Міністерство освіти і науки України

Національний авіаційний університет

ІННОВАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ РЕСАЙКЛІНГУ ОБ'ЄКТІВ ГРОМАДСЬКОЇ ТА ВИРОБНИЧОЇ ІНФРАСТРУКТУРИ З ВИКОРИСТАННЯМ КОМПОЗИЦІЙНИХ МАТЕРІАЛІВ

1. **ГАСІЙ Григорій Михайлович** – доктор технічних наук, доцент, професор кафедри комп'ютерних технологій будівництва та реконструкції аеропортів Факультету архітектури, будівництва та дизайну Національного авіаційного університету.

2. **ВАСИЛЕНКО Вікторія Миколаївна** – кандидат технічних наук, доцент, завідувач кафедри комп'ютерних технологій дизайну і графіки Факультету архітектури, будівництва та дизайну Національного авіаційного університету.

3. **ГОРБ Олександр Григорович** – кандидат технічних наук, доцент кафедри комп'ютерних технологій будівництва та реконструкції аеропортів Факультету архітектури, будівництва та дизайну Національного авіаційного університету.

4. **ДУБИК Олександр Миколайович** – кандидат технічних наук, доцент кафедри комп'ютерних технологій будівництва та реконструкції аеропортів Факультету архітектури, будівництва та дизайну Національного авіаційного університету.

Мета і завдання роботи

Метою роботи є розроблення, комплексне дослідження і впровадження новітніх ресурсоощадних технологій ресайклінгу, тобто повторного використання композиційних матеріалів для ремонту, реконструкції та зведення будівель і споруд об'єктів громадської та виробничої інфраструктури, у тому числі об’єктів гірничої та металургійної промисловості, стратегічного призначення, дорожно-транспортної інфраструктури, дорожно-аеродромних покриттів тощо, а також пошук шляхів раціонального вирішення стратегічних промислових задач шляхом інтеграції новітніх розробок технологій ресайклінгу.

До основних задач, які були розв’язані в межах проекту відносяться:

– створення та патентування раціональних типів композитних конструкцій, а також розроблення теорії розрахунку їх напружено-деформованого стану.

– проведення унікальних експериментальних випробувань, обробка результатів, обґрунтування ефективності створеної композитної конструкції та доцільності її використання як несучі конструкції будівель і споруд об'єктів громадської та виробничої інфраструктури.

– експериментальні та чисельні дослідження особливості роботи запропонованих композитних конструкцій під навантаженням та специфіку їх напружено-деформованого стану та руйнування, а також встановлення прийнятності запропонованих способів забезпечення сумісної роботи конструктивних елементів.

– експериментально встановлено схему деформування запропонованих композитних конструкцій;

− розроблення нового способу забезпечення сумісної роботи бетону і сталі в композитних конструкціях за допомогою акрилових;

− експериментальне визначення несучої здатності з’єднань, влаштованих за допомогою акрилових клеїв, при роботі на осьовий розтяг та зріз;

− виявлення закономірностей зміни напружено-деформованого стану стиснутих і зігнутих композитних конструктивних елементів зі з’єднаннями на акрилових клеях та дослідження характеру їх руйнування;

− розроблення методики розрахунку композитних конструкцій з клейовим з’єднанням сталі та бетону, яка дає можливість враховувати фізико-механічні властивості матеріалу і геометрію шва та рекомендацій щодо застосування акрилових клеїв при виготовленні композитних конструкцій;

− розроблення пропозицій щодо розробки конструктивних рішень дорожніх та аеродромних композитних покриттів при застосуванні розробленої технології ресайклінгу з використанням композиційних матеріалів;

− чисельні експерименти по розрахунку напружено-деформованого стану дорожніх та аеродромних покриттів при застосуванні розробленої технології ресайклінгу;

− розрахунок класифікаційного числа PCN аеродромних покриттів при застосуванні розробленої технології ресайклінгу;

− розроблення методики розрахунку конструкцій дорожніх та аеродромних покриттів при застосуванні розробленої технології ресайклінгу;

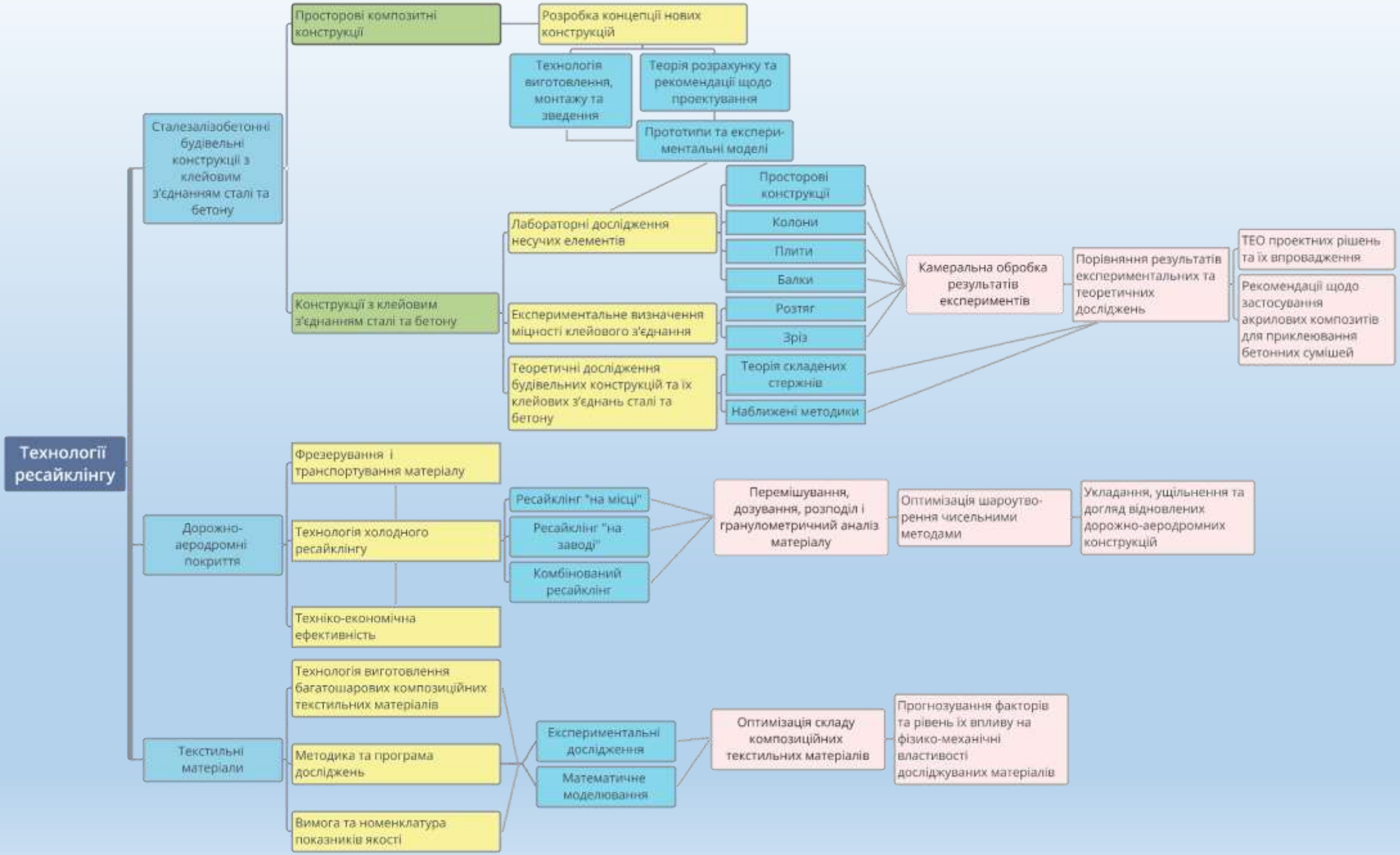
− розроблення пропозицій щодо подальшого вдосконалення конструкцій дорожніх та аеродромних покриттів з використанням композиційних матеріалів;

− обґрунтовано вибір вихідних матеріалів, з’ясовано критерії формування та отримано новий вид багатошарових композиційних матеріалів на основі регенерованих натуральних волокон з регульованими властивостями;

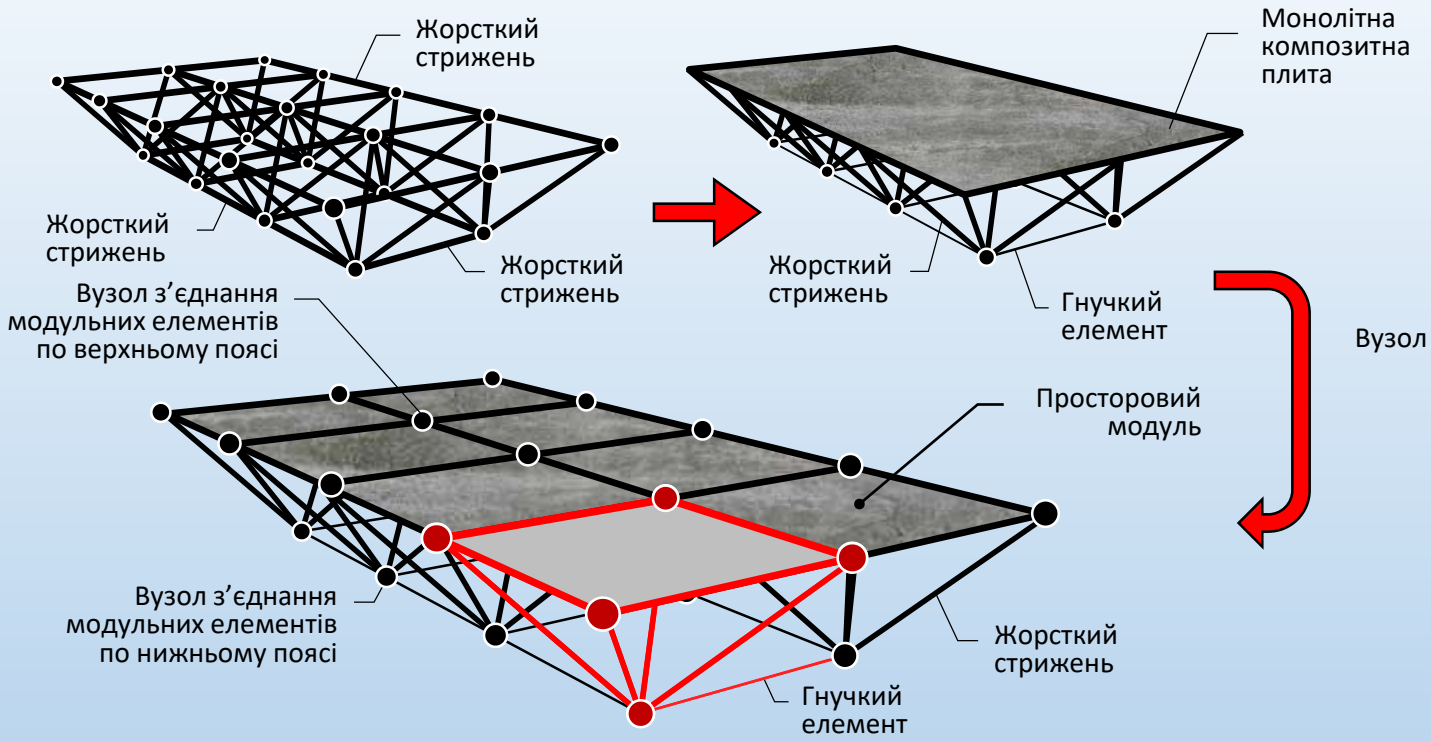
− встановлено закономірності змін механічних властивостей композиційних матеріалів на основі регенерованих натуральних волокон і запропоновано математичні моделі для їх прогнозування;

– встановлення та обґрунтування техніко-економічної переваги запропонованих композитних конструкцій порівняно з використовуваними у будівництві аналогами.

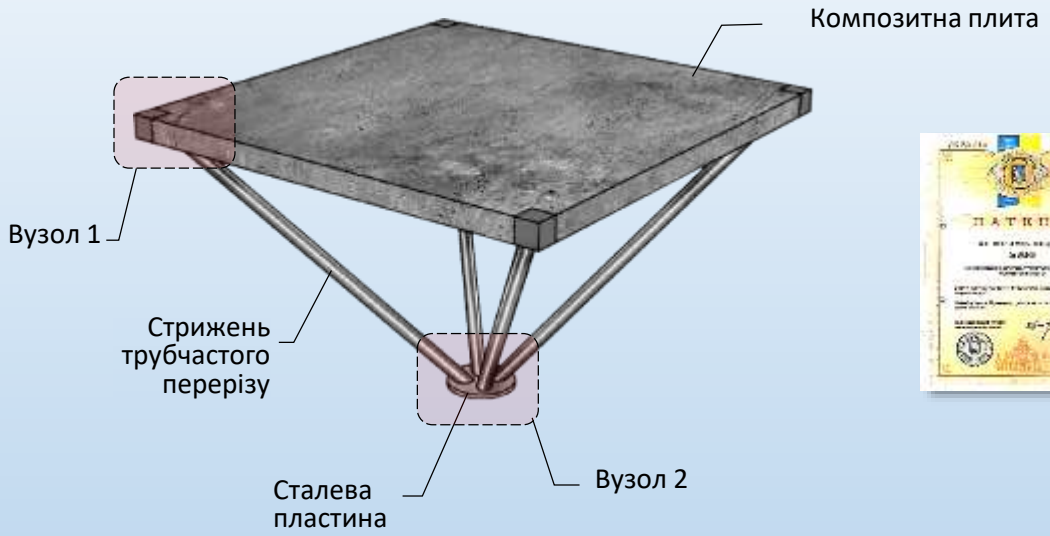
Mind map досліджень технологій ресайклінгу



Композитні конструкції для будівель і споруд



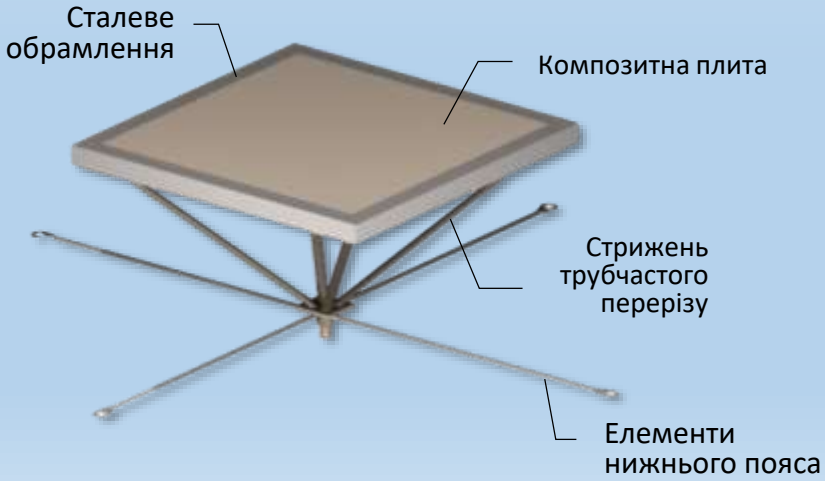
Просторовий комбінований модуль



- Розроблена конструкція є збірною і складається з просторових модулів і гнучких елементів нижнього пояса. Верхній пояс виготовляється як плити, які залежно від армування можуть бути залізобетонними, армоцементними, сталезалізобетонними тощо. Нижній пояс виготовляється у вигляді вант або стрижнів, що призначені сприймати лише зусилля розтягу.
- Особливістю таких конструкцій є те, що вони поєднують у собі переваги сталезалізобетонних, структурних і вантових конструкцій, а також при їх зведені немає потреби в улаштуванні покрівлі, тому що верхній пояс одночасно виконує несучу й огороджувальну функції.

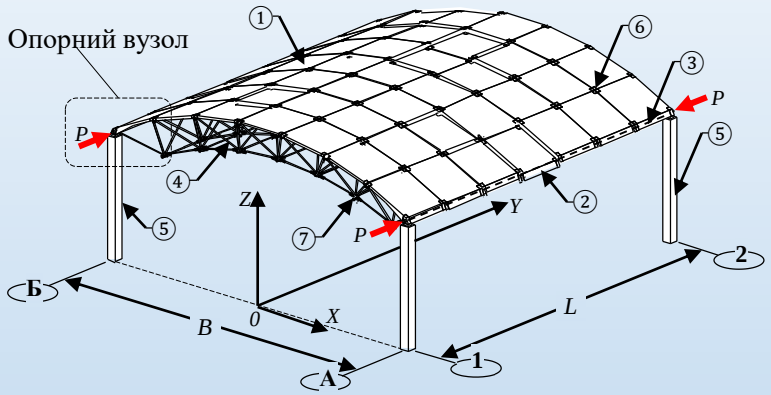
Основою просторового модуля може бути плита квадратної або іншої правильної багатокутної форми, яка відіграє роль верхнього пояса конструкції. Просторові модулі об'єднуються між собою за допомогою вузлових з'єднань у площині верхнього та нижнього поясів, які у залежності від форми покриття можуть мати різні рішення.

Просторовий модуль зі сталевим обрамленням



Напружено-деформований стан композитних конструкції

Схема просторової композитної конструкції

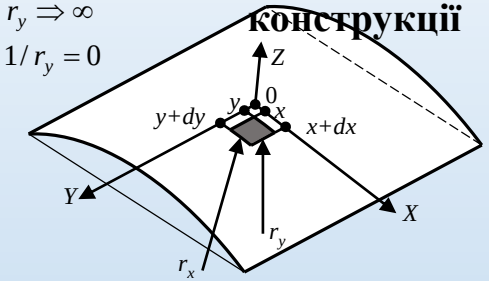


1 — просторовий структурно-вантовий сталезалізобетонний елемент;
2 — опорний просторовий сталезалізобетонний модуль (бортовий елемент) з отвором для пропускання попередньо напруженої арматури;
3 — попередньо напружена арматура;
4 — просторова решітка, яка виконує функцію діафрагми;
5 — опора;
6, 7 — вузли з'єднання просторових модулів по верхньому та нижньому поясах

Виділення нескінченно малого елемента просторової структурно-вантової сталезалізобетонної конструкції

$r_y \Rightarrow \infty$

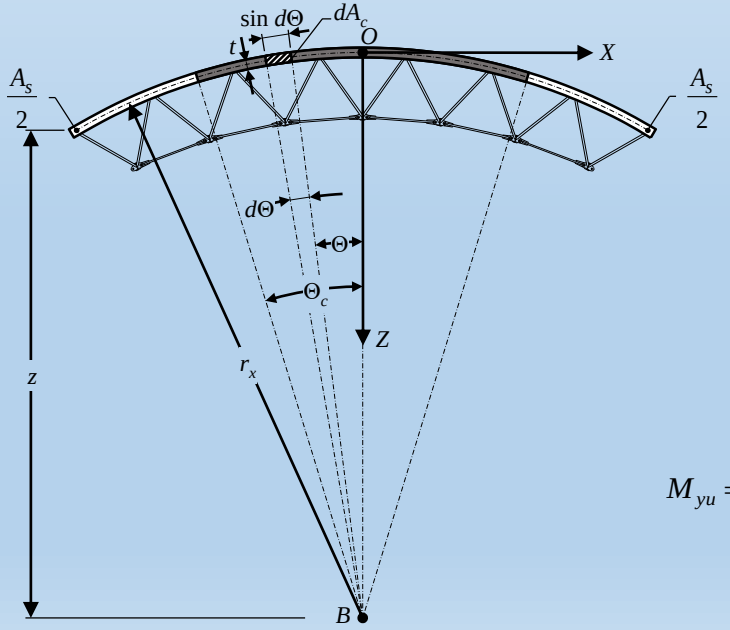
$1/r_y = 0$



$$\begin{cases} \dfrac{\partial N_y}{\partial y} + \dfrac{\partial S}{\partial x} = 0; \\ \dfrac{\partial N_x}{\partial x} + \dfrac{\partial S}{\partial x} = 0; \\ \dfrac{N_x}{r_x} + \dfrac{N_y}{r_y} + q = 0. \end{cases}$$

$$N_x = \frac{\partial^2 F}{\partial y^2};\ N_y = \frac{\partial^2 F}{\partial x^2};\ S = \frac{\partial^2 F}{\partial x \partial y}. \quad \textbf{(17)} \quad \frac{1}{r_x}\cdot\frac{\partial^2 F}{\partial y^2} + \frac{1}{r_y}\cdot\frac{\partial^2 F}{\partial x^2} + q = 0.$$

Розрахункова схема створеної конструкції в поздовжньому напрямку



$$dA_c = t \cdot r_x \cdot \sin d\Theta$$

при малих $\Theta \to \sin\Theta = \Theta$

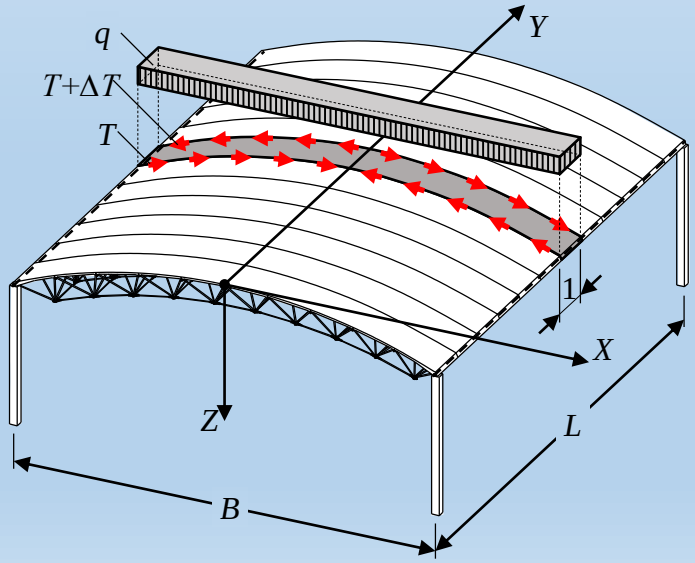
$$M_{Ed} \le M_{yu}.$$

$$M_{Ed} = q \cdot B \cdot L^2/8.$$

$$M_{yu} = 2 \cdot f_{cd} \cdot r_x^2 \cdot t \cdot \sin\Theta_c - f_{yd} \cdot A_s \cdot z.$$

$$\Theta_c = f_{yd} \cdot A_s/(2 \cdot f_{cd} \cdot t \cdot r_x).$$

Розрахункова схема створеної конструкції в поперечному напрямку



$$M_x = M_0 + M_{\Delta T}.$$

$$M_{\Delta T} = \sum_{i=1}^{n} \Delta T_i \cdot t \cdot e_i.$$

$$M_0 = \sum_{i=1}^{n} G_i \cdot a_i + \upsilon \cdot \frac{B^2}{8}.$$

Експериметальні дослідження композитних конмтрукцій

Вимір прогинів дослідного зразка

Вимір переміщень вузлів

10 стадія завантаження

Вимір переміщень опорних вузлів

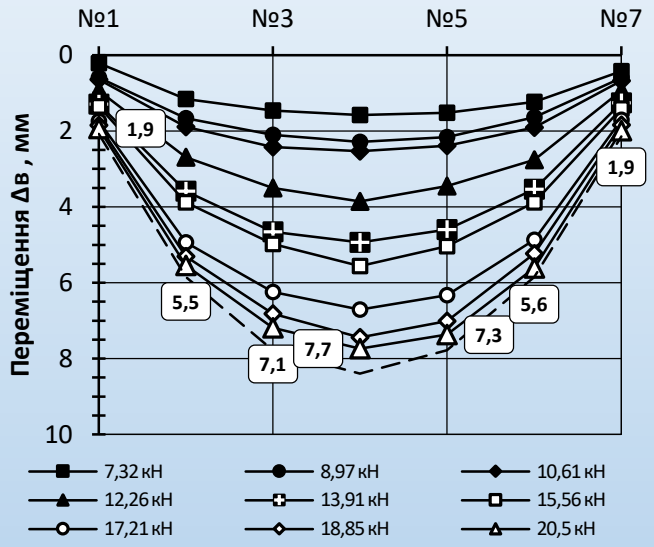
Розміщення маркувальних знаків на елементах дослідної конструкції

- **У вузлах**
- **На опорі**

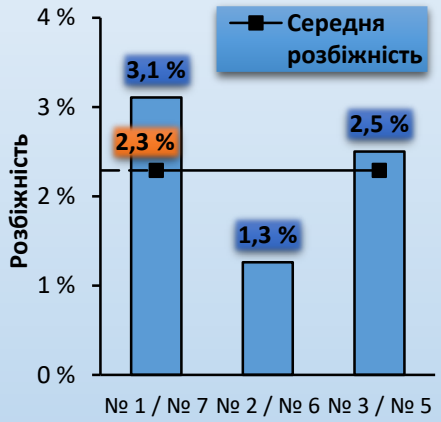
Траверса

Верифікація результатів експериментальних випробувань, теоретичних досліджень та чисельних моделювань

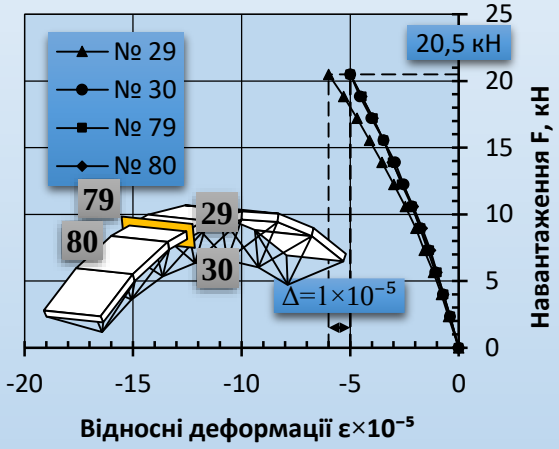
Прогини експериментальної конструкції у вузлах нижнього пояса



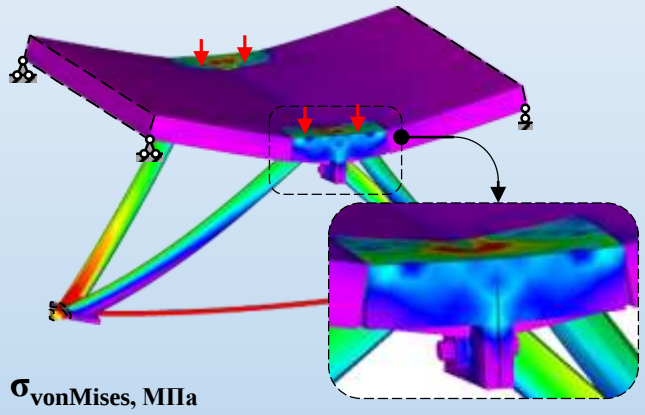
Розбіжність прогинів у дзеркально розташованих вузлах



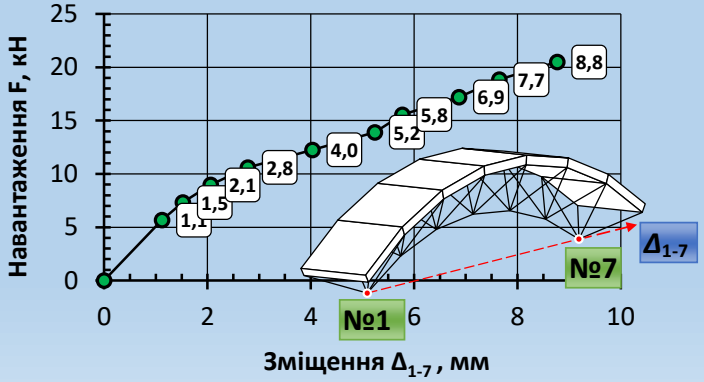
Деформації в стиснених елементах дослідної конструкції



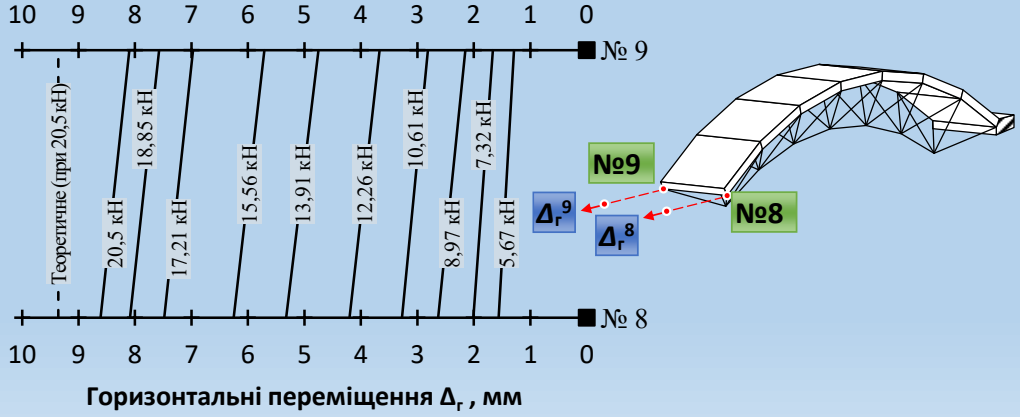
Нелінійне моделювання сумісної роботи композитної плити та сталевої конструкції



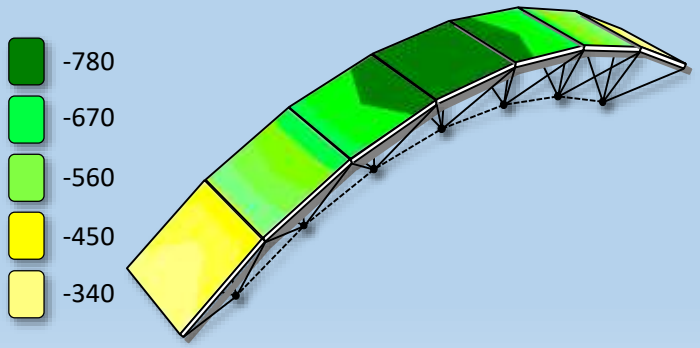
Відносне зміщення крайніх вузлів нижнього пояса № 1 і № 7



Горизонтальні переміщення опорних вузлів № 8 і № 9

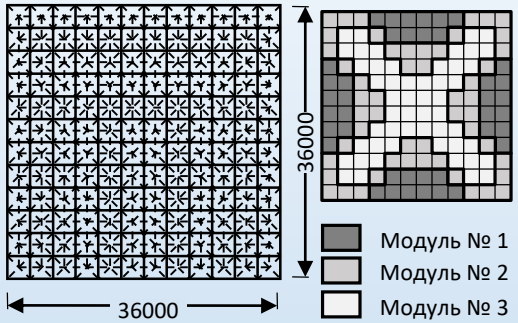


Нелінійне моделювання напруженого стану композитної конструкції, кН/м²

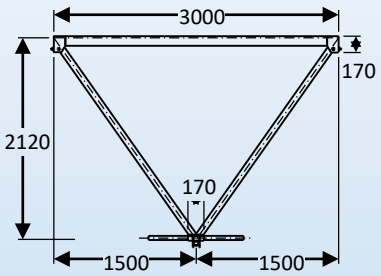


Техніко-економічне обгрунтування композитних конструкцій будівель

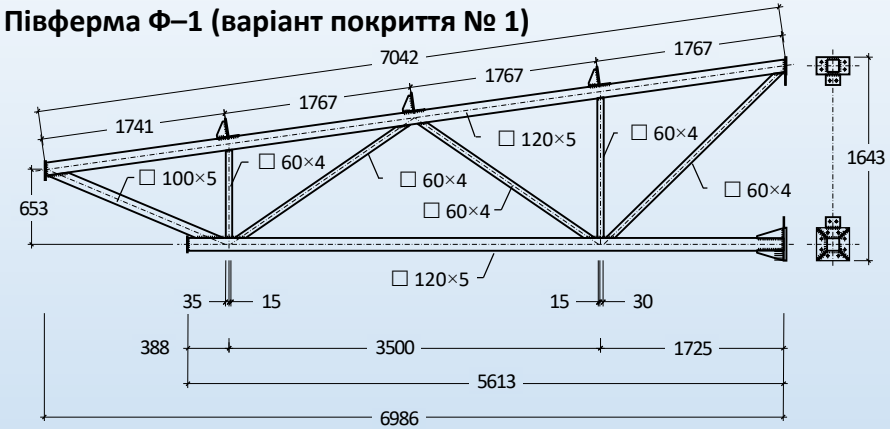
Комбіноване покриття



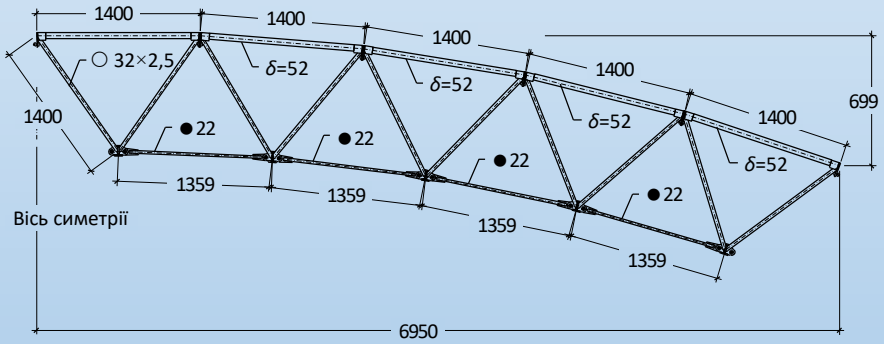
Геометричні розміри просторового модуля



Півферма Ф–1 (варіант покриття № 1)



Півелемент СВ–1 (варіант покриття № 2)



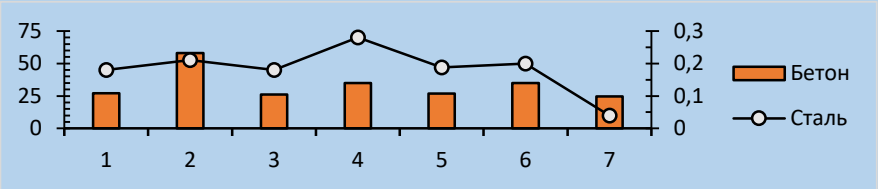
Техніко-економічні показники композитних конструкцій

Найменування проекту	Маса покриття, т	Витрати сталі, т	Витрати сталі на 1 м², кг	Витрати бетону, м³	Довжина зварного шва, м	Кількість болтів, шт.
Система «Кисловодськ»	94,51	81,55	62,92	–	583,71	1200
Запропоновані конструкції	148,6	31,89	24,60	49,97	153,75	536

Порівняння вартості запроектованих варіантів конструкцій (2019 рік)

Найменування проекту	Вартість монтажу, тис. грн.	Трудомісткість монтажу, тис. люд.-год.	Вартість виготовлення, тис. грн.	Трудомісткість виготовлення, тис. люд.-год	Вартість матеріалів, тис. грн	Разом, тис. грн
Система «Кисловодськ»	149,883	3,331	215,453	5,298	1314,858	1680,19
Запропоновані конструкції	198,112	3,76	298,047	6,159	379,144	875,30
Різниця, %	24,34	11,41	27,71	13,98	–71,16	–47,9

Порівняння витрат матеріалів на 1 м² для різних типів залізобетонних оболонок



1 — шедова оболонка 7,5×25 м; 2 — оболонка типу «Ліон-Гіллотер» 12×31,75 м; 3 — коноїдальна оболонка 15×12 м; 4 — оболонка типу «Кохінор» 18×9 м; 5 — оболонка типу «Цейс-Дівідаг» 25×10 м; 6 — кругова коротка циліндрична оболонка 20×25 м; 7 — структурно-вантова сталезалізобетонна конструкція 36×36 м

Техніко-економічні показники композитних конструкцій

№ проекту	Маса покриття, т	Витрати сталі, т	Витрати сталі на 1 м², кг	Витрати бетону, м³	Довжина зварного шва, м	Кількість болтів, шт.
Варіант 1	28,19	18,86	34,36**	–	1463,3*	280
Варіант 2	30,87	9,419	17,2	28,2	887,5	1120

Порівняння вартості запроектованих варіантів конструкцій (2019 рік)

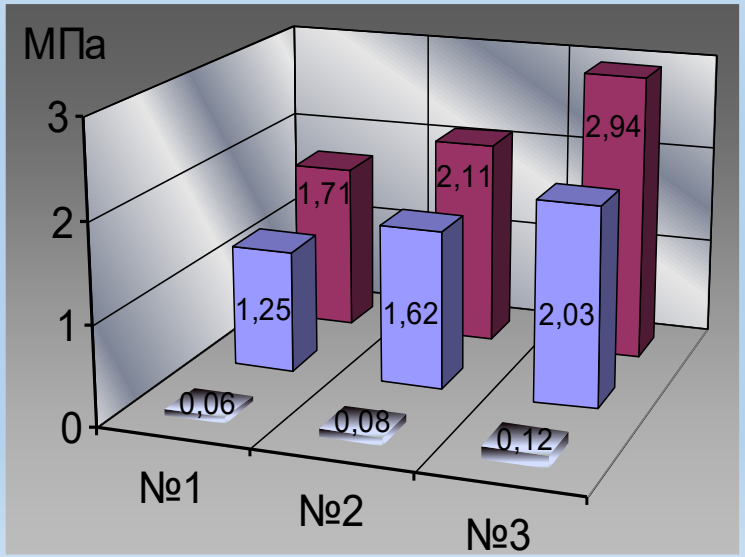
№ проекту	Вартість монтажу, тис. грн.	Вартість виготовлення, тис. грн.	Вартість матеріалів, тис. грн	Разом, тис. грн
Варіант 1	105,061	97,878	156,207	359,146
Варіант 2	122,947	108,133	105,965	332,583
Різниця, %	14,5	9,5	–32,2	–6,2

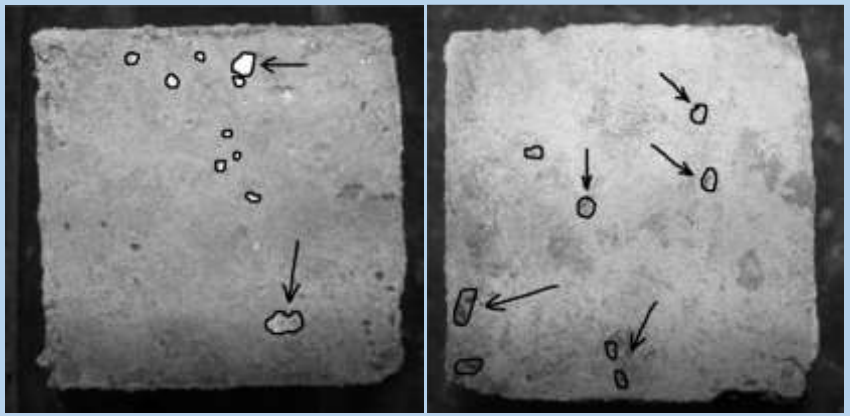
Дослідження клейових з’єднань

Зразок	Несуча здатність, кН			Розбіж-ність, %
	зразок, кН	осьовий розтяг бетону, МПа	клейове з’єднання, МПа	
Р-БК-1	0,6	2,04	0,06	-
Р-К1-1	12,5		1,25	39
Р-К2-1	17,1		1,71	16
Р-БК-2	0,8	2,75	0,08	-
Р-К1-2	16,2		1,62	41
Р-К2-2	21,1		2,11	23
Р-БК-3	1,2	3,39	0,12	-
Р-К1-3	20,3		2,03	40
Р-К2-3	29,4		2,94	13

Серія	Несуча здатність			Розбіжність, %
	дослідних зразків, кН	бетону на зріз, МПа	клейове з’єднання, МПа	
С-БК-100	1,4	5,5	0,14	-
С-К1-100	27,4		2,74	50
С-К2-100	37,9		3,79	31
С-БК-200	2,9		0,15	-
С-К1-200	52,2		2,61	53
С-К2-200	70,4		3,52	36
С-БК-400	4,8		0,12	-
С-К1-400	107,2		2,68	51
С-К2-400	139,6		3,49	37

Залежність несучої здатності клейових з’єднань розтягнутих дослідних зразків від складу бетонної суміші та акрилового клею

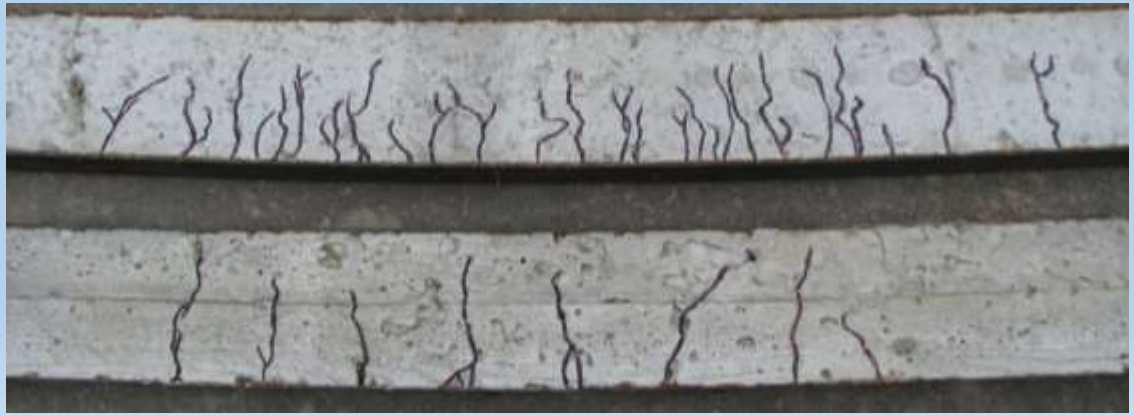




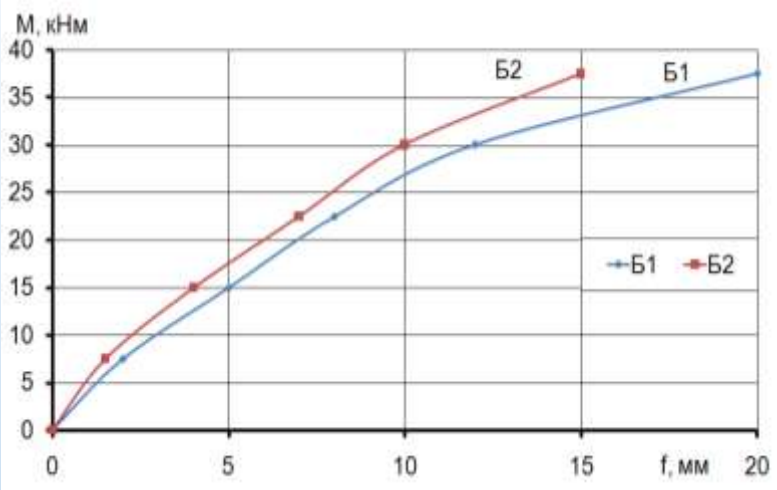
Дефекти клейового з’єднання на поверхні сталі (зліва) та бетону після руйнування

Дослідні зразки на стадії випробування

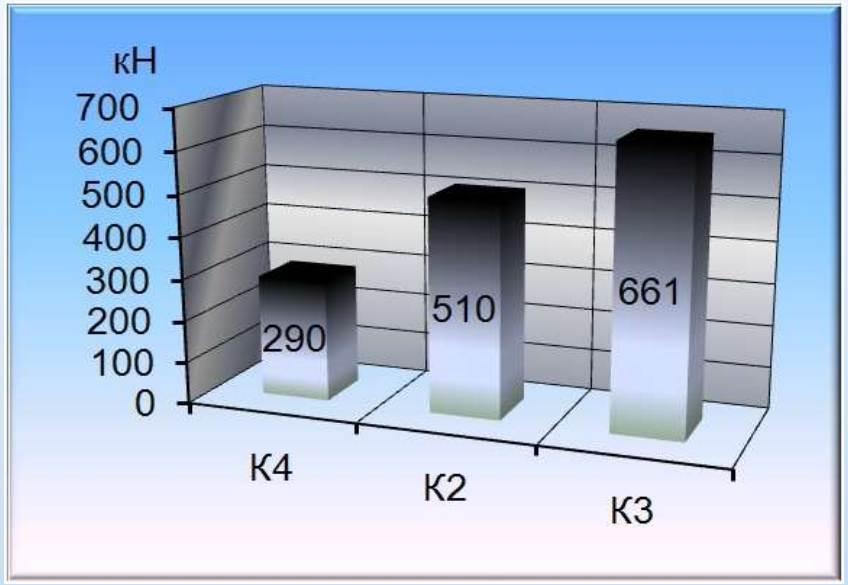
Дослідження СЗБЕ з клейовим з’єднанням



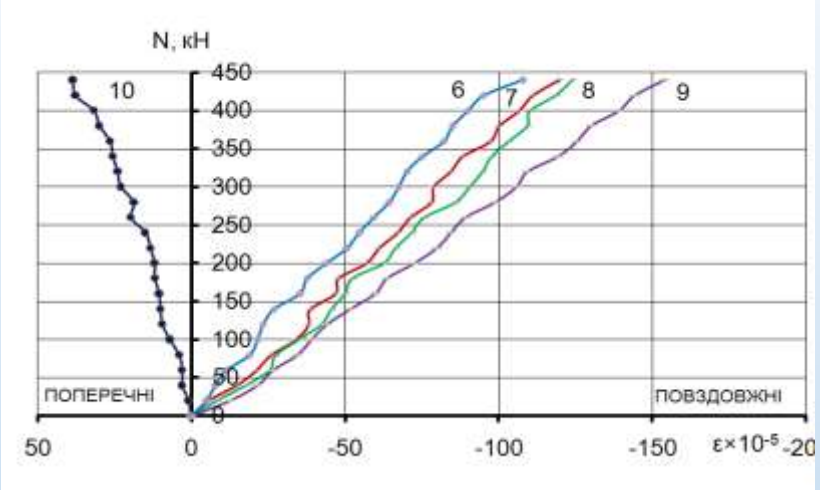
Результати досліджень СЗБЕ з клейовим з’єднанням



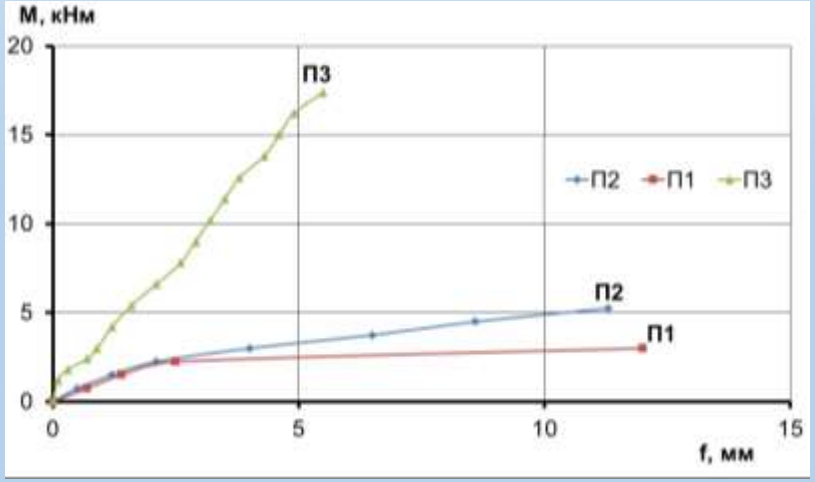
Залежність прогину від зростання навантаження зразків Б1 та Б2



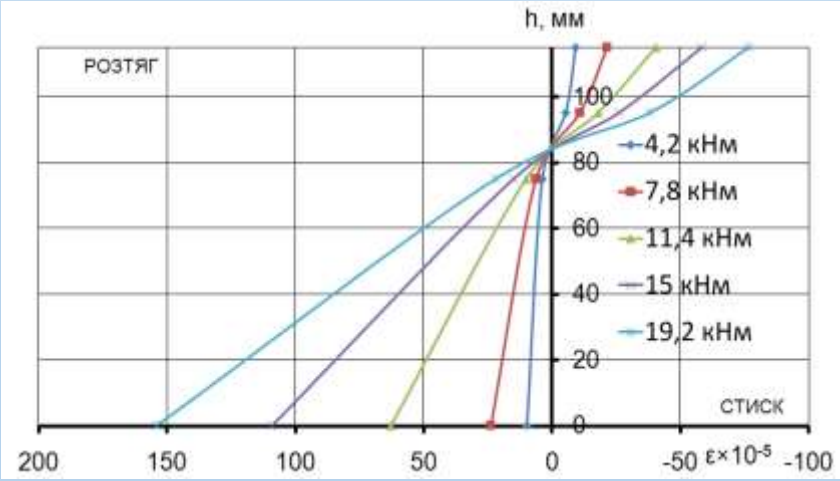
Несуча здатність коротких стійок



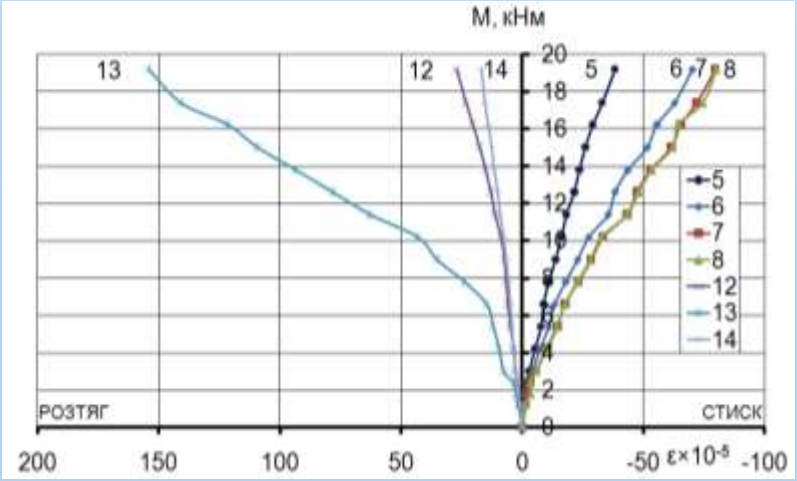
Залежність відносних деформацій від навантаження зразка К1



Залежність прогину від зростання навантаження зразків П1, П2 та П3



Розподіл відносних деформацій по висоті зразка П3 в перерізі 2-2

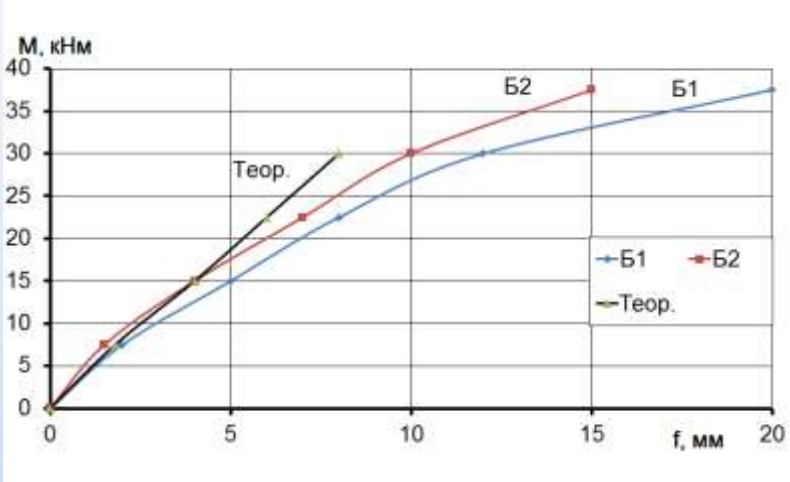


Залежність відносних деформацій від навантаження в перерізі 2-2 зразка П3

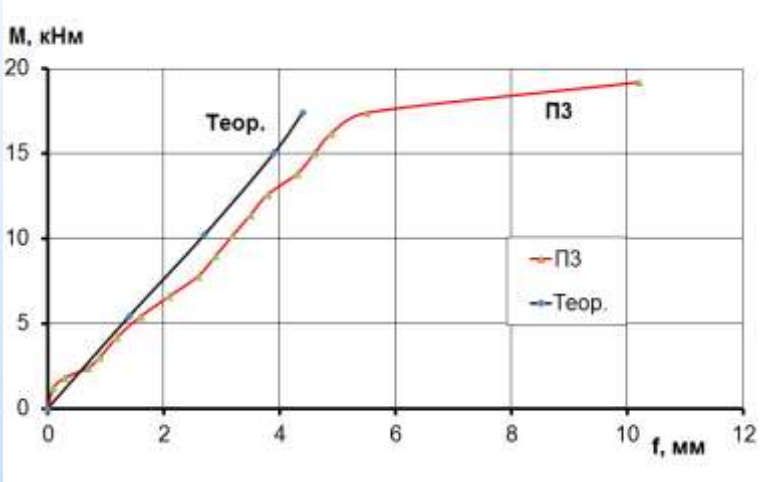
Порівняння експериментальних і теоретичних досліджень

Несуча здатність згинальних елементів за теорією складених стержнів

Зразок	Несуча здатність, М, кНм			Розбіжність, %	
	експ. знач.	теор. знач. без врах. матеріалу шва	теор. знач. з врах. матеріалу шва	знач. без врах. матеріалу шва	знач. з врах. матеріалу шва
П1	5,25	18,15	-	-	-
П2	9		11,45	-	27,2
П3	19,2		19,87	-5,5	3,5
Б1	32,22	35,93	-	11,5	-
Б2	33,1		34,18	10,1	3,3



Теоретична та експериментальна залежність прогинів від навантаження зразків Б1 та Б2



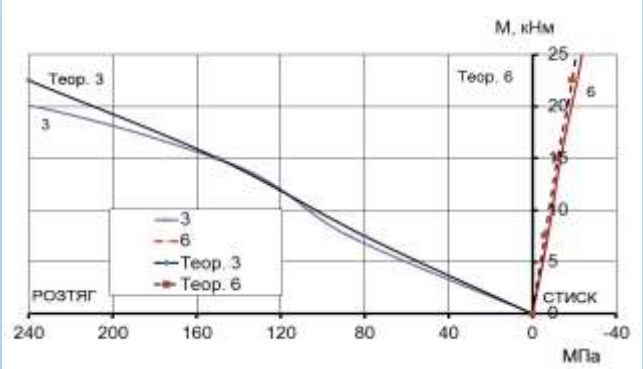
Теоретична та експериментальна залежність прогинів від навантаження зразка П3

Несуча здатність згинальних елементів за наближеними методиками

Зразок	Несуча здатність, М, кНм			Розбіжність, %	
	експ. знач.	теор. знач. за гран. станами	теор. знач. за прив. перерізом	знач. за гран. станами	знач. за прив. перерізом
П1	5,25	23,8	24,3	-	-
П2	9			-	-
П3	19,2			19,3	26,6
Б1	32,22	41,13	43,6	21,7	26,1
Б2	33,1			19,5	24,1

Прогини згинальних елементів

Зразок	Прпогин, f, см			Розбіжність, %	
	експ. значення	теор. знач. за набл. методикою	теор. знач. за теор. складених стержнів	значення за набл. методикою	знач. за теор. складених стержнів
П1	4,58	0,31	0,48	-	-
П2	4,02			-	-
П3	0,52			40	7,7
Б1	1,21	0,62	0,78	48,8	35,5
Б2	0,98			34,7	20,4



Теоретична та експериментальна залежність напружень в крайніх волокнах від навантаження зразка П3

Конструкція дослідженого дорожнього одягу нежорсткого типу

Конструкція **існуючого** дорожнього одягу перед виконанням холодного ресайклінгу

КМ +	Конструктивний шар	Матеріал	Товщина, см
297+600 – 302+600	Покриття	Асфальто-бетон	5
	Основа	Шар щебеню (просочення)	8
	Додаткова основа	Щебінь	10
		Бруківка	
		Відсів	20
	Ґрунт земляного полотна	Суглинок	-

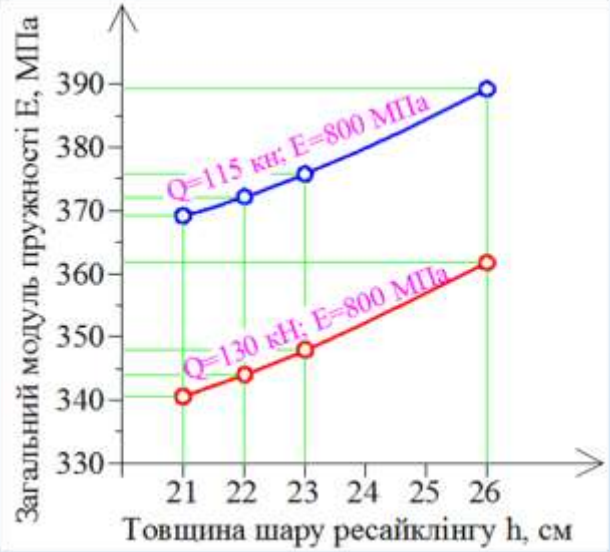
Категорія дороги – III
Область – Рівненська
Кількість смуг руху – 2
Ширина смуги руху – 3,5 м
Ширина узбіччя – 2,5 м

Розрахункове осьове навантаження: 100 кН

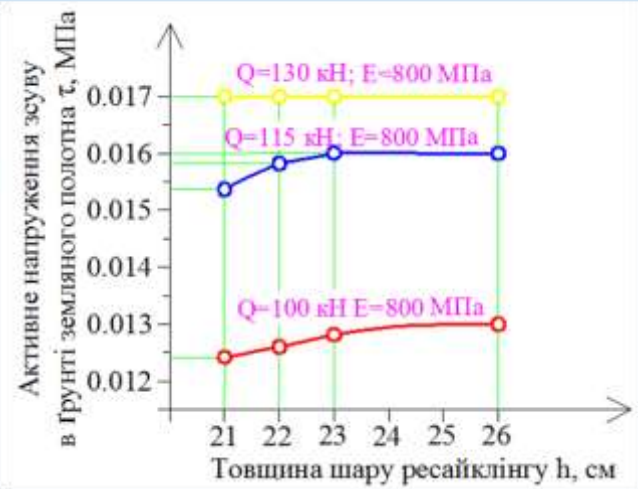
Розрахунковий тиск, МПа: 0,6

Конструкція дослідної ділянки дорожнього одягу після виконання холодного ресайклінгу

№	Назва шару матеріалу	Товщина шару, см	Модуль пружності для розрахунку Е, МПа
1	Щільний гарячий асфальтобетон на бітумі БНД 60/90 (Тип А, Марка І)	5	3200
2	Щільний крупнозернистий гарячий асфальтобетон на бітумі марки (1) БНД 60/90	6	3200
3	Ресайклірувана органо-мінеральна суміш	21-23	800
4	Щебінь	5	350
5	Відсів	20	130
6	Суглинок легкий пилуватий,(J=7-12) 2-5мм.<40%	-	50

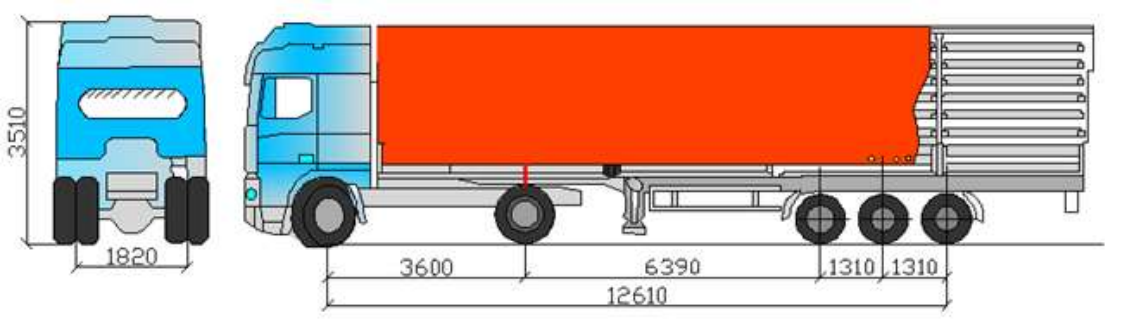


Залежність загального модуля пружності дорожнього одягу на поверхні покриття від товщини шару ресайклінгу

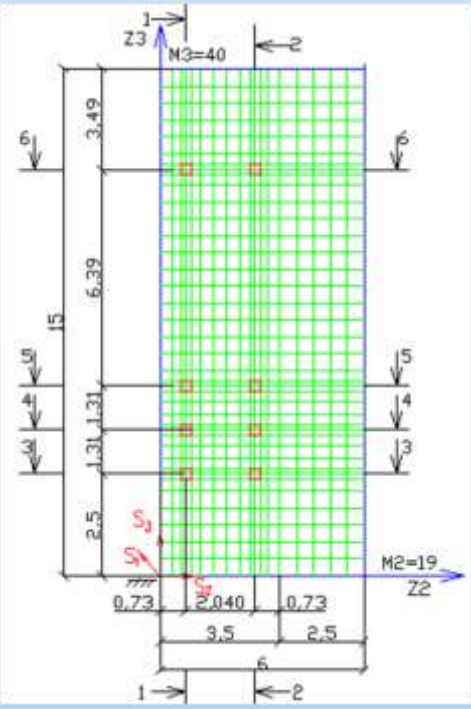


Залежність активного напруження зсуву від товщини шару ресайклінгу

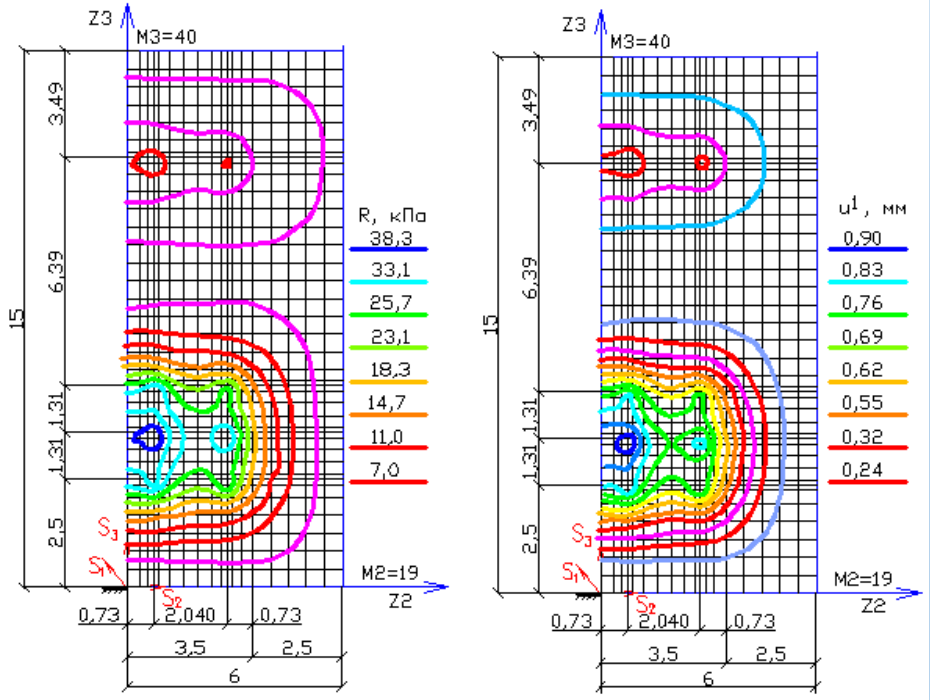
Геометричні параметри та розподіл колісних навантажень від автомобіля DAF-FTXF95+напівпричіп KÖGEL GN-24



Максимальні вертикальні напруження спостерігаються на поверхні покриття під лівим колесом напівпричепу автопоїзда і становлять -0,722 МПа, горизонтальні напруження досягають максимального значення -0,95 МПа.

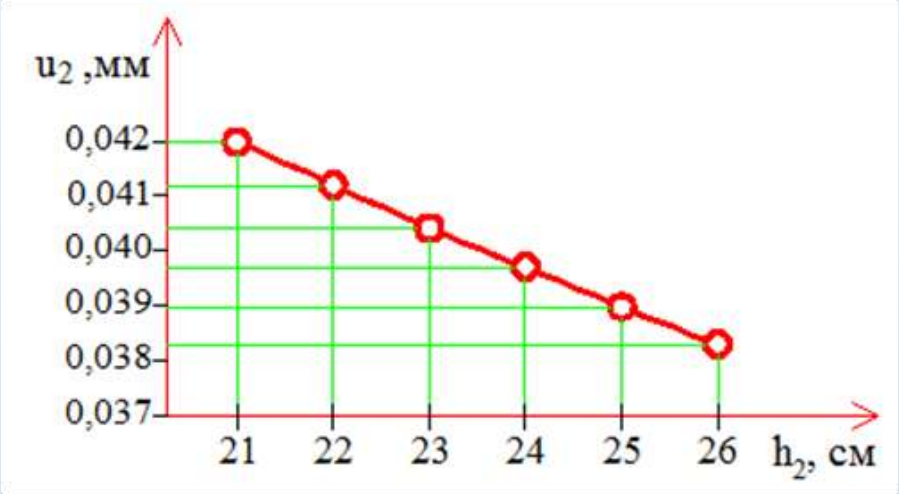


Скінчено-елементна модель



Ізолінії реакцій ґрунту

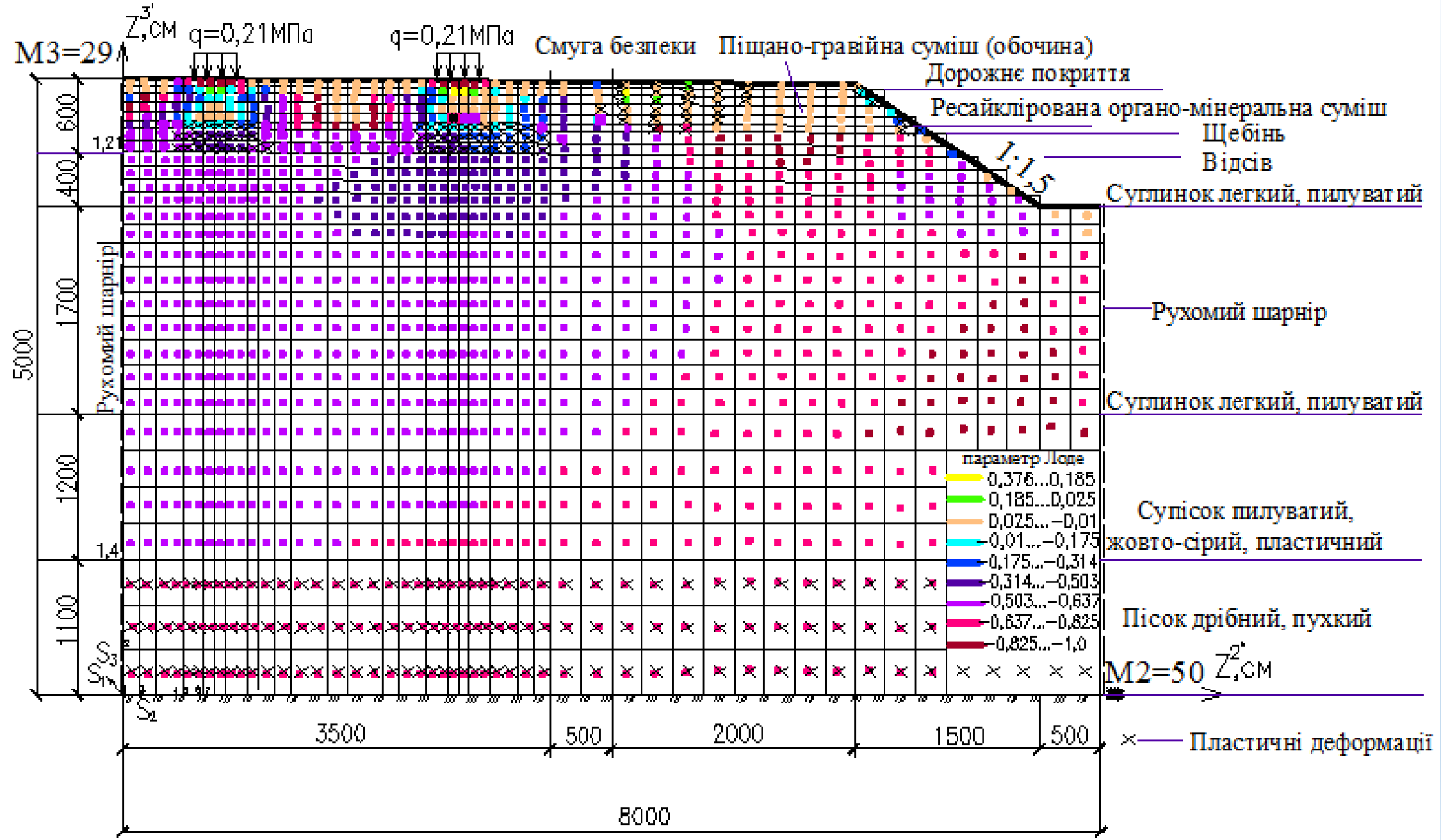
Ізолінії вертикальних переміщень



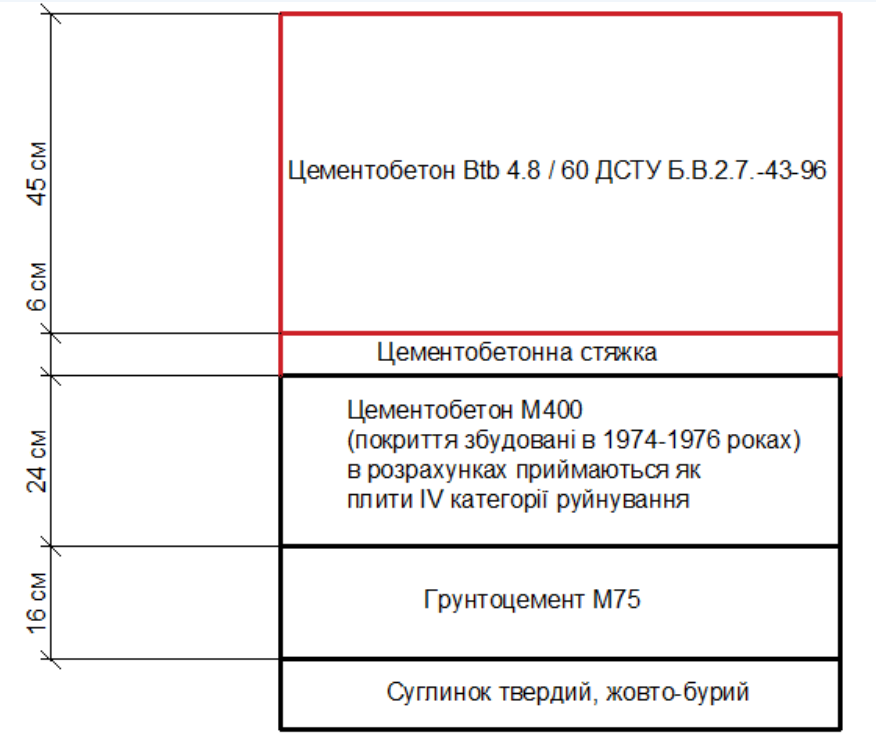
Залежність максимального горизонтального переміщення від товщини регенерованого шару

Максимальні реакції ґрунту земляного полотна дещо зміщені в ліву сторону під центром відбитку лівого колеса середньої осі напівпричепу автопоїзда і досягають величини -38,3 кПа.

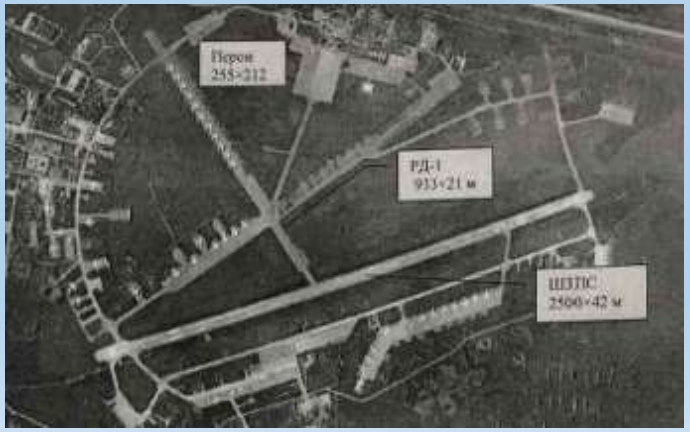
Схема зон деформованого стану дорожньої конструкції і активної зони ґрунту

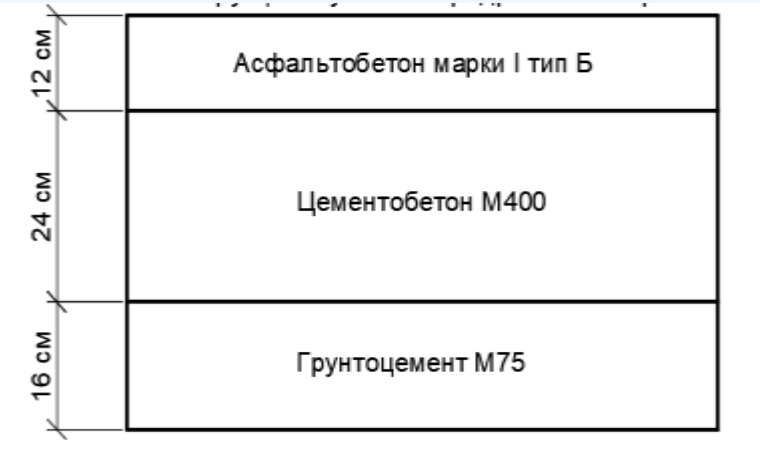


Ресайклінг аеродромних конструкцій (аеропорт «Миколаїв»)



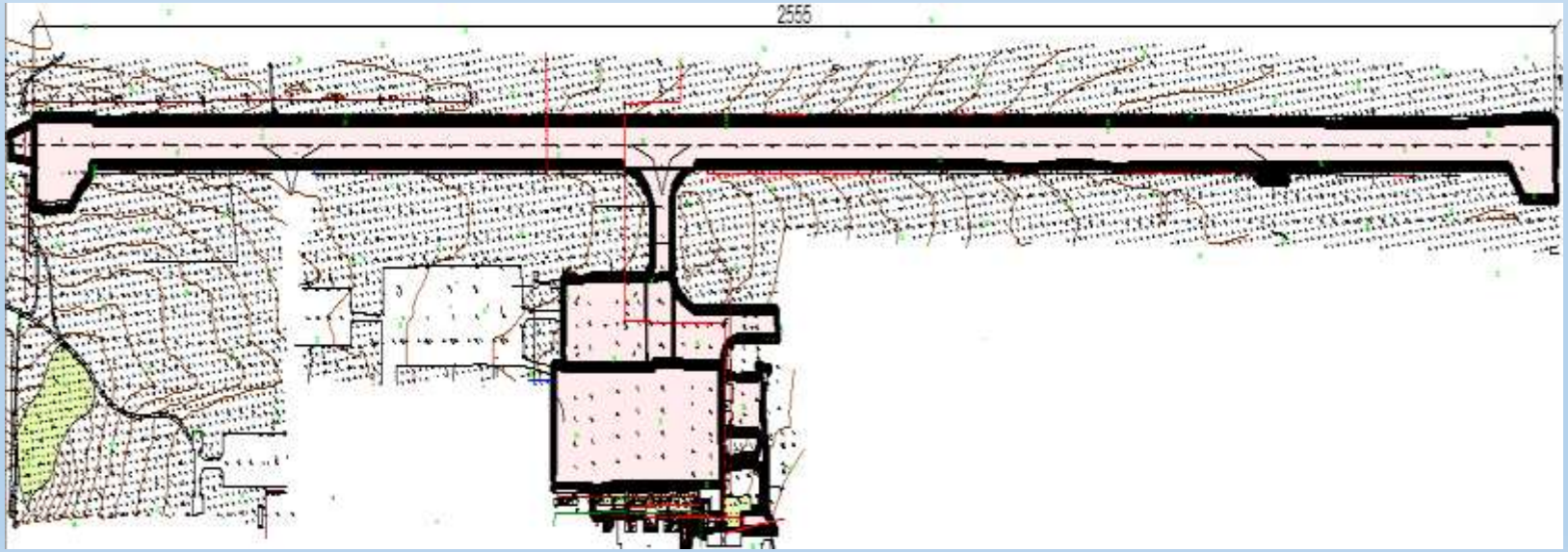
Запропонована конструкція аеродромного покриття ЗПС, перону та РД міжнародного аеропорту «Миколаїв»





Конструкція існуючого аеродромного покриття міжнародного аеропорту «Миколаїв»

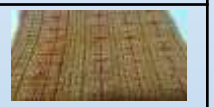
Пошкодження покриття



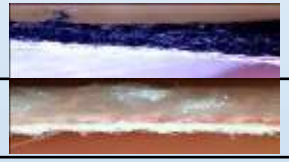
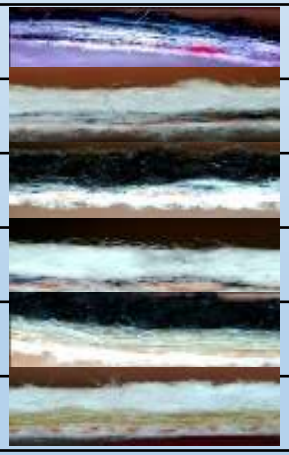
План-схема аеропорту

Характеристики вихідних матеріалів та композиційних текстильних матеріалів на їх основі

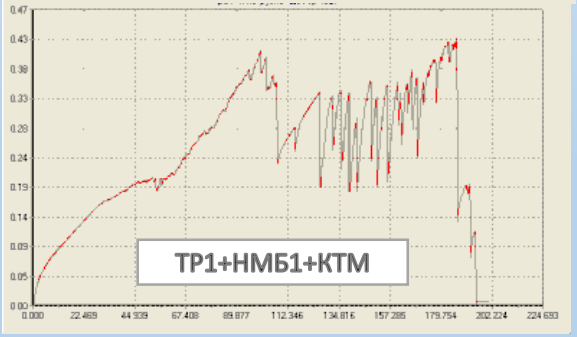
Вихідні матеріали, які використовувалися для отримання КТМ

№ п/п зразка	Умовне позначення матеріалу	Назва матеріалу, сировинний склад	Мікрофотографія зовнішнього вигляду матеріалу
1	ТР1	Двошарове трикотажне поліефірне полотно	
2	ТР2	Двошарове трикотажне поліефірне полотно	
3	КТМ	Клейове трикотажне полотно, фарбоване екстрактом лушпиння цибулі	
4	НМБ1	Неткане полотно складу: 60% бавовняних регенерованих волокон, 20% регенерованих ПЕ волокон, 20% низькоплавких волокон типу «ядро-оболонка»	
5	НМБ2	Неткане полотно складу: 70% бавовняних регенерованих волокон, 20% регенерованих ПЕ волокон, 10% низькоплавких волокон типу «ядро-оболонка»	
6	НМВ	Неткане полотно складу: 30% вовняних регенерованих волокон, 70% низькоплавких волокон типу «ядро-оболонка»	
7	БІВ	Бікомпонентне волокно типу «ядро-оболонка»: ядро –ПЕТФ $T_{пл}$=260 °С, «оболонка» – ПЕ; $T_{пл}$ = 130 °С, довжина волокна 3-6 мм, звитість 5±1 з/см	

Текстильні композиційні матеріали, отримані термосклеюванням

№ п/п зразка	Умовне позначення та склад	Мікрофотографії поперечного перерізу КТМ
Двошарові ТКМ		
1	ТР1+КТМ	
2	ТР2+КТМ	
Трьохшарові ТКМ		
3	ТР1+НМБ1+КТМ	
4	ТР2+НМБ1+КТМ	
5	ТР1+НМБ2+КТМ	
6	ТР2+НМБ2+КТМ	
7	ТР1+ НМВ+КТМ	
8	ТР2+ НМВ+КТМ	

Випробування дослідних зразків на розтяг



Криві розтягування в координатах навантаження (P_p) – видовження (l_p) для КТМ

Дослідження складу ТКМ

Напівциклові розривні характеристики вихідних трикотажних полотен та багатошарових ТКМ при одновісному розтягуванні

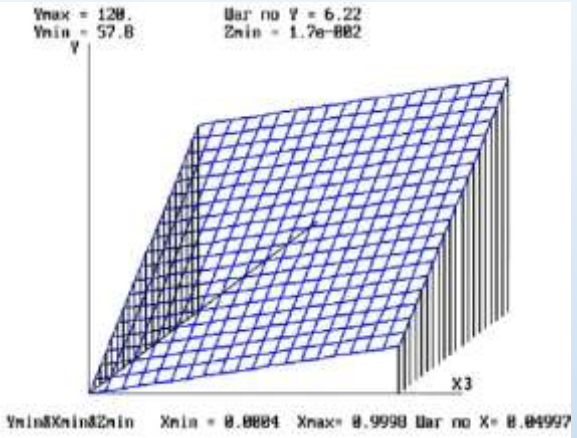
№ п/п	Умовне позначення зразка	Напрям прикладення сили	Розривальне навантаження зразка P_p, Н	Відносне розривальне видовження σ,%	Модуль пружності Юнга, Е, ГПа	Верхня межа текучості, МПа	Нижня межа текучості, МПа	Межа міцності, P_p МПа
Вихідні матеріали								
1	ТР1	повзд.	41	81,8	0,017	0,2355	0	0,3345
		попер.	41	137,4	0,021	0,2120	0,0045	0,4065
2	ТР2	повзд.	41	87,4	0,021	0,2722	0,0002	0,0004
		попер.	41	149,1	0,021	0,2715	0	0,4055
3	КТМ	повзд.	21	95	0,010	0,2700	0,0001	0,0001
		попер.	13	72	0,009	0,2611	0	0,3022
Двошарові ТКМ								
4	ТР1+КТМ	повзд.	75	71,2	0,034	0,066	0	0,679
		попер.	61	202,5	0,0308	0,1158	0,1142	0,6158
5	ТР2+КТМ	повзд.	98	83,2	0,0492	0,9194	0,0014	0,9810
		попер.	63	161,6	0,0409	0,1260	0,1265	0,9211
Трьохшарові ТКМ								
6	ТР1+НТБ1+КТМ	повзд.	100	86,5	0,050	0,6776	0,0004	0,9998
		попер.	53	191,8	0,027	0,1056	0,0004	0,5306
7	ТР1+НТБ2+КТМ	повзд.	55	83,2	0,025	0,0825	0,0025	0,5520
		попер.	49	190,2	0,028	0,0655	0,0035	0,4870
8	ТР2+НТБ1+КТМ	повзд.	90	88,7	0,022	0,1670	0,0010	0,4290
		попер.	49	175,6	0,026	0,0280	0,0028	0,4860
9	ТР2+НТБ2+КТМ	повзд.	42	71,7	0,028	0,1689	0,0011	0,4291
		попер.	46	177,2	0,028	0,0290	0,0033	0,4871
10	ТР1+НТВ+КТМ	повзд.	88	77,3	0,0445	0,7255	0,0005	0,8780
		попер.	54	190,0	0,0275	0,5578	0,0001	0,5415

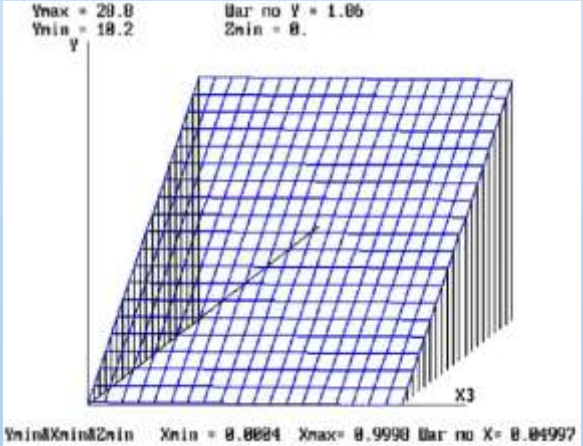
Умови проведення експерименту

Умови проведення експерименту	Кодовані значення факторів			Натуральні значення факторів		
	x_1	x_2	x_3	x_1	x_2	x_3
Основний рівень фактора	0	0	0	2	2,5	2
Інтервал варіювання факторів	1	1	1	0,25	0,25	0,25
Верхній рівень фактора	+1	+1	+1	2,25	2,75	2,25
Нижній рівень фактора	-1	-1	-1	1,75	2,25	1,75

.Математичні моделі залежності розривного навантаження від модуля пружності та жорсткості при згинанні, $P_p = f$ (Е, ГПа; Р, сН, ,%)

№ п/п	Умовне позначення зразка	Математичні моделі в кодованому вигляді
1	ТР1+НТБ1+КТМ	Y=61,6804+30,934X17,10391X2+22,9686X3+7,04334X3
2	ТР1+НТБ2+КТМ	Y = 19,0617-13,178Z2X1+17,736X2-7,73948+22,4377X3





Залежності функції відгуку від факторів Х1 та Х2 для КТМ: зверху) ТР1+НТБ1+КТМ; знизу) ТР1+НТБ2 +КТМ

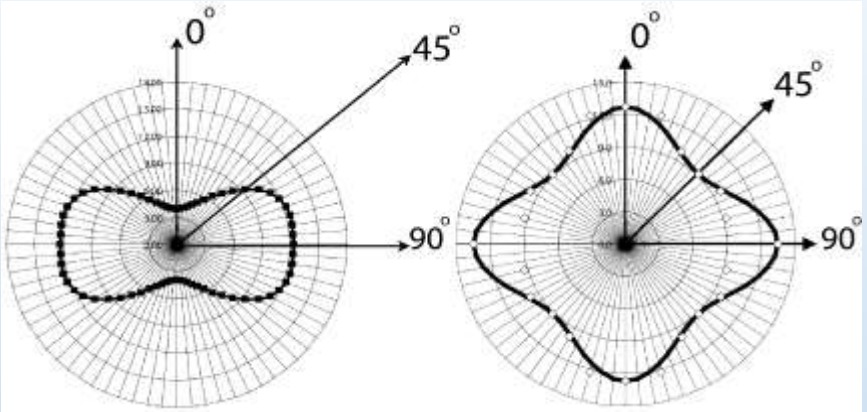
Дослідження складу ТКМ

Значення повної деформація компонентного складу вихідних матеріалів та КТМ на їх основі при 3 даН

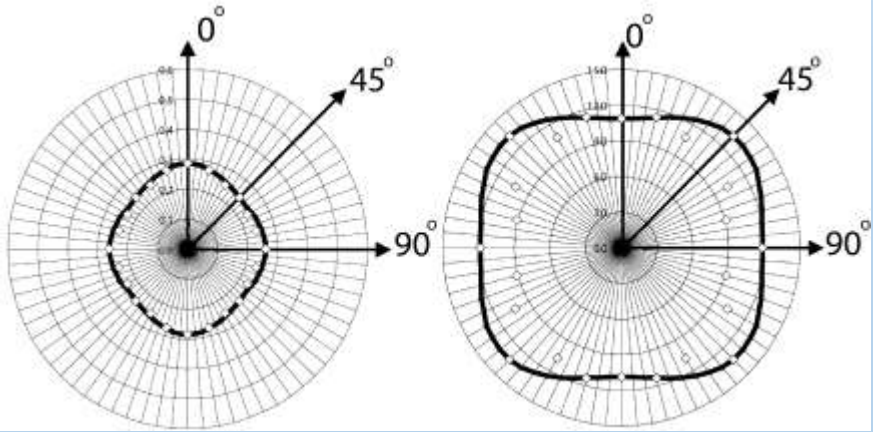
Номер зразка	Умовне позначення матеріалу	Напрямок прикладання навантаження	Повна деформація, ε_n %	Частка складової деформації в повній деформації		
				$\Delta\varepsilon_{шв.}$	$\Delta\varepsilon_{пз.}$	$\Delta\varepsilon_{нз.}$
При навантаженні P = 3 даН						
Вихідні матеріали						
1	ТР-1	повзд.	100	0,44	0,05	0,51
1`		попер	31	0,60	0,10	0,30
2	ТР-2	повзд.	100	0,59	0,02	0,39
2`		попер	32	0,06	0,17	0,77
3	КТМ	повзд	28	0,40	0,40	0,20
3`		попер	54	0,20	0,40	0,40
Двохшарові текстильні композиційні матеріали						
4	ТР-1+КТМ	повзд.	20	0,65	0,30	0,05
4`		попер	39	0,43	0,50	0,07
5	ТР-2+КТМ	повзд.	16	0,38	0,38	0,24
5`		попер	35	0,34	0,35	0,3
Трьохшарові текстильні композиційні матеріали						
6	ТР1+НТБ1+ КТМ	повзд.	1	1,0	0	0
6`		попер	35	0,37	0,23	0,40
7	ТР1+НТБ2+ КТМ	повзд.	2	1	1	0
7`		попер	12	0,58	0,42	0
8	ТР2+НТБ1+ КТМ	повзд.	2	1,0	0	0
8`		попер	4	1,0	0	0
9	ТР2+НТБ2+ КТМ	повзд.	4	0,75	0,25	0
9`		попер	6	0,40	0,60	0
10	ТР1+НМВ+ КТМ	повзд	8	0,60	0,40	0
10`		попер	6	1,0	0	0
11	ТР2+НМВ+ КТМ	повзд	4	1,0	0	0
11`		попер	6	1,0	0	0

Жорсткість вихідних трикотажних полотен та трьохшарових ТКМ на їх основі, визначена методом кільця

Номер зразка	Склад ТКМ	Напрям розкрою проб	Жорсткість при згинанні, Р, сН	K_P
1	ТР1	повзд.	8,8	1,07
		попер	9,5	
2	ТР2	повзд.	6,8	1,08
		попер	7,4	
3	КТМ	повзд.	5,7	1,21
		попер	6,9	
4	ТР1+КТМ	повзд.	11,1	1,21
		попер	13,4	
5	ТР2+КТМ	повзд.	10,6	1,46
		попер	15,5	
6	ТР1+НМБ1+КТМ	повзд.	21,4	1,13
		попер	24,2	
7	ТР1+НМБ2+КТМ	повзд.	20,4	1,29
		попер	26,8	
8	ТР1+НМВ+КТМ	повзд.	23,1	1,18
		попер	26,5	
9	ТР2+НМБ1+КТМ	повзд.	18,1	1,13
		попер	20,4	
10	ТР2+НМБ2+КТМ	повзд.	20,1	1,10
		попер	22,3	
11	ТР2+НМВ+КТМ	повзд.	22,6	1,22
		попер	27,7	



Діаграми динамічного модуля пружності E_∂ та декременту затухання δ ТКМ (ТР1+НМБ1+КТМ)



Діаграми динамічного модуля пружності E_∂ та декременту затухання δ

Основні науково-технічні результати роботи

1. Вперше за результатами експериментальних випробувань установлена ефективність нових сталезалізобетонних конструкцій та доцільність їх використання в об’єктах громадської та виробничої інфраструктури. Досліджено особливості напружено-деформованого стану та руйнування, а також установлено прийнятність запропонованих способів армування плит та забезпечення сумісної роботи. За результатами випробування встановлено дійсну схему деформування, а також підтверджено коректність розробленої теорії розрахунку.
2. Уперше для чисельного моделювання, скінченноелементного аналізу напружено-деформованого стану створених конструкцій та інформаційного моделювання розроблено моделі та отримано параметри скінченних елементів.
3. Розроблено нову методику забезпечення сумісної роботи сталі та бетону, за допомогою приклеювання акриловими полімерами різного складу свіжоукладеної бетонної суміші до металу в сталезалізобетонних конструкціях різного призначення та експериментально отримано дані про особливості роботи запроектованих сталезалізобетонних елементів та виявлені форми руйнування досліджуваних зразків відповідно до визначених критеріїв, які відповідають прийнятим передумовам розрахунку.
4. Адаптовано й удосконалено методики оцінювання міцності нормальних перерізів сталезалізобетонних конструкцій з клейовим з’єднанням сталі та бетону. Виявлено, що найкраще враховує всі особливості, пов’язані з використанням акрилових композитів, теорія складених стержнів, яка при розрахунках дає розбіжність не більше ніж 5 %.
5. Визначені принципи та запропоновано алгоритм створення нового виду багатошарових композиційних текстильних матеріалів (КТМ) з регульованими властивостями на основі регенерованих натуральних волокон.
6. Розроблено вимоги, номенклатуру та визначено найбільш вагомі показники якості нових КТМ: коефіцієнти повітро- та паропроникності, жорсткість при згинанні, розтягування при навантаженнях, менших за розривальні, розривальне навантаження.
7. Встановлено закономірності змін механічних властивостей КТМ при дії деформацій розтягування і згинання та запропоновано математичні моделі для їх прогнозування. Проведене визначення механічних характеристик розроблених КТМ показало, що термоклейове з’єднання полотен призводить до значного збільшення характеристик міцності, а також виявлено можливості варіювання сировинного складу середнього шару КТМ для зміни в’язкопружніх характеристик.
8. Враховуючи економічність, високу якість відновленого дорожнього та аеродромного одягу, невелику тривалість будівельних робіт, мінімальну деформацію земляного полотна технологію ресайклінгу було впроваджено під час виконання капітального ремонту аеродромних покриттів Міжнародного аеропорту «Київ» (Жуляни) та міжнародного аеропорту "Миколаїв".
9. Узагальнено досвід сучасного будівництва автомобільних доріг та аеродромів показує, шляхом використання в конструкціях дорожніх та аеродромних одягів високоміцних геосинтетичних матеріалів, здатних виконувати армуючі функції. Досліджено використання композитних матеріалів в конструкції аеродромного одягу злітно-посадкової смуги Міжнародного аеропорту «Одеса» .