

Konstruowanie węzła pasmowego konstrukcji w płaszczyźnie tarczy stropu na przykładzie rozwiązania ustroju balkonu wspornikowego – zespolona konstrukcja żelbetowa

Mgr inż. Piotr Bieranowski, Uniwersytet Warmińsko-Mazurski w Olsztynie, Wydział Nauk Technicznych

1. Wprowadzenie

Balkony [1] są ustrojem konstrukcji, który często przysparza znacznych kłopotów podczas eksploatacji. Wynika to z faktu, że w jednym elemencie musimy pogodzić wymagania konstrukcyjne z wymaganiami fizyki budowli. Balkony można umieszczać [2] minimum 2,40 m nad poziomą płaszczyzną chodnika. Należy mieć również na względzie pozostawienie nieoświetlonego pasa ruchu od strony jezdni o szerokości co najmniej 1,0 m. Tego typu elementy konstruuje się przeważnie jako żelbetowe wylewane na mokro lub prefabrykowane.

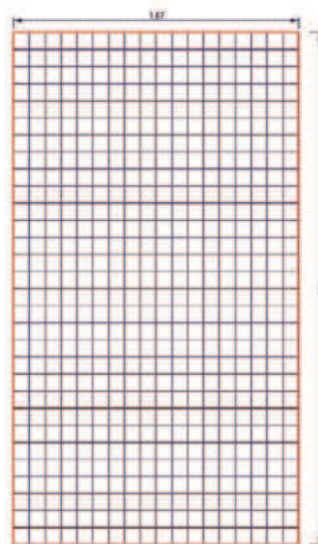
Projektując konstrukcję wysięgu wspornika jako przedłużenie tarczy stropu (bez zastosowania termicznych łączników balkonowych), można łatwo dostrzec zaistniałe zjawisko mostka termicznego (pomostu energetycznego – określenie autora). Z punktu widzenia ciepłochronności, podyktowanej globalną, logiczną oszczędnością energii termicznej, należy tego typu zjawiska niwelować (nie wszystkie mostki termiczne możemy całkowicie wykluczyć – np. przegrody przeziernie – okna). Możemy je jedynie ograniczać oraz w miarę możliwości całkowicie likwidować.

Fizykalna struktura konstrukcji (określenie autora), posiadająca walory konstrukcyjno-wytrzymałościowe jak i stricte fizyczne – jest nadrzędną potrzebą obecnej doby konstrukcji budowli. W grę wchodzi również aspekt ekonomiczny (np. szybkości montażu konstrukcji wraz z konstruktywnym ograniczeniem prac wspomagających). Optymalizacja konstrukcji w kontekście konstrukcji i fizyki budowli powinna być połączona w jedną specjalność, tworzącą szkołę fizykalnej struktury konstrukcji. W ten sposób można uniknąć wielu nieporozumień technicznych. Konstrukcja budowli zawsze będzie występować – jako część składowa – w różnorodnych układach

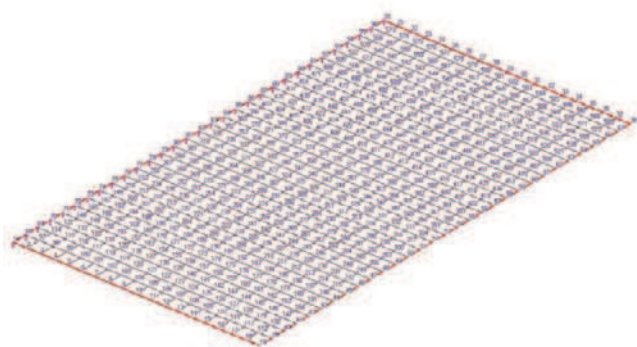
termodynamicznych, w których to rządzi fizyka. Zasady modelowania i wymiarowania opisywanego ustroju budowlanego, jakim jest balkon, czytelnik może znaleźć w [1] [2] [3] [4] [5] [6] [7] – pod względem konstrukcji, jak i fizyki budowli.

2. Analiza statyczna płyty wspornikowej konstrukcji balkonu przy zastosowaniu MES

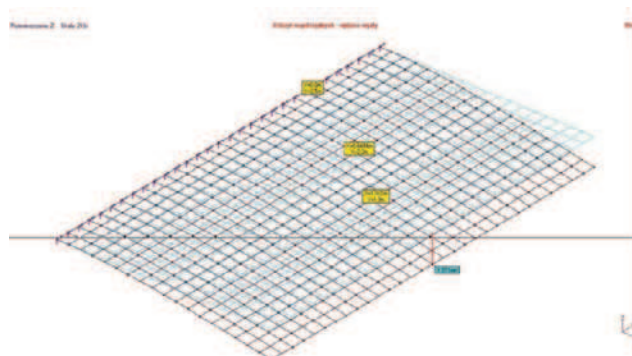
Analizy statycznej żelbetowej konstrukcji płyty wspornikowej dokonano za pomocą programu komputerowego [5], w którym obliczenia prowadzane są przy użyciu algorytmów opisujących Metodę Elementów Skończonych (rys. 1–12). Model obliczeniowy płyty ma wymiary: szerokość 1,67 m oraz długość 3,0 m (rys. 1). Przestrzenna siatka MES została pokazana na rysunku 2, a model wraz z podporami (utwierdzeniem) i obciążeniem statycznym



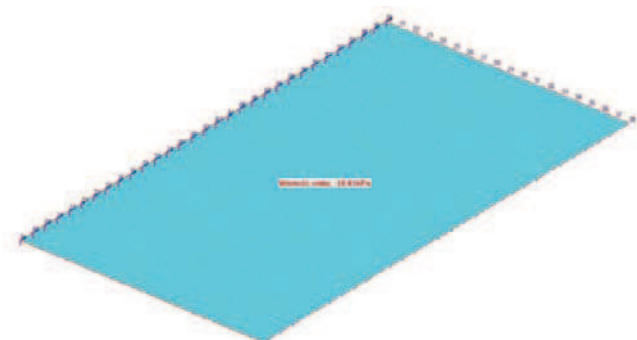
Rys. 1.
Geometria płyty balkonu wraz z podziałem na siatkę przestrzenną, przygotowana do analizy obliczeniowej – Metoda Elementów Skończonych (MES) (rys. archiwum autora)



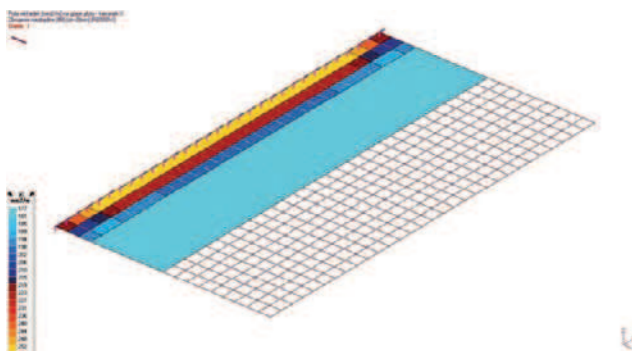
Rys. 2. Węzły siatki przestrzennej modelu płyty – MES (rys. archiwum autora)



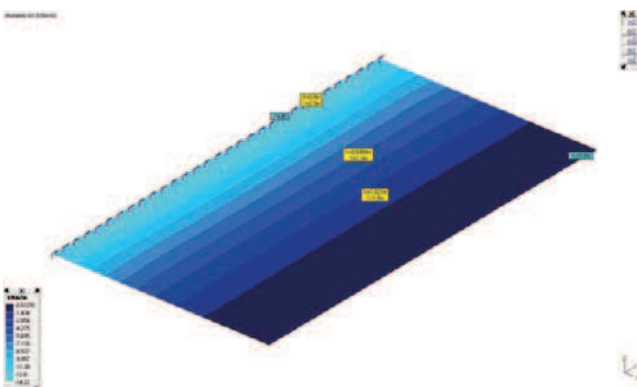
Rys. 6. Przemieszczenia konstrukcji wynikające z modelu ugięcia płyty wspornikowej (rys. archiwum autora)



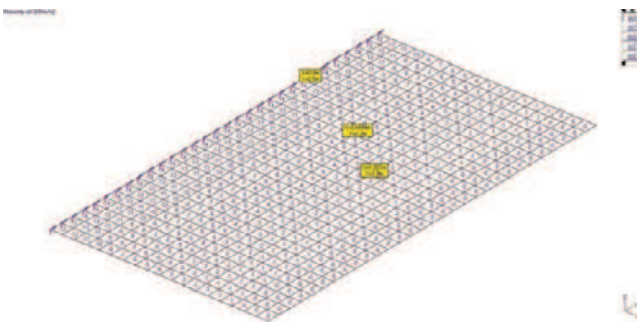
Rys. 3. Podpory modelu statycznego wraz ze zdefiniowanym obciążeniem ustroju (rys. archiwum autora)



Rys. 7. Potrzebne obliczeniowo pola przekrojów wkładek zbrojeniowych (rys. archiwum autora)

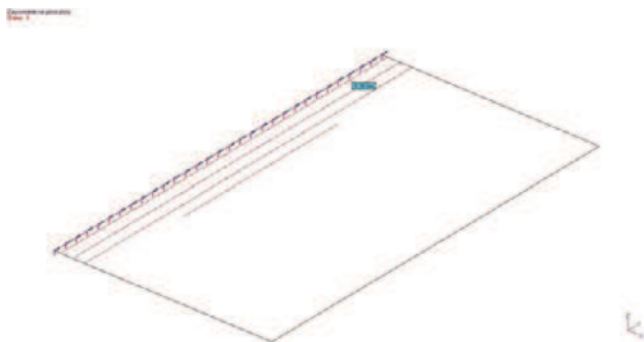


Rys. 4. Mapa ilustrująca moc momentu zginającego rozpatrywanej płyty wspornikowej balkonu (rys. archiwum autora)

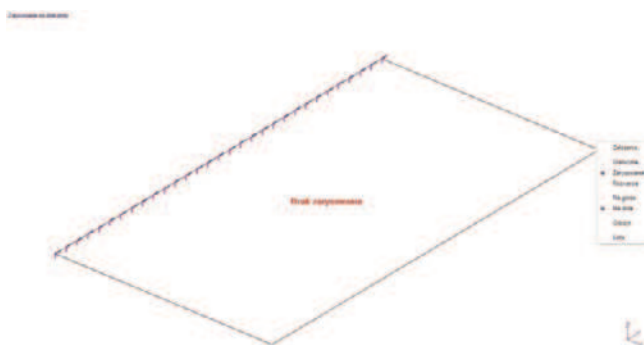


Rys. 5. Wartości momentów przypisane do komórek siatki przestrzennej Metody Elementów Skończonych (rys. archiwum autora)

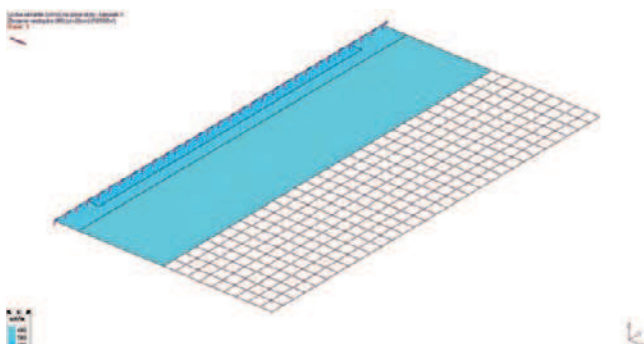
określa rysunek 3. Warto tu podkreślić, że normy polska i europejska różnią się co do wartości obciążenia użytkowego balkonów. Norma [9] w tabelicy 1 – Wartości charakterystyczne obciążeń technologicznych równomiernie obciążonych, część tabelicy D – konstrukcje o specjalnym sposobie użytkowania, informuje, iż wartość ta wynosi $5,0 \text{ kN/m}^2$, zaś Eurokod 1 [10] w tabelicy 6.2 – Obciążenia użytkowe stropów, stropów i schodów w budynkach, podaje wartość mniejszą o $1,0 \text{ kN/m}^2$, tj. $4,0 \text{ kN/m}^2$. Rzeczywiste wymiary wysięgu wynoszą odpowiednio, szerokość $1,65 \text{ m}$ i długość $3,0 \text{ m}$. Różnica $0,02 \text{ [m]}$ w obu podejściach geometrycznych wynika z tego, że długość zakotwienia elementu nośnego, jakim jest łącznik (podpora płyty), po stronie nadprożowienia przyjęto na wewnętrznej krawędzi oddziaływania otuliny strzemienia, mając na uwadze tzw. efektywne pole pracujące przekroju betonowego. Mapę momentów zginających oraz wartości siły przekrojowej w komórkach siatki przestrzennej MES pokazano na rysunkach 4 i 5. Materiał konstrukcyjny, jaki zastosowano w płycie, to beton C 20/25 oraz stal B500SP (wkładki nośne i rozdzielcze), której parametry mieszczą się w wymaganiach ciągliwości wytyczonych przez Eurokod 2 [8]. Zbrojenie płyty stałą żebrowaną o przekrojach potrzebnych obliczeniowo jak i założonych przez autora przedstawiono na rysunkach 7, 10, 11, 23. Wartość zarysowania górą (model płyty wspornikowej) ograniczono do wynikającej z normy [8], tj. $0,3 \text{ mm}$ (rys. 8). Ściskane spody płyty nie wykazały zarysowania w betonie



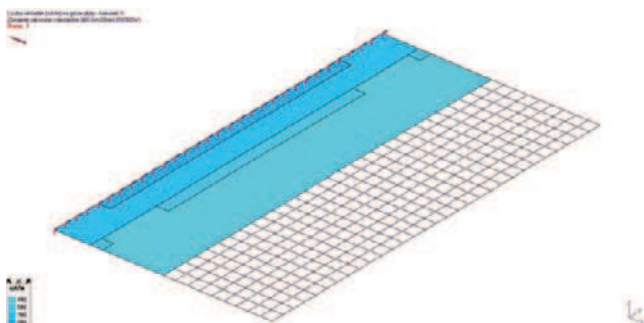
Rys. 8. Sprawdzenie granicznego rozwarcia rys w przekroju – zarysowanie górą (rys. archiwum autora)



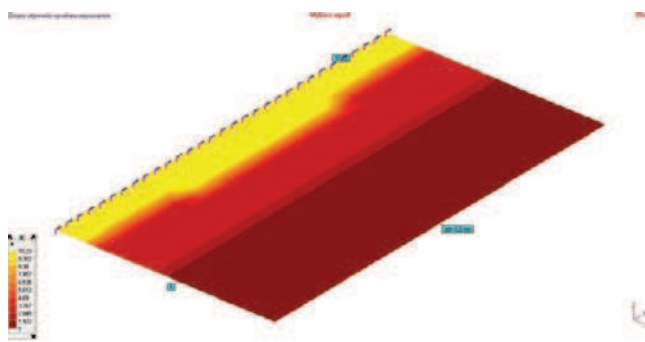
Rys. 9. Brak zarysowania dołem – praca naprężeń ścisających w dolnej strefie płaszczyzny płyty (rys. archiwum autora)



Rys. 10. Liczba wkładek niezbędnych (rys. archiwum autora)



Rys. 11. Liczba wkładek założonych (rys. archiwum autora)



Rys. 12. Zmiana sztywności wywołana zarysowaniem w strefie rozciąganej płyty (rys. archiwum autora)

(rys. 9). Przemieszczenia konstrukcji wynikające z ugięcia modelu płyty wspornika. Czytelnik znajdzie na rysunku nr 6. Zakłócenie sztywności modelu wynikające z zarysowania dopuszczalnego – górą, można zobaczyć na mapie rozkładu sztywności, przedstawionej na rysunku 12.

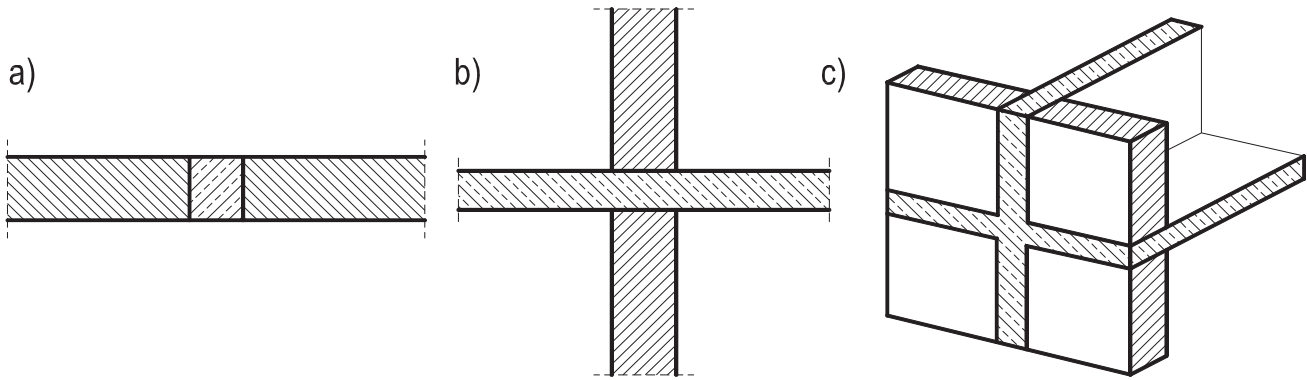
3. Rozwiązanie ustroju konstrukcyjnego balkonu wspornikowego w aspekcie ograniczenia strat energii przez przenikanie oraz czasu trwania procesu montażowo-technologicznego

3. 1. Modelowanie ustroju w kontekście fizyki budowli

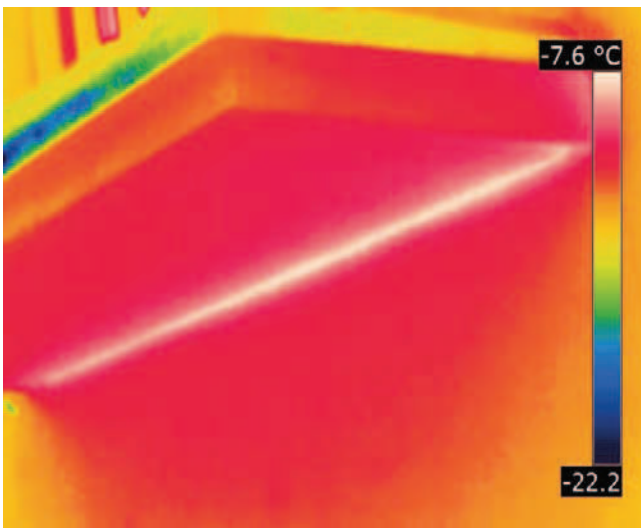
Według Dylla A. [6] [11] mostkiem termicznym nazywamy ustrój konstrukcji, w którym doszło do naruszenia struktury wewnętrznej przegrody w związku z występowaniem materiałów budowlanych różniących się – w znaczny sposób – wielkością współczynników przewodności cieplnej. Propozycja autorska [6] zapewnia jednolitą klasyfikację mostków. W rozważaniach tych uwzględniono zarówno charakterystykę geometryczną miejsca wstępowania mostka oraz bezpośredni sposób oddziaływania na przegrodę, czy też złącze przegrody budowlanej. W literaturze oraz publikacjach dotyczących problemu strat energii przez przenikanie w newralgicznych miejscach obudowy budynków można spotkać również nazwy, takie jak: mostek termiczny (cieplny) [13], pomost cieplny [14]. Autor niniejszej publikacji używa często sformułowania pomost energetyczny (słowotwórstwo powstałe w skojarzeniu z: globalną oszczędnością energii, charakterystyką i świadectwem energetycznym budynków).

Termogramy sporządzone w okresie zimy zaprezentowano na rysunkach 14–17. Obrazy termalne precyzują zjawisko pomostu energetycznego, jakie ma miejsce w konstrukcjach wspornikowych płyt balkonowych, w których – podczas wznoszenia budynku – nie zastosowano łączników (mocujących płytę balkonu z płytą stropową – przez przewieszenie) redukujących ten przypadek.

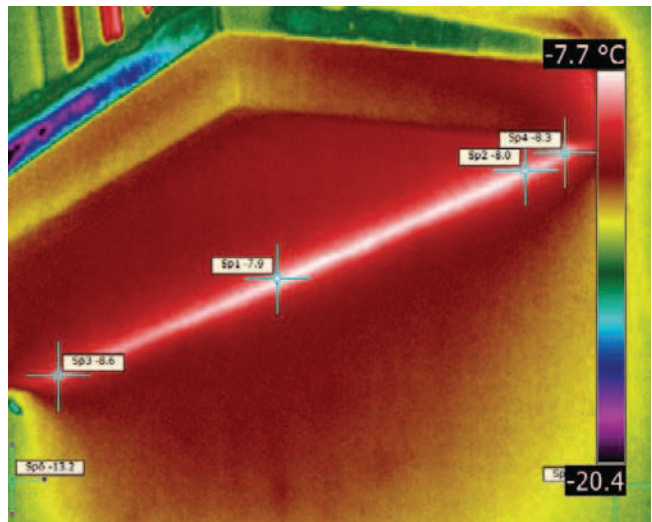
Rysunek 23 ilustruje proponowany przez autora sposób rozwiązywania tego kontrowersyjnego pasma



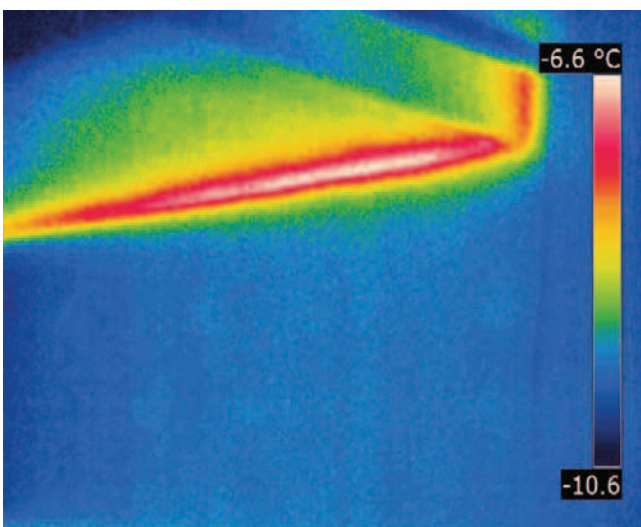
Rys. 13. Przykładowe mostki termiczne: a) 1D, b) 2D, c) 3D. Poruszany problem w artykule – b) (opracowanie wg [11])



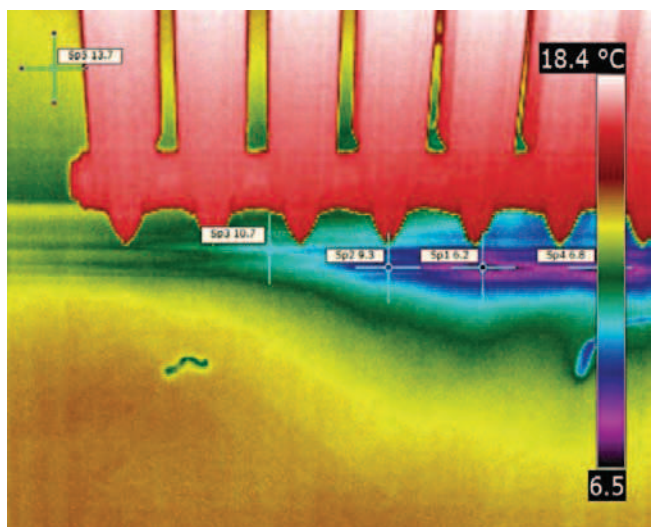
Rys. 14. Termogram ilustrujący liniowy mostek cieplny (liniowy pomost energetyczny), tzw. „żyłkę termiczną” w ustroju balkonu wspornikowego. Brak ciągłości izolacji termicznej, spowodowany brakiem podejścia konstrukcyjnego do rozwiązania problemu z zakresu fizyki zjawisk (foto archiwum autora)



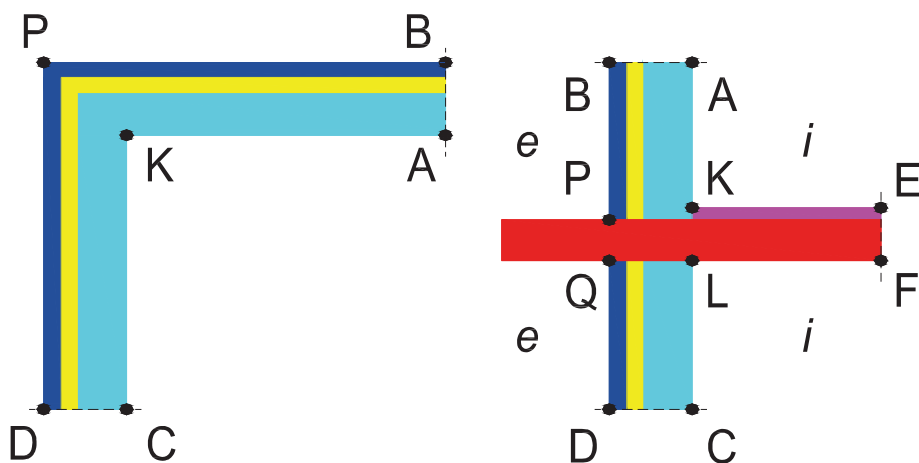
Rys. 16. Wartość temperatury w wybranych miejscach „żyłki termicznej”



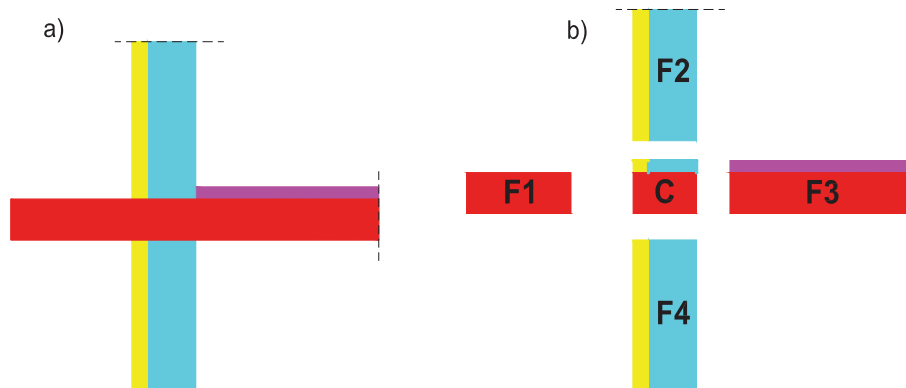
Rys. 15. Termogram obrazujący omawiany w publikacji problem naukowo-techniczny. Widoczna (prawa górna strona obrazka) strata energii cieplnej w pionie – krawędź wertykalna płyty wspornika (foto archiwum autora)



Rys. 17. Obraz termalny charakteryzujący problem od strony mieszkania. Widoczne miejsca wychłodzeń na krawędzi styku płaszczyzn horyzontalnej i wertykalnej. Brak łącznika termicznego (foto archiwum autora)



Rys. 18.
Strumień ciepła
w narożu (opracowanie
wg [12])



Rys. 19.
Podział fragmentu
budynku (opracowanie
wg [12])

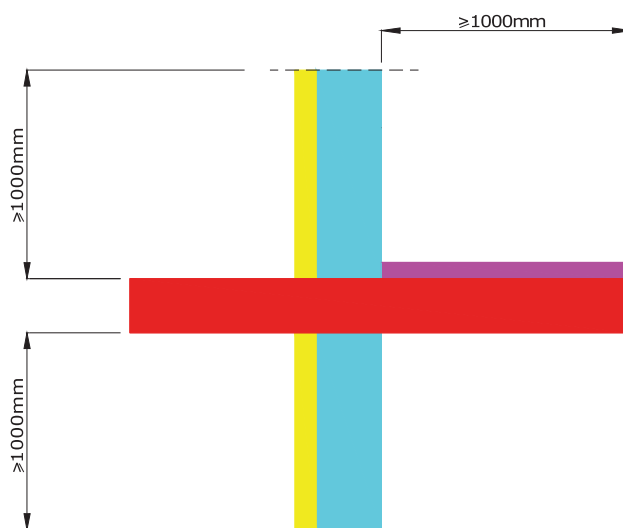
konstrukcyjnego. Wykonane zdjęcia za pomocą detekcji widma fal elektromagnetycznych z zakresie podczerwieni 14–17 unaocniają zjawisko krawędziowych wychłodzeń. Widoczne są pomostowe straty energetyczne zarówno w horyzontalnej, jak i wertykalnej (strefie styku) konstrukcji ustroju.

Podstawowym problemem przy opisywaniu zjawiska liniowego mostka cieplnego (liniowego pomostu energetycznego) jest określenie systemu wymiarowania budynku [12], który to został przyjęty w obliczeniach powierzchni jednowymiarowego strumienia ciepłego. Chodzi tu o człon równania (1) $\sum U_i \cdot A_i$. W celu uzyskania miarodajnej wartości współczynnika sprzężenia ciepłego, konieczne jest dodanie składników uwzględniających liniowe i punktowe mostki cieplne. Wynik omawianej analizy może otrzymać stosując równanie:

$$L = \sum U_i \cdot A_i + \sum \Psi_k \cdot l_k + \sum X_j \quad (1)$$

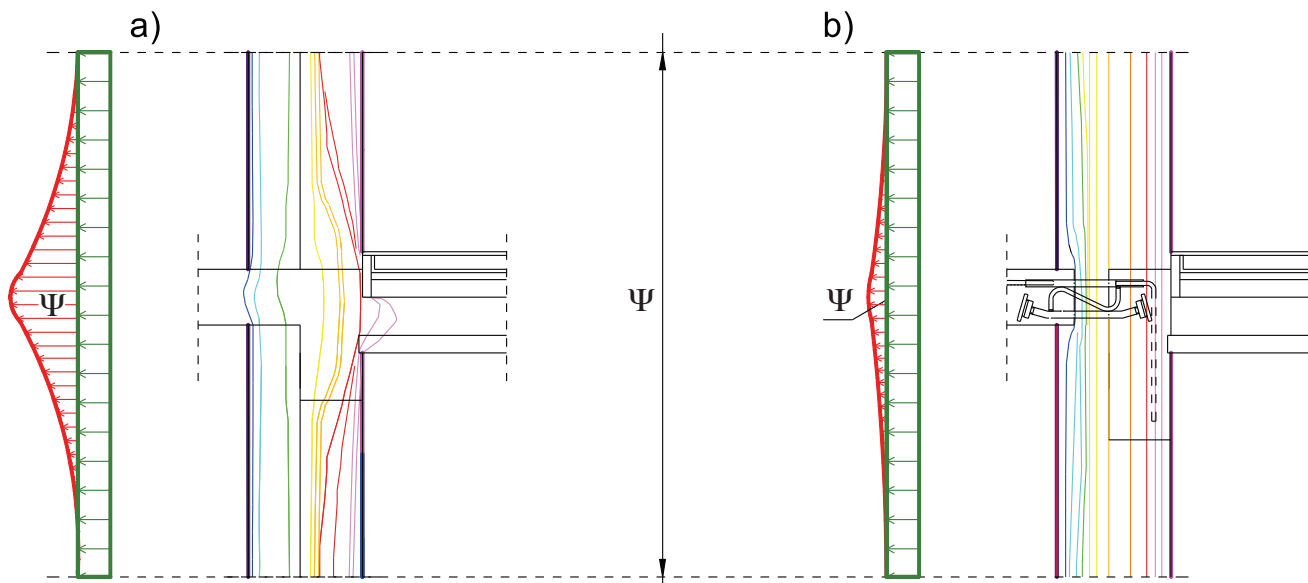
gdzie:

L – współczynnik sprzężenia ciepłego [W/K],
 U_i – współczynnik przenikania ciepła części obudowy budynku [W/(m²·K)],
 A_i – powierzchnia, do której stosuje się współczynnik [m²],
 Ψ_k – liniowy współczynnik przenikania ciepła liniowego mostka cieplnego (liniowego pomostu energetycznego) k [W/(m·K)],



Rys. 20. Płaszczyzny przekrojów, modelowanie – obliczeniowy zasięg oddziaływań (opracowanie wg [12])

l_k – długość, do której stosuje się wartość współczynnika Ψ_k [m],
 X_j – punktowy współczynnik przenikania ciepła punktowego mostka cieplnego (punktowego pomostu energetycznego) j [W/m].
 Zasięg liniowego pomostu energetycznego (liniowego mostka termicznego) [12] należy interpretować w sposób geometryczny, tzn. określić sposób jego wymiarowania



Rys. 21. Charakter graficzny zjawiska w aspekcie fizyki cieplnej – redukcja liniowego pomostu energetycznego, a) konstrukcja bez izolacji termicznej, b) konstrukcja z balkonowym łącznikiem energetycznym (rys. archiwum autora)

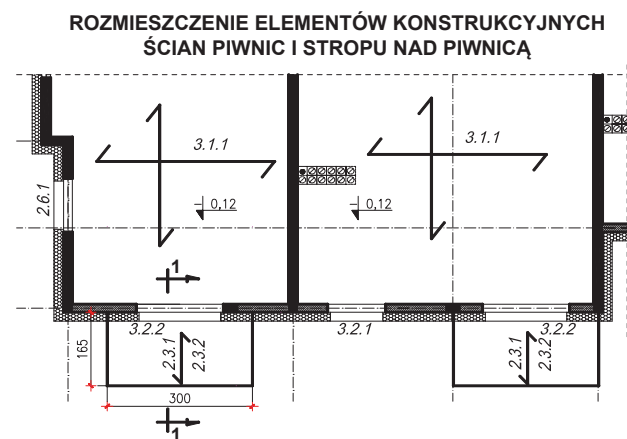
– zewnętrzny lub wewnętrzny. Na rysunku 18 przedstawiono przykład omawianego w tym punkcie wymiarowania. Dla naroża [12] wymiarami wewnętrznymi są charakterystyczne odcinki AK + KC, zewnętrznymi BP + PD. Dla balkonu (tarasu) – mając na uwadze wysokość konstrukcji – wymiarami wewnętrznymi są odległości krawędziowe AK + LC, zaś wymiarami zewnętrznymi BP + PQ + QD. Opisując balkon (taras) z punktu widzenia szerokości obiektu, wymiarami wewnętrznymi są odległości między punktami EK oraz zewnętrznymi EK + AB.

Model geometryczny 2D [12] składa się z elementu centralnego C (środek węzła) oraz części pobocznych – F1, F2, F3 i F4 (rys. 19). Prawidłowy sposób usytuowania płaszczyzny przekroju zilustrowano na rysunku 20. Zastosowanie proponowanego w artykule rozwiązania (rys. 21) pozwala na zmniejszenie strat energii ogrzewczej, które to w aspekcie globalnej energooszczędności – ma charakter priorytetowy. Proponowana konstrukcja zapewnia również likwidację rozwoju grzybów pleśniowych, ze względu na wykluczenie tzw. zjawiska punktu rosy, które ma często miejsce w nadmiernie wychłodzonych strefach konstrukcji budynku. W normie [16] przedstawiono sposób analizy i weryfikacji omawianego zagadnienia.

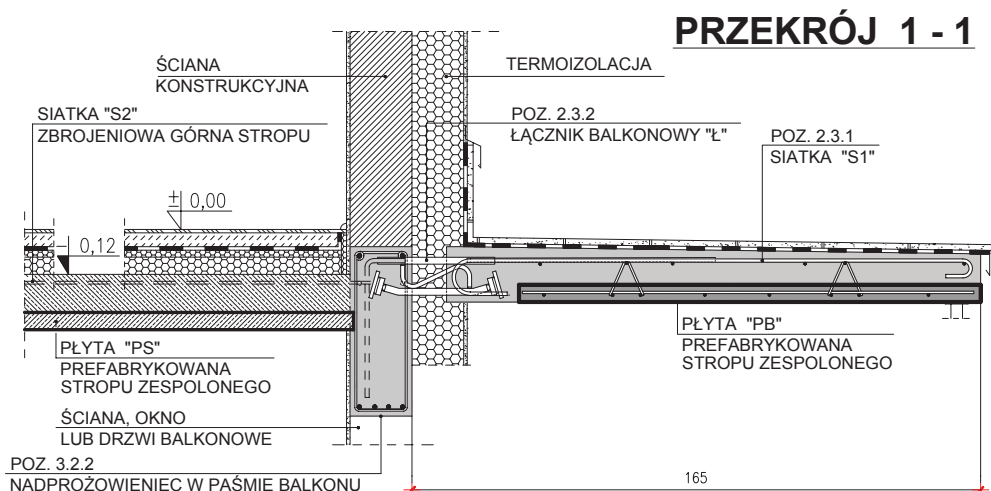
3.2. Projektowanie budowlanego ustroju konstrukcyjnego

Konstrukcję wspornikową płyty balkonowej połączono z konstrukcją tarczy stropu za pomocą łącznika energetycznego (zapewniającego ciągłość termoizolacji w płaszczyźnie obudowy budynku). Myśl techniczna tego typu została symbolicznie podana w książce profesora Lewickiego B. [15]. Strefa docisku ustroju płyty jest przejmowana i podlega redystrybucji naprężeń

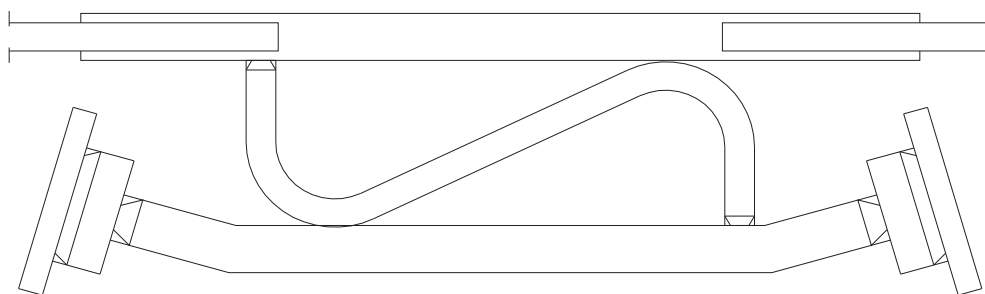
w przekroju. Jest to bardzo logiczne z punktu widzenia dystrybucji przemieszczeń. Konstrukcja nie przemieszcza się w sposób drugorzędny (np. na łożo oporowe łącznika, umieszczone w termoizolacji), lecz opiera się bezpośrednio w płycie na blachach czołowych – podporowych łącznika. W ten sposób odkształcenie statyczne przekazywane jest bezpośrednio na nadprożowieniec monolitycznie połączony z żelbetową tarczą stropu, co jednoznacznie tworzy układ akcja – reakcja i równowagi oddziaływania w układzie. Tego typu rozwiązanie zapewnia w pełni stateczność konstrukcji. Konstrukcja płyty balkonowej nie była poddana zabiegowi dylatacji, ze względu na to, że jej wymiary spełniły graniczne wartości dotyczące tego aspektu. Projektując konstrukcją budowlaną, należy już w fazie deski projektowej, zapewnić jej logiczne rozwiązanie z punktu widzenia: mechaniki budowli, wytrzymałości



Rys. 22. Rzut kondygnacji powtarzalnej budynku mieszkalnego wielorodzinnego (rys. archiwum autora)



Rys. 23. Przekrój przez konstrukcję płyty wspornikowej balkonu (rys. archiwum autora)



Rys. 24. Schemat łącznika balkonowego ilustrujący w dolnej części podpory dociskowe (lewy i prawy kraniec podpory dolnej) (rys. archiwum autora)

materiału konstrukcyjnego, fizyki zjawisk w aspekcie ciepłno-wilgotnościowym – jak również bezpośredniego montażu w warunkach placu budowy. Mając na uwadze ostatnie, zaprojektowano konstrukcję płyty wspornikowej balkonu z tzw. szalunkiem tracowym (wypełniającym) wykonanym z płyty żelbetowej, częściowo prefabrykowanego stropu zespolonego. Warto w tym punkcie nadmienić, że konstrukcja stropu wykonywana była w tej samej technologii, stąd

zamówienie dodatkowych płyt stropu nie stanowiło jakiegokolwiek dodatkowego problemu ekonomicznego, a wręcz przeciwnie, problem ten w kontekście



Rys. 25. Przedłużenie tarczy stropu – płyta wspornikowa balkonu zaszalowana jedynie na okalających krawędziach w płaszczyźnie wertykalnej (foto archiwum autora)



Rys. 26. Montaż konstrukcji tarczy stropu wykonanej w technologii żelbetowej zespolonej, częściowo prefabrykowanej wraz z płytą wspornikową balkonu, jako przedłużenie płaszczyzny poziomej stropu poza obrys budynku (foto archiwum autora)



Rys. 27. Faza montażu konstrukcji tarczy stropu wykonanej w technologii żelbetowej zespolonej, częściowo prefabrykowanej – widoczne dwie zbrojone płyty wspornikowe balkonu, jako przedłużenie płaszczyzny tarczy poziomej – lewa i prawa strona tarczy (foto archiwum autora)



Rys. 28. Konstrukcja montażowa stropu zespolonego. Dzięki charakterystycznej technologii konstrukcji, strop przed zespoleniem jest podpierany jedynie za pomocą ryg (podłużnic) wspartych na teleskopach (foto archiwum autora)

montażu konstrukcji – zminimalizowało (rys. 23). Obraz przedsięwzięcia w aspekcie redukcji czasu potrzebnego na wznoszenie konstrukcji balkonów wspornikowego przestawiono na rysunkach 25–29.

4. Podsumowanie

Redukcja strat energii grzewczej oraz likwidacja możliwości powstania zagrzybień (wychłodzenia krawędziowe powodujące punkt rosy) była nadrzędną potrzebą powstania tego materiału. Wilgoć wraz ze składem chemicznym materiałów budowlanych jest wspinałym środowiskiem organicznym do rozwoju grzybów pleśniowym jak i samą ich pożywką.

Na Wydziale Nauk Technicznych Uniwersytetu Warmińsko-Mazurskiego w Olsztynie trwają stałe prace o charakterze logiki ciepłochronnej oraz badania nad zminimalizowaniem strat energii przez przenikanie. Działania te dotyczą projektowania ustrojów konstrukcji budowlanych, jak i fizyki – zjawisk będących częścią nauki o budownictwie, jaką jest fizyka budowli.

BIBLIOGRAFIA

- [1] Starosolski W., Konstrukcje żelbetowe według Eurokodu 2 i norm związanych – Tom II, Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa 2013 r.
- [2] Budownictwo ogólne – elementy budynków podstawy projektowania. Praca zbiorowa pod kierunkiem dr. hab. inż. Lichota L. Rozdział VII Stropy, Michalak H., Pyrak S., Wydawnictwo ARKADY, Warszawa 2008 r.
- [3] EUROKOD 2. Podręczny skrót dla projektantów konstrukcji żelbetowych – pod redakcją prof. Andrzeja Ajdukiewicza, Stowarzyszenie Producentów Cementu, Kraków 2009 r.
- [4] Rakowski G., Kacprzyk Z., Metoda Elementów Skończonych w mechanice konstrukcji. Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej, Warszawa 2005 r.
- [5] Grajek K., ABC Płyta. Opis programu. PRO-SOFT, Gliwice 2004 r.



Rys. 29. Płyty stropu zespolonego przygotowane do montażu na placu budowy. W płaszczyźnie konstrukcji stropu nad parterem widoczne wykonane w technologii zespolonej płyty wspornikowe balkonów. Widoczne wsparcie teleskopowe oraz przy pomocy okrągłaków (oparcie po 28-dniowym, technologicznym procesie wiązania nadbetonu – stąd brak podłużnic). Podpory w tym wypadku służą jako wsparcie dla montażu płyt balkonowych wyższych kondygnacji (foto archiwum autora)

- [6] Dylla A., Praktyczna fizyka ciepła budowli. Szkoła projektowania złączy budowlanych. Wydawnictwa Uczelniane UTP, Bydgoszcz 2009 r.
- [7] Rokieli M., Poradnik. Hydroizolacje w budownictwie. Wybrane zagadnienia w praktyce. Dom Wydawniczy MEDIUM, Warszawa 2006 r.
- [8] PN-EN 1992-1-1 Eurokod 2. Projektowanie konstrukcji z betonu. Część 1-1: Reguły ogólne i reguły dla budynków. PKN wrzesień 2008 r.
- [9] PN-82/B-02003 Obciążania budowli. Obciążania zmienne technologiczne. Podstawowe obciążania technologiczne i montażowe. PKMiJ, Warszawa 1982 r.
- [10] PN-EN 1991-1-1 Eurokod 1. Oddziaływania na konstrukcje. Część 1-1: Oddziaływania ogólne. Ciężar objętościowy, ciężar własny, obciążania użytkowe w budynkach. PKN 2004 r.
- [11] Pawłowski K., Procedury uwzględniania mostków termicznych o ocenie charakterystyki energetycznej budynków., IZOLACJE 7 i 8/2009, Warszawa
- [12] Wouters P., Schietecata J., Standaert P., Practical guide for the hygrothermal evaluation of thermal bridges (in polish). Wydawnictwo ITB, Warszawa 2004 r.
- [13] Bogosławski W. N., Procesy cieplne i wilgotnościowe w budynkach. Wydawnictwo Arkady, Warszawa 1985 r.
- [14] Kołodziejczyk S., Fizyka konstrukcji budowlanych. Państwowe Wydawnictwa Naukowe, Łódź 1962 r.
- [15] Lewicki B., Budownictwo Mieszkaniowe. PWN, Warszawa 1978 r.
- [16] PN-EN ISO 10211:2008 Mostki cieplne w budynkach. Strumienie ciepła i temperatury powierzchni. Obliczenia szczegółowe. PKN, Warszawa 2008 r.