s_p p \alpha_3 / b_p^2$	$c_{2,1} = 2a_p s_p p / b_p^2$
	łącznika uszczelniającego	$c_{2,2} = 2s_p s_p (n_{sh} - 1) / (2n_s s_p + \beta_1 n_p s_s)$	$c_{2,2} = 2s_p s_p (n_{sh} - 1) / (2n_s s_p + \beta_1 n_p s_s)$
	łącznika pośredniego lub połączenia między płatwią a dźwigiem	pokrycie przymocowane na 4 brzegach $c_{2,3} = 4(n+1)s_{sc} / (n^2 n'_{sc})$	pokrycie przymocowane na 4 brzegach $c_{2,3} = 2s_{sc} / n_{sc}$
	pokrycie przymocowane do płatwi i do elementów pośrednich na ramach szczytowych (usztywnionych)	$c_{2,3} = 4(n-1)(s_{pr} + s_p / \beta_2) / (n^2 n_p)$	pokrycie przymocowane do płatwi $c_{2,3} = 2(s_{pr} + s_p / \beta_2) / n_p$
Podatność łączna od ścinania		$c' = c_{1,1} + c_{1,2} + c_{2,2} + c_{2,3}$	
Podatność wywołana przez siły w płatwiach	odkształcenie osiowe w płatwiach	$c_3 = n^2 a_p^3 \alpha_3 / (4,8 E A b_p^2)$	$c_3 = 2a_p^3 / (3 E A b_p^2)$
Podatność łączna		$c = c' + c_3$	

rednia podatno przepony na cinanie gdy fałdy blach pokrycia s prostopadłe do d wigarów



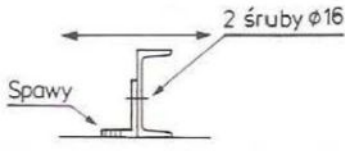
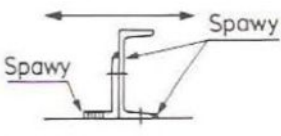
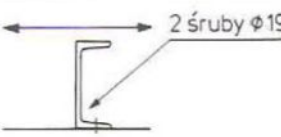
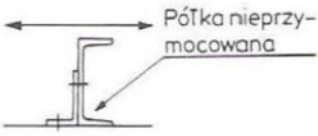
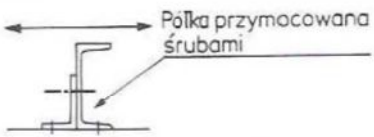
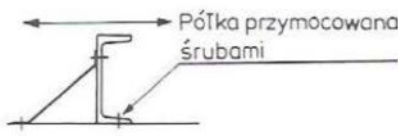
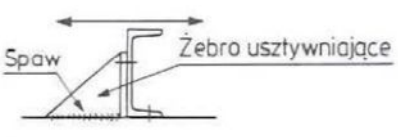
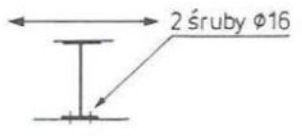
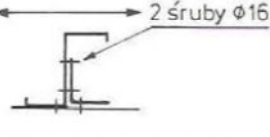
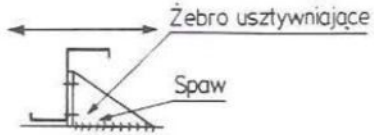
Składniki podatności przy ścinaniu		(1) Zespół przepon (por. rys. 4-7a)	(2) Pojedyncza przepona (por. rys. 4-7b)
Podatność wywołana przez		składniki podatności, mm/kN	składniki podatności, mm/kN
Odkształcenie blachy	spaczenie profilu blachy	$c_{1,1} = a_p p_f^{2,5} \alpha_5 K / (Et^{2,5} b_p^2)^{11}$	$c_{1,1} = a_p p_f^{2,5} \alpha_1 \alpha_4 K / (Et^{2,5} b_p^2)$
	odkształcenie postaciowe	$c_{1,2} = 2a_p(1+v)[1+(2h/p_f)] / (Etb_p)$	$c_{1,2} = 2a_p(1+v)[1+(2h/p_f)] / (Etb_p)$
Odkształcenie łącznika lub połączenia	łącznika głównego	$c_{2,1} = 2a_p s_p p / b_p^2$	$c_{2,1} = 2a_p s_p p / b_p^2$
	łącznika uszczelniającego	$c_{2,2} = 2s_s s_p (n_{sh} - 1) / (n_s s_p + \beta_1 n_p s_s)$	$c_{2,2} = 2s_s s_p (n_{sh} - 1) / (2n_s s_p + \beta_1 n_p s_s)$
	łącznika pośredniego lub połączenia między dźwigarem a elementem brzegowym	pokrycie przymocowane na 4 brzegach	pokrycie przymocowane na 4 brzegach
		$c_{2,3} = 2s_{sc} / n_{sc}$	$c_{2,3} = 2s_{sc} / n_{sc}$
	pokrycie przymocowane na 2 brzegach	jak obok	
	$c_{2,3} = s_{pr} + s_p / \beta_2$	$c_{2,3} = 2(s_{pr} + s_p / \beta_2) / n_p$	
Podatność łączna od ścinania		$c' = (b_p / a_p)^2 (c_{1,1} + c_{1,2} + c_{2,1} + c_{2,2} + c_{2,3})$	
Podatność wywołana przez siły w płatwiach	odkształcenie osiowe w płatwiach	$c_3 = n^2 b_p^3 / (4,8 E A a_p^2)$	$c_3 = 2b_p^3 / (3 E A a_p^2)$
Podatność łączna		$c = c' + c_3$	$c = c' + c_3$

Wpływ rozstawu 1 czników

	Łącznik w każdej dolinie fałdy	Łącznik w co drugiej dolinie fałdy	Łącznik w każdej dolinie fałdy dla obu krawędzi pokrycia	Łącznik w każdej dolinie fałdy dla jednej krawędzi blachy
Jeden arkusz pokrycia na długości przepony $b_p$	 $c_{1,1} = \frac{a_p \alpha_1 K}{Eb_p^2} \cdot \sqrt{\left(\frac{p_f}{t}\right)^5}$ <p>(1)</p>	 $c_{1,1} = \frac{a_p \alpha_1 K}{Eb_p^2} \cdot \sqrt{\left(\frac{p_f}{t}\right)^5}$ <p>(2)</p>	 $c_{1,1} = \frac{a_p \alpha_1 K}{Eb_p^2} \cdot \sqrt{\left(\frac{p_f}{t}\right)^5}$ <p>Uwaga: <math>\alpha_1 = 1,0</math> (3)</p>	 $c_{1,1} = \frac{a_p \alpha_1 K}{Eb_p^2} \cdot \sqrt{\left(\frac{p_f}{t}\right)^5}$ <p>Uwaga: <math>\alpha_1 = 0,5</math> (4)</p>
$n_b$ arkuszy pokrycia na długości przepony $b_p$	 $c_{1,1} = \frac{a_p \alpha_1 \alpha_4 K}{Eb_p^2} \cdot \sqrt{\left(\frac{p_f}{t}\right)^5}$ $\alpha_4 = 1 + 0,3n_b$ <p>uwaga: <math>\alpha_1</math> odpowiada liczbie płatwi na jedną długość arkusza pokrycia (5)</p>	 $c_{1,1} = \frac{a_p \alpha_1 \alpha_4 K}{Eb_p^2} \cdot \sqrt{\left(\frac{p_f}{t}\right)^5}$ $\alpha_4 = 1 + 0,3n_b$ <p>uwaga: <math>\alpha_1</math> odpowiada liczbie płatwi na jedną długość arkusza pokrycia (6)</p>	 $c_{1,1} = \frac{a_p \alpha_1 \alpha_4 K}{Eb_p^2} \cdot \sqrt{\left(\frac{p_f}{t}\right)^5}$ $\alpha_4 = 1 + 0,3n_b$ <p>uwaga: <math>\alpha_1 = 1,0</math> (7)</p>	 $c_{1,1} = \frac{a_p \alpha_1 \alpha_4 K}{Eb_p^2} \cdot \sqrt{\left(\frac{p_f}{t}\right)^5} \cdot \left(1 - \frac{1}{n_b}\right)$ <p>uwaga: <math>\alpha_1</math> odpowiada liczbie płatwi na jedną długość arkusza pokrycia (8)</p>

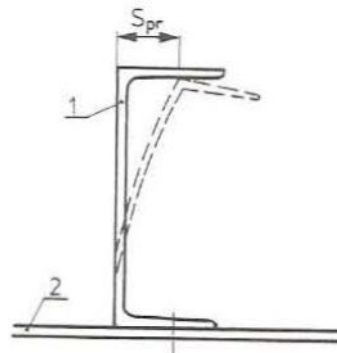


No obliczeniowa i podatno wybranych przykładowych połączeń płatew - d wigar

Numer połączenia	Typ płatki i podpórki	Przykład połączenia	Nośność obliczeniowa $F_{pr}$ kN	Podatność $s_{pr}$ mm/kN
1	ceownik walcowany 102 x 51 + podpórka z kątownika 89 x 64 x 7,8 długości 89 mm		4,9	0,84
2			20,0	0,11
3	ceownik walcowany 152 x 76		14,4	0,60
4	płatew j.w. + podpórka z kątownika 76 x 64 x 62 długości 127 mm		7,2	1,20
5			19,6	0,35
6	płatew j.w. + podpórka z zagiętej blachy		25,0	0,13
7	płatew j.w. + podpórka z żebrzem		25,0	0,05
8	dwuteownik 254 x 102 (22 kg/m)		10,0	2,60
9	zetownik 203 x 51 x 2 + podpórka z kątownika 178 x 89 x 9,4 długości 127 mm		4,4	1,40
10			7,2	0,38

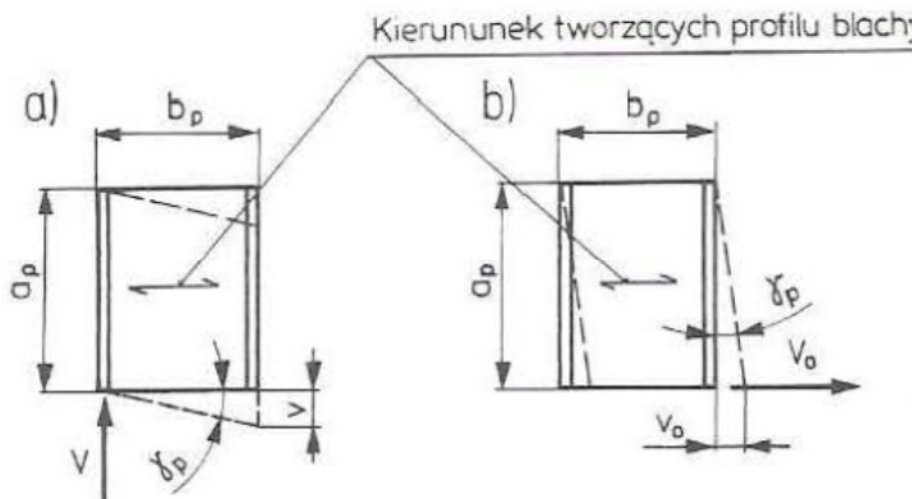
No nie i podatno innych podobnych poł cze mo e by oszacowana na podstawie powy szych warto ci lub okre lona do wiadczalnie.

Warto ci współczynników korelacyjnych uwzgl dniaj cych wpływ liczby płatek  $\alpha$  i zasad zgodnie ci przemieszcze ł czników głównych  $\beta$  mo na przyjmowa z tabeli



Współczynniki korekcyjne  $\alpha$  uwzgl dniaj ce wpływ liczby płatek w przeponie.

Całkowita liczba płatek na długości przepony (lub na długości arkusza pokrycia) $n_p =$	Współczynnik korekcyjny		
	$\alpha_1$	$\alpha_2$	$\alpha_3$
2	1	1	1
3	1	1	1
4	0,85	0,75	0,90
5	0,70	0,67	0,80
6	0,60	0,55	0,71
7	0,60	0,50	0,64
8	0,60	0,44	0,58
9	0,60	0,40	0,53
10	0,60	0,36	0,49
11		0,33	0,45
12		0,30	0,42
13		0,29	0,39
14		0,27	0,37
15		0,25	0,35
16		0,23	0,33
17		0,22	0,31
18		0,21	0,30
19		0,20	0,28
20		0,19	0,27



Współczynnik uwzględniający liczbę czynników głównych

Liczba łączników na szerokości arkusza $n_f =$	Współczynnik		
	połączenie na szczycie fałdy $\beta_1$	połączenie w dolinie fałdy $\beta_1$	$\beta_2$
2	0,13	1,0	1,0
3	0,30	1,0	1,0
4	0,44	1,04	1,11
5	0,58	1,13	1,25
6	0,71	1,22	1,40
7	0,84	1,33	1,56
8	0,97	1,45	1,71
9	1,10	1,56	1,88
10	1,23	1,68	2,04

Ka da ze składowych podatności (oprócz  $c_3$ ) może być zdefiniowana jako

$$c_i = \frac{v_i}{V_i}$$

Ponieważ kąt spaczenia przepony  $\gamma_{pi}$  przy tworzących profilu blachy równoległych do długości budynku wynosi:

$$\gamma_{pi} = \frac{v_i}{b_p} = \frac{v_{oi}}{a_p} \quad \text{i} \quad \frac{V_i}{a_p} = \frac{v_{oi}}{b_p}$$

oraz:

$$c_{oi} = \frac{v_{oi}}{V_{oi}}$$

stąd:

$$c_i = c_{oi} \cdot \left(\frac{b_p}{a_p}\right)^2$$

W układzie gdy obciążenie działa prostopadłe do tworzących fałd blachy, długość odcinka płatwi wynosi  $b_p$ , rozstaw zaś  $a_p$ , więc:

$$c_3 = \frac{n^2 \cdot b_p^3}{4,8 \cdot E \cdot A \cdot a_p^2}$$

Zatem, całkowita podatność przepony wynosi:

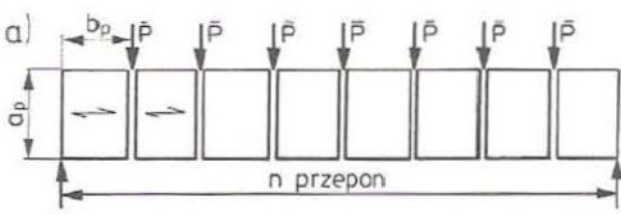
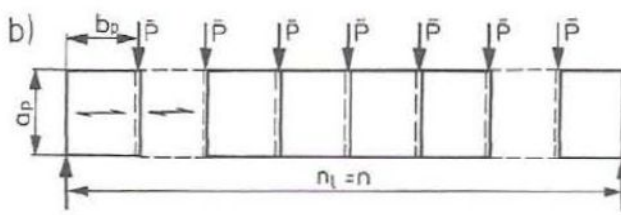
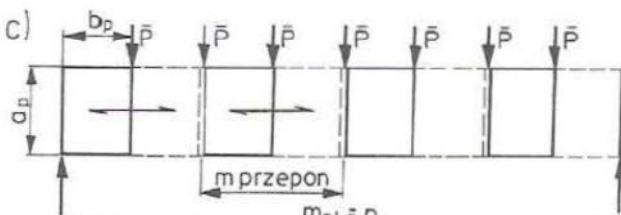
$$c = (c_{01,1} + c_{01,2} + c_{02,2} + c_{02,3}) \cdot \left(\frac{b_p}{a_p}\right)^2 + \frac{n^2 \cdot b_p^3}{4,8 \cdot E \cdot A \cdot a_p^2}$$

Przemieszczenia w płaszczyźnie przepony płaskiego zespołu konstrukcyjnego, składającego się z kilku przepon, pokrytego blachami, której fałdy są równoległe do rozpiętości, podpartego na dwu wigerach skrajnych, zależy od istnienia i rozmieszczenia połączeń zakładkowych między arkuszami pokrycia (połączenia uszczelniające) oraz rozstawu czynników w tych połączeniach.

Istnienie połączeń ogranicza swobodę paczenia się krawędzi blach. Wzory umożliwiające obliczenia podatności są podane w tabeli.

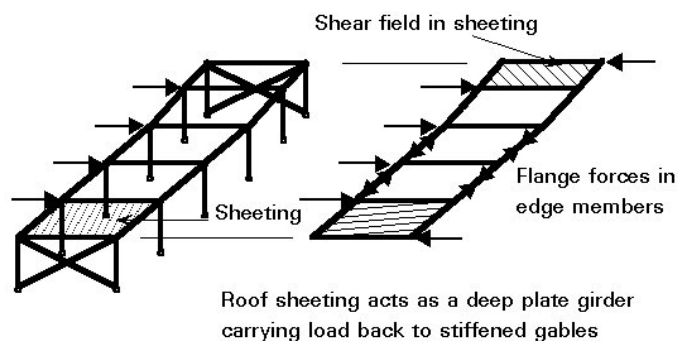


Podatno zespołu przepon w przypadku gdy tworzą one fałdy równoległe do rozpięcia zespołu.

Przypadek	Podatność $c$	Uwagi
Długość pokrycia równa długości przepony; arkusze pokrycia nie są wzajemnie połączone	 $c = \left[ \frac{b_p^2}{a_p^2} (c_{1,1} + c_{1,2} + c_{2,1} + c_{2,2} + c_{2,3}) + c_3 \right]$	w tej tabeli przy obliczaniu $c_{1,1}$ podstawia się $K = K_1$ dla łącznika w każdej dolinie fałdy oraz $K = K_2$ dla łącznika w co drugiej dolinie fałdy
Długość pokrycia równa długości przepony; arkusze pokrycia połączone zakładkowo	 $c = \left[ \frac{b_p^2}{a_p^2} (c_{1,1} \alpha_5 + c_{1,2} + c_{2,1} + c_{2,2} + c_{2,3}) + c_3 \right]$	$\alpha_5$ wynosi przy liczbie przepon $n =$ 2            1,0 3            0,9 4            0,8 5 lub więcej 0,7
Długość pokrycia równa kilku długościom przepony; arkusze pokrycia połączone zakładkowo	 $c = \left[ \frac{b_p^2}{a_p^2} \left( c_{1,1} \frac{\alpha_5}{m} + c_{1,2} + c_{2,1} + c_{2,2} + c_{2,3} \right) + c_3 \right]$	$\alpha_5$ podano wyżej

## NO NO PRZEPONY PRZY CIĄNIU – TWORZĄCE FAŁDY PROSTOPADŁE DO ROZPIĘCIA ZESPOŁU

Ze względu na rozkład siły ciągnącej w zespole przepon, zwykle wystarczy sprawdzić nośność przepony skrajnej.



### No no połączenia uszczelniającego

$$V_{ult,s} = n_s \cdot F_s + (\beta_1/\beta_3) \cdot n_p \cdot F_p$$

gdzie:  $n_s$  liczba łączników w połączeniu uszczelniającym (wzdłużnym) pomniejszona o 1 łącznik przechodzący zarówno przez blachy, jak i płatew,  
 $F_s$  nośność pojedynczego łącznika uszczelniającego,  
 $n_p$  liczba płatwi,  
 $F_p$  nośność pojedynczego łącznika głównego,  
 $\beta_1$  współczynnik uwzględniający liczbę łączników głównych wg. tablicy  
 $\beta_3$  współczynnik uwzględniający mocowanie blachy przez łączniki główne;  $\beta_3 = 1,0$  – dla połączenia w dolinie fałdy,  $\beta_3 = (n_f - 1)/n_f$  – dla połączenia na szczycie fałdy  
 $n_f$  liczba łączników głównych na szerokości arkusza

### No no połączenia po redniego z dźwigarem skrajnym (ramą szczytową)

$$V_{ult,sc} = n_{sc} \cdot F_{sc}$$

gdzie:  $n_{sc}$  liczba łączników po rednich na dźwigarze końcowym,  
 $F_{sc}$  nośność pojedynczego łącznika po redniego.

### No no połączenia po redniego z dźwigarem pośrednim (ramą pośrednią)

$$V_{ult,sc} = n_{sc} \cdot F_{sc} \geq P_{ult}$$

gdzie:  $n_{sc}$  liczba łączników po rednich na dźwigarze (ramie wewnętrznej),  
 $P_{ult}$  obciążenie obliczeniowe ramy.

Obciążenie ramy końcowej jest  $(n-1)/2$  razy większe od obciążenia ramy wewnętrznej, wobec czego liczba łączników po rednich w połączeniu z ramą końcową powinna wynosić:

$$n_{sc} = [(n - 1)/2] \cdot n_{sc}$$

gdzie  $n$  - liczba przępon na rozpiętości zespołu.

### No no przepony przymocowanej na dwóch brzegach

W pokryciu przymocowanym jedynie do płatwi i ram szczytowych nośności poszczególnych połączeń można określić ze wzorów:

- nośności końcowych połączeń głównych dla przepony wewnętrznej:

$$V_{ult,p} = \beta_2 \cdot n_p \cdot F_p \geq P_{ult}$$

gdzie:  $\beta_2$  współczynnik uwzględniający liczbę łączników głównych wg. Tablicy.

- nośność połączeń płatwi z dźwigarami:

$$V_{ult,p} = n_p \cdot F_{pr} \geq P_{ult}$$

gdzie:  $F_{pr}$  nośność połączenia płatwi z dźwigarem.

Jako nośność przepony  $V_R$  można przyjąć najmniejszą z wartości  $V_{ult}$  obliczonych dla połączeń po rednich z dźwigarem skrajnym lub dźwigarem pośrednim, oraz najmniejszą wartość  $V_{ult}$  obliczoną za pomocą równania:

$$V_{ult} = 0,5 \cdot P_{ult} \cdot (n - 1)$$

gdzie:  $P_{ult}$  obciążenie obliczeniowe ramy.

Dodatkowo należy sprawdzić także czy nie odpowiadają innym postaciom zniszczenia jest większa od  $V_R$ . Wiele się to z wyeliminowaniem niecięgliwych rodzajów zniszczenia. Takie postacie uważa się za nieopracowane i przepływność należy ukształtować tak, aby odpowiadała im nie była odpowiednio większa od nieopracowanych obliczonych powyżej.

Należy spełnić następujące warunki dotyczące:

- zabezpieczenia przed przedwczesnym zniszczeniem połączenia głównego (tzn. między płatwiami a blachą):

$$\frac{0,6 \cdot b_p \cdot F_p}{p \cdot \alpha_3} \geq V_R$$

gdzie:  $b_p$       wymiar przepływności w kierunku tworzących fałd,  
 $p$             podziałka łuków głównych,  
 $\alpha_3$         współczynnik korelacyjny uwzględniający liczbę płatwi z tabeli.  
 $V_R$         nieopracowana obliczeniowa przepływność;

- zabezpieczenia przed przedwczesnym dużym zniekształceniem profilu fałd na końcach blach:  
- blacha przymocowana jest w każdej fałdzie (na końcu blachy)

$$\frac{0,9 \cdot t^{1,5} \cdot b_p \cdot f_d}{p_f^{0,5}} \geq V_R$$

- blacha przymocowana jest w co drugiej fałdzie (na końcu blachy)

$$\frac{0,3 \cdot t^{1,5} \cdot b_p \cdot f_d}{p_f^{0,5}} \geq V_R$$

gdzie:  $t$             grubość blachy netto,  
 $f_d$             wytrzymałość obliczeniowa blachy,  
 $p_f$             podziałka fałd;

- zabezpieczenia przed przedwczesnym wystąpieniem utraty stateczności blachy przy ciniowaniu:  
Naprawienia ciniowanie mogą spowodować, że szerokie pasy i rodniki fałd lokalnie utracą stateczność, a blacha utraci stateczność całkowicie. Lokalna utrata stateczności może też oddziaływać na wartość siły krytycznej globalnej (całkowitej) utraty stateczności.  
Wpływ lokalnej utraty stateczności na nieopracowaną przepływność oraz na podatność przepływności jest zazwyczaj tak mały, że można go pominąć. Można pominąć interakcje między lokalną a całkowitą utratą stateczności, jeżeli spełniony jest warunek:

$$\frac{l}{t} \leq 2,9 \cdot \left( \frac{E}{f_y} \right)^{0,5}$$

Jeżeli warunek ten nie jest spełniony, to nieopracowaną przepływność (ze względu na utratę stateczności) należy zredukować wg wzoru:

$$V_{red} = \frac{V_g \cdot V_l}{V_g + V_l} \geq V_R$$

gdzie:  $l$             szerokość szerszego pasa fałdy,  
 $V_g$             wartość obliczeniowa siły krytycznej całkowitej utraty stateczności przepływności przy ciniowaniu,  
 $V_l$             wartość obliczeniowa siły krytycznej lokalnej utraty stateczności przepływności przy ciniowaniu;

W celu zabezpieczenia przed przedwczesnym wystąpieniem zniszczenia w tak niepo- danej postaci we wzorach uwzgl dniono 25% zapas no no ci. Przyj to nast puj ce założ enia:

- przepona podzielona jest na obszary oddziaływaj ce na siebie przy utracie stateczno ci; w przypadku bardzo sztywnych płatwi tego oddziaływania nie ma i wtedy warto siły krytycznej w blasze przymocowanej do płatwi w ka dej dolinie fałd mo e by nawet dwukrotnie wi ksza,
- warto siły krytycznej w przeponie równa jest sumie warto ci siły w poszczególnych obszarach zawartych mi dzy płatwiami,
- ł czniki główne mog by umieszczone takż e w co drugiej dolinie fałd, wtedy:

$$V_g = \frac{14,4 \cdot D_x^{0,25} \cdot D_y^{0,75} \cdot (n_p - 1)^2}{b_p}$$

przy czym:  $D_x = \frac{E \cdot t^3 \cdot p_f}{[12 \cdot (1 - \nu^2) \cdot u]}$  i  $D_y = \frac{E \cdot I}{p_f}$

- gdzie: u długo rozwini cia jednej fałdy o podziałce  $p_f$ ,  
 v liczba Poissona,  
 I moment bezwładno ci przekroju poprzecznego jednej fałdy przy zginaniu wzgl dem osi przechodz cej przez rodek ci ko ci przekroju, równoległej do płaszczyzny pasów,  
 $n_p$  liczba płatwi;

Warto obliczeniowa siły krytycznej lokalnej utraty stateczno ci fałd mo e by obliczona ze wzorów poni szych z uwzgl dnieniem 25-proc. zapas nośno ci.

- dla pasa nie usztywnionego

$$V_l = 4,83 \cdot E \cdot (t/l)^2 \cdot b_p \cdot l$$

- dla pasa usztywnionego (z przetłoczeniem wzdłużnym)

$$V_l = \frac{36 \cdot b_p \cdot D_x^{0,25} \cdot D_y^{0,75}}{b_k^2}$$

przy czym:  $D_x = \frac{E \cdot I_f}{b_k}$  i  $D_y = \frac{E \cdot t^3}{10,92}$

- gdzie:  $I_f$  - moment bezwładno ci usztywnionego pasa (o szeroko ci  $b_k$ ) wzgl dem osi poziomej

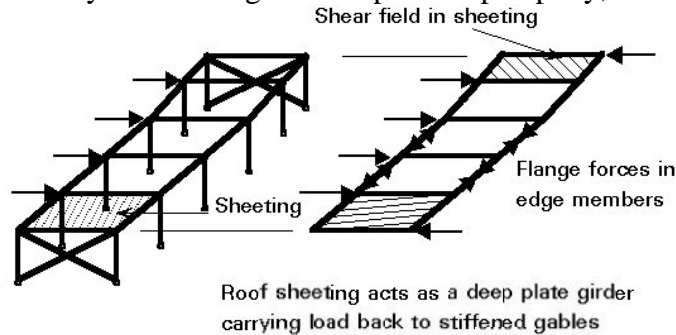
- zabezpieczenia przed przedwczesnym zniszczeniem elementów brzegowych  
 Elementy brzegowe oraz ich połączenia powinny by zaprojektowane tak, aby umo liwiały przeniesienie przypadaj cych na nie obci en zewnętrznych, oraz dodatkowych obci e osiowych pochodz cych od pracy przepony jako tarczy. To obci enie powinno by dodatkowo zwi kszone 1,25 razy. Obci enie osiowe mo że być określone ze wzoru:

$$N_{ad} = \frac{q \cdot L^2 \cdot \alpha_3}{8 \cdot b_p}$$

- gdzie: q obci enie liniowe w płaszczy nie przepony,  
 L rozpi to zespołu przepon mi dzy st onymi ramami,  
 $\alpha_3$  współczynnik korelacyjny uwzgl dniaj cy liczb płatwi z tabeli,  
 $b_p$  wymiar przepony w kierunku tworz cych fałd.

## NO NO PRZEPONY PRZY CINANIU – TWORZ CE FAŁD RÓWNOLEGŁE DO ROZPI TO CI

Ze wzgl du na rozkład siły cinajcej w zespole przepon, zwykle wystarczy sprawdzi no no przepony skrajnej. Warunki konieczne do sprawdzenie no no ci takiego zespołu przepon s takie same jak w przypadku blach uło onych równolegle do rozpi to ci przepony, ró ni si jedynie wzorami:



No no poł czenia uszczelniaj cego

$$V_{ult,s} = \frac{a_p}{b_p} \cdot \left( n_s \cdot F_s + \frac{\beta_1 \cdot F_p}{\beta_3} \right)$$

No no poł czenia po redniego; w przypadku blachy przymocowanej do d wigarów i elementów brzegowych

$$V_{ult,sc} = \frac{a_p}{b_p} \cdot n_{sc} \cdot F_{sc}$$

No no poł czenia głównego; w przypadku blachy przymocowanej jedynie do d wigarów (dotyczy d wigara ko cowego)

$$V_{ult,p} = \frac{a_p}{b_p} \cdot 1,5 \cdot \beta_2 \cdot F_p$$

Nie jest to rozwi zanie zalecane projektowo, ale mo e wyst pi przy dokładnej analizie istniejcej konstrukcji. W przypadku zbyt małej warto ci  $V_{ult}$ , nale y umie ci elementy po rednie mi dzy blach a wzdłu nymi elementami brzegowymi w skrajnych przeponach i odpowiednio je poł czy. No no poł czenia w przypadku skrajnej przepony określa się według wzoru powy ej, za dla wewn trznej według formuły:

$$V_{ult,p} = \frac{a_p}{b_p} \cdot 1,5 \cdot \beta_2 \cdot F_p \geq P_{ult}$$

Jako no no przepony  $V_R$  mo na przyjąć najmniejszą z warto ci  $V_{ult}$  obliczon z powy szych wzorów, oraz najmniejsz warto  $V_{ult}$  obliczoną za pomocą równania:

$$V_{ult} = 0,5 \cdot P_{ult} \cdot (n - 1)$$

Dodatkowo nale y sprawdzi tak e czy no'no' odpowiadaj ca innym postaciom zniszczenia jest wi ksza od  $V_R$ , podobnie jak w przypadku przepony z tworz cymi prostopadłymi do długo ci.

Nale y spełni nast puj ce warunki dotycz ce:

- zabezpieczenia przed przedczesnym zniszczeniem poł czenia głównego (tzn. mi dzy d wigarem a blach ):

$$\frac{0,6 \cdot a_p \cdot F_p}{p} \geq V_R$$

gdzie:  $a_p$  wymiar przepony w kierunku prostopadłym do tworz cych fałd,

- zabezpieczenia przed przedwczesnym dużym zniekształceniem profilu fałd na końcach blach:
  - blacha przymocowana jest w każdej fałdzie (na końcu blachy)

$$\frac{0,9 \cdot t^{1,5} \cdot a_p \cdot f_d}{p_f^{0,5}} \geq V_R$$

- blacha przymocowana jest w co drugiej fałdzie (na końcu blachy)

$$\frac{0,3 \cdot t^{1,5} \cdot a_p \cdot f_d}{p_f^{0,5}} \geq V_R$$

- zabezpieczenia przed przedwczesnym wystąpieniem utraty stateczności blachy przy ścinaniu:
 

W celu określenia  $V_1$  i  $V_{red}$  można skorzystać z zaleceniami dla przepony z tworzywami fałd prostokątnymi dla długości przepony, z tym że wartość siły krytycznej całkowitej utraty stateczności (w przypadku blachy przymocowanej w każdej dolinie fałdy) można określić ze wzoru:

$$V_g = \frac{28,8 \cdot a_p \cdot D_x^{0,25} \cdot D_y^{0,75}}{b_p^2}$$

W przypadku blachy przymocowanej w co drugiej dolinie fałdy, wartość  $V_g$  zaleca się przyjmować 2-krotnie mniejszą.

- zabezpieczenia przed przedwczesnym zniszczeniem elementów brzegowych
 

Warunek dotyczący zabezpieczenia przed przedwczesnym zniszczeniem elementów brzegowych można sprawdzić zgodnie z zaleceniami dla przepony z tworzywami fałd prostokątnymi dla długości przepony, z tym że maksymalną wartość siły osiowej należy przyjmować ze wzoru:

$$N_{ad} = \frac{q \cdot L^2}{8 \cdot a_p}$$

## WPLYW OBCIĘŻY ZŁOŹONYCH NA NOŚNOŚĆ I PODATNOŚĆ PRZEPONY

Sztywność i wymiary blach fałdowych oraz konstrukcji, w których są zastosowane, umiarkowanie zazwyczaj przyjęte następujących założeń:

- zniekształcenia lub uszkodzenia blach pokryciowych stają się widoczne i wymagają naprawy, zanim mogłyby to niekorzystnie wpłynąć na zachowanie się przepony jako tarczy.
- przy projektowaniu pokrycia w postaci blachy fałdowej zwykle nie ma potrzeby uwzględnienia współpracy tego elementu ze szkieletem konstrukcji,
- można założyć wpływ obciążeń prostokątnych do pokrycia, zarówno dociskowych, jak i odrywających, nie musi być brany pod uwagę przy obliczeniach nośności i podatności przepony przy ścinaniu.

Obciążenia złożone mają wpływ na nośność i czynniki jedynie w przypadku czynników głównych, czyli łukowych blach z płatkami (gdy tworzące fałdy są prostopadłe do rozpiętości pokrycia) i z dwiema (gdy tworzące fałdy są równoległe do rozpiętości pokrycia). Oddziaływanie to uwzględnia się, stosując formuły interakcyjne:

$$\left(\frac{F_{t,Ed}}{F_{t,Rd}}\right)^2 + \left(\frac{F_{p,Ed}}{0,6 \cdot F_{p,Rd}}\right)^2 \leq 1,0$$

gdzie:  $F_{t,Ed}$  obliczeniowe obciążenie rozciągające ł cznika,  
 $F_{t,Rd}$  nośność (obliczeniowa) ł cznika na rozciąganie,  
 $F_{p,Ed}$  obliczeniowe obciążenie cisa ł cznika,  
 $F_{p,Rd}$  nośność obliczeniowa ł cznika na cisanie

Nośność obliczeniowa ł cznika na rozciąganie oznacza tutaj nie tylko nośność samego ł cznika, lecz także nośność połączenia przy rozciąganiu obliczoną dla pojedynczego ł cznika i odnosząca się do zniszczenia w postaciach: - przecięcia blachy przez łeb ł cznika,  
 - wyrwania ł cznika z podłoża.

Nośność obliczeniowa ł cznika na cisanie uwzględnia nie tylko nośność samego ł cznika, lecz również wytrzymałość czonych elementów od obciążeń poprzecznych w odniesieniu na jeden ł cznik. Znaczenie innych efektów jest znikome i może być pominięte.

### UGI CIE PRZEPONY

Całkowite ugięcie przepony jest sumą przemieszczeń związanych z odkształceniami plastycznymi blachy poszycia, podatności połączeń i odkształceniami elementów brzegowych. W rodzaju rozpiętości ugięcie jest największe i może być obliczana według wzorów zamieszczonych w tabelicy:

Przemieszczenie wywołane przez		Wzór
Spaczenie profilu blachy		$\Delta_{1,1} = \frac{p_f^{2,5} K q L^2}{8 E t^{2,5} b_p^2}$
Odkształcenie postaciowe blachy		$\Delta_{1,2} = \frac{(1+\nu) \left[ 1 + \left( \frac{2h}{p_f} \right) \right] q L^2}{4 E t b_p}$
Podatność:	łączników między blachami a kalenicą (okapem) — łączników głównych	$\Delta_{2,1} = \frac{s_p p q L^2}{4 b_p^2}$
	łączników między blachami — łączników uszczelniających	$\Delta_{2,2} = \frac{s_s s_p (n_{sh} - 2) q L}{8 (n_s s_p + \beta_1 s_s)}$
	łączników między blachami a ramami skrajnymi — łączników pośrednich	$\Delta_{2,3} = \frac{s_p s_{sc} q L}{2 (2 \beta_1 s_{sc} + n_{sc} s_p)}$
Odkształcenie wzdłużne w kalenicie i okapie		$\Delta_3 = \frac{q L^4}{38,4 E A b_p^2}$
Przemieszczenie łączne		$\Delta = \Delta_{1,1} + \Delta_{1,2} + \Delta_{2,1} + \Delta_{2,2} + \Delta_{2,3} + \Delta_3$

gdzie:  $A$  połowa pola przekroju kalenic (okapu),  
 $q$  obciążenie cisa na tarczownicę uwzględniające składowe siły od ciężaru własnego, niegu i wiatru rozłożone na jednostkę długości [kN/m]

## WPŁYW PRZEPOŃ NA ZACHOWANIE SI KONSTRUKCJI NO NEJ BUDYNKU

Głównym zadaniem i najwiskszym zyskiem uwzględnianie przepon w konstrukcji obiektu jest przejmowanie sił poziomych z po rednich ram głównych układów konstrukcyjnych na st one ramy skrajne. Rozpatruje si tutaj dwa przypadki:

- słupy s zamocowane przegubowo zarówno w fundamencie jak i w le okapowym. Wtedy rama głównego układu konstrukcyjnego jest mechanizmem, słupy przenosz tylko siły osiowe (od pionowych składowych obci e ), a cało obci e przejmuje sztywna tarcza dachowa. Przepona powinna by zaprojektowana tak, by no no  $V_R$  była wi ksza od siły cinajcej w przeponie, natomiast podatno powinna zapobiega nadmiernym przemieszczeniom bocznym w złów okapowych w ramach po rednich.
- słupy s zamocowane sztywno w fundamencie lub w w le okapowym, albo w obydwu tych w złączach. Wtedy sztywno rama głównego układu konstrukcyjnego jest zwi kszana przez sztywno tarczy dachowej. Obci enia rozkładana s na ram i tarcz dachow proporcjonalnie do ich sztywno ci.

Współczynniki redukcyjne  $\eta$  dla ram w budynku ze współpracuj cym pokryciem okre la si z tablicy:

No. of frames in building	Frame number	VALUES OF RELATIVE FLEXIBILITY $\psi$											
		0,25	0,30	0,35	0,40	0,45	0,50	0,60	0,70	0,80	0,90	1,00	1,10
3	2	0,111	0,130	0,149	0,167	0,184	0,200	0,231	0,255	0,286	0,310	0,333	0,425
	4	0,200	0,231	0,250	0,266	0,280	0,333	0,375	0,412	0,441	0,471	0,500	0,600
5	2	0,265	0,301	0,333	0,362	0,388	0,412	0,454	0,490	0,521	0,546	0,571	0,695
	3	0,247	0,282	0,312	0,338	0,360	0,389	0,429	0,460	0,492	0,518	0,544	0,665
6	2	0,310	0,347	0,379	0,407	0,432	0,453	0,494	0,520	0,544	0,570	0,600	0,727
	3	0,448	0,497	0,540	0,576	0,603	0,635	0,684	0,721	0,752	0,778	0,800	0,971
7	2	0,310	0,375	0,406	0,423	0,454	0,477	0,513	0,543	0,569	0,591	0,611	0,743
	3	0,515	0,565	0,604	0,638	0,667	0,692	0,724	0,767	0,793	0,815	0,833	0,982
8	2	0,569	0,620	0,659	0,690	0,726	0,751	0,795	0,827	0,852	0,872	0,890	1,056
	3	0,659	0,710	0,749	0,780	0,816	0,841	0,885	0,917	0,942	0,962	0,979	1,156
9	2	0,640	0,691	0,730	0,761	0,797	0,822	0,866	0,898	0,923	0,943	0,960	1,137
	3	0,730	0,781	0,820	0,851	0,887	0,912	0,956	0,988	1,013	1,033	1,050	1,227
10	2	0,693	0,744	0,783	0,814	0,850	0,875	0,919	0,951	0,976	0,996	1,013	1,190
	3	0,800	0,851	0,890	0,921	0,957	0,982	1,026	1,058	1,083	1,103	1,120	1,297
11	2	0,750	0,801	0,840	0,871	0,907	0,932	0,976	1,008	1,033	1,053	1,070	1,247
	3	0,850	0,901	0,940	0,971	1,007	1,032	1,076	1,108	1,133	1,153	1,170	1,347
12	2	0,800	0,851	0,890	0,921	0,957	0,982	1,026	1,058	1,083	1,103	1,120	1,297
	3	0,900	0,951	0,990	1,021	1,057	1,082	1,126	1,158	1,183	1,203	1,220	1,397
13	2	0,850	0,901	0,940	0,971	1,007	1,032	1,076	1,108	1,133	1,153	1,170	1,347
	3	0,950	1,001	1,040	1,071	1,107	1,132	1,176	1,208	1,233	1,253	1,270	1,447
14	2	0,900	0,951	0,990	1,021	1,057	1,082	1,126	1,158	1,183	1,203	1,220	1,397
	3	1,000	1,051	1,090	1,121	1,157	1,182	1,226	1,258	1,283	1,303	1,320	1,497

### Procedura obliczania konstrukcji hali z uwzględnieniem współpracy poszycia:

1. Ukształtowanie hali (długo , szeroko , wysoko , rozstaw GUP, schemat statyczny GUP, rodzaj poszycia, rozstaw płatwi)
2. Zestawienie oddziaływań i obci e , oraz obliczenia statyczne ram GUP i innych elementów obiektu.
3. Wymiarowanie i optymalizacja elementów konstrukcyjnych obiektu, zwłaszcza ram GUP bez uwzględnienia tarczowej pracy poszycia.
4. Wyznaczenie siły poziomej  $P_d$  (wartość obliczeniowa) oddziałuj cej na w zeł okapowy ramy GUP i odpowiadaj cemu jej przemieszczeniu poziomemu  $\Delta_d$
5. Wyznaczenie sztywno ci ramy  $k_r = \frac{\Delta_d}{P_d}$
6. Przyj cie poszycia i rodzaju ł czników go mocujących (rodzaj blachy, długo arkuszy, typ ł czników głównych, uszczelniaj cych i po rednich, rozstaw ł czników)
7. Obliczenie sztywno ci przepony c i no no ci na cinanie  $V_R$ ,
8. Obliczenie stosunku podatno ci przepony i słupa  $r = \frac{c}{k_r}$ ,
9. Z tablicy wyznaczenie współczynnika redukcyjny  $\eta$  dla poszczególnych ram.



10. Na podstawie współczynnika  $\eta$  wyznacza się momenty zginające, przemieszczenia poziome i rozdział sił działających na poszczególne ramy i tarczownice.
11. Wyznacza się przemieszczenia w zółw ramy rodkowej i sprawdza warunek SGU. W przypadku braku spełnienia tego warunku należy zmienić schemat GUP, lub usztywnić tarczownic dachow (zmiana grubości lub rodzaju blachy, zmiana rodzaju b d rozstawu łączników)
12. Oblicza się siły zginające w poszczególnych polach tarczownicy i sprawdza nośność przepony  $V_R$ . Gdy siły w którymś z pól przepony są większe od nośności, to należy w siłach projektuje się dodatkowe stężenie połączeniowe.
13. Oblicza się reakcje z tarczownicy i na wartości tej siły projektuje się stężenia ciennoszczytowych.