

BADANIA MODELOWE SIŁ WEWNĘTRZNYCH W STRUKTURZE PRĘTOWO-PŁYTOWEJ

ANTONI BIEGUS, ZBIGNIEW KOWAL (WROCŁAW)

W pracy zamieszczono wyniki badań losowych sił wewnętrznych w 20 regularnych prętowych strukturach przestrzennych, z płytową warstwą zewnętrzną o grubości nominalnej 0,5; 0,8; 1,0; 1,5 mm.

Przeprowadzono analizę parametrów losowych sił wewnętrznych w prętach struktury zależnie od zmiany grubości płyty górnej. Oszacowano graniczną smukłość płyt, powyżej której traci sens zasada zeszywnienia stosowana w klasycznych metodach teoretycznego wyznaczania sił wewnętrznych w prętach struktur przestrzennych. Przeanalizowano możliwości zastępowania płyty układem prętów, umożliwiającym wyznaczanie przemieszczeń węzłów i sił wewnętrznych w prętowych elementach struktury metodami konwencjonalnymi.

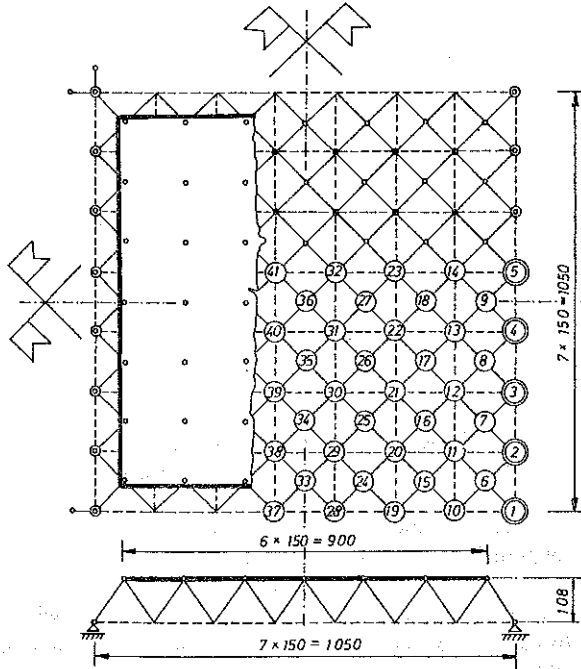
WSTĘP

W pracy zamieszczono wyniki badań 20 modeli regularnych struktur przestrzennych o ściskanej, płytowej warstwie zewnętrznej grubości nominalnej 0,5; 0,8; 1,0 i 1,5 mm, połączonej punktowo z prętami warstwy środkowej. W takich strukturach stosowanych w przekryciach dachowych, płytowa warstwa zewnętrzna jest elementem konstrukcji nośnej przekrycia i stanowi również przegrodę budowlaną. Kształt struktury pokazano na rys. 1. Linia grubą oznaczono obrys górnej, płytowej warstwy modelu. Linia cienką oznaczono krzyżulce. Linia przerywaną oznaczono pręty warstwy dolnej. Kółkami oznaczono węzły, w których krzyżulce łączą się z płytową warstwą górną. Podwójnymi kółkami oznaczono węzły podporowe. Czarnymi punktami oznaczono węzły obciążone.

Badania miały na celu wyznaczenie granicznych smukłości płyt, powyżej których traci sens zasada zeszywnienia, stosowana przy wyznaczaniu sił wewnętrznych, w prętowych strukturach przestrzennych obciążonych w węzłach, oraz określenie takiego układu prętów zastępujących płytę, który umożliwi wyznaczanie sił wewnętrznych w prętach struktury jako w ustroju prętowym.

Do badań wybrano modele podparte w węzłach dolnych na dwóch równoległych krawędziach. Wyboru dokonano na podstawie wstępnych badań modeli podpartych w węzłach dolnych: na obwodzie, w narożach, na dwóch przeciwległych krawędziach.

Z badań wynikało, że najmniejsze obciążenie krytyczne N_{kr} oraz największe przemieszczenia płyt wystąpiły w modelach podpartych w węzłach dolnych na dwóch równoległych krawędziach [1].



Rys. 1. Schemat modeli badawczych z numeracją węzłów

2. KONSTRUKCJA MODELI, STANOWISKA BADAWCZEGO I POMIAR SIŁ WEWNĘTRZNYCH

Modele struktury o oczkach $a \times a = 150 \times 150$ mm i wysokości konstrukcyjnej $h = 108$ mm miały identyczny kształt, a różniły się między sobą grubością płyty górnej. Prętową warstwę dolną oraz krzyżulce wykonano z rur o średnicach 6/1 ze stopu Al PA2N. Spłaszczone końce krzyżulców połączono ze stalowymi węzłami, tłoczonymi z blachy grubości 2 mm, za pomocą śrub M3 i klejenia. Ciągłe pasy dolne spłaszczone w miejscach krzyżowania i połączono z węzłem za pomocą śruby M3 i klejenia. Płytową warstwę górną ze stopu Al PA2N połączono ze stalowymi węzłami za pomocą śrub M3 i klejenia. Do klejenia zastosowano żywicę epoksydową epidian 5 utwardzaną na zimno. Maksymalne naprężenia τ w styku (w skleinie) podczas badań wynosiło $320 \text{ N/cm}^2 < \tau_{\text{dop}} = 3000 \text{ N/cm}^2$. Po badaniach nie stwierdzono uszkodzeń połączenia płyty górnej z węzłami.

Modele podparto na stanowisku badawczym za pomocą podpór punktowych (ze śrubową regulacją wysokości podparcia), umożliwiających swobodny przesuw w płaszczyźnie poziomej.

Obciążenie modelu w węzłach dolnych zrealizowano za pośrednictwem statycznie wyznaczalnego systemu dźwigni z dokładnością do 0,1 N. Parametry współczynnika sprężystości C_1 o średnicy 6/1 i przekroju $F_d = 15,70 \text{ mm}^2$ zmierzone na 10 próbkach wynosiły: średni współczynnik sprężystości $\bar{C} = 1116,6 \text{ N/mm}$, odchylenie standardowe $s_c = 12,78 \text{ N/mm}$, współczynnik zmienności $v_c = 0,01145$.

Tablica 1. Charakterystyki płyt zastosowanych w modelach

g_n	\bar{g}	\bar{E}	$D(E)$	$\bar{\nu}$	$\lambda = \frac{a}{g}$
mm	mm	MPa	MPa		
1	2	3	4	5	6
0,5	0,480	77645	2822	0,316	312,5
0,8	0,794	78312	2773	0,321	188,0
1,0	0,914	78988	1793	0,322	164,1
1,5	1,348	80223	1548	0,331	111,3

Średnie grubości płyt o nominalnej grubości 0,5; 0,8; 1,0 i 1,5 mm zmierzone na pięciu próbkach z każdej płyty podano w tablicy 1. W tablicy 1 zamieszczono średnie grubości \bar{g} płyt, średnie moduły sprężystości materiału płyty \bar{E} i średnie współczynniki Poissona $\bar{\nu}$ oraz płytową smukłość płyty wyznaczoną ze wzoru

$$(2.1) \quad \lambda = a/\bar{g}.$$

Pomiar odkształceń d_i przeprowadzono czterokrotnie dla obciążeń 1) od 0 do P , 2) od P do 0, 3) od 0 do P oraz 4) od P do 0, w celu wyeliminowania błędów odczytu wskazań przyrządów pomiarowych. Do pomiaru odkształceń zastosowano tensometry elektrooporowe RL 10/120 oraz skrzynki i mostki typu TT-3B «Wawel» i ZBM. Tensometry umieszczono parami symetrycznie na prętach o przekroju rurowym.

3. BADANIA WSTĘPNE

Badania serii 20 modeli poprzedzono badaniami wstępnymi, w których wyznaczono na podstawie pomiaru odkształceń siły wewnętrzne w prętach warstwy dolnej modelu z płytową warstwą górną grubości nominalnej 1 mm. Na rys. 2 pokazano model na stanowisku badawczym.

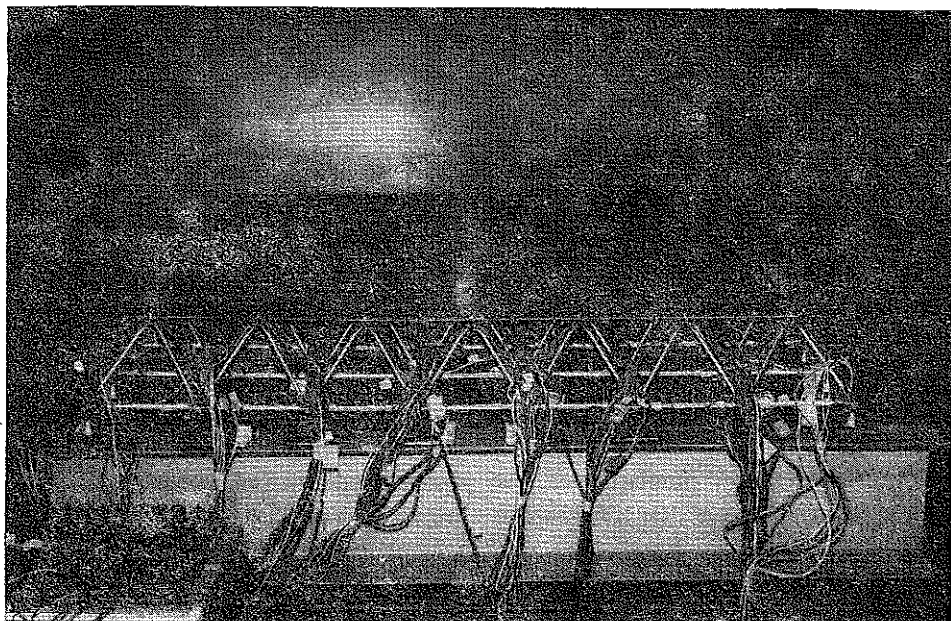
Przeciętne siły wewnętrzne \bar{S} i odchylenia standardowe $D(S)$ w zbiorach prętów warstwy dolnej o jednakowych oczekiwanych siłach wewnętrznych w strukturze o grubości płyty górnej $\bar{g}=0,914$ mm, wyznaczono dla obciążenia węzłów siłami skupionymi $P_i = 50$ N. Przeliczenia parametrów sił wewnętrznych $\bar{S}, D(S)$ przeprowadzono za pomocą skali obciążenia według wzorów:

$$(3.1) \quad \begin{aligned} \bar{S} &= k_p \bar{S}_m, \\ D(S) &= k_v D(S_m). \end{aligned}$$

Na rys. 3 zamieszczono parametry $\bar{S}, D(S)$ losowych sił wewnętrznych w strukturze dla obciążenia $P=10$ N na węzeł. Nad linią pręta zamieszczono średnie siły wewnętrzne \bar{S}_i , pod linią pręta pokazano odchylenie standardowe $D(S_i)$.

W wynikach pokazanych na rys. 3 współczynnik zmienności $\nu = D(S)/\bar{S}$ największych sił wewnętrznych wynosił zaledwie 0,0257. Siły wewnętrzne w prętach poprzecznych były o rząd mniejsze aniżeli w prętach podłużnych i stanowiły w rzę-

dzie 1-1 najwyżej 6,0% największych średnich sił wewnętrznych \bar{S}_{31-40} . W rzędzie 2-2 stanowiły najwyżej 5,59% \bar{S}_{31-40} . W rzędzie 3-3 stanowiły 4,69% \bar{S}_{31-40} . W tym przypadku zastępczy współczynnik Poissona ν do wyznaczania sił wewnętrznych w prętach metodą analogii płytowej można oszacować od góry na 0,06.



Rys. 2. Zdjęcie modelu na stanowisku badawczym

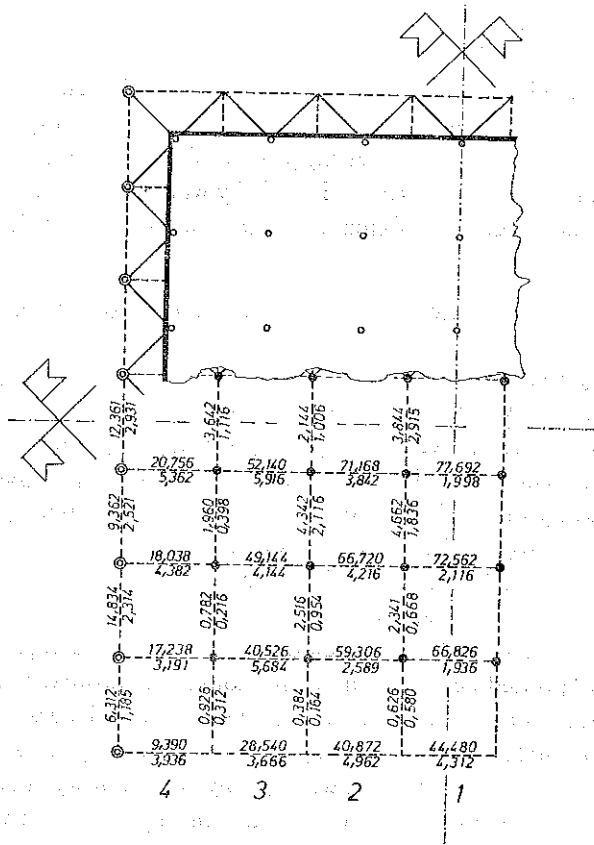
Odchylenia standardowe sił wewnętrznych w prętach podłużnych zawierały się w granicach

$$(3.2) \quad 1,936 N \leq D(S) \leq 5,946 N.$$

Natomiast przeciętne siły wewnętrzne i odchylenia standardowe w prętach poprzecznych zawierały się w granicach

$$(3.3) \quad \begin{aligned} 0,384 N &\leq D(S) \leq 4,662 N, \\ 0,164 N &\leq D(S) \leq 2,915 N. \end{aligned}$$

Zatem średnie siły wewnętrzne \bar{S} w prętach poprzecznych były mniejsze od największego odchylenia standardowego sił w prętach głównych. Stosunkowo duże siły wewnętrzne wystąpiły w prętach wzdłuż podpór. Na przykład przeciętna siła wewnętrzna w pręcie 2-3 stanowiła aż 19,1% największych średnich sił wewnętrznych \bar{S}_{31-40} . (Występowanie stosunkowo dużych sił w prętach na linii podpór można tłumaczyć oddziaływaniem krzyżulców podporowych i losowym wpływem podatności podpór).



Rys. 3. Wstępne wyniki badań modelu struktury z płytową warstwą zewnętrzną grubości nominalnej 1 mm

Zniszczenie modelu w badaniach wstępnych nastąpiło wskutek walcowego przemieszczenia, a następnie zniszczenia płytowej warstwy zewnętrznej. Sposób przechodzenia konstrukcji w stan zniszczenia wskazywał, że zniszczenie płyty jest wywołane pracą składowych sił kontaktowych skierowanych poprzecznie do grzbietu fali walcowej, a równoległe do najbardziej wyężonych prętów warstwy dolnej. Wniosek ten potwierdził się we wszystkich przypadkach późniejszych badań. W dalszych badaniach mierzono siły osiowe w prętach podłużnych.

4. BADANIA MODELOWE SERII 20 MODELI

Parametry $\bar{S}, D(S)$ sił wewnętrznych w serii 20 modeli wyznaczono statystycznie na podstawie doświadczalnie pomierzonych odkształceń. Siły wewnętrzne w pięciu modelach z warstwą zewnętrzną o średniej grubości 0,48 mm wyznaczono pod obciążeniem 10 N na węzeł. W pięciu modelach z płytową warstwą zewnętrzną średniej grubości 0,798 mm obciążenie wynosiło 40 N na węzeł. W pięciu modelach z płytową warstwą zewnętrzną średniej grubości 0,914 mm obciążenie wynosiło

50 N na węzeł. W modelach z warstwą zewnętrzną średniej grubości 1,348 mm obciążenie wynosiło 100 N na węzeł.

W celu porównania wyników przeliczono parametry sił wewnętrznych we wszystkich modelach na obciążenie 10 N na węzeł za pomocą analizy wymiarowej.

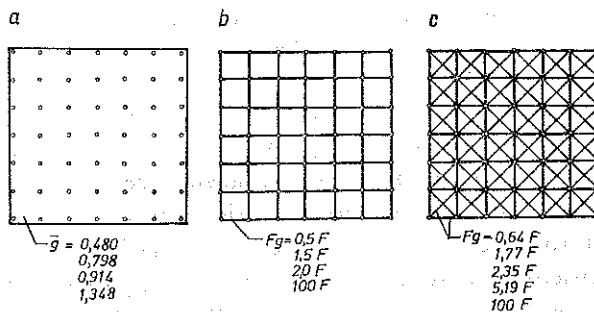
W badaniach pomierzono również ugięcia węzłów górnych na wszystkich modelach. Ponadto obliczono teoretycznie ugięcia i siły wewnętrzne w strukturach z prętową zastępczą warstwą górną opisaną w analizie wyników badań.

5. ANALIZA WYNIKÓW BADAŃ TEORETYCZNYCH I DOŚWIADCZALNYCH

Celem analizy jest wyznaczenie granicznej smukłości płyty górnej, poniżej której można wyznaczyć siły wewnętrzne w prętach bez uwzględnienia wpływu przemieszczeń. Ponadto wyznaczenie technicznie prostego zastępczego układu prętów, umożliwiające wyznaczenie przemieszczeń węzłów i sił wewnętrznych w prętowych elementach struktury oraz sił kontaktowych pomiędzy węzłami a płytą — za pomocą konwencjonalnych programów obliczeniowych.

W celu oszacowania błędu pomiarów sprawdzono warunki równowagi sił wewnętrznych i obciążeń zewnętrznych w prętach warstwy dolnej. Wyznaczone doświadczalnie sumy sił wewnętrznych w prętach dolnych pola środkowego nie przekraczają więcej niż 6% odpowiednich sum sił wyznaczonych z warunków równowagi.

Przeprowadzono analizę możliwości zastąpienia płytowej warstwy górnej prostokątnym układem prętów oraz prostokątnym układem prętów z wykratowaniem w celu wyznaczenia przemieszczeń, sił wewnętrznych w prętowych elementach struktury i sił kontaktowych między górnymi węzłami struktury a płytą.



Rys. 4. *a* — Płyta warstwa górna modeli badawczych, *b* — prętowa prostokątna warstwa górna modelu obliczeniowego I, *c* — prętowa wykratowana warstwa górna modelu obliczeniowego II

W pierwszej kolejności zastąpiono płytę górną prostokątnym układem prętów (rys. 4b) o przekroju $0,5 F_d$, $1,5 F_d$ oraz $2,0 F_d$ (F_d oznacza pole powierzchni przekroju pasów dolnych) i wyznaczono teoretycznie przemieszczenia węzłów oraz siły wewnętrzne w prętach struktury. Następnie dopasowano rozwiązanie teoretyczne do rozwiązań doświadczalnych metodą minimum odchylenia kwadratowego sił wewnętrznych.

Najlepsze dopasowanie teoretycznie wyznaczonych sił wewnętrznych do sił wewnętrznych wyznaczonych doświadczalnie uzyskano pomiędzy modelem badawczym struktury z płytą grubości $\bar{g}=0,798$ mm, a modelem teoretycznym z kwadratową siatką prętów o przekroju $1,5 F_d$ w warstwie górnej. Również dobrą zgodność uzyskano w tym przypadku z modelem teoretycznym z siatką prętów górnych o przekroju $2,0 F_d$.

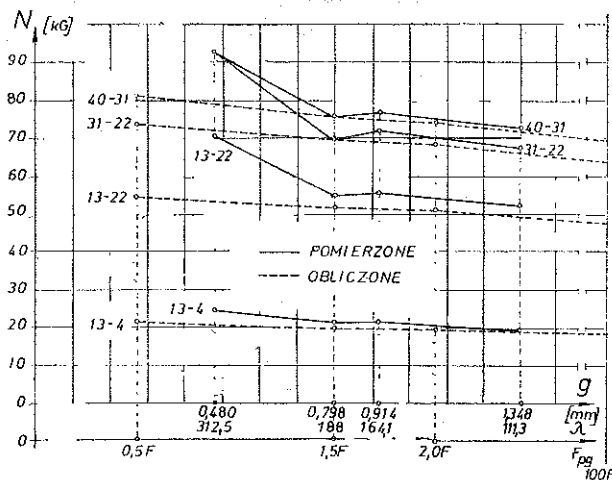
Szerokość zastępcza płyty średniej grubości 0,798 mm potrzebna do wyznaczenia zastępczego przekroju pręta warstwy górnej w układzie prostokątnym mieści się w następujących granicach:

$$(5.1) \quad \begin{aligned} \text{od } b &= 1,5 F_d / \bar{g} = 30 \bar{g}, \\ \text{do } b &= 2,0 F_d / \bar{g} = 39 \bar{g}. \end{aligned}$$

Szerokość zastępcza płyty grubości 0,914 mm wynosi około

$$(5.2) \quad b = 2,0 F_d / \bar{g} = 34 \bar{g}.$$

Na rys. 5 zamieszczono wykresy ekstremalnych sił wewnętrznych pomierzonych doświadczalnie w modelach z warstwą górną w zależności od grubości $\bar{g}=0,480$; 0,798; 0,914 i 1,348 mm oraz teoretycznie wyznaczonych sił wewnętrznych w strukturach o warstwach górnych zbudowanych z prętów w zależności od pola przekroju

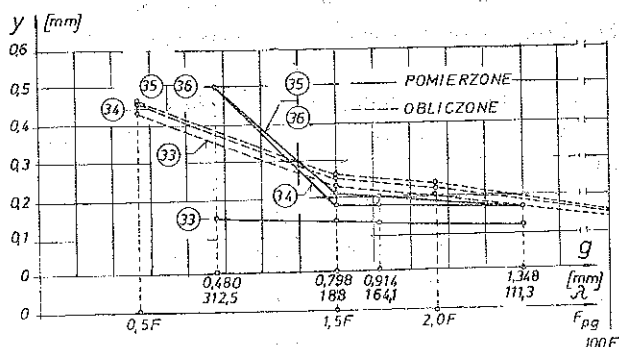


Rys. 5. Zależności pomierzonych sił wewnętrznych od grubości płyty i obliczonych od przekroju prętów warstwy górnej dla modelu obliczeniowego I

0,5 F_d , 1,5 F_d , 2 F_d oraz 100 F_d . Wykresy nałożono na siebie w ten sposób, że wyniki doświadczalne dla struktury z płytową warstwą grubości 0,798 mm leżą na odciętej odpowiadającej strukturze z prętową warstwą górną zbudowaną z prętów o przekroju 1,5 F_d .

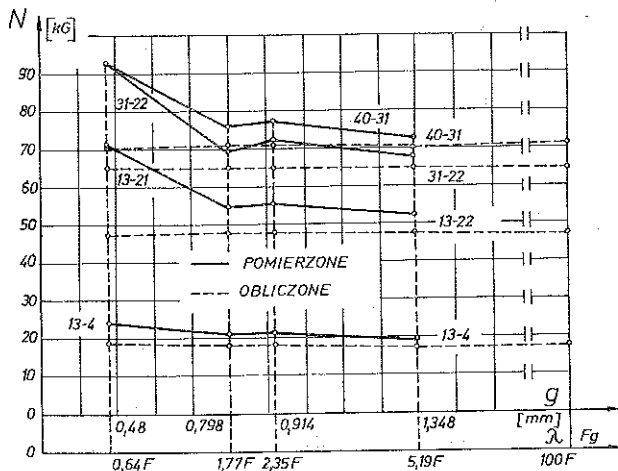
Na rys. 6 zamieszczono wykresy ekstremalnych przemieszczeń wyznaczonych doświadczalnie i pomierzonych teoretycznie w zależności od grubości płyty lub przekroju warstwy górnej. Wykresy nałożono na siebie według zasad zastosowanych do skonstruowania rys. 5.

Z analizy ugięć i sił wewnętrznych wypływa wniosek, że grubość płyty 0,798 mm w modelu możemy uważać za graniczną z punktu widzenia potrzeby uwzględnienia wpływu przemieszczeń na siły wewnętrzne.



Rys. 6. Zależność pomierzonych przemieszczeń od grubości płyty i obliczonych od przekroju prętów warstwy górnej dla modelu obliczeniowego I

Z rys. 5 wynika, że już dla grubości płyty mniejszej od 0,914 mm występują niewielkie zaburzenia w rozkładzie sił wewnętrznych. W celu potwierdzenia wniosku, że płyty $\bar{g}=0,798$ w badanych modelach można uważać za grubość graniczną, przeprowadzono dodatkowe analizy wyników badań.



Rys. 7. Zależność pomierzonych sił wewnętrznych od grubości płyty i obliczonych od przekrojów prętów warstwy górnej dla modelu obliczeniowego II

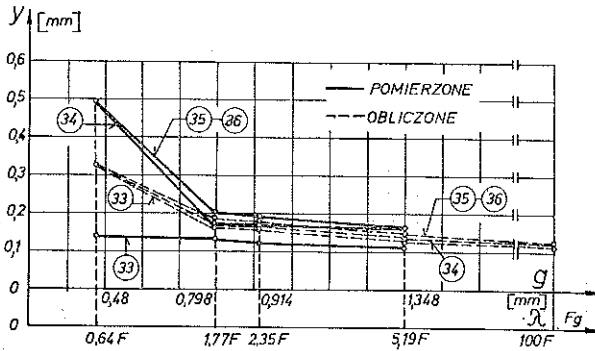
Z rys. 5 i 6 wynika również, że zgodność przemieszczeń wyznaczonych teoretycznie dla zastępczego modelu obliczeniowego z prostokątnym układem prętów w warstwie górnej i pomierzonymi na modelach jest mniejsza aniżeli zgodność sił w prętach.

Kolejno zastąpiono płytę górną [3] prostokątnym układem prętów z wykratowaniem (rys. 4c). Stosunek przekrojów F_{pg} w układzie prostokątnym i prętów skratio-

wania F_{sg} dobrano z warunku zgodności współczynnika Poissona ν . Wyznaczono teoretyczne siły wewnętrzne struktury z zastępczym układem prętów, przyjmując następujące przekroje: $0,64 F_d$, $1,77 F_d$, $2,35 F_d$, $5,19 F_d$ i $100 F_d$.

Na rys. 7 zamieszczono wykresy pomierzonych sił wewnętrznych w zależności od grubości płyty i obliczonych w zależności od pola przekrojów prętów głównych zastępczej, wykratowanej warstwy górnej.

Na rys. 8 zamieszczono wykresy zależności pomierzonych przemieszczeń w zależności od grubości płyty i obliczonych w zależności od pola przekrojów prętów głównych zastępczej wykratowanej warstwy górnej.



Rys. 8. Zależność pomierzonych przemieszczeń od grubości płyty i obliczonych od przekroju prętów warstwy górnej dla modelu obliczeniowego II

Przemieszczenia wyznaczone według zastępczego układu prętów z wykratowaniem lepiej odwzorowują przemieszczenia pomierzone na modelach aniżeli zastępczy prostokątny układ prętów, natomiast nieco gorzej odwzorowuje siły wewnętrzne w pasach dolnych dla struktur z płytami o dużej smukłości.

Z badania (za pomocą testu ilorazu wariancji) hipotezy o równości średnich doświadczalnie wyznaczonych sił wewnętrznych w prętach czterech serii po pięć modeli każda wynika, że z hipotezy zdecydowanie wyłączyć należy populację modeli o przeciętnej grubości płyty $\bar{g}=0,480$ mm. Natomiast nie można odrzucić hipotezy o równości średnich sił wewnętrznych w trzech populacjach modeli o przeciętnej grubości płyty górnej $\bar{g}=0,798$; $0,914$ oraz $1,348$ mm. W tabelicy 2 zamieszczono średnie siły wewnętrzne \bar{S}_j i sumę ich wariancji wewnątrzgrupowych $D^2(S_j)$, ogólną średnią \bar{S} i wariancję międzygrupową $D^2(S)$ wyznaczoną z wzoru

$$(5.3) \quad D^2(S) = \frac{1}{n-1} \sum_{j=1}^4 (\bar{S}_j - \bar{S})^2.$$

W kolumnie 9 podano ilorazy wariancji $D^2(S_j)/D^2(S)$ dla wszystkich prętów podłużnych warstwy dolnej modeli.

W żadnym przecięciu nie przekroczono wartości krytycznej f_{kr} wyznaczonej z tablic [4] dla poziomu istotności $\alpha=0,01$. To potwierdza wniosek, że $\bar{g}=0,798$ mm można uważać za wielkość graniczną z ufnością 0,99.

Tablica 2. Test analizy variancji

Nr pola	Nr preta	\bar{S}_i $\bar{g}=0,798$ mm				\bar{S}_2 $\bar{g}=0,914$ mm		\bar{S}_3 $\bar{g}=1,348$ mm		\bar{S}	Wariancja			$f = \frac{D^2(S)}{\sum_j D^2(S_j)}$	f_{kr}	S^H_{100}		S^T_{100F}	
		N	3	N	4	N	5	N	6		N	7	N			8	N	9	N
1	2								6					10					
	40-31	76,444		78,554		73,562		76,187		62,79	66,590		0,943		69,38		70,70		
	39-30	73,418		73,799		74,141		73,786		1,30	40,691		0,031		67,13		67,31		
	38-29	64,533		66,760		69,795		67,696		33,16	41,353		0,801	5,49	62,79		60,86		
2	37-28	44,823		43,873		46,202		44,966		13,69	87,502		0,156		50,70		51,14		
	31-22	70,070		71,666		67,904		69,880		21,38	18,570		1,151		63,25		64,96		
	30-21	67,816		68,720		67,375		67,970		9,38	10,008		0,937		61,81		61,98		
	29-20	58,947		59,576		62,259		60,261		62,06	15,834		3,932		57,57		58,00		
3	28-19	39,814		40,962		44,195		41,657		103,20	25,861		3,991		45,83		46,22		
	22-13	54,960		56,502		52,979		54,814		62,36	26,555		2,348		47,37		47,51		
	21-12	48,746		49,825		51,158		49,910		29,18	14,262		2,045	4,98	45,71		45,66		
	20-11	41,255		42,499		44,815		42,856		65,28	14,092		4,632		42,06		41,33		
4	19-10	29,634		30,777		31,500		30,637		17,70	7,474		2,368		31,53		32,17		
	13-4	21,063		21,692		19,752		20,829		20,00	13,541		1,477		18,69		17,89		
	12-3	16,988		17,975		20,579		18,514		68,80	20,212		3,404		18,14		17,21		
	11-2	15,169		17,751		17,853		16,925		46,28	10,576		4,377		16,64		15,99		
	10-1	12,402		12,302		11,002		11,902		122,10	31,492		3,877		9,03		11,41		

Wyznaczone z badań doświadczalnych na podstawie prostej regresji hipotetyczne siły wewnętrzne w prętach struktury z płytową warstwą zewnętrzną (kolumna 11, tablica 2) różnią się zaledwie o 2% od obliczonych teoretycznie wg modelu z zastępczym prostokątnym układem prętów z wykratowaniem dla $F_g = 100 F_d$ (kolumna 12, tablica 2).

Z badania korelacji odchylenia standardowego $D(S)$ oraz przeciętnych sił wewnętrznych \bar{S} wynika, że rozproszenie $D(S)$ sił wewnętrznych w prętach głównych warstwy dolnej struktury przestrzennej jest słabo i odwrotnie proporcjonalnie skorelowane z siłami wewnętrznymi \bar{S} . Ponadto w miarę zwiększania się grubości płyty zmniejsza się współczynnik zmienności sił wewnętrznych. Nasuwa to przypuszczenie, że w miarę zwiększania grubości płyty zanikają wpływy losowe generowane przez losowe cechy płyt.

6. UWAGI I WNIOSKI

W celu wyznaczania przemieszczeń węzłów i sił wewnętrznych w prętach struktury z płytową warstwą górną metodami konwencjonalnymi — można zastąpić płytę prostokątnym układem prętów z wykratowaniem. Przekrój zastępczych prętów głównych można przyjmować ze wzoru $F_g = 30 \bar{g}$ (\bar{g} oznacza grubość płyty). Natomiast pręty wykratowania należy przyjmować z warunku odwzorowania współczynnika Poissona.

Zastępowanie w strukturze przestrzennej płyty zastępczą prostokątną siatką prętową bez wykratowania jest możliwe wyłącznie w przypadku walcowego zginania rozpatrywanego typu struktur.

Graniczna smukłość płytowej ściskanej warstwy zewnętrznej, poniżej której można nie uwzględniać wpływu przemieszczeń na siły wewnętrzne w prętach badanych modeli z płytą ze stopu PA2N rozpiętości 150 mm, oszacowana z ufnością 0,99, wynosi

$$(6.1) \quad \lambda_g \leq 188.$$

Graniczne grubości g_i i smukłości λ_i płyt z materiałów o innym E_i oraz ν_i można oszacować za pomocą analizy wymiarowej korzystając ze wzoru

$$(6.2) \quad \frac{\pi^2 E_i \bar{g}_i^3}{12(1-\nu_i^2)a^2} = \frac{\pi^2 E \bar{g}^3}{12(1-\nu^2)a^2},$$

z którego wynika, że

$$(6.3) \quad g_i = \bar{g} \sqrt[3]{\frac{E}{E_i} \frac{1-\nu_i^2}{1-\nu^2}},$$

$$\lambda_i = \lambda \sqrt[3]{\frac{E_i}{E} \frac{1-\nu^2}{1-\nu_i^2}},$$

Graniczna smukłość płyty stalowej o module Younga $E = 2,058 \cdot 10$ MPa oszacowana na podstawie wzoru (6.3) wynosi

$$(6.4) \quad \lambda_i = \frac{a}{\bar{g}_i} \leq 259.$$

Graniczna smukłość płyty żelbetowej o module sprężystości $E_i = 2,058 \cdot 10^4$ MPa i współczynniku Poissona $\nu_i = 0,16$ wynosi

$$(6.5) \quad \lambda_i = a/\bar{g}_i \leq 177.$$

Graniczne smukłości płyt zostały odniesione do rzeczywistych grubości płyt. W przypadku przyjmowania grubości nominalnej płyt stalowych należy wprowadzić poprawkę, wynikającą z walcowania w granicach tolerancji ujemnych.

LITERATURA CYTOWANA W TEKŚCIE

1. A. BIEGUS, *Stan graniczny struktury przestrzennej z warunku zniszczenia płytowej warstwy zewnętrznej*, Rozprawa doktorska, Komunikat I-2 PW K-19/75, Wrocław 1975.
2. A. BIEGUS, Z. KOWAL, *Badanie modelowe sił wewnętrznych w prętach struktur z płytową warstwą zewnętrzną*, VII Sympozjum Badań doświadczalnych w Mechanice Ciała Stałego, 43-53, Warszawa 1976.
3. W. F. CHAMBERS, J. C. LEVY, J. E. M. JUBB, *A braced double skin structure*, 2-nd International Conference on Space Structure, University of Surrey, Guildford 1975.
4. J. GREŃ, *Statystyka matematyczna, modele i zadania*, PWN, Warszawa 1974.
5. Z. KOWAL, W. SEIDEL, *Doświadczalna analiza losowych sił wewnętrznych w strukturze o diagonalnych prętach warstwy dolnej*, Arch. Inżyn. Łąd. 3, 1976.

Резюме

МОДЕЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ВНУТРЕННИХ СИЛ В СТЕРЖНЕВО-ПЛИТОЧНОЙ СТРУКТУРЕ

В работе помещены результаты исследований случайных внутренних сил в 20 регулярных стержневых пространственных структурах с плиточным верхним слоем с номинальной толщиной 0,5; 0,8; 1,0; 1,5 мм. Проведен анализ параметров случайных внутренних сил в стержнях структуры в зависимости от изменения толщины верхней плиты. Оценена предельная тонкость плит, свыше которой теряет смысл принцип жесткости применяемый в классических методах теоретического определения внутренних сил в стержнях пространственных структур. Проанализированы возможности замены плиты системой стержней, дающей возможность определения перемещений узлов и внутренних сил в стержневых элементах структуры конвенциональными методами.

SUMMARY

MODEL INVESTIGATIONS OF INTERNAL FORCES IN A ROD-PLATE STRUCTURE

The results of investigations of random internal forces are given concerning 20 regular spatial rod structures with a boundary plate layer of a nominal thickness of 0,5, 0,8, 1,0, 1,5 mm. Stochastic parameters of internal forces occurring in the rods are analyzed as functions of the thickness of the upper layer. The limit slenderness ratio of the plate is estimated above which the solidification principle, used in the classical methods of theoretical determination of internal forces in spatial structures, loses its sense. The possibility is analyzed of replacing the plate with a system of rods what would make it possible to determine the node displacements and forces by conventional methods.

POLITECHNIKA WROCŁAWSKA
INSTYTUT BUDOWNICTWA

Praca została złożona w Redakcji dnia 17 lutego 1977 r.