

Wytyczne obliczania i konstruowania stropów z płyt sprężonych SP

ZAMAWIAJĄCY:

Prefabet Pro Sp. z o.o.
ul. Betonowa 1, 86-005 Białe Błota
tel.: 501 241 241

JEDNOSTKA PROJEKTOWA:

STEELCO Grzegorz Troszczyński
51-415 Wrocław, ul. Kwidzyńska 3
tel./fax: 71 78 84 740

SYGNATURA OPRACOWANIA:

EKS-194

BRANŻA:

konstrukcja

STADIUM:

instrukcja

AUTOR OPRACOWANIA:

mgr inż. Grzegorz Troszczyński
upr. nr: 146/00/DUW

SPRAWDZAJĄCY:

dr inż. Adam Klimek
upr. nr: 338/01/DUW

Wrocław, lipiec 2023 r.

Spis treści

0.	PODSTAWA WYKONANIA DOKUMENTACJI	6
0.1.	Podstawa formalna	6
0.2.	Podstawa merytoryczna	6
0.3.	Dokumenty związane	7
0.4.	Materiały uzupełniające	7
1.	WPROWADZENIE	8
1.1.	Przedmiot i zawartość opracowania	8
1.2.	Zakres zastosowania wytycznych	8
1.3.	Specyfika strunobetonowych płyt kanałowych	9
2.	CHARAKTERYSTYKA SYSTEMU	11
2.1.	Podstawowe cechy systemu stropów SP	11
2.1.1.	Elementy składowe systemu	11
2.1.2.	Technologia wytwarzania płyt SP	11
2.1.3.	Elastyczność systemu	12
2.1.4.	Zalety systemu płyt stropowych SP	12
2.2.	Charakterystyka geometryczno-materiałowa płyt SP	13
2.2.1.	Ukształtowanie płyt SP	13
2.2.2.	Dozwolony przedział rozpiętości	15
2.2.3.	Materiały	16
2.3.	Zbrojenie płyt SP	16
2.3.1.	Standard zbrojenia	16
2.3.2.	Systemowe warianty zbrojeń	16
2.4.	Kształtowanie płyt uzupełniających	24
2.4.1.	Informacje ogólne	24
2.4.2.	Kształtowanie wycięć przypodporowych	27
2.4.3.	Kształtowanie wycięć przęsłowych	28
2.4.4.	Rozmieszczanie wycięć na planie płyt	28
2.4.5.	Otworowanie płyt SP	30
2.4.6.	Kształtowanie płyt zwężonych	31
2.4.7.	Poprzeczne docinanie płyt pod kątem	37
2.5.	Standard wykonania	38
2.5.1.	Informacje ogólne	38
2.5.2.	Tolerancje wymiarowe	38
2.5.3.	Naturalne deformacje płyt	39
2.6.	Obszary stosowania płyt SP	40
2.6.1.	Przeznaczenie płyt SP	40
2.6.2.	Trwałość eksploatacyjna płyt SP	41
2.6.3.	Odporność ogniowa stropów z płyt SP	42
2.7.	Dane techniczne płyt SP i stropów	43

3.	CECHY TECHNICZNO-UŻYTKOWE PŁYT I STROPÓW SP	44
3.1.	Założenia projektowe	44
3.1.1.	Zakres i metody obliczeń	44
3.1.2.	Cechy mechaniczne materiałów	45
3.1.3.	Współczynniki częściowe	45
3.1.4.	Kryteria projektowe	46
3.2.	Wielkości statyczne płyt SP	46
3.2.1.	Cechy mechaniczne płyt	46
3.2.2.	Cechy geometryczne płyt	50
3.2.3.	Współczynniki korekcyjne	51
3.3.	Dopuszczalne obciążenie płyt SP	52
3.3.1.	Nośność płyt w sytuacji trwałej	52
3.3.2.	Nośność płyt w sytuacji wyjątkowej	53
3.4.	Właściwości izolacyjne stropów z płyt SP	53
3.4.1.	Izolacyjność termiczna stropów	53
3.4.2.	Izolacyjność akustyczna stropów	54
4.	OBLICZENIA STATYCZNE STROPÓW Z PŁYT SP	55
4.1.	Obciążenia stropów z płyt SP	55
4.1.1.	Ustalenie wartości obciążeń	55
4.1.2.	Kombinacje obciążeń w sytuacji trwałej	55
4.1.3.	Kombinacja obciążeń w sytuacji wyjątkowej	56
4.2.	Redystrybucja obciążeń miejscowych	57
4.2.1.	Podstawowe informacje	57
4.2.2.	Rozdział obciążenia skupionego	57
4.2.3.	Rozdział obciążenia liniowego	58
4.3.	Statyka ustrojów stropowych	60
4.3.1.	Schemat statyczny przęseł stropu	60
4.3.2.	Forma i zakres obliczeń statycznych	60
4.4.	Statyka płyt wsporczych belek podporowych	63
4.4.1.	Geneza zagadnienia	63
4.4.2.	Transfer obciążeń na płyty wsporcze	63
4.4.3.	Zakres obliczeń statycznych	65
4.5.	Niezamierzone momenty utwierdzenia	66
4.5.1.	Czynniki generujące momenty ujemne	66
4.5.2.	Moment utwierdzenia	67
5.	WERYFIKACJA NOŚNOŚCI PŁYT W SYTUACJI TRWAŁEJ	69
5.1.	Ogólne wytyczne	69
5.2.	Uproszczona weryfikacja nośności	69
5.3.	Szczegółowa weryfikacja stanów granicznych płyt	70
5.3.1.	Informacje ogólne	70
5.3.2.	Nośność płyt pod dowolnym obciążeniem	73
5.3.3.	Stany graniczne użyteczności płyt pod dowolnym obciążeniem	74
5.3.4.	Wpływ perforacji na stany graniczne nośności i użyteczności płyt	76
5.3.5.	Wpływ wzdłużnego i poprzecznego docinania płyt	78
5.4.	Analiza nośności lokalnej płyt	79
5.4.1.	Postacie uszkodzeń lokalnych	79

5.4.2.	Ścinanie podłużne	79
5.4.3.	Nośność na przebicie stropów z płyt SP	80
5.4.4.	Nośność na przebicie poziomych ścianek płyt SP	83
6.	WERYFIKACJA NOŚNOŚCI OGNIOWEJ PŁYT	85
6.1.	Ogólne wytyczne	85
6.2.	Uproszczona weryfikacja nośności	85
6.3.	Szczegółowa analiza nośności	85
7.	SPOSODY WZMACNIANIA PŁYT SP	86
7.1.	Informacje ogólne	86
7.2.	Projektowanie wzmocnień przypodporowych	87
7.2.1.	Podstawowe wymagania	87
7.2.2.	Betonowe rdzenie wzmacniające	89
7.2.3.	Zbrojone poprzecznie rdzenie wzmacniające	90
7.3.	Wzmacnianie płyt z wycięciami przypodporowymi	92
8.	WYMAGANIA DLA PŁYT CZĘŚCIOWO UTWIERDZONYCH	94
8.1.	Podstawowe informacje	94
8.1.1.	Ogólne wytyczne	94
8.1.2.	Zasady obliczeń statyczno-wytrzymałościowych płyt utwierdzonych	94
8.2.	Weryfikacja rysoodporności i nośności stref przypodporowych	95
8.3.	Specjalne rozwiązania konstrukcyjne	95
8.4.	Szczególne wymagania dla płyt z perforacją pionową	96
8.4.1.	Informacje ogólne	96
8.4.2.	Wymagania szczegółowe dla płyt z wycięciem przypodporowym	97
9.	KONSTRUOWANIE USTROJÓW STROPOWYCH	98
9.1.	Uwagi wstępne	98
9.2.	Węzły podporowe stropów	98
9.2.1.	Oparcie płyt na podporach	98
9.2.2.	Zapewnienie integralności konstrukcyjnej	99
9.2.3.	Wierńce stropów	99
9.2.4.	Oparcie płyt SP na belkach	99
9.2.5.	Oparcie płyt SP na ścianach	100
9.3.	Boczne zamki	100
9.3.1.	Podłużne styki między płytami	100
9.3.2.	Węzły boczne	101
9.4.	Rozplanowanie stropu z płyt SP	101
9.5.	Zapewnienie odporności ogniowej	104
9.5.1.	Ogólne wymagania konstrukcyjne	104
9.5.2.	Wymagania dodatkowe dla płyt z perforacją pionową	104
9.6.	Wykończenie stropu	105

10. KONSTRUOWANIE DUŻYCH OTWORÓW W STROPACH	107
10.1. Konstrukcja stropu z dużym otworem	107
10.2. Prefabrykowane belki podporowe	107
10.3. Nośność ustrojów z wbudowanymi belkami podporowymi	108
10.3.1. Nośność płyt zawieszanych	108
10.3.2. Nośność belek podporowych	108
10.3.3. Nośności globalna płyt wsporczych	108
10.3.4. Weryfikacja nośności lokalnej płyt wsporczych	109
11. SKŁADOWANIE, TRANSPORT I MONTAŻ PŁYT	110
11.1. Składowanie płyt w stosach	110
11.2. Transportowanie płyt SP	111
11.2.1. Transport bliski	111
11.2.2. Stałe uchwyty transportowe	112
11.2.3. Transport daleki	113
11.3. Montaż płyt SP	113
11.4. Prace końcowe	113
Załącznik A: Tabele dopuszczalnych obciążeń płyt SP	115
Załącznik B: Przykłady rozwiązań konstrukcyjnych	141

0. PODSTAWA WYKONANIA DOKUMENTACJI

0.1. Podstawa formalna

Niniejsze opracowanie zostało wykonane na podstawie umowy nr 04/2021, jaką w dniu 25. sierpnia 2021 r. zawarli w Białych Błotach: Prefabet Pro Sp. z o.o. (adres: ul. Betonowa 1, 86-005 Białe Błota), jako zamawiający, i STEELCO Grzegorz Troszczyński (adres: ul. Kwidzyńska 3, 51-415 Wrocław), jako wykonawca.

Opracowanie zawiera wytyczne do projektowania stropów z prefabrykowanych płyt sprężonych SP, i stanowi uzupełnienie dokumentacji projektowej tych płyt [39]. Jest zgodne z obowiązującymi przepisami, zasadami wiedzy technicznej i uwzględnia aktualny stan wiedzy w temacie, którego dotyczy. Jest kompletne z punktu widzenia celu, któremu ma służyć.

0.2. Podstawa merytoryczna

W opracowaniu wykorzystano następujące dokumenty, normy oraz publikacje naukowo-techniczne:

- 1) PN-EN 1990:2004 Eurokod: Podstawy projektowania konstrukcji
- 2) PN-EN 1991-1-1(2)(3)(4)(5)(6)(7) Oddziaływania na konstrukcje
- 3) PN-EN 1992-1-1:2008 Eurokod 2: Projektowanie konstrukcji z betonu - Część 1-1: Reguły ogólne i reguły dla budynków
- 4) PN-EN 1992-1-2:2008 Eurokod 2: Projektowanie konstrukcji z betonu - Część 1-2: Reguły ogólne - Projektowanie na warunki pożarowe
- 5) PN-B-03264:2002 Konstrukcje betonowe żelbetowe i sprężone. Obliczenia statyczne i projektowanie
- 6) PN-EN 13369:2013 Wspólne wymagania dla prefabrykatów z betonu
- 7) PN-EN 1168:2011 Prefabrykaty z betonu - Płyty kanałowe
- 8) PN-EN 206:2021-08 Beton. Wymagania, właściwości, produkcja i zgodność
- 9) PN-ISO 3443-1(2)(3)(4)(5)(6)(7)(8):1994 Tolerancje w budownictwie
- 10) Walraven J. red.: Pre-norma Konstrukcji Betonowych FIB Model Code 2010 - tom 1 i 2, Stowarzyszenie Producentów Cementu, Kraków 2014
- 11) Krajowa Ocena Techniczna ITB-KOT-2019/0880, Warszawa 2019
- 12) Precast prestressed hollow core floors. FIP Recommendations, Thomas Telford, London 1998
- 13) Quality assurance of hollow core slab floors. FIP Guide to good practice, SETO London 1992
- 14) Special design considerations for precast prestressed hollow core floors. Guide to good practice, FIB, January 2000
- 15) Buettner D.R. i in.: PCI Manual for the design of hollow core slabs (second edition), Precast/Prestressed Concrete Institute, Chicago 1998
- 16) Ajdukiewicz A., Mames J.: Konstrukcje z betonu sprężonego, Polski Cement, Kraków 2004
- 17) Knauff M. red.: Podstawy projektowania konstrukcji żelbetowych i sprężonych według Eurokodu 2, Sekcja Konstrukcji Betonowych KILiW PAN, Dolnośląskie Wydawnictwo Edukacyjne, Wrocław 2006
- 18) Knauff M.: Obliczanie konstrukcji żelbetowych według Eurokodu 2. PWN 2012
- 19) Knauff M., Golubińska A., Knyziak P.: Tablice i wzory do projektowania konstrukcji żelbetowych z przykładami obliczeń, PWN 2013
- 20) Starosolski W.: Konstrukcje żelbetowe według Eurokodu 2 i norm związanych t.1, PWN 2012
- 21) Starosolski W.: Połączenia w żelbetowych konstrukcjach szkieletowych, Arkady 1993
- 22) Elliot K.S, Jolly C.K.: Multi-storey Precast Concrete Framed Structures (second edition), Wiley Blackwell 2013
- 23) Łapko A., Jansen B.Ch.: Podstawy projektowania i algorytmy obliczeń konstrukcji żelbetowych, Arkady 2005
- 24) Kobiak J., Stachurski W.: Konstrukcje żelbetowe t.1, Arkady 1995
- 25) Biegus A.: Podstawy projektowania i oddziaływania na konstrukcje
- 26) Rawska-Skotniczy A.: Obciążenia budynków i konstrukcji budowlanych według Eurokodów, PWN 2013
- 27) Mianowski K.: Praca naukowo-badawcza 16/SP-48/74, część I, Płyty z wycięciami, ITB Warszawa 1977
- 28) Mianowski K., Sikora J.: Wybrane zagadnienia z dziedziny wytrzymałości stropów SP, ITB Warszawa 1983
- 29) Dickamp M.J. i in.: Katalog elementów budowlanych. Poradnik projektowania na trwałość według norm nowej generacji, WNT Warszawa 2007
- 30) Jansze W. i in.: Structural behaviour of prestressed concrete hollow core floors exposed to fire, IPHA 2014

- 31) Woźniak G., Turkowski P.: Projektowanie konstrukcji z betonu z uwagi na warunki pożarowe według Eurokodu 2, ITB Warszawa 2013
- 32) Łukomski M., Woźniak G.: Odporność ogniowa stropów z płyt kanałowych sprężonych – badania i obliczenia, XVIII Konferencja Naukowo-Techniczna Jadwisin 2002
- 33) Łukomski M., Woźniak G.: Nośność stropów z płyt kanałowych sprężonych w warunkach pożarowych, XVIII Konferencja Naukowo-Techniczna Jadwisin 2004
- 34) PN-EN ISO 6946:2008 Komponenty budowlane i ich elementy. Opór cieplny i współczynnik przenikania ciepła. Metoda obliczania
- 35) PN-EN ISO 717-1:2013-08 Akustyka. Ocena izolacyjności akustycznej w budynkach i izolacyjności akustycznej elementów budowlanych. Część 1: Izolacyjność od dźwięków powietrznych
- 36) PN-EN 12354-1:2002 Akustyka budowlana. Określenie właściwości akustycznych budynków na podstawie właściwości elementów. Część 1: Izolacyjność od dźwięków powietrznych między pomieszczeniami
- 37) Szudrowicz B.: Podstawy kształtowania izolacyjności akustycznej pomieszczeń w budynkach mieszkalnych, ITB Warszawa 1992
- 38) Szudrowicz B.: Metody obliczania izolacyjności akustycznej między pomieszczeniami w budynkach według PN-EN 12354-1:2002 i PN-EN 12354-2:2002

0.3. Dokumenty związane

- 39) Troszczyński G.: Projekt techniczny strunobetonowych płyt stropowych SP, tom 1÷4. Biuro konstrukcyjne STEELCO, Wrocław 2021 (maszynopis)
- 40) Troszczyński G.: Opinia techniczna w sprawie izolacyjności cieplnej i akustycznej przegród budowlanych konstruowanych z płyt stropowych SP, Wrocław 2021 (maszynopis)
- 41) Rozporządzenie Ministra Infrastruktury z dnia 12. kwietnia 2002 r. w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać budynki i ich usytuowanie.

0.4. Materiały uzupełniające

Uzupełnieniem niniejszej instrukcji są wytyczne i katalogi techniczne innych producentów, których wyroby mogą być stosowane jako elementy stropów konstruowanych z płyt sprężonych SP lub jako akcesoria montażowe. Najpowszechniej wykorzystywanymi są:

- 42) Podkładka bi-Trapezowa. Katalog techniczny firmy Calenberg Ingenieure
- 43) Podkładki montażowe z PCV. Katalog techniczny firmy H-Bau Technik
- 44) PETRA. Support for Hollow-Core Slabs for Floor Openings. Technical manual. Katalog techniczny firmy Peikko
- 45) Wymiany stalowe BHRW PFEIFER do opierania płyt stropowych. Katalog techniczny firmy Jordahl&Pfeifer
- 46) Katalog techniczny firmy Fisher
- 47) Katalog techniczny firmy DEHA

1. WPROWADZENIE

1.1. Przedmiot i zawartość opracowania

Tematem tego opracowania jest projektowanie i realizacja na budowie stropów z prefabrykowanych, sprężonych płyt kanałowych SP, wytwarzanych przez Prefabet Pro Sp. z o.o. Zamieszczone w nim informacje i dane liczbowe nie mogą być wykorzystywane do projektowania stropów z podobnych prefabrykatów pochodzących od innych producentów, co związane jest z indywidualnymi cechami tego systemu płyt.

Obszerna część wytycznych (rozdz.2÷10) ujmuje zasób wiedzy niezbędnej głównie przy projektowaniu stropów, natomiast ostatni rozdział (rozdz.11) zawiera zbiór informacji przydatnych przy realizacji prac budowlano-montażowych na placu budowy. Tak duża dysproporcja objętości treści traktujących o zagadnieniach projektowych i wykonawczych jest skutkiem specyficznych cech przedmiotowych prefabrykatów (zob. pkt.1.3), które wymuszają konieczność niestandardowego podejścia do niektórych zagadnień konstrukcyjnych.

W publikacji zamieszczono szczegółowy opis systemu sprężonych płyt stropowych SP i przedstawiono dokładne zasady kształtowania płyt uzupełniających, jakie można otrzymać w wyniku wtórnej obróbki płyt podstawowych (pkt.2.4). Podano również informacje, dotyczące dopuszczalnych obszarów stosowania płyt (pkt.2.6) i warunków ich wbudowania w różnych ustrojach konstrukcyjnych, a także dane techniczne płyt i stropów (pkt.2.7). Dalej zestawiono w formie tabel dane techniczno-użytkowe wszystkich płyt SP (rozdz.3). Opisano również szczegółowo zagadnienie analizy statycznej przęseł stropów, w tym przęseł płyt wsporczych prefabrykowanych wymianów, opisano metodę szacowania niezamierzonych momentów utwierdzenia płyt w podporach oraz zasady redystrybucji obciążeń lokalnych (rozdz.4). W rozdz.5 zamieszczono wytyczne weryfikacji nośności stropów w sytuacji trwałej w różnych warunkach obciążenia, w tym również weryfikacji nośności miejscowej pod obciążeniem skoncentrowanym. Tematem rozdz.6 jest z kolei analiza nośności płyt w sytuacji wyjątkowej pożaru. W rozdz.7 przybliżono sposoby wzmacniania stropów z płyt SP poprzez obróbkę przyrostową (dobetonowywanie). Dalej, w rozdz.8, podano wymagania techniczne dla płyt, które miałyby pracować w warunkach ograniczonej swobody obrotu na podporach. Następnie opisano reguły poprawnego konstruowania stropów, obejmujące planowanie rozkładu prefabrykatów, projektowanie detali i połączeń (rozdz.9) oraz projektowanie dużych otworów w stropach z wykorzystaniem prefabrykowanych belek podporowych (rozdz. 10).

Dla ułatwienia lub ograniczenia do minimum niezbędnego zakresu obliczeń statyczno-wytrzymałościowych, do wytycznych przeniesiono z dokumentacji projektowej systemu [39] wszelkie dane liczbowe charakteryzujące płyty SP (wartości wszystkich wielkości mechanicznych i geometrycznych). Zestawiono je w formie gotowej do wykorzystania w licznych tabelach (rozdz.3). Z kolei, dla najbardziej powszechnego schematu obciążenia płyt, zamieszczono tabele dopuszczalnych obciążeń jednostkowych w funkcji rozpiętości przęsła stropu, wyznaczone z kryterium osiągnięcia jednego ze stanów granicznych – nośności i użytkowości (załącznik A).

W opracowaniu zamieszczono również rysunki ilustrujące przykłady rozwiązań konstrukcyjnych najbardziej powszechnych detali (załącznik B).

1.2. Zakres zastosowania wytycznych

Niniejsze wytyczne zostały przygotowane na podstawie projektów technicznych płyt SP [39], skąd pochodzą wszelkie dane liczbowe. Zostały one obliczone na podstawie Eurokodu 2 [3][4] i zharmonizowanej normy wyrobu [7] dla założonych z góry warunków eksploatacji. Aby posługiwanie się w projektowaniu danymi zamieszczonymi dalej w tabelach było dopuszczalne, należy zagwarantować zgodność warunków wbudowania prefabrykatów z tymi, jakie przyjęto w obliczeniach ich własności technicznych oraz zapewnić zgodność z przyjętymi założeniami projektowymi. W innym wypadku ocena nośności płyt przeprowadzona na podstawie tego opracowania może nie być miarodajna.

Jednym z istotnych czynników jaki należy brać pod uwagę przy projektowaniu stropów są warunki oparcia płyt na podporach. Sposób rozwiązania tego detalu może bowiem wydatnie wpływać na wyężenie przypodporowych stref płyt SP. Szczegółnej uwagi wymaga tu zagadnienie podatności translacyjnej podpór stropu w kierunku pionowym oraz sztywność rotacyjna węzłów podporowych. Znaczne ugięcia podpór mogą wywierać wpływ na wyężenie środków płyt (zwłaszcza tych o dużej smukłości). Krzywizna podciągów wymusi bowiem siły wewnętrzne w ściankach profilu, zginające je w płaszczyźnie konturu profilu. Wygenerowane tym zjawiskiem naprężenia doprowadzić mogą do przedwczesnego wyczerpania nośności na ścinanie środków płyt. Również niezamierzone utwierdzenie płyt w podporach może prowadzić do drastycznej redukcji nośności na ścinanie stref przypodporowych, jeżeli te zostałyby zarysowane ujemnym momentem podporowym.

Niniejsze opracowanie ma zastosowanie przy projektowaniu stropów z płyt SP swobodnie podpartych w sposób bezpośredni na podporach o dostatecznie małej krzywiznie, by niekorzystne efekty wymuszone ugięciem podpór mogły być w obliczeniach zaniedbane. Dane w nim zamieszczone

nie mogą być wykorzystywane do projektowania stropów opieranych na belkach wiotkich, o znacznej podatności na zginanie. Szczegółowe wytyczne co do wymagań jakie muszą spełniać podpory, aby mogły być uważane za odpowiednio sztywne, zamieszczono w pkt.9.2.4. Z kolei, wytyczne dotyczące sposobów unikania utwierdzenia i, ewentualnie, oceny jego wpływu na wyężenie stref przypodporowych zawarto w rozdz.8. Nieprzestrzeganie tych wymagań lub zignorowanie ograniczeń może prowadzić do sytuacji niebezpiecznych.

Adresatami publikacji są projektanci-konstruktorzy oraz inżynierowie realizujący lub nadzorujący prace budowlano-montażowe. Zamieszczony w wytycznych materiał może być także przydatny dla architektów.

1.3. Specyfika strunobetonowych płyt kanałowych

Strunobetonowe, kanałowe płyty stropowe SP należą do nowoczesnych prefabrykatów budowlanych. Ukształtowanie ich profilu poprzecznego, ograniczenie do minimum zbrojenia oraz sposób formowania czynią te prefabrykaty wyrafinowanym rodzajem konstrukcji. O cechach gotowych prefabrykatów decyduje w dużej mierze bardzo wydajna i elastyczna technologia formowania (zob. pkt.2.1.2). Wywiera ona jednak istotny wpływ na możliwe do zastosowania rozwiązania konstrukcyjne zbrojenia. Stosowana przy produkcji technologia ekstruzji betonu wyklucza możliwość wbudowania w bryłę prefabrykatów jakichkolwiek siatek lub szkieletów ze zwykłej stali zbrojeniowej, przez co jedynym rodzajem zbrojenia betonu są podłużne struny sprężające (zob. pkt.2.3.1). W takich warunkach, co rzadko spotykane w konstrukcjach z betonu, obliczeniowe zabezpieczenie ścianek profili przed drugorzędym rozciąganiem musi zostać zagwarantowane samą wytrzymałością betonu na rozciąganie. Jest to osobliwa cecha tych prefabrykatów. Wyeliminowanie strzemion, prętów montażowych i prętów rozdzielczych wymaga, by naprężenia rozciągające, które w konstrukcjach z betonu są zwykle przenoszone tym rodzajem zbrojenia, były tu przenoszone przez niezarysowany beton. Dotyczy to każdej fazy realizacji i eksploatacji stropu ze sprężonych płyt kanałowych. Specyficzną cechą tych prefabrykatów, podyktowaną również względami technologicznymi, jest także brak zainstalowanych na stałe uchwytów transportowych¹.

Skutkiem wyeliminowania zbrojenia zwykłego jest również pozbawienie prefabrykatów zbrojenia, które mogłoby służyć do integracji stropów z konstrukcją nośną budynku. Z betonowej bryły prefabrykatów nie są wyprowadzane żadne pręty, przez co skonstruowanie połączeń płyta-podpora, niezbędnych dla zabezpieczenia ustroju przed postępującą katastrofą, wymaga zastosowania specjalnych rozwiązań konstrukcyjnych, odmiennych od tych jakie stosuje się w innych stropach (zob. pkt.9.2.2).

Kolejną cechą, która wyróżnia płyty kanałowe spośród innych rodzajów strunobetonowych konstrukcji jest stosunkowo duża smukłość ścianek ich profili, szczególnie wyraźna w płytach o wysokim profilu: SP32, SP40 i SP41 (zob. pkt.2.1.1).

Opisane wyżej specyficzne cechy sprężonych płyt kanałowych decydują o ich wyjątkowości. Ten rodzaj prefabrykatów wymaga szczególnego traktowania, tak na etapie projektowania, na etapie produkcji, jak również podczas realizacji ustroju stropowego na budowie. Cienkie, nierzadko smukłe (rys.2.1), i pozbawione zbrojenia zwykłego ścianki profilu czynią te płyty wrażliwymi na pęknięcia i zarysowania w wielu płaszczyznach, przy czym - w odróżnieniu od innych elementów z betonu - zarysowanie sprężonej płyty kanałowej oznacza najczęściej (choć nie zawsze) konieczność jej wyeliminowania z użytkowania (wyjątkowo dopuszczalna jest też naprawa). Przekroczenie naprężeń rysujących w betonie płyty kanałowej prowadzi bowiem do uszkodzenia, które najczęściej klasyfikuje się jako pęknięcie, a nie zarysowanie. Powierzchnie betonu rozdzielone takim pęknięciem, pozbawione zbrojenia zszywającego, rozwierają się zwykle w sposób niekontrolowany, przekraczając znacznie normowe limity ustalone dla rys w betonowych konstrukcjach zbrojonych. Wyjątkiem są tu, dopuszczalne ze względów statycznych, rysy prostopadłe, których kontrolę rozwartości umożliwiają podłużne struny zbrojenia głównego.

Szczególnie narażone na pękanie są żebra i półki przy końcach elementu, gdzie kumulują się różne niekorzystne wpływy i zjawiska, związane z wprowadzaniem do betonu siły sprężającej (rozciąganie przyczołowe, rozciąganie wgłębne, radialne oddziaływanie struny na beton). Po zamontowaniu płyt, w tym samym obszarze koncentrują się natomiast naprężenia wymuszone siłami wewnętrznymi i zewnętrznymi - siłą poprzeczną, działaniem reakcji podporowej i, ewentualnie, niezamierzonym momentem utwierdzenia płyt w podporach. Brak zbrojenia poprzecznego czyni to miejsce krytycznym z punktu widzenia statyki ustroju – zarysowanie betonu strefy przypodporowej jest bowiem równoznaczne z utratą nośności stropu (por. pkt.3.1.1(3)). Ta wrażliwość na wszelkiego rodzaju uszkodzenia betonu wymaga szczególnie starannego projektowania, zarówno samych płyt, jak i konstruowanych z nich stropów, a także ścisłego przestrzegania reżimów technologicznych i założeń konstrukcyjnych

¹ stałe uchwyty transportowe, jeżeli są niezbędne, mogą zostać zainstalowane w gotowych płytach SP, w drugim etapie (pkt.11.2.2)

(por. pkt.1.2). Płytami należy także w sposób przemyślany manewrować podczas przenoszenia, transportu i montażu (zob. rozdz.11).

Opanowanie od strony konstrukcyjnej i technologicznej problemów technicznych wynikających z opisanych wyżej specyficznych cech sprężonych płyt kanałowych pozwala te cechy efektywnie wykorzystać z korzyścią dla inwestora. Specyfika tego rodzaju konstrukcji, w połączeniu z ogólnie korzystnymi cechami prefabrykowania i sprężania betonu [16], decyduje w dużej mierze o zaletach systemu sprężonych płyt stropowych SP (zob. pkt.2.1.4).

2. CHARAKTERYSTYKA SYSTEMU

2.1. Podstawowe cechy systemu stropów SP

2.1.1. Elementy składowe systemu

(1) W skład systemu sprężonych stropów SP wchodzi prefabrykowane płyty kanałowe o sześciu rozmiarach, zróżnicowanych pod względem wysokości i topologii przekroju. System tworzą płyty o wysokości nominalnej: 200 mm, 220 mm, 265 mm, 320 mm, 400 mm i 410 mm. Odpowiednio do wysokości profilu, płyty oznaczone zostały symbolami SP20, SP22, SP26.5, SP32, SP40 i SP41. Wszystkie płyty mają stałą długość profilu, co wymuszone jest technologią formowania tych prefabrykatów (pkt.2.1.2). Kontur zewnętrzny przekrojów poprzecznych ma formę zwartą, zbliżoną do prostokąta. Wewnątrz obrysu przekrojów wydrążonych jest od czterech do sześciu otworów o kształcie okrągłym lub owalnym (pkt.2.2.1).

Szerokość modułowa każdej z płyt systemu jest równa 1200 mm. Wszystkie płyty posiadają niezmiennie na długości podłużne zbrojenie sprężające, w formie siedmiodrutowych splotów o nominalnej średnicy $\varnothing 12,5$ mm (1/2"). Płyty zvariantowano pod względem intensywności zbrojenia i jego struktury (pkt.2.3). Zróżnicowana ochrona materiałowo-strukturalna zbrojeń nadaje im odporność ogniową w dwóch klasach: REI60 lub REI120 (pkt.2.6.3).

Z prefabrykatów podstawowych, w wyniku dalszych zabiegów technologicznych, ukształtować można elementy o bardziej złożonym kształcie. Stosując obróbkę ubytkową można też wyprodukować płyty perforowane na wiele sposobów (zob. pkt.2.4).

W dalszej treści tego opracowania, dla jednoznaczności przekazu, wyodrębniono pojęcie płyty podstawowej oraz płyty uzupełniającej. Płytami podstawowymi są płyty prostokątne w planie, o pełnym profilu (szerokości 1200 mm), w których nie wykonano żadnej perforacji. Płyty wytworzone z płyt podstawowych w wyniku ich dalszej obróbki są określane jako płyty uzupełniające.

(2) Do systemu stropów SP zaliczyć należy także dostępne na rynku materiały i wyroby (akcesoria) wytwarzane przez innych producentów, które mogą zostać wykorzystane przy konstruowaniu stropów na budowie.

Oparcie płyt w węzłach podporowych może zostać zrealizowane jako sztywne (na warstwie zaprawy montażowej) lub jako elastyczne, tłumiące drgania i redukujące koncentrację naprężeń na wspornej płaszczyźnie podpory (zob. pkt.9.2.1). Do tego celu wykorzystać można profilowane taśmy z neoprenu (np. bi-Trapezowe [42]), o grubości 5 mm lub 10 mm.

W przypadku sztywnego opierania płyt na warstwie zaprawy, przydatne mogą być podkładki dystansowe z PCV (np. typu V [43]), pozwalające kontrolować grubość spoiny wspornej poprzez zapobieganie wyciskaniu zaprawy pod ciężarem prefabrykatów. Podkładki tego typu, pozwalają z dobrą dokładnością zrektyfikować płyty stropowe SP podczas montażu i zapewnić wymaganą rzędną poziomu stropu.

Do skonstruowania w stropie otworów o znacznych rozmiarach są z kolei niezbędne prefabrykowane belki podporowe, stalowe typu PETRA [44] albo zespolone BHRW [45].

2.1.2. Technologia wytwarzania płyt SP

Płyty SP wytwarzane są metodą ekstruzji betonu na podłożach torów naciągowych o długości około 100 m. Stalowe podłoża, na których formowany jest beton, mają równą i idealnie gładką powierzchnię roboczą.

Po rozciągnięciu i odpowiednim rozmieszczeniu cięgien sprężających na podłożu, struny są w sposób kontrolowany naprężane założoną siłą naciągu [39] i tymczasowo kotwione w blokach oporowych. Na tak przygotowanym torze ustawiany jest następnie ekstruder (wytlaczarka). Do maszyny dostarczana jest transportem wewnętrznym mieszanka betonowa o konsystencji półsuchej, którą ekstruder w ciągłym procesie tłoczy do „ustnika” w kształcie negatywu formowanych płyt, obetonowując przy tym naprężone uprzednio struny. Wytlaczarka, posuwając się wzdłuż toru, pozostawia za sobą na podłożu odpowiednio uformowaną „wstęgę” świeżego betonu, o profilu poprzecznym zgodnym z przekrojem wytwarzanych płyt. W tak uformowanym paśmie świeżego betonu wykonuje się następnie potrzebną perforację (por. pkt.2.4). Na czas wiązania cementu, uformowany beton przykrywa się matami o dużym oporze dyfuzyjnym, dla zabezpieczenia betonu przed nadmierną utratą wilgoci.

Aby przyspieszyć proces wiązania cementu, dla osiągnięcia w krótkim okresie czasu wysokiej wytrzymałości wczesnej, podłoże toru może być nagrzewane do temperatury 55°C.

Po około 20-tu godzinach od zaformowania beton osiąga założoną w dokumentacji technicznej [39] wytrzymałość początkową, co pozwala sprężyć beton. Struny są wówczas uwalniane z zakotwień technologicznych i siła wstępnego naciągu zostaje przekazana na beton. Sprężona „wstęga”, która ma długość około 100 m, jest następnie cięta piłą tarczową na odcinki (gotowe płyty) o potrzebnej długości. Istnieje także możliwość podłużnego i poprzecznego docinania prefabrykatów pod kątem, w celu uzyskania płyt zwężonych oraz płyt o kształcie rzutu innym niż prostokątny (zob. pkt.2.4.6 i

pkt.2.4.7). Poszczególne elementy zdejmowane są z podłoża za pomocą zawiesia chwytakowego (zob. pkt.11.2.1) i przenoszone na miejsce składowania. Wyprodukowane prefabrykaty składowane są w pozycji poziomej w stosach (pkt.11.1). Pełną sprawność płyty osiągają po okresie 28 dni dojrzewania betonu.

Prefabrykaty wykonane w opisany wyżej sposób mogą być następnie dalej obrabiane (por. pkt.2.4) oraz wyposażane w potrzebne akcesoria. W płytach instaluje się zawsze korki z tworzywa sztucznego, zamykające kanały od czoła, a także - gdy jest to uzasadnione - stałe uchwyty transportowe z głowicami kulowymi albo tulejowymi (pkt.11.2.2).

2.1.3. Elastyczność systemu

Opisana w poprzednim punkcie technologia wytwarzania płyt SP czyni ten system stropów bardzo elastycznym. Technologia stwarza zwłaszcza możliwość swobodnego kształtowania płyt w planie (zob. pkt.2.4). Oprócz tego, prefabrykowane płyty można uzupełniać betonem na budowie, tworząc w ten sposób ustroje zespolone, których właściwości użytkowe mogą być zdecydowanie lepsze niż ustrojów złożonych z samych płyt.

Ciągłe formowanie betonu w znacznym stopniu uniezależnia produkcję płyt od gabarytów urządzeń; ograniczeniem jest tu tylko szerokość maszyn formujących i podłoża, natomiast możliwa do osiągnięcia długość płyt ograniczona jest ich cechami mechanicznymi oraz względami transportowymi. Uformowana na łożu betonowa wstęga może zostać pocięta na odcinki o dowolnej długości (bezstopniowo); nie stosuje się żadnych modułów projektowych, jakie mogłyby ograniczać swobodę projektowania budynków. Wstęga może być ponadto docinana poprzecznie pod kątem innym niż prosty lub rozcinana podłużnie, wzdłuż jednego z kanałów. Te zabiegi pozwalają wykonać płyty o nieprostokątnym rzucie poziomym oraz płyty o zmniejszonej szerokości. W dowolnym miejscu elementu wykroić można także prostokątne lub okrągłe wycięcia oraz okrągłe lub podłużne otwory. Szczegółowe wytyczne projektowania takich prefabrykatów zamieszczono w pkt.2.4.

Istnieje również opcja indywidualnego ukształtowania zbrojenia sprężającego w płytach SP. Zaprojektowane w ramach systemu warianty zbrojeń płyt (zob. pkt.2.3) mogą zostać uzupełnione o dalsze, z mniejszą liczbą lub mniejszą średnicą strun, albo przeznaczone do szczególnych, rzadziej spotykanych zastosowań. Do takich należą w szczególności płyty ze zbrojeniem górnym, które może zostać wbudowane celowo dla przeniesienia momentów odwrotnych generowanych w stadium eksploatacji. Pozwala to projektować płyty SP przewieszane wspornikowo nad podporami, jak również umożliwia kotwienie wspornikowych balkonów w przęsłach prefabrykowanych płyt.

Uzupełnianie płyt SP zbrojonym betonem układanym na budowie, tak na zewnątrz (w formie nadbetonu), jak i wewnątrz prefabrykatów (w kanałach), pozwala ponadto tworzyć ustroje o cechach użytkowych (jak nośność i/lub sztywność) nieosiągalnych samodzielnie prefabrykatami. Ułożenie na płytach warstwy nadbetonu i jej odpowiednie związanie z prefabrykatami, pozwala elastycznie kształtować wysokość konstrukcyjną ustroju. Prowadzi to do zwiększenia nośności i sztywności stropu (zob. pkt.7.1), co w konsekwencji pozwala też osiągnąć większą rozpiętość przekrycia, przekraczającą zakres dostępny dla samodzielnych płyt (zob. pkt.2.2.2). Warstwa nadbetonu umożliwia również konstruowanie przepon usztywniających ustrój nośny budynku.

Z kolei, wypełnienie betonem wnętrza przypodporowych odcinków kanałów, i ich ewentualne dozbrojenie, podnosi nośność poprzeczną stref przypodporowych. Jest to szczególnie korzystne przy niedużych rozpiętościach przęseł, gdzie nośność stropu jest determinowana nośnością stref przypodporowych, gdy jednocześnie nośność na zginanie pozostaje niewykorzystana. Wyeliminowanie tym sposobem deficytu nośności na ścinanie pozwala efektywnie i w pełni wykorzystać w omawianych przypadkach nośność zbrojenia głównego przy zginaniu (zob. pkt.7.2).

Zarówno płyty SP ze zbrojeniem indywidualnym, jak i ustroje uzupełnione monolitycznym betonem projektować należy indywidualnie, na podstawie indywidualnych obliczeń statyczno-wytrzymałościowych (zob. też pkt.7.1).

2.1.4. Zalety systemu płyt stropowych SP

Opisany w poprzednim punkcie potencjał elastycznego kształtowania stropów jest podstawowym atutem systemu płyt sprężonych SP. Wtórna obróbka płyt podstawowych techniką ubytkową wraz z techniką przyrostowego uzupełniania prefabrykatów betonem na budowie stwarzają bogaty wachlarz możliwości technicznych, które pozwalają zaprojektować dowolny ustrój stropowy, o walorach ekonomiczno-użytkowych nieosiągalnych przez inne systemy. Są one w dużej mierze konsekwencją ich specyficznej struktury (pkt.1.3), wymuszonej technologią produkcji (pkt.2.1.2), oraz ogólnych korzyści jakie daje sprężanie betonu.

Brak zbrojenia uzupełniającego ze stali zwykłej upraszcza i skraca cykl produkcyjny (pkt.2.1.2) prowadząc do redukcji kosztów. Płyty produkuje się najczęściej w cyklu dobowym, a ich wytwarzanie można rozpocząć natychmiast po dobraniu z dostępnego katalogu (pkt.2.3) wymaganego typu, wariantu zbrojenia i długości płyty, z pominięciem indywidualnego projektowania prefabrykatów.

Inne powszechnie uznane zalety systemu płyt stropowych SP to:

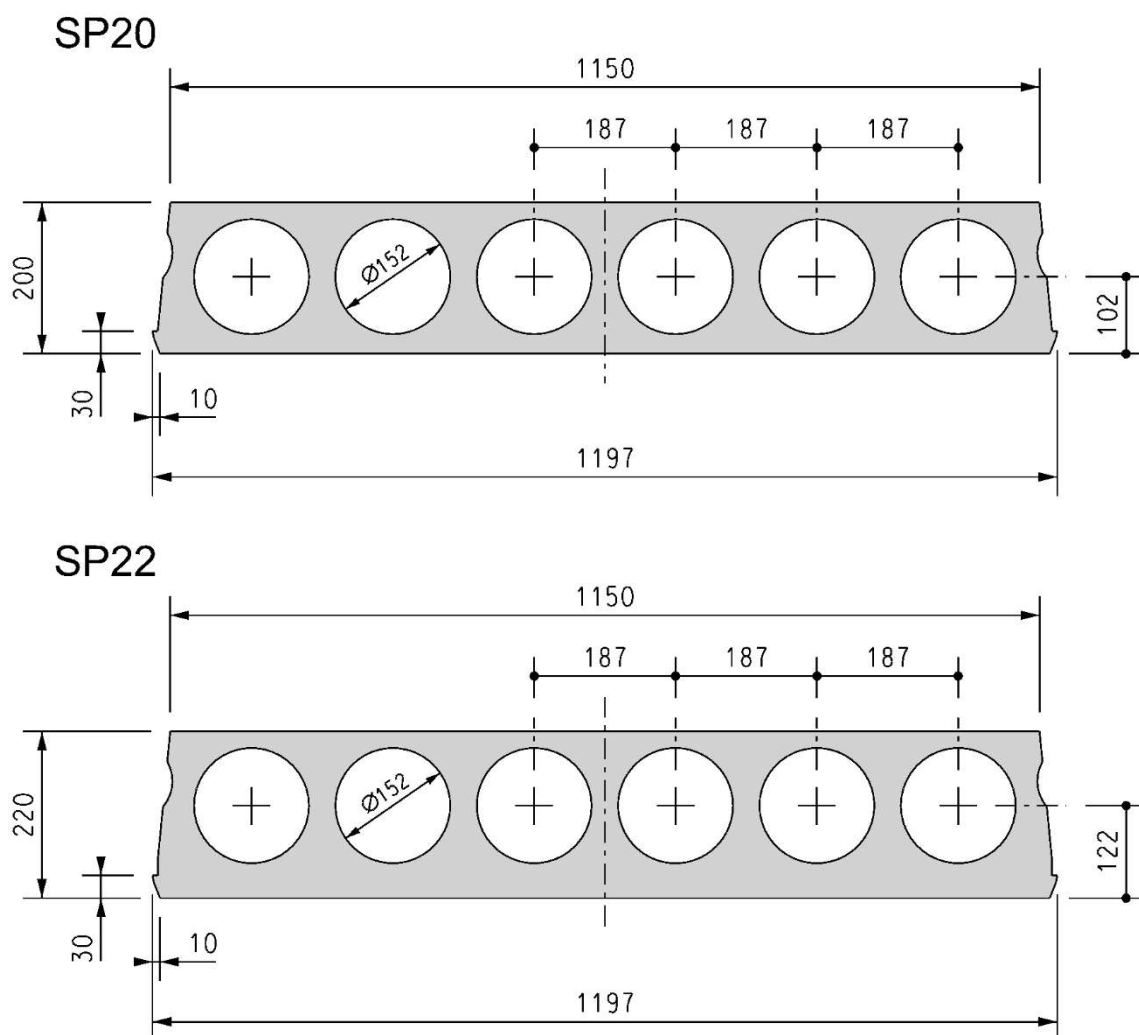
- duża nośność stropów przy relatywnie małej wysokości konstrukcyjnej,
- możliwość przekrywania znacznych rozpiętości, sięgających nawet 18 m,
- wysoka, naturalna ognioodporność, do klasy REI120 włącznie,
- stosunkowo niski ciężar konstrukcji,
- elastyczność w kształtowaniu planu i perforacji płyt,
- szybki montaż, bez stosowania tymczasowych podpór montażowych,
- estetyka płaskiej powierzchni sufitowej.

2.2. Charakterystyka geometryczno-materiałowa płyt SP

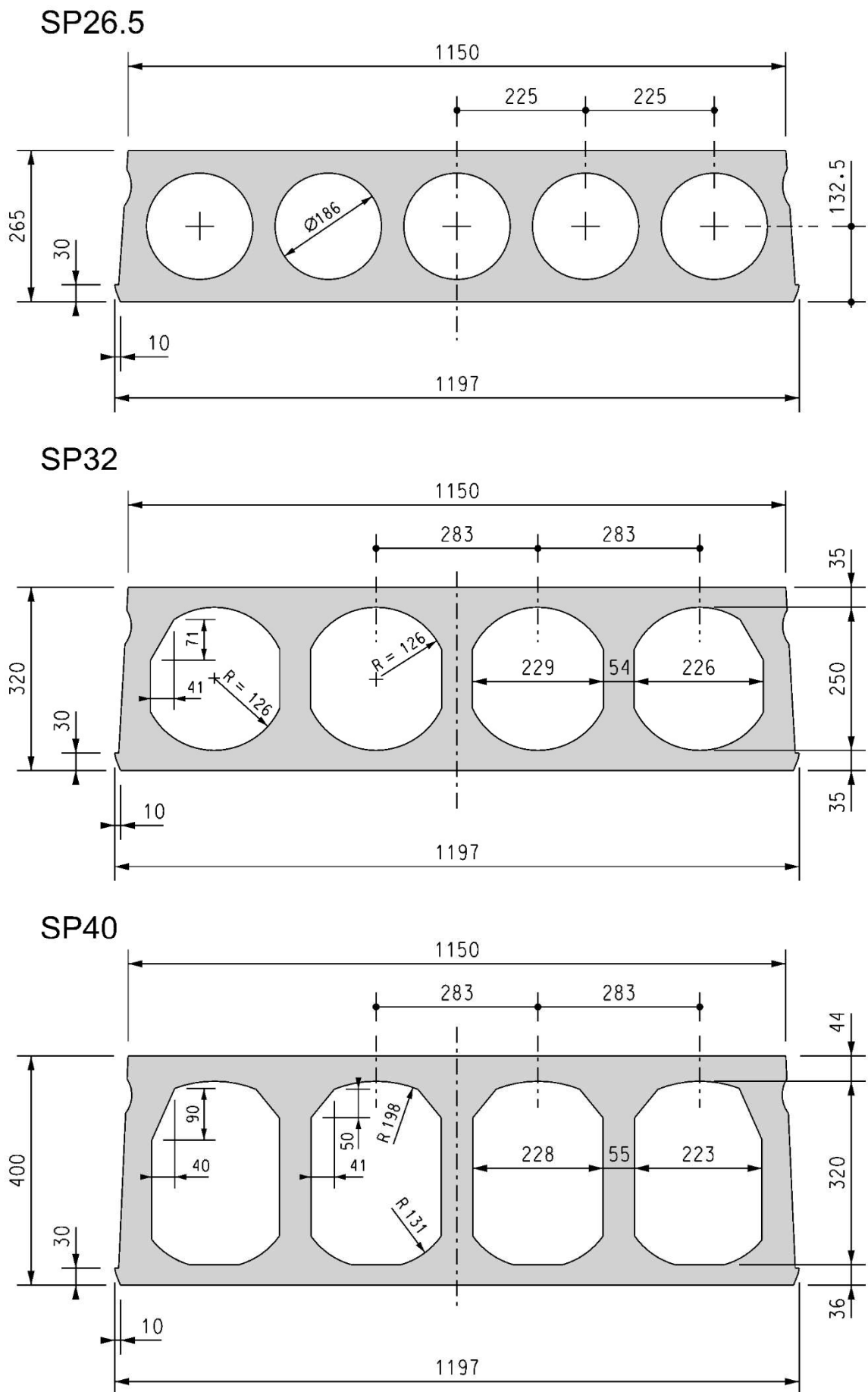
2.2.1. Ukształtowanie płyt SP

Podstawowy asortyment strunobetonowych płyt stropowych SP tworzy sześć typów płyt kanałowych o nominalnej wysokości: 200 mm, 220 mm, 265 mm, 320 mm, 400 mm i 410 mm. Odpowiednio do wysokości przekroju, płyty zostały oznaczone symbolami: SP20, SP22, SP26.5, SP32, SP40 i SP41. Profil płyt SP22 jest prostą modyfikacją profilu płyt SP20. Zrealizowano ją podnosząc urządzenie formujące betonową wstęgę (por. pkt.2.1.2) o 20 mm powyżej normalnej płaszczyzny pracy. Podobnie, płyty SP41 są transformacją płyt SP40, którą zrealizowano w analogiczny sposób. Wszystkie dostępne płyty SP mają jednakową szerokość modułową, równą 1200 mm (rys.2.1).

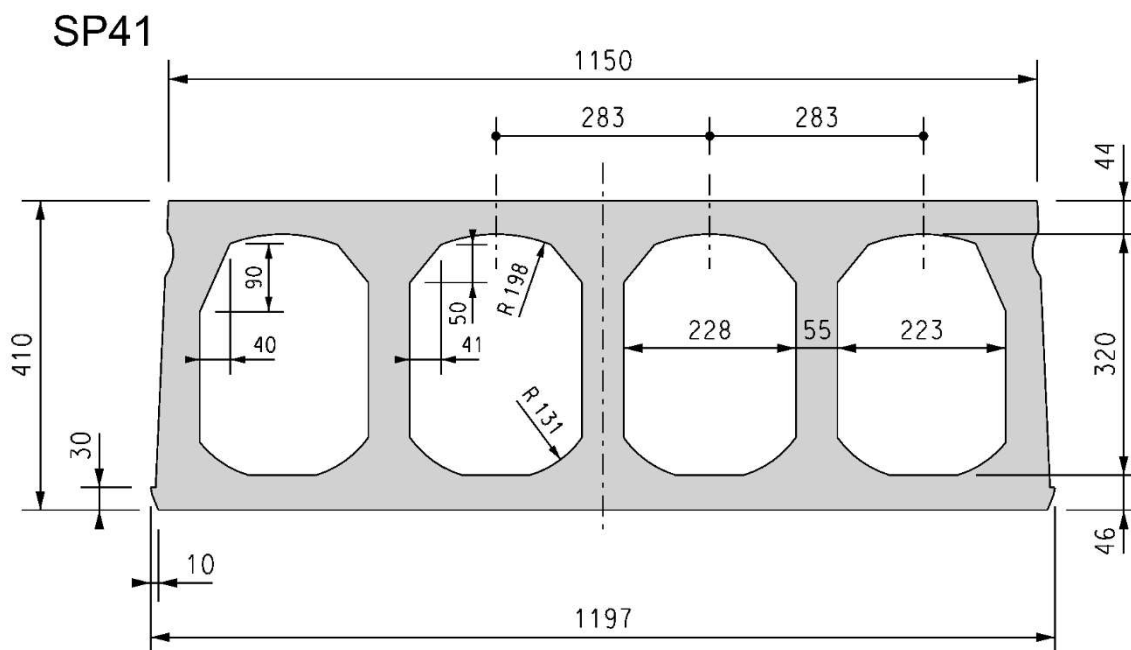
Profil każdej płyty i jej zbrojenie sprężające są stałe na długości, co wymuszone jest technologią w jakiej płyty są formowane (pkt.2.1.2). W zależności od typu, płyty SP posiadają odpowiednio sześć, pięć lub cztery podłużne kanały, rozmieszczone równomiernie na szerokości przekroju, symetrycznie względem pionowej płaszczyzny środkowej.



Rys.2.1 Profile poprzeczne płyt SP



Rys.2.1 c.d. Profile poprzeczne płyt SP



Rys.2.1 c.d. Profile poprzeczne płyt SP

Płyty SP20 i SP22 posiadają sześć kanałów o przekroju kołowym o średnicy 152 mm, rozmieszczonych co 187 mm osiowo. W płycie SP26.5 wydrążonych jest pięć okrągłych kanałów o średnicy 186 mm, w rozstawie osiowym 225 mm. Płyty SP32 i SP40 są topologicznie podobne – mają cztery kanały, rozmieszczone w odstępach osiowych co 283 mm. Kanały płyt SP32 mają kształt w formie koła ściętego po bokach pionowymi płaszczyznami, natomiast kanały płyt SP40 są owalne, wydłużone w kierunku pionowym; ich szerokość to, odpowiednio: 229 mm i 228 mm. Kanały skrajne w każdej z tych dwóch płyt są nieznacznie węższe i mają niesymetryczny przekrój. Szerokość i rozmieszczenie kanałów determinują grubość żebier (średników) każdej z płyt. Wewnętrzne żebra płyt SP mają szerokość od 35 mm – w płytach SP20 i SP22 - do 55 mm – w płytach SP40 (rys.2.1).

W bocznych powierzchniach płyt SP uformowane są wgłębienia o wysokości 50 mm i głębokości 10 mm, które kształtują złącza płyt. - Po wypełnieniu na budowie styków płyt drobnoziarnistym betonem (zob. pkt.9.3.1), między sąsiadującymi prefabrykatami powstaje rodzaj zamka (dybla), który posiada zdolność do przenoszenia sił poprzecznych, jakie mogą powstawać w stykach, gdy obciążenie sąsiadujących płyt nie będzie jednakowe. Tak ukształtowane złącza są również korzystne z punktu widzenia szczelności ogniowej gotowych stropów (zob. pkt.2.6.3). Boczne wręby pozwalają również uchwycić płyty zaciskami nożycowymi podczas ich przenoszenia i montażu (zob. pkt.11.2.1).

Standardowo płyty SP nie mają wbudowanych na stałe uchwytów transportowych, przez co do ich przenoszenia używać trzeba specjalne uchwyty zaciskowe lub zawieszia pętlowe (zob. pkt.11.2.1). Zależnie od potrzeb stałe uchwyty można zainstalować w gotowych prefabrykatach, w drugim etapie produkcji (pkt.11.2.2).

2.2.2. Dozwolony przedział rozpiętości

Technologia produkcji płyt SP (pkt.2.1.2) pozwala wytwarzać prefabrykaty o dowolnej długości, praktycznie bezstopniowo. Nie narzuca się żadnego modułu projektowego. Zakres dopuszczalnych rozpiętości płyt SP wynika wyłącznie z uwarunkowań statyczno-wytrzymałościowych. Dolna granica rozpiętości jest wymuszona mechaniką kotwienia strun w betonie, natomiast górna - techniczną przydatnością płyty, determinowaną jej nośnością użytkową. W tabl.2.1 podano dopuszczalny zakres rozpiętości, osiągalny przez izostatyczne przęsła płyt SP.

Zasadniczo nie powinno się wykonywać płyt krótszych niż rozpiętość minimalna, określona w tabl.2.1. W innym wypadku można doprowadzić do naruszenia nośności zakotwienia strun w betonie. Zastosowanie w konstrukcji stropu płyt krótszych od dolnej granicy przedziału powinno zostać poprzedzone dokładną analizą obliczeniową nośności zakotwienia strun w betonie i wpływu, jaki jej potencjalne osłabienie wywierać może na nośność zgięciową prefabrykatu. Długość płyty bezwzględnie nie może być mniejsza niż podwójna długość transferu siły sprężającej, czyli: $l \geq 2 \cdot l_{pt2}$ (por. pkt.3.2.2).

Tabl.2.1 Limity rozpiętości efektywnej przęseł płyt SP

Typ płyty	Rozpiętość minimalna	Rozpiętość maksymalna
	[cm]	
SP20	240	1080
SP22	240	1050
SP26.5	300	1290
SP32	300	1590
SP40	300	1890
SP41	300	1890

Maksymalna długość płyt wynikać będzie z dopuszczalnej rozpiętości przęsła i wymaganej głębokości oparcia na podporach (zob. tabl.9.1, pkt.9.2.1).

2.2.3. Materiały

Płyty SP wytwarzane są z betonu zwykłego klasy C50/60, zgodnego z wymaganiami normy [8]. Do produkcji mieszanki betonowej wykorzystywane są wyłącznie kruszywa mineralne, krzemianowe, o uziarnieniu do 16 mm. Jako spoiwo stosowany jest cement portlandzki CEM II/A-S 52,5 N. Do sprężania płyt SP używane są siedmiodrutowe sploty o średnicy $\varnothing 12,5$ mm ze stali Y1860.

2.3. Zbrojenie płyt SP

2.3.1. Standard zbrojenia

Płyty SP zbrojone są wyłącznie w kierunku podłużnym. Zbrojenie główne płyt stanowią struny sprężające w formie siedmiodrutowych splotów, wykonanych z drutów gładkich. Zastosowano jeden rodzaj strun – sploty o nominalnej średnicy zewnętrznej $\varnothing 12,5$ mm. Poszczególne warianty różnią się liczbą wbudowanych strun (pkt.2.3.2). Struny są wstępnie naprężane tak, że wartość naprężeń wstępnych w stali w żadnym przypadku nie przekracza 1100 MPa. Niektóre warianty charakteryzuje zwiększona grubość otulenia strun betonem, czego skutkiem jest wyższa odporność na działanie czynników zewnętrznych (pkt.2.6.2), w tym także wyższa odporność ogniowa (pkt.2.6.3).

Struny sprężające są jedynym rodzajem zbrojenia wbudowanego w płyty SP. Nie przewidziano żadnego zbrojenia uzupełniającego ze stali zwykłej, jak strzemion czy prętów rozdzielczych, a także prętów, jakie mogłyby zapewnić integrację płyt z konstrukcją nośną budynku (por. pkt.1.3). Wyeliminowanie zbrojenia miękkiego zostało wymuszone ograniczeniami technologii ekstruzji, jaka jest stosowana w produkcji płyt (pkt.2.1.2).

2.3.2. Systemowe warianty zbrojeń

Dla płyty SP zaprojektowano łącznie 35-wariantów zbrojenia sprężającego, które różnią się liczbą wbudowanych cięgien sprężających oraz ich rozłożeniem na planie przekroju. Dla płyt SP20 zaprojektowano sześć wariantów zbrojeń, dla płyt SP22 – dwa warianty, dla SP26.5 – osiem, dla płyt SP32 – dziewięć, dla płyt SP40 – sześć, a dla SP41 – cztery warianty zbrojeń. Ponadto w ramach podstawowych wariantów zbrojeń płyt SP32, SP40 i SP41 rozróżniono wersję zbrojenia A – pozbawioną zbrojenia górnego, oraz wersję zbrojenia B – ze zbrojeniem górnym. Wersja B jest zastosowana w płytach, których długość przekracza 13,0 m. Struny górne nie pełnią żadnej funkcji konstrukcyjnej podczas eksploatacji stropu; są natomiast niezbędne w fazie realizacji stropów. Zabezpieczają one płyty długie przed złamaniem podczas ich przenoszenia zestawem chwytakowym (zob. pkt.11.2.1). Ochrona materiałowo-strukturalna strun gwarantuje płytom odporność ogniową w dwóch klasach: REI60 i REI120 [31].

Poszczególne warianty płyt zostały oznaczone symbolem SP oraz liczbą charakteryzującą wysokość profilu (pkt.2.1.1(1)), po którym dodano liczbę strun zbrojenia głównego (dolnego), wersję oraz oznaczenie charakteryzujące jego nominalną ognioodporność (por. pkt.2.6.3). Listę wszystkich wariantów zbrojeń wszystkich płyt SP zestawiono w tabl.2.2. Z kolei na rys.2.2+2.7 zilustrowano szczegółowy rozkład strun na planie przekroju poprzecznego płyt.

Tabl.2.2 Zestawienie i charakterystyka wariantów zbrojeń płyt SP

Typ płyty	Klasa odporności ognio- wej	Oznaczenie wariantu zbrojenia	Liczba strun Ø12,5 mm	
			dolne	górne
			[szt.]	
SP20	REI60	SP20-4/REI60	4	-
		SP20-5/REI60	5	-
		SP20-6/REI60	6	-
		SP20-7/REI60	7	-
	REI120	SP20-5/REI120	5	-
		SP20-7/REI120	7	-
SP22	REI120	SP22-5/REI120	5	-
		SP22-7/REI120	7	-
SP26.5	REI60	SP26.5-4/REI60	4	-
		SP26.5-6/REI60	6	-
		SP26.5-8/REI60	8	-
		SP26.5-10/REI60	10	-
		SP26.5-12/REI60	12	-
	REI120	SP26.5-8/REI120	8	-
		SP26.5-10/REI120	10	-
		SP26.5-12/REI120	12	-
SP32	REI60	SP32-5/REI60	5	-
		SP32-8A/REI60	8	-
		SP32-8B/REI60	8	2
		SP32-10A/REI60	10	-
		SP32-10B/REI60	10	2
		SP32-11A/REI60	11	-
		SP32-11B/REI60	11	2
		SP32-13A/REI60	13	-
		SP32-13B/REI60	13	2
		SP32-14A/REI60	14	-
		SP32-14B/REI60	14	2
	REI120	SP32-8A/REI120	8	-
		SP32-8B/REI120	8	2
		SP32-11A/REI120	11	-
		SP32-11B/REI120	11	2
		SP32-14A/REI120	14	-
		SP32-14B/REI120	14	2
SP40	REI60	SP40-8A/REI60	8	-
		SP40-8B/REI60	8	2
		SP40-10A/REI60	10	-
		SP40-10B/REI60	10	2
		SP40-11A/REI60	11	-
		SP40-11B/REI60	11	2
		SP40-13A/REI60	13	-
		SP40-13B/REI60	13	2
		SP40-14A/REI60	14	-
		SP40-14B/REI60	14	2
		SP40-16A/REI60	16	-
		SP40-16B/REI60	16	2
SP41	REI120	SP40-11A/REI120	11	-
		SP40-11B/REI120	11	2
		SP40-13A/REI120	13	-
		SP40-13B/REI120	13	2
		SP40-14A/REI120	14	-
		SP40-14B/REI120	14	2
		SP40-16A/REI120	16	-
		SP40-16B/REI120	16	2

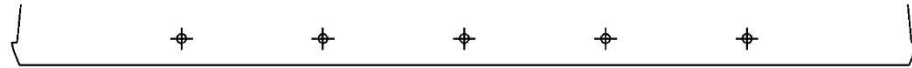
SP20-4/REI60

4Ø12,5



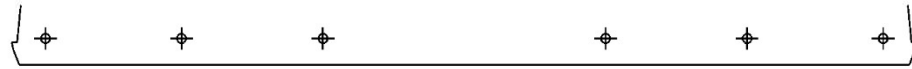
SP20-5/REI60

5Ø12,5



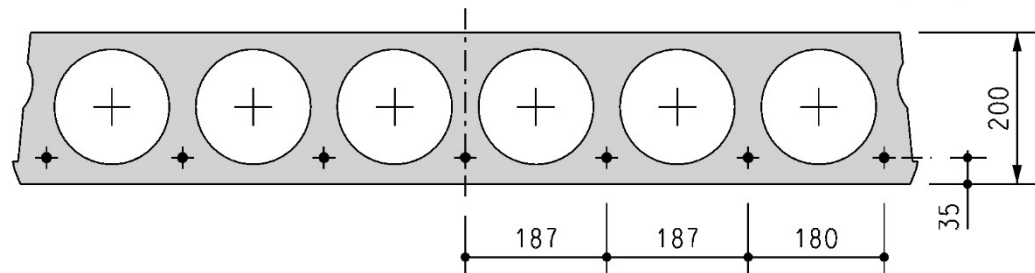
SP20-6/REI60

6Ø12,5



SP20-7/REI60

7Ø12,5



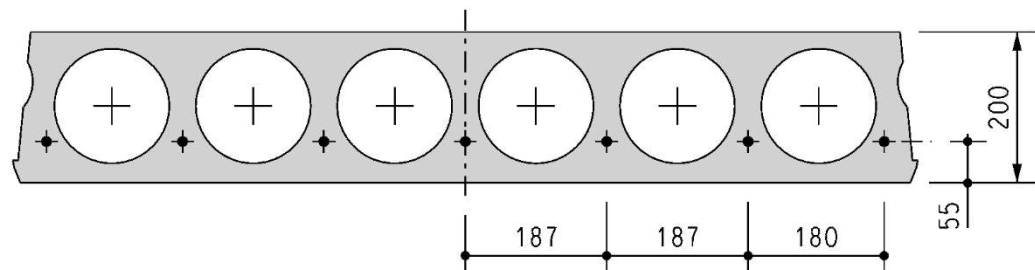
SP20-5/REI120

5Ø12,5



SP20-7/REI120

7Ø12,5

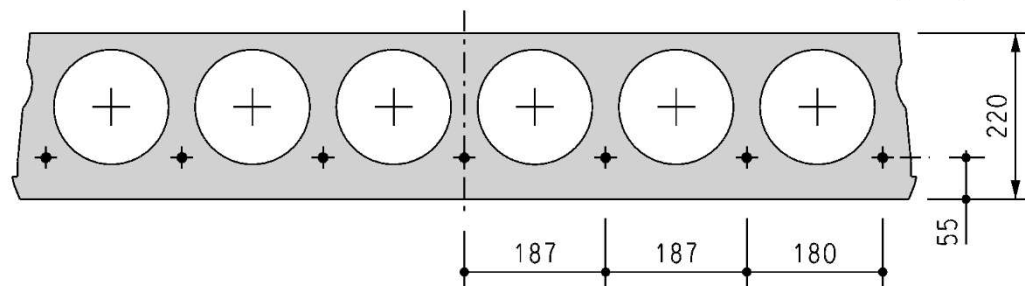


Rys.2.2 Warianty zbrojenia płyt SP20

SP22-5/REI120

 $5\varnothing 12,5$ 

SP22-7/REI120

 $7\varnothing 12,5$ 

Rys.2.3 Warianty zbrojenia płyt SP22

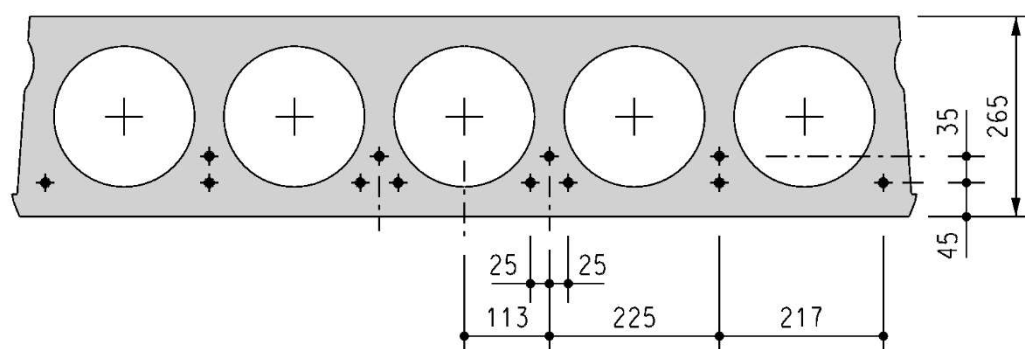
SP26.5-8/REI120

 $8\varnothing 12,5$ 

SP26.5-10/REI120

 $10\varnothing 12,5$ 

SP26.5-12/REI120

 $12\varnothing 12,5$ 

Rys.2.4 Warianty zbrojenia płyt SP26.5 (REI120)

SP26.5-4/REI60

 $4\varnothing 12,5$


SP26.5-6/REI60

 $6\varnothing 12,5$

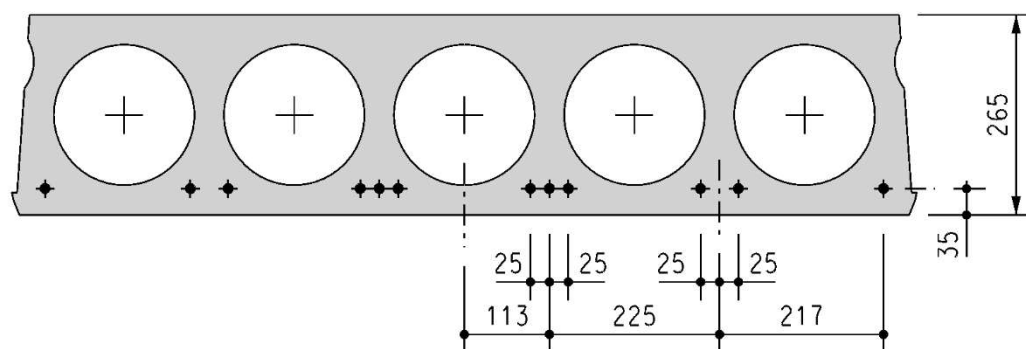

SP26.5-8/REI60

 $8\varnothing 12,5$


SP26.5-10/REI60

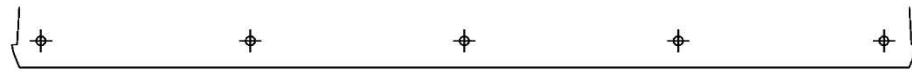
 $10\varnothing 12,5$


SP26.5-12/REI60

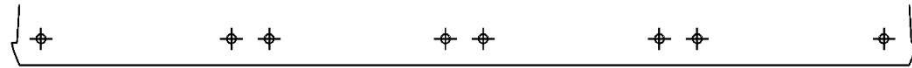
 $12\varnothing 12,5$


Rys.2.4 c.d. Warianty zbrojenia płyt SP26.5 (REI60)

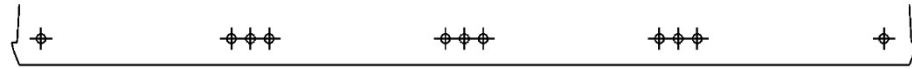
SP32-5/REI60

5 $\varnothing 12,5$


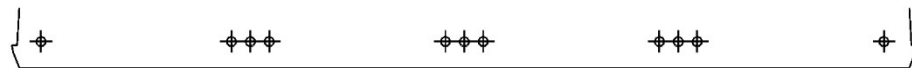
SP32-8/REI60

8 $\varnothing 12,5$


SP32-10/REI60

10 $\varnothing 12,5$


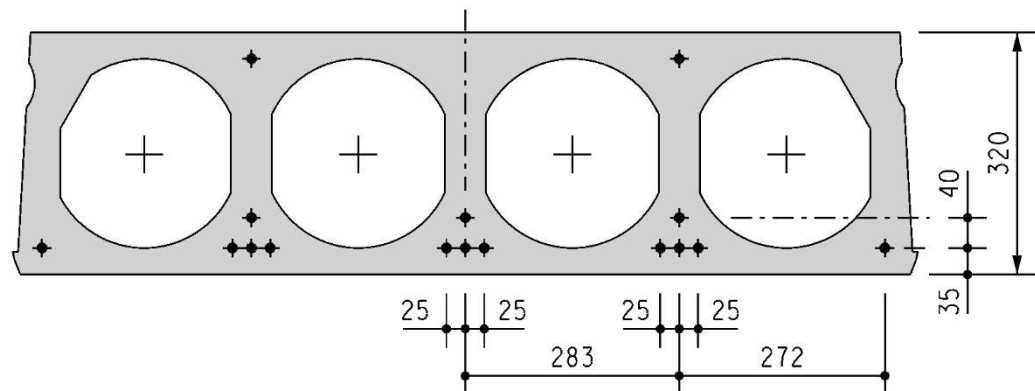
SP32-11/REI60

11 $\varnothing 12,5$


SP32-13/REI60

13 $\varnothing 12,5$


SP32-14/REI60

14 $\varnothing 12,5$


Rys.2.5 Warianty zbrojenia płyt SP32 (REI60)

SP32-8/REI120

8 $\varnothing 12,5$



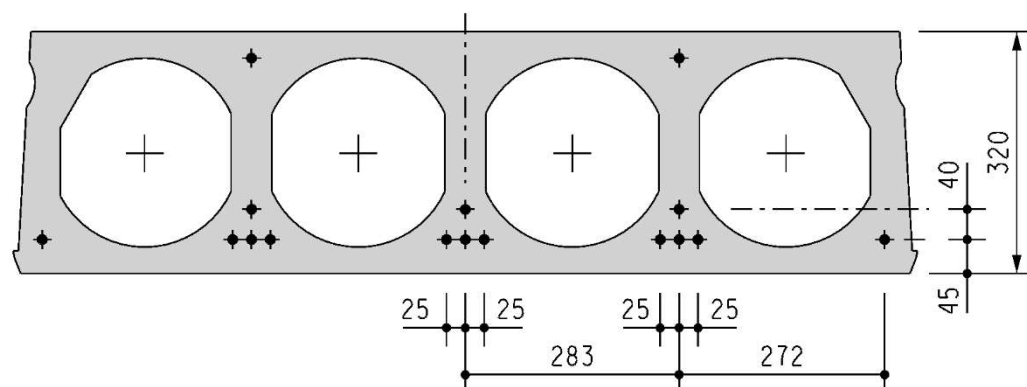
SP32-11/REI120

11 $\varnothing 12,5$



SP32-14/REI120

14 $\varnothing 12,5$



Rys.2.5 c.d. Warianty zbrojenia płyt SP32 (REI120)

SP40-8/REI60

8 $\varnothing 12,5$ 

SP40-10/REI60

10 $\varnothing 12,5$ 

SP40-11/REI60

11 $\varnothing 12,5$ 

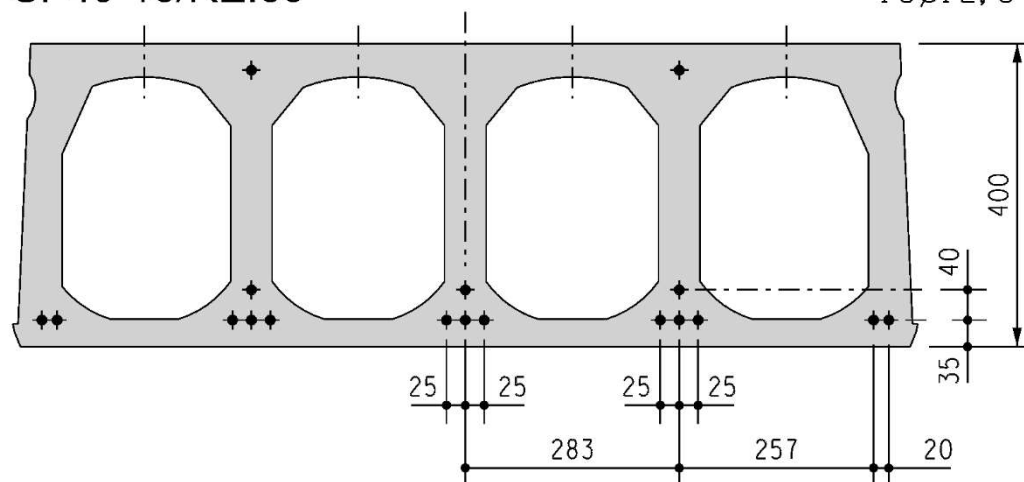
SP40-13/REI60

13 $\varnothing 12,5$ 

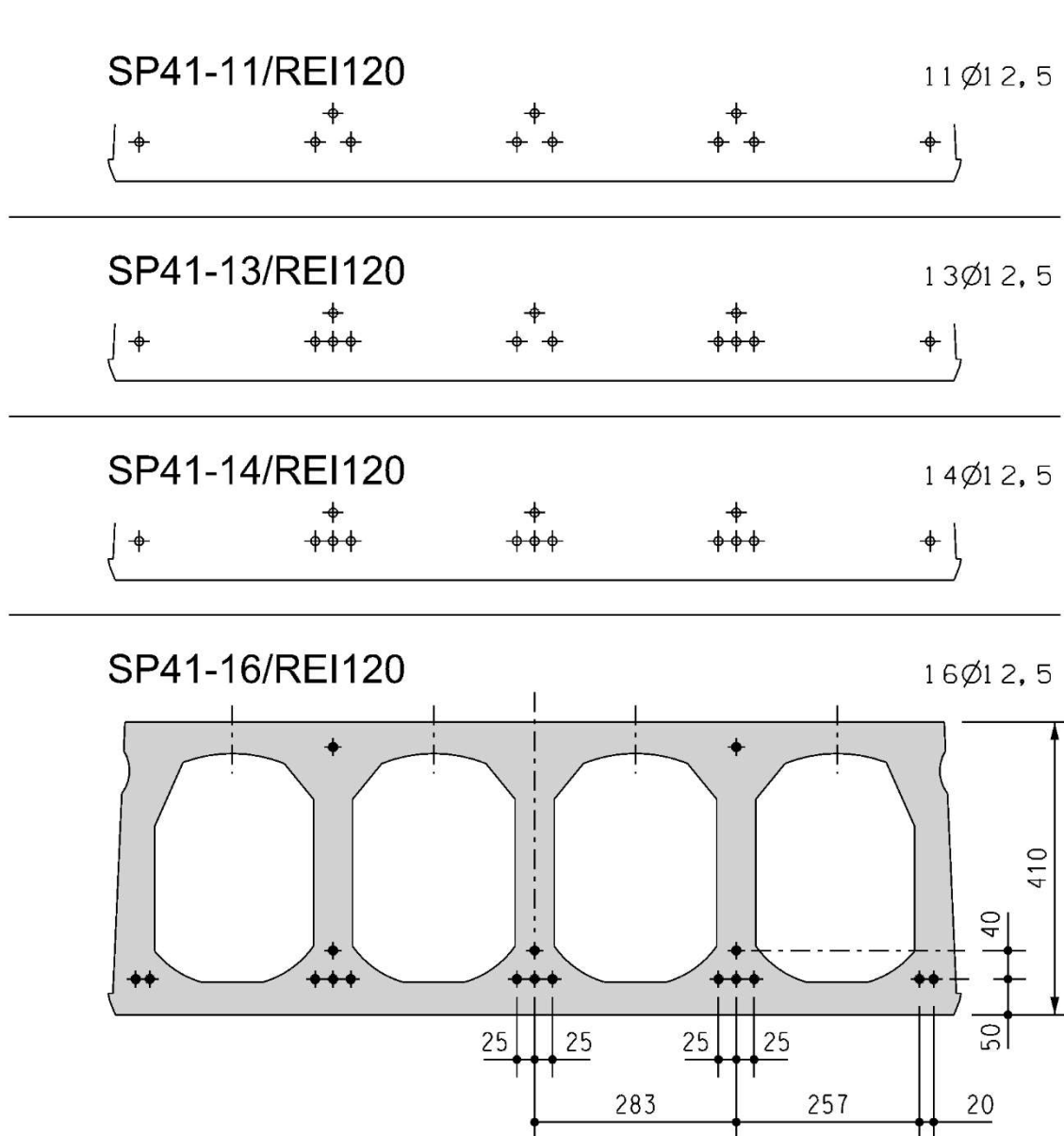
SP40-14/REI60

14 $\varnothing 12,5$ 

SP40-16/REI60

16 $\varnothing 12,5$ 

Rys.2.6 Warianty zbrojenia płyt SP40



Rys.2.7 Warianty zbrojenia płyt SP41

Zbrojenie górne pokazane na rys.2.5÷2.7 jest wbudowywane tylko w wersji B, czyli wówczas gdy długość płyty przekracza 13,0 m.

2.4. Kształtowanie płyt uzupełniających

2.4.1. Informacje ogólne

Technologia ekstruzji betonu (pkt.2.1.2) pozostawia możliwość kształtowania płyt SP w szerokim zakresie kształtów, adekwatnie do indywidualnych potrzeb, spotykanych często w projektowanych budynkach. Świeżo uformowane lub już gotowe płyty podstawowe poddaje się w drugim etapie produkcji dalszym zabiegom technologicznym, w wyniku których kształt gotowej płyty (jej plan oraz forma i położenie detali) zostaje dostosowany do lokalnych wymagań. Stosuje się tu dwa rodzaje zabiegów technicznych: docinanie płyt podstawowych oraz obróbkę ubytkową (na sucho lub na mokro).

Plan płyt można swobodnie kształtować poprzez podłużne rozcięcie, albo poprzez poprzeczne docięcie pod kątem płyty podstawowej (pkt.2.4.6 i pkt.2.4.7). Pozwala to z dużą elastycznością uformować obrys prefabrykatu. Z kolei, obróbka ubytkowa umożliwia wykonanie w płytach różnego rodzaju perforacji (pionowej i poziomej). Perforacja pionowa może mieć formę prostokątnych lub okrągłych wycięć (pkt.2.4.3, pkt.2.4.4), albo okrągłych lub owalnych otworów (pkt.2.4.5), natomiast perforacja pozioma - formę otworu, wnęki lub gniazda.

W wyniku opisanych wyżej zabiegów otrzymuje się prefabrykaty nazywane dalej płytami uzupełniającymi. Takie płyty dopełniają asortyment płyt podstawowych, ułatwiając konstruowanie stropów

w miejscach nieregularnych. Są szczególnie przydatne tam, gdzie konieczne jest uniknięcie kolizji stropów z innymi elementami budynku oraz tam gdzie niezbędne jest wykonanie połączenia stropu z innym elementem konstrukcji, wylewanym na budowie (wieńcem, belką podporową i in.). Nie istnieje zamknięty zestaw płyt uzupełniających. Sformułowano natomiast zbiór reguł jakimi należy się kierować przy projektowaniu takich prefabrykatów; są one tematem tego podrozdziału. Ten aspekt decyduje o dużej elastyczności systemu płyt stropowych SP.

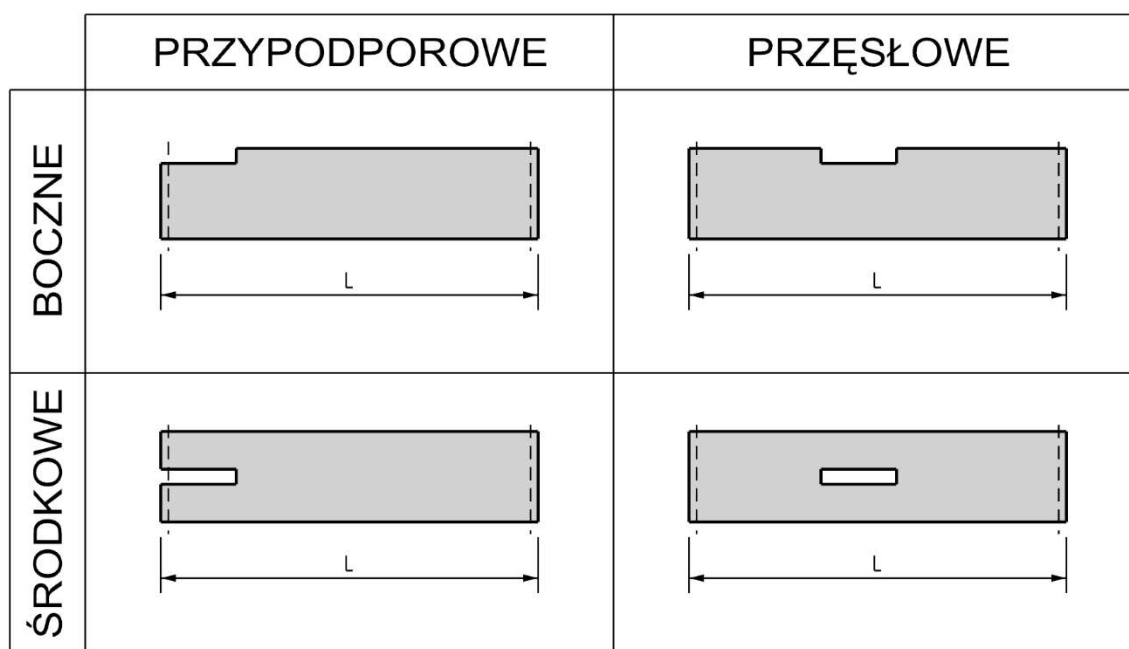
Poprzeczne docinanie prefabrykatów podstawowych pod kątem daje możliwość wykonania płyt o kształcie nieprostokątnym, takim jak trapezowy, rombowy lub w formie innego nieregularnego wieloboku (pkt.2.4.7). Płyty docinane poprzecznie ułatwiają przede wszystkim wykonanie stropów w budynkach o nieprostokątnym rzucie poziomym, gdzie krawędzie podporowe stropu nie są do siebie równoległe. Z kolei, w wyniku podłużnego rozcięcia płyty podstawowej otrzymuje się pasma płyt, o szerokości mniejszej niż modułarna (pkt.2.4.6). Zwężone pasma płyt pozwalają dokładnie rozplanować prefabrykowane płyty w traktach lub nawach budynku o dowolnej długości, bez potrzeby uzupełniania stropu elementami wylewanymi na budowie.

Pionowa perforacja płyt umożliwia z kolei przeprowadzenie przez strop różnego rodzaju przewodów lub zblokowanych pionów instalacyjnych (szachtów), a także pozwala ominąć pionowe elementy konstrukcji nośnej budynku, takie jak słupy i pilastry. Wykonana w bryle prefabrykatu perforacja pozioma stwarza natomiast możliwość wprowadzenia do wnętrza płyt prętów zbrojeniowych oraz betonu uzupełniającego, jakie są niezbędne do skonstruowania potrzebnych węzłów i połączeń płyt z elementami ustroju nośnego budynku wylewanymi na budowie (zob. pkt.9.3).

Płyta uzupełniająca może być wykonana z dowolnej płyty podstawowej SP, z podłużnym zbrojeniem sprężającym zgodnym z jednym z wariantów zbrojenia (pkt.2.3), o ile dalej nie wykluczono użycia danego wariantu w szczególnym przypadku. Perforację pionową oraz podłużne i poprzeczne docinanie płyt można projektować tylko zgodnie z wytycznymi podanymi w dalszej treści tego podrozdziału.

W płytach SP można wykonać dwa podstawowe rodzaje perforacji pionowej: okrągłe lub podłużne (owalne) otwory oraz prostokątne lub okrągłe wycięcia.

Terminem – otwór – nazywany jest dalej taki rodzaj perforacji, który nie narusza pionowych ścianek profilu (żeber). Otwór może więc zostać wykonany w półce dolnej lub górnej, względnie na wskroś całej płyty, lecz tylko przez jeden z podłużnych kanałów (pkt.2.4.5). Termin – wycięcie – charakteryzuje natomiast perforację powstałą w wyniku usunięcia z podstawowego prefabrykatu dużego płała powierzchni, wraz z żebrami (środknikami) i wbudowanym w nie zbrojeniem. Ze względu na miejsce występowania rozróżnia się dalej wycięcia przypodporowe (pkt.2.4.2) oraz wycięcia przęsłowe (pkt.2.4.3). Każde z nich może być z kolei wykonane jako wycięcia boczne, ingerujące w jedno z dwóch skrajnych żeber płyty, albo środkowe, powstałe po usunięciu fragmentu żeber środkowych. Wszystkie rodzaje wycięć, jakie można wykonać w płytach SP zilustrowano poglądowo rys.2.8.



Rys.2.8 Dopuszczalne rodzaje wycięć w płytach SP

Otwory w płytach SP mogą być wykonywane w wytwórni lub na budowie. Wykonując otwory na budowie należy je wywiercić mechanicznie, przy użyciu bezударowej wiertnicy z wiertłem koronowym. Ze względu na ryzyko doprowadzenia do uszkodzeń żeber lub odłupania otuliny strun, otworów nie wolno w płytach przebijać (wykuwać). Wszelkie wycięcia w płytach SP oraz poprzeczne i podłużne docinanie można wykonywać tylko w fabryce i tak przygotowaną płytę dostarczyć na budowę.

Otwory i wycięcia mogą być wykonywane tylko w ściśle określonych, skatalogowanych rozmiarach, które zestawiono w tabl.2.3.

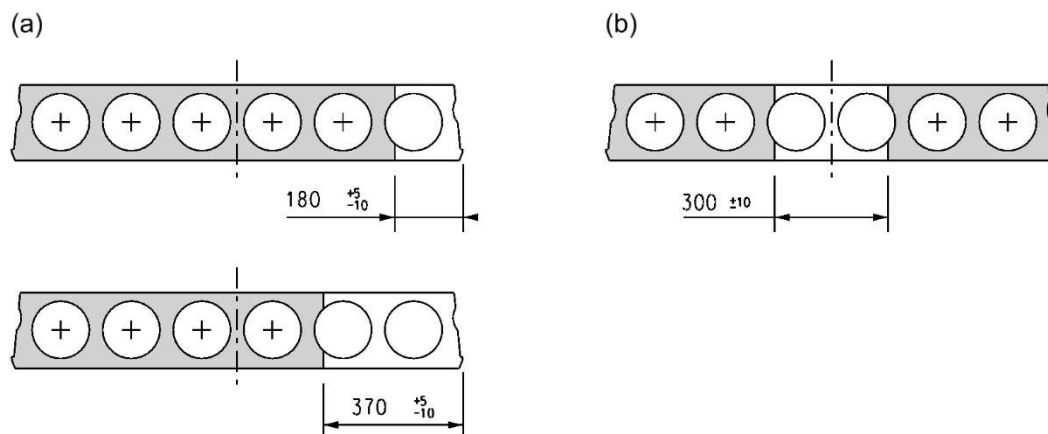
Tabl.2.3 Zestawienie dopuszczalnych szerokości wycięć oraz średnic otworów w płytach SP [mm]

Typ płyty	Szerokość wycięć przypodporowych i przęsłowych				Maksymalna średnica otworów
	boczne		środkowe		
SP20, SP22	180	370 ¹⁾	300	-	120
SP26.5	200	420 ¹⁾	320	550	120
SP32	250	-	420	-	150
SP40, SP41	250	-	420	-	160

¹⁾ - nie należy stosować bez wzmocnienia w warunkach częściowego zamocowania płyt na podporach (zob. rozdz.8)

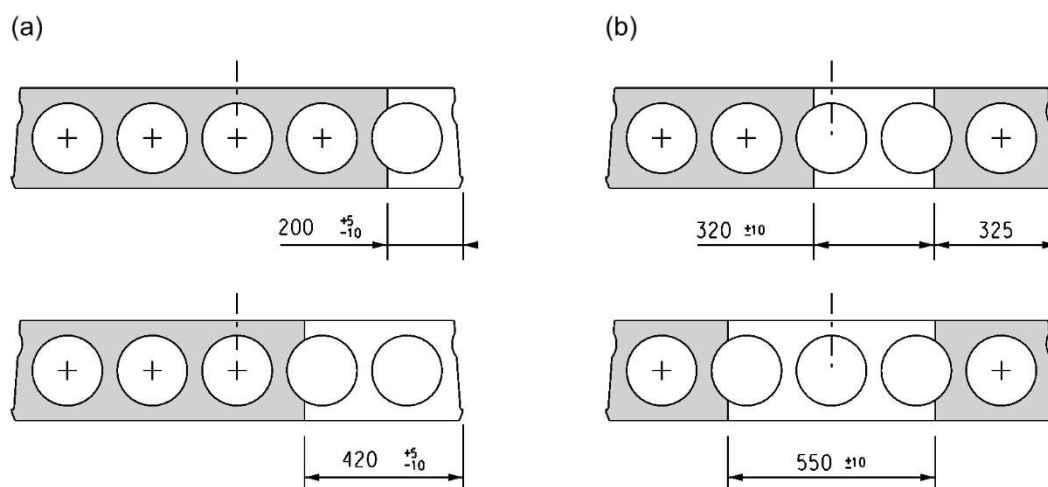
¹⁾ - nie należy stosować bez wzmocnienia w warunkach częściowego zamocowania płyt na podporach (zob. rozdz.8)

Na rys.2.9÷2.12 pokazano przekroje poprzeczne płyt w miejscach wycięć (bocznych i środkowych), jakie można wykonać w płytach SP, a w kolejnych punktach tego podrozdziału (od pkt.2.4.2 do pkt.2.4.5) opisano szczegółowo poszczególne rodzaje perforacji oraz zasady jej prawidłowego rozplanowania. Szczegółowe zasady kształtowania płyt zwężonych zamieszczono w pkt.2.4.6, a zasady docinania płyt poprzecznie pod kątem – w pkt.2.4.7.



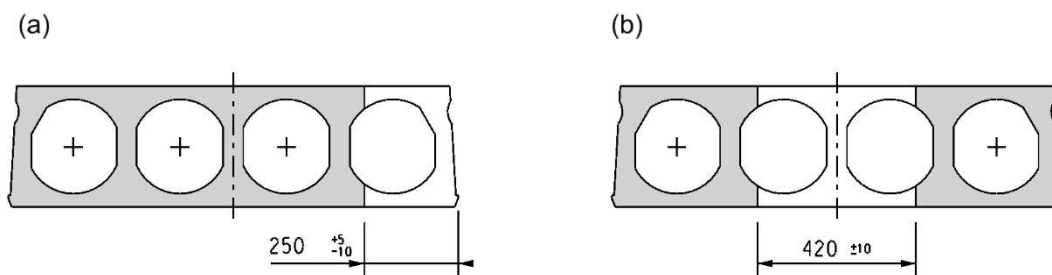
Rys.2.9 Przekroje poprzeczne płyt SP20 (SP22) w miejscach wycięć:

(a) wycięcia boczne, przyporowe i przęsłowe
(b) wycięcia środkowe, przyporowe i przęsłowe



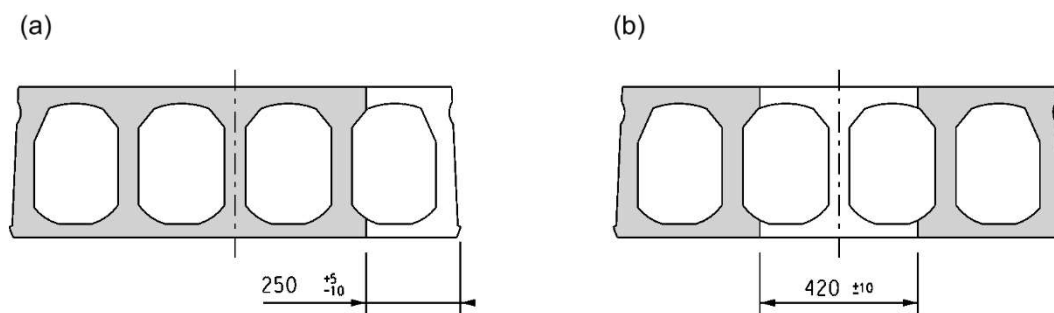
Rys.2.10 Przekroje poprzeczne płyt SP26.5 w miejscach wycięć:

(a) wycięcia boczne, przyporowe i przęsłowe
(b) wycięcia środkowe, przyporowe i przęsłowe



Rys.2.11 Przekroje poprzeczne płyt SP32 w miejscach wycięć:

- (a) wycięcia boczne, przypodporowe i przęsłowe
(b) wycięcia środkowe, przypodporowe i przęsłowe



Rys.2.12 Przekroje poprzeczne płyt SP40 (SP41) w miejscach wycięć:

- (a) wycięcia boczne, przypodporowe i przęsłowe
(b) wycięcia środkowe, przypodporowe i przęsłowe

Zwężone pasma płyt wykonuje się przez podłużne rozcięcie wykonanej uprzednio płyty podstawowej (pkt.2.4.6). Cięcie podłużne może być zrealizowane tylko wzdłuż jednego z kanałów płyty. Po jednokrotnym rozcięciu płyty podstawowej otrzymuje się dwa niesymetryczne elementy, a po kilkakrotnym przecięciu można wyprodukować elementy o przekroju symetrycznym. Obydwe wersje, symetryczna i niesymetryczna, dopełniają się wzajemnie pozwalając wykonać prefabrykaty o praktycznie dowolnej szerokości, bezstopniowo. W tabl.2.4 przedstawiono zakres szerokości pasm, jakie można zrealizować rozcinając płyty podstawowe SP.

Tabl.2.4 Zakres szerokości zwężonych pasm płyt SP [mm]

Typ płyty	Pasma niesymetryczne		Pasma symetryczne	
	minimalna	maksymalna	minimalna	maksymalna
SP20, SP22	445	1125	255	1050
SP26.5	325	1100	350	1000
SP32	390	1095	425	990
SP40, SP41	380	1105	405	1010

W kolejnych punktach tego podrozdziału opisano szczegółowo wymagania jakie spełniać muszą płyty perforowane pionowo. Wytyczne dotyczące perforacji poziomej, przewidzianej dla specjalnych zastosowań, są natomiast opisane w kolejnych rozdziałach tej instrukcji, przy omawianiu zagadnień technicznych, dla których ten rodzaj perforacji jest przeznaczony.

2.4.2. Kształtowanie wycięć przypodporowych

Wycięcie przypodporowe, boczne lub środkowe, może mieć formę prostokąta. Powstaje ono w wyniku usunięcia z prefabrykatu podstawowego końcowego (przypodporowego) płata powierzchni. W ten sposób z bryły prefabrykatu wycięty zostaje odcinek jednego lub dwóch żebier (pionowych ścianek) profilu, co prowadzi do naruszenia podporowej krawędzi elementu. Wskutek tego, skrócone żebro płyty nie sięgają do podpory i nie mają zapewnionego podparcia bezpośredniego.

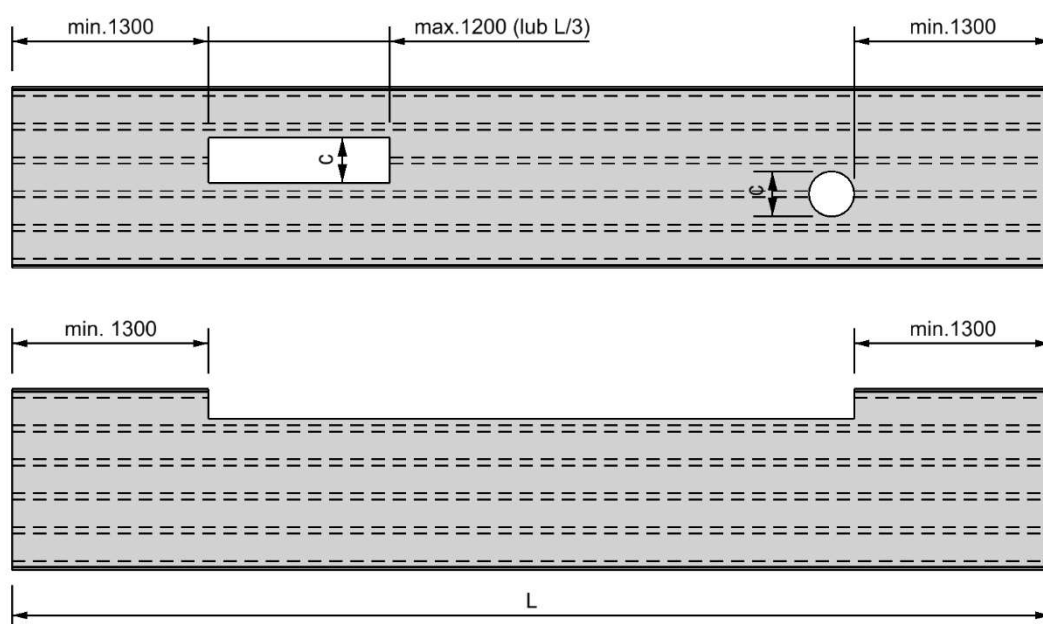
Obydwa rodzaje wycięć przypodporowych jakie można wykonać w płytach SP (boczne i środkowe; pkt.2.4.1) mogą być zrealizowane tylko w szerokościach, które dla każdego typu płyt SP zostały ściśle określone w tabl.2.3 i zilustrowane na rys.2.9+2.12. W każdym przypadku długość wycięcia przypodporowego, mierzona równolegle do długości płyty, nie może być większa niż 130 cm i jednocześnie nie powinna być większa niż 0,15 długości płyty.

Należy ponadto przestrzegać innych ograniczeń podanych w tabl.2.3.

2.4.3. Kształtowanie wycięć przęsłowych

Wycięcie przęsłowe, niezależnie od położenia na szerokości płyty, może mieć kształt prostokąta albo koła. Niezależnie od kształtu, otrzymuje się je po usunięciu z podstawowego prefabrykatu fragmentu powierzchni w środkowej części elementu, wskutek czego wycięte zostają odcinki jednego lub dwóch żebier (pionowych ścianek) profilu w pewnym oddaleniu od krawędzi podporowych. Wycięcie przęsłowe musi zostać lokowane poza końcowymi (przypodporowymi) odcinkami płyty o długości 130 cm (rys.2.13). W konsekwencji, tak uformowana płyta nie ma naruszonych krawędzi podporowych, ani stref przypodporowych. Płyta z tak umiejscowionymi wycięciami ma też zapewnione podparcie bezpośrednie na obydwu końcach, na całej szerokości prefabrykatu.

Wycięcia przęsłowe w płytach SP, boczne i środkowe, podobnie jak wycięcia przypodporowe, mogą być wykonane tylko w ściśle określonych rozmiarach. Dla każdego typu płyty SP dopuszczalne szerokości wycięć prostokątnych podano w tabl.2.3 i na rys.2.9÷2.12. Wycięcia przęsłowe boczne można projektować o dowolnej długości, ograniczonej długością płyty i wymaganą długością nienaruszonych odcinków końcowych. Z kolei wycięcie przęsłowe środkowe nie powinno być dłuższe niż modułarna szerokość płyty – 120 cm (rys.2.13). Jeżeli płyta obciążona będzie równomiernie, długość takiego wycięcia może zostać zwiększona do nie więcej niż 1/3 długości prefabrykatu. Muszą być przy tym zachowane wymagania szczególne, określone w pkt.2.4.4, jeżeli w obrębie jednego prefabrykatu miałyby być wykonanych kilka wycięć.



Rys.2.13. Sytuowanie wycięć przęsłowych na planie płyt

2.4.4. Rozmieszczanie wycięć na planie płyt

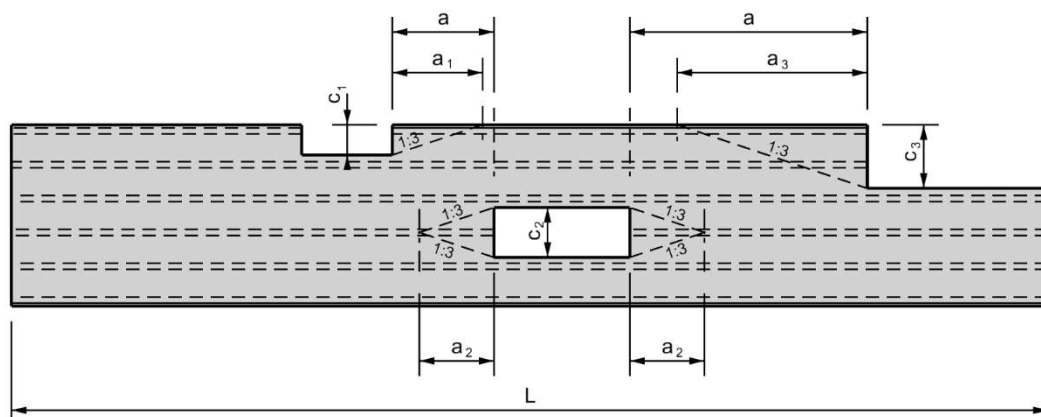
W jednej płycie SP wykonać można kilka wycięć przypodporowych i przęsłowych. W takim przypadku każde musi spełniać wymagania określone w pkt.2.4.2 i pkt.2.4.3, odpowiednio. Ponadto, wzajemne usytuowanie wycięć na planie prefabrykatu nie może doprowadzić naruszenia jego integralności (spękania, albo rozpadu na kilka części), jak również powodować nadmiernego osłabienia jego nośności (zob. pkt.5.3.4).

Aby te postulaty były spełnione, wycięcia powinny być odpowiednio oddalone od siebie, tak by wzajemne wpływy sąsiednich wycięć nie kumulowały się w jednym przekroju poprzecznym. Dystans między sąsiednimi wycięciami powinien łagodzić, wymuszony perforacją, nierównomierny rozkład naprężeń w betonie (w dolnej i górnej półce przekroju) oraz zapewnić stronom, które zostały przecięte wycięciem, odpowiednią nośność zakotwienia. W związku z powyższym, odległość między kolejnymi wycięciami (mierzona wzdłuż płyty) nie powinna być mniejsza niż długość zakotwienia strun (jeżeli wycięcie przecina struny), i nie mniejsza niż długość niezbędna do wyrównania naprężeń w przekroju.

Można przyjąć, że drugi z warunków będzie spełniony, jeżeli sąsiednie wycięcia zostaną ułożone poza zasięgiem martwych (niepracujących) stref naprężeń, jakie powstają za każdym z prostokątnych wycięć. Długość takiej strefy można wyznaczyć graficznie, wyprowadzając z naroży wycięcia linie w skosie 1:3 (rys.2.14). Punkt przecięcia tych linii (w przypadku wycięcia środkowego) lub przecięcie linii z boczną krawędzią płyty (w przypadku wycięcia bocznego) wyznacza długość trójkątnego pola strefy ściskanej, wyłączonego z pracy. W konsekwencji, zasięg martwej strefy przekroju

będzie równy: $a = 3 \cdot c$ - dla wycięcia bocznego lub $a = 1,5 \cdot c$ - w przypadku wycięcia środkowego (prostokątnego i okrągłego).

Sąsiednie wycięcia powinny być oddalone od siebie o większą z dwóch wartości a , wyznaczonych dla każdego z sąsiadujących wycięć. Opisaną wyżej zasadę wyznaczania niezbędnego dystansu między wycięciami zilustrowano na rys.2.14.

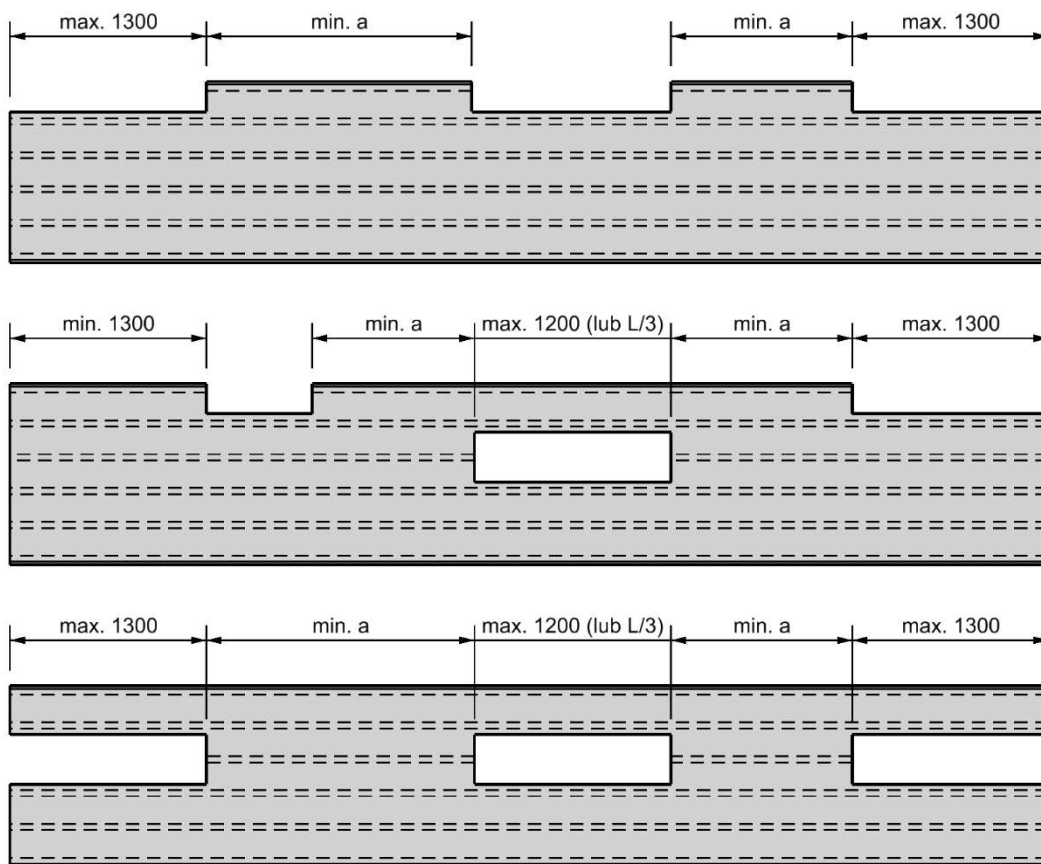


Rys.2.14. Zasada wyznaczania długości martwej strefy górnej półki przekroju

Jeżeli wycięcie nie przecina żadnej struny (gdy przecina niezbrojone żebro płyty), powyższy warunek jest warunkiem dostatecznym. W przeciwnym wypadku, minimalny dystans między wycięciami należy ograniczyć również długością zakotwienia strun. Długości zakotwienia strun, uzależnione od siły wstępnego naciągu, zestawiono w tabl.3.3 (pkt.3.2.2). Formalnie wyraża to warunek (rys.2.14):

$$a \geq \max\{a_i, a_{i+1}, l_{bpd}\} \quad i = 1, 2, \dots, n-1 \quad (2.1)$$

w którym: n – liczba wycięć w płycie.



a - wg formuły (2.1)

Rys.2.15 Zasady prawidłowego rozmieszczenia wycięć na planie płyt SP

Ponadto, aby zabezpieczyć prefabrykat przed dezintegracją, a także by wykluczyć niekorzystną pracę statyczną perforowanego elementu, wycięcia w płytach SP należy rozmieścić tak, aby spełnione zostały następujące warunki dodatkowe:

- 1) przy jednej podporze wykonać można tylko jedno wycięcie przypodporowe,
- 2) jeżeli przy jednej z podpór płyty zostanie zaprojektowane przypodporowe wycięcie środkowe, wówczas przy przeciwległej podporze nie należy projektować wycięcia bocznego; można natomiast w tym miejscu wykonać przypodporowe wycięcie środkowe,
- 3) w jednym prefabrykacie można zaprojektować kilka wycięć bocznych (dwa przypodporowe i kilka przęsłowych), przy czym wszystkie powinny być ułożone przy tej samej bocznej krawędzi płyty.

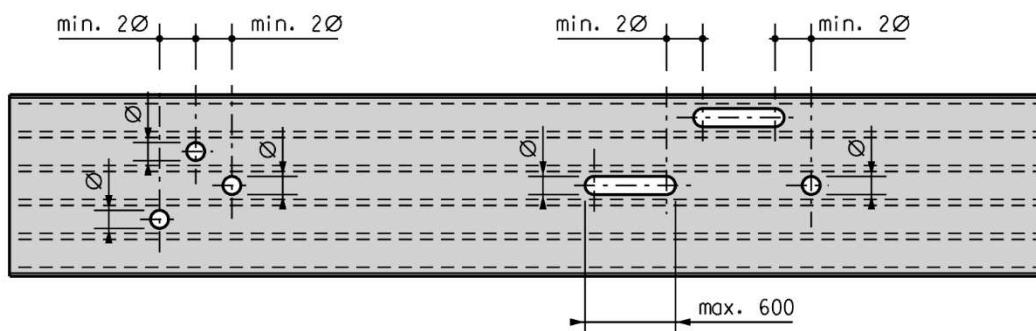
Przykłady płyt SP z różnymi rodzajami wycięć, które rozmieszczono według opisanych wyżej reguł, przedstawiono na rys.2.15.

2.4.5. Otworowanie płyt SP

Wszelkie otwory w płytach SP należy rozmieszczać w taki sposób, by ich oś pionowa znajdowała się dokładnie w płaszczyźnie osi jednego z podłużnych kanałów płyty. Średnica otworów okrągłych oraz szerokość otworów podłużnych (mierzona w kierunku szerokości płyty) nie może być większa od maksymalnej, określonej dla każdego typu płyt SP w tabl.2.3. Otwory podłużne powinny mieć wyokrąglone zakończenia, których średnica powinna być równa szerokości otworu. Długość otworów podłużnych, nie powinna być większa niż 600 mm.

W jednym prefabrykacie podstawowym wykonać można kilka otworów, przy czym ich wzajemne położenie powinno być zaplanowane tak, by żaden przekrój poprzeczny płyty nie został osłabiony więcej niż jednym. To wymaganie będzie spełnione, gdy osie sąsiadujących otworów będą przesunięte względem siebie w kierunku podłużnym o dystans nie mniejszy od dwukrotnej średnicy otworu. Oprócz tego, otwory nie powinny być wykonywane na tych odcinkach płyt, które zostały już osłabione wycięciem przypodporowym lub przęsłowym (pkt.2.4.3 i pkt.2.4.4).

Na rys.2.16 zilustrowano opisane wyżej zasady rozmieszczania otworów na planie płyt SP. Ich przestrzeganie nie powoduje istotnego osłabienia nośności prefabrykatów, ani nie wpływa na stany graniczne użytkowalności.



Rys.2.16 Ogólne zasady rozmieszczania otworów w płytach SP

Przestrzeganie opisanych wyżej reguł dotyczących wzajemnego położenia otworów na planie płyt SP nie jest obligatoryjne. Konieczność zachowania maksymalnych rozmiarów i minimalnego dystansu do otworów sąsiednich może nierzadko ograniczyć swobodę projektowania instalacji, albo całkowicie wykluczyć z użycia niektóre rozwiązania wyposażenia technicznego budynków. Aby tego rodzaju niedogodności zredukować do minimum, dopuszcza się odstępstwa od omawianych zasad. Należy jednak mieć na uwadze potencjalne skutki takich działań.

Jakiegokolwiek odstępstwo od przedstawionych wyżej wytycznych otworowania płyt SP może doprowadzić do redukcji nośności prefabrykatu w stopniu, który nie pozostanie bez wpływu dla stanów granicznych ustroju stropowego. Z tego powodu, każde indywidualne, odmienne od opisanych zasad, rozwiązanie otworowania płyt wymaga obliczeniowego oszacowania konsekwencji jego zastosowania dla pracy statycznej i nośności ustroju. Odpowiednie obliczenia wykonać należy indywidualnie i, jeżeli udokumentuje się obliczeniowo wystarczającą nośność płyt, takie szczególne rozwiązanie otworowania może być zastosowane.

2.4.6. Kształtowanie płyt zwężonych

Z podstawowych płyt SP, o szerokości modularnej 120 cm, poprzez podłużne rozcięcie elementu wzdłuż jednego z kanałów, można wykonać płyty o zmniejszonej szerokości.

Wykonując jednokrotne przecięcie płyty podstawowej otrzymuje się dwa pasma, każde o niesymetrycznym przekroju poprzecznym i niesymetrycznie rozłożonym zbrojeniu. Asymetria przekroju i zbrojenia powoduje poziomy mimośród siły sprężającej, czego skutkiem może być wygięcie w płaszczyźnie poziomej takiego prefabrykatu (zwichrowanie); dotyczy to zwłaszcza wąskich pasm. Korzystną cechą pasm niesymetrycznych, jest mała ilość odpadów produkcyjnych.

Wielokrotne (dwu- lub trzykrotne) rozcięcie podstawowego prefabrykatu pozwala uzyskać pasma symetryczne. Pasma o symetrycznym przekroju są również symetrycznie zbrojone, co redukuje całkowicie poziomy mimośród siły sprężającej i eliminuje niekorzystną deformację prefabrykatów. Wykonanie pasm symetrycznych generuje natomiast prawie zawsze odpady produkcyjne. Po rozcięciu płyty podstawowej pozostają wąskie pasma (w tym skrajne żebra), które nie nadają się do wykorzystania jako elementy nośne stropu.

Na rys.2.17÷2.20 przedstawiono przekroje poprzeczne płyty SP, na których zaznaczono obszary, w których można wykonać rozcięcie podłużne (zakreskowane pola); cięcie może być wykonane tylko w środkowej strefie kanału, o szerokości pokazanej na rysunkach. Na rys.2.17÷2.20 pokazano również zakres szerokości pasm (rozmiar), jakie można otrzymać w wyniku podłużnego rozcięcia prefabrykatu podstawowego. Wszystkie wzory rozkroju podłużnego (niesymetryczne i symetryczne) uzupełniają się wzajemnie, stwarzając możliwość wykonania prefabrykatu o praktycznie dowolnej szerokości (bezstopniowo), o zakresie podanym w tabl.2.4.

Dopuszcza się dalszą obróbkę mechaniczną elementów zwężonych, skatalogowanych w tej instrukcji. Dozwolony jest dalszy rozkrój podłużny elementów otrzymanych wg jednego z wzorów rozkroju (rys.2.17÷2.20), o ile otrzymane w ten sposób pasmo płyty spełniać będzie określone niżej wymagania dotyczące zbrojenia.

Norma wyrobu [7] wymaga, by płyta kanałowa zbrojona była minimalną liczbą strun, którą uzależnia od szerokości przekroju poprzecznego pojedynczego prefabrykatu. W myśl wymagań normy, płyty o szerokości do 600 mm powinny być zbrojone co najmniej dwiema-, płyty o szerokości do 900 mm - co najmniej trzema-, a do 1200 mm – przynajmniej czterema strunami, niezależnie od budowy i średnicy zastosowanych strun i bez względu na topologię profilu płyty.

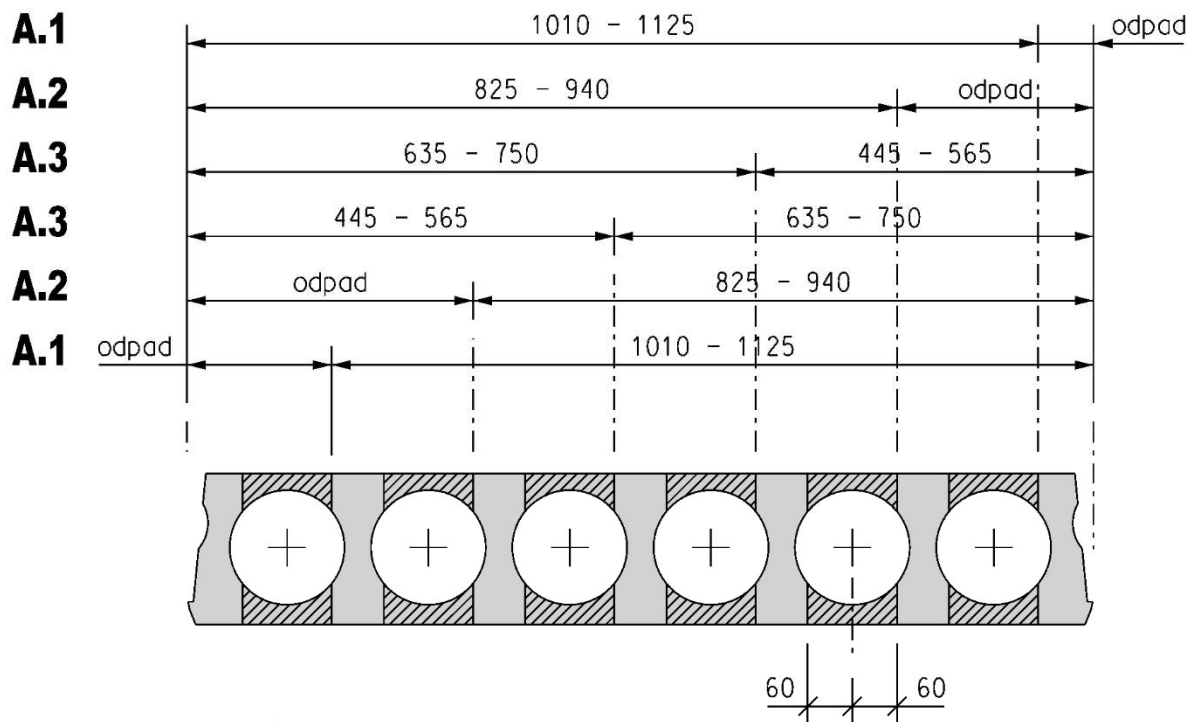
Norma wymaga również ograniczenia strzałki poziomego wygięcia płyt, jakie może powstać na skutek działania poziomego mimośrodu siły sprężającej, do wartości nie przekraczającej $l/500$.

Zaprojektowane w niektórych wariantach płyt układy strun (por. pkt.2.3) nie gwarantują, że po podłużnym rozcięciu prefabrykatu podstawowego według jednego ze standardowych wzorów rozkroju (rys.2.17÷2.20), zbrojenie każdego pojedynczego pasma spełniać będzie wymienione wyżej wymagania. Nie gwarantują też, że pasmo płyty (zwłaszcza wąskie) nie zostanie nadmiernie odkształcone w płaszczyźnie poziomej. W związku z tym, z katalogu dostępnych wariantów zbrojenia płyt wykorzystać można tylko te, które dla zastosowanego wzoru rozkroju (rys.2.17÷2.20), pozwolą otrzymać pasma ze zbrojeniem podłużnym zgodnym z przepisami normowymi i jednocześnie zdeformowane w stopniu nie ograniczającym ich przydatności do użytkowania.

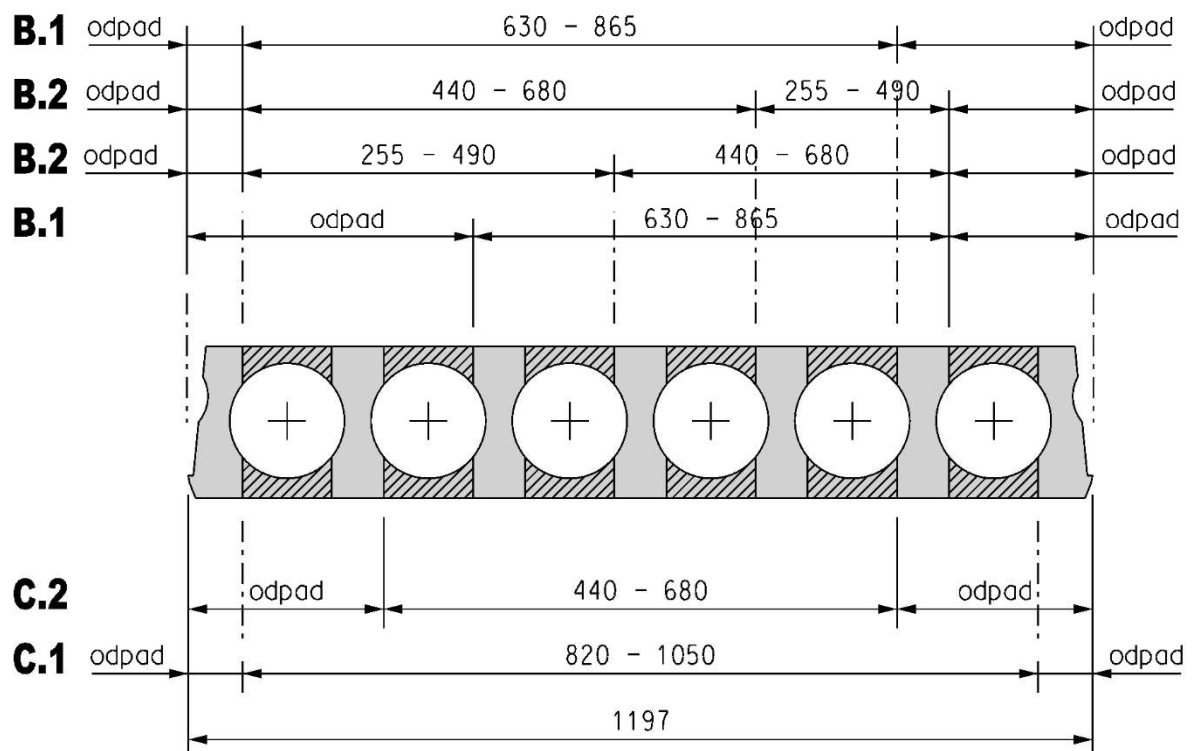
Biorąc powyższe pod uwagę, w celu ułatwienia projektowania płyt zwężonych, w tabl.2.5 zamieszczono listę wariantów zbrojenia, odpowiednią dla poszczególnych wzorów rozkroju każdego z typów płyt SP (rys.2.17÷2.20). Użycie wariantu zbrojenia z dostępnej listy gwarantuje, że wymagania normowe co do minimalnej liczby strun w przekroju zostaną spełnione; te przypadki oznaczono w tabl.2.5 normalną czcionką. Te wytyczne należy traktować wiążąco, by liczba strun w przekroju spełniała wymagania.

Ustalając tą listę uwzględniono również zabezpieczenie elementów przed nadmiernym wygięciem poziomym – w przypadku pasm niesymetrycznych, a dla pasm symetrycznych - zagwarantowanie również symetrii zbrojenia; te przypadki są opisane **pogrubioną** czcionką. Ich przestrzeganie nie jest obligatoryjne (należy je traktować jako zalecenie). Wyeliminowanie z użycia niektórych wariantów oraz przestrzeganie innych wytycznych podanych w tabl.2.5 gwarantuje, że wygięcie poziome zwężonych pasm będzie akceptowalne i nie spowoduje problemów podczas montażu stropu (zob. pkt.9.4).

Pasma niesymetryczne

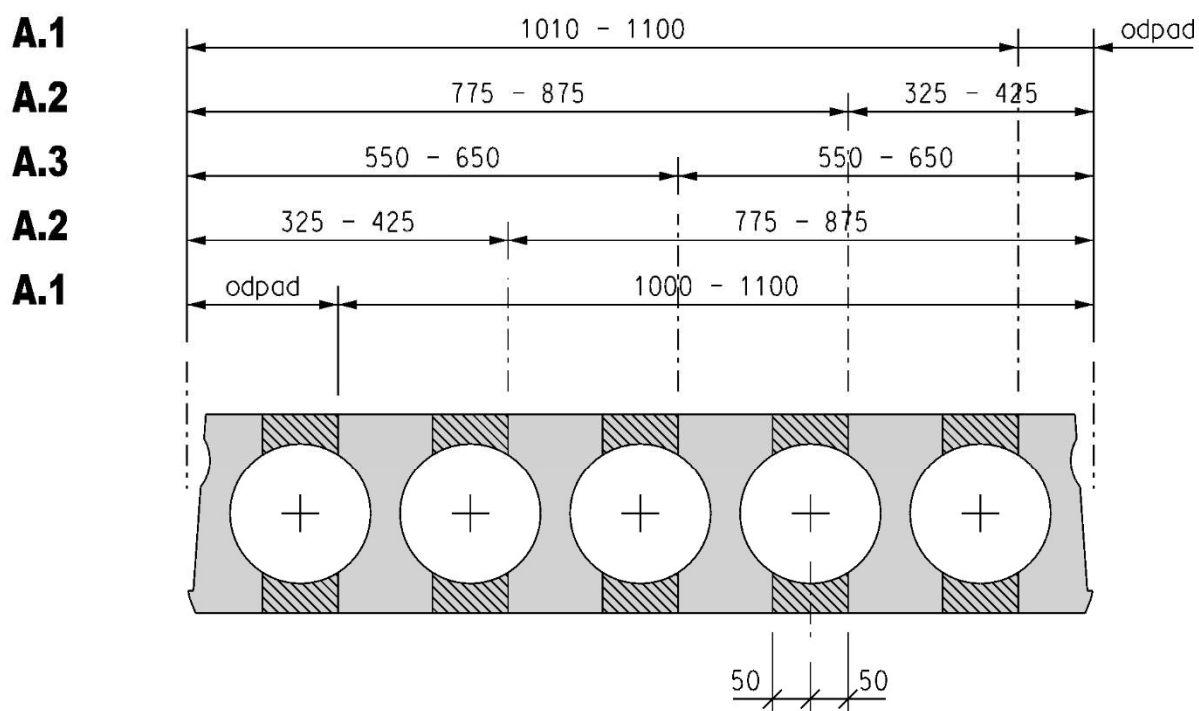


Pasma symetryczne

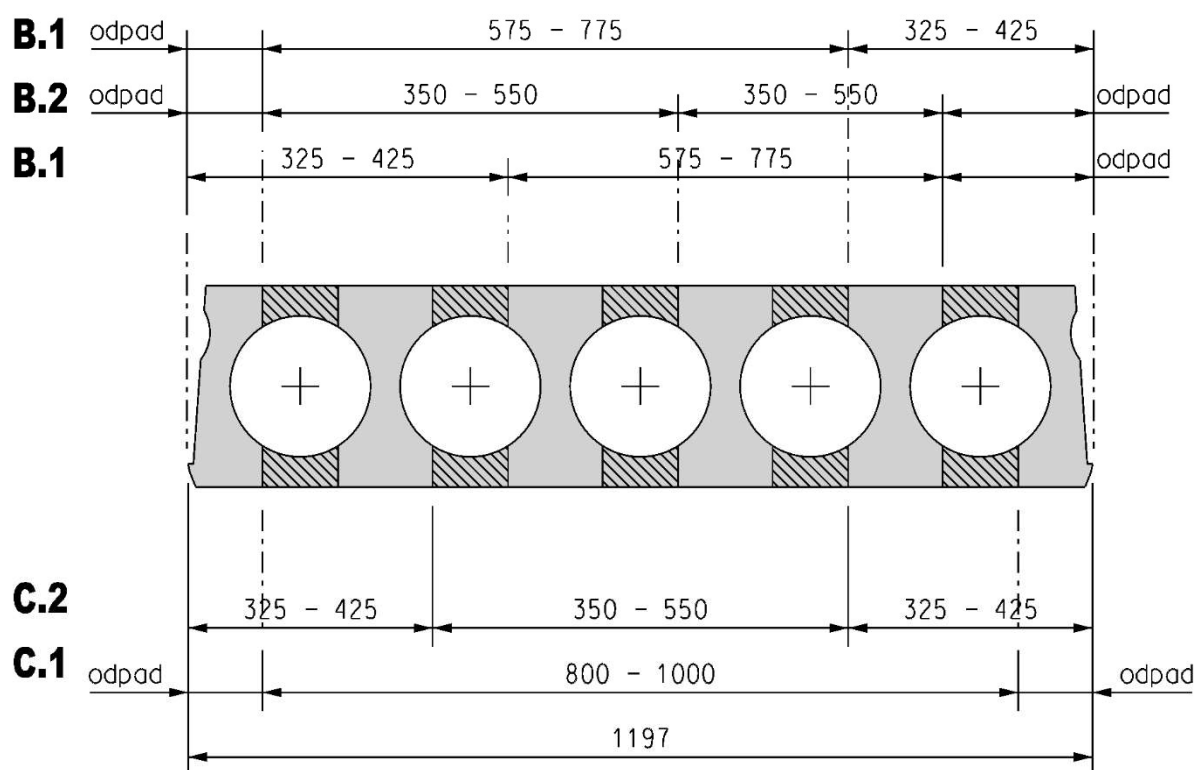


Rys.2.17 Schematy rozkroju płyt SP20

Pasma niesymetryczne

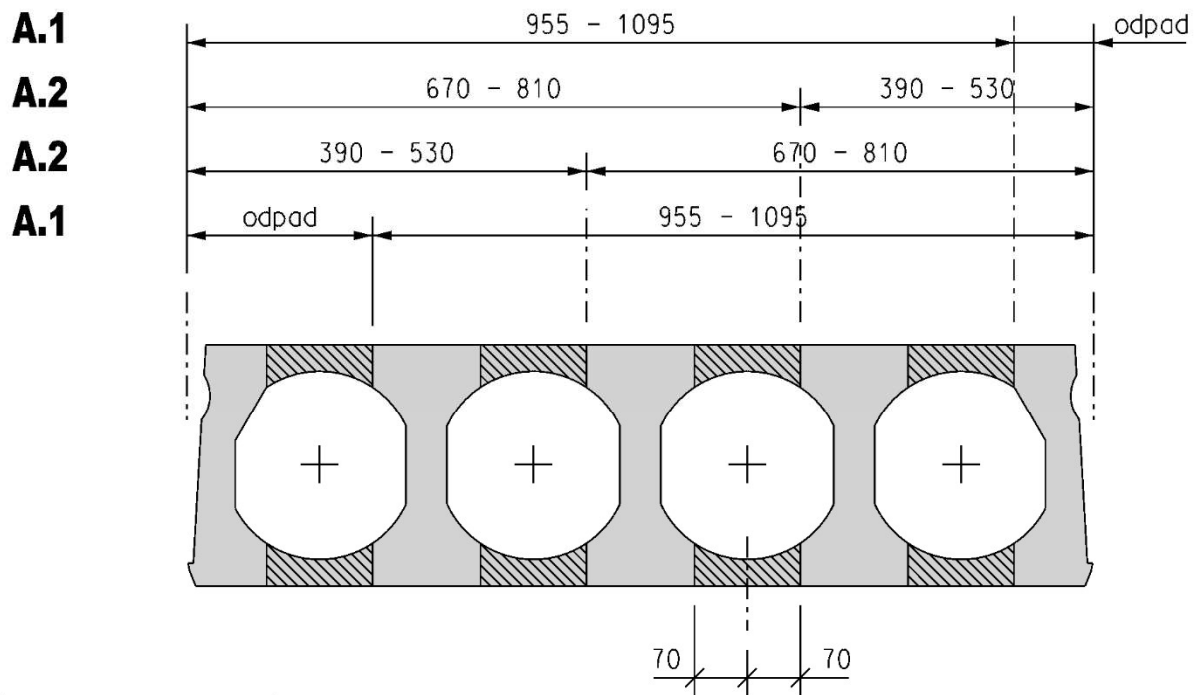


Pasma symetryczne

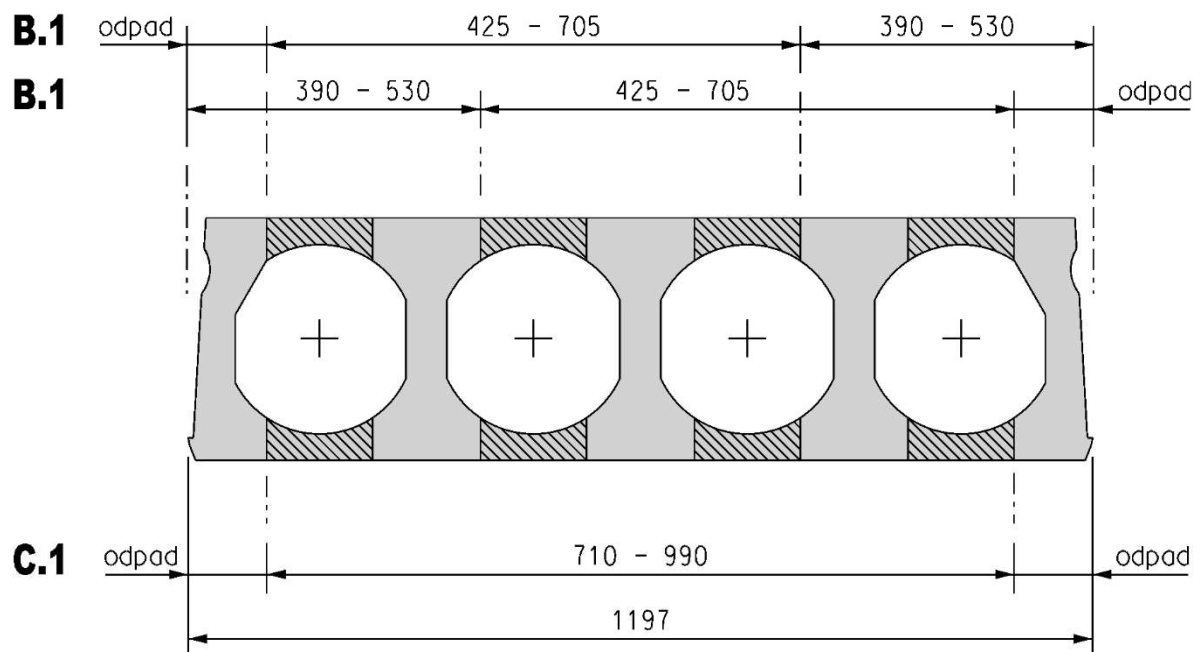


Rys.2.18 Schematy rozkroju płyt SP26.5

Pasma niesymetryczne

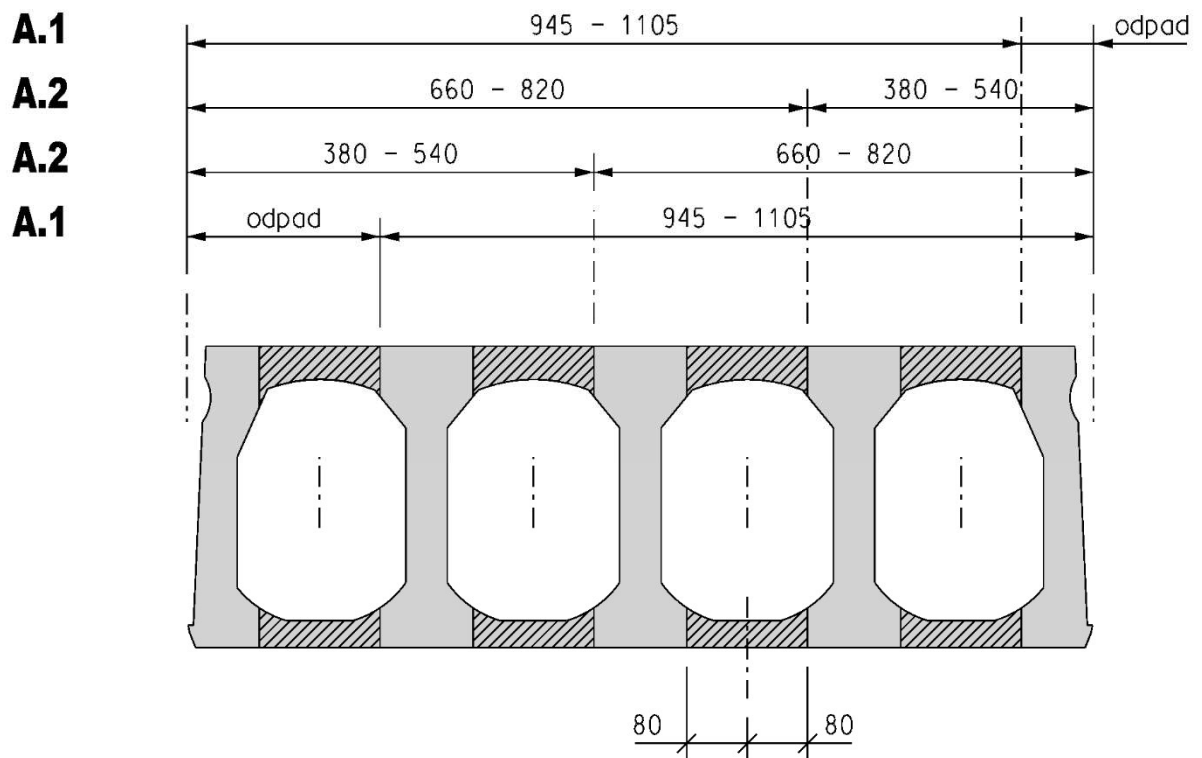


Pasma symetryczne

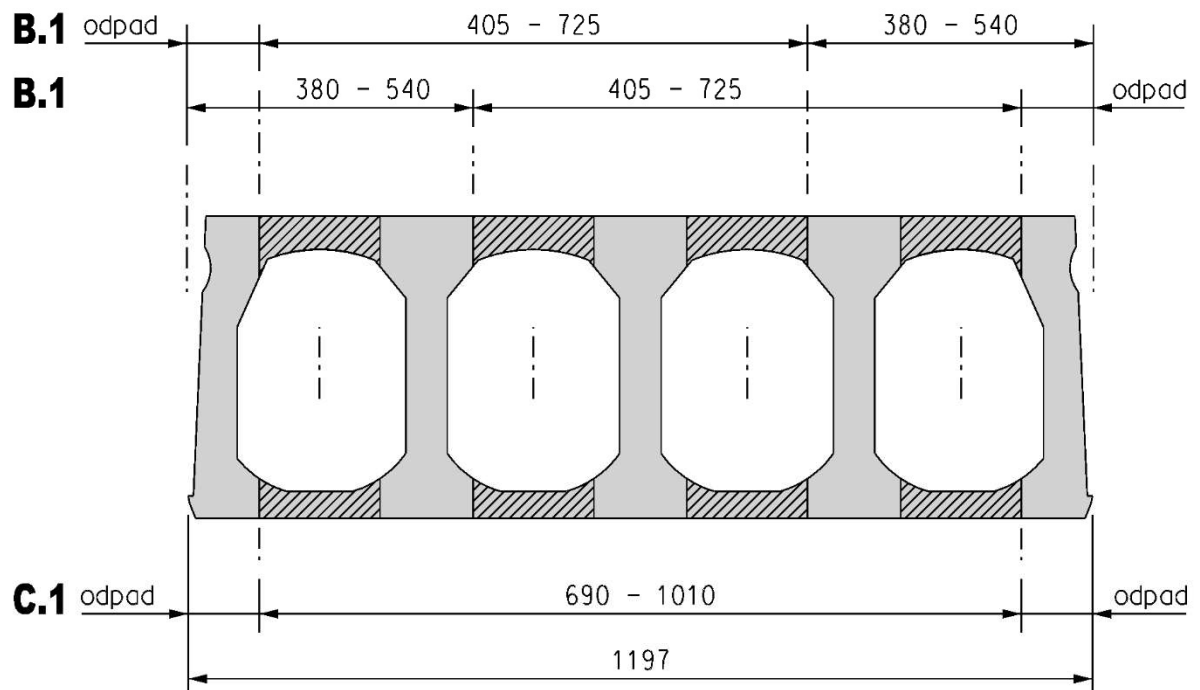


Rys.2.19 Schematy rozkroju płyt SP32

Pasma niesymetryczne



Pasma symetryczne



Rys.2.20 Schematy rozkroju płyt SP40

Tabl.2.5. Warianty zbrojenia odpowiednie do wzoru rozkroju (oznaczenia wg rys.2.17÷2.20)

Typ płyty	Wzór rozkroju		Lista odpowiednich wariantów zbrojenia (pkt.2.3)
SP20, SP22	Niesymetryczny	A.1	wszystkie warianty płyt SP20 i SP22
		A.2	wszystkie, z zastrzeżeniem: jeżeli szerokość pasma przekracza 900 mm nie należy wykorzystywać wariantu SP20-4/REI60
		A.3	SP20-4/REI60-tylko węższe pasmo, SP20-5/REI60, SP20-6/REI60, SP20-7/REI60, SP20-5/REI120, SP20-7/REI120, SP22-5/REI120, SP22-7/REI120
	Symetryczny	B.1	SP20-5/REI60, SP20-7/REI60, SP20-5/REI120, SP20-7/REI120, SP22-5/REI120, SP22-7/REI120
		B.2	SP20-5/REI60, SP20-7/REI60, SP20-5/REI120, SP20-7/REI120, SP22-5/REI120, SP22-7/REI120
		B.3	wszystkie (głównie SP20-4/REI60)
		C.1	wszystkie
		C.2	wszystkie
SP26.5	Niesymetryczny	A.1	wszystkie warianty REI60 i REI120
		A.2	wszystkie warianty REI60 i REI120 przy czym, boczne wygięcie pasma węższego może być nadmierne, gdy długość płyty przekracza 6,00 m
		A.3	SP26.5-4/REI60 – tylko pasma o szerokości nie większej niż 600 mm, SP26.5-6/REI60, SP26.5-8/REI60, SP26.5-10/REI60, SP26.5-12/REI60 SP26.5-8/REI120, SP26.5-10/REI120, SP26.5-12/REI120 przy czym, boczne wygięcie pasm może być nadmierne
	Symetryczny	B.1	SP26.5-4/REI60 – tylko szersze pasmo, SP26.5-6/REI60, SP26.5-10/REI60 przy czym boczne wygięcie pasma węższego (niesymetrycznego) może być nadmierne, gdy długość płyty przekracza 6,00 m SP26.5-10/REI120 przy czym boczne wygięcie pasma węższego (niesymetrycznego) może być nadmierne, gdy długość płyty przekracza 6,00 m
		B.2	SP26.5-6/REI60, SP26.5-10/REI60 SP26.5-10/REI120
		C.1	wszystkie warianty REI60 i REI120
		C.2	wszystkie warianty REI60 i REI120, przy czym boczne wygięcie pasma węższego (niesymetrycznego) może być nadmierne, gdy długość płyty przekracza 6,00 m
SP32	Niesymetryczny	A.1	wszystkie warianty REI60 i REI120
		A.2	SP32-5/REI60, SP32-8/REI60, SP32-10/REI60 (tylko szersze pasmo), SP32-11/REI60 (tylko szersze pasmo), SP32-13/REI60 (tylko szersze pasmo), SP32-14/REI60 (tylko szersze pasmo) SP32-8/REI120, SP32-11/REI120 (tylko szersze pasmo), SP32-14/REI120 (tylko szersze pasmo)
	Symetryczny	B.1	SP32-5/REI60 (jeżeli szerokość pasma symetrycznego nie przekracza 600 mm), SP32-8/REI60, SP32-11/REI60 (tylko pasmo symetryczne), SP32-14/REI60 (tylko pasmo symetryczne) SP32-8/REI120, SP32-11/REI120 (tylko pasmo symetryczne), SP32-14/REI120 (tylko pasmo symetryczne)
		C.1	wszystkie warianty REI60 i REI120
SP40, SP41	Niesymetryczny	A.1	wszystkie warianty płyt SP40 i SP41
		A.2	SP40-8/REI60, SP40-10/REI60, SP40-11/REI60 (tylko szersze pasmo), SP40-13/REI60 (tylko szersze pasmo), SP40-14/REI60 (tylko szersze pasmo), SP40-16/REI60 (tylko szersze pasmo), SP41-11/REI120 (tylko szersze pasmo), SP41-13/REI120 (tylko szersze pasmo), SP41-14/REI120 (tylko szersze pasmo), SP41-16/REI120 (tylko szersze pasmo)
	Symetryczny	B.1	SP40-8/REI60, SP40-11/REI60 (tylko pasmo symetryczne), SP40-14/REI60 (tylko pasmo symetryczne), SP40-16/REI60 (tylko pasmo symetryczne), SP41-11/REI120 (tylko pasmo symetryczne), SP41-14/REI120 (tylko pasmo symetryczne), SP41-16/REI120 (tylko pasmo symetryczne)
		C.1	wszystkie warianty płyt SP40 i SP41

W płytach zwężonych nie należy wykonywać żadnych wycięć, można natomiast wykonać w nich otwory, zgodnie z wytycznymi zamieszczonymi w pkt.2.4.5, z ograniczeniem ich średnicy lub szerokości (w przypadku otworów podłużnych) do połowy dopuszczalnej wartości, podanej w tabl.2.3. Dozwolone jest również poprzeczne docinanie takich elementów pod kątem według wytycznych w pkt.2.4.7.

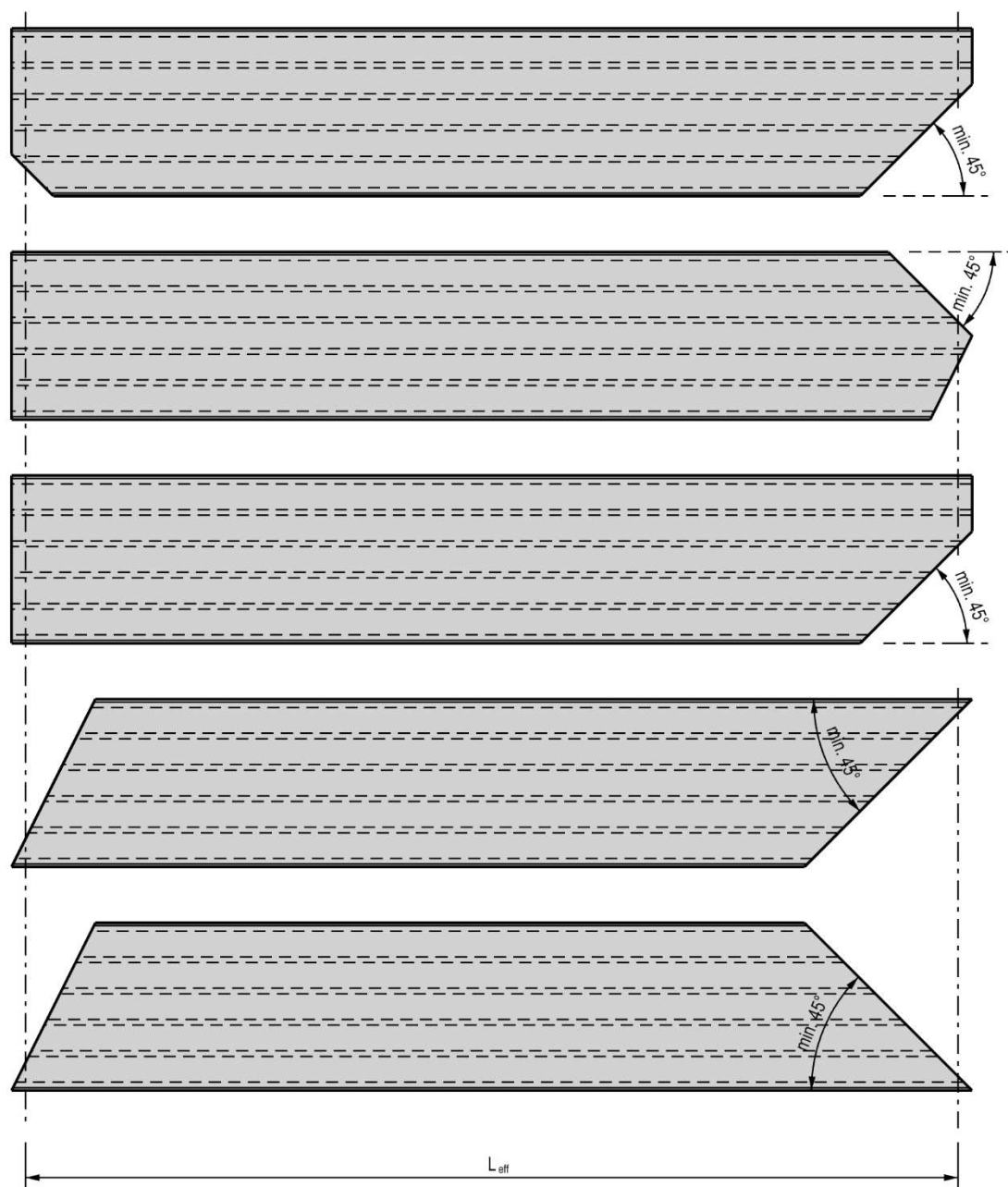
Pasm płytowych oznaczonych na rys.2.17÷2.20 jako „odpad” nie należy wykorzystywać w konstrukcji stropu.

2.4.7. Poprzeczne docinanie płyt pod kątem

Z płyt podstawowych SP, niezależnie od wariantu zbrojenia, można wykonać prefabrykaty o kształcie rzutu innym niż prostokątny. Docinając prefabrykaty poprzecznie pod kątem otrzymać można płyty, których krawędzie podporowe nie są prostopadłe do krawędzi bocznych, w tym także płyty, których krawędź podporowa nie jest linią prostą (jest łamana). Jeżeli krawędź podporowa ma być załamana, powinna zostać wykonana jako wypukła. Nie należy projektować płyt z krawędzią podporową wklęsłą, ponieważ w miejscu załamania krawędzi beton płyty musiałby zostać nacięty w głąb obrysu prefabrykatu ze szkodą dla jego nośności (por. pkt.2.1.2).

Wykonać można płyty o kształcie trapezowym, równoległobocznym lub w formie innego (nie-regularnego) wieloboku. Obrys płyty należy projektować w taki sposób, aby kąt ostry pomiędzy podporową a boczną krawędzią płyty nie był mniejszy niż 45° . Nie nakłada się innych ograniczeń co do kształtu prefabrykatu. Dopuszcza się również ukośne docinanie płyt wcześniej zwężonych, wykonanych zgodnie z regułami opisanymi w pkt.2.4.6.

Przykłady płyt SP, jakie można wykonać docinając poprzecznie pod kątem płyty podstawowe, przedstawiono na rys.2.21. Pokazany na rysunku zestaw płyt nie jest zbiorem zamkniętym; jest on jedynie ilustracją możliwości jakie stwarza technologia wytwarzania (pkt.2.1.2).



Rys.2.21 Przykłady płyt SP docinanych poprzecznie pod kątem

2.5. Standard wykonania

2.5.1. Informacje ogólne

Rzeczywista geometria i wymiary wyprodukowanych prefabrykatów mogą odbiegać od wartości nominalnych, przyjętych w dokumentacji projektowej [39]. Wszelkie odchylenia są skutkiem nieuniknionych niedokładności wykonania, wymuszonych specyfiką działania maszyn formujących (pkt.2.1.2), rozrzutem cech technicznych mieszanki betonowej, dokładnością przyrządów pomiarowych oraz ograniczoną percepcją obsługujących je ludzi. Dochodzi również do deformacji gotowych elementów, które wymusza mimośrodowe działanie siły sprężającej i odkształcalność betonu.

W związku z tym, projektując stropy z płyt sprężonych SP należy brać pod uwagę odchylenia rzeczywistego kształtu i wymiarów prefabrykatów od wartości nominalnych (projektowanych). Dotyczy to w równym stopniu geometrii przekroju poprzecznego formowanego metodą ekstruzji (rys.2.1), jak również geometrii profilu podłużnego otrzymywanego w dalszych etapach procesu produkcyjnego (pkt.2.4). W projekcie konstrukcji budynku uwzględnienia wymagają zwłaszcza odchyłki głównych wymiarów prefabrykatów (gabarytów).

Dalej (pkt.2.5.2 i pkt.2.5.3) podano informacje na temat dokładności wykonania płyt SP jaka jest osiągana w normalnym procesie produkcji. Zamieszczono również informacje na temat naturalnych deformacji gotowych prefabrykatów, które są skutkiem zjawisk fizycznych zachodzących w procesie produkcji i podczas dojrzewania betonu.

Na standard wykonania wpływa również sposób wykonania detali, w tym wycięć i otworów. Te zagadnienia opisano szczegółowo w pkt.2.5.4.

Wymienione wyżej i opisane szczegółowo dalej tolerancje wykonania oraz stan płyt SP po wyprodukowaniu są typowymi cechami tych prefabrykatów i nie należy ich uważać za wady. Tylko przekroczenie podanych zakresów odchył, albo deformacji może być uznane za wadę produkcyjną.

2.5.2. Tolerancje wymiarowe

W tabl.2.6 zestawiono wartości tolerancji produkcyjnych niektórych wielkości geometrycznych, które mogą być istotne przy projektowaniu i realizacji na budowie stropów z płyt SP. Należy je uwzględnić w projekcie budynku (zob. rozdz.9). Podane wartości tolerancji są osiągane przez producenta podczas bieżącej produkcji. Te z odchył, których limity wartości zostały znormalizowane w normie wyrobu [7], nie przekraczają wartości normowych. Pozostałe (nieznormalizowane) zostały ustalone arbitralnie z uwzględnieniem właściwości stosowanej technologii.

Technologia produkcji (pkt.2.1.2) pozwala formować perforację w płytach SP dwiema technikami: na sucho lub na mokro (zob. pkt.2.5.4). W zależności od stosowanej techniki osiąga się różną dokładność wykonanie tych miejsc. Biorąc to pod uwagę, w tabl.2.6 tolerancję wymiarów wycięć i otworów sprecyzowano odrębnie dla każdej z obydwu technik.

Tabl.2.6 Tolerancje wykonania płyt SP

Cecha geometryczna	Typ płyty					
	SP20	SP22	SP26.5	SP32	SP40	SP41
wysokość płyty	+10; -5 mm			±10 mm		
szerokość płyty podstawowej	+0; -3 mm					
szerokość pasm zwężonych	±5 mm					
szerokość wycięć bocznych ¹⁾	+5; -10 mm (±20 mm)					
szerokość wycięć środkowych ¹⁾	±10 mm (±20 mm)					
średnica/szerokość otworów ¹⁾	±5 mm (±20 mm)					
położenie otworu na szerokości	±10 mm					
kąt poprzecznego cięcia	±1 °					
falistość górnej powierzchni	±3 mm					
¹⁾ - wartości podane w nawiasach dotyczą perforacji wykonywanej na mokro w świeżym betonie (por. pkt.2.5.4)						

Dopuszczalną odchyłkę długości wycięć w płytach uzupełniających oraz odchyłkę położenia wycięć i otworów na długości płyty, w stosunku do wartości nominalnych, wymaganych w danych warunkach projektowych, powinien określić projektant konstrukcji budynku w projekcie technicznym stropu (na podstawie analizy pasowań, na przykład wg normy [3] lub [9]). Uwzględnić przy tym należy potencjalne skutki wystąpienia niedokładności wykonania, jak możliwość kolizji z innymi elementami konstrukcji, dopuszczalne tolerancje wynikające z ograniczeń wyposażenia (urządzeń i instalacji), jakie miałyby zostać zamontowane w wycięciu lub otworze oraz inne ograniczenia. Jeżeli projektant budynku nie określi inaczej, to jako dopuszczalną dla wymienionych wyżej wielkości przyjąć należy wartość ± 25 mm. Taka dokładność jest osiągalna obydwoema technikami (zob. pkt.2.5.4).

Dolny szereg cięgien sprężających (otulina strun) jest wbudowywana z tolerancją: + 5, - 3 mm.

2.5.3. Naturalne deformacje płyt

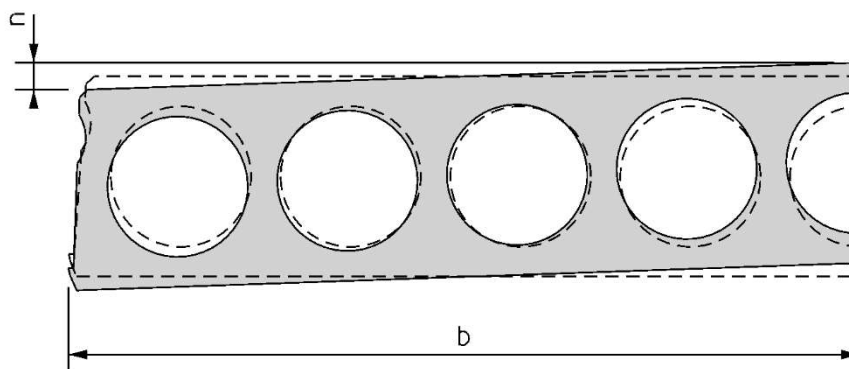
Opisane w poprzednim punkcie odchyłki wykonawcze prefabrykatów są konsekwencją możliwych do osiągnięcia dokładności operacji technologicznych, w normalnym procesie produkcji płyt SP - od formowania betonu, do cięcia i końcowej obróbki, nadającej prefabrykatom ostateczny kształt. Oprócz odchyłek wymuszonych procesem technologicznym, na stan gotowych prefabrykatów wpływ wywierają również deformacje wymuszone zjawiskami fizycznymi, które są skutkiem wstępnego sprężenia betonu.

Deformacje wymuszone działaniem siły sprężającej są zjawiskiem normalnym w sprężonych elementach z betonu i występują również w płytach SP. Charakterystyczną cechą wszystkich płyt jest więc występowanie początkowego wygięcia odwrotnego, zaś cechą płyt uzupełniających (w szczególności płyt docinanych podłużnie; pkt.2.4.6) może być również wygięcie boczne (w płaszczyźnie poziomej) oraz zwichrowanie. Chociaż wymienione wyżej deformacje kształtu płyt stropowych mogą stwarzać problemy przy montażu lub wykańczaniu stropu na budowie, nie należy ich uważać za wady produkcyjne. Należy je natomiast uwzględnić tak przy projektowaniu, jak i przy montażu stropów. Przewidzieć trzeba takie rozwiązania techniczne, które pozwolą wspomniane wyżej deformacje skompensować lub ukryć w warstwach wykończeniowych (zob. pkt.9.6).

Nominalne wartości odwrotnego wygięcia płyt SP (doraźne i końcowe) zostały obliczone w dokumentacji projektowej systemu [39] i zestawione w tabelach nośności płyt, zamieszczonych w załączniku A niniejszych wytycznych. Końcowe wartości strzałek odwrotnych uwzględniają odkształcenia reologiczne betonu, które cechuje znaczny rozrzut statystyczny względem wartości oczekiwanej. Na wspomniany rozrzut wpływ mają trudne do przewidzenia warunki przechowywania płyt po ich wyprodukowaniu z hali produkcyjnej (por. pkt.2.1.2) - temperatura i wilgotność powietrza, opady atmosferyczne, nasłonecznienie. Te czynniki powodują, że rzeczywiste wartości końcowych strzałek odwrotnych mogą różnić się od obliczonych nawet o $\pm 25\%$.

Boczne wygięcie spowodowane poziomym mimośrodem siły sprężającej wykazują głównie płyty docinane podłużnie wykonane w wersji niesymetrycznej (por. pkt.2.4.6). Za dopuszczalny limit wygięcia bocznego sprężonych płyt przyjmuje się wartość równą $1/500$ długości płyty. Przestrzeganie wytycznych projektowania zwężonych pasm płyt SP, jakie sformułowano w pkt.2.4.6, gwarantuje, że określony wyżej limit nie zostanie przekroczony.

Ubočnym skutkiem jednoczesnego występowania pionowego i poziomego mimośrodu siły sprężającej może być również zwichwienie (spaczenie) płyty, które charakteryzuje wzajemny obrót względem podłużnej osi prefabrykatu jej kolejnych przekrojów. Wstępne wypiętrzenie każdej z dwóch bocznych krawędzi tak odkształconej płyty nie jest jednakowe, co można przyjąć za miarę tego rodzaju deformacji (rys.2.22). W płytach wykonanych zgodnie z wytycznymi zamieszczonymi w pkt.2.4.6 wchrowatość powierzchni, mierzona maksymalną różnicą rzędnych górnej powierzchni przy bocznych krawędziach płyty n , nie będzie w żadnym przypadku przekraczać wartości $b/100$ (rys.2.22).



Rys.2.22 Ilustracja miary wchrowatości powierzchni płyt SP

Przyjąć można, że wartość strzałki wstępnego wygięcia płyty zwężonej nie odbiega istotnie od wartości obliczonej dla płyty podstawowej, z której wycięte zostało pasmo zwężone. Zestawione w tabelach nośności (załącznik A) wartości strzałki odwrotnej, tak doraźnej jak i końcowej, odnieść należy w takich płytach do środka szerokości prefabrykatu.

2.6. Obszary stosowania płyt SP

2.6.1. Przeznaczenie płyt SP

Płyty SP przeznaczone są wyłącznie do konstruowania poziomych przegród w budynkach o dowolnej konstrukcji nośnej (żelbetowej, murowej, stalowej) i o dowolnej funkcji (mieszkalnej, biurowej, handlowej, magazynowej, produkcyjnej i in.). Podstawowym warunkiem dopuszczenia płyt do zastosowania jest, by obciążenia zmienne jakie działać będą na ustrój stropowy podczas eksploatacji obiektu miały charakter statyczny albo quasi-statyczny. Obciążenie spełniać będzie ten warunek, jeżeli w całym okresie eksploatacji obiektu jego wartość będzie się wahać pasywnie (nigdy gwałtownie), w przedziałach czasu dostatecznie długich, by nie wymusić w ustroju stropowym sił bezwładności. Należy przede wszystkim wyeliminować obciążenia udarowe, wymuszone np. ciężarem spadających materiałów lub przedmiotów, albo najazdem z dużą prędkością ciężkiego pojazdu. Obciążenie nie może również powodować cyklicznych amplitud naprężeń w prefabrykatakach, które wymagałyby uwzględnienia wpływu zjawisk zmęzeniowych na wytrzymałość stropów.

Formalnie charakter obciążeń eksploatacyjnych opisują kategorie użytkowania powierzchni, zdefiniowane w eurokodzie PN-EN 1991-1-1:2004. Posługując się tym pojęciem, dopuszczalny obszar stosowania płyt stropowych SP można określić poprzez przypisanie im dozwolonych kategorii użytkowania. W tabl.2.7 zestawiono listę kategorii użytkowania, odpowiednich dla każdego z sześciu typów płyt. Definiują one dopuszczalny obszar stosowania płyt SP ze względów funkcjonalnych.

Tabl.2.7 Kategorie użytkowania odpowiednie dla płyt SP

Typ płyty	Kategoria użytkowania											
	A	B	C	D	E1	E2	F	G	H	I	FL1	FL2
SP20, SP22	+	+	+	+	+	-	+	-	+	+	-	-
SP26.5	+	+	+	+	+	+/-	+	-	+	+	-	-
SP32	+	+	+	+	+	+/-	+	o	+	+	o	-
SP40, SP41	+	+	+	+	+	+/-	+	+	+	+	+	+
+ ... można stosować bez żadnych ograniczeń - ... nie należy stosować +/- ... można stosować warunkowo, jeżeli oddziaływania zainstalowanych na stropie maszyn i urządzeń nie powodują obciążeń cyklicznych, które wymagałyby uwzględnienia zjawisk zmęzeniowych o ... z dodatkową płytą krzyżowo zbrojonego nadbetonu o grubości nie mniejszej niż 80 mm i wzmocnieniem stref przypodporowych												

Obciążenie powinno działać prostopadle do powierzchni płyt. Jeżeli warunki w jakich użytkowany będzie strop czynią prawdopodobnym wystąpienie obciążeń poziomych, stycznych do powierzchni przegrody (np. siły hamowania pojazdów), na płytach należy przewidzieć krzyżowo zbrojoną warstwę betonu klasy nie niższej niż C20/25. Grubość nadbetonu nie powinna być w takim przypadku mniejsza niż 50 mm.

Ograniczenie do minimum lub całkowite wyeliminowanie zbrojenia górnego w prefabrykatakach (por. pkt.2.3) implikuje koniecznością ograniczenia momentów odwrrotnych w przęsłach stropów realizowanych z płyt SP. Skutkiem zadziałania momentów ujemnych może być bowiem zarysowanie betonu, które najczęściej prowadzi do sytuacji niebezpiecznej. Jeżeli do zarysowania doszłoby w przypodporowych strefach płyt, jego skutkiem byłaby drastyczna utrata nośności porzeczej stropu (por. pkt.1.3). Znamiennym jest, że w ustrojach stropowych momenty odwrotne w przęsłach płyt mogą zostać łatwo, i w sposób przypadkowy, wygenerowane właśnie w sąsiedztwie podpór stropu (por. pkt.1.3, pkt.3.1.1(3) i rozdz.8). Sprzyja temu ograniczenie swobody obrotu przęseł na podporach, wymuszone konstrukcją węzłów podporowych (zob. pkt.9.2).

Ryzyko niezamierzonego utwierdzenia płyt w podporach wzrasta znacząco przy dociążeniu końców płyt wprowadzonych w głąb podpory ścianą wyższej kondygnacji. Oczywistym jest, że najlepszym sposobem wyeliminowania takiego ryzyka będzie unikanie podobnych rozwiązań, poprzez zapewnienie warunków pracy przęseł stropu zgodnych ze schematem statycznym belki swobodnie podpartej (zob. pkt.4.3.1). Płyty SP należy zatem stosować przede wszystkim w budynkach szkieletowych o konstrukcji żelbetowej lub stalowej. Ustrój szkieletowy uważać należy za naturalne środowisko eksploatacji płyt SP, co nie wyklucza ich zastosowania w ustrojach ścianowych.

Płyty SP (zwłaszcza te o niskim profilu: SP20, SP22 i SP26.5 mm) mogą być opierane na ścianach nośnych wielokondygnacyjnych budynków, gdzie pod wpływem nacisku ściany kolejnej kondygnacji dochodzić może do częściowego utwierdzenia przęseł w podporach. Aby eksploatacja płyt w takich warunkach podparcia było bezpieczne, konieczne jest staranne przeanalizowanie wpływu potencjalnego zamocowania na wyężenie prefabrykatów i, ewentualnie, zastosowanie specjalnych rozwiązań technicznych, które zneutralizują niekorzystne wpływy. Warunkiem wbudowania płyt w takim ustroju jest obliczeniowe wykazanie, że pod wpływem ujemnego momentu utwierdzenia nie

nastąpi zarysowanie górnej strefy przekroju przypodporowego, albo zastosowanie odpowiednich rozwiązań konstrukcyjnych, które skutecznie wyeliminują utwierdzenie płyt w podporach, bądź zapobiegą utracie nośności stref przypodporowych po zarysowaniu momentem ujemnym. Szczegółową procedurę projektowania i analizy stropów w warunkach częściowego zamocowania wraz z przykładami odpowiednich rozwiązań technicznych zamieszczono w rozdz.8, natomiast w pkt.4.5.2 podano formuły pozwalające oszacować wartości niezamierzonych momentów utwierdzenia płyt w podporach.

Płyty SP można stosować w budynkach lokalizowanych na terenach eksploatacji górniczej oraz na terenach, na których wystąpić mogą nierównomierne osiadania podpór, wstrząsy parasejsmiczne lub inne ruchy podłoża (jak grunty ekspansywne) mogące wywołać w stropach siły rozciągające. W takich warunkach możliwość zastosowania płyt SP należy rozważyć indywidualnie, i ewentualnie zastosować w stropie specjalne rozwiązania konstrukcyjne, które umożliwią bezpieczne użytkowanie płyt w takich warunkach (np. ciągłe zbrojenie w stykach płyt, krzyżowo zbrojony nadbeton lub inne rozwiązania, adekwatne do sytuacji).

2.6.2. Trwałość eksploatacyjna płyt SP

Ochrona materiałowo-strukturalna zbrojenia, jaką zapewniono w płytach SP, w szczególności: klasa wytrzymałości betonu, rodzaj i minimalna zawartość cementu w betonie, maksymalny stosunek wodno-cementowy, a przede wszystkim grubość otulenia strun betonem [39], określa dopuszczalny zakres stosowania płyt SP ze względu na trwałość eksploatacyjną stropów.

W ścisłym związku z trwałością eksploatacyjną pozostaje odporność ogniowa konstrukcji (zob. pkt.2.6.3), ponieważ obydwie zabezpiecza się tymi samymi środkami technicznymi, przede wszystkim odpowiednim otuleniem zbrojenia betonem. W związku z tym, podane dalej wytyczne dotyczące warunków stosowania, uzależniono od nominalnej odporności ogniowej wariantów zbrojeń płyt (por. też pkt.2.3).

Przy założonym okresie eksploatacji płyt nie dłuższym niż 50 lat (kategoria projektowanego okresu użytkowania wg normy [1] nie wyższa niż 4), płyty będą miały zapewnioną odpowiednią trwałość w klasach ekspozycji [3] wskazanych w tabl.2.8. Dopuszczalny zakres stosowania płyt SP, wskazany w tabl.2.8, otrzymano po zredukowaniu na podstawie normy [3] klasy konstrukcji z S4 do S2, co ma związek z zastosowaniem wysokiej klasy wytrzymałości betonu (por. pkt.2.2.3) oraz z odpowiednią kontrolą jakości betonu, jaką zapewnia wytwórnia.

W przypadkach oznaczonych w tabl.2.8 symbolem (+) płyty SP mogą być stosowane bez specjalnej ochrony powierzchniowej. W innych przypadkach, aby płyty mogły być zastosowane, na ich sufitowej powierzchni, eksponowanej na działanie czynnika korozyjnego, należy zaprojektować i wykonać szczelną powłokę ochronną (trwałą izolację), odporną na działanie czynnika korozyjnego, która zapewni odpowiednią ochronę betonu i stali sprężającej przed szkodliwym wpływem agresywnych substancji, jakie mogłyby wnikać do wnętrza betonu i kanałów ze środowiska zewnętrznego.

Tabl.2.8 Dopuszczalne klasy ekspozycji dla płyt SP przy klasie konstrukcji zredukowanej z S4 do S2

Typ płyty	Warianty	Klasa ekspozycji [3] [8]						
		X0/XC1	XC2/XC3	XC4	XD1/XS1	XD2/XS2	XD3/XS3	XA
SP20	REI60	+	+	-	-	-	-	o
	REI120	+	+	+	+	+	+	o
SP22	REI120	+	+	+	+	+	+	o
SP26.5	REI60	+	+	-	-	-	-	o
	REI120	+	+	+	+	-	-	o
SP32	REI60	+	+	-	-	-	-	o
	REI120	+	+	+	+	-	-	o
SP40	REI60	+	+	-	-	-	-	o
SP41	REI120	+	+	+	+	+	-	o

+ ... można stosować bez żadnych ograniczeń
 - ... nie należy stosować bez dodatkowej ochrony powierzchniowej; z ochrony powierzchniowej można zrezygnować, jeżeli projektowany okres użytkowania będzie krótszy niż 50 lat (klasa konstrukcji niższa niż S2)
 o ... zawsze, bez względu na klasę konstrukcji, należy zastosować dodatkową ochronę powierzchniową lub wykonać płyty z betonu o specjalnie zaprojektowanym składzie, odpornym na działanie czynnika korozyjnego (np. siarczanoodporny)

W przypadkach oznaczonych symbolem (-) ochrony powierzchniowej można nie stosować, jeżeli projektowany okres użytkowania płyt będzie krótszy niż 50 lat (zredukowana klasa konstrukcji niższa niż S2). Należy wówczas przypisać prefabrykatom rzeczywistą klasę projektowanej konstrukcji (uwzględniając wytyczne podane w tabl.4.3N normy [3]), a następnie, na podstawie tabl.4.5N tej samej normy sprawdzić niezbędną grubość otuliny stali sprężającej. Jeżeli grubości betonowej otuliny strun zaprojektowane w płytach SP (rys.2.2÷2.5), z uwzględnieniem osiąganych tolerancji ułożenia strun (pkt.2.5.2), spełniają wymagania określone w normie [3], płyty mogą być zastosowane bez dodatkowej ochrony powierzchniowej.

Gdyby projektowany okres użytkowania płyt miał być dłuższy niż 50 lat (klasa konstrukcji S5 lub S6), płyty SP o odporności ogniowej REI60 można zastosować tylko w klasach ekspozycji X0 i XC1, natomiast pozostałe warianty płyt również w klasach ekspozycji XC2 oraz XC3. W innych, bardziej agresywnych klasach ekspozycji przewidzieć należy ochronę powierzchniową.

Płyty SP nie mogą być permanentnie wystawione na bezpośrednie działanie opadów atmosferycznych podczas ich eksploatacji. Jest to dopuszczalne tylko czasowo, podczas okresu składowania i wznoszenia obiektu budowlanego.

Nie należy użytkować płyt niewykończonych od góry, niezależnie od klasy ścieralności, w jakiej płyty miałyby być eksploatowane, ponieważ ścieranie powierzchni stropu (np. wskutek abrazji, ruchu pojazdów, uderzeń lub innych procesów eksploatacji) wpłynie negatywnie na trwałość i nośność stropów z płyt SP (przedwczesne wyczerpanie nośności). Ścieranie górnej powierzchni może być szkodliwe zarówno dla ogólnej nośności płyty jako dźwigara nośnego stropu, jak również lokalnej nośności ścianek jej profilu. Bezpośrednie użytkowanie niewykończonych powierzchni stwarza też niebezpieczeństwo przebicia górnej półki profilu (nad kanałami), zwłaszcza wtedy, gdyby jej grubość została wcześniej zredukowana wskutek erozji. Zarówno redukcja grubości płyty (zmniejszenie wysokości konstrukcyjnej), jak i utrata półki górnej wskutek przebicia, są niedopuszczalne w kontekście założeń przyjętych w obliczeniach projektowych [39]. Z tego względu, górną powierzchnię stropów należy przygotować do użytkowania. Odpowiednie wytyczne dotyczące projektowania posadzek na stropach z płyt SP zamieszczono w pkt.9.6.

2.6.3. Odporność ogniowa stropów z płyt SP

Warianty zbrojeń, jakie wchodzi w skład systemu płyt SP gwarantują stropom odporność ogniową w dwóch klasach: REI60 i REI120, co dostosowuje system do wymagań polskiego prawa budowlanego [42].

Nominalną odporność ogniową płyt SP określono na podstawie porównania dwóch wielkości geometrycznych profili płyt z wymaganiami norm [4] i [7], ustanowionymi dla serii klas odporności ogniowej. Kryterium oceny odporności ogniowej stanowiły: średnia odległość głównego (dolnego) zbrojenia sprężającego od powierzchni sufitowej, ekspozowanej na działanie ognia podczas pożaru, oraz grubość ekwiwalentnej płyty pełnej, którą wyznaczono na podstawie załącznika „G” normy wyrobu [7].

Cechy geometrycznych przekroju poprzecznego kwalifikują wszystkie płyty SP do klasy szczelności i izolacyjności nie niższej niż EI120.

Odpowiednio do osiągniętej szczelności i izolacyjności ogniowej, zbrojenie sprężające płyt zaprojektowano tak, by zapewnić płytom nośność ogniową w dwóch klasach: R60 i R120, co osiągnięto poprzez zróżnicowanie grubości otulenia strun betonem (pkt.2.3).

Dla każdego wariantu zbrojenia płyt wykonano następnie, na podstawie norm [4] i [7], odpowiednie obliczenia termiczne, na podstawie których określono nośność płyt osłabionych temperaturą pożaru (wg krzywej standardowej N), odpowiednio, po 60 lub po 120 minutach ekspozycji na ogień (por. pkt.3.3.2).

Odpowiednio do nominalnej odporności ogniowej, każdy wariant zbrojenia płyt SP został oznaczony symbolem REI60 lub REI120 (por. pkt.2.3).

Na odporność ogniową stropów wpływa również szczelność i izolacyjność ogniowa złączy między płytami, a także odpowiednie połączenie prefabrykatów z podporami, niezbędne z punktu widzenia nośności ogniowej stref przypodporowych (zob. pkt.9.5).

Szczelność złączy między płytami oceniono w dokumentacji [39] na podstawie pkt.4.6 eurokodu [4], porównując cechy geometryczne złączy poszczególnych płyt SP z odpowiednimi wymaganiami normowymi. Złącza wszystkich płyt SP spełniają wymagania normatywne dla klasy szczelności i izolacyjności ogniowej nie niższej niż EI120 [4].

W związku z tym, jeżeli spełnione zostaną również wymagania konstrukcyjne opisane w pkt.9.5 oraz udokumentowana zostanie wystarczająca nośność ogniowa pod wyjątkową kombinacją obciążeń (rozdz.6), przyjąć można, że odporność ogniowa stropów będzie co najmniej równa odporności ogniowej prefabrykowanych płyt SP, z których strop zostanie skonstruowany.

2.7. Dane techniczne płyt SP i stropów

W tabl.2.9 zestawiono podstawowe dane techniczne płyt oraz stropów skonstruowanych z płyt SP. Dane dla płyt podano na 1 mb prefabrykatu podstawowego, natomiast dane odnoszące się do stropów zostały przeliczone na 1 m² powierzchni. Ciężar płyt i stropu został obliczony dla betonu o ciężarze objętościowym 24 kN/m³. Podany w tabeli jednostkowy ciężary stropów, uwzględnia ciężar betonu wypełniającego podłużne styki między płytami.

Tabl.2.9. Dane techniczne płyt i stropów z płyt SP

Typ płyty	Ciężar jednostkowy		Beton w spoinie
	plyta	strop	
	[kN/m]	[kN/m ²]	
SP20	2,98	2,62	6,6
SP22	3,55	3,10	6,9
SP26.5	4,15	3,64	8,9
SP32	4,41	3,89	10,6
SP40	4,91	4,37	12,6
SP41	5,20	4,61	12,7

3. CECHY TECHNICZNO-UŻYTKOWE PŁYT I STROPÓW SP

3.1. Założenia projektowe

3.1.1. Zakres i metody obliczeń

(1) Obliczenia statyczno-wytrzymałościowe płyt SP wykonano metodami ustanowionymi przez normy [3], [4], [6] i [7]. Nośność obliczeniową oraz inne cechy użytkowe płyt obliczono metodą stanów granicznych (współczynników częściowych). Przyjęte w obliczeniach wartości współczynników częściowych (współczynników materiałowych), zastosowane metody obliczeń oraz zadeklarowany przez producenta płyt poziom kontroli jakości materiałów (pkt.3.1.2, pkt.3.1.3) i gotowych prefabrykatów zapewnia osiągnięcie wymaganego przepisami prawa poziomu bezpieczeństwa konstrukcji. Gwarantuje również odpowiednią trwałość w założonym okresie eksploatacji (pkt.2.6.2) oraz spełnienie wszelkich kryteriów użytkowych (pkt.3.1.4). Zapewnia także odporność ogniową stropów zgodną z zadeklarowaną (pkt.2.6.3).

Weryfikację nośności płyt w stadium eksploatacji (sytuacja trwała), przeprowadzono w oparciu o analizę następujących mechanizmów zniszczenia [7]:

- 1) utratę nośności na zginanie na skutek wyczerpania wytrzymałości stali zbrojenia głównego lub wytrzymałości betonu w ściskanej strefie przekroju,
- 2) utratę nośności na ścinanie przypodporowych regionów niezarysowanych na skutek wyczerpania wytrzymałości betonu na rozciąganie,
- 3) utratę nośności na ścinanie regionów zarysowanych dodatnim momentem zginającym,
- 4) utratę nośności zakotwienia cięgien sprężających, skutkującą poślizgiem zbrojenia względem betonu.

Każdy mechanizm zniszczenia przeanalizowano osobno (niezależnie), jak również zbadano interakcję sił wewnętrznych (interakcja M-V) na wyężenie przekrojów i zakotwienie strun.

Badając mechanizmy zniszczenia 1, 2 i 3 wykonano niezbędne obliczenia wytrzymałościowe, określając wartość obliczeniową nośności przekroju normalnego i ukośnego, odpowiednio na zginanie M_{Rd} oraz na ścinanie w regionach niezarysowanych $V_{Rd,c}$ i zarysowanym $V_{Rd,1}$ (por. pkt.3.1.4).

W sytuacji wyjątkowej pożaru nośność ogniową płyt zweryfikowano w oparciu o mechanizmy zniszczenia 1 i 2, zgodnie z załącznikiem „E” normy [4], uwzględniając wytyczne załącznika „G” normy [7]. Na tej podstawie wyznaczono nośność ogniową płyt na zginanie $M_{Rd,fi}$ i ścinanie $V_{Rd,fi}$ (nośność płyt osłabionych temperaturą pożaru).

(2) Nośność na zginanie płyt SP (mechanizm zniszczenia 1) w sytuacji trwałej obliczono dwiema metodami: metodą ogólną i metodą uproszczoną. W metodzie ogólnej przyjęto obliczeniowe związki $\sigma(\varepsilon)$ betonu i stali sprężającej, rekomendowane przez normę [3]: parabola madrycka - dla betonu, oraz bilinearny model z nachyloną półką plastyczną - dla stali sprężającej (charakterystyczne punkty wykresu wytyczono na podstawie danych zamieszczonych w Aprobacie Technicznej [15]). W metodzie uproszczonej przyjęto model stali idealnie sprężysto-plastyczny (z poziomą półką plastyczną).

W obliczeniach metodą ogólną założono [3], że wyczerpanie nośności na zginanie następuje wówczas, gdy odkształcenie w skrajnym włóknie betonu ściskanego ε_c lub odkształcenie w zbrojeniu rozciągającym ε_p osiągają wartości graniczne, które zgodnie z normą [3] są równe, odpowiednio:

- $\varepsilon_c = \varepsilon_{c,lim} = 0,0035$, w skrajnym włóknie betonu ściskanego klasy C50/60 (por. pkt.2.2.3),
- $\varepsilon_p = \varepsilon_{p,lim} = -0,02$, w zbrojeniu rozciągającym.

W żadnym z wariantów zbrojenia (pkt.2.3) wytrzymałość betonu strefy ściskanej nie była wykorzystana w stanie granicznym nośności na zginanie obliczanym metodą ogólną. O wyczerpaniu nośności decydowała wytrzymałość stali zbrojenia głównego.

W obliczeniach metodą uproszczoną nie kontrolowano odkształceń w zbrojeniu rozciągającym [3]. Założono wykorzystanie wytrzymałości betonu strefy ściskanej.

Jako wartość miarodajną do oceny stanu granicznego nośności na zginanie przyjęto większą z dwóch wartości M_{Rd} , otrzymanych na podstawie obliczeń tymi dwiema metodami.

(3) Obliczeniową nośność na ścinanie regionów niezarysowanych (mechanizm 2) oceniono na podstawie hipotezy wyężeniowej Rankine’a. W myśl tej hipotezy, nośność poprzeczna regionów niezarysowanych $V_{Rd,c}$ determinowana jest osiągnięciem przez główne naprężenie rozciągające w środkach płyty (wywołane sprężeniem, ciężarem własnym i obciążeniem zewnętrznym) obliczeniowej wytrzymałości betonu na rozciąganie f_{ctd} . Naprężenia główne oszacowano zgodnie z zasadami mechaniki konstrukcji w środku ciężkości przekroju ukośnego wyprowadzonego z krawędzi podpory pod kątem 35° [7].

(4) Nośność na ścinanie niezbrojonej poprzecznie strefy przypodporowej, w przekroju zarysowanym dodatnim momentem zginającym oceniono na podstawie normy [3] (mechanizm zniszczenia 3). Wartość nośności poprzecznej regionu zarysowanego $V_{Rd,1}$ wyznaczono na końcu długości kotwienia strun, gdzie nośność zbrojenia nie jest limitowana nośnością zakotwienia (w obliczeniach założono, że zbrojenie podłużne jest odpowiednio zakotwione).

(5) Straty siły sprężającej obliczono na podstawie normy [3]. Do strat doraźnych zaliczono straty spowodowane sprężystym odkształceniem betonu, stratę termiczną oraz część strat spowodowanych relaksacją naprężeń stali sprężającej. Założono [39], że sprężenie betonu następować będzie po około 20 godzinach od chwili betonowania, kiedy beton osiągnie niezbędną wytrzymałość początkową i w związku z tym doraźną część strat spowodowanych relaksacją naprężeń stali ustalono jako 35% strat po 1000 godzinach.

Straty opóźnione (reologiczne) obliczono przy założeniu jednoczesnego działania skurczu i pęcznienia betonu oraz pozostałej części relaksacji stali sprężającej. Zmodyfikowany wiek betonu w chwili sprężenia oszacowano według normy [3] na 6 dni, biorąc pod uwagę rodzaj stosowanego cementu (cement szybkosprawy) oraz nagrzew technologiczny podłoża (por. pkt.2.1.2) i na tej podstawie obliczono wartości parametrów reologicznych betonu (skurczu i współczynnika pęcznienia); skurcz autogeniczny pominięto. Przyjęto za normą [3], że końcowe straty naprężeń spowodowane relaksacją stali sprężającej będą 2-krotnie większe niż straty w czasie 1000 godzin relaksacji. W obliczeniach strat reologicznych założono, że jedynym obciążeniem stałym jest ciężar własny stropu.

3.1.2. Cechy mechaniczne materiałów

W obliczeniach statyczno-wytrzymałościowych płyt w sytuacji trwałej przyjęto na podstawie normy [3], następujące wartości charakterystyczne cech mechanicznych betonu klasy C50/60 (por. pkt.2.2.3):

- | | |
|--|---|
| – wytrzymałość kostkowa na ściskanie: | $f_{ck,cube} = 60 \text{ MPa}$ |
| – wytrzymałość charakterystyczna na ściskanie: | $f_{ck} = 50 \text{ MPa}$ |
| – wytrzymałość średnia na ściskanie: | $f_{cm} = f_{ck} + 8 = 50 + 8 = 58 \text{ MPa}$ |
| – wytrzymałość średnia na rozciąganie: | $f_{ctm} = 4,1 \text{ MPa}$ |
| – wytrzymałość charakterystyczna na rozciąganie: | $f_{ctk} = 2,9 \text{ MPa}$ |
| – sieczny moduł sprężystości: | $E_{cm} = 37 \text{ GPa}$ |

Cechy mechaniczne splotów sprężających ustalono na podstawie Aprobaty Technicznej [15]. Siedmiodrutowe sploty $\varnothing 12,5 \text{ mm}$, ze stali Y1860 o wytrzymałości charakterystycznej $f_{pk} = 1860 \text{ MPa}$, posiadają następujące właściwości:

- | | |
|--|-------------------------------|
| – pole przekroju poprzecznego splotu: | $A_{p1} = 93,0 \text{ mm}^2$ |
| – charakterystyczna siła zrywająca splot: | $F_{pk} = 173,0 \text{ kN}$ |
| – charakterystyczna siła rozciągająca przy odkształceniu 0,1 %: | $F_{p0,1} = 152,0 \text{ kN}$ |
| – moduł sprężystości: | $E_p = 195 \text{ GPa}$ |
| – minimalne całkowite wydłużenie odpowiadające sile F_{pk} : | $\varepsilon_{uk} = 3,5 \%$ |
| – relaksacja naprężeń w czasie 1000 h przy wstępnych naprężeniach $0,7 \cdot f_{pk}$: | $\leq 2,5 \%$ |

Przytoczone wyżej wartości cech fizycznych splotów używanych do zbrojenia płyt SP przyjęto w obliczeniach statyczno-wytrzymałościowych.

3.1.3. Współczynniki częściowe

W obliczeniach stanów graniczny nośności przyjęto następujące wartości współczynników częściowych (współczynniki materiałowe) [3]:

- dla stali sprężającej: $\gamma_s = 1,15$,
- dla betonu ściskanego: $\gamma_{c,red} = 1,35$,
- dla betonu rozciąganego: $\gamma_c = 1,4$.

Współczynniki efektów długotrwałych dla betonu przyjęto równe: $\alpha_{cc} = \alpha_{ct} = 1,0$. Dla takich wartości współczynników materiałowych określono obliczeniowe wartości wytrzymałości betonu i stali w sytuacji trwałej.

W obliczeniach nośności ogniowej (sytuacja wyjątkowa) zastosowano współczynniki częściowe o wartościach [4]:

- dla stali sprężającej: $\gamma_s = 1,0$,
- dla betonu: $\gamma_c = 1,2$.

3.1.4. Kryteria projektowe

(1) Dopuszczalne, równomiernie rozłożone, obliczeniowe obciążenie zewnętrzne $p_{d,lim}$ [kN/m²] stropów z płyt SP (pkt.3.3) wyznaczono z kryterium osiągnięcia jednego z dwóch stanów granicznych nośności: nośności na zginanie (mechanizm zniszczenia 1) i nośności na ścinanie regionów niezarysowanych (mechanizm 2), w najbardziej wyężonych przekrojach płyt, odpowiednio: normalnym środkowym i ukośnym przypodporowym (por. pkt.3.1.1(2)(3)). Jako miarodajną przyjęto mniejszą z tych dwóch wartości. Następnie, dla tak określonej wartości obciążeń, zweryfikowano nośność na ścinanie regionów zarysowanych w miejscu spodziewanego zarysowania dodatnim momentem zginającym (mechanizm 3). W tym samym przekroju sprawdzono również nośność zbrojenia z uwzględnieniem interakcji momentu zginającego i siły poprzecznej na wyężenie zbrojenia głównego, biorąc pod uwagę możliwe osłabienie nośności cięgien w zakotwieniu, jeżeli przekrój zarysowany znajdował się w strefie kotwienia strun (mechanizm 4). Nośność zakotwienia określono na podstawie normy [3] (por. pkt.5.3.1(1)).

Dopuszczalne obciążenie charakterystyczne $p_{k,lim}$ [kN/m²] (limit częstej kombinacji obciążeń) obliczono przyjmując jako kryterium oceny wyczerpanie granicznej szerokości rys prostopadłych (stan graniczny rozwarcia rys). Graniczną szerokość rys prostopadłych pod częstą kombinacją obciążeń przyjęto równą $w_{lim} = 0,2$ mm [3].

Dopuszczalną, długotrwałą (quasi-stałą) część obciążenia charakterystycznego $p_{kt,lim}$ [kN/m²] wyznaczono, w zależności od warunków eksploatacji płyt, z kryterium osiągnięcia jednego z dwóch stanów granicznych użyteczności. W klasach ekspozycji X0 oraz XC1 miarodajny był stan graniczny ugięcia, natomiast w bardziej agresywnych środowiskach (por. pkt.2.6.2) uwzględniono również stan graniczny dekompresji warstwy betonu grubości 25 mm w bezpośrednim otoczeniu cięgien sprężających. Za limit nośności długotrwałej przyjęto w tych warunkach mniejszą z wartości otrzymanych z każdego z tych dwóch kryteriów.

Limity wartości ugięć a_{lim} stropów z płyt SP, pod obciążeniem quasi-stalym przyjęto jak dla stropów z płaską powierzchnią dolną, zgodnie z wymaganiami normy [5]:

dla $l_{eff} \leq 6,0$ m	$a_{lim} = l_{eff}/200$
dla $6,0 < l_{eff} < 7,5$ m	$a_{lim} = 30$ mm
dla $l_{eff} \geq 7,5$ m	$a_{lim} = l_{eff}/250$

Wpływ zjawisk reologicznych w betonie na wartości ugięć uwzględniono zakładając, że płyta zostanie obciążona nie wcześniej niż po 28 dniach od chwili wyprodukowania (sprężenia), pozostając przez ten czas nieobciążona (zob. pkt.5.3.3). Dla tak ustalonej historii obciążenia, został wyznaczony współczynnik pełzania betonu, a następnie, z kryterium wyczerpania limitu ugięć, obliczone zostały dopuszczalne obciążenia quasi-stałe.

(2) Limit obciążenia płyt w sytuacji wyjątkowej $p_{fi,lim}$ [kN/m²] wyznaczono z kryterium wyczerpania nośności na zginanie lub ścinanie płyty osłabionej temperaturą pożaru, odpowiednio: w przekroju przęsłowym i przypodporowym. Mniejszą z wartości determinowanych jednym z tych stanów granicznych przyjęto za nośność ogniową płyty.

3.2. Wielkości statyczne płyt SP

3.2.1. Cechy mechaniczne płyt

Opierając się na założeniach i metodach obliczeń opisanych w poprzednim podrozdziale obliczono wartości cech mechanicznych i geometrycznych wszystkich wariantów płyt SP, niezbędne przy weryfikacji ich stanów granicznych. Pozwala to znacznie ograniczyć zakres obliczeń statyczno-wytrzymałościowych stropów.

W tabl.3.1 zestawiono wartości tych cech mechanicznych płyt SP, charakteryzujące właściwości płyt jako nośnego dźwigara ustroju stropowego, tak w sytuacji trwałej (pkt.5.3), jak i w wyjątkowej (pkt.6.3). W ramach tego obliczono wszystkie wielkości mechaniczne przekrojów, konieczne do oceny stanów granicznych nośności i użyteczności płyt: nośność na zginanie M_{Rd} , nośność na ścinanie regionów niezarysowanych $V_{Rd,c}$ i zarysowanych $V_{Rd,1}$, moment rysujący M_{cr} , moment dekompresji M_{dec} betonowej warstwy ochronnej zbrojenia o grubości 25 mm oraz moment M_{sm} , wymuszający rysy o szerokości granicznej (por. pkt.3.1.4). Odrębnie obliczono nośność na zginanie $M_{Rd,fi}$ i nośność na ścinanie $V_{Rd,fi}$ dla sytuacji wyjątkowej pożaru.

W tabl.3.2 zamieszczono natomiast wartości cech mechanicznych, które charakteryzują nośność lokalną płyt. Zakres tych danych obejmuje nośność na przebicie płyty opisanej nośnością poszczególnych żeber – wewnętrznych $V_{Rd,1}$ i $V_{Rd,1,0}$ oraz żeber skrajnych $V_{Rd,3}$ i $V_{Rd,3,0}$, nośność konturu na ścinanie podłużne v_{Rdj} oraz nośność na przebicie punktowe dolnej półki przekroju P_{Rdj} . Nośność na przebicie żeber obliczono osobno z uwzględnieniem i z pominięciem wpływu sprężenia.

Tabl.3.1. Cechy mechaniczne płyt SP

Wariant płyty	Wielkości statyczne								
	Spręż.	Ścinanie			Zginanie				
	$P_{m,\infty}$	$V_{Rd,c}$	$V_{Rd,1}$	$V_{Rd,fi}$	M_{cr}	M_{dec}	M_{sm}	M_{Rd}	$M_{Rd,fi}$
	[kN]	[kN]			[kNm]				
SP20-4/REI60	327,6	73,7	51,8	47,9	61,8	35,8	61,0	88,7	57,5
SP20-5/REI60	400,3	75,9	57,8	49,3	69,7	43,8	76,2	109,8	71,2
SP20-6/REI60	470,0	78,0	63,4	50,7	77,3	51,3	91,4	130,5	84,6
SP20-7/REI60	536,6	79,9	68,5	51,9	84,5	58,5	106,3	150,7	97,7
SP20-5/REI120	410,7	76,1	52,8	45,7	62,7	42,8	67,3	95,8	43,0
SP20-7/REI120	555,6	80,3	62,6	48,2	75,4	57,7	94,0	130,3	58,4
SP22-5/REI120	493,6	80,3	58,4	48,2	82,9	56,3	87,8	109,8	68,0
SP22-7/REI120	671,4	84,3	69,5	50,6	100,1	76,4	121,8	150,7	93,4
SP26.5-4/REI60	333,8	88,1	56,6	52,9	99,7	52,3	85,3	124,8	80,9
SP26.5-6/REI60	482,7	93,0	68,8	55,8	123,1	75,5	128,5	184,9	119,8
SP26.5-8/REI60	621,3	97,3	79,2	58,4	144,7	97,1	171,2	243,2	157,6
SP26.5-10/REI60	750,7	101,3	88,5	60,8	165,0	117,2	213,3	299,5	194,1
SP26.5-12/REI60	787,4	104,8	92,3	62,9	170,9	122,8	236,2	349,1	226,2
SP26.5-8/REI120	636,8	97,7	75,9	53,7	135,2	91,6	156,3	222,2	132,6
SP26.5-10/REI120	779,1	101,9	83,7	56,1	150,6	108,0	190,3	264,4	179,8
SP26.5-12/REI120	907,0	105,6	89,3	58,1	169,4	127,5	229,4	311,9	201,5
SP32-5/REI60	448,2	123,5	76,2	74,1	151,9	89,0	144,1	193,3	125,2
SP32-8A/REI60	680,2	133,4	96,9	80,0	198,2	135,0	230,5	304,5	197,3
SP32-8B/REI60	777,7	139,5	101,7	83,7	204,0	140,9	242,2	304,9	197,6
SP32-10A/REI60	678,8	139,0	101,5	84,4	198,3	134,6	247,4	376,6	244,0
SP32-10B/REI60	784,7	145,6	106,7	87,4	205,3	141,6	260,9	376,7	244,1
SP32-11A/REI60	734,5	141,6	106,4	85,0	209,4	145,5	272,2	411,9	266,9
SP32-11B/REI60	843,7	148,3	111,7	89,0	217,3	153,6	286,7	411,8	266,9
SP32-13A/REI60	849,5	146,9	114,4	88,1	226,9	163,1	312,8	464,8	349,9
SP32-13B/REI60	961,9	153,4	119,7	92,0	235,7	171,9	328,0	465,0	350,0
SP32-14A/REI60	905,1	149,4	118,2	89,6	235,4	171,5	333,1	488,6	384,9
SP32-14B/REI60	1019,1	155,8	123,5	93,5	244,6	180,8	348,6	489,0	385,2
SP32-8A/REI120	698,4	133,9	92,2	67,0	184,3	125,7	208,4	276,6	185,5
SP32-8B/REI120	786,6	139,7	96,2	69,9	187,6	129,6	216,9	277,0	185,8
SP32-11A/REI120	916,4	142,5	110,0	71,3	225,7	168,3	289,5	379,6	234,7
SP32-11B/REI120	1017,8	148,3	114,5	74,1	232,4	175,5	301,7	379,5	234,7
SP32-14A/REI120	1019,3	150,0	120,8	75,0	246,4	189,1	344,4	469,1	273,5
SP32-14B/REI120	1126,6	155,8	125,6	77,9	254,5	197,9	358,1	469,6	273,7
$P_{m,\infty}$	- średnia siła sprężająca po uwzględnieniu wszystkich strat								
$V_{Rd,c}$	- obliczeniowa nośność na ścinanie niezarysowanego regionu strefy przypodporowej								
$V_{Rd,1}$	- obliczeniowa nośność na ścinanie zarysowanego regionu strefy przypodporowej								
$V_{Rd,fi}$	- obliczeniowa nośność na ścinanie strefy przypodporowej osłabionej temperaturą pożaru								
M_{cr}	- moment rysujący dla dolnej krawędzi przekroju								
M_{dec}	- moment dekompresji ochronnej warstwy betonu w odległości 25mm od powierzchni strun								
M_{sm}	- moment, przy którym szerokość rys osiąga wartość graniczną 0,2 mm								
M_{Rd}	- obliczeniowa nośność przekroju na zginanie								
$M_{Rd,fi}$	- obliczeniowa nośność na zginanie przekroju osłabionego temperaturą pożaru								

Tabl.3.1 c.d. Cechy mechaniczne płyt SP

Wariant płyty	Wielkości statyczne								
	Spręż.	Ścinanie			Zginanie				
	$P_{m,\infty}$	$V_{Rd,c}$	$V_{Rd,1}$	$V_{Rd,fi}$	M_{cr}	M_{dec}	M_{sm}	M_{Rd}	$M_{Rd,fi}$
	[kN]	[kN]			[kNm]				
SP40-8A/REI60	684,9	182,9	114,4	100,6	266,4	177,7	297,9	393,7	255,1
SP40-8B/REI60	786,7	191,3	120,6	105,2	272,2	183,5	311,3	394,1	255,4
SP40-10A/REI60	793,8	191,3	126,5	105,2	295,1	205,8	359,1	488,3	316,4
SP40-10B/REI60	901,8	199,7	133,0	109,8	302,9	213,7	374,9	488,3	316,4
SP40-11A/REI60	859,6	195,2	133,0	107,4	312,3	222,8	394,6	534,9	346,6
SP40-11B/REI60	970,4	203,5	139,6	111,9	321,3	231,9	411,6	534,8	346,6
SP40-13A/REI60	993,2	202,9	143,9	111,6	340,9	251,3	455,3	615,6	463,4
SP40-13B/REI60	1107,2	210,9	150,6	116,0	351,2	261,7	473,5	615,4	463,2
SP40-14A/REI60	1057,7	206,5	149,1	113,6	354,8	265,0	485,3	655,2	516,2
SP40-14B/REI60	1173,3	214,4	155,8	117,9	365,7	276,0	504,1	655,1	516,1
SP40-16A/REI60	1011,8	212,7	150,3	117,0	344,9	254,4	497,5	737,3	569,4
SP40-16B/REI60	1136,8	221,4	157,6	121,8	357,4	266,9	518,7	738,0	569,9
SP41-11A/REI120	1012,2	198,3	134,9	99,1	340,0	250,8	411,0	510,3	358,9
SP41-11B/REI120	1129,7	206,9	141,2	103,5	344,9	256,8	424,1	510,2	358,8
SP41-13A/REI120	1165,5	205,8	148,2	102,9	378,5	290,4	485,6	600,7	410,6
SP41-13B/REI120	1287,7	214,2	154,8	107,1	385,3	298,4	500,6	600,5	410,4
SP41-14A/REI120	1239,2	209,3	154,5	104,6	396,9	309,5	522,3	645,3	434,9
SP41-14B/REI120	1363,7	217,7	161,2	108,8	404,8	318,5	538,2	645,0	434,7
SP41-16A/REI120	1381,2	216,0	166,4	108,0	432,5	346,1	594,7	729,0	480,0
SP41-16B/REI120	1510,0	224,2	173,3	112,1	442,2	357,0	612,3	729,1	480,0
$P_{m,\infty}$	- średnia siła sprężająca po uwzględnieniu wszystkich strat								
$V_{Rd,c}$	- obliczeniowa nośność na ścinanie niezarysowanego regionu strefy przypodporowej								
$V_{Rd,1}$	- obliczeniowa nośność na ścinanie zarysowanego regionu strefy przypodporowej								
$V_{Rd,fi}$	- obliczeniowa nośność na ścinanie strefy przypodporowej osłabionej temperaturą pożaru								
M_{cr}	- moment rysujący dla dolnej krawędzi przekroju								
M_{dec}	- moment dekompresji ochronnej warstwy betonu w odległości 25mm od powierzchni strun								
M_{sm}	- moment, przy którym szerokość rys osiąga wartość graniczną 0,2 mm								
M_{Rd}	- obliczeniowa nośność przekroju na zginanie								
$M_{Rd,fi}$	- obliczeniowa nośność na zginanie przekroju osłabionego temperaturą pożaru								

Tabl.3.2. Cechy mechaniczne ścianek profili SP

Wariant płyty	Przebiecie płyt SP				Ścinanie konturu	Przebiecie punktowe
	Żebro wewnętrzne		Żebro skrajne			
	V _{Rdj.1}	V _{Rdj.1.0}	V _{Rdj.3}	V _{Rdj.3.0}		
	[kN]				[kN/m]	[kN]
SP20-4/REI60	19,4	14,5	16,1	12,0	24,9	4,4
SP20-5/REI60	20,5		17,0			
SP20-6/REI60	21,5		17,9			
SP20-7/REI60	22,5		18,7			
SP20-5/REI120	20,7		17,1			
SP20-7/REI120	22,8		18,9			
SP22-5/REI120	22,8	15,9	18,9	13,2	35,2	13,8
SP22-7/REI120	25,3		20,9			
SP26.5-4/REI60	26,8	21,4	26,8	21,4	40,9	10,1
SP26.5-6/REI60	29,1		29,1			
SP26.5-8/REI60	31,3		31,3			
SP26.5-10/REI60	33,3		33,3			
SP26.5-12/REI60	33,8		33,8			
SP26.5-8/REI120	31,5		31,5			
SP26.5-10/REI120	33,8		33,8			
SP26.5-12/REI120	35,7		35,7			
SP32-5/REI60	47,2	35,8	39,3	29,8	36,2	8,0
SP32-8/REI60	53,0		44,2			
SP32-10/REI60	52,9		44,1			
SP32-11/REI60	54,3		45,2			
SP32-13/REI60	57,1		47,6			
SP32-14/REI60	58,4		48,7			
SP32-8/REI120	53,5		44,6			
SP32-11/REI120	58,9		49,0			
SP32-14/REI120	61,3		51,1			
SP40-8/REI60	65,4	45,6	54,7	38,1	41,4	8,43
SP40-10/REI60	68,5		57,3			
SP40-11/REI60	70,3		58,8			
SP40-13/REI60	74,1		61,9			
SP40-14/REI60	75,9		63,4			
SP40-16/REI60	74,4		62,5			
SP41-11/REI120	75,0	46,7	62,7	39,1	46,6	13,8
SP41-13/REI120	79,2		66,2			
SP41-14/REI120	81,1		67,9			
SP41-16/REI120	85,0		71,0			
V _{Rdj.1}	- nośność na ścinanie żebrow wewnętrznych z uwzględnieniem sprężenia					
V _{Rdj.1.0}	- nośność na ścinanie żebrow wewnętrznych z pominięciem wpływu sprężenia					
V _{Rdj.3}	- nośność na ścinanie żebrow skrajnych z uwzględnieniem sprężenia					
V _{Rdj.3.0}	- nośność na ścinanie żebrow skrajnych z pominięciem wpływu sprężenia					
V _{Rdj}	- nośność na ścinanie prostopadłe do konturu					
P _{Rdj}	- nośność na przebiecie punktowe dolnej półki przekroju					

3.2.2. Cechy geometryczne płyt

W zamieszczonej poniżej tabl.3.3 zestawiono wartości cech geometrycznych przekrojów płyt SP oraz wielkości charakteryzujących zakotwienie strun. Wielkości opisane w tabl.3.3 są istotne przy weryfikacji nośności płyt pod obciążeniem nierównomiernym (zob. pkt.5.3 i pkt.10.5.3).

Tabl.3.3. Wielkości geometryczne płyt SP

Wariant płyty	Mimośród	Zbrojenie	Przekrój			Zakotwienie strun			
	Z _{cp}	A _p	I _{cs}	W _t	r	l _{pt2}	l _{bpd}		
	[cm]	[cm ²]	[cm ⁴]	[cm ³]	[m]	[cm]			
SP20-4/REI60	6,13	3,72	62571	6018	0,278	52	111		
SP20-5/REI60	6,11	4,65	62719						
SP20-6/REI60	6,09	5,58	62867						
SP20-7/REI60	6,07	6,51	63013						
SP20-5/REI120	4,14	4,65	62312						
SP20-7/REI120	4,11	6,51	62447						
SP22-5/REI120	4,44	4,65	85184	7065	0,278	62	101		
SP22-7/REI120	4,42	6,51	85339						
SP26.5-4/REI60	9,54	3,72	152819	11315	0,375	52	112		
SP26.5-6/REI60	9,49	5,58	153537						
SP26.5-8/REI60	9,45	7,44	154250						
SP26.5-10/REI60	9,41	9,30	154955						
SP26.5-12/REI60	9,36	11,16	155655			46	116		
SP26.5-8/REI120	7,61	7,44	153234						
SP26.5-10/REI120	7,06	9,30	153386						
SP26.5-12/REI120	7,26	11,16	153939						
SP32-5/REI60	12,20	4,65	244295	14929	0,399	57	107		
SP32-8A/REI60	12,12	7,44	246057						
SP32-8B/REI60	10,33		247368						
SP32-10A/REI60	12,07	9,30	247220						
SP32-10B/REI60	10,23		248542						
SP32-11A/REI60	12,05	10,23	247797						
SP32-11B/REI60	10,37		249124						
SP32-13A/REI60	11,40	12,09	248202						
SP32-13B/REI60	10,03		249536						
SP32-14A/REI60	11,14	13,02	248414						
SP32-14B/REI60	9,89		249751						
SP32-8A/REI120	9,67	7,44	244326						
SP32-8B/REI120	8,09		245629						
SP32-11A/REI120	10,00	10,23	245783						
SP32-11B/REI120	8,86		247100						
SP32-14A/REI120	10,17	13,02	247229						
SP32-14B/REI120	9,15		248561						
Z _{cp}	- mimośród siły sprężającej								
A _p	- pole przekroju zbrojenia głównego (dolnego)								
I _{cs}	- sprowadzony moment bezwładności przekroju								
W _t	- wskaźnik zginania dla górnych włókien przekroju								
r	- ramię skręcania (zob. formuła (10.4))								
l _{pt2}	- efektywna długość transferu siły sprężającej								
l _{bpd}	- obliczeniowa długość zakotwienia strun								

Tabl.3.3 c.d. Wielkości geometryczne płyt SP

Tabl. 6.6 a.d. Wzrostu geometryczno płyt 6.

Wariant płyty	Mimośród	Zbrojenie	Przekrój			Zakotwienie strun	
	Z_{cp}	A_p	I_{cs}	W_t	r	l_{pt2}	l_{bpd}
	[cm]	[cm ²]	[cm ⁴]	[cm ³]	[m]	[cm]	
SP40-8A/REI60	16,39	7,44	437036	21581	0,398	57	107
SP40-8B/REI60	13,65		439218				
SP40-10A/REI60	16,33	9,30	439162			54	110
SP40-10B/REI60	14,01		441361				
SP40-11A/REI60	16,30	10,23	440219			52	111
SP40-11B/REI60	14,19		442427				
SP40-13A/REI60	15,64	12,09	441308			52	111
SP40-13B/REI60	13,90		443528				
SP40-14A/REI60	15,37	13,02	441861			45	117
SP40-14B/REI60	13,78		444087				
SP40-16A/REI60	15,42	14,88	443940			45	117
SP40-16B/REI60	13,69		446182				
SP41-11A/REI120	13,65	10,23	483983	22669	0,398	61	103
SP41-11B/REI120	11,51		486480				
SP41-13A/REI120	13,76	12,09	485692				
SP41-13B/REI120	11,95		488206				
SP41-14A/REI120	13,80	13,02	486545				
SP41-14B/REI120	12,12		489065				
SP41-16A/REI120	13,85	14,88	488240				
SP41-16B/REI120	12,39		490775				
Z_{cp}	- mimośród siły sprężającej						
A_p	- pole przekroju zbrojenia głównego (dolnego)						
I_{cs}	- sprowadzony moment bezwładności przekroju						
W_t	- wskaźnik zginania dla górnych włókien przekroju						
r	- ramię skręcania (zob. formuła (10.4))						
l_{pt2}	- efektywna długość zakotwienia strun						
l_{bpd}	- obliczeniowa długość zakotwienia strun						

3.2.3. Współczynniki korekcyjne

Zestawione w tabl.3.1 i 3.2 wartości cech mechanicznych i geometrycznych przekrojów płyt SP dotyczą płyt podstawowych, o pełnej szerokości przekroju poprzecznego (rys.2.4, pkt.2.2.1), i tylko do takich prefabrykatów są one adekwatne. Nie można ich natomiast odnosić do płyt zwężonych poprzez podłużne rozcięcie, ani do poprzecznych przekrojów płyt zredukowanych wycięciem bocznym lub środkowym (por. pkt.2.4.2, pkt.2.4.3). Wykonanie w płytach podstawowych prostokątnych wycięć wywiera istotny wpływ na wartość wielkości statycznych przekrojów. W szczególnym przypadku może również mieć wpływ na pracę statyczną tak ukształtowanego elementu. Obydwa wpływy należy uwzględnić w obliczeniach statyczno-wytrzymałościowych (zob. pkt.5.3.4).

Wycięcie w płycie, bez względu na miejsce w jakim zostało wykonane, wpływa zawsze redukując na wartość cech przekrojowych. Ponadto, boczne wycięcie przypodporowe wygenerować może momenty skręcające w prefabrykacie, których działanie musi zostać uwzględnione przy weryfikacji nośności płyty. Każdy z tych wpływów daje się łatwo uwzględnić za pomocą odpowiednich współczynników korekcyjnych. Dalej zdefiniowano te współczynniki oraz zestawiono ich wartości liczbowe, obliczone dla typowych szerokości wycięć bocznych i środkowych stosowanych w systemie płyt stropowych SP (por. pkt.2.4.2, pkt.2.4.3).

Adekwatnie do powyższego, wprowadza się pojęcia współczynników redukcji nośności przekrojów oraz pojęcie współczynnika amplifikacji siły poprzecznej pod wpływem działania momentu skręcającego.

Współczynnik redukcji nośności na ścinanie definiuje się jako:

$$\delta_V = 1 - \frac{\Delta b_w}{\Sigma b_{w,0}} \quad (3.1)$$

gdzie: $\Sigma b_{w,0}$ - suma szerokości wszystkich żebier płyty podstawowej, w środku ciężkości przekroju,
 Δb_w - łączna szerokość żebier, które zostały wycięte przy podporze.

Współczynnik redukcji nośności na zginanie określa formuła:

$$\delta_M = 1 - \frac{c}{b_0} \quad (3.2)$$

gdzie: c - szerokość wycięcia [m],

$b_0 = 1,2$ m - szerokość płyty podstawowej (rys.2.4).

Zdefiniowany wyżej współczynnik δ_M jest odpowiedni także do korygowania wszystkich pozostałych wielkości statycznych przekroju poprzecznego, związanych ze zginaniem (zob. tabl.3.1).

Wykonanie bocznego wycięcia przypodporowego wymusza w płycie działanie momentu skręcającego, co ma związek z mimośrodowym oddziaływaniem reakcji podporowej. Ta dodatkowa siła wewnętrzna powoduje dociążenie żebra po jednej stronie prefabrykatu, głównie żebra skrajnego w bezpośrednim sąsiedztwie wycięcia. Ten efekt można uwzględnić poprzez odpowiednie zwiększenie wartości siły poprzecznej przy podporze, uśrednionej po szerokości przekroju. Jej wartość można oszacować posługując się metodą obliczeniową, ustanowioną w normie [7]. Na tej podstawie zdefiniować można współczynnik amplifikacji siły poprzecznej w przekroju osłabionym wycięciem przypodporowym, uwzględniający wpływ momentu skręcającego na wyężenie strefy przypodporowej, jako:

$$\eta = 1 + \frac{c}{2} \cdot \frac{\Sigma b_w}{2 \cdot b_w \cdot (b - b_w)} \quad (3.3)$$

gdzie: Σb_w - suma szerokości wszystkich żebrow płyty, na poziomie środka ciężkości przekroju, w przekroju osłabionym wycięciem przypodporowym,

$b - b_w$ - osiowy rozstaw skrajnych żebrow w przekroju płyty osłabionym wycięciem,

b_w - szerokość żebra skrajnego.

Wszystkie współczynniki zależne są wyłącznie od cech własnych profili płyt SP (ich cech geometrycznych) w miejscu osłabionym wycięciem. Ponieważ wymiary przekrojów są jednoznacznie ustalone, a dostępne w systemie płyt SP szerokości wycięć zostały skatalogowane (pkt.2.4.2 i pkt.2.4.3), na podstawie przytoczonych wyżej formuł matematycznych, dla każdego typu płyty SP, wartości wszystkich współczynników obliczono, a otrzymane wartości zestawiono w tab.3.4.

Tabl.3.4. Współczynniki korekcyjne dla płyt osłabionych wycięciami

Typ płyty	Wycięcie		Współczynniki		
	rodzaj	c [mm]	η	δ_V	δ_M
SP20, SP22	boczne	180	1,28	0,87	0,85
		370	1,60	0,72	0,69
	środkowe	300	1,00	0,85	0,75
SP26.5	boczne	200	1,26	0,83	0,84
		420	1,59	0,67	0,67
	środkowe	320	1,10	0,83	0,75
		550	1,00	0,67	0,56
SP32	boczne	250	1,23	0,82	0,80
	środkowe	420	1,00	0,78	0,66
SP40, SP41	boczne	250	1,29	0,82	0,79
	środkowe	420	1,00	0,79	0,65

3.3. Dopuszczalne obciążenie płyt SP

3.3.1. Nośność płyt w sytuacji trwałej

Dla najczęściej spotykanego schematu obciążenia stropów w budynkach - obciążenia rozłożonego równomiernie - obliczone zostały wartości dopuszczalnych obciążeń na jednostkę powierzchni stropu w funkcji efektywnej rozpiętości przęsła. Na podstawie obliczonych cech mechanicznych przekrojów (pkt.3.2.1) wyznaczono dopuszczalne obciążenie obliczeniowe, charakterystyczne (wartość częsta) oraz quasi-stałe. Dopuszczalne obciążenie quasi-stałe wyznaczono z dwóch kryteriów, w zależności od warunków eksploatacji płyt i przy założonej a priori historii obciążenia (por. pkt.3.1.4). W każdym przypadku, wartości zewnętrznych obciążeń dopuszczalnych jakie można przyłożyć do stropów skonstruowanych z płyt SP określono poprzez pomniejszenie obciążeń całkowitych o ciężar własny gotowego stropu, ze złączami wypełnionymi betonem (tabl.2.9). W przypadku obciążeń obliczeniowych, obciążenia całkowite pomniejszono o obliczeniowy ciężar własny stropu, wyznaczony ze współczynnikiem obciążenia $\gamma_f = 1,35$.

Dopuszczalne obciążenia równomierne stropów obliczono i zestawiono w tabelach nośności, które zamieszczono w załączniku A. W oparciu o te wartości liczbowe, zestawione w tabelach dopuszczalnych obciążeń, wykonać można weryfikację nośności płyt pod obciążeniem równomiernym, przestrzegając wytycznych zamieszczonych w pkt.5.2. W tabelach nośności, wartości dopuszczalnych obciążeń obliczeniowych, które determinowane były wyczerpaniem nośności na ścinanie stref przypodporowych, wyróżniono pogrubioną czcionką. W tych przypadkach nośność na zginanie jest niewykorzystana (zob. też pkt.7.1).

3.3.2. Nośność płyt w sytuacji wyjątkowej

Podobnie jak dla sytuacji trwałej (pkt.3.3.1), również dla sytuacji wyjątkowej wyznaczono dopuszczalne obciążenie zewnętrzne na jednostkę powierzchni stropu na podstawie cech mechanicznych przekrojów płyt osłabionych temperaturą pożaru (por. pkt.3.2.1). Dla każdego typu i wariantu zbrojenia wartość nośności ogniowej płyt w funkcji rozpiętości efektywnej zestawiono w tabelach dopuszczalnych obciążeń, zamieszczonych w załączniku A (w kolumnie 8). Te dane mogą stanowić podstawę do weryfikacji nośności stropu w sytuacji wyjątkowej pożaru (zob. pkt.6.2).

3.4. Właściwości izolacyjne stropów z płyt SP

3.4.1. Izolacyjność termiczna stropów

Przegroda pozioma skonstruowana z kanałowych płyt stropowych SP ma strukturę złożoną. Zgodnie z normą [34] w przegrodzie o takiej strukturze wyodrębnia się w kierunku przepływu ciepła umowne sekcje, wewnątrz których znajdują się warstwy materiałów jednorodnych, natomiast w kierunku prostopadłym wydziela się umowne warstwy o różnej grubości, ciągnące się wzdłuż wszystkich wyodrębnionych wcześniej sekcji, które scharakteryzować można jednorodnymi (uśrednionymi) właściwościami termoizolacyjnymi.

Strop kanałowy jest więc ustrojem, w którym obok siebie występują elementy o zróżnicowanych właściwościach termoizolacyjnych – betonowe żebra oraz powietrze wewnątrz kanałów. To zróżnicowanie jest skutkiem odmienności zjawisk fizycznych, jakie odpowiadają za przewodzenie ciepła w ciałach stałych i w gazach. W ciałach stałych (jak beton) wymiana ciepła odbywa się wyłącznie przez przewodzenie, natomiast w komorach wypełnionych powietrzem oprócz przewodzenia pojawiają się zjawiska konwekcji oraz promieniowania.

Istnienie w przegrodzie wewnętrznych przestrzeni wypełnionych powietrzem może korzystnie wpływać na jej właściwości termoizolacyjne. Nieruchome powietrze zamknięte w wewnętrznych, niewentylowanych komorach jest bowiem doskonałym izolatorem, znacząco lepszym niż beton, z którego wykonane są prefabrykaty. Płyty SP produkowane są z betonu zwykłego, wytwarzanego na bazie naturalnych kruszyw mineralnych, który jest wprawdzie doskonałym materiałem konstrukcyjnym, ale jednocześnie doskonałym przewodnikiem ciepła. Sekcje zawierające wewnętrzny kanał mogą w związku z tym charakteryzować się znacznie wyższym oporem cieplnym niż sekcje wypełnione całkowicie betonem (żebra płyty). Kluczowego znaczenia nabiera tu warunek, by wypełniające kanały powietrze stanowiło nieruchomą warstwę gazu. Stabilność warstwy gazu można łatwo zapewnić w przegrodzie, w której komory ukształtowano w formie szczelin o niedużej grubości, do około 25 mm [34]. W przegrodzie skonstruowanej z płyt kanałowych grubość komór (wydrążeń) jest zdecydowanie większa (por. rys.2.1), co przy znacznej różnicy temperatur po obu stronach przegrody wymusić może cyrkulację powietrza w wnętrzu kanałów. To zjawisko może nasilać transfer ciepła przez przegrodę.

Uwzględniając opisane wyżej charakterystyczne cechy wielokanałowej przegrody budowlanej, w opinii technicznej [41] wykonano niezbędne obliczenia cieplne. Dla celów obliczeniowych, rzeczywiste przekroje poprzeczne płyt stropowych SP zostały sprowadzone do przekrojów zastępczych o uproszczonym kształcie, w których wewnętrzne kanały mają przekrój prostokątny (lub kwadratowy). Geometrię tych przekrojów ustalono według następujących reguł [34]:

- zachowano niezmiennione pola powierzchni przekroju kanałów (komór),
- zachowano takie same proporcje wysokości do szerokości kanałów,
- w płytach, w których kanały nie mają jednakowej szerokości (płyty SP32 i SP40), szerokość kanałów uśredniono,
- zachowano położenie środka wysokości kanałów zastępczych i rzeczywistych.

Opór cieplny takich niejednorodnych przegród wyznaczono w dwóch krokach [34]. Najpierw wyznaczono opór cieplny zespołu rozmieszczonych periodycznie sekcji płyt kanałowych, który stanowi kres górny oporu cieplnego przegrody. Następnie - w drugim kroku – wyznaczono łączny opór cieplny umownych warstw płyt kanałowych, który odpowiada kresowi dolnemu oporu cieplnego przegrody. Ostatecznie, opór cieplny przegrody R_T obliczono jako średnią arytmetyczną górnego i dolnego kresu oporu cieplnego [41].

Wartości oporów cieplnych przegród skonstruowanych z płyt stropowych SP, wyznaczone opisaną wyżej metodologią zestawiono w tabl.3.5. Można je wykorzystywać przy ocenie izolacyjności termicznej stropów. Opory cieplne oszacowano dla dwóch kierunków przepływu ciepła: z dołu do góry - w odniesieniu do stropów i stropodachów nad pomieszczeniami ogrzewanymi - i z góry w dół - w odniesieniu do stropów pod pomieszczeniami ogrzewanymi (nad nie ogrzewanymi przestrzeniami i przejazdami).

Tabl.3.5 Opór cieplny przegród poziomych z płyt SP

Kierunek strumienia ciepła	Opór cieplny przegrody R_T [m^2K/W]					
	SP20	SP22	SP26.5	SP32	SP40	SP41
dół → góra	0,145	0,156	0,176	0,189	0,205	0,210
góra → dół	0,164	0,175	0,199	0,219	0,249	0,254

W obydwu przypadkach wpływ zjawiska konwekcji wewnątrz wydrążeń uwzględniono dla różnicy temperatur po obu stronach przegrody $\Delta T = 10K$. Słuszność tego założenia należy zawsze zweryfikować, badając rozkład temperatury w przegrodzie. Obliczona różnica temperatury na każdej z dwóch zewnętrznych powierzchni płyt SP nie powinna być większa od założonej, aby oszacowane wartości oporów cieplnych można było uważać za wiarygodne.

Płytom SP należy również zapewnić korzystne termicznie warunki eksploatacji. Aby ograniczyć wpływ wahań temperatury, płyty stropowe powinny znajdować się po ogrzewanej stronie przegrody i być odizolowane od strony nieogrzewanej (zimnej) odpowiednią warstwą izolacji termicznej.

Podane w tabeli wartości są wartościami uśrednionymi na jednostkę powierzchni stropu kanałowego. Nie uwzględniają one niekorzystnego wpływu ewentualnego wypełnienia kanałów betonem, co może mieć niekiedy miejsce w ich przypodporowych odcinkach (zob. rozdz.7).

3.4.2. Izolacyjność akustyczna stropów

Właściwości akustyczne przegrody poziomej skonstruowanej z płyt sprężonych SP oszacowano w dwóch aspektach: izolacyjność od dźwięków powietrznych (zdolność do tłumienia energii ciśnienia akustycznego między pomieszczeniem nadawczym a odbiorczym) oraz zdolność do tłumienia dźwięków materiałowych (uderzeniowych).

Dla oszacowania wartości wskaźników izolacyjności akustycznej właściwej stropów z płyt SP, posłużono się matematycznym modelem zdefiniowanym dla ustrojów żelbetowych o analogicznej budowie, który został rozpoznany i zweryfikowany doświadczalnie [37]. Na podstawie takiego empirycznego modelu, po uwzględnieniu rzeczywistej jednostkowej masy stropów, obliczono wartości wskaźnika ważonego izolacyjności akustycznej właściwej R_w oraz dwóch wskaźników adaptacyjnych: R_{A1} i R_{A2} , które charakteryzują zdolność przegrody do izolowania od dźwięków w widmie, odpowiednio: płaskim i niskoczęstotliwościowym [34]. Podobnie wyznaczono równoważny wskaźnik ważony znormalizowanego poziomu uderzeniowego $L_{n,eq,0,w}$, który charakteryzuje izolacyjność stropów od dźwięków uderzeniowych.

Wartości wszystkich wskaźników zamieszczono w tabl.3.6. Podane wartości są wartościami prognozowanymi; nie były weryfikowane doświadczalnie.

Tabl.3.6 Wskaźniki izolacyjności akustycznej przegród z płyt SP [41]

Wskaźnik	Prognozowane wartości wskaźników [dB]					
	SP20	SP22	SP26.5	SP32	SP40	SP41
R_w	52,0 ± 1	54,0 ± 1	55,0 ± 1	56,0 ± 1	57,0 ± 1	57,0 ± 1
R_{A1}	50,0 ± 1	52,0 ± 1	53,0 ± 1	54,0 ± 1	55,0 ± 1	55,0 ± 1
R_{A2}	46,0 ± 1	48,0 ± 1	49,0 ± 1	50,0 ± 1	51,0 ± 1	51,0 ± 1
$L_{n,eq,0,w}$	75,0 ± 1	74,0 ± 1	72,0 ± 1	71,0 ± 1	70,0 ± 1	70,0 ± 1

Na izolacyjność akustyczną przegród poziomych wpływ wywiera również boczne przenoszenie dźwięków przez przegrody pionowe, na których opiera się strop (ściany nośne) i do których strop przylega. Należy to uwzględnić przy kształtowaniu charakterystyki akustycznej przegród i pomieszczeń w budynku. Odpowiednią ocenę wpływu tego zjawiska, w zależności od konstrukcji ścian, można przeprowadzić na podstawie opracowania [38].

Przy projektowaniu obiektów budowlanych należy też mieć na uwadze boczne przenoszenie dźwięków przez stropy, między pomieszczeniami sąsiadującymi na tej samej kondygnacji. To zjawisko może nabierać szczególnego znaczenia w stropach wielokanałowych, gdy wewnętrzne wydrążenia nie są przegrodzone nad lub pod ścianami działowymi. Kanały wewnątrz tak prowadzonego stropu mogą stać się mostkami akustycznymi między pomieszczeniami oddzielonymi ścianą działową.

4. OBLICZENIA STATYCZNE STROPÓW Z PŁYT SP

4.1. Obciążenia stropów z płyt SP

4.1.1. Ustalenie wartości obciążeń

Na poziom bezpieczeństwa ustroju budowlanego wpływają dwa główne parametry [25]: efekt obciążeń działających na konstrukcję oraz jej nośność. Obydwie te wielkości są zmiennymi losowymi, co wymaga podejścia probabilistycznego do problemu niezawodności. Należy zagwarantować z wymaganym prawdopodobieństwem, że w założonym okresie eksploatacji obiektu efekty oddziaływań nie przekroczą aktualnej nośności elementów ustroju.

Przepisy normowe regulują kwestię niezawodności konstrukcji definiując charakterystyczne wartości oddziaływań (obciążeń), które są określone z pewnym prawdopodobieństwem nieprzekroczenia w założonym okresie powrotu, wartości cech fizycznych materiałów (wytrzymałościowych i sztywnościowych) gwarantowane z założonym prawdopodobieństwem oraz wartości współczynników częściowych, odpowiednio: współczynników obciążeń i współczynników materiałowych. Kombinacja tych współczynników składa się na globalny współczynnik bezpieczeństwa konstrukcji, który wraz z szacowanym prawdopodobieństwem wystąpienia obciążeń projektowych i cech mechanicznych materiałów składa się na system zapewnienia niezawodności ustroju. Z tego względu ważne jest, aby wartości obciążeń oraz współczynników częściowych, tak po stronie obciążeń jak i materiałów zostały właściwie wykalibrowane, by globalny współczynnik bezpieczeństwa pozostawał na poziomie założonym przez system norm projektowania konstrukcji.

Podstawą zaprojektowania systemu płyt stropowych SP [39] był zbiór norm europejskich [1]÷[8] (por. pkt.3.1). W związku z powyższym, aby kalibracja współczynników częściowych była wzajemnie spójna, wartości obciążeń oraz współczynników obciążeń ustalać należy wg tego samego systemu norm europejskich. Wartość reprezentatywną obciążeń stałych i użytkowych stropów należy określić na podstawie zbioru norm [2], odpowiednio do kategorii użytkowania powierzchni (pkt.2.6.1, tabl.2.7) i innych czynników zewnętrznych (zob. pkt.4.2.1). Z kolei, wartości współczynników częściowych dla obciążeń stałych i zmiennych należy przyjąć według normy [1]. Na tej podstawie wyznaczyć należy wartości kombinacyjne oddziaływań, odrębnie dla stanów granicznych nośności i dla stanów granicznych użytkowalności w sytuacji trwałej (por. pkt.3.3.1 i pkt.4.1.2) oraz wartość kombinacyjną dla sytuacji wyjątkowej, jaką w przypadku stropów w budynkach jest najczęściej pożar (por. pkt.3.3.2 i pkt.4.1.3).

W zestawieniach obciążeń może być konieczne uwzględnienie zróżnicowanej na długości przęsła grubości warstw wykończeniowych stropu, co może być konsekwencją wypiętrzenia płyt wymuszonego wstępnym sprężeniem (por. pkt.2.5.3 i pkt.9.6).

4.1.2. Kombinacje obciążeń w sytuacji trwałej

(1) W ogólnym przypadku, poza obciążeniami stałymi, na strop oddziaływać może kilka obciążeń zmiennych. Rozpatrując stan graniczny nośności płyty w sytuacji trwałej (stan STR) wartość kombinacyjną obciążeń można ustalić jedną z dwóch metod, albo wprost z formuły (metoda bezpośrednia):

$$p_{d.1} = \sum_{j \geq 1} \gamma_{G,j} \cdot G_{k,j} + \gamma_{Q,1} \cdot Q_{k,1} + \sum_{i > 1} \gamma_{Q,i} \cdot \psi_{0,i} \cdot Q_{k,i} \quad (4.1)$$

albo na podstawie analizy efektów oddziaływań (metoda selekcji) wymuszonych przez dwie wartości kombinacyjne obciążeń, określone wyrażeniami:

$$p_{d.2a} = \sum_{j \geq 1} \gamma_{G,j} \cdot G_{k,j} + \gamma_{Q,1} \cdot \psi_{0,1} \cdot Q_{k,1} + \sum_{i > 1} \gamma_{Q,i} \cdot \psi_{0,i} \cdot Q_{k,i} \quad (4.2a)$$

$$p_{d.2b} = \sum_{j \geq 1} \xi_j \cdot \gamma_{G,j} \cdot G_{k,j} + \gamma_{Q,1} \cdot Q_{k,1} + \sum_{i > 1} \gamma_{Q,i} \cdot \psi_{0,i} \cdot Q_{k,i} \quad (4.2b)$$

Stosując tą drugą metodę, za miarodajną do oceny stanu granicznego nośności przyjąć należy tą wartość kombinacyjną, która daje bardziej niekorzystne efekty oddziaływań. Wobec prostego schematu statycznego płyt (pkt.4.2.1) i prostego schematu obciążeń (najczęściej obciążenie równomierne), wartością miarodajną będzie wartość większa, co w zapisie formalnym wyraża formuła:

$$p_{d.2} = \max\{p_{d.2a}; p_{d.2b}\} \quad (4.3)$$

(2) Do analizy stanów granicznych użytkowności płyt konieczne jest wyznaczenie dwóch kombinacji obciążeń: kombinacji częstej i kombinacji quasi-stałej. Wartość częstą obciążenia należy obliczyć z formuły:

$$p_k = \sum_{j \geq 1} G_{k,j} + \psi_{1,1} \cdot Q_{k,1} + \sum_{i > 1} \psi_{2,i} \cdot Q_{k,i} \quad (4.4)$$

natomiast wartość quasi-stałą z wyrażenia:

$$p_{kt} = \sum_{j \geq 1} G_{k,j} + \sum_{i \geq 1} \psi_{2,i} \cdot Q_{k,i} \quad (4.5)$$

Wartość częsta wykorzystywana jest do oceny stanu granicznego rozwarcia rys, zaś wartość quasi-stała w ocenie stanu granicznego ugięć i dekompresji.

Symbole użyte w wyrażeniach (4.1)+(4.5) oznaczają (por. z normą [1]):

- $G_{k,j}$ - wartość charakterystyczna obciążeń stałych,
- $Q_{k,1}$ - wartość charakterystyczna dominującego obciążenia zmiennego,
- $Q_{k,i}$ - wartość charakterystyczna towarzyszących obciążeń zmiennych,
- $\psi_{0,1}$ - współczynnik wartości kombinacyjnej dominującego obciążenia zmiennego,
- $\psi_{0,i}$ - współczynnik wartości kombinacyjnej towarzyszących obciążeń zmiennych,
- $\psi_{1,1}$ - współczynnik wartości częstej dominującego obciążenia zmiennego,
- $\psi_{2,i}$ - współczynnik wartości quasi-stałej towarzyszących obciążeń zmiennych,
- $\gamma_{G,j} = 1,35$ - częściowy współczynnik bezpieczeństwa dla obciążeń stałych,
- $\gamma_{Q,1} = \gamma_{Q,i} = 1,5$ - częściowy współczynnik bezpieczeństwa dla obciążeń zmiennych,
- $\xi = 0,85$ - współczynnik redukcyjny obciążeń stałych.

W najczęściej spotykanych przypadkach stropy obciążone są jednym obciążeniem zmiennym, które jest w takim przypadku obciążeniem dominującym. W takiej sytuacji, wyrażenia (4.1)+(4.4) redukują się o ostatni składnik sumy po prawej stronie równości. Towarzyszących obciążeń zmiennych na stropie oczekiwać należy wyjątkowo (np. śnieg lub oblodzenie na stropodachu użytkowym).

4.1.3. Kombinacja obciążeń w sytuacji wyjątkowej

Sytuacją wyjątkową, jaką należy rozważyć w analizie statyczno-wytrzymałościowej konstrukcji stropu w budynku jest pożar. Analizując stan graniczny nośności płyt w sytuacji wyjątkowej pożaru, wartość kombinacyjną obciążeń wyznaczyć należy ze wzoru:

$$p_{d,fi} = \sum_{j \geq 1} G_{k,j} + \psi_{0,k} \cdot Q_{k,1} + \sum_{i > 1} \psi_{2,i} \cdot Q_{k,i} + A_d \quad (4.6)$$

Współczynnik wartości kombinacyjnej dominującego obciążenia zmiennego w sytuacji wyjątkowej (w drugim składniku sumy po prawej stronie równości (4.6)) może w myśl normy [1] zostać ustalony jako równy współczynnikowi wartości częstej albo quasi-stałej, czyli: $\psi_{0,k} = \psi_{1,1}$ lub $\psi_{2,1}$. Decyzję co do wyboru jednej z tych dwóch wartości norma pozostawia konstruktorowi. Biorąc pod uwagę wrażliwość sprężonych płyt kanałowych na uszkodzenia wymuszone wpływem odkształceń termicznych [30] oraz ryzyko przedwczesnej utraty nośności stref przypodporowych na skutek utraty przyczepności strun do betonu [32] [33], zarekomendować należy wartość: $\psi_{0,k} = \psi_{1,1}$.

Normy projektowania nie definiują również wprost wartości obciążeń wyjątkowych (pośrednich i dodatkowych A_d), jakie należy uwzględnić w analizie nośności stropów w sytuacji wyjątkowej pożaru. Norma [3] zezwala, by weryfikację wymagań standardowej nośności ogniowej przeprowadzać na podstawie analizy elementu konstrukcji, a nie całego ustroju. Takie podejście zastosowano także w dokumentacji projektowej płyt SP [39], jak również w tej instrukcji (pkt.3.3.2). Wobec tego, jeżeli analizie poddajemy przeszło płyty stropowej, której powierzchnią eksponowaną na działanie temperatury pożaru jest powierzchnia sufitowa, a przegroda stropowa stanowić ma barierę ogniochronną w założonym czasie ekspozycji na ogień, to trudno oczekiwać, by pożar rozwijający się pod stropem mógł wygenerować dodatkowe obciążenia na powierzchni tego stropu. Odkształcenia termiczne betonu wymuszają wprawdzie znaczny przyrost ugięcia płyt, co może doprowadzić do wywracania się wyposażenia zgromadzonego na powierzchni stropu i towarzyszące temu lokalne efekty dynamiczne, jednak przyrostu uśrednionych obciążeń całkowitych to nie spowoduje. Dlatego za słuszne uznać należy przyjęcie wartości obciążeń dodatkowych: $A_d = 0$. Wówczas, w rezultacie tego i wcześniejszego założenia co do wartości współczynnika kombinacyjnego dla dominującego obciążenia zmiennego, wyrażenie (4.6) redukuje się do postaci zgodnej z wyrażeniem (4.4).

Jedynym obciążeniem dodatkowym stropu poddanego działaniu temperatury pożaru będą odkształcenia wymuszone odkształceniami termicznymi. Dopóki pożar ma charakter lokalny siły

podłużne wymuszone w przęsłach będą siłami ściskającymi, korzystnymi z punktu widzenia pracy statycznej prefabrykatów z betonu. Niebezpieczne siły rozciągające pojawić się mogą w fazie pożaru zaawansowanego, po czasie zbliżonym do okresu trwałości ogniowej stropu.

4.2. Redystrybucja obciążeń miejscowych

4.2.1. Podstawowe informacje

Podłużne styki między prefabrykowanymi płytami SP, jeśli zostaną prawidłowo wypełnione betonem na budowie (zob. pkt.9.3.1), posiadają znaczną wytrzymałość na ścinanie (zob. pkt.5.4.2). Zapewnia im to zdolność do przekazywania (dystrybucji) obciążeń pomiędzy sąsiadującymi prefabrykatami, jeżeli te nie są obciążone jednakowo. Tą cechą można wykorzystać w analizie nośności globalnej płyt, uwzględniając poprzeczny transfer obciążeń lokalnych z płyty, na którą to obciążenie działa bezpośrednio, na płyty sąsiadujące. W szczególności, możliwe jest uwzględnianie w obliczeniach statycznych rozdziału obciążeń liniowych, równoległych do żeber płyt (jak ciężar ściany działowej), oraz obciążeń skupionych na małej powierzchni.

Działające na strop obciążenie miejscowe rozdzielić można na kilka sąsiadujących ze sobą płyt mnożąc wartość tego obciążenia przez wyznaczone empirycznie współczynniki wpływu. Wartości tych współczynników dla zespołu współpracujących ze sobą płyt określać należy zgodnie z zasadami podanymi w kolejnych punktach tego podrozdziału. Opisane metody dotyczą płyt podstawowych, o pełnej szerokości (rys.2.1), i nie mogą być wprost adaptowane do płyt zwężonych (por. pkt.2.4.6).

Efekt redystrybucji obciążeń jest szczególnie zauważalny w płytach długich. W przypadku obciążeń skupionych znaczenie ma też miejsce przyłożenia siły na długości przęsła. Płyty sąsiadujące z płytą obciążoną są w stanie skuteczniej współpracować, gdy siła skupiona działa w pobliżu środka przęsła. W takich warunkach potencjalna korzyść z uwzględnienia poprzecznej współpracy płyt może być największa, prowadząc do redukcji niezbędnej nośności płyt, a w konsekwencji do redukcji zbrojenia lub wysokości stropu. W innych okolicznościach - gdy przęsła płyt są krótkie i/lub obciążone blisko podpór - efekt redystrybucji obciążeń nie ma ekonomicznego znaczenia i bez większej szkody może zostać pominięty.

Współpracy poprzecznej, a tym samym rozdziału obciążeń lokalnych, nie należy również uwzględniać, gdy zachodzi obawa, że styki nie zostaną prawidłowo wykonane i nie osiągną potrzebnej nośności na ścinanie (np. gdy budowa ma być prowadzona w okresie zimowym, co może stwarzać niebezpieczeństwo przemarznięcia betonu w złączach przed związaniem cementu). Rozdziału obciążeń nie należy brać pod uwagę także wtedy, gdy schemat obciążenia odbiega istotnie od typowych, przeanalizowanych doświadczalnie, przypadków opisanych w pkt.4.2.2 i pkt.4.2.3. Należy wówczas przyjąć, że całe obciążenie lokalne przejmuje płyta, na którą to obciążenie działa bezpośrednio.

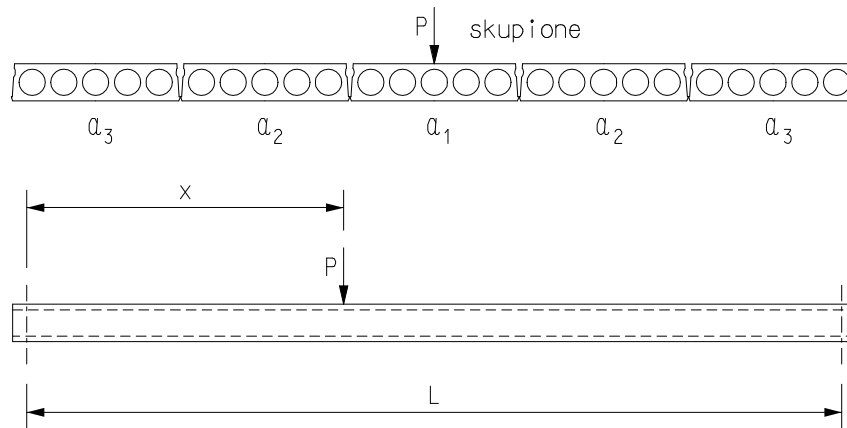
4.2.2. Rozdział obciążenia skupionego

Jeżeli obciążenie punktowe działa na płytę skrajną, ze swobodną krawędzią boczną, nie należy uwzględniać jej współpracy z płytą przylegającą. Należy w takim przypadku założyć, że siła skupiona obciąża wyłącznie płytę, na którą oddziałuje bezpośrednio.

Współpracę sąsiednich płyt w przenoszeniu obciążenia skupionego można natomiast wykorzystać w analizie statycznej stropu, gdy siła skupiona działa na jedną ze środkowych płyt ustroju [7]. Takie usytuowanie obciążenia skupionego pozwala włączyć do współpracy płyty sąsiadujące oraz przylegające do nich kolejne elementy, po każdej stronie płyty obciążonej miejscowo. W takim zespole pięciu współpracujących prefabrykatów udział każdego w przenoszeniu obciążenia skupionego wyrażają empiryczne współczynniki wpływu α_i . Obciążenie przejmowane przez każdą z płyt zespołu należy więc ustalić mnożąc wartość siły skupionej P przez odpowiedni współczynnik wpływu α_i (rys.4.1).

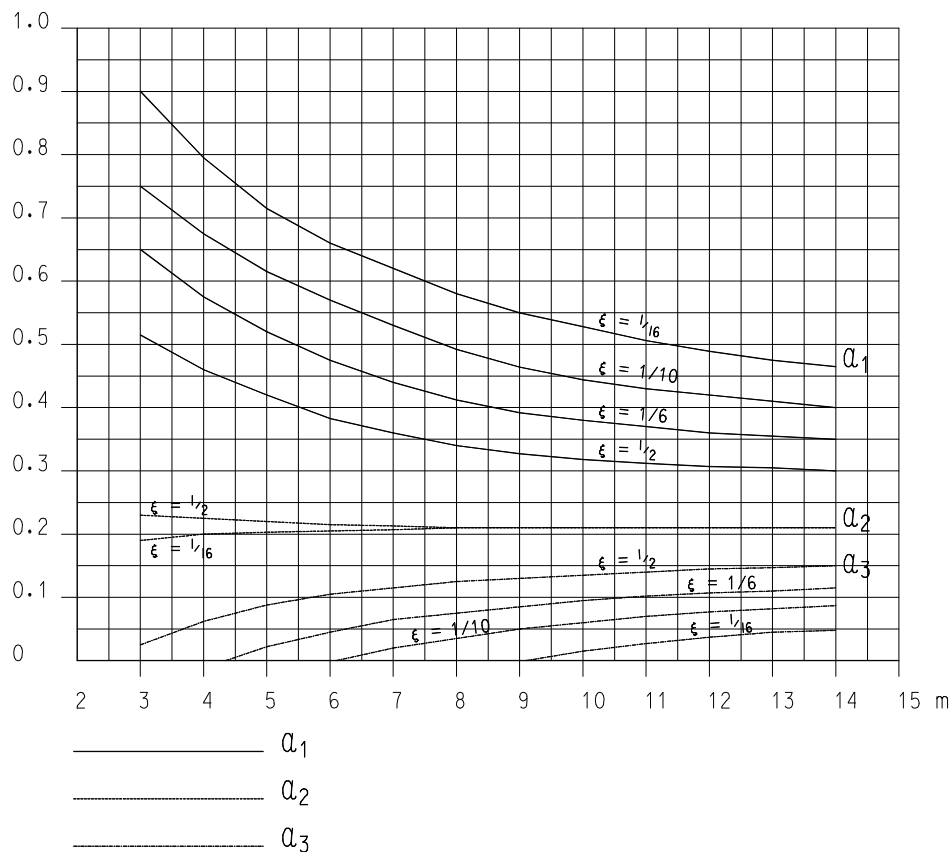
Wartości współczynników wpływu α_i należy odczytać z wykresów przedstawionych na rys.4.2, w zależności od efektywnej rozpiętości stropu l_{eff} i od bezwymiarowej współrzędnej przyłożenia siły skupionej: $\xi = x/l_{eff}$ (rys.4.2).

W ogólnym przypadku płyta może być obciążona wieloma siłami skupionymi. Także na płyty współpracujące mogą działać bezpośrednio siły skupione. Analiza redystrybucji sił przy takich skomplikowanych schematach obciążeń może być zadaniem żmudnym i wymagać szczególnej staranności. Rozważając koincydencję wielu sił skupionych na powierzchni wzajemnie współpracujących płyt należy kierować się zasadą superpozycji oddziaływań.



x - odległość do najbliższej podpory

Rys.4.1. Oznaczenia współczynników wpływu przy obciążeniu skupionym

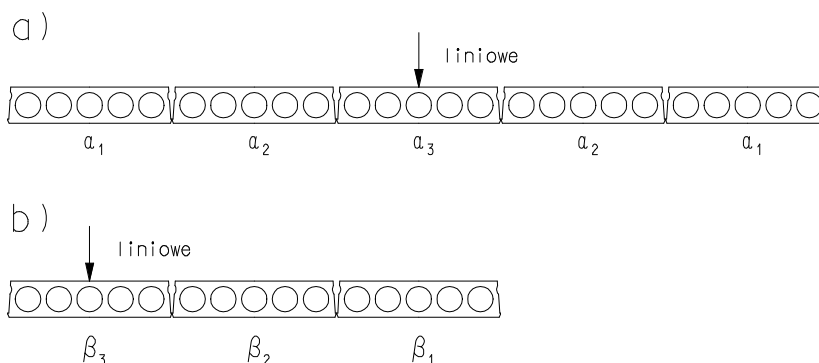


Rys.4.2. Współczynniki wpływu α_i przy obciążeniu skupionym, wg normy [7]

4.2.3. Rozdział obciążenia liniowego

Często spotykanym schematem obciążenia stropu jest obciążenie skoncentrowane wzdłuż linii (przeważnie prostej lub łamanej). Zwykle jest to ciężar ściany działowej lub boczne oddziaływanie płyty zawieszanej na belkach podporowych (zob. pkt.10.4). Intensywność obciążenia liniowego może być równomierna lub zmienna na długości. Jego położenie na powierzchni stropu może mieć dowolny układ, najczęściej jednak jego przebieg jest prostopadły lub równoległy do rozpiętości stropu. Jeżeli obciążenie liniowe o równomiernej intensywności działa równoległe do żeber płyty, można uwzględnić w obliczeniach jego redystrybucję.

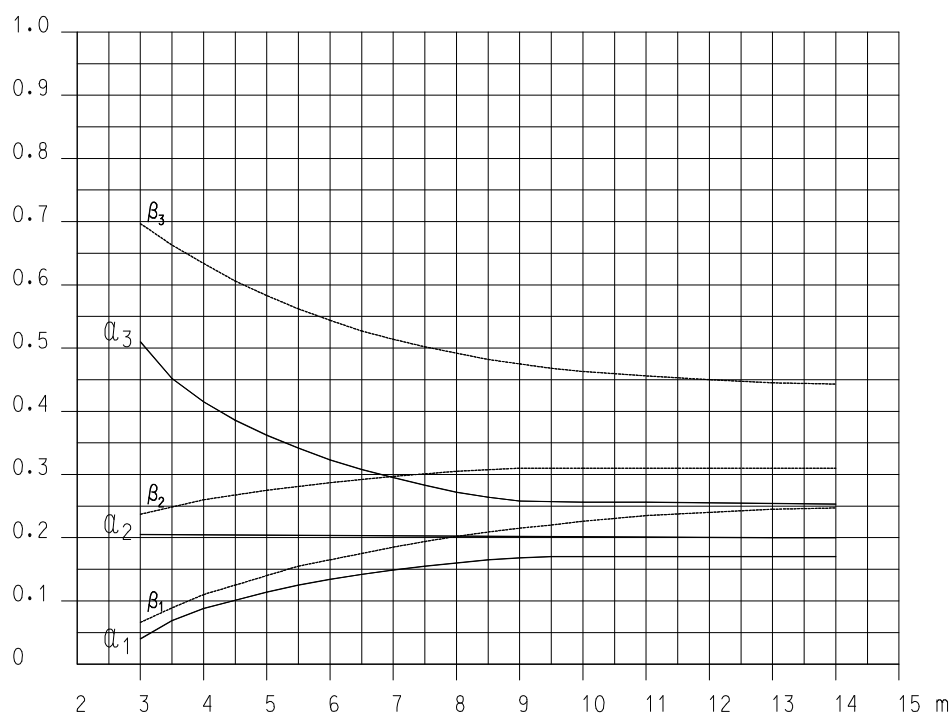
Tak rozłożone obciążenie przenoszone jest przez zespół płyt współpracujących z płytą bezpośrednio obciążoną. W interakcję z płytą obciążoną lokalnie wchodzi cztery płyty, po dwie z każdej strony – gdy obciążenie działa na płytę środkową (rys.4.3a), albo po jednej stronie – gdy obciążenie działa na płytę skrajną (rys.4.3b).



Rys.4.3. Oznaczenia współczynników wpływu przy obciążeniu liniowym

Odsetek obciążenia lokalnego, jaki przejmuje każda z płyt zespołu, wyrażają wyznaczone eksperymentalnie współczynniki wpływu α_i lub β_i (rys.4.3). Współczynniki α_i odnoszą się do zespołu z wewnętrzną płytą obciążoną lokalnie (rys.4.3a), natomiast współczynniki β_i – do zespołu ze skrajną płytą obciążoną (płyta z krawędzią swobodną; rys.4.3b). Drugi przypadek występuje najczęściej w stropie z dużym otworem, konstruowanym z wykorzystaniem belki podporowej, gdzie dochodzi do bezpośredniego oddziaływania płyty zawieszanej na wymianie z płytą wsporcą (zob. pkt.10.4). Po przemnożeniu wartości działającego lokalnie obciążenia liniowego przez odpowiedni współczynnik wpływu otrzymuje się wartość obciążenia transferowaną na płytę współpracującą.

Współczynniki wpływu α_i oraz β_i należy odczytać z wykresów na rys.4.4, w funkcji rozpiętości przęsła stropu.



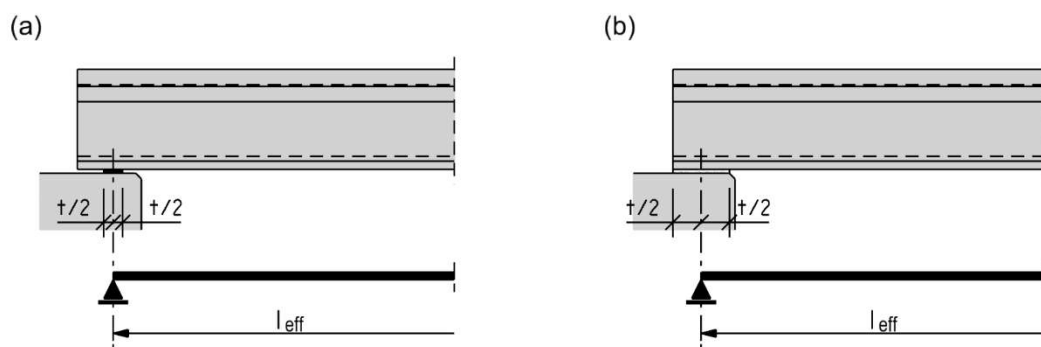
Rys.4.4. Współczynniki wpływu α_i i β_i przy obciążeniu liniowym, wg normy [7]

4.3. Statyka ustrojów stropowych

4.3.1. Schemat statyczny przęseł stropu

Sily wewnętrzne w przęsłach płyt SP (jeżeli wykonanie pełnych obliczeń statycznych jest niezbędne, zob. pkt.4.3.2) wyznaczyć należy posługując się schematem statycznym belki swobodnie podpartej, z pełną swobodą obrotu na podporach. Ewentualne więzi rotacyjne, które modelowałyby częściowe, niezamierzone utwierdzenie płyt w podporach, należy w schemacie statycznym pominąć. Przypadkowe momenty utwierdzenia należy oszacować odrębnie, na podstawie wytycznych zamieszczonych w pkt.4.5, gdy konstrukcja węzłów podporowych sprzyjać może utwierdzeniu płyt w podporach (zob. rozdz.8).

Długość przęseł należy ustalać pomiędzy teoretycznymi punktami podparcia, które wyznaczyć trzeba w zależności od sposobu oparcia płyt na podporach (zob. pkt.9.2.1). Jeżeli płyty opiera się na podporach za pośrednictwem elastycznych taśm neoprenowych tworzących rodzaj przegubu, teoretyczny punkt podparcia przyjąć należy w połowie szerokości takiego łożyska (rys.4.5a). W każdym innym przypadku (oparcie za pośrednictwem warstwy zaprawy lub na sucho; zob. pkt.9.2.1) położenie teoretycznych punktów podparcia można ustalić stosując uproszczone zasady określone w normie [3]. Zgodnie z tymi zasadami, jeżeli głębokość oparcia płyty na podporze nie będzie większa od wysokości płyty, co jest rozwiązaniem typowym w stropach z płyt SP (zob. tabl.9.1, pkt.9.2.1), odległość teoretycznego punktu podparcia od krawędzi podpory można przyjąć jako połowę głębokości oparcia płyt, uwzględniając wykonane celowo fazowanie krawędzi podpory (rys.4.5b) oraz przypadkowe uszkodzenia podporowych krawędzi płyt (rys.2.23). Opisane wyżej zasady ustalania efektywnej długości przęseł stropów, w zależności od warunków oparcia, przedstawiono na rys.4.5.



Rys.4.5. Teoretyczny punkt podparcia płyt SP

W odniesieniu do płyt docinanych skośnie (pkt.2.4.7) rozpiętość efektywną przęsła należy wyznaczyć jako dystans pomiędzy najbardziej oddalonymi teoretycznymi punktami podparcia (zob. rys.2.21).

4.3.2. Forma i zakres obliczeń statycznych

Zakres obliczeń statycznych jakie należy wykonać dla potrzeb analizy wytrzymałościowej stropów uzależniony jest głównie od schematu obciążeń zewnętrznych działających na strop (równomierne, nierównomierne, lokalne) i od ukształtowania planu płyt (por. pkt.2.4).

Jeżeli stropy obciążone są w sposób równomierny i nie przewiduje się wykonania w płytach żadnych wycięć (pkt.2.4.2, pkt.2.4.3), to zakres obliczeń statycznych można ograniczyć do wykonania zestawienia zewnętrznych obciążeń równomiernych (z pominięciem ciężaru własnego stropu) na jednostkę powierzchni i sprawdzeniu warunków nośności sformułowanych w pkt.5.2 i pkt.6.2. Powyższe dotyczy także płyt z otworami, wykonanymi i rozmieszczonymi zgodnie z zasadami określonymi w pkt.2.4.5, zwężonych pasm płyt, ukształtowanych wg zasad opisanych w pkt.2.4.6, a także płyt pracujących jako częściowo zamocowane na podporach (zob. rozdz.8).

Niezależnie od rozkładu obciążeń na powierzchni stropu, znaczenie dla zakresu obliczeń statycznych mogą mieć również warunki stworzone na podporach. Jeżeli konstrukcja węzłów podporowych stwarza ryzyko częściowego utwierdzenia płyt w podporach, należy oszacować wartości niezamierzonych momentów utwierdzenia oraz ich zasięg (zob. pkt.4.5). Obliczone wartości momentów utwierdzenia należy wykorzystać do analizy rysoodporności sprężystych stref przypodporowych płyt SP (zob. pkt.8.2).

W każdym innym przypadku, tzn. gdy w płytach równomiernie obciążonych wykonać trzeba wycięcia, albo gdy płyta ma być obciążona w sposób nierównomierny, przeprowadzić należy pełne obliczenia statyczne przęsła płyty. Do analizy przyjąć należy schemat statyczny belki swobodnie podpartej, o rozpiętości określonej według wytycznych w pkt.4.3.1. Działania ewentualnych momentów

podporowych, jakie mogą zostać wygenerowane na skutek częściowego, niezamierzonego utwierdzenia płyt w podporach (zob. pkt.4.5), nie należy brać pod uwagę w obliczeniach sił przęsłowych (przyjąć należy $M_{sdf} = 0$).

Obliczenia statyczne najkorzystniej jest wykonać dla pasma stropu o szerokości 1,2 m, równej szerokości płyt podstawowych, dla których obliczone zostały cechy mechaniczne i geometryczne przekrojów (por. pkt.3.2) wykorzystywane przy weryfikacji stanów granicznych płyt (zob. pkt.5.3 i pkt.6.3). Wykonując pełne obliczenia statyczne, w obciążeniach przęsła uwzględnić należy ciężar własny stropu (tabl.2.9). Nie należy przy tym potrącać ciężaru stropu, ani innych obciążeń, z powierzchni wycięć. Transfer obciążeń skupionych bezpośredniego na podpory, gdyby w bliskim sąsiedztwie podpór takie obciążenia występowały, również należy w obliczeniach pominąć (zob. pkt.5.3.1(2)).

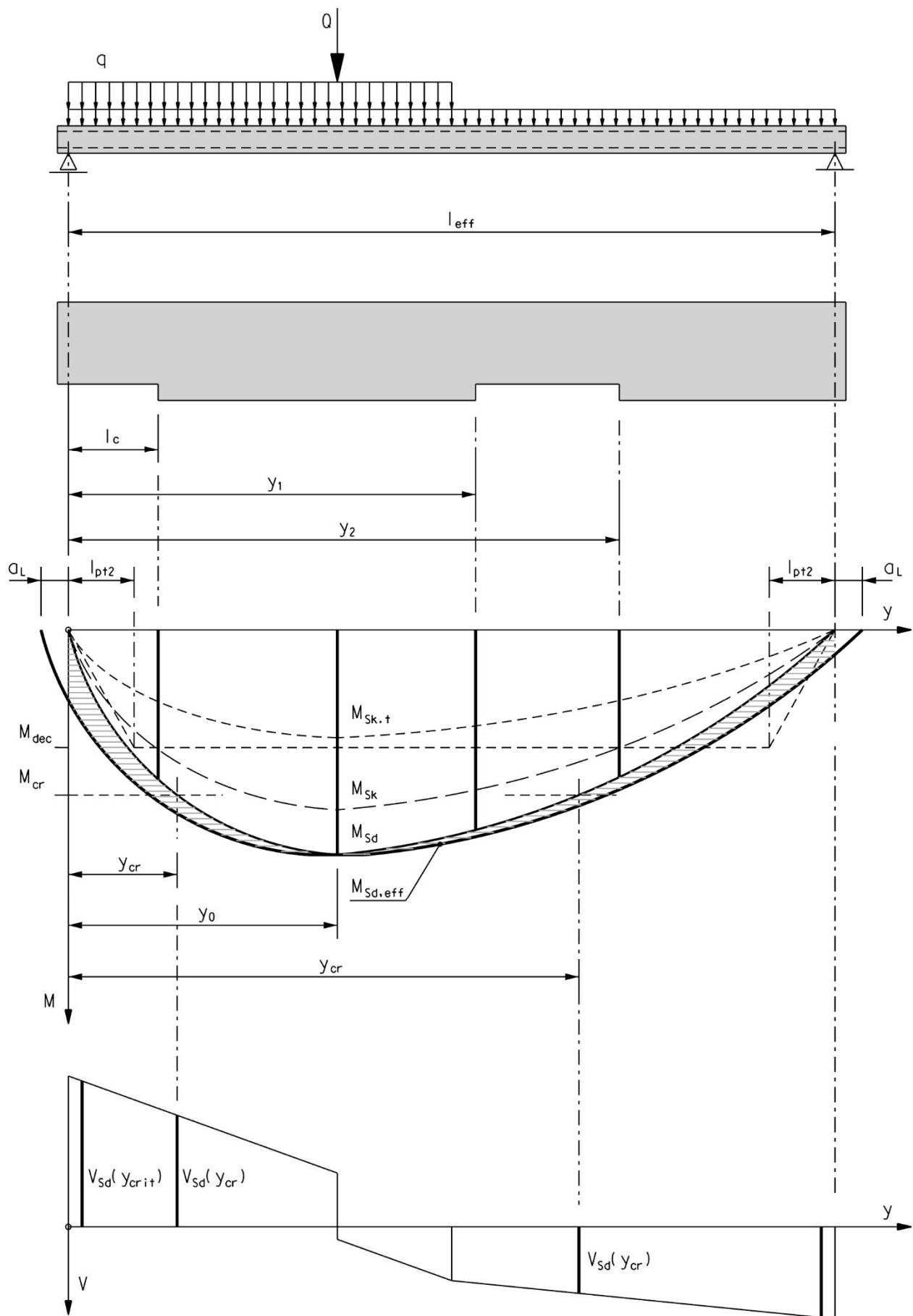
Ustalając obciążenie pojedynczego prefabrykatu można wziąć pod uwagę współpracę poprzeczną płyt, poprzez uwzględnienie redystrybucji obciążeń lokalnych (sił skupionych, obciążeń liniowych), rozdzielając je na sąsiadujące ze sobą płyty, zgodnie z wytycznymi zamieszczonymi w pkt.4.2.

Od obliczeniowej wartości obciążeń (pkt.4.1.2) wyznaczyć należy wykresy ilustrujące rozkład momentów zginających i sił tnących na długości przęsła. Przydatne jest także wykonanie na tej podstawie rozsunętej obwiedni momentów $M_{sdf,eff}(y)$, poprzez poszerzenie wykresu momentów o odcinek $a_L = h$ w obydwie strony (gdzie h jest wysokością płyty). Na podstawie wykresów należy następnie wyznaczyć położenie przekrojów krytycznych (współrzedną ekstremum momentów i przekrojów krytycznych przy ścinaniu; zob. pkt.5.3.1) oraz wartości sił wewnętrznych w tych przekrojach. Jeżeli w płycie projektuje się wycięcia, dokładne wartości momentów należy określić także na krawędziach tych wycięć (rys.4.6).

Osobno wyznaczyć trzeba momenty gnące od częstej i quasi-stałej kombinacji obciążeń, określając ich wartości ekstremalne. Dla kombinacji quasi-stałej należy zgodnie z zasadami mechaniki konstrukcji prętowych wyznaczyć współczynnik ugięcia, zależny od rozkładu momentów gnących w przęsle.

Dla ilustracji niezbędnego zakresu obliczeń statycznych, na rys.4.6 przedstawiono poglądowe wykresy sił wewnętrznych, jakie należy sporządzić w celu weryfikacji stanów granicznych nośności i użytkowości płyt SP pracujących pod dowolnie rozłożonym obciążeniem.

Scharakteryzowany w tym punkcie, wymagany zakres obliczeń statycznych płyt stropowych SP nie wyczerpuje w pełni tematu analizy statycznej stropów ze sprężonych płyt kanałowych. W szczególnych przypadkach użycia płyt, nakreślone wyżej ramy analizy mogą wymagać rozwinięcia o inne zagadnienia, specyficzne dla tych konstrukcji (zob. pkt.4.4 i pkt.4.5).



Rys.4.6. Zakres obliczeń statycznych płyty SP obciążonej nierównomiernie

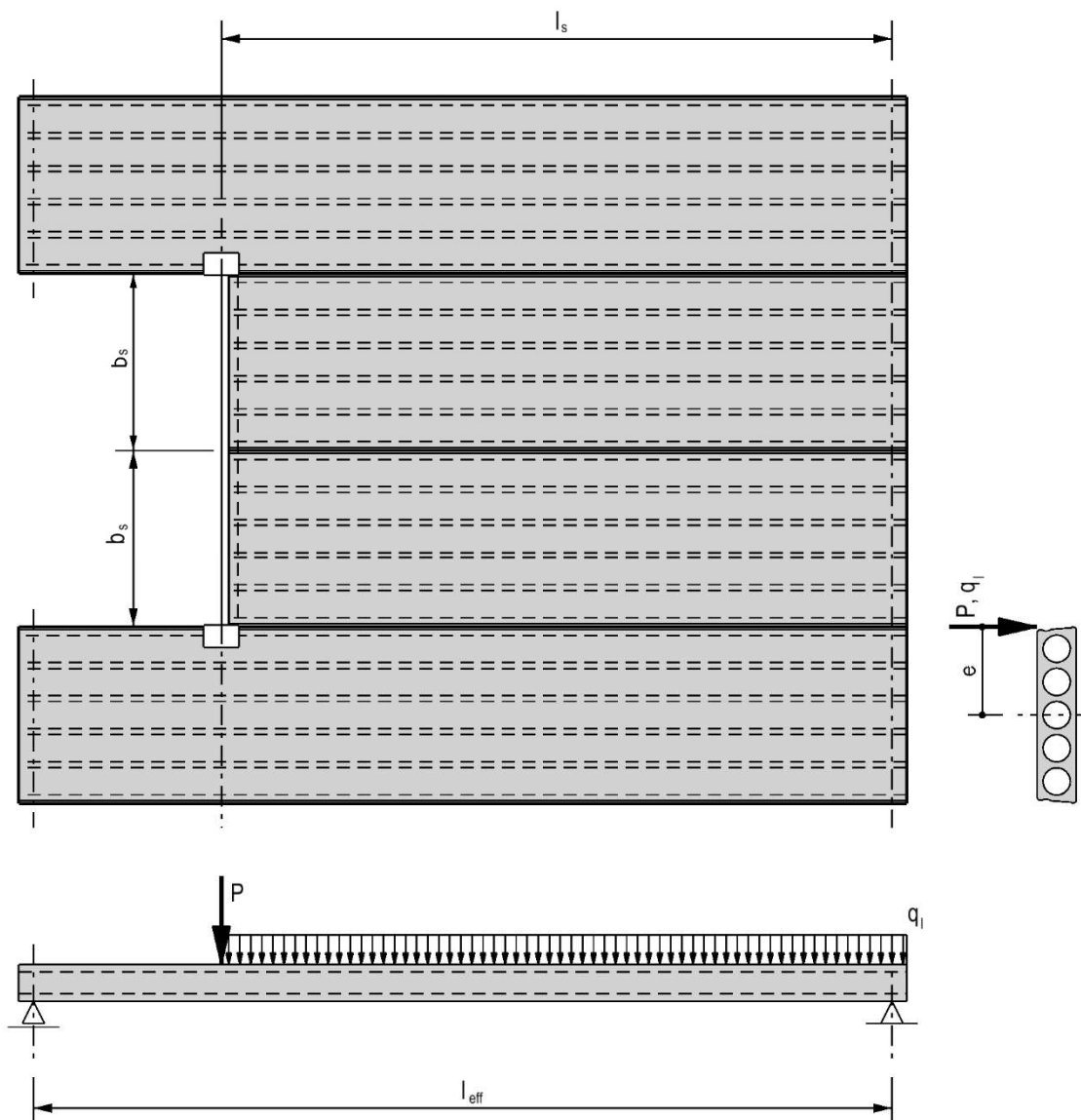
4.4. Statyka płyt wsporczych belek podporowych

4.4.1. Geneza zagadnienia

W poziomych przegrodach budynków niezbędne jest często wykonanie otworu o rozmiarach tak znacznych, że wykorzystanie standardowej perforacji jest niewystarczające (por. pkt.2.4). Skonstruowanie stropu w otoczeniu takiego otworu wymaga wówczas wbudowania w ustrój stropowy belki podporowej (por. pkt.2.1.1(2)), która zapewni trwałe podparcie płytom kulawym. Belki podporowe (wymiany) zawieszają się na przęsłach płyt, określanych jako płyty wsporcze (zob. rozdz.10). Przejmują one oddziaływania z wymianów i przylegających płyt kulawych, przekazując je bezpiecznie na konstrukcję nośną budynku (podciągi lub ściany). Ze względu na specyficzny charakter pracy statycznej, płyty wsporcze wymagają dokładnej i starannej analizy statyczno-wytrzymałościowej. Niezbędne jest w szczególności ustalenie oddziaływań transferowanych na płyty wsporcze z elementów przylegających oraz wyznaczenie sił wewnętrznych, z uwzględnieniem bocznego mimośrodowego obciążenia.

4.4.2. Transfer obciążeń na płyty wsporcze

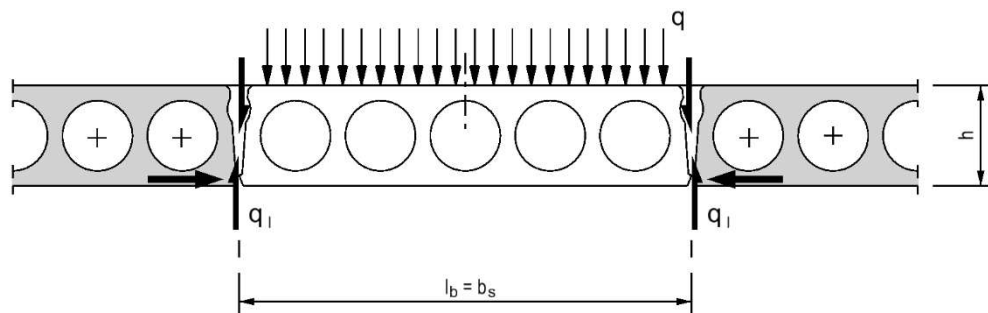
(1) Zespół elementów zawieszonych na płytach wsporczych, oddziałuje na przęsła tych płyt siłą skupioną w miejscu oparcia belki podporowej oraz obciążeniem liniowym, rozłożonym wzdłuż krawędzi styku płyty zawieszanej z płytą wsporczą. Ilustrację tego schematu obciążenia przedstawiono na rys.4.7. Siła skupiona P jest reakcją zawieszoną bezpośrednio na płycie belki podporowej, natomiast obciążenie liniowe q_l jest pośrednim oddziaływaniem płyty kulawej poprzez złącze (zamek).



Rys.4.7 Oddziaływania przekazywane na płyty wsporcze

Kluczową kwestią jest poprawne i wiarygodne wyznaczenie wartości obydwu oddziaływań – skupionego i liniowego. Daje się je oszacować na podstawie analizy mechanizmu pracy statycznej zespołu płyt kulawych i belki w kierunku prostym do rozpiętości przęsła. Jest on odmienny dla pojedynczej płyty i dla zespołu dwóch płyt opartych na wymianie.

(2) Pojedyncza płyta stropowa, po wypełnieniu złączy betonem, zostaje zaklinowana między dwiema płytami wsporczymi, przez co jej półka dolna traci swobodę poprzecznych odkształceń. Tak zawieszona prefabrykowana płyta jest w stanie pracować w kierunku prostym do rozpiętości stropu, transferując obciążenie wprost na płyty wsporcze. W związku z tym, jeżeli szerokość otworu w stropie nie będzie przekraczać szerokości jednej płyty stropowej, obciążenie przyłożone po wypełnieniu złączy betonem zostanie przekazane wprost na płyty wsporcze poprzez wypełnione betonem styki między prefabrykatami (rys.4.8).



Rys.4.8 Schemat pracy statycznej pojedynczej płyty

W takim modelu obliczeniowym, belka podporowa zostaje obciążona tylko ciężarem własnym stropu, a podczas eksploatacji budynku spełnia funkcję zabezpieczającą. Belka asekuje płytę zawieszoną na wypadek podłużnego pęknięcia.

Przyjmując taki mechanizm pracy statycznej, i najbardziej powszechny przypadek równomiernego obciążenia stropu, wartości obydwu rodzajów oddziaływań można wyznaczyć z wyrażeń:

$$P = 0,25 \cdot b_s \cdot l_s \cdot g \quad (4.7)$$

$$q_l = 0,5 \cdot b_s \cdot q \cdot \beta_3 \quad (4.8)$$

w których:

b_s, l_s - szerokość i długość płyty zawieszanej (rys.4.7),

g - ciężar własny konstrukcji stropu,

q - zewnętrzne obciążenie równomierne stropu,

β_3 - współczynnik rozdziału ustalony wg pkt.4.2.3.

(3) Gdy niezbędna szerokość otworu w stropie przekracza szerokość modułową jednej płyty SP, na belce podporowej muszą zostać oparte dwie płyty pełne lub zwężone (pkt.2.4.6). Oparcie na wymianie dwóch płyt stropowych wyklucza możliwość przeniesienia całości obciążeń wprost na płyty wsporcze. Płyty kulawe tworzą płaty powierzchni połączone ze sobą i z płytami wsporczymi przegubami liniowymi. Taki ustrój przed scaleniem belką podporową charakteryzuje się geometryczną zmiennością. Zadaniem belki podporowej jest w tym przypadku przekształcenie mechanizmu w ustrój geometrycznie niezmienny i zapewnienie całemu zespołowi współpracujących elementów integralności konstrukcyjnej. Na rys.4.9 przedstawiono schemat statyczny zespołu współpracujących płyt i belki podporowej. Dla ilustracji mechanizmu współpracy całego układu, pokazano również schemat oddziaływań przekazywanych z płyt kulawych na płyty wsporcze i na belkę podporową po wypełnieniu styków płyt betonem. Przed wypełnieniem złączy belka przejmuje bezpośrednio ciężar stropu (płyt i, ewentualnie, nadbetonu).

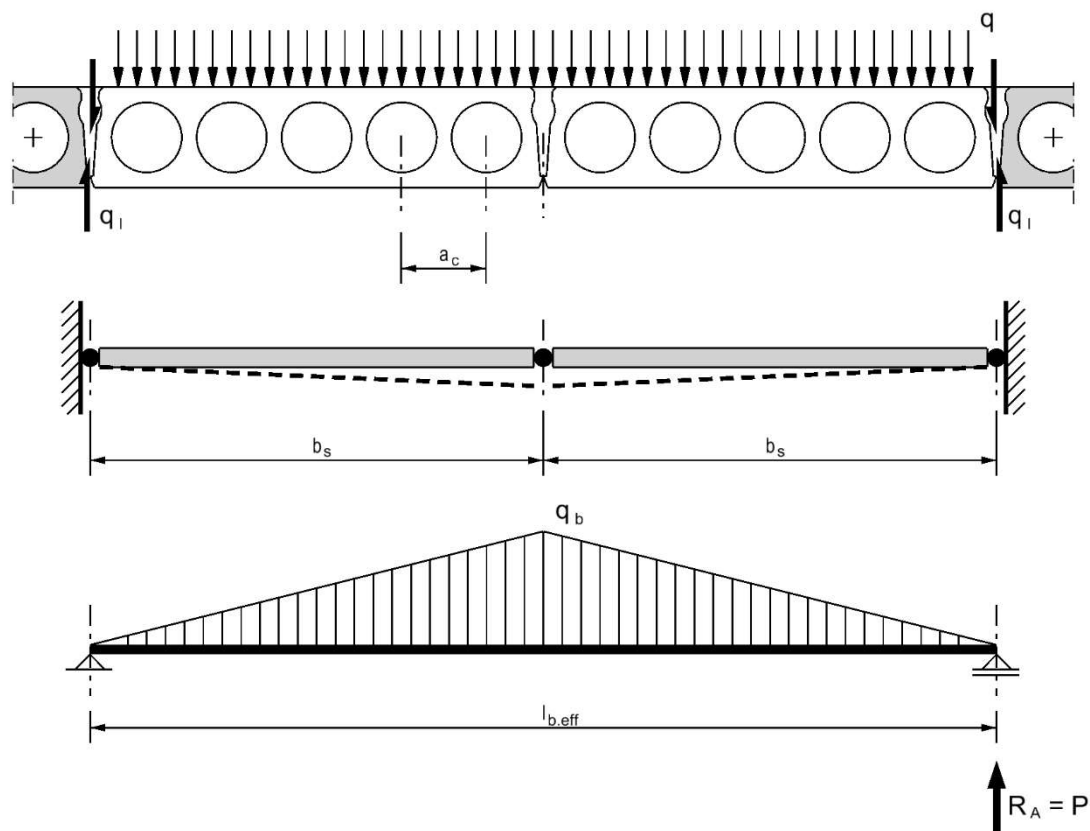
Dla takiego modelu pracy statycznej zespołu, przy równomiernym obciążeniu stropu, wartości oddziaływań przekazywanych na płyty wsporcze przyjmują wartości:

$$P = 0,5 \cdot b_s \cdot l_s \cdot g + 0,375 \cdot b_s \cdot l_s \cdot q \quad (4.9)$$

$$q_l = 0,25 \cdot b_s \cdot q \cdot \beta_3 \quad (4.10)$$

Znaczenie symboli użytych w wyrażeniach (4.9) i (4.10) jest takie, jak w formułach (4.7) i (4.8).

W przypadku innego niż równomierne obciążenia płyt kulawych, ich interakcję z płytami wsporczymi należy przeanalizować indywidualnie posługując się schematami przedstawionymi na rys.4.8 i rys.4.9, odpowiednio.



Rys.4.9 Schemat pracy statycznej zespołu długiej belki podporowej

Do ciężaru własnego stropu g zaliczyć należy te obciążenia, które będą działać na płyty kulawe zanim podłużne styki między prefabrykatami osiągną sprawność techniczną. W szczególności, jeżeli na płytach przewiduje się wykonanie betonowej warstwy wyrównującej (por. pkt.9.6), i miałyby ona być układana w jednym cyklu betonowania z jednoczesnym wypełnianiem złączy, do ciężaru własnego stropu zakwalifikować należy również ciężar tej warstwy.

Szacując obciążenie liniowe q_l , można wziąć pod uwagę współpracę poprzeczną płyt. Obciążenie liniowe q_l można rozdzielić na płyty sąsiadujące z płytą wsporczą zgodnie z wytycznymi zamieszczonymi w pkt.4.2.3, co w formułach (4.8) i (4.10) uwzględnia współczynnik β_3 (zob. rys.4.3b). Nie należy uwzględniać współpracy poprzecznej w przenoszeniu reakcji wymianu.

Oprócz oddziaływań belek podporowych i płyt zawieszanych w obliczeniach statycznych uwzględnić należy obciążenia rozłożone bezpośrednio na powierzchni płyty wsporczej, łącznie z jej ciężarem własnym.

4.4.3. Zakres obliczeń statycznych

Dla oszacowanych wartości i zdefiniowanych w pkt.4.4.2 schematów obciążeń płyt wsporczych należy wykonać obliczenia statyczne, wyznaczając rozkład sił wewnętrznych w przęśle płyty zgodnie z wytycznymi zamieszczonymi w pkt.4.3. Opisany tam zakres obliczeń statycznych należy rozszerzyć o momenty skręcające, które wyznaczyć należy jak elementu prętowego o stałej sztywności giętnej i skrętnej. Boczny mimośród obciążeń lokalnych, niezbędny dla oszacowania momentów skręcających, można przyjąć równy połowie szerokości płyty wsporczej ($e = 0,6 m$).

Na podstawie wykresów sił wewnętrznych wyznaczyć należy ich ekstremalne wartości oraz współrzędne przekrojów krytycznych (por. pkt.4.3.2).

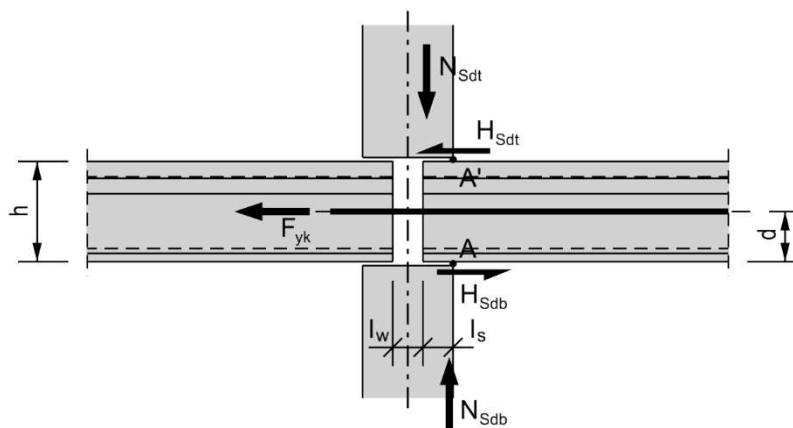
4.5. Niezamierzone momenty utwierdzenia

4.5.1. Czynniki generujące momenty ujemne

Ujemne momenty podporowe w stropach mogą zostać wymuszone kilkoma czynnikami, zależnymi od rozwiązań przyjętych w konstrukcji węzłów podporowych. Ogólnie, na stopień utwierdzenia płyt SP w podporach wpływ może wywierać (rys.4.10):

- nacisk ściany wyższej kondygnacji na koniec płyty, wpuszczony w głąb podpory,
- siły tarcia na poziomych powierzchniach kontaktu płyty stropowej ze ścianą niższej i wyższej kondygnacji,
- zespolenie czołowych powierzchni prefabrykatów z betonem wypełniającym wieńce i końcowe odcinki kanałów płyt,
- zbrojenie wprowadzone w zamki między płytami, przeznaczone do zapewnienia integralności konstrukcji stropu z konstrukcją nośną budynku (zob. pkt.9.2.2).

W myśl normy [7], każdy z wymienionych wyżej wpływów należy uwzględnić przy obliczaniu niezamierzonego momentu utwierdzenia płyt w podporach.



Rys.4.10 Czynniki sprzyjające utwierdzeniu płyt SP w podporach

Aby oszacować wartość ujemnego momentu zamocowania płyt na podporach, wyznaczyć należy wszystkie siły działające na prefabrykaty w węźle podporowym (rys.4.10), w paśmie stropu o szerokości 1,20 m, równej szerokości modularnej płyt podstawowych (por. pkt.4.3.2). Siłę nacisku ściany górnej i dolnej kondygnacji należy określić od obliczeniowych wartości obciążeń (według pkt.4.1.2(1)), na podstawie obliczeń statycznych ustroju nośnego budynku.

Przyjąć należy, że związek między naciskiem ściany niższej i wyższej kondygnacji wyraża zależność (rys.4.10):

$$N_{Sdb} = N_{Sdt} + \sum V_{Sd} \quad (4.11)$$

gdzie: $\sum V_{Sd}$ - suma reakcji podporowych płyt po obu stronach ściany.

Działające na końce płyty poziome siły tarcia (rys.4.10) należy wyznaczyć proporcjonalnie do wartości sił nacisku i współczynników tarcia materiałów na powierzchniach kontaktu płyt stropowych ze ścianą, względnie płyt z elementami łożysk, jeżeli takie zostaną w węźle wykorzystane (zob. pkt.9.2). Tą zależność wyrażają związki:

$$H_{Sdt} = \mu_t \cdot N_{Sdt} \quad (4.12a)$$

$$H_{Sdb} = \mu_b \cdot N_{Sdb} \quad (4.12b)$$

Wartości współczynników tarcia uzależnione będą od rodzaju materiałów z jakich wykonane zostaną ściany i inne elementy węzłów podporowych. Dla najczęściej stosowanych rozwiązań konstrukcyjnych (zob. pkt.9.2.1), wartości współczynników tarcia μ_t i μ_b można przyjąć z tabl.4.1.

Tabl.4.1. Wartości współczynnika tarcia na powierzchniach kontaktu ścian i stropu [7]

Rodzaj powierzchni tarcia	μ_t, μ_b
beton po betonie	0,8
beton po zaprawie	0,6
beton po gumie lub neoprenie	0,25

Wpływ poziomego zbrojenia łączącego strop z wieńcami na wartość momentu utwierdzenia uwzględnia siła F_{yk} . Do obliczeń przyjętą należy graniczną wartość tej siły, wyznaczoną z formuły:

$$F_{yk} = f_{yk} \cdot A_y \quad (4.13)$$

gdzie: A_y - pole przekroju zbrojenia w analizowanym paśmie stropu,
 f_{yk} - granica plastyczności stali zbrojenia łączącego.

4.5.2. Moment utwierdzenia

Moment utwierdzenia płyt w podporach należy obliczyć dla formacji siły w węźle podporowym o konfiguracji przedstawionej na rys.4.10. Całkowity moment oblicza się jako sumę wpływu sił pionowych i poziomych. Wpływ siły pionowej od nacisku ściany górnej kondygnacji wyznacza się przyjmując ramię siły pionowej równe 2/3 głębokości oparcia płyt na podporze l_s . Wyznaczony tak moment powiększa się następnie o składnik ΔM odzwierciedlający wpływ sił poziomych. Otrzymaną na tej podstawie wartość momentu ograniczyć trzeba do 1/3 wartości momentu przęsłowego w płytach, jaki zostanie wygenerowany przez te składniki obciążeń, które przyłożone zostaną po wykonaniu ściany wyższej kondygnacji. Wyraża to związek:

$$M_{Sdf} = \frac{2}{3} \cdot l_s \cdot N_{Sdt} + \Delta M \leq \frac{M_{Sds}}{3} \quad (4.14)$$

Wspomniany wyżej moment przęsłowy w płycie od obciążeń przyłożonych po utwierdzeniu płyt wyraża formuła:

$$M_{Sds} = M_{gs} - M_{ws} + M_{qs} \quad (4.15)$$

gdzie: M_{gs} - obliczeniowy moment przęsłowy od obciążeń stałych,
 M_{ws} - obliczeniowy moment przęsłowy od ciężaru własnego stropu,
 M_{qs} - obliczeniowy moment przęsłowy od obciążeń zmiennych.

Do ciężaru własnego stropu, oprócz ciężaru płyt, zaliczyć należy także ciężar wylewki lub nadbetonu, jeżeli ta warstwa miałaby zostać ułożona przed kontynuowaniem budowy wyższych pięter.

To jakie siły poziome oddziaływać będą na koniec prefabrykowanej płyty zamocowanej w ścianach, zależy będzie od położenia punktu obrotu podporowego przekroju płyty oraz od stopnia związania prefabrykatu z wieńcem. Dokładne (szczelne) wypełnienie wieńca betonem zablokuje możliwość poślizgu płyty na powierzchni jej kontaktu ze ścianą niższej kondygnacji, wymuszając punkt obrotu w narożu ściany dolnej kondygnacji (punkt A na rys.4.10). Jednocześnie, dokładne wypełnienie wieńca betonem sprzyjać będzie jego zespoleniu z prefabrykowanymi elementami na ich powierzchniach czołowych. W przeciwnym wypadku, jeżeli wieńiec będzie niedokładnie wypełniony betonem lub pozostanie niewypełniony, obrót płyty nastąpić może względem naroża ściany dolnej lub górnej kondygnacji (punkty A lub A' na rys.4.10), w zależności od wzajemnej relacji poziomych sił tarcia, określonych przez związki (4.12). To zróżnicowanie możliwych scenariuszy wzajemnych interakcji płyt i elementów podpory uwzględnia w formule (4.14) składnik ΔM .

Na stopień wypełnienia wieńca betonem wpływ wywiera przede wszystkim jego szerokość, mierzona w świetle między czołowymi powierzchniami płyt, i takie kryterium oceny należy stosować w projektowaniu. Wąska przestrzeń między czołami płyt nie gwarantuje szczelnego wypełnienia wieńca betonem na budowie.

W myśl normy [7], umownym rozgraniczeniem jest ustalona arbitralnie wartość $l_w = 50 \text{ mm}$ (rys.4.10). Wieńiec czołowy, którego szerokość przekracza 50 mm uważa się za wypełniony betonem, gdy natomiast jego szerokość jest mniejsza niż 50 mm traktuje się go tak, jakby pozostawał niewypełniony, nawet jeśli beton w wieńcu zostanie zaprojektowany i zaaplikowany. Stosownie do powyższego, występujący w formule (4.14) składnik ΔM , należy obliczyć w zależności od szerokości wieńca l_w (rys.4.10).

I tak, gdy $l_w > 50 \text{ mm}$, przyjmuje się większą z dwóch wartości danych wyrażeniami:

$$\Delta M = f_{ctk}^* \cdot W \quad (4.16a)$$

$$\Delta M = F_{yk} \cdot d + \mu_b \cdot N_{Sdt} \cdot h \quad (4.16b)$$

gdy natomiast $l_w \leq 50 \text{ mm}$, do obliczeń przyjmuje się mniejszą z wartości:

$$\Delta M = H_{Sdt} \cdot h \quad (4.17a)$$

$$\Delta M = H_{Sdb} \cdot h \quad (4.17b)$$

Sily N_{Sdt} , F_y , H_{Sdt} oraz H_{Sdb} , występujące w formułach (4.16) i (4.17), są zdefiniowane wyrażeniami (4.11) do (4.13), natomiast znaczenie symboli h , l_s i d , użytych w formułach od (4.14) do (4.17), wyjaśnia rys.4.10.

Wyrażenie (4.12a) określa moment rysujący przekrój kontaktu wieńca i czołowej powierzchni prefabrykatów. Wskaźnik zginania tego przekroju przyjmuje się jak dla prostokąta, co dla pasma stropu o szerokości $b = 1,2 \text{ m}$ (por. pkt.4.3.2) daje:

$$W = \frac{b \cdot h^2}{6} = 0,2 \cdot h^2 \quad (4.18)$$

Klasa wytrzymałości betonu wieńca będzie zwykle niższa niż betonu płyt. W związku z tym, w wyrażeniu (4.12a), charakterystyczna wytrzymałość na rozciąganie betonu, oznaczona jako f_{ctk}^* , będzie wytrzymałością betonu wypełniającego wieńiec.

Wysokość stropu h , jaką należy przyjąć do obliczeń w wyrażeniach (4.16) do (4.18), odpowiada wysokości prefabrykowanych płyt SP, albo łącznej wysokości płyt i warstwy betonu uzupełniającego (wyrównującego), jeżeli ta została by ułożona na płytach przed wykonaniem ściany wyższej kondygnacji.

Dysponując wartością niezamierzonego momentu utwierdzenia płyt w podporach, można przeprowadzić weryfikację rysoodporności przekroju przypodporowego płyty SP na podstawie wytycznych w pkt.8.2.

Jeżeli jest to niezbędne (zob. pkt.8.3), wyznaczyć należy również zasięg momentu odwrotnego, według zasad mechaniki konstrukcji. W obliczeniach uwzględnić należy tylko obciążenia przyłożone po utwierdzeniu płyt w podporach, analogicznie jak w formule (4.15).

5. WERYFIKACJA NOŚNOŚCI PŁYT W SYTUACJI TRWAŁEJ

5.1. Ogólne wytyczne

Do zastosowania w projekcie stropu płyt SP uprawnia wyłącznie obliczeniowy dowód nośności prefabrykatu w założonych warunkach eksploatacji. Podane w tym rozdziale wytyczne mogą być zastosowane wyłącznie do płyt, których rozpiętość teoretyczna nie jest mniejsza od minimalnej, określonej w tabl.2.1. Analizę płyt krótszych należy przeprowadzić indywidualnie (por. pkt.2.2.2).

Zakres analizy niezbędny do weryfikacji nośności płyt SP w sytuacji trwałej uzależnić należy od schematu obciążenia przęsła oraz od ukształtowania płyty w planie (pkt.2.4).

Jeżeli analizie poddaje się płytę pełną (podstawową), ewentualnie z otworami wykonanymi zgodnie z wytycznymi w pkt.2.4.5, obciążoną na całej powierzchni w sposób równomierny, weryfikację nośności przeprowadzić można sposobem uproszczonym, na podstawie porównania wartości obciążeń projektowych z dopuszczalnymi, dla różnych stanów granicznych (pkt.5.2). Ten sposób jest adekwatny również do oceny nośności zwężonych pasm płyt (pkt.2.4.6) oraz płyt docinanych poprzecznie pod kątem (pkt.2.4.7), dla których rozpiętość określono zgodnie z pkt.4.3.1.

W innych przypadkach, a więc gdy płyta posiada wycięcia przęsłowe lub przypodporowe, albo gdy w schemacie obciążenia występują składniki o rozkładzie nierównomiernym (w tym siły skupione lub liniowe), należy przeprowadzić szczegółową analizę nośności.

Ogólnie, w zakres szczegółowej analizy statyczno-wytrzymałościowej stropów z płyt SP wchodzi analiza nośności globalnej i analiza nośności lokalnej. Pozytywna weryfikacja nośności globalnej jest dowodem nośności płyty jako dźwigara nośnego stropu. Obliczeniowy dowód nośności przeprowadzić należy wg pkt.5.3. Podstawą oceny nośności globalnej są wartości cech mechanicznych płyt obliczone w dokumentacji [39] i zestawione w tabl.3.1 oraz siły wewnętrzne przęsłowe, które należy wyznaczyć na podstawie wykonanych uprzednio szczegółowych obliczeń statycznych przęsła płyty (pkt.4.3.2). Analiza nośności lokalnej ma na celu obliczeniowe zabezpieczenie płyt przed miejscowym uszkodzeniem siłami skoncentrowanymi na małej powierzchni (głównie przed przebicciem). Zagadnienie nośności lokalnej płyt SP opisano szczegółowo w pkt.5.4.

5.2. Uproszczona weryfikacja nośności

Uproszczona weryfikacja nośności płyt stropowych SP polega na porównaniu wartości równomiernie rozłożonych obciążeń zewnętrznych stropu (por. pkt.4.3.2) z wartościami dopuszczalnymi, które dla każdego typu i wariantu zbrojenia płyt SP wyznaczono obliczeniowo w dokumentacji projektowej systemu [39] i przytoczono w załączniku A niniejszej instrukcji. Wykorzystanie tych wartości liczbowych do uproszczonej analizy nośności płyt SP jest dozwolone tylko wtedy, gdy kryteria zastosowane w realnych warunkach projektowych nie odbiegają od założeń przyjętych w dokumentacji płyt (por. pkt.3.1.4).

W sytuacji trwałej płyty SP spełniają wymagania stanów granicznych nośności i użyteczności, ustanowione przez normy [4] i [5], gdy spełnione są jednocześnie trzy podane niżej warunki:

$$p_d \leq p_{d.lim} + \Delta p \quad (5.1)$$

$$p_k \leq p_{k.lim} \quad (5.2)$$

$$p_{kt} \leq p_{kt.lim} \quad (5.3)$$

gdzie: p_d , p_k , p_{kt} - rzeczywiste (projektowane), zewnętrzne obciążenie równomierne płyt [kN/m^2], odpowiednio: obliczeniowe (wartość kombinacyjna), charakterystyczne (wartość częsta) i długotrwałe (wartość quasi-stała), wyznaczone na podstawie zestawu norm [2], z uwzględnieniem postanowień normy [1] (por. pkt.4.1.2),

$p_{d.lim}$, $p_{k.lim}$, $p_{kt.lim}$ - dopuszczalne równomierne obciążenie płyt [kN/m^2], odpowiednio: obliczeniowe, charakterystyczne i długotrwałe, które należy odczytać z tabl.A1÷A4 (załącznik A), w zależności od typu, wariantu zbrojenia i od efektywnej rozpiętości przęsła (por. pkt.4.3.1).

Zestawione w tabelach nośności (załącznik A) wartości dopuszczalnych równomiernych obciążeń limitują nośność, rozumianą jako obciążenie zewnętrzne stropu, które może być bezpiecznie przeniesione przez płyty. Obliczono je z odpowiednich kryteriów (zob. pkt.3.1.1 i pkt.3.1.4), odejmując od wartości granicznej jednostkowy ciężar własny stropu (wg tabl.2.9). W przypadku nośności obliczeniowej, wartość graniczną pomniejszono o ciężar obliczeniowy, będący iloczynem ciężaru charakterystycznego i współczynnika częściowego o wartości równej 1,35 (por. pkt.3.1.3). W szczególnym przypadku powodować to może, że obliczenia statyczne konstrukcji stropów i obliczenia przeprowadzone w dokumentacji technicznej płyt [39] będą niespójne. Jeżeli bowiem wartości kombinacyjnej obciążeń nie wyznacza się metodą bezpośrednią, lecz na podstawie analizy efektów oddziaływań (pkt.4.1.2), a miarodajną do oceny stanu granicznego nośności płyty okaże się kombinacja dana wyrażeniem (4.2b),

to dla obciążeń stałych (w tym ciężaru własnego stropu) należałoby zastosować współczynnik korekcyjny $\xi = 0,85$. Wartości $p_{d.lim}$ zestawione w tabelach nośności nie uwzględniają takiej korekty. W związku z tym, aby wyeliminować tę niekonsekwencję, w wyrażeniu (5.1) wprowadzono składnik poprawkowy Δp , który uwzględnia zróżnicowanie wartości współczynnika częściowego dla obciążeń stałych w zależności od zastosowanej formuły kombinacyjnej. Jeżeli wartość kombinacyjną obciążeń ustala się na podstawie formuły (4.2b), wartość poprawki obliczyć należy jako (por. pkt.4.1.2):

$$\Delta p = (1,35 - 0,85 \cdot 1,35) \cdot g_k = 0,2 \cdot g_k \quad (5.4)$$

gdzie: g_k - jednostkowy ciężar własny stropu, wg tabl.2.9.

W każdym innym przypadku, a więc gdy wartość kombinacyjną w stanie granicznym nośności ustala się na podstawie wyrażenia (4.1) lub (4.2a), należy przyjąć $\Delta p = 0$.

Dopuszczalne obciążenie długotrwałe $p_{kt.lim}$ należy dobrać odpowiednio do warunków eksploatacji płyt SP: w klasach ekspozycji X0 lub XC1 - z kolumny 4, a w klasach ekspozycji XC2, XC3 lub XC4 (por. pkt.2.6.2) - z kolumny 5, w tabl. A1÷A4. Wynika to z odmiennych wymagań dotyczących rysoodporności, jakie powołane na wstępie normy stawiają konstrukcjom strunobetonowym w różnych warunkach zagrożenia korozją (por. pkt.2.6.2).

Wartości dopuszczalnego obciążenia płyt SP dla rozpiętości pośrednich, nie ujętych bezpośrednio w tabelach, można interpolować liniowo lub przyjmować jak dla górnej granicy przedziału, w którym zawiera się rozpiętość projektowanego przęsła. Ekstrapolacja nośności poza zakres rozpiętości podany w tabl. A1÷A4 jest niedopuszczalna.

W warunkach agresji chlorkowej (klasy ekspozycji XD/XS) norma [4] wymaga, by brak dekompresji w betonowym otoczeniu cięgien był zapewniony pod częstą kombinacją obciążeń. W tych okolicznościach, jeżeli płyty SP miałyby być eksploatowane w klasach ekspozycji XD/XS (por. tabl.2.8, pkt.2.6.2), pozytywne zweryfikowanie warunków (5.2) i (5.3) jest niewystarczające do oceny stanów granicznych. Aby zabezpieczyć przekroje przed dekompresją konieczne jest wykazanie, że ekstremalny moment przęsłowy wywołany częstą kombinacją obciążeń, nie przekroczy momentu dekompresji (por. formułę (5.19) w pkt.5.3.3). W przypadku równomiernego obciążenia stropu ten warunek przyjmuje postać:

$$p_k \leq \frac{8 \cdot M_{dec}}{1,2 \cdot l_{eff}^2} - g_k \quad (5.5)$$

gdzie: p_k - obciążenie jak w formule (5.2),

M_{dec} - moment dekompresji przekroju wg tabl.3.1 (pkt.3.2.1),

l_{eff} - rozpiętość efektywna przęsła stropu, ustalona na podstawie pkt.4.3.1,

g_k - jednostkowy ciężar stropu wg tabl.2.9 (pkt.2.7).

Płyty, które warunku (5.5) nie spełniają, nie mogą być wykorzystane w klasach ekspozycji XD/XS.

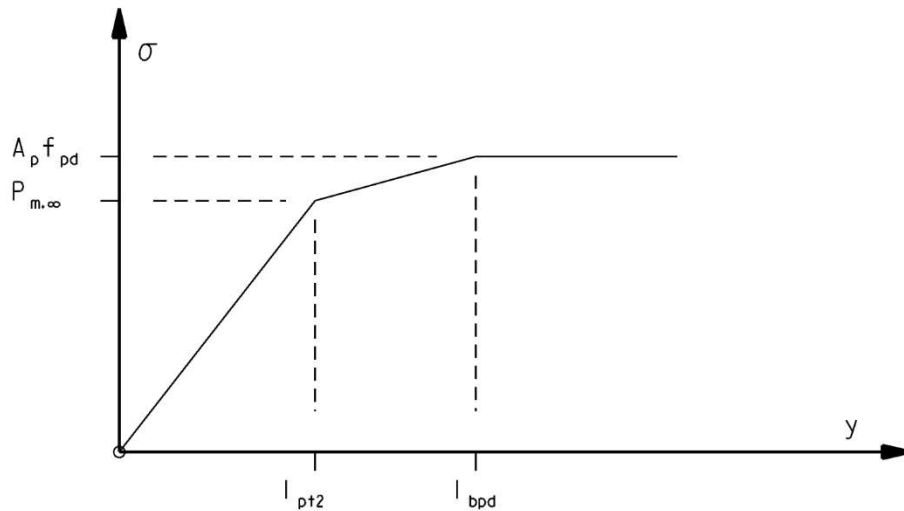
5.3. Szczegółowa weryfikacja stanów granicznych płyt

5.3.1. Informacje ogólne

Utrata nośności strunobetonowych płyt SP może nastąpić wg jednego z czterech mechanizmów zniszczenia, opisanych w pkt.3.1.1. Ze względu na różnorodność przypadków obciążeń, z jakimi można się spotkać w praktyce, nie można przewidzieć z góry, który mechanizm zniszczenia będzie decydujący w konkretnej sytuacji projektowej. W związku z tym, jeżeli płyta SP ma pracować pod obciążeniem nierównomiernym, takim jak: siły skupione, obciążenia rozłożone nierównomiernie po długości przęsła, albo działające na wybranym odcinku przęsła, należy wykonać dokładne obliczenia statyczne, według wytycznych zamieszczonych w pkt.4.3 i udowodnić obliczeniowo wymaganą nośność płyty dla każdego z możliwych mechanizmów zniszczenia.

(1) W płytach nierównomiernie obciążonych ekstremalny moment zginający może w ogólnym przypadku wystąpić w dowolnym miejscu na długości przęsła, także w niedużej odległości od punktu podparcia, jeżeli płyta zostanie obciążona znaczną siłą skupioną w sąsiedztwie podpory. W pobliżu podpory, wytrzymałość stali zbrojenia głównego nie może być w pełni wykorzystana, z powodu zbyt małej nośności zakotwienia strun w betonie. Dlatego w obliczeniach stanu granicznego nośności płyt należy odpowiednio uwzględnić redukcję nośności zbrojenia ze względu na możliwość poślizgu strun.

Zgodnie z normą [3], nośność cięgien w strefie zakotwienia ma bilinearny rozkład, zilustrowany na rys.5.1.



Rys.5.1 Nośność cięgien sprężających w strefie zakotwienia

W praktycznych obliczeniach nośności zbrojenia wykorzystać można współczynnik nośności, zdefiniowany w postaci ilorazu:

$$\delta_{bp}(y) = \frac{\sigma_{pd}(y)}{f_{pd}} \quad (5.6)$$

gdzie: σ_{pd} - naprężenie graniczne w strunach w chwili wyczerpania nośności zakotwienia,
 f_{pd} - obliczeniowa wytrzymałość na rozciąganie stali sprężającej.

Zgodnie z wykresem pokazanym na rys.5.1, w przedziale $l_{pt2} \leq y \leq l_{bpd}$ wartość tego współczynnika ma rozkład liniowy, opisany zależnością:

$$\delta_{bp}(y) = \left(1 - \frac{P_{m,\infty}}{A_p \cdot f_{pd}}\right) \cdot \left(\frac{y - l_{pt2}}{l_{bpd} - l_{pt2}}\right) + \frac{P_{m,\infty}}{A_p \cdot f_{pd}} \leq 1 \quad (5.7)$$

gdzie: l_{bpd} - podstawowa długość zakotwienia strun, uzależniona od średnicy splotu (wg tabl.3.4),
 l_{pt2} - długość transferu siły sprężającej (tabl.3.3),
 A_p - pole przekroju zbrojenia głównego płyty (tabl.3.3).

Na tej podstawie, nośność cięgien w przedziale $l_{pt2} \leq y \leq l_{bpd}$ można wyrazić jako iloczyn:

$$F_{pd}(y) = \delta_{bp}(y) \cdot A_p \cdot f_{pd} \quad (5.8)$$

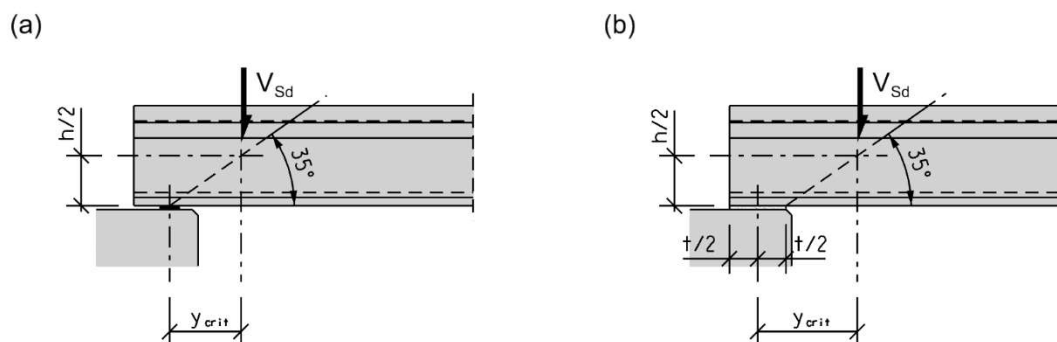
Obliczeniowa wytrzymałość stali sprężającej zastosowanej jako zbrojenie główne płyt SP (por. pkt.3.1.2), obliczona na podstawie normy [3], przy częściowym współczynniku bezpieczeństwa określonym w pkt.3.1.3, przyjmuje wartość 1420 MPa. Taką wartość należy przyjąć do obliczeń.

W przedziale długości $0 \leq y \leq l_{pt2}$ definiowanie nośności zakotwienia cięgien jest bezcelowe, co ma związek z wymaganiem, wyrażonym warunkiem (5.12). W tym obszarze zakotwienia strun wprowadza się natomiast pojęcie współczynnika redukcyjnego naprężeń, który uwzględnia niepełne sprężenie betonu w strefie zakotwienia strun. Współczynnik ten definiuje się jako (por. rys.5.1):

$$\delta_p(y) = \frac{y}{l_{pt}} \leq 1 \quad (5.9)$$

(2) W odniesieniu do mechanizmów zniszczenia, w których decydującą rolę odgrywa siła poprzeczna, należy rozróżnić nośność na ścinanie niezarysowanych (sprężystych) regionów stref przy podporowych oraz nośność na ścinanie regionów zarysowanych dodatnim momentem zginającym (regiony plastyczne).

Analizując pierwszy z mechanizmów zniszczenia siłą poprzeczną należy wyznaczyć w środku ciężkości ukośnego przekroju krytycznego, wyprowadzonego z podpory pod kątem 35° (rys.5.2). Położenie przekroju krytycznego uzależnić trzeba od tego, w jaki sposób zrealizowane zostanie oparcie płyty na podporze (zob. pkt.9.2.1 i pkt.4.3.1). - W przypadku oparcia płyty na elastycznym łożysku z taśmą neoprenowej, przekrój krytyczny wyprowadzić należy z teoretycznego punktu podparcia płyty (por. rys.4.5a i rys.5.2a), jeżeli natomiast oparcie płyty zrealizowane zostanie jako sztywne, na warstwie zaprawy, przekrój krytyczny należy wyprowadzić z krawędzi podpory (por. rys.4.5b i rys.5.2b).



Rys.5.2 Przekrój krytyczny regionów sprężystych

Przyjmując z dobrym przybliżeniem, że środek ciężkości przekroju poprzecznego leży w połowie wysokości płyty, siłę poprzeczną miarodajną do oceny nośności sprężystych regionów stref przypodporowych wyznaczyć należy dla współrzędnej równej, odpowiednio (rys.5.2):

$$y_{crit} = 0,714 \cdot h \quad (5.10a)$$

albo

$$y_{crit} = 0,714 \cdot h + t/2 \quad (5.10b)$$

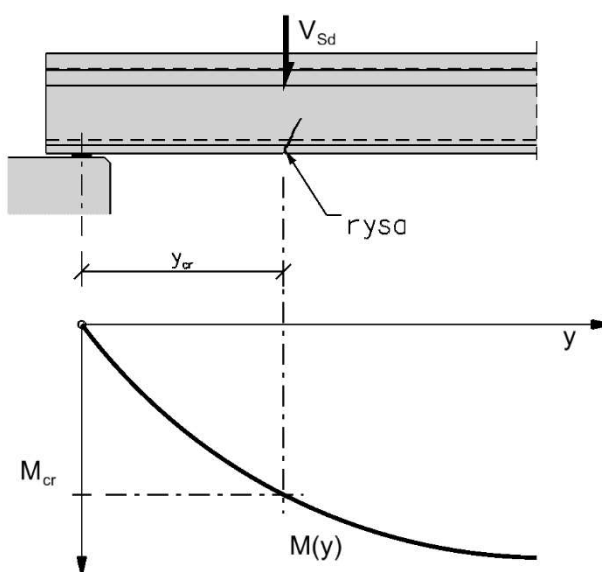
Jeżeli nie prowadzi się dokładnej analizy, siłę poprzeczną $V_{Sd}(y_{crit})$ można zastąpić reakcją podporową.

Eurokod [3] w pkt.6.2.3(8) zezwala na redukcję siły poprzecznej o część wymuszoną działaniem obciążenia skupionego przyłożonego do górnej powierzchni elementu w bliskim sąsiedztwie podpory. Uzasadnia ją potwierdzony empirycznie mechanizm bezpośredniego transferu obciążenia na podporę przez umowny krzyżulec, wydzielony w betonie ukośnymi rysami. W obliczeniach statyczno-wytrzymałościowych płyt SP ten mechanizm nie może być uwzględniany, co wynika ze specyficznych cech tych prefabrykatów (zob. pkt.1.2.1 i pkt.3.1.1(3)). W przypodporowym przekroju krytycznym sprężonych płyt kanałowych pozbawionych zbrojenia poprzecznego, z niedostatecznie zakotwionym zbrojeniem podłużnym, siłę tnącą przy podporze wyznaczyć trzeba od kompletu obciążeń działających na przęsło płyty, bez potrącania wpływu wspomnianego wyżej mechanizmu transferu.

(3) Rozpatrując z kolei drugi z mechanizmów zniszczenia, należy w pierwszej kolejności znaleźć przekrój krytyczny, miarodajny do oceny nośności poprzecznej regionów plastycznych. Współrzedną tego przekroju y_{cr} wyznacza się z równości:

$$M_{Sd}(y_{cr}) = M_{cr} \quad (5.11)$$

co zilustrowano na rys.5.3 (por. rys.4.6, pkt.4.3.2).



Rys.5.3 Przekrój krytyczny regionów plastycznych

Działające w tym przekroju siły wewnętrzne stanowią o wyłączeniu plastycznych regionów strefy przyporowej płyty SP, zarysowanej dodatnim momentem zginającym (zob. pkt.5.3.2).

Wartości momentu rysującego M_{cr} , niezbędne do wytyczenia przekroju krytycznego plastycznych regionów stref przyporowych, zostały dla każdego typu i wariantu zbrojenia płyt SP obliczone w dokumentacji projektowej systemu [39] i zestawione w tabl.3.1 tej instrukcji (pkt.3.2.1).

Normy projektowania konstrukcji z betonu wymagają, by końcowy odcinek strunobetonowego elementu, na którym dokonuje się transfer siły sprężającej z cięgien na beton pozostawał niezarysowany pod obciążeniem zewnętrznym. Formalnie wyraża to warunek:

$$y_{cr} \geq l_{pt2} \quad \text{albo} \quad M_{sd}(l_{pt2}) \leq M_{cr} \quad (5.12)$$

Tego ograniczenia należy bezwzględnie przestrzegać. Zarysowanie betonu w strefie transferu siły sprężającej dyskwalifikuje płytę z użytkowania.

5.3.2. Nośność płyt pod dowolnym obciążeniem

W pkt.3.1.1 wskazano cztery podstawowe mechanizmy zniszczenia, które doprowadzić mogą do utraty nośności niezbrojonej poprzecznie sprężonej płyty kanałowej. Każdemu z tych mechanizmów towarzyszy charakterystyczny obraz zniszczenia betonu lub zbrojenia, w jednym z trzech przekrojów krytycznych (pkt.5.3.1). Pozytywna weryfikacja nośności tych przekrojów stanowi obliczeniowe zabezpieczenie przed utratą nośności globalnej elementu pod obciążeniem nierównomiernym (por. pkt.5.1). W dalszej części tego podrozdziału opisano metody obliczeniowe pozwalające zweryfikować komplet stanów granicznych nośności i użyteczności płyt SP.

Przekrój krytyczny przy zginaniu wyznacza miejsce ekstremum momentów zginających w przęśle płyty. Współrzędną tego przekroju oraz ekstremalną wartość momentów gnących należy wyznaczyć metodami mechaniki konstrukcji (por. pkt.4.2.2). Uwzględnienie w obliczeniach redukcji nośności zbrojenia głównego w zakotwieniu sposobem opisanym w pkt.5.3.1(1), pozwala na łączne weryfikowanie nośności na zginanie przekrojów normalnych według pierwszego i czwartego mechanizmu zniszczenia (pkt.3.1.1).

W przybliżeniu zredukowaną nośność na zginanie przekroju poprzecznego dowolnej płyty SP można wyznaczyć proporcjonalnie do wartości współczynnika osłabienia nośności cięgien (zdefiniowanego formułą (5.7)), co prowadzi do wyrażenia:

$$M_{Rd,eff}(y) = \delta_{bp}(y) \cdot M_{Rd} \quad (5.13)$$

w którym: M_{Rd} - nośność na zginanie przekroju płyty, wg tabl.3.1.

W konsekwencji, warunek nośności na zginanie płyty pod dowolnym obciążeniem nierównomiernym przyjmuje postać nierówności:

$$M_{sd}(y_0) \leq M_{Rd,eff}(y_0) = \delta_{bp}(y_0) \cdot M_{Rd} \quad (5.14)$$

gdzie: $M_{sd}(y_0)$ - ekstremalny moment zginający w przęśle płyty, od obliczeniowych wartości obciążeń (zob. rys.4.6, pkt.4.3.2).

Zaznaczyć trzeba, iż w praktycznie spotykanych przypadkach obciążenia stropów jest niezwykle mało prawdopodobne, by ekstremum momentów zginających znalazło się na odcinku zakotwienia strun w betonie. Zatem najczęściej będzie $\delta_{bp} = 1$.

Weryfikację nośności na ścinanie według drugiego mechanizmu zniszczenia (pkt.3.1.1) przeprowadzić należy w przyporowym przekroju krytycznym wytyczonym zgodnie z pkt.5.3.1(2). Nośność na ścinanie ukośnego przekroju przyporowego sprawdzić należy z warunku (por. rys.5.2):

$$V_{sd}(y_{crit}) \leq V_{Rd,c} \quad (5.15)$$

gdzie: $V_{Rd,c}$ - nośność na ścinanie niezarysowanej strefy przyporowej, wg tabl.3.1.

Trzeci z mechanizmów zniszczenia typowych dla sprężonych płyt kanałowych (pkt.3.1.1) jest następstwem koincydencji sił wewnętrznych w przekroju krytycznym zarysowanym dodatnim momentem zginającym. Jego położenie wyznaczyć należy według wskazań w pkt.5.3.1(3). Weryfikację nośności tego przekroju przeprowadza się z uwzględnieniem interakcji M-V.

Wpływ siły poprzecznej na wyłączenie zbrojenia podłużnego najlepiej jest uwzględnić posługując się efektywnymi wartościami momentów gnących, odczytanymi z obwiedni rozsuniętej (zob. rys.4.6, pkt.4.3.2). Biorąc powyższe pod uwagę warunek interakcyjnej nośności na zginanie plastycznych regionów strefy przyporowej wyraża się jako (por. rys.5.3):

$$M_{sd,eff}(y_{cr}) = M_{sd}(y_{cr} + h) \leq \delta_{bp}(y_{cr}) \cdot M_{Rd} \quad (5.16)$$

Niezależnie od weryfikacji nośności interakcyjnej regionów plastycznych, zbadać należy także ich nośność na ścinanie. Odpowiedni warunek ma postać:

$$V_{sd}(y_{cr}) \leq \frac{y_{cr}}{l_{bpd}} \cdot V_{Rd,1} \leq V_{Rd,1} \quad (5.17)$$

gdzie: $V_{Rd,1}$ - nośność na ścinanie plastycznych regionów stref przypodporowych, wg tabl.3.1.

Wartości nośności $V_{Rd,1}$ zostały obliczone w dokumentacji projektowej płyt [39] przy założeniu dostatecznego zakotwienia zbrojenia podłużnego w betonie. Nie można ich zatem wprost odnosić do przekrojów położonych bliżej czoła elementu niż wymagana długość zakotwienia strun l_{bpd} . Niedostateczne (niepełne) zakotwienie zbrojenia podłużnego wpływa bowiem redukująco na nośność poprzeczną regionów zarysowanych. Aby ten wpływ uwzględnić, w warunku (5.17) wprowadzono czynnik w postaci ilorazu: y_{cr}/l_{bpd} (por. też warunek (5.12)).

Nośność plastycznych regionów strefy przypodporowej należy starannie przeanalizować badając powyższe warunki, gdyż - przeciwnie niż w przypadku ekstremum momentów - położenie przekroju krytycznego regionów zarysowanych w strefie zakotwienia cięgien może być przypadkiem częstym, zwłaszcza gdy płyta obciążona będzie głównie znaczną siłą skupioną przyłożoną w niedużej odległości od podpory. Weryfikowanie warunku (5.16) nie jest konieczne, jeżeli $y_{cr} \geq l_{bpd}$ (zob. rys.4.6, pkt.4.3.2 i warunek (5.14)).

Dla dowolnej płyty kanałowej SP obciążonej w sposób nierównomierny, spełnienie warunków (5.14), (5.15), (5.16) i (5.17) jest dowodem jej nośności globalnej.

5.3.3. Stany graniczne użytkowalności płyt pod dowolnym obciążeniem

W przypadku nierównomiernego obciążenia płyt, oprócz weryfikacji stanów granicznych nośności opisanej w pkt.5.3.2, analizie poddać należy stany graniczne użytkowalności, typowe dla sprężonych elementów konstrukcji z betonu. Zweryfikować należy stan graniczny ugięć, stan graniczny rozwarcia rys i ewentualnie stan graniczny dekompresji w zależności od warunków, w jakich eksploatowana będzie płyta (od klasy ekspozycji). Dalej podano odpowiednie formuły oraz opisano metody obliczeń pozwalające łatwo zweryfikować wymienione wyżej stany graniczne użytkowalności.

Należy wykazać, że szerokość rys w najbardziej wyężonym przekroju nie przekroczy wartości uznanej za graniczną (pkt.3.1.4). Wyraża to warunek:

$$M_{Sk}(y_0) \leq M_{sm} \quad (5.18)$$

gdzie: M_{sm} - moment wymuszający rysy o szerokości granicznej, wg tabl.3.1,

$M_{Sk}(y_0)$ - ekstremalny moment zginający w przęśle płyty (rys.4.6, pkt.4.3.2) od częstej kombinacji obciążeń (pkt.4.1.2).

Stan graniczny dekompresji nie wymaga analizy w klasach ekspozycji X0 i XC1. Jeżeli płyty mają być eksploatowane w środowiskach bardziej agresywnych (por. pkt.2.6.2) należy wykazać, że pod odpowiednią kombinacją obciążeń nie nastąpi dekompresja w ochronnej warstwie betonu o grubości 25 mm, mierzonej od powierzchni cięgien. W środowisku odpowiadającym klasie ekspozycji XC2, XC3 lub XC4 to wymaganie należy spełnić pod quasi-stałą kombinacją obciążeń (por. pkt.4.1.2). Z kolei w warunkach zagrożenia korozją chlorową (klasy ekspozycji XD/XS) warunek dekompresji powinien być spełniony pod częstą kombinacją obciążeń [3]. Biorąc powyższe pod uwagę, weryfikację stanu granicznego dekompresji przeprowadza się badając jeden z warunków, odpowiednio:

$$M_{Sk,t}(y_0) \leq \delta_P(y) \cdot M_{dec} \quad (5.19a)$$

$$M_{Sk}(y_0) \leq \delta_P(y) \cdot M_{dec} \quad (5.19b)$$

gdzie: M_{dec} - moment wywołujący dekompresję włókien betonu oddalonych o 25 mm od powierzchni cięgien, wg tabl.3.1,

$M_{Sk,t}(y)$ - moment zginający w przęśle płyty (rys.4.6, pkt.4.3.2) od quasi-stałej kombinacji obciążeń (pkt.4.1.2),

$M_{Sk}(y)$ - moment zginający od częstej kombinacji obciążeń.

Wymaganie braku dekompresji, wyrażone warunkami (5.19) obowiązuje na całej długości przęsla płyty, w jej każdym przekroju poprzecznym, także na odcinku transferu siły sprężającej z cięgien na beton (por. rys.4.6 i rys.5.1). W wyrażeniach (5.19) niepełne sprężenie betonu na tym odcinku uwzględnia współczynnik redukcyjny $\delta_P(y)$ po prawej stronie nierówności, zdefiniowany wyrażeniem (5.9).

Stan graniczny ugięć płyt stropowych SP obciążonych nierównomiernie należy sprawdzać stosując zasadę superpozycji ugięć wywołanych sprężeniem, ciężarem własnym i obciążeniem płyt. Długotrwałe ugięcie płyt SP, które miałyby być porównywane z wartościami dopuszczalnymi, określonymi w pkt.3.1.4, można wyznaczyć z formuły:

$$a = \alpha_k \cdot \frac{M_{Sk,qt} \cdot l_{eff}^2}{E_{c,eff} \cdot I_{cs}} + \frac{1}{64} \cdot \frac{g_k \cdot l_{eff}^4}{E_{c,eff} \cdot I_{cs}} - \frac{1}{8} \cdot \frac{0,9 \cdot P_{m,\infty} \cdot z_{cp} \cdot l_{eff}^2}{E_{c,eff} \cdot I_{cs}} \quad (5.20)$$

gdzie: α_k - współczynnik zależny od rozkładu momentów zginających na długości przęsła płyty, ustalony wg zasad mechaniki budowli dla quasi-stałej kombinacji obciążeń zewnętrznych,
 l_{eff} - rozpiętość efektywna przęsła,
 $M_{Sk,qt}$ - ekstremalny moment zginający od quasi-stałej kombinacji obciążeń zewnętrznych stropu (z pominięciem ciężaru własnego),
 z_{cp} - mimośród średniej siły sprężającej $P_{m,\infty}$, odpowiednio wg tabl.3.3 i tabl.3.1,
 g_k - jednostkowy ciężar własny stropu [kN/m²], wg tabl.2.9,
 I_{cs} - sprowadzony moment bezwładności przekroju poprzecznego płyty, wg tabl.3.3,
 $E_{c,eff}$ - efektywny moduł sprężystości betonu.

Efektywny moduł sprężystości betonu uwzględnia zjawiska reologiczne, zachodzące w betonie pod wpływem obciążeń długotrwałych. Istotny wpływ na jego wartość wywiera współczynnik pełzania, zależny w dużej mierze od wieku betonu w chwili przyłożenia obciążeń długotrwałych i od czasu trwania obciążenia. Ponieważ sprężenie betonu i obciążenie płyt nie jest realizowane w tym samym punkcie czasu, w wyrażeniu (5.20) należy to odpowiednio uwzględnić, szacując osobno wartość efektywnego modułu sprężystości betonu dla efektów sprężenia i działania ciężaru własnego (drugi i trzeci składnik sumy (5.20)) i osobno dla efektów obciążenia (pierwszy składnik sumy (5.20)).

Do wytworzenia betonu, z którego produkowane są płyty SP (pkt.2.2.3), wykorzystywany jest jako spoiwo szybkosprawny cement portlandzki CEM 52,5. Ponadto, w cyklu produkcyjnym (zob. pkt.2.1.2) stosowany jest nagrzew podłoży mający na celu skrócenie czasu wiązania cementu. Obydwa te zabiegi pozwalają na szybkie uzyskanie wysokiej wytrzymałości wczesnej, umożliwiającej sprężenie betonu już po około jednej dobie od zaformowania betonu. Po uwzględnieniu wpływu rodzaju cementu oraz nagrzewu, zmodyfikowany wiek betonu w chwili uwolnienia strun z zakotwień bloków oporowych osiąga wartość: $t_{0,p} = 6$ dni.

Z kolei, zgodnie z przyjętym założeniem projektowym, zmodyfikowany wiek betonu w chwili przyłożenia obciążeń długotrwałych oszacowano na: $t_{0,q} = 6 + 28 = 34$ dni (por. pkt.3.1.4).

Dla takiej historii obciążenia, na podstawie załącznika B normy [3], obliczono w dokumentacji projektowej systemu [39] wartości końcowe współczynnika pełzania betonu (po czasie $t \rightarrow \infty$). Na tej podstawie, dla zastosowanego w płytach SP betonu klasy C50/60, wykorzystując normowy związek (7.20) [3], dla każdego typu płyt SP obliczono wartość efektywnego modułu sprężystości betonu. Obliczone wartości obydwu parametrów, dla każdej z dwóch faz obciążenia, zastawiono w tabl.5.1. Można się nimi posługiwać w obliczeniach ugięć, jeżeli założenia przyjęte w projekcie stropu będą zgodne z przyjętymi w dokumentacji systemu płyt SP (por. pkt.3.1.4).

Tabl.5.1 Wartości współczynnika pełzania i efektywnego modułu sprężystości betonu płyt SP [39]

Typ płyty	Wpływ sprężenia i ciężaru własnego		Efekt obciążenia	
	Φ	$E_{c,eff}^{1)}$ [GPa]	Φ	$E_{c,eff}^{2)}$ [GPa]
	$t_{0,p} = 6$ dni		$t_{0,q} = 34$ dni	
SP20	2,57	9,80	1,85	13,0
SP22	2,50	10,0	1,80	13,2
SP26.5	2,44	10,2	1,76	13,4
SP32	2,43	10,2	1,76	13,4
SP40	2,37	10,4	1,75	13,4
SP41	2,35	10,4	1,73	13,5
¹⁾ dla betonu w stadium sprężania o $E_{cm,0} = 35$ GPa [39]				
²⁾ dla betonu klasy C50/60 o $E_{cm} = 37$ GPa (por. pkt.3.1.2)				

W innych przypadkach, gdyby warunki obciążenia stropu odbiegały od założeń przyjętych w dokumentacji [39] (krótszy wiek betonu w chwili obciążenia stropu), albo gdyby istniała potrzeba określenia ugięć w innym punkcie czasu (dla $t < \infty$), wartość współczynnika pełzania i efektywnego modułu sprężystości dla efektów obciążeń należy obliczyć indywidualnie, metodą rekomendowaną w załączniku B normy [3]. Wartości obydwu wielkości zestawione w tabl.5.1 dla wpływu sprężenia i ciężaru własnego należy traktować jako wiążące w reżimie technologicznym, jaki stosuje producent płyt SP.

Płyta spełnia wymagania stanu granicznego ugięć, gdy strzałka ugięcia przeszła, obliczona według powyższych wytycznych (formuła (5.20)), spełnia warunek:

$$a \leq a_{lim} \quad (5.21)$$

Limit ugięcia a_{lim} przyjąć można zgodnie z pkt.3.1.4 niniejszej instrukcji lub ustalić indywidualnie, adekwatnie do wymagań projektu budynku, gdyby warunki projektowe wymagały szczególnego ograniczenia ugięć stropów.

5.3.4. Wpływ perforacji na stany graniczne nośności i użytkowości płyt

(1) Wykonanie w płycie SP któregośkolwiek z dopuszczalnych wycięć (pkt.2.4.2 do pkt.2.4.4) wpływa niekorzystnie na nośność, a w przypadku wycięć bocznych także na pracę statyczną takiego prefabrykatu. Z tego względu, w płytach osłabionych wycięciami, poza sprawdzeniem podanych wcześniej podstawowych warunków nośności (pkt.5.3.3), konieczna jest dokładna weryfikacja nośności przekrojów w miejscach wycięć, by płyta mogła być bezpiecznie eksploatowana.

Wycięcia przypodporowe wywierają niekorzystny wpływ na nośność i pracę statyczną strefy przypodporowej płyty. Dotyczy to zwłaszcza wycięcia bocznego, które powoduje skręcanie płyty na odcinku osłabionym wycięciem. Z tego względu, w płytach z wycięciami przypodporowymi sprawdzić należy dodatkowe warunki dotyczące zwłaszcza nośności na ścinanie niezarysowanego regionu strefy przypodporowej, a ponadto możliwość wystąpienia zarysowania w najbardziej wyężonym przekroju osłabionym takim wycięciem. W obydwu przypadkach uwzględnić trzeba działanie momentu skręcającego.

Wycięcia przeszłowe mają niekorzystny wpływ głównie na cechy przekroju związane ze zginaniem. W związku z tym, w płytach z tym rodzajem wycięć należy sprawdzić dodatkowy warunek dotyczący nośności na zginanie, warunek zarysowania i, ewentualnie, dekompresji (jeżeli płyta ma być eksploatowana w klasach ekspozycji XC2, XC3, XC4 lub XD/XS; por. pkt.2.6.2) w najbardziej wyężonym przekroju płyty osłabionym wycięciem.

Jeżeli w jednej płycie SP mają zostać wykonane zarówno wycięcia przypodporowe jak i przeszłowe (por. pkt.2.4.4), analizie poddać należy każde z tych wycięć osobno, przestrzegając podanych dalej wytycznych.

Otwory w płytach SP, jeśli spełniać będą wymagania dotyczące ich rozmiarów i rozmieszczania na planie płyty, określone w pkt.2.4.5 (rys.2.16), nie wywierają istotnego wpływu na nośność prefabrykatu. W związku z tym, dla płyt z otworami nie definiuje się żadnych dodatkowych warunków wytrzymałości.

Przedstawione dalej uproszczone procedury obliczeniowe dla płyt perforowanych, sformułowano z pominięciem korzystnego wpływu wzajemnego klinowania się płyt w rzeczywistym ustroju stropowym, przyjmując, że pojedyncza płyta stropowa jest samodzielnym elementem konstrukcyjnym, pracującym niezależnie od innych. Wzajemne oddziaływanie powstające wskutek wzajemnego klinowania się płyt w ustroju stropowym (poza zagadnieniem współpracy poprzecznej; rozdz.4.2) jest tu traktowane jako dodatkowy czynnik asekurujący nośności takich płyt.

(2) Przyjąć można w uproszczeniu, że wycięcia przeszłowe wykonane w płytach SP redukują wartości wszystkich wielkości statycznych związanych ze zginaniem przekrojów normalnych (por. tabl.3.1) w stopniu proporcjonalnym do szerokości wycięcia, co uwzględnia zdefiniowany wyrażeniem (3.2) współczynnik korekcyjny δ_M (tabl.3.4, pkt.3.2.3). W związku z tym, wartość każdej z cech mechanicznych przekroju związanych ze stanem zgięciowym, zredukowaną z uwagi na wycięcie przeszłowe, można obliczyć jako iloczyn:

$$M_{red} = \delta_M \cdot M \quad (5.22)$$

gdzie: $M = M_{Rd}, M_{cr}, M_{sm}, M_{dec.25}$ - według tabl.3.1.

W płytach SP osłabionych bocznymi wycięciami przeszłowymi, moment skręcający jest efektem drugorzędowym, który nie ma istotnego wpływu na wyężenie prefabrykatu. Dlatego wpływ skręcania takich płyt może zostać w obliczeniach statyczno-wytrzymałościowych zaniedbany.

Biorąc powyższe pod uwagę, warunek nośności na zginanie płyty osłabionej dowolnym wycięciem przeszłowym przyjmuje formę:

$$M_{sd} \leq M_{Rd,red} = \delta_M \cdot M_{Rd} \quad (5.23)$$

gdzie: M_{sd} - największy moment zginający na długości wycięcia przeszłowego (rys.4.6) od obliczeniowych wartości obciążeń (pkt.4.1.2(1)).

Poza weryfikacją warunku stanu granicznego nośności, zbadać należy również warunki stanów granicznych użytkowości w przekrojach osłabionych wycięciem przeszłowym. Niezależnie od warunków eksploatacji płyty, wykazać należy, że szerokość rys w przekroju osłabionym wycięciem przeszłowym nie przekroczy wartości granicznej (pkt.3.1.4).

Zgodnie z wyrażeniem (5.22), odpowiedni warunek ma postać:

$$M_{Sk} \leq \delta_M \cdot M_{sm} \quad (5.24)$$

gdzie: M_{sm} - moment wymuszający w płycie podstawowej rysy o szerokości granicznej, wg tabl.3.1,
 M_{Sk} - największy moment zginający na długości wycięcia przęsłowego (rys.4.6), od częstej kombinacji obciążeń (pkt.4.1.2(2)).

Jeżeli płyta miałaby być eksploatowana w środowisku odpowiadającym klasom ekspozycji XC2, XC3, XC4 albo XD/XS (pkt.2.6.2), wykazać należy również, że w przekroju osłabionym wycięciem nie nastąpi dekompresja betonu w otulinie strun o grubości 25 mm pod quasi-stałą lub częstą kombinacją obciążeń (pkt.4.3.2(2)). Analogicznie jak wcześniej, w klasach ekspozycji XC2, XC3 i XC4 warunek dekompresji przyjmuje postać (por. z wyrażeniami (5.19)):

$$M_{Sk,t} \leq \delta_M \cdot M_{dec} \quad (5.25a)$$

a w warunkach agresji chlorkowej (klasy ekspozycji XD/XS) warunek :

$$M_{Sk} \leq \delta_M \cdot M_{dec} \quad (5.25b)$$

gdzie: M_{dec} - moment zginający wymuszający dekompresję we włóknach betonu oddalonych od powierzchni ciągnien o 25 mm, wg tabl.3.1,
 $M_{Sk,t}$ - największy moment zginający na długości wycięcia przęsłowego wywołany quasi-stałą kombinacją obciążeń,
 M_{Sk} - największy moment zginający na długości wycięcia przęsłowego, od częstej kombinacji obciążeń.

Ponieważ zawsze $M_{dec} < M_{sm}$ (zob. tabl.3.1), w klasach ekspozycji XD/XS warunek (5.25b) zastępuje warunek (5.24).

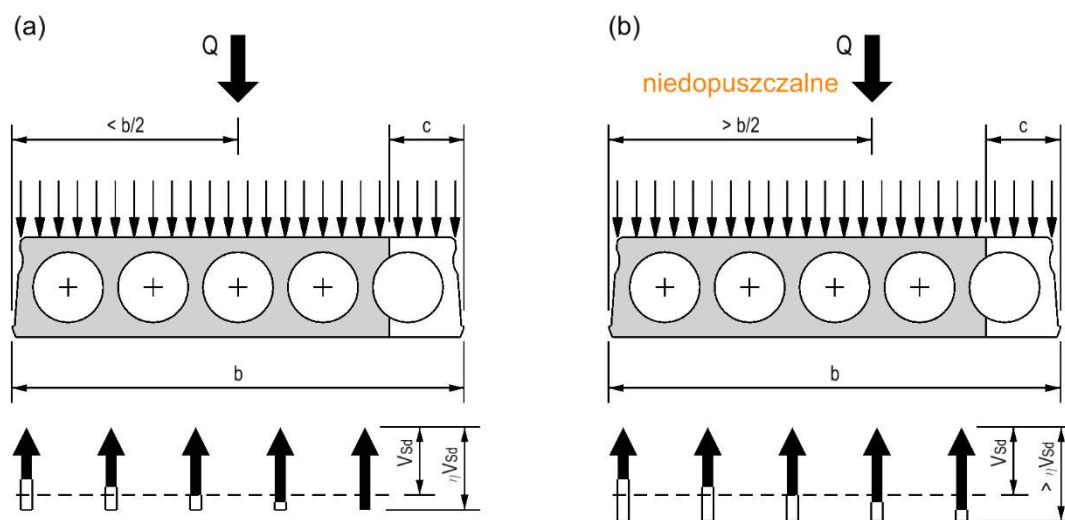
Jeżeli w płycie projektuje się kilka wycięć przęsłowych (por. pkt.2.4.4), warunki (5.23), (5.24) i ewentualnie (5.25) muszą być spełnione w obrębie każdego.

(3) Wykonanie w płycie wycięcia przypodporowego redukuje nośność na ścinanie jej stref przypodporowych proporcjonalnie do współczynnika korekcyjnego δ_V (tabl.3.4), zdefiniowanego w pkt.3.2.3 wyrażeniem (3.1). W związku z tym zredukowaną nośność na ścinanie dowolnej płyty SP, osłabionej wycięciem przypodporowym, można wyznaczyć z formuły:

$$V_{Rd.c.red} = \delta_V \cdot V_{Rd.c} \quad (5.26)$$

w której: $V_{Rd.c}$ - nośność na ścinanie sprężystych regionów strefy przypodporowej płyty podstawowej, według tabl.3.1.

Wycięcie przypodporowe boczne wpływa niekorzystnie również na pracę statyczną płyty. Na skutek mimośrodowego podparcia (rys.5.4), w płycie generowany jest moment skręcający, czego skutkiem jest dociążenie skrajnego żebra bezpośrednio przy wycięciu, które sięga do podpory. Wpływ działania momentu skręcającego na wyężenie strefy przypodporowej można oszacować w obliczeniach statycznych mnożąc wartość siły poprzecznej przy podporze (por. pkt.5.3.1(2)) przez współczynnik amplifikacji η (tabl.3.4, pkt.3.2.3), zdefiniowany wyrażeniem (3.3).



Rys.5.4 Praca statyczna strefy przypodporowej osłabionej wycięciem bocznym

Uwzględniając powyższe, warunek wytrzymałości sprężystego regionu strefy przypodporowej tak ukształtowanej płyty przyjmuje po przekształceniu postać (rys.5.4):

$$V_{sd} \leq \frac{V_{Rd.c.red}}{\eta} = \frac{\delta_V \cdot V_{Rd.c}}{\eta} \quad (5.27)$$

Na odcinku płyty zredukowanym wycięciem przypodporowym powinna być również zagwarantowana rysoodporność elementu, aby zapobiec niepożądanym zjawiskom, jakie może wywołać działanie karbu geometrycznego. Analogicznie jak wcześniej, warunek rysoodporności przekroju poprzecznego na końcu wycięcia przypodporowego wyraża w uproszczeniu warunek:

$$M_{Sk}(l_c) \leq \frac{\delta_P(l_c) \cdot M_{cr.red}}{\eta} = \frac{\delta_P(l_c) \cdot \delta_M \cdot M_{cr}}{\eta} \quad (5.28)$$

gdzie: $M_{Sk}(l_c)$ - moment zginający na krawędzi wycięcia przypodporowego, od częstej kombinacji obciążeń,

l_c - współrzędna skrajnego przekroju wycięcia przypodporowego (zob. rys.4.6),

$\delta_P(y)$ - współczynnik redukcji naprężeń, według formuły (5.9).

Pozytywna weryfikacja warunku (5.28) wyklucza konieczność badania nośności plastycznych (zarysowanych) regionów stref przypodporowych w obszarze płyty osłabionym wycięciem przypodporowym, ponieważ przekrój zarysowany znajdzie się poza tym obszarem.

W ogólnym przypadku, opisaną wyżej procedurę obliczeniową należy przeprowadzić odrębnie dla każdego wycięcia przypodporowego, jeżeli w płycie projektuje się wycięcia przypodporowe przy obydwu końcach.

W sposób analogiczny jak wyżej zweryfikować można nośność strefy przypodporowej, w której wykonano wycięcia środkowe, przyjmując do obliczeń wartość $\eta = 1,1$ albo $\eta = 1,0$ (por. tabl.3.4).

(4) Przedstawiona wyżej uproszczona (współczynnikowa) metoda analizy strefy przypodporowej płyt SP z bocznym wycięciem przypodporowym jest adekwatna do takich przypadków obciążenia, w których wypadkowa obciążeń zewnętrznych Q działa bliżej tej z bocznych krawędzi płyty, która nie została naruszona wycięciem (rys.5.4). Wynika to ze sposobu zdefiniowania współczynnika amplifikacji siły tnącej (pkt.3.2.3). Wyrażenie (3.3) wyprowadzono na podstawie normy [7] przy założeniu braku bocznego mimośrodowego obciążenia działającego na płytę (rys.5.4). Ewentualny mimośród tego obciążenia zwiększy moment skręcający, który w zależności od zwrotu, może dociągać lub odciążać skrajne żebro, doprowadzone do podpory obok wycięcia przypodporowego. Z tego względu należy unikać takiego rozłożenia obciążeń na powierzchni płyty, które mogłoby powodować dalsze dociągnięcie skrajnego żebra, ponad wartość oszacowaną za pomocą współczynnika η (rys.5.4b).

Dla dowolnej płyty kanałowej SP osłabionej wycięciami przęsłowymi lub przypodporowymi, wykonanymi i rozmieszczonymi według zasad opisanych w pkt.2.4.2 i pkt.2.4.3, pozytywna weryfikacja warunków (5.23) i (5.27) jest dowodem nośności płyty, o ile obciążenie spełnia sformułowane wyżej wymaganie (rys.5.4b).

Jeżeli nie da się uniknąć takiego niekorzystnego rozłożenia obciążeń na planie płyty z bocznym wycięciem przypodporowym, jej nośność (i równowagę) należy przeanalizować indywidualnie metodą rekomendowaną w normie [7], uwzględniając wpływ bocznego mimośrodu obciążeń na wyłączenie strefy przypodporowej.

Wpływ wycięć na ugięcie płyty może zostać zaniedbany, jeżeli spełnione zostaną wymagania konstrukcyjne, sformułowane w pkt.9.4.

5.3.5. Wpływ wzdlużnego i poprzecznego docinania płyt

Stany graniczne nośności i użytkowości płyt docinanych poprzecznie pod kątem, według zasad opisanych w pkt.2.4.7, pracujących pod obciążeniem o dowolnym rozkładzie, można zweryfikować posługując się metodami opisanymi w pkt.5.3.2 i pkt.5.3.3. Schemat statyczny takich płyt, w szczególności ich efektywną rozpiętość, należy ustalić według wytycznych podanych w pkt.4.3.1.

W większości przypadków, jeżeli nośność płyty podstawowej zostanie pozytywnie zweryfikowana, płyta taka może zostać rozcięta podłużnie zgodnie z zasadami opisanymi w pkt.2.4.6, w celu dostosowania szerokości do lokalnych wymagań. Konieczne jest przy tym, aby wąska płyta nie była obciążona niekorzystnie obciążeniem lokalnym, które mogłoby doprowadzić do jej przeciążenia. Dlatego, zwężone płyty nie powinny być wbudowywane w miejscach przyłożenia do stropu obciążeń lokalnych, takich jak siły skupione lub obciążenia liniowe, równoległe do długości płyty (por. pkt.4.2.3). Jeżeli nie da się tego uniknąć, nośność takiej płyty należy zweryfikować na podstawie dokładnych (indywidualnych) obliczeń, na podstawie norm [3], [4] i [7].

5.4. Analiza nośności lokalnej płyt

5.4.1. Postacie uszkodzeń lokalnych

Opisane wyżej metody analizy statycznej (rozdz. 4) i weryfikacji nośności płyt pod obciążeniem nierównomiernym (pkt.5.3) dotyczą globalnej nośności płyty jako dźwigara nośnego stropu. W wielu przypadkach taki zakres obliczeń może być niewystarczający, zwłaszcza gdy na stropie lub pod stropem (por. pkt.4.1.4) mają zostać oparte lub zawieszone elementy (instalacje, urządzenia, wyposażenie) wywierające lokalnie znaczne obciążenia skupione. Pod obciążeniem miejscowym przyłożonym na małej powierzchni prefabrykatu dochodzi do lokalnej koncentracji naprężeń. W bezpośrednim otoczeniu takiego miejsca, w ściankach profilu generowane są siły wewnętrzne, których zasięg oddziaływania ograniczony jest do pojedynczych ścianek profilu. Wyteżają one lokalnie beton, czego skutkiem może być lokalne przeciążenie i uszkodzenie prefabrykatu.

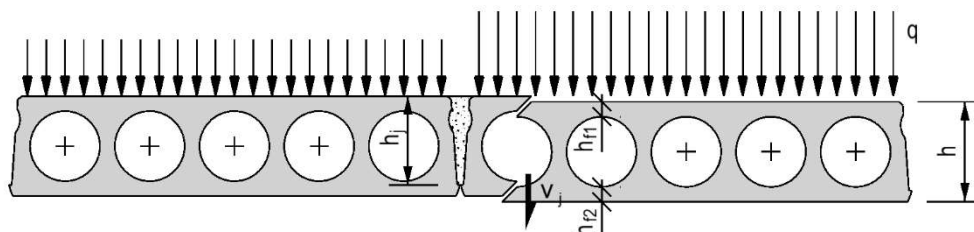
Aby zapobiec takim uszkodzeniom konieczne jest wykazanie niezbędnej nośności lokalnej płyty. Pod tym pojęciem rozumieć należy nośność na ścinanie podłużne (poprzeczne do konturu; pkt.5.4.2) oraz nośność na przebicie w miejscu przyłożenia obciążeń lokalnych.

Zagadnienie przebicia dowolnej płyty SP rozpatrywać należy z kolei w dwóch aspektach: przebicia prefabrykatu na wskroś (pkt.5.4.3) oraz przebicia górnej lub dolnej półki wielokanałowego profilu (pkt.5.4.4).

Dalej w kolejnych punktach podano informacje niezbędne do przeprowadzenia analizy nośności lokalnej płyt SP dla każdego z potencjalnych mechanizmów lokalnego zniszczenia. Dane liczbowe niezbędne do przeprowadzenia takiej analizy zamieszczono w tabl.3.2 (pkt.3.2.1). W żadnym przypadku nośność na przebicie nie może przekraczać nośności na docisku, obliczonej na podstawie normy [3].

5.4.2. Ścinanie podłużne

Do ścinania podłużnego dochodzi wówczas, gdy sąsiadujące ze sobą płyty nie są obciążone jednakowo (rys.5.5). W takich warunkach, wskutek zróżnicowanych wartości ugięć, może dochodzić do „zawieszania się” płyty silniej obciążonej na płycie obciążonej słabiej. Ścinanie konturu ma miejsce także w obrębie jednego prefabrykatu w przypadku niejednakowego obciążenia jego żeber (średników). Omawiane zagadnienie nabiera szczególnego znaczenia, gdy od nośności konturu zależy statyka lub stabilność ustroju stropowego (por. pkt.10.5). Wyczerpanie nośności na ścinanie poprzeczne do konturu powoduje podłużne pęknięcia i prowadzi do rozseparowania żeber płyty.



Rys.5.5 Ilustracja mechanizmu ścinania podłużnego (poprzecznego do konturu)

W myśl normy [7] nośność na ścinanie podłużne należy wyznaczyć jako mniejszą z dwóch wartości, zgodnie z wyrażeniem (por. rys.5.5):

$$v_{Rdj} = \min\{v_{Rdj}', v_{Rdj}''\} \quad (5.29)$$

gdzie: v_{Rdj}' - nośność na ścinanie podłużne prefabrykatu,
 v_{Rdj}'' - nośność na ścinanie złącza prefabrykatów.

Wartość każdej z tych cech mechanicznych definiują proste formuły:

$$v_{Rdj}' = 0,25 \cdot f_{ctd} \cdot \sum h_f \quad (5.30)$$

$$v_{Rdj}'' = 0,15 \cdot f_{ctdj} \cdot h_j \quad (5.31)$$

w których: $\sum h_f = h_{f1} + h_{f2}$ - suma grubości górnej i dolnej półki profilu (rys.5.5),

h_j - efektywna wysokość złącza prefabrykatów (rys.5.5),

f_{ctd}, f_{ctdj} - obliczeniowa wytrzymałość na rozciąganie, odpowiednio: betonu prefabrykatu (por. pkt.3.1.2) i betonu wypełniającego złącze (zob. pkt.9.3.1).

Dla wszystkich typów płyt SP wartość v_{Rdj}' obliczono i zestawiono w tabl.3.2, natomiast nośność złącza v_{Rdj} należy obliczyć indywidualnie dla projektowanej klasy betonu wypełniającego złącze przyjmując w formule (5.31) wysokość złącza h_j równą wysokości płyty pomniejszonej o 3 cm.

Dowodem nośności na ścinanie poprzeczne do konturu jest spełnienie warunku (rys.5.5):

$$v_j \leq v_{Rdj} \quad (5.32)$$

gdzie: v_j – jednostkowa siła ścinająca prostopadła do konturu [kN/m].

5.4.3. Nośność na przebiecie stropów z płyt SP

Nośność na przebiecie wielokanałowego profilu determinowana jest nośnością na ścinanie jego pionowych ścianek (średników). Dla wszystkich typów płyt SP nośność średników na jedno cięcie obliczono na podstawie normy [7] i zestawiono w tabl.3.2. Obliczenia wykonano odrębnie dla średników skrajnych i wewnętrznych, co ma związek z różną szerokością tych ścianek. Rozróżniono również nośność z uwzględnieniem i z pominięciem wpływu sprężenia.

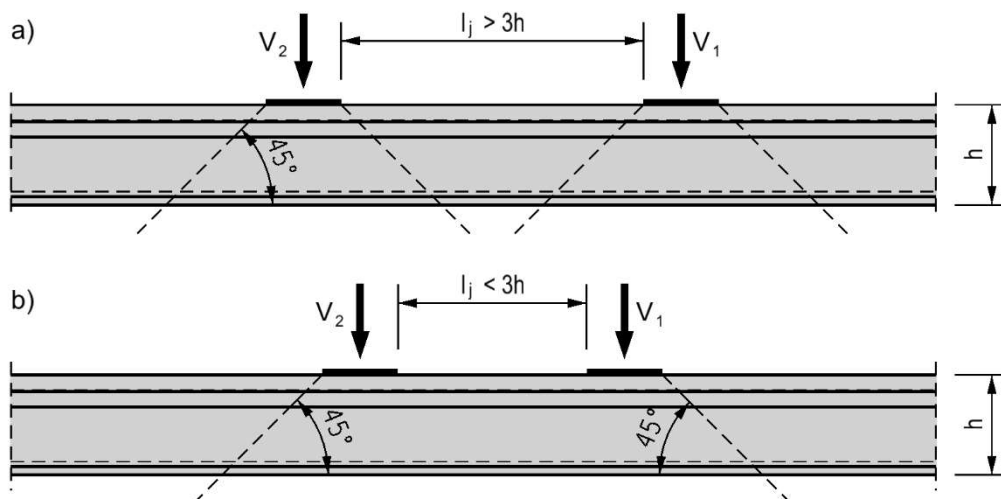
Dowód nośności na przebiecie pojedynczego żebra płyty wyraża warunek:

$$V_j \leq n_c \cdot V_{Rd,j} \quad (5.33)$$

w którym: V_j – siła przebijająca działająca na pojedyncze żebro (rys.5.6),

$V_{Rd,j}$ – nośność żebra na jedno cięcie, wg tabl.3.2,

n_c – liczba płaszczyzn ścinania (rys.5.6).



Rys.5.6 Potencjalne mechanizmy zniszczenia żebra płyty na skutek przebiecia

Liczbę płaszczyzn ścinania jaką uwzględnić można w obliczeniach jest uzależniona od rozmieszczenia obciążeń skupionych na długości żebra. Jeżeli dystans w świetle między kolejnymi elementami oporowymi oparcia lub podwieszenia, mierzony wzdłuż płyty, jest większy niż $l_j \geq 3 \cdot h$ (rys.5.6a), przyjąć można $n_c = 2$. W innym przypadku należy przyjąć $n_c = 1$ (rys.5.6b).

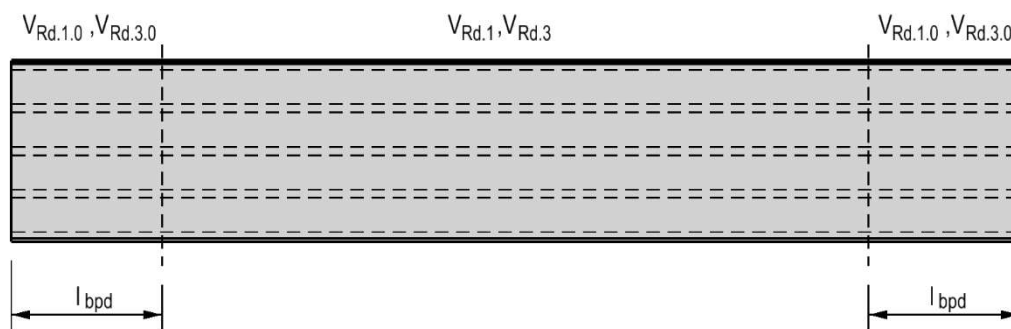
Nośność średnika (skrajnego lub wewnętrznego) na przebiecie $V_{Rd,j}$ zależy istotnie od stopnia sprężenia betonu prefabrykatu (zob. tabl.3.2), co należy uwzględnić w obliczeniach. Wpływ sprężenia można wziąć pod uwagę tylko w środkowej części przęsła, gdzie zapewnione jest pełne przekazanie siły sprężającej na beton (rys.5.7), wówczas (zob. tabl.3.2):

$$V_{Rd,j} = V_{Rd,1} \text{ (lub } V_{Rd,3}) \quad (5.34)$$

Na odcinkach zakotwienia strun o długości l_{bpd} (rys.5.7) zaleca się całkowicie pominąć wpływ sprężenia. W tych strefach przęsła (tabl.3.2):

$$V_{Rd,j} = V_{Rd,1.0} \text{ (lub } V_{Rd,3.0}) \quad (5.35)$$

Długość zakotwienia strun l_{bpd} należy odczytać z tabl.3.3 (pkt.3.2.2), odpowiednio do wariantu płyty SP.

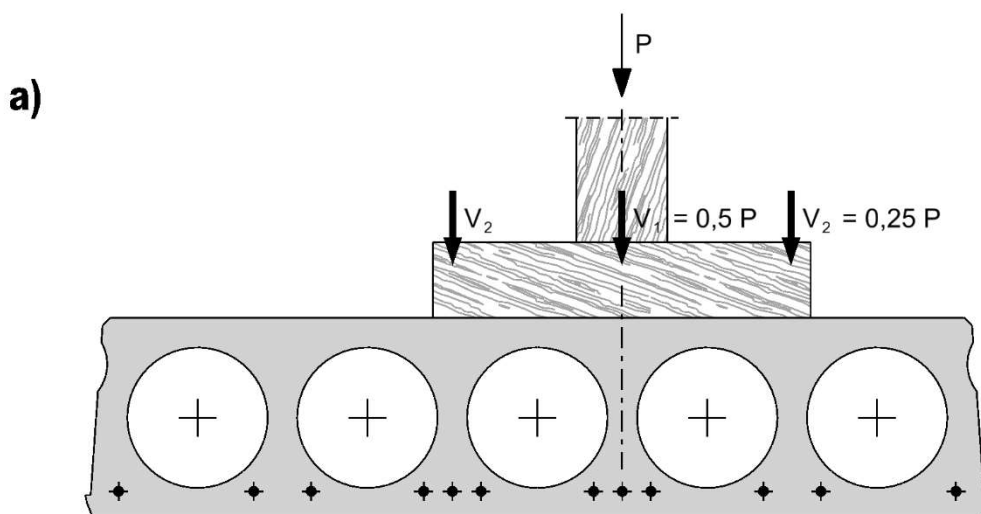


Rys.5.7 Strefy zróżnicowanej nośności żeber na przebiecie

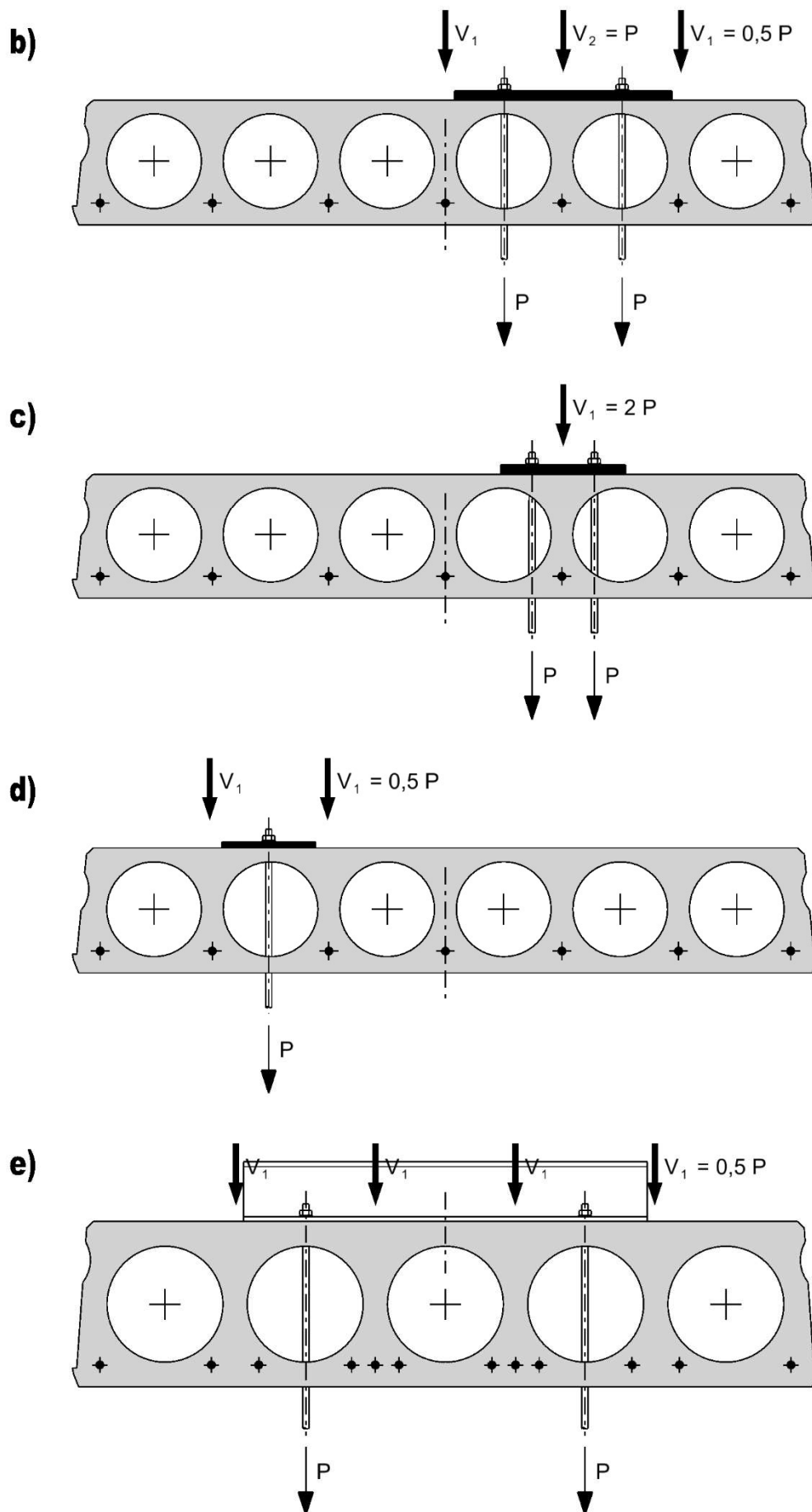
W omawianym zagadnieniu istotnego znaczenia nabiera kwestia prawidłowego ustalenia obciążeń skupionych V_j działających na poszczególne żebra wielożebrowego profilu płyty kanałowej. W zależności od zastosowanego rozwiązania konstrukcyjnego oparcia lub podwieszenia, obciążenie przekazywane na sąsiadujące ze sobą żebra może być bowiem zróżnicowane. W związku z tym, w pierwszej kolejności należy prawidłowo ustalić wartości oddziaływań skupionych, transferowanych z takich podkonstrukcji na żebra płyty kanałowej.

Rozdział obciążenia lokalnego na poszczególne żebra płyty należy przeprowadzić w oparciu o analizę statyczną drugorzędnych konstrukcji opieranych lub podwieszanych do stropu. Odpowiednie obliczenia należy wykonać według zasad mechaniki konstrukcji. Takie obliczenia będą wiarygodne zwłaszcza dla rekomendowanych wcześniej (por. pkt.4.1.4) rozwiązań izostatycznych. Hiperstatyczne ustroje nie pozwalają natomiast w sposób jednoznaczny określić wartości sił przekazywanych na żebra. W takich przypadkach oddziaływania podkonstrukcji na żebra płyty kanałowej można wyznaczyć w uproszczeniu posługując się schematami przedstawionymi na rys.5.8.

Aby wytyczne zilustrowane na rys.5.8 mogły być miarodajne, elementy oporowe oparcia i podwieszeń muszą być odpowiednio sztywne.



Rys.5.8 Zasady rozdzielania obciążeń skupionych na żebra płyt SP



Rys.5.8 c.d. Zasady rozdzielania obciążeń skupionych na żebra płyt SP

Zaleca się stosowanie takich rozwiązań konstrukcyjnych oparć i podwieszeń, które gwarantują przekazanie obciążeń skupionych wprost na żebra (zob. też rys.4.2b, pkt.4.1.4). Eliminuje to potrzebę sprawdzania nośności na przebicie półki górnej. Jeżeli taki środek techniczny nie jest możliwy do wykonania, nośność na przebicie tej ścianki profilu należy zweryfikować w odrębnych obliczeniach, według pkt.5.4.4(1).

5.4.4. Nośność na przebicie poziomych ścianek płyt SP

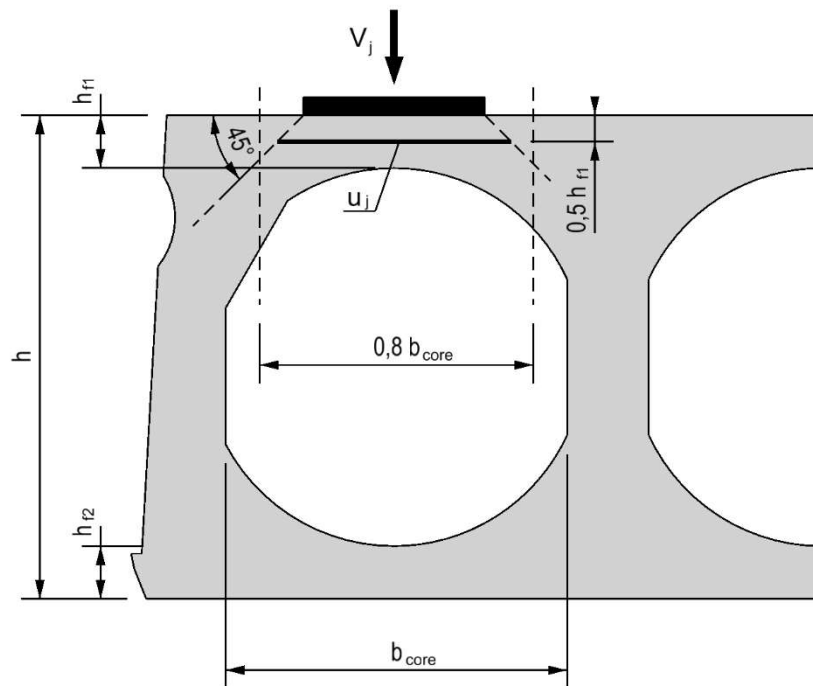
Inną formą lokalnego uszkodzenia wielokanałowego prefabrykatu może być przebicie jednej z poziomych ścianek, tj. górnej lub dolnej półki profilu. Przebicie półki górnej może przybierać zróżnicowaną formę, w zależności od rozmiarów powierzchni obciążenia. Przebicie półki dolnej jest natomiast najczęściej związane z wyrwaniem stożka betonu w miejscu osadzenia kotwy.

(1) Z zagadnieniem przebicia półki górnej mamy do czynienia, gdy sposób rozwiązania oparcia lub podwieszenia nie gwarantuje przekazania skoncentrowanego obciążenia wprost na żebra wielokanałowego prefabrykatu (gdy działa pomiędzy pionowymi ściankami). Za takie uważać należy oparcie lub podwieszenie, w którym choćby jedna z podłużnych krawędzi elementu oporowego znajduje się w środkowej strefie kanału o szerokości równej 0,8 jego szerokości (rys.5.9). Wykazać należy wówczas niezbędną nośność na przebicie górnej półki profilu.

Nośność na przebicie sklepienia kanału można zweryfikować obliczeniowo na podstawie uproszczonej formuły (por. rys.5.9):

$$V_j \leq P_{Rdj} = f_{ctd} \cdot u_j \cdot h_{f1} \quad (5.36)$$

przyjmując $f_{ctd} = 2,07 \text{ MPa}$. Do obliczeń przyjąć należy najmniejszą grubość ścianki h_{f1} (w środku sklepienia kanału, rys.5.9). Długość obwodu kontrolnego u_j należy określić w połowie grubości analizowanej ścianki, zgodnie z zasadą zilustrowaną na rys.5.9. Dla prostokątnych blach oporowych długość obwodu kontrolnego będzie równa obwodowi blachy powiększonemu o $4h_{f1}$. Dla blachy okrągłej o średnicy d , obwód kontrolny jest równy: $u_i = \pi \cdot (d + h_{f1})$.



Rys.5.9 Zasada wyznaczania obwodu przebicia półki górnej

Pozytywna weryfikacja warunku (5.36) jest dowodem nośności na przebicie górnej półki prefabrykatu.

Gdy obydwie podłużne krawędzie elementu oporowego są położone poza środkową strefą kanału, zagadnienia przebicia sklepienia kanału można nie analizować.

(2) Nośność na przebicie dolnej półki przekroju pod obciążeniem punktowym można wykazać badając warunek:

$$P \leq \min\{P_{Rdj}, F_{Rdj}\} \quad (5.37)$$

gdzie: P_{Rdj} – nośność punktowego podwieszenia z warunku przebicia dolnej ścianki przekroju,
 F_{Rdj} – nośność kotwy na rozciąganie osiowe.

Dla wszystkich płyt SP nośność półki dolnej na przebicie punktowe (wyrwanie stożka odłamu) zostały obliczone i zestawione w tabl.3.2.

Aby wartości P_{Rdj} wg tabl.3.2 były miarodajne do oceny nośności na przebicie dolnej półki profilu należy zapewnić odpowiedni rozstaw kotew, tak w kierunku podłużnym, jak i poprzecznym do długości płyty. Osiowy rozstaw łączników mierzony wzdłuż płyty nie może być mniejszy niż $10h_{f2}$ (rys.5.9). Jeżeli ten warunek nie może być dotrzymany dopuszczalne obciążenie skupione w jednym punkcie P_{Rdj} należy zredukować proporcjonalnie do rozstawu kotew. Z kolei, w kierunku poprzecznym kotwy powinny być osadzone nie gęściej niż w co drugim kanale płyty. Jeżeli niezbędne jest osadzenie łącznika w sąsiadujących kanałach, limit dopuszczalnego obciążenia skupionego P_{Rdj} należy dodatkowo zredukować o połowę.

Nośność kotwy (chemicznej lub mechanicznej) należy w każdym przypadku ustalić na podstawie danych (katalogu) producenta zakotwienia. Należy ściśle przestrzegać wytycznych producenta zakotwienia, w zakresie techniki instalacji, wymaganej grubości podłoża i rozmieszczenia kotew, w tym odległości od krawędzi prefabrykatu.

6. WERYFIKACJA NOŚNOŚCI OGNIOWEJ PŁYT

6.1. Ogólne wytyczne

Sytuacją wyjątkową jaką należy rozważyć przy projektowaniu stropów ze sprężonych płyt kanałowych SP jest pożar budynku. Podobnie jak w sytuacji trwałej, sposobem uproszczonym zweryfikować można nośność ogniową tylko płyt pełnych, pracujących pod obciążeniem równomiernie rozłożonym. Odpowiednie wytyczne zamieszczono w pkt.6.2.

W innych przypadkach (por. pkt.5.1) konieczna jest dokładna analiza nośności, na podstawie szczegółowych obliczeń statycznych, z przestrzeganiem wytycznych zamieszczonych w pkt.6.3.

6.2. Uproszczona weryfikacja nośności

Podobnie jak w sytuacji trwałej (pkt.5.2), uproszczona weryfikacja nośności ogniowej płyt stropowych SP polega na porównaniu wartości równomiernie rozłożonych obciążeń zewnętrznych stropu (por. pkt.3.3.2) z wartościami dopuszczalnymi, które dla każdego typu i wariantu zbrojenia płyt SP wyznaczono obliczeniowo w dokumentacji projektowej [39] i przytoczono w załączniku A niniejszej instrukcji.

Analizując nośność stropów w sytuacji wyjątkowej pożaru wykazać należy, że obciążenie wyjątkowe stropu (pkt.4.1.3) nie przekracza nośności płyty osłabionej temperaturą pożaru, co wyraża warunek:

$$p_{d.fi} \leq p_{fi.lim} \quad (6.1)$$

gdzie: $p_{d.fi}$ - wartość kombinacyjna obciążeń w sytuacji wyjątkowej pożaru [kN/m²] (pkt.4.1.3),
 $p_{fi.lim}$ - nośność płyty osłabionej temperaturą pożaru [kN/m²], wg tabl.A1÷A4 (załącznik A), w zależności od typu, wariantu zbrojenia i od efektywnej rozpiętości płyty (por. pkt.4.3.1)

Spełnienie warunku (6.1) jest dowodem nośności równomiernie obciążonej płyty podstawowej w sytuacji wyjątkowej, przy zadeklarowanej klasie odporności ogniowej (por. pkt.2.6.3). Jeżeli płyta nie spełnia warunku (6.1), nie można zaliczyć jej do klasy odporności ogniowej, do której została przypisana na podstawie cech geometrycznych, i dla jakiej wykonano obliczenia nośności ogniowej [39]. W takich okolicznościach zastosować należy mocniejszy wariant płyty, albo wykonać na podstawie normy [4] szczegółowe obliczenia, celem określenia jej rzeczywistej odporności (nośności) ogniowej pod zadaniem obciążeniem.

6.3. Szczegółowa analiza nośności

Nośność płyt podstawowych i uzupełniających (płyt z wycięciami) w sytuacji wyjątkowej, pod dowolnie rozłożonym obciążeniem można udowodnić tymi samymi metodami, które wcześniej sformułowano dla sytuacji trwałej w pkt.5.3. Podstawą oceny nośności ogniowej powinny być ekstremalne wartości sił wewnętrznych M_{sd} oraz V_{sd} od wyjątkowej kombinacji obciążeń (pkt.4.1.3), wyznaczone na podstawie szczegółowych obliczeń statycznych przęsła płyty (pkt.4.3.2).

Sprawdzając nośność przekrojów krytycznych metodami opisanymi w pkt.5.3.2 i pkt.5.3.4 należy w wyrażeniach (5.14) i (5.23), zastąpić wielkość M_{Rd} wielkością $M_{Rd.fi}$, a w wyrażeniach (5.15) i (5.27) - wielkość $V_{Rd.c}$, wielkością $V_{Rd.fi}$. Wartości nośności na zginanie $M_{Rd.fi}$ oraz na ścinanie $V_{Rd.fi}$ poszczególnych wariantów płyt SP, obliczone zostały w dokumentacji projektowej systemu [39] i przytoczone w tabl.3.1.

W sytuacji wyjątkowej pożaru warunków stanów granicznych nośności: (5.16) i (5.17) oraz stanów granicznych użyteczności: (5.18), (5.19), (5.21), (5.24), (5.25) i (5.28) można nie badać.

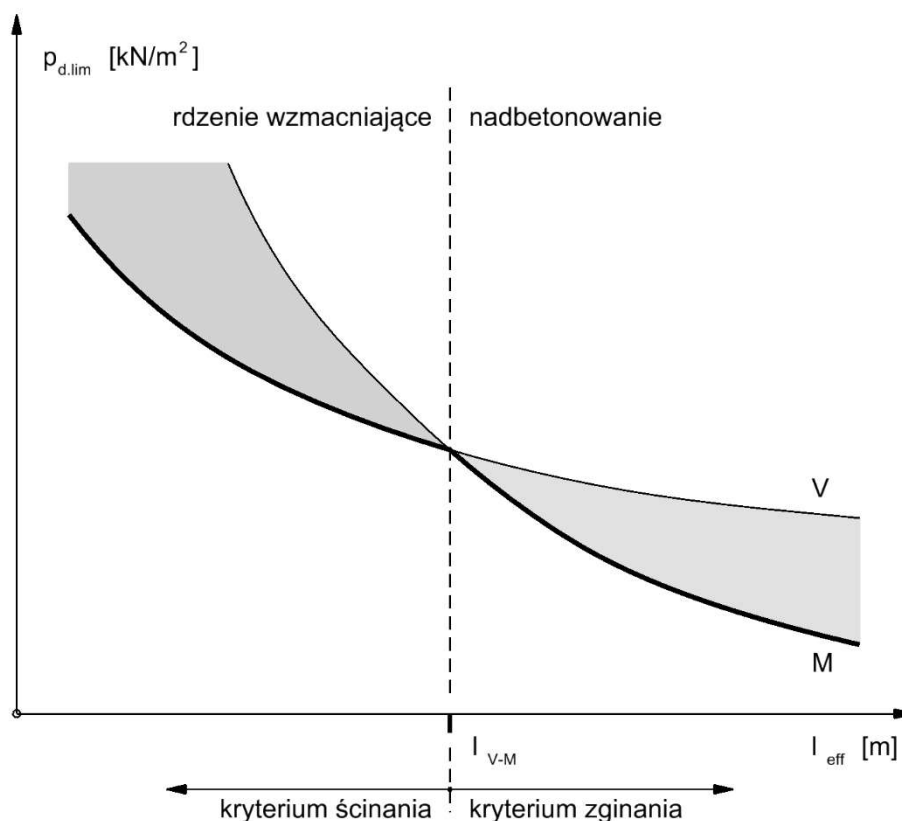
7. SPOSOBY WZMACNIANIA PŁYT SP

7.1. Informacje ogólne

Nośność obliczeniową płyt stropowych SP determinuje osiągnięcie jednego z dwóch stanów granicznych nośności – albo nośności na zginanie, albo nośności na ścinanie. Krytycznym przekrojem pierwszego z kryteriów jest normalny przekrój przęsłowy, drugiego - ukośny przekrój przypadkowy. Obliczeniowe nośności obydwu przekrojów zostały dla każdego wariantu płyt SP obliczone i zestawione w tabl.3.1 (pkt.3.2.1). Na tej podstawie, dla najprostszego i jednocześnie najczęściej spotykanego schematu obciążenia stropów, nośność przekrojów krytycznych przeliczono następnie na dopuszczalne równomiernie rozłożone obciążenie obliczeniowe w funkcji efektywnej rozpiętości przęsła (por. pkt.3.3). Jego wartość, dla wszystkich typów płyt i wariantów zbrojeń, zestawiono w tabelach nośności (załącznik A).

Obliczeniową nośność płyty wyznaczoną z każdego z dwóch kryteriów można przedstawić graficznie w formie wykresu. Ilustracją zagadnienia jest rys.7.1, na którym wykreślono dwie krzywe: krzywą V, która przedstawia jednostkową nośność przęsła płyty uwarunkowaną osiągnięciem stanu granicznego nośności na ścinanie, oraz krzywą M, która prezentuje jednostkową nośność determinowaną osiągnięciem stanu granicznego nośności na zginanie. Przyjmując za miarodajną mniejszą z tych dwóch wartości, wykreślone na rysunku krzywe kreślą obwiednię nośności płyty w funkcji jej rozpiętości (pogrubiona linia na rys.7.1). Punkt przecięcia krzywych V i M wyznacza pewną graniczną rozpiętość l_{V-M} , poniżej której nośność płyty ograniczona jest nośnością na ścinanie, zaś powyżej – nośnością na zginanie. W przedziale rozpiętości poniżej l_{V-M} nośność na zginanie płyty nie może być w pełni wykorzystana (płyta posiada nadmiar nośności zgięciowej). Powyżej rozpiętości granicznej l_{V-M} mamy natomiast do czynienia z sytuacją odwrotną – nie może zostać wykorzystana nośność na ścinanie (płyta ma nadmiar nośności na ścinanie).

Opisana prawidłowość jest szczególnie wyraźna w płytach z silnym zbrojeniem sprężającym. W silnie zbrojonych wariantach płyt rozpiętość l_{V-M} często zbliża się do górnej granicy dopuszczalnego zakresu rozpiętości płyty (pkt.2.2.2), co nie pozwala wykorzystać nośności wbudowanego w płyty zbrojenia. Dla zobrazowania tej zależności w tabelach dopuszczalnych obciążeń (załącznik A) nośność obliczeniową warunkowaną przez kryterium ścinania wyróżniono pogrubioną czcionką.



Rys.7.1 Potencjał podwyższenia nośności płyt SP

W każdym z dwóch przedziałów rozdzielonych rozpiętością l_{V-M} można wskazać potencjalne obszary, które pozostają do wykorzystania jeżeli jakimkolwiek sposobem wypełni się deficyt nośności, odpowiednio na ścinanie (gdy $l_{eff} < l_{V-M}$) i na zginanie (gdy $l_{eff} > l_{V-M}$). Na rys.7.1 obszary te zacieniono. Obydwa pola daje się z korzyścią zagospodarować.

Dostępne są proste środki techniczne, które pozwalają wzmocnić płyty kanałowe, tak w strefach przypodporowych, wyłożonych siłą tnącą, jak i w przęsłach, wyłożonych głównie momentem zginającym. Typowym sposobem wzmocnienia nośności na ścinanie płyt jest wykonanie w końcowych odcinkach ich kanałów rdzeni z betonu. Rdzenie wzmacniające przypodporowe strefy płyt mogą być wykonane jako betonowe (niezbrojone poprzecznie) lub żelbetowe (ze zbrojeniem poprzecznym). Z kolei, dostępnym sposobem podniesienia nośności płyt na zginanie jest ich nadbetonowanie na budowie. Ułożenie na płytach warstwy betonu i jej trwałe zespolenie z prefabrykatami zwiększa wysokość konstrukcyjną stropu, co prowadzi do wzrostu nośności zgięciowej oraz sztywności. Taki zespolony ustroj stropowy posiada nośność większą niż samodzielnie pracujące płyty, pomimo zwiększonego ciężaru własnego. Nadbetonowanie stwarza też możliwość projektowania ustrojów ciągłych, wieloprzęsłowych, co prowadzi do redukcji momentów przęsłowych. Oczywiście, w grę wchodzi również jednoczesne wykorzystanie obydwu z wymienionych wyżej środków technicznych, prowadzących do wzrostu nośności płyt.

Zagadnienia związane z projektowaniem stropów zespolonych z płyt SP i nadbetonu nie są tematem niniejszego opracowania. Tego rodzaju konstrukcje należy projektować na podstawie indywidualnych obliczeń. Dalej opisano natomiast dokładnie zagadnienie wzmacniania stref przypodporowych płyt, co ma związek z powszechnością i przydatnością tego rozwiązania.

Zaprojektowanie i wykonanie wzmocnień przypodporowych może być szczególnie racjonalne, gdy płyta zostaje obciążona znaczną siłą skupioną w niedużej odległości od podpory. Tak umiejscowione obciążenie, jak również inne, o nierównomiernym rozkładzie, wyężdżać będzie w znacznie większym stopniu strefę przypodporową niż przeszło elementu. Poza tym, siła skupiona obciąża często tylko nieliczne płyty, podczas gdy pozostałe są znacznie słabiej wyężdżone. W takich warunkach o wiele korzystniej jest - z ekonomicznego punktu widzenia - zastosować lokalnie odpowiednie wzmocnienie przypodporowe płyty silniej obciążonej, zamiast wykorzystać mocniejszy wariant zbrojenia lub płyty wyższe na całej powierzchni stropu.

Wzmocnienie przypodporowe jest też najczęściej niezbędne w budynkach o konstrukcji ściągowej, gdzie potencjalne zarysowanie prefabrykatów momentem odwrotnym grozi całkowitą utratą nośności ustroju stropowego na ścinanie (zob. pkt.8.3).

Innym obszarem stosowania omawianych wzmocnień są płyty osłabione wycięciami przypodporowymi (por. pkt.2.4.2). Wbudowanie w takie płyty rdzeni wzmacniających pozwala zrekompensować ubytek nośności na ścinanie prefabrykatu, jaki spowodowało usunięcie przypodporowych odcinków jego żeber (zob. formułę (5.26) w pkt.5.3.4(3)). Szczególną korzyść odnosi się w płytach z bocznym wycięciem przypodporowym, gdzie siła poprzeczna jest amplifikowana działaniem momentu skręcającego. Odpowiednie wzmocnienie tak osłabionych płyt pozwala skutecznie zapewnić im niezbędną nośność na ścinanie (zob. pkt.7.3).

Nośność na ścinanie płyty z wbudowanym wzmocnieniem przypodporowym, należy zweryfikować na podstawie rekomendacji podanych dalej, w pkt.7.2. Niezależnie od tego należy również przeprowadzić dowód nośności takiej płyty na zginanie, badając warunek (5.14) i ewentualnie (5.23).

7.2. Projektowanie wzmocnień przypodporowych

7.2.1. Podstawowe wymagania

Jak wcześniej zaznaczono, konstrukcję wzmocnień stref przypodporowych płyt SP na ścinanie można zrealizować w formie rdzeni wykonanych wewnątrz kanałów płyt. Pozwala to całkowicie ukryć te elementy w wysokości konstrukcyjnej stropu. Rdzenie wzmacniające strefy przypodporowe można z kolei rozwiązać jako betonowe (pozbawione zbrojenia poprzecznego), albo jako żelbetowe (ze zbrojeniem poprzecznym). Wariant zbrojony poprzecznie stosuje się wyjątkowo, najczęściej wtedy, gdy zagwarantowanie niezbędnej nośności stropu rdzeniami betonowymi jest nieosiągalne.

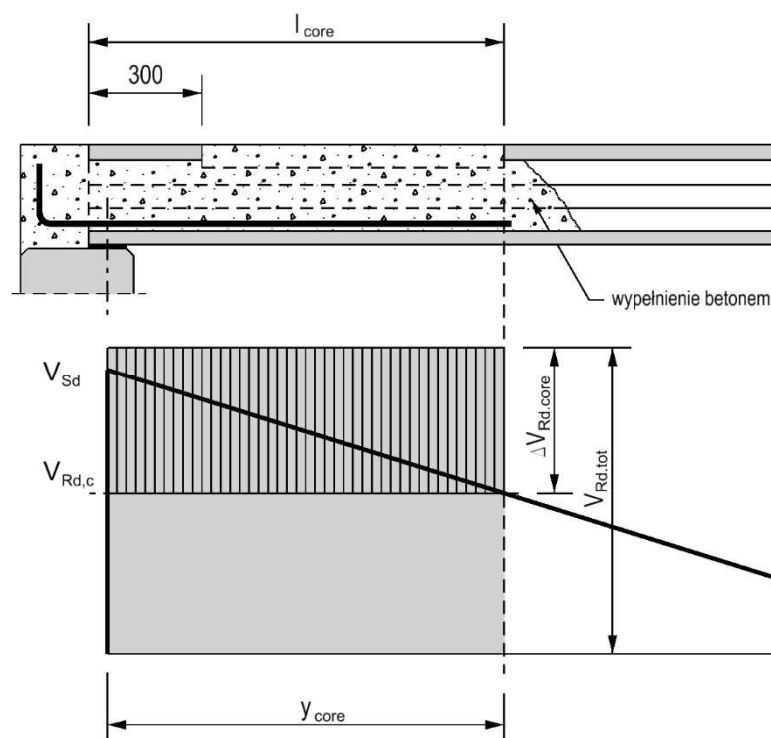
Niezależnie od przyjętego rozwiązania kluczowym zagadnieniem jest ustalenie niezbędnej długości rdzeni wzmacniających oraz odpowiednie przygotowania płyt stropowych w wytwórni.

Długość rdzeni wzmacniających wynika najczęściej z rozkładu sił poprzecznych na długości przęsła (por. pkt.4.3.2), jednak nie jest to jedyne kryterium. Znaczenie ma także cel projektowania tego rodzaju wzmocnień.

Niezbędną ze względów statyczno-wytrzymałościowych długość rdzeni wzmacniających wyznacza przekrój poprzeczny o współrzędnej y_{core} , w którym (rys.7.2):

$$V_{sd}(y_{core}) = V_{Rd,c} \quad (7.1)$$

gdzie: $V_{Rd,c}$ - nośność na ścinanie sprężystej strefy przypodporowej, wg tabl.3.1.



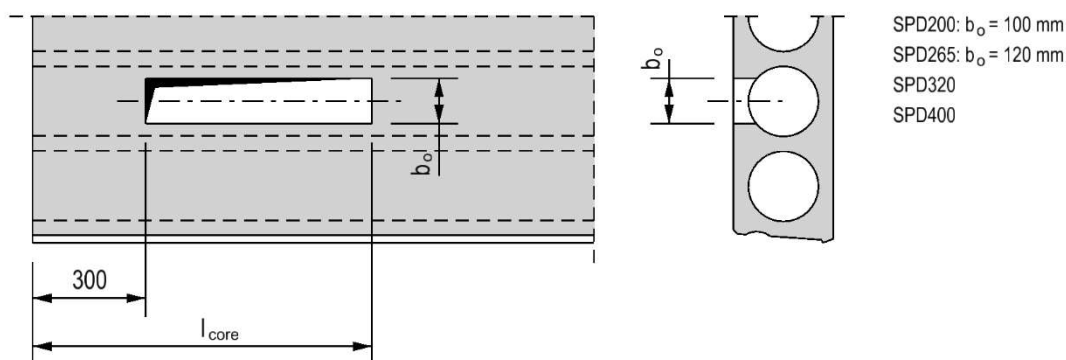
Rys.7.2 Niezbędny zasięg rdzeni wzmacniających

Zasięg betonowych rdzeni wzmacniających w żadnym wypadku nie może też być krótszy niż długość transferu siły sprężającej l_{pt} , natomiast rdzeni żelbetowych – nie mniejsza niż długość zakotwienia strun l_{bpd} (zob. tabl.3.3, pkt.3.2.2).

Jeżeli rdzenie wzmacniające projektuje się w celu zabezpieczenia stropu przed utratą nośności poprzecznej wskutek zarysowania niezamierzonym momentem utwardzenia (zob. rozdz.8), niezbędną długość rdzeni wyznacza zasięg momentu odwrotnego (por. pkt.4.5.2). W takich warunkach długość rdzeni wzmacniających nie powinna być też mniejsza niż długość zakotwienia strun l_{bpd} odczytana, niezależnie od przyjętego rozwiązania konstrukcyjnego (zob. tabl.3.3, pkt.3.2.2).

Płyty, które mają zostać wzmocnione na budowie należy odpowiednio przygotować w wytwórni. Aby zrealizowanie wzmocnień było możliwe, konieczne jest wykonanie otworów technologicznych lub szczelin w górnej półce profilu, przez które podany zostanie beton na budowie i, ewentualnie, wsunięty zostanie odpowiedni szkielet zbrojeniowy.

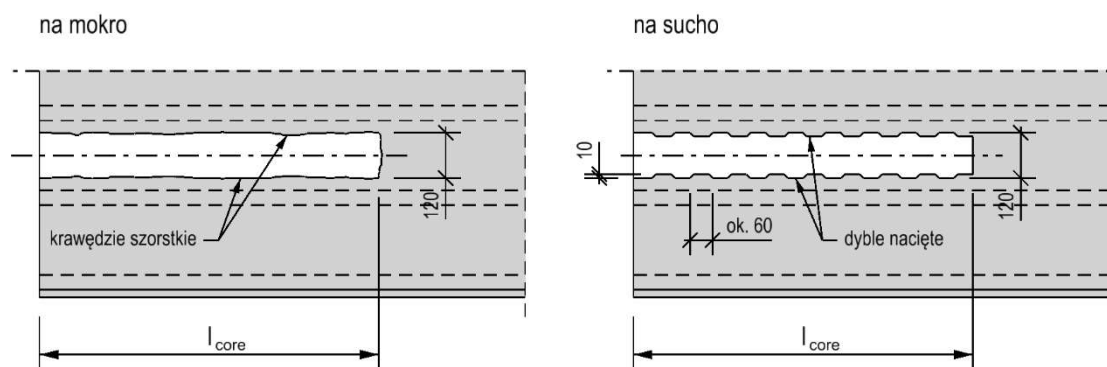
Dla wzmocnień niezbrojonych poprzecznie przygotować należy podłużne otwory, których geometrię (położenie, szerokość i długość) należy ustalić na podstawie rys.7.3, odpowiednio do typu płyty i projektowanej długości rdzeni wzmacniających.



Rys.7.3 Przygotowanie płyt SP do wykonania wzmocnień betonowych

Aby przygotować płytę do wykonania wzmocnień zbrojonych poprzecznie, otwarcia technologiczne w półce górnej należy wykonać w formie szczelin o szerokości 120 mm, bezpośrednio od czoła elementu na długość równą długości projektowanych rdzeni (rys.7.4). Ich długość nie powinna przekraczać ok. 100 cm. Szczeliny w półce górnej muszą zostać wykonane w taki sposób, by ich krawędzie

pozostały szorstkie, co zagwarantuje współpracę betonu rdzeni z prefabrykatem. Można to osiągnąć otwierając kanały w jeszcze świeżym betonie (na mokro), albo wycinając je w gotowych prefabrykach. Otwarcia wykonane na mokro nie wymagają dalszej obróbki (będą miały naturalną szorstkość), jeżeli natomiast miałyby zostać wycięte w gotowych płytach (na sucho), szorstkość krawędziom należy nadać nacinając beton w formie dybli o głębokości 10 mm (rys.7.4).



Rys.7.4 Przygotowanie płyt SP do wykonania wzmocnień żelbetowych

Ze względu na utrudnienia technologiczne, tego rodzaju wzmocnień nie należy stosować w płytach SP20.

Wypełnienie przypodporowych odcinków kanałów betonem, zwiększa ciężar konstrukcji stropu, co należy uwzględnić zarówno w obliczeniach statycznych ustroju stropowego, jak i w obliczeniach ustroju konstrukcyjnego budynku (szkieletu nośnego, ścian nośnych).

7.2.2. Betonowe rdzenie wzmacniające

Betonowe (niezbrojone poprzecznie) rdzenie są najprostszym i najtańszym sposobem wzmocnienia przypodporowych stref płyt SP. Ten rodzaj wzmocnienia projektować można we wszystkich typach i wariantach zbrojeń płyt SP. Liczba rdzeni wzmacniających w obrębie jednego prefabrykatu podstawowego o szerokości 120 cm nie może być mniejsza niż dwa. W pięciokanałowych płytach SP26.5 i czterokanałowych SP32 i SP40, jest to jednocześnie liczba nominalna i nie należy jej zwiększać. W płytach SP20 natomiast, rdzenie wzmacniające zaprojektować można w co drugim kanale płyty, co pozwala zwiększyć liczbę rdzeni do 3-sztuk w jednym elemencie podstawowym. Górne ograniczenie liczby rdzeni podyktowane jest względami wytrzymałościowymi. - Wykonanie większej liczby otworów technologicznych w górnej półce prefabrykatu (por. pkt.7.2.1) mogłoby doprowadzić do niedopuszczalnego zarysowania betonu od góry pod wpływem sprężenia.

Łączny wpływ wzmocnienia przypodporowego na nośność poprzeczną prefabrykowanej płyty SP obliczyć należy z formuły [7] (rys.7.5):

$$\Delta V_{Rd.core} = \frac{2}{3} \cdot n \cdot b_c \cdot d \cdot f_{ctd}^* \quad (7.2)$$

gdzie: f_{ctd}^* - obliczeniowa wytrzymałość na rozciąganie betonu uzupełniającego, którym zostały wypełnione kanały,
 n - liczba rdzeni wzmacniających prefabrykat.

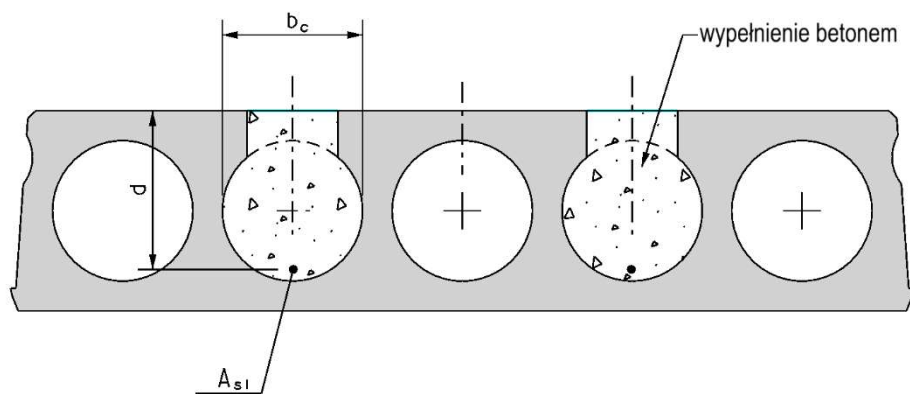
Znaczenie pozostałych symboli użytych w wyrażeniu (7.2) wyjaśnia rys.7.5.

W konsekwencji, wytrzymałość na ścinanie dowolnej płyty SP, w której wypełniono przy podporach betonem n -kanałów, należy obliczyć z formuły (por. warunek (5.15), pkt.5.3.2):

$$V_{Rd.tot} = V_{Rd.c} + \Delta V_{Rd.core} \quad (7.3)$$

Wyrażona formułą (7.3) nośność poprzeczna płyty wzmocnionej, jako superpozycja nośności części prefabrykowanej i części monolitycznych, może być zaakceptowana tylko w warunkach gwarantujących zachowanie nośności poprzecznej prefabrykatu. W innych przypadkach, gdy warunki stworzone na podporach sprzyjać mogą zarysowaniu betonu prefabrykatu, czego skutkiem może być całkowita utrata poprzecznej nośności strefy przypodporowej, nośność na ścinanie stropu zabezpieczyć należy samymi rdzeniami wzmacniającymi. W wyrażeniu (7.3) przyjąć należy asekuracyjnie wartość: $V_{Rd.c} = 0$ (zob. też pkt.8.3).

Spełnienie warunku (5.15) jest dowodem nośności na ścinanie płyty wzmocnionej przy podporach rdzeniami betonowymi, jeżeli nośność $V_{Rd.tot}$ zostanie zastąpiona wartością obliczoną z formuły (7.3).



Rys.7.5 Dane geometryczne do wymiarowania wzmocnień przypodporowych

Dołem każdy rdzeń powinien zostać zbrojony podłużnie jednym prętem ze stali B500B lub B500SP, o średnicy uzależnionej od wysokości płyty. - W płytach SP20 zastosować należy pręty o średnicy co najmniej $\varnothing 10$ mm, a w płytach wyższych - $\varnothing 12$ mm. Prętom zapewnić należy odpowiednie zakotwienie w wieńcu (jak na rys.7.2). Wbudowanie prętów podłużnych w rdzenie wzmacniające pozwala wyeliminować pręty zespajające w stykach między płytami (zob. pkt.9.2.2), jeżeli ich nośność okaże się wystarczająca dla zapewnienia integralności konstrukcyjnej ustroju [3]. W takim przypadku podłużne pręty zbrojeniowe rdzeni wzmacniających traktować można jak elementy systemu wiążącego stropu z ustrojem nośnym budynku (por. wymagania normy [3]).

Gdyby wykonane opisanym wyżej sposobem wzmocnienie było niewystarczające, zamiast rdzeni betonowych zaprojektować można rdzenie żelbetowe, zbrojone poprzecznie strzemionami (pkt.7.2.3).

7.2.3. Zbrojone poprzecznie rdzenie wzmacniające

Rdzenie żelbetowe zaprojektować można wówczas, gdy nośność rdzeni niezbrojonych nie zapewnia strefom przypodporowym płyt niezbędnej nośności na ścinanie. W płytach podstawowych SP26.5, SP32 i SP40, szerokości 120 cm, zaprojektować należy dwa rdzenie, ułożone w każdym z przedskrajnych kanałów (rys.7.6).

Zbrojenie poprzeczne rdzeni wzmacniających należy zaprojektować podobnie jak zbrojenie poprzeczne belek żelbetowych, na podstawie normy [3], zarówno w zakresie obliczeń jak i konstruowania, z przestrzeganiem innych, podanych dalej, wytycznych szczegółowych.

Zgodnie z normą [3], nośność na ścinanie żelbetowego elementu zbrojonego strzemionami pionowymi oblicza się z formuły (por. rys.7.6):

$$V_{Rd,s} = 0,9 \cdot d \cdot \frac{A_{sw}}{s} \cdot f_{ywd} \cdot \cot \theta \leq 0,9 \cdot d \cdot \left(\frac{b_c \cdot v \cdot f_{cd}^*}{\cot \theta + \tan \theta} \right) \quad (7.4)$$

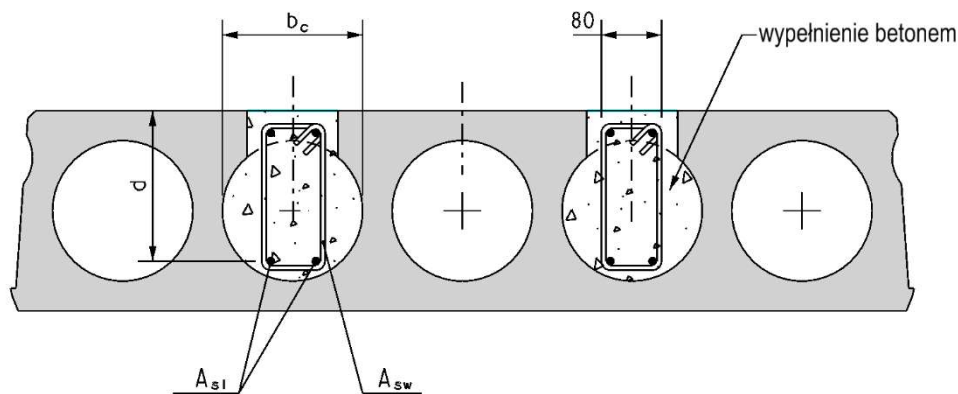
gdzie: A_{sw} - pole przekroju pionowych ramion strzemion,
 f_{ywd} - obliczeniowa granica plastyczności stali strzemion,
 f_{cd}^* - obliczeniowa wytrzymałość na ściskanie betonu rdzenia,
 s - rozstaw strzemion.

Współczynnik v obliczyć można z wyrażenia:

$$v = 0,6 \cdot \left(1 - \frac{f_{ck}^*}{250} \right) \quad (7.5)$$

w którym: f_{ck}^* - wytrzymałość charakterystyczna na ściskanie betonu wypełniającego rdzeń [MPa].

W wyrażeniu (7.4) θ jest kątem pochylenia ściskanych krzyżulców, wyodrębnionych z betonu ukośnymi rysami. Biorąc pod uwagę mechanizm utraty nośności sprężystych stref przypodporowych prefabrykatów (por. pkt.5.3.1(2)) oraz przyjęte wcześniej założenia upraszczające, najwłaściwszym będzie przyjąć zgodność kąta pochylenia ściskanych krzyżulców rdzenia wzmacniającego z kątem nachylenia przekroju krytycznego przy ścinaniu, przyjmując: $\theta = 35^\circ$ (por. z rys.5.2). Konsekwencją tego założenia jest: $\cot \theta = 1,43$ oraz $\tan \theta = 0,7$. Takie wartości należy przyjąć w wyrażeniu (7.4).



Rys.7.6 Dane geometryczne do wymiarowania zbrojonych rdzeni wzmacniających

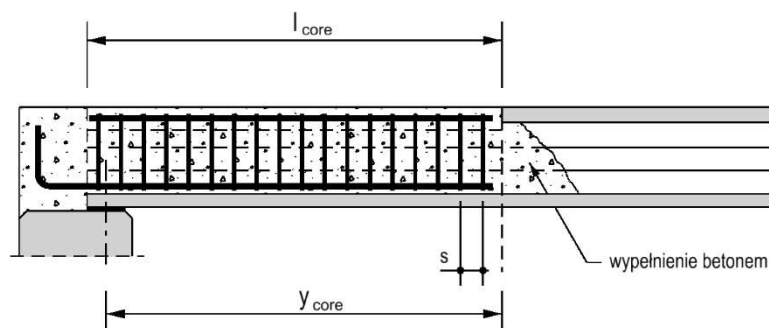
Rdzeń należy zbroić podłużnie dołem prętami, zwymiarowanymi na siłę podłużną generowaną przy ścinaniu, zgodnie z mechanizmem kratownicowym. Potrzebny przekrój tego zbrojenia obliczyć można z formuły (zob. rys.7.6):

$$A_{sl} \geq \frac{0,5 \cdot V_{Rd,s} \cdot \cot \theta}{f_{yd}} \quad (7.6)$$

gdzie: f_{yd} - obliczeniowa granica plastyczności stali zbrojenia podłużnego.

Pręty poziome nie powinny mieć średnicy większej niż $\varnothing 12$ mm. Należy zapewnić im również odpowiednie zakotwienie w betonie wieńca (rys.7.7). Preferować należy strzemiona z prętów o średnicy $\varnothing 6$ mm. Wyjątkowo, w płytach SP32 i SP40, zastosować można strzemiona $\varnothing 8$ mm. Ze względów technologicznych, szerokość strzemion nie powinna być większa niż 80 mm (rys.7.6). Rozstaw strzemion s powinien być równomierny i nie większy niż $d/3$ (por. rys.7.6 i rys.7.7).

Podobnie jak w rdzeniach niezbrojonych poprzecznie (pkt.7.2.2), pręty podłużne rdzeni żelbetonowych można uważać za element systemu wiążącego stropu z podporami jeżeli spełniają one odpowiednie wymagania (por. pkt.9.2.2). W konsekwencji pozwala to wyeliminować zbrojenie w stykach między płytami.



Rys.7.7 Zbrojenie przypodporowych rdzeni wzmacniających

Warunkiem włączenia do współpracy zbrojenia poprzecznego jest ukośne zarysowanie betonu wypełniającego rdzeń wzmacniający. Z kolei, pojawienie się takich rys w środnikach prefabrykatu skutkuje utratą jego nośności poprzecznej. Wynika to wprost z metody określenia nośności sprężystej strefy przypodporowej płyt SP (por. pkt.3.1.1(3)). Zakładając idealne zespolenie monolitycznych rdzeni z prefabrykatem (zgodność odkształceń), po pominięciu różnicy wytrzymałości obydwu betonów i efektu sprężenia prefabrykatu, wykluczone jest by rysy ukośne mogły powstać tylko w rdzeniach wypełniających kanały, podczas gdy pionowe ścianki prefabrykatu pozostawałyby nadal niezarysowane. Dlatego współpraca prefabrykatu i zbrojonych rdzeni wzmacniających w przenoszeniu siły poprzecznej nie jest możliwa. W konsekwencji, nośności poprzecznej prefabrykatu nie można sumować z nośnością żelbetonowych rdzeni wzmacniających. Przyjąć należy, że przed pojawieniem się rys w betonie prefabrykat współpracuje z betonem wypełniającym odcinki kanałów, jak to określono w pkt.7.2.2, a po zarysowaniu siłę poprzeczną przenoszą samodzielnie żelbetowe rdzenie. W związku z powyższym, obliczeniowa nośność na ścinanie płyty, w której wbudowano dwa żelbetowe rdzenie będzie równa (por. z wyrażeniem (7.4)):

$$V_{Rd,s,tot} = 2 \cdot V_{Rd,s} \quad (7.7)$$

Dowód nośności na ścinanie płyty wzmocnionej rdzeniami żelbetowymi wyrażał będzie warunek (5.15), jeżeli nośność $V_{Rd.c}$ zostanie zastąpiona wartością $V_{Rd.s.tot}$ obliczoną z wyrażenia (7.7).

Wbudowanie żelbetowych rdzeni wzmacniających jest szczególnie korzystne w ustrojach zespolonych, gdzie prefabrykowana płyta kanałowa współpracuje z warstwą nadbetonu, układaną na budowie (por. pkt.7.1). W takim ustroju strzemiona zapewniają również mechaniczne zespolenie warstwy nadbetonu z płytą prefabrykowaną.

7.3. Wzmacnianie płyt z wycięciami przypodporowymi

Wzmocnienie strefy przypodporowej płyt SP, jednym ze sposobów opisanych w poprzednim podrozdziale, może być szczególnie przydatne, a w niektórych przypadkach konieczne (zob. pkt.8.4), w miejscu osłabionym wycięciem przypodporowym (por. pkt.2.4.2). Wykonanie w płycie tego rodzaju wycięcia wpływa bowiem niekorzystnie na nośność jej strefy przypodporowej i na jej wyężenie, zwłaszcza jeżeli jest to wycięcie boczne (por. pkt.5.3.4). W takich okolicznościach nośność na ścinanie prefabrykatu może zostać łatwo przekroczona, a to wymusi potrzebę zastąpienia niedoboru nośności prefabrykatu elementem wzmacniającym.

Nośność na ścinanie sprężystej strefy przypodporowej płyty z wycięciem przypodporowym, w której wykonano wzmocnienie wewnętrznym rdzeniem, należy zweryfikować metodą podobną do zastosowanej dla płyt bez wzmocnień (pkt.5.3.4), zastępując w warunku nośności (5.27) nośność zredukowaną sprężystej strefy przypodporowej $V_{Rd.c.red}$ nośnością płyty wzmocnionej.

I tak, jeżeli strefa przypodporowa płyty osłabionej wycięciem zostanie wzmocniona rdzeniami żelbetowymi (pkt.7.2.3), podstawić należy wielkość $V_{Rd.s.tot}$ według formuły (7.7), jeżeli natomiast płyta zostanie wzmocniona rdzeniami betonowymi (pkt.7.2.2), przyjąć należy wielkość $V_{Rd.red.tot}$, obliczoną z wyrażenia (por. formułę (5.26) i formułę (7.3)):

$$V_{Rd.red.tot} = \delta_V \cdot V_{Rd.c} + \Delta V_{Rd.core} \quad (7.8)$$

Należy przy tym mieć też na uwadze wskazówki zamieszczone w pkt.8.3 i pkt.7.2.2, jeżeli warunki wbudowania sprzyjają utwierdzeniu płyt w podporach.

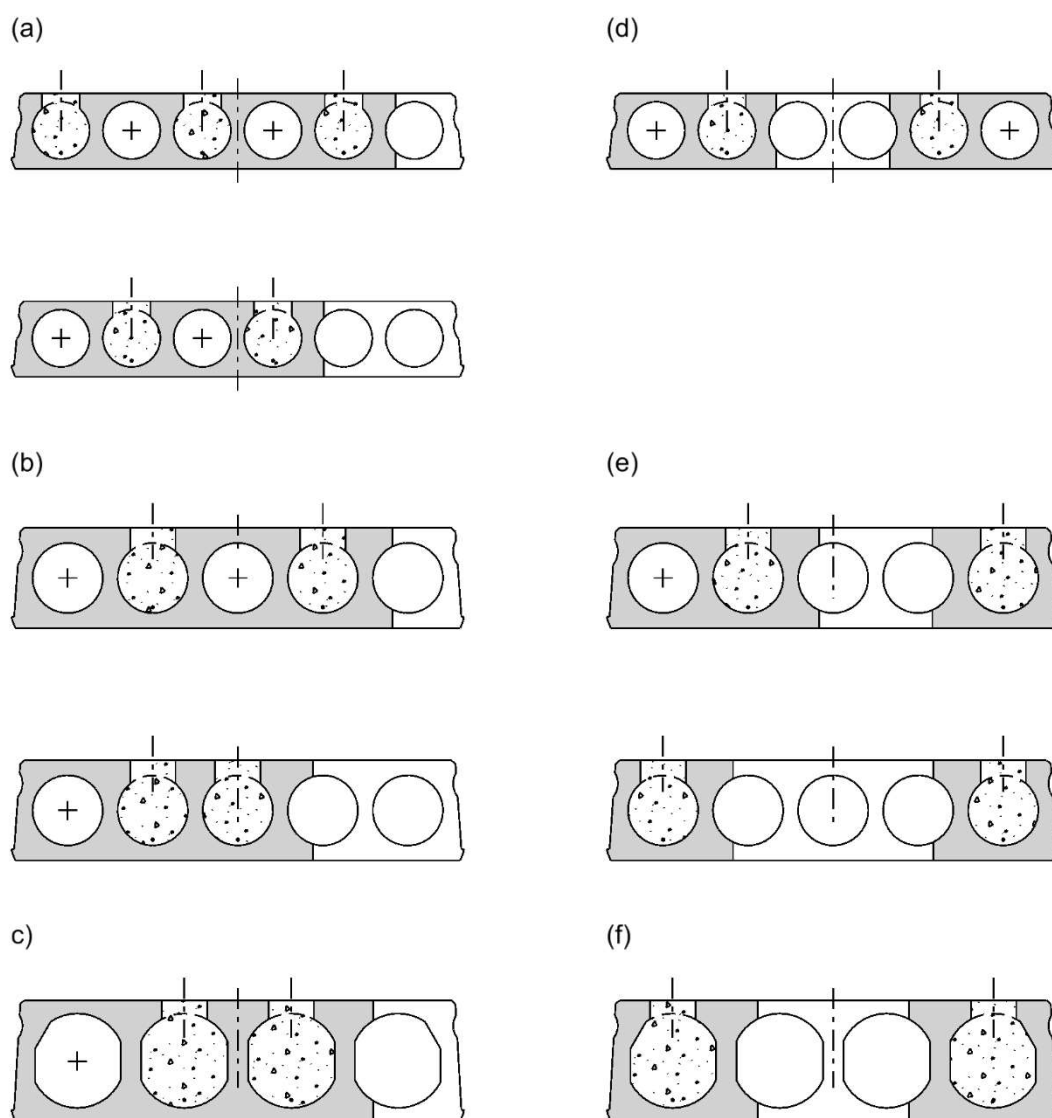
Wzmocnienie płyty z wycięciem przypodporowym powinno zostać odpowiednio skonstruowane. Rdzenie wzmacniające należy rozmieścić na szerokości elementu w taki sposób, by wzmacniały miejsca najbardziej wyężone siłami wewnętrznymi. - W płytach z wycięciem środkowym ulokowanym centralnie (por. pkt.2.4.2) rdzenie należy umieścić symetrycznie względem środka prefabrykatu, natomiast w płytach z wycięciem bocznym - niesymetrycznie.

Asymetrię wzmocnień wymusza działanie momentu skręcającego, który dociąga skrajne żebro, doprowadzone do podpory bezpośrednio obok wycięcia bocznego, a jednocześnie odciąga żebro przeciwległe (por. pkt.5.3.4, rys.5.4). Dlatego, projektując wzmocnienie przypodporowe takich płyt, jeden z rdzeni wzmacniających należy zawsze umieścić w skrajnym kanale obok wycięcia. Kolejne rdzenie w płytach SP20 powinny zostać rozmieszczone równomiernie, przynajmniej w co drugim kanale prefabrykatu (rys.7.8a). Z kolei, w pięciokanałowych płytach SP26.5 drugi rdzeń wzmacniający należy umieścić zawsze w kanale przedskrajnym, po przeciwnej stronie przekroju (rys.7.8b). W płytach czterokanałowych SP32 i SP40, rdzenie wzmacniające powinny być ulokowane w dwóch środkowych kanałach (rys.7.8c).

W płytach z wycięciem środkowym rdzenie należy umieścić po obu stronach wycięcia, w kanałach sąsiadujących z wycięciem (rys.7.8d, rys.7.8e i rys.7.8f).

Przystawione na rys.7.8 przykłady, ilustrujące opisane wyżej zasady rozmieszczania rdzeni wzmacniających w płytach z wycięciami przypodporowymi, dotyczą w równym stopniu rdzeni betonowych (pkt.7.2.2) co żelbetowych (pkt.7.2.3).

Długość rdzeni wzmacniających płyty z wycięciem przypodporowym nie może być krótsza niż długość wycięcia (zob. pkt.2.4.2).



Rys.7.8 Schematy rozmieszczania rdzeni wzmacniających
w płytach z wycięciem przypadkowym

8. WYMAGANIA DLA PŁYT CZĘŚCIOWO UTWIERDZONYCH

8.1. Podstawowe informacje

8.1.1. Ogólne wytyczne

Jednym z obszarów stosowania płyt SP są budynki o konstrukcji ścianowej (por. pkt.2.6.1). W obiektach o takiej konstrukcji, pełna swoboda obrotu prefabrykatów na podporach nie może być na ogół zagwarantowana. Możliwość obrotu, jest w takich budynkach ograniczana naciskiem wywieranym na końce płyt przez ścianę wyższej kondygnacji, co przyczynia się do niezamierzonego zamocowania płyt w podporach (zob. też pkt.9.2.5). Częściowe utwierdzenie na podporach generuje w przęsłach płyt ujemne momenty utwierdzenia (por. pkt.4.5), które, wobec braku zbrojenia górnego w tych prefabrykatach (w większości przypadków; por. pkt.2.3), mogą łatwo doprowadzić do zarysowania górą ich stref przypodporowych. Zarysowanie sprężystej strefy przypodporowej płyt SP stanowi poważne zagrożenie bezpieczeństwa konstrukcji ustroju stropowego, co wynika wprost ze sposobu, w jaki zabezpieczona jest ich nośność na ścinanie (por. pkt.3.1.1(3)). - W związku z brakiem zbrojenia poprzecznego w płytach (por. pkt.1.2.1), ich nośność na ścinanie jest zabezpieczona samą tylko wytrzymałością betonu na rozciąganie. Z tego powodu, pojawienie się jakichkolwiek zarysowań w strefie przypodporowej prowadzić może do nagłej, niesygnalizowanej utraty nośności stropu. To zagrożenie musi zostać wyeliminowane na etapie prac projektowych.

Podczas projektowania stropów w warunkach sprzyjających zamocowaniu płyt SP na podporach, możliwe są dwie drogi postępowania: albo obliczeniowe wykazanie, że pod wpływem ujemnego momentu utwierdzenia nie nastąpi zarysowanie prefabrykatów w sąsiedztwie podpór (pkt.8.2), albo zastosowanie specjalnych rozwiązań konstrukcyjnych w węzłach podporowych płyt (pkt.8.3), gdy obliczenia wykażą realne zagrożenie przedwczesną utratą nośności płyt. W takim przypadku dopuszczalne jest zastosowanie dwóch rodzajów środków technicznych [12]: takich, które ograniczą zamocowanie płyt w podporach, powodując redukcję wartości ujemnych momentów utwierdzenia poniżej momentu rysującego (pkt.8.3.1), albo takich, które zapobiegą utracie nośności stref przypodporowych po zarysowaniu momentem ujemnym (pkt.8.3.2). Wykonanie odpowiednich wzmocnień stref przypodporowych eliminuje konieczność obliczeniowego badania rysoodporności stref przypodporowych.

Wartość niezamierzonego momentu utwierdzenia, jaki może być wygenerowany w płytach, zależy w dużej mierze od głębokości na jaką płyty zostaną wprowadzone w ściany (por. pkt.4.5.1). W celu ograniczenia wartości tego momentu dążyć należy do tego by głębokość oparcia płyt na podporach była możliwie mała; najlepiej gdyby nie przekraczała minimalnej, wymaganej dla płyt SP (tabl.9.1), powiększonej o niekorzystną odchyłkę wykonawczą (por. pkt.2.5.2 i pkt.9.2.1).

W ustrojach szkieletowych, a także w stropodachach budynków ścianowych, także dociążonych na końcach ścianką attykową, zagadnienia utwierdzenia płyt na podporach można nie analizować, jeżeli spełnione zostaną wymagania sformułowane w pkt.9.2.2, dotyczące konstrukcji węzłów podporowych.

8.1.2. Zasady obliczeń statyczno-wytrzymałościowych płyt utwierdzonych

Zakres i zasady przeprowadzania obliczeń statycznych płyt SP, pracujących w warunkach, które sprzyjać mogą częściowemu utwierdzeniu przęseł na podporach, są takie same, jak te sformułowane w pkt.4.3 dla płyt z pełną swobodą obrotu na podporach. Z przestrzeganiem opisanych tam zasad, wyznaczyć należy rozkład sił wewnętrznych w swobodnie podpartym przęśle (gdy jest to niezbędne; zob. pkt.4.3.2), pomijając odciażający wpływ momentów podporowych. Na tej podstawie, w sposób analogiczny jak w rozdz.5, przeprowadzić można weryfikację stanów granicznych nośności i użytkowości płyty, sposobem uproszczonym (wg pkt.5.2) lub szczegółowym (wg pkt.5.3). W przypadku obliczeń uproszczonych, dopuszczalne obciążenie równomierne płyty częściowo zamocowanej należy ustalić jak dla płyty swobodnie podpartej, zgodnie z pkt.3.3.

Niezależnie od przyjętego stopnia szczegółowości obliczeń statycznych, obliczenia płyt częściowo utwierdzonych należy rozszerzyć o dalsze, obejmujące oszacowanie momentu utwierdzenia (wg pkt.4.5) oraz weryfikację rysoodporności strefy przypodporowej (pkt.8.2).

Dalej podano warunki zapewnienia strefom przypodporowym rysoodporności (pkt.8.2) oraz zasady postępowania, na wypadek zagrożenia zarysowaniem stref przypodporowych (pkt.8.3). W pkt.8.4 zamieszczono wytyczne i sformułowano wymagania szczególne dla płyt z wycięciami przypodporowymi wbudowywanych w ustroje ścianowe.

8.2. Weryfikacja rysoodporności i nośności stref przypodporowych

Zgodnie z normą [7] płyta kanałowa jest zabezpieczona przed zarysowaniem, spowodowanym ujemnym momentem utwardzenia, gdy:

$$M_{saf} \leq 0,5 \cdot (1,6 - h) \cdot f_{ctd} \cdot W_t \quad (8.1)$$

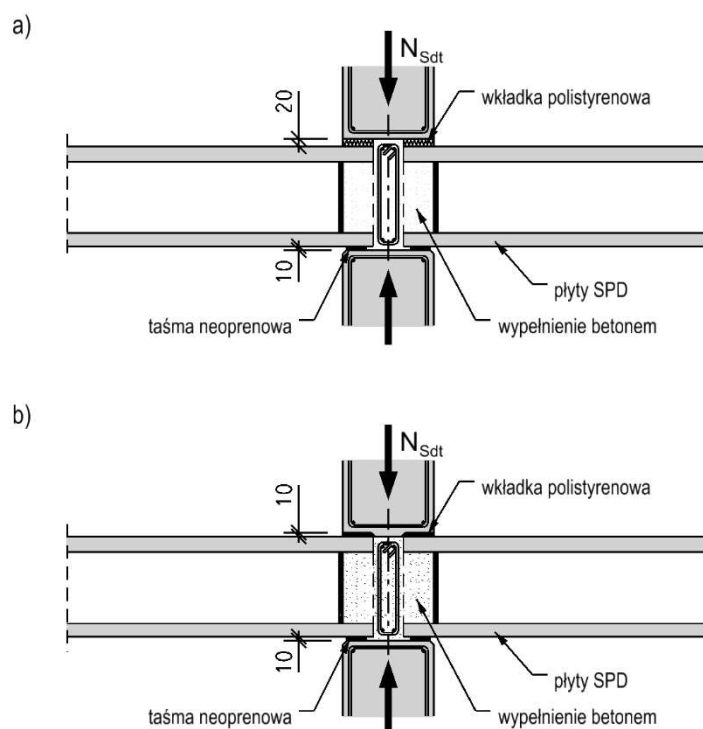
gdzie: M_{saf} - obliczeniowy moment utwardzenia płyty w podporze, na podstawie wyrażenia (4.14),
 W_t - wskaźnik zginania przekroju płyty SP dla górnej krawędzi, według tabl.3.3,
 $f_{ctd} = 2,07$ MPa - obliczeniowa wytrzymałość na rozciąganie betonu płyt (por. pkt.2.2.3).

Spełnienie warunku (8.1) jest obliczeniowym zabezpieczeniem przekroju przypodporowego przed zarysowaniem ujemnym momentem utwardzenia. Pozytywna weryfikacja tego warunku daje podstawę do oceny stanu granicznej nośności sprężystej strefy przypodporowej płyt częściowo utwardzonych w oparciu o wytyczne sformułowane dla płyt z pełną swobodą obrotu na podporach (wg rozdz.5). W takim przypadku warunek (5.1), w odniesieniu do płyty obciążonej równomiernie, lub warunek (5.15), w przypadku płyty obciążonej nierównomiernie, jest dowodem nośności na ścinanie sprężystej strefy przypodporowej płyty częściowo zamocowanej.

Jeżeli warunek (8.1) nie zostanie spełniony, należy przewidzieć odpowiednie rozwiązania konstrukcyjne w węzłach podporowych, które pozwolą ograniczyć utwardzenie płyt w ścianach (zredukować moment utwardzenia), albo zabezpieczą strefy przypodporowe płyty SP przed utratą nośności po zarysowaniu ujemnym momentem podporowym. Odpowiednie wytyczne w tym zakresie podano dalej, w pkt.8.3.

8.3. Specjalne rozwiązania konstrukcyjne

Niezamierzone utwardzenie płyt SP na podporach można ograniczyć lub całkowicie wyeliminować poprzez odciążenie końców płyt wprowadzonych w głąb ścian nośnych. Jedno z rozwiązań rekomendowanych przez wytyczne [12], które pozwala zredukować nacisk ściany na końce prefabrykowanych płyt stropowych, przedstawiono rys.8.1.



Rys.8.1 Sposób ograniczenia utwardzenia płyt SP w ścianach nośnych

Prezentowany sposób polega na odseparowaniu płyt stropowych od ściany wyższej kondygnacji elastycznymi przekładkami, co prowadzi do koncentracji obciążeń pionowych na żelbetowym wieńcu, wypełniającym przestrzeń między czołami prefabrykatów. W takich warunkach, nacisk ściany górnej kondygnacji nie jest przekazywany na płyty, lecz poprzez wieńiec wprost na ścianę kondygnacji niższej. Wyeliminowanie nacisku uwalnia prefabrykaty od większości niekorzystnych oddziaływań (por.pkt.4.5.1) i zapewnia im swobodę obrotu na podporach w stopniu zbliżonym do tej jaką mają płyty oparte na podciągach konstrukcji szkieletowej. W konsekwencji, zastosowanie takiego rozwiązania

pozwała traktować płyty analogicznie jak płyty oparte na belkach (por. pkt.8.1.1). Upoważnia to do całkowitego pominięcia w analizie statycznej stropu omawianego tu zagadnienia częściowego utwierdzenia, albo do przyjęcia w obliczeniach momentu utwierdzenia (pkt.4.5.2) wartości nacisku $N_{Sdt} = 0$, gdyby analiza utwierdzenia była jakimś względem nadal uzasadniona.

Omawiane rozwiązanie konstrukcyjne można zrealizować na dwa sposoby, albo poprzez podwyższenie wieńca stropu (rys.8.1a), albo poprzez wyprofilowanie podłużnego wypustu na dolnej powierzchni ściany górnej kondygnacji (rys.8.1b). Drugi sposób należy preferować w budynkach ze ścianami prefabrykowanymi.

Wkładki izolujące płyty od ściany górnej kondygnacji mogą być wykonane z pianki poliuretanowej, ze spienionego polistyrenu lub z podobnego materiału o dużej podatności. Ich grubość nie powinna być mniejsza niż 10 mm i nie większa niż 20 mm. Przekładki muszą przykrywać górne powierzchnie płyt SP na całej głębokości oparcia (rys.8.1). Jednocześnie, aby wyeliminować efekt dźwigni, płytom zapewnić należy również elastyczne oparcie na ścianie niższej kondygnacji. Płyty powinny zostać oparte na ścianie za pośrednictwem bi-trapezowej taśmy neoprenowej o grubości 10 mm, dedykowanej specjalnie do takich zastosowań [43].

Szerokość wieńca, jeżeli ten miałby transferować obciążenie z wyższej kondygnacji wprost na ścianę kondygnacji niższej, nie powinna być mniejsza niż 80 mm. Aby ograniczyć utwierdzenie płyt, beton wypełniający wieniec nie powinien penetrować wnętrza kanałów na głębokość większą niż do płaszczyzny lica ściany górnej kondygnacji (rys.8.1). Ponadto, klasa betonu wypełniającego wieniec powinna być możliwie niska (zob. pkt.9.2.3), niezbędna dla zapewnienia odpowiedniej nośności wieńca, a także nośności na docisk w miejscach kontaktu wieńca ze ścianami. Niezbędne obliczenia wytrzymałościowe należy przeprowadzić zgodnie z przepisami normy [3] - w odniesieniu do wieńca i ścian z betonu - oraz normy PN-EN 1996-1-1, jeżeli ściany byłyby murowane z elementów drobnowymiarowych. Pręty integrujące strop z konstrukcją budynku powinny być umieszczone poniżej środka wysokości płyt (zob. pkt.9.2.2).

Opisane wyżej rozwiązanie nadaje się do zastosowania przede wszystkim w budynkach ze ścianami z betonu (żelbetu), zwłaszcza prefabrykowanymi (rys.8.1b). Również w budynkach ze ścianami monolitycznymi wbudowanie przekładek odciążających powinno być osiągalne, jeżeli nie wpłyną one niekorzystnie na stabilność gotowej przegrody po rozszalowaniu, nim ta nie zostanie usztywniona lub stężona stropami. Więcej problemów natomiast stwarzać może opisany wyżej sposób uwolnienia płyt w budynkach murowanych. Ukształtowany u dołu przegub zagrażać może stabilności ściany podczas jej wznoszenia, jeżeli nie będzie ona przewiązana z prostopadłymi ścianami usztywniającymi. Ponadto, wytrzymałość na docisk muru, w zależności od użytego materiału, jest na ogół znacznie mniejsza niż betonu (żelbetu) i w wielu przypadkach może okazać się niewystarczająca dla bezpiecznego przekazania obciążeń z kondygnacji wyższej na niższą poprzez wąski wieniec, z ominięciem płyt stropowych (rys.8.1). Zwłaszcza w wielokondygnacyjnym budynku dopuszczalne naprężenie docisku na wąskiej powierzchni kontaktu wieńca i ściany może zostać łatwo przekroczone. Omawiane względy mogą dyskwalifikować ten sposób redukcji utwierdzenia płyt w podporach.

Jeżeli nie jest możliwe odciążenie płyt stropowych, zastosować należy wzmocnienie nośności na ścinanie przypodporowych stref płyt SP, tak by po zarysowaniu ujemnym momentem utwierdzenia prefabrykaty zachowały wymaganą nośność.

Wzmocnienia przypodporowe w formie betonowych lub żelbetowych rdzeni wypełniających przypodporowe odcinki niektórych kanałów płyt zaprojektować należy na podstawie wytycznych zamieszczonych w pkt.7.2. Jeżeli warunek rysoodporności prefabrykatów (8.1) nie zostanie spełniony, w obliczeniach wytrzymałościowych nie należy uwzględniać współpracy rdzeni wzmocniających z prefabrykatami. Założyć należy, że całą siłę poprzeczną przenoszą wzmocnienia, co w konsekwencji prowadzi do założenia: $V_{Rd,c} = 0$. Taką wartość nośności na ścinanie płyty należy podstawić do wyrażenia (7.3).

8.4. Szczegółne wymagania dla płyt z perforacją pionową

8.4.1. Informacje ogólne

W budynkach o konstrukcji ścianowej stosować można również uzupełniające płyty SP (pkt.2.4). Płyty z otworami (pkt.2.4.5) oraz płyty z wycięciami przesłowymi (pkt.2.4.3) mogą być wbudowywane w konstrukcję takiego budynku bez żadnych dodatkowych ograniczeń. Weryfikację nośności takich płyt przeprowadzić należy tak samo jak w warunkach pełnej swobody obrotu na podporach, na podstawie pkt.5.3.4 (zob. też pkt.4.2), a rysoodporność zbadać na podstawie pkt.8.2.

W omawianych budynkach można także wykorzystywać płyty z wycięciami przypodporowymi (pkt.2.4.2). Ten rodzaj prefabrykatów wymaga jednak nieco odmiennej od opisanej w pkt.8.2 analizy rysoodporności, która pozwoli uwzględnić zarówno specyfikę pracy statycznej takich elementów, jak i wpływ wykonania wycięcia na cechy mechaniczne przekroju przypodporowego (por. pkt.5.3.4). Odpowiednie wytyczne w tym zakresie zamieszczono dalej, w pkt.8.4.2.

W niektórych przypadkach, niezależnie od wyników obliczeń statycznych, za konieczne uważać należy wykonanie wzmocnień strefy przypodporowej. Takie wzmocnienia wykonać należy obligatoryjnie w płytach SP z bocznym wycięciem o szerokości 370 mm i większej (zob. tabl.2.3). Wzmocnienia przypodporowe powinny zostać obliczone i skonstruowane zgodnie z wytycznymi zamieszczonymi w pkt.7.2.

8.4.2. Wymagania szczegółowe dla płyt z wycięciem przypodporowym

Badając rysoodporność stref przypodporowych płyt z wycięciami przypodporowymi można posłużyć się metodą opisaną w pkt.7.2, biorąc przy tym pod uwagę osłabienie przekroju przypodporowego wycięciem oraz jego znaczenie dla pracy statycznej elementu. Wpływ jaki ten rodzaj wycięć wywiera na wartości cech mechanicznych przekroju oraz na wartość momentu utwierdzenia uwzględnić można sposobem uproszczonym, posługując się współczynnikami korekcyjnymi zdefiniowanymi i obliczonymi w pkt.3.2.3 (zob. tabl.3.4).

I tak, niezamierzony moment utwierdzenia należy zwielokrotnić współczynnikiem amplifikacji η (z formuły (3.3)), a wskaźnik zginania przekroju zredukować współczynnikiem δ_M (formuła (3.2)).

W konsekwencji, warunek rysoodporności (7.9) przyjmuje postać (por. z formułą (5.27)):

$$M_{Sdf} \leq \frac{\delta_M}{\eta} \cdot [0,5 \cdot (1,6 - h) \cdot f_{ctd} \cdot W_t] \quad (8.2)$$

Warunek (8.2) jest dowodem rysoodporności płyty z dowolnym wycięciem przypodporowym, pracującej w warunkach częściowego zamocowania na podporach. Pozytywna weryfikacja tego warunku pozwala przeprowadzić analizę stanu granicznego nośności sprężystej strefy przypodporowej płyty w oparciu o wytyczne sformułowane dla płyt nieutwierdzonych w podporach (wg pkt.5.3.4). W takich okolicznościach warunek (5.27) stanowił będzie dowód nośności na ścinanie płyty częściowo zamocowanej.

Negatywna weryfikacja warunku (8.2) oznacza konieczność zaprojektowania wzmocnienia strefy przypodporowej płyty sposobem opisanym w pkt.7.2 i pkt.7.3, jeżeli nie zastosuje się zabiegu pozwalającego zredukować moment utwierdzenia jak w pkt.8.3. W płytach z wycięciami przypodporowymi jeden z niezbędnych rdzeni wzmacniających należy ulokować zawsze w pierwszym kanale przy krawędzi wycięcia.

9. KONSTRUOWANIE USTROJÓW STROPOWYCH

9.1. Uwagi wstępne

Stropy konstruowane z płyt SP muszą mieć zapewnione odpowiednio wytrzymałe i sztywne podpory (zob. pkt.9.2.4) oraz odpowiednio zaprojektowany system wiążący prefabrykaty z konstrukcją nośną budynku (zob. pkt.9.2.2), niezbędny dla zabezpieczenia ustroju przed skutkami zdarzeń wyjątkowych, w tym pożaru (pkt.9.5). Oparcie płyt powinno z kolei gwarantować bezpieczne i równomierne przekazanie nacisku na podpory (pkt.9.2.1).

Płyty SP, w zależności od długości i wariantu zbrojenia, posiadają zróżnicowane wstępne wypiętrzenie w przęśle (strzałkę odwrotną), spowodowane mimośrodowym działaniem siły sprężającej. To wypiętrzenie należy brać pod uwagę projektując konstrukcję nośną budynku. Rzędne podparcia płyt należy odpowiednio obniżyć tak, by przy uwzględnieniu odpowiedniej warstwy wyrównawczej uzyskać wymaganą w projekcie architektury rzędną powierzchni wykończonego stropu. Wskazówki dotyczące tego zagadnienia zamieszczono w pkt.9.6.

W projekcie konstrukcji budynku należy również uwzględnić tolerancję wykonania płyt, w szczególności tolerancję ich gabarytów (zob. tabl.2.5.2, pkt.2.7). W węzłach podporowych przewidzieć należy odpowiednie luzy, aby płyty nie weszły w kolizję z elementami szkieletu nośnego, ze zbrojeniem wieńców lub z innymi elementami konstrukcji nośnej budynku. Luzy pozwalające skompensować odchyłki wykonawcze przewidzieć trzeba także między płytami, już na etapie projektowania ich rozmieszczenia na planie stropu (pkt.9.4).

W budynkach o konstrukcji ścianowej zastosować należy specjalne środki techniczne, które zagwarantują bezpieczne użytkowanie stropów z płyt SP (zob. pkt.9.2.5), chyba że szczegółowe obliczenia uzasadnią możliwość odstąpienia od takich rozwiązań (por. rozdz.8). Najczęściej jednak konieczne będzie zastosowanie odpowiednich wzmocnień przypodporowych (por. pkt.7.2), albo wbudowanie wkładek uwalniających płyty z utwardzenia w podporach (pkt.8.3).

9.2. Węzły podporowe stropów

9.2.1. Oparcie płyt na podporach

Płyty SP mogą być opierane na podciągach żelbetowych (monolitycznych i prefabrykowanych) lub stalowych, a także na ścianach murowanych lub z betonu. Płytom zapewnić należy niezbędną, minimalną głębokość oparcia, uzależnioną od wysokości płyty i rodzaju podpór. Rzeczywista, zrealizowana na budowie głębokość oparcia nie może być mniejsza od wartości podanych w tabl.9.1.

Tabl.9.1 Minimalne głębokości oparcia płyt SP na podporach [mm]

Typ płyty	Rodzaj podpory	
	mur oraz ściana lub belka żelbetowa	belka stalowa
SP20, SP22	80 (50)	60
SP26.5, SP32	100	80
SP40, SP41	140	100

Wartość podaną w nawiasie można zastosować w stropach obciążonych w sposób typowy dla budownictwa mieszkaniowego, opieranych na prefabrykowanych, wewnętrznych ścianach z betonu z idealnie równą gładką powierzchnią wsporną, gdy rozpiętość efektywna przęsła nie przekracza 6,0 m.

Aby zagwarantować płytom niezbędną głębokość oparcia na podporach po zrealizowaniu ustroju, rzeczywistą szerokość podpory oraz długość płyt należy zaprojektować z uwzględnieniem: tolerancji wykonania płyt (zob. pkt.2.5.2), celowego sfazowania krawędzi podpór, możliwych uszkodzeń podporowych krawędzi płyt (zob. pkt.2.5.4) i krawędzi podpór, tolerancji tyczenia osi budynku oraz tolerancji montażu konstrukcji. Odpowiednie oszacowania można przeprowadzić na podstawie wytycznych zawartych w normach [3] lub [9].

Wartości określone w tabl.9.1 dla belek stalowych, można uważać za wystarczające także w przypadku opierania płyt na prefabrykowanych belkach żelbetowych (lub strunobetonowych), z równą i gładką powierzchnią wsporną.

W budynkach o konstrukcji szkieletowej, w których płyty mają zapewnioną swobodę obrotu na podporach, wartości podane w tabl.9.1 traktować należy jako minimalne, natomiast w budynkach o konstrukcji ścianowej uważać je należy za nominalne i nie należy ich zwiększać, aby nie spowodować nasilenia negatywnych skutków utwardzenia płyt w podporach (por. pkt.2.6.1 i rozdz.8).

W celu równomiernego rozłożenia nacisku płyt na podpory, należy je układać na warstwie plastycznej zaprawy na spoiwie cementowym, o wytrzymałości 5 MPa lub większej, dobranej odpowiednio do jednostkowego nacisku płyt na podpory. Grubość takiej spoiny nie powinna być mniejsza niż 10 mm i nie większa niż 20 mm. Aby zrealizować zaprojektowaną grubość spoiny wspornej

(zapobiec wyciśnięciu zaprawy pod ciężarem prefabrykatów), zaprawa powinna mieć konsystencję plastyczną, a ponadto w dwóch punktach na szerokości płyty należy umieścić pakiet podkładek dystansowych z PCV [44], o grubości odpowiedniej do wymaganej grubości spoiny (zob. też pkt.11.3).

Alternatywnie, zamiast zaprawy montażowej zastosować można podkładki w postaci taśm z materiałów elastycznych (np. bi-trapezowe podkłady elastomerowe), przeznaczone specjalnie do tego celu i dopuszczone do stosowania w budownictwie na podstawie przepisów o wyrobach budowlanych [43]. Niezależnie od przyjętego rozwiązania, odporność (nośność) ogniowa oparcia płyt nie może być mniejsza niż projektowana odporność ogniowa stropu. Jeżeli odporność ogniowa podkładek (taśm) elastomerowych byłaby niewystarczająca, należy je dodatkowo zabezpieczyć przed ogniem wkładkami z wełny mineralnej (w stropach o nośności ogniowej R120 będzie to na ogół niezbędne).

Na belkach stalowych (zob. też pkt.10.2) lub innych, o idealnie gładkiej i równej powierzchni, dopuszcza się bezpośrednie opieranie płyt SP na sucho.

9.2.2. Zapewnienie integralności konstrukcyjnej

Z uwagi na potrzebę ograniczenia skutków oddziaływań wyjątkowych lub lokalnej awarii konstrukcji budynku, strop skonstruowany z płyt SP musi być połączony z konstrukcją nośną budynku odpowiednim zbrojeniem wiążącym. Ponieważ prefabrykaty nie posiadają wbudowanego zbrojenia uzupełniającego, które mogłoby spełniać taką funkcję (por. pkt.1.2.1), odpowiednie pręty należy umieścić podczas prac montażowych na budowie. Zbrojenie wiążące należy wykonać z prętów o średnicy od $\varnothing 10$ do $\varnothing 16$ mm, ze stali B500B lub B500SP. Pręty należy umieścić w każdym podłużnym styku między płytami, łącząc w ten sposób strop z wieńcami. Pręt powinien być zakończony hakiem prostym odgiętym w dół lub do góry, i musi być właściwie zakotwiony zarówno w betonie wypełniającym styk między płytami (por. pkt.11.4), jak i w wieńcu (zob. pkt.9.2.3). Minimalny zasięg pręta zespalającego w głąb styku, mierzony od krawędzi podpory, nie powinien być mniejszy niż 800 mm.

Pręty zespalające należy umieszczać możliwie nisko, tak by ograniczyć do minimum niepożądane utwierdzenie płyt w podporach (por. rozdz.8). Najwłaściwsze jest umieszczenie ich w obrębie dolnej połowy wysokości stropu (por. pkt.8.1.1).

Jeżeli w stropie przewidziano wzmocnienia przypodporowe o konstrukcji opisanej w pkt.7.2, funkcję prętów zespalających spełniać mogą podłużne pręty zbrojeniowe rdzeni wzmocniających (zob. rys.7.2 i rys.7.7). W takich przypadkach umieszczanie dodatkowych prętów w złączach płyt jest niepotrzebne.

W pkt.9.2.4 i pkt.9.2.5 opisano szczegółowo różne rozwiązania konstrukcyjne węzłów podporowych stropów z płyt SP, z uwzględnieniem koniecznego zbrojenia wiążącego.

9.2.3. Wieńce stropów

Poprzeczny styk między płytami (wieńiec czołowy) powinien mieć szerokość nie mniejszą niż 40 mm lub 80 mm, gdy wieńiec ma w całości przekazać obciążenie pionowe z kondygnacji wyższej na kondygnację niższą (por. pkt.8.3). Jeżeli natomiast w wieńcu mają zostać zakotwione pręty wiążące strop z podporami (pkt.9.2.2), jego szerokość nie powinna być mniejsza niż 150 mm. Potrzebne zbrojenie podłużne wieńca (niezbędną nośność zbrojenia) należy obliczyć i zaprojektować stosownie do sytuacji projektowej, na podstawie normy [3]. Wieńiec należy wypełnić betonem klasy nie niższej niż C20/25.

W załączniku B pokazano przykłady rozwiązań konstrukcyjnych węzłów podporowych z wieńcami w różnych układach konstrukcyjnych.

9.2.4. Oparcie płyt SP na belkach

Ustroje szkieletowe są tym rodzajem konstrukcji, w którym strunobetonowe płyty stropowe SP pracują optymalnie, co ma związek z brakiem, niebezpiecznego dla tych prefabrykatów, utwierdzenia na podporach (por. pkt.2.6.1). Z drugiej strony, podatność podciągów stropu skonstruowanego z płyt SP może wpływać niekorzystnie na pracę statyczną tych elementów. Będzie to miało miejsce zwłaszcza w przypadku oparcia płyt na bardzo wiotkich belkach, takich jak niskie belki stalowe ukryte w wysokości stropu (np. belki o przekroju skrzynkowym, trapezowym lub monosymetrycznym dwuteowym, z szeroką stopką dolną, wspierającą płyty), a także belki żelbetowe i sprężone o niskim przekroju w kształcie litery „L” lub odwróconego „T”. W takich warunkach, jeżeli nie wyeliminuje się na podporach tarcia i zazębienia betonu wieńców z powierzchniami belek i płytami kanałowymi, dochodzić będzie do wzajemnego oddziaływania na siebie tych elementów konstrukcji - płyty mogą zostać włączone do współpracy z belkami, zwiększając ich sztywność giętą (tworząc ustrój zespolony), to z kolei wywoła w płytach dodatkowe naprężenia działające poprzecznie do ich długości. Zarówno te dodatkowe naprężenia w płytach, jak i zespolenie belek z płytami powinny być uwzględniane w obliczeniach statyczno-wytrzymałościowych takich podatnych konstrukcji. Specjalne wytyczne obliczania i projektowania takich ustrojów zawiera dokument [14]. Niniejsze wytyczne nie obejmują zakresu projektowania ustrojów zespolonych, w których płyty kanałowe współpracowałyby z podatnymi belkami szkieletowego ustroju nośnego budynku. Podane dalej wskazówki dotyczą wyłącznie stropów wspartych na belkach dostatecznie sztywnych, by opisane wyżej wpływy stały się nieistotne.

W związku z powyższym, projektując strop z płyt SP należy na wstępie dokonać oceny podatności podpór, rozróżniając belki podatne i niepodatne. Za kryterium rozgraniczające te dwa rodzaje belek (podpór) można umownie przyjąć sposób, w jaki zabezpieczony zostanie ich stan graniczny ugięć. I tak, belkę można uważać za niepodatną, jeżeli wymagania stanu granicznego ugięć, określone w normie [5] (dla belek żelbetowych i sprężonych) i w normie PN-EN 1993-1-1 (dla belek stalowych), spełnia główny element dźwigara (prefabrykat, profil stalowy), bez uwzględniania jego współpracy z nadbetonem i bez uwzględniania zespolenia z płytami stropowymi SP. Jeżeli natomiast stan graniczny ugięć belki nie może zostać zabezpieczony inaczej niż przez zapewnienie współpracy elementu głównego z nadbetonem i ewentualnie z płytami SP, belkę taką uważać należy za podatną.

W stanie granicznym nośności na zginanie belki, wieniec stropowy (styk poprzeczny) może być w każdym przypadku projektowany jako zespolony z dźwigarem głównym, i uwzględniany w obliczeniach wytrzymałościowych.

Niezależnie do tego, czy w obliczeniach uwzględnia się współpracę wieńca z podciągami czy nie, wieniec musi być trwale połączony z dźwigarem. W przypadku dźwigarów żelbetowych lub sprężonych należy przewidzieć w tym celu odpowiednie zbrojenie, najlepiej w postaci pionowych strzemion (zamkniętych lub otwartych), ewentualnie prętów o innym kształcie, wyprowadzonych z górnej powierzchni dźwigara do wieńca. W przypadku belek stalowych zastosować można trzpienie zgrzewane doczołowo (typu Nelson) lub inne łączniki mechaniczne przyspawane do powierzchni belek.

Przykłady rozwiązań konstrukcji węzłów podporowych płyt SP opartych na podciągach żelbetowych (sprężonych) i stalowych zostały przedstawione w załączniku B, na rys.B1 do rys.B4.

9.2.5. Oparcie płyt SP na ścianach

Płyty SP mogą być wbudowywane również w budynkach o konstrukcji ścianej, ze ścianami murowanymi lub z betonu, gdzie mogą być wykorzystywane jako płyty stropowe lub stropodachowe. Ściany nośne budynku są podporami niepodatnymi, i w tym kontekście stanowią dobre oparcie dla płyt SP. Negatywną cechą podpór ścianowych jest natomiast niepożądane działanie dążące do utwierdzenia płyt na podporach (por. rozdz.8). Pod wpływem ujemnego momentu podporowego, w górnych włóknach przypodporowych przekrojów płyt powstają naprężenia rozciągające, które mogą doprowadzić do zarysowania prefabrykatów (także tych z wbudowanym zbrojeniem górnym; por. pkt.2.3). Daleszą konsekwencją wystąpienia takiego zarysowania może być nagła utrata nośności na ściananie przypodporowych stref płyt SP. Z tego względu płyty SP można opierać na ścianach tylko wówczas, gdy spełnione zostaną dodatkowe warunki rysoodporności (pkt.8.2), albo gdy zastosowane zostaną odpowiednie rozwiązania konstrukcyjne w węzłach podporowych, opisane w pkt.8.3.

Powyższe dotyczy przede wszystkim płyt SP stosowanych jako stropy międzykondygnacyjne, które doznają utwierdzenia pod wpływem nacisku ściany wyższej kondygnacji. Problem niezamierzonego utwierdzenia nie występuje (lub jest znacznie ograniczony) w stropodachach, powyżej których nie ma żadnych ścian nośnych oraz antresolach.

Zasady konstruowania węzłów podporowych płyt stropodachowych, które nie są dociśnięte na podporze ścianą wyższej kondygnacji, nie różnią się od tych, które zostały określone dla płyt opartych na niepodatnych belkach (pkt.9.2.4). Przykłady odpowiednich rozwiązań pokazano w załączniku B, na rys.B1 do rys.B4.

Podobne zasady można także stosować przy projektowaniu węzłów podporowych stropów międzykondygnacyjnych, jeżeli został spełniony warunek rysoodporności (8.1) (pkt.8.2) dla płyt częściowo zamocowanych lub gdy zastosowano rozwiązania ograniczające utwierdzenie płyty w podporach (pkt.8.3). W takim przypadku, należy dodatkowo zwrócić uwagę na to, by głębokość penetracji kanałów płyt przez beton wypełniający wieniec stropu nie była większa niż szerokość ściany dolnej kondygnacji oraz na to, by pręty wiążące, umieszczane w stykach między płytami (por. pkt.9.2.2), znajdowały się możliwie nisko, najlepiej w dolnej połowie wysokości stropu.

Jeżeli powyższe warunki nie są spełnione, to węzły podporowe płyt SP opartych na ścianach należy konstruować wraz ze wzmocnieniem nośności płyt na ściananie, zaprojektowanym zgodnie z pkt.8.3. Przykład rozwiązania takiego węzła pokazano w załączniku B, na rys.B5.

9.3. Boczne zamki

9.3.1. Podłużne styki między płytami

Podłużne styki między płytami SP nie wymagają specjalnego projektowania. W styku należy jedynie przewidzieć odpowiednie zbrojenie zespalające (pkt.9.2.1) oraz zadbać o dokładne wypełnienie przestrzeni między płytami betonem na budowie (pkt.11.4). Ta kwestia jest szczególnie istotna w złączach między płytami wsporczymi belek podporowych a płytami zawieszanymi, gdzie od dokładnego wypełnienia styków zależy praca statyczna zespołu płyt współpracujących z wymianem (zob. pkt.10.4.2, pkt.10.7). Zapotrzebowanie na beton do wypełnienia złączy między płytami podano w tabl.2.9 (pkt.2.7). W wyjątkowych sytuacjach, np. gdy zachodzi konieczność przeniesienia sił podłużnych w stropie, można zastosować w styku ciągle zbrojenie, spinające przeciwległe podpory płyt.

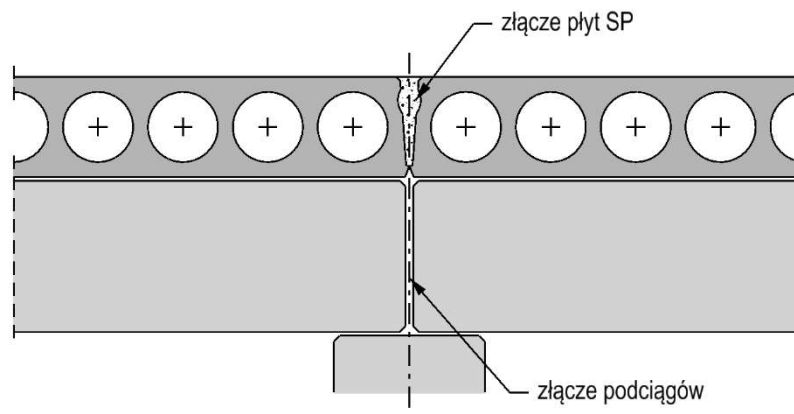
9.3.2. Węzły boczne

Płyty SP wymagać mogą połączenia także wzdłuż bocznych, niepodporowych krawędzi z przylegającym do nich elementem konstrukcji nośnej budynku (zwykle z bocznym wieńcem). Przykład rozwiązania konstrukcyjnego takiego połączenia (zamka), które należy preferować w stropach z płyt SP, przedstawiono w załączniku B, na rys.C6. Połączenie na bocznej krawędzi płyty jest niezbędne wówczas, gdy rozpiętość stropu przekracza 6,0 m. Przy większych rozpiętościach, zamki boczne należy projektować w rozstawie nie większym niż 4,5 m.

9.4. Rozplanowanie stropu z płyt SP

Strop złożony ze strunobetonowych płyt SP powinien zostać skonstruowany z płyt najniższych z dostępnego zestawu (rys.2.1, pkt.2.2.1), które spełniają wymagania projektowe w danych warunkach zastosowania. Pozwala to ograniczyć do minimum ciężar konstrukcji i wysokość brutto kondygnacji budynku. Aby uzyskać płaszczyznę użytkową stropu na jednym poziomie, cała kondygnacja stropu powinna zostać skompletowana z płyt o tej samej wysokości (z płyt jednego typu). - W razie potrzeby, gdy w obrębie jednej kondygnacji budynku występują zróżnicowane obciążenia stropu lub zróżnicowane rozpiętości traktów (naw), manipulować należy przede wszystkim wariantami zbrojenia płyt. Różne wysokości płyt w obrębie jednego poziomu stropu zastosować można wyjątkowo, przy dużej różnicy rozpiętości przęseł, jeżeli wbudowanie płyt o jednakowej wysokości powodowałoby znaczny nadmiar nośności płyt krótkich, nawet przy słabym zbrojeniu.

Stropy należy konstruować przede wszystkim z płyt podstawowych, ograniczając do niezbędnego minimum liczbę płyt uzupełniających, szczególnie płyt perforowanych osłabionych różnego rodzaju wycięciami (pkt.2.4.2 i pkt.2.4.3). Zwężone pasma płyt (pkt.2.4.6) należy stosować, gdy jest to absolutnie konieczne. Rozłożenie płyt w stropie najlepiej jest zaplanować już we wczesnym etapie projektowania układu funkcjonalnego i konstrukcyjnego budynku. Pomimo dużej elastyczności systemu (zob. pkt.2.1.3), za celowe uważać należy takie zaplanowanie siatki konstrukcyjnej szkieletowego ustroju nośnego obiektu, by osiowe rozstawy podpór podciągów stropu były całkowitą wielokrotnością szerokości modularnej płyt. Jeżeli spełnienie tego warunku nie jest możliwe, a podciągi zaprojektowane zostaną jako izostatyczne, jednoprzęsłowe belki prefabrykowane, płyty należy odpowiednio dociąć wzdłużnie (por. pkt.2.4.6), tak by na każdej podporze złącze płyt znalazło się w miejscu styku belek, jak na rys.9.1. Tej zasady można nie przestrzegać, jeżeli podciągi zaprojektuje się jako belki ciągłe (wieloprzęsłowe).



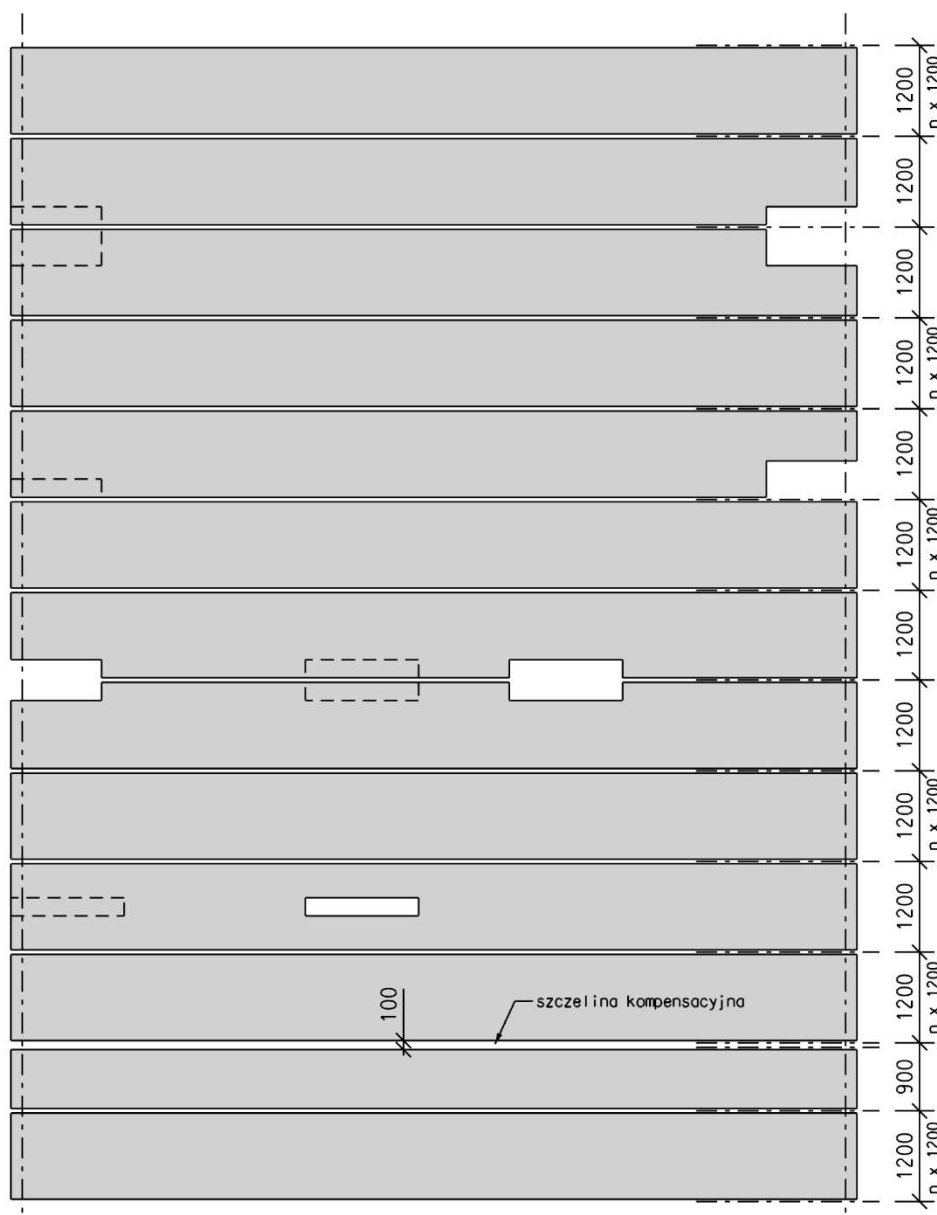
Rys.9.1 Zasada dopasowania płyt do długości przęseł belek

Również przy projektowaniu tras przewodów instalacji wewnętrznych, zwłaszcza zblokowanych pionów instalacyjnych i przewodów wentylacyjnych o dużych gabarytach, należy uwzględnić ograniczenia systemu, aby uniknąć trudnych do pokonania problemów natury konstrukcyjnej. W tym celu, w miarę możliwości, przewody instalacyjne powinny zostać raczej zgrupowane w kilku wspólnych szachtach, niż poprowadzone wieloma wycięciami rozrzuconymi na powierzchni stropu. Należy zawsze rozważyć możliwość zmiany trasy przewodów i ich skupienia w jeden ciąg, niż projektowania perforacji płyt stropowych trudnej do analizy statycznej i do wykonania. Dla pojedynczych przewodów o małej średnicy należy projektować okrągłe lub prostokątne otwory rozmieszczone w sposób, który nie osłabia nośności prefabrykatów (pkt.2.4.5). Dla zblokowanych pionów (szachtów) należy natomiast zaprojektować prostokątne wycięcia (pkt.2.4.2, pkt.2.4.3 i pkt.2.4.4), albo duży otwór w stropie z wykorzystaniem wymianu (zob. rozdz.10).

Płyty SP z wycięciami bocznymi można zestawiać parami, w celu uzyskania w stropie otworu o podwójnej szerokości, przy czym nie należy łączyć w ten sposób dwóch płyt z bocznym wycięciem przypodporowym o szerokości 37 cm i 42 cm (zob. tabl.2.3, pkt.2.4.1). Dla zapewnienia asekuracji,

każdy dwupłytyowy zestaw lub pojedyncza płyta z wycięciami (niezależnie od rodzaju), muszą przylegać z obydwu stron do płyt podstawowych (pełnych), w których nie wykonano żadnych wycięć (za taką można również uważać płytę z otworami, wykonanymi i rozmieszczonymi zgodnie z pkt.2.4.5). Na rys.9.2 pokazano przykład prawidłowego rozplanowania płyt w stropie, w którym niezbędną perforację zrealizowano za pomocą standardowych wycięć osiągalnych w płytach SP (wg pkt.2.4.2, pkt.2.4.3 i pkt.2.4.4).

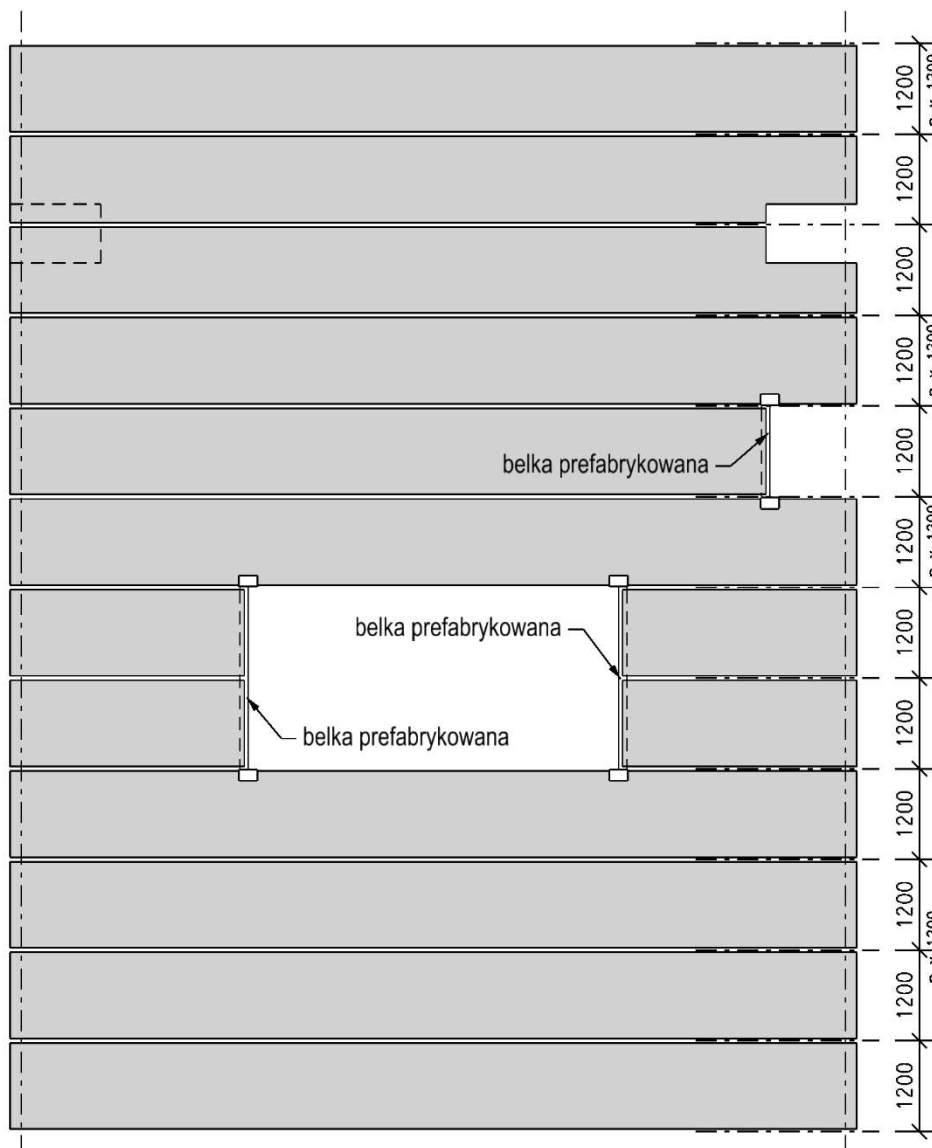
Stosując płyty z wycięciami przypodporowymi w budynkach o konstrukcji ścianowej należy przestrzegać również innych wytycznych, sformułowanych w pkt.8.4.



Rys.9.2 Rozmieszczenie płyt SP na planie kondygnacji (przykład)

Rozmiary otworów, jakie można wykonstruować w stropie projektując wycięcia w prefabrykowanych płytach SP, mogą być w wielu przypadkach niewystarczające (np. otwory komunikacyjne, doświetlające i in.). Aby uzyskać w stropie otwór o większych rozmiarach, zastosować można belki podporowe (wymiany), które pozwalają odpowiednio skrócić płyty i zawiesić je na płytach sąsiednich. Wykorzystać można do tego celu stalowe belki podporowe PETRA [44] lub stalowo-betonowe BHRW [45] (zob. rozdz.10). Zastosowanie tych elementów w ustroju stropowym pozwala wykonać otwory o szerokości do 240 cm, równej szerokości dwóch płyt podstawowych SP. Przykład stropu, w którym do wykonania dużych otworów wykorzystano belki podporowe, pokazano na rys.9.3.

Wytyczne dotyczące konstruowania dużych otworów oraz weryfikacji nośności płyt zawieszanych i wsporczych zamieszczono w rozdz.10.



Rys.9.3 Plan stropu z wykorzystaniem wymianów

Projektując rozmieszczenie płyt na planie stropu należy przewidzieć rozwiązania, które pozwolą skompensować nieuniknione niedokładności wykonania płyt (w granicach dopuszczalnych tolerancji; por. pkt.2.5.2), w tym ich deformacje wymuszone zjawiskami fizycznymi (pkt.2.5.3), a także odchylenia wykonawcze i montażowe innych elementów konstrukcji budynku, z którymi płyty mają zostać związane.

Kompensatę odchyłek na kierunku podłużnym można zapewnić poprzez właściwy dobór długości prefabrykatów oraz dobór odpowiedniej szerokości wieńców czołowych. Wymiary nominalne tych elementów powinny zagwarantować prawidłowe wykonanie montażu stropu, niezależnie od kombinacji (zwrotu) wypadkowej odchyłki (sumy wektorowej odchyłek: długości płyt, montażu konstrukcji i tyczenia osi budynku). Wymiary nominalne płyt i wieńców, jakie należy przyjąć w projekcie stropu, powinny być ustalone w taki sposób, aby po ułożeniu na ustroju nośnym zapewniona została zarówno niezbędna, minimalna głębokość oparcia płyt na podporach (tabl.9.1), jak i minimalna szerokość wieńców (pkt.9.2.3), i by nie doszło do kolizji płyt z elementami podpór (np. ze szkieletem zbrojeniowym wieńca). W celu ustalenia nominalnych wymiarów długości płyt i szerokości wieńców przeprowadzić należy analizę pasowań tych elementów, najlepiej na podstawie pkt.10.9.5.2 normy [3], albo na podstawie normy [9]. Niedobór rzeczywiście zrealizowanej głębokości oparcia płyt, dyskwalifikuje konstrukcję z użytkowania.

W kierunku poprzecznym do długości płyt, ukrycie wszelkich imperfekcji jest możliwe w stykach między płytami. Spoiny między prefabrykatami pozwalają ukryć nieznaczne ujemne odchyłki szerokości płyt bez jakichkolwiek dodatkowych zabiegów. Z kolei, dla skompensowania odchyłek

dotatnich, które mogą być zjawiskiem częstym, gdy używa się w stropach płyt uzupełniających (pkt.2.4), przewidzieć trzeba odpowiednie rozwiązania, które pozwolą uniknąć kolizji płyt z innymi elementami budynku. Przede wszystkim, łączna szerokość prefabrykatów nie powinna być nigdy dobie-rana „na styk”, równo z długością traktu lub nawy budynku. Między płytami, albo między płytami a innymi elementami budynku, do których płyty mają przylegać, pozostawić należy odpowiednią przestrzeń (szczelinę), która pozwoli skompensować nadmierną szerokość prefabrykatów. Pozostawienie szczelin kompensacyjnych jest szczególnie istotne w stropie, w którym wykorzystano płyty uzupełniające, zwłaszcza płyty docinane podłużnie wykonane w wersji niesymetrycznej (pkt.2.4.6) oraz płyty z bocznymi wycięciami przeszłowymi (pkt.2.4.4). Brak osi symetrii w tak ukształtowanych prefabrykach powoduje, że ich boczne krawędzie nie pozostają prostoliniowe. Płyty o niesymetrycznym przekroju doznają wygięcia w płaszczyźnie poziomej (por. pkt.2.5.3), które wymaga uwzględnienia w planie rozmieszczenia prefabrykatów. Odpowiednio szeroka szczelina kompensacyjna musi stworzyć dostateczną przestrzeń dla ukrycia poziomej strzałki wygięcia prefabrykatu. Z tego względu najlepiej jest zaplanować ją tuż obok płyty, dla której jest wymagana (zob. rys.9.2). Szerokość szczeliny należy uzależnić od długości płyty. W stropach o rozpiętości do 9,0 m należy przewidzieć szczelinę o szerokości 50 mm, natomiast powyżej tej rozpiętości szczelina powinna mieć szerokość powiększoną do około 100 mm. Pozostawione celowo szczeliny kompensacyjne należy wypełnić betonem, podobnie jak inne złącza między płytami (por. pkt.9.3.1). Jeżeli szerokość szczeliny nie przekracza 100 mm, nie jest potrzebne dozbrajanie betonu w złączu. Przestrzeganie opisanych wyżej reguł pozwoli bez problemów zmontować ustrój stropowy, pomimo występowania nieuniknionych odchyłek wykonawczych i deformacji.

Ze względu na konieczność stosowania w podłużnych złączach płyt prętów wiążących strop z wieńcami (por. pkt.9.2.2), optymalnym jest takie rozplanowanie elementów stropu, aby w sąsiednich traktach lub nawach budynku styki podłużne nie były względem siebie przesunięte. Wówczas odpowiednie połączenie obydwu traktów stropu można zapewnić wspólnym prętem integrującym. Można odstąpić od takiego rozwiązania tylko wówczas, gdy na podporach wewnętrznych przewidziano wieńiec o szerokości co najmniej 15 cm, w którym istnieje możliwość zakotwienia jednostronnych prętów wiążących (pkt.9.2.2), w analogiczny sposób jak przy oparciu na podporze skrajnej (zob. załącznik B).

9.5. Zapewnienie odporności ogniowej

9.5.1. Ogólne wymagania konstrukcyjne

Płyty SP posiadają nośność, szczelność i izolacyjność ogniową zgodną z zadeklarowaną w oznaczeniu wariantu zbrojenia (por. pkt.2.3 i pkt.2.6.3). Aby przegroda pozioma skonstruowana z tych płyt posiadała odporność ogniową nie krótszą niż odporność ogniowa prefabrykatów, zapewnić należy odpowiednie wykonanie złączy płyt na budowie. Sposób wykonania złączy podłużnych, opisany w pkt.9.3.1, oraz złączy poprzecznych (wieńców) wg opisu w pkt.9.2.3 gwarantuje osiągnięcie szczelności i izolacyjności ogniowej w klasie nie niższej niż EI120.

Nośność ogniowa będzie zabezpieczona nośnością samych prefabrykatów, jeżeli ich połączenie z ustrojem nośnym budynku zostanie wykonane zgodnie z wytycznymi w pkt.9.2.2. W stropach o wymaganej nośności ogniowej R120 zaleca się wykonać zawsze wzmocnienia przypodporowe w formie rdzeni betonowych (pkt.7.2.2), nawet jeśli ze względów statyczno-wytrzymałościowych ich wykonanie nie jest konieczne. Integrację stropu z podporami zapewnią wówczas pręty kotwione w rdzeniach zamiast w złączach (zob. rys.7.2 i rys.7.7).

9.5.2. Wymagania dodatkowe dla płyt z perforacją pionową

Odporność ogniową płyt SP (pkt.2.6.3) oszacowano przy założeniu, że powierzchnią ekspozowaną na działanie temperatury pożaru będzie dolna powierzchnia stropu, i dla takiego założenia określono rozkład temperatury w przegrodzie, w tym temperaturę zbrojenia po założonym czasie ekspozycji na ogień. Na tej podstawie, poszczególne typy i warianty zbrojeń płyt SP zakwalifikowano do jednej z dwóch klas odporności ogniowej: REI60 lub REI120 (pkt.2.3); dla takich założeń obliczono następnie nośność płyt w sytuacji wyjątkowej (por. rozdz.6). Wykonanie w płycie pionowego wycięcia lub otworu (pkt.2.4) może spowodować istotną zmianę warunków ekspozycji na działanie wysokiej temperatury podczas trwania pożaru. Zostaje wówczas otwarty dostęp do wnętrza jednego lub kilku kanałów na czołowych powierzchniach wycięć lub przez nieszczelności otworu, jeżeli ten nie został odpowiednio zabezpieczony (uszczelniony).

W przypadku pożaru, przez otwarte wloty kanałów do wnętrza stropu wnikać mogą gorące gazy spalinowe, czego konsekwencją może być przyspieszony (szybszy od założeń [39]) przyrost temperatury ustroju stropowego. Na skutek nadmiernego nagrzewania się betonu i zbrojenia sprężającego nastąpić może przedwczesna utrata nośności płyty lub jej fragmentu (niektórych jej żeber), a także przedwczesna utrata funkcji oddzielającej (zwłaszcza skuteczność izolacyjności ogniowej stropu).

Norma wyrobu [7] nie odnosi się bezpośrednio do zagadnienia trwałości ogniowej stropów z otwartym dostępem do wewnętrznych wydrzeń. Biorąc pod uwagę ogólne wymagania normy [7] ustanowione ze względu na spełnienie funkcji oddzielającej stropu (wymaganie dotyczące minimalnej grubości płyty) przyjąć należy, iż ekspozycja na ogień (gazy spalinowe) wnętrza stropu stanowi naruszenie tych postanowień. Z tego względu wloty kanałów w płytach perforowanych powinny zostać odpowiednio zabezpieczone przed ekspozycją ich wnętrza na wysoką temperaturę (przed penetracją gorących gazów).

Można przyjąć, że wykonanie zabezpieczeń przeciwogniowych odpowiednich dla pionowych przewodów instalacji prowadzonych przez otwory i wycięcia jest wystarczające dla zachowania założonej w projektach [39] odporności ogniowej stropu. Jeżeli nie wykonuje się zabezpieczeń przeciwogniowych instalacji (jeżeli perforacja służy innym celom) celowe jest trwałe zamknięcie dostępu do każdego otwartego kanału.

W przypadku płyt SP o odporności ogniowej REI60, wloty kanałów mogą zostać zamknięte korkami z twardej wełny mineralnej o grubości (głębokości) 200 mm lub zaślepienie betonem klasy C20/25, na długości około 200 mm od czoła płyty. Korki z wełny mineralnej mogą być zastosowane, gdy zagwarantuje się, że nie zostaną przypadkowo usunięte podczas eksploatacji budynku (podczas prac konserwacyjnych). Jeżeli dostęp do przestrzeni przejścia przez strop miałby pozostać otwarty (swobodny), na całej szerokości takiego wycięcia należy wykonać dodatkową zabudowę czołowych powierzchni płyt stropowych, która zabezpieczy korki przed niezamierzonym usunięciem (lub wypadnięciem) w całym okresie użytkowania budynku. Zabudowę (osłonę) wykonać można z płyt gipsowo-kartonowych lub innych o podobnym zastosowaniu. W przypadku płyt SP o odporności ogniowej REI120, konieczne jest zaślepienie kanałów betonem (zgodnie z podanym wyżej opisem); korki z wełny nie powinny być w tym przypadku stosowane.

Żadne inne środki techniczne nie są wymagane, by strop posiadał odporność ogniową zgodną z odpornością ogniową zadeklarowaną dla prefabrykowanych płyt.

9.6. Wykończenie stropu

Płyty SP wymagają uprzedniego wykończenia, aby mogły być bezpiecznie użytkowane bez przedwczesnej utraty nośności. Dlatego na powierzchni stropu należy wykonać co najmniej warstwę ścierną lub posadzkę.

Aby przygotować strop do wykończenia posadzką, na górnej powierzchni płyt należy przewidzieć cienką warstwę wyrównującą z zaprawy cementowej, która zniweluje wszelkie nierówności powierzchni oraz wstępne wypiętrzenie płyt od sprężenia (por. pkt.2.5.2, pkt.2.5.3), albo przewidzieć zróżnicowaną grubość jednej z warstw posadzki (najczęściej jastrychu). Odpowiednio powiększona grubość warstwy posadzki przy podporach pozwoli skompensować różnicę wygięcia i uzyskać poziomą płaszczyznę gotowego stropu (zob. też pkt.9.1). Jeżeli projektuje się specjalnie warstwę wyrównawczą z betonu lub zaprawy, jej grubość nie powinna być mniejsza niż wartość odwrotnej strzałki wygięcia (wg tabl.A1÷A4 w załączniku A) powiększonej o 1 cm. Jeżeli ta warstwa miałaby jednocześnie pełnić funkcję warstwy ścierną powinna zostać wykonana z betonu droбноziarnistego, zbrojonego siatką i zatartego na gładko, a jej grubość nie powinna być w żadnym miejscu stropu mniejsza niż 4 cm.

W celu ustalenia potrzebnej grubości warstwy wyrównawczej (lub kompletnej posadzki), w kolumnie 7 tabel dopuszczalnych obciążeń (załącznik A) podano wartości końcowego ugięcia odwrotnego płyt a_{∞} , która uwzględnia zjawiska reologiczne w betonie. Tą wartość należy przyjąć do oszacowania potrzebnej grubości warstwy wyrównawczej. Należy jednak mieć na uwadze możliwe odchylenie wstępnego wygięcia płyt od wartości średniej, oszacowanej obliczeniowo, w związku z nieuniknionym rozrzutem cech sprężysto-plastycznych i reologicznych młodego betonu, jak również odchyleniem wartości siły sprężającej. Rozrzut tych wielkości uzależniony będzie od tego w jakich warunkach cieplno-wilgotnościowych wiązał beton i w jakich warunkach płyty były przechowywane od chwili wyprodukowania do chwili zamontowania we wznoszonym obiekcie. Rzeczywiste wygięcie końcowe płyt może odbiegać od wartości oszacowanej w tabelach o $\pm 25\%$ (por. pkt.2.5.2). Wstępne wygięcie będzie też uzależnione od rzeczywistego czasu jaki upłynął od chwili wyprodukowania płyt.

Zróżnicowanie grubości betonu wyrównawczego na długości przęsła należy wziąć pod uwagę w zestawieniach obciążeń dla stropu i w obliczeniach statycznych. Do obliczeń przyjąć można grubość średnią z wartości projektowanej w przęśle i przy podporach, albo liniowo zmienny rozkład obciążenia.

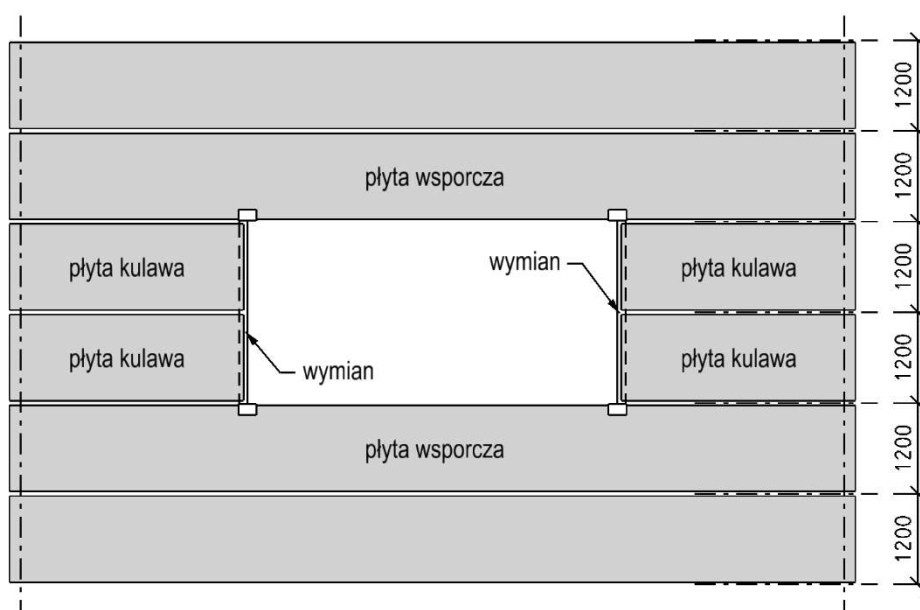
Jeżeli z punktu widzenia fizyki budowli konieczne jest wykonanie na stropie posadzki, należy zaprojektować poprawny układ warstw przegrody, uwzględniając w zależności od specyfiki stropu izolację akustyczną (przeciwuderzeniową), termiczną i przeciwwilgociową (przeciwwodną) oraz podłoże (gładź) pod wykończenie. Projektując posadzkę należy wziąć pod uwagę końcowe wartości odwrotnych strzałek płyt, które uwzględniają odkształcenia reologiczne betonu, natomiast dla potrzeb zestawienia obciążeń powinny być uwzględnione grubości warstw przy strzałkach doraźnych.

Powierzchnie sufitowe płyt nie wymagają wykończenia, jeżeli estetyka niewykończonego betonu jest akceptowalna dla inwestora (użytkownika). Jeżeli sufit pozostanie niewykończony, rozważyć należy ewentualnie wyspoinowanie złączy płyt zaprawą lub materiałem trwale plastycznym.

10. KONSTRUOWANIE DUŻYCH OTWORÓW W STROPACH

10.1. Konstrukcja stropu z dużym otworem

W stropach z płyt SP można wykonać otwory o rozmiarach znacznie przekraczających te, które są osiągalne za pomocą perforowania prefabrykatów (por. pkt.2.4 i pkt.9.4). Takie duże otwory można wykonać poprzez wbudowanie w płaszczyznę stropu wymianu w formie belki poprzecznej do rozpiętości płyt. Pozwala to wykonać w przegrodzie poziomej otwór o szerokości do 240 cm (szerokość modułarna dwóch płyt SP). Zadaniem wymianu jest zapewnienie podparcia płytom przeciętym otworem w stropie (płytom kulawym) i przekazanie jej oddziaływań na przylegające do niej płyty wsporcze. Schemat zespołu elementów współpracujących przy takim otworze przedstawiono na rys.10.1. Pamiętać jednak należy, że zasięg oddziaływania otworu na prefabrykaty stropowe nie ogranicza się tylko do płyt określanych jako wsporcze. Zdolność złączy do poprzecznego przenoszenia sił powoduje włączenie do współpracy kolejnych płyt w ustroju stropowym (zob. pkt.4.2). Poprzez ten mechanizm, oddziaływanie płyt zawieszanych i wymianu jest przekazywane z płyt bezpośrednio obciążonych wymianem na dalsze elementy, sąsiadujące z płytami wsporczymi. To zjawisko wpływa redukująco na wyężenie płyt wsporczych, co można wykorzystać w obliczeniach ich nośności (por. pkt.4.4).



Rys.10.1 Zespół elementów współpracujących przy otworze

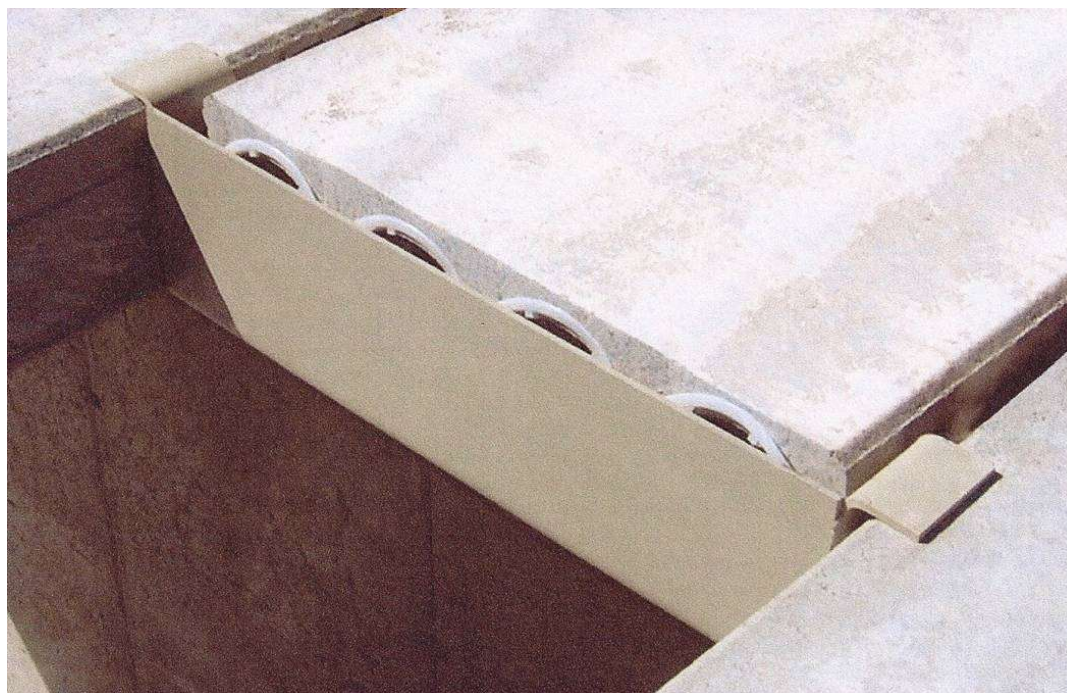
W stropach z płyt SP, jako wymian może zostać zastosowana stalowa belka podporowa PETRA [44] wykonana z zimnogiętego profilu typu „L”, albo belka zespolona BHRW (por. pkt.2.1.1(2)). Takie prefabrykowane belki podporowe charakteryzują się łatwością montażu, tak samych belek jak i stropu. Belki prefabrykowane są bowiem w pełni sprawnymi elementami konstrukcji, zdolnym do przenoszenia obciążeń stałych i technologicznych natychmiast po zamontowaniu.

Jako płyty wsporcze wymianów wykorzystywać należy tylko te warianty zbrojeń płyt SP, w których w skrajne żebro wbudowana jest co najmniej jedna struna sprężająca (zob. pkt.2.3). Warianty, które tego warunku nie spełniają nie powinny być wykorzystywane w tym zastosowaniu.

W kolejnych punktach tego rozdziału przedstawiono charakterystykę prefabrykowanych belek PETRA i BHRW (pkt.10.2). Zamieszczono również wytyczne stosowania i weryfikacji nośności płyt opieranych na wymianach (pkt.10.3.1) oraz analizy płyt wsporczych wymianów (pkt.10.3.3).

10.2. Prefabrykowane belki podporowe

Często stosowanym rozwiązaniem w stropach ze sprężonych płyt kanałowych są prefabrykowane belki podporowe typu PETRA [44] oraz stalowo-betonowe BHRW [45]. Takie belki wytwarzane są w kilku wersjach wysokości, odpowiedniej do wysokości płyt. Mogą mieć długość do 240 cm, co pozwala podeprzeć dwie płyty stropowe SP. Zaletą prefabrykowanych belek stalowych jest łatwość i szybkość montażu stropu. Ich zastosowanie jest jednak ograniczone tylko do stropów o klasie odporności (nośności) ogniowej R60 lub niższej.



Fot.10.1 Oparcie płyty SP na belce PETRA [44]

Tego typu elementy należy obliczać i stosować zgodnie z wytycznymi ich producentów [44] i [45]. W tym opracowaniu zamieszczono natomiast wytyczne obliczania ustrojów stropowych z płyt SP, w których wbudowano prefabrykowane belki podporowe (zob. pkt.4.4). Opisano tam reguły jakimi należy się kierować przy ustalaniu oddziaływań transferowanych na płyty wsporcze z zespołu zawieszonych na nich elementów konstrukcji. Dalej natomiast, w kolejnych punktach tego rozdziału przybliżono zasady weryfikacji nośności globalnej (pkt.10.3.3) i lokalnej (pkt.10.3.4) płyt wspierających tego typu wymiany.

10.3. Nośność ustrojów z wbudowanymi belkami podporowymi

10.3.1. Nośność płyt zawieszanych

Płyty kulawe, opierane na stopkach prefabrykowanych belek podporowych (pkt.10.2) mają zapewnione podparcie bezpośrednie oraz niezbędną, minimalną głębokość oparcia (por. pkt.9.2.1). Jest to zgodne z założeniami przyjętymi w dokumentacji projektowej systemu płyt stropowych SP [39], przy których wykonano obliczenia nośności. Nośność płyt opieranych na takich belkach zweryfikować należy analogicznie jak innych, opieranych bezpośrednio na podporach, przestrzegając wytycznych zamieszczonych w rozdziałach 4, 5 i 6 niniejszego opracowania.

10.3.2. Nośność belek podporowych

Dowód nośności prefabrykowanych belek stalowych PETRA lub zespolonych BHRW należy przeprowadzić na podstawie instrukcji producentów tych elementów, odpowiednio wg [44] i [45].

10.3.3. Nośności globalna płyt wsporczych

Nośność płyt wsporczych belek podporowych należy zweryfikować indywidualnie, na podstawie szczegółowych obliczeń statyczno-wytrzymałościowych, które przeprowadzić należy zgodnie z wytycznymi zamieszczonymi w pkt.4.4, dla rzeczywistych wartości i schematów obciążeń.

Dla znanych wartości sił wewnętrznych wykonać można następnie obliczenia wytrzymałościowe przęśla płyty. Analizę stanu granicznego nośności płyty wsporczej przeprowadzić należy na podstawie wytycznych zamieszczonych w pkt.5.3.2. Wpływ momentów skręcających na wyężenie sprężystych stref przypodporowych uwzględnić można zastępując warunek (5.15) warunkiem [7]:

$$V_{Sd}(y_{crit}) + V_T(y_{crit}) \leq V_{Rd,c} \quad (10.1)$$

w którym składnik $V_T(y_{crit})$ jest zastępczą siłą poprzeczną, wymuszoną działaniem momentu skręcającego. Uwzględnić on dociążenie żebra płyty przy jednej z bocznych krawędzi wskutek działania momentu skręcającego.

Wartość tego składnika można zgodnie z normą [7] oszacować z wyrażenia:

$$V_T(y_{crit}) = \frac{1}{2 \cdot b_{w.1}} \cdot \frac{b_w}{(b - b_{w.1})} \cdot T_{sd} = \frac{1}{r} \cdot T_{sd} \quad (10.2)$$

gdzie: T_{sd} – ekstremalny moment skręcający otrzymany z obliczeń statycznych (pkt.4.4.3),
 $b_w = \sum b_{w.i}$ - szerokość przekroju czynnego przy ścinaniu,
 $b_{w.1}$ - szerokość skrajnego żebra płyty,
 $b = 1,2 \text{ m}$ - szerokość całkowita płyty.

Wielkość r w wyrażeniu (10.2) należy interpretować jako ramię zastępczej siły tnącej V_T wymuszonej działaniem momentu skręcającego T_{sd} . Jest ono charakterystyką przekroju poprzecznego płyty, zależną wyłącznie od cech geometrycznych jej profilu. Wielkość ta pozwala przeliczyć moment skręcający na zastępczą siłę poprzeczną, której działanie wytęży element w stopniu podobnym do wytężenia momentem skręcającym. Wartość tej charakterystyki, jako cechy własnej płyt SP, obliczono i zestawiono w tabl.3.3 (pkt.3.2.2).

10.3.4. Weryfikacja nośności lokalnej płyt wsporczych

Wytyczne zamieszczone w pkt.10.3.3 dotyczą analizy globalnej płyt wsporczych, jako dźwigiaków nośnych ustroju stropowego. Ze względu na sposób przyłożenia obciążeń, taki zakres obliczeń może być niewystarczający. Oprócz analizy globalnej płyty wsporcze wymagają przeprowadzenia analizy lokalnej, w miejscach działania obciążeń skoncentrowanych.

Nośność na przebicie płyty wsporczej w miejscu oparcia prefabrykowanej belki podporowej należy zbadać wg wytycznych zamieszczonych w pkt.5.4.3.

Oprócz tego, pomiędzy płytami zawieszanymi a wsporczymi dochodzi do wzajemnego oddziaływania poprzez podłużne złącze między tymi prefabrykatami. Część obciążeń jest w ten sposób transferowana z płyt zawieszanych wprost na płyty wsporcze (por. pkt.4.4.2). Wskutek tego, na boczne krawędzie sąsiadujących płyt działa obciążenie liniowe q_l (rys.4.7). Obciążenie to generuje siły tnące w złączu i w poziomych ściankach prefabrykatów, w płaszczyźnie równoległej do rozpiętości przęsła (zob. rys.4.8 i rys.4.9). Aby te siły nie spowodowały uszkodzenia prefabrykatów lub nie doprowadziły do zniszczenia złącza, a praca statyczna płyt była adekwatna do założeń wynikających z przyjętych modeli obliczeniowych (por. pkt.4.4.2), należy zapewnić niezbędną nośność tych elementów na podłużne ścinanie. Analizę nośności przeprowadzić należy według wytycznych w pkt.5.4.2, dla oddziaływań q_l ustalonych na podstawie formuł (4.8) lub (4.10), odpowiednio do zastosowanego modelu pracy statycznej.

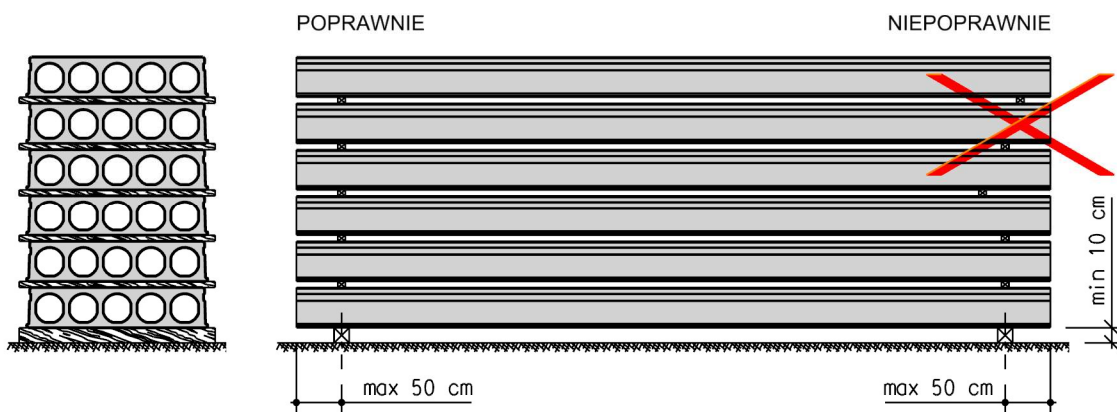
11. SKŁADOWANIE, TRANSPORT I MONTAŻ PŁYT

11.1. Składowanie płyt w stosach

Na placu składowym wytwórni lub placu budowy, płyty SP należy układać w pozycji poziomej w stosach, których wysokość nie powinna przekraczać 2 m.

Stosom należy zapewnić równomierne, odpowiednio wytrzymałe i sztywne podparcie na całej ich szerokości, dlatego najlepiej składować je na utwardzonej nawierzchni placu magazynowego (jeżeli warunki na to pozwalają). W innym przypadku, gdy nie można zagwarantować stabilności podłoża (zwłaszcza na placu budowy), należy zwrócić szczególną uwagę na odpowiednie podparcie pierwszej płyty w stosie. Pierwszą płytę należy w takim przypadku oprzeć na drewnianych podkładach z krawędziaków o grubości co najmniej 10 cm, aby pod płytą pozostała wolna przestrzeń gwarantująca swobodne osiadanie stosu pod ciężarem kolejnych warstw płyt (rys. 11.1). Jeżeli nawierzchnia składowiska nie jest utwardzona, osiadanie podkładów może być znaczne, i dolne płyty w stosie mogą w sposób niekontrolowany wesprzeć się (zawiesić) bezpośrednio na nierówności gruntu w przypadkowym miejscu na długości przęsła. Nieprzewidziane dodatkowe podparcie wymusi momenty odwrótne w tych płytach, w następstwie czego mogą one zostać uszkodzone lub zniszczone (złamane, ścięte, rozwarstwione), co ma bezpośredni związek z brakiem zbrojenia górnego (w większości przypadków), a także rozdzielczego i poprzecznego w tych prefabrykatów (por. pkt.1.3). Drewniane podkłady powinny zostać wypoziomowane; uzasadnione może być również ułożenie ich na prowizorycznym fundamencie z bloczków betonowych, w celu rozłożenia obciążenia na większej powierzchni (zwłaszcza płyt długich). Na utwardzonym placu składowym, o równej nawierzchni, zamiast krawędziaków zastosować można cieńsze listwy drewniane (jak dalej).

Kolejne warstwy płyt należy oddzielać od siebie drewnianymi przekładkami (listwami) o grubości nie mniejszej niż 3 cm, które należy umieszczać w odległości 20÷50 cm od czoła płyt. Listwy w kolejnych warstwach muszą być ułożone jedna nad drugą, ewentualnie z nieznacznym przesunięciem kolejnej (wyższej) przekładki w kierunku środka prefabrykatów; nigdy odwrotnie (rys.11.1). W jednym stosie powinny być układane tylko płyty o tej samej długości i nośności (ten sam wariant zbrojenia).



Rys.11.1 Zasady składowania płyt SP w stosach

Płyty z wycięciami przypodporowymi (pkt.2.4.2) należy układać w górnych warstwach stosów, na płytach pełnych (podstawowych). Podobnie, płyty zwężone (pkt.2.4.6) powinny być układane na wierzchołku stosu. W żadnym wypadku płyta szersza nie może spoczywać na płycie węższej, gdyż grozi to wywróceniem stosu prefabrykatów.

11.2. Transportowanie płyt SP

11.2.1. Transport bliski

Płyty podstawowe SP mogą być podnoszone w każdym etapie transportu bliskiego, tj. podczas załadunku i rozładunku na środki transportu, a także podczas przenoszenia na miejsce wbudowania, za pomocą dwóch, zakleszczających się o boki płyty, uchwytów zaciskowych, stanowiących element standardowego wyposażenia transportowego strunobetonowych płyt kanałowych.

Uchwyty zaciskowe muszą być zaczepione (podwieszone) do poziomej belki (trawersy) tak, by wyeliminowane zostało poziome oddziaływanie zawiesia na uchwyty. Niedopuszczalne jest podnoszenie płyt SP na chwytakach lub pętlach zamocowanych bezpośrednio do lin podczepionych ukośnie w stosunku do powierzchni prefabrykatu.

Chwytyki powinny być rozstawione symetrycznie względem środka podnoszonej płyty, aby zapewnić jej poziomą pozycję podczas podnoszenia. W płytach o długości mniejszej niż około 13 m, bez wycięć przypodporowych, maksymalna odległość punktu zaczepienia chwytaka do trawersy, mierzona od końca prefabrykatu, nie może być większa niż 50 cm.

Jeżeli długość płyty przekracza 13,0 m, co dotyczy płyt SP32 i SP40 (zob. pkt.2.2.2), od podanych wyżej zasad należy odstąpić z powodu ograniczeń sprzętowych. Ze względu na długość trawersy, maksymalny rozstaw uchwytów zaciskowych w standardowym sprzęcie transportowym nie może przekraczać 12 m. W związku z tym, podczas podnoszenia płyt dłuższych niż 13,0 m uchwyty zaciskowe trzeba rozmieścić w maksymalnym możliwym rozstawie determinowanym długością trawersy, symetrycznie względem środka płyty, pozwalając by wsporniki podnoszonej płyty, przewieszone poza punkty zaczepienia, były dłuższe niż 50 cm; w skrajnym przypadku mogą mieć długość nawet 300 cm (por. pkt.2.2.2). Ich zabezpieczenie przed złamaniem pod wpływem ciężaru własnego zapewnia górne zbrojenie sprężające, wbudowane specjalnie w tym celu w płyty SP32 i SP40 w wersji B (zob. tabl.2.2 w pkt.2.3).

Przy przenoszeniu płyt chwytakami (zwłaszcza podczas montażu stropu na budowie, pkt.11.3) stosować należy dodatkowo liny lub łańcuchy zabezpieczające, zamocowane do chwytaków i okalające płytę od dołu, dla asekuracji prefabrykatu na wypadek wyrwania z zacisku zawiesia.

Jeżeli geometria prefabrykatu na to pozwala, również uzupełniające płyty SP (pkt.2.4) mogą być podnoszone standardowymi chwytakami szczękowymi, podobnie jak płyty podstawowe. Używając zawiesi chwytakowych należy zwrócić uwagę na odpowiednie umiejscowienie zacisków na długości płyt, aby poziome oddziaływanie szczęk chwytaków nie spowodowało uszkodzenia lub zniszczenia prefabrykatu. W płytach, w których wykonano krótkie wycięcie przypodporowe (boczne lub środkowe) uchwyt należy zamocować do płyty tuż za końcem wycięcia. Płyty ze środkowym wycięciem przypodporowym nie wolno uchwycić na odcinku osłabionym wycięciem.

Jeżeli ukształtowanie płyty nie pozwala uchwycić jej chwytakami (płyty zwężone na całej długości lub zwężone lokalnie bocznym wycięciem), w prefabrykaty powinny zostać wbudowane na stałe odpowiednie kotwy transportowe (zob. pkt.11.2.2). Do podnoszenia płyt wyposażonych w stałe uchwyty należy następnie używać zawiesi cztero- lub dwu-linowych (odpowiednio do liczby wbudowanych uchwytów) wyposażonych w haki (zaczepy), standardowo do kotew kulowych DEHA, o odpowiedniej kategorii obciążenia, dobranej na podstawie kol.5 w tabl.11.1 (pkt.11.2.2).

Można również stosować pasy transportowe jako alternatywny sposób podnoszenia płyt (także podczas montażu), jeżeli stałe uchwyty transportowe nie zostaną wbudowane.

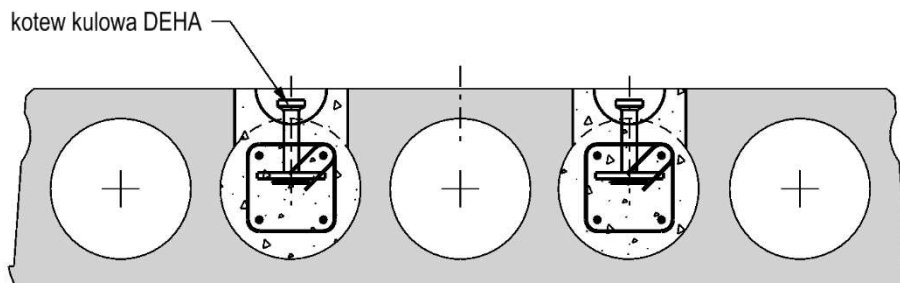
Niezależnie od zastosowanego rozwiązania, wszystkie elementy zespołu transportowego, tj. żuraw, liny, haki (zaczepy), trawers i chwytaki, muszą posiadać nośność (udźwig) odpowiednią do ciężaru podnoszonego prefabrykatu. Całkowity ciężar podnoszonej płyty należy określić mnożąc jej ciężar jednostkowy (wg tabl.2.9, pkt.2.7) przez długość i przez współczynnik bezpieczeństwa równy 1,4 (ta wartość uwzględnia między innymi nieuniknione efekty dynamiczne, jak gwałtowne szarpnięcia przy dźwiganiu). W przypadku płyt perforowanych, ciężar elementu należy określić bez potrącania ciężaru wycięć i otworów. Analogicznie należy ustalić ciężar płyt zwężonych (pkt.2.4.6). Można z dobrym przybliżeniem przyjąć, że ciężar jednostkowy pasma zwężonego jest proporcjonalny do ilorazu szerokości pasma i modularnej szerokości płyty podstawowej. Używając zawiesi cztero-linowych przyjąć należy, że podnoszony ciężar spoczywa tylko na dwóch z czterech lin. Należy również uwzględnić wpływ pochylenia lin na ich wyężenie.

Długość lin zawiesia należy dobrać odpowiednio do długości podnoszonej płyty, w taki sposób, by kąt pochylenia lin względem powierzchni płyty nie był mniejszy niż 60° (kąt rozwarcia lin nie większy niż 60°).

Podczas przenoszenia prefabrykatów, nie wolno umieszczać na nich żadnego dodatkowego ładunku (materiałów).

11.2.2. Stałe uchwyty transportowe

Stałe uchwyty transportowe instaluje się w płytach SP w drugim etapie produkcji [39]. Podstawowym elementem uchwyty transportowego jest kotew płytowa z głowicą kulową DEHA [47] (niezabezpieczona antykorozyjnie lub ocynkowana), albo kotwy kulowe z normalną stopką. Jako alternatywa wykorzystywane są również kotwy mufowe HD i Rd. Niezależnie od rodzaju, kotwy transportowe osadza się w odpowiednio dobrojonym bloku kotwiącym z betonu C20/25, w końcowym odcinku kanałów płyt (rys.11.2).



Rys.11.2 Przykład konstrukcji uchwyty transportowego w płycie SP [39]

Zgodnie z dokumentacją projektową systemu płyt SP [39], jako uchwyty transportowe stosuje się kotwy z głowicą kulową firmy DEHA [47], albo kotwy mufowe. W tabl.11.1 zestawiono standardowe typy kotw odpowiednie do każdej z płyt systemu oraz kategorie obciążenia zaczepów odpowiednich do każdej z kotw.

Tabl.11.1. Specyfikacja techniczna stałych uchwyty transportowych i zaczepów (wersja standardowa)

Typ płyty	Kotew transportowa płytowa			Kategoria obciążenia zaczepu
	typ kotwy	numer katalogowy		
		czarna	ocynkowana	
1	2	3	4	5
SP20, SP22	DEHA 6010-5,0-0110 (FV)	0735.060-00007	0735.200-00047	5,0 t
	DEHA HD 6360-5,0-0140	-	0740.130-00020	
SP26.5	DEHA 6010-5,0-0110 (FV)	0735.060-00007	0735.200-00047	
	DEHA HD 6360-5,0-0140	-	0740.130-00020	
SP32	DEHA 6010-10,0-0150 (FV)	0735.060-00011	0735.200-00172	10,0 t
	DEHA 6000-10,0-0200	0735.010-00059	0735.220-00149	
SP40, SP41	DEHA 6000-10,0-0250 (FV)	0735.010-00060	0735.200-00120	

Podana w tabl.11.1 lista kotw transportowych nie jest listą zamkniętą. Kotwy montażowe osadzane w płytach SP można dobierać indywidualnie, na życzenie zamawiającego, na podstawie indywidualnych obliczeń i osadzić w betonowym bloku kotwiącym analogicznie

W typowym wykonaniu, uchwyty montowane w płytach SP posiadają nośność, która gwarantuje bezpieczne podnoszenie płyt o pełnej szerokości (120 cm) i o maksymalnej z dopuszczalnych długości w ramach każdego typu (por. pkt.2.2.2, tabl.2.1), z uwzględnieniem efektów dynamicznych. Nośność kotw dobrano przy założeniu, że cały ciężar prefabrykowanej płyty spoczywa na dwóch z czterech uchwyty. Pozwala to używać do podnoszenia płyt zawiesi hiperstatycznych, czterolinyowych, bez obawy o przeciążenie uchwyty.

Po zamontowaniu płyt w stropie, wgłębienie każdego uchwyty należy wypełnić zaprawą cementową w celu zabezpieczenia kotwy przed korozją, i w konsekwencji przed destrukcją betonu, jaką mogłaby powodować korozja stali. Głowica kotwy powinna zostać dokładnie otulona zaprawą. Jeżeli wgłębienia miałyby pozostać niewypełnione, zamówić należy płyty z kotwami DEHA ocynkowanymi ogniowo (tabl.11.1).

11.2.3. Transport daleki

Płyty SP mogą być przewożone transportem drogowym lub kolejowym. Do transportu mogą być używane wyłącznie samochody (wagony kolejowe), których skrzynia ładunkowa (platforma) ma długość nie krótszą niż długość przewożonych elementów. Na czas transportu prefabrykaty należy układać w pozycji poziomej w stosach, w sposób analogiczny jak podczas składowania (pkt. 11.1), przy czym, w przypadku przewożenia dwóch stosów płyt obok siebie na jednej skrzyni (platformie), wskazane jest zwieńczenie obydwu stosów co najmniej jedną płytą wiążącą obydwa stosy (ułożoną na środku). Takie ułożenie płyt poprawia stabilność ładunku podczas jazdy. Wysokość stosu będzie na ogół ograniczona ładownością środka transportu.

Płyty, których długość przekracza długość skrzyń lub platform ładunkowych typowych zestawów transportowych można przewozić zestawami dłużycowymi.

Prefabrykaty należy zabezpieczyć przed zsunieniem się ze środka transportu podczas jazdy. Skrzynie ładunkowe powinny w tym celu posiadać odpowiednio wytrzymałe burty, a platformy - kłonicy. Celowe może być również ustabilizowanie ładunku płyt na skrzyni pojazdu linami lub pasami, aby nie przesunął się podczas jazdy.

Należy przestrzegać innych przepisów prawa dotyczących transportu drogowego i kolejowego, związanych zwłaszcza z przewozem ładunków ponadgabarytowych.

11.3. Montaż płyt SP

W czasie montażu należy przestrzegać wszystkich wytycznych dotyczących transportu bliskiego, podanych w pkt. 11.2.1. Podczas przenoszenia płyt na miejsce wbudowania za pomocą uchwytów zaciskowych, należy bezwzględnie stosować liny (łańcuchy) asekurujące prefabrykat przed wypadnięciem z uchwytu.

Podczas układania płyt na podporach, szczególną uwagę należy zwrócić na równomierne oparcie prefabrykatów, wzdłuż całej długości krawędzi podporowych na odpowiednich podkładkach elastycznych lub warstwie zaprawy, w zależności od rozwiązania przyjętego w projekcie budynku (por. pkt. 9.2.1). Pomiędzy powierzchniami wspornymi płyty i podpory nie powinny pozostać puste przestrzenie. Jeżeli w styku ma być zastosowana zaprawa, to należy użyć zaprawy o konsystencji plastycznej, a w celu uniknięcia raków należy ją rozłożyć równomiernie, najlepiej pacą grzebieniową. Zaprawą montażową należy pokryć pasmo podpory na całej głębokości oparcia płyt, jaką przewidziano w projekcie budynku. Aby uzyskać założoną grubość spoiny wspornej i zapobiec wyciśnięciu zaprawy pod ciężarem prefabrykatów, należy zastosować pakiet podkładek dystansowych z PCV [44] o łącznej grubości odpowiedniej do projektowanej grubości spoiny (pkt. 9.2.1). Manipulując grubością pakietów przeprowadzić można także rektyfikację płyt, kompensując spoiną odchyłkę grubości prefabrykatów, albo wyrównać powierzchnię sufitową.

Na szerokości każdej płyty podłożyć należy po dwa takie pakiety na każdej z dwóch podpór. Pakiety należy umieścić blisko krawędzi bocznych, co pozwoli ustabilizować prefabrykat na podporze do czasu związania zaprawy. Płyta powinna swobodnie spocząć na podkładkach dystansowych, a nadmiar zaprawy powinien zostać wyciśnięty ze spoiny pod naciskiem prefabrykatu. Po stronie lica podpory, zaprawę spoiny wspornej należy następnie wyrównać narzędziem do fugowania.

Po ułożeniu płyt w miejscu przeznaczenia, lecz przed wykonaniem prac końcowych (pkt. 11.4), dolne powierzchnie sąsiadujących płyt należy wyrównać w środku rozpiętości. Potrzeba wyrównania powierzchni stropu wynika z, obserwowanego najczęściej, niejednakowego wstępnego wypiętrzenia płyt SP, pod wpływem działania siły sprężającej (por. pkt. 2.5.3). Tego problemu oczekiwać należy także w stropach, w których sąsiadują ze sobą płyty tego samego typu i wariantu zbrojenia (o jednakowym sprężeniu). Jest to spowodowane dużą zmiennością cech odkształcalnościowych, związanych ze zjawiskami reologicznymi w betonie używanym do wytwarzania płyt SP.

Wyrównanie powierzchni stropu można przeprowadzić za pomocą drewnianej belki (rygi), umieszczonej pod stropem, poprzecznie do rozpiętości płyt i podpartej na stalowych słupach teleskopowych. Odpowiednio dokręcając śruby podpór należy unieść płyty, które doznały mniejszego wygięcia wstępnego. Do wylewarowania płyt używać można również innego sprzętu (jak dźwignie, śruby, kliny).

11.4. Prace końcowe

Po ułożeniu płyt na podporach i wyrównaniu powierzchni stropu można wykonać prace końcowe, których celem jest uzyskanie pełnowartościowej konstrukcji stropu. Do tych prac zalicza się ułożenie zbrojenia wieńców, prętów integrujących płyty z konstrukcją budynku (por. pkt. 9.2.2) i ewentualnie zbrojenia wzmocnień przypodporowych (pkt. 7.2), zabetonowanie styków między płytami, wieńców i rdzeni wzmocniających oraz wykonanie warstwy wyrównawczej na górnej powierzchni stropu, jeżeli jest niezbędna (por. pkt. 9.1).

Zbrojenie wieńców oraz zbrojenie integrujące musi być zaprojektowane zgodnie w wytycznymi podanymi w pkt. 9.2.2. Po ułożeniu zbrojenia, a przed jego zabetonowaniem, należy skontrolować jego

zgodność z przyjętym w projekcie budynku. Sprawdzić należy klasę i gatunek stali, średnice prętów i ich rozmieszczenie.

Przed rozpoczęciem betonowania, wszystkie powierzchnie płyt (boczne i czołowe) oraz odsłonięte powierzchnie podpór należy obficie zwilżyć wodą, tak by podczas układania mieszanki betonowej powierzchnie te były wilgotne i nie chłonięły wody zarobowej z mieszanki betonowej.

Styki podłużne między płytami należy starannie wypełnić betonem zwykłym, klasy nie niższej niż C20/25, wykonanym z kruszyw mineralnych o uziarnieniu nie większym niż 8 mm, żeby mieszanka betonowa mogła spenetrować także dolną, zwężoną strefę złączy. Szczelne wypełnienie styku betonem ma decydujące znaczenie dla zapewnienia właściwej współpracy płyt w stropie, zwłaszcza przy wyrównywaniu obciążeń nierównomiernych, a także dla zapewnienia szczelności i izolacyjności ogniowej przegrody (pkt.2.6.3). Prawidłowe wykonanie tych prac nabiera szczególnego znaczenia wówczas, gdy w obliczeniach statycznych stropu brano pod uwagę współpracę płyt w przenoszeniu obciążeń lokalnych (por. pkt.4.2) oraz, gdy wykorzystano belki podporowe, niezależnie od ich konstrukcji (rozdz.10).

Aby dokładnie wypełnić szczeliny między płytami, beton układany w podłużnych stykach należy zagęścić mechanicznie, poprzez zawibrowanie. Używać należy wibratora węgłowego, z odpowiednio wąską buławą wibrującą. Ponadto, aby nie osłabiać skuteczności połączenia, każdy styk musi zostać zabetonowany od razu na pełną grubość stropu, bez poziomych przerw roboczych.

Podczas betonowania, szczególną uwagę należy zwracać na miejsca (odcinki styków) z umieszczonymi prętami zespalającymi (por. pkt.9.2.2), które muszą zostać dokładnie otulone betonem, także od dołu. Niewłaściwe obetonowanie wpływa negatywnie na przyczepność tych prętów do betonu, co obniża ich skuteczność jako zbrojenia wiążącego, a ponadto wpływa negatywnie na ich ochronę przeciwworozyjną. Aby umożliwić właściwe obetonowanie, zalecane jest uniesienie pręta bezpośrednio przed zalaniem styku, częściowe wypełnienie styku betonem, wciśnięcie do ułożonego betonu pręta, a następnie uzupełnienie szczeliny mieszanką i zawibrowanie całości.

W sposób podobny do opisanego wyżej należy zabetonować wieńce (pkt.9.2.3) i rdzenie wzmacniające (pkt.7.2), zwracając szczególną uwagę na właściwe obetonowanie zbrojenia, zwłaszcza w miejscach znacznego zagęszczenia prętów zbrojeniowych. Wymagania co do uziarnienia betonu w wieńcach, powinien określić projektant budynku. Klasa betonu wypełniającego wieńce nie powinna być niższa niż C20/25. W odniesieniu do wieńców o minimalnej szerokości (pkt.9.2.3), przestrzegać należy wszystkich zaleceń podanych wcześniej dla styków podłużnych.

Do wykonania warstwy wyrównującej stropu należy stosować taki sam beton jak do wypełniania złączy między płytami. Średnia grubość warstwy betonu musi być zgodna z przyjętą w projekcie budynku (por. pkt.9.1). Beton powinien być rozścielony na płytach stropowych, zagęszczony poprzez zawibrowanie i wyrównany tak, by warstwa wyrównująca tworzyła poziomą równą płaszczyznę, przygotowaną do wykonania warstw wykończeniowych (posadzki). Należy wziąć pod uwagę wstępne wygięcie płyt, spowodowane sprężeniem, i odpowiednio zróżnicować grubość tej warstwy na powierzchni stropu.

Uzasadnione jest wykonywanie wszystkich opisanych wyżej robót betonowych łącznie, w jednym ciągu, aby złącza, wieńce, rdzenie wzmacniające i warstwa wyrównująca strop tworzyły spójny monolit (bez przerw roboczych).

Jeżeli nie przewiduje się tynkowania, ani innego wykończenia stropu od dołu (np. sufitem podwieszonym), styk między płytami można obrobić od dołu, jednym ze sposobów rekomendowanych w pkt.9.3.1.

Załącznik A - Tabele dopuszczalnych obciążeń płyt SP

A1. Dopuszczalne obciążenie płyt SP20 i SP22

Tabl.A1.1 Dopuszczalne obciążenia zewnętrzne płyty SP20-4/REI60

SP20-4/REI60							
l _{eff}	p _{d.lim}	p _{k.lim}	p _{kt.lim}		a ₀	a _∞	p _{fi.lim}
			X0, XC1	XC2, XC3			
[cm]	[kN/m ²]				[mm]		[kN/m ²]
1	2	3	4	5	6	7	8
240	51,4	67,9	223,1	38,9	-0,7	-2,0	33,1
270	44,9	53,2	159,1	30,2	-0,9	-3,0	28,9
300	39,8	42,6	117,5	24,0	-1,1	-3,0	25,6
330	35,7	34,8	89,3	19,4	-1,2	-4,0	22,9
360	32,2	28,8	69,4	15,9	-1,4	-4,0	20,6
390	29,4	24,2	55,0	13,2	-1,6	-5,0	18,8
420	26,9	20,5	44,3	11,0	-1,8	-6,0	17,2
450	24,8	17,6	36,1	9,27	-1,9	-6,0	15,8
480	22,1	15,2	29,8	7,84	-2,1	-6,0	14,0
510	19,2	13,1	24,7	6,66	-2,2	-7,0	12,1
540	16,7	11,5	20,7	5,67	-2,3	-7,0	10,5
570	14,7	10,0	17,5	4,84	-2,4	-7,0	9,17
600	12,9	8,82	14,8	4,12	-2,4	-7,0	8,02
630	11,4	7,77	12,1	3,50	-2,4	-7,0	7,03
660	10,0	6,86	9,92	2,97	-2,3	-6,0	6,17
690	8,88	6,07	8,15	2,51	-2,1	-6,0	5,42
720	7,86	5,38	6,69	2,10	-1,9	-5,0	4,77
750	6,97	4,76	5,48	1,74	-1,6	-3,0	4,19
780	6,18	4,22	4,64	1,42	-1,2	-2,0	3,67
810	5,47	3,73	3,90	-	-0,7	0,0	3,22
840	4,84	3,30	3,26	-	-0,1	2,0	2,81
870	4,27	2,91	2,70	-	0,6	5,0	2,44
900	3,76	2,56	2,20	-	1,4	8,0	2,11
930	3,30	2,24	1,76	-	2,4	12,0	1,81
960	-	-	-	-	-	-	-
990	-	-	-	-	-	-	-
1020	-	-	-	-	-	-	-
1050	-	-	-	-	-	-	-
1080	-	-	-	-	-	-	-
1110	-	-	-	-	-	-	-
Sytuacja trwała							Syt. wyjątkowa
p _{d.lim} - dopuszczalne obciążenie obliczeniowe (stan graniczny nośności) p _{k.lim} - dopuszczalne obciążenie charakterystyczne (stan graniczny rozwarcia rys) p _{kt.lim} - dopuszczalne obciążenie długotrwałe (stan graniczny ugięcia lub dekompresji) p _{fi.lim} – zredukowana nośność płyt w warunkach pożaru a ₀ - doraźna strzałka ugięcie płyt (bezpośrednio po sprężeniu) (znak „-” oznacza ugięcie odwrotne) a _∞ - końcowa strzałka ugięcie płyt							

Tabl.A1.2 Dopuszczalne obciążenia zewnętrzne płyty SP20-5/REI60

SP20-5/REI60							
l _{eff}	p _{d,lim}	p _{k,lim}	p _{kt,lim}		a ₀	a _∞	p _{fi,lim}
			X0, XC1	XC2, XC3			
[cm]	[kN/m ²]				[mm]		[kN/m ²]
1	2	3	4	5	6	7	8
240	53,1	85,6	232,3	48,0	-0,9	-3,0	34,2
270	46,4	67,1	166,3	37,4	-1,1	-3,0	29,8
300	41,1	53,9	123,3	29,9	-1,3	-4,0	26,4
330	36,8	44,2	94,1	24,3	-1,6	-5,0	23,6
360	33,3	36,7	73,4	20,0	-1,8	-6,0	21,3
390	30,4	30,9	58,4	16,7	-2,1	-6,0	19,4
420	27,8	26,3	47,2	14,0	-2,3	-7,0	17,8
450	25,7	22,6	38,6	11,9	-2,6	-8,0	16,4
480	23,8	19,6	32,0	10,2	-2,8	-9,0	15,1
510	22,1	17,1	26,7	8,71	-3,0	-9,0	14,1
540	20,7	15,0	22,5	7,51	-3,2	-10,0	13,1
570	19,0	13,2	19,1	6,48	-3,4	-10,0	12,0
600	16,8	11,7	16,2	5,61	-3,5	-10,0	10,6
630	14,9	10,4	13,4	4,86	-3,6	-11,0	9,33
660	13,3	9,23	11,1	4,21	-3,7	-10,0	8,27
690	11,8	8,24	9,23	3,64	-3,7	-10,0	7,34
720	10,6	7,37	7,69	3,14	-3,6	-10,0	6,53
750	9,47	6,61	6,40	2,70	-3,4	-9,0	5,81
780	8,49	5,93	5,49	2,31	-3,2	-8,0	5,18
810	7,62	5,32	4,69	1,96	-2,8	-6,0	4,61
840	6,84	4,78	3,99	1,65	-2,4	-5,0	4,10
870	6,13	4,29	3,38	-	-1,8	-2,0	3,65
900	5,50	3,85	2,84	-	-1,2	0,0	3,23
930	4,92	3,45	2,36	-	-0,4	3,0	2,86
960	4,40	3,09	1,93	-	0,6	7,0	2,53
990	3,93	2,77	1,55	-	1,7	11,0	2,22
1020	-	-	-	-	-	-	-
1050	-	-	-	-	-	-	-
1080	-	-	-	-	-	-	-
1110	-	-	-	-	-	-	-
Sytuacja trwała							Syt. wyjątkowa
p _{d,lim} - dopuszczalne obciążenie obliczeniowe (stan graniczny nośności) p _{k,lim} - dopuszczalne obciążenie charakterystyczne (stan graniczny rozwarcia rys) p _{kt,lim} - dopuszczalne obciążenie długotrwałe (stan graniczny ugięcia lub dekompresji) p _{fi,lim} – zredukowana nośność płyt w warunkach pożaru a ₀ - doraźna strzałka ugięcie płyt (bezpośrednio po sprężeniu) (znak „-” oznacza ugięcie odwrotne) a _∞ - końcowa strzałka ugięcie płyt							

Tabl.A1.3 Dopuszczalne obciążenia zewnętrzne płyty SP20-6/REI60

SP20-6/REI60							
l _{eff}	p _{d,lim}	p _{k,lim}	p _{kt,lim}		a ₀	a _∞	p _{fi,lim}
			X0, XC1	XC2, XC3			
[cm]	[kN/m ²]				[mm]		[kN/m ²]
1	2	3	4	5	6	7	8
240	54,6	103,1	241,0	56,8	-1,1	-3,0	35,2
270	47,7	81,0	173,2	44,4	-1,3	-4,0	30,7
300	42,3	65,2	128,9	35,5	-1,6	-5,0	27,2
330	37,9	53,4	98,7	28,9	-1,9	-6,0	24,3
360	34,3	44,5	77,3	23,9	-2,2	-7,0	22,0
390	31,3	37,6	61,7	20,0	-2,6	-8,0	20,0
420	28,7	32,1	50,0	16,9	-2,9	-9,0	18,3
450	26,5	27,6	41,1	14,4	-3,2	-10,0	16,9
480	24,5	24,0	34,1	12,4	-3,5	-11,0	15,6
510	22,8	21,0	28,6	10,7	-3,8	-12,0	14,5
540	21,3	18,5	24,2	9,25	-4,1	-12,0	13,5
570	20,0	16,3	20,6	8,05	-4,4	-13,0	12,7
600	18,8	14,5	17,6	7,03	-4,7	-14,0	11,9
630	17,7	12,9	14,6	6,15	-4,9	-14,0	11,2
660	16,4	11,6	12,2	5,39	-5,0	-14,0	10,3
690	14,7	10,4	10,3	4,72	-5,1	-15,0	9,22
720	13,2	9,35	8,64	4,13	-5,2	-14,0	8,25
750	11,9	8,43	7,28	3,62	-5,1	-14,0	7,40
780	10,8	7,62	6,30	3,16	-5,0	-13,0	6,64
810	9,72	6,89	5,45	2,75	-4,9	-12,0	5,97
840	8,79	6,24	4,70	2,39	-4,6	-11,0	5,37
870	7,95	5,66	4,04	2,06	-4,2	-10,0	4,83
900	7,20	5,13	3,45	1,76	-3,7	-7,0	4,34
930	6,52	4,65	2,93	1,50	-3,0	-5,0	3,90
960	5,90	4,22	2,47	-	-2,3	-2,0	3,50
990	5,34	3,83	2,06	-	-1,3	2,0	3,13
1020	4,82	3,47	1,68	-	-0,3	6,0	2,80
1050	-	-	-	-	-	-	-
1080	-	-	-	-	-	-	-
1110	-	-	-	-	-	-	-
Sytuacja trwała							Syt. wyjątkowa
p _{d,lim} - dopuszczalne obciążenie obliczeniowe (stan graniczny nośności) p _{k,lim} - dopuszczalne obciążenie charakterystyczne (stan graniczny rozwarcia rys) p _{kt,lim} - dopuszczalne obciążenie długotrwałe (stan graniczny ugięcia lub dekompresji) p _{fi,lim} – zredukowana nośność płyt w warunkach pożaru a ₀ - doraźna strzałka ugięcie płyt (bezpośrednio po sprężeniu) (znak „-” oznacza ugięcie odwrotne) a _∞ - końcowa strzałka ugięcie płyt							

Tabl.A1.4 Dopuszczalne obciążenia zewnętrzne płyty SP20-7/REI60

SP20-7/REI60							
l _{eff}	p _{d,lim}	p _{k,lim}	p _{kt,lim}		a ₀	a _∞	p _{fi,lim}
			X0, XC1	XC2, XC3			
[cm]	[kN/m ²]				[mm]		[kN/m ²]
1	2	3	4	5	6	7	8
240	56,0	120,5	249,5	65,2	-1,2	-4,0	36,1
270	49,0	94,7	179,8	51,0	-1,6	-5,0	31,5
300	43,4	76,3	134,2	40,8	-1,9	-6,0	27,9
330	38,9	62,6	103,1	33,3	-2,2	-7,0	25,0
360	35,2	52,2	81,0	27,6	-2,6	-8,0	22,6
390	32,1	44,2	64,8	23,2	-3,0	-9,0	20,6
420	29,5	37,8	52,7	19,6	-3,4	-10,0	18,8
450	27,2	32,6	43,4	16,8	-3,8	-12,0	17,4
480	25,2	28,4	36,2	14,5	-4,2	-13,0	16,1
510	23,5	24,9	30,5	12,5	-4,6	-14,0	14,9
540	21,9	21,9	25,8	10,9	-5,0	-15,0	13,9
570	20,6	19,4	22,1	9,56	-5,4	-16,0	13,1
600	19,3	17,3	18,9	8,39	-5,7	-17,0	12,3
630	18,2	15,5	15,8	7,38	-6,1	-18,0	11,5
660	17,2	13,9	13,3	6,51	-6,3	-18,0	10,9
690	16,3	12,5	11,3	5,75	-6,6	-19,0	10,3
720	15,5	11,3	9,56	5,08	-6,7	-19,0	9,73
750	14,3	10,2	8,12	4,50	-6,8	-19,0	8,95
780	13,0	9,29	7,08	3,97	-6,9	-19,0	8,08
810	11,8	8,44	6,17	3,51	-6,8	-18,0	7,30
840	10,7	7,68	5,37	3,09	-6,7	-18,0	6,61
870	9,74	7,01	4,67	2,72	-6,5	-16,0	5,98
900	8,87	6,39	4,04	2,38	-6,1	-15,0	5,42
930	8,08	5,84	3,49	2,08	-5,7	-13,0	4,91
960	7,36	5,34	2,99	1,80	-5,1	-10,0	4,44
990	6,71	4,88	2,54	1,55	-4,3	-7,0	4,02
1020	6,12	4,46	2,14	-	-3,4	-4,0	3,64
1050	5,57	4,08	1,78	-	-2,3	1,0	3,28
1080	5,08	3,72	1,45	-	-1,1	5,0	2,96
1110	-	-	-	-	-	-	-
Sytuacja trwała							Syt. wyjątkowa
p _{d,lim} - dopuszczalne obciążenie obliczeniowe (stan graniczny nośności) p _{k,lim} - dopuszczalne obciążenie charakterystyczne (stan graniczny rozwarcia rys) p _{kt,lim} - dopuszczalne obciążenie długotrwałe (stan graniczny ugięcia lub dekompresji) p _{fi,lim} – zredukowana nośność płyt w warunkach pożaru a ₀ - doraźna strzałka ugięcie płyt (bezpośrednio po sprężeniu) (znak „-” oznacza ugięcie odwrotne) a _∞ - końcowa strzałka ugięcie płyt							

Tabl.A1.5 Dopuszczalne obciążenia zewnętrzne płyty SP20-5/REI120

SP20-5/REI120							
l _{eff}	p _{d.lim}	p _{k.lim}	p _{kt.lim}		a ₀	a _∞	p _{fi.lim}
			X0, XC1	XC2, XC3, XC4, XD/XS			
[cm]	[kN/m ²]				[mm]		[kN/m ²]
1	2	3	4	5	6	7	8
240	52,7	75,3	216,4	46,9	-0,6	-2,0	31,1
270	46,1	59,0	153,9	36,5	-0,7	-2,0	27,2
300	40,9	47,3	113,3	29,1	-0,9	-3,0	24,1
330	36,7	38,7	85,9	23,6	-1,0	-3,0	21,5
360	33,2	32,1	66,6	19,4	-1,2	-4,0	19,4
390	30,3	27,0	52,6	16,2	-1,3	-4,0	16,2
420	27,8	22,9	42,2	13,6	-1,4	-4,0	13,6
450	25,6	19,6	34,3	11,5	-1,5	-5,0	11,5
480	23,8	17,0	28,1	9,83	-1,6	-5,0	9,82
510	21,0	14,7	23,3	8,42	-1,7	-5,0	8,40
540	18,4	12,9	19,5	7,23	-1,7	-5,0	7,21
570	16,1	11,3	16,3	6,23	-1,7	-5,0	6,20
600	14,2	10,0	13,8	5,38	-1,7	-5,0	5,34
630	12,6	8,80	11,2	4,65	-1,6	-4,0	4,60
660	11,1	7,79	9,08	4,01	-1,4	-3,0	3,96
690	9,88	6,92	7,38	3,45	-1,2	-2,0	3,40
720	8,79	6,15	5,98	2,97	-0,9	-1,0	2,91
750	7,82	5,47	4,83	2,54	-0,5	0,0	2,47
780	6,96	4,87	4,03	2,15	0,0	2,0	2,09
810	6,20	4,34	3,34	1,81	0,6	5,0	1,75
840	5,52	3,86	2,73	1,51	1,3	7,0	1,44
870	4,90	3,43	2,20	-	2,2	10,0	1,17
900	4,35	3,04	1,74	-	3,1	14,0	0,92
930	-	-	-	-	-	-	-
960	-	-	-	-	-	-	-
990	-	-	-	-	-	-	-
1020	-	-	-	-	-	-	-
1050	-	-	-	-	-	-	-
1080	-	-	-	-	-	-	-
1110	-	-	-	-	-	-	-
Sytuacja trwała							Syt. wyjątkowa
p _{d.lim} - dopuszczalne obciążenie obliczeniowe (stan graniczny nośności) p _{k.lim} - dopuszczalne obciążenie charakterystyczne (stan graniczny rozwarcia rys) p _{kt.lim} - dopuszczalne obciążenie długotrwałe (stan graniczny ugięcia lub dekompresji) p _{fi.lim} – zredukowana nośność płyt w warunkach pożaru a ₀ - doraźna strzałka ugięcie płyt (bezpośrednio po sprzężeniu) (znak „-” oznacza ugięcie odwrotne) a _∞ - końcowa strzałka ugięcie płyt							

Tabl.A1.6 Dopuszczalne obciążenia zewnętrzne płyty SP20-7/REI120

SP20-7/REI120							
l _{eff}	p _{d.lim}	p _{k.lim}	p _{kt.lim}		a ₀	a _∞	p _{fi.lim}
			X0, XC1	XC2, XC3, XC4, XD/XS			
[cm]	[kN/m ²]				[mm]		[kN/m ²]
1	2	3	4	5	6	7	8
240	55,8	106,2	228,4	64,2	-0,8	-3,0	33,0
270	48,8	83,4	163,3	50,2	-1,0	-3,0	28,8
300	43,3	67,1	121,0	40,2	-1,3	-4,0	25,5
330	38,9	55,0	92,2	32,8	-1,5	-5,0	22,8
360	35,2	45,8	71,8	27,1	-1,7	-5,0	20,6
390	32,1	38,7	57,1	22,8	-1,9	-6,0	18,8
420	29,5	33,0	46,0	19,3	-2,2	-7,0	17,2
450	27,2	28,5	37,6	16,5	-2,4	-7,0	15,8
480	25,2	24,7	31,1	14,2	-2,6	-8,0	14,3
510	23,5	21,6	25,9	12,3	-2,8	-8,0	12,4
540	22,0	19,0	21,8	10,7	-3,0	-9,0	10,7
570	20,6	16,8	18,4	9,33	-3,1	-9,0	9,37
600	19,4	14,9	15,7	8,17	-3,2	-9,0	8,20
630	18,2	13,3	12,9	7,18	-3,3	-9,0	7,20
660	16,4	11,9	10,6	6,32	-3,3	-9,0	6,32
690	14,7	10,7	8,81	5,57	-3,2	-8,0	5,56
720	13,2	9,62	7,30	4,92	-3,1	-8,0	4,90
750	11,9	8,68	6,04	4,34	-2,9	-7,0	4,31
780	10,7	7,84	5,15	3,82	-2,6	-6,0	3,78
810	9,70	7,09	4,38	3,36	-2,2	-4,0	3,32
840	8,77	6,42	3,70	2,95	-1,7	-2,0	2,90
870	7,94	5,82	3,11	2,58	-1,1	0,0	2,53
900	7,19	5,28	2,58	2,25	-0,4	3,0	2,19
930	6,51	4,78	2,11	1,95	0,5	7,0	1,88
960	5,89	4,34	1,70	1,68	1,5	11,0	1,61
990	-	-	-	-	-	-	-
1020	-	-	-	-	-	-	-
1050	-	-	-	-	-	-	-
1080	-	-	-	-	-	-	-
1110	-	-	-	-	-	-	-
Sytuacja trwała							Syt. wyjątkowa
p _{d.lim} - dopuszczalne obciążenie obliczeniowe (stan graniczny nośności) p _{k.lim} - dopuszczalne obciążenie charakterystyczne (stan graniczny rozwarcia rys) p _{kt.lim} - dopuszczalne obciążenie długotrwałe (stan graniczny ugięcia lub dekompresji) p _{fi.lim} - zredukowana nośność płyt w warunkach pożaru a ₀ - doraźna strzałka ugięcie płyt (bezpośrednio po sprężeniu) (znak „-” oznacza ugięcie odwrotne) a _∞ - końcowa strzałka ugięcie płyt							

Tabl.A1.7 Dopuszczalne obciążenia zewnętrzne płyty SP22-5/REI120

SP22-5/REI120							
l _{eff}	p _{d.lim}	p _{k.lim}	p _{kt.lim}		a ₀	a _∞	p _{fi.lim}
			X0, XC1	XC2, XC3, XC4, XD/XS			
[cm]	[kN/m ²]				[mm]		[kN/m ²]
1	2	3	4	5	6	7	8
240	55,7	98,5	298,4	62,0	-0,6	-2,0	32,8
270	48,6	77,2	212,1	48,4	-0,7	-2,0	28,6
300	43,0	62,0	156,2	38,6	-0,8	-3,0	25,2
330	38,5	50,7	118,4	31,4	-1,0	-3,0	22,5
360	34,8	42,1	91,8	25,9	-1,1	-3,0	20,3
390	31,7	35,5	72,6	21,6	-1,2	-4,0	18,4
420	29,0	30,2	58,3	18,2	-1,4	-4,0	16,8
450	26,7	25,9	47,4	15,5	-1,5	-4,0	15,4
480	24,7	22,4	39,0	13,3	-1,6	-5,0	14,2
510	23,0	19,5	32,4	11,4	-1,7	-5,0	13,2
540	20,9	17,1	27,1	9,84	-1,7	-5,0	12,3
570	18,3	15,0	22,8	8,53	-1,7	-5,0	10,9
600	16,1	13,3	19,3	7,40	-1,7	-5,0	9,49
630	14,3	11,8	15,8	6,44	-1,7	-4,0	8,32
660	12,6	10,5	12,9	5,60	-1,5	-4,0	7,31
690	11,2	9,31	10,6	4,87	-1,4	-3,0	6,42
720	9,93	8,30	8,65	4,22	-1,1	-2,0	5,64
750	8,82	7,42	7,07	3,66	-0,8	-1,0	4,96
780	7,84	6,64	5,99	3,15	-0,4	0,0	4,35
810	6,96	5,94	5,05	2,71	0,0	2,0	3,81
840	6,18	5,31	4,23	2,31	0,6	4,0	3,32
870	5,48	4,75	3,51	1,95	1,3	7,0	2,89
900	4,85	4,25	2,88	1,62	2,1	10,0	2,49
930	4,27	3,79	2,32	-	3,0	13,0	2,14
960	3,75	3,37	1,82	-	4,0	17,0	1,82
990	3,28	2,99	1,38	-	5,2	21,0	1,52
1020	-	-	-	-	-	-	-
1050	-	-	-	-	-	-	-
1080	-	-	-	-	-	-	-
1110	-	-	-	-	-	-	-
Sytuacja trwała							Syt. wyjątkowa
p _{d.lim} - dopuszczalne obciążenie obliczeniowe (stan graniczny nośności) p _{k.lim} - dopuszczalne obciążenie charakterystyczne (stan graniczny rozwarcia rys) p _{kt.lim} - dopuszczalne obciążenie długotrwałe (stan graniczny ugięcia lub dekompresji) p _{fi.lim} - zredukowana nośność płyt w warunkach pożaru a ₀ - doraźna strzałka ugięcie płyt (bezpośrednio po sprzężeniu) (znak „-” oznacza ugięcie odwrotne) a _∞ - końcowa strzałka ugięcie płyt							

Tabl.A1.8 Dopuszczalne obciążenia zewnętrzne płyty SP22-7/REI120

SP22-7/REI120							
l _{eff}	p _{d.lim}	p _{k.lim}	p _{kt.lim}		a ₀	a _∞	p _{fi.lim}
			X0, XC1	XC2, XC3, XC4, XD/XS			
[cm]	[kN/m ²]				[mm]		[kN/m ²]
1	2	3	4	5	6	7	8
240	58,7	137,9	314,1	85,3	-0,8	-2,0	34,6
270	51,2	108,4	224,4	66,8	-1,0	-3,0	30,1
300	45,4	87,2	166,2	53,5	-1,2	-4,0	26,6
330	40,6	71,6	126,6	43,7	-1,4	-4,0	23,8
360	36,7	59,7	98,7	36,3	-1,6	-5,0	21,4
390	33,4	50,4	78,4	30,5	-1,9	-6,0	19,5
420	30,6	43,1	63,3	25,9	-2,1	-6,0	17,8
450	28,2	37,1	51,8	22,1	-2,3	-7,0	16,4
480	26,1	32,3	42,9	19,1	-2,5	-8,0	15,1
510	24,3	28,3	35,8	16,6	-2,7	-8,0	14,0
540	22,7	24,9	30,2	14,5	-2,9	-9,0	13,0
570	21,2	22,1	25,6	12,7	-3,0	-9,0	12,1
600	19,9	19,6	21,8	11,2	-3,2	-9,0	11,4
630	18,7	17,5	18,0	9,84	-3,3	-9,0	10,7
660	17,7	15,7	14,9	8,71	-3,3	-9,0	10,0
690	16,7	14,1	12,4	7,71	-3,3	-9,0	9,43
720	15,2	12,7	10,4	6,84	-3,2	-9,0	8,90
750	13,7	11,5	8,65	6,07	-3,1	-8,0	7,96
780	12,3	10,4	7,45	5,39	-2,9	-7,0	7,13
810	11,1	9,44	6,41	4,78	-2,6	-6,0	6,38
840	10,1	8,57	5,49	4,24	-2,3	-4,0	5,72
870	9,08	7,79	4,69	3,75	-1,8	-2,0	5,12
900	8,21	7,09	3,98	3,31	-1,2	0,0	4,58
930	7,43	6,45	3,35	2,91	-0,5	2,0	4,09
960	6,71	5,88	2,79	2,55	0,3	6,0	3,65
990	6,06	5,35	2,29	2,22	1,2	9,0	3,25
1020	5,47	4,87	1,84	1,84	2,3	13,0	2,88
1050	4,92	4,43	1,44	1,44	3,6	18,0	2,54
1080	-	-	-	-	-	-	-
1110	-	-	-	-	-	-	-
Sytuacja trwała							Syt. wyjątkowa
p _{d.lim} - dopuszczalne obciążenie obliczeniowe (stan graniczny nośności) p _{k.lim} - dopuszczalne obciążenie charakterystyczne (stan graniczny rozwarcia rys) p _{kt.lim} - dopuszczalne obciążenie długotrwałe (stan graniczny ugięcia lub dekompresji) p _{fi.lim} - zredukowana nośność płyt w warunkach pożaru a ₀ - doraźna strzałka ugięcie płyt (bezpośrednio po sprzężeniu) (znak „-” oznacza ugięcie odwrotne) a _∞ - końcowa strzałka ugięcie płyt							

A2. Dopuszczalne obciążenie płyt SP26.5

Tabl.A2.1 Dopuszczalne obciążenia zewnętrzne płyty SP26.5-4/REI60

SP26.5-4/REI60							
l _{eff}	p _{d.lim}	p _{k.lim}	p _{kt.lim}		a ₀	a _∞	p _{fi.lim}
			X0, XC1	XC2, XC3			
[cm]	[kN/m ²]				[mm]		[kN/m ²]
1	2	3	4	5	6	7	8
300	48,1	59,5	277,0	35,1	-0,7	-2,0	28,2
330	42,9	48,6	209,9	28,4	-0,8	-2,0	25,1
360	38,7	40,3	162,8	23,3	-0,9	-3,0	22,5
390	35,1	33,8	128,9	19,3	-1,1	-3,0	20,4
420	32,1	28,7	103,6	16,2	-1,2	-4,0	18,6
450	29,5	24,6	84,5	13,7	-1,3	-4,0	17,0
480	27,2	21,2	69,8	11,6	-1,4	-4,0	15,7
510	25,3	18,4	58,2	9,86	-1,5	-5,0	14,5
540	23,5	16,0	48,9	8,42	-1,6	-5,0	13,4
570	20,7	14,0	41,5	7,19	-1,7	-5,0	12,5
600	18,2	12,3	35,4	6,15	-1,7	-5,0	11,3
630	16,1	10,9	29,1	5,26	-1,7	-5,0	9,94
660	14,2	9,58	24,1	4,48	-1,7	-5,0	8,74
690	12,6	8,48	20,0	3,80	-1,7	-5,0	7,68
720	11,1	7,51	16,7	3,21	-1,6	-4,0	6,76
750	9,88	6,65	14,0	2,68	-1,5	-4,0	5,94
780	8,76	5,89	12,1	2,21	-1,3	-3,0	5,22
810	7,77	5,21	10,5	1,80	-1,1	-2,0	4,58
840	6,88	4,60	9,11	1,43	-0,8	-1,0	4,00
870	6,08	4,06	7,89	-	-0,4	0,0	3,48
900	5,36	3,57	6,81	-	0,0	2,0	3,02
930	4,70	3,13	5,86	-	0,5	4,0	2,59
960	4,11	2,72	5,02	-	1,1	6,0	2,21
990	3,57	2,36	4,27	-	1,8	8,0	1,86
1020	3,08	2,02	3,60	-	2,6	11,0	1,54
1050	-	-	-	-	-	-	-
1080	-	-	-	-	-	-	-
1110	-	-	-	-	-	-	-
1140	-	-	-	-	-	-	-
1170	-	-	-	-	-	-	-
1200	-	-	-	-	-	-	-
1230	-	-	-	-	-	-	-
1260	-	-	-	-	-	-	-
1290	-	-	-	-	-	-	-
Sytuacja trwała							Syt. wyjątkowa
p _{d.lim} - dopuszczalne obciążenie obliczeniowe (stan graniczny nośności) p _{k.lim} - dopuszczalne obciążenie charakterystyczne (stan graniczny rozwarcia rys) p _{kt.lim} - dopuszczalne obciążenie długotrwałe (stan graniczny ugięcia lub dekompresji) p _{fi.lim} – zredukowana nośność płyt w warunkach pożaru a ₀ - doraźna strzałka ugięcie płyt (bezpośrednio po sprzężeniu) (znak „-” oznacza ugięcie odwrotne) a _∞ - końcowa strzałka ugięcie płyt							

Tabl.A2.2 Dopuszczalne obciążenia zewnętrzne płyty SP26.5-6/REI60

SP26.5-6/REI60							
l _{eff}	p _{d,lim}	p _{k,lim}	p _{kt,lim}		a ₀	a _∞	p _{fi,lim}
			X0, XC1	XC2, XC3			
[cm]	[kN/m ²]				[mm]		[kN/m ²]
1	2	3	4	5	6	7	8
300	51,0	91,5	295,8	52,3	-1,1	-3,0	29,9
330	45,6	75,1	225,3	42,6	-1,2	-4,0	26,7
360	41,1	62,5	175,7	35,3	-1,5	-4,0	24,0
390	37,3	52,8	139,8	29,6	-1,7	-5,0	21,7
420	34,1	45,1	113,1	25,0	-1,9	-6,0	19,8
450	31,4	38,8	92,7	21,3	-2,1	-6,0	18,2
480	29,0	33,7	77,0	18,3	-2,3	-7,0	16,7
510	26,9	29,5	64,5	15,9	-2,6	-8,0	15,5
540	25,1	25,9	54,6	13,8	-2,8	-8,0	14,4
570	23,5	22,9	46,6	12,0	-3,0	-9,0	13,4
600	22,0	20,4	40,0	10,5	-3,2	-9,0	12,5
630	20,7	18,2	33,2	9,21	-3,3	-10,0	11,7
660	19,5	16,3	27,8	8,09	-3,5	-10,0	11,0
690	18,4	14,6	23,5	7,11	-3,6	-10,0	10,3
720	17,4	13,1	19,9	6,25	-3,7	-10,0	9,74
750	16,5	11,8	16,9	5,49	-3,7	-11,0	9,19
780	15,3	10,7	14,8	4,82	-3,8	-10,0	8,68
810	13,9	9,67	13,0	4,22	-3,7	-10,0	8,22
840	12,6	8,76	11,4	3,68	-3,6	-10,0	7,68
870	11,4	7,94	10,1	3,20	-3,5	-9,0	6,91
900	10,3	7,20	8,84	2,76	-3,3	-8,0	6,22
930	9,34	6,53	7,77	2,37	-3,0	-7,0	5,59
960	8,46	5,93	6,81	2,02	-2,6	-6,0	5,03
990	7,66	5,37	5,96	1,69	-2,2	-4,0	4,51
1020	6,93	4,87	5,19	-	-1,7	-2,0	4,04
1050	6,26	4,41	4,50	-	-1,0	0,0	3,60
1080	5,65	3,98	3,88	-	-0,3	3,0	3,21
1110	5,09	3,59	3,32	-	0,5	6,0	2,84
1140	4,57	3,23	2,81	-	1,5	10,0	2,50
1170	4,09	2,90	2,34	-	2,6	13,0	2,19
1200	3,64	2,59	1,92	-	3,8	18,0	1,90
1230	3,23	2,31	1,53	-	5,2	23,0	1,64
1260	-	-	-	-	-	-	-
1290	-	-	-	-	-	-	-
Sytuacja trwała							Syt. wyjątkowa
p _{d,lim} - dopuszczalne obciążenie obliczeniowe (stan graniczny nośności) p _{k,lim} - dopuszczalne obciążenie charakterystyczne (stan graniczny rozwarcia rys) p _{kt,lim} - dopuszczalne obciążenie długotrwałe (stan graniczny ugięcia lub dekompresji) p _{fi,lim} – zredukowana nośność płyt w warunkach pożaru a ₀ - doraźna strzałka ugięcie płyt (bezpośrednio po sprężeniu) (znak „-” oznacza ugięcie odwrotne) a _∞ - końcowa strzałka ugięcie płyt							

Tabl.A2.3 Dopuszczalne obciążenia zewnętrzne płyty SP26.5-8/REI60

SP26.5-8/REI60							
l _{eff}	p _{d.lim}	p _{k.lim}	p _{kt.lim}		a ₀	a _∞	p _{fi.lim}
			X0, XC1	XC2, XC3			
[cm]	[kN/m ²]				[mm]		[kN/m ²]
1	2	3	4	5	6	7	8
300	53,7	123,2	313,4	68,3	-1,4	-4,0	31,5
330	47,9	101,3	239,8	55,9	-1,7	-5,0	28,1
360	43,2	84,6	187,9	46,4	-2,0	-6,0	25,3
390	39,3	71,6	150,1	39,0	-2,3	-7,0	22,9
420	36,0	61,3	121,9	33,2	-2,6	-8,0	20,9
450	33,1	52,9	100,4	28,5	-2,9	-9,0	19,2
480	30,6	46,1	83,7	24,6	-3,2	-10,0	17,7
510	28,4	40,5	70,5	21,4	-3,6	-11,0	16,4
540	26,5	35,8	59,9	18,8	-3,9	-11,0	15,2
570	24,8	31,8	51,3	16,5	-4,2	-12,0	14,2
600	23,3	28,4	44,3	14,6	-4,6	-13,0	13,3
630	21,9	25,4	37,1	12,9	-4,9	-14,0	12,4
660	20,6	22,9	31,4	11,4	-5,2	-15,0	11,7
690	19,5	20,7	26,7	10,2	-5,5	-16,0	11,0
720	18,4	18,7	22,8	9,07	-5,7	-16,0	10,4
750	17,5	17,0	19,6	8,10	-5,9	-17,0	9,80
780	16,6	15,5	17,3	7,23	-6,1	-17,0	9,27
810	15,8	14,1	15,3	6,46	-6,3	-18,0	8,78
840	15,0	12,9	13,6	5,77	-6,4	-18,0	8,33
870	14,3	11,8	12,1	5,15	-6,4	-18,0	7,91
900	13,7	10,8	10,7	4,60	-6,4	-17,0	7,52
930	13,1	9,90	9,55	4,09	-6,4	-17,0	7,16
960	12,5	9,09	8,49	3,63	-6,2	-16,0	6,82
990	11,6	8,36	7,53	3,21	-6,0	-15,0	6,50
1020	10,7	7,68	6,68	2,83	-5,7	-14,0	6,20
1050	9,79	7,07	5,91	2,48	-5,4	-12,0	5,89
1080	8,98	6,50	5,21	2,16	-4,9	-10,0	5,36
1110	8,24	5,98	4,58	1,87	-4,3	-8,0	4,88
1140	7,56	5,50	4,00	1,60	-3,6	-5,0	4,44
1170	6,92	5,06	3,48	-	-2,8	-2,0	4,03
1200	6,34	4,65	3,00	-	-1,9	1,0	3,65
1230	5,80	4,27	2,56	-	-0,8	5,0	3,30
1260	5,29	3,91	2,16	-	0,4	9,0	2,97
1290	4,82	3,58	1,79	-	1,8	14,0	2,67
Sytuacja trwała							Syt. wyjątkowa
p _{d.lim} - dopuszczalne obciążenie obliczeniowe (stan graniczny nośności) p _{k.lim} - dopuszczalne obciążenie charakterystyczne (stan graniczny rozwarcia rys) p _{kt.lim} - dopuszczalne obciążenie długotrwałe (stan graniczny ugięcia lub dekompresji) p _{fi.lim} – zredukowana nośność płyt w warunkach pożaru a ₀ - doraźna strzałka ugięcie płyt (bezpośrednio po sprzężeniu) (znak „-” oznacza ugięcie odwrotne) a _∞ - końcowa strzałka ugięcie płyt							

Tabl.A2.4 Dopuszczalne obciążenia zewnętrzne płyty SP26.5-10/REI60

SP26.5-10/REI60							
l _{eff}	p _{d.lim}	p _{k.lim}	p _{kt.lim}		a ₀	a _∞	p _{fi.lim}
			X0, XC1	XC2, XC3			
[cm]	[kN/m ²]				[mm]		[kN/m ²]
1	2	3	4	5	6	7	8
300	56,0	154,4	330,0	83,2	-1,7	-5,0	32,9
330	50,1	127,0	253,5	68,2	-2,1	-6,0	29,4
360	45,2	106,2	199,3	56,8	-2,4	-7,0	26,4
390	41,1	90,0	159,8	47,9	-2,8	-8,0	24,0
420	37,6	77,2	130,2	40,8	-3,2	-9,0	21,9
450	34,7	66,8	107,7	35,1	-3,7	-11,0	20,1
480	32,1	58,4	90,1	30,5	-4,1	-12,0	18,6
510	29,8	51,3	76,1	26,6	-4,5	-13,0	17,2
540	27,8	45,4	64,9	23,4	-5,0	-15,0	16,0
570	26,0	40,5	55,8	20,7	-5,5	-16,0	14,9
600	24,4	36,2	48,3	18,3	-5,9	-17,0	14,0
630	23,0	32,5	40,8	16,3	-6,4	-18,0	13,1
660	21,7	29,4	34,7	14,6	-6,8	-20,0	12,3
690	20,5	26,6	29,7	13,0	-7,2	-21,0	11,6
720	19,4	24,2	25,6	11,7	-7,6	-22,0	11,0
750	18,4	22,0	22,2	10,5	-8,0	-23,0	10,4
780	17,5	20,1	19,7	9,48	-8,4	-24,0	9,80
810	16,7	18,4	17,6	8,55	-8,7	-24,0	9,29
840	15,9	16,9	15,7	7,72	-9,0	-25,0	8,83
870	15,1	15,6	14,0	6,97	-9,3	-26,0	8,39
900	14,5	14,3	12,5	6,30	-9,5	-26,0	7,98
930	13,8	13,2	11,2	5,69	-9,6	-26,0	7,60
960	13,2	12,2	10,1	5,13	-9,7	-26,0	7,25
990	12,7	11,3	9,01	4,63	-9,7	-26,0	6,92
1020	12,2	10,5	8,07	4,17	-9,6	-25,0	6,61
1050	11,7	9,68	7,23	3,75	-9,5	-24,0	6,31
1080	11,2	8,98	6,46	3,36	-9,3	-23,0	6,03
1110	10,8	8,33	5,76	3,01	-8,9	-21,0	5,77
1140	10,4	7,73	5,13	2,68	-8,5	-20,0	5,53
1170	9,67	7,18	4,55	2,38	-8,0	-17,0	5,29
1200	8,95	6,67	4,02	2,09	-7,3	-15,0	5,07
1230	8,28	6,19	3,53	1,83	-6,5	-12,0	4,86
1260	7,66	5,75	3,09	1,59	-5,6	-8,0	4,51
1290	7,08	5,34	2,67	-	-4,5	-4,0	4,13
Sytuacja trwała							Syt. wyjątkowa
p _{d.lim} - dopuszczalne obciążenie obliczeniowe (stan graniczny nośności) p _{k.lim} - dopuszczalne obciążenie charakterystyczne (stan graniczny rozwarcia rys) p _{kt.lim} - dopuszczalne obciążenie długotrwałe (stan graniczny ugięcia lub dekompresji) p _{fi.lim} – zredukowana nośność płyt w warunkach pożaru a ₀ - doraźna strzałka ugięcie płyt (bezpośrednio po sprężeniu) (znak „-” oznacza ugięcie odwrotne) a _∞ - końcowa strzałka ugięcie płyt							

Tabl.A2.5 Dopuszczalne obciążenia zewnętrzne płyty SP26.5-12/REI60

SP26.5-12/REI60							
l _{eff}	p _{d.lim}	p _{k.lim}	p _{kt.lim}		a ₀	a _∞	p _{fi.lim}
			X0, XC1	XC2, XC3			
[cm]	[kN/m ²]				[mm]		[kN/m ²]
1	2	3	4	5	6	7	8
300	58,1	171,4	335,8	87,3	-1,9	-5,0	34,2
330	52,0	141,1	258,2	71,6	-2,2	-6,0	30,5
360	46,9	118,0	203,2	59,6	-2,6	-8,0	27,5
390	42,7	100,1	163,1	50,3	-3,0	-9,0	24,9
420	39,1	85,9	133,1	43,0	-3,5	-10,0	22,8
450	36,0	74,4	110,1	37,0	-3,9	-11,0	20,9
480	33,4	65,0	92,2	32,1	-4,4	-13,0	19,3
510	31,0	57,3	78,0	28,1	-4,9	-14,0	17,9
540	28,9	50,7	66,6	24,7	-5,4	-15,0	16,7
570	27,1	45,2	57,3	21,8	-5,9	-17,0	15,6
600	25,4	40,5	49,6	19,4	-6,4	-18,0	14,6
630	24,0	36,5	42,0	17,3	-6,9	-20,0	13,7
660	22,6	32,9	35,8	15,5	-7,4	-21,0	12,9
690	21,4	29,9	30,7	13,9	-7,9	-22,0	12,1
720	20,3	27,2	26,5	12,5	-8,3	-23,0	11,5
750	19,2	24,8	23,0	11,2	-8,8	-24,0	10,9
780	18,3	22,7	20,5	10,1	-9,2	-26,0	10,3
810	17,4	20,8	18,3	9,17	-9,6	-26,0	9,76
840	16,6	19,1	16,3	8,29	-10,0	-27,0	9,27
870	15,9	17,6	14,6	7,51	-10,3	-28,0	8,82
900	15,2	16,3	13,1	6,81	-10,6	-28,0	8,40
930	14,5	15,1	11,8	6,17	-10,8	-29,0	8,01
960	13,9	13,9	10,6	5,59	-11,0	-29,0	7,64
990	13,3	12,9	9,50	5,06	-11,0	-29,0	7,30
1020	12,8	12,0	8,53	4,58	-11,1	-28,0	6,98
1050	12,3	11,1	7,66	4,14	-11,0	-28,0	6,68
1080	11,8	10,4	6,87	3,73	-10,9	-27,0	6,39
1110	11,4	9,63	6,15	3,36	-10,6	-26,0	6,12
1140	10,9	8,97	5,50	3,01	-10,3	-24,0	5,86
1170	10,5	8,36	4,90	2,70	-9,9	-22,0	5,62
1200	10,1	7,79	4,36	2,40	-9,3	-20,0	5,39
1230	9,78	7,27	3,86	2,13	-8,6	-17,0	5,18
1260	9,43	6,78	3,40	1,88	-7,8	-14,0	4,97
1290	9,08	6,33	2,97	1,64	-6,9	-10,0	4,77
Sytuacja trwała							Syt. wyjątkowa
p _{d.lim} - dopuszczalne obciążenie obliczeniowe (stan graniczny nośności) p _{k.lim} - dopuszczalne obciążenie charakterystyczne (stan graniczny rozwarcia rys) p _{kt.lim} - dopuszczalne obciążenie długotrwałe (stan graniczny ugięcia lub dekompresji) p _{fi.lim} – zredukowana nośność płyt w warunkach pożaru a ₀ - doraźna strzałka ugięcie płyt (bezpośrednio po sprężeniu) (znak „-” oznacza ugięcie odwrotne) a _∞ - końcowa strzałka ugięcie płyt							

Tabl.A2.6 Dopuszczalne obciążenia zewnętrzne płyty SP26.5-8/REI120

SP26.5-8/REI120							
l _{eff}	p _{d.lim}	p _{k.lim}	p _{kt.lim}		a ₀	a _∞	p _{fi.lim}
			X0, XC1	XC2, XC3, XC4, XD1/XS1			
[cm]	[kN/m ²]				[mm]		[kN/m ²]
1	2	3	4	5	6	7	8
300	53,5	112,1	298,7	64,2	-1,1	-3,0	28,5
330	47,8	92,1	227,7	52,5	-1,3	-4,0	25,4
360	43,2	76,8	177,8	43,6	-1,6	-5,0	22,8
390	39,2	65,0	141,6	36,6	-1,8	-5,0	20,7
420	35,9	55,6	114,6	31,1	-2,0	-6,0	18,8
450	33,1	48,0	94,1	26,6	-2,3	-7,0	17,3
480	30,6	41,8	78,2	23,0	-2,5	-8,0	15,9
510	28,4	36,6	65,6	20,0	-2,8	-8,0	14,7
540	26,5	32,3	55,6	17,5	-3,0	-9,0	13,6
570	24,8	28,6	47,4	15,3	-3,3	-10,0	12,7
600	23,3	25,5	40,7	13,5	-3,5	-10,0	11,9
630	21,9	22,8	33,9	11,9	-3,7	-11,0	11,1
660	20,6	20,5	28,5	10,5	-3,9	-11,0	10,4
690	19,5	18,5	24,0	9,36	-4,0	-11,0	9,78
720	18,5	16,7	20,4	8,31	-4,1	-12,0	9,21
750	17,5	15,1	17,4	7,39	-4,2	-12,0	8,68
780	16,6	13,7	15,3	6,57	-4,3	-12,0	8,20
810	15,8	12,5	13,4	5,85	-4,3	-12,0	7,75
840	15,1	11,4	11,8	5,20	-4,2	-11,0	7,34
870	14,4	10,4	10,4	4,61	-4,1	-11,0	6,95
900	13,4	9,48	9,18	4,08	-3,9	-10,0	6,60
930	12,2	8,67	8,09	3,61	-3,7	-9,0	6,26
960	11,2	7,93	7,11	3,17	-3,4	-8,0	5,95
990	10,2	7,25	6,24	2,78	-3,0	-6,0	5,38
1020	9,32	6,64	5,45	2,42	-2,5	-4,0	4,85
1050	8,52	6,08	4,75	2,09	-1,9	-2,0	4,38
1080	7,78	5,56	4,11	1,79	-1,3	1,0	3,94
1110	7,10	5,08	3,54	1,51	-0,5	4,0	3,53
1140	6,48	4,65	3,01	-	0,4	7,0	3,16
1170	5,90	4,24	2,54	-	1,5	11,0	2,82
1200	5,37	3,87	2,10	-	2,6	15,0	2,50
1230	4,87	3,52	1,71	-	3,9	20,0	2,20
1260	-	-	-	-	-	-	-
1290	-	-	-	-	-	-	-
Sytuacja trwała							Syt. wyjątkowa
p _{d.lim} - dopuszczalne obciążenie obliczeniowe (stan graniczny nośności) p _{k.lim} - dopuszczalne obciążenie charakterystyczne (stan graniczny rozwarcia rys) p _{kt.lim} - dopuszczalne obciążenie długotrwałe (stan graniczny ugięcia lub dekompresji) p _{fi.lim} - zredukowana nośność płyt w warunkach pożaru a ₀ - doraźna strzałka ugięcie płyt (bezpośrednio po sprężeniu) (znak „-” oznacza ugięcie odwrotne) a _∞ - końcowa strzałka ugięcie płyt							

Tabl.A2.7 Dopuszczalne obciążenia zewnętrzne płyty SP26.5-10/REI120

SP26.5-10/REI120							
l _{eff}	p _{d.lim}	p _{k.lim}	p _{kt.lim}		a ₀	a _∞	p _{fi.lim}
			X0, XC1	XC2, XC3, XC4, XD1/XS1			
[cm]	[kN/m²]				[mm]		[kN/m²]
1	2	3	4	5	6	7	8
300	55,9	137,3	307,4	76,3	-1,3	-4,0	29,8
330	50,0	112,9	234,9	62,5	-1,6	-5,0	26,6
360	45,1	94,4	183,8	52,0	-1,8	-5,0	23,9
390	41,1	79,9	146,7	43,8	-2,1	-6,0	21,7
420	37,6	68,4	119,0	37,3	-2,4	-7,0	19,8
450	34,7	59,2	97,9	32,0	-2,7	-8,0	18,1
480	32,1	51,6	81,5	27,7	-3,0	-9,0	16,7
510	29,8	45,4	68,6	24,2	-3,3	-10,0	15,5
540	27,8	40,1	58,2	21,2	-3,6	-11,0	14,4
570	26,1	35,6	49,8	18,7	-3,9	-11,0	13,4
600	24,5	31,8	42,9	16,5	-4,2	-12,0	12,5
630	23,0	28,6	35,9	14,7	-4,5	-13,0	11,7
660	21,7	25,7	30,3	13,1	-4,7	-14,0	11,0
690	20,5	23,3	25,7	11,7	-5,0	-14,0	10,4
720	19,4	21,1	21,9	10,4	-5,2	-15,0	9,75
750	18,5	19,2	18,7	9,34	-5,4	-15,0	9,21
780	17,5	17,5	16,5	8,38	-5,5	-15,0	8,70
810	16,7	16,0	14,6	7,53	-5,6	-15,0	8,24
840	15,9	14,6	12,9	6,76	-5,7	-15,0	7,81
870	15,2	13,4	11,4	6,07	-5,7	-15,0	7,41
900	14,5	12,3	10,1	5,45	-5,6	-15,0	7,03
930	13,9	11,3	8,98	4,88	-5,5	-14,0	6,69
960	13,3	10,4	7,95	4,37	-5,3	-13,0	6,36
990	12,7	9,59	7,02	3,91	-5,0	-12,0	6,05
1020	12,0	8,84	6,20	3,49	-4,6	-10,0	5,77
1050	11,1	8,16	5,45	3,10	-4,2	-8,0	5,50
1080	10,2	7,53	4,78	2,74	-3,7	-6,0	5,24
1110	9,40	6,95	4,17	2,41	-3,0	-4,0	5,00
1140	8,66	6,41	3,61	2,11	-2,2	-1,0	4,77
1170	7,97	5,92	3,10	1,83	-1,3	3,0	4,56
1200	7,33	5,46	2,64	1,57	-0,3	6,0	4,35
1230	6,74	5,04	2,22	-	0,8	11,0	4,16
1260	6,20	4,65	1,83	-	2,1	15,0	3,91
1290	5,69	4,28	1,47	-	3,6	21,0	3,57
Sytuacja trwała							Syt. wyjątkowa
p _{d.lim} - dopuszczalne obciążenie obliczeniowe (stan graniczny nośności) p _{k.lim} - dopuszczalne obciążenie charakterystyczne (stan graniczny rozwarcia rys) p _{kt.lim} - dopuszczalne obciążenie długotrwałe (stan graniczny ugięcia lub dekompresji) p _{fi.lim} - zredukowana nośność płyt w warunkach pożaru a ₀ - doraźna strzałka ugięcie płyt (bezpośrednio po sprężeniu) (znak „-” oznacza ugięcie odwrotne) a _∞ - końcowa strzałka ugięcie płyt							

Tabl.A2.8 Dopuszczalne obciążenia zewnętrzne płyty SP26.5-12/REI120

SP26.5-12/REI120							
l _{eff}	p _{d.lim}	p _{k.lim}	p _{kt.lim}		a ₀	a _∞	p _{fi.lim}
			X0, XC1	XC2, XC3, XC4, XD1/XS1			
[cm]	[kN/m ²]				[mm]		[kN/m ²]
1	2	3	4	5	6	7	8
300	58,1	166,3	322,3	90,8	-1,6	-5,0	31,0
330	52,0	136,9	247,2	74,5	-1,9	-6,0	27,7
360	47,0	114,5	194,1	62,0	-2,3	-7,0	24,9
390	42,8	97,1	155,4	52,4	-2,6	-8,0	22,6
420	39,2	83,3	126,5	44,7	-3,0	-9,0	20,6
450	36,1	72,1	104,4	38,5	-3,4	-10,0	18,9
480	33,5	63,0	87,2	33,4	-3,8	-11,0	17,5
510	31,1	55,4	73,6	29,2	-4,2	-12,0	16,2
540	29,0	49,1	62,7	25,7	-4,6	-13,0	15,0
570	27,2	43,7	53,8	22,7	-5,0	-15,0	14,0
600	25,5	39,1	46,5	20,2	-5,4	-16,0	13,1
630	24,1	35,2	39,2	18,0	-5,8	-17,0	12,3
660	22,7	31,8	33,2	16,1	-6,2	-18,0	11,6
690	21,5	28,8	28,4	14,4	-6,6	-19,0	10,9
720	20,3	26,2	24,4	13,0	-6,9	-20,0	10,3
750	19,3	23,9	21,1	11,7	-7,3	-20,0	9,68
780	18,4	21,8	18,7	10,6	-7,6	-21,0	9,16
810	17,5	20,0	16,6	9,56	-7,8	-22,0	8,68
840	16,7	18,4	14,8	8,65	-8,0	-22,0	8,23
870	15,9	16,9	13,2	7,83	-8,2	-22,0	7,82
900	15,2	15,6	11,8	7,10	-8,3	-22,0	7,43
930	14,6	14,4	10,5	6,44	-8,4	-22,0	7,07
960	14,0	13,3	9,36	5,83	-8,4	-22,0	6,73
990	13,4	12,3	8,36	5,28	-8,3	-21,0	6,42
1020	12,8	11,4	7,45	4,78	-8,2	-20,0	6,12
1050	12,3	10,6	6,64	4,32	-7,9	-19,0	5,84
1080	11,8	9,82	5,90	3,90	-7,6	-18,0	5,58
1110	11,4	9,12	5,23	3,52	-7,2	-16,0	5,33
1140	11,0	8,48	4,62	3,16	-6,7	-13,0	5,09
1170	10,3	7,88	4,06	2,83	-6,0	-11,0	4,87
1200	9,53	7,33	3,56	2,52	-5,2	-8,0	4,65
1230	8,84	6,82	3,09	2,24	-4,3	-4,0	4,45
1260	8,19	6,35	2,66	1,98	-3,3	0,0	4,26
1290	7,59	5,90	2,27	1,73	-2,1	4,0	4,08
Sytuacja trwała							Syt. wyjątkowa
p _{d.lim} - dopuszczalne obciążenie obliczeniowe (stan graniczny nośności) p _{k.lim} - dopuszczalne obciążenie charakterystyczne (stan graniczny rozwarcia rys) p _{kt.lim} - dopuszczalne obciążenie długotrwałe (stan graniczny ugięcia lub dekompresji) p _{fi.lim} – zredukowana nośność płyt w warunkach pożaru a ₀ - doraźna strzałka ugięcie płyt (bezpośrednio po sprężeniu) (znak „-” oznacza ugięcie odwrotne) a _∞ - końcowa strzałka ugięcie płyt							

A3. Dopuszczalne obciążenie płyt SP32

Tabl.A3.1 Dopuszczalne obciążenia zewnętrzne płyty SP32-5/REI60

SP32-5/REI60							
l _{eff}	p _{d.lim}	p _{k.lim}	p _{kt.lim}		a ₀	a _∞	p _{fi.lim}
			X0, XC1	XC2, XC3			
[cm]	[kN/m ²]				[mm]		[kN/m ²]
1	2	3	4	5	6	7	8
300	70,6	102,9	451,0	62,1	-0,8	-2,0	41,6
330	63,1	84,4	342,7	50,7	-0,9	-3,0	37,1
360	56,9	70,4	266,7	42,0	-1,1	-3,0	33,4
390	51,7	59,4	211,7	35,2	-1,3	-4,0	30,3
420	47,4	50,7	171,0	29,9	-1,4	-4,0	27,7
450	43,6	43,7	140,1	25,6	-1,6	-5,0	25,5
480	40,4	38,0	116,2	22,0	-1,8	-5,0	23,5
510	37,6	33,3	97,4	19,1	-2,0	-6,0	21,8
540	35,1	29,3	82,4	16,6	-2,1	-6,0	20,3
570	32,8	25,9	70,3	14,5	-2,3	-7,0	19,0
600	30,6	23,0	60,4	12,8	-2,4	-7,0	17,8
630	27,2	20,6	50,2	11,2	-2,6	-8,0	16,7
660	24,4	18,4	42,1	9,91	-2,7	-8,0	15,3
690	21,8	16,5	35,5	8,76	-2,8	-8,0	13,7
720	19,6	14,9	30,1	7,74	-2,9	-9,0	12,2
750	17,7	13,4	25,7	6,85	-3,0	-9,0	11,0
780	16,0	12,2	22,7	6,05	-3,1	-9,0	9,85
810	14,4	11,0	20,0	5,35	-3,1	-9,0	8,86
840	13,0	10,0	17,8	4,71	-3,1	-9,0	7,96
870	11,8	9,07	15,8	4,15	-3,0	-8,0	7,16
900	10,7	8,24	14,0	3,63	-2,9	-8,0	6,44
930	9,67	7,49	12,5	3,17	-2,8	-7,0	5,78
960	8,76	6,81	11,1	2,75	-2,6	-6,0	5,19
990	7,92	6,18	9,85	2,37	-2,4	-5,0	4,65
1020	7,16	5,62	8,75	2,02	-2,1	-4,0	4,16
1050	6,46	5,10	7,77	1,69	-1,7	-3,0	3,70
1080	5,82	4,62	6,88	-	-1,3	-1,0	3,29
1110	5,23	4,18	6,08	-	-0,8	0,0	2,91
1140	4,69	3,78	5,35	-	-0,2	3,0	2,56
1170	4,19	3,41	4,69	-	0,5	5,0	2,23
1200	3,72	3,06	4,09	-	1,2	8,0	1,93
1230	3,29	2,74	3,54	-	2,1	11,0	1,65
1260	2,89	2,44	3,03	-	3,0	14,0	1,39
1290	2,52	2,17	2,57	-	4,0	18,0	1,15
Sytuacja trwała							Syt. wyjątkowa
p _{d.lim} - dopuszczalne obciążenie obliczeniowe (stan graniczny nośności) p _{k.lim} - dopuszczalne obciążenie charakterystyczne (stan graniczny rozwarcia rys) p _{kt.lim} - dopuszczalne obciążenie długotrwałe (stan graniczny ugięcia lub dekompresji) p _{fi.lim} - zredukowana nośność płyt w warunkach pożaru a ₀ - doraźna strzałka ugięcie płyt (bezpośrednio po sprężeniu) (znak „-” oznacza ugięcie odwrotne) a _∞ - końcowa strzałka ugięcie płyt							

Tabl.A3.2 Dopuszczalne obciążenia zewnętrzne płyty SP32-8/REI60

SP32-8/REI60							
l _{eff}	p _{d,lim}	p _{k,lim}	p _{kt,lim}		a ₀	a _∞	p _{fi,lim}
			X0, XC1	XC2, XC3			
[cm]	[kN/m ²]				[mm]		[kN/m ²]
1	2	3	4	5	6	7	8
300	76,6	166,9	489,2	96,1	-1,2	-4,0	45,3
330	68,5	137,3	374,0	78,8	-1,5	-4,0	40,4
360	61,8	114,8	292,9	65,7	-1,8	-5,0	36,4
390	56,3	97,3	234,0	55,4	-2,0	-6,0	33,0
420	51,6	83,5	190,1	47,3	-2,3	-7,0	30,2
450	47,6	72,3	156,7	40,7	-2,6	-8,0	27,8
480	44,1	63,1	130,7	35,4	-3,0	-9,0	25,7
510	41,0	55,5	110,3	30,9	-3,3	-10,0	23,9
540	38,3	49,1	93,9	27,2	-3,6	-11,0	22,2
570	35,9	43,7	80,6	24,0	-4,0	-12,0	20,8
600	33,7	39,1	69,7	21,4	-4,3	-13,0	19,5
630	31,8	35,2	58,6	19,0	-4,7	-14,0	18,4
660	30,1	31,7	49,7	17,0	-5,0	-15,0	17,3
690	28,5	28,7	42,5	15,3	-5,3	-16,0	16,3
720	27,0	26,1	36,5	13,7	-5,6	-16,0	15,5
750	25,7	23,8	31,5	12,4	-5,9	-17,0	14,7
780	24,5	21,7	28,1	11,2	-6,2	-18,0	13,9
810	23,3	19,9	25,1	10,1	-6,5	-19,0	13,3
840	22,3	18,3	22,4	9,14	-6,7	-19,0	12,6
870	21,3	16,8	20,1	8,28	-7,0	-20,0	12,1
900	19,8	15,5	18,1	7,50	-7,1	-20,0	11,5
930	18,3	14,3	16,3	6,80	-7,3	-20,0	11,0
960	16,8	13,2	14,7	6,16	-7,4	-20,0	10,4
990	15,5	12,2	13,2	5,58	-7,5	-20,0	9,55
1020	14,3	11,3	11,9	5,05	-7,5	-20,0	8,78
1050	13,2	10,5	10,8	4,56	-7,4	-20,0	8,06
1080	12,2	9,69	9,72	4,12	-7,4	-19,0	7,41
1110	11,3	8,99	8,77	3,71	-7,2	-19,0	6,81
1140	10,4	8,34	7,90	3,33	-7,0	-18,0	6,25
1170	9,61	7,74	7,11	2,98	-6,7	-16,0	5,74
1200	8,87	7,19	6,40	2,66	-6,3	-15,0	5,27
1230	8,20	6,68	5,74	2,36	-5,9	-13,0	4,83
1260	7,56	6,20	5,13	2,08	-5,3	-11,0	4,42
1290	6,98	5,76	4,58	1,82	-4,7	-8,0	4,04
1320	6,44	5,40	3,69	-	-2,4	0,0	3,69
1350	5,93	5,01	3,23	-	-1,4	3,0	3,36
1380	5,45	4,64	2,81	-	-0,4	7,0	3,05
1410	5,00	4,30	2,41	-	0,8	12,0	2,76
1440	4,58	3,97	2,04	-	2,1	16,0	2,48
1470	4,18	3,67	1,70	-	3,5	21,0	2,23
1500	-	-	-	-	-	-	-
1530	-	-	-	-	-	-	-
1560	-	-	-	-	-	-	-
1590	-	-	-	-	-	-	-
1620	-	-	-	-	-	-	-
1650	-	-	-	-	-	-	-
1680	-	-	-	-	-	-	-
1710	-	-	-	-	-	-	-
1740	-	-	-	-	-	-	-
1770	-	-	-	-	-	-	-
1800	-	-	-	-	-	-	-
Sytuacja trwała							Syt. wyjątkowa
p _{d,lim} - dopuszczalne obciążenie obliczeniowe (stan graniczny nośności) p _{k,lim} - dopuszczalne obciążenie charakterystyczne (stan graniczny rozwarcia rys) p _{kt,lim} - dopuszczalne obciążenie długotrwałe (stan graniczny ugięcia lub dekompresji) p _{fi,lim} – zredukowana nośność płyt w warunkach pożaru a ₀ - doraźna strzałka ugięcie płyt (bezpośrednio po sprzężeniu) (znak „-” oznacza ugięcie odwrotne) a _∞ - końcowa strzałka ugięcie płyt							

Tabl.A3.3 Dopuszczalne obciążenia zewnętrzne płyty SP32-10/REI60

SP32-10/REI60							
l _{eff}	p _{d.lim}	p _{k.lim}	p _{kt.lim}		a ₀	a _∞	p _{fi.lim}
			X0, XC1	XC2, XC3			
[cm]	[kN/m²]				[mm]		[kN/m²]
1	2	3	4	5	6	7	8
300	80,1	179,5	491,3	95,8	-1,3	-4,0	47,3
330	71,6	147,7	375,6	78,6	-1,5	-4,0	42,2
360	64,7	123,6	294,1	65,5	-1,8	-5,0	38,1
390	58,9	104,8	235,0	55,3	-2,1	-6,0	34,6
420	54,0	89,9	190,9	47,2	-2,4	-7,0	31,7
450	49,8	77,9	157,4	40,6	-2,7	-8,0	29,1
480	46,1	68,1	131,3	35,3	-3,0	-9,0	27,0
510	43,0	59,9	110,8	30,9	-3,4	-10,0	25,0
540	40,1	53,1	94,3	27,1	-3,7	-11,0	23,4
570	37,6	47,3	80,9	24,0	-4,0	-12,0	21,9
600	35,4	42,3	70,0	21,3	-4,4	-13,0	20,5
630	33,4	38,1	58,9	19,0	-4,7	-14,0	19,3
660	31,6	34,4	49,9	17,0	-5,1	-15,0	18,2
690	29,9	31,2	42,7	15,3	-5,4	-16,0	17,2
720	28,4	28,4	36,7	13,7	-5,8	-16,0	16,3
750	27,0	25,9	31,7	12,4	-6,1	-17,0	15,5
780	25,7	23,7	28,2	11,2	-6,4	-18,0	14,7
810	24,6	21,7	25,2	10,1	-6,7	-19,0	14,0
840	23,5	20,0	22,6	9,16	-6,9	-19,0	13,4
870	22,5	18,4	20,3	8,30	-7,1	-20,0	12,8
900	21,5	16,9	18,2	7,52	-7,3	-20,0	12,2
930	20,7	15,7	16,4	6,82	-7,5	-20,0	11,7
960	19,8	14,5	14,8	6,19	-7,6	-21,0	11,2
990	19,1	13,4	13,3	5,61	-7,7	-21,0	10,7
1020	18,3	12,5	12,0	5,08	-7,8	-20,0	10,3
1050	17,6	11,6	10,9	4,60	-7,7	-20,0	9,86
1080	16,3	10,7	9,81	4,15	-7,7	-20,0	9,48
1110	15,2	9,99	8,85	3,74	-7,5	-19,0	9,11
1140	14,1	9,29	7,99	3,37	-7,3	-18,0	8,65
1170	13,1	8,65	7,20	3,02	-7,1	-17,0	8,02
1200	12,2	8,06	6,47	2,70	-6,7	-15,0	7,43
1230	11,4	7,51	5,81	2,40	-6,3	-13,0	6,88
1260	10,6	6,99	5,21	2,12	-5,8	-11,0	6,38
1290	9,86	6,52	4,65	1,86	-5,1	-9,0	5,91
1320	9,19	6,11	3,73	1,55	-2,7	0,0	5,47
1350	8,55	5,69	3,27	-	-1,7	3,0	5,06
1380	7,96	5,30	2,84	-	-0,7	7,0	4,68
1410	7,41	4,93	2,45	-	0,4	11,0	4,32
1440	6,89	4,58	2,08	-	1,7	16,0	3,98
1470	6,40	4,26	1,74	-	3,1	21,0	3,66
1500	5,94	3,95	1,42	-	4,6	26,0	3,36
1530	-	-	-	-	-	-	-
1560	-	-	-	-	-	-	-
1590	-	-	-	-	-	-	-
1620	-	-	-	-	-	-	-
1650	-	-	-	-	-	-	-
1680	-	-	-	-	-	-	-
1710	-	-	-	-	-	-	-
1740	-	-	-	-	-	-	-
1770	-	-	-	-	-	-	-
1800	-	-	-	-	-	-	-
Sytuacja trwała							Syt. wyjątkowa
p _{d.lim} - dopuszczalne obciążenie obliczeniowe (stan graniczny nośności) p _{k.lim} - dopuszczalne obciążenie charakterystyczne (stan graniczny rozwarcia rys) p _{kt.lim} - dopuszczalne obciążenie długotrwałe (stan graniczny ugięcia lub dekompresji) p _{fi.lim} – zredukowana nośność płyt w warunkach pożaru a ₀ - doraźna strzałka ugięcie płyt (bezpośrednio po sprzężeniu) (znak „-” oznacza ugięcie odwrotne) a _∞ - końcowa strzałka ugięcie płyt							

Tabl.A3.4 Dopuszczalne obciążenia zewnętrzne płyty SP32-11/REI60

SP32-11/REI60							
l _{eff}	p _{d,lim}	p _{k,lim}	p _{kt,lim}		a ₀	a _∞	p _{fi,lim}
			X0, XC1	XC2, XC3			
[cm]	[kN/m ²]				[mm]		[kN/m ²]
1	2	3	4	5	6	7	8
300	81,7	197,8	500,8	103,9	-1,4	-4,0	48,3
330	73,1	162,9	383,4	85,3	-1,7	-5,0	43,1
360	66,0	136,3	300,7	71,1	-2,0	-6,0	38,9
390	60,1	115,7	240,5	60,1	-2,3	-7,0	35,3
420	55,1	99,3	195,7	51,3	-2,6	-8,0	32,3
450	50,8	86,1	161,5	44,3	-3,0	-9,0	29,8
480	47,1	75,2	134,9	38,5	-3,3	-10,0	27,5
510	43,9	66,3	113,9	33,7	-3,7	-11,0	25,6
540	41,0	58,7	97,1	29,7	-4,1	-12,0	23,9
570	38,5	52,4	83,5	26,3	-4,5	-13,0	22,4
600	36,2	47,0	72,3	23,4	-4,9	-14,0	21,0
630	34,1	42,3	61,0	20,9	-5,3	-15,0	19,8
660	32,3	38,2	51,8	18,7	-5,7	-16,0	18,6
690	30,6	34,7	44,4	16,8	-6,1	-17,0	17,6
720	29,1	31,6	38,3	15,2	-6,4	-18,0	16,7
750	27,6	28,9	33,2	13,7	-6,8	-19,0	15,9
780	26,3	26,4	29,6	12,4	-7,2	-20,0	15,1
810	25,1	24,3	26,5	11,3	-7,5	-21,0	14,4
840	24,0	22,3	23,7	10,2	-7,8	-22,0	13,7
870	23,0	20,6	21,3	9,29	-8,1	-23,0	13,1
900	22,1	19,0	19,2	8,45	-8,4	-23,0	12,5
930	21,2	17,6	17,3	7,69	-8,7	-24,0	12,0
960	20,3	16,3	15,7	7,01	-8,9	-24,0	11,5
990	19,5	15,1	14,2	6,38	-9,0	-24,0	11,0
1020	18,8	14,1	12,8	5,81	-9,1	-24,0	10,5
1050	18,1	13,1	11,6	5,29	-9,2	-24,0	10,1
1080	17,5	12,2	10,5	4,81	-9,2	-24,0	9,74
1110	16,8	11,4	9,51	4,36	-9,2	-23,0	9,37
1140	15,9	10,6	8,61	3,96	-9,1	-23,0	9,02
1170	14,8	9,89	7,79	3,58	-8,9	-22,0	8,69
1200	13,9	9,24	7,04	3,23	-8,6	-21,0	8,38
1230	12,9	8,63	6,35	2,91	-8,3	-19,0	7,89
1260	12,1	8,07	5,72	2,61	-7,9	-17,0	7,34
1290	11,3	7,55	5,14	2,33	-7,4	-15,0	6,82
1320	10,5	7,10	4,22	2,01	-5,0	-7,0	6,34
1350	9,84	6,64	3,73	1,76	-4,2	-4,0	5,89
1380	9,19	6,20	3,29	1,53	-3,3	-1,0	5,47
1410	8,59	5,80	2,88	-	-2,3	3,0	5,08
1440	8,02	5,42	2,49	-	-1,2	8,0	4,71
1470	7,48	5,06	2,13	-	0,1	12,0	4,36
1500	6,98	4,73	1,80	-	1,5	17,0	4,04
1530	6,50	4,41	1,49	-	3,1	23,0	3,73
1560	-	-	-	-	-	-	-
1590	-	-	-	-	-	-	-
1620	-	-	-	-	-	-	-
1650	-	-	-	-	-	-	-
1680	-	-	-	-	-	-	-
1710	-	-	-	-	-	-	-
1740	-	-	-	-	-	-	-
1770	-	-	-	-	-	-	-
1800	-	-	-	-	-	-	-
1830	-	-	-	-	-	-	-
Sytuacja trwała							Syt. wyjątkowa
p _{d,lim} - dopuszczalne obciążenie obliczeniowe (stan graniczny nośności) p _{k,lim} - dopuszczalne obciążenie charakterystyczne (stan graniczny rozwarcia rys) p _{kt,lim} - dopuszczalne obciążenie długotrwałe (stan graniczny ugięcia lub dekompresji) p _{fi,lim} – zredukowana nośność płyt w warunkach pożaru a ₀ - doraźna strzałka ugięcie płyt (bezpośrednio po sprężeniu) (znak „-” oznacza ugięcie odwrotne) a _∞ - końcowa strzałka ugięcie płyt							

Tabl.A3.5 Dopuszczalne obciążenia zewnętrzne płyty SP32-13/REI60

SP32-13/REI60							
l _{eff}	p _{d.lim}	p _{k.lim}	p _{kt.lim}		a ₀	a _∞	p _{fi.lim}
			X0, XC1	XC2, XC3			
[cm]	[kN/m²]				[mm]		[kN/m²]
1	2	3	4	5	6	7	8
300	84,8	227,9	512,6	116,9	-1,5	-4,0	50,1
330	75,8	187,8	393,1	96,0	-1,9	-5,0	44,8
360	68,5	157,2	308,7	80,1	-2,2	-6,0	40,4
390	62,4	133,5	247,4	67,8	-2,5	-7,0	36,7
420	57,3	114,6	201,6	58,0	-2,9	-8,0	33,6
450	52,8	99,4	166,6	50,0	-3,3	-10,0	31,0
480	49,0	87,0	139,4	43,6	-3,7	-11,0	28,7
510	45,6	76,7	117,9	38,2	-4,2	-12,0	26,7
540	42,7	68,1	100,7	33,7	-4,6	-13,0	24,9
570	40,0	60,7	86,7	29,9	-5,0	-14,0	23,3
600	37,7	54,5	75,1	26,6	-5,5	-16,0	21,9
630	35,6	49,1	63,5	23,8	-6,0	-17,0	20,6
660	33,6	44,5	54,2	21,4	-6,4	-18,0	19,5
690	31,9	40,4	46,5	19,3	-6,9	-19,0	18,4
720	30,3	36,8	40,2	17,4	-7,3	-21,0	17,4
750	28,8	33,7	35,0	15,8	-7,8	-22,0	16,6
780	27,5	30,9	31,3	14,4	-8,2	-23,0	15,8
810	26,3	28,4	28,0	13,1	-8,7	-24,0	15,0
840	25,1	26,2	25,2	11,9	-9,1	-25,0	14,3
870	24,0	24,2	22,7	10,9	-9,5	-26,0	13,7
900	23,1	22,4	20,5	9,92	-9,8	-27,0	13,1
930	22,1	20,8	18,5	9,07	-10,2	-28,0	12,5
960	21,3	19,3	16,8	8,30	-10,5	-28,0	12,0
990	20,4	17,9	15,2	7,60	-10,7	-29,0	11,5
1020	19,7	16,7	13,8	6,95	-11,0	-29,0	11,1
1050	19,0	15,6	12,5	6,37	-11,1	-29,0	10,6
1080	18,3	14,5	11,4	5,83	-11,3	-29,0	10,2
1110	17,7	13,6	10,3	5,33	-11,3	-29,0	9,86
1140	17,1	12,7	9,40	4,88	-11,3	-29,0	9,49
1170	16,5	11,9	8,54	4,46	-11,3	-28,0	9,15
1200	15,9	11,2	7,75	4,06	-11,1	-27,0	8,83
1230	15,3	10,5	7,03	3,70	-10,9	-26,0	8,52
1260	14,3	9,80	6,37	3,37	-10,7	-25,0	8,23
1290	13,4	9,20	5,76	3,05	-10,3	-23,0	7,95
1320	12,6	8,68	4,83	2,71	-8,2	-16,0	8,00
1350	11,8	8,15	4,32	2,44	-7,5	-13,0	7,74
1380	11,1	7,65	3,85	2,18	-6,8	-10,0	7,49
1410	10,4	7,19	3,42	1,94	-5,9	-7,0	7,25
1440	9,73	6,75	3,01	1,71	-4,9	-3,0	7,03
1470	9,12	6,34	2,63	1,50	-3,8	1,0	6,81
1500	8,55	5,96	2,28	-	-2,5	6,0	6,50
1530	8,02	5,60	1,95	-	-1,1	11,0	6,10
1560	7,52	5,25	1,65	-	0,4	17,0	5,72
1590	-	-	-	-	-	-	-
1620	-	-	-	-	-	-	-
1650	-	-	-	-	-	-	-
1680	-	-	-	-	-	-	-
1710	-	-	-	-	-	-	-
1740	-	-	-	-	-	-	-
1770	-	-	-	-	-	-	-
1800	-	-	-	-	-	-	-
Sytuacja trwała							Syt. wyjątkowa
p _{d.lim} - dopuszczalne obciążenie obliczeniowe (stan graniczny nośności) p _{k.lim} - dopuszczalne obciążenie charakterystyczne (stan graniczny rozwarcia rys) p _{kt.lim} - dopuszczalne obciążenie długotrwałe (stan graniczny ugięcia lub dekompresji) p _{fi.lim} – zredukowana nośność płyt w warunkach pożaru a ₀ - doraźna strzałka ugięcie płyt (bezpośrednio po sprzężeniu) (znak „-” oznacza ugięcie odwrotne) a _∞ - końcowa strzałka ugięcie płyt							

Tabl.A3.6 Dopuszczalne obciążenia zewnętrzne płyty SP32-14/REI60

SP32-14/REI60							
l _{eff}	p _{d.lim}	p _{k.lim}	p _{kt.lim}		a ₀	a _∞	p _{fi.lim}
			X0, XC1	XC2, XC3			
[cm]	[kN/m ²]				[mm]		[kN/m ²]
1	2	3	4	5	6	7	8
300	86,2	242,9	518,3	123,2	-1,6	-5,0	51,0
330	77,1	200,1	397,8	101,2	-1,9	-6,0	45,6
360	69,7	167,7	312,7	84,5	-2,3	-7,0	41,1
390	63,5	142,4	250,7	71,5	-2,7	-8,0	37,4
420	58,3	122,3	204,4	61,2	-3,1	-9,0	34,2
450	53,8	106,1	169,1	52,8	-3,5	-10,0	31,5
480	49,9	92,9	141,6	46,0	-3,9	-11,0	29,2
510	46,5	81,9	119,8	40,4	-4,4	-12,0	27,2
540	43,5	72,7	102,4	35,6	-4,8	-14,0	25,3
570	40,8	64,9	88,2	31,6	-5,3	-15,0	23,7
600	38,4	58,3	76,5	28,2	-5,8	-16,0	22,3
630	36,2	52,5	64,8	25,3	-6,3	-18,0	21,0
660	34,3	47,6	55,3	22,7	-6,8	-19,0	19,8
690	32,5	43,3	47,6	20,5	-7,3	-21,0	18,8
720	30,9	39,5	41,2	18,5	-7,8	-22,0	17,8
750	29,4	36,1	35,9	16,8	-8,3	-23,0	16,9
780	28,0	33,1	32,1	15,3	-8,8	-24,0	16,1
810	26,8	30,5	28,8	13,9	-9,2	-26,0	15,3
840	25,6	28,1	25,9	12,7	-9,7	-27,0	14,6
870	24,5	26,0	23,3	11,6	-10,1	-28,0	14,0
900	23,5	24,1	21,1	10,6	-10,5	-29,0	13,4
930	22,6	22,3	19,1	9,73	-10,9	-30,0	12,8
960	21,7	20,8	17,3	8,92	-11,2	-30,0	12,3
990	20,9	19,3	15,7	8,18	-11,6	-31,0	11,8
1020	20,1	18,0	14,3	7,51	-11,8	-32,0	11,3
1050	19,4	16,8	13,0	6,89	-12,1	-32,0	10,9
1080	18,7	15,7	11,8	6,32	-12,2	-32,0	10,5
1110	18,0	14,7	10,8	5,80	-12,4	-32,0	10,1
1140	17,4	13,8	9,78	5,32	-12,4	-32,0	9,72
1170	16,8	12,9	8,90	4,88	-12,4	-31,0	9,37
1200	16,3	12,1	8,10	4,47	-12,4	-31,0	9,04
1230	15,8	11,4	7,36	4,08	-12,2	-30,0	8,73
1260	15,3	10,7	6,68	3,73	-12,0	-28,0	8,43
1290	14,4	10,0	6,06	3,40	-11,7	-27,0	8,15
1320	13,5	9,47	5,13	3,05	-9,7	-20,0	8,18
1350	12,7	8,91	4,61	2,76	-9,1	-17,0	7,92
1380	11,9	8,38	4,12	2,49	-8,4	-14,0	7,67
1410	11,2	7,88	3,68	2,24	-7,6	-11,0	7,43
1440	10,5	7,42	3,26	2,00	-6,7	-8,0	7,20
1470	9,86	6,98	2,87	1,78	-5,7	-4,0	6,97
1500	9,27	6,57	2,51	1,57	-4,5	1,0	6,76
1530	8,70	6,19	2,18	-	-3,2	6,0	6,56
1560	8,17	5,82	1,86	-	-1,7	11,0	6,36
1590	7,67	5,48	1,57	-	-0,1	17,0	6,18
1620	-	-	-	-	-	-	-
1650	-	-	-	-	-	-	-
1680	-	-	-	-	-	-	-
1710	-	-	-	-	-	-	-
1740	-	-	-	-	-	-	-
1770	-	-	-	-	-	-	-
1800	-	-	-	-	-	-	-
1830	-	-	-	-	-	-	-
1860	-	-	-	-	-	-	-
Sytuacja trwała							Syt. wyjątkowa
p _{d.lim} - dopuszczalne obciążenie obliczeniowe (stan graniczny nośności) p _{k.lim} - dopuszczalne obciążenie charakterystyczne (stan graniczny rozwarcia rys) p _{kt.lim} - dopuszczalne obciążenie długotrwałe (stan graniczny ugięcia lub dekompresji) p _{fi.lim} – zredukowana nośność płyt w warunkach pożaru a ₀ - doraźna strzałka ugięcie płyt (bezpośrednio po sprzężeniu) (znak „-” oznacza ugięcie odwrotne) a _∞ - końcowa strzałka ugięcie płyt							

Tabl.A3.7 Dopuszczalne obciążenia zewnętrzne płyty SP32-8/REI120

SP32-8/REI120							
l _{eff}	p _{d.lim}	p _{k.lim}	p _{kt.lim}		a ₀	a _∞	p _{fi.lim}
			X0, XC1	XC2, XC3, XC4, XD1/XS1			
[cm]	[kN/m ²]				[mm]		[kN/m ²]
1	2	3	4	5	6	7	8
300	76,2	150,5	467,3	89,3	-1,0	-3,0	36,9
330	68,2	123,8	356,1	73,1	-1,2	-4,0	32,8
360	61,6	103,5	278,0	60,9	-1,4	-4,0	29,6
390	56,1	87,6	221,4	51,3	-1,6	-5,0	26,8
420	51,5	75,1	179,3	43,8	-1,9	-6,0	24,5
450	47,5	64,9	147,3	37,6	-2,1	-6,0	22,5
480	44,0	56,6	122,6	32,6	-2,3	-7,0	20,7
510	40,9	49,8	103,0	28,5	-2,6	-8,0	19,2
540	38,2	44,0	87,5	25,0	-2,8	-8,0	17,9
570	35,9	39,1	74,8	22,1	-3,1	-9,0	16,7
600	33,7	35,0	64,5	19,6	-3,3	-10,0	15,6
630	31,8	31,4	53,9	17,4	-3,5	-10,0	14,6
660	30,0	28,3	45,5	15,6	-3,8	-11,0	13,8
690	28,5	25,6	38,6	13,9	-4,0	-12,0	13,0
720	27,0	23,2	33,0	12,5	-4,2	-12,0	12,3
750	25,7	21,1	28,3	11,2	-4,4	-13,0	11,6
780	24,5	19,2	25,1	10,1	-4,5	-13,0	11,0
810	22,9	17,6	22,3	9,10	-4,7	-13,0	10,4
840	20,9	16,1	19,8	8,20	-4,8	-13,0	9,89
870	19,1	14,8	17,7	7,40	-4,8	-13,0	9,40
900	17,5	13,6	15,8	6,67	-4,9	-13,0	8,95
930	16,1	12,5	14,2	6,02	-4,9	-13,0	8,53
960	14,8	11,5	12,7	5,42	-4,8	-13,0	8,13
990	13,6	10,6	11,3	4,88	-4,7	-12,0	7,76
1020	12,5	9,76	10,2	4,39	-4,6	-12,0	7,42
1050	11,5	9,01	9,09	3,94	-4,4	-11,0	7,09
1080	10,6	8,32	8,13	3,52	-4,1	-9,0	6,73
1110	9,74	7,69	7,26	3,14	-3,7	-8,0	6,17
1140	8,97	7,11	6,47	2,79	-3,3	-6,0	5,65
1170	8,25	6,57	5,76	2,46	-2,8	-5,0	5,16
1200	7,58	6,07	5,10	2,16	-2,2	-2,0	4,72
1230	6,97	5,60	4,50	1,88	-1,6	0,0	4,30
1260	6,39	5,17	3,96	1,62	-0,8	3,0	3,92
1290	5,86	4,77	3,45	-	0,0	6,0	3,56
1320	5,38	4,43	2,60	-	2,6	15,0	3,24
1350	4,91	4,08	2,19	-	3,8	20,0	2,93
1380	4,47	3,75	1,80	-	5,1	24,0	2,63
1410	4,07	3,44	1,45	-	6,5	29,0	2,36
1440	-	-	-	-	-	-	-
1470	-	-	-	-	-	-	-
1500	-	-	-	-	-	-	-
1530	-	-	-	-	-	-	-
1560	-	-	-	-	-	-	-
1590	-	-	-	-	-	-	-
1620	-	-	-	-	-	-	-
1650	-	-	-	-	-	-	-
1680	-	-	-	-	-	-	-
1710	-	-	-	-	-	-	-
1740	-	-	-	-	-	-	-
1770	-	-	-	-	-	-	-
1800	-	-	-	-	-	-	-
Sytuacja trwała							Syt. wyjątkowa
p _{d.lim} - dopuszczalne obciążenie obliczeniowe (stan graniczny nośności) p _{k.lim} - dopuszczalne obciążenie charakterystyczne (stan graniczny rozwarcia rys) p _{kt.lim} - dopuszczalne obciążenie długotrwałe (stan graniczny ugięcia lub dekompresji) p _{fi.lim} - zredukowana nośność płyt w warunkach pożaru a ₀ - doraźna strzałka ugięcie płyt (bezpośrednio po sprężeniu) (znak „-” oznacza ugięcie odwrotne) a _∞ - końcowa strzałka ugięcie płyt							

Tabl.A3.8 Dopuszczalne obciążenia zewnętrzne płyty SP32-11/REI120

SP32-11/REI120							
l _{eff}	p _{d.lim}	p _{k.lim}	p _{kt.lim}		a ₀	a _∞	p _{fi.lim}
			X0, XC1	XC2, XC3, XC4, XD1/XS1			
[cm]	[kN/m²]				[mm]		[kN/m²]
1	2	3	4	5	6	7	8
300	81,6	210,6	500,7	120,8	-1,4	-4,0	39,5
330	73,0	173,4	383,6	99,2	-1,7	-5,0	35,3
360	66,0	145,2	300,9	82,8	-2,0	-6,0	31,8
390	60,1	123,2	240,9	70,0	-2,3	-7,0	28,8
420	55,2	105,8	196,0	59,9	-2,7	-8,0	26,3
450	50,9	91,7	161,9	51,7	-3,0	-9,0	24,2
480	47,2	80,2	135,3	45,0	-3,4	-10,0	22,3
510	44,0	70,6	114,3	39,5	-3,8	-11,0	20,7
540	41,1	62,6	97,5	34,8	-4,2	-12,0	19,3
570	38,5	55,8	83,8	30,9	-4,6	-13,0	18,0
600	36,3	50,1	72,6	27,5	-5,0	-15,0	16,9
630	34,2	45,1	61,3	24,6	-5,4	-16,0	15,9
660	32,4	40,8	52,1	22,1	-5,8	-17,0	14,9
690	30,7	37,0	44,7	19,9	-6,2	-18,0	14,1
720	29,1	33,7	38,5	18,0	-6,6	-19,0	13,3
750	27,7	30,8	33,4	16,3	-7,0	-20,0	12,6
780	26,4	28,2	29,8	14,8	-7,4	-21,0	12,0
810	25,2	25,9	26,7	13,5	-7,7	-22,0	11,4
840	24,1	23,8	23,9	12,3	-8,0	-23,0	10,8
870	23,1	22,0	21,5	11,2	-8,4	-24,0	10,3
900	22,1	20,3	19,4	10,3	-8,6	-24,0	9,79
930	21,2	18,8	17,5	9,37	-8,9	-25,0	9,34
960	20,4	17,5	15,8	8,58	-9,1	-25,0	8,92
990	19,6	16,2	14,3	7,85	-9,3	-25,0	8,53
1020	18,8	15,1	12,9	7,19	-9,4	-26,0	8,16
1050	17,7	14,0	11,7	6,59	-9,5	-25,0	7,81
1080	16,5	13,1	10,6	6,03	-9,5	-25,0	7,48
1110	15,3	12,2	9,62	5,52	-9,5	-25,0	7,17
1140	14,3	11,4	8,71	5,05	-9,4	-24,0	6,88
1170	13,3	10,6	7,88	4,61	-9,2	-23,0	6,60
1200	12,4	9,92	7,12	4,21	-9,0	-22,0	6,34
1230	11,5	9,28	6,43	3,83	-8,7	-20,0	6,09
1260	10,7	8,68	5,79	3,48	-8,3	-19,0	5,85
1290	10,0	8,12	5,21	3,16	-7,8	-17,0	5,53
1320	9,30	7,64	4,34	2,82	-5,7	-9,0	5,11
1350	8,66	7,15	3,85	2,54	-5,0	-6,0	4,71
1380	8,06	6,69	3,39	2,28	-4,1	-3,0	4,35
1410	7,50	6,26	2,97	2,03	-3,1	1,0	4,00
1440	6,98	5,86	2,59	1,79	-1,9	5,0	3,68
1470	6,49	5,48	2,22	1,58	-0,7	10,0	3,37
1500	6,02	5,12	1,89	-	0,7	15,0	3,08
1530	5,59	4,79	1,57	-	2,2	21,0	2,81
1560	-	-	-	-	-	-	-
1590	-	-	-	-	-	-	-
1620	-	-	-	-	-	-	-
1650	-	-	-	-	-	-	-
1680	-	-	-	-	-	-	-
1710	-	-	-	-	-	-	-
1740	-	-	-	-	-	-	-
1770	-	-	-	-	-	-	-
1800	-	-	-	-	-	-	-
1830	-	-	-	-	-	-	-
Sytuacja trwała							Syt. wyjątkowa
p _{d.lim} - dopuszczalne obciążenie obliczeniowe (stan graniczny nośności) p _{k.lim} - dopuszczalne obciążenie charakterystyczne (stan graniczny rozwarcia rys) p _{kt.lim} - dopuszczalne obciążenie długotrwale (stan graniczny ugięcia lub dekompresji) p _{fi.lim} – zredukowana nośność płyt w warunkach pożaru a ₀ - doraźna strzałka ugięcie płyt (bezpośrednio po sprężeniu) (znak „-” oznacza ugięcie odwrotne) a _∞ - końcowa strzałka ugięcie płyt							

Tabl.A3.9 Dopuszczalne obciążenia zewnętrzne płyty SP32-14/REI120

SP32-14/REI120							
l _{eff}	p _{d.lim}	p _{k.lim}	p _{kt.lim}		a ₀	a _∞	p _{fi.lim}
			X0, XC1	XC2, XC3, XC4, XD1/XS1			
[cm]	[kN/m ²]				[mm]		[kN/m ²]
1	2	3	4	5	6	7	8
300	86,2	251,2	519,3	136,2	-1,6	-5,0	41,9
330	77,2	207,0	398,8	112,0	-2,0	-6,0	37,4
360	69,8	173,4	313,6	93,5	-2,3	-7,0	33,6
390	63,6	147,3	251,6	79,2	-2,7	-8,0	30,6
420	58,4	126,5	205,2	67,8	-3,1	-9,0	27,9
450	53,9	109,8	169,8	58,6	-3,6	-10,0	25,7
480	50,0	96,1	142,3	51,1	-4,0	-12,0	23,7
510	46,6	84,7	120,4	44,9	-4,5	-13,0	22,0
540	43,6	75,2	102,9	39,6	-4,9	-14,0	20,5
570	40,9	67,2	88,7	35,2	-5,4	-16,0	19,2
600	38,5	60,3	77,0	31,4	-5,9	-17,0	18,0
630	36,3	54,4	65,2	28,2	-6,4	-18,0	16,9
660	34,4	49,2	55,7	25,4	-6,9	-20,0	15,9
690	32,6	44,8	48,0	22,9	-7,4	-21,0	15,0
720	31,0	40,8	41,5	20,8	-7,9	-23,0	14,2
750	29,5	37,4	36,2	18,9	-8,5	-24,0	13,5
780	28,1	34,3	32,4	17,2	-8,9	-25,0	12,8
810	26,8	31,6	29,1	15,7	-9,4	-26,0	12,2
840	25,7	29,1	26,1	14,3	-9,9	-28,0	11,6
870	24,6	26,9	23,6	13,1	-10,3	-29,0	11,0
900	23,6	24,9	21,3	12,0	-10,8	-30,0	10,5
930	22,6	23,1	19,3	11,1	-11,2	-31,0	10,1
960	21,8	21,5	17,5	10,2	-11,5	-32,0	9,62
990	20,9	20,0	15,9	9,34	-11,9	-32,0	9,20
1020	20,1	18,6	14,5	8,60	-12,2	-33,0	8,81
1050	19,4	17,4	13,1	7,92	-12,4	-33,0	8,45
1080	18,7	16,3	12,0	7,30	-12,6	-33,0	8,10
1110	18,1	15,2	10,9	6,72	-12,7	-33,0	7,78
1140	17,5	14,3	9,92	6,19	-12,8	-33,0	7,47
1170	16,9	13,4	9,03	5,70	-12,8	-33,0	7,18
1200	16,3	12,6	8,22	5,25	-12,8	-32,0	6,90
1230	15,5	11,8	7,47	4,83	-12,7	-31,0	6,64
1260	14,5	11,1	6,79	4,44	-12,5	-30,0	6,39
1290	13,6	10,4	6,16	4,07	-12,2	-29,0	6,15
1320	12,7	9,83	5,25	3,70	-10,4	-22,0	6,17
1350	12,0	9,25	4,73	3,39	-9,8	-19,0	5,95
1380	11,2	8,70	4,24	3,09	-9,1	-17,0	5,71
1410	10,5	8,19	3,78	2,81	-8,4	-14,0	5,31
1440	9,87	7,71	3,36	2,55	-7,5	-10,0	4,93
1470	9,26	7,26	2,97	2,30	-6,5	-6,0	4,58
1500	8,69	6,84	2,61	2,07	-5,3	-2,0	4,24
1530	8,15	6,44	2,26	1,85	-4,0	3,0	3,93
1560	7,64	6,06	1,94	1,64	-2,6	8,0	3,63
1590	7,16	5,71	1,65	-	-1,0	14,0	3,35
1620	-	-	-	-	-	-	-
1650	-	-	-	-	-	-	-
1680	-	-	-	-	-	-	-
1710	-	-	-	-	-	-	-
1740	-	-	-	-	-	-	-
1770	-	-	-	-	-	-	-
1800	-	-	-	-	-	-	-
1830	-	-	-	-	-	-	-
Sytuacja trwała							Syt. wyjątkowa
p _{d.lim} - dopuszczalne obciążenie obliczeniowe (stan graniczny nośności) p _{k.lim} - dopuszczalne obciążenie charakterystyczne (stan graniczny rozwarcia rys) p _{kt.lim} - dopuszczalne obciążenie długotrwale (stan graniczny ugięcia lub dekompresji) p _{fi.lim} – zredukowana nośność płyt w warunkach pożaru a ₀ - doraźna strzałka ugięcie płyt (bezpośrednio po sprężeniu) (znak „-” oznacza ugięcie odwrotne) a _∞ - końcowa strzałka ugięcie płyt							

A4. Dopuszczalne obciążenie płyt SP40 i SP41

Tabl.A4.1 Dopuszczalne obciążenia zewnętrzne płyty SP40-8/REI60

SP40-8/REI60							
l _{eff}	p _{d,lim}	p _{k,lim}	p _{kt,lim}		a ₀	a _∞	p _{fi,lim}
			X0, XC1	XC2, XC3			
[cm]	[kN/m ²]				[mm]		[kN/m ²]
1	2	3	4	5	6	7	8
300	109,9	216,4	829,2	127,3	-1,0	-3,0	59,3
330	98,1	178,2	631,9	104,5	-1,2	-3,0	52,8
360	88,5	149,1	493,4	87,2	-1,4	-4,0	47,5
390	80,5	126,5	393,2	73,7	-1,6	-5,0	43,1
420	73,7	108,5	318,7	63,0	-1,8	-5,0	39,4
450	68,0	94,0	262,2	54,4	-2,1	-6,0	36,3
480	63,0	82,2	218,5	47,3	-2,3	-7,0	33,5
510	58,6	72,4	184,0	41,5	-2,6	-8,0	31,1
540	54,8	64,1	156,5	36,5	-2,9	-8,0	29,0
570	51,4	57,2	134,3	32,4	-3,1	-9,0	27,2
600	48,4	51,2	116,1	28,8	-3,4	-10,0	25,5
630	45,7	46,1	97,4	25,8	-3,7	-11,0	24,0
660	43,2	41,6	82,5	23,1	-4,0	-12,0	22,6
690	40,9	37,8	70,4	20,8	-4,3	-12,0	21,4
720	38,9	34,4	60,5	18,8	-4,5	-13,0	20,3
750	37,0	31,4	52,3	17,0	-4,8	-14,0	19,3
780	35,3	28,7	46,7	15,4	-5,1	-15,0	18,3
810	33,7	26,4	41,8	14,0	-5,4	-15,0	17,4
840	31,4	24,2	37,5	12,8	-5,6	-16,0	16,6
870	28,9	22,3	33,8	11,6	-5,8	-17,0	15,9
900	26,6	20,6	30,5	10,6	-6,1	-17,0	15,2
930	24,5	19,1	27,6	9,67	-6,3	-18,0	14,5
960	22,7	17,6	25,1	8,83	-6,4	-18,0	13,9
990	21,0	16,4	22,7	8,07	-6,6	-18,0	13,0
1020	19,4	15,2	20,7	7,37	-6,7	-19,0	12,0
1050	18,0	14,1	18,8	6,73	-6,8	-19,0	11,1
1080	16,7	13,1	17,2	6,14	-6,9	-19,0	10,3
1110	15,5	12,2	15,7	5,60	-6,9	-19,0	9,49
1140	14,4	11,4	14,3	5,10	-6,9	-18,0	8,78
1170	13,4	10,6	13,1	4,64	-6,9	-18,0	8,11
1200	12,4	9,90	11,9	4,22	-6,8	-18,0	7,50
1230	11,5	9,24	10,9	3,82	-6,6	-17,0	6,93
1260	10,7	8,62	9,93	3,45	-6,4	-16,0	6,40
1290	9,95	8,05	9,06	3,11	-6,2	-15,0	5,91
1320	9,26	7,60	7,71	2,71	-4,5	-9,0	5,46
1350	8,60	7,09	6,99	2,41	-4,0	-7,0	5,03
1380	7,98	6,62	6,32	2,13	-3,5	-5,0	4,63
1410	7,40	6,17	5,71	1,87	-2,9	-3,0	4,25
1440	6,85	5,75	5,14	1,63	-2,3	-1,0	3,90
1470	6,34	5,36	4,61	-	-1,5	2,0	3,57
1500	5,86	4,99	4,12	-	-0,7	5,0	3,26
1530	5,40	4,65	3,66	-	0,2	8,0	2,96
1560	4,98	4,32	3,23	-	1,3	12,0	2,69
1590	4,57	4,01	2,84	-	2,4	16,0	2,42
1620	4,19	3,72	2,46	-	3,6	20,0	2,18
1650	3,83	3,44	2,11	-	4,9	25,0	1,94
1680	3,49	3,18	1,79	-	6,3	30,0	1,72
1710	-	-	-	-	-	-	-
1740	-	-	-	-	-	-	-
1770	-	-	-	-	-	-	-
1800	-	-	-	-	-	-	-
Sytuacja trwała							Syt. wyjątkowa
p _{d,lim} - dopuszczalne obciążenie obliczeniowe (stan graniczny nośności) p _{k,lim} - dopuszczalne obciążenie charakterystyczne (stan graniczny rozwarcia rys) p _{kt,lim} - dopuszczalne obciążenie długotrwałe (stan graniczny ugięcia lub dekompresji) p _{fi,lim} – zredukowana nośność płyt w warunkach pożaru a ₀ - doraźna strzałka ugięcie płyt (bezpośrednio po sprzężeniu) (znak „-” oznacza ugięcie odwrotne) a _∞ - końcowa strzałka ugięcie płyt							

Tabl.A4.2 Dopuszczalne obciążenia zewnętrzne płyty SP40-10/REI60

SP40-10/REI60							
l _{eff}	p _{d.lim}	p _{k.lim}	p _{kt.lim}		a ₀	a _∞	p _{fi.lim}
			X0, XC1	XC2, XC3			
[cm]	[kN/m ²]				[mm]		[kN/m ²]
1	2	3	4	5	6	7	8
300	115,2	261,7	854,9	148,2	-1,1	-3,0	62,3
330	102,9	215,7	653,0	121,8	-1,4	-4,0	55,5
360	92,8	180,6	511,0	101,7	-1,6	-5,0	49,9
390	84,4	153,3	408,0	86,1	-1,9	-5,0	45,3
420	77,4	131,7	331,4	73,7	-2,2	-6,0	41,5
450	71,4	114,2	273,2	63,7	-2,4	-7,0	38,1
480	66,2	99,9	228,1	55,5	-2,8	-8,0	35,3
510	61,6	88,1	192,5	48,7	-3,1	-9,0	32,8
540	57,6	78,2	164,1	43,0	-3,4	-10,0	30,6
570	54,1	69,8	141,0	38,2	-3,8	-11,0	28,6
600	50,9	62,6	122,1	34,1	-4,1	-12,0	26,9
630	48,0	56,4	102,9	30,6	-4,5	-13,0	25,3
660	45,5	51,1	87,5	27,5	-4,8	-14,0	23,9
690	43,1	46,4	74,9	24,8	-5,2	-15,0	22,6
720	41,0	42,3	64,6	22,5	-5,6	-16,0	21,4
750	39,0	38,7	56,1	20,4	-5,9	-17,0	20,4
780	37,2	35,5	50,2	18,6	-6,3	-18,0	19,4
810	35,6	32,7	45,0	16,9	-6,6	-19,0	18,5
840	34,0	30,1	40,6	15,5	-7,0	-20,0	17,6
870	32,6	27,8	36,6	14,2	-7,3	-21,0	16,8
900	31,3	25,7	33,2	13,0	-7,6	-21,0	16,1
930	30,1	23,9	30,1	11,9	-7,9	-22,0	15,4
960	28,9	22,2	27,4	10,9	-8,2	-23,0	14,8
990	27,4	20,6	24,9	10,0	-8,5	-24,0	14,2
1020	25,5	19,2	22,7	9,23	-8,8	-24,0	13,6
1050	23,7	17,9	20,8	8,49	-9,0	-25,0	13,1
1080	22,1	16,7	19,0	7,81	-9,2	-25,0	12,6
1110	20,6	15,6	17,4	7,19	-9,3	-25,0	12,2
1140	19,2	14,6	15,9	6,61	-9,5	-26,0	11,7
1170	18,0	13,7	14,6	6,08	-9,5	-26,0	11,1
1200	16,8	12,8	13,4	5,58	-9,6	-25,0	10,3
1230	15,7	12,0	12,3	5,12	-9,6	-25,0	9,63
1260	14,7	11,3	11,3	4,70	-9,5	-25,0	8,98
1290	13,7	10,6	10,4	4,30	-9,5	-24,0	8,36
1320	12,9	10,0	8,96	3,87	-7,9	-19,0	7,80
1350	12,0	9,42	8,19	3,52	-7,6	-18,0	7,26
1380	11,3	8,85	7,47	3,20	-7,3	-16,0	6,77
1410	10,6	8,32	6,81	2,89	-6,9	-14,0	6,30
1440	9,88	7,81	6,20	2,61	-6,4	-12,0	5,86
1470	9,25	7,34	5,63	2,34	-5,8	-10,0	5,45
1500	8,65	6,90	5,10	2,09	-5,1	-8,0	5,06
1530	8,09	6,48	4,60	1,85	-4,4	-5,0	4,70
1560	7,56	6,08	4,14	1,63	-3,6	-2,0	4,36
1590	7,06	5,71	3,71	-	-2,7	1,0	4,03
1620	6,58	5,36	3,31	-	-1,7	5,0	3,73
1650	6,14	5,03	2,93	-	-0,5	9,0	3,44
1680	5,71	4,71	2,58	-	0,7	13,0	3,16
1710	5,31	4,41	2,24	-	2,0	18,0	2,90
1740	4,93	4,13	1,93	-	3,5	23,0	2,66
1770	4,57	3,86	1,63	-	5,1	29,0	2,42
1800	-	-	-	-	-	-	-
1830	-	-	-	-	-	-	-
Sytuacja trwała							Syt. wyjątkowa
p _{d.lim} - dopuszczalne obciążenie obliczeniowe (stan graniczny nośności) p _{k.lim} - dopuszczalne obciążenie charakterystyczne (stan graniczny rozwarcia rys) p _{kt.lim} - dopuszczalne obciążenie długotrwałe (stan graniczny ugięcia lub dekompresji) p _{fi.lim} - zredukowana nośność płyt w warunkach pożaru a ₀ - doraźna strzałka ugięcia płyt (bezpośrednio po sprężeniu) (znak „-” oznacza ugięcie odwrotne) a _∞ - końcowa strzałka ugięcia płyt							

Tabl.A4.3 Dopuszczalne obciążenia zewnętrzne płyty SP40-11/REI60

SP40-11/REI60							
l _{eff}	p _{d,lim}	p _{k,lim}	p _{kt,lim}		a ₀	a _∞	p _{fi,lim}
			X0, XC1	XC2, XC3			
[cm]	[kN/m ²]				[mm]		[kN/m ²]
1	2	3	4	5	6	7	8
300	117,7	288,0	870,1	160,8	-1,2	-4,0	63,6
330	105,1	237,4	665,4	132,2	-1,5	-4,0	56,7
360	94,8	198,9	521,3	110,4	-1,8	-5,0	51,0
390	86,3	168,9	416,8	93,5	-2,0	-6,0	46,3
420	79,1	145,1	338,9	80,1	-2,4	-7,0	42,4
450	72,9	125,9	279,7	69,3	-2,7	-8,0	39,0
480	67,6	110,2	233,8	60,4	-3,0	-9,0	36,1
510	63,0	97,2	197,5	53,1	-3,4	-10,0	33,5
540	58,9	86,3	168,5	46,9	-3,8	-11,0	31,3
570	55,3	77,1	145,0	41,7	-4,1	-12,0	29,3
600	52,0	69,2	125,7	37,3	-4,5	-13,0	27,5
630	49,1	62,4	106,2	33,4	-4,9	-14,0	25,9
660	46,5	56,5	90,4	30,1	-5,3	-15,0	24,5
690	44,1	51,4	77,6	27,2	-5,7	-16,0	23,2
720	41,9	46,9	67,1	24,7	-6,2	-18,0	22,0
750	39,9	43,0	58,3	22,5	-6,6	-19,0	20,9
780	38,1	39,4	52,3	20,5	-7,0	-20,0	19,9
810	36,4	36,3	47,0	18,7	-7,4	-21,0	18,9
840	34,9	33,5	42,4	17,1	-7,8	-22,0	18,1
870	33,4	31,0	38,3	15,7	-8,2	-23,0	17,3
900	32,1	28,7	34,7	14,4	-8,6	-24,0	16,5
930	30,8	26,6	31,6	13,2	-9,0	-25,0	15,8
960	29,6	24,8	28,7	12,2	-9,3	-26,0	15,2
990	28,5	23,1	26,2	11,2	-9,7	-27,0	14,6
1020	27,5	21,5	24,0	10,4	-10,0	-28,0	14,0
1050	26,5	20,1	21,9	9,55	-10,3	-28,0	13,5
1080	24,8	18,8	20,1	8,81	-10,5	-29,0	13,0
1110	23,1	17,6	18,4	8,13	-10,8	-29,0	12,5
1140	21,6	16,5	16,9	7,51	-11,0	-30,0	12,1
1170	20,2	15,5	15,5	6,93	-11,2	-30,0	11,6
1200	18,9	14,5	14,3	6,40	-11,3	-30,0	11,2
1230	17,8	13,6	13,1	5,90	-11,4	-30,0	10,8
1260	16,6	12,8	12,1	5,44	-11,4	-30,0	10,2
1290	15,6	12,1	11,1	5,01	-11,4	-30,0	9,57
1320	14,6	11,4	9,72	4,56	-10,0	-25,0	8,95
1350	13,7	10,8	8,91	4,19	-9,8	-24,0	8,37
1380	12,9	10,1	8,17	3,83	-9,6	-23,0	7,82
1410	12,1	9,55	7,48	3,51	-9,2	-21,0	7,31
1440	11,4	9,00	6,84	3,20	-8,9	-20,0	6,83
1470	10,7	8,48	6,24	2,91	-8,4	-18,0	6,38
1500	10,0	7,99	5,69	2,64	-7,9	-16,0	5,96
1530	9,41	7,53	5,17	2,38	-7,2	-13,0	5,56
1560	8,83	7,10	4,69	2,14	-6,5	-10,0	5,18
1590	8,28	6,69	4,24	1,91	-5,7	-7,0	4,83
1620	7,77	6,31	3,82	1,69	-4,8	-4,0	4,49
1650	7,28	5,94	3,42	-	-3,8	-1,0	4,18
1680	6,81	5,60	3,05	-	-2,7	3,0	3,87
1710	6,37	5,27	2,70	-	-1,5	8,0	3,59
1740	5,96	4,96	2,37	-	-0,2	13,0	3,32
1770	5,56	4,66	2,06	-	1,3	18,0	3,06
1800	5,18	4,38	1,77	-	2,9	23,0	2,82
1830	-	-	-	-	-	-	-
Sytuacja trwała							Syt. wyjątkowa
p _{d,lim} - dopuszczalne obciążenie obliczeniowe (stan graniczny nośności) p _{k,lim} - dopuszczalne obciążenie charakterystyczne (stan graniczny rozwarcia rys) p _{kt,lim} - dopuszczalne obciążenie długotrwałe (stan graniczny ugięcia lub dekompresji) p _{fi,lim} - zredukowana nośność płyt w warunkach pożaru a ₀ - doraźna strzałka ugięcie płyt (bezpośrednio po sprężeniu) (znak „-” oznacza ugięcie odwrotne) a _∞ - końcowa strzałka ugięcie płyt							

Tabl.A4.4 Dopuszczalne obciążenia zewnętrzne płyty SP40-13/REI60

SP40-13/REI60							
l _{eff}	p _{d.lim}	p _{k.lim}	p _{kt.lim}		a ₀	a _∞	p _{fi.lim}
			X0, XC1	XC2, XC3			
[cm]	[kN/m ²]				[mm]		[kN/m ²]
1	2	3	4	5	6	7	8
300	122,2	333,0	891,6	181,9	-1,4	-4,0	66,1
330	109,2	274,6	683,1	149,6	-1,7	-5,0	58,9
360	98,5	230,1	536,1	125,1	-2,0	-6,0	53,1
390	89,7	195,5	429,3	106,0	-2,3	-7,0	48,2
420	82,3	168,1	349,7	90,9	-2,7	-8,0	44,1
450	75,9	145,9	289,0	78,7	-3,0	-9,0	40,6
480	70,4	127,8	241,9	68,7	-3,4	-10,0	37,6
510	65,6	112,8	204,7	60,4	-3,8	-11,0	35,0
540	61,4	100,2	174,9	53,5	-4,3	-12,0	32,6
570	57,6	89,6	150,8	47,6	-4,7	-13,0	30,6
600	54,2	80,5	130,9	42,6	-5,1	-15,0	28,7
630	51,2	72,7	110,8	38,3	-5,6	-16,0	27,1
660	48,5	65,9	94,7	34,5	-6,1	-17,0	25,6
690	46,0	60,0	81,5	31,3	-6,6	-19,0	24,2
720	43,8	54,8	70,6	28,4	-7,1	-20,0	23,0
750	41,7	50,2	61,6	25,9	-7,5	-21,0	21,8
780	39,8	46,1	55,3	23,6	-8,0	-23,0	20,8
810	38,0	42,5	49,8	21,6	-8,5	-24,0	19,8
840	36,4	39,3	45,0	19,8	-9,0	-25,0	18,9
870	34,9	36,4	40,7	18,2	-9,5	-27,0	18,1
900	33,5	33,7	37,0	16,8	-10,0	-28,0	17,3
930	32,2	31,4	33,7	15,5	-10,5	-29,0	16,6
960	31,0	29,2	30,7	14,3	-10,9	-30,0	15,9
990	29,9	27,2	28,1	13,2	-11,4	-31,0	15,3
1020	28,8	25,4	25,7	12,2	-11,8	-32,0	14,7
1050	27,8	23,8	23,6	11,3	-12,2	-33,0	14,2
1080	26,8	22,3	21,7	10,5	-12,6	-34,0	13,6
1110	25,9	20,9	19,9	9,71	-12,9	-35,0	13,2
1140	25,1	19,6	18,3	9,00	-13,2	-36,0	12,7
1170	24,2	18,5	16,9	8,35	-13,5	-36,0	12,2
1200	22,7	17,4	15,6	7,75	-13,8	-37,0	11,8
1230	21,3	16,3	14,4	7,19	-14,0	-37,0	11,4
1260	20,0	15,4	13,2	6,67	-14,2	-37,0	11,1
1290	18,8	14,5	12,2	6,19	-14,3	-37,0	10,7
1320	17,7	13,8	10,8	5,70	-13,1	-33,0	10,8
1350	16,7	13,0	9,96	5,28	-13,1	-33,0	10,4
1380	15,7	12,3	9,17	4,88	-13,0	-32,0	10,1
1410	14,8	11,6	8,44	4,51	-12,8	-31,0	9,78
1440	14,0	11,0	7,76	4,16	-12,6	-30,0	9,49
1470	13,2	10,4	7,12	3,84	-12,3	-28,0	9,21
1500	12,4	9,84	6,54	3,53	-11,9	-27,0	8,94
1530	11,7	9,31	5,99	3,24	-11,4	-25,0	8,69
1560	11,0	8,81	5,48	2,96	-10,9	-22,0	8,38
1590	10,4	8,34	5,00	2,71	-10,3	-20,0	7,90
1620	9,81	7,90	4,55	2,46	-9,5	-17,0	7,46
1650	9,25	7,48	4,13	2,23	-8,7	-14,0	7,03
1680	8,72	7,08	3,73	2,01	-7,8	-11,0	6,63
1710	8,21	6,70	3,36	1,81	-6,8	-7,0	6,25
1740	7,73	6,34	3,01	1,61	-5,6	-3,0	5,89
1770	7,28	6,00	2,68	-	-4,4	2,0	5,55
1800	6,84	5,68	2,37	-	-3,0	7,0	5,22
1830	6,43	5,37	2,07	-	-1,5	12,0	4,91
1860	6,04	5,08	1,79	-	0,2	18,0	4,62
1890	-	-	-	-	-	-	-
Sytuacja trwała							Syt. wyjątkowa
p _{d.lim} - dopuszczalne obciążenie obliczeniowe (stan graniczny nośności) p _{k.lim} - dopuszczalne obciążenie charakterystyczne (stan graniczny rozwarcia rys) p _{kt.lim} - dopuszczalne obciążenie długotrwałe (stan graniczny ugięcia lub dekompresji) p _{fi.lim} – zredukowana nośność płyt w warunkach pożaru a ₀ - doraźna strzałka ugięcie płyt (bezpośrednio po sprzężeniu) (znak „-” oznacza ugięcie odwrotne) a _∞ - końcowa strzałka ugięcie płyt							

Tabl.A4.5 Dopuszczalne obciążenia zewnętrzne płyty SP40-14/REI60

SP40-14/REI60							
l _{eff}	p _{d.lim}	p _{k.lim}	p _{kt.lim}		a ₀	a _∞	p _{fi.lim}
			X0, XC1	XC2, XC3			
[cm]	[kN/m ²]				[mm]		[kN/m ²]
1	2	3	4	5	6	7	8
300	124,4	355,2	902,1	192,0	-1,5	-4,0	67,3
330	111,1	292,9	691,6	158,0	-1,8	-5,0	60,0
360	100,3	245,6	543,2	132,2	-2,1	-6,0	54,1
390	91,3	208,7	435,3	112,1	-2,4	-7,0	49,1
420	83,8	179,4	354,9	96,1	-2,8	-8,0	45,0
450	77,3	155,8	293,5	83,2	-3,2	-9,0	41,4
480	71,7	136,5	245,9	72,7	-3,6	-10,0	38,3
510	66,8	120,5	208,2	63,9	-4,1	-11,0	35,6
540	62,5	107,1	178,0	56,6	-4,5	-13,0	33,3
570	58,7	95,8	153,5	50,4	-5,0	-14,0	31,2
600	55,3	86,1	133,4	45,1	-5,5	-15,0	29,3
630	52,2	77,7	113,1	40,6	-5,9	-17,0	27,6
660	49,4	70,5	96,7	36,6	-6,5	-18,0	26,1
690	46,9	64,2	83,4	33,2	-7,0	-20,0	24,7
720	44,6	58,6	72,3	30,2	-7,5	-21,0	23,4
750	42,5	53,8	63,2	27,5	-8,0	-23,0	22,3
780	40,6	49,4	56,7	25,1	-8,6	-24,0	21,2
810	38,8	45,6	51,1	23,0	-9,1	-25,0	20,2
840	37,2	42,1	46,2	21,1	-9,6	-27,0	19,3
870	35,6	39,0	41,9	19,5	-10,1	-28,0	18,5
900	34,2	36,2	38,1	17,9	-10,7	-30,0	17,7
930	32,9	33,7	34,7	16,5	-11,2	-31,0	17,0
960	31,6	31,4	31,7	15,3	-11,7	-32,0	16,3
990	30,5	29,3	29,0	14,2	-12,2	-34,0	15,7
1020	29,4	27,4	26,6	13,1	-12,7	-35,0	15,1
1050	28,4	25,6	24,4	12,2	-13,1	-36,0	14,5
1080	27,4	24,0	22,4	11,3	-13,6	-37,0	14,0
1110	26,5	22,6	20,6	10,5	-14,0	-38,0	13,5
1140	25,6	21,2	19,0	9,72	-14,4	-39,0	13,0
1170	24,8	19,9	17,5	9,04	-14,7	-39,0	12,5
1200	24,0	18,8	16,2	8,40	-15,0	-40,0	12,1
1230	23,1	17,7	14,9	7,81	-15,3	-41,0	11,7
1260	21,7	16,7	13,8	7,26	-15,5	-41,0	11,3
1290	20,4	15,8	12,8	6,75	-15,7	-41,0	11,0
1320	19,3	15,0	11,3	6,25	-14,6	-37,0	11,0
1350	18,1	14,2	10,5	5,80	-14,6	-37,0	10,7
1380	17,1	13,4	9,65	5,39	-14,6	-36,0	10,3
1410	16,2	12,7	8,90	4,99	-14,5	-36,0	10,0
1440	15,2	12,0	8,20	4,63	-14,4	-35,0	9,72
1470	14,4	11,4	7,55	4,28	-14,1	-33,0	9,43
1500	13,6	10,8	6,95	3,96	-13,8	-32,0	9,16
1530	12,8	10,2	6,38	3,65	-13,5	-30,0	8,90
1560	12,1	9,66	5,85	3,36	-13,0	-28,0	8,65
1590	11,5	9,16	5,36	3,09	-12,5	-26,0	8,41
1620	10,8	8,68	4,90	2,83	-11,8	-23,0	8,17
1650	10,2	8,23	4,47	2,59	-11,1	-20,0	7,95
1680	9,65	7,81	4,06	2,36	-10,3	-17,0	7,74
1710	9,12	7,41	3,68	2,14	-9,3	-14,0	7,45
1740	8,60	7,02	3,31	1,94	-8,3	-10,0	7,05
1770	8,12	6,66	2,97	1,74	-7,1	-5,0	6,67
1800	7,66	6,32	2,65	1,55	-5,8	-1,0	6,31
1830	7,22	5,99	2,35	-	-4,4	4,0	5,96
1860	6,80	5,68	2,06	-	-2,9	10,0	5,63
1890	6,41	5,38	1,79	-	-1,2	16,0	5,32
Sytuacja trwała							Syt. wyjątkowa
p _{d.lim} - dopuszczalne obciążenie obliczeniowe (stan graniczny nośności) p _{k.lim} - dopuszczalne obciążenie charakterystyczne (stan graniczny rozwarcia rys) p _{kt.lim} - dopuszczalne obciążenie długotrwałe (stan graniczny ugięcia lub dekompresji) p _{fi.lim} – zredukowana nośność płyt w warunkach pożaru a ₀ - doraźna strzałka ugięcie płyt (bezpośrednio po sprzężeniu) (znak „-” oznacza ugięcie odwrotne) a _∞ - końcowa strzałka ugięcie płyt							

Tabl.A4.6 Dopuszczalne obciążenia zewnętrzne płyty SP40-16/REI60

SP40-16/REI60							
l _{eff}	p _{d,lim}	p _{k,lim}	p _{kt,lim}		a ₀	a _∞	p _{fi,lim}
			X0, XC1	XC2, XC3			
[cm]	[kN/m²]				[mm]		[kN/m²]
1	2	3	4	5	6	7	8
300	128.3	364.2	898.7	184.1	-1.4	-4.0	69.5
330	114.7	300.4	688.6	151.5	-1.7	-5.0	62.0
360	103.5	251.8	540.5	126.7	-2.0	-6.0	55.8
390	94.3	214.0	432.9	107.4	-2.4	-7.0	50.8
420	86.5	184.1	352.7	92.1	-2.7	-8.0	46.5
450	79.8	159.9	291.6	79.7	-3.1	-9.0	42.8
480	74.1	140.1	244.1	69.6	-3.5	-10.0	39.6
510	69.0	123.7	206.6	61.2	-4.0	-11.0	36.9
540	64.6	109.9	176.6	54.2	-4.4	-12.0	34.4
570	60.7	98.3	152.2	48.3	-4.8	-14.0	32.3
600	57.2	88.4	132.2	43.2	-5.3	-15.0	30.3
630	54.0	79.8	112.0	38.8	-5.8	-16.0	28.6
660	51.1	72.4	95.7	35.0	-6.3	-17.0	27.0
690	48.6	65.9	82.4	31.7	-6.8	-19.0	25.6
720	46.2	60.3	71.4	28.8	-7.3	-20.0	24.3
750	44.0	55.3	62.3	26.3	-7.8	-22.0	23.1
780	42.0	50.8	55.9	24.0	-8.3	-23.0	22.0
810	40.2	46.9	50.4	22.0	-8.8	-24.0	21.0
840	38.5	43.3	45.5	20.2	-9.4	-26.0	20.1
870	36.9	40.2	41.3	18.6	-9.9	-27.0	19.2
900	35.5	37.3	37.5	17.1	-10.4	-28.0	18.4
930	34.1	34.7	34.1	15.8	-10.9	-30.0	17.6
960	32.8	32.3	31.2	14.6	-11.4	-31.0	16.9
990	31.6	30.2	28.5	13.5	-11.8	-32.0	16.3
1020	30.5	28.2	26.1	12.5	-12.3	-33.0	15.7
1050	29.5	26.4	23.9	11.6	-12.7	-34.0	15.1
1080	28.5	24.8	22.0	10.7	-13.1	-35.0	14.5
1110	27.5	23.3	20.2	9.94	-13.5	-36.0	14.0
1140	26.6	21.9	18.6	9.23	-13.9	-37.0	13.5
1170	25.8	20.6	17.2	8.57	-14.2	-37.0	13.1
1200	25.0	19.4	15.8	7.96	-14.5	-38.0	12.6
1230	24.2	18.3	14.6	7.40	-14.8	-38.0	12.2
1260	23.5	17.3	13.5	6.87	-15.0	-39.0	11.8
1290	22.8	16.3	12.5	6.38	-15.2	-39.0	11.5
1320	22.4	15.5	11.0	5.88	-13.8	-34.0	11.5
1350	21.2	14.7	10.2	5.45	-13.8	-34.0	11.1
1380	20.0	13.9	9.35	5.05	-13.8	-33.0	10.8
1410	18.9	13.1	8.62	4.68	-13.7	-32.0	10.5
1440	17.9	12.4	7.93	4.32	-13.5	-31.0	10.2
1470	17.0	11.8	7.29	3.99	-13.2	-30.0	9.88
1500	16.1	11.2	6.70	3.68	-12.9	-28.0	9.60
1530	15.2	10.6	6.15	3.39	-12.5	-26.0	9.33
1560	14.4	10.1	5.63	3.11	-12.0	-24.0	9.07
1590	13.6	9.54	5.15	2.85	-11.4	-22.0	8.83
1620	12.9	9.06	4.69	2.61	-10.7	-19.0	8.59
1650	12.3	8.60	4.27	2.37	-10.0	-16.0	8.36
1680	11.6	8.16	3.87	2.15	-9.1	-13.0	8.14
1710	11.0	7.75	3.49	1.94	-8.1	-9.0	7.93
1740	10.4	7.36	3.14	1.74	-7.0	-5.0	7.72
1770	9.89	6.99	2.81	1.56	-5.8	-1.0	7.52
1800	9.37	6.64	2.49	-	-4.5	4.0	7.33
1830	8.87	6.30	2.20	-	-3.1	9.0	7.04
1860	8.40	5.98	1.91	-	-1.5	15.0	6.67
1890	7.96	5.68	1.65	-	0.2	21.0	6.33
Sytuacja trwała							Syt. wyjątkowa
p _{d,lim} - dopuszczalne obciążenie obliczeniowe (stan graniczny nośności) p _{k,lim} - dopuszczalne obciążenie charakterystyczne (stan graniczny rozwarcia rys) p _{kt,lim} - dopuszczalne obciążenie długotrwałe (stan graniczny ugięcia lub dekompresji) p _{fi,lim} – zredukowana nośność płyt w warunkach pożaru a ₀ - doraźna strzałka ugięcie płyt (bezpośrednio po sprężeniu) (znak „-” oznacza ugięcie odwrotne) a _∞ - końcowa strzałka ugięcie płyt							

Tabl.A4.7 Dopuszczalne obciążenia zewnętrzne płyty SP41-11/REI120

SP41-11/REI120							
l _{eff}	p _{d.lim}	p _{k.lim}	p _{kt.lim}		a ₀	a _∞	p _{fi.lim}
			X0, XC1	XC2, XC3 XC4 XD1/XS1 XD2/XS2			
[cm]	[kN/m ²]				[mm]		[kN/m ²]
1	2	3	4	5	6	7	8
300	118,5	299,9	940,0	181,2	-1,1	-3,0	57,8
330	105,9	247,2	717,5	149,0	-1,3	-4,0	51,5
360	95,5	207,0	561,1	124,6	-1,5	-4,0	46,3
390	87,0	175,8	447,8	105,5	-1,8	-5,0	42,0
420	79,7	151,0	363,6	90,4	-2,0	-6,0	38,4
450	73,5	131,0	299,5	78,2	-2,3	-7,0	35,3
480	68,2	114,7	249,9	68,2	-2,6	-8,0	32,6
510	63,5	101,1	210,9	60,0	-2,9	-9,0	30,3
540	59,4	89,7	179,6	53,0	-3,2	-9,0	28,2
570	55,7	80,1	154,4	47,2	-3,6	-10,0	26,4
600	52,4	71,9	133,6	42,1	-3,9	-11,0	24,7
630	49,5	64,8	112,5	37,8	-4,2	-12,0	23,3
660	46,8	58,7	95,5	34,1	-4,6	-13,0	21,9
690	44,4	53,4	81,8	30,8	-4,9	-14,0	20,7
720	42,2	48,7	70,5	28,0	-5,3	-15,0	19,6
750	40,2	44,5	61,1	25,5	-5,6	-16,0	18,6
780	38,3	40,9	54,7	23,2	-6,0	-17,0	17,7
810	36,6	37,6	49,1	21,2	-6,3	-18,0	16,8
840	35,0	34,7	44,2	19,4	-6,6	-19,0	16,0
870	33,6	32,0	39,9	17,8	-6,9	-20,0	15,3
900	32,2	29,7	36,1	16,4	-7,3	-20,0	14,6
930	30,9	27,5	32,7	15,1	-7,5	-21,0	14,0
960	29,7	25,6	29,8	13,9	-7,8	-22,0	13,4
990	28,6	23,8	27,1	12,8	-8,1	-22,0	12,8
1020	26,6	22,2	24,7	11,8	-8,3	-23,0	12,3
1050	24,7	20,7	22,6	10,9	-8,5	-23,0	11,8
1080	23,0	19,4	20,7	10,1	-8,7	-24,0	11,3
1110	21,5	18,1	18,9	9,33	-8,9	-24,0	10,9
1140	20,0	17,0	17,3	8,62	-9,0	-24,0	10,5
1170	18,7	15,9	15,9	7,97	-9,0	-24,0	10,1
1200	17,5	14,9	14,6	7,37	-9,1	-24,0	9,72
1230	16,3	14,0	13,4	6,81	-9,1	-24,0	9,37
1260	15,3	13,1	12,3	6,29	-9,0	-23,0	9,04
1290	14,3	12,3	11,3	5,81	-8,9	-23,0	8,72
1320	13,4	11,7	9,60	5,27	-7,0	-16,0	8,87
1350	12,5	11,0	8,77	4,85	-6,7	-15,0	8,57
1380	11,7	10,3	8,00	4,46	-6,4	-14,0	8,01
1410	11,0	9,72	7,29	4,09	-6,0	-12,0	7,48
1440	10,3	9,14	6,63	3,75	-5,5	-10,0	6,99
1470	9,60	8,60	6,01	3,42	-4,9	-8,0	6,52
1500	8,97	8,10	5,45	3,12	-4,2	-5,0	6,08
1530	8,39	7,62	4,91	2,83	-3,5	-3,0	5,67
1560	7,83	7,17	4,42	2,56	-2,7	0,0	5,28
1590	7,31	6,74	3,96	2,30	-1,8	4,0	4,91
1620	6,82	6,34	3,52	2,06	-0,8	7,0	4,56
1650	6,35	5,96	3,12	1,83	0,3	11,0	4,24
1680	5,91	5,60	2,74	1,61	1,5	15,0	3,93
1710	5,49	5,26	2,38	-	2,8	20,0	3,63
1740	5,09	4,94	2,05	-	4,2	25,0	3,35
1770	4,71	4,63	1,73	-	5,8	31,0	3,09
1800	-	-	-	-	-	-	-
1830	-	-	-	-	-	-	-
Sytuacja trwała							Syt. wyjątkowa
p _{d.lim} - dopuszczalne obciążenie obliczeniowe (stan graniczny nośności) p _{k.lim} - dopuszczalne obciążenie charakterystyczne (stan graniczny rozwarcia rys) p _{kt.lim} - dopuszczalne obciążenie długotrwałe (stan graniczny ugięcia lub dekompresji) p _{fi.lim} - zredukowana nośność płyt w warunkach pożaru a ₀ - doraźna strzałka ugięcie płyt (bezpośrednio po sprężeniu) (znak „-” oznacza ugięcie odwrotne) a _∞ - końcowa strzałka ugięcie płyt							

Tabl.A4.8 Dopuszczalne obciążenia zewnętrzne płyty SP41-13/REI120

SP41-13/REI120							
l _{eff}	p _{d.lim}	p _{k.lim}	p _{kt.lim}		a ₀	a _∞	p _{fi.lim}
			X0, XC1	XC2, XC3 XC4 XD1/XS1 XD2/XS2			
[cm]	[kN/m ²]				[mm]		[kN/m ²]
1	2	3	4	5	6	7	8
300	123,3	355,2	971,1	210,6	-1,3	-4,0	60,2
330	110,2	292,8	743,0	173,3	-1,5	-4,0	53,6
360	99,4	245,4	582,5	145,0	-1,8	-5,0	48,2
390	90,5	208,5	465,9	122,9	-2,1	-6,0	43,8
420	83,0	179,2	379,1	105,4	-2,4	-7,0	40,0
450	76,6	155,6	313,0	91,3	-2,8	-8,0	36,8
480	71,0	136,3	261,7	79,7	-3,1	-9,0	34,0
510	66,1	120,3	221,3	70,2	-3,5	-10,0	31,6
540	61,9	106,8	188,9	62,1	-3,9	-11,0	29,5
570	58,1	95,5	162,7	55,3	-4,3	-12,0	27,5
600	54,7	85,8	141,1	49,5	-4,7	-13,0	25,9
630	51,6	77,4	119,3	44,5	-5,1	-15,0	24,3
660	48,8	70,2	101,7	40,2	-5,5	-16,0	22,9
690	46,3	63,9	87,4	36,4	-6,0	-17,0	21,7
720	44,0	58,3	75,6	33,1	-6,4	-18,0	20,5
750	42,0	53,4	65,8	30,2	-6,9	-19,0	19,5
780	40,0	49,1	59,0	27,6	-7,3	-21,0	18,5
810	38,2	45,2	53,1	25,3	-7,7	-22,0	17,6
840	36,6	41,8	47,9	23,2	-8,2	-23,0	16,8
870	35,1	38,7	43,4	21,4	-8,6	-24,0	16,1
900	33,7	35,9	39,4	19,7	-9,0	-25,0	15,4
930	32,3	33,3	35,8	18,2	-9,5	-26,0	14,7
960	31,1	31,0	32,6	16,8	-9,9	-27,0	14,1
990	29,9	29,0	29,8	15,6	-10,2	-28,0	13,5
1020	28,9	27,0	27,3	14,4	-10,6	-29,0	13,0
1050	27,8	25,3	25,0	13,4	-10,9	-30,0	12,4
1080	26,9	23,7	22,9	12,4	-11,3	-31,0	12,0
1110	26,0	22,2	21,1	11,5	-11,6	-32,0	11,5
1140	24,7	20,8	19,4	10,7	-11,8	-32,0	11,1
1170	23,1	19,6	17,8	9,95	-12,1	-33,0	10,7
1200	21,7	18,4	16,4	9,26	-12,3	-33,0	10,3
1230	20,3	17,3	15,1	8,61	-12,4	-33,0	9,91
1260	19,1	16,3	13,9	8,01	-12,5	-33,0	9,56
1290	17,9	15,4	12,9	7,45	-12,6	-33,0	9,23
1320	16,8	14,6	11,2	6,87	-11,0	-27,0	9,34
1350	15,8	13,8	10,3	6,38	-10,8	-27,0	9,03
1380	14,9	13,0	9,44	5,92	-10,7	-26,0	8,73
1410	14,0	12,3	8,67	5,50	-10,4	-25,0	8,45
1440	13,2	11,6	7,95	5,09	-10,1	-23,0	8,18
1470	12,4	11,0	7,29	4,72	-9,8	-22,0	7,92
1500	11,7	10,4	6,67	4,36	-9,3	-20,0	7,61
1530	11,0	9,81	6,09	4,03	-8,8	-18,0	7,14
1560	10,3	9,28	5,55	3,71	-8,2	-15,0	6,69
1590	9,69	8,78	5,05	3,42	-7,5	-13,0	6,27
1620	9,11	8,31	4,57	3,14	-6,7	-10,0	5,87
1650	8,56	7,86	4,13	2,87	-5,9	-6,0	5,50
1680	8,04	7,44	3,72	2,62	-4,9	-3,0	5,14
1710	7,55	7,03	3,33	2,38	-3,8	1,0	4,81
1740	7,08	6,65	2,96	2,15	-2,6	5,0	4,49
1770	6,63	6,29	2,61	1,94	-1,3	10,0	4,18
1800	6,21	5,95	2,29	1,73	0,1	15,0	3,89
1830	5,81	5,62	1,98	1,54	1,6	21,0	3,62
1860	5,43	5,29	1,69	-	3,3	27,0	3,36
1890	-	-	-	-	-	-	-
Sytuacja trwała							Syt. wyjątkowa
p _{d.lim} - dopuszczalne obciążenie obliczeniowe (stan graniczny nośności) p _{k.lim} - dopuszczalne obciążenie charakterystyczne (stan graniczny rozwarcia rys) p _{kt.lim} - dopuszczalne obciążenie długotrwałe (stan graniczny ugięcia lub dekompresji) p _{fi.lim} - zredukowana nośność płyt w warunkach pożaru a ₀ - doraźna strzałka ugięcie płyt (bezpośrednio po sprężeniu) (znak „-” oznacza ugięcie odwrotne) a _∞ - końcowa strzałka ugięcie płyt							

Tabl.A4.9 Dopuszczalne obciążenia zewnętrzne płyty SP41-14/REI120

SP41-14/REI120							
l _{eff}	p _{d.lim}	p _{k.lim}	p _{kt.lim}		a ₀	a _∞	p _{fi.lim}
			X0, XC1	XC2, XC3 XC4 XD1/XS1 XD2/XS2			
[cm]	[kN/m ²]				[mm]		[kN/m ²]
1	2	3	4	5	6	7	8
300	125,6	382,3	986,2	224,7	-1,4	-4,0	61,3
330	112,2	315,3	755,4	185,0	-1,7	-5,0	54,6
360	101,3	264,3	592,8	154,8	-2,0	-6,0	49,2
390	92,2	224,6	474,6	131,3	-2,3	-7,0	44,6
420	84,5	193,1	386,6	112,6	-2,6	-8,0	40,8
450	78,0	167,7	319,5	97,6	-3,0	-9,0	37,5
480	72,3	146,9	267,4	85,3	-3,4	-10,0	34,7
510	67,4	129,7	226,3	75,0	-3,8	-11,0	32,2
540	63,0	115,2	193,4	66,5	-4,2	-12,0	30,0
570	59,2	103,0	166,7	59,3	-4,6	-13,0	28,1
600	55,7	92,6	144,7	53,1	-5,1	-14,0	26,4
630	52,6	83,6	122,5	47,8	-5,5	-16,0	24,8
660	49,8	75,8	104,6	43,1	-6,0	-17,0	23,4
690	47,2	69,0	90,1	39,1	-6,5	-18,0	22,1
720	44,9	63,1	78,1	35,6	-7,0	-20,0	21,0
750	42,8	57,8	68,1	32,5	-7,5	-21,0	19,9
780	40,8	53,2	61,1	29,7	-8,0	-22,0	18,9
810	39,0	49,0	55,0	27,3	-8,4	-24,0	18,0
840	37,3	45,3	49,7	25,1	-8,9	-25,0	17,2
870	35,8	41,9	45,1	23,1	-9,4	-26,0	16,4
900	34,4	38,9	40,9	21,3	-9,9	-28,0	15,7
930	33,0	36,2	37,3	19,7	-10,4	-29,0	15,0
960	31,7	33,7	34,0	18,2	-10,8	-30,0	14,4
990	30,6	31,5	31,1	16,9	-11,3	-31,0	13,8
1020	29,5	29,4	28,5	15,7	-11,7	-32,0	13,3
1050	28,4	27,5	26,2	14,5	-12,1	-33,0	12,7
1080	27,4	25,8	24,0	13,5	-12,5	-34,0	12,2
1110	26,5	24,2	22,1	12,6	-12,9	-35,0	11,8
1140	25,6	22,8	20,4	11,7	-13,2	-36,0	11,3
1170	24,8	21,4	18,8	10,9	-13,5	-37,0	10,9
1200	23,7	20,1	17,3	10,2	-13,8	-37,0	10,5
1230	22,3	19,0	16,0	9,47	-14,1	-38,0	10,2
1260	21,0	17,9	14,8	8,83	-14,3	-38,0	9,80
1290	19,7	16,9	13,6	8,24	-14,4	-38,0	9,47
1320	18,5	16,0	11,9	7,63	-12,9	-33,0	9,57
1350	17,5	15,2	11,0	7,11	-12,8	-32,0	9,25
1380	16,4	14,3	10,1	6,63	-12,8	-32,0	8,95
1410	15,5	13,6	9,33	6,17	-12,6	-31,0	8,66
1440	14,6	12,8	8,59	5,74	-12,4	-30,0	8,38
1470	13,8	12,1	7,90	5,34	-12,2	-28,0	8,12
1500	13,0	11,5	7,26	4,96	-11,8	-27,0	7,87
1530	12,2	10,9	6,66	4,61	-11,4	-25,0	7,62
1560	11,5	10,3	6,10	4,27	-10,9	-23,0	7,36
1590	10,9	9,78	5,57	3,95	-10,3	-20,0	6,91
1620	10,2	9,28	5,08	3,65	-9,6	-18,0	6,49
1650	9,65	8,79	4,62	3,37	-8,9	-15,0	6,09
1680	9,09	8,34	4,19	3,10	-8,0	-12,0	5,72
1710	8,56	7,91	3,78	2,85	-7,1	-8,0	5,36
1740	8,06	7,50	3,40	2,61	-6,0	-4,0	5,02
1770	7,58	7,11	3,04	2,38	-4,8	0,0	4,70
1800	7,13	6,74	2,70	2,16	-3,5	5,0	4,39
1830	6,70	6,38	2,38	1,95	-2,1	10,0	4,10
1860	6,29	6,05	2,08	1,75	-0,6	16,0	3,82
1890	5,89	5,73	1,79	1,57	1,1	22,0	3,56
Sytuacja trwała							Syt. wyjątkowa
p _{d.lim} - dopuszczalne obciążenie obliczeniowe (stan graniczny nośności) p _{k.lim} - dopuszczalne obciążenie charakterystyczne (stan graniczny rozwarcia rys) p _{kt.lim} - dopuszczalne obciążenie długotrwałe (stan graniczny ugięcia lub dekompresji) p _{fi.lim} – zredukowana nośność płyt w warunkach pożaru a ₀ - doraźna strzałka ugięcia płyt (bezpośrednio po sprzężeniu) (znak „-” oznacza ugięcie odwrotne) a _∞ - końcowa strzałka ugięcia płyt							

Tabl.A4.10 Dopuszczalne obciążenia zewnętrzne płyty SP41-16/REI120

SP41-16/REI120							
l _{eff}	p _{d.lim}	p _{k.lim}	p _{kt.lim}		a ₀	a _∞	p _{fi.lim}
			X0, XC1	XC2, XC3 XC4 XD1/XS1 XD2/XS2			
[cm]	[kN/m ²]				[mm]		[kN/m ²]
1	2	3	4	5	6	7	8
300	129,8	436,0	1015,4	251,8	-1,6	-4,0	63,4
330	116,0	359,6	779,3	207,4	-1,9	-5,0	56,5
360	104,7	301,5	612,8	173,6	-2,2	-6,0	50,9
390	95,4	256,4	491,6	147,4	-2,6	-7,0	46,2
420	87,5	220,5	401,1	126,5	-3,0	-9,0	42,3
450	80,7	191,6	332,1	109,7	-3,4	-10,0	38,9
480	74,9	167,9	278,5	95,9	-3,9	-11,0	36,0
510	69,8	148,3	236,1	84,5	-4,3	-12,0	33,4
540	65,3	131,8	202,0	74,9	-4,8	-14,0	31,1
570	61,3	117,9	174,4	66,8	-5,3	-15,0	29,2
600	57,7	106,0	151,7	59,9	-5,8	-16,0	27,4
630	54,5	95,8	128,8	54,0	-6,4	-18,0	25,8
660	51,6	87,0	110,4	48,8	-6,9	-19,0	24,3
690	49,0	79,2	95,3	44,3	-7,5	-21,0	23,0
720	46,6	72,4	82,9	40,3	-8,1	-23,0	21,8
750	44,4	66,4	72,5	36,9	-8,6	-24,0	20,7
780	42,3	61,1	65,2	33,8	-9,2	-26,0	19,7
810	40,5	56,4	58,8	31,0	-9,8	-27,0	18,8
840	38,7	52,1	53,2	28,6	-10,4	-29,0	17,9
870	37,1	48,4	48,3	26,3	-11,0	-31,0	17,1
900	35,7	44,9	44,0	24,4	-11,6	-32,0	16,4
930	34,3	41,8	40,1	22,5	-12,2	-34,0	15,7
960	33,0	39,0	36,7	20,9	-12,8	-35,0	15,0
990	31,8	36,5	33,6	19,4	-13,3	-37,0	14,4
1020	30,6	34,1	30,9	18,1	-13,9	-38,0	13,8
1050	29,5	32,0	28,4	16,8	-14,4	-40,0	13,3
1080	28,5	30,0	26,1	15,7	-15,0	-41,0	12,8
1110	27,6	28,2	24,1	14,6	-15,5	-42,0	12,3
1140	26,7	26,5	22,3	13,6	-16,0	-43,0	11,9
1170	25,8	25,0	20,6	12,7	-16,4	-44,0	11,4
1200	25,0	23,6	19,0	11,9	-16,8	-45,0	11,0
1230	24,2	22,2	17,6	11,1	-17,2	-46,0	10,6
1260	23,5	21,0	16,3	10,4	-17,6	-47,0	10,3
1290	22,8	19,9	15,1	9,75	-17,9	-47,0	9,92
1320	21,8	18,9	13,4	9,11	-16,6	-43,0	10,0
1350	20,5	17,9	12,4	8,52	-16,7	-43,0	9,66
1380	19,4	16,9	11,5	7,98	-16,8	-43,0	9,35
1410	18,3	16,1	10,6	7,47	-16,9	-42,0	9,06
1440	17,3	15,2	9,82	6,99	-16,9	-42,0	8,77
1470	16,4	14,4	9,08	6,54	-16,8	-41,0	8,50
1500	15,5	13,7	8,39	6,11	-16,6	-40,0	8,24
1530	14,6	13,0	7,75	5,72	-16,4	-39,0	7,99
1560	13,8	12,4	7,15	5,34	-16,1	-37,0	7,75
1590	13,1	11,8	6,59	4,98	-15,8	-35,0	7,52
1620	12,4	11,2	6,06	4,65	-15,3	-33,0	7,30
1650	11,7	10,6	5,57	4,33	-14,8	-31,0	7,08
1680	11,1	10,1	5,10	4,03	-14,1	-28,0	6,79
1710	10,5	9,62	4,66	3,75	-13,4	-25,0	6,39
1740	9,91	9,15	4,25	3,48	-12,5	-22,0	6,02
1770	9,37	8,71	3,86	3,22	-11,6	-18,0	5,67
1800	8,86	8,29	3,50	2,97	-10,5	-14,0	5,33
1830	8,37	7,89	3,15	2,74	-9,4	-10,0	5,01
1860	7,91	7,51	2,83	2,52	-8,1	-5,0	4,70
1890	7,47	7,14	2,52	2,31	-6,6	0,0	4,41
Sytuacja trwała							Syt. wyjątkowa
p _{d.lim} - dopuszczalne obciążenie obliczeniowe (stan graniczny nośności) p _{k.lim} - dopuszczalne obciążenie charakterystyczne (stan graniczny rozwarcia rys) p _{kt.lim} - dopuszczalne obciążenie długotrwałe (stan graniczny ugięcia lub dekompresji) p _{fi.lim} – zredukowana nośność płyt w warunkach pożaru a ₀ - doraźna strzałka ugięcia płyt (bezpośrednio po sprzężeniu) (znak „-” oznacza ugięcie odwrotne) a _∞ - końcowa strzałka ugięcia płyt							

Załącznik B - Przykłady rozwiązań konstrukcyjnych

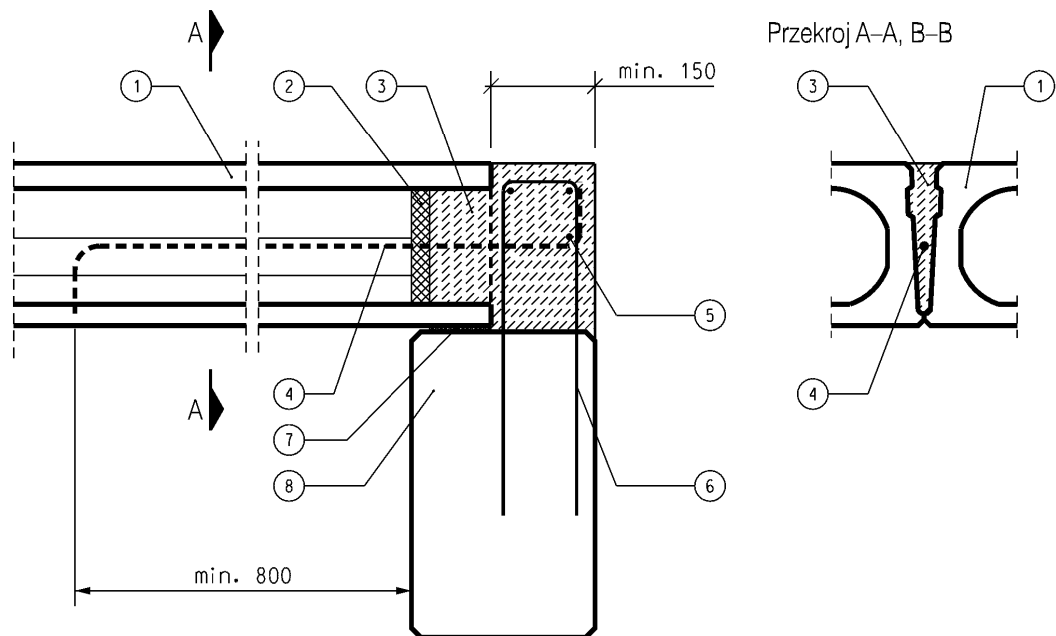
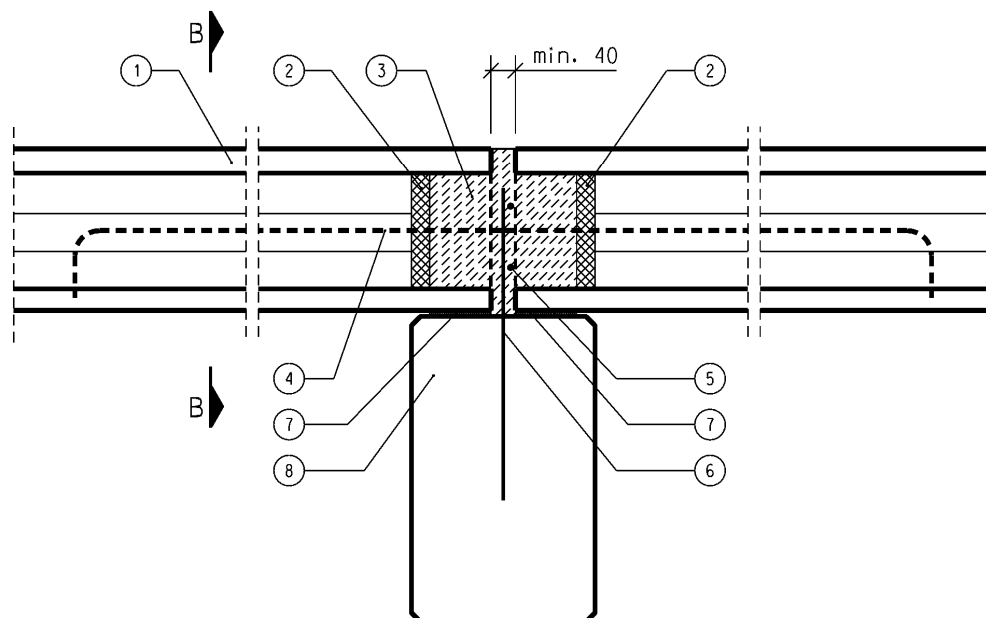
Na kolejnych arkuszach pokazane zostały przykłady rozwiązań konstrukcyjnych stropów konstruowanych z płyt SP. Przykłady zostały opracowane dla płyt SP26.5. W stropach z płyt SP20, SP22, SP32, SP40 i SP41, odpowiednie detale konstrukcyjne mogą zostać rozwiązane w sposób analogiczny.

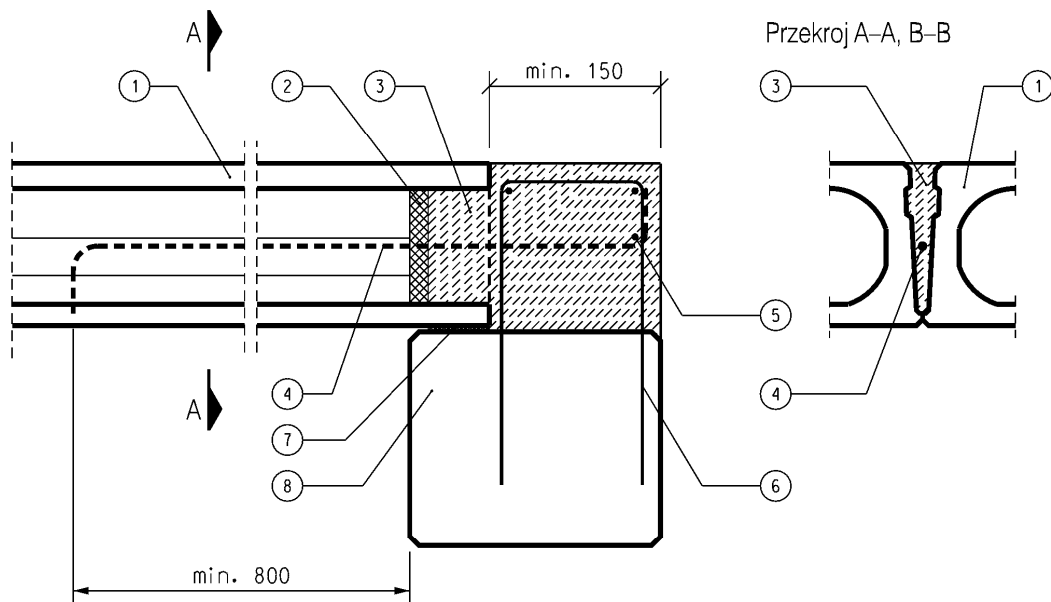
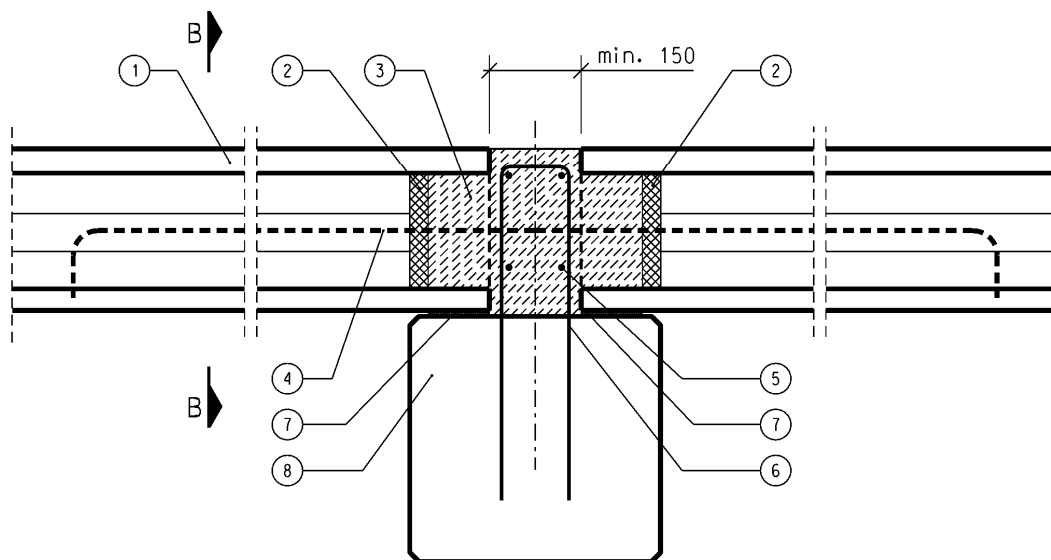
WYKAZ ZAŁĄCZNIKÓW:

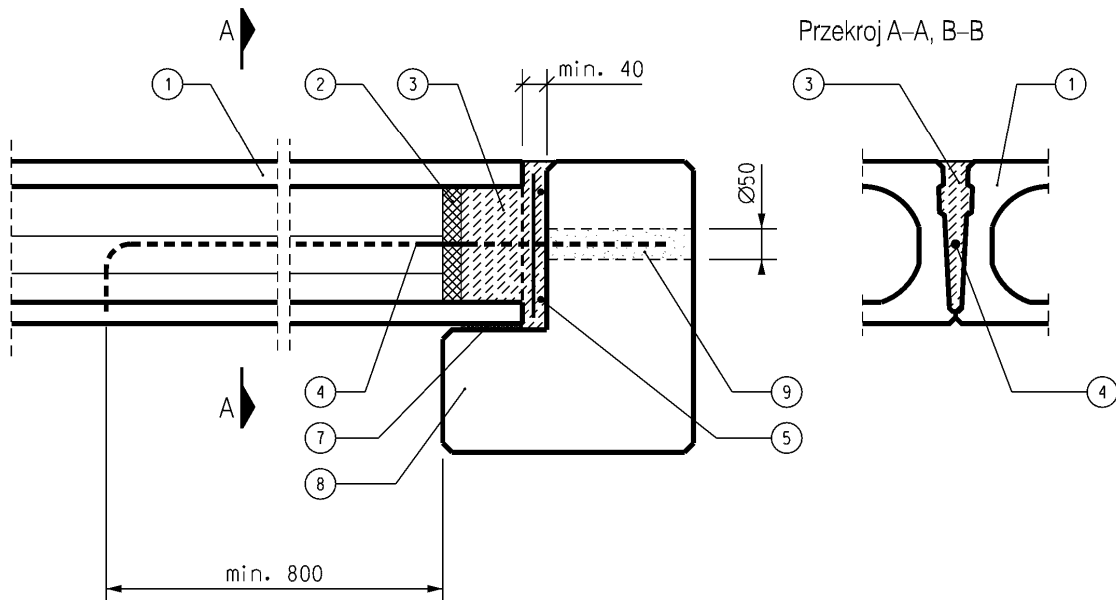
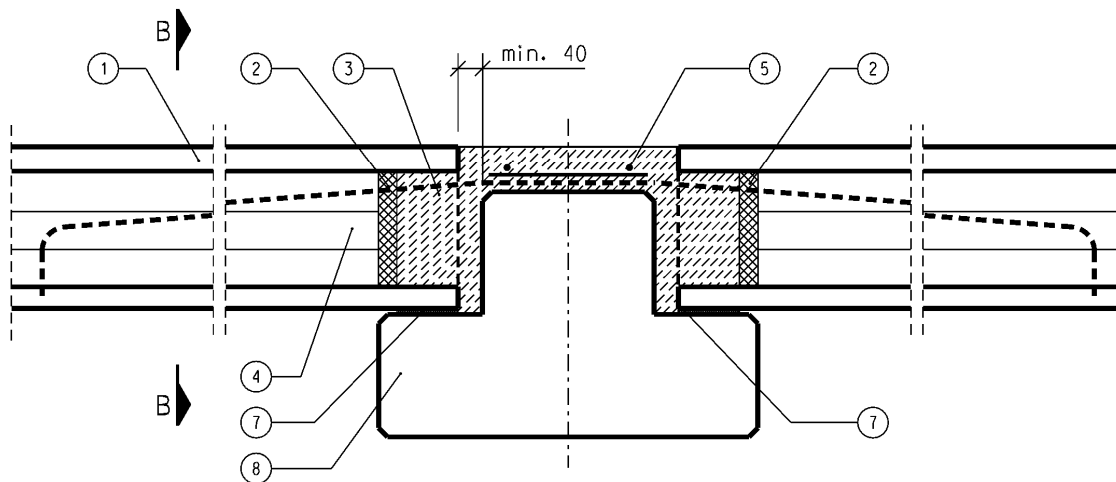
- B1: WĘZŁY PODPOROWE PŁYT OPARTYCH NA BELKACH ŻELBETOWYCH (STRUNOBETONOWYCH) Z WIEŃCEM NIE WSPÓŁPRACUJĄCYM Z BELKĄ
- B2: WĘZŁY PODPOROWE PŁYT OPARTYCH NA BELKACH ŻELBETOWYCH (STRUNOBETONOWYCH) Z WIEŃCEM WSPÓŁPRACUJĄCYM Z BELKĄ
- B3: WĘZŁY PODPOROWE PŁYT OPARTYCH NA BELKACH ŻELBETOWYCH (STRUNOBETONOWYCH) O PRZĘKROJU TEOWYM
- B4: WĘZŁY PODPOROWE PŁYT OPARTYCH NA BELKACH STAŁOWYCH
- B5: WĘZŁY PODPOROWE PŁYT OPARTYCH NA ŚCIANACH
- B6: WĘZŁ BOCZNY, NIEPODPOROWY

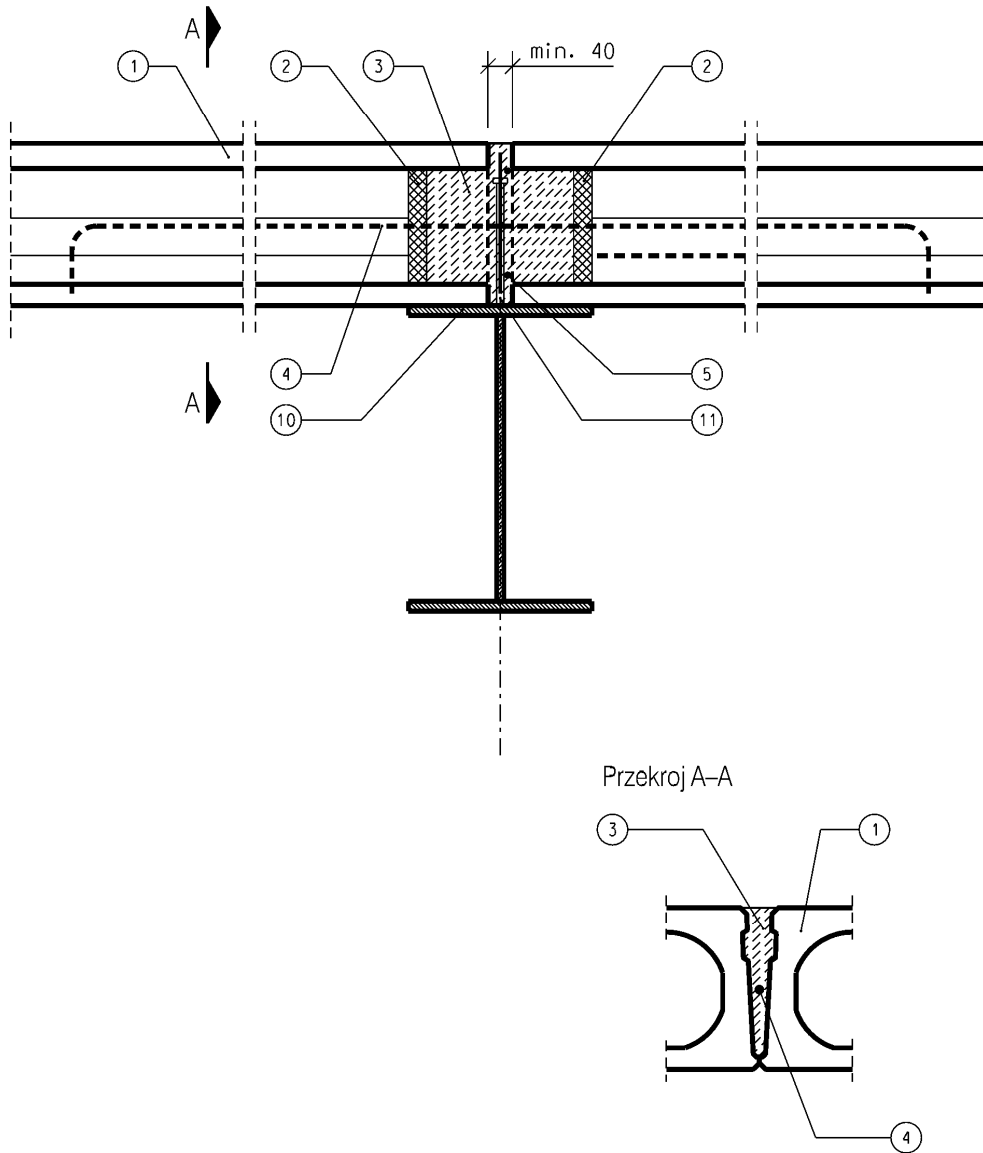
LEGENDA DO ZAŁĄCZNIKÓW GRAFICZNYCH:

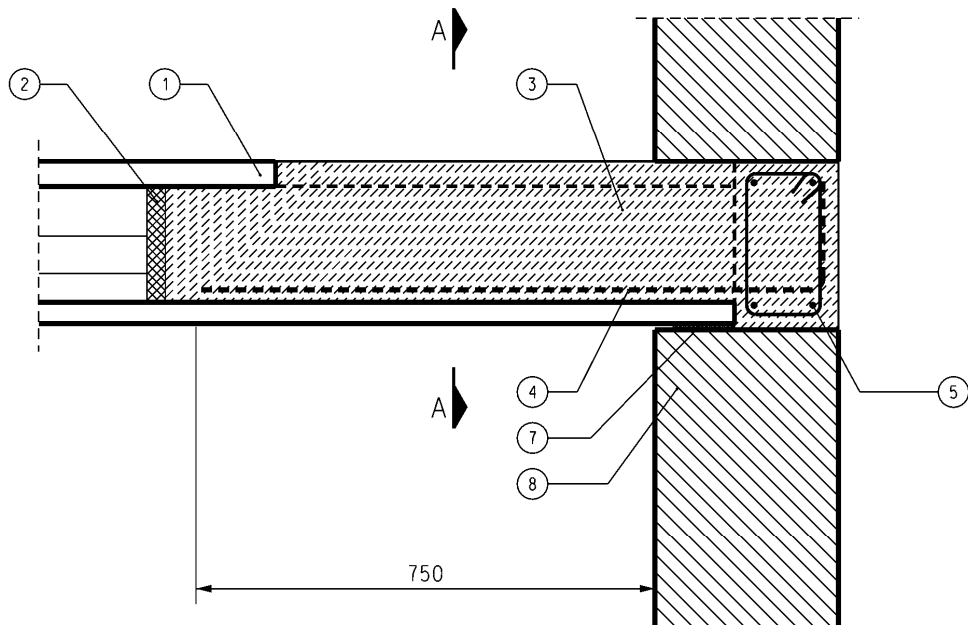
- 1 - PREFABRYKOWANA PŁYTA SP
- 2 - ZAMKNIĘCIE KANAŁU
- 3 - BETON WYPEŁNIAJĄCY KLASY C20/25
- 4 - ZBROJENIE ZESPALAJĄCE (KOTWIĄCE) PŁYTY Z KONSTRUKCJĄ NOŚNĄ
- 5 - ZBROJENIE WIEŃCA
- 6 - ZBROJENIE ŁĄCZĄCE (ZESPALAJĄCE) ELEMENT GŁÓWNY Z WIEŃCEM
- 7 - PODKŁADKA NEOPRENOWA
- 8 - BELKA (PODCIĄG) ŻELBETOWY LUB STRUNOBETONOWY
- 9 - TULEJA WYPEŁNIONA ZAPRAWĄ EKSPANSYWNĄ
- 10 - BELKA (DŹWIGAR) STAŁOWY
- 11 - TRZPIENIE ZGRZEWANE DOCZOŁOWO CO 60 CM
- 12 - STRZEMIONA KOTWIĄCE PŁYTĘ Ø8 MM
- 13 - ŚCIANA NOŚNA

B1**Oparcie płyt na belkach żelbetowych****a) jednostronne****b) dwustronne**

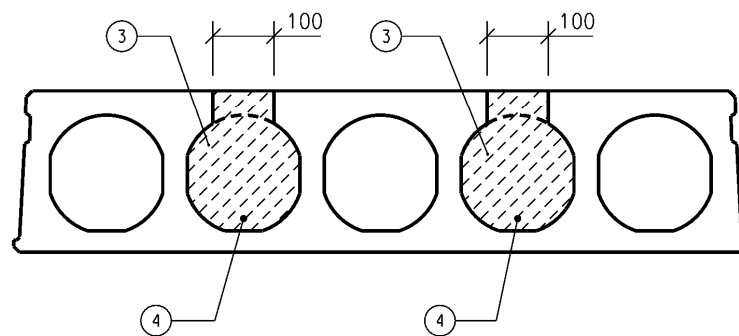
B2**Oparcie płyt na belkach żelbetowych****a) jednostronne****b) dwustronne**

B3**Oparcie płyt na belkach żelbetowych****a) belka typu "L"****b) belka typu "T"**

B4**Oparcie płyt na belkach stalowych**

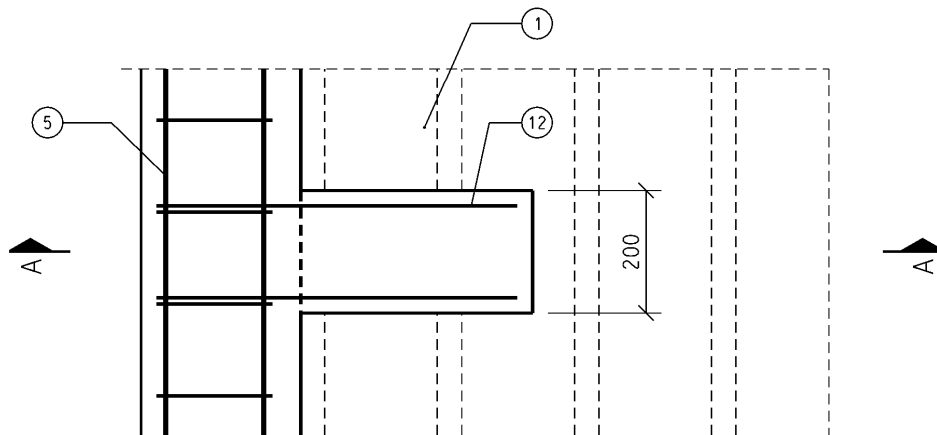
B5**Oparcie płyt na ścianach**

Przekroj A-A



B6**Węzeł boczny, niepodporowy**

widok z góry



przekroj A-A

