

ЕЛАБОРАТ ТЕХНИЧКОГ РЕШЕЊА
„НОВА МЕТОДА ЗА ОСИГУРАЊЕ МАШИНЕ И ЊЕНЕ ЗАШТИТЕ ПРИ ПРЕВРТАЊУ -
ROPS (Roll Over Protective Structures)”

Аутори техничког решења:

1. др Миломир Гашић, ред. проф.
2. др Миле Савковић, ванр. проф.
3. мр Горан Марковић, асистент
4. мр Небојша Здравковић, асистент

Техничко решење је развијено у оквиру пројекта „Истраживање, развој и примена метода и поступака испитивања, контролисања и сертификација машина и уређаја грађевинске и транспортне механизације”, евиденциони број ТД-7068А, реализованог у периоду 2005-2007. године.

Реализатор истраживања: Машински факултет Краљево
Корисник техничког решења: ИМК 14. октобар Крушевац АД Институт
Почетак примене техничког решења: јануар 2009. године
Област технике на које се односи техничко решење: сертификација машина и уређаја

1. КРАТАК ОПИС И ЦИЉ

Савремено грађевинарство не може се замислити без машина, које у свим областима све више потискују и замењују мануелни рад. Са порастом броја грађевинских машина у раду, јавља се и пораст укупног броја несрећних случајева, мада је, захваљујући развоју и усавршавању ових машина, релативни број несрећних случајева ипак у опадању.

Због релативно малих брзина кретања мобилних грађевинских машина, као и робусне конструкције, ретка су оштећења машине или повреде руковаоца при класичном чеоном судару или удару у препреку. Практично једини несрећни случај са најчешће трагичним последицама је превртање машине.

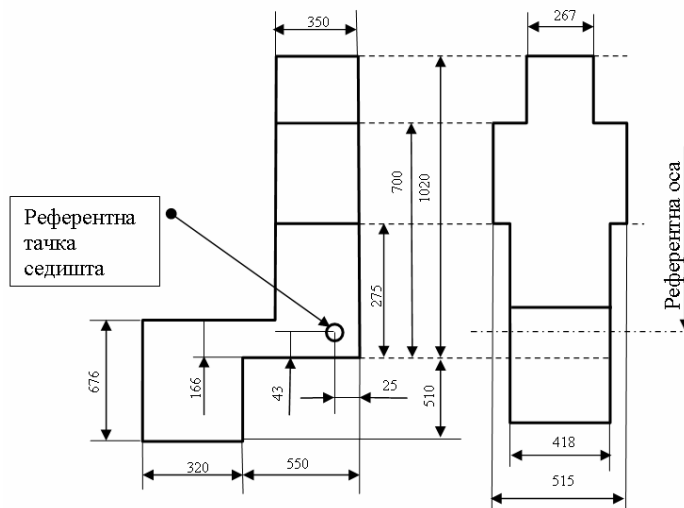
У колико не постоји сигурносна кабина или заштитни рам, способан да издржи удар о тле, као и оптерећење од сопствене тежине преврнуте машине, кабина бива при превртању потпуно уништена, а руковаоц готово без икаквог изгледа да остане у животу. Том приликом само грађевинска машина остаје готово неоштећена, чак у тој мери да се приликом увиђаја лако може доказати њена исправност.

Далеко већи број несрећних случајева приликом превртања дешава се код пољопривредних трактора, нарочито када се користе за рад на неравним, односно нагнутим теренима или пределима избразданим каналима за наводњавање.

Спроведена истраживања у САД показала су забрињавајуће резултате у погледу смртности при превртању пољопривредних трактора који нису имали заштитни рам или кабину.

Већина прописа који се односе на сигурносне рамове и кабине код грађевинских машина појавила се у САД-у. Заправо, ради се о стандардима који обухватају заштитне конструкције код грађевинских машина и то:

- ISO 2471 - Конструкције за заштиту приликом превртања машине – ROPS (Roll-over protective structures)
- ISO 3164 –Дефинисање заштитне зоне – DLV (Deflection limiting volume) (слика 1)



Слика 1 Заштитна зона (DLV)

2. ДЕТАЉАН ОПИС ТЕХНИЧКОГ РЕШЕЊА

Заштитна конструкција (сигурносни рам или кабина) према стандарди ISO 3471, која може да буде или сигурносна кабина или само сигурносни рам, треба да обезбеди руковаоце од пригњечења у случају превртања машине, уколико руковаоц остане у седишту причвршћен сигурносним појасевима. Предвиђена статичка лабораторијска испитивања су адекватна за случај бочног превртања при брзини од 0-16 km/h. При овоме не сме да дође до задирања, било рамова заштитне конструкције, било делова тла у заштитну зону. Овај стандард се односи на:

- дозере (гусеничаре и точкаше);
- утовариваче (гусеничаре и точкаше);
- ваљке, скрепере;
- зглобне дампере и дампере са крутом шасијом.

Код ових машина, за разлику од пољопривредних трактора, разматра се само бочно превртање (око уздужне осе машине), јер се сматра да радни уређај у оваквом случају онемогућава превртање око попречне осе. Иако је стварно оптерећење при превртању динамичко (у ствари ударно), код грађевинских машина за сада предвиђа само статичко испитивање, уз постизање прописане минималне силе.

Статичка испитивања обухватају две фазе:

- бочно оптерећење горњег дела сигурносног рама (или кабине), при чему бочна сила и апсорбована енергија морају да достигну или пређу вредности дефинисане у табели Т. 1
- вертикално оптерећење једнако највећој декларисаној маси машине.

У табели Т.1 су:

m (kg) - највећа маса машине спремне за рад са пуним резервоаром горива;

F_b (N) - бочно оптерећење;

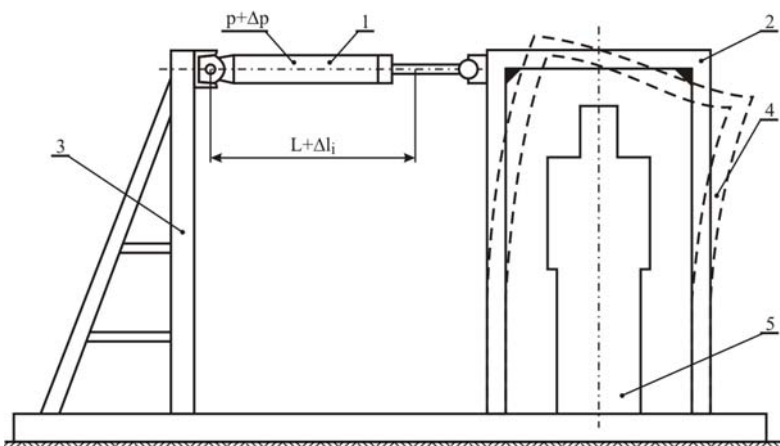
E (J) - апсорбована енергија.

Табела .1

Врста машине	Бочно оптерећење F_b (N)	Апсорбована енергија E (J)
Утоваривачи и дозери точкаши	$60000 \left(\frac{m}{10000} \right)^{1,2}$	$12500 \left(\frac{m}{10000} \right)^{1,25}$
Утоваривачи и трактори гусеничари	$70000 \left(\frac{m}{10000} \right)^{1,2}$	$13000 \left(\frac{m}{10000} \right)^{1,25}$
Грејдери	$70000 \left(\frac{m}{10000} \right)^{1,1}$	$15500 \left(\frac{m}{10000} \right)^{1,25}$

2.1. Лабораторијско постројење за испитивање заштитне конструкције

Лабораторијско постројење за испитивање заштитних конструкција (сигурносних рамова и кабина) индустрије "14 Октобар-Крушевац" шематски је приказан на сл. 2.

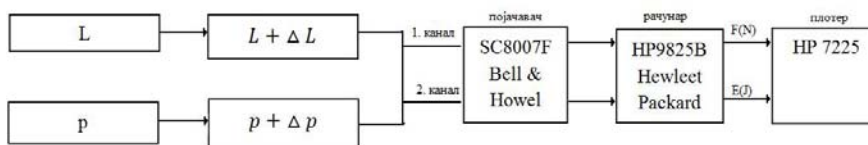


Сл.2 Шема лабораторијског постројења за испитивање заштитних конструкција Индустрије "14 Октобар" Крушевац

На слици 2 означене су следеће позиције и области:

1. Хидроцилиндар за остварање силе
2. Испитивани заштитни рам (пре дејства силе)
3. Носећа конструкција постројења за испитивање
4. Деформисани заштитни рам
5. Заштитна зона руковаоца

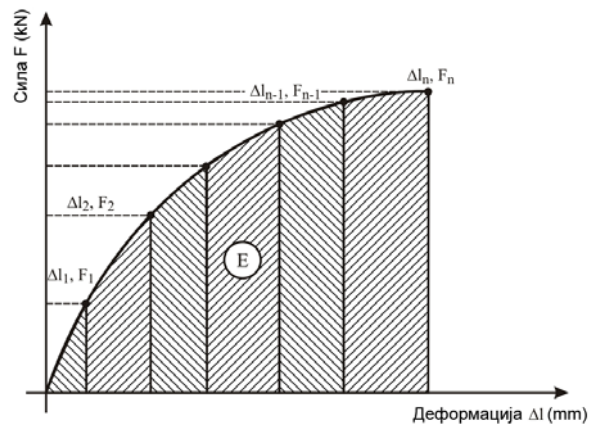
Блок шема мерне опреме за регистровање деформација ΔL и притисне силе приказана је на сл. 3.



сл. 3 Блок шема мерне опреме

Вредности силе F (kN) уносе се на дијаграм у зависности од хода Δl (mm), а површина испод тако добијене криве (сл. 4) представља апсорбовану енергију E (J):

$$E = \frac{\Delta l_1 F_1}{2} + (\Delta l_2 - \Delta l_1) \frac{F_1 + F_2}{2} + \dots + (\Delta l_n - \Delta l_{n-1}) \frac{F_{n-1} + F_n}{2} \dots$$



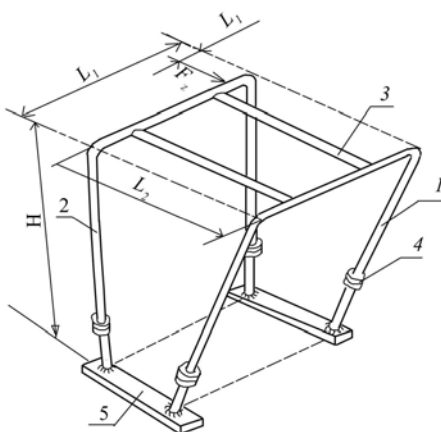
Сл.4 Дијаграм силе у зависности од деформације при бочном оштерењу

На слици 5 је приказан пример испитивања заштитне кабине у лабораторијским условима.



Сл.5 Приказ испитивања заштитне кабине у лабораторијским условима

Код грађевинских машина са зглобном шасијом, као што је то случај са универзалним зглобним тракторима масе испод 5000kg, заштитни рам се изводи од два оквира (предњег и задњег), најчешће израђених од цеви одређеног пречника и квалитета челика (сл.6).

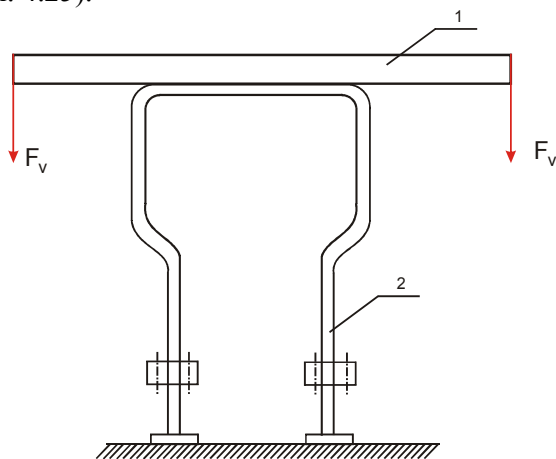


На слици 6 су:

- 1- предњи оквир;
- 2- задњи оквир;
- 3- спојна цев;
- 4- плоче за везивање;
- 5- ослонци.

Сл.6 Сигурносни рам састављен од цеви

Оптерећење у хоризонталној равни се остварује бочном силом F_6 а са задње стране силом F_v . Вертикално оптерећење једног од оквира се остварује крутом треверзом са силама на крајевима треверзе F_v (сл. 4.25).



Сл.7 Шема оптерећења сигурносног рама вертикалним силама

На сл. 7 су:

- 1- крута треверза;
- 2- задњи оквир сигурносног рама.

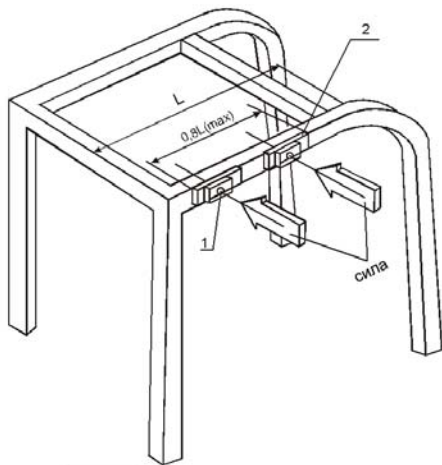
Као показатељ квалитета сигурносног рама служи безбедносни простор руковаоца који при испитивању не сме бити повређен.

Безбедносни простор се прави од лима или од жице дебљине 64mm и као такав се убацује у испитивани рам (сл. 7).

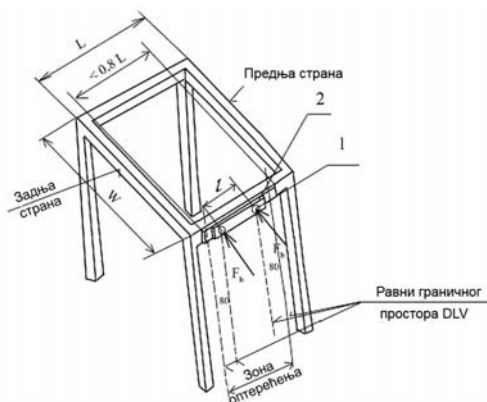
Код грађевинских машина већих маса заштитни рамови се изграђују са четири стуба од цеви кутијастог попречног пресека. Места дејства хоризонталних сила са бочне стране рама приказане су на сл. 8 и 9.

Брзина деформисања структуре мора бити таква да се оптерећење може сматрати статичким, односно брзина деформисања у тачки дејства мора бити мања од 5mm/s.

На сл.8 и 9, места дејства оптерећења су означена са 1, а са 2 је означен расподељивач оптерећења.

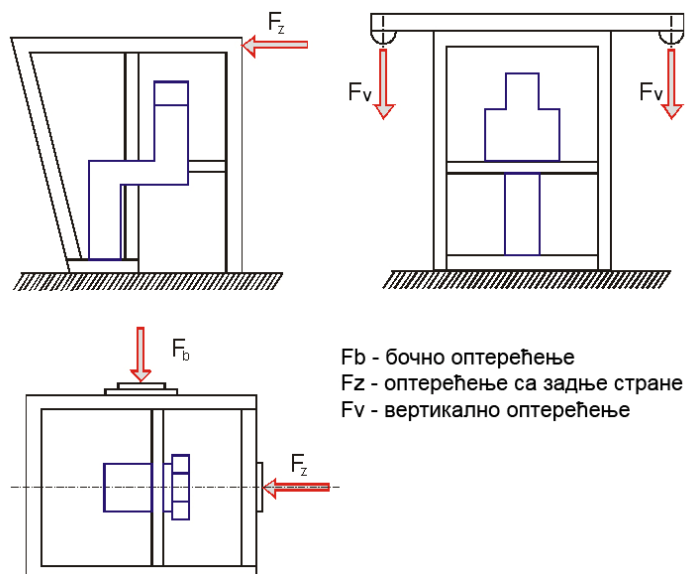


Сл.8 Тачке дејства бочних сила са рамовима са лучним стубовима



Сл.9 Тачке дејства хоризонталних сила у бочном правцу код заштитних рамова са четири стуба

Место и правци дејства оптерећења при бочном (F_b) и вертикалном (F_v) и оптерећењу са задњих страна кабине приказани су на сл. 10. Пре дејства оптерећења наведеним силама, заштитна кабина се причвршћује за стенод на којем се врши испитивање. Поступак се спроводи тако што се дефинисаним силама прво врши бочно оптерећење, па затим оптерећење са задње стране. Деформисани облик стубова сигурносне кабине не сме да повреди унутрашњи заштитни простор руковаоца.



Сл. 10 Места и правци дејства оптерећења на заштитну кабину

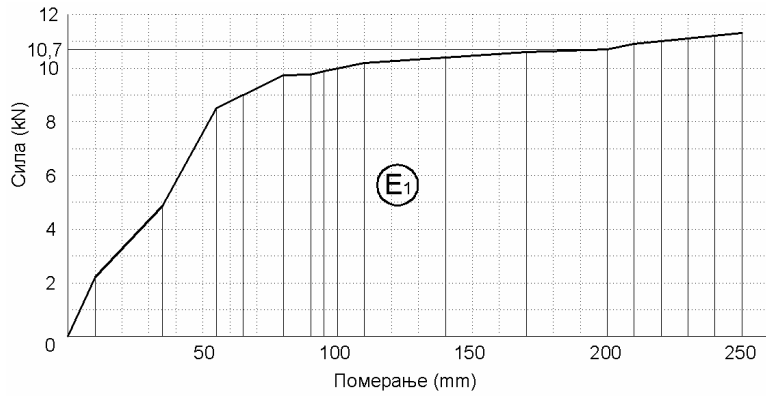
2.2. Експериментални резултати испитивања

2.2.1. Заштитни рам универзалног зглобног трактора УЗТ-24

У заштитни оквир (сл. 6) постављена је силуета (сл. 1), која представља безбедносни простор руковаоца и после тога извршено је оптерећење оквира. Резултати испитивања при оптерећењу хоризонталним силама као и померања дати су у табели Т. 2 и графику сл. 11, односно табели Т.3 и слици 12.

Табела 2

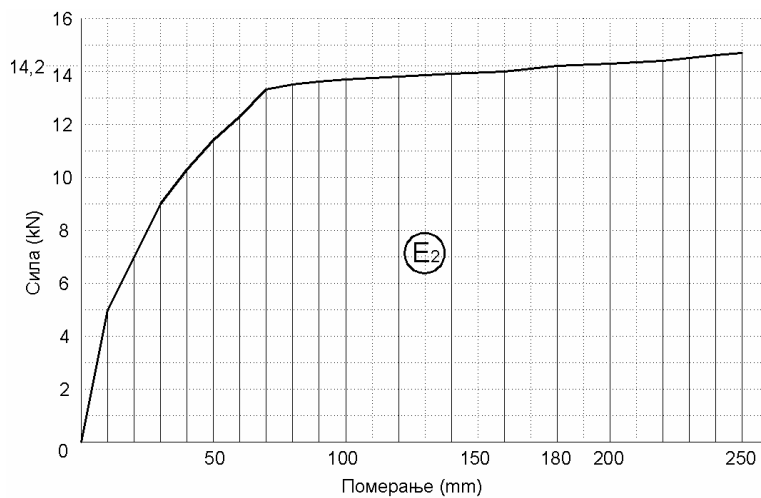
Р.бр. мерења	Сила (kN)	Ход цилиндра (mm)	Апсорбована енергија E_1 (J)	
1	0	0	0	
2	2,21	10	11,05	11,05
3	4,87	35	88,50	99,55
4	8,52	55	133,90	233,45
5	9	65	87,60	321,05
6	9,74	80	140,55	461,60
7	9,76	90	97,50	559,10
8	9,90	95	49,15	608,25
9	10,00	100	49,75	658,00
10	10,20	110	101,00	759,00
11	10,40	140	309,00	1068,00
12	10,60	170	315,00	1383,00
13	10,70	200	319,50	1702,50
14	10,90	210	108,00	1810,50
15	11,00	220	109,50	1920,00
16	11,10	230	110,50	2030,50
17	11,20	240	111,50	2142,00
18	11,30	250	112,50	2254,50



Сл. 11 Дијаграм силе - деформација за одређивање ајсорбоване енергије E_1

Табела 3

Р. бр. мерења	Сила (kN)	Ход цилиндра (mm)	Апсорбована енергија E_2 (kN mm)	
1	0	0	0	
2	5,0	10	25	25
3	7,0	20	60	85
4	9,0	30	80	165
5	10,3	40	96,5	261,5
6	11,4	50	108,5	370
7	12,3	60	118,5	488,5
8	13,3	70	128,05	616,55
9	13,5	80	134,05	750,60
10	13,6	90	135,50	886,1
11	13,7	100	136,50	1022,60
12	13,8	120	275	1297,6
13	13,9	140	277	1547,6
14	14,0	160	279	1853,60
15	14,2	180	282	2135,60
16	14,3	200	285	2420,60
17	14,4	220	287	2707,60
18	14,5	230	144,50	2852,10
19	14,6	240	145,50	2997,60
20	14,7	250	146,50	3144,10



Сл. 12 Дијаграм силе - деформација за одређивање ајсорбоване енергије E_2

2.2.2. Заштитни рам кабине за комбиновани вибро јез KVVJ-13

У заштитни рам кабине за KVVJ-13 постављена је силуета која представља безбедносни простор руковаоца и после тога извршено је оптерећење рама. Резултати испитивања као и померања при дејству бочне силе дати су у табели Т.4 и графику на сл. 13, а у табели Т.5 и графику на сл. 14 су дати резултати при дејству подужне силе.

Максимална бочна сила којом треба оптеретити рам, сагласно стандарду EN 13531, добија се из израза

$$F_b = 70000 \left(\frac{m}{10000} \right)^{1,2} \text{ (J)}$$

После замене $m=12500$ kg, добија се:

$$F_b = 70000 \left(\frac{12500}{10000} \right)^{1,2} = 91493 \text{ N}$$

Подужно оптерећење F_z које заштитни рам треба да издржи а да при томе не дође до повреде заштитног простора се одређује из израза:

$$F_z = 40000 \left(\frac{m}{10000} \right)^{1,2} \text{ (N)}$$

После замене $m=12500$ kg, добија се:

$$F_z = 40000 \left(\frac{12500}{10000} \right)^{1,2} = 52282 \text{ N}$$

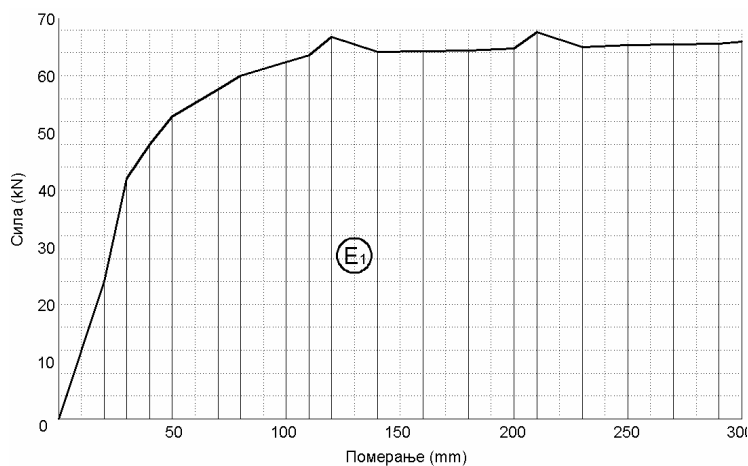
Апсорбована енергија коју рам треба да прими, сагласно табели Т.1 износи:

$$E = 13000 \left(\frac{m}{10000} \right)^{1,25} = 13000 \left(\frac{12500}{10000} \right)^{1,25} = 17182 \text{ J}$$

Испитивањем заштитног рама силом F_z , која има правац дејства који се поклапа са правцем кретања машине, се може проверити сигурност заштитног рама при превртању машине, при чему не сме доћи до повреде заштитне зоне руковаоца.

Табела 4

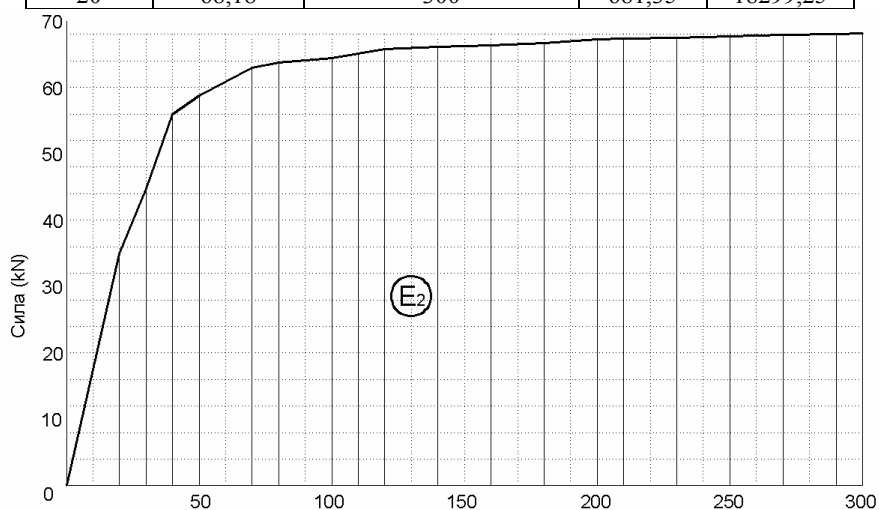
Р. бр.	Сила F_b (kN)	Ход клирњаче Δl (mm)	Апсорбована енергија E_1 (J)	
1	0	0	0	
2	20	20	240	240
3	35	30	330	570
4	40	40	450	1020
5	44	50	504	1524
6	48	70	1104	2628
7	50	80	588	3216
8	52	100	1224	4440
9	53	110	630	5070
10	53,4	120	652	5722
11	53,5	140	1309,50	7031,5
12	53,6	160	1285,20	8316,70
13	53,7	180	1287,60	9604,30
14	54	200	1292,40	10896,70
15	54,1	210	662	11558,70
16	54,2	230	1326,65	12885,35
17	54,5	250	1304,40	14189,75
18	54,6	270	1309,50	15499,25
19	54,7	290	1311,60	16810,85
20	55	300	658,20	17469,05



Сл. 13 Дијаграм сила – деформација за одређивање апсорбоване енергије ($Fb - \Delta l$)

Tabela 5

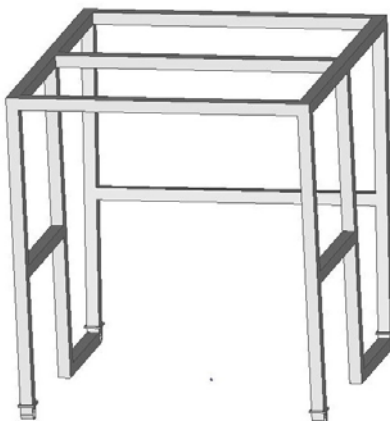
Р. бр.	Сила (kN)	Ход цилиндра (mm)	Апсорбована енергија E_2 (J)	
1	0	0	0	
2	35	20	350	350
3	44,8	30	399	749
4	56	40	504	1253
5	58,8	50	574	1827
6	63	70	1218	3045
7	63,7	80	633,50	3678,50
8	64,4	100	1281	4959,50
9	65,1	110	647,50	5607
10	65,8	120	654,50	6261,50
11	66,08	140	1318,80	7580,30
12	66,36	160	1324,40	8904,70
13	66,64	180	1330	10234,70
14	67,2	200	1338,40	11573,10
15	67,34	210	672,70	12200,80
16	67,48	230	1348,20	13549
17	67,76	250	1352,40	14901,40
18	67,9	270	1356,60	16258
19	68,04	290	1359,90	17617,90
20	68,18	300	681,35	18299,25



Сл. 14 Дијаграм сила – деформација за одређивање апсорбоване енергије ($Fz - \Delta l$)

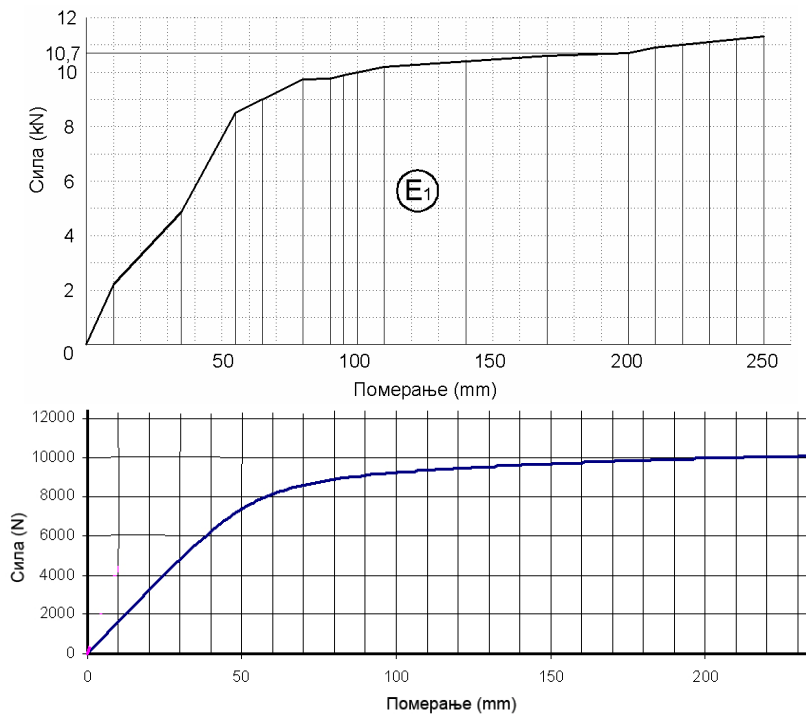
3. ИСПИТИВАЊЕ НОВОМ МЕТОДОМ

Анализирана су два рама различитих облика и то: рам од цеви димензија $\text{Ø}44.5 \times 3.6 \text{ mm}$ (сл. 6) и рам од кутијастих профила димензија $60 \times 60 \times 4 \text{ mm}$ (сл. 15). Модели коначних елемената креирани су у програму FEMAP. За дате случајеве оптерећења урађени су прорачуни методом коначних елемената са проширењем програма PAKS.

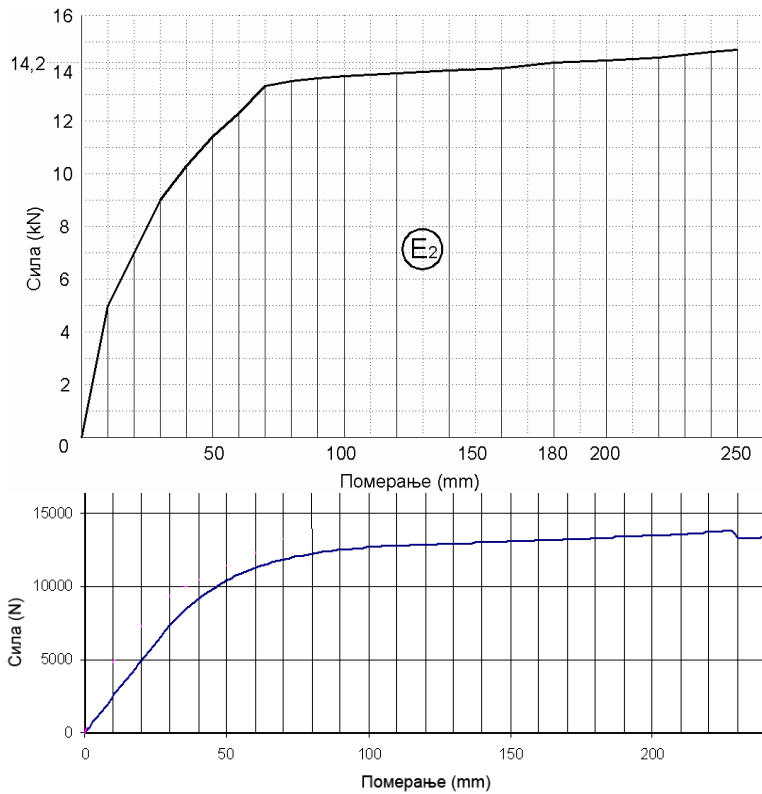


Слика 15 Модел рама од кутијастих профила

Графици упоредних вредности апсорбованих енергија добијених експерименталним путем и применом проширене верзије програма PAKS, за бочно оптерећење рама UZT-24, приказани су на слици 16 а за подужно оптерећење на слици 17.

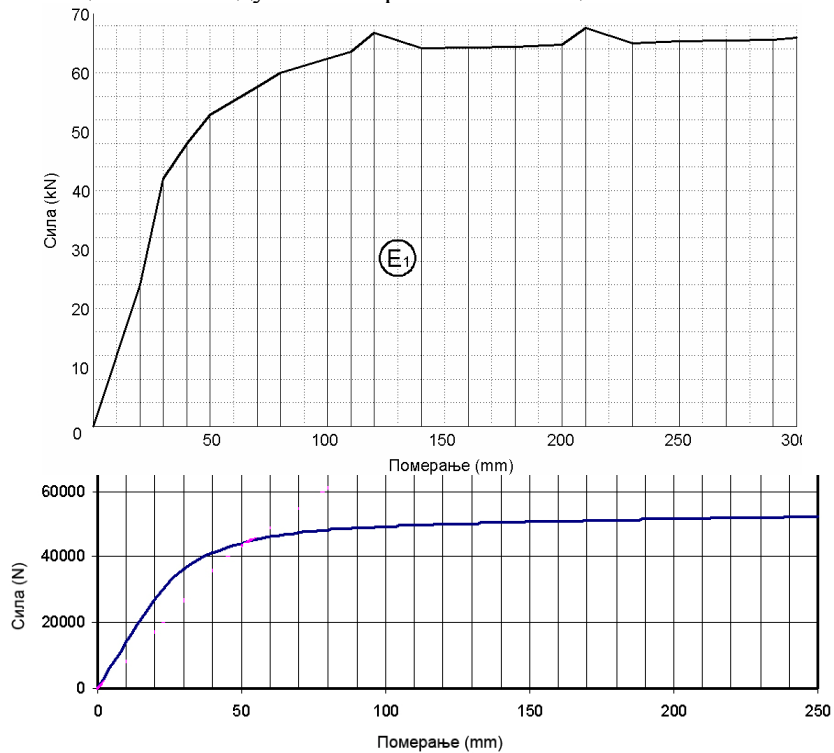


Слика 16 Графици упоредних вредности експерименталних резултата и резултата добијених МКЕ за бочно оптерећење рама UZT-24

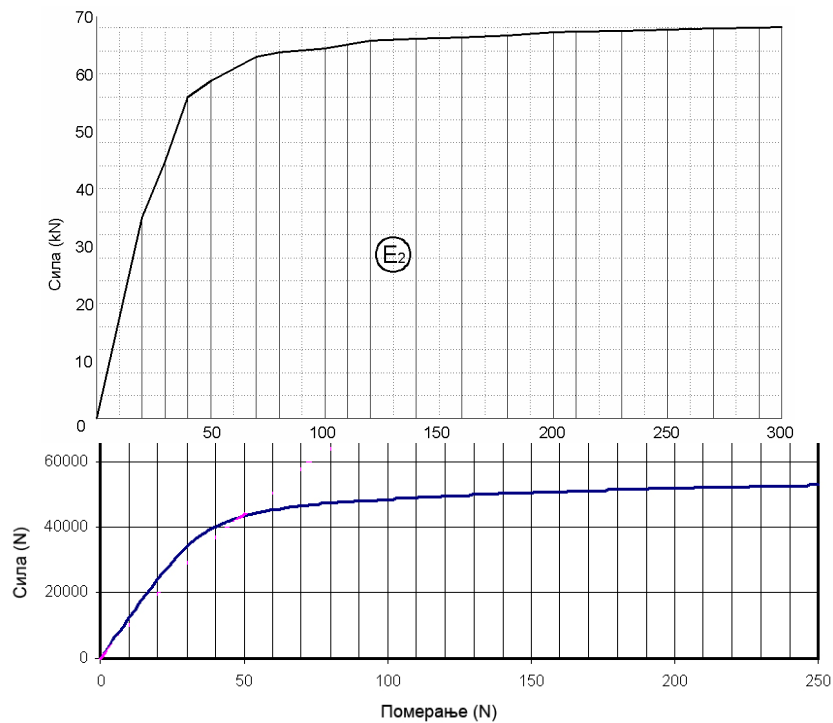


Слика 17 Графици упоредних вредности експерименталних резултата и резултата добијених МКЕ за подужно оптерећење рама UZT-24

Графици упоредних вредности апсорбованих енергија добијених експерименталним путем и применом проширене верзије програма PAKS, за бочно оптерећење рама KV-13J, приказани су на слици 18 а за подужно оптерећење на слици 19.



Слика 18 Графици упоредних вредности експерименталних резултата и резултата добијених МКЕ за бочно оптерећење рама KV-13J



Слика 19 Графици упоредних вредности експерименталних резултата и резултата добијених МКЕ за подужно оптерећење рама KV-13J

Упоредна анализа вредности апсорбованих енергија које су добијене експерименталним путем и применом нове методе показује високу подударност тих вредности, чиме се потврђује ваљаност развијеног новог решења за проверу конструкције за заштиту приликом превртања машине – ROPS (Roll-over protective structures).