
PROJEKT KONSTRUKCYJNY STRAŻNICY OSP WRAZ ZE ŚWIETLICĄ WIEJSKĄ

Nazwa obiektu:	Strażnica OSP wraz ze świetlicą wiejską
Adres budowy:	Wąsosz Górny ul. Witosa 5/7 42-110 Popów
Nr ewidencyjny:	dz. nr ewid. 180/5
Inwestor:	Wójt Gminy Popów ul. Częstochowska 6 42-110 Zawady
Jednostka projektowa:	Biuro Konstrukcyjne PROFIS Lach Grzegorz Kolonja Wierzchowisko, ul. Pogodna 9 42-233 Mykanów
Konstruktor:	mgr inż. Grzegorz Lach uprawnienia budowlane nr SLK/1958/POOK/07
Sprawdzający:	mgr inż. Piotr Sułkowski uprawnienia budowlane nr SLK/2686/POOK/09

OŚWIADCZENIE

My wyżej podpisani oświadczamy, że projekt został sporządzony zgodnie z obowiązującymi przepisami oraz zasadami wiedzy technicznej.

Częstochowa: Marzec 2017 r.

Spis treści

1	Dane ogólne	4
1.1	Przedmiot i zakres opracowania	4
1.2	Charakterystyka ogólna obiektu	4
1.3	Podstawa opracowania:	4
1.4	Założenia przyjęte do obliczeń konstrukcyjnych	4
1.5	Materiały konstrukcyjne	4
2	Podstawy obliczeń	5
2.1	Warunki wodno - gruntowe	5
2.2	Obciążenia	5
2.3	Rozwiązania konstrukcyjno-materiałowe	6
2.3.1	Ława fundamentowa L.1	6
2.3.2	Ściany fundamentowe	6
2.3.3	Posadzki na gruncie	6
2.3.4	Posadzki na gruncie - garaż / kotłownia	6
2.3.5	Ściany zewnętrzne konstrukcyjne	6
2.3.6	Ściany wewnętrzne	6
2.3.7	Strop prefabrykowany	6
2.3.8	Belka B.1	7
2.3.9	Belka B.2	7
2.3.10	Nadproże N.1	7
2.3.11	Nadproże N.2	7
2.3.12	Nadproża okienne i drzwiowe	8
2.3.13	Trzpień T0.1, T1.1, T0.4, T.1.4	8
2.3.14	Trzpień T0.2, T1.2	8
2.3.15	Trzpień T0.3, T1.3	8
2.3.16	Trzpień T2.1, T2.2	8
2.3.17	Wieniec W.1, W.2, W.3, W.4	8
2.3.18	Nadproża drzwiowe	9
2.3.19	Schody wewnętrzne	9
2.3.20	Schody zewnętrzne i płyty tarasowe	9
2.3.21	Wieżba dachowa	9

SPIS RYSUNKÓW

nr rysunku

RZUT FUNDAMENTÓW	K.01
RZUT STROPU NAD PARTEREM	K.02
RZUT WIĘŻBY DACHOWEJ	K.03
ELEMENTY KONSTRUKCYJNE FUNDAMENTÓW	K.04
ELEMENTY KONSTRUKCYJNE - CZ.1	K.05
ELEMENTY KONSTRUKCYJNE - CZ.2	K.06
ELEMENTY KONSTRUKCYJNE - CZ.3	K.07
KONSTRUKCYJNE SCHODÓW	K.08

1 Dane ogólne

1.1 Przedmiot i zakres opracowania

Przedmiotem opracowania jest część konstrukcyjna projektu budowlanego budynku Strażnicy OSP wraz ze świetlicą zlokalizowanego w Wąsoszu Górnym gm. Popów. dz. nr ewid. 180/5

1.2 Charakterystyka ogólna obiektu

Budynek zaprojektowano w technologii tradycyjnej murowanej ze stropem prefabrykowanym żelbetowym w postaci płyt stropowych kanałowych HC.

Posadowienie bezpośrednie na ławach fundamentowych o wymiarach 40x80cm.

Ściany fundamentowe z bloczków betonowych 380x250x120mm.

Ściana zewnętrzna nośna z pustaków ceramicznych Porotherm 30P+W o grubości 30cm, ocieplona warstwą styropianu o grubości 20cm.

Ściana wewnętrzna nośna z pustaków ceramicznych Porotherm 30P+W o grubości 30cm.

Ściany działowe z pustaka Porotherm 11,5P+W o grubości 12cm.

Dach wielospadowy o konstrukcji drewnianej.

Wszystkie materiały budowlane stosowane do realizacji projektowanej powinny posiadać certyfikat lub aprobatę techniczną, natomiast urządzenia certyfikat na znak bezpieczeństwa.

1.3 Podstawa opracowania:

- Zlecenie inwestora
- Projekt budowlany
- Obowiązujące przepisy i normy

1.4 Założenia przyjęte do obliczeń konstrukcyjnych

Obliczenia konstrukcji danego budynku zostały wykonane w oparciu o następujące normy:

PN-EN 1991-1-1 – Oddziaływania na konstrukcje. Część 1-1: Oddziaływania ogólne – Ciężar objętościowy, ciężar własny, obciążenia użytkowe w budynkach.

PN-EN 1991-1-3 – Oddziaływania na konstrukcje. Część 1-3: Oddziaływania ogólne – Obciążenia śniegiem

PN-EN 1991-1-4 – Oddziaływania na konstrukcje. Część 1-4: Oddziaływania ogólne – Obciążenia wiatrem

PN-EN 1992-1-1- Projektowanie konstrukcji z betonu. Część 1-1: Reguły ogólne i reguły dla bud.

PN-EN 1993-1-1- Projektowanie konstrukcji stalowych. Część 1-1: Reguły ogólne i reguły dla bud.

PN-EN-1995-1-1- Projektowanie konstrukcji z drewna. Część 1-1: Reguły ogólne i reguły dla bud.

PN-EN 1996-1-1- Reguły ogólne dla zbrojonych i niezbrojonych konstrukcji murowych.

PN-81/B-03020 - Posadowienie bezpośrednie bud.

1.5 Materiały konstrukcyjne

Beton konstrukcyjny:

- C20/25 - fundamenty, trzpienie, schody, belki, nadproża
- C50/60 - strunobetonowe płyty stropowe HC320 (patrz załącznik Z.1)

Chudy beton C12/15

Stal zbrojeniowa AIII RB500W, B500SP

Strzemiona A-I (St3S-b)

Stal konstrukcyjna S235JR

Śruby, kotwy S235JR

2 Podstawy obliczeń

2.1 Warunki wodno - gruntowe

Pierwsza kategoria geotechniczna (jedno lub dwukondygnacyjne obiekty budowlane o statycznie wyznaczalnym schemacie obliczeniowym).

Dla przedmiotowej inwestycji zostały wykonane odkrywki gruntu na podstawie których stwierdzono występowanie gruntu jako piaski drobnoziarniste z przewarstwieniami iłowymi, jednorodny genetycznie.

Warstwy gruntu równoległe do powierzchni terenu.

W poziomie terenu posadowienia nie występuje woda.

Grunt geologicznie jednorodny – proste warunki gruntowe

Po wykonaniu wykopu fundamentowego należy wykonać badania podłoża gruntowego w wykopie w celu sprawdzenia zgodności podłoża gruntowego z przyjętym w projekcie.

Mogące wystąpić lokalnie warstwy gruntów w stanie plastycznym należy usunąć i zastąpić chudym betonem lub gruntem mineralnym niespoistym różnoziarnistym np. żwiry z zagęszczeniem kontrolowanym geotechnicznie ($I_D > 0,45$), natomiast grunty niespoiste w stanie luźnym należy zagęścić do uzyskania $I_D > 0,45$ lub usunąć j.w..

2.2 Obciążenia

2.2.1.1 Użytkowe i stałe

Obciążenia użytkowe charakterystyczne parteru – Kategoria C4: 4.5 kN/m^2

Obciążenia użytkowe charakterystyczne stropów poddasza – Kategoria A: 2.0 kN/m^2

Obciążenia użytkowe charakterystyczne schodów – Kategoria A: 3.0 kN/m^2

Ciężar własny charakterystyczny dla stropu: 3.9 kN/m^2 (na podstawie załącznika Z.1)

Obciążenie stałe charakterystyczne dachu: 1.20 kN/m^2

Współczynnik obliczeniowy obciążeń użytkowych 1.5

Współczynnik obliczeniowy obciążeń stałych 1.35

2.2.1.2 Obciążenia śniegiem

II strefa obciążenia śniegiem

Kąt nachylenia dachu 25° – współczynnik kształtu dachu $\mu = 0.8$

Wartość charakterystyczna obciążenia śniegiem gruntu w Polsce: $s_k = 0.9 \text{ kN/m}^2$

Charakterystyczna wartość obciążenia śniegiem dachu: $S_k = 0.72 \text{ kN/m}^2$

Współczynnik obliczeniowy równy 1.5

2.2.1.3 Obciążenia wiatrem

I strefa obciążenia wiatrem

Wartości podstawowe: bazowa prędkość wiatru równa 22 m/s , ciśnienie prędkości wiatru równe 0.3 kN/m^2 .

Współczynnik obliczeniowy równy 1.5

2.2.1.4 Obciążenia na grunt

I kategoria geotechniczna

Naprężenia pod fundamentem na grunt $q_r = 150 \text{ kPa}$ (1.50 kg/cm^2)

Opór jednostkowy gruntu $q_f = 250 \text{ kPa}$ (2.50 kg/cm^2), dla piasku drobnego zagęszczonego

Głębokość przemarzania $h_z = 1.0 \text{ m}$ - strefa II

2.3 Rozwiązania konstrukcyjno-materiałowe

2.3.1 Ława fundamentowa L.1

Wymiary ławy 40x80cm.

Wykonać z betonu klasy C20/25 na podbudowie z betonu klasy C12/15 o grubości min. 5cm. na poziomie -1.82m (patrz rysunek konstrukcyjny).

Zaprojektowane zbrojenie podłużne pod ścianami fundamentowymi jako zabezpieczenie budynku przed nierównomiernym osiadaniem z prętów żebrowanych 4xØ12 ze stali A-IIIIN (RB500W) oraz strzemionami Ø6 co 25cm ze stali A-I (St3S-b). Długość łączenia prętów zbrojeniowych wynosi 100cm – dotyczy szczególnie naroży budynku. Minimalna otulina 50mm.

Alternatywa dla stali RB500W jest stal BSt500S

2.3.2 Ściany fundamentowe

Murowane z bloczków betonowych o wymiarach 380x250x120 mm na zaprawie cementowej klasy M5. Izolację termiczną w postaci styropianowej płyty izolacji obwodowej EPS100 gr.17,0 cm.

Izolacja przeciwwodna pionowa w postaci 2xDysperbit na rapówce zewnętrznej stronie.

Izolacja pozioma pas papy asfaltowej układany na zakład około 40cm na szerokość fundamentu lub folia izolacyjna gr. 2mm.

2.3.3 Posadzki na gruncie

Wykonać z betonu C12/15 gr.12cm na podsypce piaskowej stabilizowanej o gr. około 30 cm.

Następnie ułożyć folię hydroizolacyjną 2x na zakład, styropian EPS 100 o gr. 20cm.

Na końcu wykonać szlichtę betonową o gr. 7,0cm.

2.3.4 Posadzki na gruncie - garaż / kotłownia

Wykonać z betonu C20/25 gr.20cm na podsypce z kruszywa dolomitowym zagęszczonego o gr. około 50 cm. Beton zbrojony siatką z prętów gładki Ø6mm o wymiarze oczka 15x15cm lub włóknami stalowymi w ilości 25kg/m³.

2.3.5 Ściany zewnętrzne konstrukcyjne

Zaprojektowano jako dwuwarstwowe z pustaków ceramicznych Porotherm 30P+W o gr. 30.0cm na zaprawie cementowej wapiennej klasy M5.

Ocieplenie ściany styropianem EPS70 o gr.20cm wykończonym cienkowarstwowym tynkiem akrylowym.

2.3.6 Ściany wewnętrzne

Ściany wewnętrzne nośne wykonać z pustaków Porotherm 30P+W gr.30,0cm.

Ściany działowe wykonać z pustaków Porotherm 11,5P+W gr.11.5cm.

Ściany wykonane na zaprawie cementowej M5, wykończone tynkiem cementowo-wapiennym o gr. 1,0÷1,5cm (alternatywnie tynk gipsowy).

2.3.7 Strop prefabrykowany

Strop nad całą powierzchnią parteru należy wykonać z płyty prefabrykowanej strunobetonowej HC320 o grubości 32cm, zastosowany beton C50/60. (Patrz załącznik Z.1).

Należy uwzględnić dodatkowe zebra w płycie stropowej ze względu na oparcie punktowe słupów konstrukcji dachu. (Lokalizacja słupów i obciążenia podana na rysunku K.02).

2.3.8 Belka B.1

Wymiary 45x30cm, zaprojektowana jako jednoprzęsłowa belka o rozpiętości 6,1m w świetle podpór, służąca jako podparcie podłużne dla płyt stropowych HC320.

Wykonać z betonu C20/25, pojedynczo zbrojona prętami żebrowanymi w dwóch rzędach: pierwszy rząd 6xØ12mm, drugi rząd 2xØ12mm oraz górne konstrukcyjne Ø12mm w narożach belki, klasa stali zbrojeniowej A-IIIIN (RB500).

Strzemiona dwucięte z prętów gładkich Ø6mm klasa stali A I (St3S-b) w rozstawie co 20cm w miejscach podporowych na odcinku L/5 oraz w miejscu podparcia konstrukcji dachu strzemiona należy zagęścić co 10cm.

Długość łączenia prętów zbrojeniowych wynosi 100cm.

Długość zakotwienia prętów zbrojeniowych w podporze wynosi 50cm

Grubość otulenia zbrojenia 25mm. Alternatywa dla stali RB500W jest stal B500SP

2.3.9 Belka B.2

Wymiary 42x25cm, zaprojektowana jako jednoprzęsłowa belka o rozpiętości 3,0m w świetle podpór, służąca jako podparcie płyty biegu schodowego oraz monolitycznej płyty stropowej.

Wykonać z betonu C20/25, pojedynczo zbrojona prętami żebrowanymi 5xØ12mm oraz górne konstrukcyjne Ø12mm w narożach belki, klasa stali zbrojeniowej A-IIIIN (RB500).

Strzemiona dwucięte z prętów gładkich Ø6mm klasa stali A I (St3S-b) w rozstawie co 20cm w miejscach podporowych na odcinku L/5 oraz w miejscu podparcia konstrukcji dachu strzemiona należy zagęścić co 10cm.

Długość łączenia prętów zbrojeniowych wynosi 100cm.

Długość zakotwienia prętów zbrojeniowych w podporze wynosi 50cm

Grubość otulenia zbrojenia 25mm. Alternatywa dla stali RB500W jest stal B500SP

2.3.10 Nadproże N.1

Wymiary 41x30cm, zaprojektowane jako dwuprzęsłowa belka o rozpiętości 3,5m w świetle podpór.

Nadproże znajduje się nad bramą wjazdową oraz jest podparcie wzdłużnym płyty stropowej HC320.

Wykonać z betonu C20/25, pojedynczo zbrojona dołem prętami żebrowanymi 4xØ12mm oraz górne nad podporą pośrednią prętami żebrowanymi 4xØ12mm, klasa stali zbrojeniowej A-IIIIN (RB500).

Strzemiona dwucięte z prętów gładkich Ø6mm klasa stali A I (St3S-b) w rozstawie co 20cm w miejscach podporowych na odcinku L/5 oraz w miejscu podparcia konstrukcji dachu strzemiona należy zagęścić co 10cm.

Długość łączenia prętów zbrojeniowych wynosi 100cm.

Długość zakotwienia prętów zbrojeniowych w podporze wynosi 50cm

Grubość otulenia zbrojenia 25mm. Alternatywa dla stali RB500W jest stal B500SP

2.3.11 Nadproże N.2

Wymiary 45x30cm, zaprojektowane jako jednoprzęsłowa belka o rozpiętości 4,0m.

Wykonać z betonu C20/25, pojedynczo zbrojona prętami żebrowanymi 5xØ12mm oraz górne konstrukcyjne Ø12mm w narożach belki, klasa stali zbrojeniowej A-IIIIN (RB500).

Strzemiona dwucięte z prętów gładkich Ø6mm klasa stali A I (St3S-b) w rozstawie co 20cm w miejscach podporowych na odcinku L/5 oraz w miejscu podparcia konstrukcji dachu strzemiona należy zagęścić co 10cm.

Długość łączenia prętów zbrojeniowych wynosi 100cm.

Długość zakotwienia prętów zbrojeniowych w podporze wynosi 50cm

Grubość otulenia zbrojenia 25mm. Alternatywa dla stali RB500W jest stal B500SP

2.3.12 Nadproża okienne i drzwiowe

Jeżeli nie wskazano nadproża z zastosowaniem belki prefabrykowanej L19 to należy nadproże wykonać monolitycznie z betonu C20/25, zbrojone prętami żebrowanymi Ø12mm klasa stali A-IIIN (RB500W).

Strzemiona dwucięte z prętów gładkich Ø6mm klasa stali A-I (St3S-b) w rozstawie co 20cm.

Długość łączenia prętów zbrojeniowych wynosi 100cm.

Długość zakotwienia prętów zbrojeniowych w podporze wynosi 50cm

Grubość otulenia zbrojenia 25mm. Alternatywa dla stali RB500W jest stal BSt500s.

2.3.13 Trzpienie T0.1, T1.1, T0.4, T1.4

Wymiary 30x30cm, mające na celu usztywnienia ścian konstrukcyjnych nośnych.

Wykonać z betonu C20/25, zbrojona prętami żebrowanymi 4xØ12mm, klasa stali zbrojeniowej A-IIIN (RB500W).

Strzemiona dwucięte z prętów gładkich Ø6mm klasa stali A-I (St3S-b) w rozstawie około 20cm.

Długość zakotwienia prętów zbrojeniowych w podporze wynosi 50cm.

Grubość otulenia zbrojenia 25mm. Alternatywa dla stali RB500W jest stal BSt500s.

2.3.14 Trzpienie T0.2, T1.2

Wymiary 30x30cm, mające na celu usztywnienia ścian konstrukcyjnych nośnych.

Wykonać z betonu C20/25, zbrojona prętami żebrowanymi 6xØ12mm, klasa stali zbrojeniowej A-IIIN (RB500W).

Strzemiona dwucięte z prętów gładkich Ø6mm klasa stali A-I (St3S-b) w rozstawie około 20cm.

Długość zakotwienia prętów zbrojeniowych w podporze wynosi 50cm.

Grubość otulenia zbrojenia 25mm. Alternatywa dla stali RB500W jest stal BSt500s.

2.3.15 Trzpienie T0.3, T1.3

Wymiary 30x80cm, służące jako podpora pośrednia nadproża N.1.

Wykonać z betonu C20/25, zbrojona prętami żebrowanymi 10xØ12mm, klasa stali zbrojeniowej A-IIIN (RB500W). Strzemiona w postaci prętów rozdzielczych żebrowanych Ø12mm klasa stali A-IIIN (RB500W) w rozstawie około 25cm.

Długość zakotwienia prętów zbrojeniowych w podporze wynosi 50cm.

Grubość otulenia zbrojenia 25mm. Alternatywa dla stali RB500W jest stal BSt500s.

2.3.16 Trzpienie T2.1, T2.2

Wymiary 30x30cm, mające na celu usztywnienia ścian kolankowych.

Wykonać z betonu C20/25, zbrojona prętami żebrowanymi 6xØ12mm, klasa stali zbrojeniowej A-IIIN (RB500W).

Strzemiona dwucięte z prętów gładkich Ø6mm klasa stali A-I (St3S-b) w rozstawie około 20cm.

Długość zakotwienia prętów zbrojeniowych w podporze wynosi 50cm.

Grubość otulenia zbrojenia 25mm. Alternatywa dla stali RB500W jest stal BSt500s.

2.3.17 Wieniec W.1, W.2, W.3, W.4

Wykonać na poziomie stropu nad parterem na ścianach zewnętrznych i wewnętrznych (patrz rys. K.02) w celu usztywnienia ścian budynku i zmniejszenia ugięcia stropu.

Należy zastosować betony C20/25, zbrojenie w postaci prętów żebrowanych Ø12mm w narożach - klasa stali A-IIIN (RB500W), strzemiona dwucięte z prętów gładkich Ø6mm w rozstawie co 20cm – klasa stali A-I (St3S-b). Długość łączenia prętów zbrojeniowych wynosi 100cm – dotyczy szczególnie naroży budynku.

Minimalna otulina 25mm. Alternatywa dla stali RB500W jest stal B500SP.

Sposób zbrojenia (wykonania) wieńców może różnić się od wykonanego opracowania ze względu na wytyczne producenta płyt stropowych strunobetonowych HC320.

W wieńcach **W.4** na których będzie opierała się murlata należy podczas wykonywania umieścić kotwy M16 w rozstawie co 150cm do zamocowania murlaty.

2.3.18 Nadproża drzwiowe

W ścianach zewnętrznych i wewnętrznych wykonać z betonu B20 (C16/20), zbrojone prętami żebrowanymi 4xØ12mm w narożach - klasa stali A-III (RB500), strzemiona dwucięte z prętów gładkich Ø6mm w rozstawie co 25cm – klasa stali A-0 (St0S).

Alternatywa to belki prefabrykowane L-19.

2.3.19 Schody wewnętrzne

Schody łączące parter z poddaszem zaprojektowano jako dwubiegowe.

Wykonać z betonu C20/25, zbrojone prętami żebrowanymi Ø12mm rozstawionymi co 14cm, oraz pręty rozdzielcze również żebrowane tej samej średnicy w rozstawie co 25cm - klasa stali A-IIIN (RB500W).

Płyta schodów grubości 15cm. Długość zakotwienia zbrojenia min. 50cm, długość zakładu zbrojenia 100cm.

Minimalna otulina 25mm. Alternatywa dla stali RB500W jest stal BSt500s.

2.3.20 Schody zewnętrzne i płyty tarasowe

Wykonać z płyt betonowych posadowionych na zagęszczonej podbudowie z piasku i żwiru.

2.3.21 Więźba dachowa

Więźba dachowa wielospadowa płatwiowo - kleszczowa kącie nachylenia połaci 25°.

Krokwie o przekroju 10x20cm oparte na murlacie 14x14cm, na płatwiach 16x22cm oraz na belkach narożnych i kosзовych o przekroju 12x24cm.

Płatwie oparte na ścianie na słupach drewnianych 16x16cm.

Murlatę należy połączyć ze ścianą kolankową za pomocą śrub M16 które wcześniej zostały zakotwione w wieńcu, w rozstawie co około 150cm.

Drewno konstrukcyjne sosnowe klasy C27, czterostronnie strugane, które należy zabezpieczyć przeciw grzybom i owadom.

ZAŁĄCZNIK Z.1

Projekt techniczny strunobetonowych płyt stropowych HCS Tom IV - Płyty kanałowe HC320

ZAMAWIAJĄCY:

FABUD WKB S.A.
41-103 Siemianowice Śląskie, ul. Wyzwolenia 2
tel.: 32 220 13 24, fax: 32 228 14 63

JEDNOSTKA PROJEKTOWA:

STEELCO Grzegorz Troszczyński
51-415 Wrocław, ul. Kwidzyńska 5
tel./fax: 71 78 84 740

SYGNATURA PROJEKTU:

PT-158/4

BRANŻA:

konstrukcja

STADIUM:

projekt techniczny

PROJEKTANT:

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

SPRAWDZAJĄCY:

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

Wrocław, marzec 2016 r.

Zawartość opracowania

1. PODSTAWA WYKONANIA DOKUMENTACJI	5
1.1. Podstawa formalna i klauzule	5
1.2. Podstawa merytoryczna	5
1.3. Dokumenty związane	6
2. OPIS TECHNICZNY	7
2.1. Ogólny opis i przeznaczenie prefabrykatów	7
2.2. Szczegółowy opis płyt HC320	7
2.2.1. Ukształtowanie przekroju poprzecznego	7
2.2.2. Długość prefabrykatów	8
2.2.3. Zbrojenie płyt	8
2.2.4. Wstępny naciąg strun	9
2.2.5. Dane techniczne płyt i stropów	10
2.3. Ognioodporność płyt HC320	10
2.3.1. Sprawdzenie wymagań podstawowych	10
2.3.2. Redukcja nośności zbrojenia głównego	11
2.3.3. Redukcja nośności stref przypodporowych	12
2.3.4. Odporność ogniowa złączy	12
3. SPECYFIKACJA PRODUKCYJNA	13
3.1. Beton	13
3.2. Zbrojenie sprężające	14
3.2.1. Stal sprężająca	14
3.2.2. Parametry wstępnego naciągu strun	14
3.3. Wytwarzanie płyt	15
3.3.1. Przygotowanie podłoży	15
3.3.2. Przygotowanie zbrojenia i realizacja naciągu	15
3.3.3. Formowanie i pielęgnacja betonu	16
3.3.4. Wykończenie powierzchni	16
3.3.5. Odprężanie strun i dzielenie wstęgi	16
3.4. Jakość i dokładność wykonania	17
3.4.1. Tolerancje geometrii płyt	17
3.4.2. Tolerancje ułożenia strun	17
3.4.3. Nominalny wsłizg cięgien	17
3.4.4. Wstępne wygięcie płyt	18
3.4.5. Dopuszczalne uszkodzenia płyt	18
3.4.6. Wymagania dotyczące stanu powierzchni	18
3.5. Kontrola jakości	18
3.5.1. Zakres kontroli	18
3.5.2. Postępowanie z płytami wadliwymi	19
3.5.3. Dopuszczenie płyt do użytkowania	20
4. SPECYFIKACJA TRANSPORTOWA	21
4.1. Transport bliski	21

4.2.	Transport daleki	21
4.3.	Składowanie płyt	21
5.	WARUNKI STOSOWANIA I SPECYFIKACJA MONTAŻOWA	23
5.1.	Przeznaczenie płyt	23
5.2.	Zakres stosowania płyt ze względu na trwałość	23
5.2.1.	Trwałość eksploatacyjna	23
5.2.2.	Trwałość w warunkach pożaru	24
5.2.3.	Ochrona przed intensywną deterioracją	24
5.3.	Montaż płyt i warunki wbudowania	25
5.3.1.	Specyfikacja montażowa	25
5.3.2.	Warunki wbudowania	25
5.3.3.	Wykończenie stropu	25
6.	ZAŁOŻENIA PROJEKTOWE	26
6.1.	Metody i zakres obliczeń	26
6.1.1.	Podstawa i metody obliczeń	26
6.1.2.	Mechanizmy zniszczenia w stadium eksploatacji	26
6.1.3.	Zakres i zasady obliczeń	26
6.1.4.	Współczynniki częściowe	26
6.1.5.	Przekrój obliczeniowy	27
6.2.	Kryteria użytkowe	27
6.3.	Cechy mechaniczne materiałów	28
6.3.1.	Beton	28
6.3.2.	Stal sprężająca	29
6.4.	Parametry sprężania	29
6.5.	Nośność na zginanie	30
6.6.	Nośność poprzeczna	30
6.6.1.	Regiony niezarysowane	30
6.6.2.	Region zarysowany	30
6.7.	Nośność zakotwienia strun	30
7.	WYNIKI OBLICZEŃ STATYCZNO-WYTRZYMAŁOŚCIOWYCH	31
7.1.	Technika i forma obliczeń	31
7.2.	Wielkości statyczne płyt HC320	31
7.3.	Nośność płyt	32
7.3.1.	Dopuszczalne obciążenia równomierne	32
7.3.2.	Nośność płyt obciążonych nierównomiernie	32

RYSUNKI:

RYSUNEK K-001: Płyta kanałowa HC320-7/REI60

RYSUNEK K-002: Płyta kanałowa HC320-9/REI60

RYSUNEK K-003: Płyta kanałowa HC320-11/REI60

RYSUNEK K-004: Płyta kanałowa HC320-14/REI60

RYSUNEK K-005: Płyta kanałowa HC320-16/REI60

RYSUNEK K-006: Płyta kanałowa HC320-9/REI120

RYSUNEK K-007: Płyta kanałowa HC320-11/REI120

RYSUNEK K-008: Płyta kanałowa HC320-13/REI120

1. PODSTAWA WYKONANIA DOKUMENTACJI

1.1. Podstawa formalna i klauzule

Niniejsza dokumentacja projektowa została wykonana przez biuro konstrukcyjne STEELCO Grzegorz Troszczyński (adres siedziby: ul. Kwidzińska 5, 51-415 Wrocław), na podstawie zamówienia przedsiębiorstwa FABUD WKB S.A. (siedziba: ul. Wyzwolenia 2, 41-103 Siemianowice Śląskie) z dnia 18.12.2015 r., o numerze: FABUD WKB/1034/2015. Niniejsze opracowanie stanowi czwartą część zamówionej dokumentacji technicznej.

Na podstawie art.20 ust.4 ustawy z dnia 7 lipca 1994 r. - Prawo budowlane (tekst jednolity Dz.U. z 2000 r. Nr 106, poz. 1126 z późniejszymi zmianami) autor opracowania oświadcza, że niniejszy projekt techniczny płyt został sporządzony zgodnie z obowiązującymi przepisami oraz zasadami wiedzy technicznej oraz że jest kompletny z punktu widzenia celu, któremu ma służyć.

1.2. Podstawa merytoryczna

W celu wykonania niniejszego opracowania wykorzystano następujące dokumenty, materiały źródłowe i publikacje:

- 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 206:2014 Beton. Wymagania, właściwości, produkcja i zgodność
- 9) PN-EN 197-1:2011 Cement. Skład, wymagania i kryteria zgodności dotyczące cementów powszechnego użytku
- 10) PN-EN 1008:2002 Woda zarobowa do betonu
- 11) PN-EN 12620:2013 Kruszywa do betonu
- 12) PN-EN 12390 Badania betonu
- 13) PN-ISO 3443-1(2)(3)(4)(5)(6)(7)(8):1994 Tolerancje w budownictwie
- 14) PN-EN 13501-2+A1:2010 Klasyfikacja ogniowa wyrobów budowlanych i elementów budynków.
- 15) Aprobata Techniczna ITB: AT-15-8850/2012 + Aneks Nr 1, Stalowe sploty sprężające Arcelor-Mittal Wire France S.A. z drutów gładkich lub ryflowanych, Warszawa 2014
- 16) Precast prestressed hollow core floors. FIP Recommendations, Thomas Telford, London 1998
- 17) Special design considerations for precast prestressed hollow core floors. Guide to good practice, FIB, January 2000
- 18) Manual for the design of hollow core slabs (second edition), Precast/Prestressed Concrete Institute, Chicago 1998
- 19) Ajdukiewicz A., Mames J.: Konstrukcje z betonu sprężonego, Polski Cement, Kraków 2004
- 20) Praca zbiorowa, red. Knauff M.: Podstawy projektowania konstrukcji żelbetowych i sprężonych według Eurokodu 2, Sekcja Konstrukcji Betonowych KILiW PAN, Dolnośląskie Wydawnictwo Edukacyjne, Wrocław 2006
- 21) Knauff M.: Obliczanie konstrukcji żelbetowych według Eurokodu 2. PWN 2012
- 22) Starosolski W.: Konstrukcje żelbetowe według Eurokodu 2 i norm związanych t.1, PWN 2012
- 23) Starosolski W.: Połączenia w żelbetowych konstrukcjach szkieletowych, Arkady 1993
- 24) Łapko A., Jansen B.Ch.: Podstawy projektowania i algorytmy obliczeń konstrukcji żelbetowych, Arkady 2005
- 25) Kobiak J., Stachurski W.: Konstrukcje żelbetowe t.1, Arkady 1995
- 26) Biegus A.: Podstawy projektowania i oddziaływania na konstrukcje
- 27) Rawska-Skotniczy A.: Obciążenia budynków i konstrukcji budowlanych według Eurokodów, PWN 2013
- 28) Woźniak G., Turkowski P.: Projektowanie konstrukcji z betonu z uwagi na warunki pożarowe według Eurokodu 2, ITB Warszawa 2013

1.3. Dokumenty związane

Z tą częścią projektu technicznego związane są bezpośrednio:

- 29) Troszczyński G.: Wytyczne projektowania stropów z płyt sprężonych HC. Poradnik dla projektantów (sygnatura: EKS-158/2),
- 30) Troszczyński G.: Opinia techniczna w sprawie izolacyjności termicznej i akustycznej przegród z płyt stropowych HC (sygnatura: EKS-158/1),
- 31) Troszczyński G.: Projekt techniczny strunobetonowych płyt stropowych HC. Tom I - Płyty kanałowe HC200 (sygnatura projektu: PT-158/1),
- 32) Troszczyński G.: Projekt techniczny strunobetonowych płyt stropowych HC. Tom II - Płyty kanałowe HC220 (sygnatura projektu: PT-158/2),
- 33) Troszczyński G.: Projekt techniczny strunobetonowych płyt stropowych HC. Tom III - Płyty kanałowe HC265 (sygnatura projektu: PT-158/3),
- 34) Troszczyński G.: Projekt techniczny strunobetonowych płyt stropowych HC. Tom V - Płyty kanałowe HC400 (sygnatura projektu: PT-158/5),
- 35) Troszczyński G.: Projekt techniczny strunobetonowych płyt stropowych HC. Tom VI - Płyty kanałowe HC500 (sygnatura projektu: PT-158/6).

Wymienione wyżej dokumenty uważać należy za integralną całość dokumentacji technicznej systemu płyt stropowych HC, w której skład wchodzi niniejsza część.

2. OPIS TECHNICZNY

2.1. Ogólny opis i przeznaczenie prefabrykatów

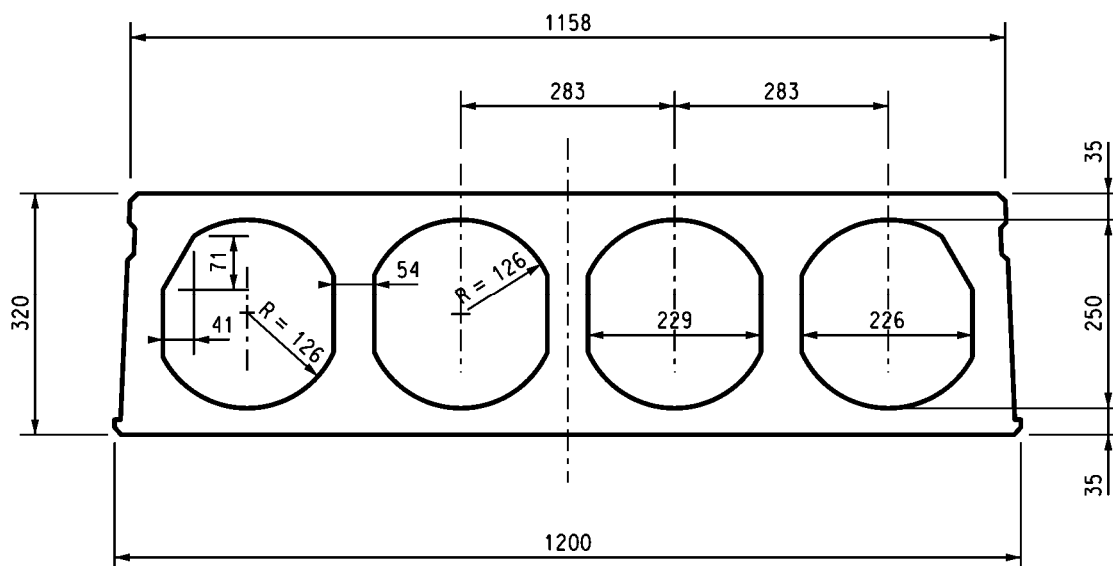
Przedmiotem projektu są strunobetonowe, kanałowe płyty stropowe oznaczone symbolem HC320 o wysokości 320 mm i szerokości modularnej 1200 mm. Ukształtowanie przekroju poprzecznego umożliwia produkcję (prefabrykację) płyt w wytwórni metodą wytłaczania (ekstruzji) betonu na długim torze. Płyty mogą mieć dowolną rozpiętość w zakresie od 3,0 do 17,1 m (z zastrzeżeniami podanymi w pkt.2.2.2).

Przedmiotowe płyty są przeznaczone do konstruowania stropów w budynkach o różnorodnej funkcji i o różnych układach konstrukcyjnych (z zastrzeżeniami wymienionymi w pkt.5.1 i pkt.5.2). Jako elementy konstrukcji nośnej, są prefabrykatami w rozumieniu norm [3] i [6].

2.2. Szczegółowy opis płyt HC320

2.2.1. Ukształtowanie przekroju poprzecznego

Betonowy przekrój poprzeczny strunobetonowych płyt kanałowych typu HC320 ma wysokość 320 mm i szerokość modularną 1200 mm; rzeczywista może być o 6 mm mniejsza (wymiar nominalne). Inne podstawowe wymiary przekroju poprzecznego płyty HC320 ilustruje rys.1.



Rys.1. Przekrój poprzeczny płyt HC320

Płyty HC320 posiadają cztery podłużne kanały o owalnym przekroju poprzecznym. Szerokość dwóch kanałów zewnętrznych wynosi 226 mm, a kanałów wewnętrznych 229 mm; ich boczne powierzchnie są płaskie, a górna i dolna - cylindryczne o promieniu 126 mm. Wszystkie kanały mają jednakową wysokość, równą 250 mm. Kanały umieszczone są w jednym rzędzie, dokładnie w środku wysokości przekroju płyty. Stąd dolna i górna półka płyt mają grubość 35 mm (w największym miejscu, tj. w płaszczyznach osi kanałów). Na szerokości przekroju kanały rozmieszczone są równomiernie co 283 mm, i symetrycznie względem podłużnej osi prefabrykatu. Wynikająca stąd szerokość wewnętrznych żebier (środków) wynosi 54 mm.

Z betonowej bryły prefabrykatów nie wystają żadne pręty zbrojenia ani inne elementy wyposażenia lub akcesoria. W szczególności, płyty nie posiadają żadnego zbrojenia zapewniającego ich integrację z konstrukcją nośną budynku i wzajemne zespolenie prefabrykatów tworzących ustrój stropowy. Płyty nie mają także zainstalowanych na stałe uchwytów transportowych. Powyższe cechy są podyktowane ograniczeniami narzuconymi technologią, w jakiej płyty mają być produkowane (pkt.2.1, pkt.3.3.3). Zapewnienie integralności konstrukcyjnej stropów z płyt HC320 jest przedmiotem odrębnego opracowania [29].

W bocznych powierzchniach płyt ukształtowane są podłużne wręby o głębokości 8 mm i wysokości 50 mm, dzięki którym, po wypełnieniu na budowie podłużnych styków prefabrykatów, między płytami powstaje rodzaj połączenia dyblowego (zamka), zdolnego do przenoszenia sił poprzecznych i wzajemnego przekazywania (wyrównywania) obciążeń pomiędzy sąsiadującymi płytami, zwłaszcza w przypadku ich nierównomiernego obciążenia. Zapewnia to stropom skonstruowanym z płyt HC320 właściwą współpracę poprzeczną przy przenoszeniu obciążeń nierównomiernych, takich jak siły sku-

pione bądź obciążenia liniowe równoległe do rozpiętości przęseł (np. ciężar urządzeń zainstalowanych na stropie, ciężar ścian działowych itp.) i zapobiega klawiszowaniu stropu. Wypełnione betonem łącze płyt gwarantuje również zachowanie niezbędnej szczelności ogniowej stropu (pkt.2.3.4).

Wręby w bocznych powierzchniach umożliwiają również podnoszenie płyt chwytakami zaciskowymi, co jest konieczne wobec braku zainstalowanych na stałe uchwytów transportowych (por. pkt.4.1).

Ukształtowanie przekroju poprzecznego płyt HC320 spełnia wszystkie wymagania określone w pkt.4.3.1.2 normy [7], dotyczące minimalnych grubości poszczególnych ścianek (żeber i pótek), pod warunkiem, że do wytworzenia betonu zostanie zastosowane kruszywo o uziarnieniu nie większym niż 16 mm (pkt.3.1). Inne wymagania w/w normy dotyczące kształtu przekroju również są zachowane.

Płyty HC320 zaprojektowane zostały głównie z betonu zwykłego klasy C50/60. Wyjątkowo, w jednym wariantcie płyty (pkt.2.2.3), zastosowano beton klasy C60/75. W każdym przypadku beton powinien spełniać wymagania normy [8] (pkt.3.1).

2.2.2. Długość prefabrykatów

Płyty HC320 można wykonać o dowolnej długości (bezstopniowo), tak by ich rozpiętość efektywna l_{eff} (pomiędzy teoretycznymi punktami podparcia), ustalona na podstawie normy [3] lub [5], mieściła się w przedziale od 3,0 m do 17,1 m, w najsilniejszym wariantcie zbrojenia (pkt.2.2.3). Górna granica dopuszczalnej rozpiętości płyt ze słabszym zbrojeniem jest odpowiednio zmniejszona; została podana na rysunkach K-001 do K-008, oraz w tabl.5.1÷5.8 (pkt.7.3). Rzeczywista długość prefabrykatów może być odpowiednio powiększona dla uzyskania wymaganej głębokości oparcia płyt na podporach (pkt.5.3.2). Nie dopuszcza się wykonywania płyt krótszych niż 3,0 m.

2.2.3. Zbrojenie płyt

Płyty HC320 zaprojektowane zostały w ośmiu wariantach zbrojenia sprężającego, które różnią się liczbą zastosowanych podłużnych cięgień sprężających oraz ich rozłożeniem w przekroju (rysunki K-001 do K-008, tabl.1). Poszczególne warianty zostały oznaczone liczbą, która odpowiada liczbie strun zbrojenia głównego (dolnego) oraz symbolem charakteryzującym ich odporność ogniową (pkt.2.3).

W każdym wariantcie zbrojenia, płyty HC320 zbrojone są dołem, cięgnami w postaci siedmiodrutowych splotów wykonanych z drutów gładkich o nominalnej średnicy zewnętrznej $\varnothing 12,5$ mm, ze stali Y1860 S7, według Aprobaty Technicznej [15]. Zastosowano odpowiednio: 7, 9, 11, 13, 14 i 16 cięgień $\varnothing 12,5$ mm. Warianty 9- i 11-strunowe zaprojektowano w dwóch wersjach odporności ogniowej: normalnej REI60 i podwyższonej REI120, wariant 13-strunowy tylko w klasie REI120, a pozostałe tylko w klasie REI60. Na szerokości przekroju poprzecznego, cięgna zostały umieszczone pojedynczo lub skoncentrowane w grupach liczących po 2-, 3- lub 4-struny. Grupy strun ulokowane zostały w obrębie żebrowania płyt. W każdym wariantcie wszystkie żebra są zbrojone co najmniej jedną struną zbrojenia podłużnego.

W wariantach HC320-7/REI60, HC320-9/REI60 i HC320-11/REI60 zbrojenie rozłożono w jednym szeregu, w odległości nominalnej 35 mm od dolnej powierzchni prefabrykatu (osiowo). W wariantach: HC320-14/REI60 i HC320-16/REI60 trzy struny zbrojenia głównego umieszczono w drugim szeregu, w odległości 70 mm od dolnej powierzchni płyty (osiowo). We wszystkich wariantach REI120 zbrojenie rozłożone jest w dwóch warstwach oddalonych od powierzchni sufitowej, odpowiednio, o 50 mm i 85 mm (osiowo). Osiowy, poziomy rozstaw cięgień w warstwie dolnej każdej grupy cięgień jest równy 34 mm, co pozwala na prawidłowe otulenie strun betonem podczas formowania płyt, pod warunkiem dotrzymania wymagań dotyczących uziarnienia kruszywa, z którego będzie wykonany beton (pkt.3.1).

Oprócz strun zbrojenia głównego, we wszystkich wariantach wprowadzono zbrojenie górne, złożone z dwóch strun w postaci siedmiodrutowych splotów o średnicy $\varnothing 9,3$ mm ze stali Y1860 S7. Cięgna górne zaprojektowano tylko w przypadkach, w których długość płyty przekracza 13,0 m (płyty krótsze nie posiadają zbrojenia górnego). Struny zostały ulokowane w płaszczyznach środkowych dwóch przedskrajnych żebrowania płyty, w odległości 35 mm od górnej powierzchni prefabrykatu. Nie wprowadzono żadnego dodatkowego oznaczenia wariantu ze względu na istnienie lub brak zbrojenia górnego.

Zbrojenie górne nie pełni żadnej funkcji konstrukcyjnej podczas eksploatacji płyt HC320 w ustroju stropowym. Zostało wprowadzone w celu zabezpieczenia przed złamaniem momentem odwrotnym płyt długich, podczas ich przenoszenia chwytakami, gdy te są podwieszone do trawersy znacznie krótszej niż długość podnoszonego prefabrykatu.

Wariant zbrojenia HC320-16/REI60 zaprojektowano z betonu klasy C60/75. Pozostałe warianty zaprojektowano beton klasy C50/60 (pkt.3.1).

Do sprężania zastosowano sploty siedmiodrutowe o budowie: $1\varnothing 3,17+6\varnothing 3,08$ mm – średnicy $\varnothing 9,3$ mm, i $1\varnothing 4,25+6\varnothing 4,10$ mm – sploty o średnicy $\varnothing 12,5$ mm. Obydwa rodzaje splotów muszą być wykonane z drutów gładkich (nie użebrowanych).

Poza zbrojeniem sprężającym, w płytach HC320 nie zaprojektowano żadnego zbrojenia uzupełniającego ze zwykłej stali zbrojeniowej, jak: strzemion, prętów rozdzielczych, prętów zespalających i in., co wynika bezpośrednio z potrzeby dostosowania kształtu i sposobu zbrojenia prefabrykatów do wymagań technologii produkcji (metoda ekstruzji, pkt.3.3.3). Ta cecha płyt HC320 nie narusza postanowień normy [7].

2.2.4. Wstępny naciąg strun

Wartość początkowej siły naciągu każdego cięgna, jaka powinna pozostać w strunie po nieuniknionym poślizgu technologicznym w zakotwieniach bloków oporowych, ustalono tak, by wytworzone wstępne naprężenia w stali sprężającej osiągały wartość 1200 MPa – w wariantach zbrojenia: HC320-7/REI60, HC320-9/REI120 i HC320-11/REI120, 1100 MPa, w wariantach: HC320-9/REI60, HC320-11/REI60, HC320-14/REI60 i HC320-12/REI120 oraz 1050 MPa – w wariantach zbrojenia HC320-16/REI60. Stanowi równowartość około 0,6 do 0,7 charakterystycznej wytrzymałości stali sprężającej. Ograniczenie początkowych naprężeń w stali, a w konsekwencji siły naciągu strun, jest wymuszone wytrzymałością początkową betonu w stadium sprężania (pkt.3.1(2)). W celu zabezpieczenia betonu prefabrykatu przed wstępnym zarysowaniem, naprężenia rozciągające w betonie, wymuszone sprężeniem, musiały zostać ograniczone poniżej, założonej dla tej fazy realizacji, charakterystycznej wartości wytrzymałości betonu na rozciąganie (pkt.3.1(2)). W ten sposób, w zależności od wstępnych naprężeń, początkowa siła naciągu pojedynczej struny zbrojenia głównego przyjmuje wartość, odpowiednio: 112,0 kN, 102,0 kN lub 98,0 kN (tabl.1).

Struny zbrojenia górnego, dodane w płytach długich, są w każdym przypadku naciągane siłą 46,0 kN, co wymusza naprężenie w stali o wartości ~900 MPa.

Całkowita siła początkowa sprężająca prefabrykaty, jako suma sił naciągu wszystkich cięgien w przekroju, jest dla każdego wariantu podana na rysunkach K-001÷K-008 oraz w tabl.1, gdzie zestawiono podstawowe cechy techniczne i technologiczne wszystkich wariantów zbrojeń płyt HC320.

Tabl.1. Dane techniczne i technologiczne zbrojeń płyt HC320

Tablica 1. Dane techniczne i technologiczne zbrojeń płyt HC320

Wariant zbrojenia	Zbrojenie dolne			Zbrojenie górne			P ₀	
	struny	stal	N _{0.1}	struny	stal	N _{0.2}		
	[kN]			[kN]				[kN]
HC320-7/REI60	7Ø12,5	Y1860 S7	112,0	(2Ø9,3)	Y1860 S7	(46,0)	784,0 (876,0)	
HC320-9/REI60	9Ø12,5	Y1860 S7	102,0	(2Ø9,3)	Y1860 S7	(46,0)	918,0 (1010,0)	
HC320-11/REI60	11Ø12,5	Y1860 S7	102,0	(2Ø9,3)	Y1860 S7	(46,0)	1122,0 (1214,0)	
HC320-14/REI60	14Ø12,5	Y1860 S7	102,0	(2Ø9,3)	Y1860 S7	(46,0)	1428,0 (1520,0)	
HC320-16/REI60	16Ø12,5	Y1860 S7	98,0	(2Ø9,3)	Y1860 S7	(46,0)	1568,0 (1660,0)	
HC320-9/REI120	9Ø12,5	Y1860 S7	112,0	(2Ø9,3)	Y1860 S7	(46,0)	1008,0 (1100,0)	
HC320-11/REI120	11Ø12,5	Y1860 S7	112,0	(2Ø9,3)	Y1860 S7	(46,0)	1232,0 (1324,0)	
HC320-13/REI120	13Ø12,5	Y1860 S7	102,0	(2Ø9,3)	Y1860 S7	(46,0)	1326,0 (1418,0)	
Wartości podane w nawiasach dotyczą płyt z górnym zbrojeniem sprężającym (powyżej 13,0 m rozpiętości)								
N _{0.1} , N _{0.2} - nominalna siła naciągu jednej struny, dolnej i górnej, odpowiednio								
P ₀ – całkowita, początkowa siła sprężająca (suma naciągu wszystkich strun)								

2.2.5. Dane techniczne płyt i stropów

Podstawowe dane techniczne płyt HC320 oraz stropów skonstruowanych z tych płyt zestawiono w tablicy 2.

Tabl. 2. Podstawowe dane techniczne płyt HC320 i stropów z nich skonstruowanych

Oznaczenie wariantu zbrojenia	Zbrojenie	Zużycie stali sprężającej ^{*)}				Obj. betonu C50/60 (C60/75)		Ciężar ^{**)}	
		prefabrykat [kg/m]			strop	prefabr.	strop ^{***)}	prefabr.	strop ^{***)}
		Ø9,3	Ø12,5	łącznie	[kg/m ²]	[m ³ /m]	[m ³ /m ²]	[kN/m]	[kN/m ²]
HC320-7/REI60	7Ø12,5 (2Ø9,3)	(0,81)	5,08	5,08 (5,89)	4,23 (4,91)	0,1853	0,1624	4,45	3,90
HC320-9/REI60	9Ø12,5 (2Ø9,3)	(0,81)	6,63	6,63 (7,44)	5,53 (6,20)				
HC320-11/REI60	11Ø12,5 (2Ø9,3)	(0,81)	7,99	7,99 (8,80)	6,66 (7,33)				
HC320-14/REI60	14Ø12,5 (2Ø9,3)	(0,81)	10,16	10,16 (10,97)	8,47 (9,14)				
HC320-16/REI60	16Ø12,5 (2Ø9,3)	(0,81)	11,62	11,62 (12,43)	9,68 (10,36)				
HC320-9/REI120	9Ø12,5 (2Ø9,3)	(0,81)	6,53	6,53 (7,44)	5,53 (6,20)				
HC320-11/REI120	11Ø12,5 (2Ø9,3)	(0,81)	7,99	7,99 (8,80)	6,66 (7,33)				
HC320-13/REI120	13Ø12,5 (2Ø9,3)	(0,81)	9,44	9,44 (10,25)	7,87 (8,54)				
Wartości podane w nawiasach dotyczą płyt z górnym zbrojeniem sprężającym (powyżej 13,0 m rozpiętości)									
^{*)} - nominalna masa 1 mb cięgien wynosi [15]: 0,726 kg/m - cięgno Ø12,5 mm 0,406 kg/m - cięgno Ø9,3 mm									
^{**) -} przyjęto ciężar objętościowy betonu równy 24 kN/m ³									
^{***)} - z uwzględnieniem ciężaru betonu w podłużnych stykach między płytami (klasa C20/25)									

2.3. Ognioodporność płyt HC320

2.3.1. Sprawdzenie wymagań podstawowych

Odporność ogniową płyt stropowych HC320 oszacowano na podstawie norm [4] i [7], zaliczając płyty do odpowiedniej klasy odporności ogniowej, ze względu na trzy charakterystyki skuteczności działania [14]: nośność (R), szczelność (E) i izolacyjność (I) ogniową.

W celu dokonania klasyfikacji, porównano w pierwszej kolejności podstawowe cechy geometryczne zaprojektowanych płyt, tj. odległość osi wypadkowego cięgna sprężającego od dolnej powierzchni płyty (otulina brutto), eksponowanej na działanie ognia podczas pożaru, oraz zastępczą grubość płyt, z wymaganiami ustanowionymi przez wymienione na wstępie normy dla serii klas odporności ogniowej.

Zgodnie z niniejszą dokumentacją nominalna grubość betonowej otuliny brutto zbrojenia głównego płyt HC320 jest nie mniejsza niż 35 mm - w wariantach oznaczonych jako REI60 (rys.K-001 do K-005, tabl.3) oraz nie mniejsza niż 55 mm - w wariantach REI120 (rys. K-006 do K-008, tabl.3). Grubość zastępczej płyty pełnej jest natomiast równa [7]:

$$t_e = h \cdot \sqrt{\xi} = 320 \cdot \sqrt{0,507} = 227,9 \text{ mm}$$

$$\text{dla } \xi = \frac{A_c}{b \cdot h} = \frac{0,1948}{0,32 \cdot 1,20} = 0,507 \text{ (z uwzględnieniem betonu wypełniającego złącza płyt).}$$

Zgodnie z normą [4] (tablica 5.8), dla klasy odporności (nośności) ogniowej R60, minimalna grubość otuliny brutto prętów ze zwykłej stali zbrojeniowej nie może być mniejsza niż 20 mm. Grubość tą, dla splotów sprężających o temperaturze krytycznej $\theta_{cr} = 350^\circ\text{C}$ (takich, jakie zastosowano w przedmiotowych płytach), należy zgodnie z w/w normą (pkt.5.2(5)) zwiększyć o 15 mm, co daje łączną wymaganą grubość otuliny brutto równą $a_{\min} = 20 + 15 = 35 \text{ mm}$. Z kolei, dla klasy odporności (nośności) ogniowej R120 wymagana grubość otuliny brutto prętów nie może być mniejsza niż 40 mm, co po powiększeniu o 15 mm daje wymaganą grubość otuliny splotów równą 55 mm.

Ze względu natomiast na funkcję oddzielającą, minimalna wymagana przez normę [4] (tablica 5.8) grubość płyty stropowej pełnej dla klasy odporności ogniowej EI60 wynosi 80 mm, a dla klasy EI120 - 120 mm.

Porównując podane wcześniej cechy geometryczne płyt HC320 z wartościami wymaganymi, można stwierdzić, że warianty płyt ze zbrojeniem oddalonym o co najmniej 35 mm od powierzchni sufitowej spełniają wymagania podstawowe dla klasy odporności ogniowej REI60, natomiast warianty ze zbrojeniem podniesionym na wysokość 55 mm i większą spełniają wymagania dla klasy odporności ogniowej REI120, co jest zgodne z przyjętym dla nich oznaczeniem (pkt.2.2.3). Jednocześnie, w sposób analogiczny jak wyżej, można wykazać, że ze względu na zbyt małą grubość brutto otuliny zbrojenia sprężającego nie spełniają one wymagań nośności ogniowej dla wyższych klas odporności ogniowej.

Powyższa klasyfikacja stropów oparta jest na założeniu, że w konstrukcji stropu zastosowane zostaną odpowiednie rozwiązania konstrukcyjne, wymagane przez normę [7]. W szczególności założono wykonanie odpowiedniego połączenia płyt z konstrukcją nośną budynku w węzłach podporowych (zgodnie z pkt.G.1.3 normy [7]), a także dokładne (szczelne) wypełnienie betonem poprzecznych złączy między płytami (por. pkt.2.3.4) oraz wieńców. Szczegółowe informacje w tym zakresie zamieszczono w wytycznych [29].

Dla założonej klasy odporności ogniowej wykonano dalej obliczenia szczegółowe, obejmujące oszacowanie redukcji nośności na zginanie i ścinanie prefabrykatów pod wpływem temperatury pożaru, i w konsekwencji redukcji dopuszczalnych obciążeń płyt. Obliczenia wykonano przyjmując scenariusz pożaru standardowego, tj. dla krzywej standardowej (N) temperatury pożaru w funkcji czasu [28]. Wyniki tych obliczeń zamieszczono w raportach z obliczeń statycznych R2-1 do R2-8, dołączonych do projektu w formie elektronicznej.

Płyty spełniają wymagania odporności ogniowej w założonych klasach, odpowiednio: REI60 lub REI120, jeżeli siły wewnętrzne wywołane obciążeniem ustalonym dla wyjątkowej kombinacji obciążeń nie przekraczają wartości nośności granicznej na zginanie i ścinanie, zredukowanej ze względu na temperaturę pożaru (raporty R2-1 do R2-8).

2.3.2. Redukcja nośności zbrojenia głównego

Nośność na zginanie normalnych przekrojów płyt HC320 w warunkach pożaru obliczono zgodnie z załącznikiem E normy [4], wykorzystując formułę E.3.

W wariantach zbrojenia REI60, gdzie cięgna sprężające ułożone są w dolnej warstwie betonu o grubości $a_{50\%} = 5,8$ cm (por. pkt.G.1.2 w [7]), temperaturę cięgien po 60 min pożaru oszacowano na podstawie wykresu A.2 w normie [4], jak dla płyty pełnej. Natomiast w wariantach zbrojenia REI120, w których zbrojenie znajduje się nieznacznie powyżej warstwy $a_{50\%}$ (tabl.3), temperaturę stali po 120 min pożaru oszacowano na podstawie wykresu A.2 w normie [4] oraz wytycznych normy [7], przyjmując ponad warstwą $a_{50\%}$ liniowy rozkład temperatury w przegrodzie. W ten sposób ustalono wartość temperatury strun w przedziale od 283 °C do 343 °C, w zależności od grubości otuliny brutto i czasu ekspozycji na ogień (tabl.3). Na tej podstawie wyznaczono następnie, zgodnie z normą [4], współczynnik redukcyjny wytrzymałości stali sprężającej $k_p(\theta)$, który przyjmuje wartości od 0,56 do 0,67, zależnie od temperatury stali (kol.5 w tabl.3).

W każdym przypadku, nośność zbrojenia w podwyższonej temperaturze oceniono jak dla drutów klasy B, obrabianych na zimno.

Tabl.3. Parametry charakteryzujące wpływ pożaru na właściwości zbrojenia sprężającego

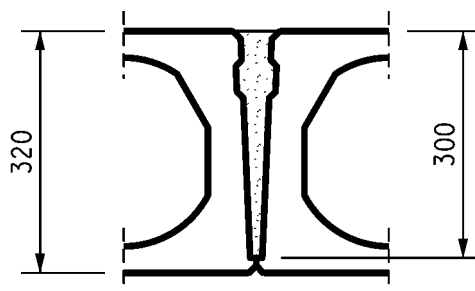
Wariant zbrojenia	Grubość otuliny brutto	Czas ekspozycji na ogień t	Temperatura stali po czasie t	Współczynnik redukcyjny $k_p(\theta)$
	[mm]		[°C]	
1	2	3	4	5
HC320-7/REI60	35	60	343	0,56
HC320-9/REI60	35		343	0,56
HC320-11/REI60	35		343	0,56
HC320-14/REI60	42,5		283	0,67
HC320-16/REI60	41,6		289	0,66
HC320-9/REI120	61,7	120	331	0,58
HC320-11/REI120	59,5		335	0,58
HC320-13/REI120	58,1		343	0,56

2.3.3. Redukcja nośności stref przypodporowych

Ocenę stopnia redukcji nośności na ścinanie strefy przypodporowej płyt HC320 przeprowadzono na podstawie danych tabelarycznych zamieszczonych w załączniku G normy [7]. I tak, zgodnie z tabl.G.2 [7], nośność na ścinanie $V_{Rd.c.fi}$ płyty kanałowej o grubości 320 mm w klasie odporności ogniowej R60 stanowi 60%, a w klasie R120 - 50% nośności w normalnej temperaturze $V_{Rd.c}$. Taki stopień redukcji nośności poprzecznej stref przypodporowych przyjęto w obliczeniach statyczno-wytrzymałościowych płyt HC320 w sytuacji wyjątkowej.

2.3.4. Odporność ogniowa złączy

Odporność ogniową złączy między płytami, rozumianą jako zdolność do spełniania funkcji oddzielającej (szczelności i izolacyjności ogniowej) w założonym okresie czasu, oceniono na podstawie pkt.4.6 normy [4], porównując cechy geometryczne złączy (rys.2) z odpowiednimi wymaganiami.



Rys.2. Złącze płyt HC320

Norma [4] wymaga, aby szerokość spoiny w złączu nie była większa niż 20 mm, a głębokość wypełnienia spoiny betonem nie mniejsza niż połowa wymaganej, w danej klasie odporności ogniowej, grubości przegrody. Wobec zakwalifikowania stropów do klasy odporności ogniowej REI60 i REI120, głębokość wypełnienia nie powinna być mniejsza niż, odpowiednio: 40 mm i 60 mm (por. pkt.2.3.1).

Uwzględniając tolerancję wykonania płyt (pkt.3.4.1), szerokość niewypełnionej spoiny u dołu nie będzie przekraczać 6 mm (jeżeli powierzchnia sufitowa pozostanie niewykończona). Zakładając z kolei dokładne (szczelne) wypełnienie na budowie złącza płyt od góry drobnoporiastym betonem (pkt.5.3.2), wypełniona część spoiny będzie miała grubość 300 mm (rys.2). Obydwie wielkości geometryczne spełniają zatem określone wyżej wymagania normatywne. Zapewnieniu szczelności i izolacyjności ogniowej sprzyja ponadto sposób, w jaki ukształtowane zostały powierzchnie boczne styku. - Wręby na bocznych powierzchniach prefabrykatów powodują, że części prefabrykowane i monolityczne zazębiają się wzajemnie w złączu tworząc połączenie dyblowe, niewrażliwe na rozszczelnienie (por. pkt.2.2.1 i rys.2).

3. SPECYFIKACJA PRODUKCYJNA

3.1. Beton

(1) Płyty HC320 należy wytwarzać z betonu zwykłego na spoiwie cementowym, którego skład oraz warunki produkcji spełniać muszą wymagania normy [8]. Cement, kruszywo oraz woda zarobowa użyte do produkcji mieszanki betonowej muszą spełniać wymagania odpowiednich norm przedmiotowych.

Stosować należy wyłącznie kruszywa mineralne spełniające wymagania normy [11], o uziarnieniu do 16 mm (ze względu na ukształtowanie ścianek przekroju płyt oraz przyjęte grubości otulenia strun betonem, maksymalny wymiar ziaren kruszywa nie może przekraczać 16 mm, pkt.2.2.1). Niezbędne badania kruszywa należy prowadzić wg odpowiednich norm przedmiotowych.

Cement użyty jako spoiwo musi być zgodny z wymaganiami normy [9]. W celu uzyskania wysokiej wytrzymałości wczesnej, należy stosować cement CEM II/A - S 52,5 N.

Jako wodę zarobową używać należy wyłącznie wodę wodociągową lub odzyskaną z procesu technologicznego produkcji betonu i prefabrykatów (woda odpadowa pozostała po czyszczeniu urządzeń mieszających, transportujących i formujących). Odpowiednie badania i ocenę przydatności wody jako składnika betonu należy przeprowadzić na podstawie normy [10].

Dopuszcza się uzupełnienie składu mieszanki betonowej odpowiednimi domieszkami chemicznymi, służącymi do poprawienia właściwości świeżej mieszanki, jak i właściwości stwardniałego betonu (np. przyspieszającymi wiązanie cementu, poprawiającymi urabialność mieszanki). Jakakolwiek domieszka chemiczna dodana jako składnik mieszanki betonowej musi spełniać wymagania przedmiotowych Polskich Norm, a w przypadku braku odpowiedniej normy musi posiadać Aprobata Techniczną (AT), względnie Europejską Aprobata Techniczną (ETA), dopuszczającą do stosowania w budownictwie. Zastosowane domieszki nie mogą być katalizatorami korozji stali sprężającej (wymagany całkowity brak agresji chemicznej w stosunku do stali), co musi być bezwzględnie udokumentowane odpowiednimi badaniami.

Dokładny skład mieszanki betonowej powinien zostać zaprojektowany w odrębnym opracowaniu, w którym należy także określić zakres i metody niezbędnych badań świeżej mieszanki, zwłaszcza jej konsystencji, oraz właściwości składników użytych do jej wytworzenia. Badania należy prowadzić wg odpowiednich Polskich Norm. Należy zapewnić właściwą urabialność i konsystencję mieszanki betonowej, aby możliwe było formowanie płyt w technologii wytłaczania. W szczególności musi być zapewniona niezmienność kształtu betonowej wstęgi, utrzymywanego kohezją, bezpośrednio po jej uformowaniu (pkt.3.3.3 i pkt.3.4.1). Wymagania technologiczne w tym zakresie należy uzgodnić z dostawcą urządzeń do formowania płyt lub doświadczalnie (metodą prób).

Po 28-dniach dojrzewania beton musi posiadać własności mechaniczne betonu klasy C50/60, a w wariancie HC320-16/REI60 właściwości betonu klasy C60/75 wg normy [3]. Wykonanie próbek i sposób prowadzenia badań stwardniałego betonu muszą być zgodne z wymaganiami odpowiedniej części normy [12]. W przypadku stosowania nagrzewu, mającego na celu skrócenie czasu wiązania cementu, końcową wytrzymałość betonu należy koniecznie potwierdzić po 90-dniach dojrzewania. Próbkę betonu powinny być pielęgnowane i przechowywane w takich samych warunkach jak zaformowane płyty.

Wyniki badań próbek betonu należy opracować statystycznie, zgodnie z załącznikiem B normy [6]. Wymaga się, by 5-procentowy kwantyl wytrzymałości kostkowej betonu na ściskanie po 28-dniach dojrzewania nie był mniejszy niż, odpowiednio: 60 MPa i 75 MPa. Ponadto, ze względu na zastosowanie w obliczeniach stanu granicznego nośności na zginanie zredukowanej wartości częściowego współczynnika bezpieczeństwa dla betonu, o wartości $\gamma_{C,red} = 1,35$ (por. pkt.6.1.4), współczynnik zmienności wytrzymałości betonu na ściskanie nie może w żadnym przypadku przekraczać 10% (zgodnie z A.2.1(2) w normie [3]).

(2) W chwili sprężania (chwila uwolnienia cięgien z zakotwień technologicznych torów naciągowych) beton powinien posiadać cechy betonu klasy C40/50, z wyjątkiem wariantu zbrojenia HC320-16/REI60, w którym beton posiadać musi w fazie sprężania cechy betonu klasy C50/60. W szczególności, charakterystyczna wartość wytrzymałości początkowej na ściskanie, kontrolowana na smukłych próbkach walcowych (o znormalizowanych wymiarach, określonych w pierwszej części normy [12]), nie powinna być mniejsza niż, odpowiednio: 40 MPa (średnia 48 MPa) i 50 MPa (średnia 58 MPa). Wytrzymałości kostkowej betonu dla stadium sprężania można nie określać.

Aby uniknąć wstępnego zarysowania górnych powierzchni płyt i/lub żeber (średników), wartość charakterystyczna wytrzymałości betonu na rozciąganie w chwili sprężania nie może być niższa niż 2,5 MPa (średnia 3,5 MPa), a w wariancie HC320-16/REI60 - 2,9 MPa (średnia 4,1 MPa). W przypadku oznaczania wytrzymałości na rozciąganie przez rozłupywanie, za wartość miarodajną należy przyjąć 0,9 wartości otrzymanej na podstawie badań.

Stosując nagrzew przyspieszający wiązanie cementu, należy mieć na uwadze to, że wytrzymałość betonu przyrastać będzie nierównomiernie na wysokości wstęgi betonu, uformowanej na podłożu toru naciągowego. W pobliżu nagrzewanej powierzchni podłoża przyrost wytrzymałości będzie szybszy niż na górze. Wytrzymałość początkową betonu należy kontrolować i zapewnić na górnej powierzchni prefabrykatów.

3.2. Zbrojenie sprężające

3.2.1. Stal sprężająca

(1) Do sprężania płyt HC320 stosować należy siedmiodrutowe sploty ze stali Y1860 S7 o średnicy $\varnothing 9,3$ mm i $\varnothing 12,5$ mm. Sploty o konstrukcji opisanej w pkt.2.2.3 [15] muszą być bezwzględnie wykonane z drutów gładkich, tj. z drutów nieposiadających wykonanego celowo (np. poprzez nagniatanie) uźebrowania, zwiększającego przyczepność stali do betonu. Użyte do produkcji płyt HC320 cięgna muszą posiadać właściwości techniczne zgodne z Aprobata Techniczną [15].

Spełnienie założonych w niniejszym projekcie wymagań dotyczących stali sprężającej powinien zagwarantować producent splotów, wydając deklarację zgodności (lub przedstawić Certyfikat Zgodności) z Aprobata Techniczną [15].

Dopuszcza się stosowanie analogicznych strun wytwarzanych przez innych producentów. W takim przypadku używać należy wyłącznie cięgien dopuszczonych do stosowania w budownictwie, zgodnie z przepisami o wyrobach budowlanych, na podstawie odpowiedniej Aprobaty Technicznej (AT), ewentualnie Europejskiej Aprobaty Technicznej (ETA) lub innego dokumentu, przewidzianego prawem polskim. Sploty mogą być wykonane z drutów o grubościach nieznacznie różniących się od podanych w pkt.2.2.3, przy czym liczba drutów w splocie, jego nominalna średnica zewnętrzna oraz pole przekroju muszą być zgodne z wartościami przyjętymi w tym projekcie (pkt.6.3.2).

(2) Ponadto, cięgna sprężające użyte do produkcji płyt nie mogą mieć widocznych oznak korozji, zwłaszcza korozji wżerowej, pęknięć, łusek, ani rozwarstwień. Na poszczególnych drutach nie mogą występować załamania, ani inne uszkodzenia mechaniczne. Powierzchnia cięgien powinna być czysta, nie zaoliwiona i nie zabrudzona środkiem antyadhezyjnym (por. pkt.3.3.1).

3.2.2. Parametry wstępnego naciągu strun

Wartość początkowej siły naciągu każdego z cięgien, po ich zakotwieniu w urządzeniach oporowych toru naciągowego, nie może różnić się od wartości nominalnej, podanej w pkt.2.2.4 (tabl.1) i na rysunkach K-001 do K-008, o więcej niż: $\pm 5\%$. Powyższe wymaganie dotyczy każdego, pojedynczego cięgna sprężającego, jak również całkowitej siły sprężającej. Niedopuszczalne jest celowe przeciążanie części strun ponad podaną wyżej wartość w celu zrekomensowania ewentualnych nadmiernych ujemnych odchyłek siły naciągu w pozostałych strunach.

Biorąc pod uwagę możliwy poślizg strun w zakotwieniach technologicznych toru naciągowego, siłę naciągu każdej struny należy zwiększyć odpowiednio do przewidywanej wartości straty siły, spowodowanej tym poślizgiem lub odpowiednio zwiększyć całkowite wydłużenie struny (przemieszczenie tłoka prasy naciągowej). Należy przyjąć, że cała strata siły naciągu (strata wstępnych odkształceń stali) rozkłada się równomiernie na całej długości toru naciągowego.

W przypadku, gdy kontrola naciągu prowadzona będzie poprzez pomiar siły w strunie (w tłoku prasy naciągowej), w celu ustalania wartości potrzebnej korekty tej siły (poprawki), uwzględnić należy wyłącznie poślizg w zakotwieniu na jednym końcu cięgna (po stronie aktywnej). W takim przypadku wartość potrzebnej poprawki siły dla jednej struny oszacować można z formuły:

$$\Delta P_{sl} = \frac{a_p}{l_t} \cdot E_p \cdot A_{p.1} \cdot 10^{-3} \text{ [kN]}$$

gdzie: a_p - przewidywany poślizg cięgna w zakotwieniu po stronie aktywnej [m],

l_t - długość toru naciągowego, między przeciwległymi płaszczyznami oporowymi bloków [m],

E_p - rzeczywisty moduł sprężystości stali splotów [MPa],

$A_{p.1}$ - pole przekroju pojedynczej struny (pkt.6.3.2), [mm²].

W przypadku braku dokładniejszych danych, można przyjąć: $E_p = 195000$ MPa [15].

Jeżeli naciąg cięgien ma być kontrolowany poprzez pomiar przemieszczenia tłoka prasy naciągowej, całkowite wydłużenie struny należy zwiększyć uwzględniając poślizg struny w obydwu zakotwieniach (na obydwu końcach). Wartość poprawki należy w takim przypadku przyjąć równą:

$$\Delta l_{sl} = 2 \cdot a_p$$

Naciąg cięgien bezpośrednio po zakotwieniu w blokach oporowych toru naciągowego można także kontrolować na podstawie bezpośredniego pomiaru odkształceń w stali sprężającej, za pomocą ekstensometru. Nominalne wartości wstępnych odkształceń stali zostały podane na rysunkach K-001 do K-008 oraz w pkt.6.4. W takim przypadku korektę wartości wstępnych odkształceń stali sprężającej należy wyznaczyć, uwzględniając poślizg w zakotwieniu na jednym końcu cięgna, z formuły:

$$\Delta \varepsilon_{sl} = \frac{a_p}{l_t}$$

Nominalne wartości wstępnych odkształceń stali podane na rysunkach K-001 do K-008 i w pkt.6.4 ustalono, przyjmując wartość modułu sprężystości stali splotów: $E_p = 195000$ MPa [15]. W przypadku, gdyby rzeczywisty moduł sprężystości splotów użytych do sprężania (deklarowany przez producenta lub otrzymany na podstawie badań kontrolnych), odbiegał od wartości podanej wyżej o więcej niż 2%, podane wartości nominalne wstępnych odkształceń stali sprężającej należy dodatkowo skorygować, mnożąc je przez iloraz:

$$\frac{195000}{E_p}$$

Dla zastosowanego w wytwórni rodzaju zakotwień, wartość poślizgu cięgien w zakotwieniu należy określić doświadczalnie lub odpowiednie dane uzyskać od producenta (dostawcy) zakotwień. W przypadku zwykle stosowanych zakotwień szczękowych, wartość poślizgu cięgna w zakotwieniu nie przekracza na ogół 5 mm ($a_p = 0,005$).

Oprócz straty siły naciągu w cięgnach, spowodowanej poślizgiem w zakotwieniach, należy również uwzględnić możliwość spadku siły naciągu w cięgnach zakotwionych wcześniej, spowodowanego odkształcalnością elementów bloków oporowych. Wartość tej korekty należy określić doświadczalnie i uwzględniać podczas naciągu strun, zwiększając odpowiednio wartość początkowej siły w strunach kotwionych wcześniej. W tym celu należy opracować dokładny program naciągu, w którym należy określić kolejność w jakiej struny mają być naprężane i kotwione oraz naciąg każdego cięgna, uwzględniający potrzebną korektę.

3.3. Wytwarzanie płyt

3.3.1. Przygotowanie podłoża

Podłoża torów naciągowych, na których formowane będą prefabrykaty muszą być nieodkształcalne (odpowiednio sztywne) i powinny mieć równą, gładką powierzchnię górną, pozbawioną jakichkolwiek uszkodzeń i deformacji. Powierzchnia podłoża nie może też być zabrudzona pozostałościami materiału z wcześniejszego cyklu produkcyjnego. Dlatego przed rozpoczęciem nowego cyklu powierzchnię roboczą łoża należy dokładnie oczyścić z ewentualnych pozostałości betonu (zaczynu cementowego), który przywarł i pozostał na powierzchni po zdjęciu prefabrykatów wyprodukowanych wcześniej. Powyższe uwagi dotyczą także bocznych szyn podłoża, po których porusza się urządzenie formujące. Ewentualne nierówności szyn mogłyby spowodować nieprawidłową pracę maszyny i/lub niedopuszczalne deformacje kształtu formowanej wstęgi betonu.

W celu osłabienia przyczepności betonu do stali, oczyszczone podłoża muszą zostać następnie pokryte preparatem antyadhezyjnym. Preparat należy rozprowadzić równomiernie na powierzchni podłoża poprzez posmarowanie lub rozpylenie, tak by tworzył cienką warstwę. Nadmiar powinien zostać usunięty, aby na powierzchni podłoża nie powstały zastoiska środka antyadhezyjnego, którym następnie mogłyby zostać zabrudzone struny.

Używać należy wyłącznie preparatu dedykowanego specjalnie do założonego celu, którego użycie nie spowoduje trwałego zabrudzenia (nasączenia) betonu w gotowych płytach. Preparat musi posiadać zdolność samoczynnego sublimowania (ulotnienia się) z powierzchni stwardniałego betonu w normalnej temperaturze, w czasie kilku dni od zdjęcia prefabrykatów z podłoża.

Bezpośrednio przed rozpoczęciem formowania betonu (pkt.3.3.3) podłoża powinny zostać zwilżone wodą, co zagwarantuje uzyskanie gładkiej powierzchni sufitowej płyt.

3.3.2. Przygotowanie zbrojenia i realizacja naciągu

Wzdłuż torów naciągowych należy rozciągnąć struny, w liczbie i średnicy zgodnej z projektem aktualnie wytwarzanych płyt. Należy zwrócić uwagę na to, by podczas układania struny nie zostały zabrudzone preparatem antyadhezyjnym, którym wcześniej zostało pokryte łożo (każda substancja oleista na powierzchni strun osłabia przyczepność stali do betonu). Struny należy rozmieścić zgodnie z projektem prefabrykatów i zakotwić we właściwym położeniu w blokach oporowych torów. Co około 20 m, w poprzek toru należy umocować łańcuchy zabezpieczające. Następnie zrealizować można naciąg każdej struny siłą przewidzianą w projekcie (pkt.2.2.4), przestrzegając wytycznych podanych

w pkt.3.2.2. Naciąg każdej ze strun powinien być realizowany indywidualnie, kolejno, w sposób kontrolowany, za pomocą prasy naciągowej gwarantującej zachowanie założonej w projekcie dokładności naciągu (pkt.3.2.2). Do naprężania strun nie należy używać urządzeń hydraulicznych przeznaczonych do odprężania zbrojenia po związaniu betonu. Przed realizacją naciągu strun, ruchomy blok oporowy toru powinien zostać zablokowany w pozycji roboczej.

3.3.3. Formowanie i pielęgnacja betonu

Płyty HC320 należy formować na podłożach torów naciągowych metodą wytłaczania (ekstruzji) betonowej wstęgi. Podłoże, na którym będą formowane płyty musi posiadać cechy i zostać uprzednio przygotowane w sposób opisany w pkt.3.3.1.

Dostarczana do wytłaczarki (ekstrudera) mieszanka betonowa powinna być jednorodna i mieć konsystencję gwarantującą zachowanie kształtu świeżo uformowanego i zagęszczonego betonu. Betonową wstęgę należy formować w sposób ciągły, na całej długości toru, w jednym etapie. Jeżeli ze względów technicznych lub logistycznych konieczne byłoby przerwanie betonowania, jego wznowienie powinno się rozpocząć nie później niż 15 minut przed upływem czasu początku wiązania cementu w już zaformowanym betonie. W przypadku dłuższej przerwy w betonowaniu, odcinek wstęgi w pobliżu miejsca przerwy (50 cm przed i 50 cm za miejscem przerwy) nie może zostać wykorzystany w żadnym prefabrykacie. Należy go wyciąć i zutylizować.

W uformowanej wstędze nie mogą występować braki (puste przestrzenie) lub odpryski betonu na żadnej zewnętrznej powierzchni, jak i wewnątrz ich kanałów (z wyjątkiem dopuszczalnych uszkodzeń opisanych w pkt.3.4.5).

Podczas formowania płyt należy zapewnić stabilizację cięgien sprężających w ich nominalnym położeniu, wg rys. K-001 do K-008 (pkt.2.2.3), tak by nie zostały przekroczone dopuszczalne odchyłki położenia, określone w pkt.3.4.2.

Natychmiast po zaformowaniu wstęgi, świeży beton należy zabezpieczyć przed nadmierną utratą wilgoci, niezależnie od tego czy stosowany będzie nagrzew podłoża, czy nie. W tym celu wstęgę uformowanego betonu należy sukcesywnie, w miarę formowania, nakrywać matą lub folią z materiału o dużym oporze dyfuzyjnym.

W celu uzyskania wymaganej w dokumentacji wysokiej wytrzymałości wczesnej betonu w krótkim okresie czasu od zaformowania, dopuszcza się stosowanie obróbki termicznej świeżego betonu (nagrzew podłoża). Podczas prac przygotowawczych i podczas formowania wstęgi utrzymywać należy stałą temperaturę podłoża w przedziale 30 ± 35 °C. Po zaformowaniu całej długości toru i nakryciu wstęgi folią zabezpieczającą temperaturę podłoża można podnieść do 50 °C aż do uzyskania przez beton minimalnej wytrzymałości początkowej (por. pkt.3.1(2) i pkt.6.3.1). Następnie temperatura podłoża może zostać ponownie obniżona do około 30 °C. Nie wolno dopuścić do wychłodzenia uformowanej na podłożu wstęgi betonu poniżej podanej wyżej temperatury zanim ciągną sprężające nie zostaną uwolnione z zakotwień bloków oporowych (skrępowanie swobody skurczu termicznego przez ciągną może spowodować poprzeczne pęknięcia betonu).

3.3.4. Wykończenie powierzchni

Podczas formowania wstęgi należy zapewnić wyrównanie i wygładzenie górnej powierzchni betonu, odpowiednie do przeznaczenia płyt.

Gładką i równą powierzchnię uzyskuje się podczas normalnego procesu produkcji płyt w technologii ekstruzji betonu (pkt.3.3.3). Urządzenie formujące ukształtuje dostatecznie gładkie i równe powierzchnie, o ile mieszanka betonowa nie zdeformuje się następnie pod własnym ciężarem, po opuszczeniu ustnika ekstrudera. Aby wyeliminować ten niepożądany efekt, konsystencja betonu powinna gwarantować stabilność konturu przekroju poprzecznego uformowanej wstęgi świeżego betonu (por. pkt.3.1), i tym samym uzyskanie powierzchni pozbawionej niedopuszczalnych nierówności (pkt.3.4.6). Jeżeli skład mieszanki betonowej będzie odpowiednio dobrany (będzie spełniał wymagania określone w pkt.3.1), będzie jednorodny i powtarzalny, otrzymanie gładkiej i równej powierzchni górnej nie będzie wymagało żadnych specjalnych zabiegów technologicznych.

3.3.5. Odprężanie strun i dzielenie wstęgi

Sprężenie betonu (uwolnienie cięgien z bloków oporowych toru i cięcie betonowej wstęgi) może nastąpić dopiero po osiągnięciu przez beton założonej wytrzymałości początkowej (na ściskanie i rozciąganie), zgodnie z pkt.3.1(2).

Wszystkie ciągną sprężające powinny zostać uwolnione z bloków oporowych toru naciągowego równocześnie, w sposób stopniowy (łagodne przyłożenie siły sprężającej) za pomocą odprężających urządzeń hydraulicznych. Dopuszcza się przecinanie (gwałtowne zrywanie) cięgien kolejno, rozpoczynając od cięgien umieszczonych w zewnętrznych żebrach płyt, a następnie w kolejnych żebrach wewnętrznych (symetrycznie); przy takim sposobie uwalniania cięgien, końcowe odcinki betonowej wstęgi (o długości około 1 m) nie powinny być wykorzystywane.

Dzielenie wstęgi na pojedyncze prefabrykaty należy wykonywać poprzez przecięcie wstęgi betonu wraz z ciągnami sprężającymi. Do cięcia betonu używać należy piły tarczowej, przeznaczonej

specjalnie do poprzecznego cięcia betonu uformowanego na łożu toru naciągowego, która jest elementem standardowego wyposażenia zastosowanej technologii formowania (pkt.3.3.3). Do przecinania betonu nie należy używać innych, niestandardowych narzędzi, którymi mogłoby zostać uszkodzone (nacięte) podłoże.

Aby przeciwdziałać pękaniu młodego betonu podczas procesu cięcia, przecięcie wstęgi w poprzek powinno być wykonane w dwóch etapach. W pierwszym etapie należy przeciąć beton na głębokość około 2/3 wysokości przekroju od góry (ok. 18 cm), tak by żadna ze strun sprężających poniżej nie została naruszona. W drugim etapie należy przeciąć pozostałą grubość betonu do końca wraz z cięgnami.

Mimośrodowe sprężenie betonu spowoduje wypiętrzenie każdej płyty natychmiast po jej odcięciu od pozostałej części betonowej wstęgi spoczywającej na łożu toru naciągowego. Na skutek wypiętrzania się przesła płyty, dochodzić może do zaciskania (zamykania) szczeliny w miejscu cięcia betonu, a w konsekwencji do zakleszczenia i unieruchomienia tarczy piły pomiędzy powierzchniami czołowymi przekroju. Aby wyeliminować to niepożądane działanie, konieczne może być obciążenie płyty betonowym blokiem na czas cięcia. Niezbędny ciężar balastu (odpowiedni dla płyt HC320), który pozwoli ograniczyć początkowe ugięcie odwrotne i skutecznie wyeliminować zakleszczanie tarczy tnącej, należy ustalić doświadczalnie podczas uruchamiania produkcji płyt.

3.4. Jakość i dokładność wykonania

3.4.1. Tolerancje geometrii płyt

Dopuszczalne odchyłki głównych (istotnych z punktu widzenia nośności) wymiarów przekroju poprzecznego płyt HC320 w stosunku do wymiarów nominalnych, podanych na rysunkach K-001 do K-008, nie mogą przekraczać podanych niżej wartości w milimetrach (na podstawie norm [7] i [3]):

- całkowita grubość płyty: (± 15),
- szerokość płyty: (+ 0; - 6),
- szerokość każdego z żeber między kanałami: (- 5), wartości dodatniej nie określa się,
- łączna szerokość wszystkich żeber (rys.4): (- 20), wartości dodatniej nie określa się,
- grubość półki górnej i dolnej nad/pod każdym z kanałów: (+ 15; - 10), w największym miejscu.

Pomiary wielkości geometrycznych należy wykonać zgodnie z procedurami podanymi w pkt.5.3 i pkt.5.4 normy [7].

Odchyłka długości płyt HC320 w stosunku do nominalnej, wymaganej w danych warunkach zastosowania (podanej w projekcie budynku), nie może przekraczać wartości: ± 25 mm (dotyczy każdej z dwóch bocznych krawędzi płyty).

3.4.2. Tolerancje ułożenia strun

Odchyłki położenia cięgien sprężających w płytach HC320 względem położenia nominalnego (wg rys. K-001 do K-008) nie mogą przekraczać następujących wartości w milimetrach (na podstawie normy [7] z uwzględnieniem wymagań normy [3] i specyfiki tego projektu):

- w kierunku pionowym każdego pojedynczego cięgna dolnego, ułożonego w najniższej warstwie (grubość otuliny): (+ 5; - 3),
- w kierunku pionowym każdego cięgna dolnego, ułożonego w drugiej warstwie: (± 3),
- w kierunku pionowym każdego pojedynczego cięgna górnego: (+ 3; - 5),
- w kierunku pionowym, średnio dla wszystkich cięgien dolnych: (+ 5; - 0),
- w kierunku poziomym dowolnego cięgna: (± 5), przy czym w tych żebrach płyt, w których występują trzy cięgna w jednej, najniższej warstwie, osiowy rozstaw cięgien nie może być mniejszy od nominalnego (34 mm).

Jeżeli wyżej mowa jest o kierunku pionowym, znak „+” oznacza „w górę przekroju”.

3.4.3. Nominalny wślizg cięgien

Na czołowych powierzchniach prefabrykatów (powierzchnie otrzymane po poprzecznym przecięciu wstęgi) cięgna powinny wykazywać wślizg na głębokość uzależnioną od średnicy i wstępnych naprężeń w strunach [6]. W wariantcie HC320-16/REI60 (naprężenia początkowe 1050 MPa) nominalny wślizg cięgien zbrojenia głównego powinien mieć wartość około: $0,8 \text{ mm} \pm 0,3 \text{ mm}$, w wariantach z naciągami strun 102,0 kN (1100 MPa) - około $1,1 \text{ mm} \pm 0,3 \text{ mm}$, a w wariantach z naciągami strun 112,0 kN (1200 MPa) - około $1,3 \text{ mm} \pm 0,4 \text{ mm}$.

Górne cięgna sprężające, o średnicy $\varnothing 9,3 \text{ mm}$, powinny w każdym przypadku wykazywać wślizg na głębokość około $0,6 \pm 0,2 \text{ mm}$.

Brak zauważalnego wślizgu świadczy o zaniku (lub braku) początkowych naprężeń w ciągnię („ucieczce” ciągną) w chwili uwalniania z zakotwień technologicznych, a nadmierny wślizg - o stracie początkowych naprężeń już po podzieleniu betonowej wstęgi na pojedyncze prefabrykaty. Każdy z tych dwóch przypadków jest niepożądany i należy go uważać za wadę (por. pkt.3.5.2(1)).

3.4.4. Wstępne wygięcie płyt

Wartości wstępnego wygięcia płyt HC320 w środku ich rozpiętości, przy swobodnym podparciu elementów na końcach, bezpośrednio po sprężeniu (doraźne wypiętrzenie), obliczone wg zasad mechaniki budowli, zestawiono w tabl.5.1 do 5.8 (w kolumnie 6).

Podane wartości wstępnego wygięcia można wykorzystywać w procesie produkcji dla pośredniej kontroli prawidłowego sprężenia płyt (właściwego zakotwienia się cięgien sprężających w betonie). Rzeczywiste wygięcie płyt HC320 nie powinno różnić się od wartości obliczonych o więcej niż $\pm 20\%$.

3.4.5. Dopuszczalne uszkodzenia płyt

Uszkodzenia podporowych krawędzi płyt HC320 mogą występować na całej ich długości. Głębokość tych uszkodzeń nie może przekraczać 5 mm.

W bocznych krawędziach płyt HC320 (niepodporowych) dopuszcza się występowanie uszkodzeń, których głębokość nie przekracza 10 mm, o łącznej długości 250 mm na 1 m każdej krawędzi.

W prawidłowo wykonanych płytach HC320 nie powinny występować żadne wstępne zarysowania zauważalne gołym okiem; płytę zarysowaną należy uważać za wadliwą (por. pkt.3.5.2). W przypadku pojawienia się jakichkolwiek rys w betonie, należy przeprowadzić ocenę potencjalnych skutków, jakie mogą one wywierać na statykę oraz nośność płyt, i na tej podstawie podjąć decyzję o dopuszczeniu lub wycofaniu zarysowanej płyty z użytkowania (odpowiednie wytyczne w tym zakresie podano w pkt.3.5.2(2)).

3.4.6. Wymagania dotyczące stanu powierzchni

Powierzchnia sufitowa płyt powinna być gładka, jednolita, bez jakiegokolwiek tekstury, nie powinny być również zauważalne otwarte pęcherzyki powietrza. Powinna mieć jednolitą szarą barwę; tymczasowe przebarwienia wynikające ze stosowania preparatu antyadhezyjnego (por. pkt.3.3.1) powinny całkowicie zaniknąć po ulotnieniu się substancji z powierzchni betonu.

Nierówności górnej powierzchni mierzone odchyleniem od płaskości nie powinny przekraczać 3 mm. Powyższe wymaganie należy spełnić i kontrolować zwłaszcza w kierunku poprzecznym do długości prefabrykatu, gdzie istnieją warunki sprzyjające powstawaniu deformacji (możliwość osiadania betonu nad kanałami). Ugięcie sklepienia kanału nie powinno przekraczać podanej wyżej wartości.

Podłużne szczeliny jakie mogłyby powstawać w plastycznym betonie (przed związaniem cementu), na skutek rozluźnienia struktury świeżego betonu przy górnej powierzchni wstęgi, są niedopuszczalne. Takie szczeliny, zwykle nad żebrami płyty, mogą być powodowane nadmiernym osuwaniem się (uginaniem) sklepień kanałów pod własnym ciężarem, gdy mieszanka ma niewłaściwą konsystencję (por.pkt.3.1).

3.5. Kontrola jakości

3.5.1. Zakres kontroli

Kontrola jakości powinna obejmować: badanie jakości zastosowanych materiałów (stali sprężającej i składników betonu), badanie cech wytrzymałościowych i odkształcalnościowych gotowego betonu oraz kontrolę gotowych prefabrykatów.

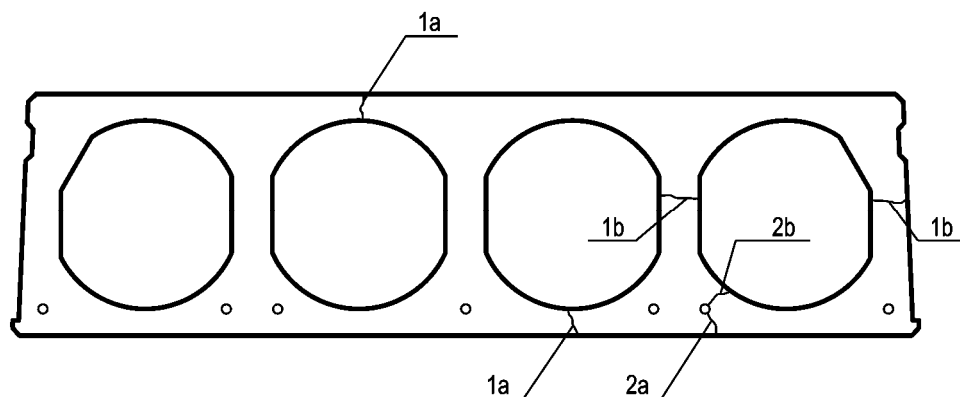
Zastosowany do produkcji płyt HC320 beton zwykły oraz jego składniki muszą spełniać wymagania określone w pkt.3.1.

Cechy mechaniczne betonu powinny być badane w chwili sprężania płyt HC320 oraz po 28-dniach dojrzewania betonu (względnie, także po 90-dniach; por. pkt.3.1). Wymagane w niniejszej dokumentacji cechy wytrzymałościowe betonu w chwili sprężania płyt i końcowe (podane w pkt.3.1) muszą być bezwzględnie zagwarantowane przez producenta płyt. Wartości cech odkształcalnościowych betonu (modułu sprężystości, współczynnika pełzania i końcowego skurczu) nie mogą różnić się od wartości przyjętych do obliczeń (pkt.6.3.1) o więcej niż $\pm 5\%$.

Kontrola jakości stali sprężającej, którą powinien prowadzić producent płyt HC320 w procesie produkcji, powinna obejmować: kontrolę średnicy i rodzaju zastosowanych cięgien oraz kontrolę stanu powierzchni drutów składowych (pkt.3.2.1).

Sprawdzenie gotowych prefabrykatów powinno obejmować: kontrolę uszkodzeń (w tym, zarysowania oraz stanu powierzchni i krawędzi prefabrykatów; por. pkt.3.4.5 i pkt.3.4.6), kontrolę poślizgu cięgien względem czołowych powierzchni prefabrykatów (pkt.3.4.3) oraz kontrolę cech geometrycznych (pkt.3.4.1 i pkt.3.4.2).

Płyty HC320 zostały tak zaprojektowane, aby w fazie sprężania naprężenia rozciągające w betonie nie przekraczały jego aktualnej wytrzymałości na rozciąganie. Nie można jednak wykluczyć, iż na skutek aproksymacji zjawisk fizycznych, niedokładności modeli obliczeniowych, niejednorodności cech mechanicznych młodego betonu, albo niezamierzonych błędów popełnionych przy produkcji, beton nie ulegnie w tej fazie realizacji zarysowaniu. Dlatego przeprowadzić należy dokładne oględziny każdego wyprodukowanego prefabrykatu pod kątem występowania rys w betonie. Szczególnie starannie należy przeprowadzić kontrolę zarysowania końcowych (przypodporowych) odcinków płyt HC320, zwracając uwagę na występowanie rys prostopadłych na górnej powierzchni prefabrykatów oraz podłużnych rys w półkach i żebrach, wymuszonych rozciąganiem przyczółowym (rysy 1a i 1b na rys.3) lub rozsadzaniem betonu przez ciągną (rysy 2a i 2b, rys.3). W przypadku stwierdzenia jakiegokolwiek rys w betonie, należy postępować w sposób opisany w pkt.3.5.2(2).



Rys.3. Charakterystyczne rysy w strefie przyczółowej

Skontrolować należy także zakotwienie strun w betonie, sprawdzając głębokość wślizgu cięgien na czołowych powierzchniach płyt, i porównując wartości pomierzone z dopuszczalnymi, wynikającymi z obliczeń (pkt.3.4.3). Pomiar głębokości wślizgu należy wykonać śrubą mikrometryczną o dokładności pomiaru co najmniej 0,05 mm. W przypadku stwierdzenia nieprawidłowości objawiających się całkowitym brakiem wślizgu lub nadmierną ucieczką strun, należy postępować zgodnie z procedurą opisaną w pkt.3.5.2(1).

Wszystkie czynności kontrolne i pomiary należy prowadzić z przestrzeganiem procedur podanych w pkt.5 normy [7].

3.5.2. Postępowanie z płytami wadliwymi

Sposób postępowania z płytami wadliwymi, uzależniony jest od rodzaju wad i/lub uszkodzeń stwierdzonych podczas kontroli jakości. Użycie (wbudowanie) w obiekcie budowlanym płyty nie spełniającej któregośkolwiek z poddawanych ocenie kryteriów (pkt.3.4) jest dopuszczalne tylko w tych przypadkach, które opisano dalej w tym punkcie dokumentacji; w niektórych przypadkach konieczne będzie spełnienie dodatkowych wymagań lub uwzględnienie wpływu defektu na wartość użytkową płyty, by taka mogła zostać wykorzystana jako element konstrukcji nośnej budynku.

Rozróżnić należy dwie grupy wad produkcyjnych: nieprawidłowe zakotwienie strun w betonie oraz wstępne zarysowanie betonu.

(1) W przypadku stwierdzenia nadmiernego wślizgu lub braku poślizgu którejkolwiek ze strun (por. pkt.3.4.3), przyjąć należy, że taka struna nie pracuje (nie spręża betonu). Należy ponadto założyć, że na skutek poślizgu względem betonu osłabiona (zerwana) została naturalna przyczepność (adhezja) stali do betonu i nośność takiej struny jako elementu zbrojenia głównego jest osłabiona niedostateczną nośnością zakotwienia. Wobec wątpliwych właściwości mechanicznych nieprawidłowo zakotwionych strun, bezpiecznie jest przyjąć założenie (bez prowadzenia szczegółowej analizy statyczno-wytrzymałościowej), że płyta posiada zbrojenie zredukowane o struny niepracujące. W konsekwencji takiego założenia, płytę można zakwalifikować do wariantu słabiej zbrojonego, przyjmując za miarodajne do oceny jej nośności właściwości użytkowe tego (słabszego) wariantu.

Norma [7] wymaga, by w sprężonej płycie kanałowej o szerokości 120 cm liczba strun zbrojenia głównego nie była mniejsza niż 4 szt. W związku z tym, jeżeli liczba strun pracujących (prawidłowo zakotwionych) byłaby mniejsza niż 4 szt., takiej płyty nie można wykorzystać w konstrukcji budynku, bezwarunkowo.

(2) Sposób postępowania z płytami wstępnie zarysowanymi uzależnić należy od rodzaju (genezy) zaobserwowanych zarysowań. Z genezą rysy wiąże się ściśle miejsce jej występowania (por. rys.3), i w konsekwencji skutek, jaki rysa wywierać może na pracę statyczną płyty. W większości przypadków wstępne zarysowanie betonu dyskwalifikuje całkowicie płytę z użycia. Płyta, w której stwierdzi się niedopuszczalny rodzaj zarysowań powinna zostać wycofana z eksploatacji i zutylizowana w całości, albo poddana dalszej obróbce, w wyniku czego zarysowany fragment (odcinek) prefabrykatu zostanie wyeliminowany. Dalej podano wytyczne dotyczące oceny dopuszczalności wstępnego zarysowania płyt HC320 oraz możliwych działań naprawczych.

Rysy przyczółowe w półkach (oznaczone na rys.3 symbolem 1a) nie mają istotnego wpływu na pracę statyczną płyt, jeżeli ich długość mierzona od czoła wzdłuż płyty nie przekracza 16 cm. Takie płyty mogą zostać wbudowane i użytkowane jako pełnowartościowe prefabrykaty, bez jakichkolwiek napraw.

Pozostałe rysy przyczółowe (oznaczone na rys.3 jako 1b oraz 2a i 2b) zagrażają bezpieczeństwu konstrukcji. Za szczególnie groźne dla pracy statycznej płyt HC320 uważa się poziome rysy w żebrach, spowodowane rozciąganiem przyczółowym (rysa 1b na rys.3), oraz rysy wymuszone rozsadzaniem betonu przez ciągną, zwłaszcza te, które odcinają (odseparowują) półkę od żebra (rysa 2b). Rysy 2a i 2b osłabiają ponadto przyczepność stali do betonu, czemu najczęściej towarzyszy ucieczka struny. Płyta z tym rodzajem zarysowań nie może zostać wbudowana w konstrukcję budynku, bezwarunkowo.

Rysy prostopadłe do osi elementu, jakie pojawiłyby się na górnej powierzchni prefabrykatu, jako skutek mimośrodowego sprężenia prefabrykatów, uważać należy za niedopuszczalne. Płyta, w której stwierdzony zostałby ten rodzaj zarysowania, nie może być dopuszczona do użytkowania.

W celu ograniczenia ilości odpadów produkcyjnych, i powodowanych przez to strat ekonomicznych, dopuszcza się, by z użytkowania eliminowane były tylko uszkodzone fragmenty prefabrykatów. Regionami szczególnie wrażliwymi na wstępne zarysowanie są końcowe odcinki płyt HC320, co stwarza możliwość odcięcia ich od niewadliwej części środkowej. Jeżeli podczas kontroli zauważone zostaną w tych regionach rysy uznane wyżej za niedopuszczalne, a kontrola zakotwienia strun nie wykaże nieprawidłowości (por. pkt.3.5.1), zarysowany odcinek płyty może zostać odcięty (zgodnie z wytycznymi pkt.3.3.5), a pozostały fragment wykorzystany jako pełnowartościowy prefabrykat (pod warunkiem, że nie ulegnie wtórnemu zarysowaniu). Po odcięciu uszkodzonego fragmentu, płytę należy poddać ponownej kontroli. Skontrolować należy w szczególności stan zakotwienia strun oraz stan betonu, pod kątem wystąpienia zarysowań.

Opisany wyżej zabieg nie może być zastosowany w płytach, w których stwierdzono wcześniej nieakceptowalną ucieczkę strun. Takie płyty należy bezwarunkowo wyeliminować z użytkowania w całości.

3.5.3. Dopuszczenie płyt do użytkowania

Dopuszczone do wbudowania w obiektach budowlanych mogą być tylko te egzemplarze płyt HC320, które po przeprowadzeniu kontroli jakości według wskazań z pkt.3.5.1, i z uwzględnieniem wytycznych podanych w pkt.3.5.2, zostały uznane za zgodne z wymaganiami określonymi w pkt.3.4. Prefabrykaty, które nie spełniają tych wymagań nie mogą być wbudowane w konstrukcję budynku, bezwarunkowo.

4. SPECYFIKACJA TRANSPORTOWA

4.1. Transport bliski

Strunobetonowe płyty kanałowe HC320 mogą być podnoszone w każdym etapie transportu bliskiego, tj. podczas zdejmowania z podłoża toru naciągowego w wytwórni, podczas załadunku i rozładunku na środki transportu oraz podczas montażu na budowie, tylko za pomocą dwóch, zakleszczających się o boki płyty (o boczne wręby), uchwytów zaciskowych, dostarczanych przez dostawcę technologii jako element standardowego wyposażenia technicznego wytwórni. Uchwyty zaciskowe muszą być zaczepione (podwieszone) do poziomej belki (trawersy) tak, by wyeliminować horyzontalne oddziaływanie zawiesia na uchwyty. Długość trawersy nie może być krótsza niż 12,0 m, co jest uwarunkowane cechami konstrukcyjnymi płyt HC320 (pkt.2.2.3). Uchwyty powinny być rozstawione symetrycznie względem środka podnoszonej płyty, aby zapewnić poziomą (lub zbliżoną do poziomą) pozycję płyty podczas przenoszenia i jednakowe obciążenie każdego z dwóch uchwytów. Jeżeli długość płyty będzie mniejsza od długości trawersy, uchwyty należy rozsunąć tak, by odległość osi zacisku (punktu zaczepienia zacisku do trawersy) od końca prefabrykatu (mierzona wzdłuż płyty) nie była większa niż 50 cm. W przypadku płyt dłuższych niż 13,0 m, chwytaki należy rozsunąć na maksymalny dystans, uwarunkowany długością i konstrukcją trawersy, i zaczepić do prefabrykatu symetrycznie (długość odcinków płyty przewieszonych z każdej strony wspornikowo poza krawędzie chwytaków powinna być jednakowa). W takim przypadku, górne struny sprężające wprowadzone w płytach długich (por. pkt.2.2.3, rys. K-001 do K-008) zabezpieczą je przed złamaniem momentem odrotnym. Niedopuszczalne jest podnoszenie płyt HC320 na uchwytach zaciskowych zamocowanych bezpośrednio do lin zwisających z haka żurawia (dźwignicy) ukośnie w stosunku do powierzchni płyty.

Przy przenoszeniu płyt chwytakami (zwłaszcza podczas montażu stropu na budowie, pkt.5.3) stosować należy dodatkowo liny lub łańcuchy asekuracyjne zamocowane do chwytaków, obejmujące płytę od dołu, na wypadek wysunięcia się prefabrykatu z zacisku zawiesia transportowego.

Wszystkie elementy zespołu transportowego (montażowego), tj. żuraw (suwnica), liny, trawersy i uchwyty zaciskowe, muszą posiadać nośność (udźwig) odpowiednią do ciężaru podnoszonego prefabrykatu. Całkowity ciężar płyty należy określić mnożąc jej ciężar jednostkowy (4,45 kN/m, por. tabl.2) przez długość i przez współczynnik bezpieczeństwa równy 1,4 (ta wartość uwzględnia między innymi nieuniknione efekty dynamiczne, jak gwałtowne szarpnięcia przy dźwiganiu). Można pominąć obciążenie wynikające z naturalnej adhezji (przyczepności) betonu do podłoża toru naciągowego, ponieważ mimośrodowe sprężenie odrywać będzie skutecznie prefabrykaty od łoża natychmiast po przecięciu betonowej wstęgi (por. pkt.3.3.1 i pkt.3.3.5).

4.2. Transport daleki

Płyty HC320 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 płyty HC320 należy układać w pozycji poziomej w stosach, w sposób analogiczny jak podczas składowania (pkt.4.3), 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). Poprawi to stabilność ładunku.

Płyty długie, które nie mieszczą się na typowej skrzyni (lub platformie) naczepy ciągnika siodłowego mogą być przewożone przy użyciu zestawu dźwigowego, złożonego z ciągnika balastowego i niezależnego wózka. W ten sposób przewozić można tylko płyty z wbudowanym górnym zbrojeniem sprężającym. Jednorazowo przewozić można najwyżej dwie płyty, ułożone jedna na drugiej. Płyty należy oprzeć na obrotowej platformie ciągnika i na wózku w taki sposób, by długość odcinków przewieszonych poza punkty podparcia nie była większa niż 1,5 m.

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

4.3. Składowanie płyt

Na placu składowym wytwórni lub placu budowy, płyty HC320 należy układać w pozycji poziomej w stosach, których wysokość nie powinna przekraczać 2 m.

Płytom 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 prefabrykatów. Jeżeli nawierzchnia składowiska nie jest utwardzona, osiadanie podkładów może być znaczne, i dolne płyty w stosie mogłyby w sposób niekontrolowany wesprzeć się (zawiesić) bezpośrednio na nierówności gruntu w przypadkowym miejscu na długości przęsła. Nieprzewidziana dodatkowa podpora 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, a także rozdzielczego i poprzecznego w tych prefabrykatach (pkt.2.2.3). Drewniane podkłady powinny zostać wypoziomowane; uzasadnione może być również ułożenie ich na prowizorycznym fundamencie z bloczków betonowych, w celu rozłożenia obciążenia na większej powierzchni. 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 o grubości nie mniejszej niż 3 cm, które należy umieszczać w odległości 20÷50 cm od czoła płyt. Przekładki w kolejnych warstwach muszą być ułożone jedna nad drugą, ewentualnie z nieznacznym przesunięciem kolejnej (wyższej) przekładki w kierunku środka prefabrykatów (nigdy odwrotnie). W jednym stosie powinny być układane tylko płyty o tej samej długości i nośności (ten sam wariant zbrojenia).

5. WARUNKI STOSOWANIA I SPECYFIKACJA MONTAŻOWA

5.1. Przeznaczenie płyt

Płyty HC320 przeznaczone są wyłącznie do konstruowania stropów (stropodachów) w budynkach. Mogą być stosowane w obiektach o różnorodnej konstrukcji nośnej (żelbetowej, murej, stalowej) i dowolnej funkcji (mieszkalne, biurowe, handlowe, magazynowe i in.), gdzie obciążenia użytkowe mają charakter statyczny lub quasi-statyczny. Za takie uważać należy obciążenie, którego wartość przyrasta dostatecznie powoli, i nie wywołuje w stropach znacznych sił bezwładności, których nie można by uwzględnić współczynnikiem dynamicznym. W szczególności, płyty przeznaczone są dla kategorii użytkowania: A, B, C, D, E1, H oraz I wg normy [2]. Obciążenie nie może również powodować cyklicznych amplitud naprężeń w prefabrykatkach (w zbrojeniu), które wymagałyby uwzględnienia wpływu zjawisk zmęczenia na wytrzymałość stropów. Powyższe ograniczenie nie wyklucza możliwości stosowania płyt na powierzchniach ruchu i parkowania o kategorii F wg normy [2]. Na powierzchniach użytkowania przemysłowego kategorii E2 wg [2] płyty HC320 mogą być stosowane, jeżeli oddziaływania zainstalowanych na stropie maszyn i urządzeń spełniają podane wyżej warunki. Płyty HC320 nie mogą być stosowane, jeżeli na stropie miałyby pracować podnośnikowe wózki widłowe (niezależnie od klasy wózka). Obciążenie powinno działać prostopadle do powierzchni płyt. Jeżeli sposób użytkowania stropu wymaga uwzględnienia obciążeń poziomych, stycznych do powierzchni płyt (np. siły hamowania pojazdów), na płytach należy przewidzieć krzyżowo zbrojoną warstwę betonu klasy co najmniej C20/25 o grubości nie mniejszej niż 50 mm (wytyczne [29]).

Dopuszczalne obciążenie równomierne płyt HC320, w zależności od wariantu zbrojenia, należy ustalić wg pkt.7.3.

Płyty HC320 należy stosować przede wszystkim w budynkach szkieletowych o konstrukcji żelbetowej lub stalowej, gdzie zachowany będzie podstawowy schemat statyczny płyty jako belki swobodnie podpartej. Płyty HC320 mogą być również stosowane w układach ścianowych jako częściowo zamocowane, pod warunkiem obliczeniowego wykazania, że pod wpływem ujemnego momentu utwierdzenia nie nastąpi zarysowanie górnej strefy przekroju przypodporowego (metodą podaną w załączniku „E” normy [7]). Alternatywnie zastosować można odpowiednie zabiegi konstrukcyjne eliminujące utwierdzenie płyt w podporach lub zapobiegające utracie nośności na ścinanie przekrojów przypodporowych, po zarysowaniu momentem ujemnym (szczegółowe wytyczne oraz przykłady odpowiednich rozwiązań technicznych przedstawiono w opracowaniu [29]).

W budynkach lokalizowanych na terenach eksploatacji górniczej oraz na terenach, na których mogą wystąpić nierównomierne osiadania podpór, wstrząsy parasejsmiczne lub inne ruchy podłoża (np. na gruntach ekspansywnych) mogące wywołać w stropach siły rozciągające, możliwość zastosowania płyt HC320 należy rozważyć indywidualnie, i ewentualnie zastosować w stropie specjalne rozwiązania konstrukcyjne, które umożliwią bezpieczne użytkowanie płyt; np. ciągłe zbrojenie w stykach płyt, krzyżowo zbrojony nadbeton lub inne rozwiązania, adekwatne do lokalnych warunków (wytyczne [29]).

5.2. Zakres stosowania płyt ze względu na trwałość

5.2.1. Trwałość eksploatacyjna

Zastosowana w płytach HC320 ochrona materiałowo-strukturalna, w szczególności: klasa wytrzymałości betonu, rodzaj i minimalna zawartość cementu w betonie, maksymalny stosunek wodo-cementowy oraz grubość otulenia cięgien sprężających betonem (rys. K-001 do K-008), określa dopuszczalny zakres stosowania płyt HC320 ze względu na trwałość stropów (stali).

Ponieważ trwałość eksploatacyjną i odporność ogniową konstrukcji zabezpiecza się tymi samymi środkami technicznymi - przede wszystkim odpowiednim otuleniem zbrojenia betonem - trwałość eksploatacyjna płyt HC pozostaje w ścisłym związku z ich odpornością ogniową. W związku z tym, podane dalej wytyczne dotyczące dopuszczalnego zakresu stosowania, uzależniono od nominalnej odporności ogniowej wariantów zbrojenia płyt HC320 (pkt.2.2.3).

Zgodnie z powyższym, warianty płyt HC320 o odporności ogniowej REI60 mogą być stosowane (wbudowywane) w tych obiektach, w których warunki środowiskowe (czynnik korozyjny), oddziałujące bezpośrednio na płyty, odpowiadają klasom ekspozycji (wg tabl.5.1 normy [3]): X0 i XC1, a także XC2 i XC3, co wynika z zastosowania wysokiej klasy wytrzymałości betonu (C50/60 i C60/75; przy najniższej, zalecanej ze względu na ochronę stali sprężającej: C25/30 [5]). Zastosowanie betonu klasy wyższej niż C30/37 oraz odpowiednia kontrola jakości betonu (por. pkt.3.1) upoważniają natomiast do zredukowania klasy konstrukcji z S4 do S2 (por. tabl.4.3N w normie [3] oraz dalszy opis w tym punkcie) i w konsekwencji również do zredukowania wymaganej grubości otulenia betonem cięgien sprężających do 25 mm (nominalna grubość otuliny w wariantach płyt HC320 o odporności ogniowej REI60 jest równa 29 mm, z dopuszczalną odchyłką: - 3 mm; por. pkt.3.4.2).

Z kolei, warianty zbrojenia REI120 mogą być wbudowywane również w klasach ekspozycji XC4 (lecz osłoniętych przed opadami deszczu/śniegu), XD1/XS1 i XD2/XS2, co można uzasadnić w sposób analogiczny jak wyżej.

Powyższe wytyczne opierają się na założeniu, że okres użytkowania płyt nie będzie przekraczał 50 lat (kategoria projektowanego okresu użytkowania wg normy [1] nie wyższa niż 4; klasa konstrukcji wg normy [3] nie wyższa niż S4). W przypadku, gdyby projektowany okres użytkowania płyt miał być dłuższy niż 50 lat (klasa konstrukcji S5 i S6), płyt HC320 o odporności ogniowej REI60 nie należy stosować w klasach ekspozycji XC2 i XC3, a płyty HC320-5/REI120 - w klasach ekspozycji XC4, XD1/XS1 oraz XC2/XD2.

Dopuszcza się użytkowanie płyt HC320 w środowiskach bardziej agresywnych niż uzasadnione samą tylko ochroną materiałowo-strukturalną, w szczególności w klasie XD3/XS3 oraz w warunkach agresji chemicznej (XA), pod warunkiem zaprojektowania i wykonania na powierzchniach płyt eksponowanych na działanie czynnika korozyjnego, odpowiedniej ochrony powierzchniowej (trwałej powłoki izolacyjnej), która zapewni odpowiednią ochronę betonu i stali sprężającej przed szkodliwym wpływem agresywnych substancji, jakie mogłyby wnikać do wnętrza betonu i kanałów ze środowiska zewnętrznego.

W klasach ekspozycji XD/XS (agresja chlorkowa) oraz XC4 ochrony powierzchniowej można nie stosować, jeżeli projektowany okres użytkowania płyt będzie krótszy niż 50 lat (kategoria projektowanego okresu użytkowania niższa niż 4). W takich przypadkach należy określić rzeczywistą klasę projektowanej konstrukcji (uwzględniając wytyczne podane w tabl.4.3N w normie [3]), a następnie, na podstawie tabl.4.5N normy [3] sprawdzić niezbędną grubość otuliny stali sprężającej. Jeżeli grubości betonowej otuliny strun zaprojektowane w płytach HC320 (rys.K-001 do K-008), z uwzględnieniem zadanych tolerancji ułożenia strun (pkt.3.4.2), spełniają wymagania określone w normie [3], płyty mogą być zastosowane w klasach ekspozycji XD/XS oraz XC4 bez dodatkowej ochrony powierzchniowej.

Płyty HC320 nie mogą być permanentnie wystawione na bezpośrednie działanie opadów atmosferycznych podczas ich eksploatacji (klasa ekspozycji XC4). Jest to dopuszczalne tylko czasowo, podczas okresu składowania i wznoszenia obiektu budowlanego. Jeżeli płyty miałyby być pozostawione na działanie czynników atmosferycznych przez okres zimowy, należy zapewnić odprowadzenie wody z wnętrza kanałów. W płytach wbudowanych w obiekt (z zabetonowanymi wieńcami) należy w tym celu wywiercić od dołu otwory odwadniające w każdym kanale, aby woda nie mogła zgromadzić się w ich wnętrzu. Zamarzająca wewnątrz prefabrykatów woda może spowodować nieodwracalne szkody, wymagające następnie naprawy lub wręcz wymiany płyt na nowe. Otwory należy wykonać w najniższym położonym miejscu, zwykle przy podporach, co ma związek z wypiętrzeniem płyt pod wpływem sprężenia. Celowe jest także wykonanie takiego otworu w środku długości (zwłaszcza w płytach długich). Inne zalecenia, dotyczące tego zagadnienia, zamieszczono w wytycznych [29].

Otwory odwadniające powinny mieć średnicę co najmniej $\varnothing 20$ mm.

5.2.2. Trwałość w warunkach pożaru

Płyty HC320 powinny być wykorzystywane w tych obiektach, w których przepisy prawa wymagają odporności ogniowej stropów w klasie nie wyższej niż zadeklarowana odporność ogniowa wariantu zbrojenia, odpowiednio REI60 i REI120 (pkt.2.2.3). Strop posiadać będzie określoną w projekcie odporność ogniową (pkt.2.3), gdy spełniony będzie warunek nośności (4) dla sytuacji wyjątkowej (pkt.7.3.1). Jeżeli warunek (4) nie zostanie spełniony, nie można uznać, że strop ma zadeklarowaną tu odporność ogniową. W takim przypadku należy wykonać szczegółowe obliczenia, które pozwolą zakwalifikować elementy do innej (niższej) klasy odporności (nośności) ogniowej.

Szczegółowe informacje dotyczące projektowania i konstruowania stropów z płyt HC320, w tym projektowania węzłów podporowych i połączeń pod kątem zapewnienia konstrukcji założonej odporności ogniowej, zamieszczono w wytycznych [29].

5.2.3. Ochrona przed intensywną deterioracją

Nie należy użytkować płyt niewykończonych od góry, niezależnie od klasy ścieralności, w jakiej płyty miałyby być eksploatowane, ponieważ działanie abrazji wpłynie negatywnie na trwałość i nośność stropów z płyt HC320 (przedwczesne wyczerpanie nośności). Ścieranie górnej powierzchni może być szkodliwe zarówno dla ogólnej nośności płyty jako dźwigara nośnego stropu, jak również lokalnej nośności ścianek jej przekroju. Bezpośrednie użytkowanie niewykończonych powierzchni stwarza też niebezpieczeństwo przebicia sklepienia kanałów (zwłaszcza, gdy górna ścianka zostałaby wcześniej zredukowana). Zarówno redukcja grubości płyty (zmniejszenie wysokości konstrukcyjnej przekroju), jak i utrata półki górnej wskutek przebicia, są niedopuszczalne w kontekście założeń przyjętych w obliczeniach nośności (por. pkt.6.1.5). Z tego względu, górną powierzchnię stropów z płyt HC320 należy przygotować do użytkowania. Odpowiednie wytyczne podano w pkt.5.3.3.

5.3. Montaż płyt i warunki wbudowania

5.3.1. Specyfikacja montażowa

W czasie montażu należy przestrzegać wytycznych dotyczących transportu bliskiego, opisanych w pkt.4.1. Dodatkowo, podczas przenoszenia płyt z miejsca składowania (lub ze środka transportu) na miejsce wbudowania, stosować należy liny asekurowujące prefabrykat przed wypadnięciem z uchwytu zaciskowego. Podczas montażu przestrzegać należy przepisów bezpieczeństwa i higieny pracy określonych w przepisach prawa.

5.3.2. Warunki wbudowania

Głębokość oparcia płyt HC320 na podporach nie może być mniejsza niż 10 cm - przy oparciu płyt na belkach (podciągach) żelbetowych lub ścianach, oraz 8 cm - przy oparciu płyt na belkach stalowych. W celu zagwarantowania podanych wyżej minimalnych głębokości oparcia, niezbędną długość całkowitą płyt HC320 w danej sytuacji projektowej należy ustalić z uwzględnieniem tolerancji wykonania płyt (odchyłki długości wg pkt.3.4.1 i dopuszczalnych uszkodzeń krawędzi podporowych pkt.3.4.5), tolerancji tyczenia osi budynku oraz tolerancji montażu konstrukcji (np. na podstawie normy [3] lub [13]).

Płyty HC320 należy opierać na warstwie zaprawy cementowej. Alternatywnie zastosować można ciągle podkładki z tworzyw sztucznych przeznaczone specjalnie do tego celu, jeżeli posiadać będą odporność ogniową klasy nie niższej niż płyty, co powinno być udokumentowane w Aprobacie Technicznej. Jeżeli odporność ogniowa podkładek (taśm) jest niewystarczająca, należy je dodatkowo zabezpieczyć przed ogniem, by trwałość oparcia w warunkach pożaru nie była krótsza niż trwałość płyt. Dopuszcza się bezpośrednie opieranie płyt HC320 na podporach (na sucho), w przypadku oparcia ich na belkach stalowych lub prefabrykowanych belkach żelbetowych z równą i zatartą na gładko powierzchnią wsporną. Inne, szczegółowe wytyczne dotyczące konstruowania i wykonania oparcia płyt na podporach zamieszczono w opracowaniu [29].

Z uwagi na potrzebę ograniczenia skutków ewentualnych oddziaływań wyjątkowych, w węzłach podporowych należy zastosować zbrojenie łączące strop z podporą. Zbrojenie, w postaci pręta zbrojeniowego ze stali gatunku B500SP EPSTAL (z hakiem prostym), należy umieszczać w każdym styku pomiędzy płytami i zakotwić w wieńcu. Niezbędny przekrój oraz wysięg tego zbrojenia należy obliczyć, stosownie do danej sytuacji projektowej, według normy [3]. Zbrojenie łączące należy umieszczać możliwie nisko (poniżej osi obojętnej przekroju), aby wyeliminować lub ograniczyć do minimum utwardzenie płyt w podporach.

Styki między płytami należy dokładnie wypełnić betonem klasy co najmniej C20/25 (zużycie betonu na 1 mb styku wynosi: $9,5 \text{ dm}^3/\text{mb}$).

Inne szczegóły dotyczące projektowania i konstruowania stropów z płyt HC320, węzłów oraz połączeń, zamieszczono w wytycznych [29].

5.3.3. Wykończenie stropu

Płyty HC320 wymagają uprzedniego wykończenia, aby mogły być bezpiecznie użytkowane bez przedwczesnej utraty nośności. Dlatego na powierzchni stropu należy wykonać co najmniej warstwę ścieralną lub posadzkę.

Aby przygotować strop do wykończenia posadzką, na górnej powierzchni płyt należy wykonać cienką warstwę wyrównującą z zaprawy cementowej, która zniweluje wszelkie nierówności powierzchni oraz wstępne wypiętrzenie płyt od sprężenia. Aby określić niezbędną grubość tej warstwy należy posłużyć się danymi zamieszczonymi w tabl.5.1÷5.8 (pkt.7.3), gdzie podano wartości końcowej strzałki odwrotnej (kolumna 7), która uwzględnia odkształcenia reologiczne, zachodzące w czasie. Grubość warstwy wyrównującej powinna być co najmniej równa wartości końcowej strzałki odwrotnej powiększonej o 1 cm. Jeżeli ta warstwa miałaby pełnić funkcję warstwy ścieralnej powinna zostać wykonana z betonu drobnoziarnistego, zbrojonego siatką i zatartego na gładko, a jej grubość nie powinna być w żadnym miejscu stropu mniejsza niż 4 cm.

Jeżeli z punktu widzenia fizyki budowli konieczne jest wykonanie 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.

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).

6. ZAŁOŻENIA PROJEKTOWE

6.1. Metody i zakres obliczeń

6.1.1. Podstawa i metody obliczeń

Za podstawę obliczeń statyczno-wytrzymałościowych płyt HC320 przyjęto wymagania i metody obliczeń ustanowione przez normy [3], [6], [7] oraz, w ograniczonym zakresie, normy [5] (kolejność wg hierarchii ważności). Nośność obliczeniową oraz inne cechy użytkowe płyt określono metodą stanów granicznych (współczynników częściowych). Przyjęte w obliczeniach wartości współczynników częściowych (współczynników materiałowych), zastosowane metody obliczeń oraz zadeklarowany poziom kontroli jakości materiałów i gotowych prefabrykatów zapewnia osiągnięcie wymaganego przepisami normowymi poziomu bezpieczeństwa konstrukcji. Gwarantuje również odpowiednią trwałość w założonym okresie eksploatacji oraz spełnienie wszelkich kryteriów użytkowych (pkt.6.2).

6.1.2. Mechanizmy zniszczenia w stadium eksploatacji

Zakres analizy statyczno-wytrzymałościowej płyt w stadium eksploatacji (sytuacja trwała), jaką przeprowadzono dla potrzeb tej dokumentacji projektowej, obejmował cztery podstawowe mechanizmy zniszczenia płyty kanałowej [7]:

- 1) utratę nośności na zginanie, na skutek wyczerpania wytrzymałości stali zbrojenia głównego lub wytrzymałości betonu w ściskanej strefie przekroju (pkt.6.5),
- 2) utratę nośności na ścinanie przypadkowych regionów niezarysowanych (pkt.6.6.1),
- 3) utratę nośności na ścinanie regionów zarysowanych dodatnim momentem zginającym (pkt.6.6.2),
- 4) utratę nośności zakotwienia cięgien sprężających, skutkującą poślizgiem zbrojenia względem betonu, czemu może towarzyszyć destrukcja (miażdżenie) betonu strefy ściskanej (pkt.6.7).

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

6.1.3. Zakres i zasady obliczeń

Dla mechanizmów zniszczenia 1, 2 i 3 wykonano niezbędne obliczenia wytrzymałościowe, określając wartość obliczeniową nośności przekroju normalnego i ukośnego, odpowiednio na zginanie M_{Rd} (pkt.6.5) oraz ścinanie w regionach niezarysowanych $V_{Rd,c}$ i w zarysowanym $V_{Rd,1}$ (pkt.6.6).

Na podstawie mechanizmów zniszczenia 1 i 2 określono wartość obliczeniową dopuszczalnych, równomiernych obciążeń stropów skonstruowanych z płyt HC320, a następnie, dla tak określonych obciążeń, sprawdzono warunek nośności regionów zarysowanych w miejscu spodziewanego zarysowania dodatnim momentem zginającym. W tym samym przekroju sprawdzono również nośność zakotwienia zbrojenia z uwzględnieniem interakcji momentu zginającego i siły poprzecznej na wyężenie zbrojenia głównego. Nośność zakotwienia określono na podstawie normy [3] (pkt.6.7).

Dopuszczalne, równomiernie rozłożone, obliczeniowe obciążenie zewnętrzne $p_{d,lim}$ [kN/m²] płyt HC320 wyznaczono z warunku osiągnięcia stanu granicznego nośności na zginanie (pkt.6.5) i ścinanie (pkt.6.6.1), w najbardziej wyężonych przekrojach płyt, odpowiednio: normalnym środkowym i ukośnym przypadkowym (jako miarodajną przyjęto mniejszą z tych dwóch wartości). Dopuszczalne, obciążenie charakterystyczne $p_{k,lim}$ [kN/m²] obliczono przyjmując jako kryterium oceny wyczerpanie dopuszczalnej szerokości rys prostopadłych (stan graniczny rozwarcia rys). Dopuszczalną, długotrwałą (quasi-stałą) część obciążenia charakterystycznego $p_{kt,lim}$ [kN/m²] wyznaczono z kryterium osiągnięcia jednego z dwóch stanów granicznych użyteczności: stanu granicznego ugięcia (niezależnie od warunków użytkowania płyt) oraz stanu granicznego dekompresji włókien betonu, oddalonych o 25 mm od powierzchni najniższej położonych strun sprężających (w zastosowaniu do płyt, które miałyby być użytkowane w klasach ekspozycji XC2, XC3 i w środowiskach bardziej agresywnych; pkt.5.2.1). Przyjęte kryteria oceny stanów granicznych użyteczności, tj. limitowaną szerokość rys, dopuszczalne ugięcie oraz zasięg strefy dekompresji betonu, przytoczono w pkt.6.2.

6.1.4. Współczynniki częściowe

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

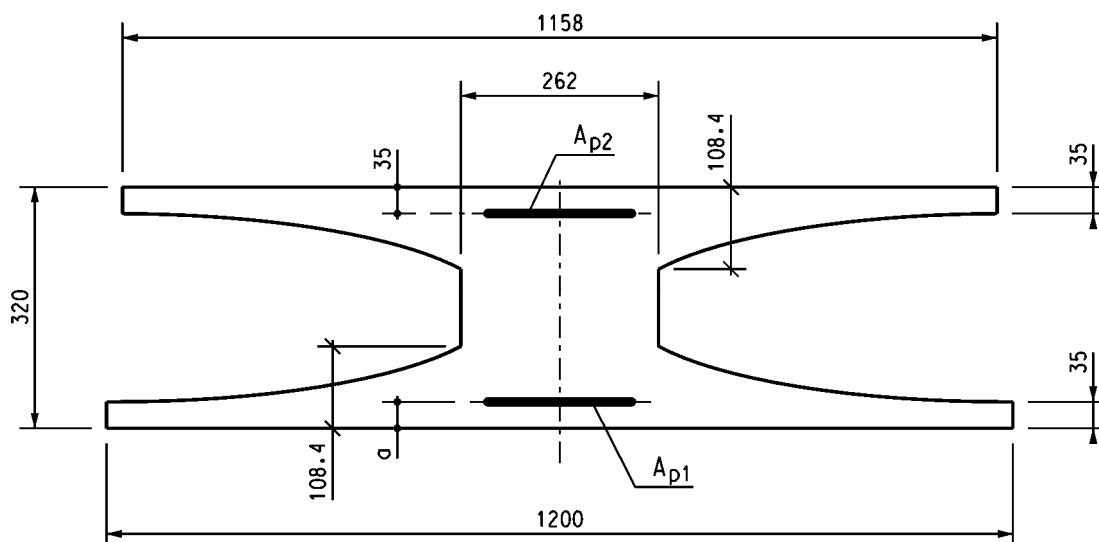
- dla stali sprężającej: $\gamma_s = 1,15$,
- dla betonu ściskanego: $\gamma_{c,red} = 1,35$,
- dla betonu rozciąganego: $\gamma_c = 1,4$.

Dla takich wartości współczynników materiałowych określono obliczeniowe wartości wytrzymałości betonu i stali (pkt.6.3).

Współczynniki efektów długotrwałych dla betonu przyjęto równe: $\alpha_{cc} = \alpha_{ct} = 1,0$.

6.1.5. Przekrój obliczeniowy

Rzeczywisty przekrój poprzeczny płyt HC320 (rys.1) został w obliczeniach wykonanych techniką komputerową (por. pkt.7.1) zastąpiony przekrojem ekwiwalentnym, o kształcie pokazanym na rys.5, którego charakterystyki geometryczne są takie same jak przekroju rzeczywistego.



Rys.5. Przekrój obliczeniowy płyt HC320

6.2. Kryteria użytkowe

Wymagania użytkowe dla płyt HC320 ustalono na podstawie normy [3] oraz [5] (w zakresie stanów granicznych ugięć).

Limitowane wartości ugięć a_{lim} płyt stropowych HC320, pod obciążeniem długotrwałym (quasi-stałym) przyjęto jak dla stropów z płaską powierzchnią dolną [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	$a_{lim} = l_{eff}/250$

W obliczeniach stanu granicznego ugięć założono, że płyta zostanie obciążona nie wcześniej niż po 28 dniach od chwili wyprodukowania (sprężenia), pozostając przez ten czas nieobciążona (chwilowe obciążenia technologiczne płyt uważać należy za nieistotne dla stanu granicznego ugięć). Dla tak ustalonej historii obciążenia, został wyznaczony współczynnik pełzania betonu (pkt.6.3.1), a następnie, z kryterium wyczerpania limitu ugięć, obliczone zostały dopuszczalne obciążenia długotrwałe (quasi-stałe).

Dopuszczalną szerokość rozwarcia rys prostopadłych w płytach HC320 przyjęto równą $w_{lim} = 0,2$ mm (w klasach ekspozycji X0 i XC1).

W warunkach odpowiadających klasom ekspozycji XC2, XC3, a także XC4, XD/XS oraz XA (por. pkt.5.2.1), przyjęto za niedopuszczalne pojawienie się naprężeń rozciągających pod wpływem obciążeń długotrwałych (quasi-stałych), w przylegającej do cięgien sprężających warstwie betonu o grubości 25 mm (niezależnie od tego czy ochrona powierzchniowa będzie zaaplikowana, czy nie).

Wobec braku zbrojenia poprzecznego w płytach HC320 pojawienie się rys ukośnych uznano za niedopuszczalne, co wynika bezpośrednio ze sposobu wyznaczenia obliczeniowej nośności na ścinanie stref przypodporowych (pkt.6.6.1).

W początkowym stadium sprężania konstrukcji (przejściowa sytuacja obliczeniowa), przy minimalnym obciążeniu, uznano za niedopuszczalne pojawienie się rys prostopadłych na górnej powierzchni oraz jakichkolwiek rys podłużnych w środnikach płyt, wywołanych rozciąganiem przyczółowym i wgłębnym (por. pkt.3.4.5 i pkt.3.5.2). Naprężenia przyczółowe w żebrach płyt sprawdzono obliczeniowo półempiryczną metodą rekomendowaną przez normę [7] w pkt.4.3.3.2.1.

Płyty HC320 zakwalifikowano do klasy konstrukcji S4 wg normy [3], i dla takiej klasy zaprojektowano ochronę materiałowo-strukturalną zbrojenia. Zastosowana ochrona zbrojenia (grubość otuliny, skład betonu) gwarantuje w normalnych warunkach eksploatacji (por. pkt.5.2.1) trwałość konstrukcji nie krótszą niż 50 lat (por. też normę [1]).

6.3. Cechy mechaniczne materiałów

6.3.1. Beton

Płyty kanałowe HC320 zostały zaprojektowane z betonu zwykłego klasy C50/60 i C60/75 (wariant HC320-16/REI60). W obliczeniach statyczno-wytrzymałościowych płyt w sytuacji trwałej ustalono, na podstawie normy [3] i przyjętych wartości współczynników częściowych (pkt.6.1.4), cechy mechaniczne betonu C50/60 o wartościach:

- 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 obliczeniowa na ściskanie: $f_{cd} = 37,0 \text{ MPa}$
- wytrzymałość średnia na rozciąganie: $f_{ctm} = 4,1 \text{ MPa}$
- wytrzymałość charakterystyczna na rozciąganie: $f_{ctk} = 2,9 \text{ MPa}$
- wytrzymałość obliczeniowa na rozciąganie: $f_{ctd} = 2,07 \text{ MPa}$
- sieczny moduł sprężystości: $E_{cm} = 37 \text{ GPa}$

Z kolei, dla betonu klasy C60/75, w sposób analogiczny jak wyżej, ustalono wartości:

- wytrzymałość kostkowa na ściskanie: $f_{ck,cube} = 75 \text{ MPa}$
- wytrzymałość charakterystyczna na ściskanie: $f_{ck} = 60 \text{ MPa}$
- wytrzymałość średnia na ściskanie: $f_{cm} = f_{ck} + 8 = 60 + 8 = 68 \text{ MPa}$
- wytrzymałość obliczeniowa na ściskanie: $f_{cd} = 44,4 \text{ MPa}$
- wytrzymałość średnia na rozciąganie: $f_{ctm} = 4,4 \text{ MPa}$
- wytrzymałość charakterystyczna na rozciąganie: $f_{ctk} = 3,1 \text{ MPa}$
- wytrzymałość obliczeniowa na rozciąganie: $f_{ctd} = 2,21 \text{ MPa}$
- sieczny moduł sprężystości: $E_{cm} = 39 \text{ GPa}$

W obliczeniach statyczno-wytrzymałościowych dla stadium początkowego założono, że cechy mechaniczne betonu w chwili sprężania osiągną wartości klasy wytrzymałości C40/50 (pkt.3.1), a w wariantie HC320-16/REI60 - klasy C50/60. W związku z tym, w obliczeniach stadium początkowego przyjęto, na podstawie normy [3], następujące wartości wytrzymałości betonu:

- wytrzymałość kostkowa na ściskanie: $f_{ck,cube} = 50 \text{ MPa}$
- wytrzymałość charakterystyczna na ściskanie: $f_{ck} = 40 \text{ MPa}$
- wytrzymałość średnia na ściskanie: $f_{cm} = f_{ck} + 8 = 40 + 8 = 48 \text{ MPa}$
- wytrzymałość obliczeniowa na ściskanie: $f_{cd} = 28,6 \text{ MPa}$
- wytrzymałość średnia na rozciąganie: $f_{ctm} = 3,5 \text{ MPa}$
- wytrzymałość charakterystyczna na rozciąganie: $f_{ctk} = 2,5 \text{ MPa}$
- sieczny moduł sprężystości: $E_{cm} = 34 \text{ GPa}$

a dla wariantu HC320-16/REI60 wartości przytoczone wcześniej, na początku tego punktu.

W obliczeniach opóźnionych strat siły sprężającej oraz długotrwałych efektów sprężenia przyjęto końcowe odkształcenia skurczowe betonu klasy C50/60 $\varepsilon_{cs,\infty} = 0,000375$ (skurcz autogeniczny całkowicie pominięto) oraz końcowy współczynnik pełzania betonu: $\varphi_{\infty} = 2,37$ (zmodyfikowany, ze względu na nagrzew i rodzaj cementu, wiek betonu: $t_{0,p} = 7$ dni).

Dla obliczeń ugięć długotrwałych pod obciążeniem zewnętrznym określono wartość współczynnika pełzania betonu równą: $\varphi_{\infty} = 1,75$ (zmodyfikowany wiek betonu w chwili przyłożenia obciążeń długotrwałych: $t_{0,q} = 7 + 28 = 35$ dni, por. założenia w pkt.6.2).

Z kolei, w obliczeniach opóźnionych strat siły sprężającej oraz długotrwałych efektów sprężenia wariantu HC320-16/REI60, przy analogicznych założeniach jak wyżej, wyznaczono końcowe odkształcenia skurczowe betonu klasy C60/75 równe $\varepsilon_{cs,\infty} = 0,000336$ oraz końcowy współczynnik pełzania: $\varphi_{\infty} = 2,01$. Do obliczeń ugięć długotrwałych pod obciążeniem zewnętrznym określono wartość współczynnika pełzania betonu równą: $\varphi_{\infty} = 1,49$.

6.3.2. Stal sprężająca

Dla obliczeń statyczno-wytrzymałościowych ustalono na podstawie Aprobaty Technicznej [15] i pkt.6.1.4, że zastosowane w płytach HC320 siedmiodrutowe sploty $\varnothing 12,5$ mm, ze stali Y1860 o wytrzymałości charakterystycznej $f_{pk} = 1860$ MPa, posiadają następujące właściwości:

- pole przekroju poprzecznego splotu (suma przekroju drutów składowych): $A_{p1} = 93,0 \text{ mm}^2$
- charakterystyczna siła zrywająca splot: $F_{mk} = 173,0 \text{ kN}$
- charakterystyczna siła rozciągająca przy odkształceniu 0,1 %: $F_{p0.1} = 152,0 \text{ kN}$
- obliczeniowa siła zrywająca splot: $F_{pd} = F_{p0.1k} / \gamma_s = 152,0 / 1,15 = 132,2 \text{ kN}$
- 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 $0,7 \cdot f_{pk}$: $\leq 2,5 \%$
- masa splotu: $0,726 \text{ kg/m}$

W odniesieniu do splotów $\varnothing 9,3$ mm, wykonanych ze stali Y1860 o $f_{pk} = 1860$ MPa, ustalono na podstawie Aprobaty [15] i przyjętych w pkt.6.1.4 wartości współczynników częściowych, następujące wartości cech fizycznych:

- pole przekroju poprzecznego splotu (suma przekroju drutów składowych): $A_{p1} = 52,0 \text{ mm}^2$
- charakterystyczna siła zrywająca splot: $F_{mk} = 96,7 \text{ kN}$
- charakterystyczna siła rozciągająca przy odkształceniu 0,1 %: $F_{p0.1} = 85,1 \text{ kN}$
- obliczeniowa siła zrywająca splot: $F_{pd} = F_{pk} / \gamma_s = 85,1 / 1,15 = 74,0 \text{ kN}$
- moduł sprężystości: $E_p = 195 \text{ GPa}$
- odkształcenie charakterystyczne odpowiadające sile F_{pk} : $\varepsilon_{uk} = 3,5 \%$
- relaksacja naprężeń w czasie 1000 h przy wstępnych naprężeniach $0,7 \cdot f_{pk}$: $\leq 2,5 \%$
- masa splotu: $0,406 \text{ kg/m}$

Na podstawie określonych wyżej reologicznych właściwości splotów, wszystkie rodzaje strun zaliczono do klasy 2, tj. do ciągów o niskiej relaksacji [3].

6.4. Parametry sprężania

Początkową wartość siły naciągu każdego ciągu sprężającego, i odpowiadające zadanej sile naprężenia początkowe, podano w pkt.2.2.4 (tabl.1) oraz na rysunkach K-001 do K-008.

Początkowe odkształcenia stali we wszystkich ciągach sprężających są uzależnione od zadanych naprężeń początkowych. Dla ustalonej wyżej (pkt.6.3.2) wartości modułu sprężystości stali będą równe, odpowiednio:

$$\varepsilon_{p,0} = \frac{1200}{195000} = 0,00615$$

$$\varepsilon_{p,0} = \frac{1100}{195000} = 0,00564$$

$$\varepsilon_{p,0} = \frac{1050}{195000} = 0,00538$$

Podane wyżej wartości odkształceń można wykorzystać do kontroli naciągu ciągów, bezpośrednio po ich zakotwieniu w urządzeniach oporowych (z zastrzeżeniami podanymi w pkt.3.2.2).

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, że sprężenie betonu następować będzie po około 20 godzinach od chwili betonowania, kiedy beton osiągnie założoną wytrzymałość początkową (por. pkt.3.1(2) i pkt.6.3.1) i w związku z tym doraźną część strat spowodowanych relaksacją naprężeń stali ustalono jako 35% strat po 1000 godzinach.

Stratę siły sprężającej wymuszoną różnicą temperatur ciągów i urządzeń oporowych toru naciągowego, spowodowaną nagrzewem podłoża, oszacowano zgodnie z pkt.10.5.2 normy [3] dla różnicy temperatur $\Delta T = 40^\circ \text{C}$ (por. pkt.3.3.3).

Straty opóźnione (reologiczne) obliczono przy założeniu jednoczesnego działania skurczu i pełzania betonu oraz pozostałej części relaksacji naprężeń stali sprężającej, przyjmując wartości parametrów reologicznych betonu jak w pkt.6.3.1 oraz zakładając (zgodnie z normą [3]), że końcowe straty naprężeń spowodowane relaksacją stali sprężającej będą 2-krotnie większe niż straty w czasie 1000 godzin relaksacji.

Napężenia w betonie w otoczeniu cięgien sprężających, niezbędne do określenia strat spowodowanych pęłaniem betonu, wyznaczono przy założeniu, że jedynym obciążeniem działającym permanentnie na przeszło płyty jest ciężar własny stropu.

6.5. Nośność na zginanie

Nośność na zginanie płyt HC320 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 lub
 $\varepsilon_c = \varepsilon_{c,lim} = 0,0029$, w skrajnym włóknie betonu ściskanego klasy C60/75
- $\varepsilon_p = \varepsilon_{p,lim} = -0,02$, w zbrojeniu rozciągającym.

W żadnym z wariantów zbrojenia (pkt.2.2.3) 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 (w myśl normy [3], odkształcenia stali nie są limitowane w obliczeniach metodą uproszczoną). 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.

6.6. Nośność poprzeczna

6.6.1. Regiony niezarysowane

Nośność na ścinanie stref przypodporowych płyt HC320 obliczono zgodnie z wytycznymi pkt.6.2.2(2) normy [3], tj. przy założeniu kruchego mechanizmu zniszczenia betonu, co ma związek ze znikomą długością zakotwienia strun poza krawędzią podpory. Jako kryterium oceny nośności na ścinanie przyjęto pojawienie się rysy ukośnej w betonie.

W związku z powyższym, obliczeniową nośność na ścinanie regionów niezarysowanych oceniono na podstawie hipotezy wyężeniowej Rankine'a. Nośność poprzeczna regionów niezarysowanych $V_{Rd,c}$ zdeterminowana jest osiągnięciem przez główne napężenie rozciągające w środnikach płyty (wywołane sprężeniem, ciężarem własnym i obciążeniem zewnętrznym) obliczeniowej wytrzymałości betonu na rozciąganie f_{ctd} (pkt.6.3.1). Napężenia główne oszacowano w środku ciężkości przekroju ukośnego wyprowadzonego z lica podpory pod kątem 35° (por. rys.3 w normie [7]), zgodnie z zasadami mechaniki konstrukcji. Uwzględniono przy tym szczególne wymagania ustanowione przez normę [7]. W szczególności, nośność poprzeczną obliczono na podstawie formuły uproszczonej zdefiniowanej w rozdziale 4.3.3.2.2.3 normy [7].

6.6.2. Region zarysowany

Niezależnie od obliczeń regionów niezarysowanych, sprawdzono nośność na ścinanie według mechanizmu plastycznego, nie zbrojonej poprzecznie strefy przypodporowej, w miejscu spodziewanego zarysowania dodatnim momentem zginającym. Nośność regionu zarysowanego określono na podstawie pkt.6.2.2(1) normy [3].

Wartość nośności poprzecznej regionu zarysowanego (oznaczonej symbolem $V_{Rd,1}$) wyznaczono na końcu długości kotwienia strun, gdzie nośność zbrojenia nie jest limitowana nośnością zakotwienia (w obliczeniach uwzględniono istnienie odpowiednio zakotwionego zbrojenia podłużnego).

6.7. Nośność zakotwienia strun

Nośność zakotwienia cięgien w betonie z uwagi na możliwość utraty przyczepności stali do betonu (poślizg) określono zgodnie z pkt.8.10.2 normy [3].

Na tej podstawie obliczono długość transferu siły sprężającej oraz długość zakotwienia cięgien w stanie granicznym nośności, i wyznaczono położenie charakterystycznych punktów załomów wykresu nośności cięgien. Przyjęto, że nośność zakotwienia cięgien przyrasta liniowo przedziałami, jak na wykresie 8.17 w normie [3].

7. WYNIKI OBLICZEŃ STATYCZNO-WYTRZYMAŁOŚCIOWYCH

7.1. Technika i forma obliczeń

Obliczenia statyczno-wytrzymałościowe płyt HC320 wykonano techniką komputerową. Cały tok obliczeń został zaprogramowany przez autora dokumentacji projektowej w arkuszu obliczeniowym programu Mathcad Prime 3.0, i tym arkuszem obliczenia zostały zrealizowane. Algorytmy obliczeń polegają na metodach i założeniach projektowych opisanych w rozdz.6. Do posortowania stabilizowanych wyników obliczeń dopuszczalnych obciążeń stropów (por. pkt.7.3) wykorzystano arkusz kalkulacyjny EXCEL 2007.

Szczegółowe wyniki obliczeń każdego wariantu zbrojenia płyt HC320 skompletowano w raportach dołączonych do tego projektu w formie elektronicznej. W raportach R1-1 do R1-8 zamieszczono wyniki obliczeń dla normalnych warunków użytkowania płyt (w normalnej temperaturze), natomiast w raportach R2-1 do R2-8, wyniki obliczeń dla sytuacji wyjątkowej (w warunkach pożaru).

W kolejnych punktach tego rozdziału zestawiono natomiast wartości podstawowych wielkości statycznych, kluczowych z punktu widzenia użytkowania płyt HC320, oraz wartości dopuszczalnych obciążeń równomiernych stropów skonstruowanych z tych płyt.

7.2. Wielkości statyczne płyt HC320

W tabl.3 zestawiono wartości podstawowych wielkości statycznych płyt HC320, dla wszystkich wariantów zbrojenia (pkt.2.2.3). Moment rysujący M_{cr} , moment dekompresji $M_{dec.25}$ i moment, przy którym szerokość rys osiąga wartość graniczną M_{sm} , podane w tabl.4, odpowiadają rozpiętości efektywnej przęśla $l_{eff} = 300$ cm (por. pkt.7.3).

Tabl.4. Podstawowe wyniki obliczeń wytrzymałościowych płyt HC320

			SLS			ULS		
Oznaczenie wariantu	$P_{m,\infty}$	Z_{cp}	M_{cr}	$M_{dec.25}$	M_{sm}	M_{Rd}	$V_{Rd.c}$	$V_{Rd.1}$
	[kN]	[cm]	[kNm]	[kNm]	[kNm]	[kNm]	[kN]	[kN]
HC320-7/REI60	606,7	12,22	183,5	120,6	202,4	268,0	130,3	90,8
> 13,0 m	717,5	9,48	186,7	123,9	212,3	268,8	136,8	96,4
HC320-9/REI60	689,4	12,17	200,2	136,9	241,8	340,9	136,3	100,1
> 13,0 m	808,3	9,75	205,0	141,9	253,6	341,3	143,0	106,1
HC320-11/REI60	815,5	12,12	225,4	161,8	294,9	412,1	141,8	110,9
> 13,0 m	941,7	10,08	231,9	168,6	308,6	412,0	148,5	117,2
HC320-14/REI60	1003,6	11,31	255,1	191,5	361,4	492,3	149,6	123,8
> 13,0 m	1135,9	9,73	262,9	199,5	376,1	491,1	156,1	130,2
HC320-16/REI60	1106,1	11,38	280,5	212,0	413,8	562,2	171,1	135,0
> 13,0 m	1236,8	9,88	287,6	219,3	427,9	560,9	178,2	141,4
HC320-9/REI120	777,6	9,55	196,8	141,3	233,1	307,3	137,0	98,2
> 13,0 m	885,6	7,63	199,0	144,6	241,4	307,7	143,1	103,1
HC320-11/REI120	922,8	9,72	223,6	169,4	286,1	374,2	142,7	109,7
> 13,0 m	1037,4	8,10	227,4	174,2	295,9	374,1	148,8	114,9
HC320-13/REI120	968,7	9,82	233,1	179,0	315,8	434,0	147,9	115,8
> 13,0 m	1090,1	8,26	238,0	185,1	327,0	432,7	154,1	121,4
	Sprężenie		Zginanie				Ścinanie	
$P_{m,\infty}$ - średnia siła sprężająca po uwzględnieniu wszystkich strat sprężania								
Z_{cp} - mimośród siły sprężającej								
M_{cr} - moment rysujący dla dolnej krawędzi przekroju								
$M_{dec.25}$ - moment zginający, który wywołuje dekompresję we włóknach betonu oddalonych od powierzchni ciągnien o 25 mm								
M_{sm} - moment, przy którym szerokość rys osiąga wartość graniczną $w_{lim} = 0,2$ mm								
M_{Rd} - obliczeniowa nośność na zginanie								
$V_{Rd.c}$ - obliczeniowa nośność na ścinanie regionów niezarysowanych								
$V_{Rd.1}$ - obliczeniowa nośność na ścinanie regionów zarysowanych								

Wartości podane w tabl.4 odnoszą się do całego prefabrykatu o szerokości równej 120 cm (por. pkt.2.2.1). W celu przeliczenia na jednostkowe pasmo stropu, podane w tabeli wartości można podzielić przez szerokość modułową płyt, równą 1,2 m.

7.3. Nośność płyt

7.3.1. Dopuszczalne obciążenia równomierne

Dla każdego wariantu zbrojenia płyt HC320 (pkt.2.2.3) wyznaczono dopuszczalne, równomiernie rozłożone zewnętrzne obciążenie obliczeniowe $p_{d,lim}$, charakterystyczne $p_{k,lim}$ i długotrwałe $p_{kt,lim}$, w funkcji efektywnej rozpiętości płyty l_{eff} . Cały cykl obliczeń (obliczenia strat sprężania, momentu rysującego M_{cr} , momentu dekompresji $M_{dec.25}$, momentu wymuszającego rysy o szerokości granicznej M_{sm} , nośności na zginanie M_{Rd} oraz nośności na ścinanie $V_{Rd,c}$ i $V_{Rd,1}$) powtarzano w całości dla każdej z rozpiętości l_{eff} (od 300 do 1710 cm z interwałem 30 cm). Założono przy tym swobodne podparcie płyt HC320 na podporach. Obliczone w ten sposób dopuszczalne obciążenia równomierne, dla poszczególnych wariantów zbrojenia, zestawiono w tablicach od 5.1 do 5.8.

Wartości dopuszczalnego obciążenia obliczeniowego, które są determinowane nośnością na ścinanie regionów niezarysowanych, zostały w tablicach wyróżnione pogrubioną czcionką.

Na podstawie analizy płyt w warunkach pożaru (raporty R2-1 do R2-8) określono także dopuszczalne obciążenie równomierne płyt w sytuacji wyjątkowej (kolumna 8).

Wartości dopuszczalnego, równomiernego obciążenia płyt HC320 dla rozpiętości pośrednich można interpolować liniowo lub przyjmować jak dla górnej granicy przedziału, w którym zawiera się dana rozpiętość. Ekstrapolacja nośności poza zakres rozpiętości podany w tabl.5.1 do 5.8 jest niedopuszczalna.

W sytuacji trwałej [1], płyty HC320 spełniają wymagania stanów granicznych nośności i użytkowalności (por. pkt.6.2), gdy spełnione są jednocześnie trzy podane niżej warunki:

$$p_d \leq p_{d,lim} \quad (1)$$

$$p_k \leq p_{k,lim} \quad (2)$$

$$p_{kt} \leq p_{kt,lim} \quad (3)$$

gdzie: p_d , p_k , p_{kt} – projektowane, równomierne obciążenie zewnętrzne płyt [kN/m^2], odpowiednio: wartość kombinacyjna (obliczeniowa), wartość częsta i wartość quasi-stała, ustalone na podstawie zbioru norm [2] z uwzględnieniem wymagań normy [1],

$p_{d,lim}$, $p_{k,lim}$, $p_{kt,lim}$ – wartości dopuszczalne równomiernego obciążenia płyt [kN/m^2], odpowiednio: obliczeniowego (ULS), charakterystycznego i długotrwałego, wg tabl.5.1 do 5.8.

Dopuszczalne obciążenie długotrwałe $p_{kt,lim}$ należy przyjmować odpowiednio do warunków eksploatacji płyt HC320: w klasach ekspozycji X0 lub XC1 - z kolumny 4, w klasach ekspozycji XC2, XC3, XC4, XD1/XS1 oraz XD2/XS2 - z kolumny 5, w tablicach 5.1 do 5.8.

Stosując płyty w innych klasach ekspozycji, na co zezwolono warunkowo w pkt.5.2.1, wartość dopuszczalną obciążenia długotrwałego należy odczytać z kolumny 5 w tablicach 5.1 do 5.8 (wartość określona z kryterium dekompresji, por. pkt.6.2), niezależnie od tego, czy ochrona powierzchniowa betonu będzie zastosowana, czy nie (por. pkt.5.2.1).

Analizując nośność płyt w sytuacji wyjątkowej pożaru wymaga się, aby płyta spełniała warunek nośności:

$$p_{d,fi} \leq p_{fi,lim} \quad (4)$$

gdzie: $p_{d,fi}$ – projektowane, równomierne obciążenie wyjątkowe płyt w sytuacji wyjątkowej [kN/m^2], ustalone na podstawie normy [1],

$p_{fi,lim}$ - zredukowana nośność płyt ze względu na temperaturę pożaru standardowego [kN/m^2], wg kolumny 8 w tabl.5.1 do 5.8.

Strop posiadać będzie założoną w tym projekcie odporność ogniową (pkt.2.3.4), gdy spełniony będzie warunek nośności (4) (por. pkt.5.2.2).

7.3.2. Nośność płyt obciążonych nierównomiernie

Płyty HC320 mogą być użytkowane pod obciążeniem o nierównomiernym rozkładzie, a także pod obciążeniem skoncentrowanym (siły skupione, obciążenia liniowe i in.). Siły wewnętrzne w tak obciążonych płytach należy wyznaczać wg zasad mechaniki budowli, z uwzględnieniem ciężaru własnego stropów (tabl.2). W przypadku obciążeń skoncentrowanych na pojedynczych prefabrykacjach, uwzględnić można współpracę poprzeczną sąsiednich płyt, zgodnie z wytycznymi normy [7]. Nośność przekrojów należy sprawdzić porównując ekstremalne wartości sił wewnętrznych w przęśle z odpowiednimi wielkościami statycznymi, zestawionymi w tabl.4. Wykorzystać można też inne potrzebne wielkości statyczne i geometryczne, zamieszczone w raportach z obliczeń.

Szczegółowe wytyczne obliczania płyt obciążonych w sposób nierównomierny podano w opracowaniu [29].

Tabl.5.1 Dopuszczalne obciążenia zewnętrzne płyty HC320-7/REI60

HC320-7/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
300	74,8	146,1	478,2	85,5	-1,1	-3,0	44,1
330	66,8	120,1	364,8	70,0	-1,3	-4,0	39,4
360	60,3	100,4	285,1	58,3	-1,6	-5,0	35,5
390	54,9	85,0	227,3	49,1	-1,8	-5,0	32,2
420	50,3	72,8	184,4	41,9	-2,1	-6,0	29,4
450	46,4	63,0	151,7	36,0	-2,3	-7,0	27,1
480	42,9	54,9	126,3	31,2	-2,6	-8,0	25,0
510	39,9	48,3	106,4	27,2	-2,9	-8,0	23,2
540	37,3	42,7	90,4	23,9	-3,2	-9,0	21,7
570	35,0	38,0	77,4	21,1	-3,4	-10,0	20,3
600	32,9	33,9	66,8	18,7	-3,7	-11,0	19,0
630	31,0	30,4	56,0	16,6	-4,0	-12,0	17,9
660	29,3	27,4	47,4	14,8	-4,3	-12,0	16,8
690	27,7	24,8	40,3	13,3	-4,5	-13,0	15,9
720	26,3	22,5	34,5	11,9	-4,8	-14,0	15,0
750	25,0	20,5	29,7	10,7	-5,0	-14,0	14,3
780	23,8	18,6	26,4	9,59	-5,2	-15,0	13,5
810	22,0	17,0	23,5	8,63	-5,4	-15,0	12,9
840	20,1	15,6	21,0	7,78	-5,6	-16,0	12,3
870	18,4	14,3	18,8	7,01	-5,7	-16,0	11,5
900	16,9	13,1	16,9	6,31	-5,8	-16,0	10,5
930	15,5	12,1	15,1	5,68	-5,9	-16,0	9,54
960	14,2	11,1	13,6	5,11	-5,9	-16,0	8,72
990	13,0	10,3	12,2	4,59	-5,9	-16,0	7,97
1020	12,0	9,45	11,0	4,12	-5,8	-15,0	7,28
1050	11,0	8,72	9,88	3,68	-5,7	-15,0	6,65
1080	10,1	8,06	8,88	3,29	-5,5	-14,0	6,08
1110	9,31	7,44	7,98	2,92	-5,2	-13,0	5,55
1140	8,55	6,87	7,16	2,58	-4,9	-11,0	5,06
1170	7,86	6,35	6,42	2,27	-4,5	-10,0	4,61
1200	7,21	5,86	5,73	1,98	-4,0	-8,0	4,19
1230	6,62	5,41	5,11	1,71	-3,5	-6,0	3,81
1260	6,06	4,99	4,54	-	-2,8	-4,0	3,45
1290	5,54	4,60	4,02	-	-2,1	-1,0	3,11
1320	5,09	4,28	2,93	-	1,6	11,0	2,82
1350	4,64	3,93	2,51	-	2,7	15,0	2,53
1380	4,22	3,61	2,12	-	3,9	19,0	2,25
1410	3,82	3,31	1,76	-	5,2	24,0	2,00
1440	-	-	-	-	-	-	-
1470	-	-	-	-	-	-	-
1500	-	-	-	-	-	-	-
1530	-	-	-	-	-	-	-
1560	-	-	-	-	-	-	-
1590	-	-	-	-	-	-	-
1620	-	-	-	-	-	-	-
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.5.2 Dopuszczalne obciążenia zewnętrzne płyty HC320-9/REI60

HC320-9/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	78,5	175,3	492,7	97,6	-1,3	-4,0	46,4
330	70,2	144,3	376,7	80,0	-1,5	-4,0	41,4
360	63,4	120,7	295,1	66,7	-1,8	-5,0	37,3
390	57,7	102,3	235,7	56,3	-2,1	-6,0	33,9
420	52,9	87,8	191,5	48,1	-2,4	-7,0	31,0
450	48,8	76,0	157,9	41,4	-2,7	-8,0	28,5
480	45,2	66,4	131,8	36,0	-3,0	-9,0	26,4
510	42,1	58,4	111,2	31,5	-3,4	-10,0	24,5
540	39,3	51,7	94,7	27,7	-3,7	-11,0	22,9
570	36,8	46,1	81,3	24,5	-4,1	-12,0	21,4
600	34,7	41,3	70,3	21,8	-4,4	-13,0	20,1
630	32,7	37,1	59,1	19,4	-4,8	-14,0	18,9
660	30,9	33,5	50,2	17,4	-5,1	-15,0	17,8
690	29,3	30,4	42,9	15,6	-5,5	-16,0	16,8
720	27,8	27,6	36,9	14,0	-5,8	-17,0	15,9
750	26,4	25,2	31,9	12,7	-6,1	-17,0	15,1
780	25,2	23,0	28,4	11,4	-6,5	-18,0	14,4
810	24,0	21,1	25,4	10,4	-6,7	-19,0	13,7
840	22,9	19,4	22,7	9,37	-7,0	-20,0	13,0
870	22,0	17,8	20,4	8,50	-7,2	-20,0	12,4
900	21,0	16,5	18,4	7,71	-7,5	-21,0	11,9
930	20,2	15,2	16,5	7,00	-7,6	-21,0	11,4
960	19,4	14,1	14,9	6,35	-7,8	-21,0	10,9
990	18,0	13,0	13,5	5,76	-7,9	-21,0	10,4
1020	16,7	12,1	12,2	5,22	-7,9	-21,0	10,0
1050	15,4	11,2	11,0	4,73	-7,9	-21,0	9,51
1080	14,3	10,4	9,93	4,28	-7,8	-20,0	8,78
1110	13,3	9,65	8,98	3,86	-7,7	-20,0	8,11
1140	12,3	8,97	8,11	3,48	-7,5	-19,0	7,49
1170	11,4	8,35	7,31	3,12	-7,3	-18,0	6,91
1200	10,6	7,77	6,59	2,79	-6,9	-16,0	6,38
1230	9,83	7,23	5,93	2,49	-6,5	-14,0	5,89
1260	9,12	6,73	5,32	2,21	-6,0	-13,0	5,43
1290	8,47	6,26	4,76	1,94	-5,4	-10,0	5,01
1320	7,87	5,86	3,64	1,58	-1,9	1,0	4,62
1350	7,29	5,45	3,19	-	-1,0	4,0	4,24
1380	6,75	5,06	2,77	-	0,1	8,0	3,90
1410	6,25	4,70	2,39	-	1,2	12,0	3,57
1440	5,78	4,37	2,03	-	2,5	17,0	3,26
1470	5,34	4,05	1,69	-	3,9	22,0	2,98
1500	-	-	-	-	-	-	-
1530	-	-	-	-	-	-	-
1560	-	-	-	-	-	-	-
1590	-	-	-	-	-	-	-
1620	-	-	-	-	-	-	-
Sytuacja trwała							Syt. wyjątkowa
<p>$p_{d,lim}$ - dopuszczalne obciążenie obliczeniowe (stan graniczny nośności)</p> <p>$p_{k,lim}$ - dopuszczalne obciążenie charakterystyczne (stan graniczny rozwarcia rys)</p> <p>$p_{kt,lim}$ - dopuszczalne obciążenie długotrwałe (stan graniczny ugięcia lub dekompresji)</p> <p>$p_{fi,lim}$ - zredukowana nośność płyt w warunkach pożaru</p> <p>a_0 - doraźna strzałka ugięcie płyt (bezpośrednio po sprężeniu) (znak „-” oznacza ugięcie odwrotne)</p> <p>a_{∞} - końcowa strzałka ugięcie płyt</p>							

Tabl.5.3 Dopuszczalne obciążenia zewnętrzne płyty HC320-11/REI60

HC320-11/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	81,9	214,6	513,9	116,0	-1,5	-4,0	48,4
330	73,2	176,8	394,1	95,3	-1,9	-5,0	43,2
360	66,1	148,0	309,5	79,5	-2,2	-6,0	39,0
390	60,2	125,6	248,0	67,3	-2,5	-7,0	35,4
420	55,2	107,9	202,1	57,5	-2,9	-8,0	32,4
450	50,9	93,5	167,0	49,7	-3,3	-9,0	29,8
480	47,2	81,8	139,8	43,2	-3,7	-11,0	27,6
510	44,0	72,1	118,2	37,9	-4,2	-12,0	25,7
540	41,1	63,9	100,9	33,4	-4,6	-13,0	23,9
570	38,6	57,1	86,9	29,6	-5,0	-14,0	22,4
600	36,3	51,2	75,4	26,4	-5,5	-16,0	21,0
630	34,2	46,1	63,7	23,6	-6,0	-17,0	19,8
660	32,4	41,7	54,3	21,2	-6,4	-18,0	18,7
690	30,7	37,9	46,7	19,1	-6,9	-19,0	17,7
720	29,1	34,5	40,4	17,3	-7,4	-21,0	16,7
750	27,7	31,6	35,1	15,7	-7,8	-22,0	15,9
780	26,4	28,9	31,4	14,2	-8,2	-23,0	15,1
810	25,2	26,6	28,1	12,9	-8,7	-24,0	14,4
840	24,1	24,5	25,3	11,8	-9,1	-25,0	13,7
870	23,1	22,6	22,8	10,7	-9,5	-26,0	13,1
900	22,1	20,9	20,6	9,81	-9,9	-27,0	12,5
930	21,2	19,4	18,6	8,97	-10,2	-28,0	12,0
960	20,4	18,0	16,9	8,20	-10,5	-29,0	11,5
990	19,6	16,7	15,3	7,51	-10,8	-29,0	11,0
1020	18,8	15,5	13,9	6,87	-11,0	-29,0	10,6
1050	18,1	14,5	12,6	6,29	-11,2	-30,0	10,2
1080	17,5	13,5	11,5	5,75	-11,3	-30,0	9,76
1110	16,9	12,6	10,5	5,26	-11,4	-30,0	9,39
1140	16,0	11,8	9,50	4,81	-11,4	-29,0	9,04
1170	14,9	11,0	8,64	4,39	-11,3	-29,0	8,71
1200	13,9	10,3	7,85	4,00	-11,2	-28,0	8,40
1230	13,0	9,64	7,13	3,64	-11,0	-27,0	7,92
1260	12,1	9,03	6,47	3,31	-10,8	-26,0	7,37
1290	11,3	8,46	5,86	3,00	-10,4	-24,0	6,85
1320	10,6	7,96	4,70	2,60	-7,1	-14,0	6,37
1350	9,88	7,46	4,21	2,33	-6,4	-11,0	5,92
1380	9,23	6,99	3,75	2,08	-5,6	-8,0	5,50
1410	8,62	6,56	3,32	1,85	-4,7	-5,0	5,11
1440	8,05	6,15	2,92	1,62	-3,7	-1,0	4,74
1470	7,52	5,76	2,56	-	-2,5	3,0	4,39
1500	7,01	5,40	2,21	-	-1,3	8,0	4,06
1530	6,54	5,05	1,89	-	0,2	13,0	3,76
1560	6,09	4,73	1,59	-	1,7	18,0	3,47
1590	-	-	-	-	-	-	-
1620	-	-	-	-	-	-	-
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.5.4 Dopuszczalne obciążenia zewnętrzne płyty HC320-14/REI60

HC320-14/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	86,4	263,9	534,4	138,0	-1,8	-5,0	51,1
330	77,3	217,5	410,9	113,5	-2,2	-6,0	45,7
360	69,9	182,2	323,6	94,8	-2,6	-7,0	41,2
390	63,7	154,8	260,0	80,3	-3	-9,0	37,5
420	58,4	133,0	212,4	68,7	-3,5	-10,0	34,3
450	53,9	115,5	176,0	59,4	-3,9	-11,0	31,6
480	50,0	101,1	147,6	51,8	-4,4	-12,0	29,3
510	46,6	89,2	125,2	45,5	-4,9	-14,0	27,2
540	43,6	79,2	107,1	40,2	-5,5	-15,0	25,4
570	40,9	70,7	92,4	35,8	-6	-17,0	23,8
600	38,5	63,5	80,3	31,9	-6,6	-18,0	22,4
630	36,3	57,3	68,2	28,7	-7,2	-20,0	21,1
660	34,4	51,9	58,5	25,8	-7,8	-22,0	19,9
690	32,6	47,2	50,4	23,3	-8,3	-23,0	18,8
720	31,0	43,1	43,8	21,1	-8,9	-25,0	17,8
750	29,5	39,5	38,3	19,2	-9,5	-26,0	17,0
780	28,1	36,3	34,3	17,5	-10,1	-28,0	16,1
810	26,8	33,4	30,8	16,0	-10,7	-29,0	15,4
840	25,7	30,8	27,8	14,6	-11,2	-31,0	14,7
870	24,6	28,5	25,1	13,4	-11,8	-32,0	14,0
900	23,6	26,4	22,8	12,3	-12,3	-34,0	13,4
930	22,6	24,5	20,7	11,3	-12,8	-35,0	12,8
960	21,7	22,8	18,8	10,4	-13,3	-36,0	12,3
990	20,9	21,3	17,1	9,56	-13,8	-37,0	11,8
1020	20,1	19,8	15,6	8,81	-14,2	-38,0	11,4
1050	19,4	18,5	14,2	8,12	-14,5	-39,0	10,9
1080	18,7	17,3	13,0	7,49	-14,9	-39,0	10,5
1110	18,1	16,2	11,9	6,91	-15,1	-40,0	10,1
1140	17,5	15,2	10,9	6,37	-15,4	-40,0	9,74
1170	16,9	14,3	9,94	5,87	-15,5	-40,0	9,40
1200	16,3	13,4	9,09	5,41	-15,6	-40,0	9,06
1230	15,8	12,6	8,31	4,99	-15,7	-39,0	8,75
1260	15,3	11,9	7,59	4,59	-15,6	-39,0	8,45
1290	14,6	11,2	6,93	4,22	-15,5	-38,0	8,17
1320	13,6	10,5	5,75	3,79	-12,4	-28,0	8,23
1350	12,8	9,93	5,21	3,47	-12	-26,0	7,97
1380	12,0	9,36	4,70	3,17	-11,5	-24,0	7,71
1410	11,3	8,83	4,24	2,89	-10,8	-21,0	7,47
1440	10,6	8,32	3,80	2,63	-10,1	-18,0	7,23
1470	9,96	7,85	3,40	2,38	-9,2	-15,0	7,01
1500	9,36	7,41	3,03	2,15	-8,2	-11,0	6,80
1530	8,80	6,99	2,67	1,93	-7,1	-7,0	6,59
1560	8,26	6,60	2,35	1,72	-5,8	-2,0	6,39
1590	7,76	6,22	2,04	1,53	-4,4	3,0	6,16
1620	7,29	5,87	1,75	-	-2,8	9,0	5,79
1650	-	-	-	-	-	-	-
1680	-	-	-	-	-	-	-
1710	-	-	-	-	-	-	-
1740	-	-	-	-	-	-	-
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.5.5 Dopuszczalne obciążenia zewnętrzne płyty HC320-16/REI60

HC320-16/REI60							
l _{eff}	p _{d,lim}	p _{k,lim}	p _{kt,lim}		a ₀	a _∞	p _{fi,lim}
			X0, XC1	XC2, XC3			
[cm]	[kN/m ²]				[mm]		[kN/m ²]
1	2	3	4	5	6	7	8
300	99,6	302,6	613,6	153,2	-1,9	-5,0	59,0
330	89,2	249,5	471,4	126,0	-2,2	-6,0	52,8
360	80,7	209,2	370,9	105,3	-2,6	-7,0	47,7
390	73,6	177,7	297,8	89,2	-3,1	-8,0	43,4
420	67,6	152,8	243,1	76,5	-3,5	-9,0	39,8
450	62,4	132,7	201,3	66,2	-4,0	-10,0	36,7
480	57,9	116,2	168,8	57,7	-4,5	-12,0	34,0
510	54,0	102,6	143,1	50,7	-5,1	-13,0	31,7
540	50,6	91,1	122,5	44,9	-5,6	-15,0	29,6
570	47,5	81,4	105,7	39,9	-6,2	-16,0	27,8
600	44,8	73,2	91,9	35,7	-6,8	-17,0	26,1
630	42,3	66,0	78,0	32,1	-7,4	-19,0	24,6
660	40,0	59,9	66,8	28,9	-8,0	-21,0	23,3
690	38,0	54,5	57,6	26,2	-8,6	-22,0	22,1
720	36,2	49,8	50,1	23,7	-9,3	-24,0	21,0
750	34,4	45,7	43,8	21,6	-9,9	-25,0	19,9
780	32,9	42,0	39,3	19,7	-10,5	-27,0	19,0
810	31,4	38,7	35,3	18,0	-11,1	-28,0	18,1
840	30,1	35,7	31,9	16,5	-11,8	-30,0	17,3
870	28,9	33,1	28,9	15,2	-12,4	-31,0	16,6
900	27,7	30,7	26,2	14,0	-12,9	-33,0	15,9
930	26,6	28,5	23,8	12,8	-13,5	-34,0	15,2
960	25,6	26,6	21,7	11,8	-14,1	-35,0	14,6
990	24,7	24,8	19,8	10,9	-14,6	-36,0	14,1
1020	23,8	23,2	18,1	10,1	-15,1	-37,0	13,5
1050	22,9	21,7	16,6	9,33	-15,5	-38,0	13,0
1080	22,1	20,3	15,2	8,63	-16,0	-39,0	12,6
1110	21,4	19,0	13,9	7,99	-16,3	-40,0	12,1
1140	20,7	17,9	12,8	7,39	-16,7	-40,0	11,7
1170	20,0	16,8	11,7	6,84	-16,9	-41,0	11,3
1200	19,4	15,8	10,8	6,33	-17,1	-41,0	10,9
1230	18,8	14,9	9,89	5,86	-17,3	-41,0	10,6
1260	18,2	14,0	9,09	5,42	-17,4	-41,0	10,2
1290	17,4	13,2	8,34	5,02	-17,4	-41,0	9,88
1320	16,3	12,5	7,08	4,54	-14,6	-33,0	9,95
1350	15,3	11,8	6,47	4,19	-14,3	-31,0	9,64
1380	14,5	11,2	5,90	3,86	-14,0	-30,0	9,35
1410	13,6	10,6	5,38	3,55	-13,5	-28,0	9,07
1440	12,8	9,99	4,89	3,26	-12,9	-26,0	8,81
1470	12,1	9,45	4,44	2,98	-12,3	-24,0	8,55
1500	11,4	8,94	4,02	2,73	-11,5	-21,0	8,31
1530	10,8	8,46	3,62	2,49	-10,6	-18,0	8,07
1560	10,2	8,01	3,25	2,26	-9,5	-14,0	7,82
1590	9,61	7,58	2,91	2,04	-8,4	-10,0	7,38
1620	9,06	7,18	2,58	1,84	-7,0	-6,0	6,97
1650	8,55	6,80	2,28	1,65	-5,6	-1,0	6,58
1680	8,06	6,44	1,99	-	-4,0	4,0	6,21
1710	7,60	6,10	1,73	-	-2,2	10,0	5,86
1740	-	-	-	-	-	-	-
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.5.6 Dopuszczalne obciążenia zewnętrzne płyty HC320-9/REI120

HC320-9/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	78,1	168,8	477,0	100,8	-1,1	-3,0	37,8
330	69,9	138,9	364,0	82,7	-1,3	-4,0	33,7
360	63,2	116,2	284,5	68,9	-1,6	-5,0	30,3
390	57,5	98,5	226,8	58,2	-1,8	-5,0	27,5
420	52,8	84,4	183,9	49,7	-2,1	-6,0	25,1
450	48,7	73,1	151,3	42,8	-2,3	-7,0	23,1
480	45,1	63,8	126,1	37,2	-2,6	-8,0	21,3
510	42,0	56,1	106,1	32,5	-2,9	-8,0	19,8
540	39,3	49,7	90,2	28,6	-3,2	-9,0	18,4
570	36,8	44,2	77,3	25,3	-3,5	-10,0	17,2
600	34,6	39,6	66,7	22,5	-3,8	-11,0	16,1
630	32,7	35,6	55,9	20,1	-4,0	-12,0	15,1
660	30,9	32,1	47,3	18,0	-4,3	-12,0	14,2
690	29,3	29,1	40,2	16,1	-4,6	-13,0	13,4
720	27,8	26,4	34,5	14,5	-4,8	-14,0	12,6
750	26,4	24,1	29,7	13,1	-5,1	-14,0	12,0
780	25,2	22,0	26,4	11,8	-5,3	-15,0	11,3
810	24,0	20,1	23,5	10,7	-5,5	-15,0	10,8
840	23,0	18,5	21,0	9,71	-5,7	-16,0	10,2
870	21,9	17,0	18,8	8,81	-5,8	-16,0	9,73
900	20,1	15,6	16,8	7,99	-5,9	-16,0	9,27
930	18,5	14,4	15,1	7,26	-6,0	-16,0	8,84
960	17,0	13,3	13,5	6,59	-6,0	-16,0	8,43
990	15,7	12,3	12,2	5,98	-6,0	-16,0	8,06
1020	14,5	11,4	10,9	5,42	-5,9	-15,0	7,70
1050	13,4	10,5	9,84	4,92	-5,8	-15,0	7,37
1080	12,4	9,77	8,84	4,45	-5,6	-14,0	7,05
1110	11,4	9,06	7,94	4,02	-5,3	-13,0	6,75
1140	10,6	8,41	7,12	3,62	-5,0	-11,0	6,47
1170	9,78	7,80	6,38	3,26	-4,6	-10,0	6,20
1200	9,04	7,25	5,70	2,92	-4,1	-8,0	5,71
1230	8,35	6,73	5,08	2,60	-3,6	-6,0	5,25
1260	7,71	6,24	4,51	2,31	-2,9	-3,0	4,82
1290	7,12	5,79	3,98	2,04	-2,2	-1,0	4,42
1320	6,58	5,39	2,91	1,69	1,4	11,0	4,06
1350	6,06	5,00	2,48	-	2,5	15,0	3,71
1380	5,58	4,63	2,10	-	3,7	19,0	3,38
1410	5,13	4,28	1,74	-	5,1	24,0	3,08
1440	-	-	-	-	-	-	-
1470	-	-	-	-	-	-	-
1500	-	-	-	-	-	-	-
1530	-	-	-	-	-	-	-
1560	-	-	-	-	-	-	-
1590	-	-	-	-	-	-	-
1620	-	-	-	-	-	-	-
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.5.7 Dopuszczalne obciążenia zewnętrzne płyty HC320-11/REI120

HC320-11/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	81,6	208,1	498,0	121,6	-1,4	-4,0	39,6
330	73,1	171,4	381,2	99,9	-1,7	-5,0	35,3
360	66,1	143,4	298,9	83,4	-1,9	-6,0	31,8
390	60,2	121,7	239,1	70,5	-2,3	-7,0	28,8
420	55,2	104,5	194,5	60,3	-2,6	-8,0	26,4
450	51,0	90,6	160,5	52,1	-2,9	-9,0	24,2
480	47,3	79,2	134,1	45,3	-3,3	-10,0	22,4
510	44,0	69,7	113,2	39,8	-3,7	-11,0	20,8
540	41,1	61,8	96,5	35,1	-4,0	-12,0	19,3
570	38,6	55,1	82,9	31,1	-4,4	-13,0	18,1
600	36,3	49,4	71,8	27,7	-4,8	-14,0	16,9
630	34,3	44,5	60,5	24,8	-5,2	-15,0	15,9
660	32,4	40,3	51,5	22,3	-5,6	-16,0	15,0
690	30,7	36,5	44,1	20,1	-6,0	-17,0	14,1
720	29,2	33,3	38,0	18,2	-6,4	-18,0	13,3
750	27,8	30,4	32,9	16,5	-6,7	-19,0	12,6
780	26,5	27,8	29,3	15,0	-7,1	-20,0	12,0
810	25,3	25,6	26,2	13,6	-7,4	-21,0	11,4
840	24,1	23,5	23,5	12,4	-7,8	-22,0	10,8
870	23,1	21,7	21,2	11,3	-8,0	-22,0	10,3
900	22,2	20,0	19,0	10,4	-8,3	-23,0	9,82
930	21,3	18,6	17,2	9,47	-8,5	-23,0	9,37
960	20,4	17,2	15,5	8,67	-8,7	-24,0	8,95
990	19,6	16,0	14,0	7,94	-8,9	-24,0	8,56
1020	18,8	14,8	12,7	7,27	-9,0	-24,0	8,19
1050	17,4	13,8	11,5	6,66	-9,1	-24,0	7,84
1080	16,2	12,9	10,4	6,10	-9,1	-24,0	7,51
1110	15,1	12,0	9,42	5,59	-9,0	-23,0	7,20
1140	14,0	11,2	8,53	5,11	-8,9	-22,0	6,91
1170	13,0	10,5	7,71	4,67	-8,7	-21,0	6,63
1200	12,1	9,76	6,97	4,27	-8,4	-20,0	6,37
1230	11,3	9,12	6,28	3,89	-8,1	-19,0	6,12
1260	10,5	8,53	5,66	3,54	-7,7	-17,0	5,88
1290	9,80	7,98	5,08	3,21	-7,1	-15,0	5,66
1320	9,12	7,48	3,97	2,82	-3,8	-4,0	5,65
1350	8,49	6,99	3,51	2,54	-2,9	-1,0	5,24
1380	7,90	6,54	3,07	2,27	-2,0	3,0	4,85
1410	7,35	6,12	2,67	2,03	-0,9	7,0	4,48
1440	6,84	5,72	2,30	1,79	0,3	11,0	4,14
1470	6,35	5,35	1,96	1,58	1,6	16,0	3,81
1500	5,89	4,99	1,63	-	3,1	21,0	3,51
1530	-	-	-	-	-	-	-
1560	-	-	-	-	-	-	-
1590	-	-	-	-	-	-	-
1620	-	-	-	-	-	-	-
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.5.8 Dopuszczalne obciążenia zewnętrzne płyty HC320-13/REI120

HC320-13/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	84,8	230,1	506,9	128,7	-1,5	-4,0	41,2
330	75,9	189,6	388,5	105,8	-1,8	-5,0	36,7
360	68,7	158,8	304,9	88,3	-2,1	-6,0	33,1
390	62,6	134,8	244,1	74,7	-2,4	-7,0	30,0
420	57,4	115,7	198,8	64,0	-2,8	-8,0	27,5
450	53,0	100,4	164,2	55,3	-3,2	-9,0	25,3
480	49,2	87,8	137,3	48,1	-3,6	-10,0	23,3
510	45,8	77,4	116,1	42,3	-4,0	-11,0	21,7
540	42,9	68,7	99,1	37,3	-4,4	-13,0	20,2
570	40,2	61,3	85,2	33,1	-4,8	-14,0	18,9
600	37,8	55,0	73,9	29,6	-5,3	-15,0	17,7
630	35,7	49,6	62,4	26,5	-5,7	-16,0	16,6
660	33,8	44,9	53,1	23,8	-6,2	-17,0	15,7
690	32,0	40,7	45,6	21,5	-6,6	-19,0	14,8
720	30,4	37,1	39,4	19,5	-7,0	-20,0	14,0
750	29,0	34,0	34,2	17,7	-7,4	-21,0	13,2
780	27,6	31,1	30,5	16,1	-7,9	-22,0	12,6
810	26,4	28,6	27,4	14,6	-8,3	-23,0	11,9
840	25,2	26,4	24,6	13,4	-8,6	-24,0	11,4
870	24,2	24,4	22,1	12,2	-9,0	-25,0	10,8
900	23,2	22,6	19,9	11,2	-9,3	-25,0	10,3
930	22,2	20,9	18,0	10,3	-9,6	-26,0	9,87
960	21,4	19,4	16,3	9,41	-9,9	-27,0	9,43
990	20,6	18,1	14,8	8,64	-10,1	-27,0	9,02
1020	19,8	16,8	13,4	7,93	-10,3	-27,0	8,64
1050	19,1	15,7	12,2	7,29	-10,4	-27,0	8,28
1080	18,4	14,6	11,0	6,70	-10,5	-27,0	7,94
1110	17,7	13,7	10,0	6,15	-10,6	-27,0	7,62
1140	17,1	12,8	9,09	5,65	-10,5	-27,0	7,32
1170	16,0	12,0	8,25	5,19	-10,4	-26,0	7,03
1200	14,9	11,2	7,48	4,76	-10,3	-25,0	6,76
1230	13,9	10,5	6,77	4,36	-10,0	-24,0	6,50
1260	13,0	9,84	6,13	3,99	-9,7	-22,0	6,25
1290	12,2	9,23	5,53	3,65	-9,3	-20,0	6,02
1320	11,4	8,67	4,39	3,24	-5,9	-10,0	6,08
1350	10,6	8,12	3,91	2,94	-5,2	-7,0	5,86
1380	9,96	7,63	3,46	2,66	-4,3	-4,0	5,65
1410	9,32	7,17	3,04	2,40	-3,4	0,0	5,45
1440	8,72	6,73	2,66	2,15	-2,3	4,0	5,14
1470	8,16	6,30	2,30	1,92	-1,1	9,0	4,78
1500	7,63	5,93	1,96	1,70	0,3	13,0	4,44
1530	7,13	5,56	1,65	1,50	1,8	19,0	4,12
1560	-	-	-	-	-	-	-
1590	-	-	-	-	-	-	-
1620	-	-	-	-	-	-	-
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							