

УДК 699.86.001.63

Є. С. КОЛЕСНИК <sup>а</sup>, О. М. БІЛОУС <sup>б</sup>

<sup>а</sup> Державне підприємство «Науково-дослідний інститут будівельних конструкцій», <sup>б</sup> Донбаська національна академія будівництва і архітектури

## МЕТОДИ РОЗРАХУНКУ ТЕПЛОПЕРЕДАЧІ ЧЕРЕЗ ҐРУНТ

У статті наведено аналіз існуючих методик розрахунку теплопередачі через ґрунт, що визначені національним стандартом ДСТУ-Н Б А.2.2-5:2007 та міжнародним стандартом EN ISO 13370:2007. На прикладі розрахункової моделі показано, що максимальна похибка при визначенні теплопередачі через конструкції підлог по ґрунту за вказаними методиками становить 20 %. На підставі проведеного аналізу визначені основні переваги та недоліки національної та міжнародної методологій та окреслені перспективи подальших досліджень.

**теплопередача через ґрунт, опір теплопередачі підлог по ґрунту, розрахункова модель**

### АКТУАЛЬНІСТЬ ТЕМИ

У грудні 2010 року Верховна Рада України ратифікувала Договір Європейського Енергетичного співтовариства (ЕСТ), згідно з яким Україна стала учасником Договору та взяла на себе зобов'язання щодо виконання Директив Європейського Економічного Союзу з питань енергетики, енергозбереження та відновлювальних енергоресурсів. Щодо енергозбереження в будівлях існує Директива 2010/31/ЄЕС про енергетичні характеристики (енергетичне функціонування) будівель (EPBD) [1], згідно з якою серед інших вимог є необхідною розроблення та прийняття методології розрахунку енергоефективності будівель на національному рівні. Зараз Україна готує Закон про енергетичну ефективність житлових та громадських будівель [2], направлений на відображення вимог Директиви 2010/31/ЄЕС про енергетичні характеристики будівель (EPBD). Згідно з [1] енергетична ефективність будівель повинна визначатися на базі розрахункової або фактичної річної енергії на задоволення різноманітних потреб, пов'язаних з її типовим використанням у будинку. До вказаних потреб повинні бути віднесені потреби в енергії на опалення та охолодження для підтримання заданої температури, а також потреби в енергії на гаряче водопостачання.

До недавнього відповідних постанов, які б підтримували впровадження проекту Закону [2] відносно методології розрахунку енергоефективності будівель, в Україні не було підготовлено. Існуючі методики щодо визначення показників енергоефективності будівель, які визначені нормативними документами [3, 4] враховують лише річні енергопотребы будівель на опалення і не беруть до уваги витрати енергії на охолодження та підготовку гарячої води.

У ЄС серед різноманітних існуючих стандартів розрахунку енергоефективності будівель Європейського Комітету по стандартизації центральне місце займає один стандарт, який пов'язує більшість стандартів в логічну послідовність етапів розрахунку — EN ISO 13790 [5]. Україна не пішла окремим шляхом і не стала розробляти самостійну методику, а прийняла національний стандарт ДСТУ Б EN ISO 13790 [6], що має ступінь відповідності ідентичний (IDT) до міжнародного стандарту [5].

Методика розрахунку енергоспоживання на опалення та охолодження, що визначена у [6], передбачає врахування теплопередачі трансмісією до ґрунту. Методичні підходи, що визначені у [6], по розрахунку вказаної характеристики обумовили основну **мету даної роботи**, що полягає в оцінці наведених у [6] методів розрахунку теплопередачі через ґрунт шляхом порівняння результатів розрахунків еталонної моделі з розрахунками за методами, визначеними у вітчизняних стандартах.

### ОБ'ЄКТ ДОСЛІДЖЕННЯ

Методики розрахунку теплопередачі через ґрунт.

© Є. С. Колесник, О. М. Білоус, 2012

## ОСНОВНА ЧАСТИНА

Згідно з [6] розрахунок теплопередачі через ґрунт здійснюється згідно з EN ISO 13370 [7], що включає врахування віртуального шару нижче від конструкції підлоги та температуру, що змінюється протягом року, нижче від цього віртуального шару як граничні умови.

У [7] визначено, що теплопередача через ґрунт характеризується:

- тепловим потоком, що проходить через поверхню підлоги по ґрунту, залежно від конструкції підлоги;
- тепловим потоком, що проходить по периметру підлоги по ґрунту, залежно від типів теплопровідних включень на границі підлоги (враховується згідно з [9, 10]);
- річним періодичним тепловим потоком, що також проходить по периметру підлоги, який є результатом теплової інерції ґрунту.

Стандарт [7] надає три можливі типи конструкцій огорожень, що контактують із ґрунтом, для яких наведені розрахункові формули. Виділені:

- підлоги по ґрунту (рис. 1);

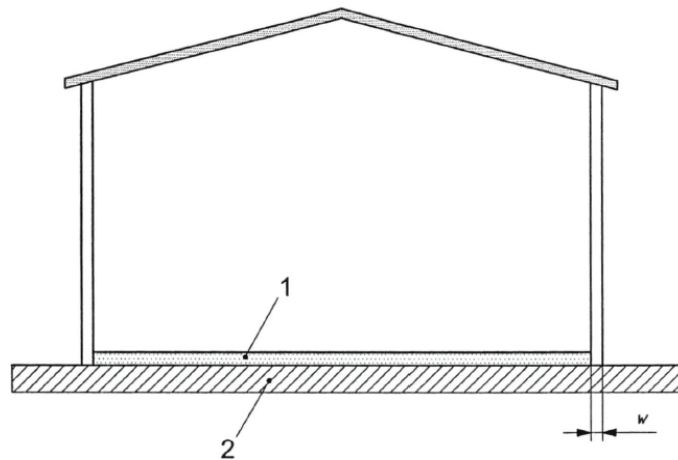


Рисунок 1 – Схема будинку з підлогою першого поверху по ґрунту.

- перекриття над вентиляльованими приміщеннями (рис. 2);

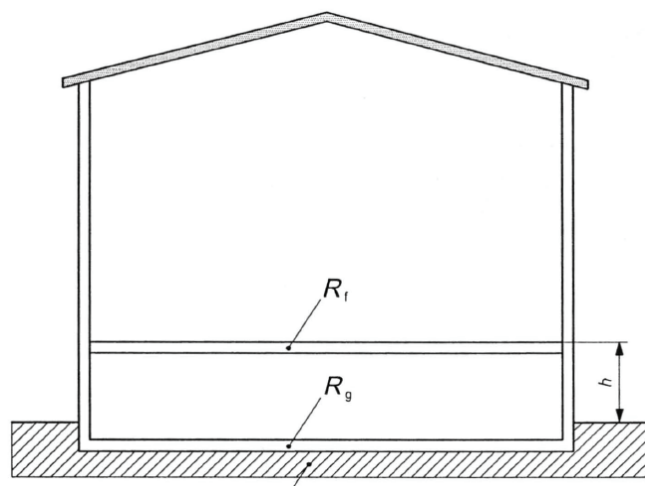


Рисунок 2 – Схема будинку з перекриттям над вентиляльованим приміщенням.

- підвали (рис. 3), що розглядаються як опалювальні, неопалювальні та частково опалювальні.

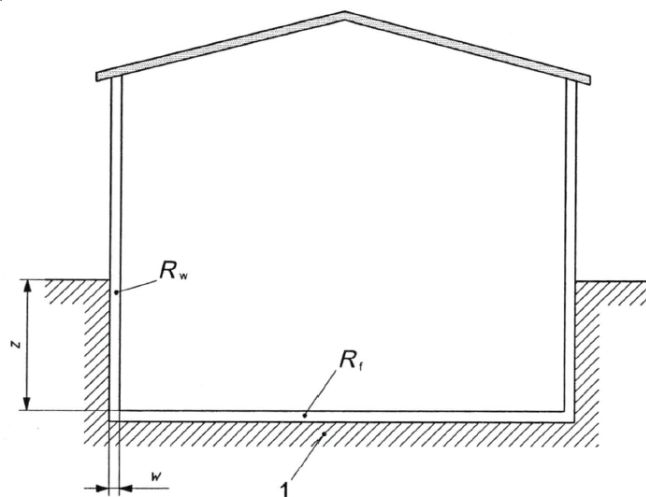


Рисунок 3 – Схема будинку з підвальним приміщенням.

В Україні для визначення теплопередачі через огороження, які контактують із ґрунтом, необхідно використовувати Стандарт [4]. Стандартом встановлено, що опір теплопередачі зазначених огорожень необхідно визначати за зонами шириною 2 м, паралельними зовнішнім стінам за формулою:

$$R_{\text{н.цл}} = R_{\text{пр.ц}} + \frac{\delta}{\lambda}, \quad (1)$$

де  $R_{\text{пр.ц}}$  – опір теплопередачі, (м<sup>2</sup>·К)/Вт, що приймається рівним 2,1 для I зони, 4,3 – для другої зони, 8,6 – для третьої зони, 14,2 – для площі, що залишилась. Зони шириною 2 м починають намічати від лінії контакту стіни підвалу з ґрунтом вниз по стіні з переходом на підлогу підвалу. Зони визначаються послідовно від усього периметра контакту стін з ґрунтом в напрямку середини будинку;

$\delta$  – товщина теплоізолювального шару, м, при теплопровідності утеплювача  $\lambda < 1,2$  Вт/(м·К).

Для оцінки наведених у [4] та [7] методів розрахунку теплопередачі через ґрунт розроблено еталонну модель з наступними параметрами:

– розміри будівлі 10×10 м (рис. 4);

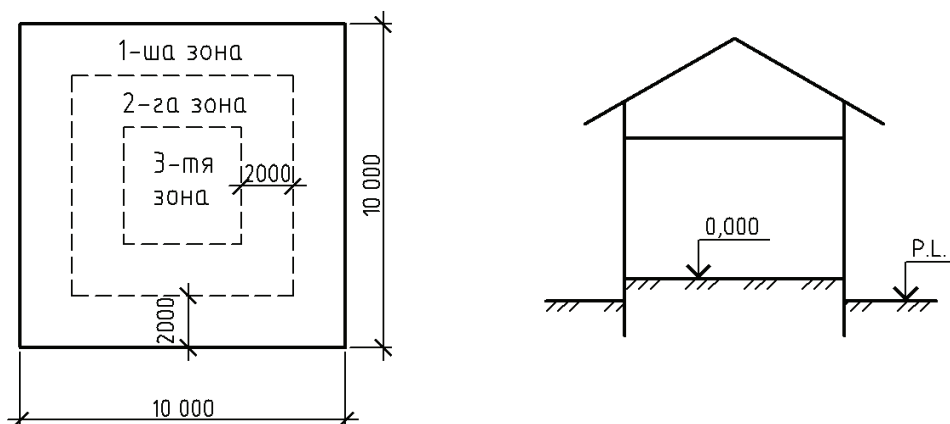


Рисунок 4 – Розрахункова схема еталонної будівлі.

– конструкція підлоги – залізобетонна плита ( $\delta = 150$  мм,  $\rho = 2\,400$  кг/м<sup>3</sup>), утеплювач – екструдований пінополістирол ( $\delta = 50$  мм,  $\lambda = 0,04$  Вт/(м·К)), цементно-піщана стяжка ( $\delta = 50$  мм,  $\rho = 1\,800$  кг/м<sup>3</sup>), шари покриття підлоги не взяті до уваги у зв'язку з тим, що величина їх опору теплопередачі близька до нуля;

– конструкція стін – цегляна кладка ( $\delta = 380$  мм,  $\rho = 1\,800$  кг/м<sup>3</sup>), утеплювач з мінеральної вати ( $\delta = 100$  мм,  $\lambda = 0,042$  Вт/(м·К)), решта шарів не взяті до уваги в зв'язку з тим, що величина їх опору теплопередачі близька до нуля;

– відмітка підлоги вище від планувальної відмітки ґрунта (рис. 4).

### РОЗРАХУНОК ОПОРУ ТЕПЛОПЕРЕДАЧІ ЗГІДНО З EN ISO 13370 [7]

Теплопередачу розраховуємо залежно від теплоізоляції підлоги.

Коли  $d_t < B'$  (холодні або середньо утеплені підлоги)

$$U = \frac{2\lambda}{\pi B' + d_t} \ln\left(\frac{\pi B'}{d_t} + 1\right). \quad (2)$$

Коли  $d_t \geq B'$  (добре утеплені підлоги)

$$U = \frac{\lambda}{0,457 \cdot B' + d_t}, \quad (3)$$

де  $d_t$  – еквівалентна товщина підлоги по ґрунту, знаходиться за формулою (4);

$B'$  – площа підлоги, віднесена до напівпериметра:

$$d_t = w + \lambda(R_{si} + R_f + R_{se}), \quad (4)$$

де  $w$  – товщина зовнішніх огорожувальних конструкцій, у випадку, що розглядається, становить 0,48 м;

$\lambda$  – теплопровідність незамерзаючого ґрунту, обираємо значення для суглинку з таблиці G.1 EN ISO 13370 [7] рівним 1,5 Вт/(м·К);

$R_{si}$  – внутрішній поверхневий опір, згідно з EN ISO 6946 [8] дорівнює 0,17 м<sup>2</sup>К/Вт;

$R_f$  – термічний опір конструкції підлоги по ґрунту, визначається за формулою (5);

$R_{se}$  – зовнішній поверхневий опір, згідно з [8] дорівнює 0,04 м<sup>2</sup>К/Вт.

Термічний опір конструкції підлоги по ґрунту знаходимо за формулою:

$$R_f = \sum \frac{\delta_i}{\lambda_i}, \quad (5)$$

де  $\delta_i$  – товщина  $i$ -го шару конструкції підлоги, м;

$\lambda_i$  – теплопровідність  $i$ -го шару конструкції підлоги, Вт/(м·К).

Таким чином, згідно з формулою (5) отримуємо:

$$R_f = \frac{0,05}{0,58} + \frac{0,05}{0,04} + \frac{0,15}{1,69} = 1,42 \text{ м}^2\text{К/Вт.}$$

Еквівалентна товщина згідно з формулою (4) дорівнюватиме:

$$d_t = 0,48 + 1,5(0,17 + 1,42 + 0,04) = 2,925.$$

Площа підлоги, віднесена до напівпериметра, буде дорівнюватиме  $100/(0,5 \cdot 40) = 5$ .

Порівнявши значення  $d_t = 2,925 < B' = 5$ , робимо висновок, що підлога еталонної будівлі відноситься до типу – середньо утеплена підлога. Подальший розрахунок теплопередачі ведемо згідно з формулою (2).

$$U = \frac{2 \cdot 1,5}{3,14 \cdot 5 + 2,925} \ln\left(\frac{3,14 \cdot 5}{2,925} + 1\right) = 0,3 \text{ Вт/(м}^2\text{К)}.$$

## РОЗРАХУНОК ОПОРУ ТЕПЛОПЕРЕДАЧІ ЗГІДНО З ДСТУ-Н Б А.2.2-5 [4]

Опір теплопередачі огорожувальних конструкцій, що контактують із ґрунтом  $R_{n1}$ ,  $\text{м}^2\cdot\text{К}/\text{Вт}$ , визначають згідно з СНиП 2.04.05 за зонами шириною 2 м, паралельними зовнішнім стінам за формулою (1). Термічний опір конструкції підлоги знаходиться за формулою (5).

Таким чином, для 1-ї зони  $R_{n1} = 2,1 + 1,34 = 3,44 \text{ м}^2\cdot\text{К}/\text{Вт}$ ;

2-ї зони  $R_{n2} = 4,3 + 1,34 = 5,64 \text{ м}^2\cdot\text{К}/\text{Вт}$ ;

3-ї зони  $R_{n3} = 8,6 + 1,34 = 9,94 \text{ м}^2\cdot\text{К}/\text{Вт}$ .

Приведене значення опору теплопередачі підлоги по ґрунту,  $\text{м}^2\cdot\text{К}/\text{Вт}$ , буде дорівнюватиме:

$$R_{\Sigma \text{пр}} = \frac{F_{\Sigma}}{\sum \frac{F_i}{R_{ni}}} = \frac{F_1 + F_2 + F_3}{\frac{F_1}{R_{n1}} + \frac{F_2}{R_{n2}} + \frac{F_3}{R_{n3}}}, \quad (6)$$

де  $F_1, F_2, F_3$  — площі зон відповідно,  $\text{м}^2$ .

$$R_{\Sigma \text{пр}} = \frac{100}{\frac{64}{3,44} + \frac{32}{5,64} + \frac{4}{9,94}} = 4,05 \text{ м}^2\cdot\text{К}/\text{Вт}.$$

Теплопередача є зворотною величиною опору теплопередачі, тобто

$$U = 1 / R_{\Sigma \text{пр}} = 1 / 4,05 = 0,25 \text{ Вт}/(\text{м}^2\cdot\text{К}).$$

Максимальна різниця між двома методиками знаходження теплопередачі дорівнює:

$$((0,30 - 0,25) / 0,25) \cdot 100 = 20 \text{ \%}.$$

## ВИСНОВКИ

Проведена оцінка показала, що існуюча в Україні методика оцінки теплопередачі через ґрунт дає відносно невелику похибку у порівнянні з методами, визначеними у міжнародних стандартах. Цей факт показує, що при розрахунках енергоспоживання на опалення та охолодження згідно з [6] в частині визначення теплопередачі через ґрунт можливо використовувати національну методологію, а не міжнародну методіку згідно з [7]. Водночас, поряд з тим, що національна методологія є «простішою», з точки зору розуміння, та консервативною, однак має один суттєвий недолік — відсутність можливості алгоритмізувати процес розрахунку через необхідність розбиття площі огорожень, що контактують із ґрунтом на зони, яка може мати безліч варіантів виконання. Поряд із цим методика міжнародних стандартів дозволяє алгоритмізувати процес розрахунку теплопередачі через ґрунт, що, при досить трудомістких розрахунках згідно з [6], має велику перевагу при розробленні та застосуванні програмного комплексу для розрахунків загального енергоспоживання на опалення та охолодження та визначення показників енергоефективності будинку.

Таким чином, на національному рівні повинно бути вирішено, чи застосовувати визначену європейськими документами методіку розрахунку теплопередачі через ґрунт, чи використовувати вітчизняну методологію. Таке рішення необхідно прийняти після оцінки усіх методів розрахунку для визначених стандартом [7] типів конструкцій огорожень, що контактують із ґрунтом. Відповідна оцінка є предметом подальших досліджень.

## СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Directive 2010/31/EU of the European Parliament and of the Council of 19 May 2010 on the energy performance of buildings [Електронний ресурс] / The European Parliament and the Council of the European Union // Official Journal of the European Union. — 2010. — 18.6. — P. L 153/13—L 153/35. — Режим доступу : <http://www.energy.eu/directives/2010-31-EU.pdf>.
2. Про енергоефективність [Електронний ресурс] : проект Закону України : Номер реєстрації 5016 від 23.07.2009 / Ініціатори законопроекту: С. М. Тітенко, С. В. Пашинський, О. Ф. Дубовий, Є. П. Шаго, В. С. Олійник, Є. В. Мармазов // Офіційний веб-сайт Верховної Ради України. — 14 с. — Режим доступу : [http://w1.c1.rada.gov.ua/pls/zweb\\_n/webproc4\\_1?pf3511=35895](http://w1.c1.rada.gov.ua/pls/zweb_n/webproc4_1?pf3511=35895).
3. ДБН В.2.6-31:2006. Конструкції будинків та споруд. Теплова ізоляція будівель [Текст]. — На заміну СНиП П-3-79 ; чинний від 2007-04-01. — К. : Мінбуд України, 2006. — 64 с. — (Державні будівельні норми України).

4. ДСТУ-Н Б А.2.2-5:2007. Проектування. Настанова з розроблення та складання енергетичного паспорта будинків при новому будівництві та реконструкції [Текст]. — Уведено вперше ; чинний від 2008-07-01. — К. : Мінрегіонбуд України, 2008. — 44 с. — (Державний стандарт України).
5. EN ISO 13790:2008. Energy performance of buildings — Calculation of energy use for space heating and cooling [Текст]. — Brussels : CEN, 2008. — 162 p.
6. ДСТУ Б EN ISO 13790:2011. Енергоефективність будівель. Розрахунок енергоспоживання при опаленні та охолодженні [Текст]. — На заміну ГОСТ 26629-85 ; чинний з 01.01.2013. — К. : НДІБК, 2011. — 229 с. — (Державний стандарт України).
7. EN ISO 13370:2007. Thermal performance of buildings — Heat transfer via the ground — Calculation methods [Текст]. — Brussels : CEN, 2007. — 48 p.
8. EN ISO 6946:2007. Building components and building elements — Thermal resistance and thermal transmittance — Calculation method [Текст]. — Brussels : CEN, 2007. — 34 p.
9. EN ISO 14683:2007. Thermal bridges in building constructions — Linear thermal transmittance — Simplified methods and default values [Текст]. — Brussels : CEN, 2007. — 28 p.
10. ISO 13789:2007. Thermal performance of buildings — transmission and ventilation heat transfer coefficient — Calculation methods [Текст]. — Brussels : CEN, 2007. — 18 p.

Отримано 07.10.2012

Е. С. КОЛЕСНИК <sup>a</sup>, А. Н. БЕЛОУС <sup>b</sup>  
МЕТОДЫ РАСЧЕТА ТЕПЛОПЕРЕДАЧИ ЧЕРЕЗ ГРУНТ

<sup>a</sup> Государственное предприятие «Научно-исследовательский институт строительных конструкций», <sup>b</sup> Донбасская национальная академия строительства и архитектуры

В статье приведен анализ существующих методик расчета теплопередачи через грунт, определенных национальным стандартом ДСТУ-Н Б А.2.2-5:2007 и международным стандартом EN ISO 13370:2007. На примере расчетной модели показано, что максимальная погрешность при определении теплопередачи через конструкции полов по грунту согласно указанных методик составляет 20 %. В соответствии с проведенным анализом определены основные преимущества и недостатки национальной и международной методологии и очерчены перспективы дальнейших исследований.  
**теплопередача через грунт, сопротивление теплопередачи полов по грунту, расчетная модель**

IEVGEN KOLESNYK <sup>a</sup>, ALEKSEY BELOUS <sup>b</sup>  
METHODS FOR CALCULATION HEAT TRANSFER VIA THE GROUND

<sup>a</sup> The State Enterprise «Research Institute of Building Constructions», <sup>b</sup> Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture

The paper contains an analysis of the existing methods for calculation of heat transfer via the ground which are defined in national standard ДСТУ-Н Б А.2.2-5:2007 and in international standard EN ISO 13370:2007. On the example of the calculation model, it is shown that maximum error in the determination of the heat transfer through the slab-on-ground floors in accordance to the specified procedures is 20 %. According to an analysis, the advantages and disadvantages of national and international methodology have been made and the prospects for further research have been outlined.

**heat transfer via the ground, thermal resistance of the slab-on-ground floor, calculation model**

**Колесник Євген Сергійович** — науковий співробітник відділу будівельної фізики та ресурсозбереження Державного підприємства «Науково-дослідний інститут будівельних конструкцій». Наукові інтереси: розробка державних будівельних норм та стандартів, проведення комплексних експериментальних досліджень, розробка методик розрахункової оцінки теплотехнічних параметрів зовнішніх огорожувальних конструкцій та енергетичних параметрів будівель в цілому.

**Білоус Олексій Миколайович** — доцент кафедри архітектури промислових та цивільних будівель Донбаської національної академії будівництва і архітектури. Наукові інтереси: розвиток методики випробувань конструктивних елементів будівель; участь в розробці будівельних норм проектування.

**Колесник Евгений Сергеевич** — научный сотрудник отдела строительной физики и ресурсосбережения Государственного предприятия «Научно-исследовательский институт строительных конструкций». Научные интересы: разработка государственных строительных норм и стандартов, проведение комплексных экспериментальных исследований, разработка методик расчетной оценки теплотехнических параметров наружных ограждающих конструкций и энергетических параметров зданий в целом.

**Белоус Алексей Николаевич** — доцент кафедры архитектуры промышленных и гражданских зданий и сооружений Донбасской национальной академии строительства и архитектуры. Научные интересы: развитие методики испытаний конструктивных элементов зданий; участие в разработке строительных норм проектирования.

**Ievgen Kolesnyk** — the researcher of Buildings Physics and Resources Saving Department of the State Enterprise «Research Institute of Building Constructions». Scientific interests: development of state buildings codes and standards, conduction of complex experimental researchers, development of techniques of thermal parameters outdoor constructions' estimation and of building's energy performance in general.

**Aleksey Belous** — lecturer, Architecture of Industrial and Civil Building and Constructions Department, Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture. Scientific interests: development of method of tests of structural elements of buildings; participating in development of building norms of planning.