XIV Международна научна конференция
„Проектиране и строителство на сгради и съоръжения“, 10-12 септември 2026 г, Варна
XIV International Scientific Conference
„Civil Engineering Design and Construction“, Sept. 10 - 12, 2026, Varna, Bulgaria
ISSN 2683-071X (online) ISSN 2738-7879 (CD)

СРАВНИТЕЛЕН АНАЛИЗ НА УСИЛВАНЕ НА СТОМАНОБЕТОННА ПЛОЧА С РАЗЛИЧНИ МЕТОДИ ЗА УСИЛВАНЕ

Александър Стоянов[1], Антон Гороломов[2], Робърт Иди[3]

A COMPARATIVE ANALYSIS OF STRENGTHENING OF A REINFORCED CONCRETE SLAB USING A VARIETY OF METHODS

Aleksandar Stoyanov, Anton Gorolomov, Robert Eadie

Abstract:
This publication will examine the structural, technological, organizational and economic aspects of slab strengthening using different methods. Based on calculations of slab reinforcement for additional impacts, various reinforcement systems have been outlined - classic reinforced concrete topping, reinforcement with fiber-reinforced (FRP) materials and other solutions. Based on the prepared bill of quantities following the structural analysis, the prices of the construction and installation works for strengthening have been determined. A comparative analysis of the technological and organizational features when choosing different reinforcement methods has been made. Conclusions have been drawn on the practical applicability and economic assessment of the different solutions.

Keywords:
Strengthening systems, FRP materials, bill of quantities analysis

1. ВЪВЕДЕНИЕ

В своята практика строителния инженер-конструктор все по-често се сблъсква с намеси в съществуващи сгради и съоръжения. Причините за това са няколко. Първата е амортизация на сградния фонд, който, за разлика от повечето сгради, строени преди столетия, е изграден от устойчиви на времето материали (бетон, стомана, тухла, камък и др.) и относително редки са случаите, в които съществуващи сгради и съоръжения се премахват, за да се строят нови, а съществуващите се поддържат в необходимото за

[1] Александър Стоянов, асистент, инженер, катедра „Механика и математика“, Строителен факултет, ВСУ :Любен Каравелов“, гр. София, ул. „Суходолска“ 175, aleksandar.stoyanov.98@gmail.com; Alexander Stoyanov, Assist. Prof., Engineer, Department “Mechanics and mathematics”, Faculty of Construction, USEA (VSU) “L. Karavelov”, Sofia, 175 Suhodolska str.,
[2] Антон Гороломов, главен асистент, доктор, инженер, архитект, катедра „Механика и математика“, Строителен факултет, ВСУ :Любен Каравелов“, гр. София, ул. „Суходолска“ 175, tonyngor@gmail.com; Anton Gorolomov, Chief. Assist. Prof., Engineer, PhD, Department “Mechanics and mathematics”, Faculty of Construction, USEA (VSU) “L. Karavelov”, Sofia, 175 Suhodolska str.
[3] Робърт Иди, преподавател, доктор, инженер, Ълстър Юнивърсити, Белфаст, Великобритания, r.eadie@ulster.ac.uk, Robert Eadie, professor, PhD, Ulster University, Belfast, UK

тяхната експлоатация състояние. Втората причина е динамично развиващия се живот. В много случаи конструкцията на сградата или съоръжението не е амортизирана значително, но се налага различна функция, промяна в разпределението или други намеси, които в крайна сметка водят до различни товари върху конструкцията, за поемането на които тя трябва да се усили.

Проблемите на усилването на съществуващи конструкции са многобройни, поради многообразието от различни типове конструкции както по материал, така и по статическа схема и предназначение. Методите за усилване са изключително много, като именно тук е едно от най-масовите приложения на нови материали и технологии. По тази причина при възстановяване или усилване на съществуващи конструкции творческата роля на проектанта-конструктор е много по-силно изразена от същата му роля при проектиране на нови сгради и съоръжения.

Настоящата публикация цели да сравни два метода на усилване на плочи – традиционен със стоманобетонна надливка и по-съвременен вариант чрез полагане на ивици от фиброусилени полимерни материали (FRP – fiber reinforced polymers). За целта се оразмерява една плоча по двата начина и се сравняват конструктивните, технологичните и организационните предимства на двата метода, като се правят и изводи за икономическата ефективност на всеки вариант. Цел на публикацията е и да се представи в достъпен вариант методиката за оразмеряване на усилването. „Ръчните“ изчисления са програмирани на език за математически и инженерни изчисления Calcpad.

2. УСИЛВАНЕ НА ПЛОЧАТА

2.1. Усилия в плочата

За целите на настоящето изследване ще изберем плоча, ставно подпряна по контура си, с размери $l_x = 500\ \text{cm}$ / $l_y = 600\ \text{cm}$ и дебелина $h_s = 14\ \text{cm}$ армирана с долна армировка 5N10/m по късата страна и с долна армировка 5N8/m по дългата страна.

Бетонът е приет клас С20/25 с изчискителна якост на натиск $f_{cd} = 1.33\ {}^{kN}/_{cm^2}$ и армировъчна стомана клас В420 с изчислителна стойност на границата на провлачане $f_{yd} = 36.52\ {}^{kN}/_{cm^2}$.

Плочата е натоварена с постоянни въздействия $g_{k,floor} = 2\ {}^{kN}/_{m^2}$ и променливи въздействия $q_{k1} = 2\ {}^{kN}/_{m^2}$, която трябва да се усили за поемане на полезен товар $q_k = 6\ {}^{kN}/_{m^2}$.

Следователно общото постоянно натоварване ще бъде:

$$g_k = h_s \cdot 25\ {}^{kN}/_{m^3} + g_{k,floor} = 14\ \text{cm} \cdot 25\ {}^{kN}/_{m^3} + 2\ \text{kN/m}^2 = 5.5\ \text{kN/m}^2$$

За простота изчислението ще стане по метода на Маркус. Спрямо 1 случай на подпиране (ставно подпряно поле) и отношение:

$$\lambda = \frac{l_y}{l_x} = \frac{600\ \text{cm}}{500\ \text{cm}} = 1.2 \text{ отчитаме } m_x = 19.45\ ,\ m_y = 40.34 \text{ и } \chi = 0.607$$

Огъващ момент от постоянни товари, действащ в момента на усилването:

$$M_{Ed,g,x} = \frac{g_k \cdot 1\ \text{m} \cdot {l_x}^2}{m_x} = \frac{5.5\ \text{kN/m}^2 \cdot 1\ \text{m} \cdot (500\ \text{cm})^2}{19.45} = 7.07\ \text{kNm}$$

$$M_{Ed,g,y} = \frac{g_k \cdot 1\,\text{m} \cdot {l_y}^2}{m_y} = \frac{5.5\,\text{kN/m}^2 \cdot 1\,\text{m} \cdot (600\,\text{cm})^2}{40.34} = 4.91\,\text{kNm}$$

Огъващ момент от постоянни и променливи въздействия, който плочата е понесла преди усилването:

$$M_{Ed,old,x} = \frac{(g_k \cdot 1.35 + q_{k1} \cdot 1.5) \cdot 1\,\text{m} \cdot {l_x}^2}{m_x} = \frac{(5.5\,\text{kN/m}^2 \cdot 1.35 + 2\,\text{kN/m}^2 \cdot 1.5) \cdot 1\,\text{m} \cdot (500\,\text{cm})^2}{19.45} = 13.4\,\text{kNm}$$

$$M_{Ed,old,y} = \frac{(g_k \cdot 1.35 + q_{k1} \cdot 1.5) \cdot 1\,\text{m} \cdot {l_y}^2}{m_y} = \frac{(5.5\,\text{kN/m}^2 \cdot 1.35 + 2\,\text{kN/m}^2 \cdot 1.5) \cdot 1\,\text{m} \cdot (600\,\text{cm})^2}{40.34} = 9.3\,\text{kNm}$$

Огъващ момент от постоянни и променливи въздействия, за който трябва да се усили плочата:

$$M_{Ed,x} = \frac{(g_k \cdot 1.35 + q_k \cdot 1.5) \cdot 1\,\text{m} \cdot {l_x}^2}{m_x} = \frac{(5.5\,\text{kN/m}^2 \cdot 1.35 + 6\,\text{kN/m}^2 \cdot 1.5) \cdot 1\,\text{m} \cdot (500\,\text{cm})^2}{19.45} = 21.11\,\text{kNm}$$

$$M_{Ed,y} = \frac{(g_k \cdot 1.35 + q_k \cdot 1.5) \cdot 1\,\text{m} \cdot {l_y}^2}{m_y} = \frac{(5.5\,\text{kN/m}^2 \cdot 1.35 + 6\,\text{kN/m}^2 \cdot 1.5) \cdot 1\,\text{m} \cdot (600\,\text{cm})^2}{40.34} = 14.66\,\text{kNm}$$

Носеща способност на съществуващата плоча (приблизително):

$$A_{s,x} = 5 \cdot 0.785\,\text{cm}^2 = 3.93\,\text{cm}^2$$

$$b = 100\,\text{cm}$$

$$d_x = h_s - 2\,\text{cm} - 0.5\,\text{cm} = 14\,\text{cm} - 2\,\text{cm} - 0.5\,\text{cm} = 11.5\,\text{cm}$$

$$M_{Rd,x} = A_{s,x} \cdot f_{yd} \cdot \left(d_x - \frac{A_{s,x} \cdot f_{yd}}{2 \cdot b \cdot f_{cd}}\right) = 3.93\,\text{cm}^2 \cdot 36.52\,\text{kN/cm}^2 \cdot \left(11.5\,\text{cm} - \frac{3.93\,\text{cm}^2 \cdot 36.52\,\text{kN/cm}^2}{2 \cdot 100\,\text{cm} \cdot 1.33\,\text{kN/cm}^2}\right) = 15.71\,\text{kNm}$$

$$A_{s,y} = 5 \cdot 0.503\,\text{cm}^2 = 2.52\,\text{cm}^2$$

$$d_y = h_s - 2\,\text{cm} - 1\,\text{cm} - 0.4\,\text{cm} = 14\,\text{cm} - 2\,\text{cm} - 1\,\text{cm} - 0.4\,\text{cm} = 10.6\,\text{cm}$$

$$M_{Rd,y} = A_{s,y} \cdot f_{yd} \cdot \left(d_y - \frac{A_{s,y} \cdot f_{yd}}{2 \cdot b \cdot f_{cd}} \right)$$
$$= 2.52\ \text{cm}^2 \cdot 36.52\ \text{kN/cm}^2 \cdot \left(10.6\ \text{cm} - \frac{2.52\ \text{cm}^2 \cdot 36.52\ \text{kN/cm}^2}{2 \cdot 100\ \text{cm} \cdot 1.33\ \text{kN/cm}^2} \right) = 9.42\ \text{kNm}$$

Следователно плочата е оразмерена за поемане на първоначалните усилия в нея без достатъчен запас да поеме новите, по-големи усилия.

2.3. Оразмеряване на надливката

При приета дебелина на надливката 5cm (изчисленията показват, че при по-малка дебелина не са удовлетворени проверките):

$$d_{x,new} = d_x + 5\ \text{cm} = 11.5\ \text{cm} + 5\ \text{cm} = 16.5\ \text{cm}$$

Приблизително в крайно гранично състояние може да се приеме, че усилията се преразпределят между плочата и надливката и сечението работи като едноетапно изпълнено:

$$M_{Rd,x} = A_{s,x} \cdot f_{yd} \cdot \left(d_{x,new} - \frac{A_{s,x} \cdot f_{yd}}{2 \cdot b \cdot f_{cd}} \right)$$
$$= 3.93\ \text{cm}^2 \cdot 36.52\ \text{kN/cm}^2 \cdot \left(16.5\ \text{cm} - \frac{3.93\ \text{cm}^2 \cdot 36.52\ \text{kN/cm}^2}{2 \cdot 100\ \text{cm} \cdot 1.33\ \text{kN/cm}^2} \right)$$
$$= 22.88\ \text{kNm}$$

Аналогично по ос y:

$$d_{y,new} = d_y + 5\ \text{cm} = 10.6\ \text{cm} + 5\ \text{cm} = 15.6\ \text{cm}$$
$$M_{Rd,y} = A_{s,y} \cdot f_{yd} \cdot \left(d_{y,new} - \frac{A_{s,y} \cdot f_{yd}}{2 \cdot b \cdot f_{cd}} \right)$$
$$= 2.52\ \text{cm}^2 \cdot 36.52\ \text{kN/cm}^2 \cdot \left(15.6\ \text{cm} - \frac{2.52\ \text{cm}^2 \cdot 36.52\ \text{kN/cm}^2}{2 \cdot 100\ \text{cm} \cdot 1.33\ \text{kN/cm}^2} \right)$$
$$= 14.01\ \text{kNm}$$

Оразмеряване на дюбели:

$$V_{Ed,x} = \frac{(g_k \cdot 1.35 + q_k \cdot 1.5) \cdot 1\ \text{m} \cdot \chi \cdot l_x}{2}$$
$$= \frac{(5.5\ \text{kN/m}^2 \cdot 1.35 + 6\ \text{kN/m}^2 \cdot 1.5) \cdot 1\ \text{m} \cdot 0.607 \cdot 500\ \text{cm}}{2} = 24.91\ \text{kN}$$

$$V_{Ed,y} = \frac{(g_k \cdot 1.35 + q_k \cdot 1.5) \cdot 1\ \text{m} \cdot (1 - \chi) \cdot l_y}{2}$$
$$= \frac{(5.5\ \text{kN/m}^2 \cdot 1.35 + 6\ \text{kN/m}^2 \cdot 1.5) \cdot 1\ \text{m} \cdot (1 - 0.607) \cdot 600\ \text{cm}}{2} = 19.38\ \text{kN}$$

$$v_x = \frac{1 \cdot V_{Ed,x}}{0.9 \cdot d_{x,new} \cdot b} = \frac{1 \cdot 24.91\ \text{kN}}{0.9 \cdot 16.5\ \text{cm} \cdot 100\ \text{cm}} = 0.0168\ \text{kN/cm}^2$$

$$v_y = \frac{1 \cdot V_{Ed,y}}{0.9 \cdot d_{y,new} \cdot b} = \frac{1 \cdot 19.38\,\text{kN}}{0.9 \cdot 15.6\,\text{cm} \cdot 100\,\text{cm}} = 0.0138\,\text{kN/cm}^2$$

$$v = \sqrt{{v_x}^2 + {v_y}^2} = \sqrt{(0.0168\,\text{kN/cm}^2)^2 + (0.0138\,\text{kN/cm}^2)^2} = 0.0217\,\text{kN/cm}^2$$

При дюбели N8 през 20cm:

$$\rho = \frac{5 \cdot 0.503}{25 \cdot 100} = 0.00101$$

$$\mu = 0.7$$

$$v_{Rd} = \rho \cdot f_{yd} \cdot \mu \cdot \mathbf{sin}(90°) = 0.00101 \cdot 36.52\,\text{kN/cm}^2 \cdot 0.7 \cdot \mathbf{sin}(90°) = 0.0257\,\text{kN/cm}^2$$

Окончателно: надливка с дебелина 5cm, армирана с мрежа N8/20cm с клас бетон C25/30 (препоръчително е класът на надливката да е с един нагоре от този на плочата). Дюбели N8/20cm, като могат в средната зона да се разредят.

2.4. Оразмеряване на усилване с FRP материали

Оразмеряването е съгласно изискванията на CNR-DR 200-2004/R1:2013

За Mapei Carboplate E 170:

$$\gamma_f = 1.1,\ \varepsilon_{fk} = 0.016,\ E_f = 160\,\text{GPa},\ t_f = 1.4\,\text{mm}$$

За вътрешно приложение и карбонови нишки:

$$\eta_a = 0.95,\ k_g = 0.037\,\text{mm},\ b_f = 5 \cdot 50\,\text{mm} = 250\,\text{mm},\ F_C = 1$$

$$k_b = \sqrt{\frac{2 - \frac{b_f}{b}}{1 + \frac{b_f}{b}}} = \sqrt{\frac{2 - \frac{250\,\text{mm}}{100\,\text{cm}}}{1 + \frac{250\,\text{mm}}{100\,\text{cm}}}} = 1.18$$

За бетон C20/25:

$$f_{cm} = 28\,\text{MPa},\ f_{ctm} = 2.2\,\text{MPa}$$

Енергията на разрушение е:

$$\Gamma_{fd} = k_b \cdot k_g \cdot F_C \cdot \sqrt{f_{cm} \cdot f_{ctm}} = 1.18 \cdot 0.037\,\text{mm} \cdot 1 \cdot \sqrt{28\,\text{MPa} \cdot 2.2\,\text{MPa}} = 0.344\,\text{kN/m}$$

Допустимите напрежения при разлепяне са:

$$f_{dd} = \frac{1}{\gamma_{fd}} \cdot \sqrt{\frac{2 \cdot E_f \cdot \Gamma_{fd}}{t_f}} = \frac{1}{1.1} \cdot \sqrt{\frac{2 \cdot 160\,\text{GPa} \cdot 0.344\,\text{kN/m}}{1.4\,\text{mm}}} = 254.77\,\text{MPa}$$

$$\varepsilon_{fdd} = \frac{f_{dd}}{E_f} = \frac{254.77\,\text{MPa}}{160\,\text{GPa}} = 0.00159$$

Допустимите феформации с оглед на разлепяне и на скъсване на FRP са:

$$\varepsilon_{fd} = \mathbf{min}\left(\frac{\eta_a \cdot \varepsilon_{fk}}{\gamma_f}; \varepsilon_{fdd}\right) = \mathbf{min}\left(\frac{0.95 \cdot 0.016}{1.1}; 0.00159\right) = 0.00159$$

Нека определим деформираното състояние в момента на прилагане на FRP системата. Това става с помощта на таблица 1, която работи по следните формули:

$$p = \frac{\alpha * (A_{s1} + A_{s2})}{b}$$

$$q = \frac{2 * \alpha * (A_{s1} * d + A_{s2} * d_2)}{b}$$

$$x = -p + \sqrt[2]{(p^2 + q)}$$

$$I_{x,red}^{2} = \frac{b * x^3}{3} + \alpha * A_{s1} * (d - x)^2 + \alpha * A_{s2} * (x - d_2)^2$$

$$\sigma_c = \frac{M_{Ek}}{I_{x,red}^{2}} * x$$

$$\sigma_s = \frac{M_{Ek}}{I_{x,red}^{2}} * \left(h - x - d_1^{1 ред}\right) * \alpha$$

Таблица 1. Деформираното състояние в момента на прилагане на FRP системата.

M	707
alpha	15
As1	3.95
As2	0
d	11.5
d2	0
b	100
h	14
d1,1 ред	2.5
bf	100
hf	0
p	0.5925
q	13.6275
x	3.146291
Ix, red	5172.915
sigma s	17.12595
sigma c	0.430014

След като определим напреженията в бетона и армировката получаваме:

$$\sigma_{s,e} = 17.13 \text{ kN/cm}^2$$

$$E_s = 210000 \text{ MPa}$$

$$\varepsilon_{s,e} = \frac{\sigma_{s,e}}{E_s} = \frac{17.13\ \text{kN/cm}^2}{210000\ \text{MPa}} = 0.000816$$

$$\sigma_{c,e} = 17.13\ \text{kN/cm}^2$$

$$E_c = 210000\ \text{MPa}$$

$$\varepsilon_{c,e} = \frac{\sigma_{c,e}}{E_c} = \frac{17.13\ \text{kN/cm}^2}{210000\ \text{MPa}} = 0.000816$$

$$x = 3.15\ \text{cm}$$

$$\varepsilon_0 = \frac{\varepsilon_{c,e} \cdot (h_s - x)}{x} = \frac{0.000816 \cdot (14\ \text{cm} - 3.15\ \text{cm})}{3.15\ \text{cm}} = 0.00281$$

$$\varepsilon_{max} = \varepsilon_0 + \varepsilon_{fd} = 0.00281 + 0.00159 = 0.00441$$

Нека определим деформираното състояние в крайно гранично състояние. Определя се с помощта на таблица 2, работеща по следната процедура:

$$x = \frac{h * \varepsilon_c}{\varepsilon_{\text{д.р.}}}$$

$$n_c = \begin{cases} \varepsilon_c \left(0{,}5 - \dfrac{\varepsilon_c}{12}\right) & , \quad \varepsilon_c < 2‰ \\ \left(1 - \dfrac{2}{3\varepsilon_c}\right) & , \quad \varepsilon_c \geq 2‰ \end{cases}$$

$$Nc = [b * x * \text{n}_c] * f_{cd}$$

$$f_{cd} = \alpha_{cc} * \frac{f_{ck}}{\gamma_c}$$

$$N_t = A_s * f_{yd} + A_f * E_f * \varepsilon_{fdd} = A_{s1} * f_{yd} + A_f * E_f * (\varepsilon_{\text{д.р.}} - \varepsilon_0)$$

Таблица 2. Деформираното състояние в крайно гранично състояние.

$\varepsilon_{\text{д.р.}}$	ε_c	x	n_c	Nc	N_t
4.41	3.5	11.11111	0.809524	1198.995	228.6235
4.41	1.5	4.761905	0.5625	357.0536	228.6235
4.41	1.158	3.67619	0.467253	228.9709	228.6235

След като получим резултатите за деформираното състояние, получаваме следната носеща способност:

$$\varepsilon_c = 0.00158$$

$$k_a = \frac{8 - \varepsilon_c \cdot 1000}{4 \cdot (6 - \varepsilon_c \cdot 1000)} = \frac{8 - 0.00158 \cdot 1000}{4 \cdot (6 - 0.00158 \cdot 1000)} = 0.363$$

За FRP ивици с дебелина t_f=1,4mm, широчина b_f=50mm и разположени през 20cm площта за m’ е:

$$A_f = 3.5\ \text{cm}^2,\ \varepsilon_{dr} = 0.0041$$

Носещата способност за огъващ момент е:

$$M_{Rd} = A_{s,x} \cdot f_{yd} \cdot (d_x - k_a \cdot x) + A_f \cdot E_f \cdot (\varepsilon_{dr} - \varepsilon_0) \cdot (h_s - k_a \cdot x)$$
$$= 3.93\ \text{cm}^2 \cdot 36.52\ \text{kN/cm}^2 \cdot (11.5\ \text{cm} - 0.363 \cdot 3.15\ \text{cm}) + 3.5\ \text{cm}^2 \cdot 160\ \text{GPa}$$
$$\cdot (0.0041 - 0.00281) \cdot (14\ \text{cm} - 0.363 \cdot 3.15\ \text{cm}) = 24.1\ \text{kNm}$$

Аналогично получаваме и по другата ос FRP ивици с дебелина t_f=1,4mm, широчина b_f=50mm и разположени през 20cm.

3. СРАВНИТЕЛЕН ТЕХНИКО-ИКОНОМИЧЕСКИ АНАЛИЗ

За нуждите на научното изследване са разработени два модела за изпълнение на усилване на плоча с дължина 6 и широчина 5 метра (с площ 30 м^2).
Разработването на двата варианта предполага усилване на съществуваща стоманобетонна плоча, върху която е изпълнена замазка и настилка от гранитогрес, а отдолу на плочата е изпълнена мазилка по тавани и боядисване с латексова боя.

В първия вариант е предвидено класически модел на усилване с монтаж на дюбели върху плочата, армиране и подлагане на стоманобетонова надливка.

Технологичният и организационен ред за изпълнението на този вариант изисква включването на работници със следните специалности: общи работници, арматуристи, бетонджии, настилкаджии. Необходимите материали за осъществяване на видовете работи включени в реализирането на това усилване са: дюбели от армировъчна стомана N8x10, епоксидна смола, армировъчна стомана B420, бетон клас C25/30, циментова замазка, лепило за гранитогрес, плочи гранитогрес.

Видовете и количествата работи за изпълнение са показани в таблица 3.

Таблица 3. Количествено – стойностна сметка на първи вариант – Усилване с надливка

N	*Вид СМР*	*Ед. м.*	*Количество*	*Ед. Цена*	*Цена*
1	Премахване на настилка и замазка	m^2	30	8,04 €	241,20 €
2	Почистване на плочата отгоре	m^2	30	4,50 €	135,00 €
3	Монтаж на дюбели N8x10 с епоксидна смола в съществуващата плоча	бр.	480	2,80 €	1 344,00 €
4	Монтаж на надлъжна армировка в надливката - клас B420	kg	118,5	1,41 €	167,09 €
5	Направа на стоманобетонна надливка с бетон клас C25/30	m^3	1,5	123,76 €	185,64 €
6	Направа на нова замазка	m^2	30	5,74 €	172,20 €

7	Направа на нова настилка - гранитогрес	m^2	30	36,18 €	1 085,40 €
Общо за първи вариант:					3 330,53 €

При втория вариант – усилване с FRP ламели е предвидено изпълнение на усилването от долната страна на плочата (по тавана).

Технологичният и организационен ред за изпълнението на този вариант изисква включването на работници със следните специалности: общи работници, монтажници на FRP ламели, мазачи, бояджии. Необходимите материали за осъществяване на видовете работи включени в реализирането на това усилване са: грунд за полагане на FRP ламели, FRP ламели, лепило за FRP, антикорозионна защитна боя, варов разтвор, цимент, латексова боя.

Видовете и количествата на работите, които се предвижда да бъдат изпълнени за изпълнение са показани в таблица 2.

Таблица 2. Количествено – стойностна сметка на втори вариант – Усилване с FRP ламели

N	*Вид СМР*	*Ед. м.*	*Количество*	*Ед. Цена*	*Цена*
1	Премахване на мазилка	m^2	30	5,75 €	172,50 €
2	Почистване на плочата отдолу	m^2	30	5,00 €	150,00 €
3	Полагане на грунд в зоната на полагане на FRP ламелите	m	55	0,78 €	42,90 €
4	Монтаж на FRP ламели (например Mapei Carboplate E 170 с широчина 50mm, дебелина 1.4mm) с адхезия на основа епоксидни смоли	m	55	25,81 €	1 419,55 €
5	Полагане на противопожарна и антикорозионна защита върху FRP ивиците	m	44	0,29 €	15,95 €
6	Направа на нова мазилка	m^2	30	4,91 €	147,30 €
7	Боядисване по тавана	m^2	30	6,20 €	186,00 €
Общо втори вариант:					2 134,20 €

Устойностяването и на двата варианта е извършено с помощта на софтуерния продукт Building Manager 21, като за единичните цени за труд, материали и необходима механизация е използван „Справочник за цените в строителството бр. 1/2026“. За някои материали е използвана актуална информация на производителя от официалния им сайт. (бетон, FRP)

Въз основа на направения сравнителен технико-икономически анализ може да отчетем, че общата стойност на усилването по първи вариант е 3293,40 евро, докато при

втория вариант (усилване с FRP ламели), въпреки значително по-високата цена на самите ламели, общата стойност е 1838, 52 евро (над 35% по-евтино).

4. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Въпреки високата цена на FRP ламелите, метода за усилване с тях е значително по-евтин от алтернативата на бетонова надливка. Повече и по-детайлни изследвания са нужни, за сигурно заключение, ни в изолираното изследване на усилване на плоча FRP се доказва, като по-изгодното решение.

ЛИТЕРАТУРА

[1] Гороломов, А., Дисертация на тема „Моделиране поведението на усилени строителни конструкции“ (дисертация).
[2] Георгиев Г., Ст. Цветков, Методическо ръководство за разработване на курсов проект по стоманобетон по Еврокод 2, София, 2012, ISBN : 978 – 954 – 331 – 037 - 1 (книга)
[3] Гороломов, А., Особености при оразмерителните проверки на стоманобетонна плоча, усилена с надливка. In: XVII Международна научна конференция. ВСУ'2017, юни 8-9, 2017, София, ВСУ „Л. Каравелов“, Том 1, 2017 (публикация в сборник с доклади)
[4] БДС EN 1990 Еврокод 0
[5] БДС EN 1992-1 Еврокод 2
[6] CNR-DT 200 R1/2013 Guide for the Design and Construction of Externally Bonded FRP Systems
[7] https://www.mapei.com/bg/bg/produkti-i-resheniya/spisak-s-produkti/podrobnosti-za-produkta/carboplate?gad_source=1&gad_campaignid=23600991108&gbraid=0AAAABCNw5jEU2q0mLeBag_3g7YPgkE-Lj&gclid=CjwKCAjwxb7RBhA5EiwAQ-AAdJR54fa8xo8FN0VEBzG-HRPW86jbk9mQiY2UNR08uIGnNDXHIF2_3BoCyK8QAvD_BwE [посетен на 15.06.2026]
[8] СЕК, 1/2026 - Справочник за цените в строителството (книга)
[9] https://bg-beton.bg/ [посетен на 15.06.2026]
[10] Стоянов В., Ал. Стоянов, Planning of labor resources and their impact on the construction site temporary facilities, iNDiS2018 Международна научна конференция, Нови Сад, Република Сърбия, 2018, ISBN 978-86-6022-105-8, стр. 631 – 635.
[11] Robert Eadie, Rock J., Stoyanov V., Building Information Modelling (BIM) Software for Facilities Management (FM), XIX Международна научна конференция ВСУ 2019, 2019, ISSN: 1314-071X, Article 6.01 p.89-95