



Получена: 24.01.2024 г.

Приета: 02.02.2024 г.

КРИТИЧЕН АНАЛИЗ НА ФОРМУЛИТЕ ЗА ОПРЕДЕЛЯНЕ НА МИГНОВЕНОТО ПРОВИСВАНЕ НА ПРОСТО ПОДПРЕНИ СИМЕТРИЧНИ ДВУСКАТНИ ГРЕДИ ОТ СЛЕПЕН СЛОЕСТ ДЪРВЕН МАТЕРИАЛ, НАТОВАРЕНИ С РАВНОМЕРНО РАЗПРЕДЕЛЕН НАПРЕЧЕН ТОВАР

Ч. Пенелов¹

Ключови думи: мигновено провисване, двускатни греди, слоесто слепен дървен материал

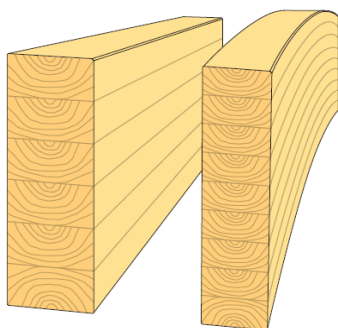
РЕЗЮМЕ

Направен е критичен анализ на седем съществуващи формули за ръчно изчисляване на мигновеното провисване на просто подпрени симетрични двускатни греди от слепен слоест дървен материал, натоварени с равномерно разпределен напречен товар. Представен е числен пример, в който точността на различните формули е проверена с метод на крайните елементи.

1. Въведение

Елементите от слепен слоест дървен материал се използват от десетилетия при проектирането на носещи конструкции на сгради и съоръжения. Този тип елементи се получава чрез слепването в заводски условия на дъски, при което влакната на отделните дъски са успоредни на надлъжната ос на елемента (вж. фиг. 1, заимствана от [1]). Стандартът БДС EN 14080 [2] дефинира изискванията към елементите от слепен слоест дървен материал, използван в носещи конструкции. За слепенения слоест дървен материал в англоезичната литература е възприето названието *glulam* (съкращение от *glued laminated timber*). В Германия, а също и у нас, за такива елементи се употребява и аббревиатурата BSH (съкращение от *brettschichtholz*).

¹ Чавдар Пенелов, гл. ас. д-р инж., кат. „Метални, дървени и пластмасови конструкции“, УАСГ, бул. „Хр. Смирненски“ № 1, 1046 София, e-mail: penelov_fce@uacg.bg



Фиг. 1. Елементи от слепен слоест дървен материал [1]

Елементи от слепен слоест дървен материал се прилагат като просто подпрени покривни греди на сгради с отвор до около 33 m. Стандартно предлаганата височина на такива греди достига до около 2 m. При греди с голям отвор ограничаването на провисването им е съществен фактор за избор на окончателното им напречно сечение.

Мигновеното провисване на гредите от дървесина е еластичното им провисване в резултат на въздействията от характеристикната изчислителна ситуация. За определянето му се използват средните стойности на деформационните модули на дървесината, като не се отчитат ефектите от пълзене на материала.

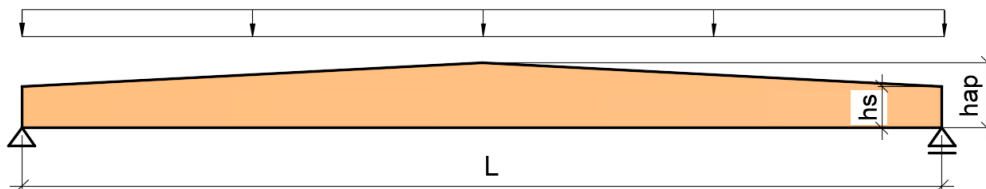
Съгласно националното ни приложение към стандарт БДС EN 1995-1-1 [3] мигновеното провисване на главни греди от дървесина се ограничава на $1/400$ от отвора им, независимо дали гредата е покривна или подова, независимо от предназначението на сградата. Съпоставено с практиката на повечето западноевропейски държави, това е едно много строго ограничение, особено в случая на покривни греди на промишлени сгради. Възможно е провисването на слоесто слепен гредата от дървесина да бъде частично „компенсирано“ с помощта на строително надвишение. В този случай коректното определяне на очакваното провисване е важно с оглед на предписването на реалистична стойност на надвишението.

Мигновеното провисване на разглеждания тип греди е възможно да бъде определено с ръчни изчисления по общия метод за определяне на еластични премествания, като се използват интегралите на Максвел-Мор. В инженерната практика обаче се използват опростени формули (изведени на базата на общия метод), приложими за греди със стандартна геометрия и натоварване. Също така се използва и методът на крайните елементи (МКЕ).

В БДС EN 1995 [3] не се дават формули за определяне на мигновеното провисване на гредите от дървесина. В широко навлизащите в практиката софтуерни продукти за автоматизирано проектиране на дървени конструкции съгласно Еврокод обикновено са заложили опростени формули за определяне на провисването на гредите с променливо сечение от слепен слоест дървен материал, като много често не се дава произходът им и подробните изчисления, а само крайният резултат.

В настоящата статия е направен обзор за наличните формули за определяне на мигновеното провисване на просто подпрени симетрични двускатни греди от дървесина, натоварени с равномерно разпределен напречен товар. Установено е, че една от тези формули, популярна и у нас, е възможно значително да преувеличава мигновеното провисване на разглеждания тип греди, като в статията се разглеждат причините за това. Мигновените провисвания на примерна гредата, определени чрез различните съществуващи формули, са съпоставени с резултатите, получени чрез числено моделиране по МКЕ.

В изложението по-долу се предполага, че напречното сечение на гредата е правоъгълно с постоянна ширина b и променлива височина на сечението по дължината на гредата, изменяща се от h_s при опората до h_{ap} в билото (фиг. 2).



Фиг. 2. Основни размери на симетрична двускатна греда от слепен слоест дървен материал

2. Съществуващи формули за определяне на мигновеното провисване на гредите от слепен слоест дървен материал

2.1. Формула на *Bleich*

Работата на *Bleich* [4], представена тук за пълнота на изложението, е хронологично един от най-ранните източници, предлагащи формула за определяне на провисването на просто подпреди симетрични двускатни греди, натоварени с равномерно разпределен напречен товар. В нея се отчита само влиянието на огъващите моменти. Формулата по принцип е създадена за греди от стомана. Мигновеното провисване в резултат на огъващите моменти може съгласно [4] да се изчисли по формулата

$$w_{inst,M} = \frac{5}{48} \frac{M_0 L^2}{EI_{ap}} \left(1 + \frac{3\gamma}{25} \right), \quad (1)$$

където L е отворът на гредата,

M_0 – максималният огъващ момент;

E – модулът на еластичност на материала на гредата;

I_{ap} – максималният инерционен момент на гредата (в билото);

γ – коефициент, който се определя по формулата

$$\gamma = \frac{I_{ap}}{I_s} - 1, \quad (2)$$

където I_s е минималният инерционен момент на гредата (при опората).

2.2. Формула на *Ozelton & Baird*

В работата на *Ozelton & Baird* [5] се дават формули за определяне на провисването на седем стандартни типа просто подпреди греди, различаващи се по геометрията на гредата и типа натоварване върху нея. Вторият тип греда, разгледан в [5], е симетрична двускатна греда, натоварена с равномерно разпределен напречен товар. За него мигновеното провисване може да се определи по формулата

$$w_{inst} = \Delta_{m2} \frac{5}{48} \frac{M_o L^2}{E_{0,g,mean} I_s} + \Delta_{V2} \frac{K_{form} M_o}{G_{g,mean} A_s}. \quad (3)$$

В нея първият член отчита влиянието на огъващите моменти, а вторият член отчита влиянието на срязващите сили. I_s и A_s са съответно инерционният момент и площта на минималното сечение на гредата. $E_{0,g,mean}$ е средният модул на еластичност успоредно на влакната, а $G_{g,mean}$ е средният модул на срязване на слепеня слоест дървен материал.

Коефициентът $K_{form} = 1,2$ за правоъгълно напречно сечение – за такова сечение площта на срязване е равна на $5/6$ от пълната му площ.

Коефициентите Δ_{m2} и Δ_{V2} , отчитащи влиянието на променливото напречно сечение на гредата върху провисването в резултат съответно на огъващите моменти и на срязващите сили, се определят по формулите

$$\Delta_{m2} = 2,4 \left[\frac{1}{n-1} \right]^3 \left[\frac{2n+1}{n-1} \log_e n - \frac{8n^2 - 3n + 1}{2n^2} \right], \quad (4)$$

$$\Delta_{V2} = \left[\frac{2}{n-1} \right] \left[\frac{n}{n-1} \log_e n - 1 \right], \quad (5)$$

където коефициентът $n = h_{ap} / h_s > 1$, като h_s и h_{ap} са съответно височините на гредата при опората и в билото. Индексът „2“ в горните формули показва, че коефициентите Δ важат за втория стандартен тип греда, разгледан от *Ozelton & Baird*.

2.3. Формула на френското ръководство

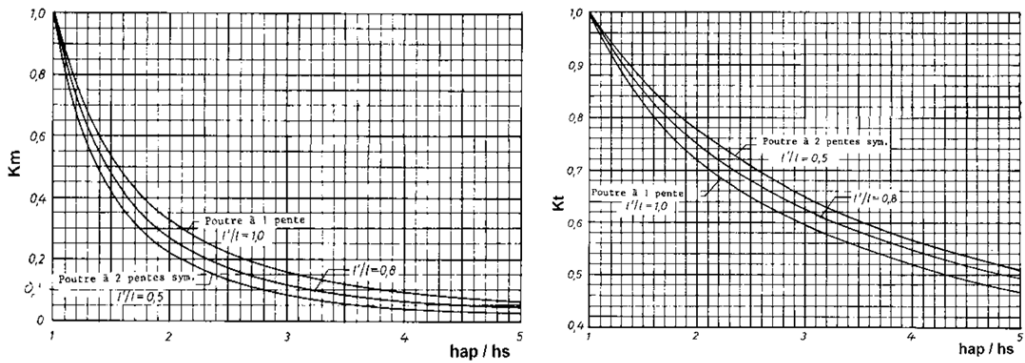
Съгласно френското ръководство [6] мигновеното провисване на гредите от слепен слоест дървен материал може да се определи по формулата

$$w_{inst} = k_m \frac{5}{48} \frac{M_o L^2}{E_{0,g,mean} I_s} + k_t \frac{1,2 M_o}{G_{g,mean} A_s}, \quad (6)$$

където k_m и k_t са корекционни коефициенти, отчитащи влиянието на променливото напречно сечение на гредата върху провисването в резултат съответно на огъващите моменти и на срязващите сили; останалите означения са изяснени в поясненията към формула (3).

Очевидно е, че формулата от френското ръководство [6] е сходна с формулата на *Ozelton & Baird* [5] – и в двете формули се използват геометричните характеристики на сечението на гредата при опората, като провисването се коригира с допълнителни коефициенти. Коефициентите k_m и k_t от френската формула са аналог и на практика идентични по стойност на коефициентите Δ_{m2} и Δ_{V2} от формулата на *Ozelton & Baird*.

Във френското ръководство не се дават формули за определяне на коефициентите k_m и k_t , а стойностите им се отчитат от графиките, показани на фиг. 3, в зависимост от отношението h_{ap} / h_s . Графиките се използват също за едноскатни и за несиметрични двускатни просто подпирени греди. За симетричните двускатни греди, разглеждани тук, се ползват кривите, за които $L' / L = 0,5$ (*poutre a 2 pentes sym.*), където L' е разстоянието от опората до билото.



Фиг. 3. Графики за определяне на коефициентите k_m и k_t съгласно [6]

2.4. Формула на *Porteous & Kermani*

Формулата на *Porteous & Kermani* [7] е възприета в широко използваното у нас ръководство за проектиране на дървени конструкции на *Бояджиева* [8]. В този смисъл споменатата формула по вид е позната на българските инженери, проектиращи по Еврокод 5, както и на българските студенти, изучаващи дървени конструкции в Университета по архитектура, строителство и геодезия през последните години.

В [7] са дадени формули за определяне на мигновеното провисване на четири типа просто подпирни греди от дървесина с променливо напречно сечение, различаващи се по геометрията и по вида на натоварването върху тях. Четвъртият тип греда е симетрична двускатна греда, натоварена с равномерно разпределен напречен товар. В този случай *Porteous & Kermani* предлагат следната формула за определяне на провисването

$$w_{inst} = k_{4\delta,b} \frac{5}{48} \frac{M_o L^2}{E_{0,g,mean} I_s} + k_{4\delta,s} \frac{1,2 M_o}{G_{g,mean} A_s}, \quad (7)$$

където

$$k_{4\delta,b} = 19,2 \left(\frac{1}{n-1} \right)^3 \left[2 \left(\frac{n+2}{n-1} \right) \log_e \left(\frac{n+1}{2} \right) + \frac{3}{n+1} - \frac{2}{(n+1)^2} - 4 \right], \quad (8)$$

$$k_{4\delta,s} = \frac{4}{n-1} \left[\left(\frac{n+1}{n-1} \right) \left(\log_e \frac{n+1}{2} \right) - 1 \right], \quad (9)$$

а останалите означения са както във формулите на *Ozelton & Baird* (т. 2.2).

Porteous & Kermani споменават в [7], че предложените от тях формули са основани на формулите на *Ozelton & Baird* [5]. Лесно е да се съобрази, че корекционните коефициенти $k_{4\delta,b}$ и $k_{4\delta,s}$ са аналог на предложените от *Ozelton & Baird* коефициенти Δ_{m2} и Δ_{v2} . Не е ясно обаче защо с редица преобразувания *Porteous & Kermani* променят вида на формулите на *Ozelton & Baird*. Както ще видим по-долу (т. 3, фиг. 4), коефициентите $k_{4\delta,b}$ и Δ_{m2} , отчитащи влиянието на променливото сечение на гредата върху провисването в резултат на огъващите моменти, могат да се различават значително по стойност, а като

следствие формулата на *Porteous & Kermani* предсказва значително по-големи стойности на провисването в сравнение с формулата на *Ozelton & Baird*.

Представеният в т. 5 числен пример показва нагледно, че формулата на *Porteous & Kermani* преувеличава значително очакваното мигновено провисване в сравнение с всяка от останалите анализирани тук формули.

2.5. Формула на шведското ръководство

В шведското ръководство за проектиране на елементи от слепен слоест дървен материал [1] се предлага следната формула за определяне на мигновеното провисване на двускатни симетрични греди

$$w_{inst} = \frac{5}{384} \frac{pL^4}{E_{0,g,mean} I_e} + \frac{0,35 pL^2}{G_{g,mean} b (h_s + h_{ap})}. \quad (10)$$

В нея първият член отчита влиянието на огъващите моменти, а вторият член отчита влиянието на срязващите сили; p е равномерно разпределеният напречен товар върху гредата, b е ширината ѝ; I_e е ефективен инерционен момент, който се определя въз основа на ефективна височина на гредата h_e , изчислявана по формулата

$$h_e = h_s + 0,33L \tan \alpha, \quad (11)$$

където α е ъгълът на наклона на скосения горен ръб на гредата, като долният ѝ ръб е приет за хоризонтален.

Като алтернатива на горната формула в шведското ръководство [1] се предлага и споменатата по-горе формула на *Porteous & Kermani* [7], за ползването на която е предвидено графично отчитане на коефициентите $k_{4\delta,b}$ и $k_{4\delta,s}$. Озадачаващо е, че двете формули могат да дават много различни резултати, което ще бъде показано по-долу в числения пример от т. 5.

2.6. Формула на *Colling*

В работата на *Colling* [9] се разглежда провисването на дървени греди с правоъгълно сечение и променлива височина в резултат само на огъващите моменти. Предлага се провисването да се определи както за греда с постоянно напречно сечение и еквивалентен инерционен момент I^* , който се получава, като максималният инерционен момент I_{ap} се умножи с коефициент k_I , определен по формулата:

$$k_I = 0,15 + 0,85h_s / h_{ap}. \quad (12)$$

Според *Colling* формулата му води до грешка, не по-голяма от 1,5 % спрямо точните решения за провисването в резултат на огъващите моменти.

В немската практика формулата на *Colling* за определяне на провисването в резултат на огъващите моменти се ползва често в комбинация с описаната по-долу формула на *Piazza et al.* за определяне на провисването в резултат на срязващите сили. Формулата на *Colling* е заложена и в редица немски софтуерни продукти за автоматизирано проектиране на дървени конструкции, навлизаци и в инженерната практика у нас.

2.7. Формула на *Piazza et al.*

В [10] е предложена формула за определяне на мигновеното провисване на разглежданите греди във вида

$$w_{inst} = k_m \frac{5}{48} \frac{M_o L^2}{E_{0,g,mean} I_s} + k_v \frac{1,2 M_o}{G_{g,mean} A_s}. \quad (13)$$

$$k_m = \frac{\left(h_s / h_{ap}\right)^3}{0,15 + 0,85 \left(h_s / h_{ap}\right)}. \quad (14)$$

$$k_v = \frac{2}{1 + \left(h_s / h_{ap}\right)^{2/3}}. \quad (15)$$

Провисването в резултат на огъващите моменти е на практика идентично с определяното по формулата на *Colling* [9].

2.8. Формула на руските норми СП 64.13330.2017

Формулата на руските норми [11], залегнала и в по-стари техни издания, е възприета и в българските норми за проектиране на дървени конструкции [12]. Провисването на гредата от дървесина с променливо напречно сечение може да се определи по формулата:

$$w = \frac{w_o}{k} \left[1 + c \left(\frac{h}{L} \right)^2 \right], \quad (16)$$

където w_o е провисването на гредата с постоянно сечение с височина, равна на максималната $h = h_{ap}$, без да се отчита влиянието на срязващите сили.

Провисването на гредата с променливо сечение в резултат на огъващите моменти е $w_M = w_o / k$.

За просто подпрени симетрични двускатни греди, натоварени с равномерно разпределен напречен товар, коефициентът k съгласно руските норми се изчислява по формулата

$$k = 0,15 + 0,85\beta, \quad (17)$$

където $\beta = h_s / h_{ap} \leq 1$, а коефициентът c , отчитащ влиянието на променливото сечение върху провисването в резултат на срязващите сили, се определя по формулата:

$$c = 15,4 + 3,8\beta. \quad (18)$$

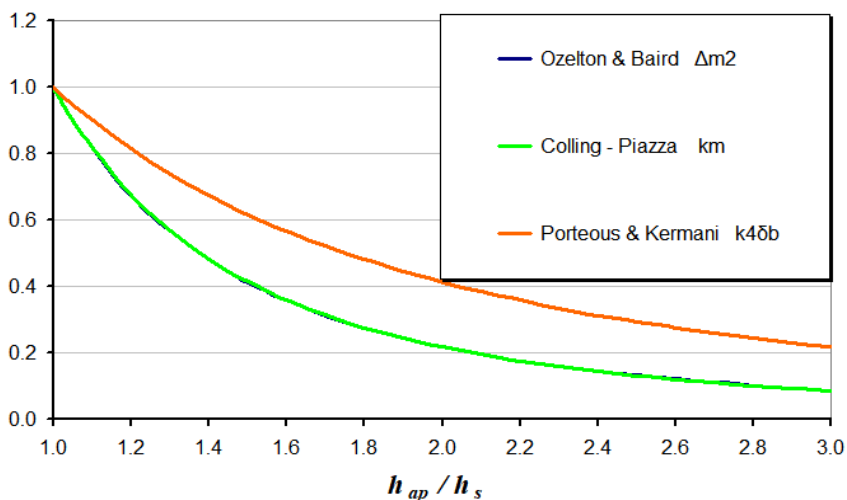
Редно е да се отбележи, че коефициентът k , определян по руските норми, е идентичен с коефициента k_I от формулата, дадена в работата на *Colling* [9]. Като следствие провисванията в резултат на огъващите моменти се получават еднакви по двете формули.

3. Съпоставка на корекционните коефициенти за получаване на провисването в резултат на огъващите моменти

Провисването в резултат на огъващите моменти е с доминиращ принос към общото провисване на слоето слепените дървени греди с големи отвори, като обикновено съставлява около 85 – 90 % от общото провисване. На фиг. 4 е направена графична съпоставка на корекционните коефициенти за получаване на провисването в резултат на огъващите моменти по формулите на *Colling-Piazza* (идентична с тази в руските и българските норми), *Ozelton & Baird* и *Porteous & Kermani*. И по трите формули корекционните коефициенти важат при предпоставката, че при определянето на провисването се използва минималният инерционен момент на напречното сечение на гредата I_s . Стойностите на корекционните коефициенти по трите формули са изчислени с помощта на *MS Excel*.

Очевиден е разнобоят между формулата на *Porteous & Kermani* и другите две директно съпоставими с нея формули. Очевидно тя значително преувеличава провисванията на симетричните двускатни греди с равномерен напречен товар, като „грешката“, която се допуска, зависи от отношението на височините на гредата в билото и при опората h_{ap} / h_s .

Съпоставката между фиг. 3 и фиг. 4 показва, че формулите на *Colling – Piazza* [9, 10], *Ozelton & Baird* [5] и френското ръководство [6] на практика дават идентичен резултат по отношение на провисването в резултат на огъващите моменти.



Фиг. 4. Графична съпоставка на корекционните коефициенти за определяне на провисването в резултат на огъващите моменти по различни формули

4. Относно определянето на провисването с помощта на метод на крайните елементи (МКЕ)

С помощта на МКЕ може да се получат реалистични стойности на мигновените провисвания на гредите от слепен слоест дървен материал в контекста на цялостния еластичен анализ на носещата конструкция, без да е необходимо прилагането на готови

формули, особено в случая на греди с нестандартно натоварване, опорни условия или геометрия. С МКЕ също е възможно да се провери точността на съществуващите формули за ръчно изчисляване, приложими към стандартните случаи на слоесто слепени греди от дървесина.

Дървесината е хетерогенен и анизотропен материал, което води до някои особености при определянето на мигновените провисвания на греди от дървесина с МКЕ. При моделиране с помощта на черупкови (*shell*) крайни елементи с дебелина, равна на ширината на гредата b , е възможно използването на ортотропен еластичен материал, с което директно да се отчете ниският модул на срязване на дървесината. Като краен резултат се получава провисване, отчитащо сумарното влияние на различните разрезни усилия.

При моделиране с помощта на гредови крайни елементи (в конкретния случай е целесъобразно да се използват такива с променливо напречно сечение) болшинството софтуерни продукти, намиращи приложение в практиката, позволяват използването само на изотропен материал. Възможно е обаче чрез подходяща редукция на коравината на срязване на напречното сечение коректно да се отчете ниският модул на срязване на дървесината.

И при двата варианта на моделиране е възможно с подходяща настройка на деформационните модули на материала (при черупкови крайни елементи) или коравините на огъване и срязване на напречното сечение (при гредови крайни елементи) да се получат поотделно провисванията в резултат на огъващите моменти и срязващите сили, в случай че се търси съпоставимост с формулите за ръчно изчисляване. Във втория случай например, за да се получи провисването в резултат само на огъващите моменти, е необходимо да се зададе „безкрайно голяма“ площ на срязване на напречното сечение на гредовия елемент.

5. Числен пример със съпоставка на провисванията, получени по различните формули и МКЕ

С помощта на изложените по-горе формули е определено мигновеното провисване на симетричната просто подпряна двускатна покривна греда от хомогенен слепен слоест дървен материал клас GL24h, показана на фиг. 2, при следните геометрични размери: отвор $L = 2300$ cm, височина при опората $h_s = 104$ cm, височина в билото $h_{ap} = 164$ cm, ширината на гредата $b = 20$ cm. Височините на гредата при опората и в билото са кратни на височината на слепваните дъски, която е равна на 40 mm. Гредата е натоварена с равномерно разпределен напречен товар $p = 8$ kN/m, включващ характеристикните постоянни въздействия (вкл. собственото тегло на гредата) и характеристикното въздействие от сняг.

Характеристиките на слоесто слепен дървен материал GL24h са: среден модул на еластичност успоредно на влакната $E_{0,g,mean} = 1160$ kN/cm², среден модул на срязване $G_{g,mean} = 72$ kN/cm².

Резултатите от формулите за ръчно изчисляване са съпоставени с резултатите от компютърното моделиране на гредата по МКЕ с програмата SAP2000 [13], което е извършено в два варианта: 1) модел с гредови крайни елементи с променливо сечение и изотропен еластичен материал с подходяща настройка на коравината на напречното сечение на срязване и 2) модел с черупкови крайни елементи (фиг. 5) с дебелина, равна на ширината на гредата, като е използван ортотропен еластичен материал с подходяща настройка на деформационните модули на материала, в случай че се търсят поотделно

провисванията в резултат на огъващите моменти и сръзващите сили. Във втория вариант е необходимо да се използва и модулът на еластичност в направление, перпендикулярно на влакната $E_{90,g,mean} = 39 \text{ kN/cm}^2$.

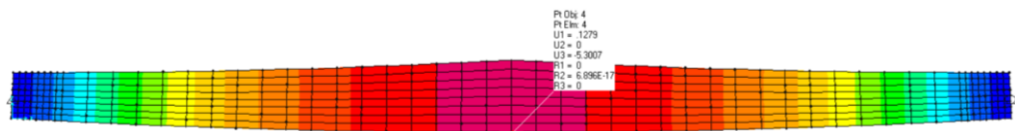
Резултатите за провисването, получени по отделните методики, са представени в табл. 1. На фиг. 5 е показана диаграмата на общите вертикални премествания на гредата в резултат на огъващите моменти и сръзващите сили, получени от числения модел с черупкови крайни елементи и ортотропен еластичен материал.

Таблица 1. Мигновени провисвания на гредата от числения пример

Формула или метод	Мигновено провисване (cm)		
	В резултат на огъващите моменти $w_{inst,M}$	В резултат на сръзващите сили $w_{inst,V}$	Общо провисване w_{inst}
<i>Bleich</i> [4]	4,65	–	4,65
<i>Ozelton & Baird</i> [5]	4,93	0,35	5,28
<i>Colling – Piazza</i> [9, 10]	4,93	0,35	5,28
<i>Porteous & Kermani</i> [7]	7,70	0,37	8,07
Руски и български норми [11, 12]	4,93	0,45	5,38
Френско ръководство [6]	5,00	0,35	5,35
Шведско ръководство [1]	5,15	0,37	5,52
МКЕ гредови крайни елементи	4,96	0,36	5,32
МКЕ черупкови крайни елементи (фиг. 5)	4,95	0,35	5,30

Като се има предвид, че провисванията, получени по МКЕ, могат да се считат за достатъчно точни, може да се направи изводът, че по-голямата част от формулите за ръчно изчисляване предсказват общото мигновено провисване с много висока точност. Изключение правят формулата на *Bleich* [4], която подценява провисването с около 13 %, и формулата на *Porteous & Kermani* [7], която грубо преувеличава общото провисване с около 50 %. Табл. 1 показва, че формулата на *Porteous & Kermani* значително преувеличава провисването в резултат на огъващите моменти на разглежданата в примера греда – обстоятелство, което е очаквано на базата на графиките от фиг. 4.

По отношение на провисването в резултат на сръзващите сили може да се направи извод, че по-голямата част от формулите дават идентичен резултат. Изключение е формулата на руските (българските) норми, която преувеличава стойността му с около 20 %. Това не представлява особен проблем, тъй като провисването в резултат на сръзващите сили не е с доминиращ принос към общото провисване на гредата.



Фиг. 5. Вертикални премествания (U_3) на изследваната греда от характеричен товар, получени с МКЕ при използването на черупкови крайни елементи и ортотропен еластичен материал

6. Заключение

Направен е критичен анализ на съществуващите формули за определяне на мигновените провисвания на просто подпрени симетрични двускатни греди от слепен слоест дървен материал, натоварени с равномерно разпределен напречен товар. Дадени са насоки за определяне на мигновените провисвания на изследвания тип греди с МКЕ.

С навлизането на системата Еврокодове българските норми за проектиране на дървени конструкции [12] стават все по-малко популярни, особено сред новите поколения строителни инженери. Любопитно е да се отбележи обаче, че формулата за определяне на провисването на разглеждания тип греди от дървесина, дадена в българските норми [12] и заимствана от по-старите издания на руските норми [11], предсказва с много висока точност мигновеното им провисване. Нещо повече, по отношение на провисването в резултат на огъващите моменти формулата на българските норми е идентична с немската формула на *Colling* [9].

Формулата на *Porteous & Kermani* [7] се препоръчва в популярните ръководства за проектиране [1, 8], като от години се използва и в обучението на студентите от Университета по архитектура, строителство и геодезия – София. От направения анализ е видно, че тя е склонна да преувеличава значително мигновените провисвания на симетричните двускатни греди от слепен слоест дървен материал, натоварени с равномерно разпределен напречен товар. Това, в комбинация със строгите ограничения на мигновените провисвания на главни греди от дървесина, възприети у нас в [3], води до необходимост от ненужно увеличаване на напречното сечение на гредата, в случай че не се прилага строително надвишение. В случай че се прилага строително надвишение, формулата на *Porteous & Kermani* би довела до значително преувеличаване на необходимата му стойност.

ЛИТЕРАТУРА

1. Limträhandbok Del 2: Projektering av limträkonstruktioner. Svenskt Trä, 2018.
2. EN 14080:2013. Timber structures – Glued laminated timber and glued solid timber – Requirements.
3. BDS EN 1995-1-1:2005/NA:2011. Eurocode 5: Design of timber structures – Part 1-1: General – Common rules and rules for buildings.
4. *Bleich, F.* Stahlhochbauten. Band I und Band II. Berlin, Verlag Julius Springer, 1932/33.
5. *Ozelton, E. C., Baird, J. A.* Timber designers' manual. Blackwell Publishing, 2006.
6. *Charpente en bois lamellé-collé – Guide pratique de conception guide-pratique.* EYROLLES, 2000.
7. *Porteous, J., Kermani, A.* Structural timber design to Eurocode 5. Blackwell Publishing, 2007.
8. *Boyadzhieva, D.* Guidelines for design of timber structures according to BDS EN 1995-1-1 (in Bulgarian). UACEG, Sofia, 2016.
9. *Colling, F.* Holzbau – Grundlagen, Bemessungshilfen. Vieweg+Teubner/GWV Fachverlage GmbH, Wiesbaden, 2008.
10. *Piazza, M., Tomasi, R., Modena, R.* Strutture in legno. Materiale, calcolo e progetto secondo le nuove normative europee. Hoepli, 2005.
11. SP 64.13330.2017. Timber structures.
12. Normi za proektirane na darveni konstruktсии (in Bulgarian). BSA 5-6/1990.
13. SAP2000 Analysis Reference manual. Berkeley, California, USA, 2023.

A CRITICAL ANALYSIS OF EXISTING FORMULAS FOR ESTIMATING THE INSTANTANEOUS DEFLECTION OF SIMPLY SUPPORTED SYMMETRICAL DOUBLE-TAPERED GLUED - LAMINATED TIMBER BEAMS LOADED BY A UNIFORMLY DISTRIBUTED TRANSVERSE LOAD

C. Penelov¹

Keywords: instantaneous deflection, glued-laminated timber beams

ABSTRACT

A critical analysis of seven existing formulas for estimating the instantaneous deflection of simply supported symmetrical double-tapered glulam beams loaded by uniformly distributed transverse load is presented. Within a numerical example, the results obtained by the different formulas are compared with those obtained by the finite element method.

¹ Chavdar Penelov, Chief Assist. Prof. Dr. Eng., Dept. “Steel, Timber and Plastic Structures”, UACEG, 1 H. Smirrenski Blvd., Sofia 1046, e-mail: penelov_fce@uacg.bg