

Historia rozwoju stropów gęstożebrowych

Zadziwia fakt, że do tej pory nie opracowano monografii poświęconej tak ważnym i powszechnie stosowanym elementom obiektów budowlanych, jakimi są stropy gęstożebrowe i dlatego artykuł ten jest niejako próbą wypełnienia tej luki w literaturze technicznej.

Artykuł niniejszy jest oparty na krótkim fragmencie mojej pracy doktorskiej pt. „Badanie stanów granicznych wybranych stropów gęstożebrowych żelbetowych i sprężonych w funkcji obciążenia i rozpiętości oraz modelowanie optymalnego przekroju”, całkowicie ukończonej, ale nie obronionej z powodu choroby prof. dr. inż. Artema Czkwianianca z Politechniki Łódzkiej.

Zanim przejdę do omówienia rozwoju stropów gęstożebrowych, krótko wspomnę o historii żelbetu.

Powszechnie uważa się, że początek udokumentowanej wiedzy o żelbecie nastąpił w 1867 roku, kiedy to Francuz Joseph Monier (1822–1906) opatentował betonową donicę zbrojoną drucianą siatką. Tenże wynalazca opatentował w 1869 roku płytę betonową podobnie zbrojoną drutem.

Żelbet we Francji był jednak stosowany już kilkanaście lat wcześniej przez Josepha Louisa Lambota (1814–1887), który w 1848 roku zbudował łódź z żelazobetonu, a w 1851 r. opatentował mieszankę żelaza, cementu i kruszywa czyli żelbet.

Do pionierów żelbetu należał też François Coignet (1814–1888), który począwszy od 1852 r. zbudował wiele obiektów żelbetowych, takich, jak: domy, akwedukt, latarnię morską, kościół ze 130-metrową iglicą w Le Vesinet pod Paryżem, wysokie mury oporowe.

Podstawy teorii żelbetu opracowali głównie Mathias Koenen (1848–1924) w 1886 r. i wyżej wymieniony F. Coignet w 1889 roku.

Pierwsze stropy żelbetowe według J. Monier’a i F. Coignet’a w układzie płytowo-żebrowym powstały w końcu XIX wieku. W tym też okresie zaczęto stosować stropy ceramiczno-stalowe systemu Kleina, Eggerta, Drossela, Albrechta.

Na początku XX wieku powstał strop systemu Ackermana (popularnie zwany w Polsce stropem Akermana), który po różnych zmianach jest stosowany do dzisiaj. Wszystkie te i inne stropy przy rozstawie osiowym żeber do 90 cm uważa się za stropy gęstożebrowe i taka jest ich definicja.

Specjalnie też wymieniłem stropy ceramiczno-stalowe, gdyż były one pewną inspiracją dla późniejszego dość powszechnego stosowania aż do dziś (np. typu Fert) wyrobów ceramicznych jako materiałów wypełniających w stropach żelbetowych w celu zmniejszenia ich ciężaru własnego i uzyskania płaskiej powierzchni sufitu.

Rozwój konstrukcji i stosowania gęstożebrowych stropów żelbetowych był możliwy dzięki takim osiągnięciom, jak między innymi:

- opracowanie teorii wstępnego sprężania przez Françoise Hennebique’a w 1892 roku,
- wprowadzenie do budownictwa belek żelbetowych we Francji w 1893 roku,
- początki stosowania prefabrykacji w 1907 roku w Stanach Zjednoczonych,
- opracowanie metody zwiększenia wytrzymałości betonu przez wibrowanie i wibroprasowanie we Francji przez Eugène Freyssinet’a (1879–1962) w 1917 roku,
- produkcja wstępnie sprężonych elementów struno-betonowych we Francji według metody E. Freyssinet’a w 1928 roku,
- powstanie teorii konstrukcji wstępnie sprężonych 1929 roku.

W okresie międzywojennym (także w Polsce) powszechnie stosowano stropy gęstożebrowe ceramiczno-żelbetowe np. typu Akermana oraz strop z pustakami typu Standard (wysokości 20 cm, szerokości 23,5 cm i długości 27 cm), który przeszedł do historii jako pierwszy z żebrami prefabrykowanymi wykonany w Polsce w 1928 r. Natomiast najdawniej produkowanym w Polsce (także przed wojną) stopem prefabrykowanym była konstrukcja typu Isteg z prefabrykowanych żelbetowych belek o rozstawie osiowym 33,3 cm (dalej w tekście pominę słowo „osiowym”), na których opierały się łukowo wygięte odcinki blachy kształtujące wylany na nie beton o grubości w najcieńszym miejscu 3 cm. Wysokość całej konstrukcji wynosiła 23 cm.

Znany w Polsce przedwojennej był też strop typu Rapid złożony z samonośnych belek żelbetowych w kształcie nieregularnego dwuteownika z otworami w środku, nieco podobny do stosowanego w latach 60. XX wieku stropu typu Ka-Be o wysokości 20 cm i szerokości 29–39 cm oraz do stropu z prefabrykowanych elementów żelbetowych typu BT (konstrukcji autora niniejszego artykułu).

W latach 30. XX wieku pojawiły się w Polsce gęstożebrowe stropy z pustakami ceramicznymi, jak na przykład typu:

- Westfala o wysokościach w czterech typach 10, 12, 15, 18 cm, szerokości 25 cm, długości 35 cm, z otworami kołowymi,
- Pomorze w trzech typach o wysokościach 16, 20, 24 cm, szerokościach odpowiednio 18, 15, 18 cm i długości 27 cm,
- Ferstera o wysokości 9 cm, szerokości 13 cm i długości 25 cm.

Natomiast w latach 50. XX w. powstały w Polsce stropy z pustakami typu:

- Stolica w dwóch typach o wysokościach 20 i 22 cm, szerokości dolnej 25 cm i górnej 23 cm oraz o długości 25 cm,
- DS (Żerań) w dwóch typach o wysokościach 14 i 18 cm, szerokości dolnej 24,5 cm i górnej 22,4 cm oraz o długości 25 cm,
- DMS o wysokości 27 cm, szerokościach 44 i 59 cm (ze środkową przeponą) dla rozstawu żeber odpowiednio 50 i 65 cm, z nadbetonem, oraz z
- z cegły dziurawki pojedynczej i podwójnej.

W tych czasach stosowano też takie stropy, jak:

- skrzynkowy, monolityczny o wysokości całej konstrukcji 40 cm, z rozstawem żeber nie większym niż 90 cm, płyty górnej grubości 6 cm i dolnej 3 cm,
- typu Visentini z kratownicami żelbetowymi o rozstawie 20 cm oraz wysokościach od 16 do 40 cm,
- typu NH, nieco podobny do stosowanego wcześniej stropu Isteq z belek żelbetowych prefabrykowanych i łupin żelbetowych uzupełnionych betonem wylewanym, w dwóch typach o wysokościach konstrukcji 20 i 27 cm, przy rozstawie belek odpowiednio 60 i 75 cm oraz charakterystycznych ciężarach 1,30 i 1,46 kN/m.

W 1954 roku wykonano w Polsce po raz pierwszy sprężone teowe belki, co mogło być inspiracją dla wykorzystania ich do stropów gęstożebrowych. W latach 60. i 70. powstały w Polsce kolejne żelbetowe stropy gęstożebrowe, takie jak:

- płyty otworowe typu Żerań o wysokości 24 cm, długości 5,82 m i długościach 89, 119, 149 cm, podobne do późniejszych płyt wielokanałowych,
- typu TK z pustakami zamkniętymi i łupinami o wysokościach 20, 25 i 30 cm, o ciężarach charakterystycznych z nadbetonem 2,45–2,80 kN/m,
- typu MK-1 i MK-2 z dyli gipsowych o ciężarach charakterystycznych odpowiednio 2,85 i 2,28 kN/m,
- typu DZ w kilku odmianach (najpowszechniejszy w tym okresie i dlatego pomijam jego opis),
- typu KMK z pustakami gipsowymi i belkami typu T-24 i T-27 rozstawionymi odpowiednio co 60 i 90 cm oraz z nadbetonem,
- typu K o wysokościach 22 i 27 cm z prefabrykowanych belek o wysokościach odpowiednio 18,5 cm i 23,5 cm, rozstawionymi co 60 cm i z prefabrykowaną górną półką grubości 3,5 cm; ciężary charakterystyczne 1,6 i 1,9 kN/m,
- typu De-Ce o wysokościach 21 i 25 cm, z łupinami żelbetowymi o rozstawie co 50 cm oraz z nadbetonem,
- typu Kontra o wysokości 24 cm, z pustakami żużłobetonowymi, w 14 wariantach zbrojenia,
- typu T-27 o wysokości 32 cm, z prefabrykowanych belek o wysokości 27 cm rozstawionych co 60 i 90 cm oraz z prefabrykowanych płyt górnych grubości 5 cm i dolnych (wersja dla budownictwa mieszkaniowego),
- typu ITB-70 z prefabrykowanymi belkami kratownicowymi (podobnymi do stosowanych później w stropach typu Fert, Teriva i Mursa) o rozstawie 60 cm, z pustakami DZ-3,
- typu SPS z elementów całkowicie prefabrykowanych.

W tym czasie za granicą, np. we Francji, która zawsze była jednym z krajów przodujących w nowoczesności produkcji stropów gęstożebrowych, stosowane były takie konstrukcje, jak m. in.:

- typu STUP z pustakami o wysokościach 10, 14 i 20 cm, o szerokości dolnej 17 cm i górnej 14 cm oraz ze zbrojeniem sprężającym,
- typu Fabre o wysokości 25 cm z pustaków ceramicznych o wysokości 29 cm oraz z prefabrykowanych sprężonych belek teowych wysokości 15 cm i rozstawie co 40 i 50 cm (dodatkowo zbrojonych stałą gładką),
- typu OPI-SIMPLEX z prefabrykowanych żelbetowych belek teowych i pustaków,
- typu PRAT z lekkich kratowych belek i pustaków lub płyt betonowych między tymi belkami.

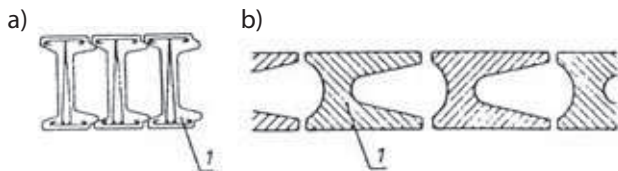
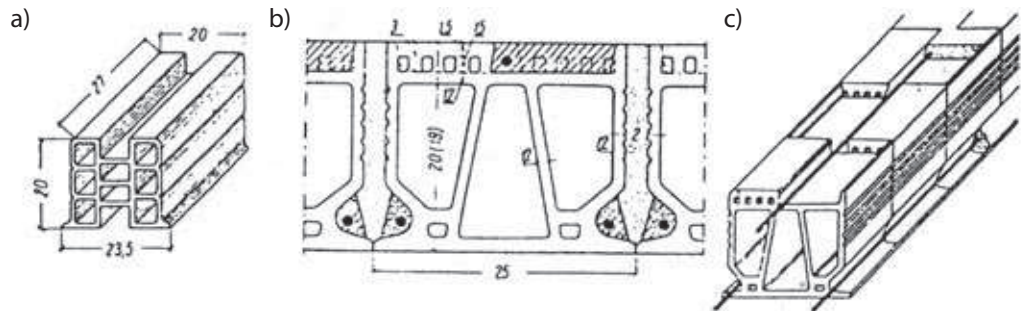
Obecnie też stosowane są w Polsce następujące atestowane typy stropów gęstożebrowych:

- CEREL-90 o konstrukcji ceramiczno-żelbetowej, rozpiętości modularnej 2,4–6,0 m, z pustakami ceramicznymi, z nadbetonem oraz z belkami ceramiczno-żelbetowymi,
- PROKONTRA o wysokości 24 cm i modularnej rozpiętości 2,4–6,0 m z belkami stalowymi kratownicowymi z pasem dolnym zabetonowanym w stopce, z pustakami i kształtkami korytkowymi wykonanymi z wiórobetonu, betonu lekkiego lub zwykłego oraz z nadbetonem,
- FERTBET-60 z belkami stalowo-betonowymi, z pustakami z betonu lekkiego lub kasetonami z betonu zwykłego, z nadbetonem, o maksymalnej rozpiętości 6,0 m,
- DP-50 w konstrukcji ceramiczno-żelbetowej, z prefabrykowanymi dylami ceramiczno-żelbetowymi, pustakami ceramicznymi, z nadbetonem, o rozpiętości modularnej 2,7–6,0 m ze stopniowaniem co 30 cm,
- CERAM-50 ceramiczno-żelbetowy, o rozpiętości 2,7–6,0 m ze stopniowaniem co 30 cm, z prefabrykowanych belek stalowo-ceramicznych, pustaków ceramicznych i z nadbetonu,
- FILIGRAN o konstrukcji zespolonej z żelbetowej płyty grubości 5 cm, nadbetonu o różnych grubościach 5, 7, 9 lub 11 cm, z wtopionymi w ww. płytę stalowymi kratownicami o rozstawie co 60 cm,
- płyta kanałowa o długości 6,60 m, wysokości 24 cm i szerokościach 90, 120 i 150 cm,
- płyta PP o długości 6,0 m, wysokości 24 cm, szerokościach 90, 120 i 150 cm,
- ELSA z elementów siatkobetonowych o wysokości 22 cm, z żelbetowymi żebrami o rozstawie co 30 cm.

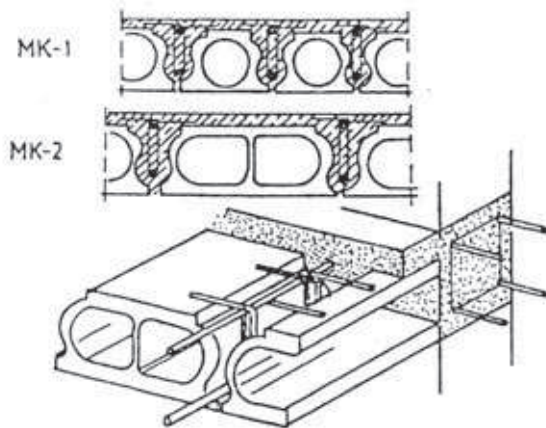
W Polsce stosowane są też atestowane przez Instytut Techniki Budowlanej zagraniczne stropy gęstożebrowe typu:

- FRB z prefabrykowanymi sprężonymi belkami teowymi, pustakami betonowymi oraz z nadbetonem,
- OTEP DC w postaci strunobetonowych płyt kanałowych o szerokości 120 cm, w 14 odmianach różniących się wysokością, kształtem i liczbą otworów, a także liczbą, rozmieszczeniem i średnicą splotów sprężających.

Rys. 1. Belki stalowo-ceramiczne: a) pustak, b) przekrój poprzeczny stropu „Stolica”, c) widok belki „Stolica”



Rys. 2. Stropy belkowe: a) typu „Rapid”, b) typu „Ka-Be”, 1 – belka



Rys. 3. Strop z dyli gipsowych MK-1 i MK-2

Obecnie w Polsce najbardziej rozpowszechnione są żelbetowe stropy gęstożebrowe typu: Fert-40, Fert-60, Mursa-I, Teriva-I, Teriva-I bis, Teriva-II.

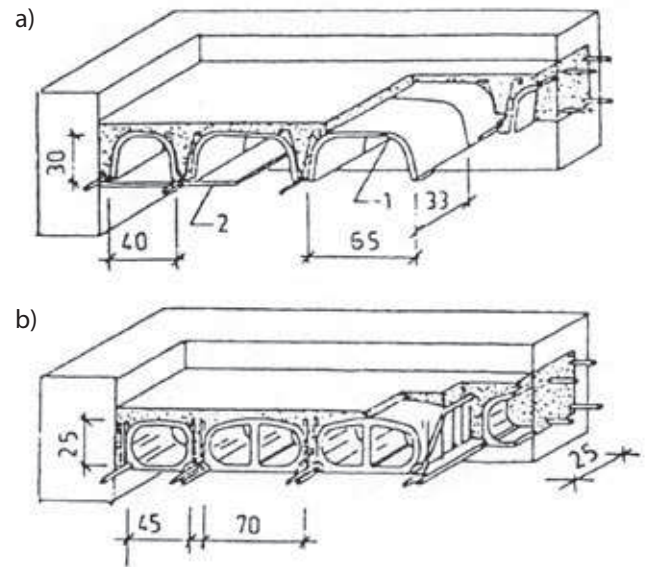
Jedynym stropem sprężonym produkowanym w Polsce na licencji angielskiej jest płyta kanałowa typu SP (Spiroll) o szerokości 120 cm, w kilku wariantach wysokościowych.

Stropy te są produkowane przez firmę Prefabet Białe Błota k. Bydgoszczy.

Za granicą (głównie we Francji i USA jako krajach przodujących) obecnie produkuje się prawie wyłącznie sprężone stropy gęstożebrowe w postaci konstrukcji belkowo-pustakowych i płyt kanałowych, czego przykładem są niektóre wyroby firm, takich jak:

- FEDER Beton, PASCAL Prefabrication, SARET BP (Francja),
- SPAN DECK Mid-Atlantic Precast Association (USA).

Przedstawiłem w pracy doktorskiej, opatentowałem i opisałem w artykule pt. „Nowe sprężone płyty kanałowe typu BTp”, opublikowanym w „Przeglądzie Budowlany” w numerze 11/2001, str. 21–24. Płyty BTp są aktualnie zdecydowanie najkorzystniejsze na świecie, gdyż w porównaniu z najlepszymi, do jakich należą obecnie płyty SP (Spiroll) przy podobnej wytrzymałości, wymiarach i splotach sprężających,



Rys. 4. Strop typu TK: a) z łupinami, 1 – łupiny, 2 – podsufitka, b) z pustakami

są od nich lżejsze od 15 do 32% (!), co udowodniłem w ww. artykule. Niestety nie są one do tej pory produkowane. Większość przekrojów poprzecznych stropów gęstożebrowych spełnia warunki pozornej teowości, uwzględniającej współpracę żebra z płytą górną.

Konstrukcje stropowe płytowo-żebrowe i belki o przekroju teowym (nawet ze skosami) były znane w literaturze już na początku XX wieku.

W Polsce konstrukcje żelbetowe o przekroju pozornie teowym opisał w swej pracy inż. J. Zieliński w 1936 roku.

Monolityczne stropy gęstożebrowe były stosowane w Polsce już przed II wojną światową, ale ich obliczenia statyczne i projektowanie znormalizowano na początku lat 50. XX wieku. Wprowadzono też normy dla konstrukcji prefabrykowanych, konstrukcji zespolonych, ceglano-żelbetowych i dla teowych belek strunobetonowych. W późniejszych latach pojawiają się normy dotyczące konkretnych stropów gęstożebrowych, jak między innymi: DMS, DZ-6, DZ-4 oraz normy dotyczące obliczeń statycznych i projektowania konstrukcji betonowych, żelbetowych i sprężonych.

Mgr inż. Jerzy Piotr Bednarek