

spełnieniu warunków nośności na podłużne ścinanie, element możemy traktować jak jednorodny. Dotyczy to zarówno zasad obliczeń przekrojów normalnych, jak i ukośnych. Konstrukcje złożone z elementów o różnej wytrzymałości należy sprowadzać do przekroju jednorodnego odpowiednio do stosunku obliczeniowych wytrzymałości betonu elementów składowych. Podobnie sprawdzając zarysowanie i ugięcia należy uwzględnić różną odkształcalność betonu elementów składowych, wprowadzając do obliczeń przekrój zastępczy o wymiarach zależnych od stosunku modułów sprężystości nadbetonu i betonu prefabrykatu.

Większość modeli obliczeniowych oparta jest na zjawisku *shear friction*. Polega ono na tym, że w stanie granicznym nośności nastę-

puje przemieszczenie w styku zgodne z kierunkiem naprężeń ścinających, powodujące również rozwarście styku będące wynikiem nierówności powierzchni [11]. Skutkuje to rozciąganiem prętów zszwywających oraz pojawieniem się naprężeń ściskających w betonie dodatkowo aktywizujących tarcie.

BIBLIOGRAFIA

- [1] PN-B-03264:2002 Konstrukcje betonowe, żelbetowe i sprężone. Obliczenia statyczne i projektowanie
 [2] PN-EN 1992-1-1: 2008 Eurokod 2 – Projektowanie konstrukcji z betonu – Część 1-1: Reguły ogólne i reguły dla budynków.
 [3] Godycki-Ćwirko T., Ścinanie – Rozdział 9. w Konstrukcje betonowe, żelbetowe i sprężone. Komentarz naukowy do PN-B-03264:2002 pod redakcją B. Lewickiego. Tom 1. Instytut Techniki Budowlanej, Warszawa 2005
 [4] CEB-FIP Model Code 1990, Design Code. Comité Euro-International Du Béton, Thomas Telford Services Ltd. 1998

[5] DIN 1045-1 Tragwerke aus Beton, Stahlbeton und Spannbeton - Teil 1: Bemessung und Konstruktion.

[6] ACI 318M-08 Building Code Requirements for Structural Concrete (ACI 318M-08) and Commentary. Reported by ACI Committee 318, 2008

[7] PN-84/B-03264 Konstrukcje betonowe, żelbetowe i sprężone. Obliczenia statyczne i projektowanie

[8] Model Code 2010 (First complete draft). International Federation for Structural Concrete (fib), Vol. 1 – Bulletin 55, Vol. 2 – Bulletin 56. Lausanne, 2010

[9] Kmiecik P., Kamiński M., Analysis of the Horizontal Shear Load Capacity of Concrete Composite Structures. Modern building materials, structures and techniques, Vol. 2, s. 691–696, Vilnius, 2010

[10] Tan K. H., Guan L. W., Lu X., Lim T. Y.; Horizontal Shear Strength of Indirectly Loaded Composite Concrete Beams. ACI Structural Journal, s. 533–538, July-August 1999

[11] Halicka A., Betonowe elementy zespolone – praca styku i mechanizmy zniszczenia. Konstrukcje betonowe – Badania, projektowanie, naprawa i eksploatacja. Vol. 1. Katedra Konstrukcji Betonowych Politechniki Wrocławskiej, Wrocław 2011

Wybrane zagadnienia konstrukcyjne prefabrykowanych stropów typu Filigran

Dr inż. Maciej Minch, dr inż. Aleksander Trochanowski, dr inż. Jacek Boroń,
Politechnika Wroclawska

1. Wprowadzenie

Strop typu Filigran jest uniwersalnym systemem stropów żelbetowych stosowanym w całej Europie. Jest to doskonałe rozwiązanie konstrukcyjne stropu prefabrykowanego, stosowane coraz szerzej w budownictwie przemysłowym, mieszkaniowym, wiejskim i ogólnym, nie ograniczające przy tym inwencji twórczej architektów. O ile w Europie stropy typu Filigran zostały wprowadzone na rynek w latach 1964–1965 (co opisano obszernie w artykule [1]), to w Polsce pierwsze informacje o tych stropach ukazały się dopiero w 1996 roku w Muratorze nr 10/96 w przeglądzie stropów. Kilka miesięcy później na targach Budma'97 pojawia się stoisko firmy FILIGRAN POLSKA Sp. z o.o., będącej filią niemieckiej firmy Filigran Tragersysteme.

W 1997 roku w Muratorze nr 8/97 [2] pojawił się obszerny artykuł na temat stropów Filigran. Trzeba

tutaj zaznaczyć, że w polskim środowisku budowlanym przyjęła się nazwa filigran jako typ stropu i nie należy tego utożsamiać ze znakiem handlowym FILIGRAN, który jest prawnie chroniony (dlatego np. w Niemczech używa się nazwy – stropy prefabrykowane z kratowniczkami stalowymi). Pomimo wszystko ten typ stropów nadal był mało znany i prawie niestosowany w Polsce. Autorzy artykułu po raz pierwszy spotkali się z tym rozwiązaniem realizując projekt konstrukcji Galerii Dominikańskiej we Wrocławiu (ok. 1998 roku) dla inwestora niemieckiego, który wymusił zastosowanie stropów typu filigran.

Obecnie stropy tego typu stały się rozwiązaniem powszechnym. Powstało w kraju wiele zakładów produkcji płyt prefabrykowanych z kratowniczkami stalowymi. Projektant ogranicza się do obliczeń stropu w wersji monolitycznej, natomiast projekt wykonawczy prefabrykatów opracowuje producent płyt



Rys. 1. Prefabrykowana płyta stropowa typu Filigran

w oparciu o własne lub współpracujące z nim jednostki projektowe. Biorąc to pod uwagę, jak również brak tych zagadnień w programie kształcenia inżynierów budownictwa, wiedza projektantów dotycząca stropów typu Filigran jest niepełna. Stąd też próba usystematyzowania informacji na temat projektowania i konstruowania stropów typu Filigran.

2. Historia powstania stropów typu Filigran

Twórcą systemu budowlanego FILIGRAN był Stefan Keller, autor ponad 40 patentów dotyczących elementów konstrukcji budowlanych, technologii ich wytwarzania oraz maszyn do ich produkcji. Urodzony w 1905 roku na Węgrzech, gdzie kończy studia inżynierskie. W 1933 roku razem ze współnikiem zakłada przedsiębiorstwo produkujące sklejki i okleiny. Pod koniec II wojny światowej ucieka wraz z żoną i dziećmi przed Armią Czerwoną, pozostawiając na Węgrzech cały swój majątek. Po kilku miesiącach tułaczki dociera do Monachium. Po zakończeniu wojny przez trzy lata pracuje w zakładzie obróbki metali. Jednocześnie, mając przed oczami zniszczony wojną kraj, w którym dominującym widokiem są domy ze spalonymi dachami, wymyśla swoje pierwsze dźwigary kratownicowe, mogące zastąpić drewniane więźby



Rys. 2. Wkładki styropianowe zmniejszające ciężar stropu

dachowe. W roku 1948 patentuje lekkie, dużej nośności dachowe dźwigary stalowe, które – od włoskiego słowa „filigraneri” oznaczającego coś bardzo delikatnego i finezyjnego – zaczyna nazywać „dźwigarami FILIGRAN”. W tym samym roku zakłada własną firmę FILIGRANBAU KELLER K.G.

W roku 1949 – rozpoczyna pracę nad gęstożebrowymi stropami FILIGRAN i pierwsze próby z kratownicowymi dźwigarami z dolną stopką betonową, by w 1950 roku stworzyć strop gęstożebrowy z pustakami ceramicznymi (odpowiednik stropu Fert, Teriwa, DZ). Kolejne lata to prace nad płytowym prefabrykatem stropowym FILIGRAN, który ostatecznie wprowadzono na rynek w latach 1964–1965. Jak widać, nazwa Filigran dotyczyła całej gamy stropów, jednak w Polsce nazwa ta przyjęła się dla płytowych prefabrykatów stropowych, które swoją popularność zdobyły dopiero w końcu lat 90. XX w.

3. Charakterystyka stropu

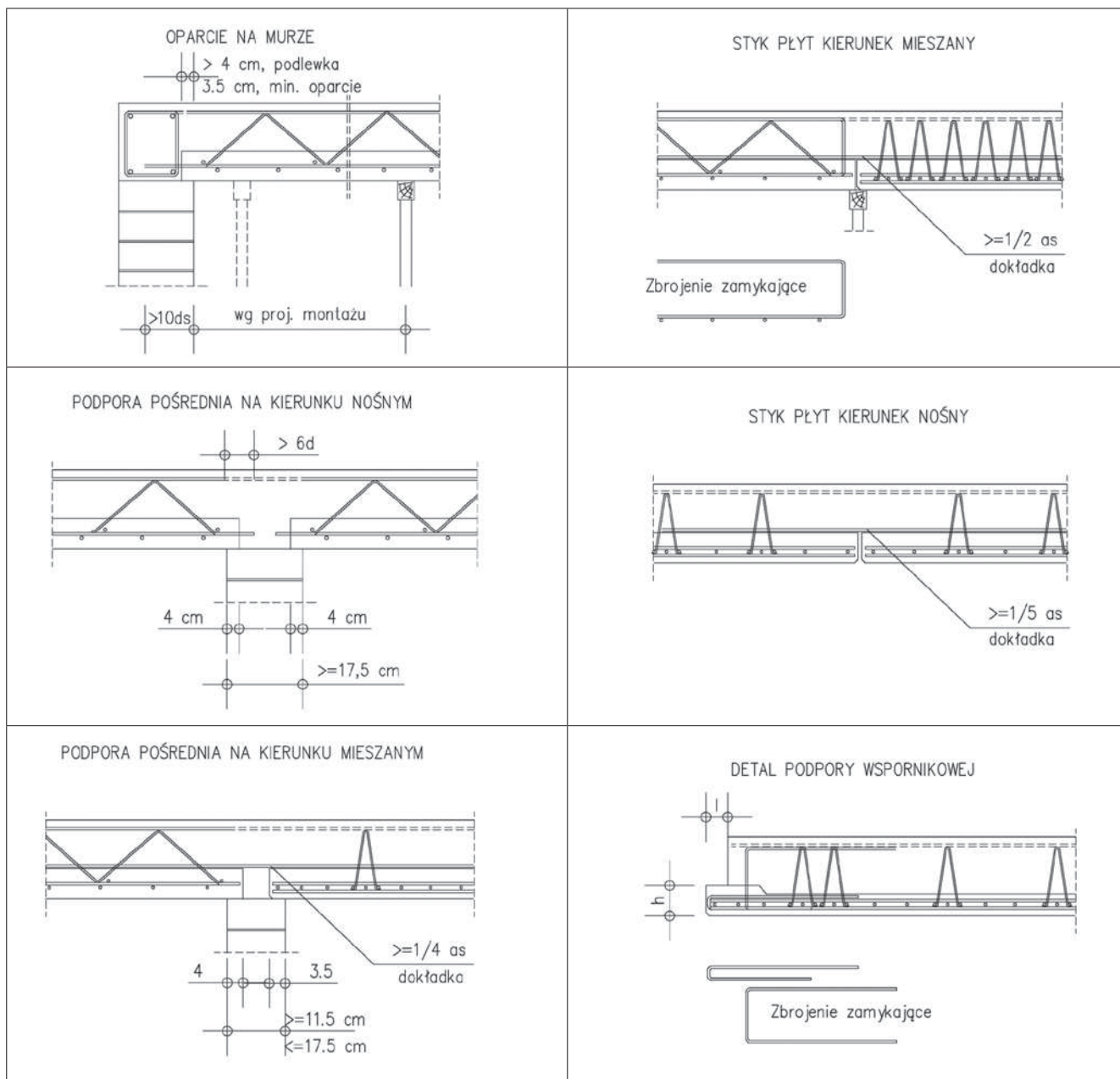
Strop typu Filigran składa się z prefabrykowanej płyty żelbetowej o grubości od 4,5 do 7 cm z umieszczonym w niej zbrojeniem dolnym (rys. 1) oraz warstwy betonu uzupełniającego wylewanego na budowie o grubości zależnej od rozpiętości i obciążenia stropu. Obie warstwy stropu są zespolone ze sobą poprzez szorstką powierzchnię górną prefabrykatu oraz dodatkowo za pomocą przestrzennych dźwigarów kratownicowych, które usytuowane są równolegle do dłuższego boku płyty w rozstawie nie większym niż 75 cm. Kratowniczkę zapewniają przeniesienie sił rozwarstwiających w płaszczyźnie zespolenia i służą do przeniesienia sił ścinających w strefach przypodporowych, a także zapewniają właściwą sztywność prefabrykatu podczas transportu i w fazie układania nadbetonu na budowie.

Płyty prefabrykowane stanowią szalunek dla warstwy betonu wylewanego na budowie, w której można umieścić zależnie od potrzeb zbrojenie główne albo tylko zbrojenie konstrukcyjne. Styki płyt prefabrykowanych zbroi się na budowie prętami lub siatkami (minimalne zbrojenie to pręty o średnicy 6 mm i długości 48 cm w rozstawie co 30 cm), aby uniknąć zjawiska „klawiszowania” płyt w stropie, czyli nierównomiernego ugięcia styku dwóch sąsiednich płyt.

Płyty produkowane są o szerokości do 2,70 m i długości nawet do 12 m. Mogą one posiadać dowolny kształt, np. prostokątny, trójkątny, półkołowy, łukowy, nieregularny. W płytach wykonuje się również otwory i wycięcia na krawędziach związane z prowadzeniem instalacji, trzonów kominowych itp. Otwory i wycięcia w płytach muszą być uwzględnione na etapie przygotowania dokumentacji stropu. Ciężar jednego metra kwadratowego płyty wynosi od 125 do 145 kg. Płyty można układać na ścianach, podciągach, słupach oraz podwieszać na sąsiednich płytach. Całkowita grubość stropu w zależności od projektu wynosi od 12 do 25 cm, a nawet 30 cm (grubość stropu regulowana jest warstwą

Tablica 1. Detale przypadków konstrukcyjnych stropów typu filigran

<p>POŁĄCZENIE Z PODCIĄGIEM ŻELBETOWYM NA KIERUNKU NOŚNYM</p> <p>Zbrojenie na płycie $\geq \frac{1}{3}$ as, podpora skrajna $\geq \frac{1}{4}$ as, podpora pośrednia</p> <p>Przerwa robocza min 2 cm wg projektu Zbrojenie zamykające</p>	<p>PODPORA STAŁOWA KIERUNEK MIESZANY</p> <p>Zbrojenie na płycie $\geq 10d_s$</p>
<p>POŁĄCZENIE Z PODCIĄGIEM ŻELBETOWYM NA KIERUNKU MIESZANYM</p> <p>$>6d_s$ 0.5-1.5cm 2 cm</p>	<p>UKRYTY STAŁOWY PODCIĄG W STROPIE NA KIERUNKU MIESZANYM</p> <p>Zbrojenie na płycie $\geq \frac{1}{3}$ as, podpora skrajna $\geq \frac{1}{4}$ as, podpora pośrednia</p>
<p>POŁĄCZENIE Z NADCIĄGIEM NA KIERUNKU NOŚNYM</p> <p>$\geq \frac{1}{2}$ as dokładka 0.5-1.5 cm Zbrojenie zamykające</p>	<p>POŁĄCZENIE Z NADCIĄGIEM SKRAJNYM NA KIERUNKU NOŚNYM</p> <p>Zbrojenie na płycie $\geq \frac{1}{3}$ as dokładka 0.5-1.5 cm Zbrojenie zamykające</p>
<p>POŁĄCZENIE Z PREFABRYKOWANĄ ŚCIANKĄ ATTYKOWĄ</p> <p>Zbrojenie zamykające</p>	<p>PŁYTA BALKONOWA</p> <p>10 $H \leq 30$ 5 kapios Zbrojenie zamykające</p>



nadbetonu). W literaturze technicznej i normatywach brak jest szczegółowych wytycznych dotyczących stropów typu Filigran. Pewne informacje znaleźć można np. w [3, 4, 5].

Płyty typu Filigran o grubościach większych od 25 cm (np. w stropach o dużych obciążeniach lub rozpiętościach) odciąża się stosując w stropie wkładki styropianowe (rys. 2). Pozwala to zmniejszyć w istotny sposób ciężar stropu i spełnić tym samym warunki SGU. Redukcja ugięć odbywać się może ponadto przez zastosowanie niewielkich strzałek odwrotnych podczas montażu płyt. Należy jeszcze dodać, że w płytach można montować elementy dyblowe na przebiecie, jak również dyble dylatacyjne.

Zbrojenie główne, rozdzielcze oraz dźwigarki kratownicowe płyt wykonywane jest zwykle ze stali St500B, RB500W lub RB500. Beton w prefabrykacji wykonywany jest zwykle w klasie B25 lub wyższej na bazie cemen-

tu portlandzkiego. Warstwę nadbetonu wylewanego na budowie zaleca się stosować tej samej klasy jak beton prefabrykatu.

4. Projektowanie i wymagania konstrukcyjne

Projekt prefabrykowanych płyt stropowych typu Filigran wykonuje się indywidualnie dla danego zamówienia. Projektowanie stropu można przeprowadzać jak dla klasycznego stropu monolitycznego z uwzględnieniem wymaganych schematów statycznych [5]. Mogą to być płyty jedno- i wieloprzęsłowe jednokierunkowo zbrojone lub płyty krzyżowo zbrojone o dowolnych kształtach i warunkach podparcia.

Istnieje również możliwość zamiany innego systemu prefabrykowanego na ten typ stropu. Należy jednak zwrócić uwagę, że jeśli zbrojenie główne w jednym kierunku jest

umieszczone w prefabrykacji, to zbrojenie drugiego kierunku w płytach krzyżowo zbrojonych układane jest na prefabrykacji i razem z pozostałym wymaganym zbrojeniem zalewane w nadbetonie. W takim przypadku ramię sił wewnętrznych jest mniejsze, co musi mieć swoje odzwierciedlenie w obliczeniach zbrojenia. Typowe, proste programy do wymiarowania płyt żelbetowych nie pozwalają na różnicowanie otulenia zbrojenia w różnych kierunkach.

W związku ze wzrostem popularności stropów typu Filigran pojawia się oprogramowanie do wymiarowania mające opcję stropu typu Filigran, gdzie te warunki są spełnione. Z reguły przekonstruowanie stropu wykonuje producent prefabrykatów we własnym zakresie w oparciu o dostarczoną przez projektanta obiektu dokumentację dla wariantu monolitycznego. Pożądana jest jednak pełna wiedza projektanta o specyfice stropu typu Filigran.

Dokumentacja techniczna stropu typu Filigran powinna zawierać rysunki zestawcze rozkładu płyt prefabrykowanych na stropie wraz z numerami płyt, rysunki dozbrojenia płyt górną, metryki poszczególnych płyt prefabrykowanych z wykazem wbudowanego zbrojenia oraz wytyczne rozmieszczenia podpór montażowych (zależnie od obciążenia rozstawy wynoszą od 1,7 m do 2,4 m oraz w kierunku podparcia 1 m).

W tablicy 1 przedstawiono detale konstrukcyjne stropów dla różnych warunków podpór i połączeń. Jak widać możliwości konstruowania i wykorzystania tych stropów są bardzo szerokie. Praktycznie mogą być one stosowane niemal we wszystkich rodzajach obiektów i warunkach konstrukcyjnych.

5. Transport, warunki wykonania i montażu

Prefabrykaty stropów typu filigran można transportować po osiągnięciu przez beton co najmniej 70% wytrzymałości projektowanej klasy betonu. Podnoszenie prefabrykatów wykonywane jest przy użyciu zawiesia belkolinowego z czterema hakami. Haki są zaczepiane w górnych węzłach kratownic przestrzennych w odległości około 1/6 do 1/5 długości płyty licząc od jej końców.

Zastosowanie indywidualnej numeracji płyt i odpowiednie ułożenie w stosie pozwala na ich bezpośredni montaż z pojazdu transportowego na miejscu wbudowania bez konieczności składowania pośredniego na placu budowy. Przeciętnie jednym samochodem można dostarczyć około 150 m² płyt, a czas montażu nie przekracza 2 godzin. Przed przystąpieniem do montażu stropu należy właściwie wypoziomować podpory stałe i ustawić pośrednie podpory montażowe. Układanie płyt przebiega zgodnie z danymi zawartymi w dokumentacji technicznej. Przed wykonaniem nadbetonu należy dozbroić styki płyt prefabrykowanych, ułożyć ewentualne dodatkowe zbrojenie dolne oraz wymagane zbrojenie górne. Ponadto należy wykonać deskowanie wieńców i otworów. Należy ułożyć również instalacje zatopione w nadbetonie. Bezpośrednio po zalaniu stropu należy

od dołu oczyścić styki z pozostałości zaprawy cementowej. Podpory montażowe można usunąć po osiągnięciu przez nadbeton minimum 80% wytrzymałości normowej. Należy zwrócić uwagę na łatwość prac wykończeniowych stropu, który nie wymaga tynkowania. Ponieważ powierzchnia dolna płyt prefabrykowanych jest gładka, szpachluje się tylko styki płyt i maluje „na gotowo” sufit.

6. Podsumowanie

Strop typu Filigran jest uniwersalnym systemem stropów żelbetowych o możliwościach stosowania we wszystkich rodzajach budownictwa, łączącym w sobie zalety stropów prefabrykowanych i możliwości konstrukcyjne stropów monolitycznych. Wytrzymałość płyt dostosowana jest do indywidualnego obciążenia, zgodnego z warunkami użytkowania danego stropu. Duża dokładność, ograniczenie deskowania, dowolność geometryczna, mały ciężar, krótki okres montażu, możliwość nadania strzałki ujemnej to zalety tego systemu stropów, który staje się wiodącym rozwiązaniem w wielu rodzajach budownictwa.

Istotną zaletą stropów typu Filigran jest ich elastyczność montażowa. W przypadku stwierdzenia niedokładności wykonania konstrukcji podporowych stropu np. ścian, ze względu na niewielką grubość płyt możliwe jest w miarę proste ich obcinanie dla zbyt długich płyt, jak również doszalowanie płyt i dozbrojenie w strefie oparcia wtedy, kiedy rozpiętość w świetle między podporami jest większa niż wynika to z projektu.

Należy jeszcze podnieść aspekt weryfikacji projektu stropu prefabrykowanego opracowanego przez inną jednostkę projektową. Konkurencja na rynku prefabrykatów zmusza producentów do nadmiernej optymalizacji prefabrykatów w celu obniżenia kosztów produkcji. Prowadzi to często do obserwowanych nadmiernych ugięć płyt stropowych w trakcie użytkowania budynku skutkujące np. zarysowaniami stropu lub pęknięciami ścianek działowych. Konieczna jest zatem weryfikacja przez projektanta konstrukcji budynku dokumentacji technicznej stropu opracowanej przez zespoły konstrukcyjne producenta, co często nie ma miejsca.

W ogólnym kontekście omawianych zagadnień wydaje się, że istnieje również konieczność szerszego wprowadzenia do programu studiów inżynierskich na wydziałach budowlanych uczelni technicznych zagadnień związanych z projektowaniem i realizacją stropów typu filigran.

BIBLIOGRAFIA

- [1] Von Weiler W., 40 Jahre Filigran – 25 Jahre Filigran-Elemente, Die Entwicklung der Halbfertigteilbauweise, Kongress-Dokumentation, Filigran Eigenverlag, 1989
- [2] Kerntopf-Slusarczyk B., Rudolf W., Stropy Filigran, Murator nr 8/1997, s. 95–101
- [3] Wytyczne wykonywania stropów FILIGRAN – opracowanie Biuro Informacji i Projektowania, B. Kledzik, Gdańsk, lipiec 1977
- [4] PN-EN 13747:2007: Prefabrykaty z betonu, Płyty stropowe do zespolonych systemów stropowych
- [5] Starosolski W., Konstrukcje żelbetowe według PN-B-03264:2002 i Eurokodu 2, Tom II. PWN, Warszawa 2007