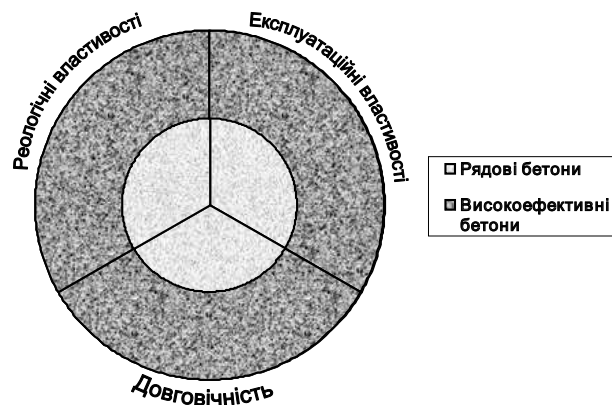


## АСПЕКТИ ЕФЕКТИВНОСТІ БЕТОНІВ ДЛЯ МОНОЛІТНИХ КОНСТРУКЦІЙ

### Вступ

Ефективність бетону є комплексним поняттям. Стосовно бетону монолітних конструкцій можна виділити три основні складові його ефективності (рис.1.):

- Реологічні властивості бетонної суміші та їх збереженість в часі;
- Експлуатаційні властивості бетону - міцність, пружність, проникність бетону тощо;
- Довговічність як функція, що визначає збереження експлуатаційних властивостей бетону в часі.



**Рисунок 1 - Складові ефективності бетону монолітних конструкцій**

Наведені складові ефективності бетону взаємопов'язані. Так підвищення рухомості бетонних сумішей дозволяє отримати більш досконалу структуру бетону, що зумовлює підвищення його міцності, щільності і відповідно, довговічності. В той-же час бетони з високорухомих бетонних сумішей характеризуються підвищеними усадочними деформаціями і, відповідно, підвищеним тріщиноутворенням при висиханні [1], а несумісність в системі цемент - пластифікатор може зумовити підвищене повітровтягування та (або) зниження ступеню гідратації цементу [2]. Все це може призвести до зниження міцності бетону конструкції та підвищення його проникності, щодо агресивних середовищ.

Підвищення міцності бетону, що, як правило, супроводжується зниженням його проникності і підвищенням морозостійкості - дозволяє зменшити перетин монолітної конструкції, чи (або) знизити ступінь її армування. Але підвищення вмісту (активності) цементу, для забезпечення підвищеної міцності може призвести до погіршення деформативних властивостей бетону та підвищення температури його саморозігріву. Все це, в свою чергу, зумовлює збільшення ширини і глибини розкриття тріщин внаслідок власних термічних напружень бетону і призводить до зниження довговічності залізобетонної конструкції [3].

Невід'ємною частиною ефективності бетону є довговічність. Вирішення задачі підвищення довговічності бетону є комплексним і передбачає підвищення морозостійкості бетону, зниження його проникності, мінімізацію температури саморозігріву та покращення деформативних властивостей. При цьому підвищення довговічності бетону досягається як в площині рецептурних рішень так і в площині технології догляду за бетоном.

Таким чином, при підвищенні ефективності бетону паралельно з фіксацією «наочних» реологічних і експлуатаційних властивостей бетону ключовими задачами є:

- комплексна оцінка довговічності бетонної конструкції за показниками, що визначають

довговічність конкретного складу бетону за певних кліматичних умов і зовнішніх впливів;

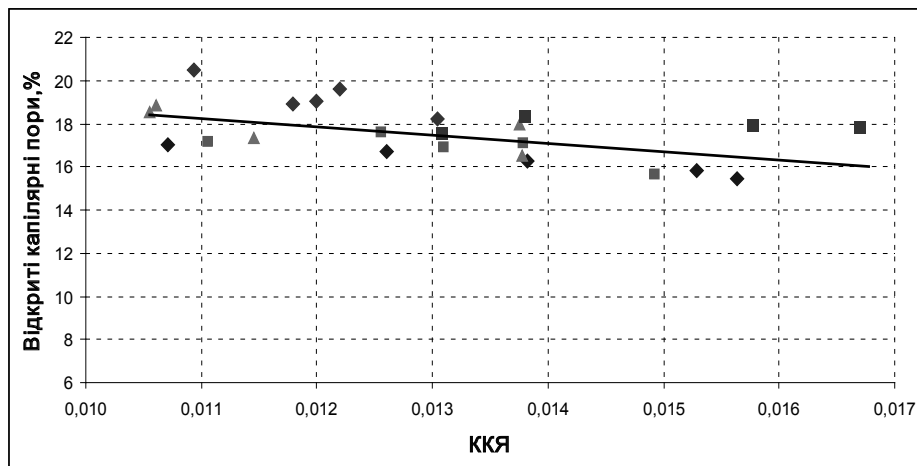
- експрес-оцінка ефективності на стадії проектування бетону (при виборі цементу, добавок та складу бетону), та на стадії зведення конструкції - експрес-оцінка відповідності довговічності бетону конструкції вимогам проекту;
- технологія догляду за бетоном що твердне, яка передбачає оптимальне управління тепломасообмінними процесами в бетонній конструкції.

## Критерії експрес-оцінки ефективності бетонів монолітних конструкцій

Ефективна експрес-оцінка ефективності бетону, передбачає використання показників, що приводять до «загального знаменника» основі складові ефективності бетону монолітних конструкцій.

Основним фізичним фактором, що визначає експлуатаційні властивості і довговічність бетону є характер його пористості. При цьому, якщо міцність бетону залежить від загальної пористості, то морозостійкість, проникність і відповідно довговічність визначаються, головним чином, капілярною пористістю [4]. Капілярна пористість, в свою чергу, значною мірою зумовлюється В/Ц відношенням і ступенем гідратації в'язучого [4].

Як показник для експрес-оцінки ефективності бетону може бути використаний коефіцієнт конструктивної якості (ККЯ) – що враховує загальну пористість бетону, В/Ц відношення, ступень гідратації цементу і відповідно добре корелює з капілярною пористістю (рис.2.).



**Рисунок 2 - Залежність між вмістом відкритих капілярних пор і ККЯ бетону**

Кореляцію ККЯ і морозостійкості наведено на рис. 3. Як видно з рис.3. підвищення значення ККЯ бетону призводить до закономірного підвищення морозостійкості бетону.

Найбільш поширеним агресивним впливом на бетон монолітних конструкцій є карбонізація. Глибина карбонізації залізобетону є функцією його проникності. Як видно з рис.4, при забезпеченні ККЯ вище 0,025 глибина карбонізації захисного шару бетону наближується до нуля.

Основними факторами, що визначають власний термонапружений стан бетону монолітних конструкцій є питоме тепловиділення цементу та його вміст в складі бетону.

Питоме тепловиділення цементу та його вміст в складі бетону прямо пов'язані з ККЯ. Так, збільшення ККЯ бетону з одного боку передбачає використання цементів вищих марок з вищим питомим тепловиділенням, з іншого - підвищення вмісту цементу в складі бетону, що призводить до підвищення температури його розігріву (рис.5).

Як у випадку питомого тепловиділення цементу так і у випадку температури саморозігріву бетону спостерігається певна дисперсія значень що може досягати 20-30% при відповідних значеннях ККЯ. Це свідчить про можливість підвищення ефективності бетону шляхом забезпечення мінімальних значень температури саморозігріву бетону при проектних значеннях ККЯ. При цьому мінімізація температури саморозігріву бетону забезпечується за рахунок використання низькоекзотермічних цементів і мінімізації вмісту цих цементів в складі бетону.

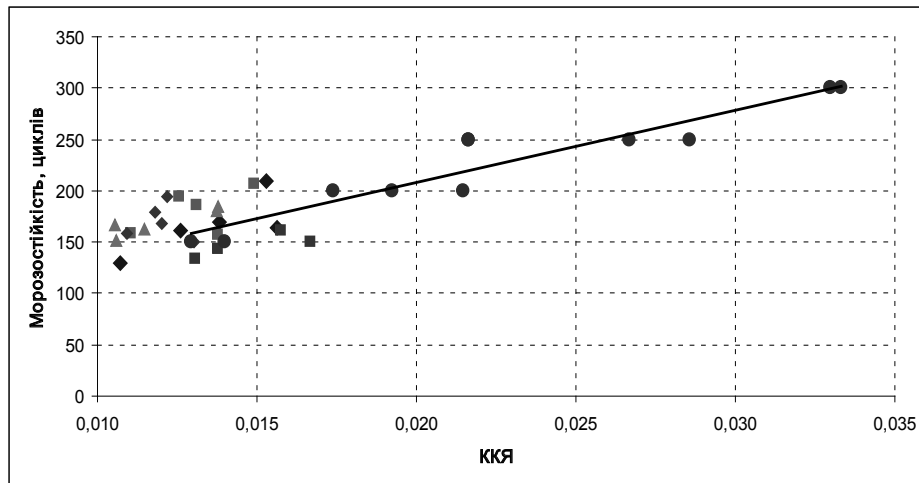


Рисунок 3 - Залежність між морозостійкістю і ККЯ бетону

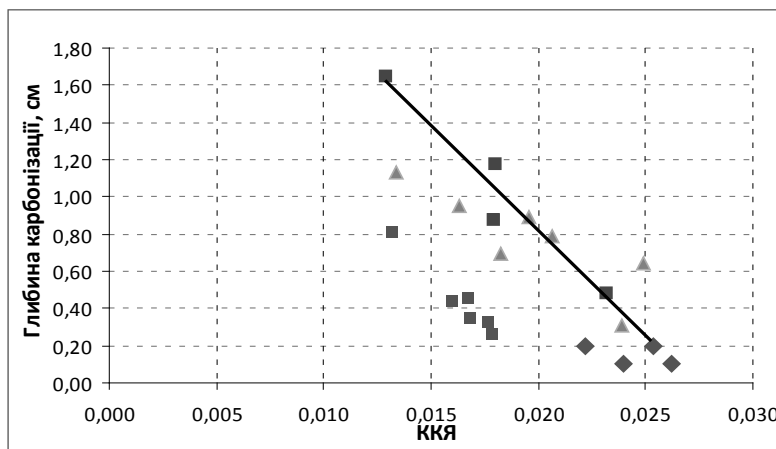


Рисунок 4 - Залежність між глибиною карбонізації бетону і ККЯ

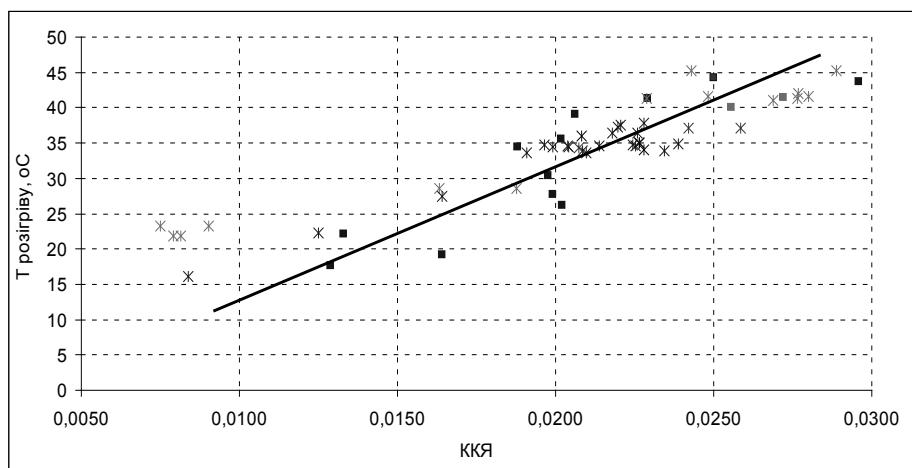


Рисунок 5 - Підйом температури бетонів різних складів в залежності від ККЯ

В якості кількісного критерію ефективності бетону пропонується використовувати  $Keф$  - відношення ККЯ до вмісту в бетоні цементу і його активності:

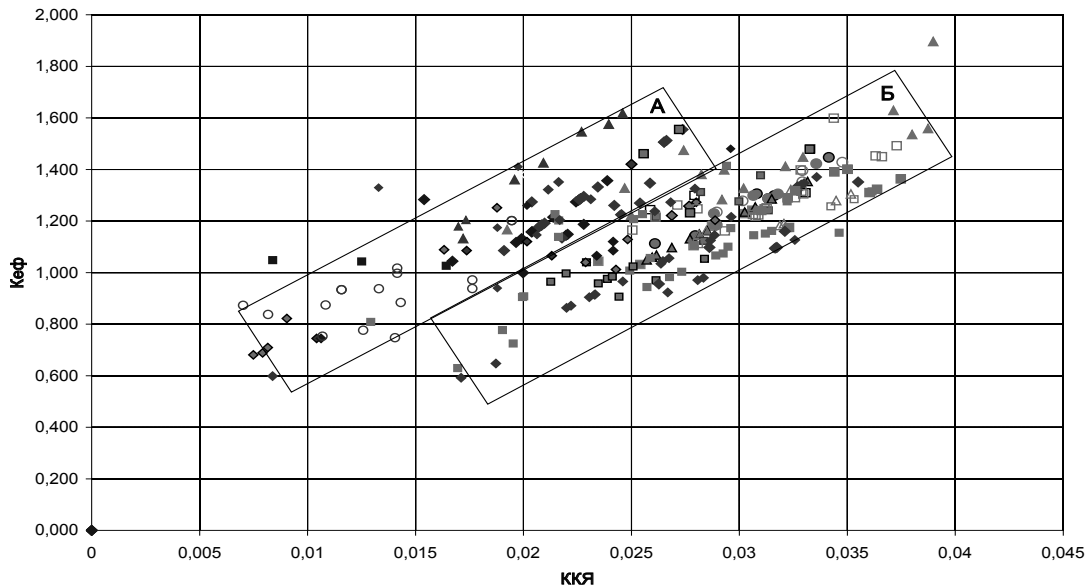
$$Keф = \frac{ККЯ}{(Ц \times A)} \times 10^6$$

Де  $Ц$  – вміст цементу в бетоні,  $кг/м^3$ ;  $A$  – активність низькоекзотермічного цементу, МПа.

Таким чином одержані за рахунок використання різних технологічних прийомів (високоєфективних суперпластифікаторів, активних мінеральних добавок, оптимізації

гранулометрії заповнювачів тощо) максимальні значення  $K_{ef}$  при проектних значеннях ККЯ свідчать про максимальну ефективність бетону (рис. 6), тобто максимальну міцність при мінімальній температурі саморозігріву.

Як видно з рис.6. існує певне розмежування ефективності бетонів на цементах марок 400 і 500. Так для забезпечення ККЯ до 0,03 більш ефективно використання в бетонах цементів марки 400 (рис.6., область А), при більших значеннях ККЯ більшою ефективністю характеризуються бетони на цементах марки 500 (рис.6., область Б).



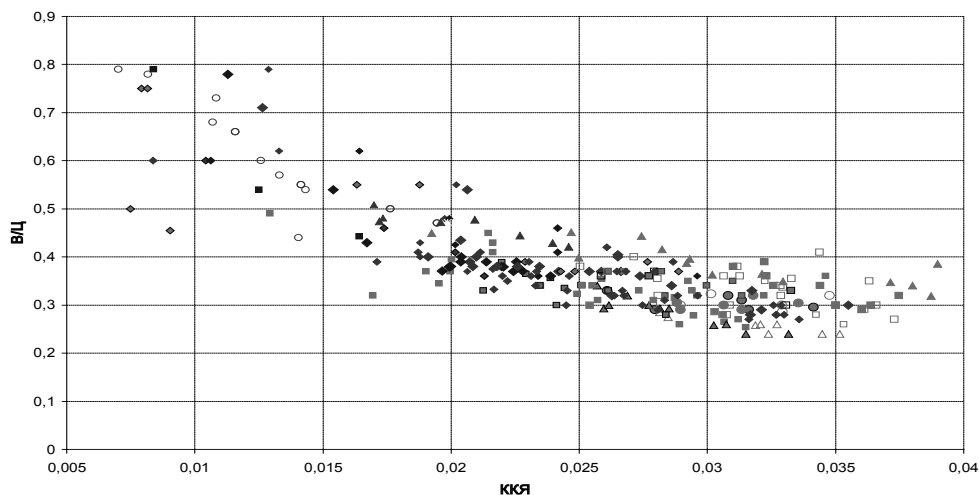
**Рисунок 6 - Ефективність ( $K_{ef}$ ) бетонів різних складів в залежності від ККЯ:**

**А – область бетонів переважно на основі цементів марки 400;**

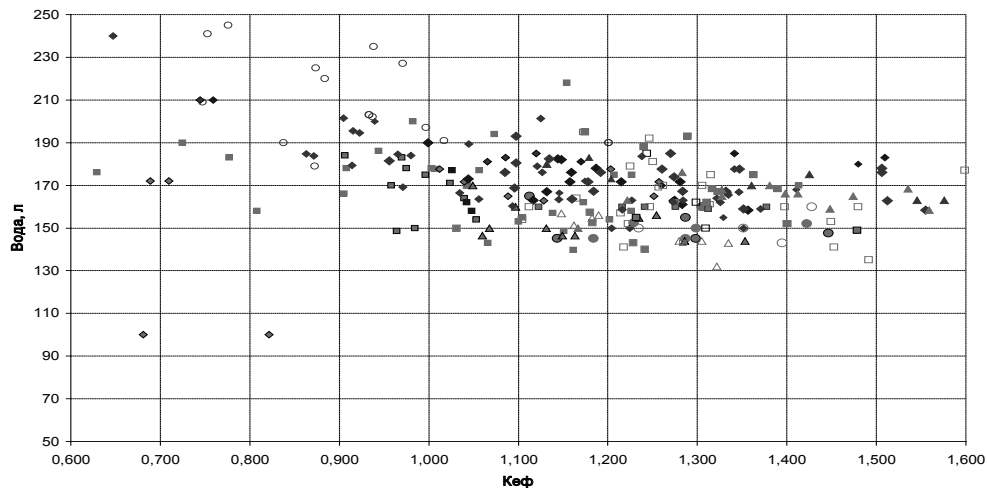
**Б - область бетонів переважно на основі цементів марки 500**

Ще одним з основних факторів, що призводить до тріщиноутворення на поверхні бетону є його усадочні деформації. Відомо, що усадка є функцією вмісту води в бетонній суміші, В/Ц відношення і ступеню гідратації цементу.

Як видно з рис.7. підвищення ККЯ супроводжується закономірним зниженням В/Ц відношення, а підвищення ефективності бетону призводить до зниження загального вмісту води в бетонній суміші (рис.8.). Отже підвищення значення ККЯ бетону монолітних конструкцій, при забезпеченні максимальних значень  $K_{ef}$ , дозволяє одержувати бетони з мінімальними значеннями сумарних усадочних деформацій, а отже і мінімальним тріщиноутворенням внаслідок висихання бетонних конструкцій.



**Рисунок 7 - Залежність між В/Ц відношенням і ККЯ бетону**



**Рисунок 8 - Залежність між коефіцієнтом ефективності бетону і вмістом води в бетонній суміші**

### **Висновки**

Розглянуті крізь призму ККЯ та  $K_{\text{еф}}$  статистичні дані, що стосуються різних аспектів ефективності бетонів монолітних конструкцій, свідчать про можливість використання цих коефіцієнтів в якості критеріїв експрес-оцінки ефективності бетонів монолітних конструкцій.

За наведеними статистичними даними можуть бути прийняті принципові рішення, щодо складу бетонів підвищеної ефективності, а саме: вміст і марка цементу, вміст води, В/Ц відношення тощо. При цьому, можливе подальше доповнення наведених статистичних даних в тому числі в частині підвищення ефективності бетонів за рахунок різноманітних технологічних рішень.

### **ЛІТЕРАТУРА**

1. Мещерин В., Храпко М.. Самоуплотняющийся бетон / СПб. 2009.
2. Троян В.В. Молекулярная архитектура суперпластификаторов как фактор, определяющий функциональность бетонов / М-лы 10-й Межд. научно-практ. конф. «Дни современного бетона». – Запорожье: «Планета», 2008. – с.162-179.
3. Троян В.В. Термонапруженный стан залізобетону як аспект довговічності монолітних конструкцій / Науково-технічний збірник «Будівельні матеріали, виробництво та санітарна техніка». Вип. 35 Київ: Товариство «Знання» України 2010 р. – с. 119-124.
4. Й. Штарк, Б.Вихт. Долговечность бетона. / Пер. с нем. – А. Тулаганова. Под ред. П. Кривенко. Киев., «Оранта», 2004, 293 с.