

	Wydział Budownictwa, Architektury i Inżynierii Środowiska	Imię i Nazwisko Studenta
	Zakład Mechaniki i Konstrukcji Budowli	Rok II, sem. 4, Grupa

ĆWICZENIE PROJEKTOWE

Z PRZEDMIOTU KONSTRUKCJE BUDOWLANE (A-SP4)

Temat: Zaprojektuj strop domu jednorodzinnego w wybranej technologii.

Zakres projektu

1. Wybór projektu domu jednorodzinnego
2. Wybór technologii stropu (drewniany, stalowy, żelbetowy, gęstożebrowy)
3. Dobór warstw materiałowych
4. Zebranie obciążeń działających na strop
5. Rozkład elementów konstrukcyjnych (belki, słupy)
6. Zaprojektowanie wskazanych elementów stropu
 - 6.1. Wyznaczenie obciążeń
 - 6.2. Obliczenia statyczne
 - 6.3. Wymiarowanie elementu
 - 6.4. Sprawdzenie warunków stanów granicznych (SGN, SGU)
7. Zaprojektowanie wskazanych połączeń konstrukcyjnych
 - 7.1. Połączenie belka-belka
 - 7.2. Połączenie belka-słup
8. Rysunki konstrukcyjne
 - 8.1. Rysunek zestawieniowy
 - 8.2. Szczegół połączenia elementu stropu ze ścianą

Termin wydania projektu:

Termin oddania:

Ocena:

dr inż. Jarosław Gajewski
gajewskijarekstudenci@gmail.com
www.gajewskijarek.com.pl

1. Wybór projektu domu jednorodzinnego

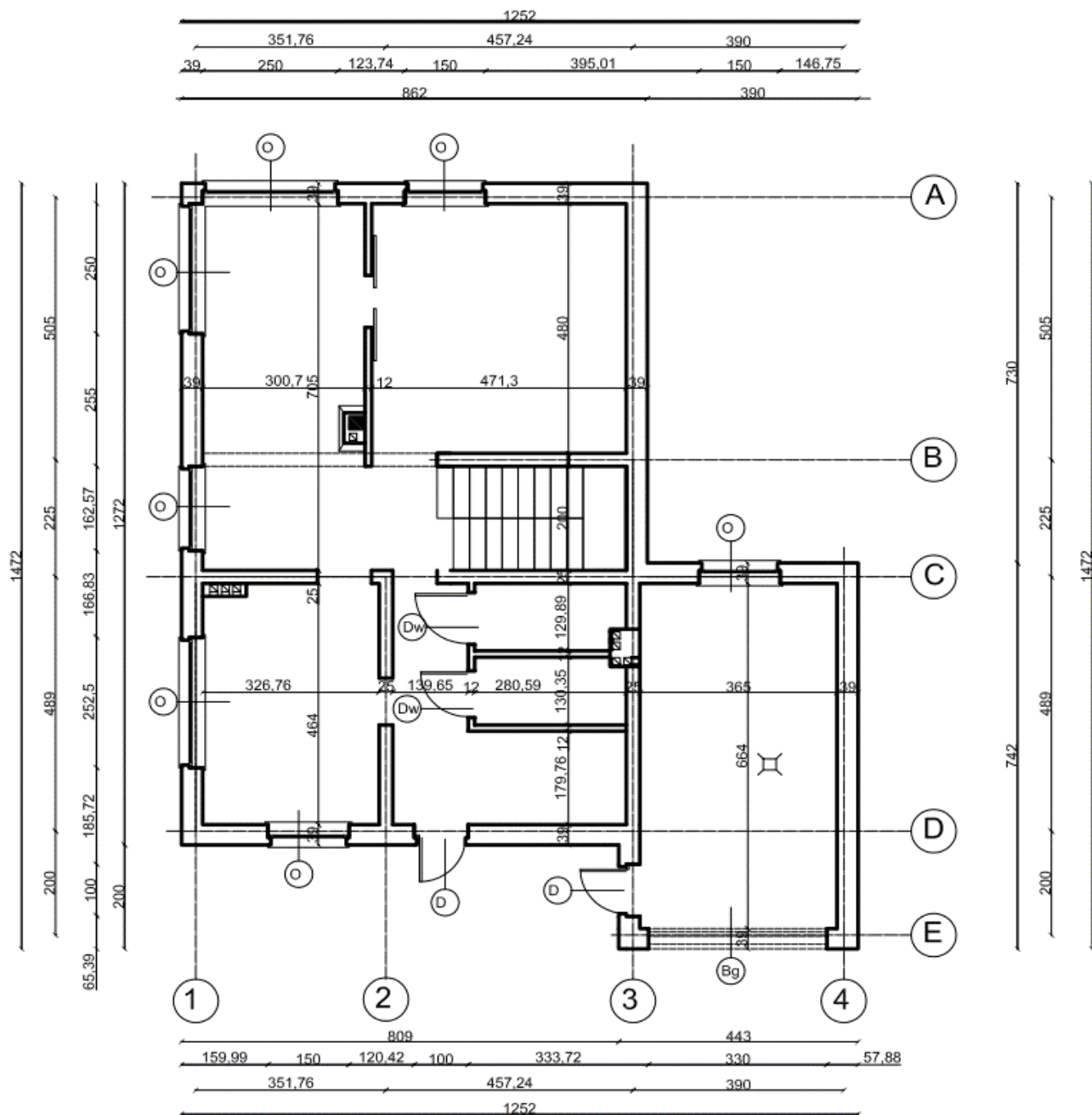
JG: wybieramy dom, który projektowaliśmy na wcześniejszych semestrach

JG: opis techniczny tego domu wraz z rysunkiem rzutu parteru oraz poddasza.

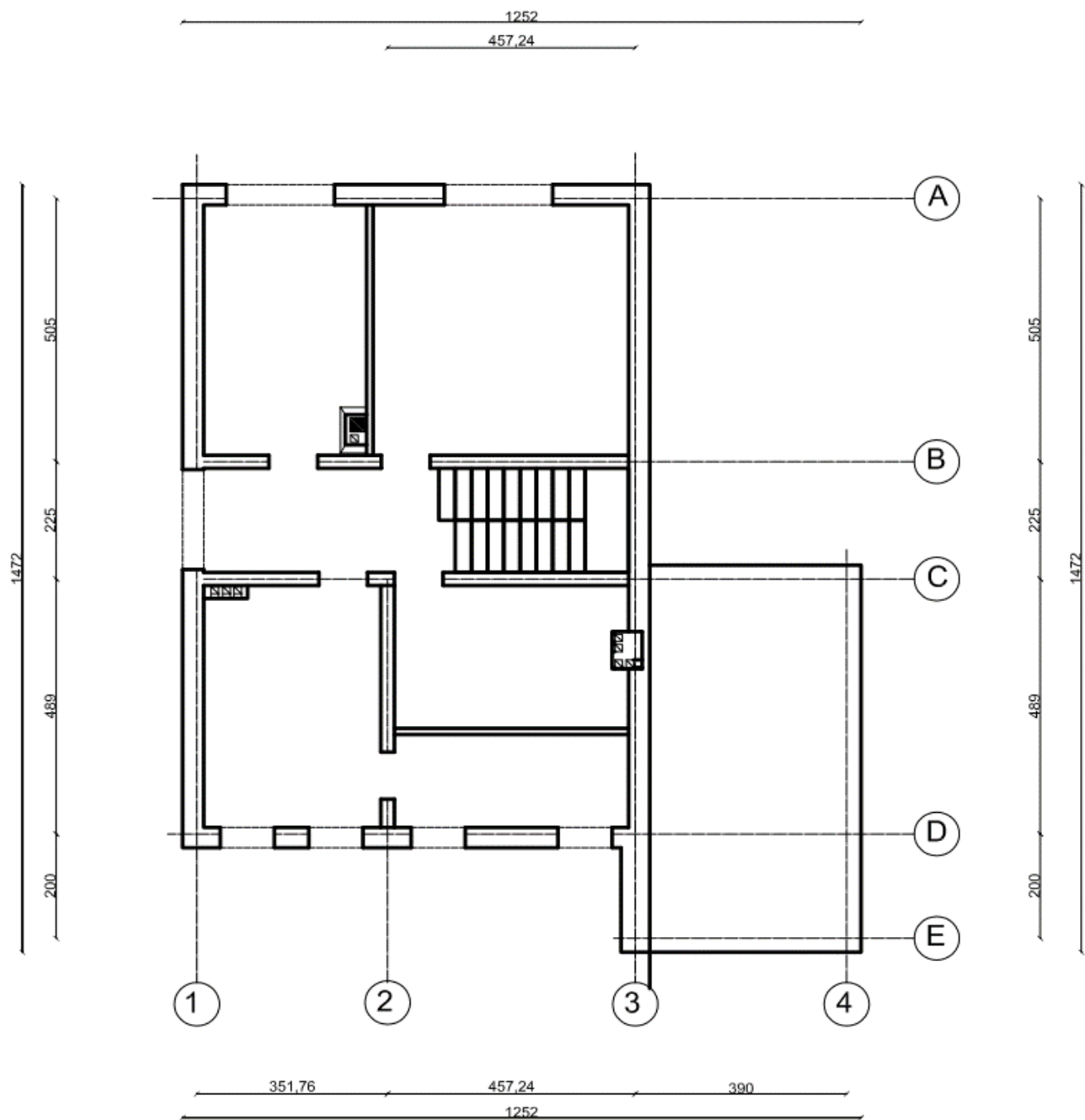
JG: jeśli istnieje dodajemy również przekrój

Poniżej przykładowy projekt (studenta/-ki)

RZUT PARTERU



RZUT PIĘTRA



2. Wybór technologii stropu

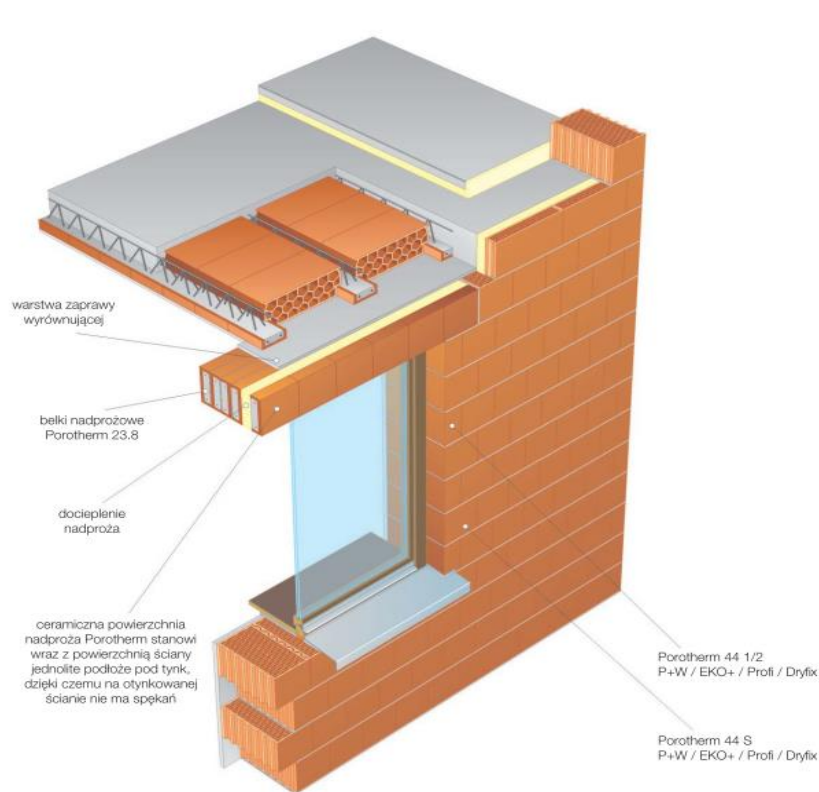
JG: w kilku zdaniach opisać charakterystykę stropu.

JG: pokazać rzut stropu z rozmieszczeniem belek

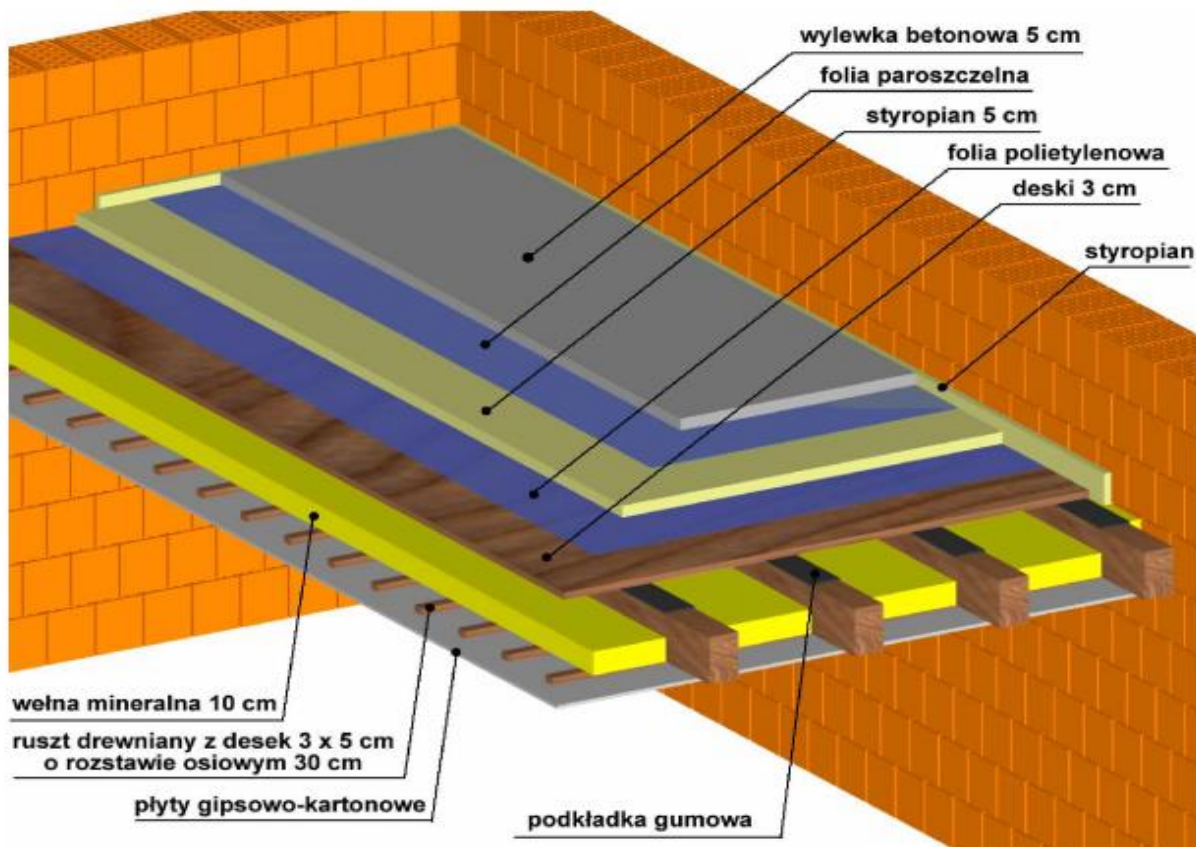
2.1 Wariant A - strop belkowo-pustakowy (np.. Porotherm, Teriva, Vector itp..)

2.2 Wariant B - strop belkowy drewniany

Wariant A [źródło: katalog firmy Wienerberger]



Wariant B [źródło: katalog Stropy drewniane firmy Mitek]



3.1. Dobór warstw materiałowych stropu (wariant A)

Przykładowy układ warstw stropu

- 1.Parkiet drewniany gr. 1,5 cm
- 2.Wylewka cementowa gr. 5 cm
- 3.Folia PE
- 4.Styropian gr. 5 cm
- 5.Folia PE
- 6.Strop belkowo-pustakowy np. Porotherm 19/50
- 7.Tynk cem.-wap. gr. 0,5 cm

4.1. Zestawienie obciążeń działających na strop (wariant A)

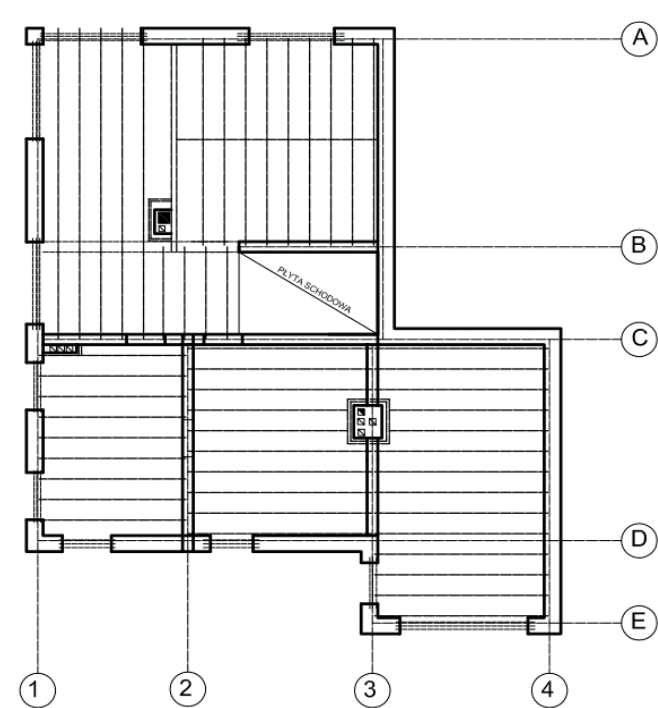
Tabela 1. Obciążenia stałe [kN/m^2]			war. char.	wsp. obc.	war. obl.
Nazwa	grubość	ciężar	G,ek	γ,G	G,ed
	[m]	[kN/m^3]	[kN/m^2]	[-]	[kN/m^2]
1.Parkiet drewniany gr. 1,5 cm	0.015	4.5	0.07	1.35	0.09
2.Wylewka cementowa gr. 5 cm	0.05	21	1.05		1.42
3.Folia PE	-	-	-		-
4.Styropian gr. 5 cm	0.05	0.45	0.02		0.03
5.Folia PE	-	-	-		-
6.Strop belkowo-pustakowy Porotherm 19/50 (ciężar wg producenta)	0.23	-	3.11		4.20
7.Tynk cem.-wap. gr. 0,5 cm	0.005	19	0.095		0.13
SUMA			4.35		5.87

Tabela 2. Obciążenia zmienne [kN/m^2]

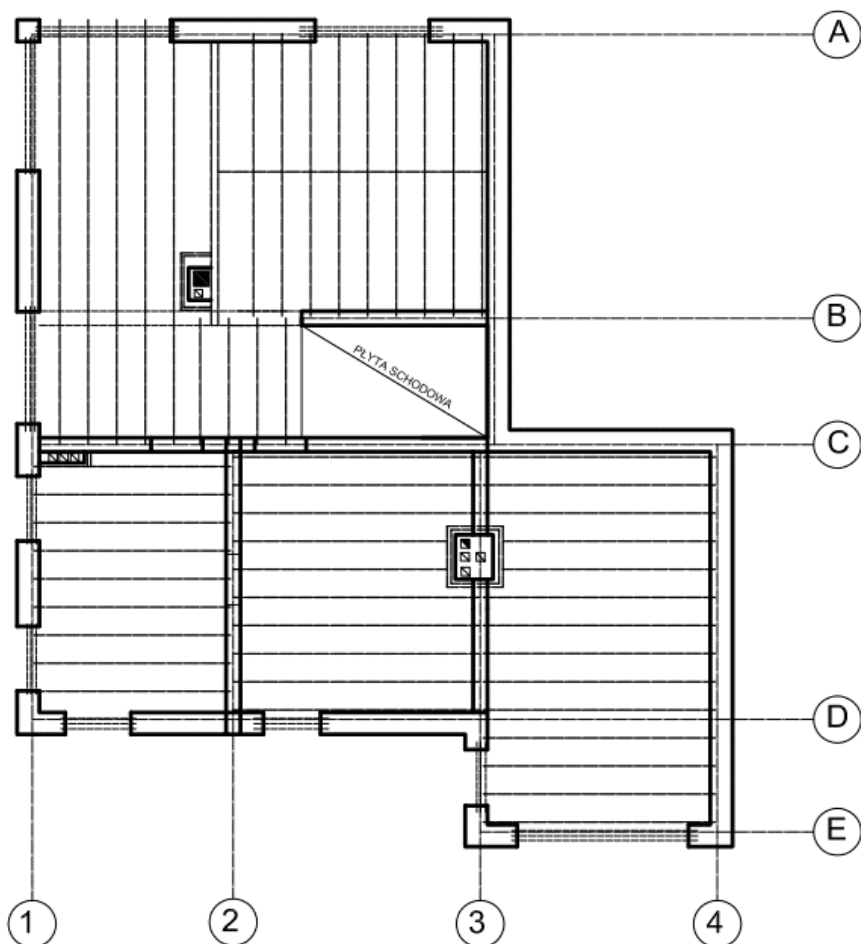
Nazwa	Q,ek	γ,Q	Q,ed
	[kN/m^2]	[-]	[kN/m^2]
1. Obciążenie użytkowe stropu - kategoria A	2.00	1.5	3.00
SUMA	2.00		3.00

5.1. Rozkład elementów konstrukcyjnych (wariant A)

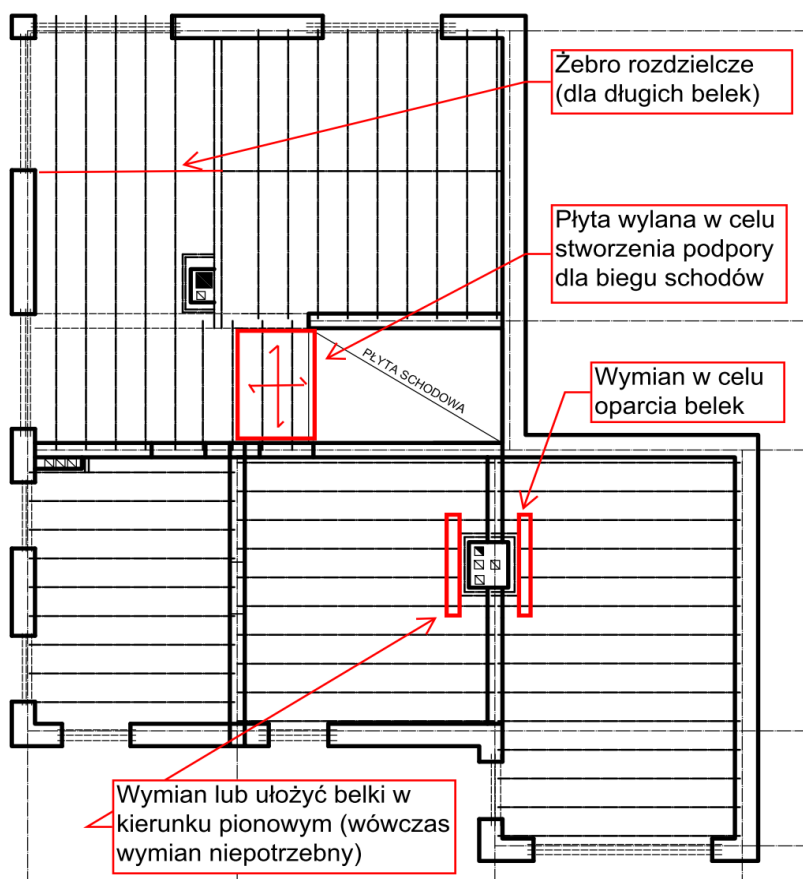
Poniżej wstępne rozmieszczenie belek wg studenta/ki



RZUT STROPU (wstępne rozmieszczenie belek wg studenta/ki)



RZUT STROPU (po korekcie)

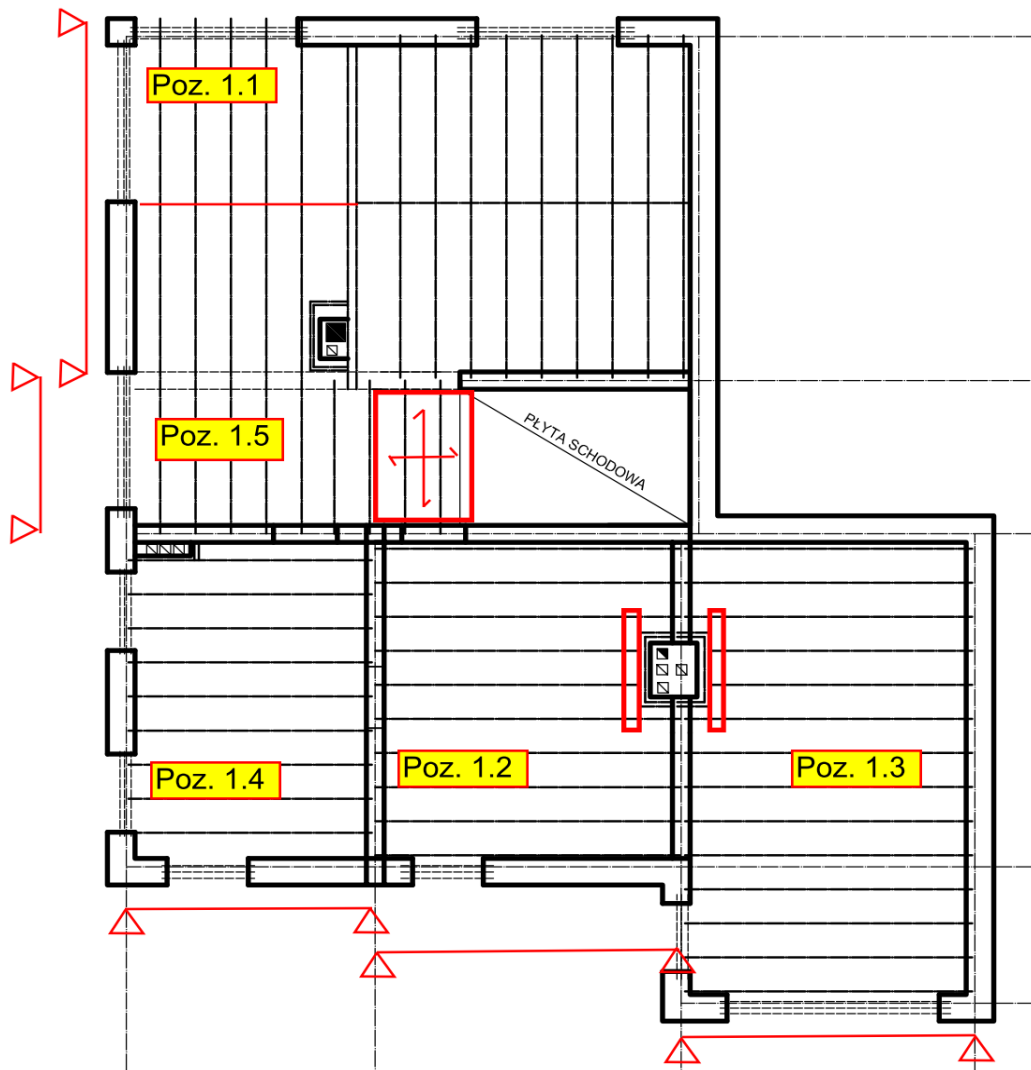


Zalecenia konstrukcyjne:

1. Zaczynam od belek pod ściankami działowymi (żebra podwójne lub belki żelbetowe ukryte w stropie)
2. W belkach o rozpiętości pow. 4 m wstawiam żebra rozdzielcze.
3. Stosuję wymiany tam gdzie belka nie może być oparta na ścianie.

6.1. Zaprojektowanie wskazanych elementów stropu (wariant A)

Pozycja numer 1 - prefabrykowana belka stropowa



Obciążenie ze stropu przypadające na pojedynczą belkę

(pasma obciążenia o szerokości "a")

$a = 0.5 \text{ [m]}$ a - osiowy rozstaw belek

Wartości charakterystyczne (dla stanu SLS)

$g_{ek} = G_{ek} \cdot a = 2.17 \text{ [kN/m]}$

$q_{ek} = Q_{ek} \cdot a = 1.00 \text{ [kN/m]}$

Sumaryczne obciążenie $S_{ek} = g_{ek} + q_{ek} = 3.17 \text{ [kN/m]}$

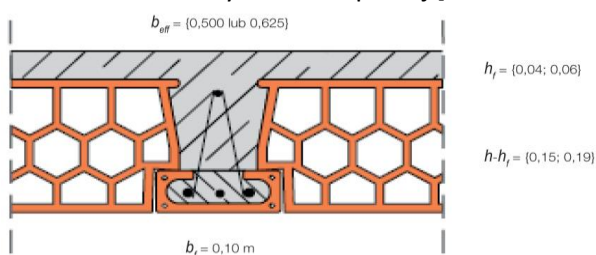
Wartości obliczeniowe (dla stanu ULS)

$g_{ed} = g_{ek} \cdot \gamma_G = 2.93 \text{ [kN/m]}$

$q_{ed} = q_{ek} \cdot \gamma_Q = 1.50 \text{ [kN/m]}$

Sumaryczne obciążenie $S_{ed} = g_{ed} + q_{ed} = 4.43 \text{ [kN/m]}$

Schemat obliczeniowy belki stropowej [źródło: katalog Wienerberger]



Zadaniem projektanta jest dobrać belkę stropową o takim zbrojeniu, aby spełnione były następujące warunki:

ULS	$M_{ed} \leq M_{rd}$
ULS	$V_{ed} \leq V_{rd}$
SLS	$u_{gięcie, maks} \leq u_{gięcie, dop}$

Poz. 1.1. Przyjęto oparcie belki na podporze na głębokość 125 mm.

$L = 5$ [m]

L - rozpiętość elementu (w świetle ścian)

$L_{ef} = 5.25$ [m]

L_{ef} - rozpiętość efektywna ($L+2 \cdot \text{oparcie}$)

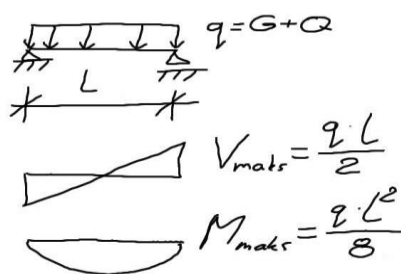
oparcie = 0.125 [m]

$M_{ed} = (S_{ed} \cdot L_{ef}^2) / 8$

15.27 [kNm]

$V_{ed} = (S_{ed} \cdot L_{ef}) / 2$

11.64 [kN]



W tabelach producenta belek stropowych odnajduję nośności M_{rd} oraz V_{rd}

Tabela 11. Nośności obliczeniowe i odpowiadające obciążenia graniczne stropu Porotherm 19/50 oraz obciążenia dopuszczalne z uwagi na ugięcia (nadbeton 4 cm)

Długość belki [m]	Rozpiętość stropu w świetle [m]	Zbrojenie główne	Nośność obliczeniowa i obciążenie graniczne			Dopuszczalne obciążenie ³⁾ [kN/m ²] (z uwagi na ugięcie)	
			zginanie $M_{Rd}^{1)}$ [kNm]	ściananie $V_{Rd}^{1)}$ [kN]	obciążenie graniczne ²⁾ [kN/m ²]	bez wygięcia wstępnego ⁴⁾	z wygięciem wstępnym ⁵⁾
5,00	4,75	2Ø12+Ø10	23,92	15,52	8,22	1,63	+
5,25	5,00	2Ø12+Ø12	26,49	16,09	8,06	1,13	7,22

¹⁾ w odniesieniu do stropu szerokości 0,5 m (pojedyncze żebro stropowe)

²⁾ ponad ciężar własny stropu $\times 1,35$

³⁾ oznaczenia: (+) obciążenie dopuszczalne SGU większe od obciążeń granicznych SGN /z uwzględnieniem ciężaru własnego stropu/

⁴⁾ ponad ciężar własny stropu $\times 1,0$

⁵⁾ wygięcie wstępne (do góry) $\Delta_1 = l_{ef} / 250$

W przypadku ULS wymagania normowe są spełnione

15.27	M_{ed}	$\leq$	M_{rd}	26.49	$M_{ed}/M_{rd} =$	58%
11.64	V_{ed}	$\leq$	V_{rd}	16.09	$V_{ed}/V_{rd} =$	72%

W przypadku stanu SLS, w tabeli producent podał dopuszczalne obciążenie na strop.

W takim przypadku warunek SLS przyjmie następującą postać

$$Q_{ek} \leq \text{Obc. dopuszczalne (podane w tabeli)}$$

Belki bez wstępnego wygięcia

2.00	Q_{ek}	$\leq$	Obc. dop.	1.13
------	----------	--------	-----------	------

Według powyższego belka nie spełnia warunku

Belki ze wstępnym wygięciem

2.00	Q_{ek}	$\leq$	Obc. dop.	7.22
------	----------	--------	-----------	------

Według powyższego belka spełnia warunek.

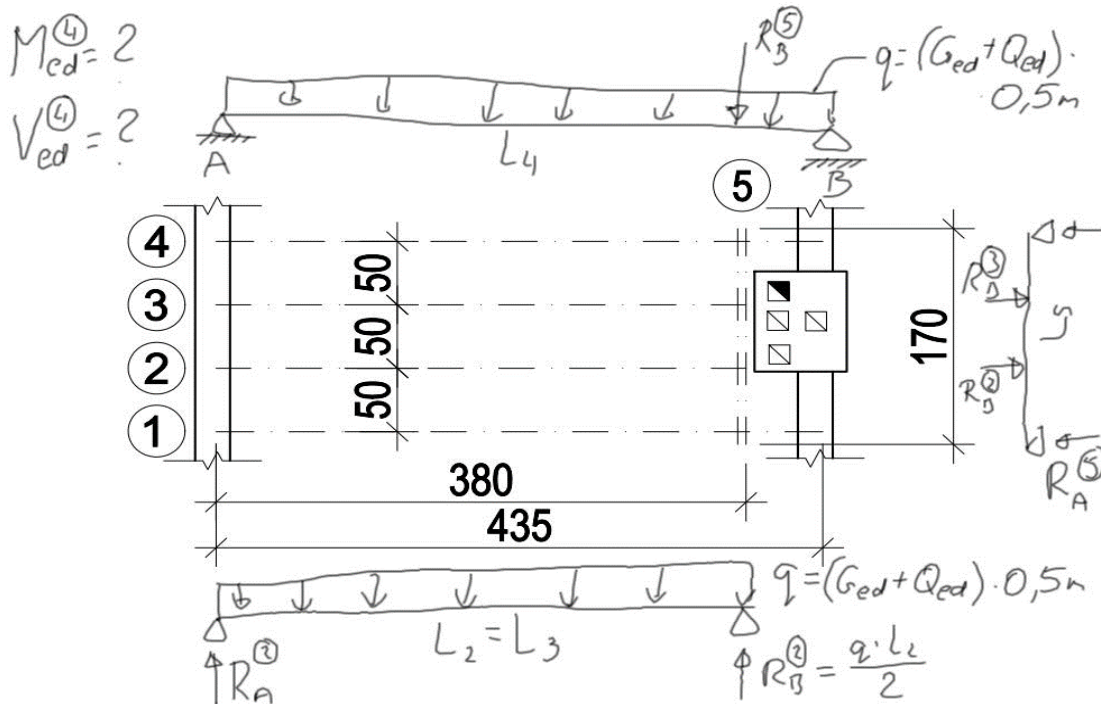
W przypadku poz. 1.1 dobrano belkę stropową Porotherm 19/50 $L = 5,25$ m zbrojoną prętami 2Ø12+Ø12.

Na etapie wznoszenia konstrukcji należy uwzględnić strzałkę odwrotną (wygięcie wstępne) po przez odpowiednią wysokość stempli podtrzymujących belki.

UWAGI

1. Takie same sprawdzenia należy wykonać dla pozostałych belek - kolejne poz. 1.2, 1.3 itd.

Wymiarowanie elementów stropu w rejonie wymianu.



Powyższy schemat obejmuje:

belki	$L_1 = L_4 =$	4.35 [m]	- rozpiętość efektywna (w osi podpór)
belki	$L_2 = L_3 =$	3.8 [m]	- rozpiętość efektywna (w osi podpór)
wymian	$L_5 =$	1.7 [m]	- rozpiętość efektywna (w osi podpór)

UWAGI:

Uwzględnienie w obliczeniach inżynierskich wszystkich czynników mających wpływ na nośność rozpatrywanego układu nie jest możliwe, dlatego wprowadza się pewne uproszczenia.

Przyjęto, że belki nr 2 i 3 wywierają nacisk na wymian (belkę nr 5). Wymian wywołuje nacisk na belki nr 1 i nr 4. Zadanie polega na wyznaczeniu maksymalnych sił wewnętrznych w belce nr 1 (analogicznie nr 4), aby sprawdzić czy jej nośność jest wystarczająca.

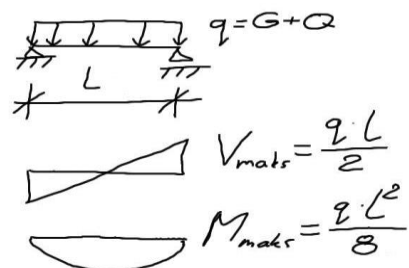
a) Obliczenia reakcji z belek nr 2 i nr 3 na wymian.

Przyjęto schemat statyczny belki swobodnie podpartej

$S_{ed} = 4.43$ [kN/m] wartość obliczeniowa obciążenia

$L_2 = 3.8$ [m]

$R_{b,2} = S_{ed} \cdot L_2 / 2 = 8.42$ [kN] - reakcja w podporze belki



b) Obliczenia reakcji z wymianu na belkę nr 1 i nr 4.

Przyjęto schemat statyczny belki swobodnie podpartej

$R_{b,2} = 8.42$ [kN] - reakcja z belki nr 2

$R_{b,3} = 8.42$ [kN] - reakcja z belki nr 3

$R_{b,5} = 8.42$ [kN] - reakcja w podporze wymianu

UWAGA:

Przyjęto wymian w postaci belki żelbetowej zbrojonej prętami 4 fi 12.

Dwa pręty dołem przejmują rozciąganie dołem, natomiast dwa pręty górą przejmują moment wywołany sprężystym zamocowaniem (rozciąganie górą).

c) Obliczenia sił wewnętrznych w belce nr 1 (analogicznie nr 4)

$S_{ed} = 4.43$ [kN/m] - obciążenie ciągłe przypadające na belkę

$P_{ed} = 8.42$ [kN] - siła skupiona w miejscu gdzie wymian łączy się z belką

Siły wewnętrzne w belce nr 1 (nr 4) można obliczyć metodą analityczną (układając odpowiednie równania równowagi) lub za pomocą programu komputerowego.

$M_{ed} = 12.92$ [kNm] - maksymalny moment odczytany w programie
 $V_{ed} = 16.99$ [kN] - maksymalna siła tnąca odczytana w programie

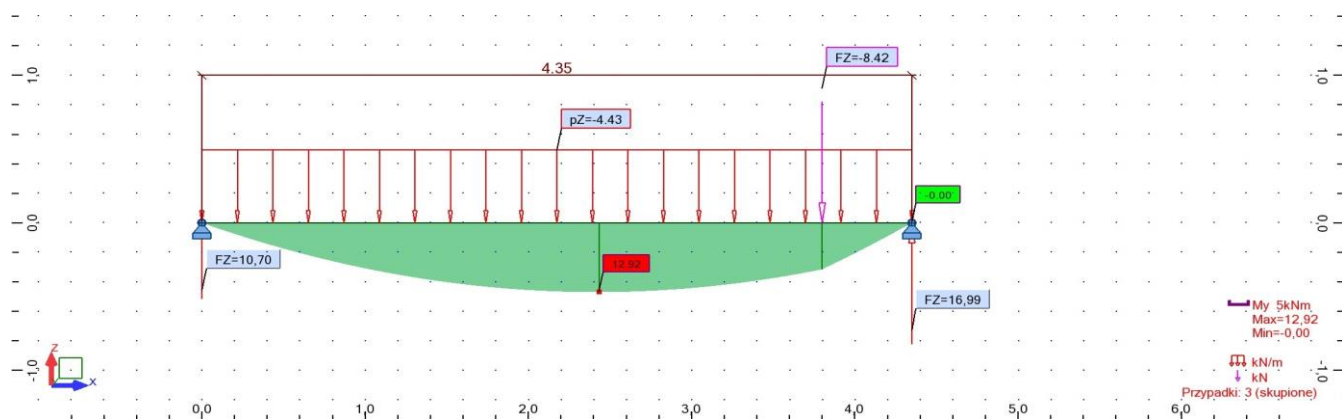


Tabela 11. Nośności obliczeniowe i odpowiadające obciążenia graniczne stropu Porotherm 19/50 oraz obciążenia dopuszczalne z uwagi na ugięcia (nadbeton 4 cm)

Długość belki [m]	Rozpiętość stropu w świetle [m]	Zbrojenie główne	Nośność obliczeniowa i obciążenie graniczne			Dopuszczalne obciążenie ³⁾ [kN/m ²] (z uwagi na ugięcie)	
			zginanie $M_{Rd}^{1)}$ [kNm]	ściananie $V_{Rd}^{1)}$ [kN]	obciążenie graniczne ²⁾ [kN/m ²]	bez wygięcia wstępnego ⁴⁾	z wygięciem wstępnym ⁵⁾
6,00	5,75	2Ø12+Ø14	29,48	16,71	6,94	-	4,18
6,25	6,00	2Ø12+Ø14	29,48	16,71	6,49	-	3,28

W przypadku stropu Porotherm 19/50 (nadbeton 4 cm) maksymalna nośność na ściananie wynosi 16.71kN

W związku z powyższym należałoby zastosować podwójną belkę stropową w miejscu połączenia z wymianem lub zaprojektować belkę monolityczną.

3.2. Dobór warstw materiałowych stropu (wariant B - strop drewniany)

Przykładowy układ warstw stropu

- | | |
|---------------------------------|---|
| 1. Parkiet drewniany gr. 1,5 cm | 6. Płyta wiórowa gr. 2,2 cm |
| 2. Wylewka cementowa gr. 5 cm | 7. Belki stropowe drewniane |
| 3. Folia PE | 8. Wełna mineralna gr. 10 cm (między belkami) |
| 4. Styropian gr. 5 cm | 9. Ruszt z łat drewnianych 2,5x5 cm co 30 cm |
| 5. Folia PE | 10. Płyta g-k 1,25 cm |

4.2. Zestawienie obciążeń działających na strop (wariant B)

Tabela 1. Obciążenia stałe [kN/m²]

Nazwa	grubość	ciężar	G _{ek}	y _G	G _{ed}
	[m]	[kN/m ²]	[kN/m ²]	[-]	[kN/m ²]
1. Parkiet drewniany	0.015	4.5	0.07	1.35	0.09
2. Wylewka cementowa	0.05	21	1.05		1.42
3. Folia PE	-	-	-		-
4. Styropian	0.05	0.45	0.02		0.03
5. Folia PE	-	-	-		-
6. Płyta wiórowa	0.022	7	0.15		0.21
7. Belka stropowa	-	-	-		-
8. Wełna mineralna	0.1	0.35	0.04		0.05
9. Ruszt z łat drewnianych	-	-	0.013		-
10. Płyta g-k	0.0125	0.07	0.001		0.00
SUMA			1.34		1.80

Tabela 2. Obciążenia zmienne [kN/m²]

Nazwa	Q _{ek}	γ _Q	Q _{ed}
	[kN/m ²]	[-]	[kN/m ²]
1. Obciążenie użytkowe stropu - kategoria A	2.00	1.5	3.00
SUMA	2.00		3.00

Komentarz:

a) W tabeli 1. nie podano ciężaru belek stropowych. Zostanie on uwzględniony dopiero po ustaleniu wymiarów przekroju poprzecznego belki stropowej.

b) Ciężar rusztu obliczono w następujący sposób

Waga 1 łaty (ł) to $b \cdot l \cdot h \cdot \rho_k$

$$b, l = 0.05 \quad [m] \quad h, l = 0.025 \quad [m]$$

$$\rho_k = 350 \quad [kg/m^3] \quad - \text{gęstość drewna}$$

$$l = 0.4375 \quad [kg]$$

Liczba łat (N) rozstawionych co 30 cm przypadających 1 metr długości stropu

$$N = 3 \quad [szt.]$$

Waga rusztu (R) na 1 m² stropu to $"N" \cdot l / (1m \cdot 1m)$

$$R = 1.31 \quad [kg/m^2]$$

Ciężar rusztu (CR) na 1 m² stropu

$$CR = 0.0131 \quad [kN/m^2]$$

5.2. Rozkład elementów konstrukcyjnych (wariant B)

Przyjęto układ belek drewnianych podobny do układu belek w stropie belkowo-pustakowym.

Zwiększono rozstaw belek z 50 cm do 80 cm.

Komentarz:

Rozstaw belek w stropie belkowo-pustakowym wynika z szerokości pustaka, który w systemie Porotherm wynosi 50 lub 62,5 cm. W stropie drewnianym można przyjąć (umownie), że rozstaw belek powinien zwierać się w granicach 60÷120 cm.

Długość belek z drewna litego nie powinna przekraczać 720 cm.

6.2. Zaprojektowanie wskazanych elementów stropu (wariant B)

Zadaniem projektanta jest dobrać taki przekrój belki drewnianej (b - szerokość, h - wysokość) aby spełnione były wymagania normy PN-EN 1995-1-1 (oznaczonej w dalszej części jako EC-5)

a) Właściwości materiału, z którego wykonana będzie belka.

Przyjęto, że belki zostaną wykonane z drewna litego C24.

Dane materiałowe (wartości charakterystyczne) dotyczące drewna litego przyjęto na podstawie normy PN-EN 338 i zestawiono poniżej.

$f_{m,k} = 24$	[N/mm ²]	$E_{0,mean} = 11$	[N/mm ²]
$f_{t,0,k} = 14$	[N/mm ²]	$E_{0,05} = 7.4$	[N/mm ²]
$f_{t,90,k} = 0.4$	[N/mm ²]	$E_{90,mean} = 0.37$	[N/mm ²]
$f_{c,0,k} = 21$	[N/mm ²]	$G_{mean} = 0.69$	[N/mm ²]
$f_{c,90,k} = 2.5$	[N/mm ²]	$\rho_k = 350$	[kg/m ³]
$f_{v,k} = 4$	[N/mm ²]		

UWAGA: w obliczeniach nośności wg normy PN-EN 1995-1-1 należy stosować wartości obliczeniowe cech materiału wyznaczone zgodnie ze wzorem (2.14) tej normy. We wzorze (2.14) występuję współczynnik k_{mod} (tabl. 3.1) oraz γ_m (tab. 2.3). Aby ustalić k_{mod} potrzebne jest określenie klasy użytkowania konstrukcji (pkt. 2.3.1.3 EC-5) oraz klasy trwania obciążenia (tab. 2.1).

Przyjęto:

Klasa użytkowania = 1

Klasa trwania obciążenia:

G - obciążenie ciężarem własnym stropu

Q - obciążenie użytkowe stropu

G -> stałe wg EC-5

Q -> średniotrwale wg EC-5

$$X_d = k_{mod} \frac{X_k}{\gamma_M} \quad (2.14)$$

$$\gamma_m = 1.3$$

$$k_{mod,G} = 0.6$$

$$k_{mod,Q} = 0.8$$

Dane materiałowe (wartości obliczeniowe):

$f_{m,d}$	=	14.77	[N/mm ²]
$f_{t,0,d}$	=	8.62	[N/mm ²]
$f_{t,90,d}$	=	0.25	[N/mm ²]
$f_{c,0,d}$	=	12.92	[N/mm ²]
$f_{c,90,d}$	=	1.54	[N/mm ²]
$f_{v,d}$	=	2.46	[N/mm ²]

UWAGA: w powyższych obliczeniach przyjęto k_{mod}, Q zgodnie z pkt. 3.1.3 EC-5.

b) Obciążenie przypadające na pojedynczą belkę

Przyjęto następujące wymiary przekroju poprzecznego belki

b	=	150 [mm]
h	=	250 [mm]

Waga 1 metra bieżącego belki ($b \cdot h \cdot \rho_k$):	Ciężar 1 metra bieżącego belki:
$w_{belka} = 13.1$ [kg/m]	$g_{belka} = 0.131$ [kN/m]

Pasmo obciążenia o szerokości "a" przypadające na pojedynczą belkę:

a	=	0.8 [m]	a - osiowy rozstaw belek
-----	---	---------	----------------------------

Wartości charakterystyczne obciążeń (dla stanu SLS)

$$g_{ek} = G_{ek} \cdot a + g_{belka} = 1.21 \text{ [kN/m]}$$

$$q_{ek} = Q_{ek} \cdot a = 1.60 \text{ [kN/m]}$$

$$\text{Sumaryczne obciążenie } S_{ek} = g_{ek} + q_{ek} = 2.81 \text{ [kN/m]}$$

Wartości obliczeniowe obciążeń (dla stanu ULS)

$$g_{ed} = g_{ek} \cdot \gamma_G = 1.63 \text{ [kN/m]} \quad \gamma_G = 1.35$$

$$q_{ed} = q_{ek} \cdot \gamma_Q = 2.40 \text{ [kN/m]} \quad \gamma_Q = 1.5$$

$$\text{Sumaryczne obciążenie } S_{ed} = g_{ed} + q_{ed} = 4.03 \text{ [kN/m]}$$

c) Obliczenia statyczne belki stropowej

Poz. 1.1. Przyjęto oparcie belki na podporze na głębokości 150 mm.

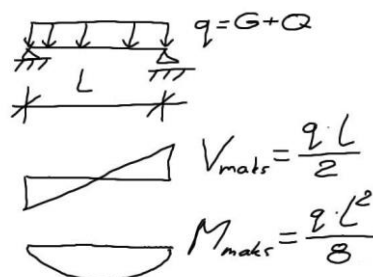
$$L = 5 \text{ [m]} \quad L - \text{rozpiętość elementu (w świetle ścian)}$$

$$L_{ef} = 5.3 \text{ [m]} \quad L_{ef} - \text{rozpiętość efektywna } (L + 2 \cdot \text{oparcie})$$

$$\text{oparcie} = 0.15 \text{ [m]}$$

$$M_{ed} = (S_{ed} \cdot L_{ef}^2) / 8 = 14.14 \text{ [kNm]}$$

$$V_{ed} = (S_{ed} \cdot L_{ef}) / 2 = 10.67 \text{ [kN]}$$



d) Sprawdzenie warunków stanu granicznego nośności (ULS)

W przypadku belki pracującej w schemacie 1-przęsłowym wolnopodpartym sprawdzeniu podlega:

Warunek nośności docisku w strefie oparcia na ścianie (pkt. 6.1.5 wg EC-5)

Warunek nośności przekroju zginanego (pkt. 6.1.6 wg EC-5)

Warunek nośności przekroju ścinanego (pkt. 6.1.7 wg EC-5)

Warunek nośności elementu zginanego (pkt. 6.3.3 wg EC-5)

6.1.5 Ściskanie w poprzek włókien

$$\sigma_{c,90,d} \leq k_{c,90} f_{c,90,d} \quad (6.3)$$

$$\sigma_{c,90,d} = \frac{F_{c,90,d}}{A_{ef}} \quad (6.4)$$

$\sigma_{c,90,d}$	$\leq$	$k_{c,90} f_{c,90,d}$
0.40	$\leq$	2.31 [N/mm ²]
Warunek spełniony		

$F_{c,90,d}$ = Reakcja w podporze = Siła tnąca w przekroju poporowym

$$F_{c,90,d} = 10.67 \text{ [kN]}$$

A_{ef} = efektywne pole docisku = $b \cdot (oparcie + 30\text{mm})$

$b = 150$ [mm] - szerokość przekroju belki

$oparcie = 150$ [mm]

$A_{ef} = 27000$ [mm²]

$\sigma_{c,90,d}$ = naprężenia docisku (naprężenia prostopadłe do włókien)

$\sigma_{c,90,d} = 0.000395$ [kN/mm²]

0.40 [N/mm²]

$k_{c,90}$ = współczynnik przy ściskaniu w poprzek włókien

$k_{c,90} = 1.5$ - zgodnie z pkt. 6.1.5 (4) wg EC-5

$f_{c,90,d}$ = wytrzymałość obliczeniowa drewna przy ściskaniu w poprzek włókien

$f_{c,90,d} = 1.54$ [N/mm²]

6.1.6 Zginanie

$$\frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + k_m \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} \leq 1 \quad (6.11)$$

$\sigma_{m,y,d}/f_{m,d}$	$\leq$	1.00
--------------------------	--------	------

0.61	$\leq$	1.00
------	--------	------

Warunek spełniony

$\sigma_{m,z,d}$ = naprężenia normalne od zginania momentem na kierunku osi "z" (u nas $M_{z,ed} = 0$)

$\sigma_{m,y,d}$ = naprężenia normalne od zginania momentem na kierunku osi "y" (u nas $M_{y,ed} = M_{ed}$)

$\sigma_{m,y,d} = M_{y,ed}/W_y = 9.05$ [N/mm²]

$M_{y,ed} = 14.14$ [kNm]

$1.41E+07$ [Nmm]

$W_y = (b \cdot h^2)/6 = 1562500$ [mm³] - wskaźnik wytrzymałości przy zginaniu

$f_{m,d} = 14.77$ [N/mm²] - wytrzymałość obliczeniowa drewna przy zginaniu

6.1.7 Ścinanie

$$\tau_d \leq f_{v,d} \quad (6.13)$$

τ_d	$\leq$	$f_{v,d}$
----------	--------	-----------

0.64	$\leq$	2.46 [N/mm ²]
------	--------	---------------------------

Warunek spełniony

$\tau_d = 1.5 \cdot V_{ed}/(b_{ef} \cdot h)$ = maksymalne naprężenia styczne (wzór dla przekroju postokątnego)

$\tau_d = 0.64$ [N/mm²]

$V_{ed} = 10.673$ [kN]

10673 [N]

$b_{ef} = 0.67 \cdot b$ = szerokość efektywna wg pkt. 6.1.7 (2) EC-5

$b_{ef} = 100.5$ [mm]

$f_{v,d} = 2.46$ [N/mm²] - wytrzymałość obliczeniowa drewna przy ścinaniu

6.3.3 Belki pracujące na zginanie lub na zginanie ze ściskaniem

$$\sigma_{m,d} \leq k_{crit} \cdot f_{m,d} \quad (6.33)$$

$\sigma_{m,d}$	$\leq$	$k_{crit} \cdot f_{m,d}$
----------------	--------	--------------------------

9.05	$\leq$	14.77 [N/mm ²]
------	--------	----------------------------

Warunek spełniony

$\sigma_{m,d} = \sigma_{m,y,d}$ = naprężenia normalne od zginania

$\sigma_{m,d} = 9.05$ [N/mm²] - jak wyżej

$f_{m,d} = 14.77$ [N/mm²] - jak wyżej

k_{crit} = współczynnik "zwichrzenia"

$k_{crit} = 1.00$ - zgodnie z pkt. 6.3.3 (5) normy EC-5

Przyjęto, że płyta OSB pełni funkcję sztywnego poszycia w związku z czym $k_{crit} = 1.0$.

e) Sprawdzenie warunku stanu granicznego użytkowości (SLS)

2.2.3 Stany graniczne użytkowości

$$u_{fin} = u_{fin,G} + u_{fin,Q_1} + \sum u_{fin,Q_i} \quad (2.2)$$

$$u_{fin,G} = u_{inst,G} (1 + k_{def})$$

w przypadku oddziaływania stałego, G ,

$$u_{fin,Q,1} = u_{inst,Q,1} (1 + \psi_{2,1} k_{def})$$

w przypadku oddziaływania zmiennego, Q_1 ,

NA.8.3 Przy obliczaniu ugięć belek można wykorzystać niżej podane zasady:

a) dla belek o stosunku $\ell/h > 20$ b) dla belek o stosunku $\ell/h < 20$ i stałym przekroju prostokątnym

$$u_{inst} = u_M = \frac{5}{384} \frac{q \ell^4}{E_{0,mean} I}$$

$$u_{inst} = u_M + u_v = u_M \left[1 + 19,2 \left(\frac{h}{\ell} \right)^2 \right]$$

L =	5000 [mm]	k,def =	0.6 [-] wg EC-5
b =	150 [mm]	$\psi_{2,1}$ =	0.3 [-] wg PN-EN 1990
h =	250 [mm]	I = I _y = (b*h ³)/12 =	195312500 [mm ⁴]
L/h =	20 [-]	E _{0,mean}	11 [GPa] 11000 [N/mm ²]

UWAGA: W obliczeniach ugięcia przyjęto przypadek a).

Ugięcie od obciążenia stałego (G)

g_{ek} = 1.21 [kN/m]
1.21 [N/mm]

u_{inst,G} = 4.6 [mm]

u_{fin,G} = 7.3 [mm]

Ugięcie od obciążenia zmiennego (Q)

q_{ek} = 1.60 [kN/m]
1.60 [N/mm]

u_{inst,Q} = 6.1 [mm]

u_{fin,Q} = 7.2 [mm]

Ugięcie finalne (G+Q)

u_{fin} = 14.5 [mm]

Ugięcie dopuszczalne u_{dop} = L/300

u_{dop} = 16.7 [mm]

u _{fin}	<=	u _{dop}
14.5	<=	16.7 [mm]
Warunek spełniony		

Podsumowanie

Stan graniczny	ULS				SLS
Punkt EC-5	6.1.5	6.1.6	6.1.7	6.3.3	2.2.3
Wytężenie	17%	61%	26%	61%	87%

UWAGA: w przypadku belki drewnianej najbardziej niekorzystnym warunkiem projektowym okazał się warunek ugięcia (stan SLS). Dobór przekroju belki najlepiej zacząć od sprawdzenie w/w warunku.

Obliczenia wykonano dla belki o największej rozpiętości (poz. 1.1). Pozostałe elementy (poz. 1.2, 1.3 itd.) przyjęto o takim samym przekroju jak belka z poz. 1.1.