



ИЗВЕШТАЈ О ИСПИТИВАЊУ
ДАМПЕРА АПСОРБЕРА СЕИЗМИЧКЕ
ЕНЕРГИЈЕ СИСТЕМА ДЦ90

бр. 107/06-03-02

Корисник:	“СИСТЕМ ДЦ90”, 11000 Београд, Веле Нигринове 1		
Захтев корисника:	ВТИ бр. 08/3606-1 од 16.12.2011. године		
Узорак:	Дампер HQ Royal		
Начин узорковања:	Узорковао корисник:	Узорковала Лабораторија по:	
	да	не	
Датум пријема узорка:	16.12.2011. године		
Метода испитивања:	Динамичка испитивања		
Услови околине:			
Испитна опрема:	сервохидрауличка кидалица MTS		
Мерна опрема:			
Мерна несигурност:			
Време испитивања:	(од 16.12. до 26.12. 2011. год.)		

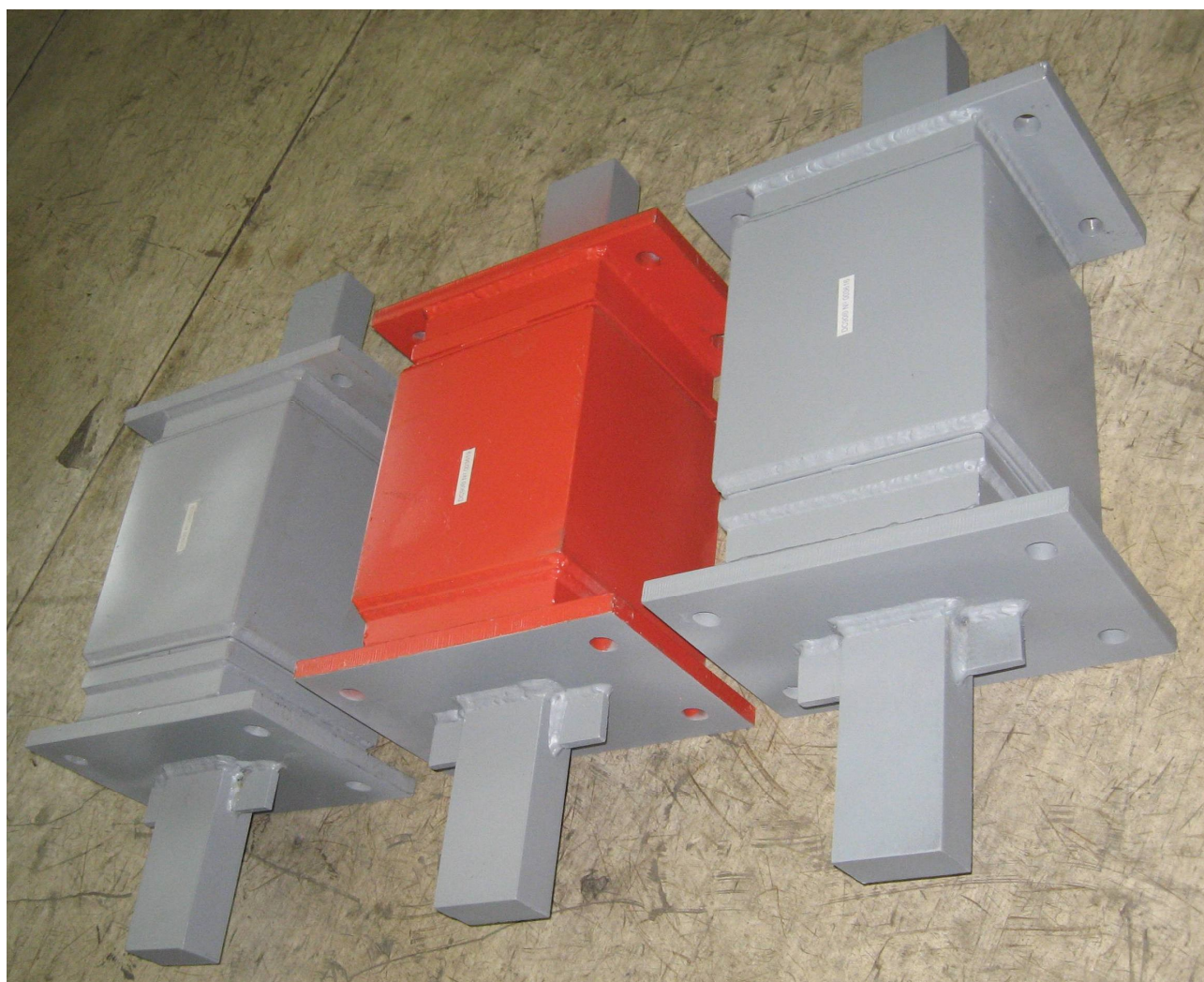
САДРЖАЈ:

	Страна
1 ДОСТАВЉЕНИ УЗОРЦИ	2
2 ЗАХТЕВ НАРУЧИОЦА	2
3 ПОСТУПАК ИСПИТИВАЊА	3
4 УЗОРАК 1	4
4.1 Испитивање	4
4.2 Обрада и анализа резултата испитивања	6
4.3 Постколапно испитивање дампера	11
5 УЗОРАК 2.....	17
5.1 Испитивање	17
5.2 Обрада и анализа резултата испитивања	18
6 УЗОРАК 3.....	24
6.1 Испитивање	24
6.2 Обрада и анализа резултата испитивања	25
7 ПОРЕЂЕЊЕ РЕЗУЛТАТА ИСПИТАНИХ УЗОРАКА	30
8 ЗАКЉУЧАК О ДАМПЕРУ HQ Royal	32

	ИЗРАДИО	ПРЕГЛЕДАО	ОДОБРИО
Функција	Руководилац пројекта	Руководилац лабораторије	Начелник сектора 06
Име и презиме	Драгутин Георгијевић, дипл. инж.	Раде Коњикушић, дипл. инж.	Војислав Девећ, дипл. инж.
Потпис			

1. ДОСТАВЉЕНИ УЗОРЦИ

Наручилац посла је за испитивање доставио дампере – апсорбере сеизмичке енергије HQ Royal Система ДЦ 90. Изглед достављених узорака дат је на слици 1.



Слика 1 Дампери – апсорбери сеизмичке енергије HQ Royal

2. ЗАХТЕВ НАРУЧИОЦА

Извршити динамичко испитивање дампера – апсорбера сеизмичке енергије HQ Royal Система ДЦ 90 према достављеном Програму за испитивање. Резултати испитивања треба да дају оцену квалитета достављених узорака са аспекта амортизације енергије.

3. ПОСТУПАК ИСПИТИВАЊА

Испитивање је вршено на кидалици сервохидрауличног система MTS, слика 2. Крајеви опитног узорка су стегнути чељустима кидалице за пљоснате узорке, тако да је утицај њихових деформација на резултате мерења практично занемарљив.

Овај систем максималног опсега ± 500 kN, може да ради у контроли:

- силе,
- дилатације и
- хода клипњаче актуатора.



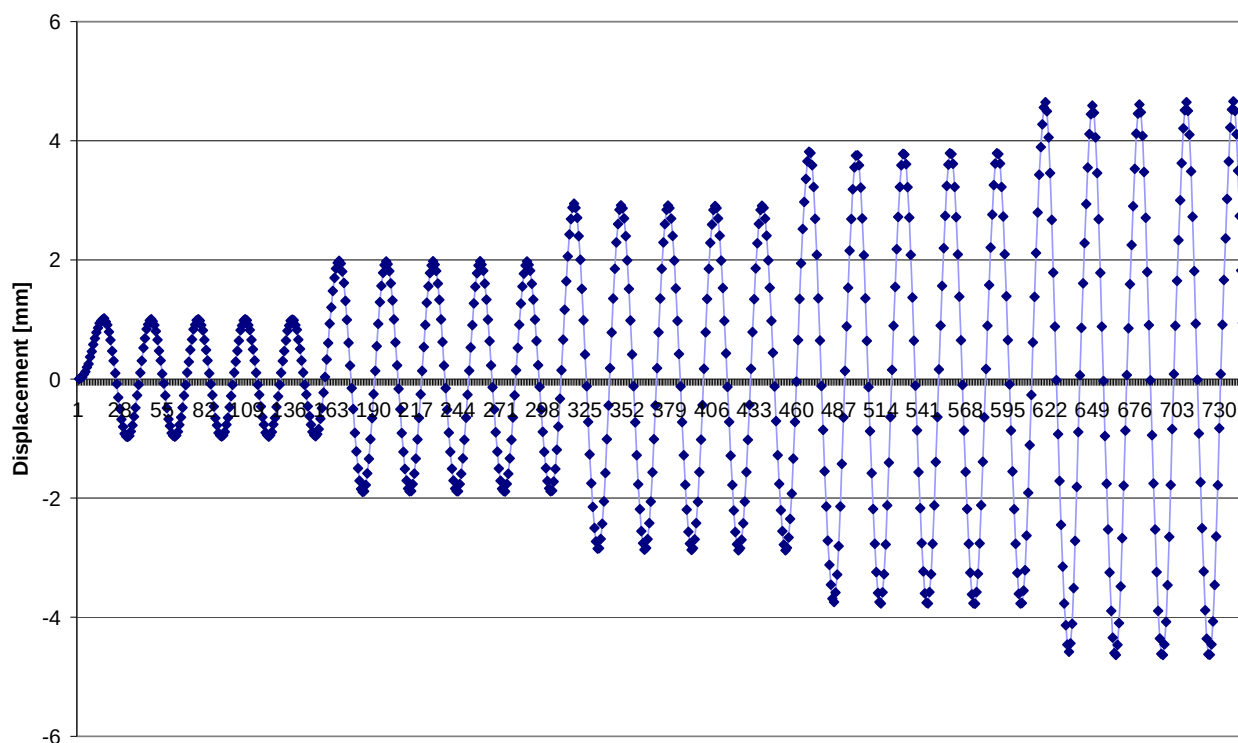
Слика 2 Сервохидраулички систем MTS



Испитивање је рађено у контроли померања клипњаче, што је у овом случају деформација опитног узорка. Унапред дефинисани режим испитивања је унешен у програм PDP рачунара, а синусна промена померања остварена је помоћу генератора функције. Мерене величине (силе и хода актуатора) се са MTS уређаја преко A/D конвертора шаљу на PC рачунар. Обрада података мерења рађена је помоћу програма Microsoft EXCEL.

Испитивање је вршено са фреквенцијом од 1 Hz, а аквизиција података мерења је била 30S/s (сампла – одбирака у секунди) тако да се за један циклус оптерећења при 1 Hz региструје 30 тачака по каналу. Слика 3, која представља кратак сегмент промене деформације узорка, илуструје број тачака аквизиције података мерења.

Због обиља измерених података у извештају се дају само сумарни дијаграми, а изворни подаци и комплетна анализа се дају у електронској форми.



Слика 3 Промене деформације у првих 25 циклуса са тачкама аквизиције података

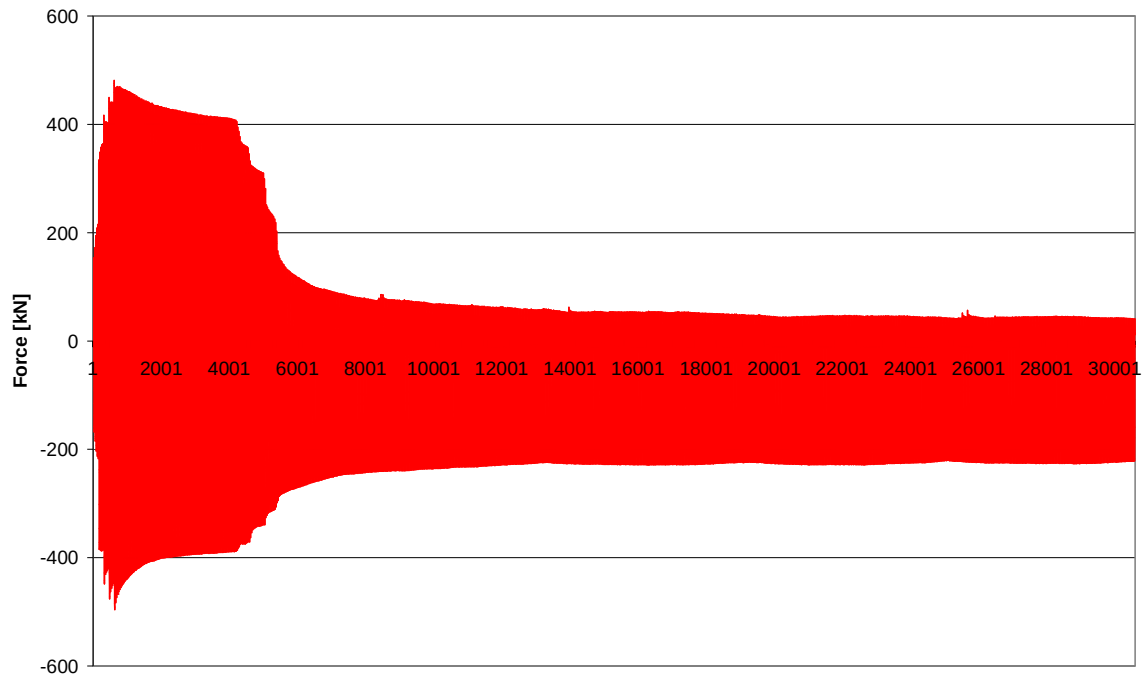
4. УЗОРАК 1

4.1 Испитивање

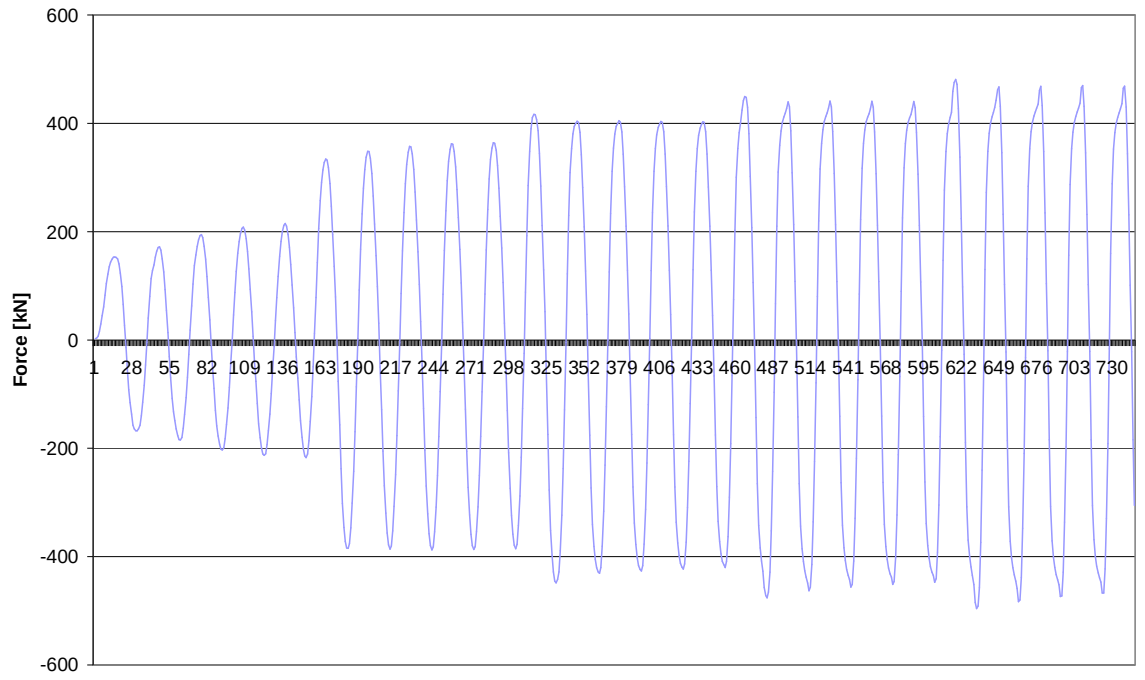
Оптерећење је започето са по пет циклуса са амплитудама деформације од $\pm 1 \text{ mm}$, $\pm 2 \text{ mm}$, $\pm 3 \text{ mm}$ и $\pm 4 \text{ mm}$, а затим је следило 1000 циклуса са амплитудом $\pm 5 \text{ mm}$.

Слика 4 представља комплетну историју промене силе опитног узорка у 1020 циклуса (преко 30000 тачака по каналу), док слика 5 приказује промене силе опитног узорка у првих 25 циклуса.

Иако је после 183. циклуса дошло до деградације дампера, није дошло до потпуне деструкције узорка, који и даље прима оптерећење на притисак. Испитивање је прекинуто после 1020. циклуса.



Слика 4 Историја промене силе у 1020 циклуса



Слика 5 Промене силе у првих 25 циклуса

ИЗВЕШТАЈ О ИСПИТИВАЊУ Дампера HQ Royal	бр. 107	Лист 6 од 32
---	----------------	--------------

4.2 Обрада и анализа резултата испитивања

Резултати испитивања су приказани:

- Максимална/минимална деформација у функцији броја циклуса, слика 6,
- Максимална/минимална сила у функцији броја циклуса, слика 7,
- Сила у функцији деформације (хистерезис), слика 8,
- Апсорбована енергија у функцији броја циклуса, слика 9,
- Хистерезис у првих 25 циклуса, слика 10,
- Хистерезис у циклусима 25 до 140, слика 11,
- Хистерезис у циклусима 140 до 183, слика 12, и
- Хистерезис у циклусима 183 до 1020, слика 13.

При деформацијама ± 1 mm и ± 2 mm сила благо расте, а у циклусима ± 3 mm и ± 4 mm благо опада, слика 5. Максимална сила при ± 5 mm је скоро ± 500 kN (мада је, при задатих ± 5 mm, стварно померање $\pm 4,6$ mm). У следећих 120 циклуса (± 5 mm, до 140. циклуса) сила благо опада до ± 400 kN. На слици 11 види се да је хистерезис доста стабилан и има велику површину, тј. добро амортизује енергију. Од 140. до 183. циклуса долази до деградације дампера, сила значајно опада, нарочито на затезање, на $+ 150$ kN, а на притисак на $- 300$ kN. То се види и на слици 12 где је површина хистерезиса све мања, тј. амотизација енергије је све слабија. На слици 9 види се промена градијента криве енергије. Надаље, до 1020. циклуса сила је опала до коначних $+ 50$ / $- 220$ kN, хистерезис је врло мале површине (слика 13), а дампер прима само оптерећење на притисак.

Акумулирана дилатација

Δl_i	$ \Delta \epsilon_i $	$n_{\text{сус}}$	$\Sigma \Delta \epsilon_i $
mm			
± 1	0.01	5	0.1
± 2	0.02	5	0.2
± 3	0.03	5	0.3
± 4	0.04	5	0.4
± 5	0.05	163	16.3
	Σ	183	17.3

$$|\Delta \epsilon_i| = \left| \frac{\Delta l_i}{l} \right| - \text{аккумулирана дилатација у једном полу-циклусу}$$

где је

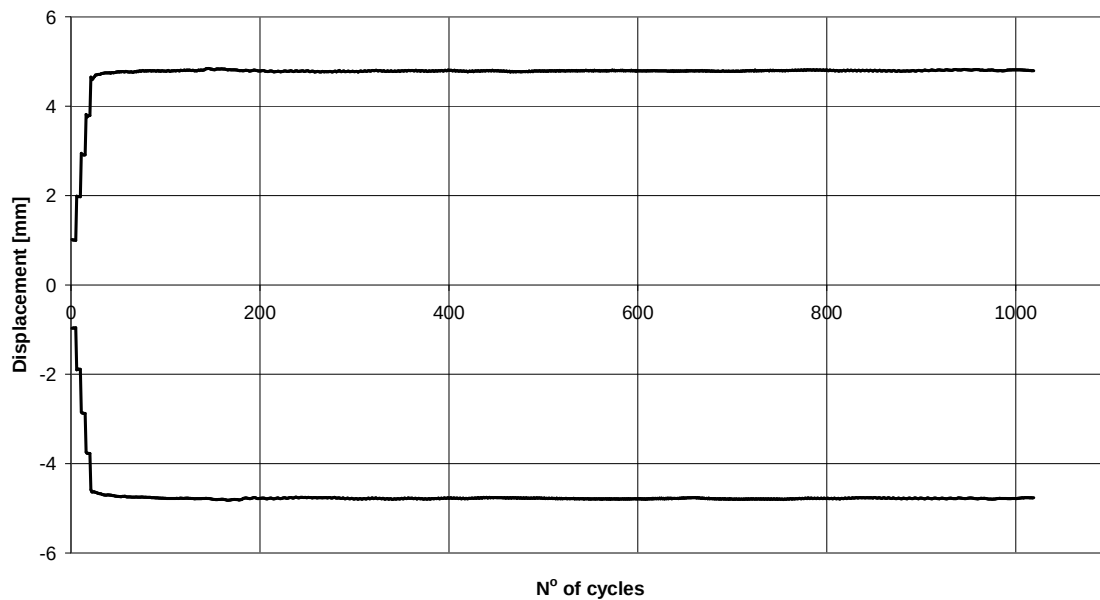
Δl_i – издужење (скраћење) у једном циклусу,

l – дужина опитног узорка где се развија дилатација је 100 mm и

$n_{\text{сус}}$ – број циклуса.

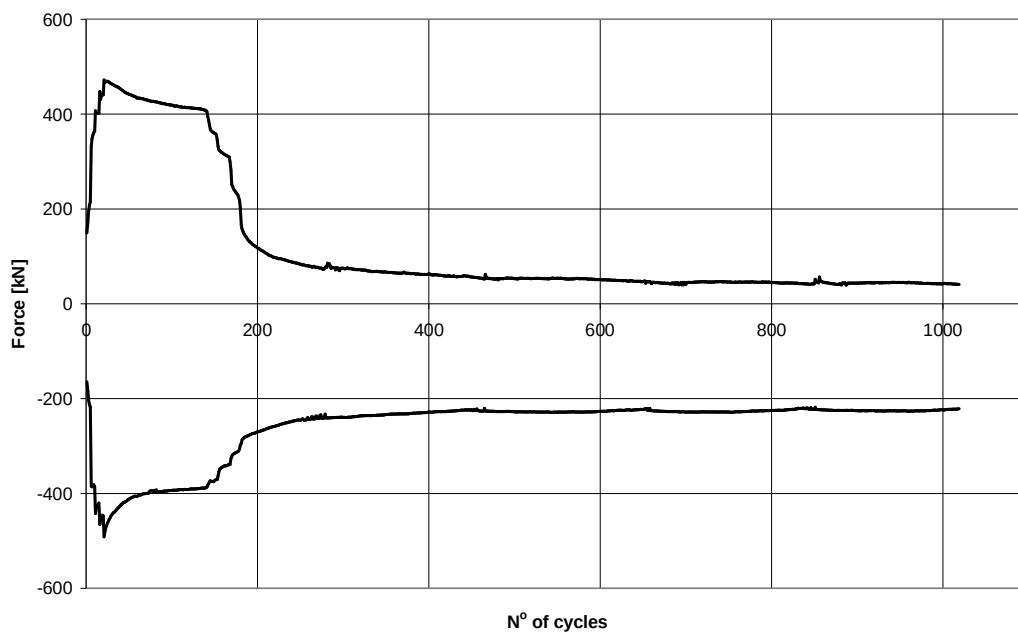
Укупна акумулирана дилатација је 17,3 у 183 циклуса оптерећења на дужини од 100 mm пасје кости Дампера ДЦ 90 типа HQ Royal.

Displacement vs. N° of cycles

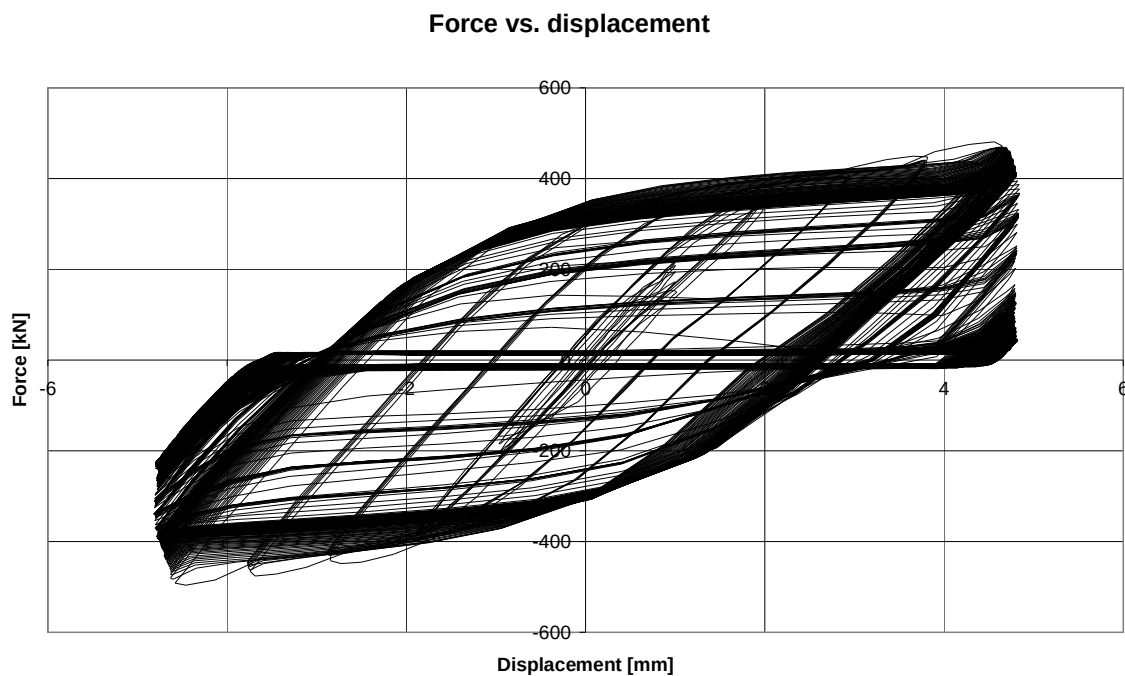


Слика 6 Максимална/минимална деформација у функцији броја циклуса

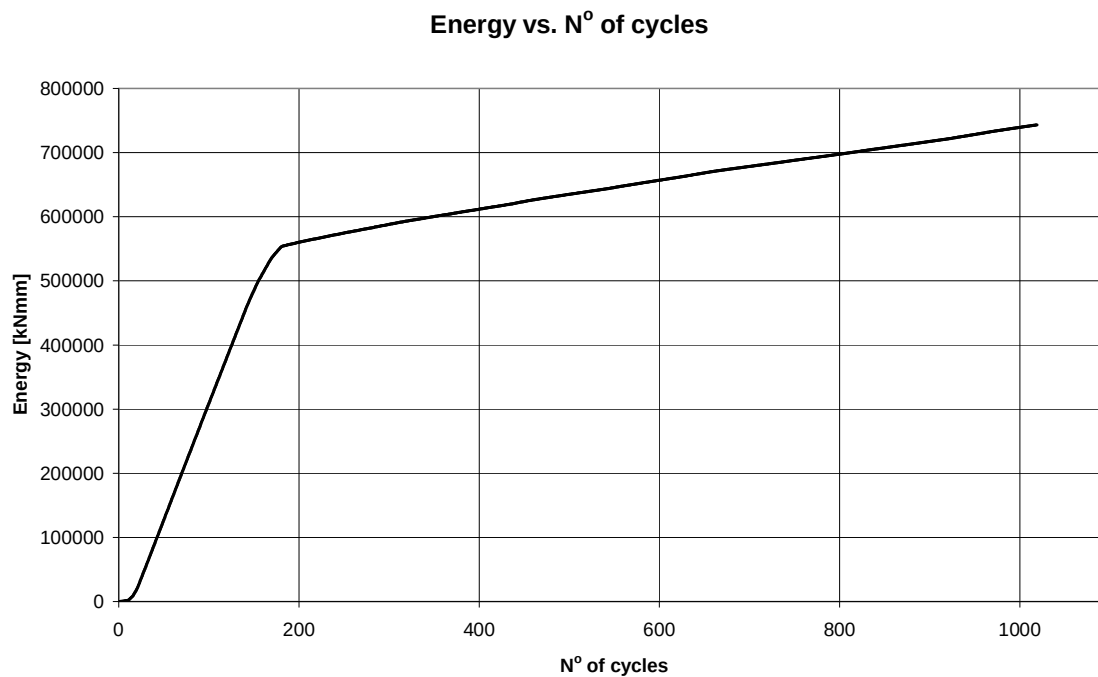
Max and min force vs. N° of cycles



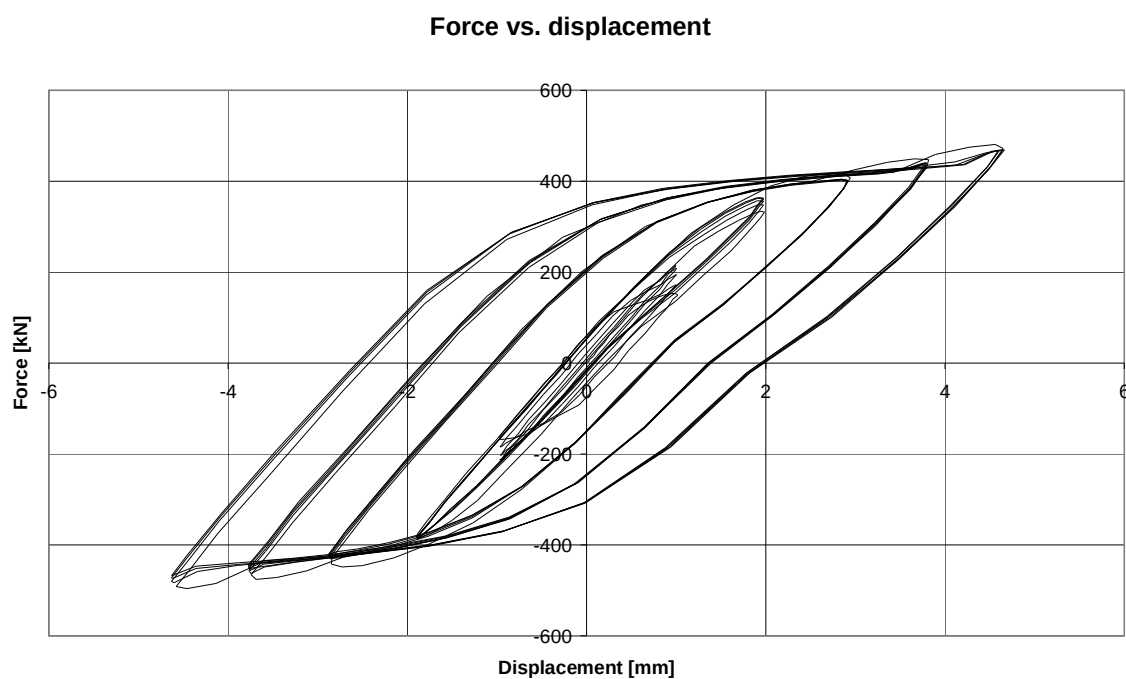
Слика 7 Максимална/минимална сила у функцији броја циклуса



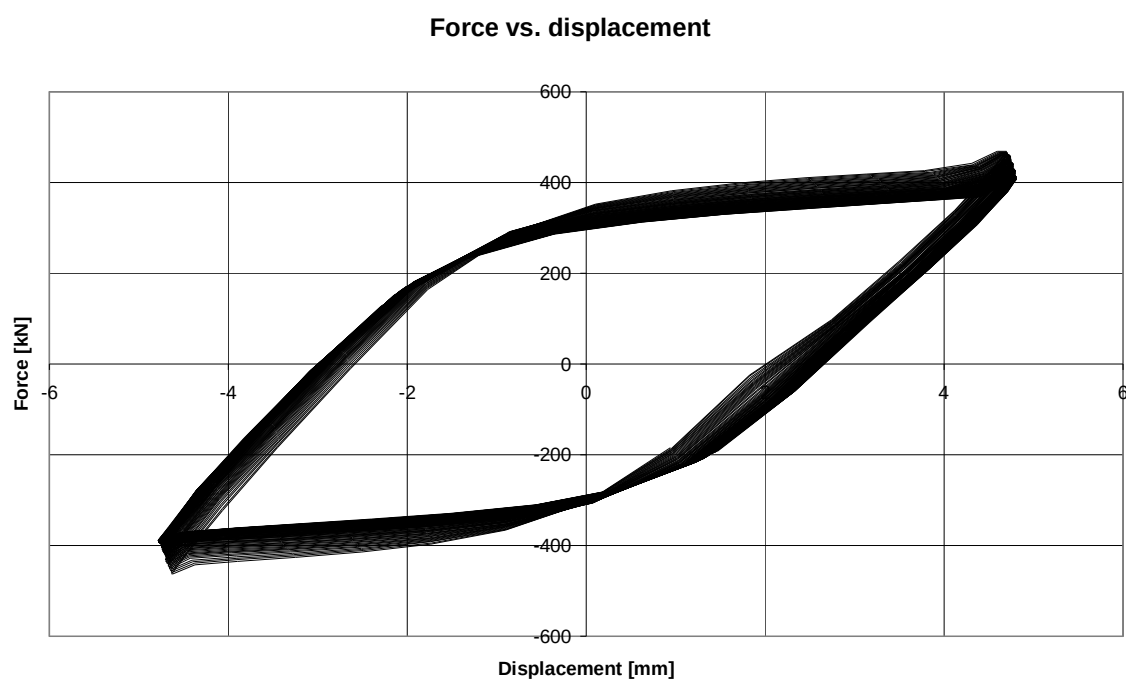
Слика 8 Сила у функцији деформације (хистерезис), 1020 циклуса



Слика 9 Апсорбована енергија у функцији броја циклуса

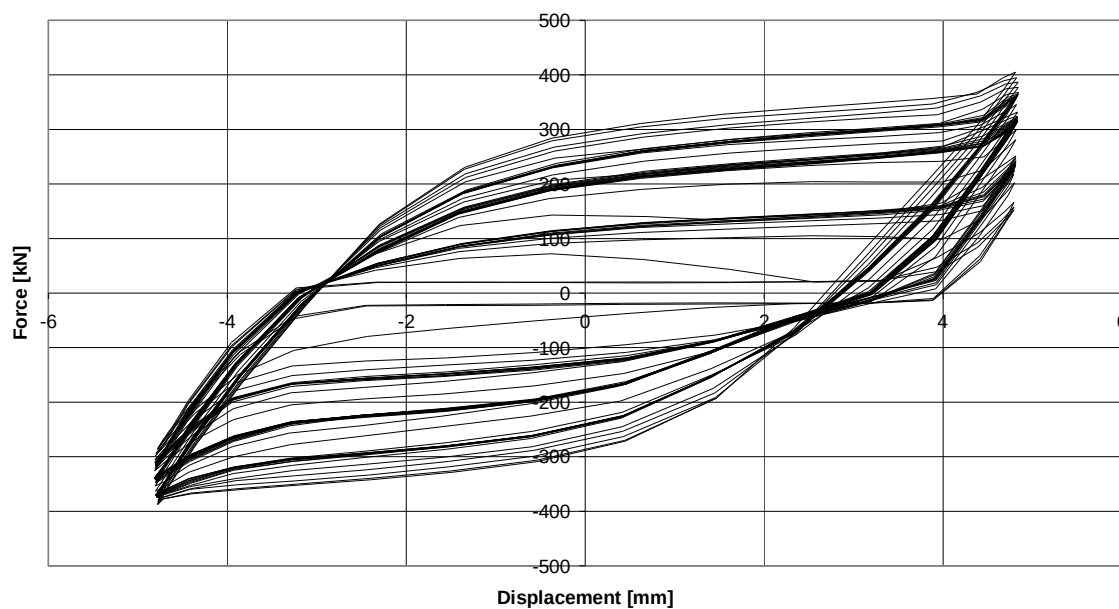


Слика 10 Сила у функцији деформације (хистерезис) у првих 25 циклуса



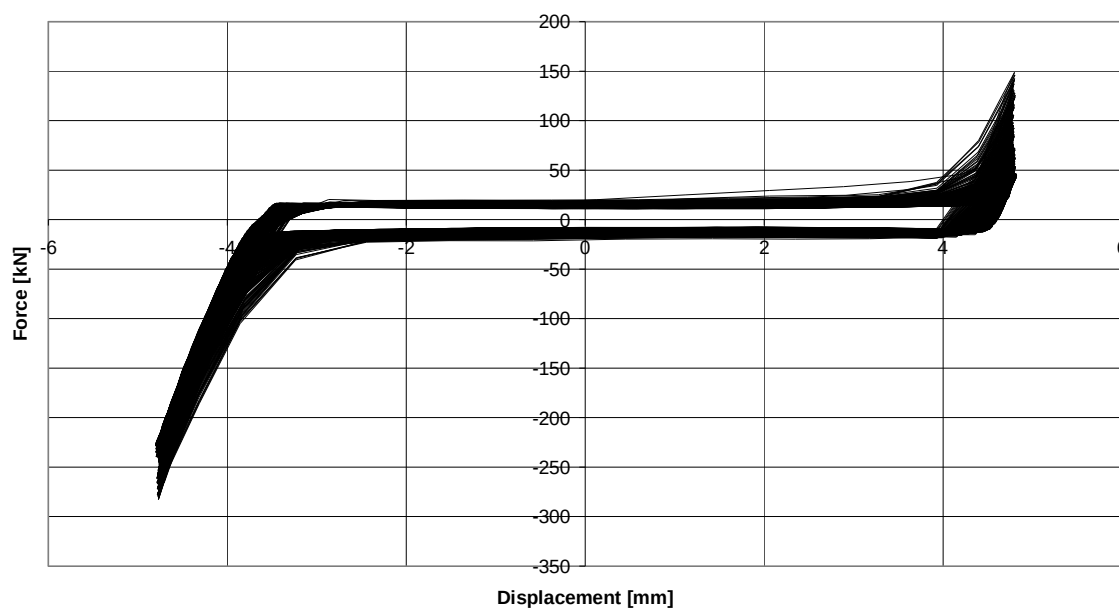
Слика 11 Сила у функцији деформације (хистерезис), циклуси 25 до 140

Force vs. displacement



Слика 12 Сила у функцији деформације (хистерезис), циклуси 140 до 183

Force vs. displacement



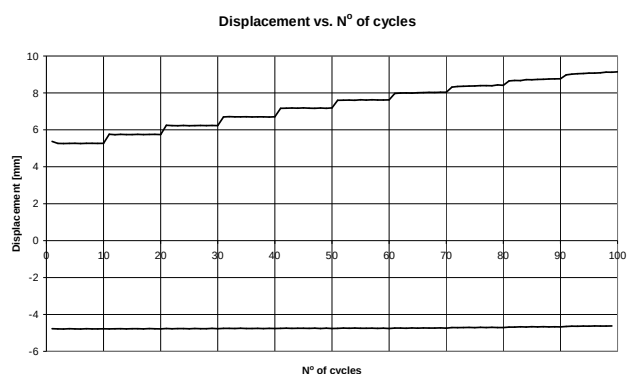
Слика 13 Сила у функцији деформације (хистерезис), циклуси 183 до 1020

4.3 Постколапсно испитивање дампера

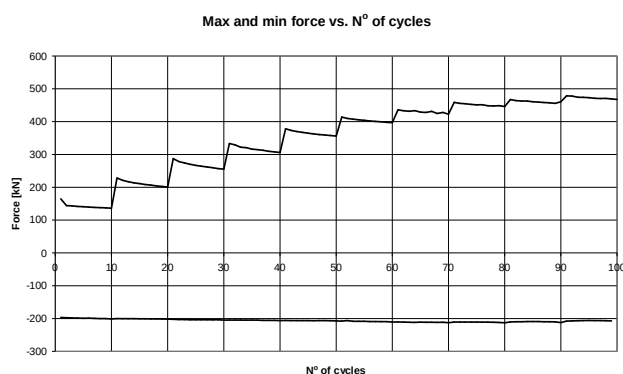
Како и после деградације дампера он и даље прима оптерећење, при чему је хистерезис стабилан, иако мале површине, одлучено је да се настави испитивање до потпуног отказа, како би се још боље сагледале могућности дампера у постколапсном стању. То је учињено у четири фазе.

1. фаза – 100 циклуса

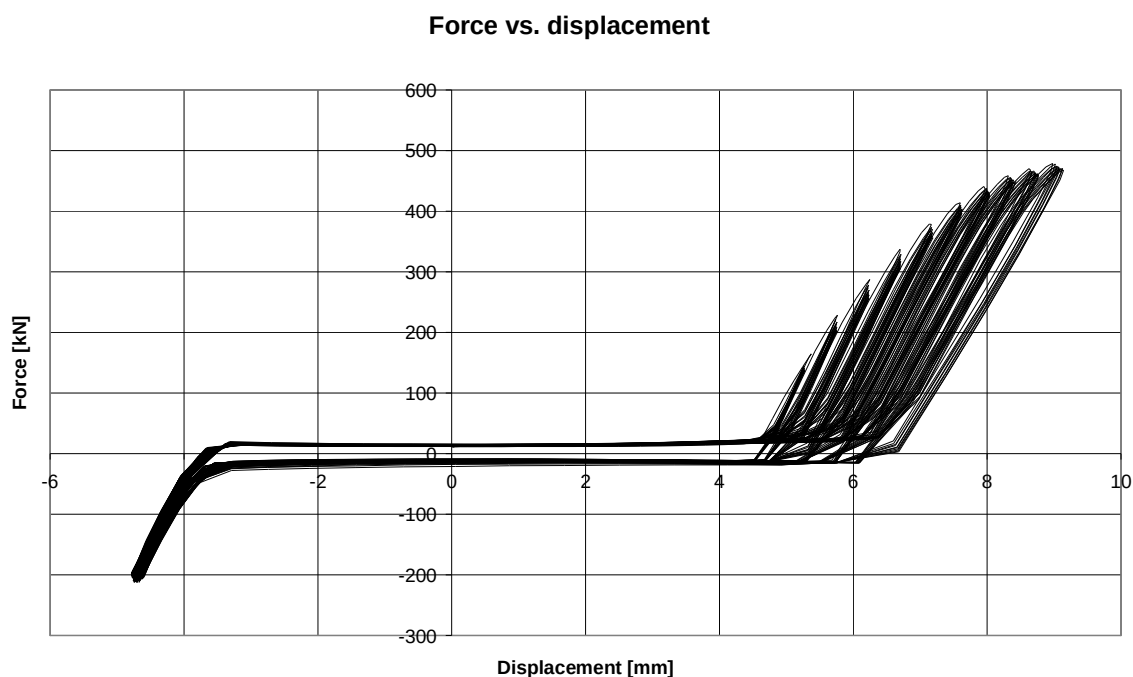
Деформација је повећавана у затезању до 9 mm, док је у притиску била константна око 5 mm. Сила опада, наставља се деградација дампера.



Слика 14 Промена деформације у 1. фази



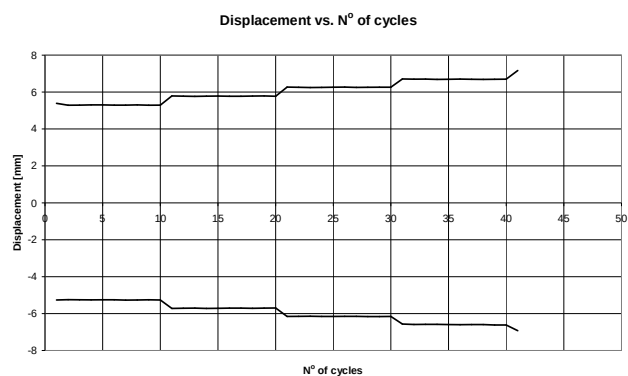
Слика 15 Промена силе у 1. фази



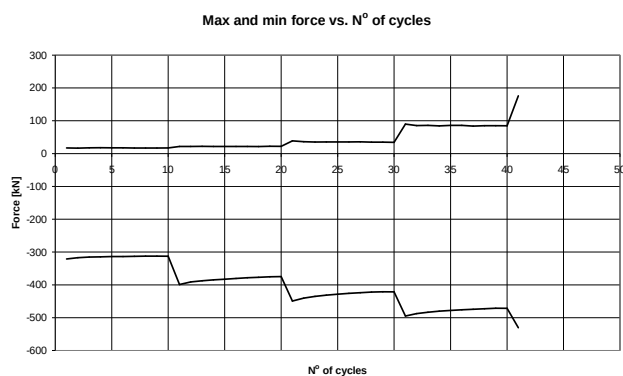
Слика 16 Хистерезис у 1. фази постколапсног испитивања

2. фаза – 40 циклуса

Деформација је повећавана до ± 9 mm, при чему сила опада, а дампер прима оптерећење само на притисак. Наставља се деградација дампера.

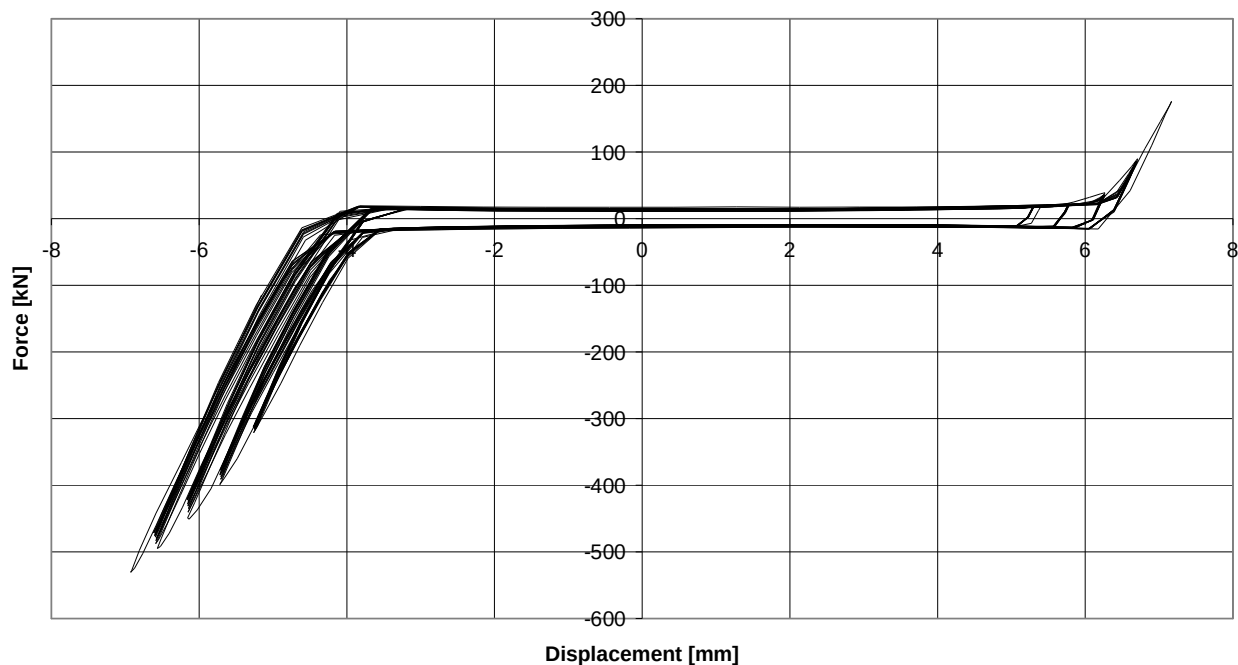


Слика 17 Промена деформације у 2. фази



Слика 18 Промена силе у 2. фази

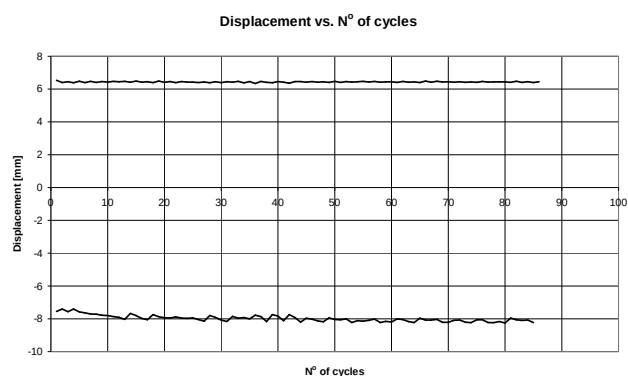
Force vs. displacement



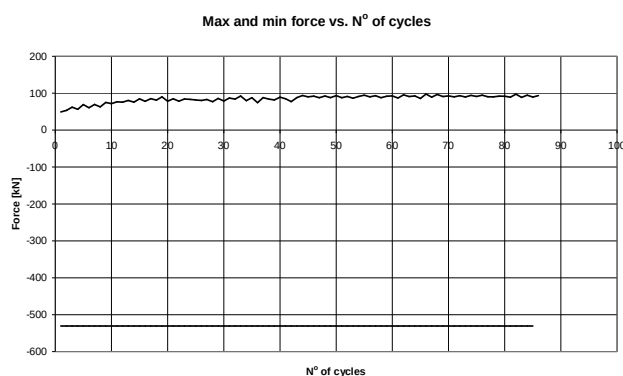
Слика 19 Хистерезис у 2. фази постколапсног испитивања

3. фаза – 86 циклуса

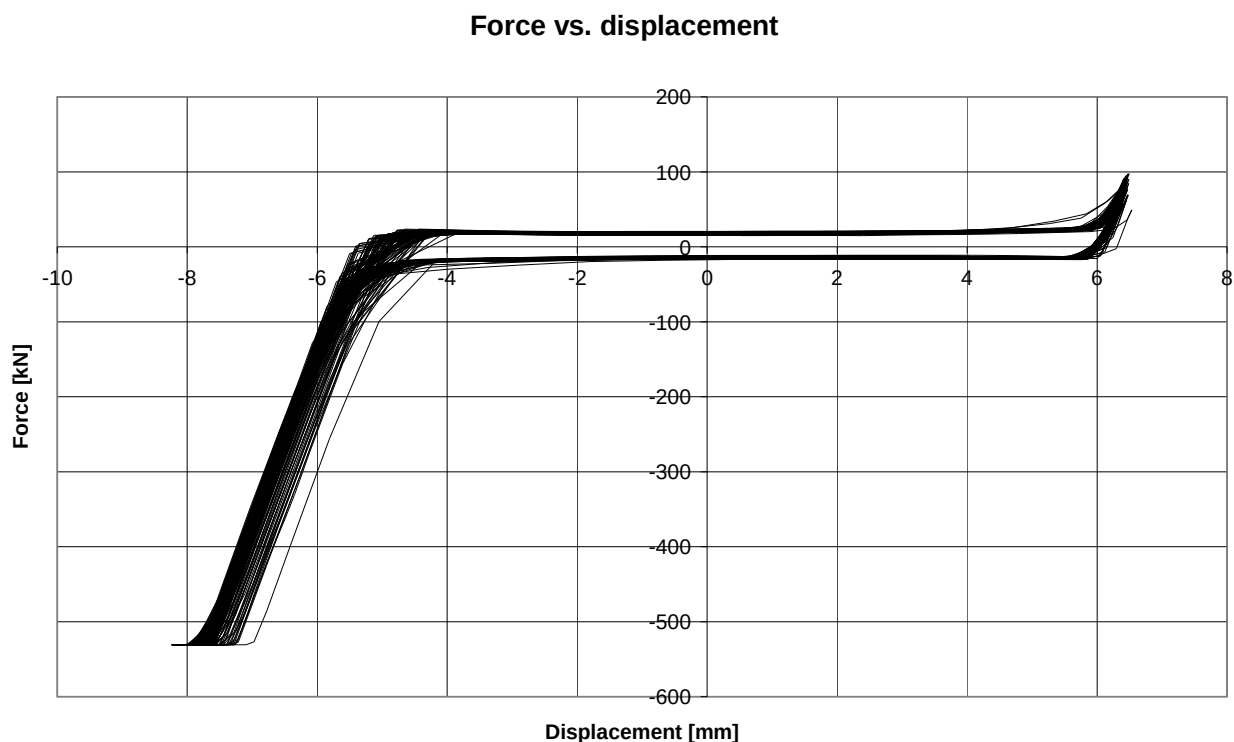
Деформација је била између + 7mm и – 8mm, при чему је сила прилично стабилна, на затезање око + 100 kN, а на притисак преко – 500 kN, што је изнад капацитета кидалице. Дампер прима оптерећење само на притисак.



Слика 20 Промена деформације у 3. фази



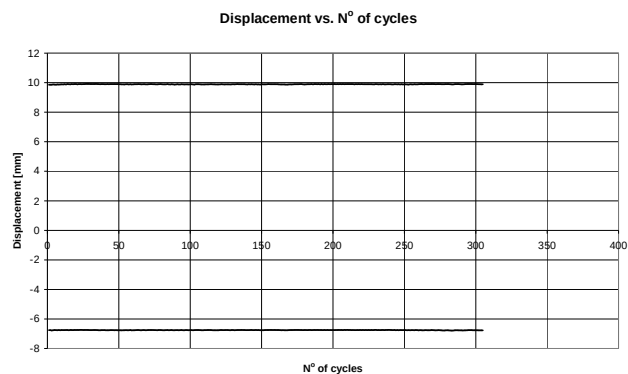
Слика 21 Промена силе у 3. фази



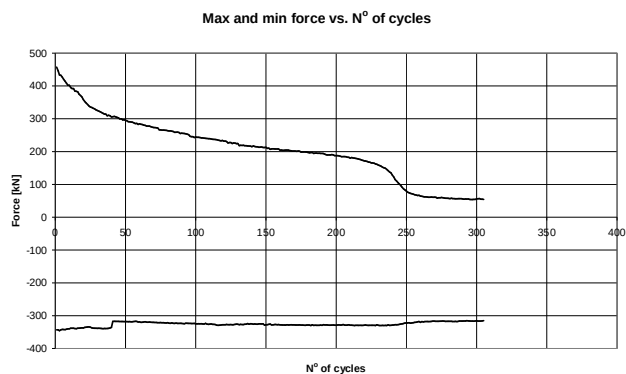
Слика 22 Хистерезис у 3. фази постколапног испитивања

4. фаза – 305 циклуса

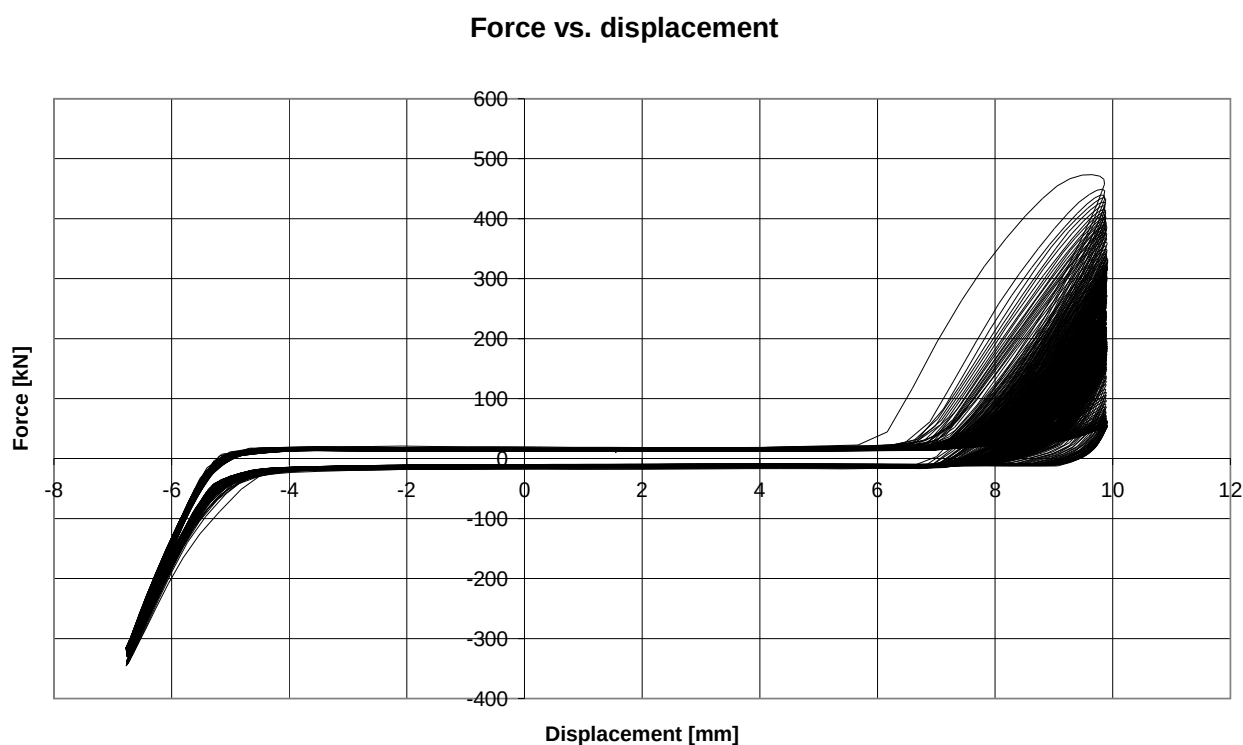
Деформација је била између + 10mm и – 7mm, при чему сила драстично пада, на затезање око + 50 kN, а на притисак око – 300 kN. Дампер је потпуно деградиран.



Слика 23 Промена деформације у 4. фази



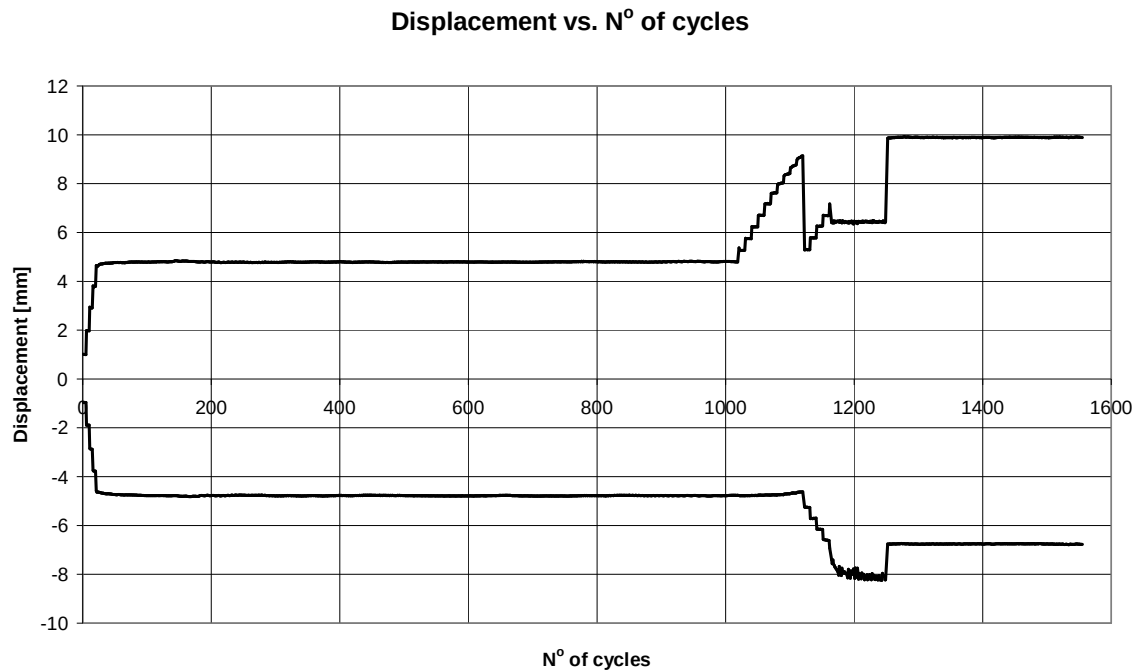
Слика 24 Промена силе у 4. фази



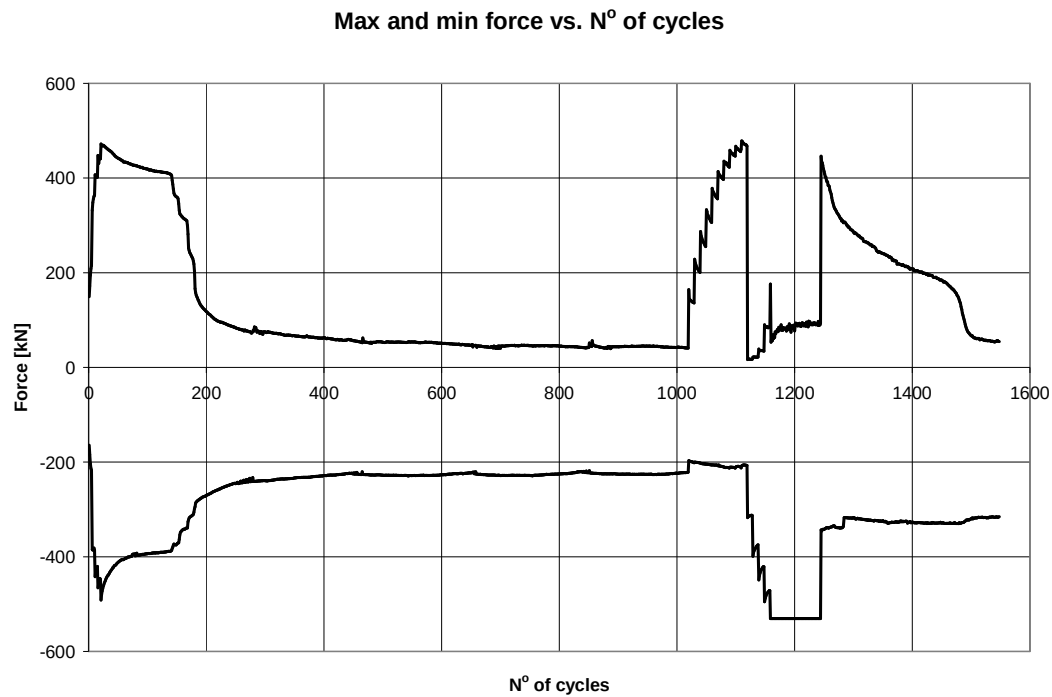
Слика 25 Хистерезис у 4. фази постколапсног испитивања

ИЗВЕШТАЈ О ИСПИТИВАЊУ Дампера HQ Royal	бр. 107	Лист 15 од 32
---	--------------------------------------	---

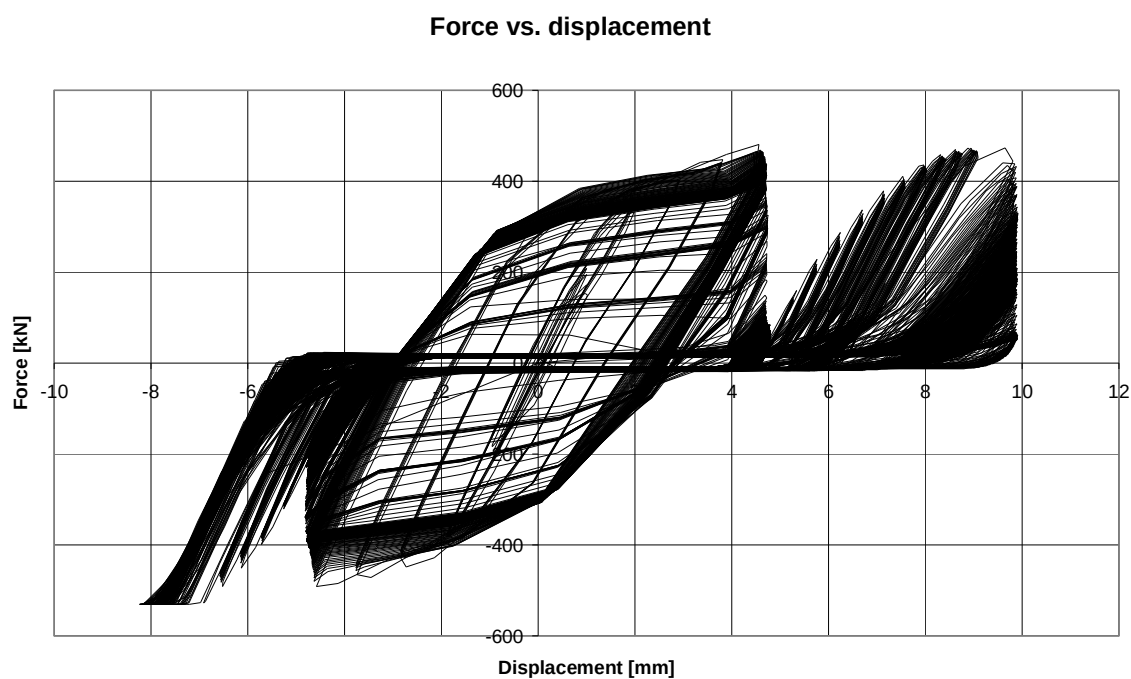
Комплетна историја, са постколапсним испитивањем приказана је на сликама 26 до28.



Слика 26 Комплетна историја промене деформације



Слика 27 Комплетна историја промене силе



Слика 28 Хистерезис – комплетна историја

ИЗВЕШТАЈ О ИСПИТИВАЊУ Дампера HQ Royal	бр. 107	Лист 17 од 32
--	--------------------------------------	---

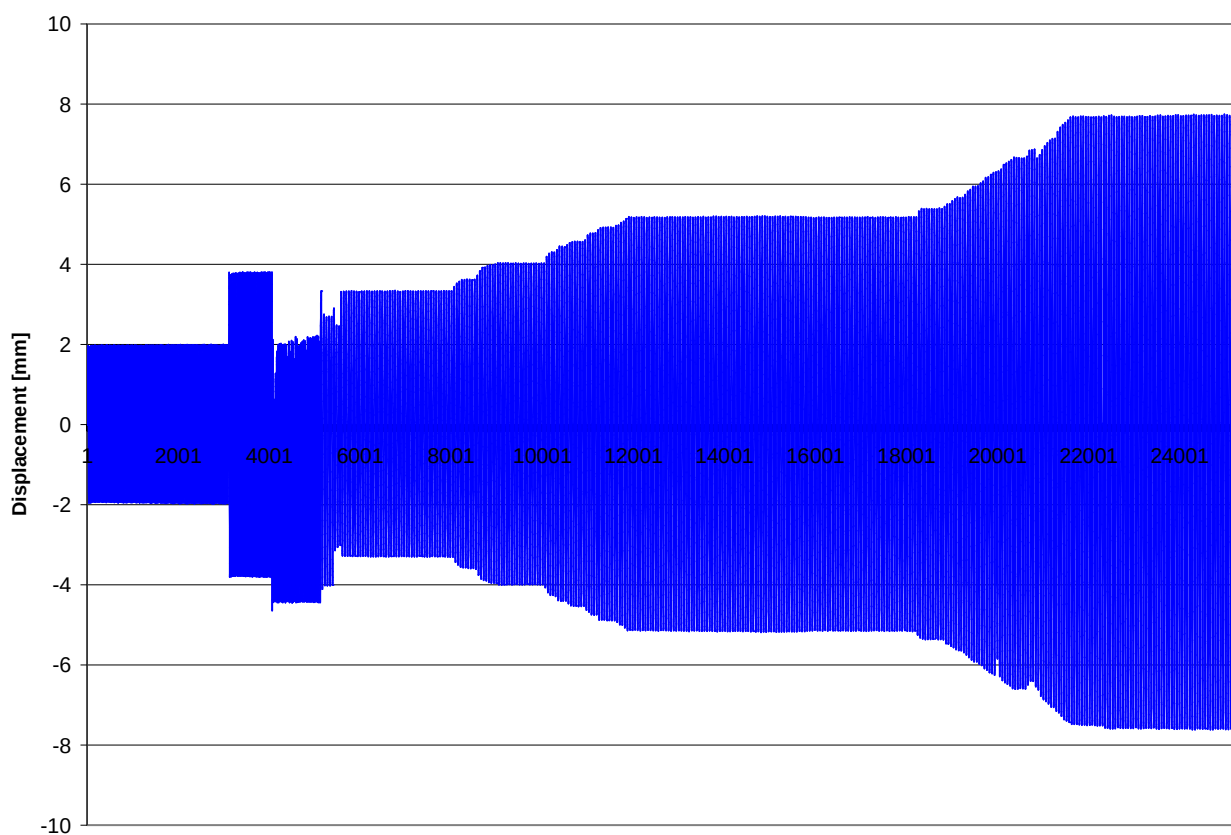
5. УЗОРАК 2

5.1 Испитивање

Оптерећење је започето са 106 циклуса са амплитудом деформације од ± 2 mm и 34 циклуса са амплитудом ± 4 mm, а затим је следило 44 циклуса са задатом амплитудом ± 5 mm, а оствареном око $+2/-5$ mm.

Иако је након тих 184 циклуса дошло до заустављања испитивања због прекорачења максималне силе уређаја и великих пластичних деформација узорка, испитивање је настављено ручним повећавањем амплитуде од ± 3 mm до $\pm 7,5$ mm са фреквенцијом 0,5 Hz. Испитивање је прекинуто након 537 циклуса.

Слика 29 представља комплетну историју промене деформације опитног узорка.



Слика 29 Историја промене деформације у 537 циклуса

ИЗВЕШТАЈ О ИСПИТИВАЊУ Дампера HQ Royal	бр. 107	Лист 18 од 32
---	----------------	------------------

5.2 Обрада и анализа резултата испитивања

Резултати испитивања су приказани:

- Максимална/минимална деформација у функцији броја циклуса, слика 30,
- Максимална/минимална сила у функцији броја циклуса, слика 31,
- Сила у функцији деформације (хистерезис), слика 32,
- Апсорбована енергија у функцији броја циклуса, слика 33,
- Хистерезис у првих 140 циклуса, слика 34,
- Хистерезис у циклусима 140 до 184, слика 35,
- Хистерезис у циклусима 184 до 345, слика 36,
- Хистерезис у циклусима 345 до 382, слика 37, и
- Хистерезис у циклусима 382 до 537, слика 38.

Оптерећење је започето са 106 циклуса са амплитудом деформације од ± 2 mm и 34 циклуса са амплитудом ± 4 mm. При том је сила врло благо опадала, а хистерезис је био стабилан и амортизација енергије према очекивању, слика 34. При задавању амплитуде ± 5 mm сила је прекорачила капацитет уређаја од 500 kN и дошло је до великих пластичних деформација у затезању. На слици 35 види се понашање дампера у 44 циклуса (од 140. до 184. циклуса). У следећих 161 циклуса (од 184. до 345.) амплитуда је повећавана ручно са ± 3 mm до ± 5 mm, при чему је сила благо опадала при сваком достигнутом нивоу деформације, а површина хистерезиса, па тиме и апсорбована енергија, се повећавала (слика 36), што се може видети и на слици 33 где се градијент криве енергије повећава. Од 345. до 382. циклуса, 37 циклуса са амплитудом ± 5 mm, сила опада са + 350/ – 400 kN на +200/ – 310 kN и долази до озбиљне деградације дампера, слика 37. Са даљим повећавањем амплитуде деформације до $\pm 7,5$ mm у следећих 155 циклуса (од 382. до 537. циклуса) практично долази до потпуне деградације дампера, апсорбована енергија је мала, мада он и даље прима оптерећење (слика 38).

Акумулирана дилатација

Δl_i	$ \Delta \epsilon_i $	$n_{\text{сyc}}$	$\Sigma \Delta \epsilon_i $
mm			
± 2	0.02	106	4.2
± 4	0.04	140	11.2
	Σ	246	15.44

$$|\Delta \epsilon_i| = \left| \frac{\Delta l_i}{l} \right| - \text{ акумулирана дилатација у једном полу-циклусу}$$

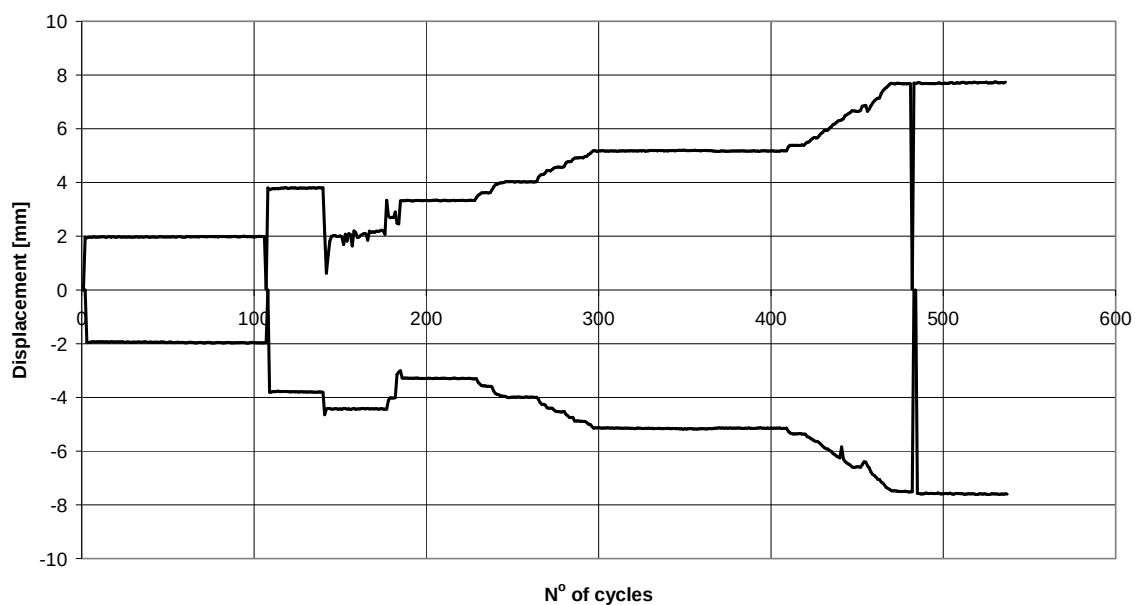
где је

Δl_i – издужење (скраћење) у једном циклусу,

l – дужина опитног узорка где се развија дилатација је 100 mm и

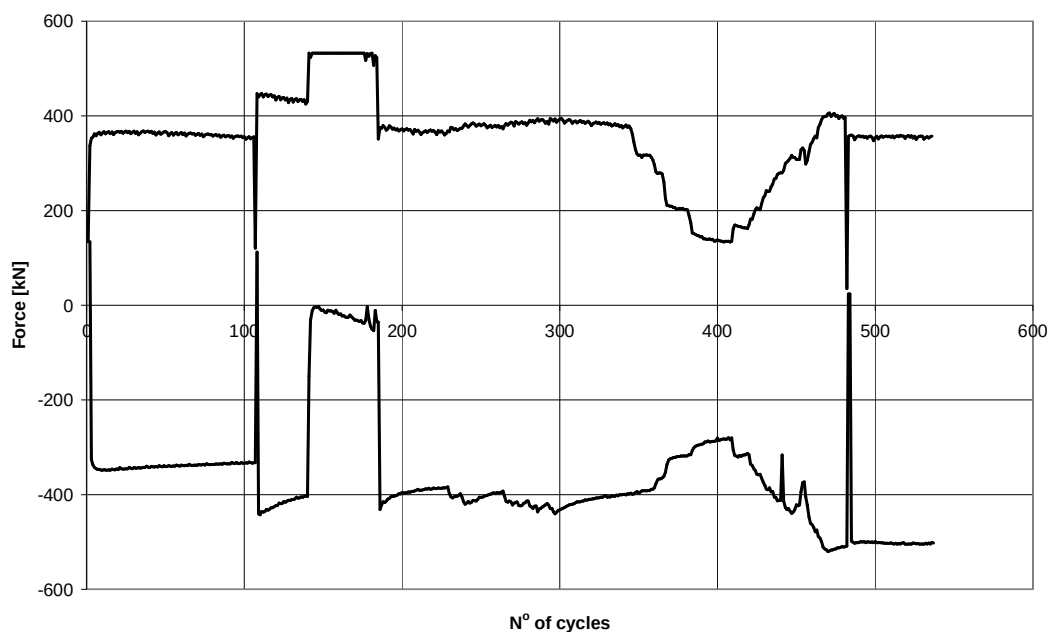
$n_{\text{сyc}}$ – број циклуса.

Displacement vs. N° of cycles

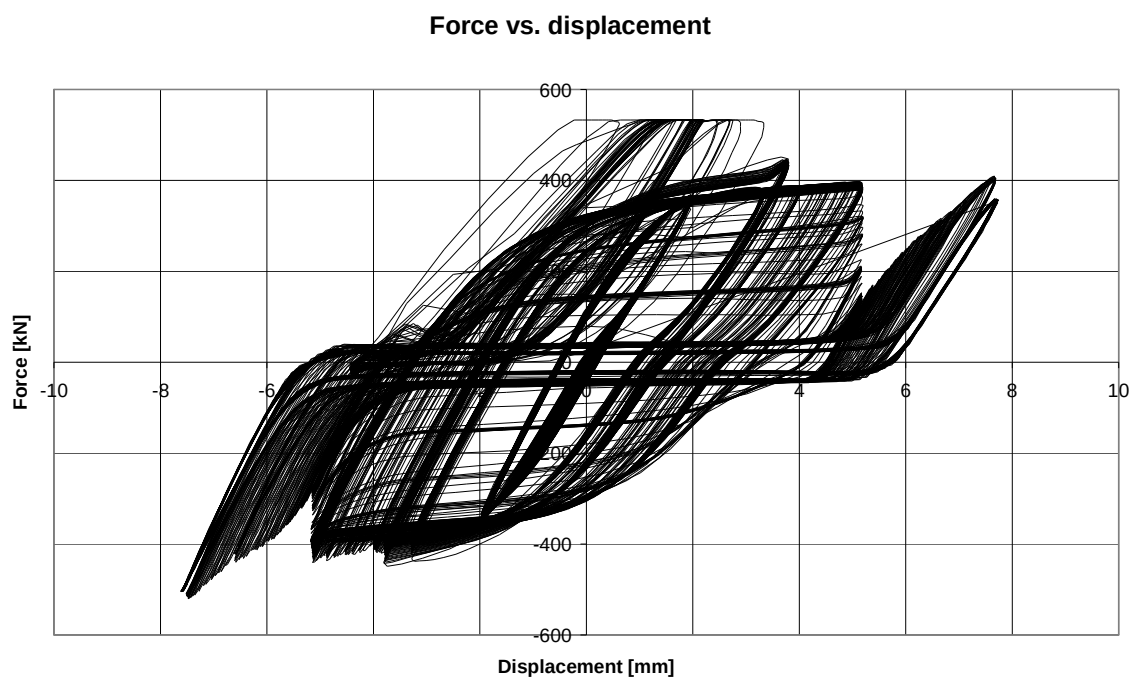


Слика 30 Максимална/минимална деформација у функцији броја циклуса

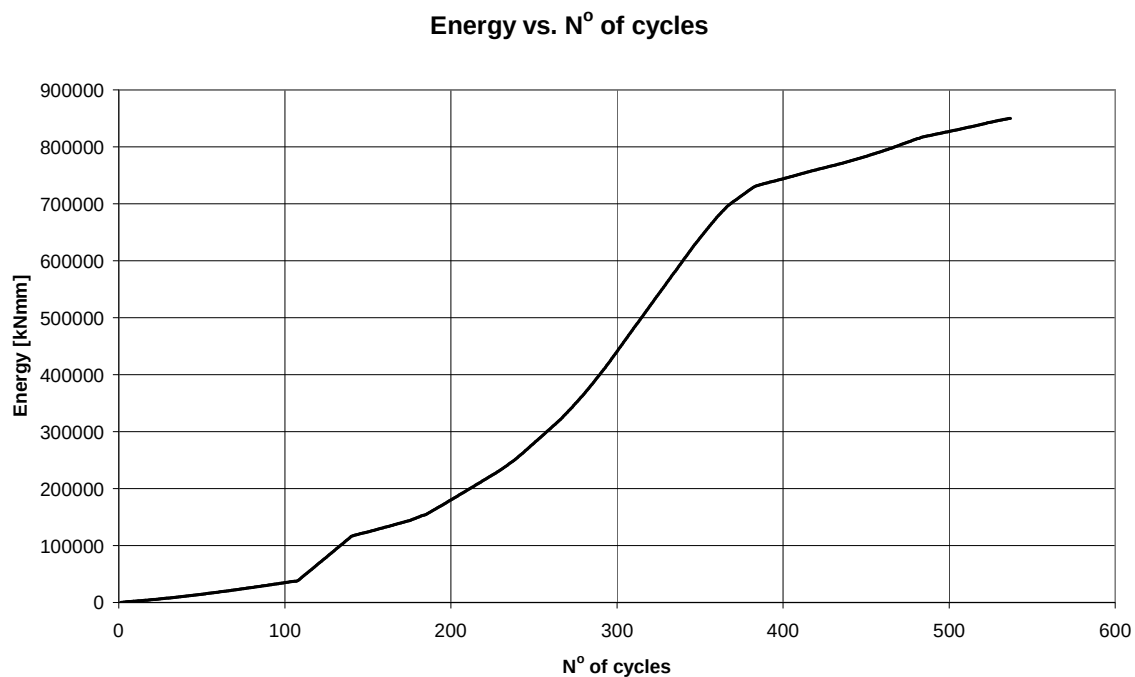
Max and min force vs. N° of cycles



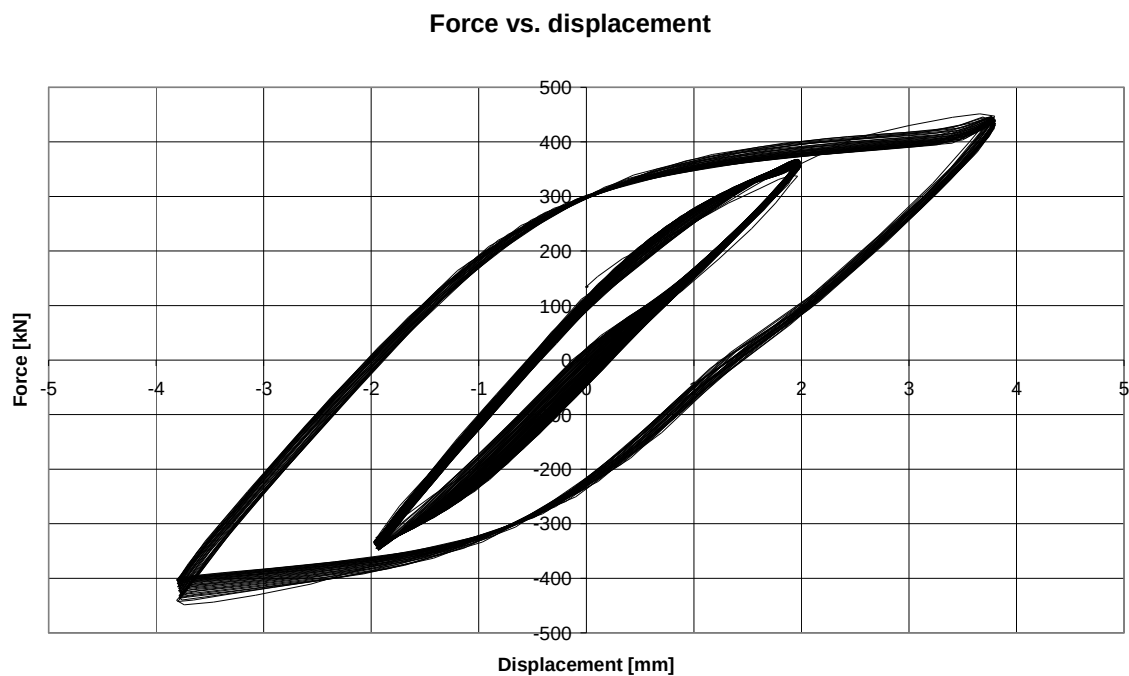
Слика 31 Максимална/минимална сила у функцији броја циклуса



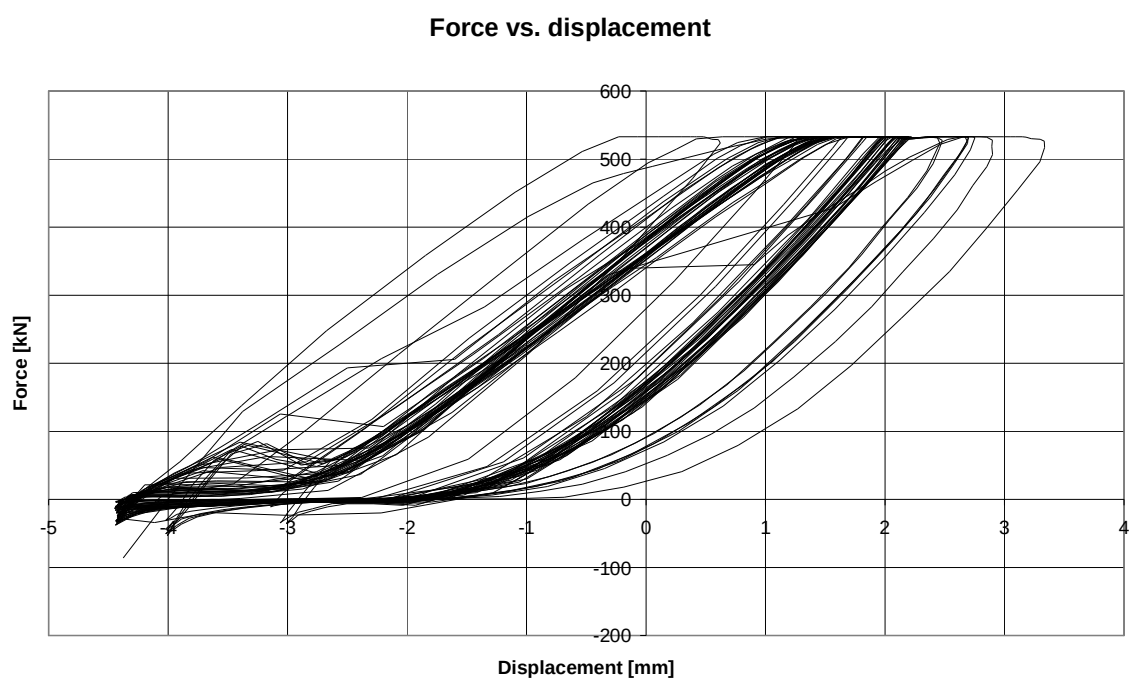
Слика 32 Сила у функцији деформације (хистерезис), 537 циклуса



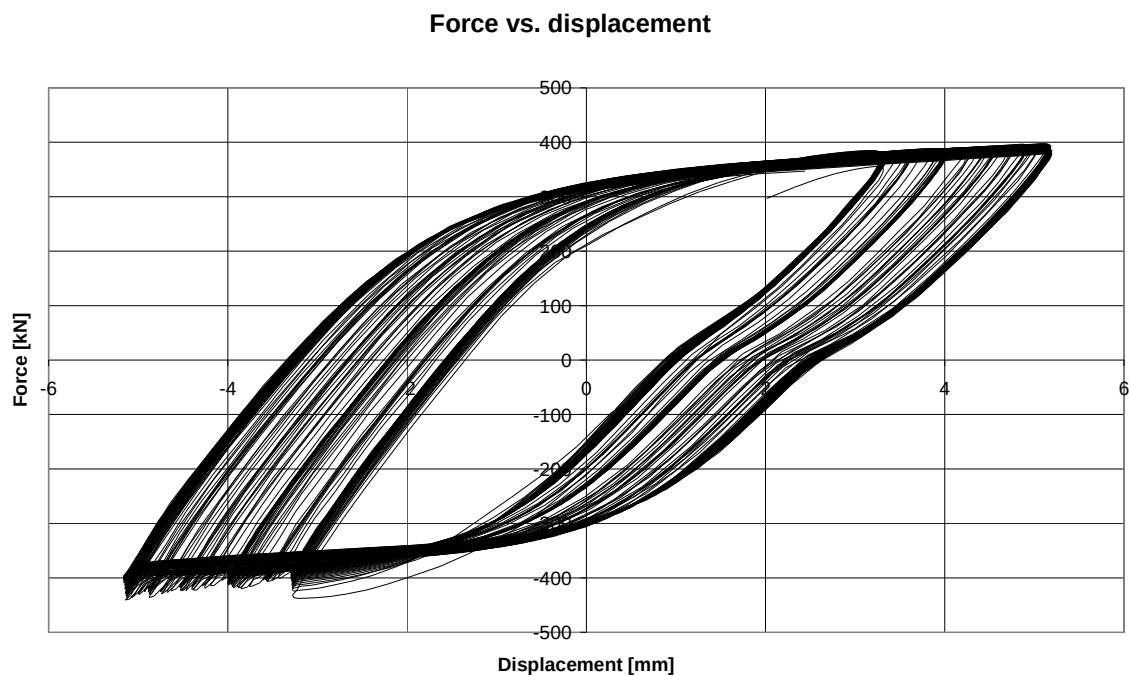
Слика 33 Апсорбована енергија у функцији броја циклуса



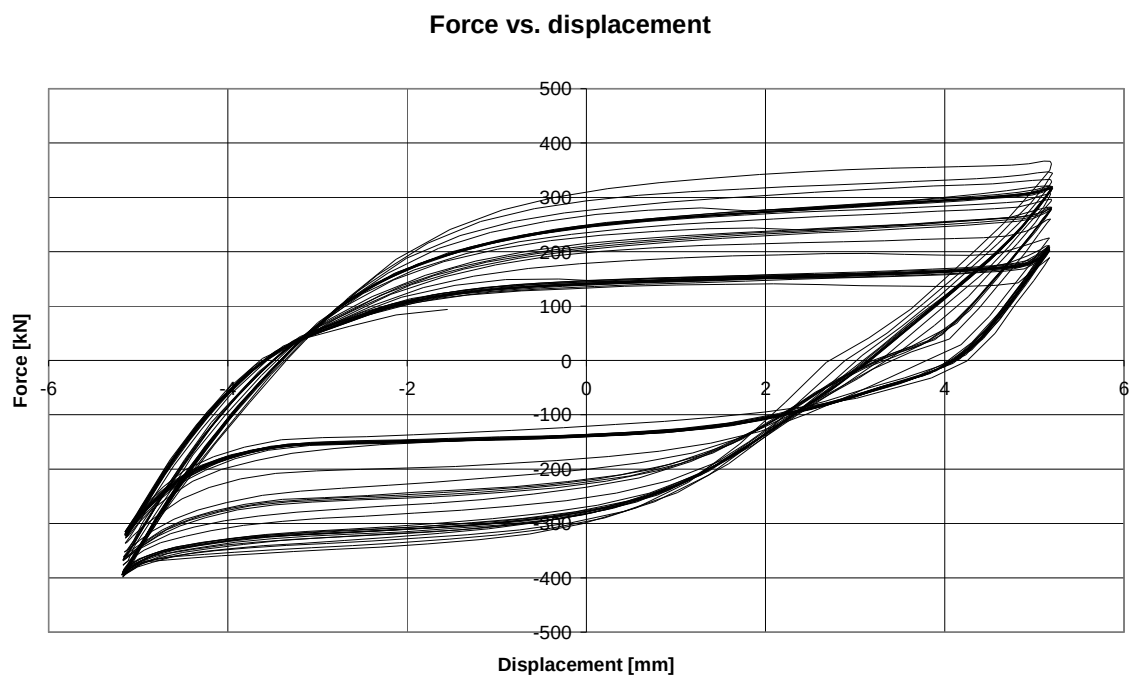
Слика 34 Сила у функцији деформације (хистерезис) у првих 140 циклуса



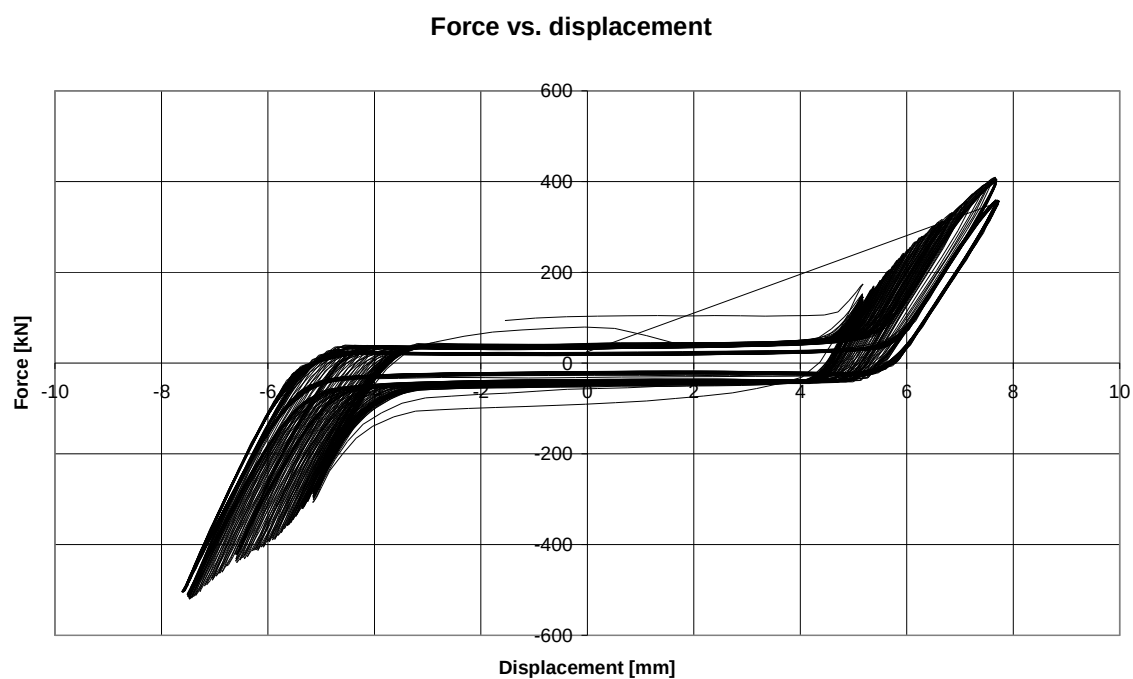
Слика 35 Сила у функцији деформације (хистерезис), циклуси 140 до 184



Слика 36 Сила у функцији деформације (хистерезис), циклуси 184 до 345



Слика 37 Сила у функцији деформације (хистерезис), циклуси 345 до 382



Слика 38 Сила у функцији деформације (хистерезис), циклуси 382 до 537

ИЗВЕШТАЈ О ИСПИТИВАЊУ Дампера HQ Royal	бр. 107	Лист 24 од 32
--	--------------------------------------	---

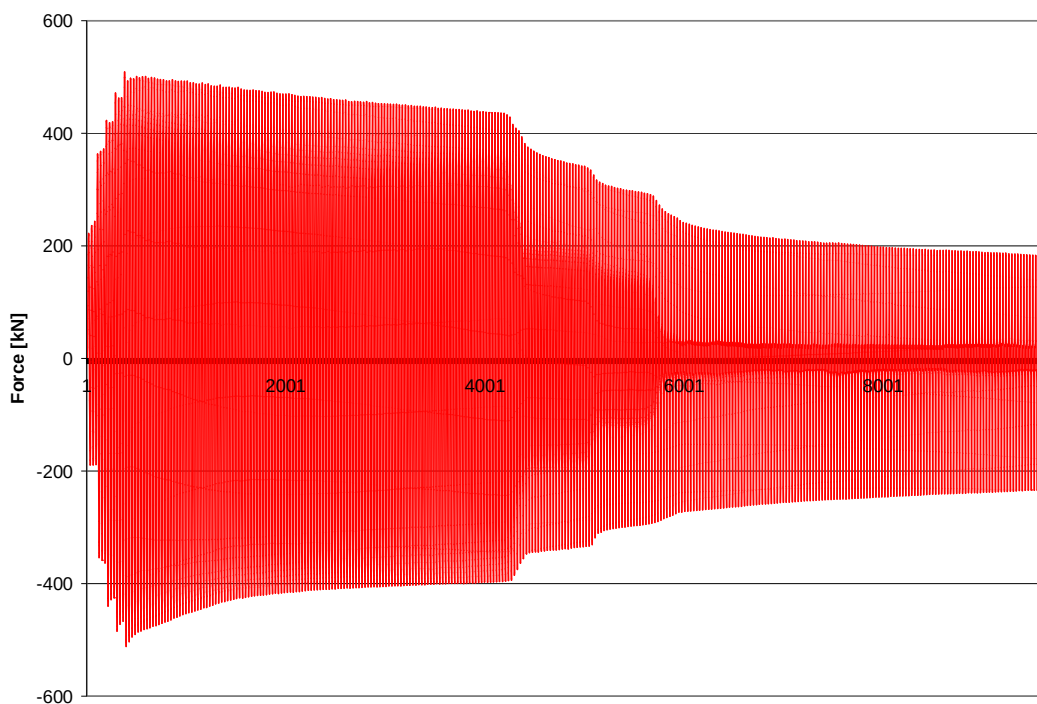
6. УЗОРАК 3

6.1 Испитивање

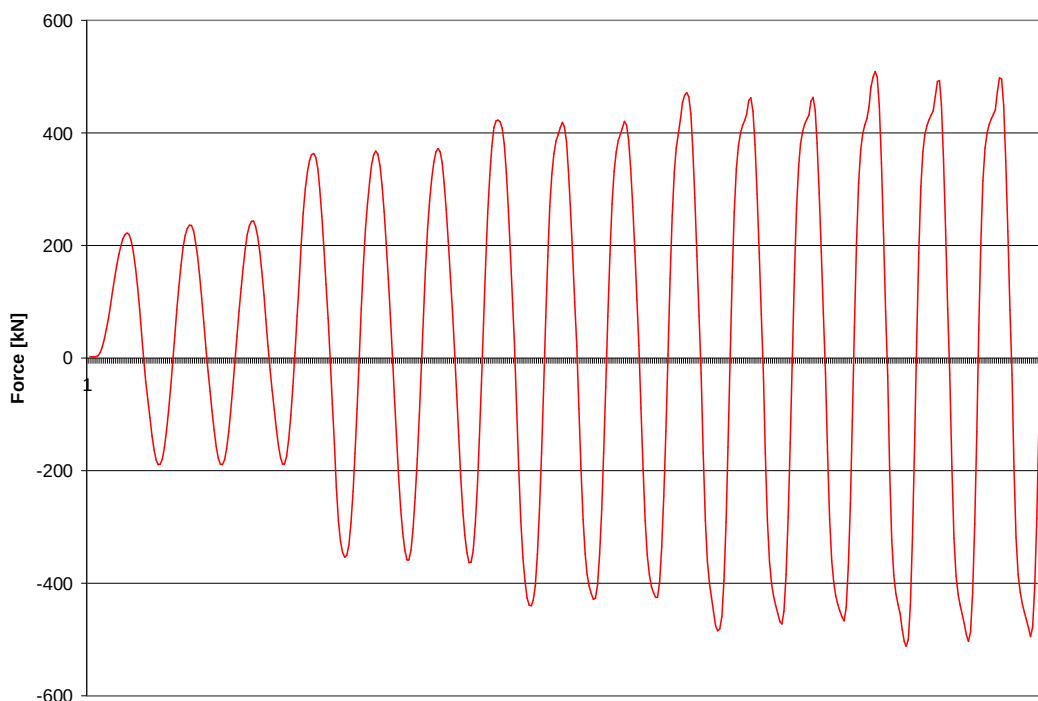
Оптерећење је започето са по три циклуса са амплитудама деформације од $\pm 1 \text{ mm}$, $\pm 2 \text{ mm}$, $\pm 3 \text{ mm}$ и $\pm 4 \text{ mm}$, а затим је следило 310 циклуса са амплитудом $\pm 5 \text{ mm}$.

Слика 39 представља комплетну историју промене силе опитног узорка у 310 циклуса, док слика 40 приказује промене силе опитног узорка у првих 15 циклуса.

Иако је после 200. циклуса дошло до деградације дампера, није дошло до потпуне деструкције узорка, који и даље прима оптерећење на притисак. Испитивање је прекинуто после 322. циклуса.



Слика 39 Историја промене силе у 322 циклуса



Слика 40 Промене силе у првих 15 циклуса

6.2 Обрада и анализа резултата испитивања

Резултати испитивања су приказани:

- Максимална/минимална деформација у функцији броја циклуса, слика 41,
- Максимална/минимална сила у функцији броја циклуса, слика 42,
- Сила у функцији деформације (хистерезис), слика 43,
- Апсорбована енергија у функцији броја циклуса, слика 44,
- Хистерезис у првих 15 циклуса, слика 45,
- Хистерезис у циклусима 15 до 140, слика 46,
- Хистерезис у циклусима 140 до 200, слика 47, и
- Хистерезис у циклусима 200 до 322, слика 48.

При деформацијама ± 1 mm и ± 2 mm сила благо расте, а у циклусима ± 3 mm и ± 4 mm благо опада, слика 45. Максимална сила при ± 5 mm је ± 500 kN. У следећих 125 циклуса (± 5 mm, до 140. циклуса) сила благо опада до $+ 430$ /– 400 kN. На слици 46 види се да је хистерезис доста стабилан и има велику површину, тј. добро амортизује енергију. Од 140. до 200. циклуса долази до деградације дампера, сила значајно опада, на затезање на $+240$ kN, а на притисак на $- 270$ kN. То се види и на слици 47 где је површина хистерезиса све мања, тј. амотизација енергије је све слабија. На слици 44 види се промена градијента криве енергије. Надаље, до 322. циклуса сила је опала до коначних $+ 180$ /– 230 kN, а хистерезис је врло мале површине (слика 48).

ИЗВЕШТАЈ О ИСПИТИВАЊУ Дампера HQ Royal

бр. 107

Лист 26 од
32

Акумулирана дилатација

Δl_i	$ \Delta \epsilon_i $	$n_{\text{сус}}$	$\Sigma \Delta \epsilon_i $
mm			
±1	0.01	3	0.06
±2	0.02	3	0.12
±3	0.03	3	0.18
±4	0.04	3	0.24
±5	0.05	188	18.8
	Σ	200	19.4

$|\Delta \epsilon_i| = \left| \frac{\Delta l_i}{l} \right|$ – акумулирана дилатација у једном полу-циклусу

где је

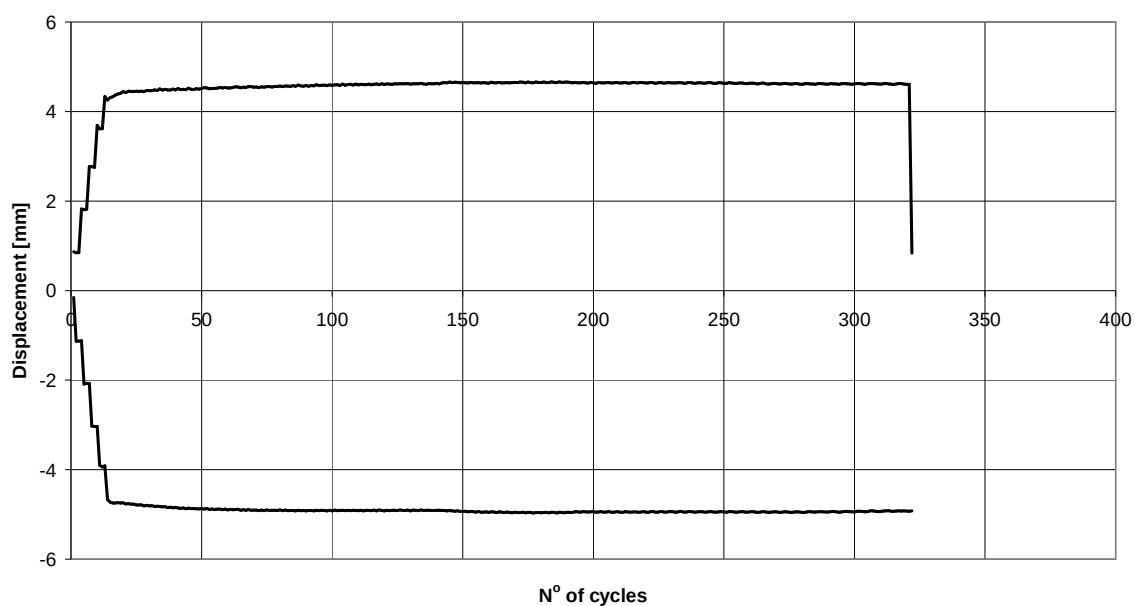
Δl_i –издужење (скраћење) у једном циклусу,

l – дужина опитног узорка где се развија дилатација је 100 mm и

$n_{\text{сус}}$ – број циклуса.

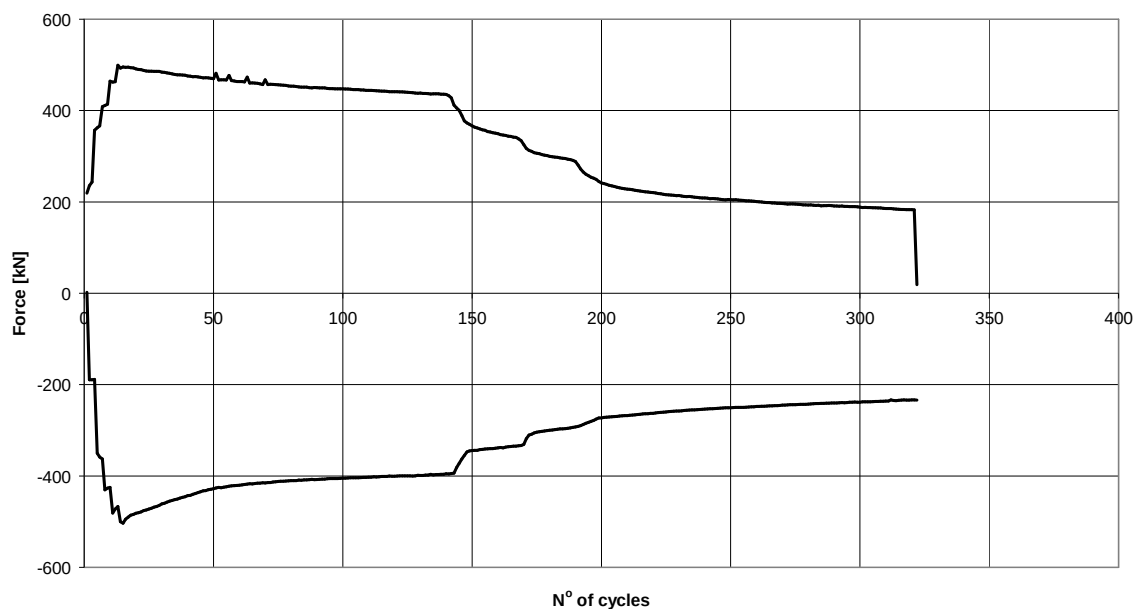
Укупна акумулирана дилатација је 19,4 у 200 циклуса оптерећења на дужини од 100 mm пасје кости Дампера ДЦ 90 типа HQ Royal.

Displacement vs. N° of cycles



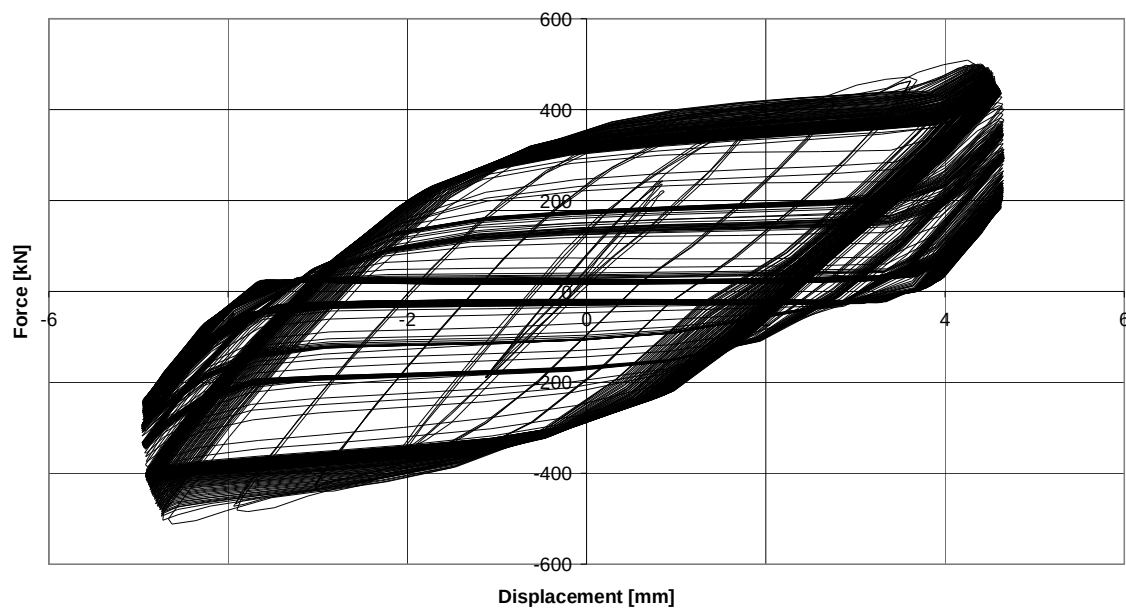
Слика 41 Максимална/минимална деформација у функцији броја циклуса

Max and min force vs. N° of cycles



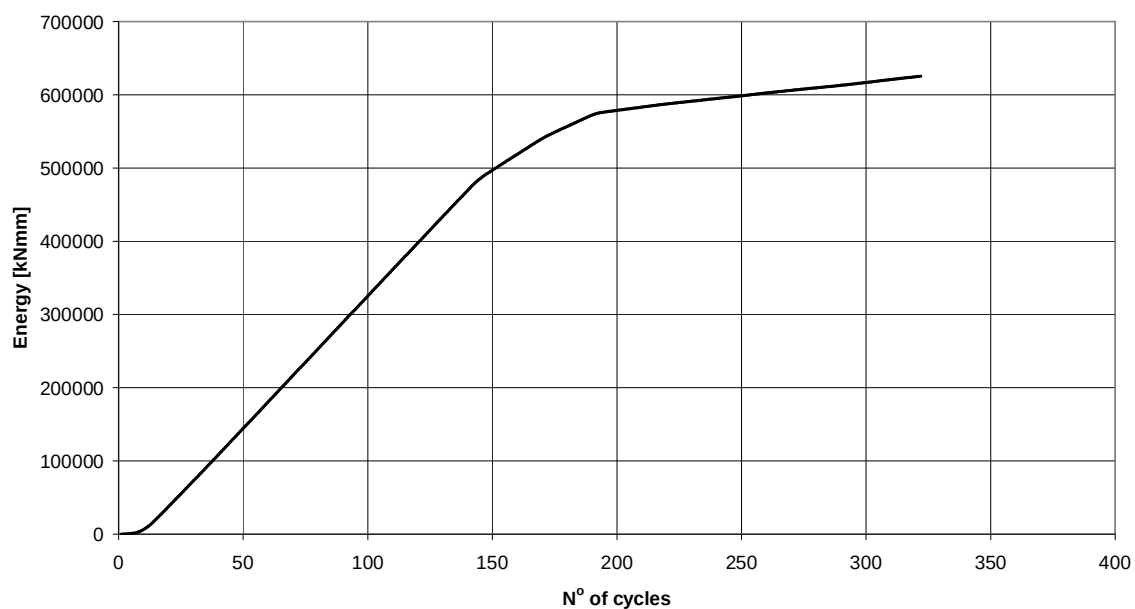
Слика 42 Максимална/минимална сила у функцији броја циклуса

Force vs. displacement



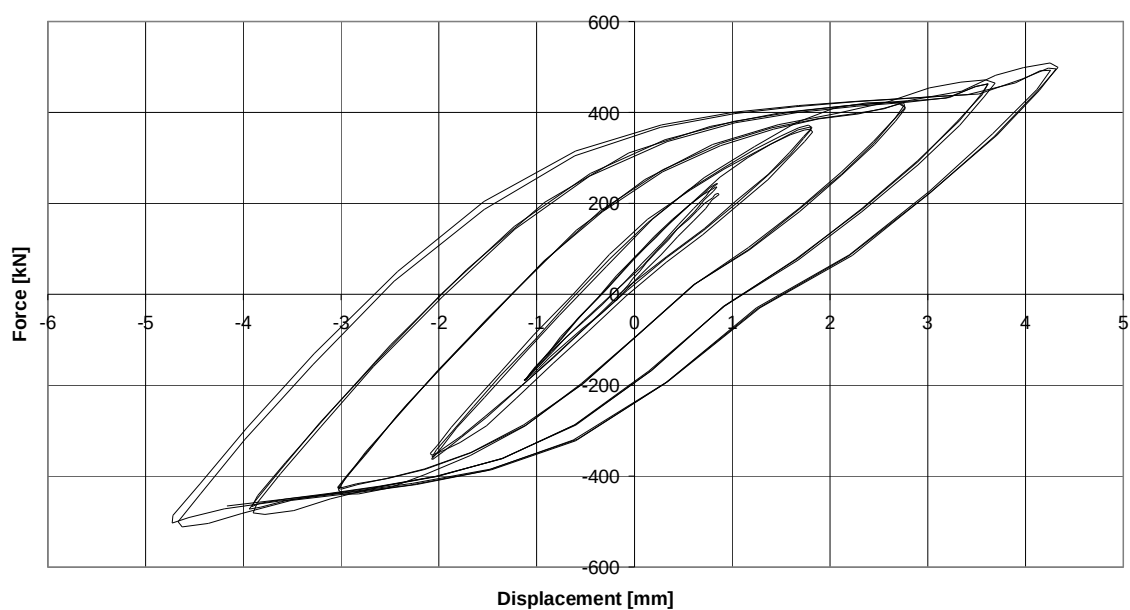
Слика 43 Сила у функцији деформације (хистерезис), 322 циклуса

Energy vs. N° of cycles

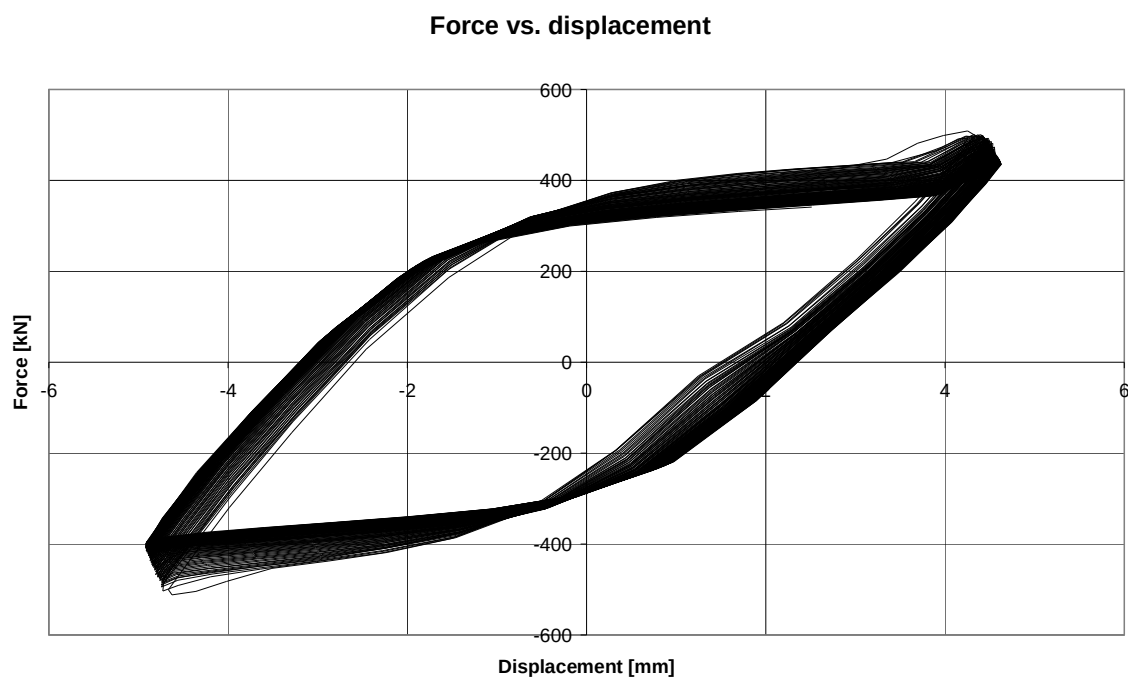


Слика 44 Апсорбована енергија у функцији броја циклуса

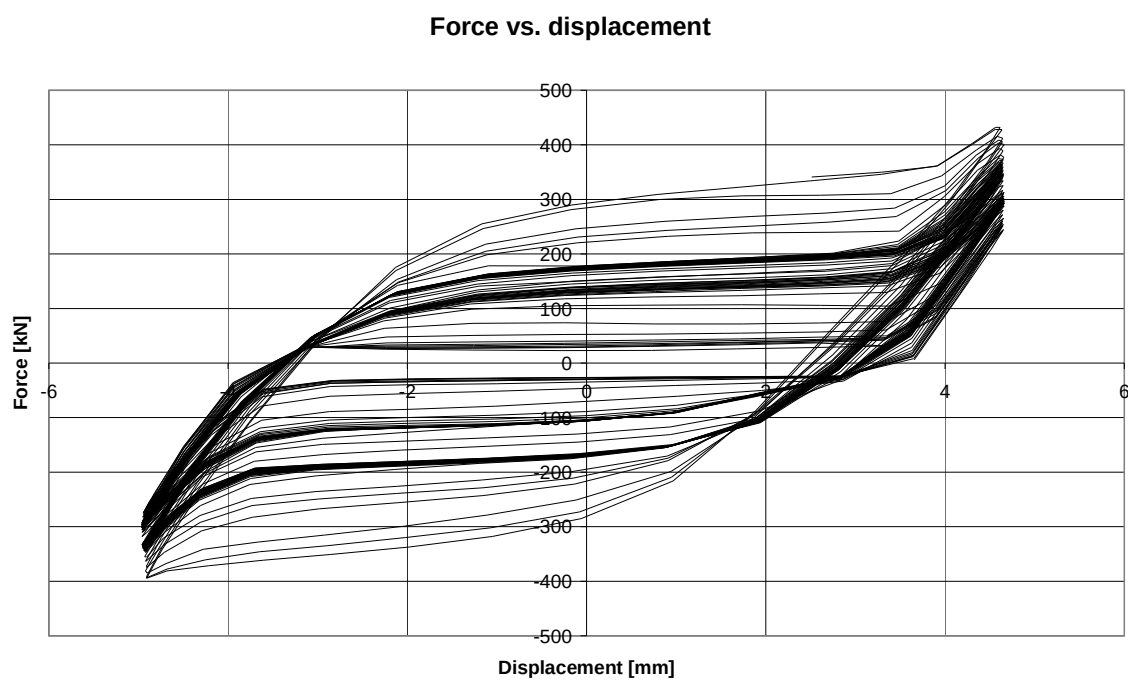
Force vs. displacement



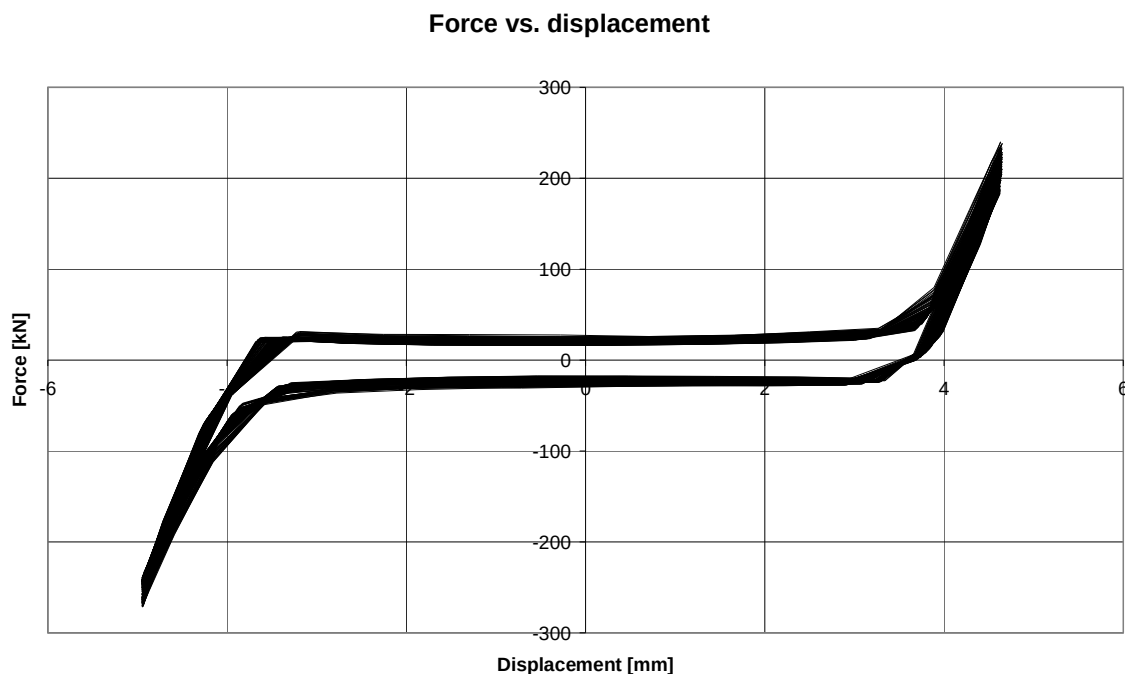
Слика 45 Сила у функцији деформације (хистерезис) у првих 15 циклуса



Слика 46 Сила у функцији деформације (хистерезис), циклуси 15 до 140



Слика 47 Сила у функцији деформације (хистерезис), циклуси 140 до 200



Слика 48 Сила у функцији деформације (хистерезис), циклуси 200 до 322

7 ПОРЕЂЕЊЕ РЕЗУЛТАТА ИСПИТАНИХ УЗОРАКА

Поређењем резултата испитивања узорка бр. 1 и бр. 3 види се практично поклапање резултата. Програми испитивања се незнатно разликују, слика 49, па је и историја оптерећења врло слична, слика 50, као и амортизована енергија, слика 51.

Узорак бр. 2 је имао потпуно другачији програм испитивања, па се дијаграми не могу директно поредити, поготово што је у једном делу испитивања дошло до великог прекорачења оптерећења, које није могло да се региструје, праћеног великим пластичним деформацијама и деградацијом дампера. Без обзира на то, види се да је апсорбована енергија истог реда величине као и код преостала два дампера.

Акумулирана дилатација сва три узорка је:

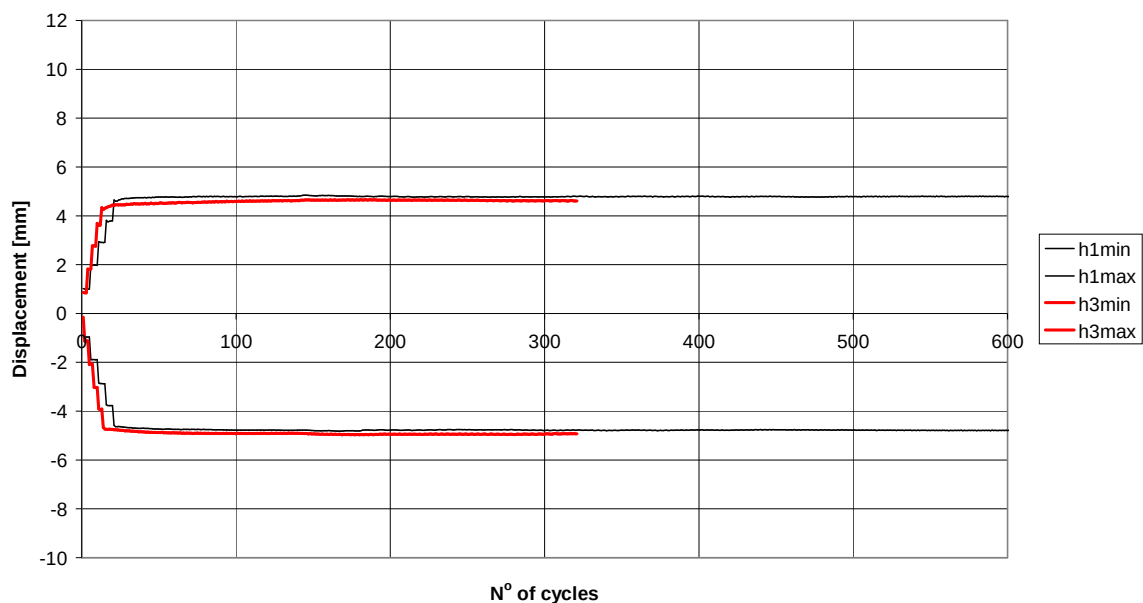
узорак бр. 1: $\Sigma|\Delta\epsilon_i| = 17,3$,

узорак бр. 2: $\Sigma|\Delta\epsilon_i| = 15,4$ и

узорак бр. 3: $\Sigma|\Delta\epsilon_i| = 19,4$

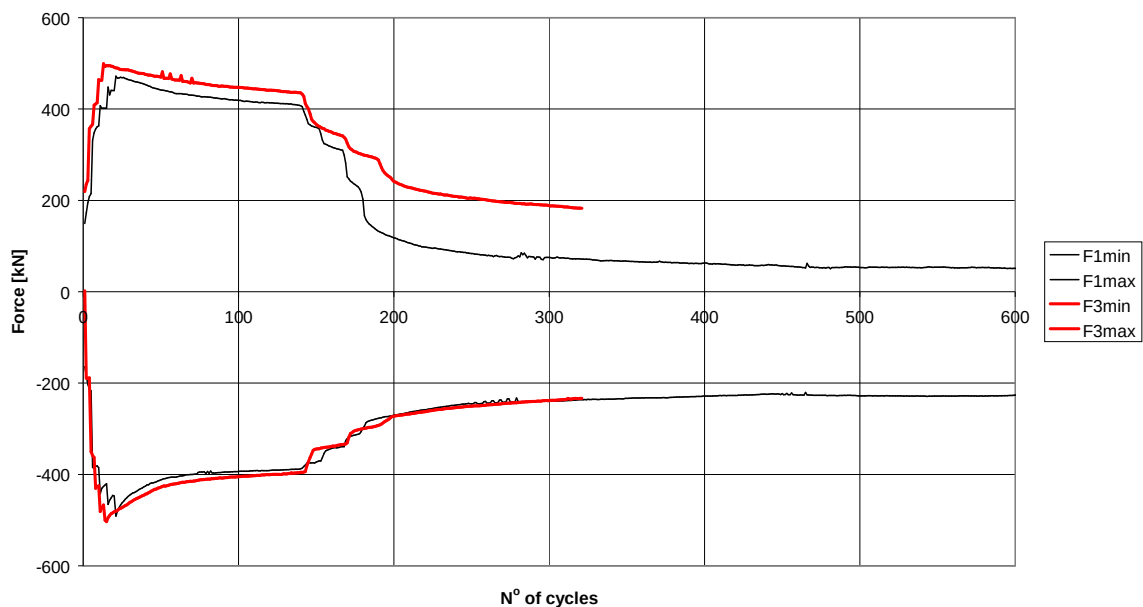
с тим што, због поменутих преоптерећења, ни дилатација, ни енергија, нису могле да се тачно срачунају у том домену.

Displacement vs. N° of cycles

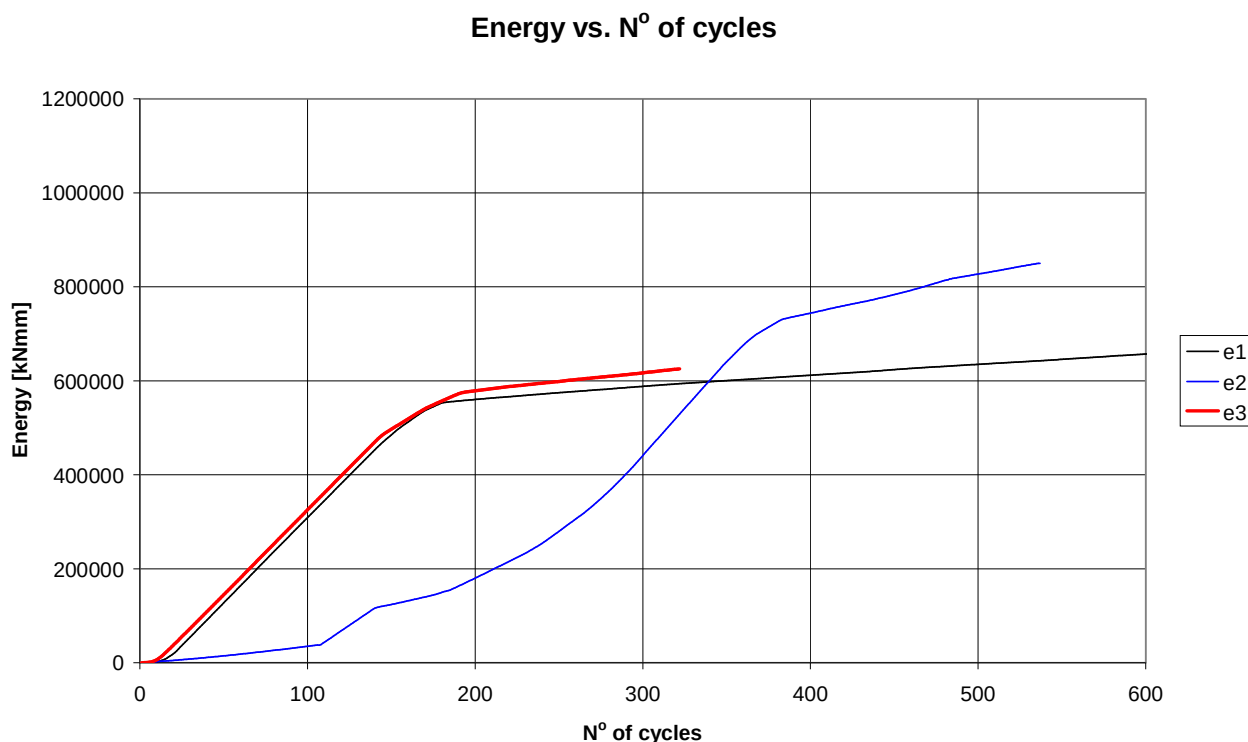


Слика 41 Максимална/минимална деформација у функцији броја циклуса

Max and min force vs. N° of cycles



Слика 42 Максимална/минимална сила у функцији броја циклуса



Слика 44 Апсорбована енергија у функцији броја циклуса

8 ЗАКЉУЧАК О ДАМПЕРУ HQ Royal

Циљ овог испитивања је био да се да оцена квалитета дампера HQ Royal са аспекта амортизације енергије и провери прорачунско подручје употребе овог дампера.

Препоручљиво подручје употребе испитаних дампера је до ± 5 mm и силе до 500 kN, при чему се амортизује енергија око 600 000 kNmm без обзира на историју деформација.

Значајно је, такође, да овај тип дампера има велику резерву пластичности материјала (постколапсни капацитет) чак и након деградације конструкције, када не прима оптерећење на истезање.