

EUROKODY

praktyczne komentarze

Niniejsza publikacja to teoria przedstawiona w przystępny sposób oraz przykłady, które prowadzą krok po kroku przez proces wymiarowania. Skrypty "Eurokody - praktyczne komentarze" to podstawa do wykonywania obliczeń we własnych projektach, a celem "Błękitnych stron" jest takie ułatwienie pracy inżynierom, aby projektowanie było efektywne, wydajne oraz dawało satysfakcję.

Skrypt 1

Podstawy projektowania konstrukcji	E01
Niezawodność konstrukcji	E01
Obliczenia metodą stanów granicznych	E02
Oddziaływania	E02
Sprawdzenie metodą współczynników częściowych	E03
Stany graniczne nośności	E03
Kombinacje podstawowe	E04
Kombinacje w wyjątkowych sytuacjach obliczeniowych	E04
Wartości współczynników częściowych dla wartości obciążeń	E04
Oddziaływanie na konstrukcje - Eurokod 1	E05
Rodzaje oddziaływań	E06
Obciążenia stałe	E06
Obciążenia użytkowe	E06
Obciążenia śniegiem	E07
Obciążenia wiatrem	E08
Przykład obliczeniowy	E11
Podsumowanie	E17

Część 0.

Podstawy projektowania konstrukcji

Wstęp

Seria Eurokodów składa się z PN-EN 1990 do PN-EN 1999. Tom rozpoczynający – PN-EN 1990, pełni funkcję nadrzędną, bo podano w nim podstawy projektowania, określono główne wymagania oraz zdefiniowano stany graniczne nośności i użyteczności konstrukcji. Następne tomy zawierają informacje o kolejnych aspektach projektowania – ustalanie obciążeń, projektowanie poszczególnych typów konstrukcji, geotechnika czy też oddziaływania sejsmiczne. Każda z norm składa się z części jednobrzmiącej dla wszystkich Państw zrzeszonych oraz załącznika o charakterze krajowym.

Jeżeli chodzi o aspekt prawny, to aktualnie projektowanie konstrukcji budowlanych w Polsce obywateli się zasadniczo w oparciu o Polskie Normy własne/krajowe. Są one również podane w załączniku nr 1 do Rozporządzenia Ministra Infrastruktury z dnia 10 grudnia 2010 r. zmieniającego rozporządzenie w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać budynki i ich usytuowanie (Dz. U. Nr 239 z 2010 r., poz. 1597).

Jednocześnie w odnośniku pod tabelą z wykazem Polskich Norm powołanych w rozporządzeniu, podano informacje, że Polskie Normy projektowania konstrukcji – Eurokody, zatwierdzone i opublikowane w języku polskim, mogą być stosowane w projektowaniu konstrukcji, jeżeli obejmują one wszystkie niezbędne aspekty związane z zaprojektowaniem tej konstrukcji (stanowią kompletny ze-

Cele systemu Eurokodów

- środek dowodzący zgodności obiektów budowlanych i konstrukcji z wymaganiami podstawowymi (Essential Requirements) Dyrektywy Rady 89/106/EWG w sprawie zbliżenia przepisów prawnych i administracyjnych państw członkowskich dotyczących wyrobów budowlanych, w szczególności z pierwszym wymaganiem (ER 1) „nośność i stateczność oraz drugim wymaganiem (ER 2) „bezpieczeństwo pożarowe”
- podstawa do tworzenia specyfikacji wchodzących w skład umów z zakresu zamówień publicznych dotyczących prac budowlanych i związanych z nimi usług inżynierskich
- podstawy ramowe do tworzenia zharmonizowanych specyfikacji technicznych dla wyrobów budowlanych o znaczeniu konstrukcyjnym

staw norm umożliwiający projektowanie). Projektowanie każdego rodzaju konstrukcji wymaga stosowania PN-EN 1990 i PN-EN 1991. Nadmienić trzeba, iż kategorycznie zabrania się stosowania w jednym obiekcie jednocześnie norm różnych generacji (starych-krajowych z nowymi-europejskimi).

Wprowadzenie EC na terenie państw zrzeszonych w Unii Europejskiej ma na celu ujednolicenie przepisów dotyczących budownictwa, co pozwoli na rozwinięcie się konkurencji na skalę Europejską oraz podniesienie bezpieczeństwa konstrukcji (patrz też ramka „Cele systemu Eurokodów”).

Niezawodność konstrukcji

Przystępując do projektowania należy określić klasę niezawodności (RC1-RC3) oraz bezpośrednio z nią związaną klasę konsekwencji zniszczenia (CC1-CC3). W większości przypadków będą to odpowiednio RC2 i CC2. Powyższy wybór determinuje poziom nadzoru projektowania DSL (1-3) oraz poziom inspekcji wykonawstwa IL (1-3). Przy czym poziomy te nie mogą być niższe niż ustalone klasy. Dodatkowo wybór klasy określa również wartość współczynnika K_{Fi} do współczynników obciążeń (dla RC2 $K_{Fi} = 1.0$). Powyższe zależności przedstawia schematycznie Tablica 1. Można zauważyć, że współczynniki K_{Fi} są odpowiednikami współczynników konsekwencji zniszczenia γ_n w normie PN-B. Z pojęciem niezawodności wiąże się projektowany okres użytkowania konstrukcji (patrz. Tablica 2.)

Podział Eurokodów

- EN 1990 Eurokod: Podstawy projektowania konstrukcji
- EN 1991 Eurokod 1: Oddziaływania na konstrukcje
- EN 1992 Eurokod 2: Projektowanie konstrukcji z betonu
- EN 1993 Eurokod 3: Projektowanie konstrukcji stalowych
- EN 1994 Eurokod 4: Projektowanie konstrukcji zespolonych stalowo-betonowych
- EN 1995 Eurokod 5: Projektowanie konstrukcji drewnianych
- EN 1996 Eurokod 6: Projektowanie konstrukcji murowych
- EN 1997 Eurokod 7: Projektowanie geotechniczne
- EN 1998 Eurokod 8: Projektowanie konstrukcji poddanych oddziaływaniom sejsmicznym
- EN 1999 Eurokod 9: Projektowanie konstrukcji aluminiowych.

Tablica 1. Zarządzanie niezawodnością

Klasa konsekwencji zniszczenia				Klasa niezawodności		Poziom nadzoru przy projektowaniu			Poziom inspekcji przy wykonywaniu		
Zagrożenie życia	Konsekwencje ekonomiczne	Przykład	Symbol	Symbol	KFI	Symbol	Charakterystyka	Opis	Symbol	Charakterystyka	Opis
Wysokie	Bardzo duże	Widownie, niektóre bud. użyt. publ.	CC3	RC3	1.1*	DSL3	Zaostrzony	Weryfikacja przez inną jednostkę projektową	IL3	Zaostrzony	Przez stronę trzecią
Przeciętne	Znaczne	Bud: użyt. publ., mieszkalne, biurowe	CC2	RC2	1	DSL2	Normalny	Weryfikacja projektu	IL2	Normalny	Zgodnie z procedurami wykonawcy
Niskie	Niskie	Budynki rolnicze	CC1	RC1	0.9	DSL1		Samokontrola	IL1		Autoinspekcja

* Dla klasy RC3, zamiast współczynników K_{Fr} preferowane są inne środki niż podane.

Obliczenia metodą stanów granicznych

Rozróżnia się stany graniczne nośności (ULS) i użytkowalności (SLS) konstrukcji. Sprawdzenie ich należy wykonywać w określonych sytuacjach obliczeniowych tj. trwałych (normalne warunki użytkowania), przejściowych (w czasie budowy, naprawy) i wyjątkowych (pożar, wybuch, uderzenie). Stany graniczne nośności dotyczą bezpieczeństwa ludzi, konstrukcji. Stany graniczne użytkowalności natomiast, dotyczą spełnienia funkcji konstrukcji w trakcie eksploatacji, komfortu użytkowników oraz wyglądu (duże ugięcia, nadmierne rysy) i dzielą się na odwracalne i nieodwracalne. Podczas projektowania należy wykazać, że żaden stan graniczny nie zostanie przekroczony przy przyjęciu obliczeniowych modeli oddziaływań, właściwości materiałów, wielkości geometrycznych. Powyższe sprawdzenie należy wykonać dla wszystkich istotnych sytuacji obliczeniowych i przypadków obciążeń.

Oddziaływania

Oddziaływania można sklasyfikować na podstawie ich zmienności w czasie i częstości występowania na: STAŁE (G) – ciężar własny konstrukcji, obudowy, urządzeń, skurcz, osiadanie. ZMIENNE (Q) – klimatyczne, technologiczne, użytkowe. WYJĄTKOWE (A) – wybuch, uderzenie przez pojazd, a także niektóre obciążenia śniegiem. Dla oddziaływań w powyższych grupach należy

Tablica 2. Projektowy okres użytkowania

Kategoria projekt. okresu użytk.	Orientacyjny projektowy okres użytkowania [lata]	Przykłady
1	10	Konstrukcje tymczasowe
2	od 10 do 25	Wymienne części konstrukcji np. belki podsuwnicowe, łożyska
3	od 15 do 30	Konstrukcje rolnicze i podobne
4	50	Konstrukcje zwykłe
5	100	Konstrukcje budynków monumentalnych, mosty i inne konstrukcje inż.

określić odpowiednie wartości charakterystyczne z indeksem „k” i są one głównymi reprezentatywnymi wielkościami. W Eurokodzie uwzględniono także niskie prawdopodobieństwo wystąpienia jednocześnie maksymalnych wartości obciążeń zmiennych. Wyrazem tego są współczynniki ψ_i gdzie $i = 0 \dots 2$. Wartości wyrażone przez iloczyn tych współczynników z wartościami charakterystycznymi Q_k są także określone jako reprezentatywne. Przy rozpatrywaniu ULS oraz nieodwracalnych SLS możemy zredukować wartość obciążeń użytkowych towarzyszących do wartości „ $\psi_0 \cdot Q_k$ ” (tzw. wartość kombinacyjna). Analogicznie dla stanów ULS w sytuacjach wyjątkowych oraz SLS odwracalnych możemy zastosować „ $\psi_1 \cdot Q_k$ ” (tzw. wartość częsta). Ostatni iloczyn „ $\psi_2 \cdot Q_k$ ” reprezentuje oddziaływanie quasi-stałe, ale nie będzie tutaj omawiany. Wartości współczynników ψ_i podano w Tablicy 3.

Tablica 3. Zalecane wartości ψ dla budynków			
Oddziaływanie	ψ_0	ψ_1	ψ_2
Obciążenie zmienne w budynkach. kategoria (patrz PN-EN 1991-1-1)			
A – powierzchnie mieszkalne	0.7	0.5	0.3
B – powierzchnie biurowe	0.7	0.5	0.3
C – miejsca zebrań	0.7	0.7	0.6
D – powierzchnie handlowe	0.7	0.7	0.6
E – powierzchnie magazynowe	1.0	0.9	0.8
F – powierzchnie ruchu pojazdów $\leq 30\text{kN}$	0.7	0.7	0.6
G – powierzchnie ruchu pojazdów $> 30, \leq 160\text{kN}$	0.7	0.5	0.3
H – dachy	0.0	0.0	0.0
Obciążenie budynków śniegiem (patrz PN-EN 1991-1-3)			
Miejscowość na położona na wysokości $H > 1000\text{m n.p.m.}$	0.7	0.5	0.2
Miejscowość na położona na wysokości $H < 1000\text{m n.p.m.}$	0.5	0.5	0.0
Obciążenie wiatrem (patrz PN-EN 1991-1-4)	0.6	0.2	0.0
Temperatura (nie pożarowa) w budynku (patrz PN-EN 1991-1-5)	0.6	0.5	0.0

Sprawdzenie metodą współczynników częściowych

Wartości obliczeniowe dla oddziaływań można wyrazić za pomocą zależności:

$$F_{rep} = \gamma \cdot F_k \quad (1)$$

gdzie:

$$F_{rep} = \Psi \cdot F_k$$

F_k – wartość charakterystyczna oddziaływania,
 F_{rep} – odpowiednia wartość reprezentatywna oddziaływania,
 γ_f – współczynnik częściowy dla oddziaływania, uwzględniający niekorzystne odchylenia wartości
 $\psi = 1,00$ lub ψ_0 , ψ_1 lub ψ_2 ,

Wartości obliczeniowe dla właściwości materiałów można wyrazić za pomocą zależności:

$$X_d = \eta \cdot \frac{X_k}{\gamma_m} \quad (2)$$

gdzie:

X_k – wartość charakterystyczna właściwości materiału bądź wyrobu,
 η – wartość średnia współczynnika konwersji (zależny od np. efektu skali, temperatury, wilgotności),
 γ_m – współczynnik częściowy dla właściwości, uwzględniający niekorzystne odchyłki od wartości reprezentatywnych.

Nośność obliczeniową w odniesieniu do wyrobów lub elementów wykonanych z jednego rodzaju materiału (np. ze stali) można określać z zależności:

$$R_d = \frac{R_k}{\gamma_M} \quad (3)$$

gdzie:

R_k – charakterystyczna nośność elementu
 γ_M – współczynnik częściowy dla właściwości materiału uwzględniający również niepewność modelu i odchyłki wymiarów

Stany graniczne nośności

Jako miarodajne należy sprawdzić następujące stany graniczne nośności:

- EQU: Utrata równowagi statycznej konstrukcji lub jakiegokolwiek jej części, uważanej za ciało sztywne, kiedy
 - małe zmiany wartości lub rozkładu w przestrzeni oddziaływań, wywołanych przez jedną przyczynę, są znaczące
 - wytrzymałość materiałów konstrukcji lub podłoża na ogół jest bez znaczenia.
 Sprawdzenie tego stanu na ogół nie jest konieczne. Ma on zastosowanie w konstrukcjach z balastami i przeciwwagami np. niektóre mosty, kładki, czy też w przypadku ściany oporowej (sprawdzenie wywrócenia ściany).
- STR: Zniszczenie wewnętrzne lub nadmierne odkształcenia konstrukcji lub elementów konstrukcji, łącznie ze stopami fundamentowymi, palami, ścianami części podziemnej itp., w przypadku, których decydujące znaczenie ma wytrzymałość materiałów konstrukcji.
- GEO: Zniszczenie lub nadmierne odkształcenie podłoża, kiedy istotne znaczenie dla nośności konstrukcji ma wytrzymałość podłoża lub skały.

- FAT: Zniszczenie zmęczeniowe konstrukcji lub elementu konstrukcji.

Kombinacje oddziaływań w przypadku trwałych lub przejściowych sytuacji obliczeniowych (kombinacje podstawowe)

Ogólna postać efektu oddziaływań może być przedstawiona w postaci:

$$\sum_{j \geq 1} \gamma_{G,j} G_{k,j} + \gamma_{Q,1} Q_{k,1} + \sum_{j > 1} \gamma_{Q,i} \psi_{0,i} Q_{k,i} \quad (4)$$

lub dla stanów granicznych STR i GEO jako mniej korzystne z podanych (w polskim załączniku krajowym to podejście jest zalecane, co prowadzi zazwyczaj do zmniejszonego zużycia materiałów):

$$\begin{cases} \sum_{j \geq 1} \gamma_{G,j} G_{k,j} + \gamma_{Q,1} \psi_{0,1} Q_{k,1} + \sum_{j > 1} \gamma_{Q,i} \psi_{0,i} Q_{k,i} & (5a) \\ \sum_{j \geq 1} \xi_j \gamma_{G,j} G_{k,j} + \gamma_{Q,1} Q_{k,1} + \sum_{j > 1} \gamma_{Q,i} \psi_{0,i} Q_{k,i} & (5b) \end{cases}$$

gdzie:

Σ - oznacza „należy uwzględnić w komb. z”

„+” - oznacza „łączny efekt”

ξ - współczynnik redukcyjny dla niekorzystnych oddziaływań stałych G

Kombinacje oddziaływań w przypadku wyjątkowych sytuacji obliczeniowych

Ogólna postać efektu oddziaływań może być przedstawiona w postaci:

$$\sum_{j \geq 1} G_{k,j} + A_d + (\psi_{1,1} \text{ lub } \psi_{2,1}) Q_{k,1} + \sum_{j > 1} \psi_{2,i} Q_{k,i} \quad (6)$$

gdzie:

A_d - oddziaływanie wyjątkowe.

Wartości współczynników częściowych dla wartości obciążeń

Zależenie od rozpatrywanego stanu granicznego należy uwzględniać odpowiedni zestaw współczynników γ_ξ oraz przy stosowaniu zależności 5b także odpowiednią wartość ξ . Wartości te zostały zbiorczo ujęte w Tablicy 4.

Tablica 4. Współczynniki częściowe do oddziaływań

Sytuacja obliczeniowa trwała i przejściowa	Stan graniczny	Oddziaływanie stałe		Oddziaływanie zmienne	
		Niekorzystne	Korzystne	Niekorzystne	Korzystne
	EQU	1.10	0.90	1.50	0.00
Sytuacja obliczeniowa trwała i przejściowa	STR/GEO	1.35*	1.00	1.50	0.00
	STR/GEO	1.00	1.00	1.30	0.00

* Przy korzystaniu ze wzoru (5b) przyjmuje się $\xi = 0.85$, tak żeby $0.85 \cdot 1.35 = 1.15$

Stany graniczne użyteczności

Zazwyczaj przy sprawdzaniu SLS należy współczynniki materiałowe γ_m przyjmować równe 1.0. Kombinacje oddziaływań natomiast formułuje się w sposób następujący:

Kombinacja charakterystyczna (stosowana zwykle dla nieodwracalnych stanów granicznych):

$$\sum_{j \geq 1} G_{k,j} + Q_{k,1} + \sum_{j > 1} \psi_{0,i} Q_{k,i} \quad (7)$$

Kombinacja częsta (stosowana zwykle dla odwracalnych stanów granicznych):

$$\sum_{j \geq 1} G_{k,j} + \psi_{1,1} Q_{k,1} + \sum_{j > 1} \psi_{2,i} Q_{k,i} \quad (8)$$

Kombinacja quasi-stała (stosowana zwykle do oceny efektów długotrwałych i wyglądu konstrukcji)

$$\sum_{j \geq 1} G_{k,j} + \sum_{j > 1} \psi_{2,i} Q_{k,i} \quad (9)$$

Podsumowanie

Ta część artykułu nie wyczerpuje tematyki (nawet) podstaw projektowania konstrukcji. Mamy jednak nadzieję, że przyczyni się do głębszego poznania nowych normatywów i będzie przyczynkiem do dalszego kształcenia w tym kierunku.

Część 1.

Eurokod 1 – oddziaływania na konstrukcję

Wstęp

W części „0” artykułu zostały podane podstawowe zasady projektowania konstrukcji. Kolejnym aspektem jakim należałoby się zainteresować, są szeroko pojęte oddziaływania na konstrukcję. Jest to zagadnienie w dużej mierze wspólne, bez względu na rodzaj projektowanego obiektu. Posiadając już tą wiedzę, śmiało można będzie przejść do opracowania modelu sta-

tycznego, a dalej wymiarowania już konkretnych elementów konstrukcyjnych oraz fundamentów. W tym artykule przedstawiono podstawowe informacje dotyczące właśnie oddziaływań. Ze względu na rozmiar opracowania zdecydowano się przedstawić jedynie najczęściej spotykane obciążenia w powszechnych konstrukcjach. Komplet wytycznych dotyczących tej tematyki zawiera EUROKOD 1.

Tablica 1. Kategorie użytkowania				
Kat.	Specyficzne zastosowanie	Przykład	qk [kN/m ²]	Qk [kN]
A	Powierzchnie mieszkalne	Pokoje w budynkach mieszkalnych i w domach, pokoje i sale w szpitalach, sypialnie w hotelach i na stacjach, kuchnie i toalety		
		Stropy	2.0	2.0
		Schody	2.0	2.0
		Balkony	2.5	2.0
B	Powierzchnie biurowe		3.0	4.5
C	Powierzchnie, na których mogą gromadzić się ludzie (z wyłączeniem powierzchni określonych wg kategorii A, B i D)	C1: Powierzchnie ze stołami itd., np. powierzchnie w szkołach, kawiarniach, restauracjach, stołówkach, czytelnich, recepcjach.	3.0	4.0
		C2: Powierzchnie z zamocowanymi siedzeniami, np. w kościołach, teatrach, kinach, salach konfer., salach wykładowych, salach zebrań, poczekalniach.	4.0	4.0
		C3: Powierzchnie bez przeszkód utrudniających poruszanie się ludzi, np. powierzchnie w muzeach, salach wystaw itd., oraz powierzchnie ogólnie dostępne w budynkach publicznych i admin., hotelach, szpitalach, podjazdach kolejowych.	5.0	4.0
		C4: Powierzchnie, na których jest możliwa aktywność fizyczna np. sale tańców, sale gimnastyczne, sceny.	5.0	7.0
		C5: Powierzchnie ogólnie dostępne dla tłumu, np. w budynkach użyteczności publicznej takich jak sale koncertowe, sale sportowe łącznie z trybunami, tarasy	5.0	4.5
D	Powierzchnie handlowe	D1: Powierzchnie w sklepach sprzedaży detalicznej.	4.0	4.0
		D2: Powierzchnie w domach towarowych.	5.0	7.0
E1	Powierzchnie, na których mogą być gromadzone towary, łącznie z powierz. dostępu	Powierzchnie składowania, z włączeniem składowania książek i innych dokumentów	7.5	7.0
F	Powierzchnie ruchu i parkowania dla pojazdów lekkich (≤ 30 kN ciężaru brutto, z liczbą miejsc ≤ 8 poza kierowcą)	garaże; powierzchnie ruchu i parkowania w budynkach	2.5	20.0
G	Powierzchnie ruchu i parkowania dla pojazdów średnich (≥ 30 kN, ≤ 160 kN całkowitego ciężaru pojazdu na dwóch osiach)		5.0	90.0
H	Dach bez dostępu, z wyjątkiem zwykłego utrzymania i napraw		0.4	1.0
I	Dachy z dostępem, użytkowane zgodnie z kategoriami A do D		jak w odp. kat.	

Rodzaje oddziaływań

Tak jak już wspomniano przy omawianiu Eurokodu 0, obciążenia możemy podzielić na:

- Stałe (oznaczane literą G)
- Zmienne (oznaczane literą Q)
- Wyjątkowe (oznaczane literą A)

Odpowiednio dla każdej z powyższych grup zostały zdefiniowane współczynniki częściowe „ γ_f ” uwzględniające niekorzystne odchyłki wartości obciążenia od głównej wartości reprezentatywnej (charakterystycznej) oznaczanej indeksem „ k ”. Dodatkowo wartości tych współczynników zależą od rozpatrywanego stanu granicznego nośności. W praktyce projektowej, dla obliczeń statycznych konstrukcji najczęściej stosowany zapewne będzie zestaw wartości 1.35 i 1.5 odpowiednio dla niekorzystnych efektów oddziaływania stałego i zmiennego. Istotne jest także właściwe dobranie współczynników ψ_i odnoszących się do oddziaływań zmiennych. Zestawienie tych wartości pokazują tablice 3 i 4 w poprzednim artykule. W świetle Eurokodu wydaje się istotne prawidłowe określenie zmiennego obciążenia wiodącego i obciążeń towarzyszących. W praktyce projektowej nie zawsze można to jednoznacznie określić, dlatego autor zaleca kilkakrotne obliczenia dla kolejno wybieranych obciążeń zmiennych jako wiodących (będzie to zademonstrowane w przykładzie obliczeniowym w dalszej części artykułu).

Obciążenie stałe

W części EUROKODU 1 o sygnaturze PN-EN 1991-1-1 zawarto wytyczne ustalania:

- ciężarów objętościowych materiałów budowlanych oraz składowanych
- ciężaru własnego elementów konstrukcyjnych
- obciążeń użytkowych w budynkach

Ciężar własny wyrobów konstrukcyjny należy klasyfikować jako obciążenie stałe umiejscowione. Wyjątkiem od tej zasady jest sytuacja, gdy jest on swobodny (np. w przypadku przestawnych ścian działowych), zaleca się, aby był uważany za dodatkowe obciążenie równomiernie rozłożone, dodawane do obciążenia użytkowego.

Obciążenie gruntem dachów jest również klasyfikowane jako stałe.

Obciążenie wodą zależnie od zmian jego wielkości w czasie, może być interpretowane zarówno jako stałe jak i zmienne.

W przypadku elementów takich jak podłogi, sufity, windy i wyposażenie budynków, można przyjmować dane dostarczone przez producenta.

Obciążenia użytkowe

Wytyczne obejmujące obciążenia użytkowe znajdują się także w PN-EN 1991-1-1.

Obciążenia użytkowe w budynkach są rozumiane jako obciążenia wynikające z:

- zwykłe użytkowanie przez ludzi
- meble i przedmioty przestawne (w tym przestawne ściany działowe)
- pojazdy
- przewidywane rzadkie zdarzenia jak tymczasowa koncentracja ludzi lub sprzętu.

W celu określenia obciążeń użytkowych należy podzielić powierzchnie stropów i dachów w budynkach na kategorie użytkowania. W tablicy 1 zestawiono kategorie wraz z opisem i zalecanym obciążeniem równomiernym q_k i skupionym Q_k .

W obliczeniach stropów oddziaływania w obrębie jednej kondygnacji powinny być uwzględniane jako swobodne na najbardziej niekorzystnej powierzchni wpływu. Z tekstu normy można wywnioskować, iż należy np. dla belek wieloprzęsłowych, czy płyt wielopolowych stosować kombinacje, w których obciążenia użytkowe umieszczamy zarówno na wszystkich jak i tylko na niektórych przęsłach tak, aby otrzymać ekstremalne wartości sił wewnętrznych w przęsłach i na podporach.

Jeśli konstrukcja stropu pozwala na poprzeczny rozdział obciążeń, zaleca się, aby ciężar własny przestawnych ścian działowych, który może być uwzględniany jako obciążenie równomiernie rozłożone q_k , był dodawany do obciążeń użytkowych. Tak określona wartość obciążenia równomiernie rozłożonego zależy od ciężaru własnego ścian działowych i wynosi:

- w przypadku przenośnych ścian działowych o ciężarze własnym $\leq 1,0$ kN/m długości ściany: $q_k = 0,50$ kN/m²
- w przypadku przenośnych ścian działowych o ciężarze własnym $\leq 2,0$ kN/m długości ściany: $q_k = 0,80$ kN/m²
- w przypadku przenośnych ścian działowych o ciężarze własnym $\leq 3,0$ kN/m długości ściany: $q_k = 1,20$ kN/m²

Warto wspomnieć, że norma definiuje oprócz wartości q_k przeznaczonej do wyznaczania efektów ogólnych, dodatkowo parametr Q_k dla efektów lokalnych. Przy czym kształt powierzchni działania obciążenia Q_k przyjmuje się jako kwadrat o boku 50 mm.

Eurokod dopuszcza dodatkowe zmniejszanie obciążeń użytkowych współczynnikami α_A oraz α_n . Współczynnik α_A dotyczy redukcji dla stropów

i dostępnych poddaszy. Zalecana wartość współczynnika jest wyrażona zależnością:

$$\alpha_A = \frac{5}{7} \cdot \psi_0 + \frac{A_0}{A} \leq 1.0 \quad (1)$$

Z ograniczeniem dla kategorii C i D: $\alpha_A \leq 0.6$

gdzie:

ψ_0 - (zwykle 0.7) opis w tekście

A_0 - 10.0m²

A - powierzchnia obciążenia

Współczynnikiem α_n natomiast, dopuszcza się redukcję obciążeń użytkowych przypadających na słupy i ściany z wielu kondygnacji. Ma on zastosowanie w kategoriach użytkowania A do D i zaleca się przyjmować wartość wynikającą z poniższej zależności:

$$\alpha_n = \frac{2 + (n-2) \cdot \psi_0}{n} \quad (2)$$

gdzie:

n - liczba kondygnacji (>2) ponad obciążonymi elementami konstrukcyjnymi tej samej kategorii

ψ_0 - (zwykle 0.7) opis w tekście

Obciążenie śniegiem

Wytyczne określające obciążenie śniegiem przypadające na konstrukcję zawarto w PN-EN 1991-1-3.

Obciążenie śniegiem należy traktować jako obciążenie zmienne umiejscowione.

Należy wziąć pod uwagę dwa podstawowe układy obciążenia:

- równomierne obciążenie śniegiem dachu (układ, który przedstawia równomiernie rozłożone obciążenie śniegiem dachu, uformowane jedynie przez jego kształt.
- nierównomierne obciążenie śniegiem dachu (układ przedstawiający obciążenie śniegiem, wynikające z przemieszczania śniegu z jednego miejsca na inne np. przez wiatr.

Dodatkowo w sytuacjach, gdzie śnieg jest oddziaływaniem wyjątkowym należy rozpatrzyć przypadek wyjątkowych zamieci. Na terenie Polski zgodnie z załącznikiem krajowym nie ma zastosowania przypadek *wyjątkowych opadów śniegu*. Warto również nadmienić, że nie wymaga się (szczególnie w przypadku dachów kategorii H) uwzględniania jednocześnie obciążeń użytkowych, obciążeń śniegiem i oddziaływań wiatru.

W normie zamieszczono także uwagę, dotyczącą uwzględnienia, przy projektowaniu dachu, odpo-

wiednich układów obciążeń, jeżeli przewiduje się sztuczne usuwanie lub przemieszczanie śniegu po dachu.

Obciążenie śniegiem dachów w trwałej i przejściowej sytuacji obliczeniowej należy ustalać następująco:

$$S = \mu_i \cdot C_e \cdot C_t \cdot s_k \quad (3)$$

gdzie:

μ_i - współczynnik kształtu dachu

s_k - wartość charakterystyczna obciążenia śniegiem gruntu

C_e - współczynnik ekspozycji

C_t - współczynnik termiczny

Wartość s_k zależy od lokalizacji obiektu. Dla Polski ustalono 5 stref obciążenia śniegiem gruntu. Na rysunku 1 przedstawiono schematycznie przebieg stref, a w tabelicy 2 odpowiadające wartości.

Rysunek 1. Mapa stref obciążenia śniegiem



Tablica 2. Wartości charakterystyczne obciążenia śniegiem gruntu dla H < 300m npm

Strefa	sk, kN/m ²
1	0.7
2	0.9
3	1.2
4	1.6
5	2.0

Tablica 3. Wartości C_e

Teren	C_e
Wystawiony na działanie wiatru	0.8
Normalny	1.0
Oślonięty od wiatru	1.2

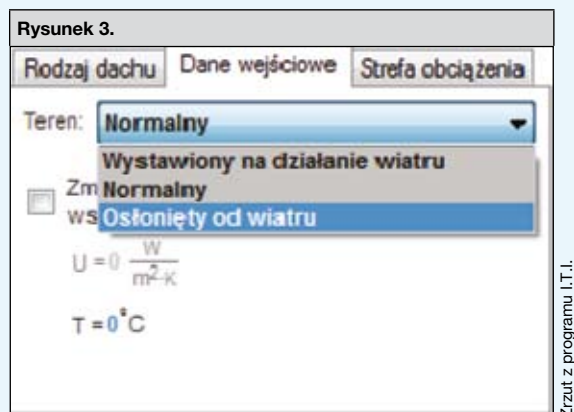
Wartości współczynnika ekspozycji C_e podane zostały w tabelicy 3. Współczynnik termiczny C_t przyjmuje się na ogół o wartości 1.0. Jego in-

ne wartości - powodujące zmniejszenie obciążenia śniegiem, należy stosować do dachów o wysokim współczynniku przenikania ciepła ($> 1 \text{ W/m}^2\text{K}$). Współczynnik μ_i waha się w przedziale 0.8-2.0 zależnie do kształtu dachu. Przykładowo rozpatrzmy dwuspadowy dach o nachyleniach połaci $\alpha_1 = 35^\circ$ i $\alpha_2 = 10^\circ$ obiektu położonego w strefie 2. Obiekt jest osłonięty od wiatru. Do tego zadania wykorzystamy program ITI 4.6. z wbudowanym modulem obciążenia śniegiem wg. Eurokodu.

1. Wybieramy strefę obciążenia (Rysunek 2):



2. Określamy teren (Rysunek 3):



Zrzut z programu I.T.I.

3. Wybieramy rodzaj dachu, podajemy kąty pochylenia połaci i sprawdzamy wartości obciążenia w układzie nierównomiernym (Rysunek 4):



Obciążenie wiatrem

Oddziaływanie wiatru jest ujęte w normie PN-EN 1991-1-4, gdzie zostały sformułowane zasady ustalania wartości oraz układów obciążeń dla tego oddziaływania klimatycznego.

Prędkości wiatru zarówno przeciętne jak i chwilowe mają bezpośredni wpływ na wartości obciążeń jakim musi sprostać konstrukcja jako całość, ale także jej poszczególne elementy. Stąd obszar Polski podzielono na strefy o jednolitej podstawowej wartości bazowej prędkości $v_{b,0}$. Schematycznie przedstawia to rysunek 5.

Rysunek 5. Mapa stref prędkości wiatru



Warto zwrócić uwagę, że w obszarze przybrzeżnym nie ustanowiono dodatkowego podziału, choć wydawałby się może intuicyjny. Różnicowanie prędkości (zresztą nie tylko na tym obszarze) następuje poprzez ustalenie odpowiedniej kategorii chropowatości terenu od 0 do IV. Opis przedstawiono w tablicy 4.

Tablica 4. Wpływ terenu (kategoria chropowatości)

Kategoria terenu	Opis
0	Morze, obszar brzegowy otwarty na morze
I	Jeziora albo obszary z pomijalną niewielką roślinnością i bez przeszkód
II	Obszary z niską roślinnością, taką jak trawa, oraz pojedynczymi przeszkodami (drzewa, budynki) oddalonymi od siebie o co najmniej 20 ich wysokości
III	Obszary regularnie pokryte roślinnością albo budynkami lub z pojedynczymi przeszkodami oddalonymi od siebie na odległość nie większą niż 20 ich wysokości (wsie, tereny podmiejskie, stałe lasy)
IV	Obszary, na których przynajmniej 15% pokrywają budynki o średniej wysokości przekraczającej 15m

Określenie kategorii terenu pociąga za sobą głównie odpowiednie wartości współczynnika ekspozycji (patrz Tablica 5.) i chropowatości terenu.

Tablica 5. Współczynnik ekspozycji

Kategoria terenu	$c_e(z)$
0	$3.0 \cdot \left(\frac{z}{10}\right)^{0.17}$
I	$2.8 \cdot \left(\frac{z}{10}\right)^{0.19}$
II	$2.3 \cdot \left(\frac{z}{10}\right)^{0.24}$
III	$1.9 \cdot \left(\frac{z}{10}\right)^{0.26}$
IV	$1.5 \cdot \left(\frac{z}{10}\right)^{0.29}$

Bazową prędkość wiatru należy obliczać z wyrażenia:

$$v_b = c_{dir} \cdot c_{season} \cdot v_{b,0} \quad (4)$$

gdzie:

- v_b – bazowa prędkość wiatru
- $v_{b,0}$ – wartość podstawowa bazowej prędkości wiatru
- c_{dir} – współczynnik kierunkowy
- c_{season} – współczynnik sezonowy

Wartość bazowa ciśnienia prędkości obliczana jest z wyrażenia:

$$q_b = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot v_b^2 \quad (5)$$

gdzie:

- ρ – gęstość powietrza (zalecana wartość 1.25 kg/m³)

Jak można łatwo zauważyć wartości $q_{b,0}$ w tablicy 6 są po prostu przeliczeniem za pomocą wzoru (5) wartości prędkości $v_{b,0}$. Przy przyjęciu współczynników $c_{dir} = 1.0$ i $c_{season} = 1.0$ odpowiadają bezpośrednio wartości bazowej ciśnienia prędkości q_b .

Tablica 6. Wartości podstawowe bazowej prędkości wiatru i ciśnienia prędkości wiatru w strefach dla wysokości < 300m npm

Strefa	$v_{b,0}$	$q_{b,0}$
1	22	0.30
2	26	0.42
3	22	0.30

Wartość szczytowa ciśnienia prędkości wiatru wyrażona jest zależnością:

$$q_p(z) = c_e(z) \cdot q_b \quad (6)$$

gdzie:

$c_e(z)$ – współczynnik ekspozycji

Należy w tym miejscu nadmienić, że zależnie od geometrii budynku, może zaistnieć konieczność różnicowania wartości współczynnika ekspozycji c_e na wysokości obiektu.

Dla budynków zdefiniowano $c_{p,i}$ i $c_{p,e}$, odpowiednio współczynnik ciśnienia wewnętrznego i zewnętrznego. Wartości ich zależą od geometrii obiektu i dodatkowo dzielą się na lokalne oraz globalne. Współczynniki lokalne są przeznaczone do obliczeń elementów i łączników o powierzchni $A < 1 \text{ m}^2$, gdzie A jest obszarem zbierającym obciążenie z danej sekcji. Współczynniki globalne natomiast, stosuje się dla powierzchni $A > 10 \text{ m}^2$. Gdy wartość A leży pomiędzy 1 i 10 m² stosuje się odpowiednią interpolację.

Ostatecznie ciśnienie wiatru na powierzchnie odpowiednio zewnętrzne i wewnętrzne wyrażają zależności:

$$w_e = q_p(z_i) \cdot c_{pe} \quad (7)$$

$$w_i = q_p(z_i) \cdot c_{pi} \quad (8)$$

Zależnie od rozpatrywanego typu konstrukcji, do obliczeń, należy stosować odpowiednie współczynniki, albo $c_{p,e}$ i $c_{p,i}$, albo $c_{p,net}$, albo c_f .

Do obliczeń wiat, ścian wolnostojących, attyk i ogrodzeń należy stosować współczynniki ciśnienia netto oznaczone przez $c_{p,net}$ zależne od współczynnika wypełnienia ϕ .

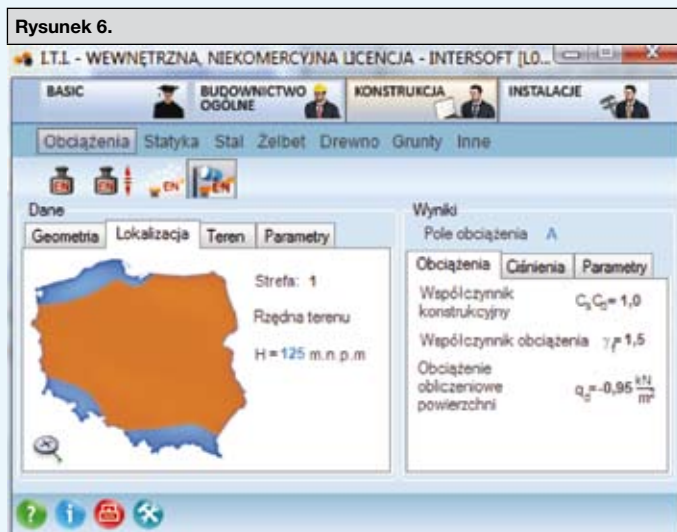
Określone zostały także współczynniki tarcia c_{fr} , które uwzględnia się jedynie dla ścian i powierzchni o odpowiednich rozmiarach.

Ostatnią grupą współczynników aerodynamicznych, są współczynniki siły c_f . Znajdują one zastosowanie przy obliczeniach takich obiektów jak np. tablice czy flagi.

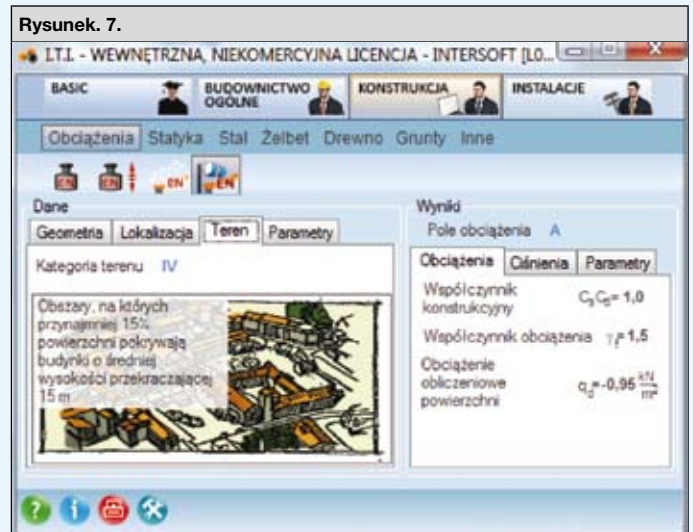
W porównaniu do poprzedniej normy wiatrowej zwiększenie nakładu pracy może być spowodowane znacznym różnicowaniem obciążenia na obszarze rozpatrywanej części obiektu (np. połaci dachowej). Za takim rozwiązaniem przemawiają badania modelowe w tunelach aerodynamicznych, które to wykazały znaczne różnice oddziaływań w zależności od rozpatrywanego obszaru elementu. Nie idzie to jednak w parze z możliwie uproszczonym podejściem inżynierskim.

Dla zobrazowania problemu oddziaływania wiatru na konstrukcję rozpatrzmy dach z przykładu dotyczącego obciążenia śniegiem w poprzednim rozdziale.

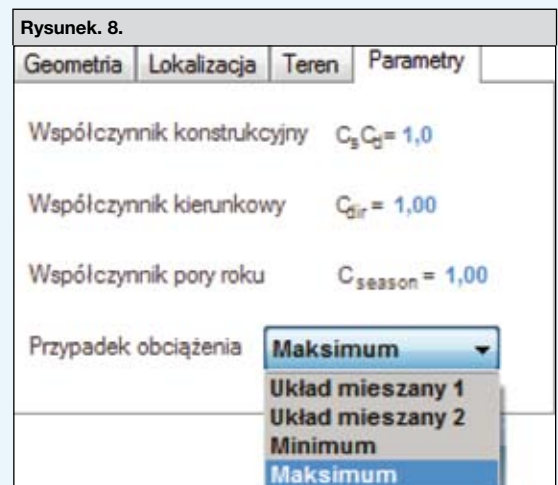
1. Ustalmy strefę, w której położony jest obiekt (Rysunek 6):



2. Ustalmy kategorię terenu (Rysunek 7):

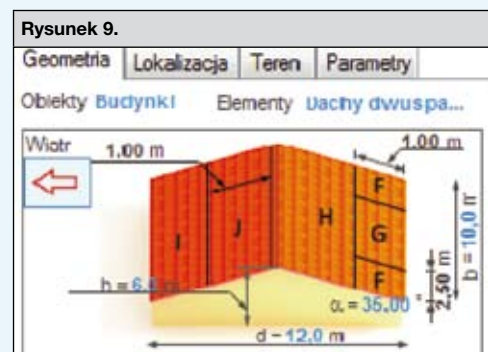


3. Ustalmy współczynniki sezonowe i kierunkowe oraz układ obciążenia (w tym przypadku, są aż 4) (Rysunek 8):



Zrzut z programu I.T.I.

4. Określmy geometrię dachu i kierunek wiatru (Rysunek 9):



Zrzut z programu I.T.I.

5. Zależnie od interesującego nas pola otrzymujemy odpowiednią wartość obciążenia (Rysunek 10):

Rysunek 10.

Wyniki
Pole obciążenia F

Obciążenia	Ciśnienia	Parametry
Współczynnik konstrukcyjny	$C_s C_{pe} = 1,0$	
Współczynnik obciążenia	$\gamma_f = 1,5$	
Obciążenie obliczeniowe powierzchni	$q_d = 0,41 \frac{kN}{m^2}$	

Zrzut z programu I.T.I.

6. Możemy także określić wartość ciśnienia zależnie od powierzchni oddziaływania (Rysunek 11):

Rysunek 11.

Wyniki
Pole obciążenia F

Obciążenia	Ciśnienia	Parametry
Ciśnienie na Element		
$A \geq 10,00 m^2$		
Współczynnik ciśnienia zewnętrznego	$C_{pe} = 0,70$	
Zewnętrzne ciśnienie wiatru	$w_e = 0,3 kPa$	

Zrzut z programu I.T.I.

7. Możemy także sprawdzić wartości pośrednie w toku obliczeń (Rysunek 12):

Rysunek 12.

Wyniki
Pole obciążenia F

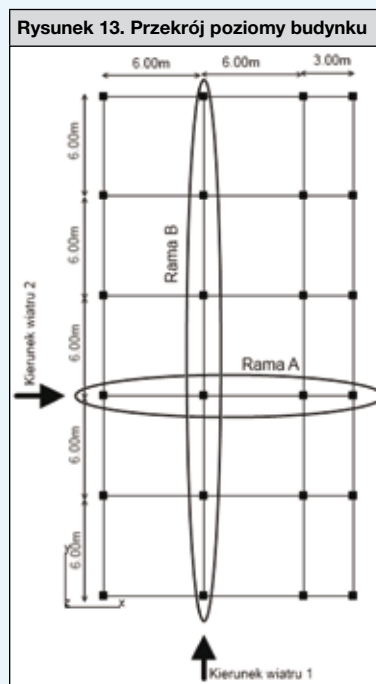
Obciążenia	Ciśnienia	Parametry
Bazowa prędkość wiatru	$V_b = 22,00 \frac{m}{s}$	
Współczynnik ekspozycji	$C_e(Z) = 1,29$	
Ciśnienie prędkości wiatru		
Wartość bazowa	$q_b = 0,3 kPa$	
Wartość szczytowa	$q_s = 0,4 kPa$	

Zrzut z programu I.T.I.

Przykład obliczeniowy

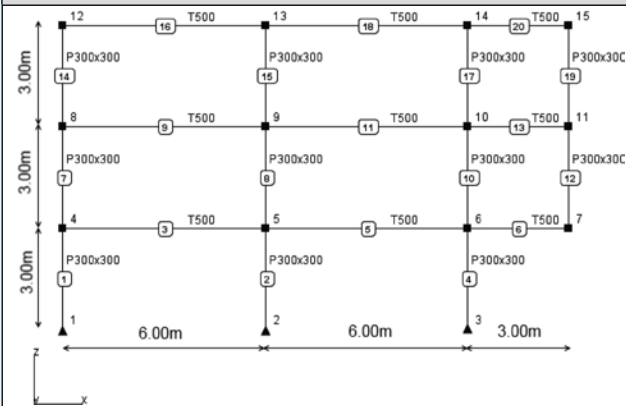
Założenia

Jako przykład ilustrujący powyższą teorię zostanie rozpatrzony hipotetyczny budynek 3 kondygnacyjny o przeznaczeniu biurowym, o konstrukcji słupowo-ryglowej z monolityczną płytą współpracującą z ryglami. Dach z dostępem, użytkowany tak jak pozostała część budynku. Wymiary budynku w planie 15×30 m. Całkowita wysokość budynku 9m przy wysokości kondygnacji 3m. Wszystkie stropy (gr. 15cm) i słupy (0.3×0.3 m) żelbetowe monolityczne. Ściany zewnętrzne (wypełniające) oparte na ryglach monolitycznych (0.3×0.5 m), murowane z bloczków gazobetonowych klasy 500 (gr. 24 cm) Ściany działowe z bloczków gazobetonowych (gr. 12cm). Założono posadowienie na nieskończenie sztywnej płycie fundamentowej (dla uproszczenia rozważań). Lokalizacja Łódź. Modelowanie i obliczenia będą wspomagane programem komputerowym R3D3-Rama 3D. Przekrój poziomy obiektu ilustruje Rysunek 13.

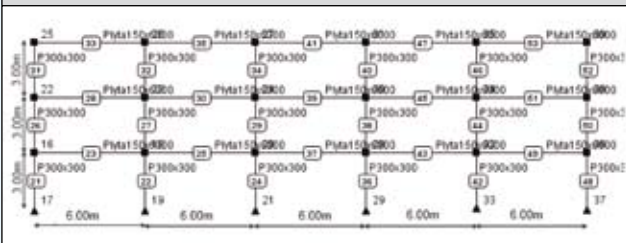


Analiza zostanie przeprowadzona dla obu kierunków głównych za pomocą metody ram zastępczych (Eurokod 2.). W obliczeniach zostanie rozważona tylko najbardziej wyężona rama, zarówno w kierunku poprzecznym (Rama A) jak i podłużnym (Rama B). Na rysunkach 14 i 15 została przedstawiona geometria ram.

Rysunek 14. Przekrój poprzeczny (Rama A)



Rysunek 15. Przekrój podłużny (Rama B)



Zestawienie wartości obciążeń

1. Obciążenia stałe.

- Ciężar własny elementów konstrukcyjnych uwzględniony automatycznie w programie.
- Ściany zewnętrzne.
 $5.0 \text{ kN/m}^3 \times 0.24 \text{ m} \times 3 \text{ m} = 3.6 \text{ kN/m}$
- Wykończenie stropów i podwieszone instalacje (w uproszczeniu także dla stropodachu) 1.3 kN/m^2

2. Obciążenia użytkowe.

- Kategoria użytkowania B
 3.0 kN/m^2
- Obciążenie zastępcze od ścian działowych ciężar własny mb ściany:
 $5.0 \text{ kN/m}^3 \times 0.12 \text{ m} \times 3 \text{ m} = 1.8 \text{ kN/m}$
 $\leq 2.0 \text{ kN/m}$, czyli 0.80 kN/m^2

3. Obciążenie wiatrem

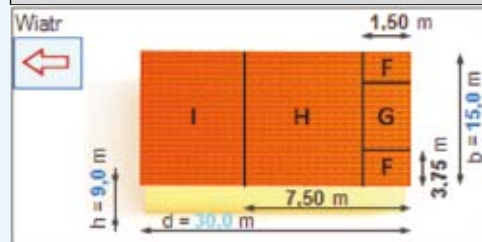
ze względu na pomijalnie małą różnicę obciążeń w przypadkach oddziaływania wiatru „maksimum” i „minimum”, w obliczeniach rozpatrzono jedynie przypadek „minimum”, czyli ekstremalnego ssania. Współczynnik konstrukcyjny $c_s c_a$ przyjęto równy 1, ze względu na wysokość budynku nieprzekraczającą 15 m.

- Strop
Pole F: -1.38 kN/m^2
Pole G: -0.92 kN/m^2

Pole H: -0.54 kN/m^2

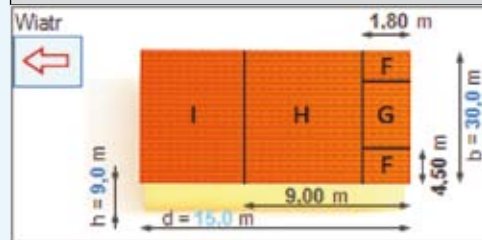
Pole I: -0.15 kN/m^2

Rysunek 16. Rozmieszczenie stref na dachu (kierunek 1)



Zrzut z programu I.T.I.

Rysunek 17. Rozmieszczenie stref na dachu (kierunek 2)



Zrzut z programu I.T.I.

• Ściana

Pole A: -0.79 kN/m^2

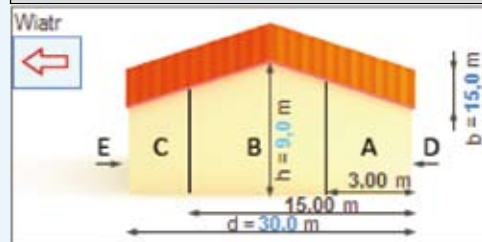
Pole B: -0.53 kN/m^2

Pole C: -0.33 kN/m^2

Pole D: 0.49 kN/m^2

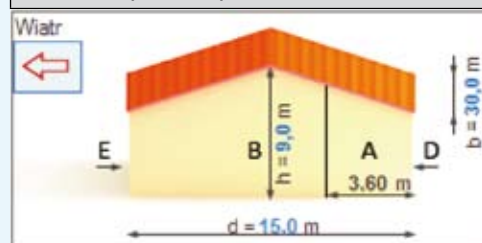
Pole E: -0.26 kN/m^2

Rysunek 18. Rozmieszczenie stref na ścianach (kierunek 1)

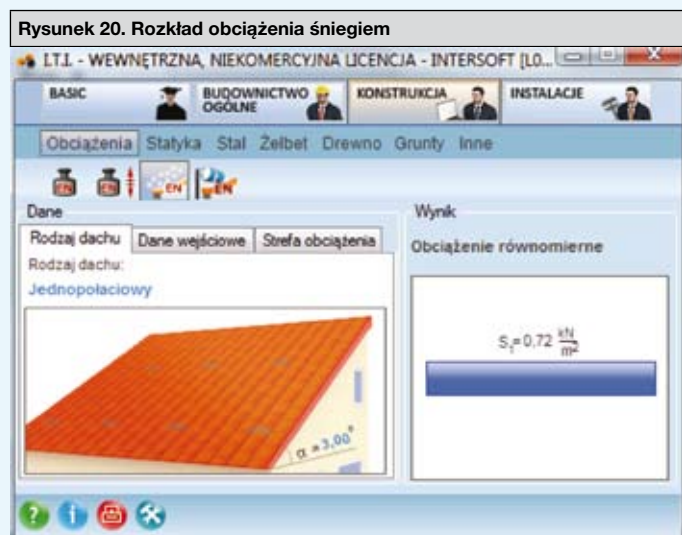


Zrzut z programu I.T.I.

Rysunek 19. Rozmieszczenie stref na ścianach (kierunek 2)



Zrzut z programu I.T.I.



4. Obciążenie śniegiem.

- Stropodach: 0.72 kN/m^2

Szczegółowe zestawienie przedstawia tablica 7.

Obciążenie modelu

Rama A.

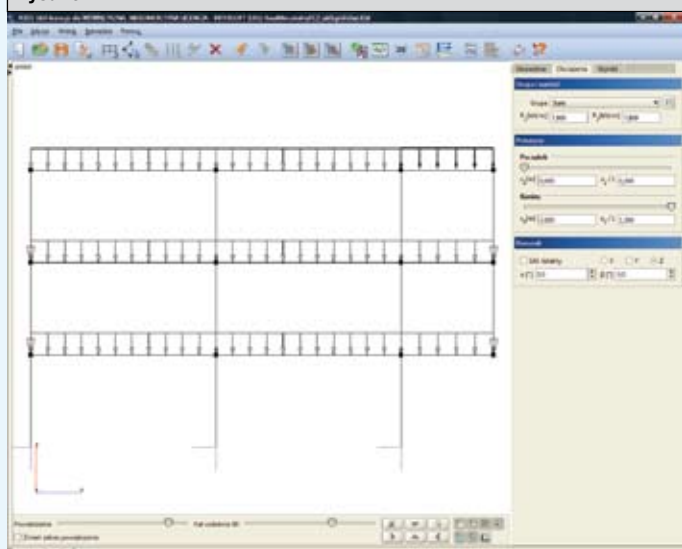
Ciężar własny jest uwzględniony automatycznie. Obciążeniem stałym równomiernym poz. 1.1 zostały obciążone rygle wszystkich kondygnacji jednocześnie. Dodatkowo do słupów zostały przyłożone siły skupione poz. 4.1. (Rysunek 21).

Obciążenie użytkowe z poz. 1.3. należy, aby uzyskać ekstremalne wartości sił wewnętrznych, rozmieszczać w dwóch niezależnych grupach, w układzie szachownicowym (Rysunki 22, 23).

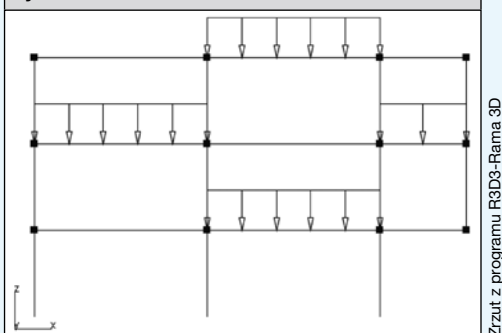
Tablica 7. Zestawienie obciążeń – kompletne

nr	Typ	Nazwa	Wartość	Jednostka	Mnożnik [m], [m ²], [m ³]	Obc. charak- ter. [kN/m], [kN]	współ. obc. γ_f	współ. red. Ψ_0
1. Rygiel wewnętrzny (stropodach)								
1.1	Stałe	Wykończenie stropów i podwieszane instalacje	1.3	[kN/m ²]	6	7.8	1.35	–
1.2	Zmienne	Obciążenie śniegiem	0.72	[kN/m ²]	6	4.32	1.5	0.5
1.3	Zmienne	Obciążenie użytkowe	3	[kN/m ²]	6	18	1.5	0.7
1.4	Zmienne	Obciążenie wiatrem (pole F)	–1.19	[kN/m ²]	6	–7.14	1.5	0.6
1.5	Zmienne	Obciążenie wiatrem (pole G)	–0.79	[kN/m ²]	6	–4.74	1.5	0.6
1.6	Zmienne	Obciążenie wiatrem (pole H)	–0.46	[kN/m ²]	6	–2.76	1.5	0.6
1.7	Zmienne	Obciążenie wiatrem (pole I)	–0.13	[kN/m ²]	6	–0.78	1.5	0.6
2. Rygiel wewnętrzny (strop)								
2.1	Stałe	Wykończenie i podwieszane instalacje	1.3	[kN/m ²]	6	7.8	1.35	–
2.2a	Zmienne	Obciążenie użytkowe	3	[kN/m ²]	6	18	1.5	0.7
2.2b	Zmienne	Zastępcze od lekkich ścian działowych	0.8	[kN/m ²]	6	4.8	1.5	0.7
2.2	Zmienne	Suma użytkowych	–	–	–	22.8	1.5	0.7
3. Rygiel ścienny (w poziomie stropu)								
3.1	Stałe	Ściana z bloczków (0.24x3)	5	[kN/m ³]	0.72	3.6	1.35	–
4. Słup zewnętrzny (bez obciążeń od stropów)								
Pionowe								
4.1a	Stałe	Ściana z bloczków (0.24x3)	5	[kN/m ³]	4.32	21.6	1.35	–
4.1b	Stałe	Ciężar rygla (0.3x0.5)	25	[kN/m ³]	0.9	22.5	1.35	–
4.1	Stałe	Suma stałych	–	–	–	44.1	1.35	
Poziome								
4.2	Zmienne	Obciążenie wiatrem (pole A)	–0.79	[kN/m ²]	3	–2.76	1.5	0.6
4.3	Zmienne	Obciążenie wiatrem (pole B)	–0.53	[kN/m ²]	6	–3.68	1.5	0.6
4.4	Zmienne	Obciążenie wiatrem (pole C)	–0.33	[kN/m ²]	6	–2.3	1.5	0.6
4.5	Zmienne	Obciążenie wiatrem (pole D)	0.49	[kN/m ²]	6	3.37	1.5	0.6
4.6	Zmienne	Obciążenie wiatrem (pole E)	–0.26	[kN/m ²]	6	–1.69	1.5	0.6

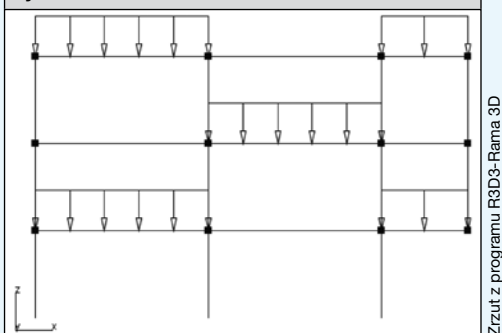
Rysunek 21.



Rysunek 22.



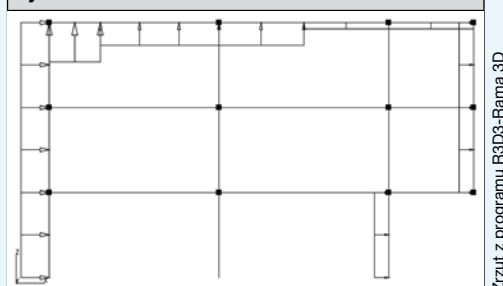
Rysunek 23.



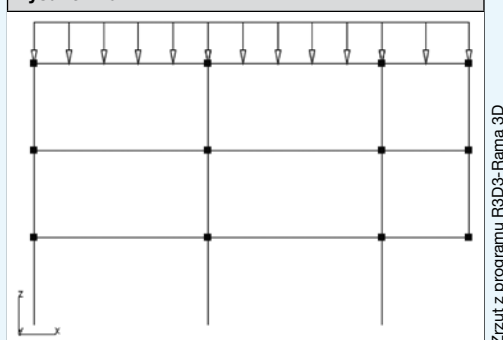
Obciążenie wiatrem ze względu na różne oddziaływania na elementy, a także możliwą zmienność na ich długości przybiera rozkład przedstawiony na rysunku 24. Lewy słup znajduje się w strefie D (poz. 4.5), prawy w strefie E (poz. 4.6). Na połąci dachowej odpowiednio od lewej strony występują strefy: G (poz. 1.5) o długości 1.8m, H (poz. 1.6) o długości 7.2m, I (poz. 1.7) obejmująca pozostałą część dachu (Rysunek 24).

W przypadku dachu płaskiego dla obciążenia śniegiem, należy uwzględnić tylko rozkład równomierny, co przedstawiono na rysunku 25.

Rysunek 24.



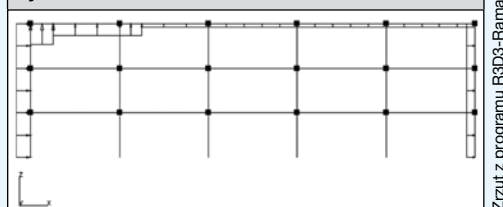
Rysunek 25.



Rama B.

Rama B została obciążona analogicznie. Schematem, na który warto zwrócić uwagę, jest przypadek obciążenia wiatrem (Rysunek 26), gdzie zmieniły się długości stref oddziaływania o jednakowej wielkości. Zmiana ta jest spowodowana innymi proporcjami ścian przy wietrze w kierunku 1 (porównaj rozmieszczenie stref na rysunku 24).

Rysunek 26.



Uwaga! Dla oddziaływania wiatru należy rozparzeć analogiczne układy dla pozostałych kierunków, ale ze względu na objętość opracowania, zostanie to pominięte.

Kombinacje

Tablica relacji obciążeń podana na rysunku 27 przedstawia jedynie podstawowe zależności między jednoczesnym występowaniem poszczególnych obciążeń. Jedynym posunięciem jakie zostało wykonane, jest zgrupowanie wiatru na dach i na ściany jako obciążeń występujących razem. Trzeba zaznaczyć, że w rozpatrywanym obiekcie, wiatr działa na stropodach tylko odciążająco. Stąd nie jest tak istotne wydzielenie grupy obciążeń użytkowych działających tylko na stropodach. W przypadku parcia wiatru Eurokod dopuszcza obciążanie stropodachu (zwłaszcza w kategorii H) zestawem kombinacji obciążeń zmiennych: Śnieg + Wiatr (dociążający); Użytkowe + Wiatr (dociążający); Śnieg + Użytkowe; Wiatr (odciążający). Jak widać nie ma kombinacji, gdzie na dach działa jednocześnie obciążenia użytkowe, śnieg oraz wiatr. Jest to jednak decyzja projektanta.

Rysunek 27.

Tablica zależności grup zmiennych

	Wiatr(ściany)	Śnieg	Użytkowe1	Użytkowe2	Wiatr(dach)
Wiatr(ściany)					+
Śnieg					
Użytkowe1					
Użytkowe2					
Wiatr(dach)	+				

Zrzut z programu R3D3-Rama 3D

Do programu zostały wprowadzone także, co dotychczas jest podejściem preferowanym, współczynniki częściowe γ_f zgodnie z tablicą 7 (Rysunek 28).

Jeżeli program do obliczeń statycznych posiada również możliwość wprowadzenia wartości współczynników ψ_i oraz oznaczenia obciążenia wiodącego, zmniejsza to nakład pracy przy kombinacjach. Jeżeli jednak takiej opcji nie ma, a jednocześnie należy uwzględnić złożone kombinacje układów obciążeń, można zastosować dwa podejścia. Ze względu na obliczenia wg teorii pierwszego rzędu (obowiązuje zasada zeszytnienia) oba dają tożsame wyniki. Stąd aby uzyskać obliczeniowe wartości łącznych efektów oddziaływań (sił wewnętrznych) należy:

Rysunek 28.

Nazwa	Typ	Charakter	min	max
Stałe	Stałe	stały	1	1,35
Ciepota własna	Stałe	stały	1	1,35
Wiatr(ściany)	Zmienne	krótkotrwały		1,5
Śnieg	Zmienne	średniotrwały		1,5
Użytkowe1	Zmienne	długotrwały		1,5
Użytkowe2	Zmienne	długotrwały		1,5
Wiatr(dach)	Zmienne	krótkotrwały		1,5

Zrzut z programu R3D3-Rama 3D

Podejście 1. Rozwiązać układ obciążony obliczeniowymi oddziaływaniami z określoną kombinatoryką.

Podejście 2. Rozwiązać układ obciążony poszczególnymi charakterystycznymi oddziaływaniami. Sumować powyższe siły wewnętrzne (od poszczególnych oddziaływań) mnożąc przez odpowiednie współczynniki (γ_f i ψ_i) i tworząc w ten sposób kombinatorykę.

W ogólnym przypadku wybór obciążenia wiodącego może nie być oczywisty i należy wtedy rozpatrzyć kombinacje oparte na kolejnych obciążeniach zmiennych ustalanych jako wiodące, a pozostałych jako towarzyszące. W rozpatrywanym przykładzie kombinacje będą ustalone właśnie tą metodą.

Dodatkowo należy zauważyć, że stosując zestaw kombinacji wynikający ze wzorów 6.11a i 6.11b w Eurokodzie 1990 (patrz także, wzór 4 w poprzednim artykule) można osiągnąć spadek sił wewnętrznych, rzędu kilkunastu procent, w stosunku do kombinacji wynikających z zależności 6.10 (tamże).

W rozpatrywanym przypadku, ze względu na to, że jest to podejście oszczędniejsze (jeśli chodzi o zużycie materiałów) i dodatkowo jest ono zalecane przez załącznik krajowy, kombinacje zostaną ustalone w oparciu o zestaw wzorów 6.11a i 6.11b (opisane wyżej).

Podejście 1.

Ustalono wypadkowe współczynniki dla poszczególnych grup obciążeń poprzez wymnożenie współczynników częściowych γ_f i redukcyjnych ψ_0 . Schematyczne zestawienie kombinacji przedstawia poniższa tablica 8.

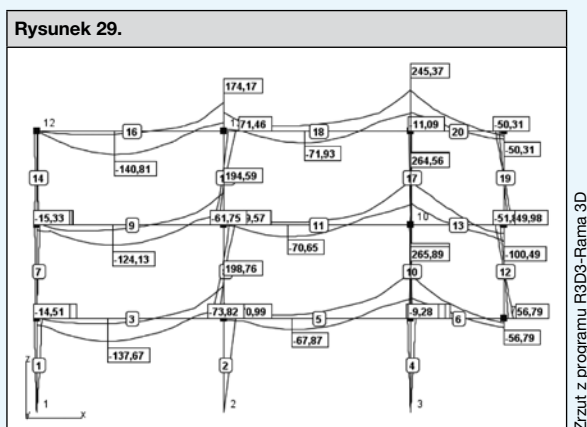
Obciążono układ wartościami charakterystycznymi. Utworzono komplet wszystkich możliwych kombinacji układów obciążeń podając odpowiednie współczynniki częściowe wynikające z tablicy 8. Ze względu na ich ilość (znacznie

Tablica 8. Współczynniki częściowe do oddziaływań

Kombinacja (obc. wiodące)	Stałe + ciężar własny	Wiatr	Śnieg	Użytkowe
Komb. 1 (wiatr)	1.35	$1.5 \times 0.6 = \mathbf{0.9}$	$1.5 \times 0.5 = \mathbf{0.75}$	$1.5 \times 0.7 = \mathbf{1.05}$
Komb. 2 (wiatr)	$1.35 \times 0.85 = \mathbf{1.15}$	1.5	$1.5 \times 0.5 = \mathbf{0.75}$	$1.5 \times 0.7 = \mathbf{1.05}$
Komb. 3 (śnieg)	1.35	$1.5 \times 0.6 = \mathbf{0.9}$	$1.5 \times 0.5 = \mathbf{0.75}$	$1.5^* \times 0.7 = \mathbf{1.05}$
Komb. 4 (śnieg)	$1.35 \times 0.85 = \mathbf{1.15}$	$1.5 \times 0.6 = \mathbf{0.9}$	1.5	$1.5 \times 0.7 = \mathbf{1.05}$
Komb. 5 (użytkowe)	1.35	$1.5 \times 0.6 = \mathbf{0.9}$	$1.5 \times 0.5 = \mathbf{0.75}$	$1.5 \times 0.7 = \mathbf{1.05}$
Komb. 6 (użytkowe)	$1.35 \times 0.85 = \mathbf{1.15}$	$1.5 \times 0.6 = \mathbf{0.9}$	$1.5 \times 0.5 = \mathbf{0.75}$	1.5
Komb. 7 SLS charakt. (wiatr)	1	1	$1.0 \times 0.5 = \mathbf{0.5}$	$1.0 \times 0.7 = \mathbf{0.7}$
Komb. 8 SLS charakt. (śnieg)	1	$1.0 \times 0.6 = \mathbf{0.6}$	1	$1.0 \times 0.7 = \mathbf{0.7}$
Komb. 9 SLS charakt. (użytkowe)	1	$1.0 \times 0.6 = \mathbf{0.6}$	$1.0 \times 0.5 = \mathbf{0.5}$	1

większą niż 9 podanych w tablicy 8) nie będą tu przedstawione. Należy tu nadmienić, że tablica 8 podaje jedynie podstawowe zależności nie uwzględniając np. całkowitego braku danego obciążenia zmiennego. Rezultaty w odniesieniu do wykresu momentów gnących przedstawiono na rysunku 29.

Rysunek 29.

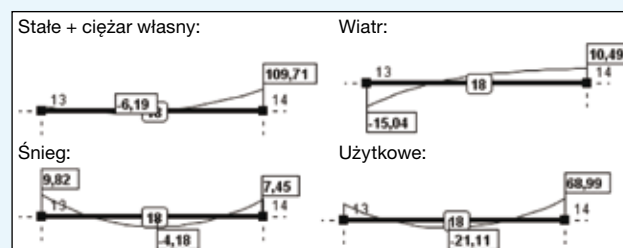


Zrzut z programu R3D3-Rama 3D

Podejście 2.

Obliczenia przeprowadza się nie konstruując obwiedni, tylko rozpatrując poszczególne typy obciążenia o wartościach charakterystycznych niezależnie. Odpowiednie kombinacje przelicza się dopiero z wartości sił wewnętrznych. Jako przykład zostanie rozpatrzony pręt nr 18 w Ramie A – jest to środkowy rygiel stropodachu. Dodatkowo analiza będzie uwzględniać jedynie momenty gnące.

Wykresy od poszczególnych grup przedstawiono poniżej:



Następnym krokiem jest określenie ekstremalnych obliczeniowych wartości sił wewnętrznych w odniesieniu do kombinacji. Dla przekroju przywęzłowego (węzeł 14) poszczególne dane przedstawia poniższa tablica 9, której wartości są wynikiem mnożenia charakterystycznych wielkości (podanych w wierszu „Moment”) przez współczynniki podane w tablicy 8.

Tablica 9. Zestawienie momentów gnących dla ryglu nr 18 w przekroju przywęzłowym (węzeł 14)

Kombinacja (obc. wiodące)	Stałe + ciężar własny	Wiatr	Śnieg	Użytkowe	Suma:
Moment [kNm]	109.71	10.49	7.78	68.99	196.97
Komb. 1 (wiatr)	148.11	9.44	5.84	72.44	235.82
Komb. 2 (wiatr)	126.17	15.74	5.84	72.44	220.18
Komb. 3 (śnieg)	148.11	9.44	5.84	72.44	235.82
Komb. 4 (śnieg)	126.17	9.44	11.67	72.44	219.72
Komb. 5 (użytkowe)	148.11	9.44	5.84	72.44	235.82

Tablica 9. c.d.

Komb. 6 (użytkowe)	126.17	9.44	5.84	103.49	244.93
Komb. 7 SLS charakt. (wiatr)	109.71	10.49	3.89	48.29	172.38
Komb. 8 SLS charakt. (śnieg)	109.71	6.29	7.78	48.29	172.08
Komb. 9 SLS charakt. (użytkowe)	109.71	6.29	3.89	68.99	188.88

Kolumna „Suma” w tablicy 9 pozwala na określenie ekstremalnej kombinacji zarówno dla stanu ULS (Kombinacja 6.) jak i SLS (Kombinacja 9.). Suma ta powinna zawierać obciążenia stałe oraz tylko niekorzystne wartości obciążeń zmiennych.

Rezultaty obu podejść zostały omówione poniżej.

Jak widać interesująca wartość momentu w obu przypadkach jest równa 245kNm (+/-0.5kNm). Oba podejścia wymagają określonego nakładu pracy i wybór jednego z nich pozostawia się inżynierowi. Należy jeszcze zwrócić uwagę, że przy podejściu 2 łatwo stosować redukcję, za pomocą wzorów (1) i (2). Nie jest to oczywiste przy wykorzystaniu podejścia 1. Redukcja ta nie będzie jednak uwzględniona w tym opracowaniu.

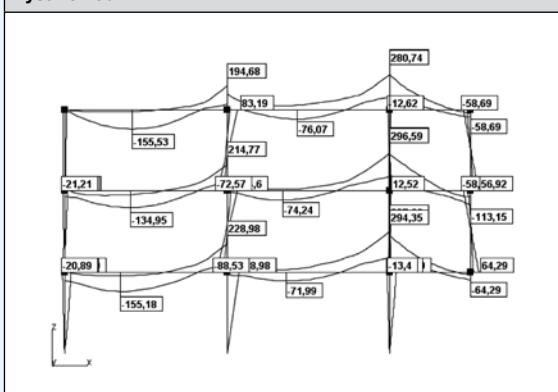
Jako podsumowanie tej części, na rysunku 30 została przedstawiona obwiednia momentów, w przypadku, gdzie uwzględniono jedynie współczynniki γ_f , bez żadnych redukcji.

Jak widać wartości, w tym przypadku momentów gnących, są średnio od 15% do 35% zawyżone, co przekłada się na znacznie zwiększone zużycie materiałów potrzebnych do wykonania obiektu.

Podsumowanie

Jak widać z lektury artykułu stosowanie nowych zaleceń, jakie stawia nam Eurokod, dotyczących określania efektów oddziaływań, nie zawsze jest łatwe szybkie i oczywiste. Główna przyczyna takiego stanu rzeczy, jest próba coraz lepsze-

Rysunek 30.



Zrzut z programu R3D3-Rama 3D

go odwzorowania rzeczywistości, podczas procesu projektowego. Można także zauważyć, że konsekwentne stosowanie nowych norm, nie musi oznaczać bardziej kosztownych materiałowo konstrukcji. Jednocześnie należy podkreślić, że przy braku odpowiedniego oprogramowania, gdy inżynier jest zdany wyłącznie na podstawowe, ogólne narzędzia, pracochłonność takiego projektu, będzie niewspółmiernie większa niż dotychczas

MARCIN KRASIŃSKI

W następnym wydaniu zostanie przedstawiony Eurokod 2 czyli norma dotycząca projektowania konstrukcji z betonu.

Na błękitnych stronach omówimy:

- Modele materiałowe betonu i stali zbrojeniowej,
 - Trwałość konstrukcji,
 - Metody analizy konstrukcji,
 - Stan graniczny nośności – ULS,
 - Stan graniczny użyteczności – SLS,
- a teorię zilustrujemy przykładem obliczeniowym, w którym krok po kroku zostanie zwymiarowana przestrzenna rama żelbetowa.

Szkolenia

Zapraszamy na specjalistyczne szkolenia z zakresu projektowania konstrukcji żelbetowych i stalowych:

- Projektowanie prętowych konstrukcji żelbetowych wg PN-EN 1992-1-1:2008 (Eurokod 2)
- Wymiarowanie konstrukcji stalowych wg Eurokodu PN-EN 1993-1-1 (Eurokod 3) i implementacja normy w module Eurostal programu R3D3 Rama 3D

Terminy i pozostałe szczegóły znajdziecie Państwo w serwisie www.intersoft.pl w zakładce Szkolenia.