

Temat 2: Hale z przekryciami linowymi

Typowe zadanie

Dane: plan (widziany z góry) przekrycia i widok (z boku) typowych słupów * rodzaj dźwigarów linowych.

Szukane: praca (rozciąganie, ściskanie, zginanie) elementów hali (dźwigarów linowych, rygli i słupów) * wykresy momentów zginających * lekka konstrukcja stalowa linowo-rurowa, widziana z góry i z boku, z fundamentami.

Plan przekrycia: jest prostokątny albo wielokątny-foremny (trójkąt równoboczny, kwadrat, pięciokąt, sześciokąt, ośmiokąt, koło). Na planie prostokątnym liny przekrycia są równoległe do siebie i do jednej pary boków. Liny zamocowane są do dwóch rygli biegnących wzdłuż boków prostokąta prostopadłych do lin. Rygle spoczywają na słupach. Wszystkie liny przekrycia są identyczne, a więc przekrycie jest powierzchnią walcową. Prostokąty mogą być zestawiane bokami ryglowymi w większy prostokąt, tworząc hale wielonawowe. Rozpiętości naw mogą być jednakowe lub wyraźnie różne (dwa rodzaje, długie i krótkie). Na planie wielokątno-foremnym liny przekrycia będą promieniście z punktu centralnego. W przypadku planów o parzystej liczbie boków (cztery, sześć, osiem) liny mogą także łączyć pary równoległych boków. Przekrycie ma symetrię obrotową. Liny przekrycia trzymają się zewnętrznego pierścienia (rygla) położonego na obwodzie wielokąta. Pierścień zewnętrzny spoczywa na słupach. W środku wielokąta może (nie musi) wystąpić wielokątno-foremny otwór, którego brzeg tworzy pierścień wewnętrzny. Pierścień zewnętrzny i wewnętrzny mogą mieć tę samą lub różną (np. 3 i 6, 4 i 8) liczbę kątów. Pierścienie mogą być do siebie równoległe lub obrócone, z zachowaniem symetrii obrotowej.

Obciążenie: jest równomierne na całym przekryciu, pionowe, skierowane do dołu (grawitacyjne), zachowujące symetrię planu przekrycia. Środek pierścienia wewnętrznego jest otwarty, nieobciążony.

Liny przekrycia: są pojedyncze bądź podwójne (tzw. dźwigary linowe). Lina pojedyncza przyjmuje kształt zgodny z obciążeniem. W miejscach obciążonych równomiernie do dołu jest gładką krzywą wypukłą do dołu. W miejscach nie obciążonych jest prosta. Części krzywe łączą się z prostymi bez kątów (kąty występują pod siłami skupionymi, których w rozważanych zadaniach nie ma). Swoje otoczenie lina ciągnie do siebie, stycznie do kierunków liny na końcach. Ponieważ jej kształt zmienia się z obciążeniem, lina pojedyncza jest niestabilna: np. może się podnieść od ssania wiatru. Można tego uniknąć stosując dostatecznie ciężkie pokrycie dachu. Innym, lekkim rozwiązaniem jest lina podwójna (dźwigar linowy). Lina nośna (dźwigająca obciążenie grawitacyjne), wypukła do dołu, jest trwale naprężona za pomocą wypukłej do góry liny napinającej. Na odcinkach gdzie lina nośna jest poniżej liny napinającej, obie liny są połączone ścisłymi słupkami rozporowymi. Na odcinkach gdzie lina nośna jest powyżej liny napinającej, liny są połączone rozciągającymi (a więc też linowymi) ściągamami. Dwie liny w kształcie oczka (lina nośna i napinająca mają wspólne końce) działają na swoje otoczenie prawie tak jak sama lina nośna, a więc do siebie i (prawie) stycznie do liny nośnej. Dzieje się tak, gdyż siła w linie napinającej jest zwykle dużo mniejsza od siły (wywołanej obciążeniem grawitacyjnym) liny nośnej. Jeśli końce liny nośnej i napinającej nie pokrywają się, każda lina działa na otoczenie swoją siłą (stycznie, w kierunku do siebie). Mamy tu trzy formy konstrukcji: bez punktu przecięcia liny nośnej z napinającą, z jednym punktem przecięcia oraz z dwoma punktami przecięcia. Dźwigary dwulinowe mają stabilną formę, praktycznie niezależną od rozkładu obciążenia.

Rygle: służą do zamocowania lin przekrycia. Są prostymi belkami w halach nawowych. Są wielokątnymi pierścieniami w halach obrotowych. Występują na jednym poziomie w przypadku

występowania tylko lin nośnych, albo pokrywania się końców lin nośnych i napinających. Występują na dwóch poziomach, gdy liny nośne kończą się na innej wysokości niż liny napinające. Rygle podtrzymujące liny nośne są większe od rygli lin napinających z uwagi na ich większe obciążenie.

Słupy: podpierają rygle, w pionie i w poziomie. Mogą być pojedyncze wspornikowe, na podporach sztywnych - proste (pionowe lub pochylone), łamane lub krzywe (oznaczanie w planie - kropka); podwójne (oznaczenie na planie dwie kropki) w kształcie \wedge (z ramionami nachylonymi jednakowo lub nie) na podporach sztywnych lub przegubowych; podwójne w kształcie λ (są tu dwa elementy, jeden dłuższy a drugi krótszy, połączone ze sobą sztywno lub przegubowo a z podporami przegubowo); podwójne ramowe, w kształcie \square , gdzie węzły górne są sztywne a podpory przegubowe.

Praca elementów hali: na planie przekrycia, widoku dźwigara linowego i na widoku słupów należy zaznaczyć elementy rozciągane (linia pojedyncza), elementy ściskane (linia podwójna) i elementy zginane (linia potrójna). Elementy jednocześnie zginane i ściskane (lub zginane i rozciągane) zaliczamy do zginanych, gdyż jest to stan dominujący przy określaniu formy i wielkości przekroju elementu. Liny przekrycia (pojedyncze i podwójne-dźwigary) są oczywiście zawsze rozciągane. Jak już wspomniano, linę nośną mogą łączyć z liną napinającą elementy rozciągane, elementy ściskane, albo jedne i drugie. Liny przekrycia (nośne i napinające) są zwykle nieznacznie nachylone względem poziomu. Zatem liny te obciążają rygle hal siłami o dużej składowej poziomej i małej pionowej. Dominacja sił poziomych nad pionowymi jest charakterystyczną cechą przekryć linowych. Ma to zasadniczy wpływ na pracę rygli i słupów takich hal. Jeśli lina jest zamocowana do rygla w miejscu podparcia na słupie, to przyjmujemy że całą siłę poziomą liny przejmuje słup a nie rygiel. Jest to założenie projektowe słuszne w najczęstszym w praktyce przypadku, gdy słupów jest niewiele i są one znacznie krótsze od rygli. Przekazanie obciążenia na krótszy element konstrukcji jest bardziej efektywne materiałowo, zwłaszcza przy zginaniu, niż obciążenie elementu wyraźnie dłuższego. Lina przyczepiona do rygla pomiędzy słupami powoduje zginanie rygla, duże w płaszczyźnie poziomej i małe w pionowej. Rygiel pracuje zatem w płaszczyźnie poziomej jak wieloprzęsłowa, ciągła belka, podparta przegubowo na słupach i obciążona siłami skupionymi od lin nośnych. Para słupów położonych blisko siebie wzdłuż rygla tworzy efektywnie podporę utwierdzoną dla rygla. Narożnik rygla wielokątnego także działa - w płaszczyźnie poziomej - jak utwierdzenie dla belki rygla, gdyż symetria wyklucza obrót rygla w narożniku. Zdeformowana belka rygla ma kształt falisty. Wykres momentów jest łamany, z ostrzami na podporach (słupach i narożach) i w miejscach zaczepienia lin. Rozciągana strona rygla między słupami znajduje się po stronie lin, a w okolicy słupów po stronie przeciwnej. W każdym przęśle między sąsiednimi podporami są dwa miejsca zerowe momentu. Jeśli na danej podporze rygiel się obraca (np. koniec rygla spoczywającego na jednej podporze), to miejsce zerowe jest na podporze. Jeśli rygiel na podporze się nie obraca (podpora wewnętrzna, naroże, para podpór), to miejsce zerowe jest w pobliżu podpory. Rygiel hali wielonawowej znajdujący się pomiędzy jednakowymi nawami jest zginany tylko w pionie - w poziomie nie pracuje z powodu symetrii. Na styku nawy dużej i małej rygiel jest zginany w pionie (nieznacznie) i w poziomie (bardziej) - przy czym wypadkowe obciążenie poziome działa w stronę lin nawy większej. W przekryciach wielokątnych-foremnych liny przekrycia wychodzące z naroży pierścieni ściskają pierścień zewnętrzny i rozciągają pierścień wewnętrzny - nie powstaje tu zginanie, co jest wielką zaletą obciążonych w narożach hal wielokątnych (ideałem jest tupierścień kołowy z gęstą siatką lin). Słupy pojedyncze utwierdzone w fundamentach hal prostokątnych jednonawowych pracują jak wsporniki obciążone jedną siłą (od liny nośnej) lub dwiema siłami (od liny nośnej i napinającej). Słupy takie są zawsze zginane, z wyjątkiem prostego słupa pochylonego stycznie do liny, który jest ściskany. W halach wielonawowych pojedyncze skrajne słupy-wsporniki są zginane. Proste, pionowe słupy wspornikowe pomiędzy jednakowymi nawami są ściskane, gdyż składowe

poziome siły lin z obu naw się znoszą. Słupy pochylone lub krzywe będą jednak zginane siłami pionowymi od lin. Słup podwójny typu Λ obciążony w wierzchołku ma jedno ramie ściskane a drugie rozciągane, jeśli obciążenie jest prawie poziome (słup skrajny hali nawowej, słup na granicy nawy długiej i krótkiej, słup nienarozny hali obrotowej). Jeśli obciążenie jest pionowe, to oba ramiona są ściskane (słup między równymi nawami, słup narożny hali obrotowej). Słup ramowy obciążony liną w narożu jest ciągnięty poziomo w stronę liny (rama skrajna hali nawowej). Jego deformacja i wykres momentów są antysymetryczne. Wykres jest liniowy na słupach i ryglu ramy, z zerami na podporach (przegubowych) oraz w środku rygla. Rama obciążona symetrycznie dwiema linami w narożach (np. na styku jednakowych naw) nie jest zginana: rygiel jest rozciągany a słupy ściskane. Rama obciążona pionowo w środku jest zginana symetrycznie (np. rama w narożu rygla wielokątnego). Słup typu Λ obciążony poziomo liną na górnym końcu jest w całości zginany gdy jego dwa ramiona są połączone sztywno. W przypadku przegubu między ramionami słupa dłuższe ramie jest zginane. Krótkie ramie jest ściskane, jeśli leży po tej samej stronie co lina i rozciągane w przypadku przeciwnym. Lina zaczepiona w punkcie połączenia ramion słupa Λ prowadzi do przypadku słupa typu Λ - pozostała, górna część długiego ramienia nie pracuje. Dwie liny, jedna na górze a druga na styku ramion słupa Λ , powodują łącznie pracę ramion taką jak dla liny górnej. W halach wielokątnych-foremnych jest wyraźna różnica w pracy słupów narożnych i pośrednich. Symetria układu i obecność pierścienia zewnętrznego wyklucza ruchy poziome słupów narożnych w punktach spotkania z pierścieniem. W konsekwencji na słupy narożne przekazywane są od przekrycia tylko siły pionowe (siły poziome przejmują w całości pierścienie). Jeśli słupy są pojedyncze i proste (pionowe lub pochylone) to wystąpi w nich tylko ściskanie. Słupy podpierające pierścień poza narożami przemieszczają się w poziomie wraz z pierścieniem, a więc ich dominujące obciążenie jest poziome. **Konstrukcja lekka:** składa się z lin w przypadku wszystkich elementów rozciąganych, z rur kwadratowych (lub okrągłych) o stałym, małym przekroju w przypadku elementów ściskanych oraz rur prostokątnych o zmiennym – w płaszczyźnie zginania - przekroju w przypadku elementów zginanych. Ewentualne elementy zginane to słupy i rygle (czasem są one tylko ściskane). W przypadku mało nachylonych lin przekrycia (najczęstsze w praktyce) przekroje zginanych rygli są większe w kierunku poziomym niż pionowym. Z tego powodu rzeźbimy rygle w poziomie, a nie zmieniamy ich wymiaru pionowego, który i tak jest mały. Rysujemy widoki z góry i z boku konstrukcji lekkiej. Fundamenty słupów konstruujemy jako żelbetowe stopy, przy założeniu przeciętnego podłoża budowlanego, np. żwirowego (a nie bardzo mocnego – skalistego – lub bardzo słabego, np. torfowego). Fundament pod element rozciągany jest wrywany z podłoża, winien więc być mocno zagłębiony, kwadratowy, obciążony centralnie. Fundament pod element ściskany jest wciskany w podłoże, więc może być płytki, kwadratowy, obciążony centralnie. Fundament pod słup zginany jest obracany, zatem wymaga wytworzenia przez podłoże pary siły równoważącej moment obracający. Fundament ten winien być prostokątny, poszerzony w płaszczyźnie działania momentu obracającego. Jeśli fundament jest płytki, to stopa fundamentu winna być wydłużona po stronie dociskanej do gruntu. Jeśli fundament jest głęboki, to stopa fundamentowa może być wydłużona po stronie odrywanej od gruntu, gdyż dociska ją ciężar gruntu nad stopą. Fundament głęboki może też być symetryczny, ze słupem pośrodku. W takim przypadku parę sił tworzy zarówno odpór gruntu po stronie dociskanej jak też ciężar gruntu po stronie odrywanej.