

Anna KUSZKE

KILKA UWAG DO PROJEKTOWANIA KOPUŁ SFERYCZNYCH OBCIĄŻONYCH ŚNIEGIEM

Streszczenie. W artykule prezentowane jest analityczne rozwiązanie stanu zgięciowego powłoki sferycznej obciążonej śniegiem o rozkładach normowych - wariant I i II wg PN-80/B-02010. Zwraca się szczególną uwagę zarówno na rozeznanie strefy skokowej zmiany intensywności obciążenia, jak i uwzględnienia wariantu II - zagadnienia należące do skomplikowanych, często omijanych w działaniach praktycznych. Podstawy teoretyczne przedstawionych działań zawarte są w [1] i [3].

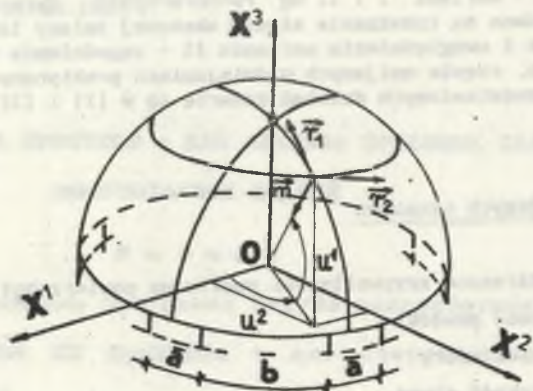
Wykaz ważniejszych oznaczeń

- u^1, u^2 - współrzędne krzywoliniowe punktu na powierzchni środkowej
 $2h$ - grubość powłoki
 a - promień sfery
 \bar{a} - szerokość słupa
 \bar{b} - odległość między słupami
 k - ilość słupów
 g_{ij} - współczynniki pierwszej formy różniczkowej
 g - wyróżnik pierwszej formy różniczkowej
 b_{ij} - współczynniki drugiej formy różniczkowej
 b - wyróżnik drugiej formy różniczkowej
 w^1, w^3 - składowe wektora przemieszczenia
 ω^4 - parametr pomocniczy
 z_j^{k1} - argument zespolony
 α - symbol skalara
 α^{ij}, β^{ij} - tablice pomocnicze
 S, S^1, S^2 - szeregi
 C - stałe
 M^{ij}, Q^1 - siły przekrojowe
 M^{ij} - momenty przekrojowe
 P^1, P^3 - składowe wektora obciążenia

- " t_i " - pochodna zwykła $\frac{\partial t}{\partial u^i}$
 " $t|_i$ " - pochodna kowariantna podług u^i
 " γ " - symbol współrzędnej fizycznej

WSTĘP

Kompletne rozwiązanie powłoki sferycznej (rys. 1) obciążonej śniegiem wymaga, zgodnie z PN-80/B-02010, rozpatrzenia dwóch wariantów rozkładu tego obciążenia (rys. 2):

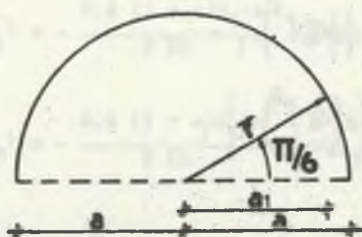


Rys. 1

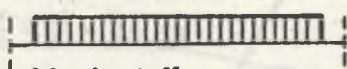
Tymczasem w większości działań praktycznych odstępuje się od tych zaleceń poprzez ograniczenie analizy tylko do wariantu I obciążenia oraz pominięcia jego skokowej zmienności. Podłożem takich przybliżeń jest przede wszystkim nieprzystępność dotychczasowych metod rozwiązania strefy nieciągłości (rozwiązanie stanu błonowego w miejsce zgięciowego), w szczególności dla przypadków jego najbardziej skomplikowanego rozkładu (ignorowanie wariantu II). Prezentowane dalej przykładowe funkcje sił przekrojowych i przemieszczeń wywołanych normowym obciążeniem (I, IIa, IIb) są fragmentem szerszych rozważań przedstawionych w [3] i [4] i dotyczą kopuły sferycznej podpartej słupami (rys.1).

Na podstawie liniowej teorii jednorodnych, izotropowych cienkich powłok Kirchhoffa - Love'a dokonuje się superpozycji dwóch niezależnych stanów pracy powłoki: błonowego ($\bar{}$) i zgięciowego ($\hat{}$), wymuszonych odpowiednio dobranymi funkcjami obciążeń.

Stan zgięciowy rozwiązany jest za pomocą szeregów hipertrygonometrycznych o argumentach zespolonych z dostosowaniem struktury tych szeregów do symetrycznego i antysymetrycznego charakteru obciążenia powłoki.



Wariant I



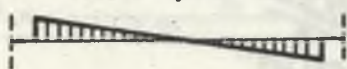
Wariant II

IIa



+

IIb



Rys. 2

$$- \text{ dla } \frac{\pi}{6} \leq \frac{u^1}{a} \leq \frac{\pi}{2};$$

$$S_I = -S_{I1} a \sqrt{g}, 1 \quad (1)$$

$$S_{II} = -S_{IIa} + S_{IIb}$$

$$S_{IIa} = -S_{2a} a \sqrt{g} \sqrt{g}, 1 \quad (2)$$

$$S_{IIb} = -S_{2b} a \sqrt{g} \sqrt{g}, 1 \cos \frac{u^2}{a}$$

$$(3)$$

C-08

gdzie:

$$S_1 = Q_k C_1 \gamma_f$$

C-2,3

$$S_{2a} = \frac{\sqrt{3}}{2} Q_k C_2 \gamma_f$$

$$S_{2b} = \frac{\sqrt{3}}{6} Q_k C_2 \gamma_f$$

$$g = \cos^2 \frac{u^1}{a}$$

$$- \text{ dla } 0 \leq \frac{u^1}{a} \leq \frac{\pi}{6};$$

$$S = 0 \quad (4)$$

1. STAN BŁONOWY

Zaprezentowane poniżej wybrane funkcje sił przekrojowych (rys. 3) spełniają układ równań równowagi [4]:

$$\bar{N}_s^{-1j} \Big|_1 + P^j = 0 \quad (5)$$

$$\bar{N}_s^{-ij} b_{1j} + P^3 = 0$$

i wyrażają się związkami:

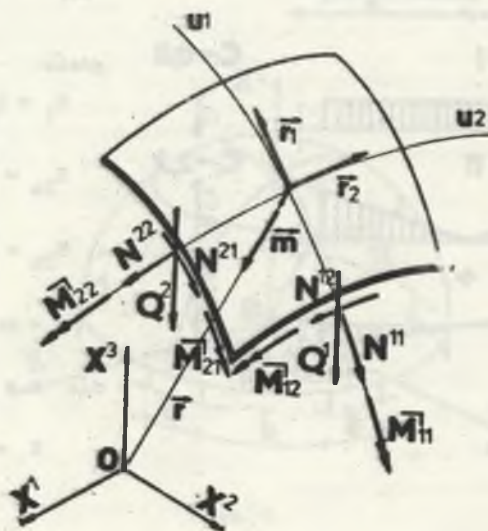
- dla obciążenia osiowo-symetrycznego:

$$\bar{N}_s^{-11} = \frac{1}{g} \left[\int \left[a\sqrt{g}(\sqrt{g} P^3), -g P^1 \right] du^1 - a g P^3 + C_1 \right]$$

$$\bar{N}_s^{22} = \frac{1}{g} \left[\int \left[g P^1 - a \sqrt{g} \left(\sqrt{g} P^3 \right)_{,1} \right] du^1 - C_1 \right] \quad (6)$$

- dla obciążenia bez osiowej symetrii:

$$\begin{aligned} \left[\sqrt{g} \left(g^2 \bar{N}_s^{22} \right)_{,1} \right]_{,1} + \left(g \sqrt{g} \bar{N}_s^{22} \right)_{,22} &= \left(g \sqrt{g} P^1 \right)_{,1} - \\ &- \left(g \sqrt{g} P^2 \right)_{,2} - a \left[g \left(\sqrt{g} P^3 \right)_{,1} \right]_{,1} \end{aligned} \quad (7)$$



Rys. 3

1.1. Variant 1

$$\frac{\pi}{6} \leq \frac{u^1}{a} \leq \frac{\pi}{2} :$$

$$\bar{N}_{s11}^{\pi} = -0,5 S_1 \cdot a \quad \bar{w}_1^{\pi} = \frac{(1 + \nu) S_1 \cdot a^2}{2 E h} a \sqrt{g} \sqrt{g}_{,1} \quad (8)$$

$$\bar{N}_{s22}^{\pi} = 0,5 \cdot S_1 \cdot a (2g - 1) \quad \bar{w}_3^{\pi} = \frac{0,5(3 - \nu) S_1 \cdot a^2}{2 E h} (1 - 2g)$$

$$\bullet 0 \leq \frac{u1}{a} < \frac{\pi}{6} :$$

$$\bar{N}_{s11}^1 = - \frac{0,4}{g} S_1 \cdot a \qquad \bar{N}_{s22}^1 = - \bar{N}_{s11}^1,$$

$$\bar{W}_1^1 = - \frac{0,4 (1 + \nu) S_1 \cdot a^2}{2 Eh} \sqrt{g} \left(\ln \left| \operatorname{tg} \left(\frac{\pi}{4} + \frac{u1}{2a} \right) \right| - \frac{av\sqrt{g} \cdot 1}{g} \right),$$

(9)

$$\bar{W}_3^1 = - \frac{0,4 (1 + \nu) S_1 \cdot a^2}{2 Eh} \left(av\sqrt{g} \cdot 1 \cdot \ln \left| \operatorname{tg} \left(\frac{\pi}{4} + \frac{u1}{2a} \right) \right| + 1 \right).$$

1.2. Wariant 2a

$$\bullet \frac{\pi}{6} \leq \frac{u1}{a} \leq \frac{\pi}{2} :$$

$$\bar{N}_{s11}^1 = - 0,5 S_{2a} \cdot av\sqrt{g} \qquad (10)$$

$$\bar{W}_3^1 = - \frac{0,5 (1 + \nu) S_{2a} \cdot a^2}{2 Eh} \left[3\sqrt{g} \left(g - \frac{2 (1 + \nu g)}{3 (1 + \nu)} \right) + av\sqrt{g} \cdot 1 \left(\frac{u1}{a} - 0,22 \right) \right]$$

$$\bullet 0 \leq \frac{u1}{a} < \frac{\pi}{6} :$$

$$\bar{N}_{s11}^1 = - \frac{0,3}{g} S_{2a} \cdot a \qquad (11)$$

$$\bar{W}_3^1 = \frac{-0,3 (1 + \nu) S_{2a} \cdot a^2}{2 Eh} \left[av\sqrt{g} \cdot 1 \ln \left| \operatorname{tg} \left(\frac{\pi}{4} + \frac{u1}{2a} \right) \right| + 1 \right].$$

1.3. Wariant 2b

$$\bullet \frac{\pi}{6} \leq \frac{u^1}{a} \leq \frac{\pi}{2} :$$

$$\bar{N}_{s11}^1 = - \frac{S_{2b} \cdot a}{\sqrt{g}} \cos \frac{u^2}{a} \left[0,09 av\sqrt{g} \cdot 1 (1 - 0,5 g) + \right.$$

$$\left. + 0,02 g (12g^2 + g + 13,5) + 0,09 \right],$$

$$\bar{N}_s^1 = -\frac{S_{2b} \cdot a}{g} \sin \frac{u^2}{a} \left[0,09 a \sqrt{g} \sqrt{g},_1 \left(0,44 g^2 + 0,33 g + 1 \right) + \right. \\ \left. + 0,01 \sqrt{g} (g - 9) - 0,18 \frac{u^1}{a} + 0,28 \right] \quad (12)$$

$$\bar{W}_3^1 = \frac{(1 + \nu) S_{2b} \cdot a^2}{2 Eh} \cos \frac{u^2}{a} \left[0,36 \frac{a \sqrt{g},_1}{\sqrt{g}} \left(\frac{u^1}{a} - 1,57 \right) + \right. \\ \left. + 0,09 \left(a \sqrt{g},_1 (7,28 g + 1) + 1 \right) - 0,4 \frac{g}{1-g} \left(2,8 g^3 + \right. \right. \\ \left. \left. - 2,8 g^2 + 0,95 g - 1 \right) - \frac{g(g-1)}{1+\nu} + 0,44 \sqrt{g} \left(41,5 g^2 \sqrt{g} + \right. \right. \\ \left. \left. - 29,7 g \sqrt{g} + 8,3 g + 2,05 \sqrt{g} - 3,64 a \sqrt{g},_1 - 4,14 \right) \right]$$

$$* 0 \leq \frac{u^1}{a} < \frac{\pi}{6} :$$

$$\bar{N}_s^1 = -\frac{S_{2b} \cdot a}{\sqrt{g}} \cos \frac{u^2}{a} \left[0,02g \left(5,2 g^2 + g + 2 \right) + \right. \\ \left. - 0,25 a \sqrt{g},_1 (2 - g) + 0,16 \right]$$

$$\bar{N}_s^1 = -\frac{S_{2b} \cdot a}{g} \sin \frac{u^2}{a} \left[0,02 a \sqrt{g} \sqrt{g},_1 (g^2 + 1,5 g + 3,5) + \right. \\ \left. - 0,08 \sqrt{g} (g - 6) - 0,2 \frac{u^1}{a} - 0,78 \right]. \quad (13)$$

$$\bar{W}_3^1 = \frac{(1 + \nu) S_{2b} \cdot a^2}{2 Eh} \cos \frac{u^2}{a} \left[0,56 a \sqrt{g},_1 \left(\frac{0,9}{\sqrt{g}} - 0,7 \sqrt{g} - 0,6 g + 3,6 \right) + \right. \\ \left. - \frac{1,56 a \sqrt{g},_1}{g} + 0,09 \left(\frac{a \sqrt{g},_1}{g} (4,5 g^2 - 2,6 g \sqrt{g} + 2,2 \frac{u^1}{a} + 0,13) + \right. \right. \\ \left. \left. - \sqrt{g} \left(\frac{2,2}{g} + 3,5 g^2 - 7,5 g + 22,8 \sqrt{g} - 0,5 \right) \right) + \right. \\ \left. + 0,36 (a \sqrt{g},_1 (2 - 3g) - \sqrt{g} - 4g + 2) + 0,88 \right].$$

2. STAN ZGIĘCIOWY

Uogólnione siły przekrojowe tego stanu spełniają układ równań:

$$\bar{N}_o^1 \Big|_1 + \hat{P}^J = 0,$$

$$\bar{N}_o^1 b_{1J} + \hat{P}^3 = 0,$$

$$\hat{M}^1 \Big|_1 - \hat{Q}^J = 0.$$

(14)

Ich części rzeczywiste wzrażają się funkcjami [4]:

$$\bar{N}_o^{ij} = \left(\alpha_{kl}^{ij} C_1^{kl} + \beta_{kl}^{ij} C_2^{kl} \right) S^1 + \left(\alpha_{kl}^{ij} C_2^{kl} - \beta_{kl}^{ij} C_1^{kl} \right) S^2,$$

$$\begin{aligned} \hat{M}^{ij} = & -\frac{\sqrt{g}}{\omega^2} \left[\left(\eta_k \eta_l \alpha_g^{ij} C_2^{kl} - (1 - \nu) \left(\alpha_{kl}^{ij} C_2^{kl} + \beta_{kl}^{ij} C_1^{kl} \right) \right) S_1 + \right. \\ & \left. - \left(\eta_k \eta_l \alpha_g^{ij} C_1^{kl} - (1 - \nu) \left(\alpha_{kl}^{ij} C_1^{kl} + \beta_{kl}^{ij} C_2^{kl} \right) \right) S_2 \right], \end{aligned} \quad (15)$$

$$\hat{Q}^j = -\frac{\alpha \sqrt{g}}{\omega} g^{ij} \left[\left(n_1 C_1^{kl} + m_1 C_2^{kl} \right) S^1 + \left(n_1 C_2^{kl} - m_1 C_1^{kl} \right) S^2 \right],$$

natomiast przemieszczenia:

$$\hat{w}^j = \frac{1 + \nu}{2 E h H} \hat{Q}^j, \quad (16)$$

$$\hat{w}^3 = -\frac{\alpha}{2 E h H} \eta_k \eta_l \left[C_1^{kl} S^1 + C_2^{kl} S^2 \right].$$

gdzie:

S^1, S^2 - składowe przyjętych pierwotnie szeregów zespolonych:

$$\begin{aligned} S^1 &= e^{\omega m_j u^j} \sin \omega n_j u^j, \\ S^2 &= e^{\omega m_j u^j} \cos \omega n_j u^j, \end{aligned} \quad (17)$$

n_j^{kl}, m_j^{kl} - współczynniki argumentu zespolonego [4], równe dla powłoki sferycznej:

$$\begin{aligned} m_2 &= 0, \\ n_1 &= \frac{1}{\sqrt{g}} \epsilon_k \operatorname{ctg} \varphi n_2, \end{aligned} \quad (18)$$

$$m_1 = \frac{1}{\sqrt{g} \sin \varphi} \epsilon_k n_2,$$

n_2 = współrzędna swobodna;

$$\text{dla podparcia słupami: } \omega n_2 = \frac{k n}{a} \quad (19)$$

$$\cos \varphi = \frac{1}{2a \sqrt{g} g^{ij} n_1 n_j}, \quad \operatorname{ctg} \varphi \cong \frac{\sqrt{g}}{2a (n_a)^2} \quad (20)$$

$$\omega^4 = \frac{3(1 - \nu^2)}{h^2} \cdot g. \quad (21)$$

$\alpha, \alpha^{ij}, \beta^{ij}$ - skalar oraz tablice, zależne od przyjętych warunków brzegowych, związane zależnością [4]:

$$\alpha_d^{ij} = \alpha^{ij} + i \epsilon_k \beta^{ij}, \quad (22)$$

C_1^{kl} - stałe:

$$C_1 = \bar{N}_{SA}^{11} \frac{4a}{akn} \sin \frac{akn}{2a} \quad (23)$$

$$C_2 = \begin{cases} C_{2g} = C_2 + C_{2g}^* & \text{przedział górny} \\ C_{2d} = C_2 + C_{2d}^* & \text{przedział dolny} \end{cases} \quad (24)$$

$$\frac{C_2}{C_1} = - \frac{-a\omega^2 A}{2(kn)^2} \sin \varphi_A C_1 \quad (25)$$

C_{2g}^* , C_{2d}^* - stałe spełniające w strefie skokowej zmiany intensywności obciążenia warunki [4]:

$$\begin{aligned} \hat{w}_g^3 - \hat{w}_d^3 &= \hat{w}_d^3 - \hat{w}_g^3, \\ \hat{w}_{g,1}^3 + \hat{w}_{d,1}^3 &= \hat{w}_{d,1}^3 - \hat{w}_{g,1}^3 \end{aligned} \quad (26)$$

Wydzielając z szeregów (17) składowe:

$$S_1^1 = e^{\omega a_1 u^1} \sin \omega n_1 u^1 \sin \omega n_2 u^2,$$

$$S_1^2 = e^{\omega a_1 u^1} \cos \omega n_1 u^1 \sin \omega n_2 u^2,$$

$$S_2^1 = e^{\omega a_1 u^1} \sin \omega n_1 u^1 \cos \omega n_2 u^2,$$

$$S_2^2 = e^{\omega a_1 u^1} \cos \omega n_1 u^1 \cos \omega n_2 u^2,$$

można lepiej przystosować funkcje (15), (16) do działań praktycznych.

3. PRZYKŁAD OBLICZENIOWY

3.1. Dane liczbowe

$$a = 15,0 \text{ m}$$

$$2h = 0,12 \text{ m}$$

$$\bar{a} = 0,7 \text{ m}$$

$$k = 12$$

$$\nu = 0,2$$

$$E = 20 \text{ GPa}$$

obciążenie śniegiem (III strefa):	Q_k	= 1,1	kPa,
	C	= 0,8,	
	S_1	= 1,23	kPa,
	S_{2a}	= 3,07	kPa
	S_{2b}	= 1,02	kPa.

Czytanie tabel:

NIJ, MIJ, QJ, WJ · uogólnione siły przekrojowe oraz przemieszczenia stanu łącznego,

(NIJ), (MIJ), (QJ), (WJ) - uogólnione siły przekrojowe oraz przemieszczenia stanu błonowego.

Współrzędne podano w [°], siły - [kN/m], momenty - [kn/m], przemieszczenia - (mm).

Znak " ← " oznacza powtórzenie wyniku z lewej strony.

Znak " ↑ " oznacza powtórzenie wyniku z góry.

Uwagi do rys. 4:

Wykresy odnoszą się do wybranego południka $u^2 = 0$ ze szczególnym uwzględnieniem przedziału $20^\circ \leq u^1 \leq 40^\circ$, obejmującego skokową zmianę obciążenia.

WNIOSKI

1. Wykresy sił przekrojowych i przemieszczeń stanu zgięciowego dowodzą jego lokalnego charakteru obejmującego stosunkowo wąską strefę powłoki, licząc od poziomu jej podparcia lub poziomu skokowej zmiany intensywności obciążenia.

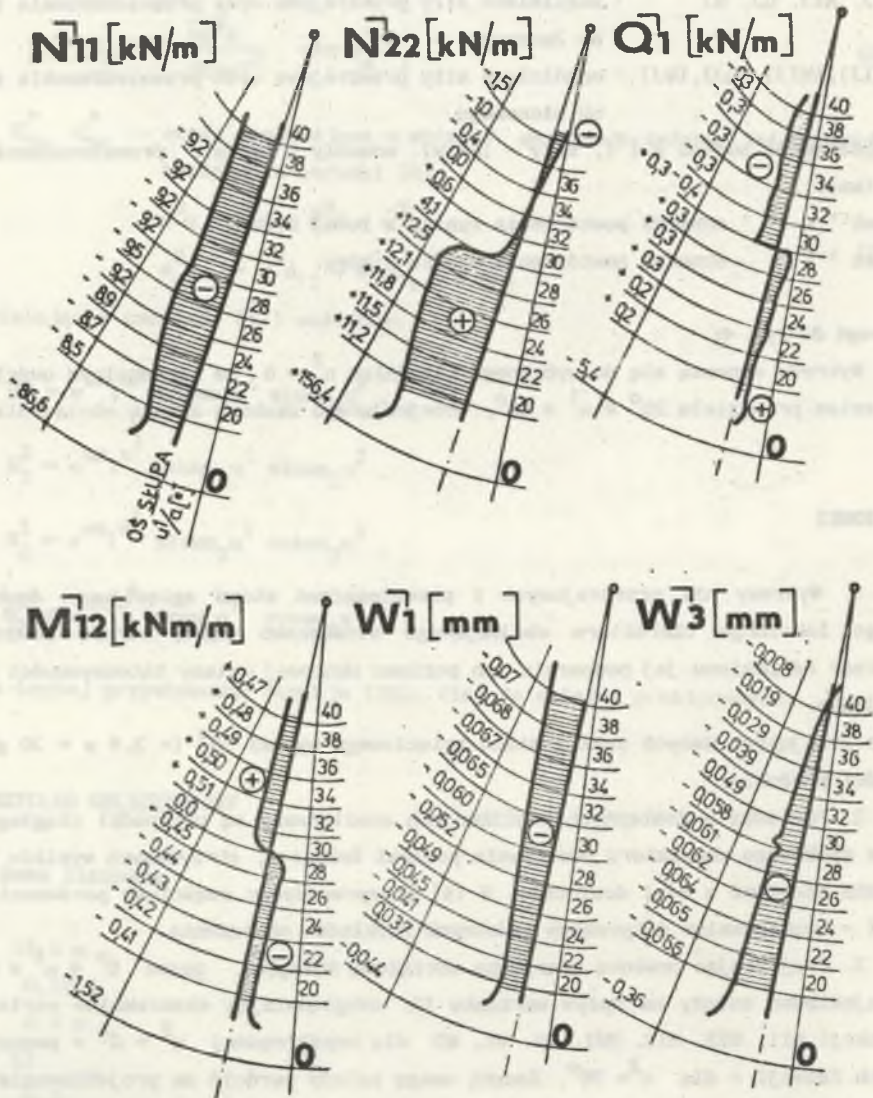
Dla przyjętych danych zasięg stanu zgięciowego wynosi 15° ($= 3,9 \text{ m} = 30$ grubości powłoki):

2. Ponieważ w dostępnych publikacjach analizowane są przypadki ciągłego a nie skokowego charakteru obciążenia powłoki śniegiem, otrzymanych wyników nie można porównać z nimi dosłownie, w [4] przeprowadzono częściowe porównanie z [5] - rozwiązaniem dotyczącym podobnych rozkładów obciążenia.

3. Projektując powłokę sferyczną obciążoną śniegiem, pasmo $0^\circ \leq u^1 \leq 60^\circ$ projektować należy na wpływ wariantu II, uwzględniając ekstremalne wartości funkcji N11, N22, M12, M21, Q1, W1, W3 dla współrzędnej $u^2 = 0^\circ$ a pozostałych funkcji - dla $u^2 = 90^\circ$. Baczna uwagę należy zwrócić na projektowanie wg teorii zgięciowej strefy skokowej zmiany intensywności obciążenia.

ŚNIEG-WARIANT 1

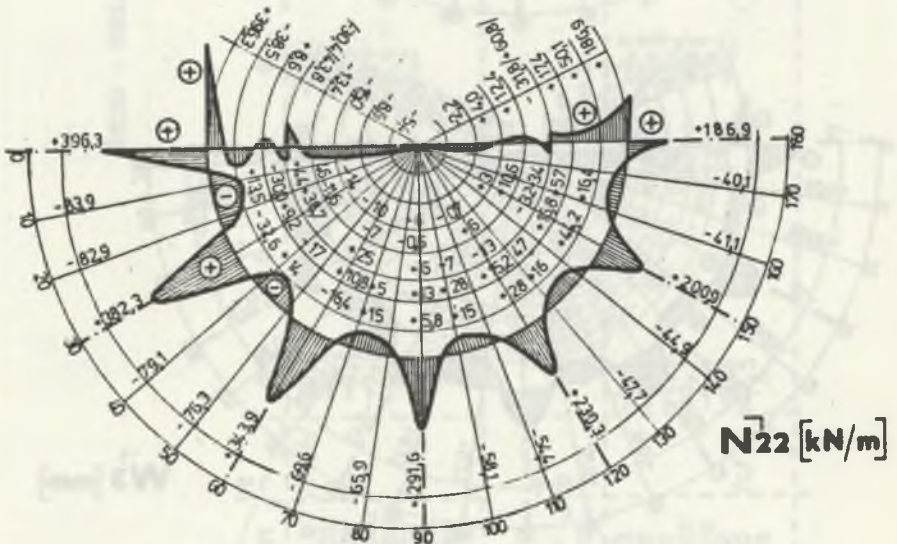
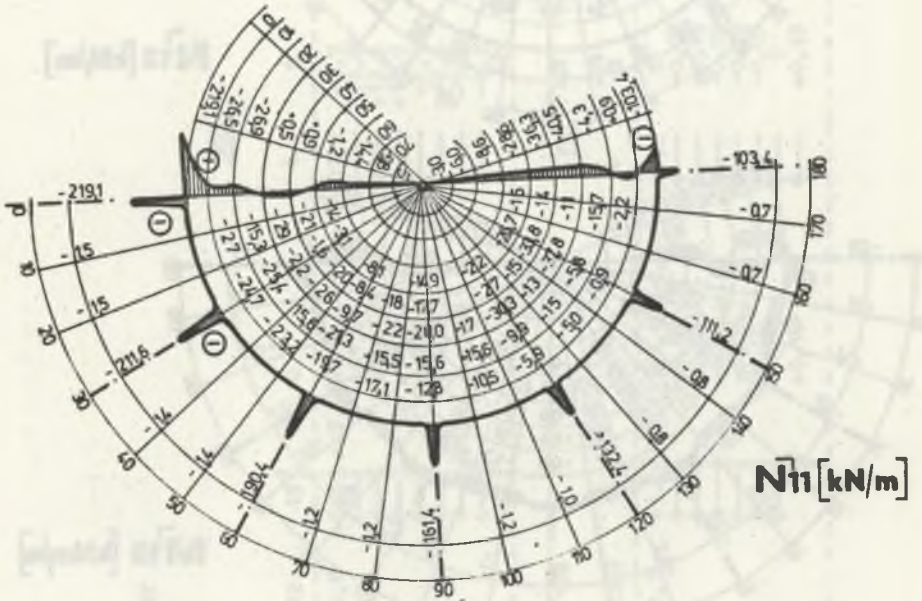
$\bar{a}=0,7\text{m}$ $k=12$



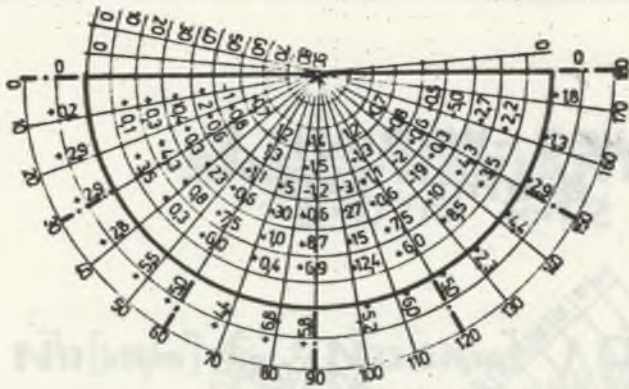
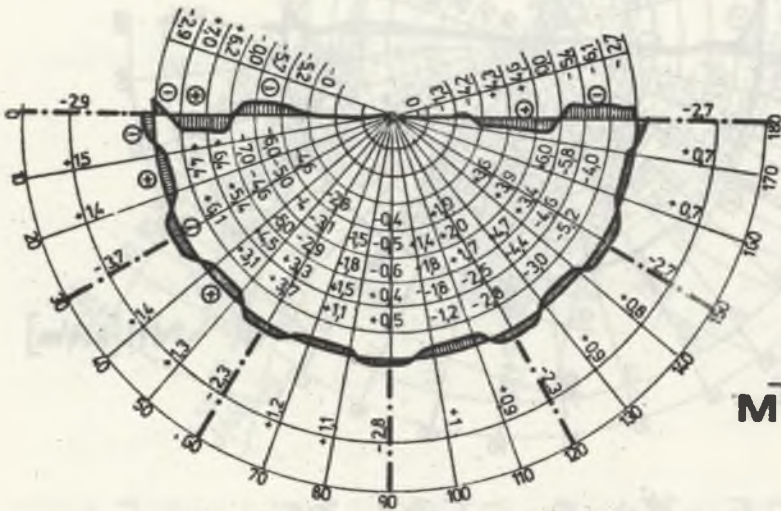
Rys. 4

ŚNIEG - WARIANT 2

$\bar{a}=0,7m$ $k=12$



Rys. 5a


 N_{12} [kN/m]

 M_{12} [kNm/m]

 W_3 [mm]

Rys. 5b

ŚNIEG - WARIANT I

U1	U2		N11				N22					
	0	2	4	8	12	15	0	2	4	8	12	15
0	-7,4/	-6,6	-0,3	-0,6	-0,6	-0,5	+7,4/	+156,4	+42,5	-9,7	-50,6	-68,4
20		-8,5		-8,4			+11,2			+11,1		
28		-9,5		-9,5			+12,5			+12,5		
30d		-9,9		-9,9			+12,9			+12,9		
30g		-9,9		-9,9			+1,1			+1,1		
32	-9,2/	-9,2		-9,2			+0,5			+0,6		
40		-9,2		-9,2			+1,6/			-1,5		
90							-9,2			-9,2		

U1	U2		N11				N22					
	0	2	4	8	12	15	0	2	4	8	12	15
0	-5,4	-3,5	-1,8	+0,8	+2,7	+3,2	-0,1/	-0,4	-0,2	0	+0,16	+0,2
20	+0,2			+0,3			-0,07			-0,07		
28	+0,3			+0,3			-0,06			-0,06		
30d	+0,3			+0,3			-0,06			-0,06		
30g	-0,1			-0,4			-0,06			-0,06		
32	-0,3			-0,3			-0,05			-0,05		
40	-0,3			-0,3			0			0		
90	0						+0,18			+0,18		

Tabela 1

ŚNIEG - WARIANT II a

		---N11---						---N22---					
U1 \ U2		0	2	4	8	12	15	0	2	4	8	12	15
0	0	-161,4	+4,9	-0,6	-1,1	-1	-15,5	+291,6	+110,7	+79,3	-18,0	-94,4	-113,7
20	0	-15,6			-15,6			+13			+13		
30d	0	-18,3			-18,3			+15,2			+15,2		
30E	0	-20			-20			+6			+6		
40	0	-17,7			-17,7			-0,5			-0,5		
90	0	0			0			0			0		

		---M21---						---O1---					
U1 \ U2		0	2	4	8	12	15	0	2	4	8	12	15
0	0	+1	+0,4	-0,05	-0,3	-0,12	-0,05	-10	-6,5	-3,4	+1,6	+5	+5,9
20	0	-0,09			-0,09			-0,3			-0,2		
30d	0	-0,1			-0,1			-0,3			-0,3		
30E	0	+0,1			+0,1			+0,4			+0,4		

		---W3---					
U1 \ U2		0	2	4	8	12	15
0	0	-0,7	-0,6	-0,4	0	+0,3	+0,4
20	0	-0,07			-0,07		
30d	0	-0,05			-0,05		
30E	0	+0,04			+0,04		
40	0	+0,04			+0,04		
90	0	+0,25			+0,25		

Tabela 2

ŚNIEG - WARIANT II b

N11

U1 \ U2	0	10	20	30	40	50	60	70	80	90
0	-58	-0,4	-0,4	-50,2	-0,3	-0,3	-29	-0,1	-0,1	0
10	-13,7	-12,1	-12,1	-11,9	-9,9	-8,3	-6,9	-4,4	-2,2	
20	-11,3	+0,2	+0,2	-9,8	-0,2	-0,1	-5,7	+0,1	+0,1	
30d	+21	-9,5	-9,1	+17,8	-7,4	-6,2	+10,3	-3,3	-1,7	
30g	+21	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	
40	+18,6	-3,8	-3,7	+16,1	-3,2	-2,5	+9,3	-1,3	-0,7	
60	-2,9	-2,8	-2,7	-2,5	-2,2	-1,9	-1,4	-1	-0,5	↑

N22

U1 \ U2	0	10	20	30	40	50	60	70	80	90
0	+104,7	-21,9	-20,9	+90,7	-17,1	-14,3	+52,3	-7,6	-3,9	0
10	-41,3	-1,5	-1,4	-38,4	-1,1	-1	-22,2	-0,5	-0,3	
20	-41,4	-44,7	-42,6	-5,8	-34,7	-29,2	-2,2	-15,2	-7,9	
30d	-45,6	-42	-40,1	-39,5	-32,7	-27,4	-22,8	-14,6	-7,4	
30g	+37,8	+40,1	+38,3	+32,7	+31,2	+26,2	+18,9	+13,9	+7,1	
40	-12,9	+9,3	+7,7	-11,1	+38,3	+32	-6,4	+17,1	+6,7	
60	-2,8	-2,8	-2,7	-2,5	-2,2	-1,8	-1,4	-0,9	-0,5	

Tabela 3

M11 - M22

	0	10	20	30	40	50	60	70	80	90
U1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
U2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	+0,09	-0,17	+0,3	-0,4	+0,5	-0,5	+0,5	-0,5	0
10	0	+0,12	+0,22	-0,13	+0,51	-0,63	+0,66	-0,63	+0,66	0
20	0	+0,15	-0,29	+0,55	-0,56	+0,61	-0,64	+0,61	-0,64	0
30d	0	-0,02	+0,04	-0,08	+0,1	-0,12	+0,12	-0,12	+0,12	0
40	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
50g	0	-0,11	+0,22	-0,29	+0,49	-0,61	+0,64	-0,61	+0,64	0
60	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

M2

	0	10	20	30	40	50	60	70	80	90
U1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
U2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	-0,44	-0,1	-0,38	-0,1	-0,08	-0,2	-0,05	-0,02	0
10	0	+0,07	-0,09	+0,06	-0,07	-0,06	+0,04	-0,03	+0,02	0
20	0	+0,06	+0,07	-0,05	+0,06	-0,05	-0,03	+0,03	+0,01	0
30d	0	+0,12	+0,15	-0,04	+0,12	+0,11	+0,02	+0,06	+0,03	0
40	0	+0,16	+0,16	+0,04	+0,13	+0,11	+0,02	+0,06	+0,03	0
50g	0	-0,14	-0,13	+0,06	-0,11	-0,09	+0,03	-0,05	-0,02	0
60	0	+0,07	+0,04	-0,06	-0,11	-0,09	+0,03	+0,02	-0,02	0
0	0	+0,05	+0,04	-0,06	-0,11	-0,09	+0,03	+0,02	-0,02	0

Tabela 3 c. d.

Powyższe zalecenia uzupełni wpływ ciężaru własnego powłoki. Spośród łącznych uogólnionych sił przekrojowych wywołanych tymi wpływami najbardziej znaczące dla projektowania są siły N_{11} , N_{22} , a także momenty M_{12} , M_{21} w pasmie podporowym i pasmie lokalnych zaburzeń (w innych miejscach powłoki wartości momentów mniejsze są od wartości sił o jeden lub dwa rzędy).

LITERATURA

- [1] Bielak S. - Konstrukcje powłokowe, materiały szkoleniowe WSI w Opolu, Opole 1984.
- [2] Kirchhoff G. - Vorlesungen uber mathematische Physic, Bd. 1, Mechanik 1876.
- [3] Kuszke A. - Rozwiązanie stanu zgięciowego powłoki sferycznej w ciele liczb zespolonych, Prace Nauk. Inst. Inż. Łąd. Politechniki Wrocławskiej, seria: Konferencje Z. Nr 12, Wrocław 1986.
- [4] Kuszke A. - Stan zgięciowy powłoki sferycznej podpartej punktowo. Praca doktorska, Politechnika Śląska, Gliwice 1988.
- [5] Gorenstein B.V. - K rasczetu sfericzeskich kupołów na sniegowuju nagruzku, Stroit. Mech. Rasc. Soor. Nr 4, Moskwa 1978.

Recenzent: Prof. zwycz. Otton Dąbrowski

Wpłynęło do Redakcji 13.03. 1989 r.

НЕСКОЛЬКО ИНФОРМАЦИЙ ДЛЯ ПРОЕКТИРОВКИ СФЕРИЧЕСКИХ ОБОЛОЧЕК
ПОД ДЕЙСТВИЕМ СНРГОВОЙ НАГРУЗКИ

Р е з ю м е

Работа представляет аналитическое решение сферической оболочки, работающей в моментном состоянии под снеговой нагрузкой - варианты нагрузки, а также учет варианта II, являющегося на практике вопросами работ [1], [3].

INFORMATION FOR DESIGN
OF THE SPHERICAL
SHELLS UNDER SNOW LOAD

S u m m a r y

The paper presents an analitical solution of a spherical shell working in the moment state under snow load - alternative solution I,II, - PN-80/B-02010 The zone of a intervaly loading intensity has been solved. The theory of this solution has been presented in the papers [1], [3].