

Съвременни методи за сеизмична
оценка, усиление и възстановяване на
стоманобетонни конструкции

доц. д-р инж. Йордан Милев

0888 630 173

j.milev@yoda-bg.com

Общи положения на методите за сеизмична оценка

Лекция 1

Основни теми в лекцията

1. Гранични състояния и сеизмичен hazard
2. Събиране на информация за конструкцията
3. Методи за анализ на конструкцията

1. Гранични състояния и сеизмичен хазарт

Гранични състояния съгласно ЕС 8 част 3

Гранично състояние - Близко до разрушаване (NC). Конструкцията е тежко повредена, с ниска остатъчна носимоспособност и коравина за хоризонтални натоварвания, въпреки че вертикалните елементи са все още в състояние да поемат вертикални товари. По-голямата част от неконструктивните елементи са се разрушили. Налице са големи остатъчни премествания. Конструкцията е пред разрушаване и вероятно не би преживяла следващо земетресение, дори със средна интензивност.

Гранично състояние - Значителни повреди (SD). Конструкцията е значително повредена, с някаква останала носимоспособност за хоризонтални въздействия и якост и вертикалните елементи са годни да понасят вертикални товари. Неконструктивните компоненти са повредени, макар че преградните стени и пълнежите не са депланирани. Налице са средно големи постоянни премествания. Конструкцията може да понесе афтершокове със средна интензивност. Конструкцията е в състояние, при което ремонт е икономически нецелесъобразен.

Гранично състояние - Ограничени повреди (DL). Конструкцията е леко повредена, конструктивните елементи не са достигнали пластични деформации и са запазили своите якостни и коравинни свойства. Неконструктивните елементи като преградни стени и пълнежи са с видими разпределени пукнатини, но отстраняването на повредите е икономически целесъобразно. Постоянните премествания са незначителни. Укрепващи мерки не са необходими.

Сеизмичен хазарт – ЕС8 (нови сгради)

Вероятностна дефиниция: Сеизмичен хазарт за дадена площадка е стойността на максималното ускорение на земната основа a_g (PGA), с дадена вероятност P [%], да бъде надминато за определен период от време T [год.], или с референтен период на повторяемост T_R .

За крайни гранични състояния (ЕС8): Максимално сеизмично ускорение на земната основа a_{gR} (PCY) с вероятност $P_{NCR} = 10\%$ да бъде надминато за период от $T=50$ години или с референтен период на повторяемост $T_R = 475$ г.

За гранично състояние за ограничаване на повредите(ЕС8): Максимално сеизмично ускорение на земната основа a_{gR} (PCY) с вероятност $P_{DLR} = 10\%$ да бъде надминато за период от $T=10$ години или с референтен период на повторяемост $T_{DLR} = 95$ г.

a_{gR} - PCY – Референтно сеизмично ускорение

Сеизмичен хазарт – NAD към EC8-3

Вероятностна дефиниция: Сеизмичен хазарт за дадена площадка е стойността на максималното ускорение на земната основа a_g (PGA), с дадена вероятност P [%], да бъде надминато за определен период от време T [год.], или с референтен период на повторяемост T_R .

За гранично състояние SD (NAD): Максимално сеизмично ускорение на земната основа a_{gR} (PCY) с вероятност $P = 10\%$ да бъде надминато за период от $T=50$ години или с референтен период на повторяемост $T_R=475$ г.

За гранично състояние DL (NAD): Максимално сеизмично ускорение на земната основа a_{gR} (PCY) с вероятност $P = 10\%$ да бъде надминато за период от $T=10$ години или с референтен период на повторяемост $T_R=95$ г.

a_{gR} - PCY – Референтно сеизмично ускорение

Съставил доц. Й.Милев -
L1_SR_2012

Сеизмичен хазарт – EC8-3

За гранично състояние NC (EC8-3) : Максимално сеизмично ускорение на земната основа a_{gR} (PCY) с вероятност $P = 2\%$ да бъде надминато за период от $T=50$ години или с референтен период на повтораемост $T_R=2\,475$ г.

За гранично състояние SD (EC8-3): Максимално сеизмично ускорение на земната основа a_{gR} (PCY) с вероятност $P = 10\%$ да бъде надминато за период от $T=50$ години или с референтен период на повтораемост $T_R=475$ г.

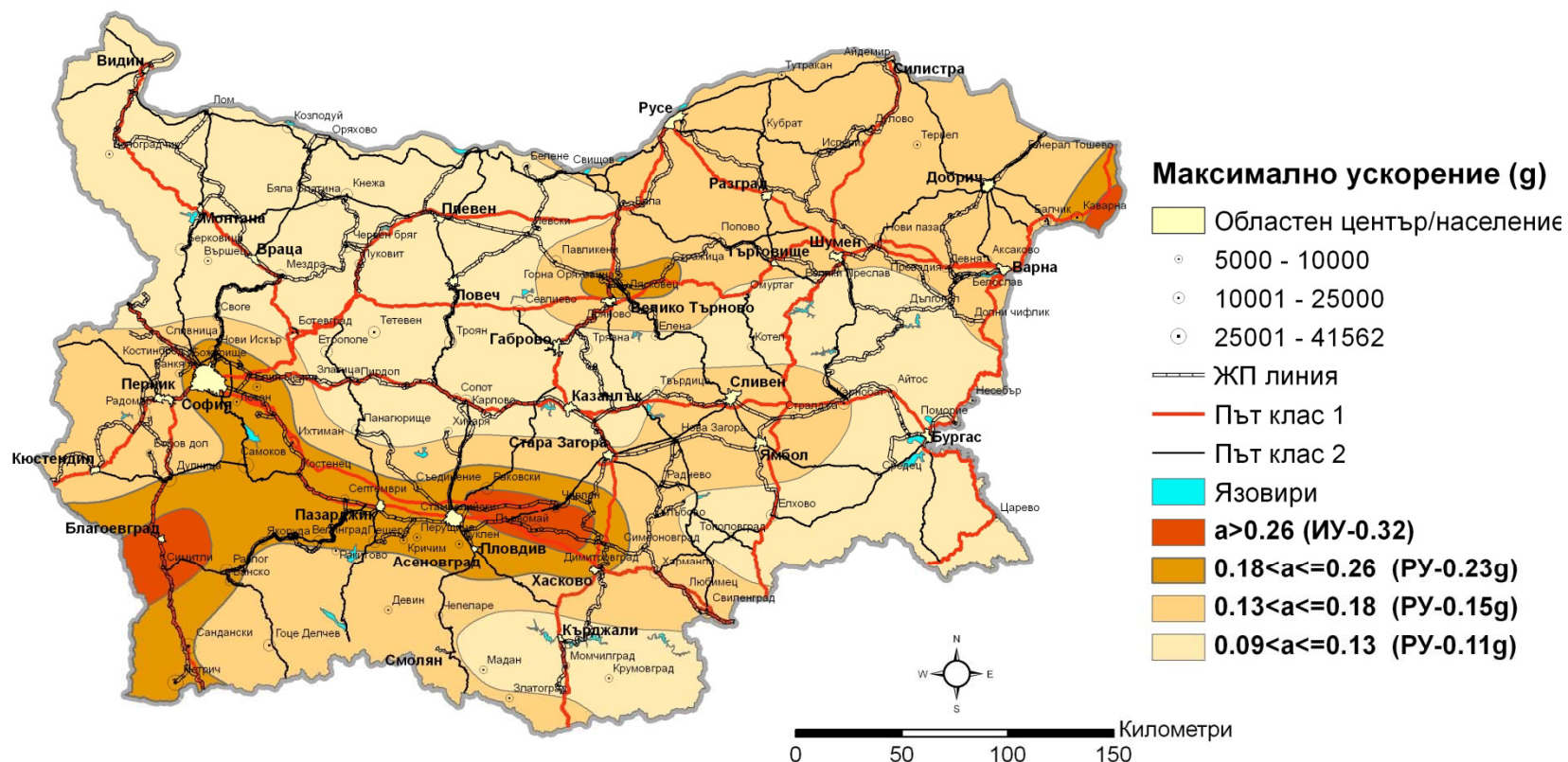
За гранично състояние DL (EC8-3): Максимално сеизмично ускорение на земната основа a_{gR} (PCY) с вероятност $P = 20\%$ да бъде надминато за период от $T=50$ години или с референтен период на повтораемост $T_R=225$ г.

a_{gR} - PCY – Референтно сеизмично ускорение

Съставил доц. Й.Милев -
L1_SR_2012

Национално приложение за България – крайни гранични състояния

Сеизмична опасност (475 г. период на повторемост)



Съставил доц. Й.Милев -
L1_SR_2012

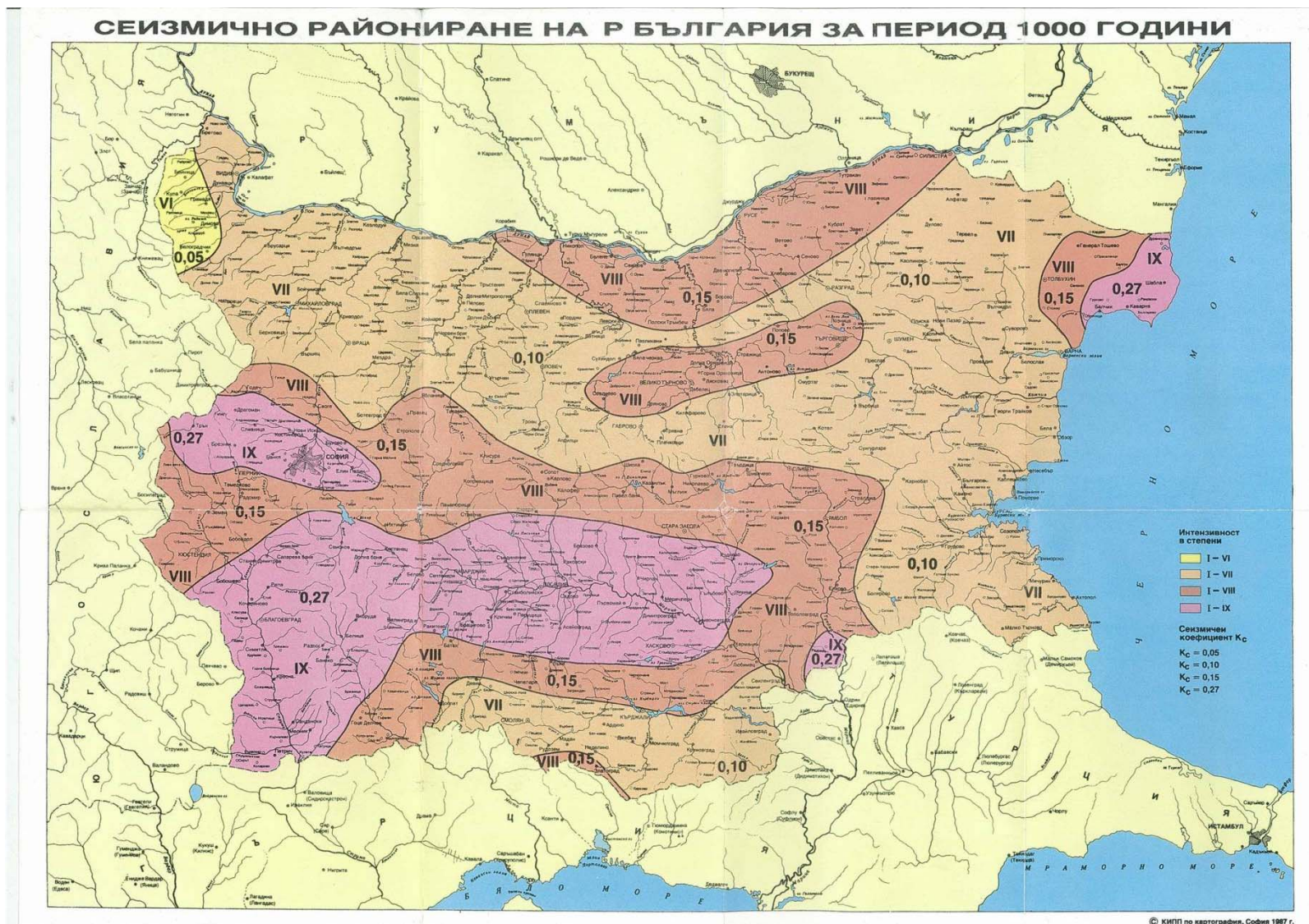
Национално приложение за България – ограничаване на повредите

Сеизмична опасност (95 г. период на повторяемост)



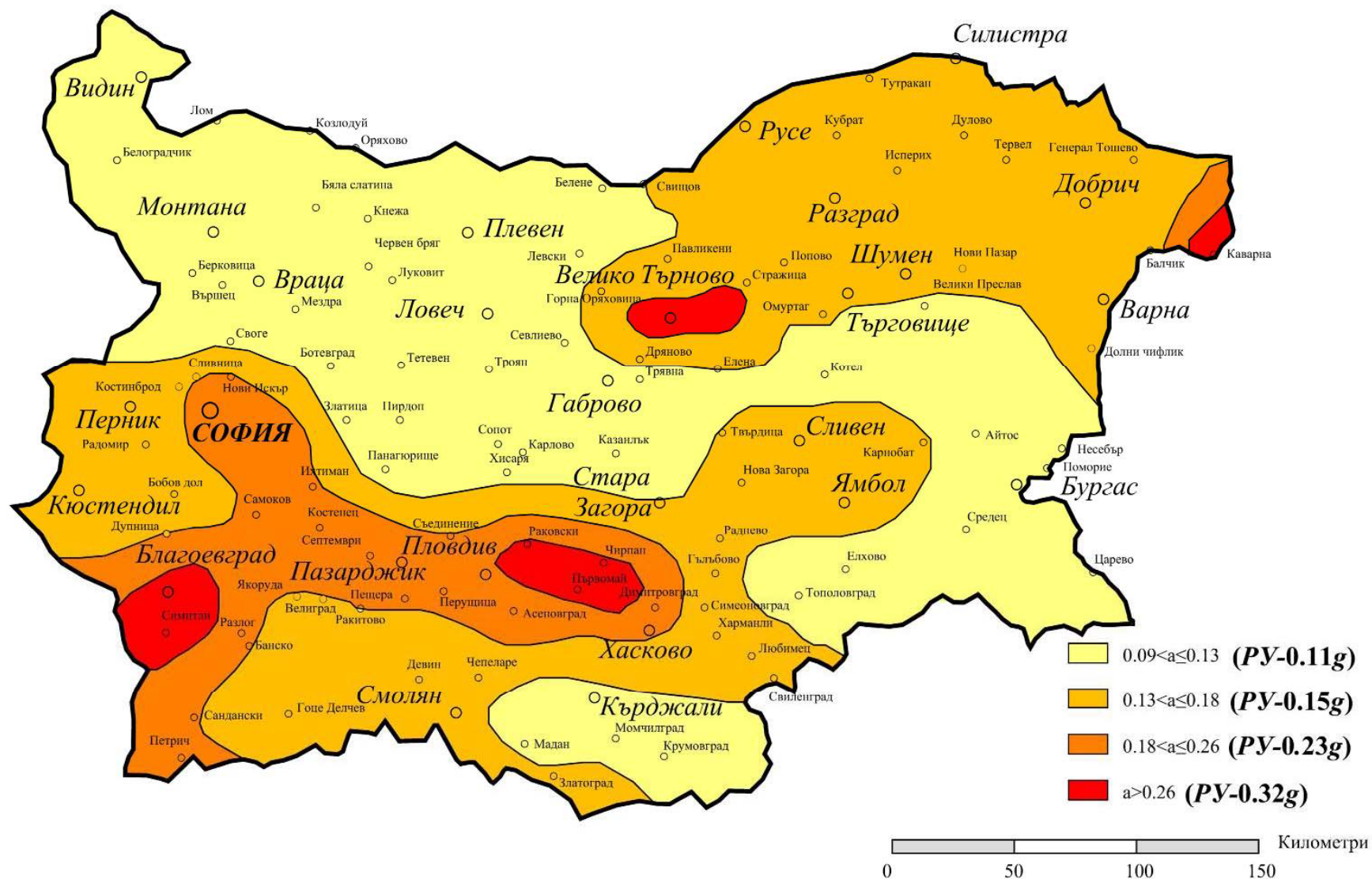
Съставил доц. ~~И. Милев~~
L1_SR_2012

Сеизмична карта на България – Наредба 2



Съставил доц. Й.Милев -
L1_SR_2012

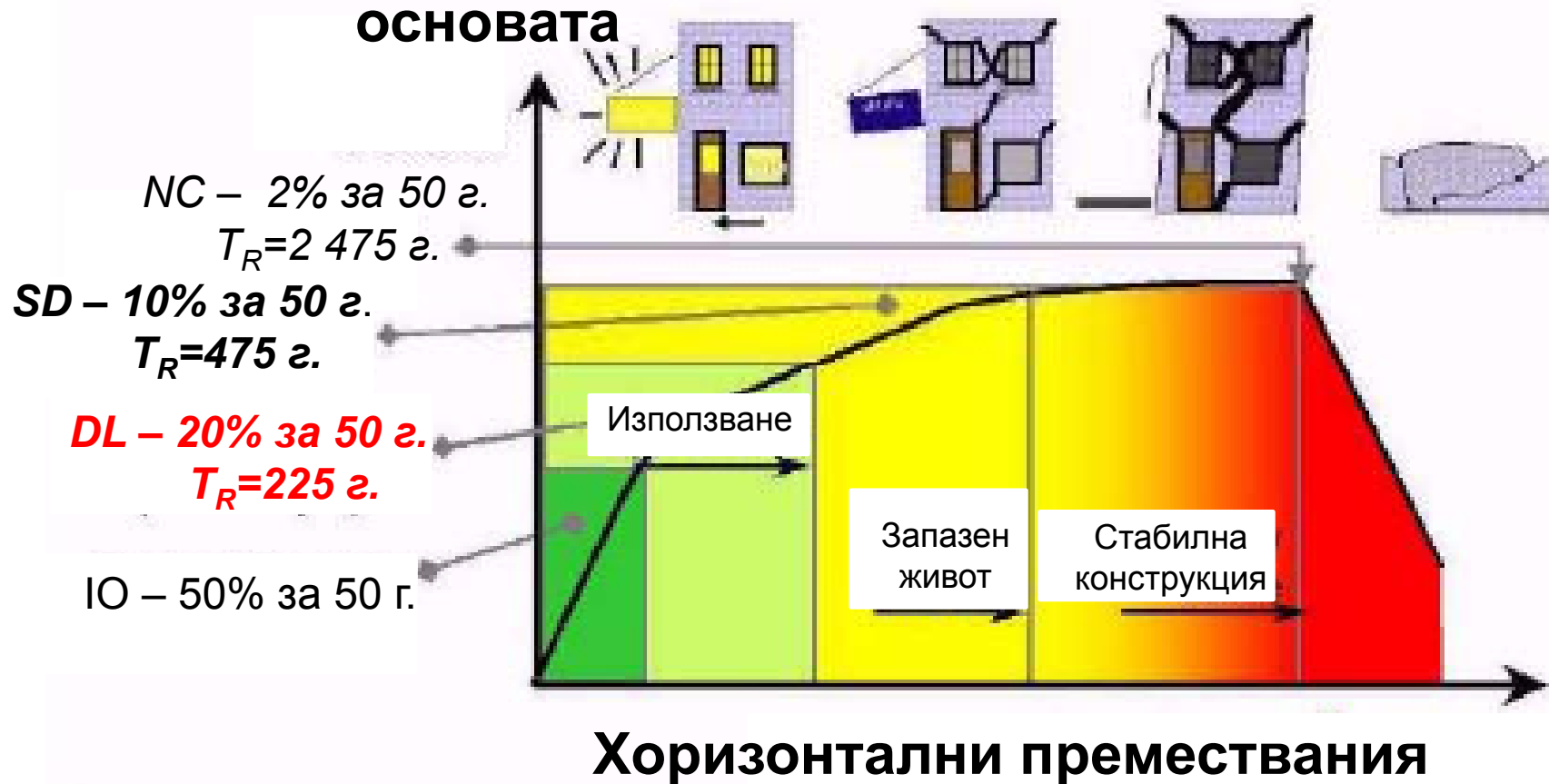
Сеизмична карта на България – ЕС8



Съставил доц. Й.Милев -
L1_SR_2012

Сеизмичен хазарт за граничните състояния съгласно ЕС 8 част 3

Срязваща
сила в
основата



Изисквания за поведение на конструкцията – EC8=3

Сзмичен hazard (рефеиерентен период на повторяемост на проектното въздействие)	Изисквано поведение
$T_R=2475$ години (2% за 50 години) Не се изисква от NAD	<i>Близко до разрушаван е(NC) -</i> тежки повреди, много ниска остатъчна якост &коравина, големи остатъчни премествания, но още стои, животът на хората е запазен
$T_R=475$ години (10% за 50 години)	<i>Значителни повреди (SD) –</i> значителни повреди, конструкцията има някаква остатъчна якост &коравина, неконструктивните елементи са разрушени , неикономически изгодно е да се поправя
$T_R=225$ години (20% за 50 години) – EC8-3 $T_R= 95$ години (10% за 10 години) - NAD	Ограничени повреди (LD)- само леки повреди по конструкцията, повредите по неконструктивните елементи е икономически целесъобразно да бъдат отстранени

2. Събиране на информация за конструкцията

Източници за събиране на информация за сградата

- налична документация конкретно за въпросната сграда;
- съответни допълнителни източници на информация (т.е. стари норми и стандарти);
- полеви изследвания (в повечето случаи на обекта);
- лабораторни измервания и изпитвания;

Необходима информация

- a) Определяне на конструктивната система и нейното съответствие на критериите за регулярност в ЕС8;
- b) Определяне на вида на фундирането на сградата.
- c) Определяне на условията на земната основа, съгласно ЕС8
- d) Информация за общите размери и характеристиките на напречното сечение на елементите на сградата и механичните характеристики и състоянието на вложените материали.
- e) Информация за дефекти на материалите и неподходящо детайлиране;.
- f) Информация за критерия за сеизмично проектиране, използван в първоначалния проект, в това число и стойността на коефициента q за редуциране на въздействието, ако е приложим.
- g) Описание на настоящото и/или планираното предназначение на сградата (с определяне на нейния клас на значимост, както е описано в ЕС8.
- h) Преоценка на приложените въздействия, като се вземе предвид предназначението на сградата.
- i) Информация за вида и големината на предишни и настоящи повреди на конструкцията, ако има такива, включително по-рано предприети мерки за възстановяване.

Ниво на достоверност на събраната информация (KL – knowledge level)

- Ограничено ниво на познаване на сградата (KL1 – limited knowledge)
- Нормално ниво на познаване на сградата (KL2 – normal knowledge)
- Пълно ниво на познаване на сградата (KL3 – full knowledge)

Факторите, които определят подходящото ниво на информация (KL1, KL2 или KL3)

- i) *Геометрия*: геометричните свойства на конструктивната система и на тези неконструктивни елементи (например панели с пълнежна зидария), които могат да повлияят върху реагирането на конструкцията.
- ii) *Детайли*: те включват количеството и детайлирането на армировката в стоманобетона, връзките между стоманените елементи, връзката между подовите диафрагми и конструктивните елементи, устойчиви на хоризонтални въздействия, свързващия разтвор на зидарията и естеството на всички усилващи елементи в зидарията.
- iii) *Материали*: механичните свойства на вложените материали.

Нива на информация и съответните методи за анализ

Нива	Геометрия	Детайли	Материали	Анализи	CF
KL1	1) От оригинални конструктивни чертежи с частично заснемане на представителни елементи или 2) От цялостно заснемане	1) Възпроизвеждащо проектиране и от ограничено обследване на място	1) Съгласно стандартите от времето на строителството или 2) От ограничено изпитване на място	Метод на хоризонталните сили – LF Спектрален анализ - MRS	$CF_{KL1}=1.35$
KL2		1) От непълни оригинални детайлни конструктивни чертежи с ограничено обследване на място или 2) От разширено обследване на място	1) От оригинални проектни спецификации с ограничено изпитване на място или 2) От разширено изпитване на място	Всички	$CF_{KL2}=1.20$
KL3		1) От оригиналните детайлни конструктивни чертежи с ограничено обследване на място или 2) От комплексно обследване на място	1) От оригинални протоколи от тестове с ограничено изпитване на място или 2) От комплексно изпитване на място	Всички	$CF_{KL3}=1.0$

Съставил доц. Й. Милев -

Понятия, свързани с геометрията

Конструктивни чертежи - документи, които описват геометрията на конструкцията, дават възможност за установяване на конструктивните елементи и техните размери, както и конструктивната система, предвидена да поема както вертикални, така и хоризонтални натоварвания.

Детайлни конструктивни чертежи - документи, които описват геометрията на конструкцията, дават възможност за установяване на конструктивните елементи и техните размери, както и конструктивната система, предвидена да поема както вертикални така и хоризонтални натоварвания. Освен това те съдържат и информация за детайлите.

Визуално заснемане - Процедура за проверка на съответствието между действителната геометрия на конструкцията и тази в наличните конструктивни чертежи. Трябва да се извършат геометрични измервания на избрани елементи. Възможни конструктивни промени, възникнали по време на строителството или по-късно, подлежат на цялостно заснемане.

Цялостно заснемане - Процедура, в резултат на която, се изработват конструктивни чертежи, които описват геометрията на конструкцията, дават възможност за установяване на конструктивните елементи и техните размери както и конструктивната система, предвидена да поема, както вертикални така и хоризонтални натоварвания.

Понятия, свързани с детайлите

Възпроизвеждащо проектиране - процедура, в резултат на която се определя количеството и разположението на надлъжната и напречна армировка във всички елементи, участващи във формирането на носимоспособността на сградата за вертикални и хоризонтални въздействия. Проектът трябва да се изпълни на базата на нормативните документи и степента на практическите знания използвани по времето на строителството.

Ограничено обследване на място - процедура за проверка на съответствието на действителните детайли на конструкцията с тези в наличните детайлни конструктивни чертежи или с резултатите от възпроизвеждащото проектиране,

Разширено и комплексно обследване на място - процедури, които се използват когато няма налични оригинални детайлни конструктивни чертежи.

Понятия, свързани с материалите

Разрушителни и безразрушителни изпитвания -Могат да се прилагат безразрушителни методи за изпитване (като изпитване със склерометър на Schmidt). Тези изпитвания не трябва да се прилагат самостоятелно, а само в комбинация с разрушителни изпитвания.

Ограничени изпитвания на място - процедура за допълване на информацията за характеристиките на материалите, получена или от стандартите, действали по време на строителството, или от оригиналните проектни спецификации, или от оригиналните доклади от проведени изпитвания. Ако стойностите от изпитванията са по-ниски от стойностите, според стандартите действали по време на строителството, е необходимо да се извършат разширени изпитвания на място.

Разширени и подробни изпитвания на място - процедура за получаване на информация, когато не са налични нито оригинални проектни спецификации, нито доклади от изпитвания.

Минимални изисквания за различните нива на обследване и изпитване

	Обследване (на детайлите)	Изпитване (на материалите)
	За всеки тип главни елементи (греди, колони, стени)	
Ниво на обследване и изпитване	Процент на проверените елементи в детайли	Проби от материалите на едно етажно ниво
Ограничено	20	1
Разширено	50	2
Подробно (комплексно)	80	3

Визуално обследване



Съставил доц. Й.Милев -
L1_SR_2012

Дефекти в носещата конструкция



Съставил доц. Й.Милев -
L1_SR_2012

Безразрушително изпитване със склерометър тип Schmidt-N



Съставил доц. Й.Милев -
L1_SR_2012

Екипировка тип Hilti за вадене на пробни тела



Тариране на склерометър тип Schmidt-N



Съставил доц. Й.Милев -
L1_SR_2012

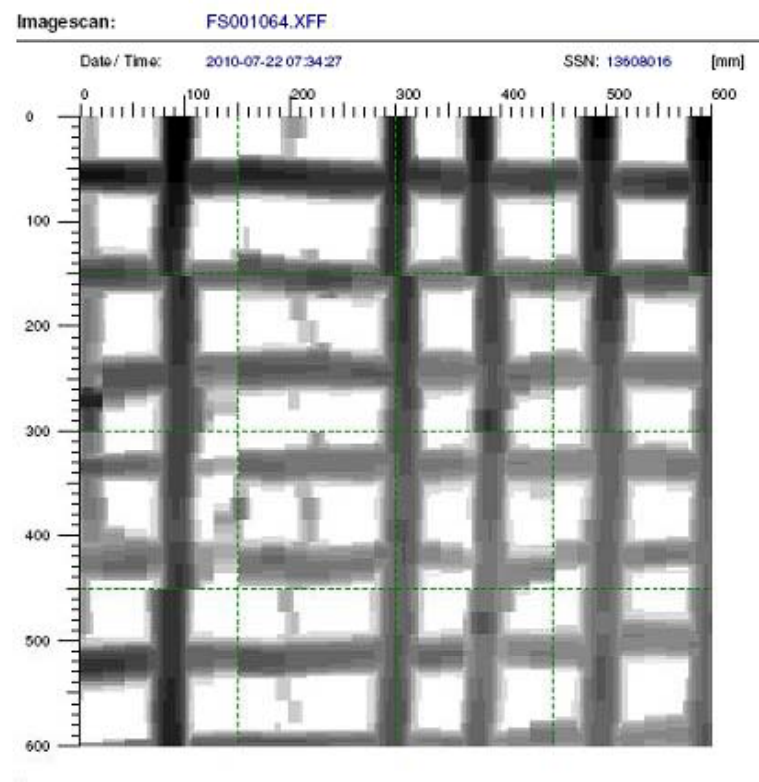
Пробни тела за лабораторно изпитване



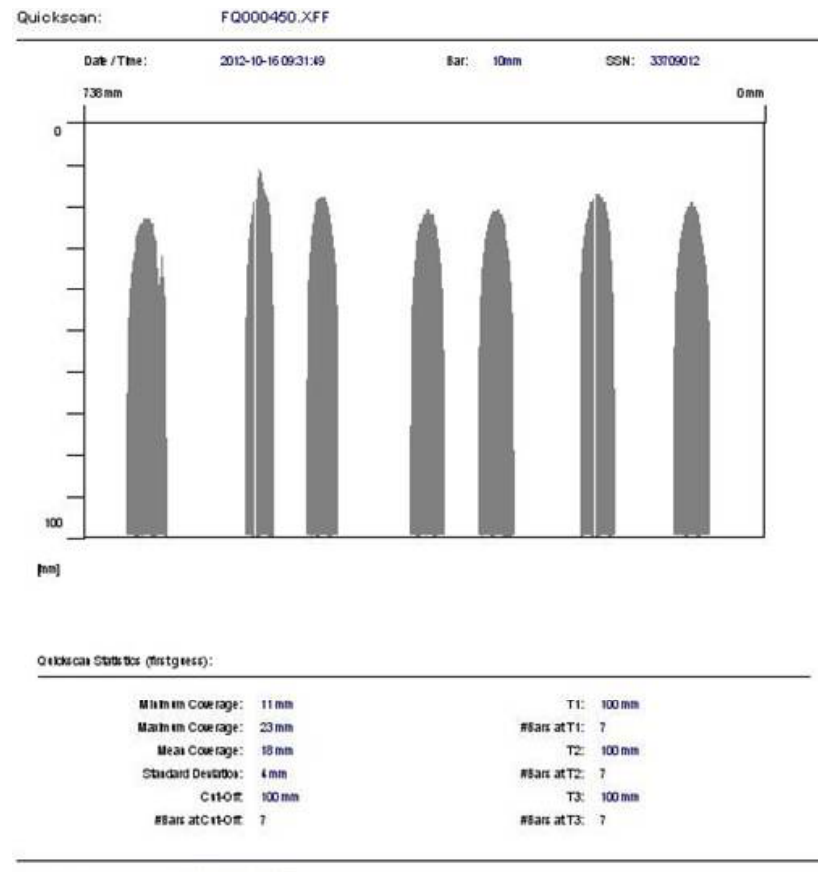
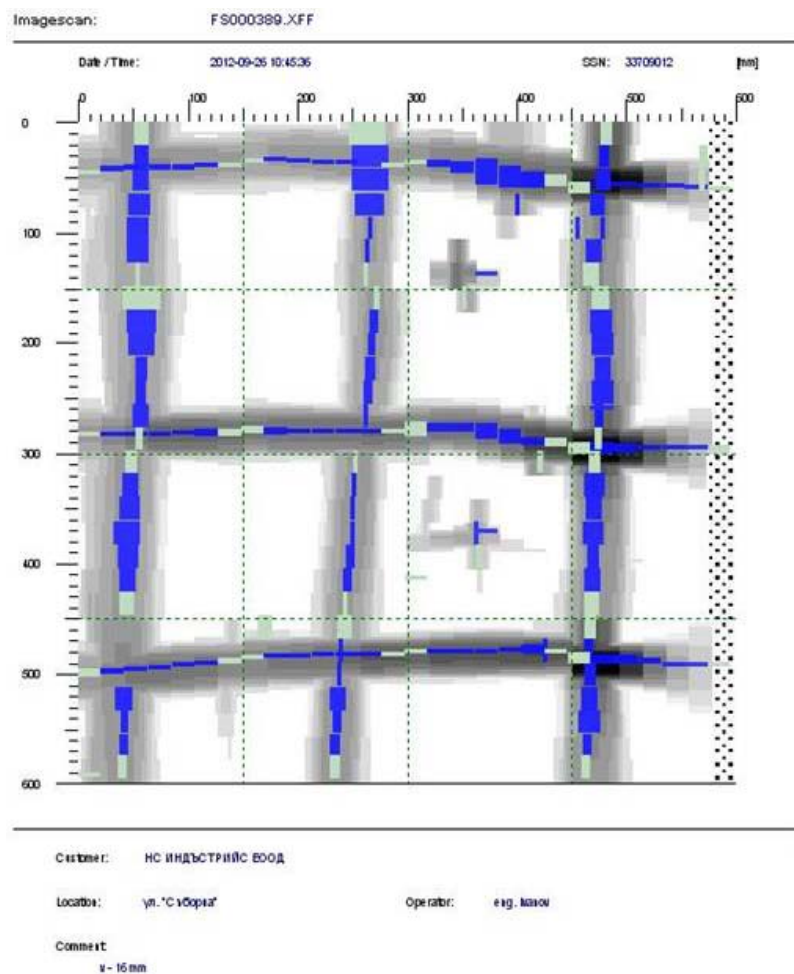
Изпитване на пробни тела



Сканиране на армировката с Hilti Feroscan



Резултати от сканиране на армировката с Hilti Feroscan



Локално разкритие на армировката



Колометричен тест за оценка на карбонизацията на бетоновото покритие



Изпитване на зидария на място



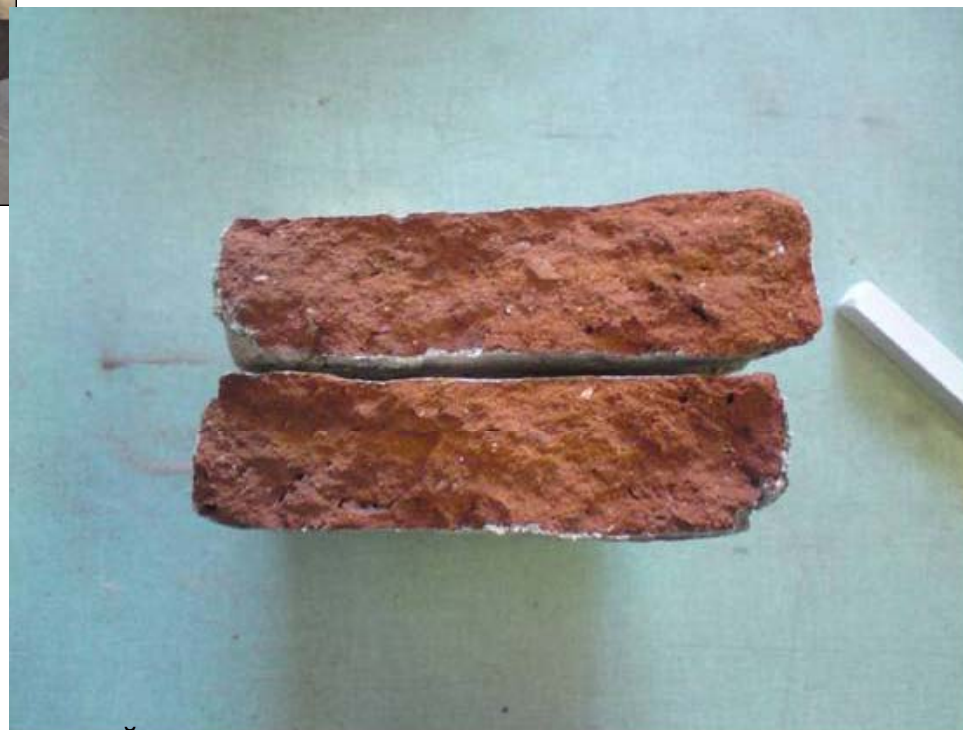
Съставил доц. Й.Милев -
L1_SR_2012

Изваждане на зидарийни пробни тела



Съставил доц. Й.Милев -
L1_SR_2012

Лабораторно изпитване на огъване на зидарийни тела



Съставил доц. Й.Милев -
L1_SR_2012

Лабораторно изпитване на натиск на зидарийни тела



Локално разкритие на фундаменти



Изпитване на пробни тела от земната основа

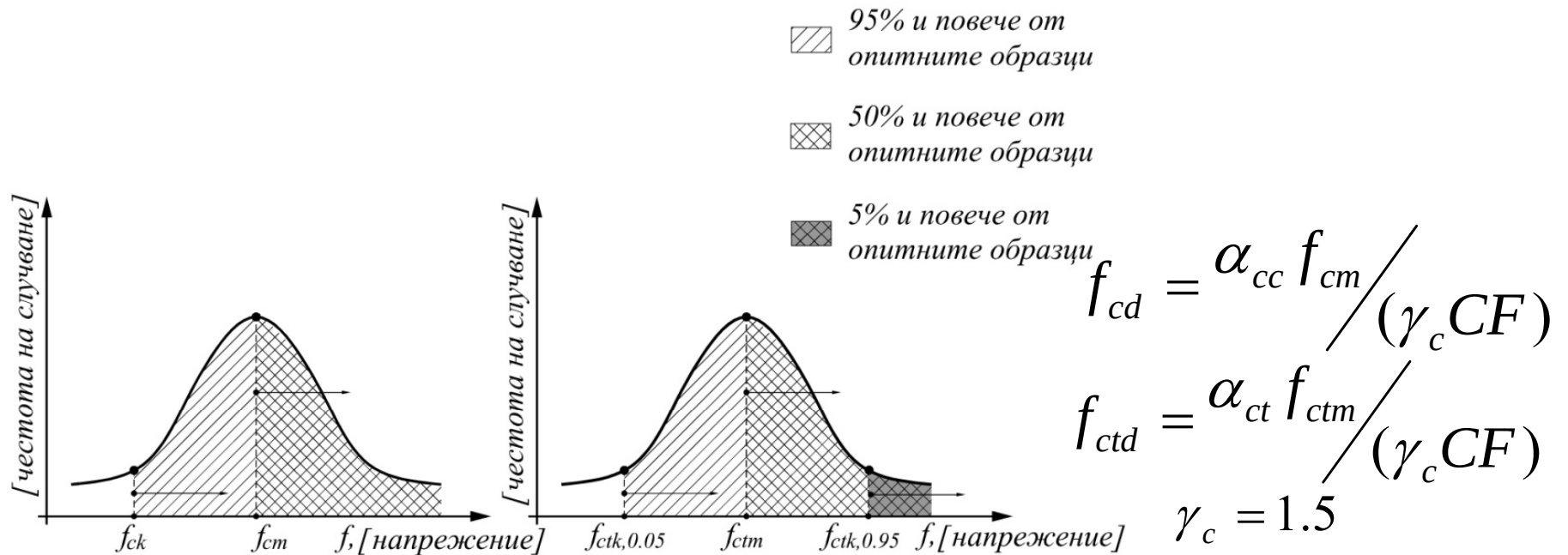


3. Методи за анализ

Методи на анализ

- Метод на хоризонталните сили (линеен) с линеен спектър на реагиране;
- Спектрален анализ (линеен), с линеен спектър на реагиране;
- Нелинеен статичен (pushover) анализ,
- Нелинеен динамичен анализ с акселерограми
- Метод с коефициент на поведение – q ($q=1.5$ за стоманобетонни конструкции освен ако се докаже наличие на достатъчна локална и глобална дуктилност, изчислена съгласно съответните изисквания на ЕС 8.) Използват се средни стойности на характеристиките на материалите разделени с доверителен коефициент CF и частен коефициент (γ_c или γ_s)

Проектни якости на бетона



а) Цилиндрични якости на натиск

б) Цилиндрични якости на опън

$\alpha_{cc} = 0.85$ при проверките на нормалните сечения на монолитни вертикални и наклонени елементи (колони и стени)

$\alpha_{cc} = 1.00$ във всички останали случаи;

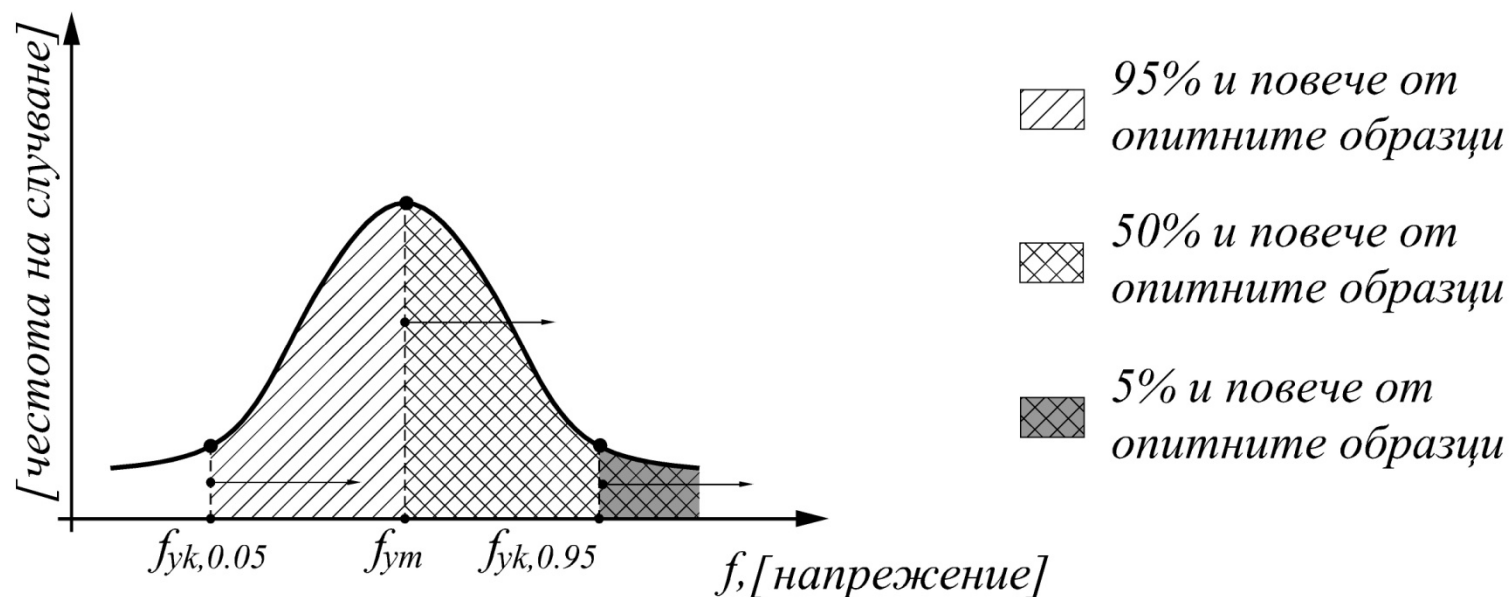
$\alpha_{ct} = 1.00$ във всички случаи.

Съставил доц. Й.Милев -
L1_SR_2012

Якостни и деформационни характеристики на бетона - 1

Класове по якост на бетон														
f_{ck} (MPa)	12	16	20	25	30	35	40	45	50	55	60	70	80	90
$f_{ck,cube}$ (MPa)	15	20	25	30	37	45	50	55	60	67	75	85	95	105
f_{cm} (MPa)	20	24	28	33	38	43	48	53	58	63	68	78	88	98
f_{ctm} (MPa)	1,6	1,9	2,2	2,6	2,9	3,2	3,5	3,8	4,1	4,2	4,4	4,6	4,8	5,0
$f_{ctk, 0,05}$ (MPa)	1,1	1,3	1,5	1,8	2,0	2,2	2,5	2,7	2,9	3,0	3,1	3,2	3,4	3,5
$f_{ctk, 0,95}$ (MPa)	2,0	2,5	2,9	3,3	3,8	4,2	4,6	4,9	5,3	5,5	5,7	6,0	6,3	6,6
E_{cm} (GPa)	27	29	30	31	33	34	35	36	37	38	39	41	42	44
ε_{c1} (‰)	1,8	1,9	2,0	2,1	2,2	2,25	2,3	2,4	2,45	2,5	2,6	2,7	2,8	2,8
ε_{cu1} (‰)	3,5									3,2	3,0	2,8	2,8	2,8
ε_{c2} (‰)	2,0									2,2	2,3	2,4	2,5	2,6
ε_{cu2} (‰)	3,5									3,1	2,9	2,7	2,6	2,6
n	2,0									1,75	1,6	1,45	1,4	1,4
ε_{c3} (‰)	1,75									1,8	1,9	2,0	2,2	2,3
ε_{cu3} (‰)	3,5									3,1	2,9	2,7	2,6	2,6

Проектни стойности на якостите на армировъчните стомани



$$f_{yd} = \frac{f_{ym}}{(\gamma_s CF)} \quad \gamma_s = 1.15$$

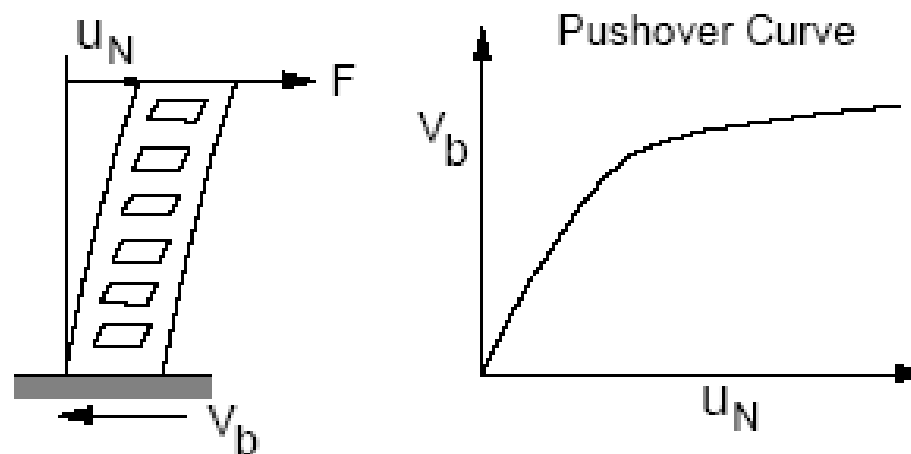
Съставил доц. Й.Милев -
L1_SR_2012

СТАТИЧЕН НЕЛИНЕЕН АНАЛИЗ (PUSHOVER)

Съставил доц. Й.Милев -
L1_SR_2012

Стъпка 1

1. Получаване на зависимост между срязващата сила при основата, V_b , и преместването на покрива (N^{th} етаж), u_N , известна като “крива на поведение” (pushover curve.)



Стъпка 2

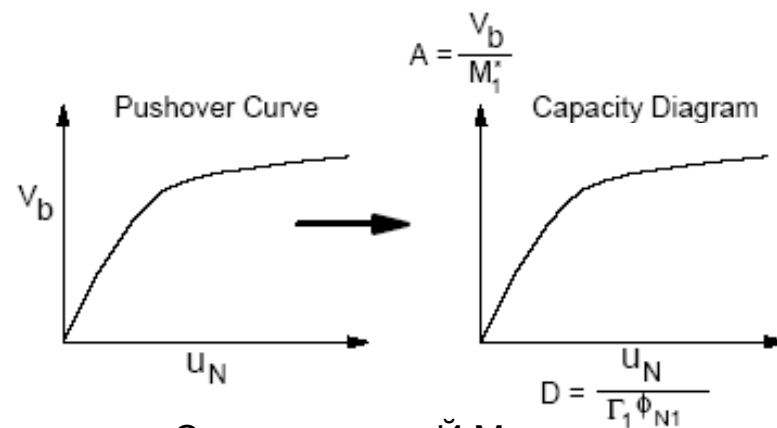
2. Конвертиране на кривата на поведение (pushover curve) в “капацитивна крива” (capacity diagram), където

$$\Gamma_1 = \frac{\sum_{j=1}^N m_j \phi_{j1}}{\sum_{j=1}^N m_j \phi_{j1}^2} \quad M_1^* = \frac{\left(\sum_{j=1}^N m_j \phi_{j1} \right)^2}{\sum_{j=1}^N m_j \phi_{j1}^2}$$

m_j = концентрираната маса на j -тиетаж

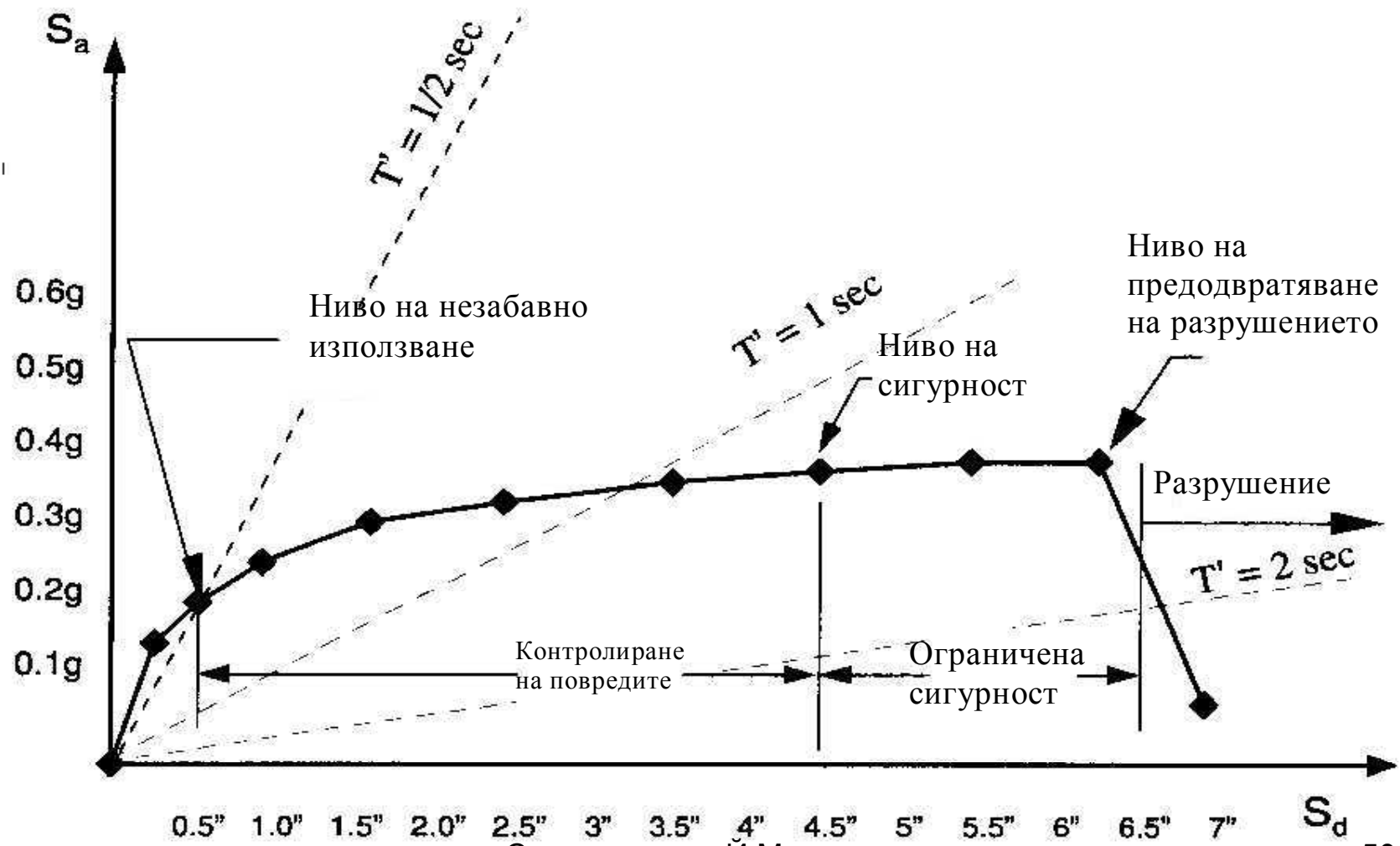
ϕ_{1j} е ординатата на j^{th} - етаж от първа форма на свободни трептения ϕ_1 ,
 N е броят на етажите ;

M_1^* е ефективната модална маса за първа форма на свободни трептения.



Съставил доц. Й.Милев -
 L1_SR_2012

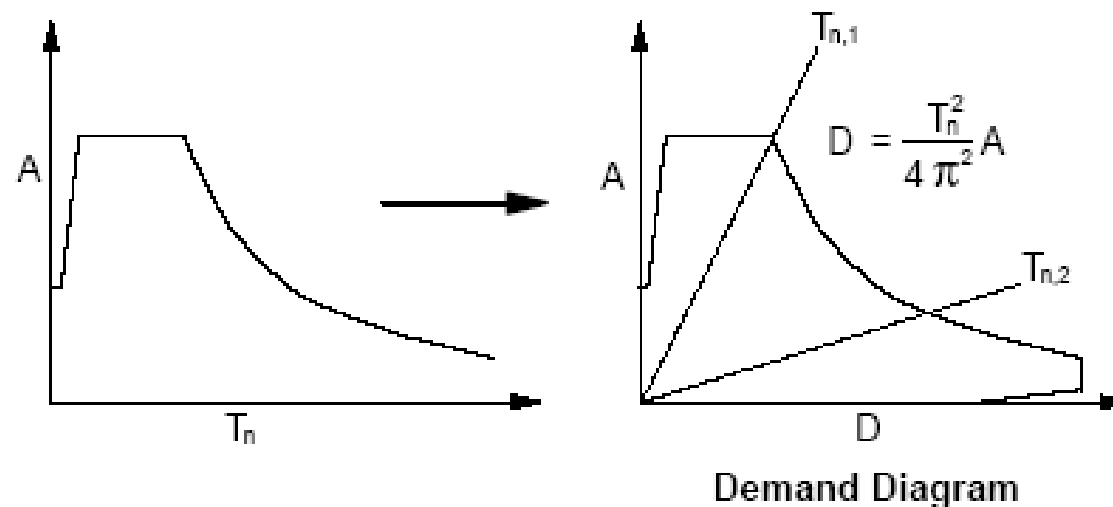
Типична капацитивна крива



Съставил доц. Й.Милев -
L1_SR_2012

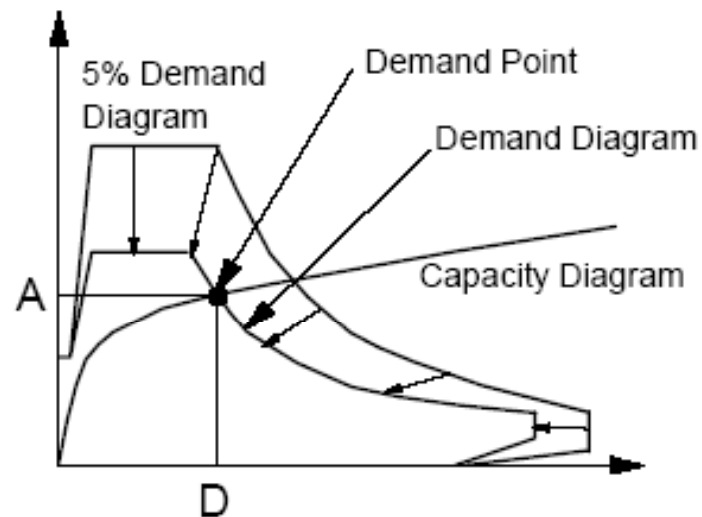
Стъпка 3

Конвертиране на еластичния (или проектния) спектър на реагиране от стандартен формат “псевдоускорение” , A , за даден период , T_n , към $D A$ – където, D е съответната ордината от спектъра на преместванията., наречена “капацитивен спектър” (capacity spectrum or Demand diagram)

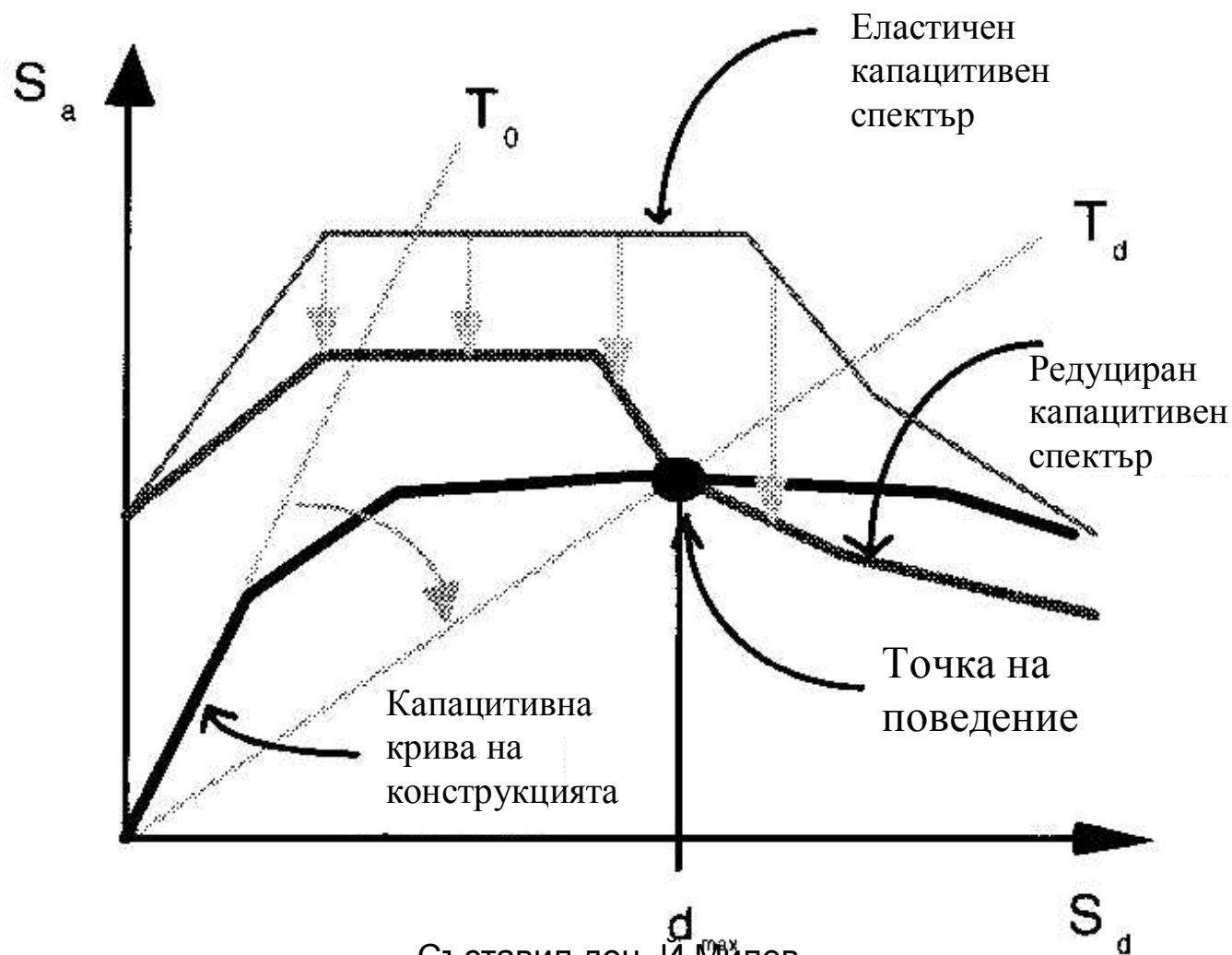


Стъпка 4

Плотиране заедно на “капацитивната крива” и “капацитивния спектър” за да бъдат определени изискванията за преместване (displacement demand). Капацитивния спектър се коригира за еквивалентни стойности на периода, T_{eq} , и ефективния коефициент на затихване, ζ_{eq} .



Капацитивен спектър и капацитивна крива

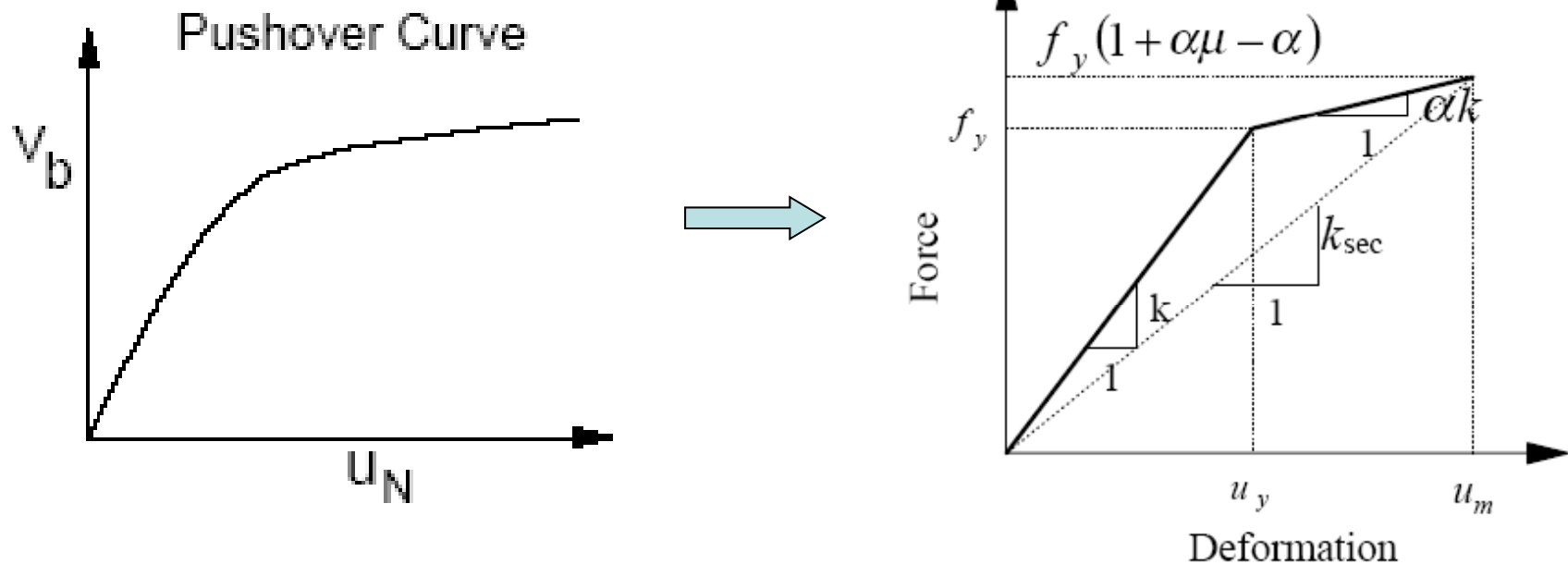


Съставил доц. И.Милев -
L1_SR_2012

Стъпка 5

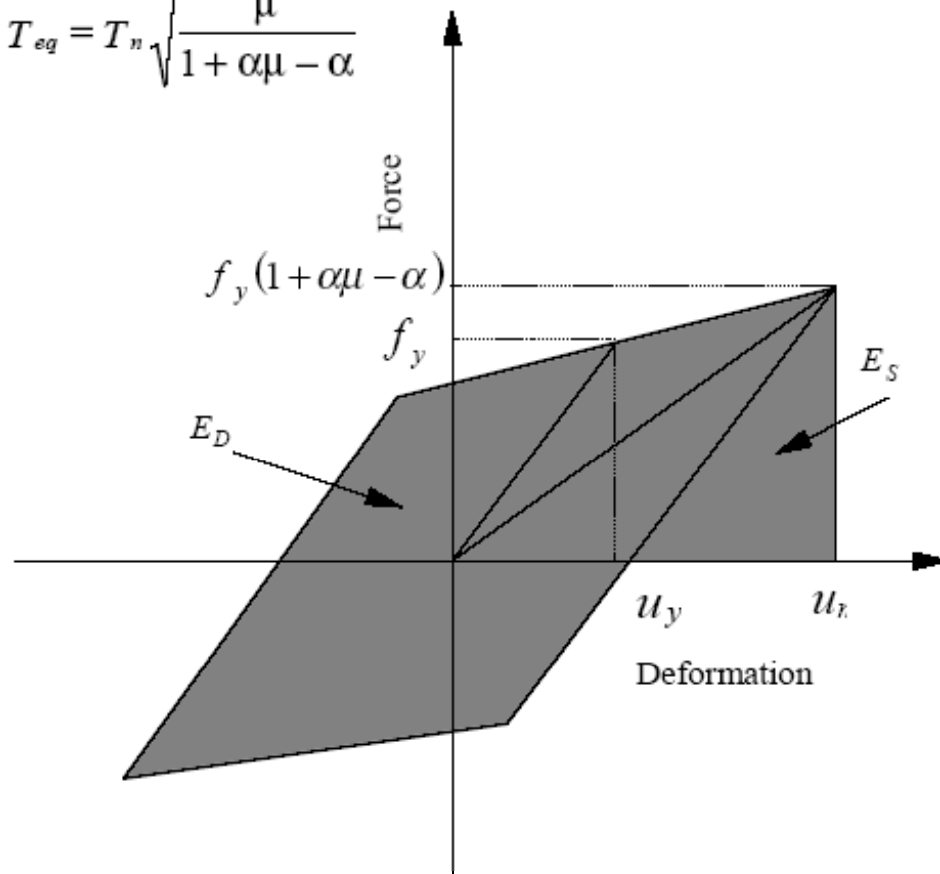
Конвертиране на изискванията за преместване , получени на Стъпка 4 в глобално преместване на покрива. Изчисляват се и съответните изисквани локални премествания и деформации, които се сравняват с целевите такива за осигуряване на съответно ниво на поведение.

Трансформация на кривата на поведение



Еквивалентно затихване и еквивалентен период на трептения

$$T_{eq} = T_n \sqrt{\frac{\mu}{1 + \alpha\mu - \alpha}}$$

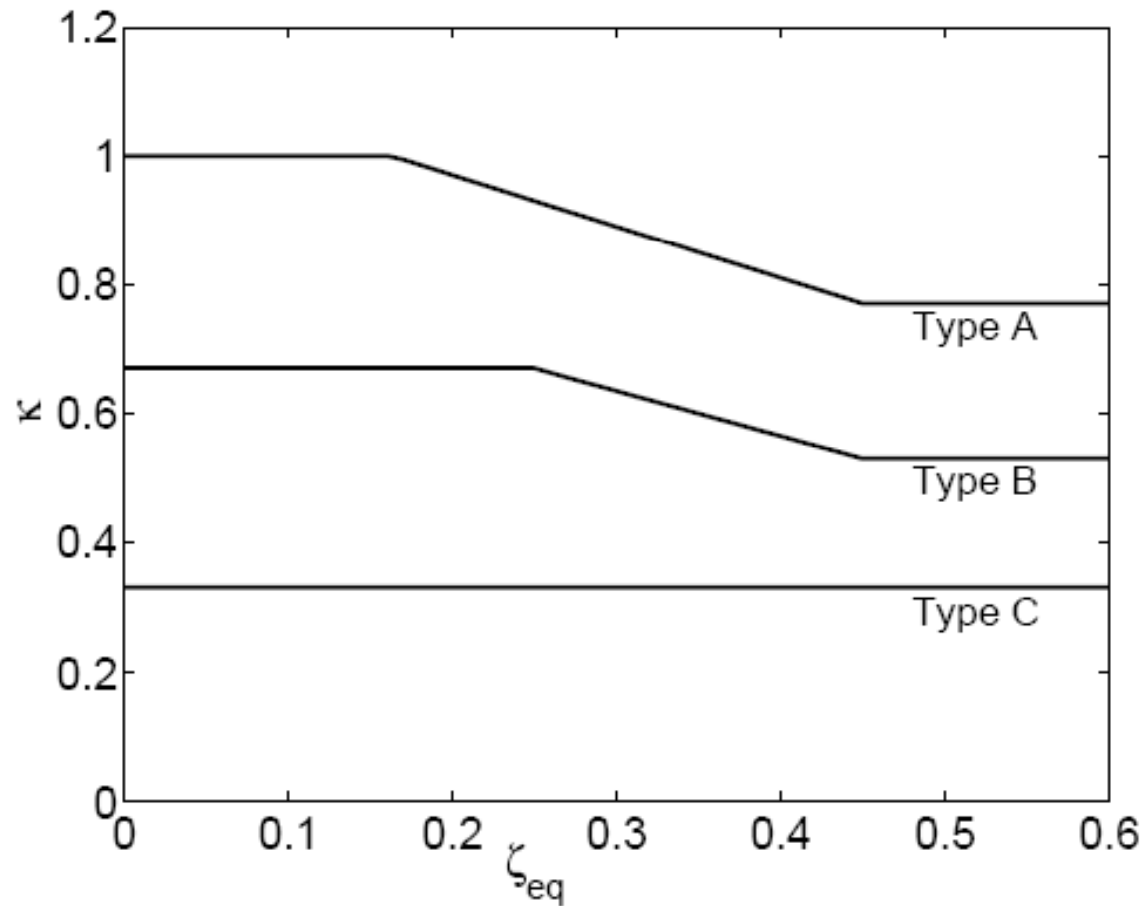


$$\zeta_{eq} = \frac{1}{4\pi} \frac{E_D}{E_S}$$

$$\zeta_{eq} = \frac{2}{\pi} \frac{(\mu - 1)(1 - \alpha)}{\mu(1 + \alpha\mu - \alpha)}$$

$$\hat{\zeta}_{eq} = \zeta + \zeta_{eq}$$

Еквивалентно затихване, съгласно АТС-40



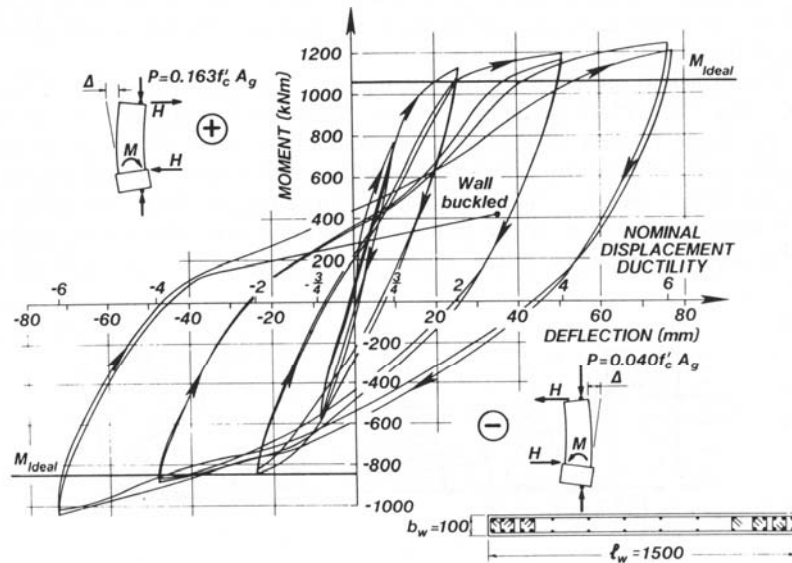
$$\zeta_{eq} = \zeta + \kappa \zeta_{eq}$$

Класове на сградите, съгласно ATC-40

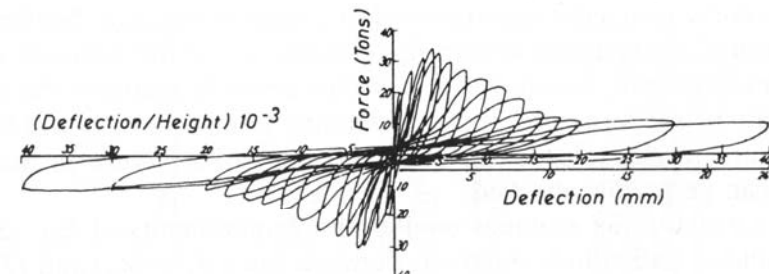
Тип А са със стабилно хистерезисно поведение,

Тип С са със значително “прищипване” (pinching) и деградация на хистерезисните примки;

Типе В са с междинно поведение между А и В.



Тип А



Тип С

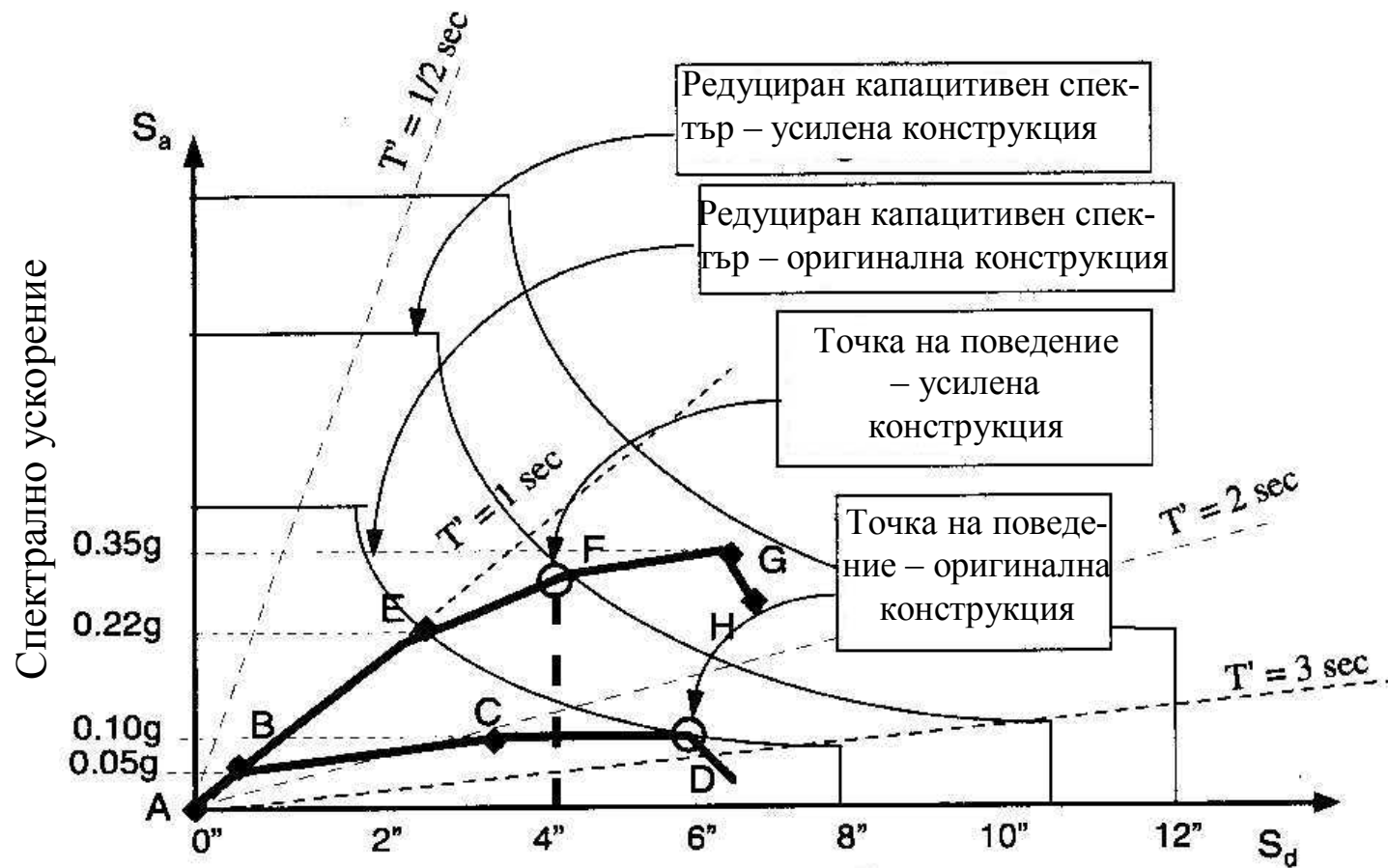
Процедура А на АТС-40

1. Плотиране заедно на “капацитивната крива” и “капацитивния спектър” с 5%- затишване и двете в A-D формат ;
2. Оценява се максималното изискване за преместване (displacement demand) D_i и съответното му псевдоускорение A_i от капацитивния спектър,, там където “капацитивната крива” и “капацитивния спектър” се пресичат. Определя се периода T_n от еластичния спектър. Конвертира се D_i в $U_i = S_d(T_n, \xi = 5\%)$
3. Изчислява се дуктилността $\mu_i = U_i / u_y$
4. Изчислява се еквивалентния коефициент на затишване ζ_{eq}
5. Плотира се “капацитивния спектър” с ζ_{eq} % затишване. Отчита се D_j , където “капацитивната крива” и “капацитивния спектър” се пресичат;
6. Проверка за сходимост . Ако $(D_j - D_i) / D_i \leq \text{допуск} (=0.05)$.

Ако има сходимост се зчисляват се и съответните изисквани локални премествания и деформации, съответстващи на U_i . Те се сравняват с целевите такива за осигуряване на съответно ниво на поведение.

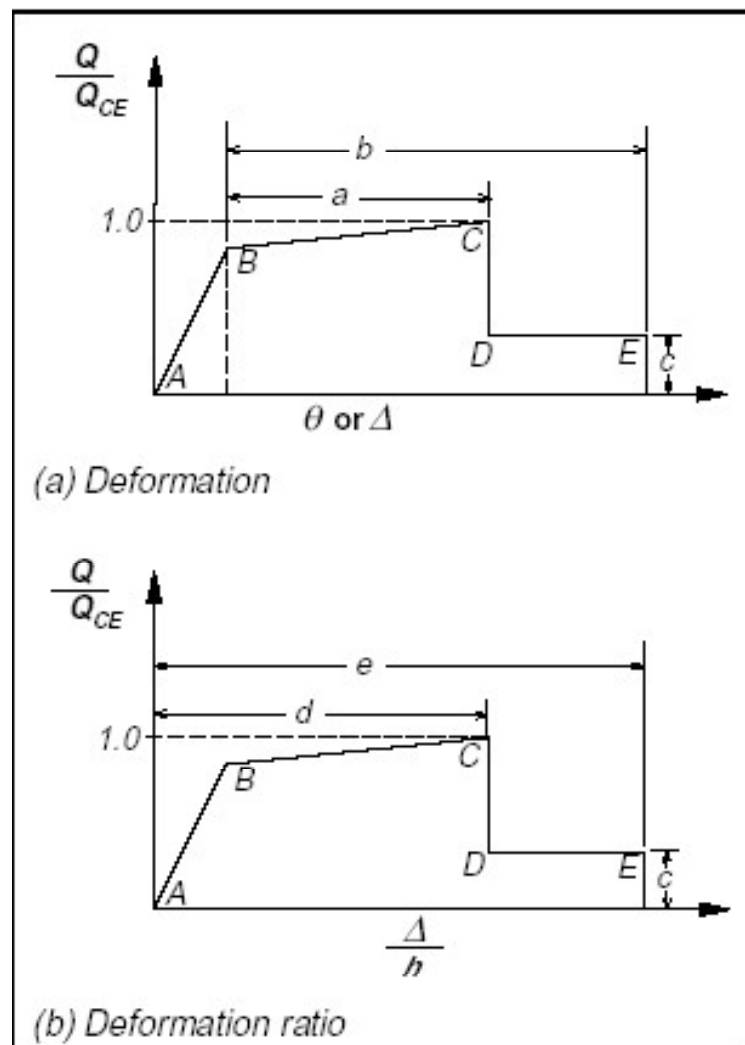
Ако няма сходимост се конвертира D_j в U_j . Полага се $D_i = D_j$ и $U_i = U_j$ и се повтарят стъпки 3-6.

Влияние на усиливането върху капацитивната крива



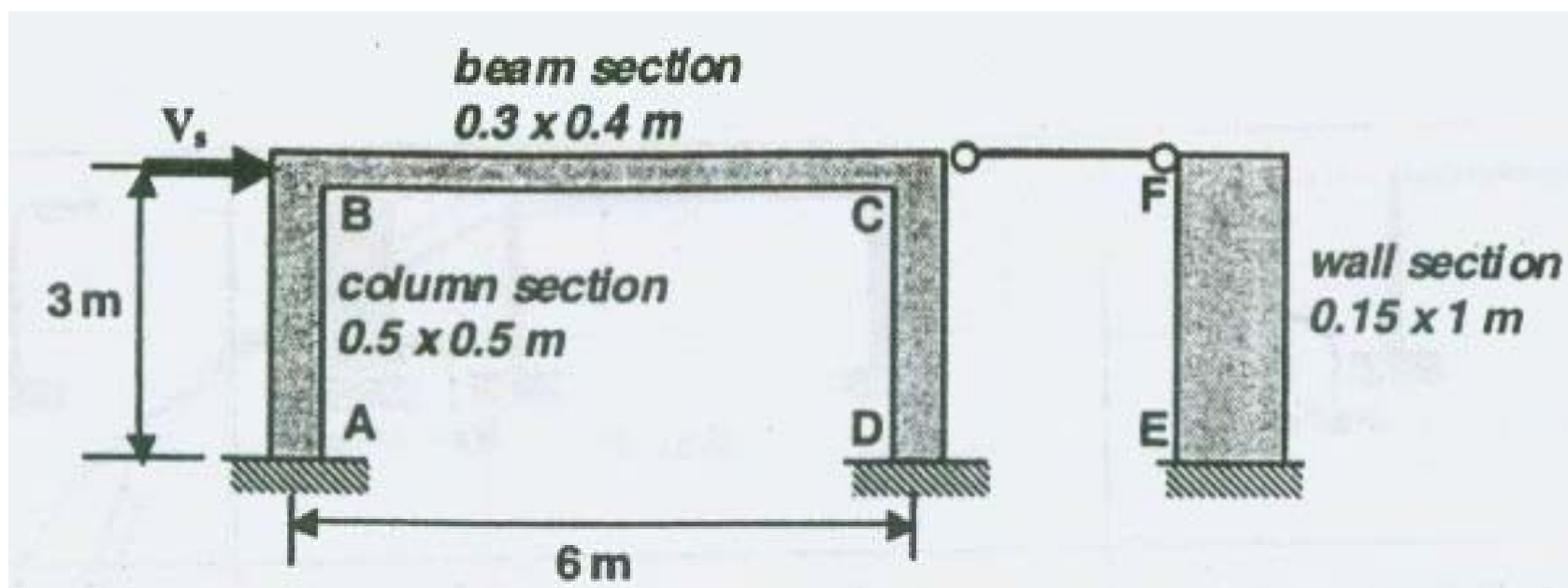
Спектрално преместване
Съставил доц. И.Милев -
L1_SR_2012

Параметри на пластичните стави – FEMA 247&248

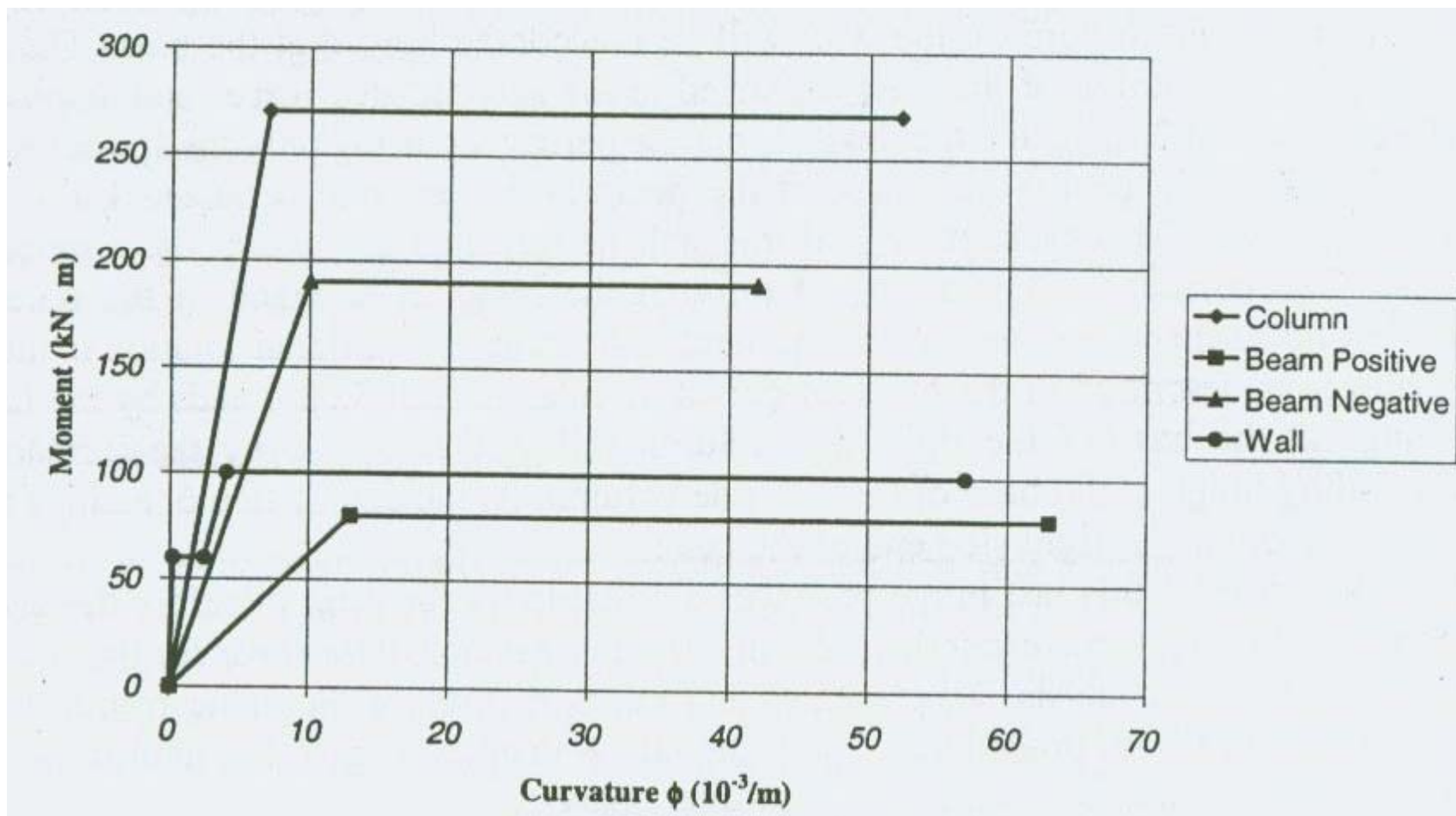


Съставил доц. Й.Милев -
L1_SR_2012

Pushover пример



Pushover пример – зависимости Момент-Кривина за отделните елементи



Последователност на пластифициране на елементите

