



Получена: 04.11.2019 г.

Приета: 20.11.2019 г.

ЧИСЛЕНО ИЗСЛЕДВАНЕ НА ХАРАКТЕРНА ЗА РЕГИОНА НА КОТЕЛ ТАЛПЕНО-СТЪЛБОВА СТЕНА С ОТЧИТАНЕ НА КОРАВИНАТА НА ДЪРВОДЕЛСКИТЕ СГЛОБКИ

В. Танев¹, П. Груева²

Ключови думи: талпено-стълбовата стена, числено нелинейно изследване, коравина на дърводелски сглобки, вертикален товар/гранична носимоспособност

РЕЗЮМЕ

Статията разглежда основни детайли на талпено-стълбовата стена и техния принос в носещата способност на конструкцията. Дърводелските съединения представляват особена задача за съвременното проектиране и моделиране. Обсъждат се предпоставките при създаване на изчислителен модел на примерна талпено-стълбова стена. Съставени са три модела, с различни приемания за контактните зони и са споставени резултатите за гранична хоризонтална сила и преместване при постоянен вертикален товар. След това е увеличена стойността на вертикалното натоварване, за да се отчете влиянието му върху коравината на стенната конструкция.

1. Въведение

Дървените конструкции са претърпели драстично развитие във времето, тъй като дървесината е един от най-старите и достъпни материали в голяма част от цивилизования свят. Принципите, които са обуславяли начина на изграждане на конструкциите, са били съобразявани с наличния местен материал, климатичните и сеизмичните условия. В днешни дни технологиите и материалите лесно се разпространяват в международен

¹ Вълчо Танев, доц. д-р инж., кат. „Метални, дървени и пластмасови конструкции”, УАСГ, бул. „Хр. Смирненски“ № 1, 1046 София, e-mail: tanev_fce@uacg.bg

² Петя Груева, инж., кат. „Метални, дървени и пластмасови конструкции”, УАСГ, бул. „Хр. Смирненски“ № 1, 1046 София, e-mail: ptaleva@gmail.com

план. В миналото само определени групи от хора са могли да си позволят да се сдобият с материал от далечно място, а преди индустриализацията се е използвала главно масивна дървесина, обработена с ръчни инструменти. Днес все по-рядко се практикува такъв тип строителство. Поради това, знанията, натрупвани в продължение на толкова време, са застрашени от изчезване. Когато това се случи, се налага да се преоткриват отново добре забравени истини. Един от най-добрите начини да се съхранят тези знания, е да се опазят образци, изградени през изминали епохи. Исторически примери за образци, типични за определен период, са сградите от епохата на Възраждането в района на Котел, изградени с талпено-стълбова конструкция. Голяма част от тях са запазени и до днес във вид, годен за нормална експлоатация. Освен това, районът има 3 населени места, обявени за архитектурни резервати (Жеравна, Катунище, Стария Котел), а единични сгради в други населени места, са обявени за недвижими културни ценности (Медвен, Ичера, Градец и др.).

Опазването на образците на строителните техники от периода на Възраждането би било адекватно при познаване на характеристиките на материалите и цялостния принцип на работа на сградите. Опростявания и неточни приемания на тези параметри могат да доведат до некоректни резултати, свързани с необходимост от излишни усилвания на конструкцията. Дърводелските съединения, използвани масово през този период, поставят по-сложни задачи при моделиране на конструкциите. При усилвания и реставрационни дейности връзките между старите и новите елементи трябва да са със сходна коравина на оригиналната конструкция, за да не се получи преразпределяне на усилията [1].

2. Конструкция и детайли на талпено-стълбовата стена

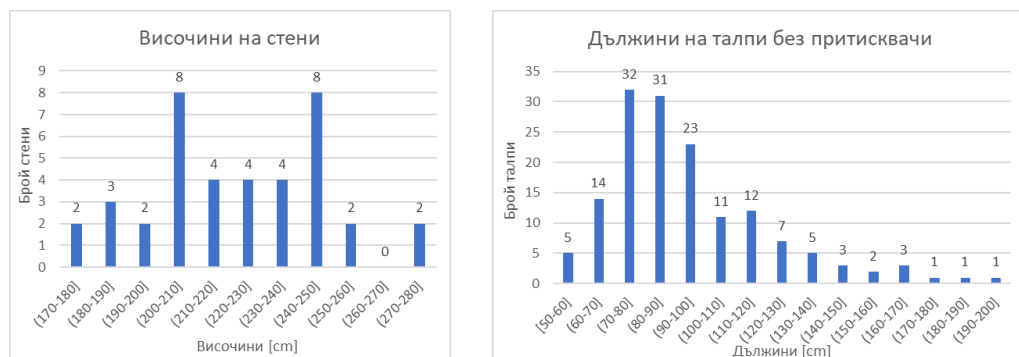
2.1. Общи характеристики



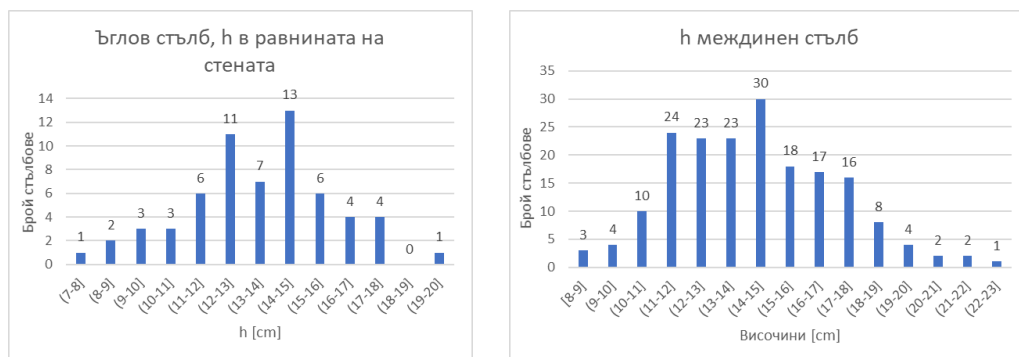
Фиг. 1. Летви, наковани върху фугите от външната страна на талпите. Между най-горните талпи и горните греди на приземното ниво на къщата има фуга, показваща, че талпите не участват в поемането на вертикалния товар

Жилищните сгради от периода на Възраждането в района на Котел са изградени с каменна зидария и дървена конструкция. От една до три от фасадните стени на приземните етажи са от каменна зидария, а останалите са дървени. Южната фасада обикновено е изцяло дървена на всички нива. Вторият етаж е изцяло от дървесина. Най-често използваният материал в този район е дъбов или буков. Главните съставни части на дървените стени са горна и долна греда, вертикални стълбове и пълнежни талпи (фиг. 1). Връзките

между тези главни елементи са осъществени посредством дърводелски съединения, без наличие на метални съединителни средства. Стълбовете са свързани с гредите посредством глъб и зъб. По дължина на стълбовете има издълбани жлебове, в които влизат талпите. Талпите се напъхват в жлебовете една над друга, без допълнителна връзка между тях в надлъжно направление. Контактните зони на талпите не са перфектно гладки и равни, и между тях се получават фуги. В повечето къщи в този район фугите се покриват с наковани летви. Тъй като талпите не се опират в горните греди, означава, че от конструктивна гледна точка те имат участие най-вече в поемане на хоризонталните сили (фиг. 1). На фиг. 2 и фиг. 3 са показани някои основни размери на стените и техните елементи, измерени по време на теренни проучвания в района, финансирани от ЦНИП към УАСГ.



Фиг. 2. Типични височини на стени (ляво, измерени 39 бр. образци) и светли разстояния между стълбовете, когато липсват притисквачи (дясно, измерени 151 бр. образци)



Фиг. 3. Височини на сеченията в равнината на стената на ъгловите стълбове (ляво, измерени 61 бр. образци) и междинните стълбове (дясно, измерени 185 бр. образци)

В почти всички сгради се срещат допълнителни вертикални елементи, наречени притисквачи, свързани с долната и горната гредя с челно зарязване и ковани гвоздеи (фиг. 4). Връзките им с талпите са различни, например: притисквачи, които не са в контакт с талпите; талпи, които са заковани за притисквачите от вътрешната страна; притисквачи в контакт с талпите. В някои случаи притисквачите служат за опора на подкосите, подпирани надлъжната гредя на стрехата (фиг. 5). При по-големи разстояния между стълбовете, съответно по-дълги талпи и по-големи подпорни разстояния за горните греди, също има притисквачи – по един или два в междоусие (фиг. 4).



Фиг. 4. Притисквачи, които не се опират в талпите. Във фугата, където липсват летви, се вижда дървена клечка между талпите до притисквача



Фиг. 5. Притисквачи, които служат за опора на подкосите, подпират стрехата

Дебелината на талпите е 3 – 5 cm, като в краищата тя намалява, за да може да се осигури влизането в жлебовете. Широчината на талпите е между 15 и 35 cm. По височина на стената тяхната широчина е различна. Често се срещат клечки от дървесина, които свързват талпите по височина, но не е наблюдавана стена, при която да е видно, че клечките свързват всички талпи от горе до долу. В някои случаи се наблюдава връзка чрез клечка между долна греда и най-долна талпа (фиг. 6, ляво). При по-дълги талпи, напр. 250 cm, има едновременно притисквачи и клечки на 1/3 и 2/3 от дължината на талпите (фиг. 4). Летвите, които се поставят за затваряне на фугите от външната страна, не позволяват да се проследи какво има между талпите при повечето стени. От своя страна, тези летви не участват в поемането на хоризонтални сили, тъй като връзката им с талпите е чрез няколко къси и с малък диаметър гвоздеи през голямо разстояние (фиг. 6, дясно).



Фиг. 6. Дървена клечка, свързваща долна талпа с долна греда (ляво) и летви, затварящи фугата между талпите от външната страна, които не изпълняват конструктивна функция (дясно)

Друг фактор, който влияе на носимоспособността на талпено-стълбовата стена (ТСС) при хоризонтални въздействия, са летвите, наковани от вътрешните страни на талпите на фасадните стени (фиг. 7). Една от функциите им е да придържат глинената мазилка. Наковани са диагонално през около 10 – 15 cm, което допринася за увеличаване на носимоспособността и дуктилноста на стенните конструкции.

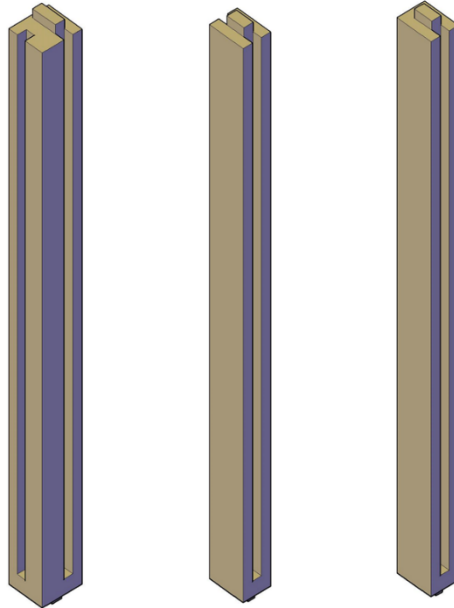


Фиг. 7. Летви за мазилка от вътрешната страна на фасадните стени

2.2. Дърводелски съединения при талпено-стълбовите стени

Главните връзки между гредите и стълбовете са посредством дърводелски съединения – глъб и зъб, без съединителни средства, които да осигуряват сглобките срещу разглобяване. Пълнежните талпи са свързани със стълбовете чрез навлизането в жлебовете, също без допълнителни съединителни средства. На фиг. 8 е показана геометрията на стълбовете. Във възлите носимоспособността на натиск на дървесината перпендикулярно на влакната оказва най-голямо влияние при вертикално натоварване. При изчерпването ѝ дървесината се смачква и разрушението се характеризира със силно изразена пластичност. Деформациите при натиск перпендикулярно на влакната на дървесината могат

да достигнат големи стойности – до над 30%, без да се достигне до крехко разрушение. Граничните им стойности зависят от изискванията за нормална експлоатация на сградата [2]. Завъртанятия във възлите, които се получават в следствие на хоризонталните сили, също зависят до голяма степен от носимоспособността на съединението на натиск, перпендикулярно на влакната. Контактните площи в двата края на стълбовете не са еднакви, което води до различна якост във всеки възел.



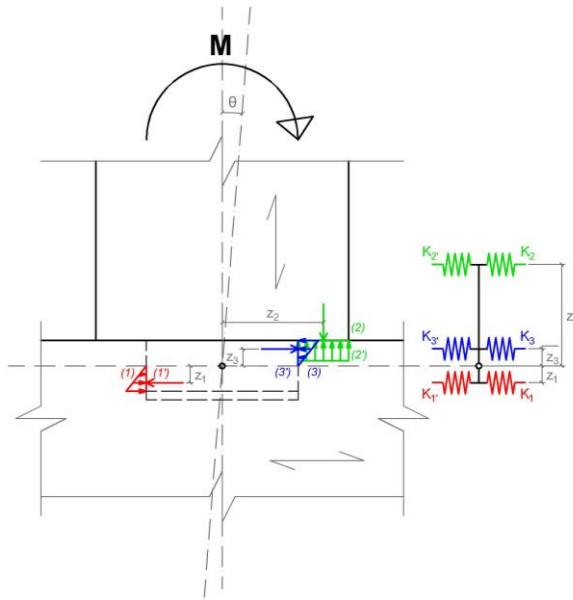
Фиг. 8. Геометрия на стълбове, от ляво надясно – ъглов, междинен и краен

2.3. Методи за определяне на работните диаграми на пружините

При предварително дефинирани гранични деформации на конструкциите може да се съставят работни диаграми спрямо контактните зони, подложени на натиск перпендикулярно на влакната, при наличие на вертикален товар и/или огъващ момент.

Тсай, Айла и Левис [3] са моделирали характерна за Тайван дървена рамкова конструкция с различни стойности на ротационната коравина във възлите на колоните, при което следят максималното преместване във върха на конструкцията при хоризонтално натоварване. Изчисляването на различни стойности на коравини на възлите допринася значително за граничните деформации и поведението при земетръс. След това правят експерименти, за да определят реалната коравина. Използват две стойности на вертикалния товар, за да се установи как той влияе на коравината на възела. Достига се до извод, че вертикалният товар оказва съществено влияние върху коравината и поведението на цялостната конструкция.

Бранко и Дескампс [4] разглеждат компонентния метод за определяне на ротационна коравина на съединението глъб и зъб. Изчислителната ситуация, която вземат предвид, е най-неблагоприятният случай за това съединение, при който зъбът е по-къс от глъба. Предложеният от тях метод е адаптиран към настоящата задача във възлите между стълбовете и гредите (фиг. 9).



Фиг. 9. Компонентен метод за изчисляване на ротационна коравина, адаптиран за възел между стълб и долна греда (по [4])

Във всяка контактна зона деформацията може да се раздели на две компоненти, съответстващи на характеристиките на материала по направление i или i' , съответно за натиск успоредно или перпендикулярно на влакната. Изчисляват се коравините K_i и $K_{i'}$ по формула 2, след което се получава еквивалентната коравина $K_{i,i'}$ по форм. 3. След няколко преобразувания се достига до формула 4, от която се изчислява ротационната коравина на възела.

$$K_{i(i')} = \frac{E_{\alpha,i(i')} * \sqrt{A_i}}{0,85}, \quad (1)$$

където $E_{\alpha,i(i')}$ е модулът на еластичност на материала, съответстващ на направление i или i' спрямо посоката на влакната, в N/mm^2 ;

A_i – площта на контактната зона, в mm^2 ;

$K_{i(i')}$ – коравина (пружинна константа), съответстваща на направление i или i' спрямо посоката на влакната, в N/mm ;

$$\frac{1}{K_{i,i'}} = \frac{1}{K_{i'}} + \frac{1}{K_i}, \quad (2)$$

където $K_{i,i'}$ е еквивалентната коравина на двете пружини K_i и $K_{i'}$, в N/mm ;

$$K_{rot} = \sum (K_{i,i'} * Z_i^2), \quad (3)$$

където Z_i е рамото, по което се умножават силите, равнодействащи в контактните зони, съгласно фиг. 9, в mm;

K_{rot} – ротационната коравина, в Nmm/rad.

Когато дървесината е натисната перпендикулярно на влакната, влияние за носимоспособността ѝ оказва съдействащата широчина, тъй като влакната извън натиснатата зона работят на опън. В [5] се въвежда корекционен коефициент $k_{c,90}$, с който се умножава характеристикната якост на натиск перпендикулярно на влакната:

$$\sigma_{c,90,d} \leq k_{c,90} f_{c,90,d}. \quad (4)$$

Това се налага заради разликата в стандартните образци за изпитване на натиск перпендикулярно, при които натоварването е върху цялата площ на образците [6]. В първоначалната версия на Еврокод 5 [5] стойността на корекционния коефициент може да достигне до $k_{c,90} = 4$, когато контактът се разпростира по цялата широчина на елемента. При тази стойност предизвиканата деформация на смачкване в крайно гранично състояние ще бъде приблизително 10% височината на елемента. След изменението А1:2008, се променят правилата за корекционния коефициент и максималната стойност се намалява до 1,5 за масивна дървесина и 1,75 за слепена дървесина. Важно е да се отбележи, че в първоначалното издание не е уточнен видът на дървения материал, докато след изменението, изрично е написано, че става въпрос за иглолистна дървесина. Тази промяна внася неяснота в случаите, когато се използва широколистна дървесина.

В [7] авторите правят сравнение между числени методи за определяне на якостта на натиск перпендикулярно на влакната в 6 различни стандарта и съпоставят резултатите с експериментални изследвания. Два от стандартите са старият и новият вариант на Еврокод 5. Разглеждат случаи на прагова греда с концентриран товар и различни съдействащи дължини и натоварващи площи. Образците, които изпитват, са от иглолистна дървесина, а получените резултати обработват с процедурата, дадена в стандарта EN408 [8]. Оказва се, че всички разглеждани стандарти дават по-високи стойности, за якостта на натиск перпендикулярно на влакната, от експерименталните данни. Последната версия на Еврокод 5 е най-близка и точна, в сравнение с всички останали стандарти.

За конкретната задача при съставяне на работните диаграми, за нелинейните пружини на компонентния метод, не са отчитани стойности, с които да се коригира якостта на натиск успоредно и перпендикулярно на влакната. Приета е клас дървесина D35, спрямо [9]. Якостите за този клас са приети за граница на еластичност, след която следва пластифициране. Гранична деформация за натиск перпендикулярно на влакната е избрана 10%, а за натиск успоредно на влакната е 1%. Зоната на пластична работа е приета с 5% „уякчаване“, ако се съди по резултати от изпитвания на образци от дървесина в литературата [6, 7, 10 – 12]. Граничното завъртане при възлите стълб – греда е определено на база граничната деформация от смачкване в контактна зона 2-2' (фиг. 9), като ъгълът $\theta \approx 5^\circ$.

При така описания теоретичен модел и приемания за определяне на пружините константи, са определени зависимости за поведението на пружините, показани в таблица 1.

Зависимост за контакт на „талпа с талпа“ перпендикулярно на влакната и „талпа с долна греда“ перпендикулярно на влакната, стойностите от диаграмите са:

P [kN] 0; -8400; -11760

u [mm] 0; -1,525; -12,50

Зависимост за контакт „талпа със стълб“ перпендикулярно на влакната стойностите от диаграмите са:

P [kN] 0; -25000; -45000

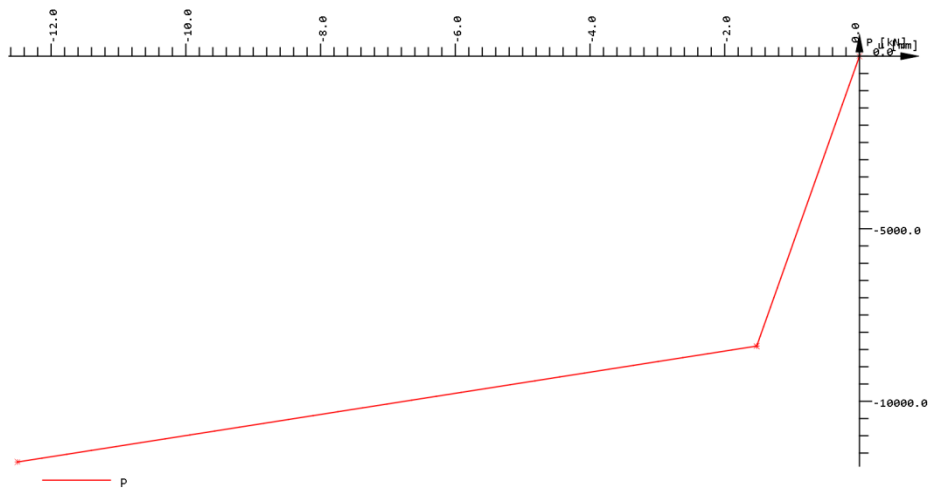
u [mm] 0; -6,250; -4,375

Зависимост за „момент / завъртане“ при дърводелските сглобки стойностите са:

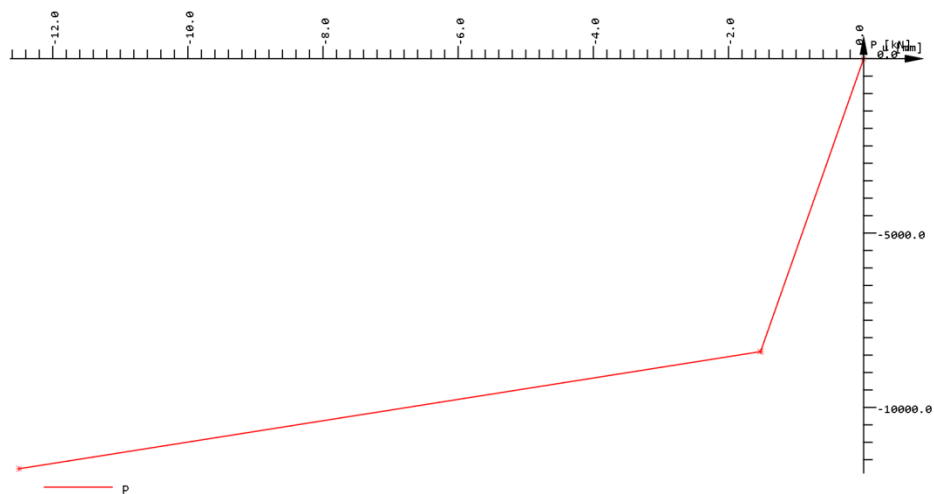
M [kNm] 0; ± 15 ; ± 20 ; ± 20

φ [mrad] 0; $\pm 37,50$; $\pm 62,50$; $\pm 312,50$

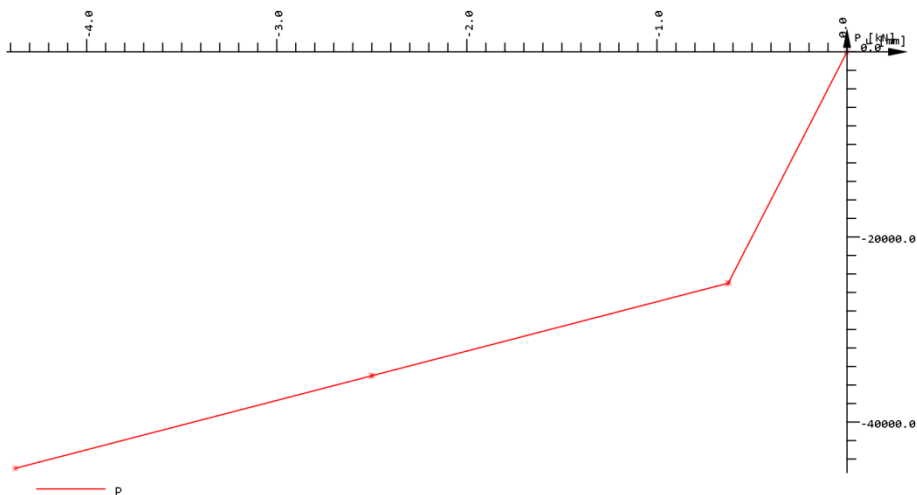
Таблица 1



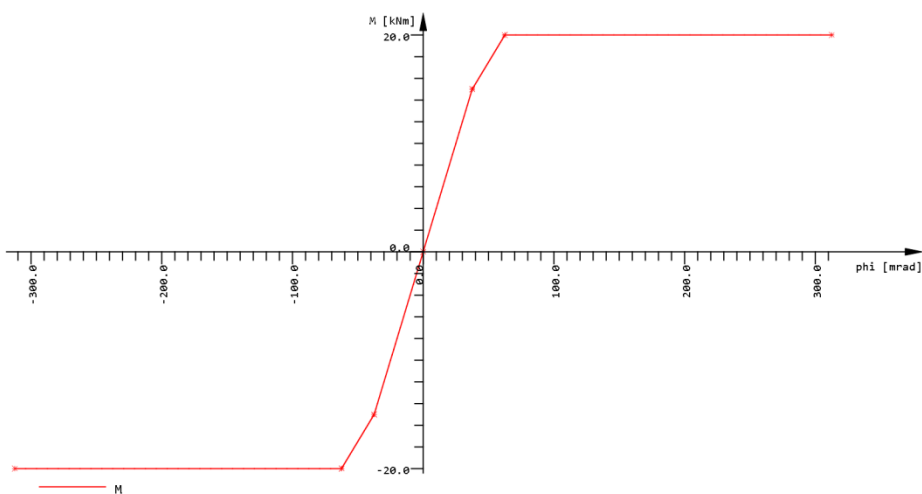
Функция за контакт „талпа с талпа“ перпендикулярно на влакната



Функция за контакт „талпа с долна греда“ перпендикулярно на влакната



Функция за контакт „талпа със стълб“ перпендикулярно на влакната



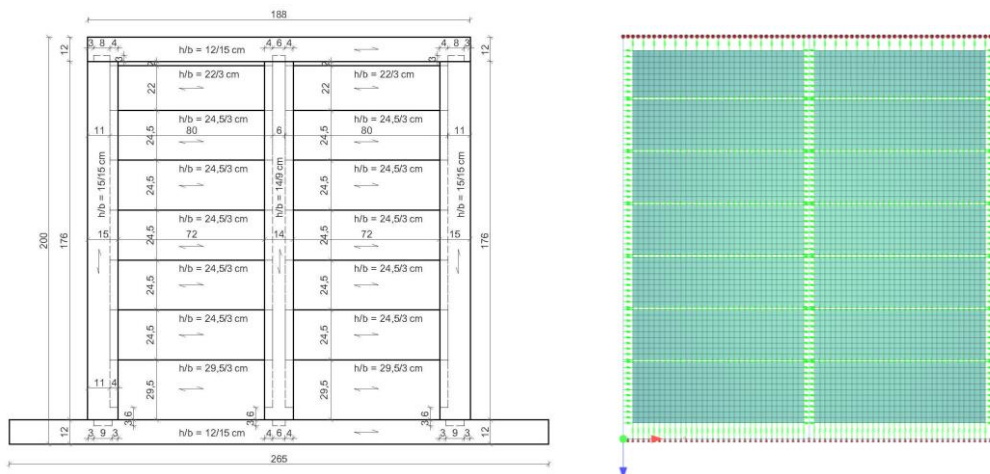
Функция за коравина на връзка „стълб с долна/горна греда“

3. Числено моделиране с отчитане на коравината на дърводелските сглобки

Изследване на поведението на талпено-стълбовите стени е проведено чрез метод на крайните елементи (МКЕ). Моделираната стена е с размери, съответстващи на средните такива, измерени при реалните обследвания на сгради от региона. Изградена е от стълбове, греди и талпи, без наличие на притисквачи, клечки между талпите и летви от вътрешната страна. Отчетено е наличието на фуга между горните талпи и горната греда с размер 2 cm. В тази зона е въведена пружина за натиск перпендикулярно на влакната,

която започва да работи след премествания, по-големи от фугата. Не е отчетено триене между талпите, поради неравната контактна повърхност между тях.

При моделиране на стената са използвани прътови и черупкови крайни елементи с по шест степени на свобода във възел. Размерите на стената и съответния изчислителен модел са показани на фиг. 10.



Фиг. 10. Размери на стената (ляво) и дискретизиран модел с крайни елементи с разположение на пружините между елементите (дясно)

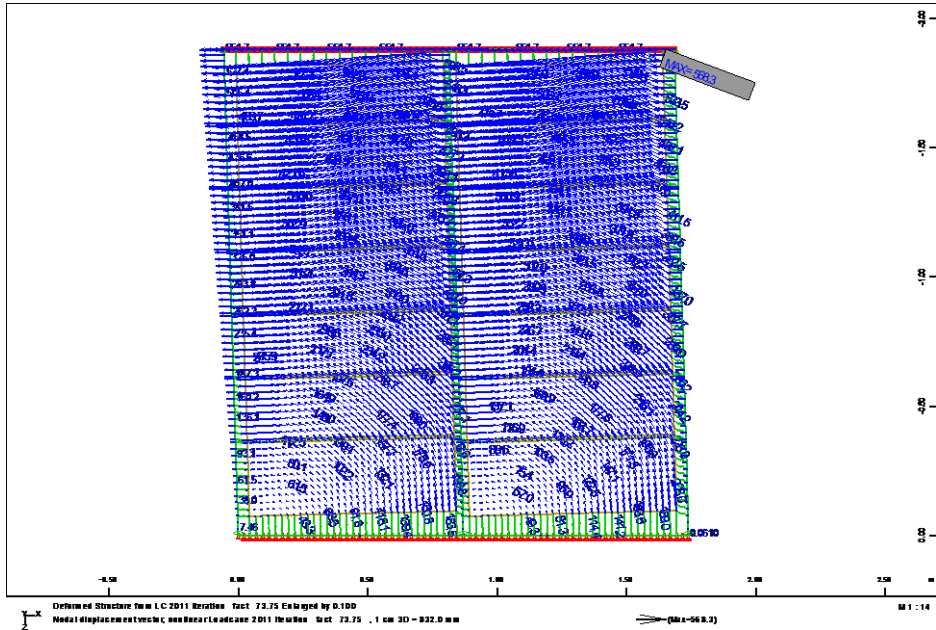
Колоните (стълбовете) са моделирани чрез прътови елементи, при които центърът на тежестта на сечението не съвпада с референтната точка на привързване на сечението с оста на крайните елементи. Долната и горната греда са центрични прътови елементи. Използван е ортотропен материал – широколистна дървесина клас D35 с направление на влакната, показано на фиг. 10, ляво. Връзката между долната греда, стълбовете и горната греда е моделирана посредством нелинейни пружини с коравини, определени в т. 2.3. Реалното съединение, както е показано на фиг. 9, не поема опънна нормална сила, но е в състояние да поема натискова нормална сила.

Талпите са моделирани с плочести елементи. За целта е използван ортотропен материал за широколистна дървесина D35 с направление на влакната, показано на фиг. 10, ляво. Връзката между талпите по височина е реализирана посредством нелинейни пружини със закон, определен в т. 2.3. Зависимостта за взаимодействие между талпа и стълб е изчислена и представена в т. 2.2.1.

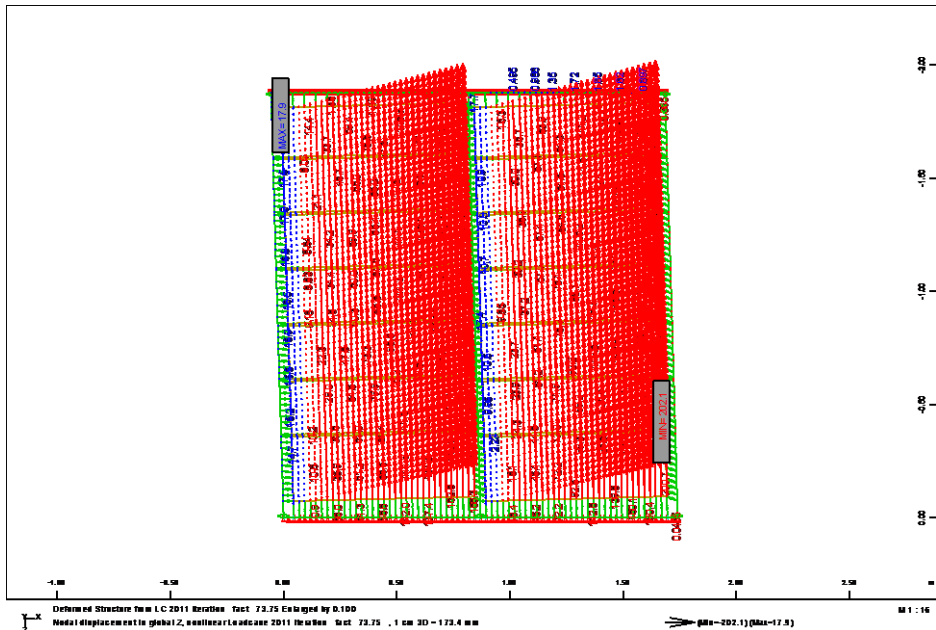
Дискретизирането на крайни елементи е реализирано посредством регулярна мрежа с квадратни площни елементи, а линейните елементи са обвързани с площните по критерий за съвместимост на възлите, вж. фиг. 10, дясно.

Приложените въздействия върху модела са определени въз основа на реално обследвани сгради. Вертикалното въздействие е изчислено в диапазона $13 \div 15 \text{ kN/m}^2$. При определянето му са взети предвид видът на покривното покритие и облицовката от вътрешната страна на стените. В обследваните сгради тази облицовка най-често е глинена мазилка, положена върху диагонална скара от летви или скара тип рибена кост. В модела вертикалното въздействие е константно и не се променя, а второстепенните слоеве, като облицовките, не са моделирани. Последното ще води до по-ниска коравина на образеца в сравнение с реалните такива. Изходното хоризонтално въздействие е приложено в горния десен ъгъл и е прието със стойност от 1 kN . Цел на изследването е да се намери хо-

ризонтална сила, при която стената губи своя капацитет за поемане на хоризонтални сили, с отчитане на нелинейния контакт между отделните елементи. Последното се постига посредством автоматизирана процедура за намиране на гранични въздействия, в средна на софтуера SOFiStiK, посредством функцията ULTI (Ultimate Limit Iterations).

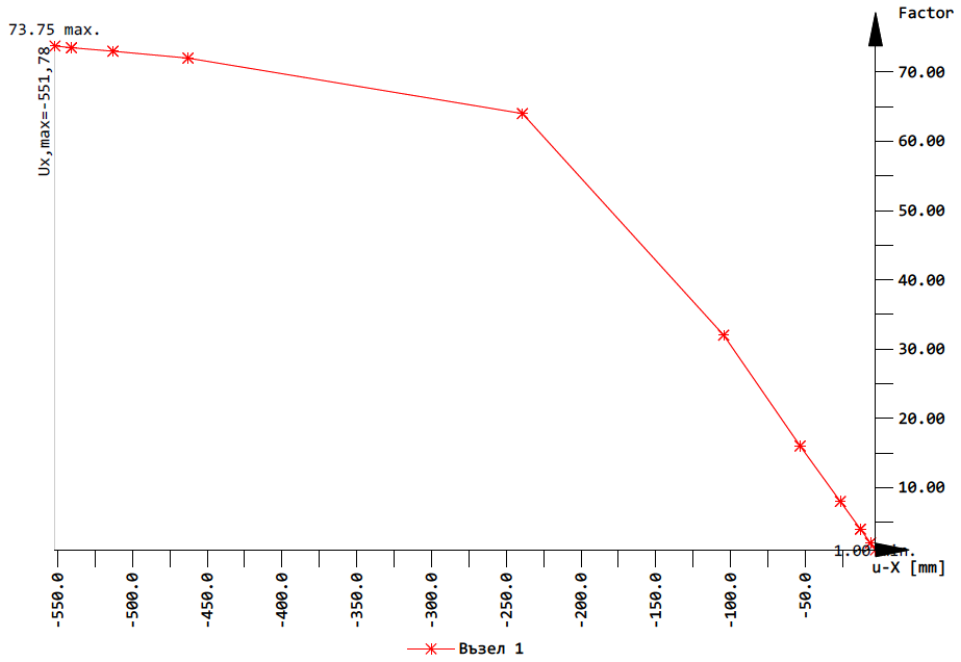


Фиг. 11. Премествания на възлите от стената в x - z равнината, $f_{xz,max} = 568,3$ mm

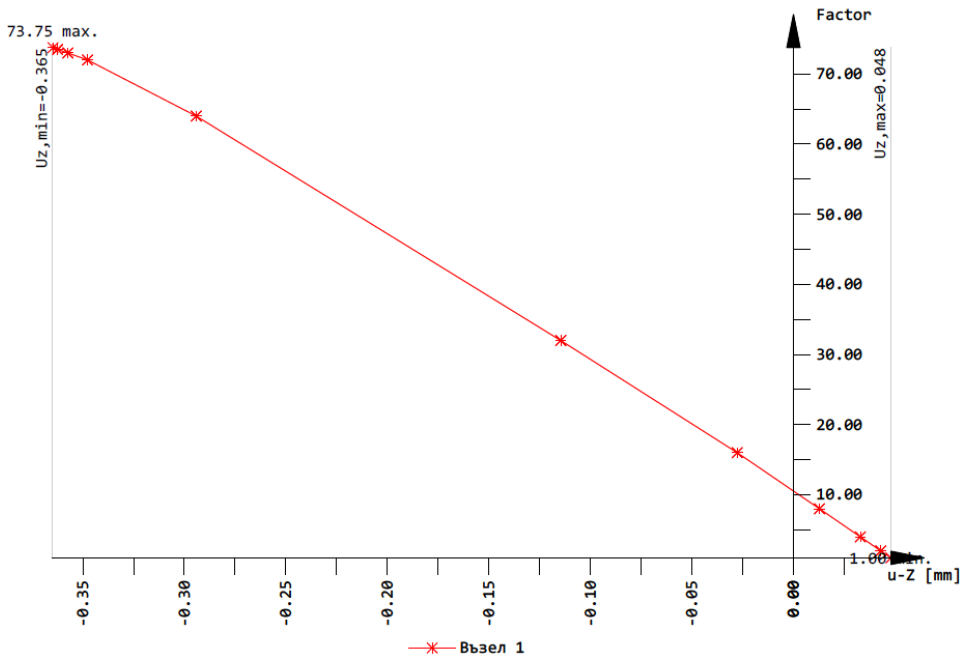


Фиг. 12. Премествания на възлите от стената в посока z , $f_{z,max} = 202,1$ mm

Фактор f=1

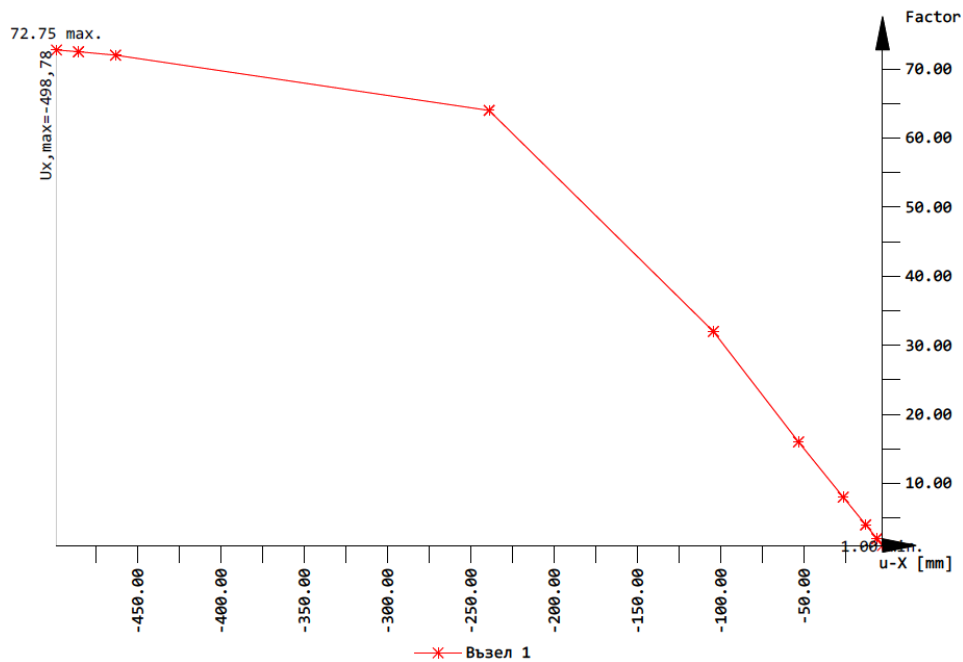


Фактор f=1

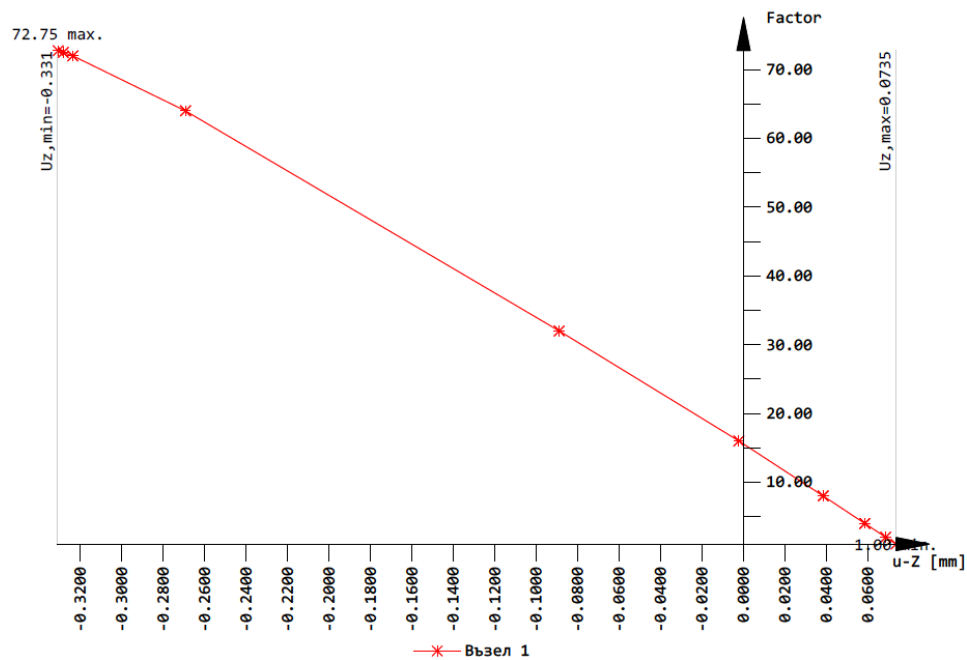


Фиг. 14. Премествания / сила за възел „1“ от стената по „X“ и „Z“, $f = 1,0$

Фактор F=1,5

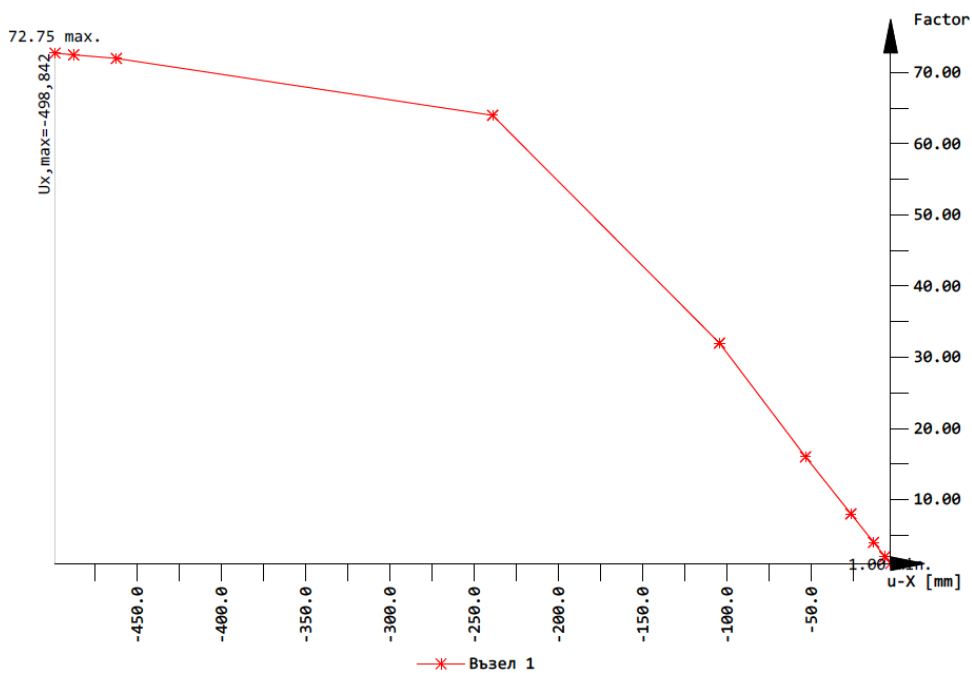


Фактор F=1,5

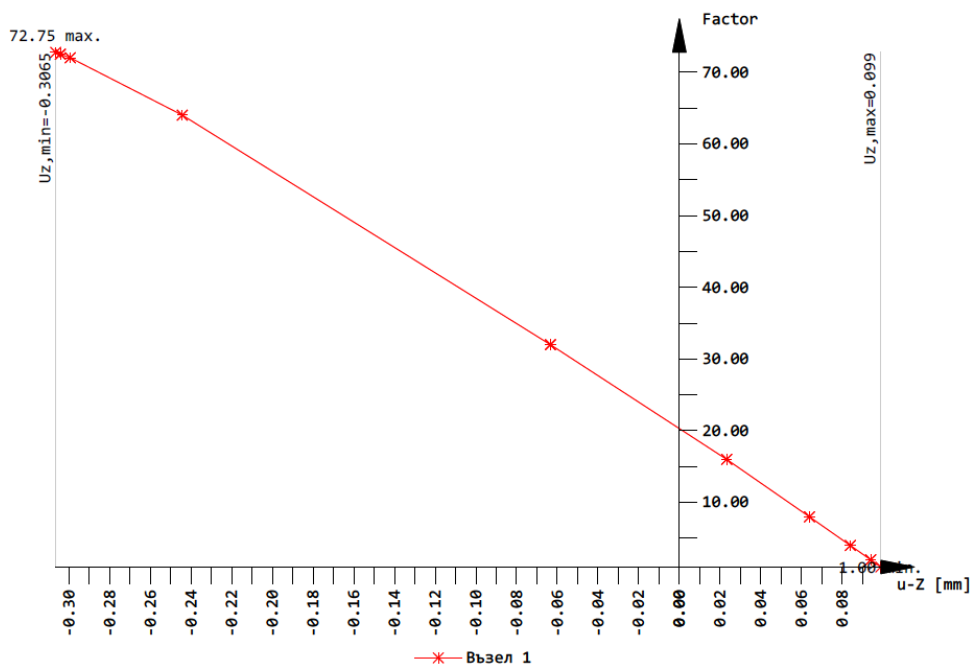


Фиг. 15. Премествания / сила за възел „1“ от стената по „X“ и „Z“, $f = 1,5$

Фактор F=2,0

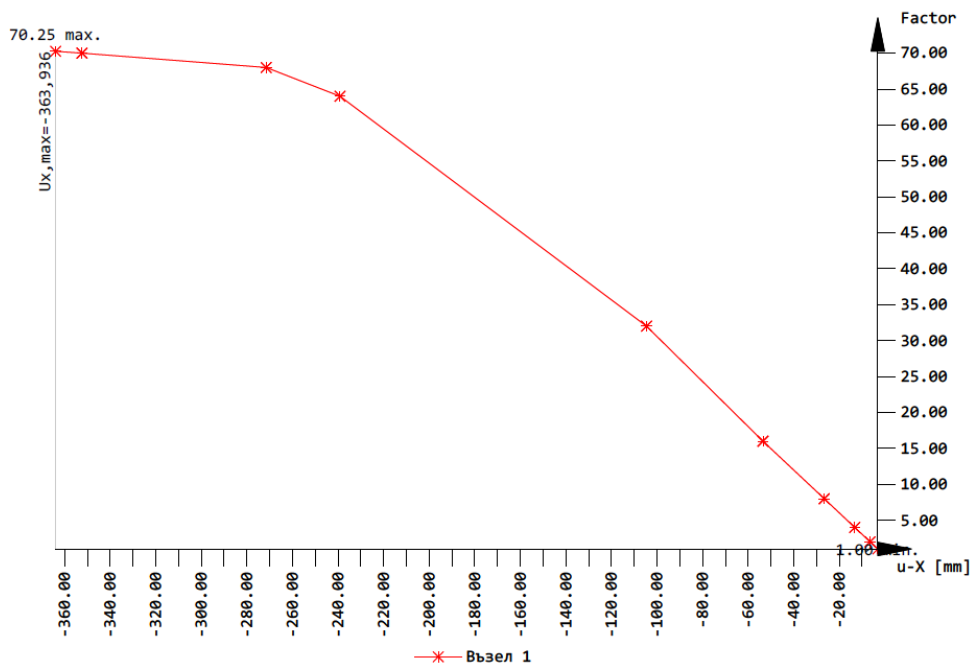


Фактор F=2,0

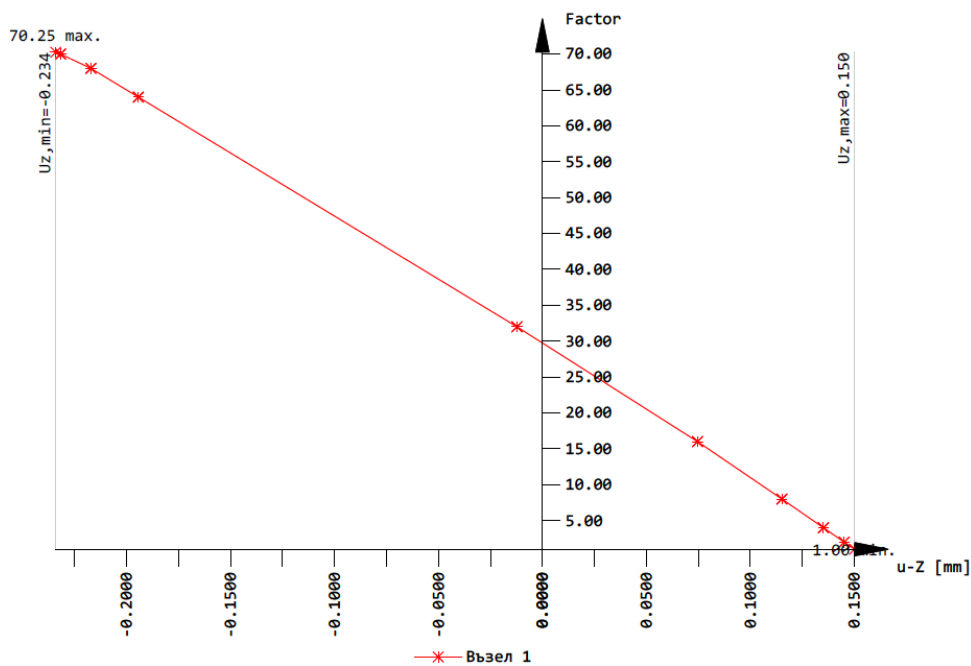


Фиг. 16. Премествания / сила за възел „1“ от стената по „X“ и „Z“, $f = 2,0$

Фактор F=3,0



Фактор F=3,0



Фиг. 17. Премествания / сила за възел „1“ от стената по „X“ и „Z“, $f = 3,0$

При вертикална сила от 15 kN/m² стената се премества $f_{xz,max} = 568,3$ mm, при сила от $F_{x,max} = 73,75$ kN. При увеличаване на вертикалния товар съответно с коефициенти $f = 1,5$, $f = 2$, и $f = 3$, се получават следните резултати:

- $F_{x,max} = 72,75$ kN при $f_{xz,max} = 513,7$ mm;
- $F_{x,max} = 71,75$ kN при $f_{xz,max} = 510,8$ mm;
- $F_{x,max} = 70,25$ kN при $f_{xz,max} = 375,5$ mm.

Може да се заключи, че вертикалната натискова сила редуцира носещата способност, както и че е причина за намаляване на дуктилността на стената. Стената достига граничната си сила при по-малки премествания.

5. Изводи

Така представеното изследване е във връзка с подготовка на натурно експериментално изследване. От проведения нелинеен анализ се установява, каква е кинематиката на стената при комбинация от хоризонтално и вертикално въздействие, както и нейната гранична носимоспособност. Липсата на триене между талпите и стойките е причина за големите вертикални премествания в талпите. Вертикалният товар редуцира граничната носимоспособност и намалява дуктилността на стената, но същевременно вкоравява стената, за която вертикалният товар действа като предварително налягане. В крайно гранично състояние зоните с контактен натиск на талпите към долната греда са с дължина в диапазона 5 ÷ 10 cm, а при стълбовете 10 ÷ 15 cm. В контактната зона на дърводелските сглобки се формират пластични стави, обусловени от смачквания в дървесината перпендикулярно на влакната.

6. Благодарности

Настоящата научноизследователска разработка по договор Д-101/2017 г. е подкрепена финансово от Център за научни изследвания и проектиране при УАСГ.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Descamps, T., Léoskool, L., Parys, L. Van, Noël, J., Aira, R.* Sensitivity of timber hyperstatic frames to the stiffness of step and ridge joints, WCTE 2014 – World Conf. Timber Eng., 2014.
2. *Porteous, J., Kermani, A.* Structural timber design to Eurocode 5. Oxford, UK: Blackwell Science Ltd, 2007.
3. *Tsai, P., Ayala, D. D., Lewis, G.* Finite element modelling of Dieh-Dou buildings in Taiwan, в Structural Analysis of Historical Constructions, 2006.
4. *Branco, J. M., Descamps, T.* Analysis and strengthening of carpentry joints. Constr. Build. Mater., том 97, с-ци 34–47, окт. 2015.
5. БДС EN 1995, Еврокод 5. Проектиране на дървени конструкции. Част 1-1: Основни положения. Основни правила и правила за сгради. 2005, с 125.
6. *Blass, H. J., Görlacher, R.* Compression perpendicular to the grain, в 8th World Conference on Timber Engineering, Vol. 2, 2004, с-ци 435–440.

7. *Hassan Ali, K., Hussain, T., Kamali, A.* Compression perpendicular to grain in timber – Bearing strength for a sill plate, Linnaeus University, Sweden, 2014.
8. БДС EN 408:2010+A1:2012. Дървени конструкции. Строителен дървен материал и слепен слоест дървен материал. Определяне на някои физични и механични свойства. 2012, с 40.
9. БДС EN 1995-1-1:2005/NA:2012, Еврокод 5. Проектиране на дървени конструкции – Част 1-1: Общи правила за сгради – Национално приложение (NA). БИС, 2012.
10. *Basta, C. T., Gupta, R., Leichti, R. J., Sinha, A.* Characterizing perpendicular-to-grain compression (C) behavior in wood construction. *Holzforschung*, том 65, бр 6, с-ци 845–853, 2011.
11. *Feio, A., Lourenco, P., Machado, J.* Structural behaviour of traditional mortise-and-tenon timber joints. *Wood Cult.*, 2008.
12. *Naderer, E., Franke, S., Franke, B.* Numerical simulation of reinforced timber structures perpendicular to the grain, Proc. WCTE 2016 World Conf. Timber Eng. Vienna / Austria, August 22-25, 2016.

NUMERICAL ANALYSIS OF POST-AND-PLANK TIMBER WALLS TYPICAL FOR THE KOTEL REGION TAKING INTO ACCOUNT THE STIFFNESS OF THE CARPENTRY JOINTS

V. Tanev¹, P. Grueva²

***Keywords:** post-and-plank timber walls, numerical nonlinear research, stiffness of carpentry joints, vertical load versus horizontal load-bearing capacity comparison*

ABSTRACT

The paper presents the typical details of post-and-plank timber wall and their contribution to the stiffness and load-bearing capacity. Carpentry joints are specific for the modern engineering modelling and design. The prerequisites for creating a computational model of a typical post-and-plank wall are discussed. Three models have been compiled, with different receptions for the contact zones. The results for the ultimate horizontal force and displacement at constant vertical load are compared. The value of the vertical load is then increased to account for its effect on the load-bearing capacity of the wall structure.

¹ Vatyu Tanev, Assoc. Prof. Dr. Eng., Dept. “Steel, Timber and Structural Composites”, UACEG, 1 H. Smirnenski Blvd., Sofia 1046, e-mail: Tanev_fce@uacg.bg

² Petia Grueva, Eng. PhD student, Dept. “Steel, Timber and Structural Composites”, UACEG, 1 H. Smirnenski Blvd., Sofia 1046, e-mail: ptaleva@gmail.com