



## Pomoc: Belka żelbetowa E2 ver.1.0

Poniższa pomoc dotyczy korzystania z arkusza kalkulacyjnego do obliczania belek żelbetowych wg *Eurokodu 2 (PN-EN 1992-1-1: wrzesień 2008)*.

W wersji 1.0 arkusz wymiaruje belki (i płyty) żelbetowe na zginanie pod względem nośności granicznej (ULS), nie sprawdza warunków użytkownalności (SLS).

W celu sprawdzenia elementu w więcej niż jednym przekroju, należy skopiować daną zakładkę i wykonać obliczenia dla następnego badanego przekroju.

Każda zakładka jest zaprojektowana jako gotowa do druku dlatego w nagłówku można wypełnić dane projektu, projektanta i konkretnego elementu jaki jest sprawdzany.

Dane tabelaryczne i pomocnicze do wymiarowania są umieszczone w osobnej, ostatniej zakładce.

Należy wypełniać pola oznaczone kolorem kremowym wpisując liczby lub wybierając wartości z listy. Obliczenia aktualizują się po zmianie każdej wartości. Wyniki wymiarowania wyświetlane w komórkach oznaczonych kolorem zielonym określają, że wymiarowanie jest prawidłowe, pojawienie się komórek koloru czerwonego oznacza, że wymiarowanie nie spełnia któregoś z warunków normy.

### Zginanie:

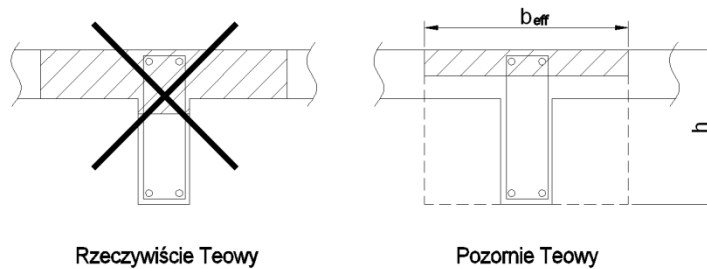
Rozpoczynając wymiarowanie belki na zginanie należy wprowadzić w pierwszym polu moment zginający od obciążeń obliczeniowych. Jest to moment w podlegającym wymiarowaniu przekroju, czyli w przęśle lub na krawędzi podpory. W przypadku gdy chcemy przeprowadzić wymiarowanie w więcej niż jednym przekroju należy po wykonaniu obliczeń skopiować zakładkę i powtórzyć obliczenia dla następnego przekroju.

Otulina zależy od przyjętej klasy środowiska i warunków pożarowych dla danego elementu. Wielkości otuliny ze względów pożarowych można ustalić na podstawie *PN-EN 1992-1-2 Eurokod 2: Projektowanie konstrukcji z betonu Część 1-2: Reguły ogólne Projektowanie z uwagi na warunki pożarowe* lub *ITB Projektowanie elementów żelbetowych i murowanych z uwagi na odporność ogniową Warszawa 2005*

Aby uzyskać otulinę obliczeniową należy dodać odchyłkę wykonawczą.

Arkusz wylicza odległość do osi ciężkości zbrojenia, przyjmuje się, że zbrojenie będzie ułożone w jednej warstwie. W przypadku ułożenia zbrojenia w dwóch warstwach należy odpowiednio zmodyfikować wartość otuliny aby uzyskać prawidłową wartość odległości do środka do środka ciężkości zbrojenia „a”. Uwaga, arkusz wymiaruje zbrojenie „metodą uproszczoną”, która jest prawidłowa tylko dla przypadków umieszczenia zbrojenia blisko krawędzi. W przypadku umieszczenia zbrojenia daleko od krawędzi rozciąganej, lub w więcej niż 3 warstwach należy wykonać obliczenia „metodą ogólną”.

Arkusz nie liczy belek „rzeczywiście teowych”, ale w przypadku gdy strefa ściskana nie wychodzi poza grubość płyty można do obliczeń zginania w przęśle, jako szerokość belki podać szerokość efektywną współpracującej płyty i osiągniemy przekrój „pozornie teowy”



Klasy betonu zaczerpnięte zostały z Eurokodu tablica 3.1. Wartość obliczeniową  $f_{cd}$  obliczono z uwzględnieniem współczynników  $\gamma_C = 1,4$  oraz  $\alpha_{cc} = 1,0$  Wartość  $f_{ctm}$  odczytano z normy, tablica 3.1.

Gatunki stali według EN 10080 lub wytycznych producentów. Wartość obliczeniową  $f_{yd}$  obliczono z uwzględnieniem współczynnika  $\gamma_S = 1,15$ . Moduł sprężystości stali przyjęto według punktu 3.2.7 Eurokodu 2.

Eurokod 2 nie precyzuje sposobu wymiarowania elementów na zginanie, podaje jedynie generalne zasady jakie należy spełnić przy wymiarowaniu, dlatego można przyjąć do wymiarowania te same zasady które obowiązywały w polskiej normie żelbetowej z 2002r. W arkuszu przyjęto sposób uproszczony wymiarowania w którym zakłada się odkształcenia w betonie 3,5‰, wykres naprężenie – odkształcenie dla stali z poziomą półką, czyli bez wzmocnienia oraz prostokątny wykres naprężenia w betonie ograniczony do wartości 0,8. Stąd wynika wzór na względną wysokość strefy ściskanej:

$$\xi_{eff,lim} = 0,8 \quad \xi_{lim} = 0,8 \cdot 3,5 / (3,5 + f_{yd}/E_s)$$

Z powodu analitycznego wyliczania wartości  $f_{cd}$  i  $f_{yd}$  w *Eurokodzie 2*, zamiast tabelarycznych wartości które były używane w normie polskiej *PN-B-03264*, wyniki obliczeń różnią się pomiędzy tymi dwoma normami, pomimo użycia tych samych wzorów. Obliczenia według E2 dają dla typowych przekrojów około 10% mniej zbrojenia.

Z równania równowagi momentów otrzymujemy równanie kwadratowe które można rozwiązać znajdując wyznacznik bezwymiarowy:

$$\mu_{eff} = M_{Ed} / f_{cd} \cdot b \cdot d^2$$

Skąd następnie można wyliczyć względną wysokość strefy ściskanej:

$$\xi_{eff} = 1 - \sqrt{(1 - 2 \cdot \mu_{eff})}$$

Musi być spełniony warunek, że:

$$\xi_{eff} \leq \xi_{eff,lim}$$

W przypadku nie spełnienia tego warunku stal nie jest w pełni wykorzystana i może nastąpić zniszczenie elementu poprzez zmiążdżenie strefy ściskanej betonu. Ten sposób zniszczenia jest niedopuszczalny przez normę ponieważ może mieć postać nagłą, nawet bez wyraźnego zarysowania. W przypadku nie spełnienia warunku należy zwiększyć geometrię przekroju lub klasę betonu lub obliczyć przekrój podwójnie zbrojony.



Następnie podana jest rzeczywista wysokość strefy ściskanej betonu  $x_{\text{eff}}$ . W przypadku obliczania przekroju „pozornie teowego” należy sprawdzić, czy ta wartość nie przekracza grubości półki płyty.

Wymagane pole przekroju zbrojenia oblicza się ze wzoru:

$$A_{s1} = f_{cd} \cdot b \cdot d \cdot \xi_{\text{eff}} / f_{yd}$$

Należy jeszcze podać przyjętą ilość zbrojenia poprzez podanie ilości prętów o wybranej średnicy. Przyjęta ilość zbrojenia jest porównywana z ilością wymaganą i wartość w komórce arkusza powinna być koloru zielonego.

Na koniec obliczane są również minimalne wartości zbrojenia ze względów konstrukcyjnych, równanie 9.1N Eurokodu2 oraz ze względu na ograniczenie szerokości rys w belkach, równanie 7.1 Eurokodu 2. W tym ostatnim równaniu należy skorzystać z tablicy 7.2N w której podano maksymalną średnicę zbrojenia przy przyjętym maksymalnym naprężeniu w stali zbrojeniowej. Wartości są zależne od granicznej szerokości rys ze względu na warunki środowiskowe.

W przypadku, gdy w żadnej komórce arkusza nie ma koloru czerwonego, można przyjąć, że dla podanej geometrii, zbrojenia i betonu oraz obliczeniowego momentu zginającego przyjęta wartość zbrojenia jest wystarczająca.

Błędy:

- W przypadku podania zbyt wiotkiej geometrii dla zadanego momentu może pojawić się komunikat błędu w komórce obliczającej względną wysokość strefy ściskanej. Jest to spowodowane pojawieniem się wartości ujemnej pod pierwiastkiem. Należy zwiększyć przekrój belki lub zastosować przekrój podwójnie zbrojony.
- Częstym błędem jest pomyłka w jednostkach, sprawdź, czy wstawiłeś dane zgodnie z jednostkami obok komórek.

Uwaga!

Zwracam uwagę, że pomimo podjęcia wszelkich starań ze strony autora arkusza kalkulacyjnego, nie jest wykluczona możliwość występowania błędów w arkuszu. Użytkownik arkusza kalkulacyjnego jest w pełni odpowiedzialny za dokonane przy jego użyciu obliczenia. Należy również przed dokonaniem obliczeń zapoznać się z podanymi powyżej ograniczeniami w ramach których arkusz został stworzony. W związku z powyższym autor arkusza nie ponosi odpowiedzialności za zastosowanie uzyskanych przy jego pomocy wyników w projekcie.

**Bibliografia:**

- [1] *PN-EN 1992-1-1: wrzesień 2008, Eurokod 2: Projektowanie konstrukcji z betonu. Część 1-1: Reguły ogólne i reguły dla budynków*
- [2] *Andrzej Łapko, Bjarne Christian Jensen: Podstawy projektowania i algorytmy obliczeń konstrukcji żelbetowych. Arkady, Warszawa 2009*
- [3] *Sekcja Konstrukcji Betonowych KILiW PAN: Podstawy projektowania konstrukcji żelbetowych i sprężonych według Eurokodu 2, DWE, Wrocław 2006*
- [4] *Janusz Pędziwiatr: Wstęp do projektowania konstrukcji żelbetowych wg PN-EN 1992-1-1:2008, DWE, Wrocław 2010*
- [5] *R.M. Moss, O. Brooker: How to design concrete structures Rusing Eurocode 2, The Concrete Centre, Surrey, 2005*