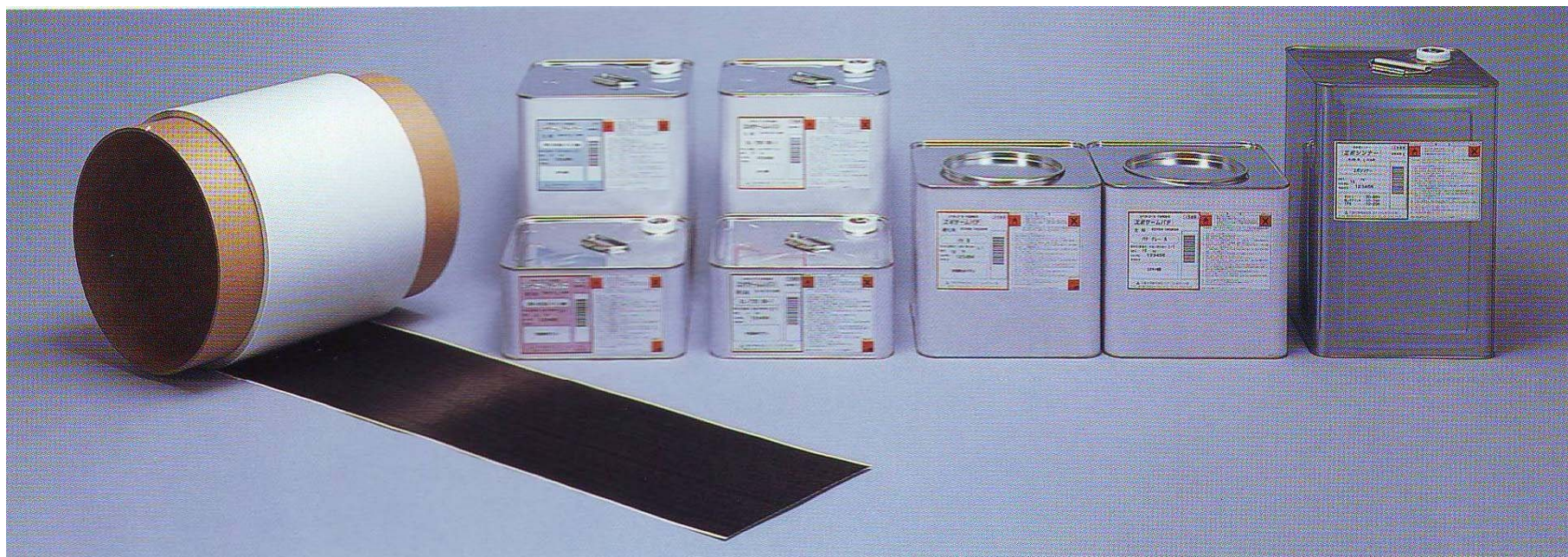


Усилване с външно залепена полимерна армировка

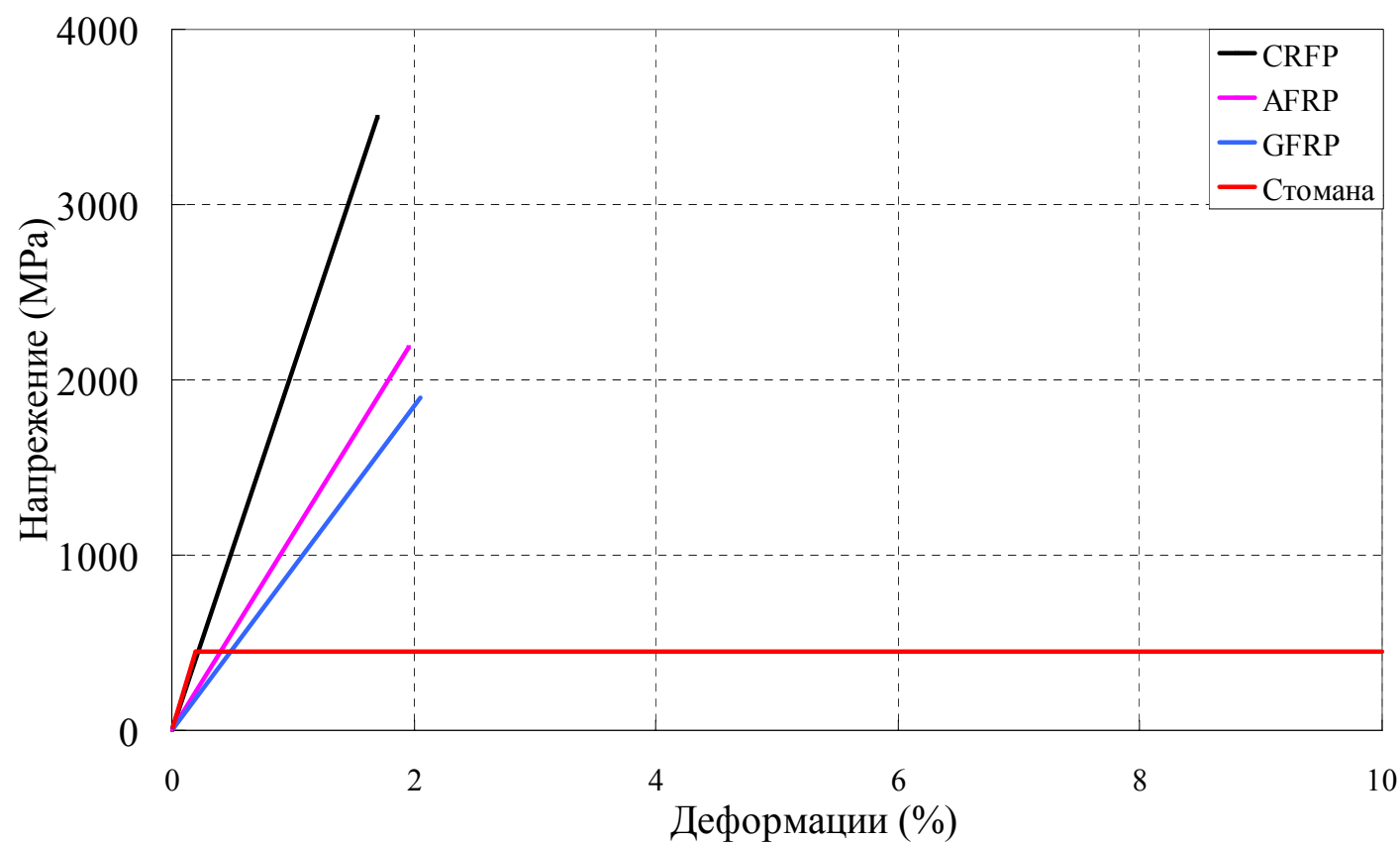
Лекция 5

Материали

Replark на Mitsubishi Chemicals



Зависимости напрежения-деформации за различните видове полимерни матреиали



Материални характеристики на нишките на системата Replark

Тип материал	Модул на еластичност [N/mm ²]	Опъна якост [N/mm ²]	Гранична деформация при скъсване [%]	Напр. сеч. за единица ширина [cm ² /m]	Тегло за един. площ [g/m ²]
Тип 20	230 000	3400	> 1.5	1.11	200
Тип 30	230 000	3400	>1.5	1.67	300
Тип ММ	390 000	2900	>0.75	1.65	300
Тип ММ2	440 000	2400	>0.55	1.63	300
Тип НМ	640 000	1900	>0.30	1.43	300

E_{fu} - еластичния модул на FRP в гранично състояние, по главната посока на влакната, който зависи от вида на FRP материала;

ε_{fu} - гранична деформация на FRP на опън, която зависи от вида на FRP материала;

Изисквания към основата (бетон)

Не се допуска изчисляване и конструиране на усилване с външно залепена армировка от FRP, по изложените по-долу методики, без да е доказано изчислително съпротивление на сцепление с основата

$$\tau_b \geq 1.5MPa$$

При доказано изчислително съпротивление на сцепление с основата

$$1.0 \leq \tau_b \leq 1.5MPa$$

,
може да бъде прилагано усилване с външно залепена армировка от FRP, след вземане на мерки за подобряване на адхезионната ѝ якост и прилагане на редуцирани стойности на изчислителните характеристики на FRP, доказани теоретико-експериментално.

В никакъв случай не се допуска бъде прилагане на усилване с външно залепена армировка от FRP при доказано изчислително съпротивление на сцепление с основата

$$\tau_b < 1.0MPa$$

,

Коефициенти за сигурност по материал на различните полимерни материали

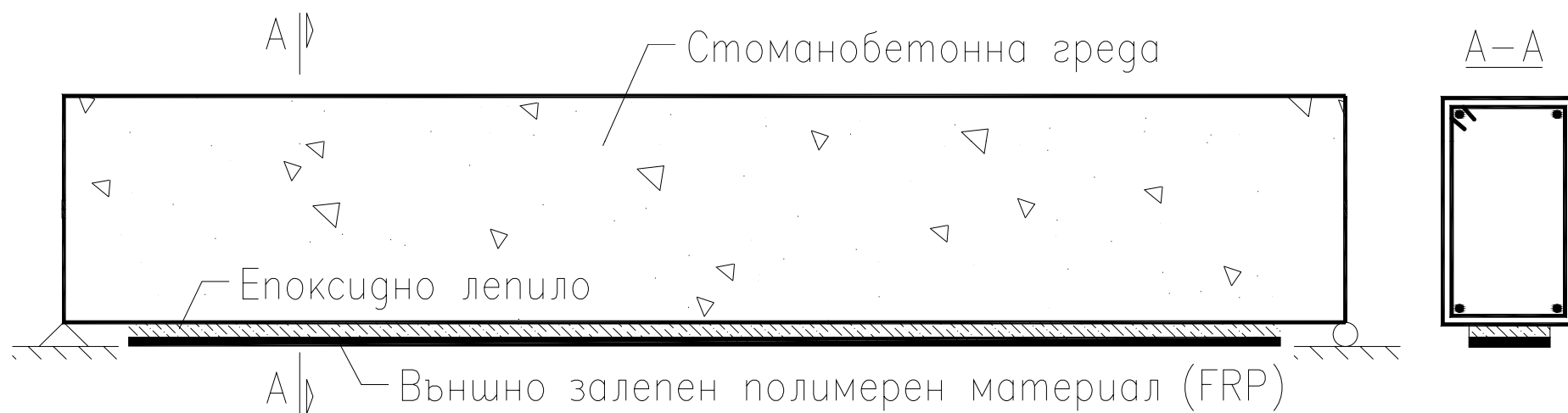
Вид на FRP	Приложение от тип А ⁽¹⁾	Приложение от тип В ⁽¹⁾
CFRP	1.20	1.35
AFRP	1.25	1.45
GFRP	1.30	1.50

1) Приложение на външно залепените FRP под действието на нормален контрол на качеството. За случая на мокро полагане се изисква завишен качествен контрол;

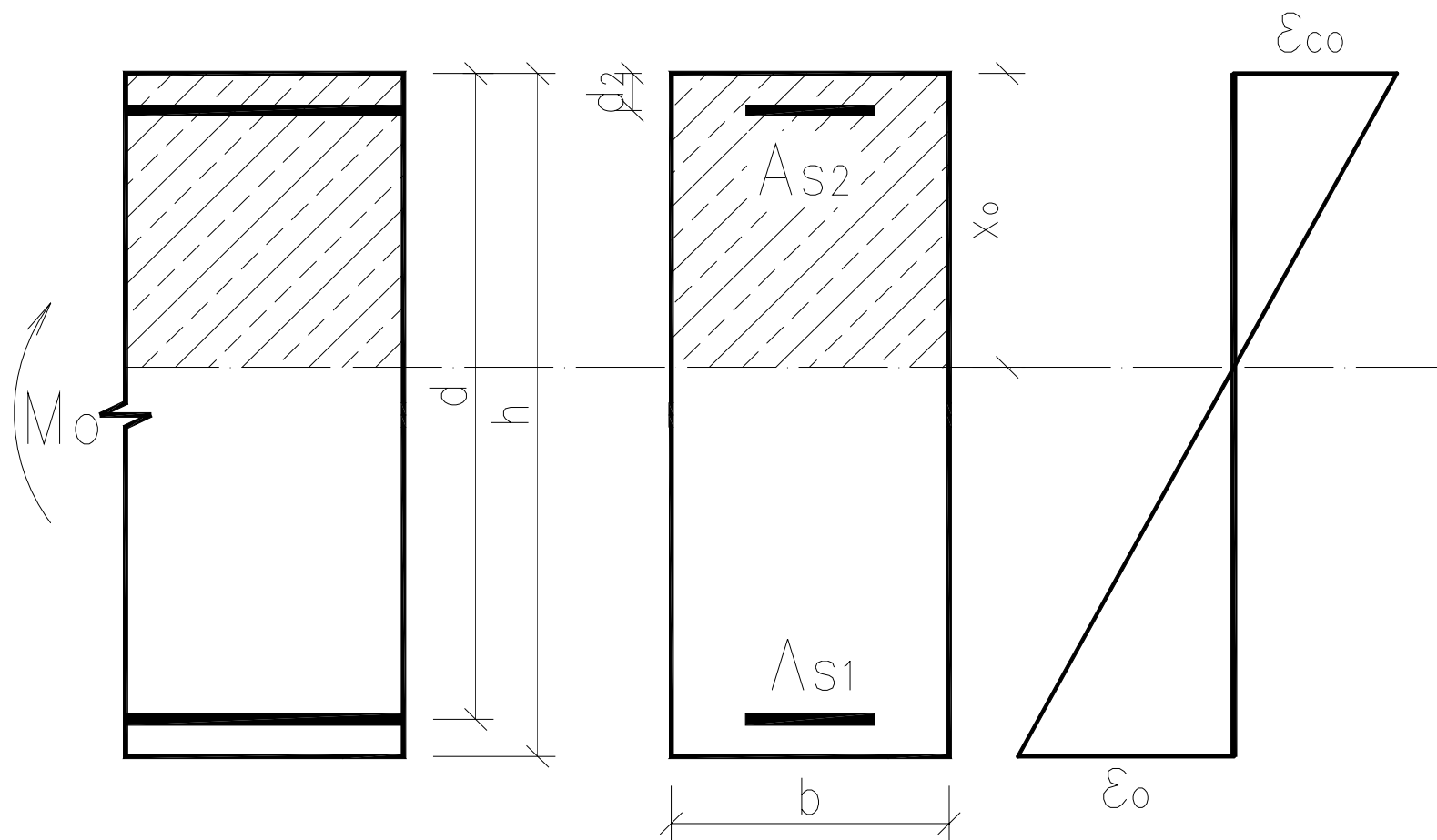
2) Полагане по какъвто и да е начин в условията на затруднени условия на работната площадка. За случая на мокро полагане се изисква нормален контрол на качеството.

Елементи подложени на огъване

Усилване на стоманобетонни греди, подложени на огъване с FRP



Първоначална ситуация



$$\frac{1}{2}.bx_0^2 + (\alpha_s - 1).A_{s2}.(x_0 - d_2) = \alpha_s.A_{s1}.(d - x_0) \Rightarrow x$$

$$\alpha_s = E_s / E_c$$

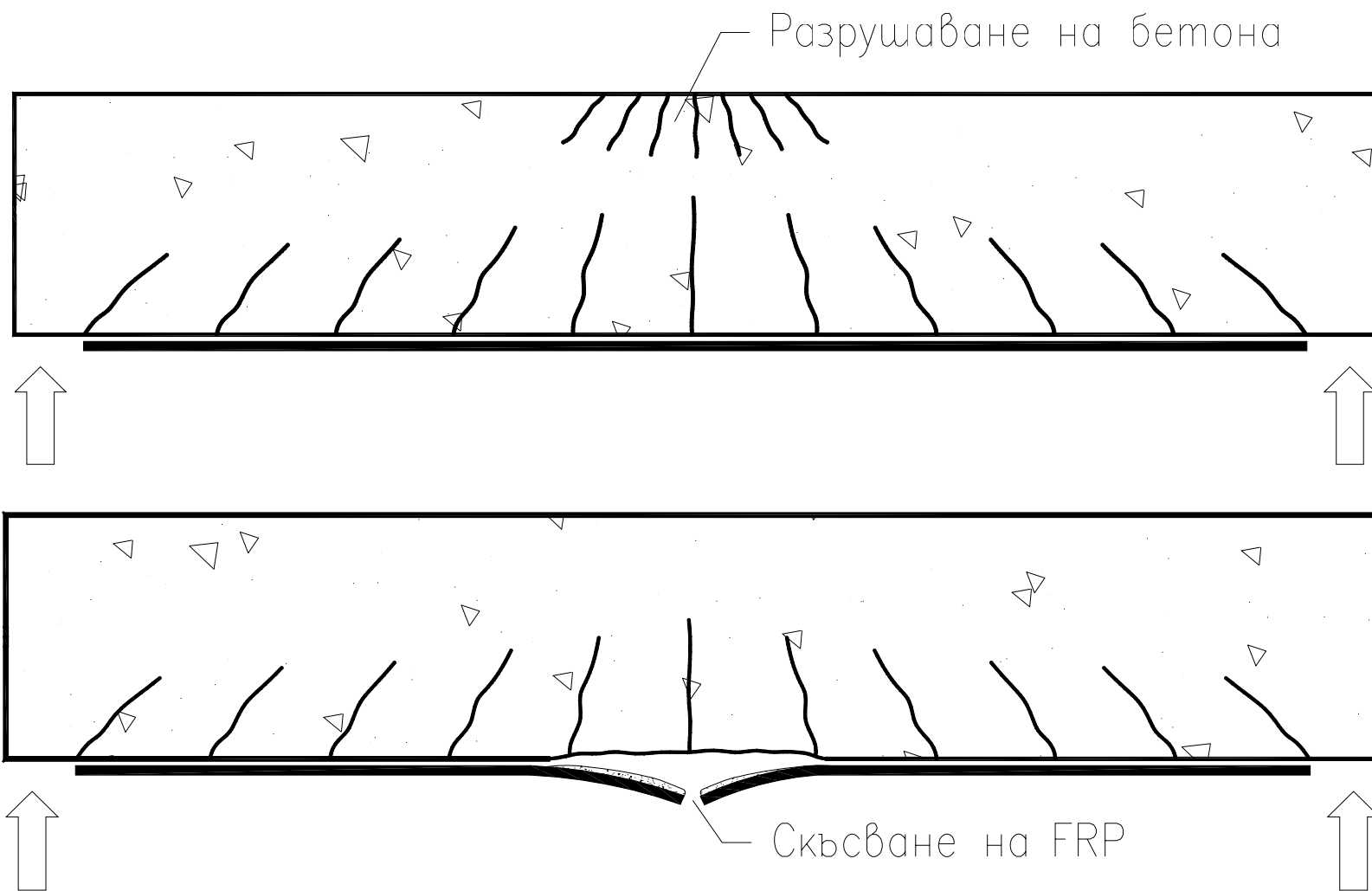
$$I_{o2} = \frac{b.x_0^3}{3} + (\alpha_s - 1).A_{s2}.(x_0 - d_2)^2 + \alpha_s.A_{s1}.(d - x_0)^2$$

$$\varepsilon_{co} = \frac{M_o.x_o}{E_c.I_{co}}$$

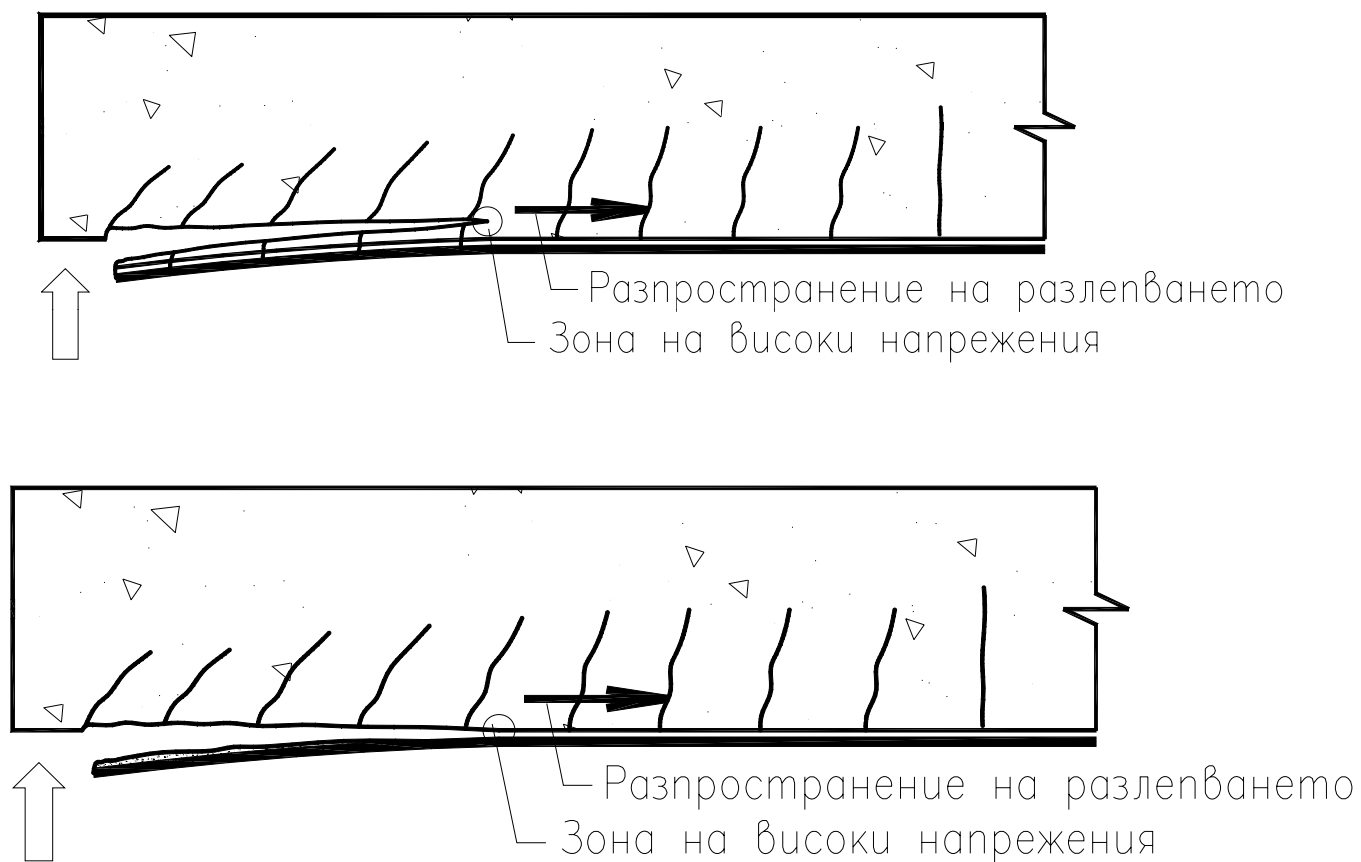
$$\varepsilon_0 = \varepsilon_{c0} \cdot \frac{h - x_0}{x_0}$$

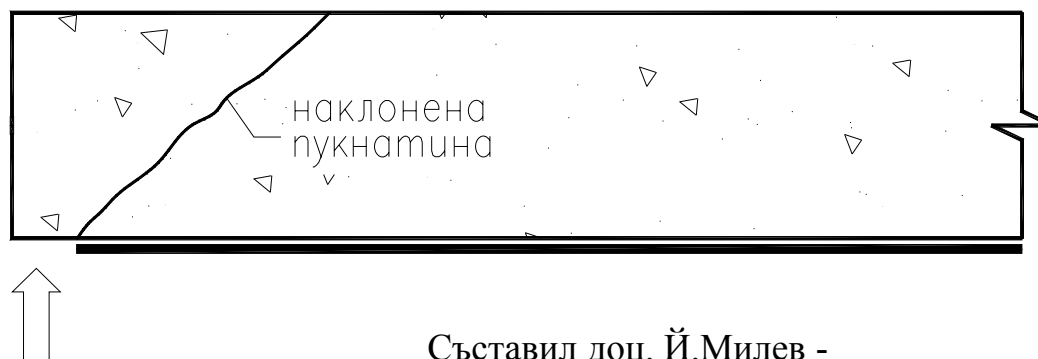
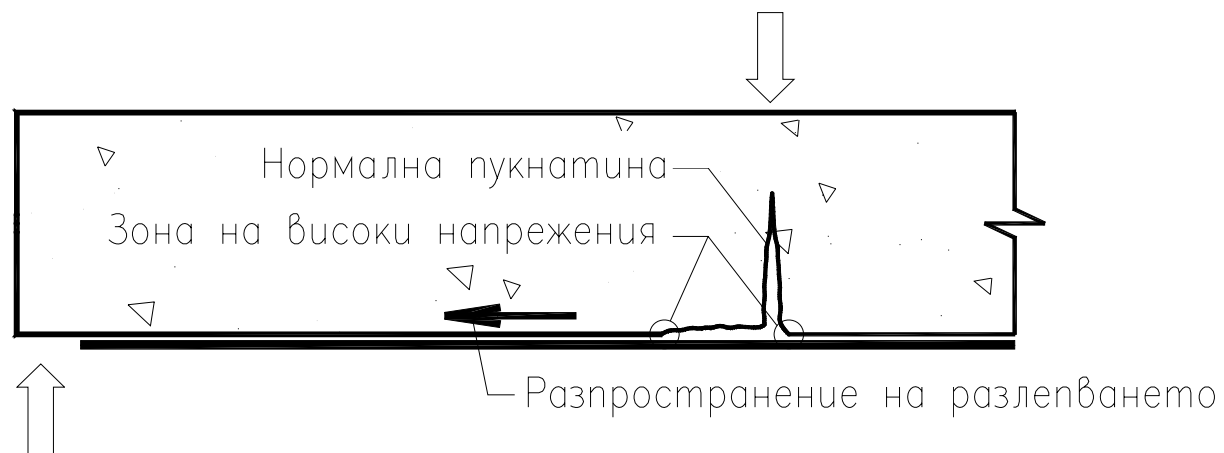
Форми на разрушение в гранично състояние - пълно съвместно действие

- а) Провлачване на армировката с последващо разрушаване на FRP. За сравнително ниски коефициенти на армиране със стомана и FRP, разрушение от огъване може да се достигне с провлачване на опънната стоманена армировка, последвано от разрушаване от опън на FRP (виж фигура 4.3) .
- б) Провлачване на армировката с последващо разрушаване на бетона. Носещата способност на огъване може да се достигне с провлачване на опънната стоманена армировка, последвано от разрушаване на бетона в натисковата зона, докато усиляването с FRP е незасегнато (виж фигура 4.3).
- в) Разрушаване на бетона. За сравнително високи коефициенти на армиране, разрушение на стоманобетона може да се достигне с разрушаване на бетона в натисковата зона, преди провлачване на армировката. Тази форма на разрушение е крехка и определено непредсказуема. Усиляването с FRP в този случай е от малко значение и затова трябва да се обърне внимание на средствата за увеличение на носещата способност на бетона в натисковата зона (например ограничение на напречните деформации).

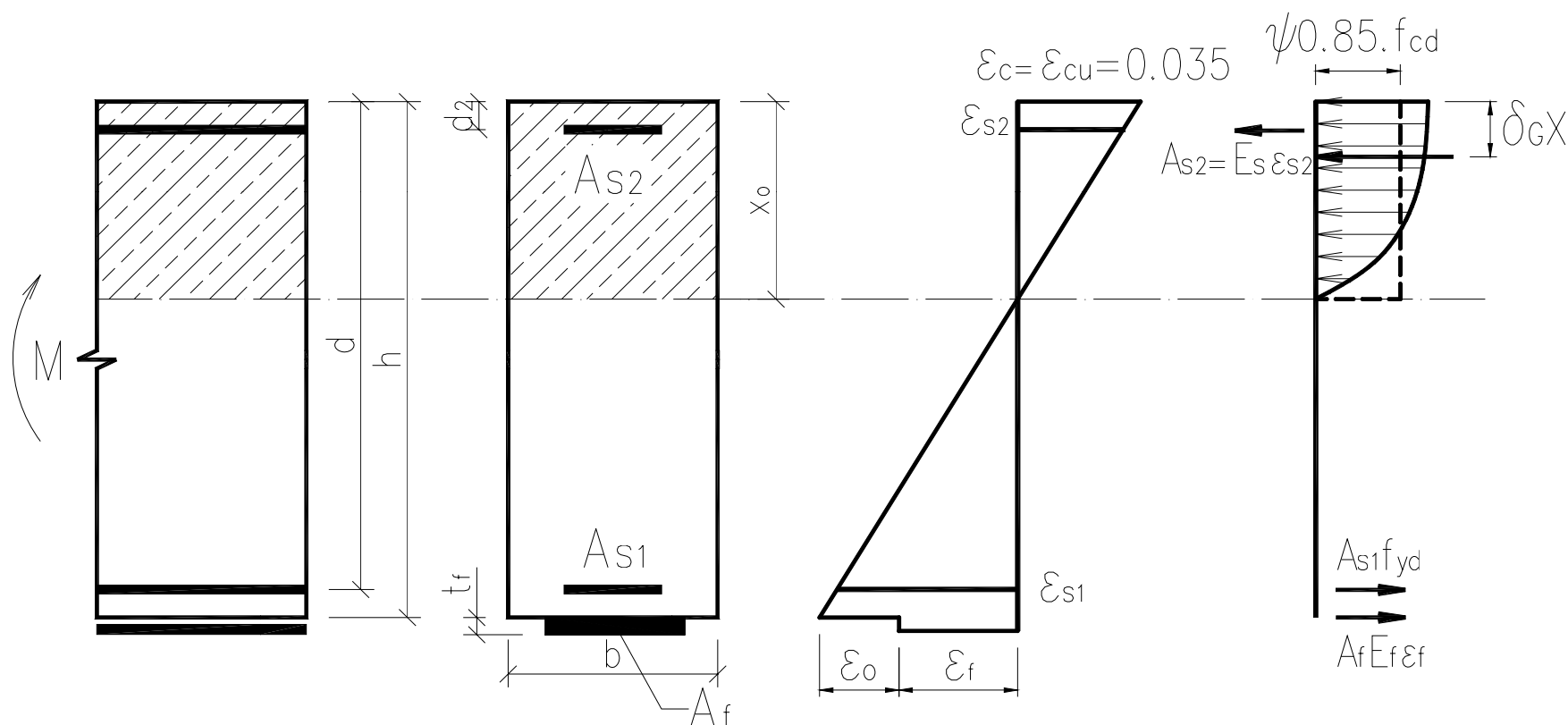


Форми на разрушение в гранично състояние - загуба на съвместно действие





Изчислителен модел по нормални сечения, съгласно EUROCODE 2 за FRP



Провлачане на стоманата с последващо разрушение на бетона

$$0.85\psi f_{cd}bx + A_{s2}E_s\varepsilon_{s2} = A_{s1}f_{yd} + A_fE_{fu}\varepsilon_f \Rightarrow x$$

$$\psi = 0.85 \quad \delta_G = 0.4$$

$$\varepsilon_{s2} = \varepsilon_{cu} \frac{x - d_2}{x} \quad (E_s\varepsilon_{s2} \leq f_{yd})$$

$$\varepsilon_f = \varepsilon_{cu} \frac{h - x}{x} - \varepsilon_0 \leq \varepsilon_{fud} = \frac{\varepsilon_{fu}}{\gamma_f}$$

$$\varepsilon_{s1} = \varepsilon_{cu} \frac{d - x}{x} \geq \frac{f_{yd}}{E_s}$$

$$M_{RD} = A_{s1}f_{yd}(d - \delta_G x) + A_fE_f\varepsilon_f(h - \delta_G x) + A_{s2}E_s\varepsilon_{s2}(\delta_G x - d_2)$$

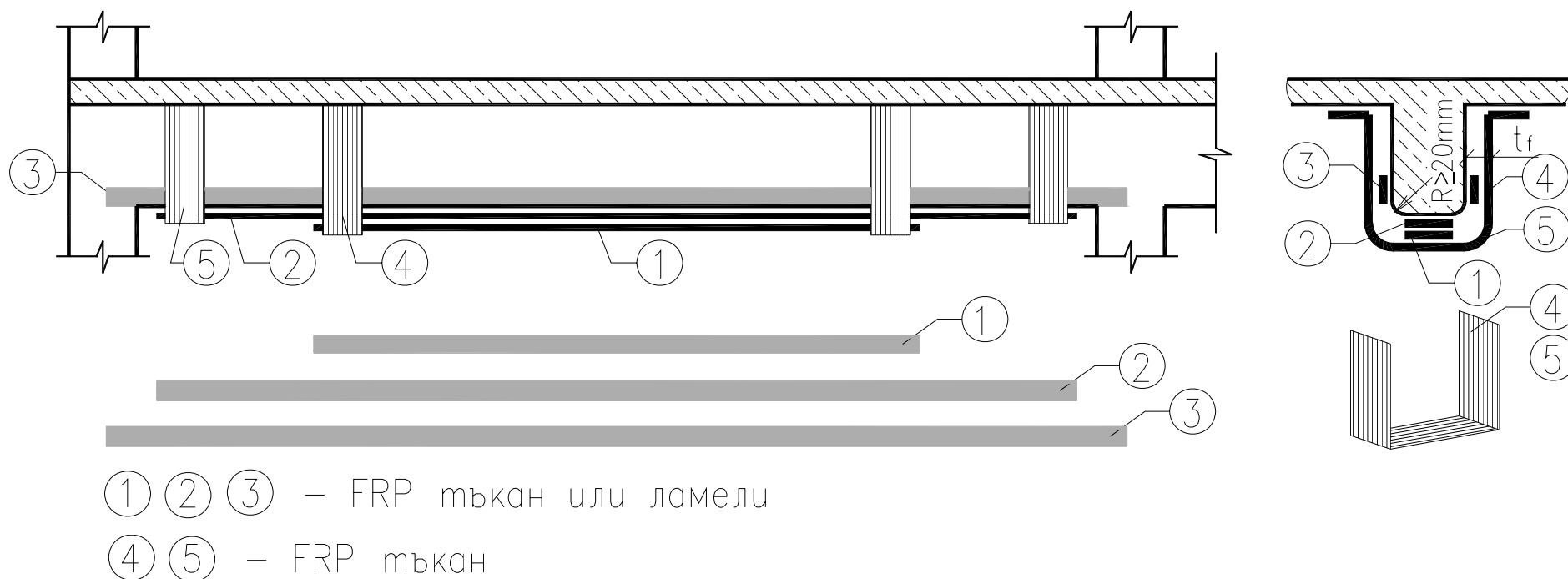
Провлачване на армировката, последвано от разрушаване на FRP

$$\varepsilon_{cu} \Rightarrow \varepsilon_c; \quad \varepsilon_f = \varepsilon_{fud}$$

$$\psi = \begin{cases} 1000\varepsilon_c \left(0.5 - \frac{1000}{12} \varepsilon_c \right) & \varepsilon_c \leq 0.002 \\ 1 - \frac{2}{3000\varepsilon_c} & 0.002 \leq \varepsilon_c \leq 0.0035 \end{cases}$$

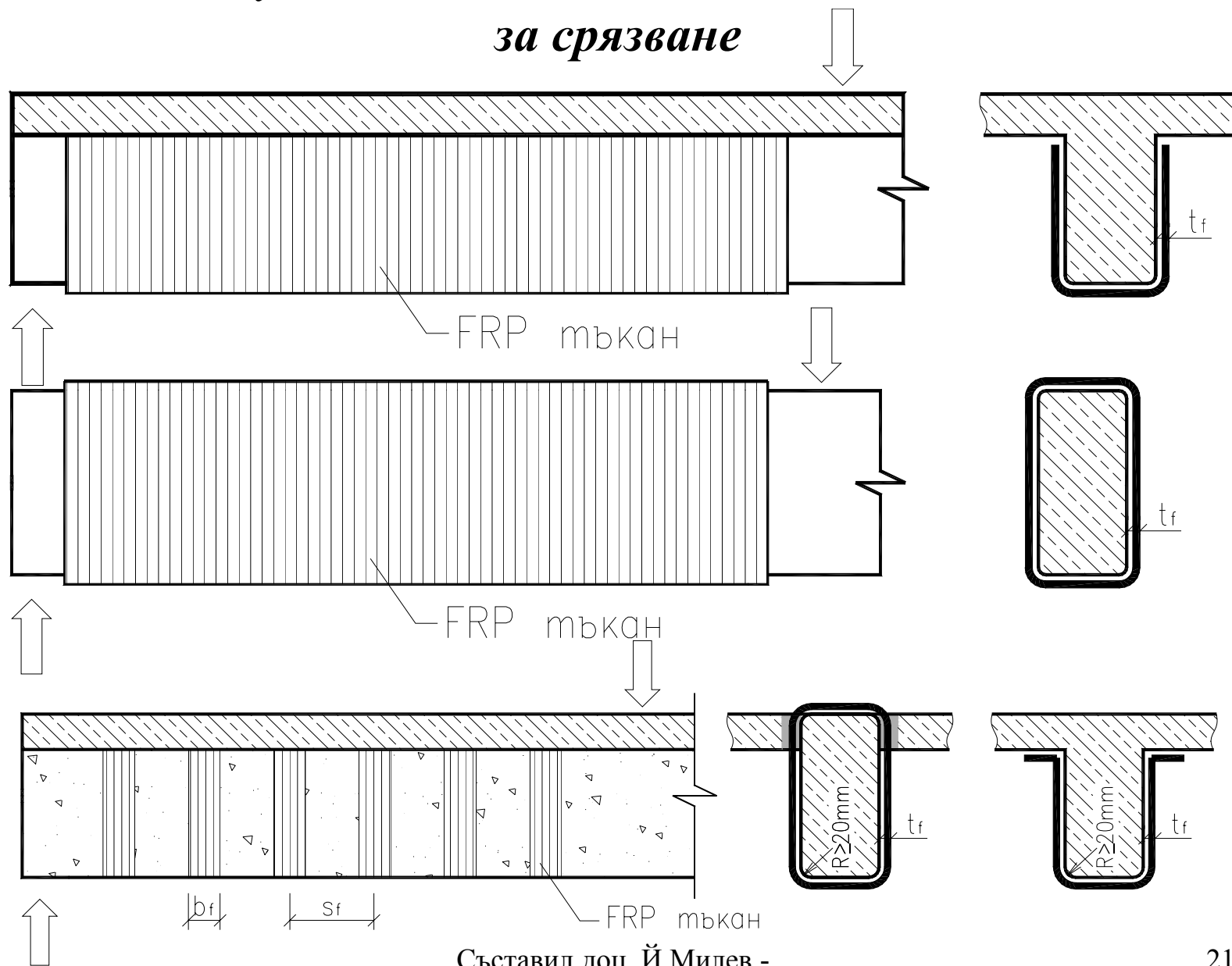
$$\delta_G = \begin{cases} \frac{8 - 1000\varepsilon_c}{4(6 - 1000\varepsilon_c)} & \varepsilon_c \leq 0.002 \\ \frac{1000\varepsilon_c(3000\varepsilon_c - 4) + 2}{2000\varepsilon_c(3000\varepsilon_c - 2)} & 0.002 \leq \varepsilon_c \leq 0.0035 \end{cases}$$

Конструиране на външно залепена армировка от FRP в елементи подложени на огъване



Елементи подложени на срязване

Схеми на усиление на стоманобетонни елементи за срязване



Съставил доц. Й.Милев -
L5_SR_2012

Изчислителен модел

$$V_{Rd} = \min(V_{Rd,cw} + V_{fd}, V_{Rd,max})$$

$$V_{fd} = 0.9 \varepsilon_{fd,e} E_{fu} \rho_f b_w d (\cot \theta + \cot \alpha) \sin \alpha$$

$\varepsilon_{fd,e} = \frac{\varepsilon_{fk,e}}{\gamma_f}$ - изчислителна стойност на ефективната деформация в FRP

$$\varepsilon_{fk,e} = 0.8 \cdot \varepsilon_{fe}$$

ρ_f - коефициент на армиране с FRP, равен на $2t_f \sin \alpha / b_w$ за непрекъснато приложена напречна армировка с дебелина t_f , или $(2t_f / b_w)(b_f / s_f)$ за FRP усилването във вид на ивици или плат с ширина b_f през разстояние s_f (дискретно усилване);

E_{fu} - еластичния модул на FRP в гранично състояние, по главната посока на влакната, който зависи от вида на FRP материала и се дава от фирма *Mitsubishi Chemicals*;

θ - ъгълът на наклонените пукнатини към оста на елемента, който се приема за равен на 45°

α - ъгъл между главната посока на влакната и надлъжната ос на елемента

Напълно обвити със затворен кожух (и правилно закотвени) CFRP (доминиращо разрушаване на FRP):

$$\varepsilon_{fe} = 0.17 \left(\frac{f_{ck}^{2/3}}{E_{fu} \rho_f} \right)^{0.30} \varepsilon_{fu}$$

Странично или U-оформени FRP отворени кожуси :

$$\varepsilon_{fe} = \min \left(0.65 \left(\frac{f_{ck}^{2/3}}{E_{fu} \rho_f} \right)^{0.30} \cdot 10^{-3}; 0.17 \left(\frac{f_{ck}^{2/3}}{E_{fu} \rho_f} \right)^{0.30} \varepsilon_{fu} \right)$$

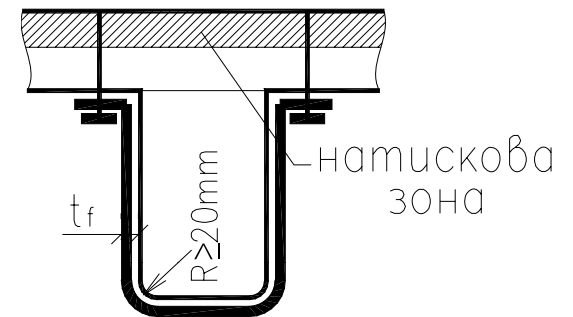
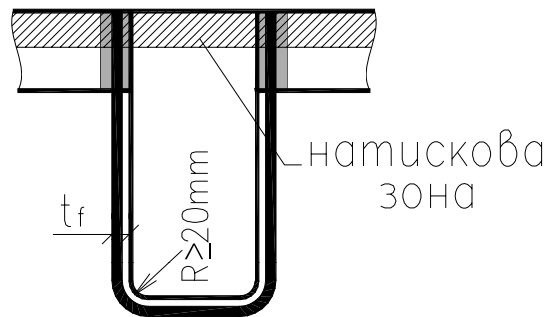
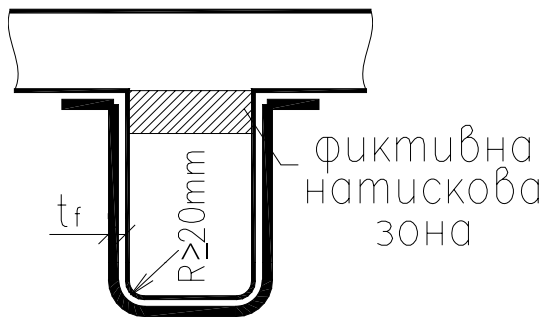
Напълно обвити със затворен кожух (и правилно закотвени) AFRP (доминиращо разрушаване на FRP):

$$\varepsilon_{fe} = 0.048 \left(\frac{f_{ck}^{2/3}}{E_{fu} \rho_f} \right)^{0.47} \varepsilon_{fu}$$

E_{fu} - еластичния модул на FRP в гранично състояние, по главната посока на влакната, който зависи от вида на FRP материала и се дава от фирма *Mitsubishi Chemicals* [GPa];

ε_{fu} - гранична деформация на FRP на опън, която зависи от вида на FRP материала и се дава от фирма *Mitsubishi Chemicals*;

Конструиране на външно залепена армировка от FRP в елементи подложени на срязване

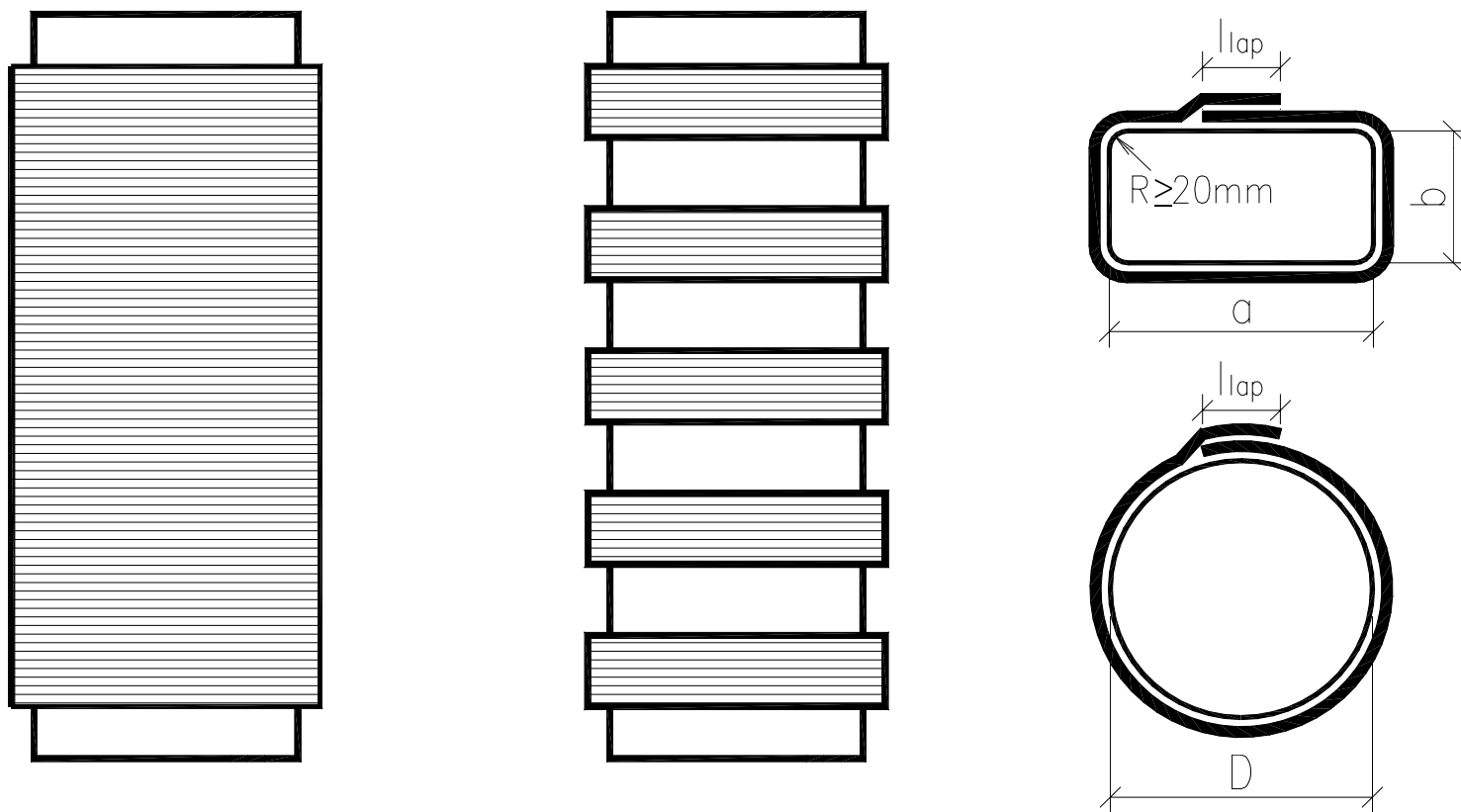


$$s_{f,\max} \leq \min \begin{cases} 0.2l \\ 5h \\ 0.4l_c \end{cases}$$

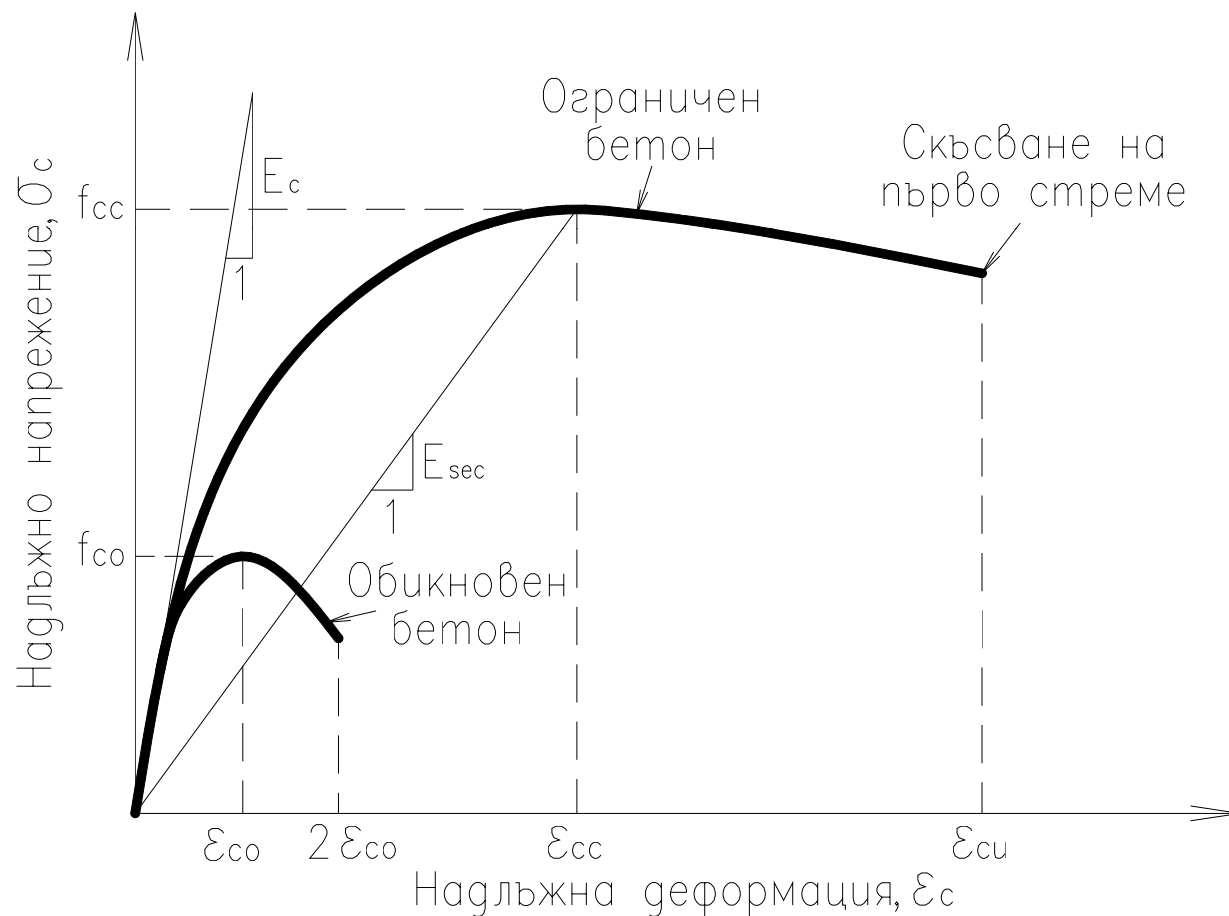
- l - светъл отвор на елемента;
- h - височина на напречното сечение;
- l_c - дължина на конзолата (за случая на конзола).

Ограничаване на напречните деформации в колони

Усилване на натоварени стоманобетонни колони чрез ограничаване на напречните деформации

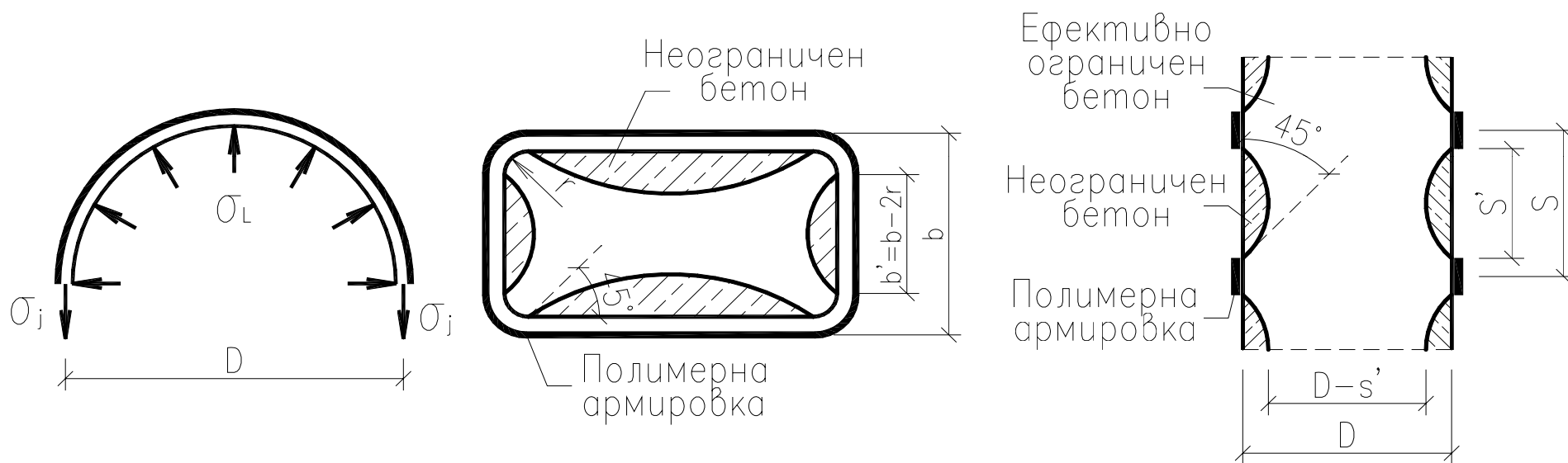


Работна диаграма на бетона при осов натиск (с и без ограничаване на напречните деформации(модел на Mander))



Съставил доц. Й.Милев -
L5_SR_2012

Ограничаване на напречните деформации с FRP



Модел на Spoelstra-Monti

$$f_{cc} = E_{\text{sec},u} \varepsilon_{cu} \geq f_{c0}$$

$$E_{\text{sec},u} = \frac{E_{c0}}{1 + 2\beta \varepsilon_{fud,e}}$$

$$\varepsilon_{cu} = \varepsilon_{c0} \left[1 + 5(\alpha_1 \alpha_2 - 1) \right] \left[\frac{E_{cc} (E_{c0} - E_{\text{sec},u})}{E_{\text{sec},u} (E_{c0} - E_{cc})} \right]^{1 - \frac{E_{cc}}{E_{c0}}}$$

$$E_{cc} = \frac{\alpha_1 \alpha_2 f_{ck}}{\varepsilon_{c0} \left[1 + 5(\alpha_1 \alpha_2 - 1) \right]}$$

$$\beta = \frac{E_{c0}}{f_{c0}} - \frac{1}{\varepsilon_{c0}}$$

$$\alpha_1 = \left(2.254 \cdot \sqrt{1 + 7.94 \cdot \frac{\sigma_{L,\max}}{f_{c0}}} - 2 \cdot \frac{\sigma_{L,\max}}{f_{c0}} - 1.254 \right)$$

$$\alpha_2 = 1 - \left(0.6 \left(\frac{h}{b} \right)^2 - 1.4 \frac{h}{b} + 0.8 \right) \sqrt{\frac{\sigma_{L,\max}}{f_{c0}}}$$

$$\sigma_{L,\max} = \frac{1}{2} \rho_f E_{fu} \varepsilon_{fud,e}$$

Правоъгълно сечение

$$k_e = 1 - \left[\frac{(b - 2R)^2 - (h - 2R)^2}{3[bh - (4 - \pi)R^2]} \right]$$

Кръгло сечение, усилено с ивици с
ширина b_f през разстояние s_f

$$k_e = 1 - \left[1 - \frac{(s_f - b_f)^2}{2D} \right]^2$$

Съставил доц. Й. Милев -
L5_SR_2012

E_{c0} - начален Е-модул на бетона;

f_{ck} - якост на натиск на бетона;

$\varepsilon_{c0} = 0.002$ - деформация на бетона съответстваща на f_{ck} ;

ρ_f - коефициент на армиране с FRP, равен на за непрекъснатото приложена напречна армировка с дебелина t_f , или $(2t_f / h)(b_f / s_f)$ за FRP усилването във вид на ивици или плат с ширина b_f през разстояние s_f ;

E_{fu} - еластичния модул на FRP в гранично състояние, по главната посока на влакната, който зависи от вида на FRP материала и се дава от фирма *Mitsubishi Chemicl*s;

ε_{fu} - гранична деформация на FRP на опън, която зависи от вида на FRP материала и се дава от фирма *Mitsubishi Chemicl*s;

$$\varepsilon_{fud,e} = \frac{\varepsilon_{fu,e}}{\gamma_f}$$

$$\varepsilon_{fu,e} = 0.9\varepsilon_{fu}$$

Примери на изпълнение в България на външно залепени кожуси от FRP



Експеримент в УАСГ - Призми



Снимка П2.12



Снимка П2.13



Снимка П2.14



Снимка П2.15



Снимка П2.16



Снимка П2.17

Резултати от експеримент в УАСГ - призми

Таблица 5.2 Първа група призматични образци с напречно сечение 150x150 мм (без армировка)

Серия образци	Клас на бетона	ρ_{cf} [%]	Експериментална сила на разрушение [kN]	Изчислителна сила на разрушение [kN]
C1-M	B30	0	810	745
R2-M		0	770	745
R3-M		0.148	910	890
R4-M		0.148	940	890
R5-M		0.296	980	1050
R6-M		0.296	1100	1050

Забележки:

1. Означения C*-M - Призми, усилены с Replark на фирма Mitsubishi Chemicals ,
2. Изчислителната сила на разрушение е получена в съответствие с т.б, с фирмените характеристики на материалите за система Replark на фирма Mitsubishi Chemicals

Експеримент в УАСГ - Цилиндри



Снимка П2.8

Снимка П2.9

4 December 2012



МЕЖДУНАРОДНА ЮБИЛЕЙНА НАУЧНО-
ПРИЛОЖНА КОНФЕРЕНЦИЯ УАСГ 2012

Резултати от експеримент в УАСГ - цилиндри

Серия образци	Клас на бетона	ρ_{cf} [%]	Експериментална сила на разрушение [kN]	Изчислителна сила на разрушение [kN]
C1-M	B30	0	565	586
C2-M		0	580	586
C3-M		0.148	790	805
C4-M		0.148	845	805
C5-M		0.296	1175	1000
C6-M		0.296	1040	1000

Забележки:

1. Означения C*-M - Цилиндри, усилены с Replark на фирма Mitsubishi Chemicals ,
2. Изчислителната сила на разрушение е получена в съответствие с т.б, с фирмените характеристики на материалите за система Replark на фирма Mitsubishi Chemicals

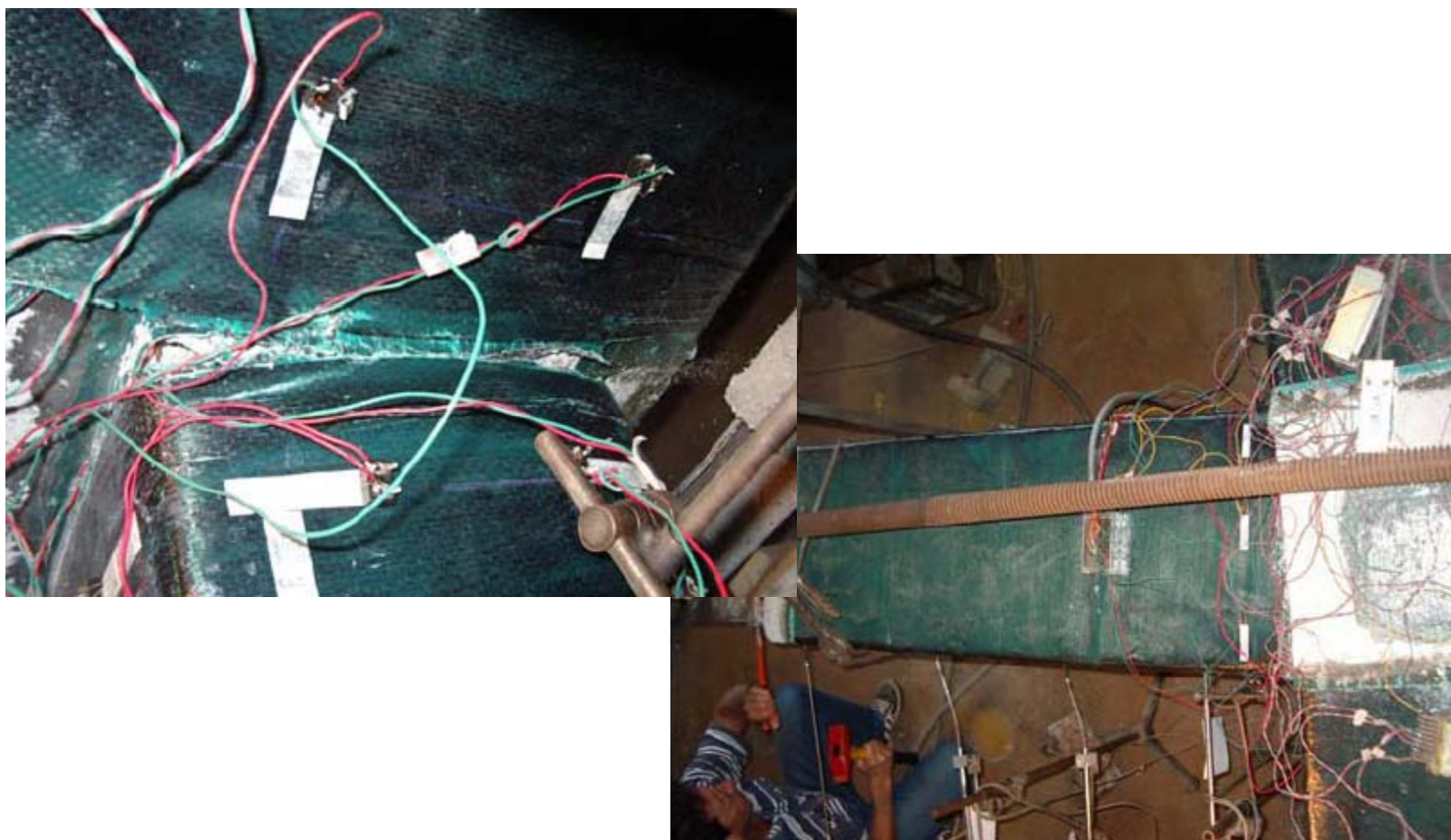
Експеримент в УАСГ – Колона (опитна постановка)



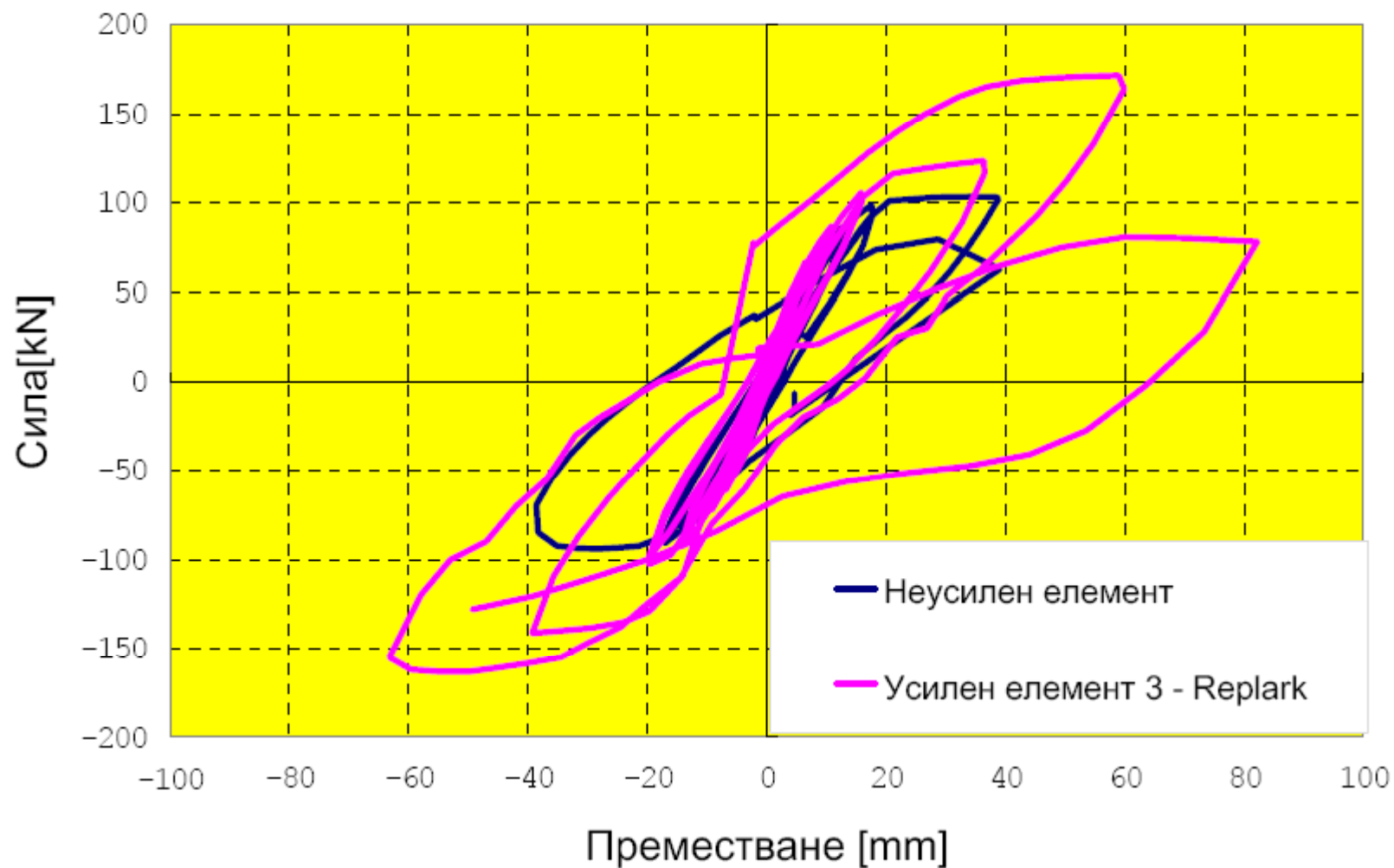
Експеримент в УАСГ – Колона (разрушение базов образец)



Эксперимент в УАСГ – Колона (разрушение усилен образец)



Резултати от експеримент в УАСГ -



Офис сграда в Пещера



Хотел Феста Берцело



4 December 2012



МЕЖДУНАРОДНА ЮБИЛЕЙНА НАУЧНО-
ПРИЛОЖНА КОНФЕРЕНЦИЯ УАСГ 2012

41

ВУЗФ Павлово



4 December 2012



МЕЖДУНАРОДНА ЮБИЛЕЙНА НАУЧНО-
ПРИЛОЖНА КОНФЕРЕНЦИЯ УАСГ 2012

42