

ТЕПЛОВАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ЗДАНИЙ

Тепловой расчет фундаментов для предупреждения морозного пучения

ЦЕПЛАВАЯ ХАРАКТАРЫСТЫКА БУДЫНКАЎ

Цеплавой разлік падмуркаў для папярэджання марознага пучэння

(ISO 13793:2001, IDT)

Издание официальное



Ключевые слова: тепловая характеристика здания, тепловой расчет, фундамент, морозное пучение

Предисловие

Цели, основные принципы, положения по государственному регулированию и управлению в области технического нормирования и стандартизации установлены Законом Республики Беларусь «О техническом нормировании и стандартизации»

1 ПОДГОТОВЛЕН ПО УСКОРЕННОЙ ПРОЦЕДУРЕ научно-проектно-производственным республиканским унитарным предприятием «Стройтехнорм» (РУП «Стройтехнорм»)

ВНЕСЕН Министерством архитектуры и строительства Республики Беларусь

2 УТВЕРЖДЕН И ВВЕДЕН В ДЕЙСТВИЕ постановлением Госстандарта Республики Беларусь от _____ № _____

В национальном комплексе технических нормативных правовых актов в области архитектуры и строительства настоящий государственный стандарт входит в блок 5.01 «Основания и фундаменты зданий и сооружений»

3 Настоящий стандарт идентичен международному стандарту ISO 13793:2001 Thermal performance of buildings – Thermal design of foundations to avoid frost heave (Тепловая характеристика зданий. Тепловой расчет фундаментов для предупреждения морозного пучения).

Международный стандарт разработан техническим комитетом по стандартизации CEN/TC 89 «Тепловые характеристики зданий и их компонентов».

Перевод с английского языка (en).

Официальные экземпляры международного стандарта, на основе которого подготовлен настоящий государственный стандарт, и европейских стандартов, на которые даны ссылки, имеются в Национальном фонде ТНПА.

Степень соответствия – идентичная (IDT)

4 ВВЕДЕН ВПЕРВЫЕ

Настоящий стандарт не может быть воспроизведен, тиражирован и распространен в качестве официального издания без разрешения Госстандарта Республики Беларусь

Введение

Настоящий стандарт содержит текст международного стандарта ISO 13793:2001 на языке оригинала и его перевода на русский язык (справочное приложение Д.А).

Введен в действие, как стандарт, на который есть ссылка в Еврокоде EN 1997-1:2008.

ГОСУДАРСТВЕННЫЙ СТАНДАРТ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ

ТЕПЛОВАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ЗДАНИЙ

Тепловой расчет фундаментов для предупреждения морозного пучения

ЦЕПЛАВАЯ ХАРАКТАРЫСТЫКА БУДЫНКАЎ

Цеплавой разлік падмуркаў для папярэджання марознага пучэння

Thermal performance of buildings

Thermal design of foundations to avoid frost heave

Дата введения 2010-01-01

1 Scope

This standard gives simplified procedures for the thermal design of building foundations so as to avoid the occurrence of frost heave.

It applies to foundations on frost-susceptible ground, and includes buildings with both slab-on-ground floors and suspended floors.

It covers heated and unheated buildings, but other situations requiring frost protection (for example roads, water pipes in the ground) are not included.

The standard is not applicable to cold stores and ice rinks.

The standard applies in climates where the annual average air temperature is above 0 °C, but does not apply in permafrost areas where the annual average air temperature is below 0 °C.

2 Normative references

This European Standard incorporates, by dated or undated references, provisions from other publications. These normative references are cited at the appropriate places in the text and the publications are listed hereafter. For dated references, subsequent amendments to or revisions of any of these publications apply to this European Standard only when incorporated in it by amendment or revision. For undated references, the latest editions of the publication referred to applies (including amendments).

ISO 6946	<i>Building components and building elements - Thermal resistance and thermal transmittance - Calculation method</i>
ISO 7345	<i>Thermal insulation - Physical quantities and definitions</i>
ISO 10211-1	<i>Thermal bridges in building construction - Heat flows and surface temperatures - Part 1: General calculation methods</i>
ISO 10456	<i>Building materials and products - Procedures for determining declared and design thermal values</i>

3 Definitions, symbols and units

3.1 Terms and definitions

For the purposes of this standard, the terms and definitions in ISO 7345 and the following apply.

3.1.1

slab on ground floor

floor construction directly on the ground over its whole area

3.1.2

suspended floor

floor construction in which the floor is held off the ground, resulting in an air void between the floor and the ground

NOTE This air void, also called underfloor space or crawl space, may be ventilated or unventilated, and does not form part of the habitable space.

3.1.3

vertical edge insulation

insulation placed vertically against the foundation internally and/or externally, or within the foundation itself

3.1.4

ground insulation

insulation placed horizontally (or nearly so) below ground, external to the building

NOTE See Figure 1.

3.1.5

freezing index

24 times the sum of the difference between 0°C and daily mean external air temperature, accumulated on a daily basis over the freezing season (including both positive and negative differences)

3.1.6 freezing season

period during which the mean daily external air temperature remains less than 0°C, together with any freezing/thawing periods at either end of this period if they result in net freezing

3.1.7

frost depth

depth of penetration of frost into the ground

3.1.8

foundation depth

depth of foundation below the outside ground level

NOTE If the foundations are put on a layer of well-drained material that is non-susceptible to frost, the thickness of such a layer may be included in the foundation depth.

3.1.9**frost-susceptible soil**

soil of a type which may cause frost heave forces when frozen as part of the ground

3.1.10**floor insulation position**

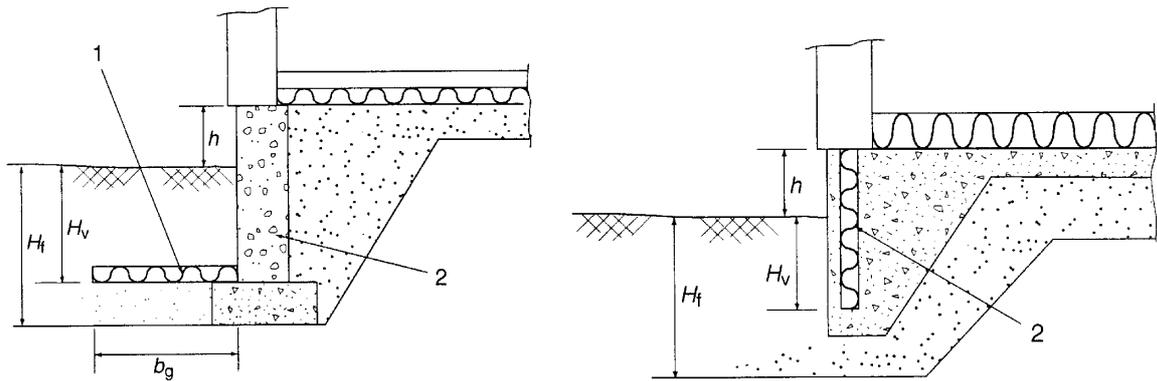
height of lower surface of the floor insulation layer above external ground surface

NOTE If there is no insulation in the floor this quantity is measured from the floor surface.

3.2 Symbols and units

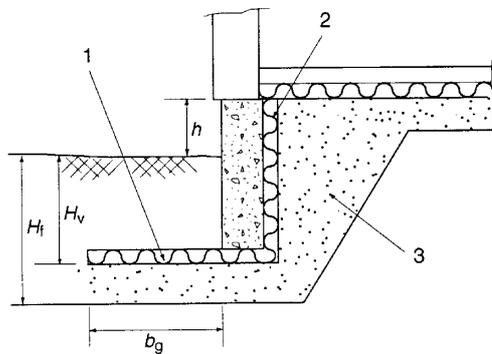
The following is a list of the principal symbols used. Other symbols are defined where they are used within the text.

Symbol	Quantity	Unit
B	width (smaller dimension) of building	m
b_g	width of ground insulation, measured from outer limit of footing	m
b_{gc}	width of ground insulation at corner	m
b_{gw}	width of ground insulation along wall	m
F_d	design freezing index	K·h
F_n	freezing index which statistically is exceeded once in a period of n years	K·h
H_0	maximum frost depth in undisturbed, snow-free ground	m
H_f	foundation depth for walls	m
H_{fc}	foundation depth for corners	m
H_v	depth of vertical edge insulation	m
h	floor insulation position	m
L_c	length of corner insulation (measured along external surface of wall)	m
R_f	thermal resistance of floor construction (average value over the outer 1 m of floor)	m ² ·K/W
R_v	thermal resistance of vertical edge insulation	m ² ·K/W
R_g	thermal resistance of ground insulation	m ² ·K/W
R_{gc}	thermal resistance of ground insulation at corner	m ² ·K/W
R_{gw}	thermal resistance of ground insulation along wall	m ² ·K/W
$\bar{\theta}_e$	annual average external air temperature	°C
$\theta_{i,m}$	average internal air temperature in month m	°C

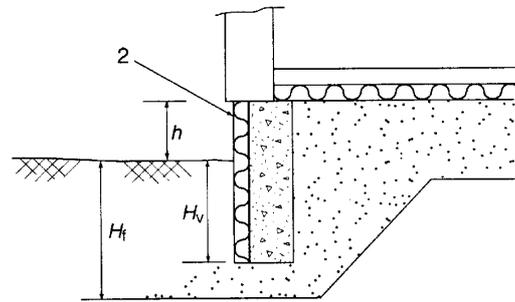


a) Lightweight concrete foundation wall with ground insulation

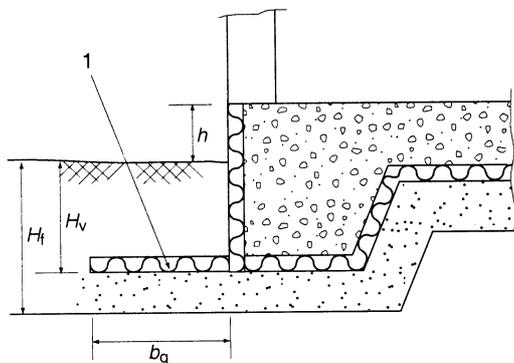
b) Floor slab with edge beam



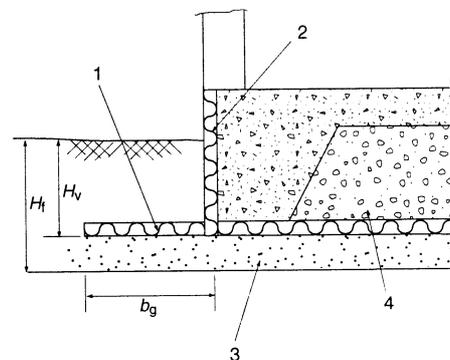
c) Concrete foundation wall with ground insulation and internal vertical edge insulation



d) Concrete foundation wall with external vertical edge insulation



e) Raft construction with ground insulation and vertical edge insulation



f) Raft construction over a bed of crushed stones ($h < 0$ in this case, so is not considered)

Key

- | | | | |
|---|----------------------------|---|--|
| 1 | Ground insulation | 2 | Vertical edge insulation |
| 3 | Non frost-susceptible soil | 4 | Bed of crush stones ventilated from inside |

NOTE These are illustrations to show thermal principles and should not be considered as constructional details.

Figure 1 - Examples of vertical edge insulation and ground insulation in foundation structures

4 Design principles

Soil is fully frozen when all the water in it is frozen. This is assumed to have occurred when the temperature of the soil reaches $-1\text{ }^{\circ}\text{C}$ (see annex D). The data given in clauses 8 to 10 apply when the foundations are to be designed so that no fully frozen soil occurs below the foundation during the design winter. Alternative data based on a criterion of 0°C are given in annex C.

This design condition may be achieved in one of four ways:

- 1) arranging for the foundation depth to be greater than the depth at which fully frozen soil occurs;
- 2) removing frost-susceptible soil from below where the foundations will be built, to the same depth as mentioned in 1), and replacing this with well-drained material that is non-susceptible to frost;
- 3) insulating the foundations to reduce heat loss from the soil below the foundations so as to keep this soil unfrozen;
- 4) using heat loss from the building, or special heating measures, to keep the soil below the foundations unfrozen.

For the purposes of this standard, 1) and 2) are equivalent and are covered in clause 7. Furthermore, the solution adopted can be a combination of 2), 3) and 4). Thus, the thickness of any layer below the foundations that is non-susceptible to frost may be included in the foundation depth H_f when using this standard to decide whether frost protection measures are necessary and, if so, what insulation is needed.

NOTE 1 If option 4) is chosen, a combination with 3) is usually necessary to restrict heat loss.

The insulation required by options 3) and 4) can be determined by:

- a) using the tables and graphical presentations in this standard (see clause 8, 9 or 10, depending on the type of building), or
- b) undertaking numerical calculations conforming with the principles given in annex B.

It is also permissible to use a combination of a) and b), for example determination of insulation required at corners by a) and (two-dimensional) numerical calculations to determine the insulation required elsewhere.

Heat emission from floor heating systems, heating cables in the ground, or similar, is not allowed for in the design procedures of clauses 8 to 10. Numerical calculations shall be undertaken when such heat emission is to be considered.

NOTE 2 If the design procedures of clauses 8 to 10 are applied to such situations, there will be an additional margin of safety as regards frost heave, but perhaps additional heat loss.

The foundations shall be designed to avoid adfreezing of the soil, thus preventing frost heave by transfer of shear forces, for example by having a layer of material that is non-susceptible to frost adjacent to the walls of the foundation or basement.

If the building envelope is not completed and/or the building is not heated before the frost season, additional insulation measures shall be undertaken to protect the foundations.

NOTE 3 One way of achieving such additional protection is to design the foundations as for unheated buildings using a design freezing index for non-permanent structures (see 6.1).

The parameters relevant to frost protection are:

- climate, especially freezing index and annual average temperature;
- frost susceptibility of the soil;
- thermal properties of the ground, both frozen and unfrozen;
- insulation of the floor;
- internal temperature in the building;
- the geometry, and especially the overall dimensions, of the building, and the type of foundation used.

NOTE 4 Snow cover has the effect of reducing the frost penetration depth, but since snow cover cannot be assured for design purposes, no allowance for it is made when assessing the design criterion.

Some examples are illustrated in Figure 1.

5 Material properties

5.1 Properties of the ground

The ground shall be considered to be frost-susceptible unless otherwise established by geotechnical examination.

NOTE 1 Information about frost susceptibility is given in annex D.

This standard is based on homogeneous ground consisting of frost-susceptible soil with the following properties:

thermal conductivity (unfrozen)	$\lambda = 1,5 \text{ W}/(\text{m}\cdot\text{K})$
thermal conductivity (frozen)	$\lambda_f = 2,5 \text{ W}/(\text{m}\cdot\text{K})$
heat capacity per volume (unfrozen)	$C = 3 \times 10^6 \text{ J}/(\text{m}^3\cdot\text{K})$
heat capacity per volume (frozen)	$C_f = 1,9 \times 10^6 \text{ J}/(\text{m}^3\cdot\text{K})$
latent heat of freezing per cubic metre of soil	$L = 150 \times 10^6 \text{ J}/\text{m}^3$
dry density	$\rho = 1350 \text{ kg}/\text{m}^3$
water content (saturation degree = 90 %)	$w = 450 \text{ kg}/\text{m}^3$

For most types of frost-susceptible soils, the frost penetration depth adjacent to a building differs little from that determined using the above values. If, however, the actual soil properties are considerably different from those listed above, numerical calculations in accordance with annex B should be undertaken.

NOTE 2 As a general rule, the design data in clauses 8 to 10 can be applied for soils with dry density in the range 1100 kg/m³ to 1600 kg/m³ and with water saturation exceeding 80 %.

NOTE 3 When ground insulation is used, the relevant properties are those of the soil in the vicinity of the building. If ground insulation is not used, the properties of the backfill may be significant, especially if the backfill zone is relatively wide. Backfill (which is well-drained to avoid adfreezing) can increase the frost penetration depth locally due to absence of water in the soil and its associated latent heat.

5.2 Properties of building materials

For the thermal resistance of any building product, use the appropriate design value, either calculated according to ISO 10456 or obtained from tabulated values. The thermal resistance of products used below ground level shall reflect the moisture conditions of the application.

NOTE Moisture conditions may be affected by whether or not the building is heated, and are often more severe adjacent to unheated buildings.

If thermal conductivity is quoted, obtain the thermal resistance as the thickness divided by thermal conductivity. The thickness used shall allow for any compression of the product, if applicable.

Ensure that any insulation material subject to compressive load has adequate compressive strength and deformation characteristics.

If ground insulation is necessary for the protection, measures shall be taken to ensure that it is not damaged or removed after completion of the building. Inform the user of the building of the presence and location of the ground insulation and of its purpose.

6 Climatic data

6.1 Design freezing index

The insulation required for frost protection depends on the severity of the design winter, expressed in terms of the freezing index together with the annual average external air temperature.

The design freezing index F_d is expressed in terms of F_n , the value of the freezing index which statistically is exceeded once in n years for the locality concerned, based on recorded meteorological data and calculated according to annex A. F_n has a 1 in n probability of being exceeded in a given winter.

Having selected the value of n , obtain F_n from tables or maps covering the locality concerned.

The appropriate value of n is related to the expected lifetime of the building and the sensitivity of the building to frost heave.

For permanent structures use F_{100} or F_{50} .

NOTE For practical purposes F_{100} and F_{50} can be considered to be equivalent, as the difference between them is very small, and either may be used (depending on availability).

ISO 13793:2001(E)

For the design of buildings that can tolerate some movement, or for non-permanent buildings, a lower freezing index (e.g. F_{20} , F_{10} , F_5) may be used.

6.2 Frost depth in undisturbed ground

The greatest depth of frost penetration in undisturbed ground (i.e. ground unprotected by buildings, snow cover or vegetation) depends on the climate (freezing index and annual average air temperature) and on the thermal properties of the ground.

NOTE Design values of maximum frost depth in undisturbed, homogeneous frost-susceptible ground without snow cover, H_0 , may be found for some locations in national maps or tables.

If H_0 is not known, an approximate value may be calculated from the following equation:

$$H_0 = \sqrt{\frac{7200 F_d \lambda_f}{L + C \bar{\theta}_e}} \quad (1)$$

where

- F_d is the design freezing index, in K·h;
- λ_f is the thermal conductivity of frozen soil, in W/(m·K);
- L is the latent heat of freezing of water in the soil per volume of soil, in J/m³;
- C is the heat capacity of unfrozen soil per volume, in J/(m³·K);
- $\bar{\theta}_e$ is the annual average external air temperature, in °C.

If appropriate soil data are not given, use the data in 5.1.

7 Foundation depth greater than frost depth in undisturbed ground

The foundations of any building can be designed so that the foundation depth, H_f , is at least the maximum frost depth in undisturbed snow-free ground, H_0 .

If $H_f \geq H_0$, the foundations are adequately protected against frost heave and neither edge insulation nor ground insulation is required.

If the foundations are on a layer of well-drained material that is non-susceptible to frost, the thickness of such a layer may be included in H_f .

NOTE For climates with $F_d < 2000$ K·h this condition applies for depth of foundation of 0,45 m or greater.

If $H_f < H_0$, consult clauses 8 to 10 or undertake numerical calculations according to annex B.

8 Slab-on-ground floors for heated buildings

8.1 Applicability

This clause applies to foundations for which $H_f < H_0$ and to:

- a) buildings in which the average internal air temperature throughout the building in each month is at least 17 °C (i.e. $\theta_{i,m} \geq 17$ °C for all m);
- b) buildings in which some parts are heated and some parts are unheated, provided that in the heated parts $\theta_{i,m} \geq 17$ °C for all m , and that the unheated parts are treated as described in 8.5;
- c) buildings in which 5 °C $\leq \theta_{i,m} < 17$ °C with the modifications described in 8.8.

If $\theta_{i,m} < 5$ °C in any month, the frost protection of the foundations should be designed as for unheated buildings (see clause 10).

For data based on a design criterion of 0 °C below the foundations, see annex C.

8.2 General principles

In all cases, provide vertical edge insulation as specified in 8.6.

Heat from the building raises the ground temperature less at corners than along the sides of the building. Therefore additional measures may be needed at corners, either by having deeper foundations at the corners or by having additional insulation there.

This clause provides three options for achieving the necessary frost protection:

- 1) using vertical edge insulation only, with no ground insulation: excavate the foundations to the depth given in 8.7.1 (a greater foundation depth is needed at corners than along the rest of the walls);
- 2) using ground insulation only at the corners, to avoid increasing the foundation depth at the corners: the foundation depth is as for the walls in 1), see 8.7.2;
- 3) using a restricted foundation depth (not less than 0,4 m), with the same foundation depth all round the building: provide ground insulation all round the building, but increased at the corners, see 8.7.3.

The foundation depth and/or the extent of the ground insulation is determined by the design freezing index, F_d .

Design the floor insulation to give satisfactory floor temperatures and energy economy (i.e. independently of the frost heave problem).

NOTE The use of vertical edge insulation and ground insulation increases floor surface temperatures and decreases heat loss at the edge of the floor.

8.3 Restrictions

8.3.1 Building width

The foundation depths and frost insulation specified in this clause apply to buildings with a width B of at least 4 m.

If $B < 4$ m the foundations should be designed, either in depth or in provision of ground insulation, according to the procedures given for corners, but applied all round the building.

8.3.2 Floor insulation position

The foundation depths and frost insulation specified in this clause apply to floors for which the floor insulation position h does not exceed 0,6 m.

If $h > 0,6$ m, either undertake numerical calculations in accordance with annex B or use the procedures for unheated buildings (clause 10).

8.3.3 Thermal resistance of floor slab

The thermal resistance of the floor construction, R_f , is the total thermal resistance between the floor surface and the soil. It includes any insulation layers above, below or within it, together with that of any floor covering.

If the thermal resistance of the floor construction varies over its area, take R_f as the average value over the outer 1 m of floor.

The foundation depths and frost insulation specified in this clause apply to slabs with R_f not exceeding $5 \text{ m}^2\cdot\text{K}/\text{W}$. If $R_f > 5 \text{ m}^2\cdot\text{K}/\text{W}$, either undertake numerical calculations in accordance with annex B or use the procedures for unheated buildings (clause 10).

8.4 Ground insulation

Ground insulation shall be protected against risk of mechanical damage. The top surface of any ground insulation should be at least 300 mm below ground level, unless covered by paving in which case the depth may be reduced to 200 mm.

The data given on the width of ground insulation, b_g , b_{gw} and b_{gc} , assume that this width is measured from the outermost face of the foundation.

NOTE It may be necessary for the total width of the ground insulation to be greater than b_g , if the footing projects beyond the foundation wall, as in Figure 1a.

If ground insulation is used together with internal edge insulation, take care to avoid a thermal bridge by continuing the ground insulation beneath the foundation to meet the vertical edge insulation (see Figure 1c).

Ensure that ground insulation is continuous with no gaps, that it is adequately protected from excessive moisture by roof overhangs, sound guttering arrangements, etc. and that it is placed on a drainage layer.

8.5 Unheated parts of a building

8.5.1 General

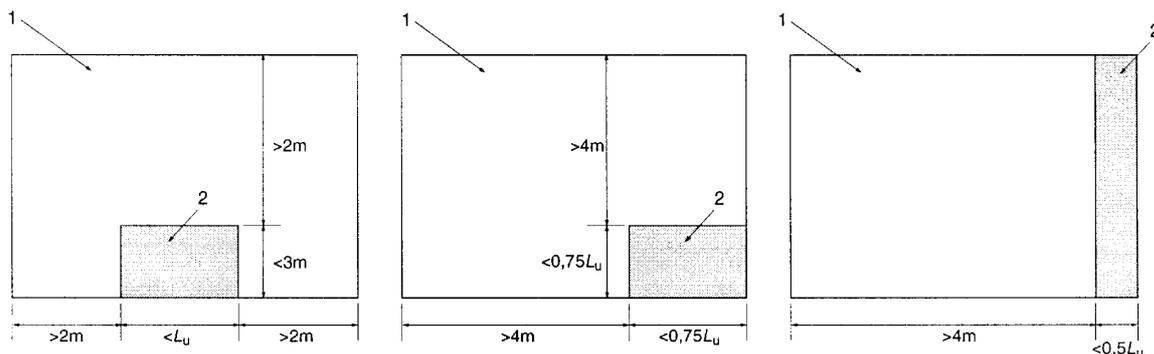
If some parts of a building are unheated, the procedures of 8.6 and 8.7 may be applied to the heated parts, provided that the protection described in 8.5.2 or 8.5.3 (as appropriate) is applied to the unheated parts of the building.

8.5.2 Building with limited unheated parts

The unheated parts of a building may be regarded as limited if their dimensions do not exceed those indicated in Figure 2, where the parameter L_u is given as a function of the design freezing index in Table 1.

Table 1 - Maximum unheated length L_u for limited unheated parts

F_d (K·h)	$\leq 30\,000$	$> 30\,000$ to $40\,000$	$> 40\,000$ to $50\,000$	$> 50\,000$
L_u (m)	3,0	2,5	2,0	1,5



Key

- 1 Heated part
- 2 Unheated part

Figure 2 - Definition of limited unheated part of floor slab

NOTE L_u is the maximum length of an unheated part which is surrounded on three sides by heated areas of the building. The maximum length is less than L_u in other cases, as shown in Figure 2.

For limited unheated parts:

- insulate the floor of the unheated part so that the thermal resistance of the floor is at least to the minimum ground resistance, R_g , for unheated buildings according to 10.2 (Table 11 or Table 12);
- at the external perimeter of the unheated part, use vertical edge insulation according to 8.6;

- if the unheated part is surrounded on three sides by heated areas of the building (Figure 2a): use frost protection as for corners according to 8.7 at the external perimeter of the unheated part and for a distance L_c to each side of it, where values of L_c are given as a function of the design freezing index in Table 5;
- if the unheated part is surrounded on only one or two sides by heated areas of the building (Figures 2b and 2c): at the external perimeter of the unheated part and for a distance L_c to each side of it, use ground insulation of width $0,5b_g$, with b_g according to 10.2 (Table 10), of thermal resistance R_g as for unheated buildings according to 10.2 (Table 11 or Table 12), where values of L_c are given as a function of the design freezing index in Table 5;
- avoid thermal bridges at the internal perimeter of the unheated part.

8.5.3 Building with more extensive unheated parts

If any unheated part of a building cannot be regarded as limited because its dimensions exceed those indicated in Figure 2, regard the heated and the unheated parts as separate buildings and design the foundations accordingly, continuing the design for the unheated part for a distance L_c where it adjoins the heated part, where values of L_c are given as a function of the design freezing index in Table 5.

8.6 Vertical edge insulation

In all cases, provide vertical edge insulation, of thermal resistance R_v at least that given in Table 2. Use linear interpolation to obtain intermediate values.

Table 2 - Minimum thermal resistance of vertical edge insulation for slab-on-ground floors, R_v (in $m^2 \cdot K/W$)

R_f in $m^2 \cdot K/W$, h in m

F_d K·h	$0,0 < R_f \leq 1,0$		$1,0 < R_f \leq 2,6$		$2,6 < R_f \leq 5,0$	
	$h \leq 0,3$	$0,3 < h \leq 0,6$	$h \leq 0,3$	$0,3 < h \leq 0,6$	$h \leq 0,3$	$0,3 < h \leq 0,6$
5 000	-	-	0,5	0,8	0,8	1,0
10 000	0,5	0,8	1,0	1,0	1,5	2,0
20 000	0,8	1,0	1,0	1,2	1,5	2,3
30 000	1,0	1,0	1,0	1,3	1,5	2,5
40 000	1,0	1,0	1,2	1,5	1,7	2,7
50 000	1,0	1,2	1,4	1,7	2,0	3,0
60 000	1,2	1,4	1,8	2,1	2,4	3,4
70 000	1,4	1,6	2,1	2,4	2,8	3,6

NOTE 1 Greater values of R_v than those shown in Table 2 may be appropriate for reasons of minimum floor surface temperatures or restriction of heat loss.

The necessary vertical edge insulation can be obtained by using a foundation material with low thermal conductivity (e.g. lightweight concrete), or by using a layer of insulation material external to, within or internal to the foundation wall or beam.

NOTE 2 Although external insulation is preferable from the point of view of frost protection, the data given cover all the above alternatives.

Vertical edge insulation should extend from the top of the slab insulation to a depth H_v below ground level, taking care to avoid a thermal bridge between the slab insulation, the wall insulation and the vertical edge insulation, where:

- with no ground insulation, $H_v \geq 0,6$ m or the full foundation depth if less;
- with ground insulation, H_v is the depth of the lower surface of the ground insulation.

8.7 Alternative foundation designs

The foundation design should comply with 8.6 and with one of the following alternatives.

8.7.1 Foundations with no ground insulation

The foundation depth should be:

- at the walls, at least H_f ;
- near the corners and at limited unheated parts for a distance L_c from these places, at least the greater depth H_{fc} (if $F_d > 30\,000$ K·h);

where the values of H_f , H_{fc} and L_c are given in Table 3 as a function of the design freezing index.

Table 3 - Foundation depth for slab-on-ground floor without ground insulation

F_d K·h	H_f m	H_{fc} m	L_c m
$F_d \leq 30\,000$	0,35	0,35	-
$30\,000 < F_d \leq 35\,000$	0,40	0,60	1,0
$35\,000 < F_d \leq 40\,000$	0,50	0,80	1,0
$40\,000 < F_d \leq 45\,000$	0,60	1,00	1,5
$45\,000 < F_d \leq 50\,000$	0,75	1,30	1,5
$50\,000 < F_d \leq 55\,000$	0,90	1,60	1,5
$55\,000 < F_d \leq 60\,000$	1,10	1,80	2,0
$60\,000 < F_d \leq 65\,000$	1,30	2,00	2,0
$65\,000 < F_d \leq 70\,000$	1,50	2,20	2,5

8.7.2 Ground insulation only at corners

If $F_d \leq 30\,000$ K·h, ground insulation is not required.

For greater values of F_d , the foundation depth shall be at least H_f all round the building, and ground insulation shall be used near corners and at limited unheated parts for a distance L_c from these places, where the values of H_f and L_c are given in Table 4.

The thermal resistance of the ground insulation shall be at least 1,0 m²·K/W, and its width shall be b_{gc} , values of b_{gc} being given in Table 4. See also Figure 3.

Table 4 - Foundation depth and corner insulation for slab-on-ground floor

F_d K·h	H_f m	b_{gc} m	L_c m
$F_d \leq 30\,000$	0,35	-	-
$30\,000 < F_d \leq 35\,000$	0,40	0,50	1,0
$35\,000 < F_d \leq 40\,000$	0,50	0,50	1,0
$40\,000 < F_d \leq 45\,000$	0,60	0,50	1,5
$45\,000 < F_d \leq 50\,000$	0,75	0,60	1,5
$50\,000 < F_d \leq 55\,000$	0,90	0,80	1,5
$55\,000 < F_d \leq 60\,000$	1,10	0,80	2,0
$60\,000 < F_d \leq 65\,000$	1,30	0,80	2,0
$65\,000 < F_d \leq 70\,000$	1,50	1,00	2,5

8.7.3 Ground insulation all round the building

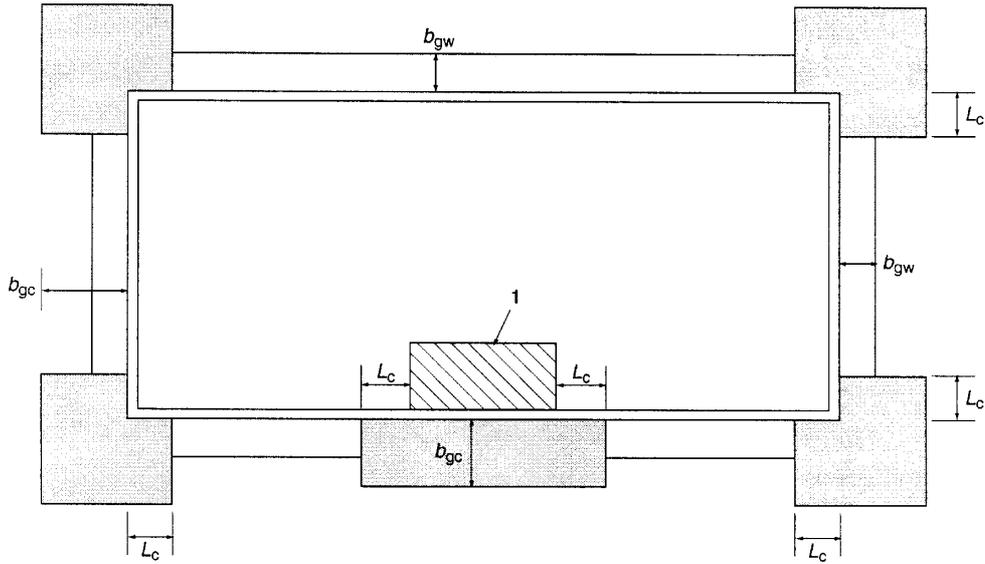
If $F_d \leq 30\,000$ K·h, ground insulation is not required.

For greater values of F_d , the foundation depth may be reduced to not less than 0,4 m by placing ground insulation all round the building.

If $F_d > 30\,000$ K·h, ground insulation is necessary near corners and at limited unheated parts, for a distance L_c from these places as given in Table 5. Select an appropriate combination of thermal resistance, R_{gc} , and width, b_{gc} , of ground insulation near the corners using Figure 4, according to the value of F_d .

If $F_d > 37\,500$ K·h, ground insulation is also necessary along the walls. Select an appropriate combination of thermal resistance, R_{gw} , and width, b_{gw} , of ground insulation along the walls using Figure 5, according to the value of F_d . Then use Figure 4 to determine the greater ground insulation needed near the corners and unheated parts. The corner insulation applies for a distance L_c as given in Table 5.

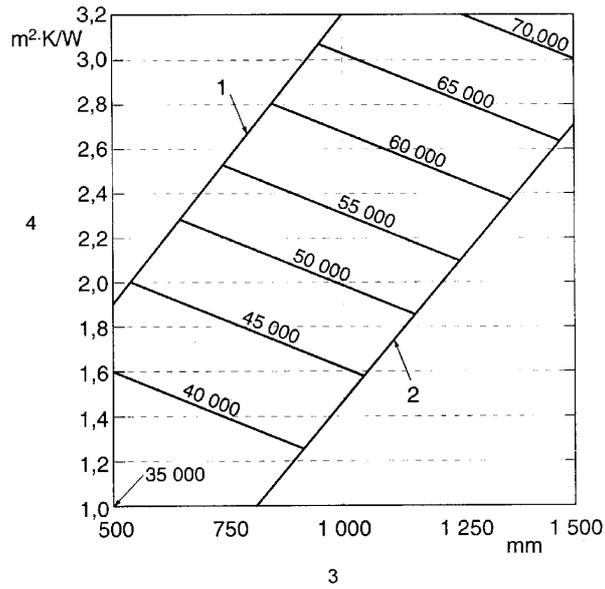
See also Figure 3.



Key

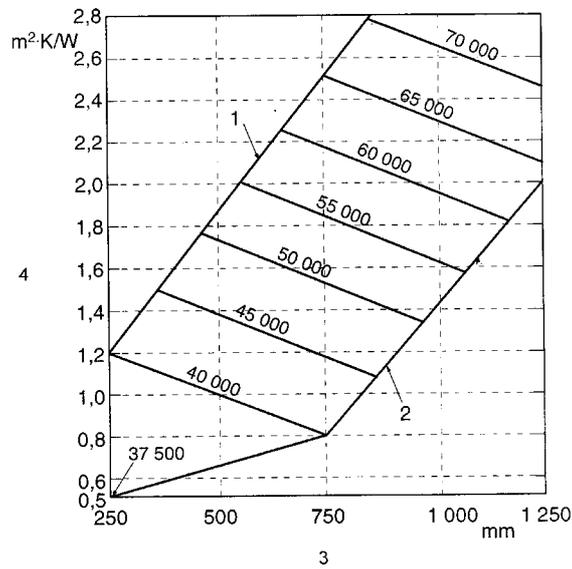
- 1 Limited unheated part (store room, porch etc)

Figure 3 - Width of ground insulation



- Key**
- 1 Minimum b_{gc}
 - 2 Minimum R_{gc}
 - 3 Width of ground insulation at corners, b_{gc}
 - 4 Thermal resistance of ground insulation at corners, R_{gc}

Figure 4 - Width and thermal resistance of ground insulation at corners and limited unheated parts, for slab-on-ground floor with $H_f \leq 0,4$ m



- Key**
- 1 Minimum b_{gw}
 - 2 Minimum R_{gw}
 - 3 Width of ground insulation along walls, b_{gw}
 - 4 Thermal resistance of ground insulation along walls, R_{gw}

Figure 5 - Width and thermal resistance of ground insulation along walls, for slab-on-ground floor with $H_f \leq 0,4$ m

Table 5 - Length of corner insulation

F_d K·h	L_c m
$F_d \leq 30\ 000$	-
$30\ 000 < F_d \leq 35\ 000$	1,0
$35\ 000 < F_d \leq 40\ 000$	1,0
$40\ 000 < F_d \leq 45\ 000$	1,5
$45\ 000 < F_d \leq 50\ 000$	1,5
$50\ 000 < F_d \leq 55\ 000$	1,5
$55\ 000 < F_d \leq 60\ 000$	2,0
$60\ 000 < F_d \leq 65\ 000$	2,0
$65\ 000 < F_d \leq 70\ 000$	2,5

8.8 Buildings with low internal temperature

For poorly heated buildings with $5^\circ\text{C} \leq \theta_{i,m} < 17^\circ\text{C}$, the values in 8.7.3 may be used if H_f is at least 0,6 m instead of 0,4 m.

Alternatively increase the values of H_f in Table 3 or Table 4 by 0,2 m.

If $\theta_{i,m} < 5^\circ\text{C}$ in any month, the frost protection of the foundations shall be designed as for unheated buildings (see clause 10).

9 Suspended floors for heated buildings

9.1 Heated underfloor space

This clause applies to foundations for which $H_f < H_o$.

The same procedures as for slab-on-ground floors, using the values of the parameters in clause 8, can be used for suspended floors in which the underfloor space is either unventilated and airtight or ventilated by the internal air, provided that:

- the walls of the underfloor space are insulated, with thermal resistance at least R_v as given in Table 2, and this insulation is continued below ground as specified in 8.6;
- R_f , taken as the sum of the thermal resistance of the suspended part of the floor and that of the insulation on the base of the underfloor space, does not exceed $5,0\text{ m}^2\cdot\text{K/W}$.

Ensure that the foundation walls are properly sealed to restrict air leakage.

9.2 Underfloor space ventilated with outside air

9.2.1 General

The foundations may be designed either without ground insulation according to 9.2.2 or 9.2.3 (as appropriate), or with ground insulation according to 9.2.4, subject to the following restrictions.

- 1) The width of the building, B , is at least 4 m.
- 2) The average internal air temperature in each month in all parts of the building is not less than 17 °C.
- 3) The thermal resistance of any insulation on the ground surface at the base of the underfloor space does not exceed 0,5 m²-K/W.
- 4) The thermal resistance of the suspended part of the floor does not exceed 8 m²-K/W (without ground insulation) or 5 m²-K/W (with ground insulation).
- 5) The thermal resistance of the foundation wall above the outside ground level is not less than the appropriate value in Table 6 when the bottom of the floor construction is situated at a height not more than 0,6 m above the outside ground level.

If the bottom of the floor construction is situated higher than 0,6 m above the outside ground level, this thermal resistance is to be increased such that the total heat flow rate passing through the foundation wall above the outside ground level does not exceed that of a 0,6 m high wall having the thermal resistance specified in Table 6.

- 6) Vertical edge insulation of thermal resistance at least that specified in Table 6 is applied to a depth of at least 0,6 m if there is no ground insulation, or to the lower surface of the ground insulation if ground insulation is present.
- 7) The ventilation rate of the underfloor space does not exceed 2 m³ per square metre of floor slab per hour.

NOTE A method of estimating the ventilation rate is given in EN ISO 13370, *Thermal performance of buildings - Heat transfer via the ground - Calculation methods*.

If any of the above conditions are not met, either design the foundations as for unheated buildings in accordance with clause 10 or undertake numerical calculations in accordance with annex B.

Table 6 - Minimum thermal resistance of foundation walls above ground and of vertical edge insulation below ground for suspended floors

F_d K·h	R_v m ² ·K/W
$F_d \leq 5\,000$	0,5
$5\,000 < F_d \leq 10\,000$	0,8
$10\,000 < F_d \leq 20\,000$	1,0
$20\,000 < F_d \leq 30\,000$	1,0
$30\,000 < F_d \leq 40\,000$	1,0
$40\,000 < F_d \leq 50\,000$	1,2
$50\,000 < F_d \leq 60\,000$	1,4
$60\,000 < F_d \leq 70\,000$	1,6

9.2.2 Foundations with no ground insulation : long buildings

A long building is one whose length is more than three times its width.

Depending on the design freezing index, the maximum ventilation rate of the underfloor space, and the thermal resistance of the suspended floor, the foundation depth shall be:

- at the walls, at least that in Table 7;
- near the corners for a distance L_c from the corners, at least the greater depth given in Table 8;

where values of L_c are given in Table 5 as a function of the design freezing index. Linear interpolation may be used in Tables 7 and 8 for other values of R_f .

Table 7 - Foundation depth, in metres, for suspended floors: walls of long buildings

Design freezing index F_d K·h	Ventilation rate m^3/m^2h					
	1			2		
	R_f $m^2·K/W$			R_f $m^2·K/W$		
	2	4	8	2	4	8
$F_d \leq 5\ 000$	a)	a)	0,50	a)	0,40	0,55
$5\ 000 < F_d \leq 10\ 000$	a)	0,45	0,70	a)	0,55	0,80
$10\ 000 < F_d \leq 15\ 000$	a)	0,55	0,85	0,45	0,70	0,95
$15\ 000 < F_d \leq 20\ 000$	a)	0,65	0,95	0,50	0,80	1,15
$20\ 000 < F_d \leq 25\ 000$	0,35	0,75	1,10	0,60	0,90	1,25
$25\ 000 < F_d \leq 30\ 000$	0,50	0,85	1,25	0,70	1,00	1,35
$30\ 000 < F_d \leq 35\ 000$	0,60	1,00	1,40	0,80	1,20	1,60
$35\ 000 < F_d \leq 40\ 000$	0,70	1,15	1,60	0,90	1,35	1,80
$40\ 000 < F_d \leq 45\ 000$	0,75	1,25	1,75	1,00	1,50	2,00
$45\ 000 < F_d \leq 50\ 000$	0,85	1,40	1,90	1,10	1,65	2,20
$50\ 000 < F_d \leq 55\ 000$	0,90	1,50	2,05	1,20	1,75	2,35
$55\ 000 < F_d \leq 60\ 000$	0,95	1,60	2,20	1,25	1,90	2,50
$60\ 000 < F_d \leq 65\ 000$	1,05	1,70	2,35	1,35	2,05	2,60
$65\ 000 < F_d \leq 70\ 000$	1,10	1,80	2,50	1,45	2,15	2,70
a) indicates less than 0,35						

9.2.3 Foundations with no ground insulation : short buildings

A short building is one whose length is not more than three times its width.

The foundation depth shall be at least that given in Table 8 all round the building.

NOTE The greater depth is needed all round short buildings because, for a given width, these have greater loss (per square metre of floor area) through the ground and through the walls of the underfloor space, compared with a long building, resulting in a lower temperature in the underfloor space.

**Table 8 - Foundation depth (in metres) for suspended floors:
short buildings and corners of long buildings**

Design freezing index F_d K·h	Ventilation rate $m^3/(m^2 \cdot h)$					
	1			2		
	R_f $m^2 \cdot K/W$			R_f $m^2 \cdot K/W$		
	2	4	8	2	4	8
$F_d \leq 5\,000$	a)	0,40	0,55	a)	0,50	0,65
$5\,000 < F_d \leq 10\,000$	a)	0,55	0,80	0,45	0,70	0,90
$10\,000 < F_d \leq 15\,000$	0,45	0,70	0,95	0,55	0,85	1,10
$15\,000 < F_d \leq 20\,000$	0,50	0,80	1,15	0,65	0,95	1,30
$20\,000 < F_d \leq 25\,000$	0,60	0,90	1,25	0,75	1,10	1,45
$25\,000 < F_d \leq 30\,000$	0,70	1,00	1,35	0,85	1,25	1,60
$30\,000 < F_d \leq 35\,000$	0,80	1,20	1,60	1,00	1,40	1,80
$35\,000 < F_d \leq 40\,000$	0,90	1,35	1,80	1,15	1,60	2,05
$40\,000 < F_d \leq 45\,000$	1,00	1,50	2,00	1,25	1,75	2,25
$45\,000 < F_d \leq 50\,000$	1,10	1,65	2,20	1,40	1,90	2,40
$50\,000 < F_d \leq 55\,000$	1,20	1,75	2,35	1,50	2,05	2,50
$55\,000 < F_d \leq 60\,000$	1,25	1,90	2,50	1,60	2,20	2,60
$60\,000 < F_d \leq 65\,000$	1,35	2,05	2,60	1,70	2,35	2,70
$65\,000 < F_d \leq 70\,000$	1,45	2,15	2,70	1,80	2,50	2,80
a) indicates less than 0,35						

9.2.4 Foundations with ground insulation

The foundation depth (all round the building) shall be at least that given in Table 9.

The data apply for $R_f \leq 5 \text{ m}^2 \cdot K/W$. Ground insulation of width $b_g \geq 1,0 \text{ m}$ is applied all round the building, having thermal resistance R_{gw} along the walls, and R_{gc} at the corners and for a distance L_c from each corner, where values of L_c are given in Table 5.

Table 9 - Foundation depth, in metres, for suspended floors with ground insulation

R_{gw} (m ² ·K/W)	0,0	0,5	1,0	1,5	2,0	2,5	3,0
R_{gc} (m ² ·K/W)	0,0	0,7	1,4	2,1	2,8	3,5	4,2
F_d K·h							
$F_d \leq 20\ 000$	0,80	0,35	a)	a)	a)	a)	a)
$20\ 000 < F_d \leq 25\ 000$	0,90	0,50	a)	a)	a)	a)	a)
$25\ 000 < F_d \leq 30\ 000$	1,00	0,70	0,35	a)	a)	a)	a)
$30\ 000 < F_d \leq 35\ 000$	1,20	0,90	0,60	0,35	a)	a)	a)
$35\ 000 < F_d \leq 40\ 000$	1,35	1,15	0,90	0,60	0,35	a)	a)
$40\ 000 < F_d \leq 45\ 000$	1,50	1,35	1,10	0,85	0,55	0,35	a)
$45\ 000 < F_d \leq 50\ 000$	1,65	1,45	1,25	1,00	0,75	0,50	0,35
$50\ 000 < F_d \leq 55\ 000$	1,75	1,55	1,35	1,15	0,90	0,65	0,45
$55\ 000 < F_d \leq 60\ 000$	1,90	1,65	1,45	1,30	1,05	0,85	0,60
$60\ 000 < F_d \leq 65\ 000$	2,00	1,80	1,60	1,40	1,20	0,95	0,75
$65\ 000 < F_d \leq 70\ 000$	2,15	1,90	1,70	1,50	1,30	1,05	0,90

a) indicates less than 0,35

10 Unheated buildings

10.1 General

This clause applies to foundations for which $H_f < H_0$ and to:

- a) buildings which are unheated;
- b) buildings in which the monthly average internal air temperature in any month of the year may fall below 5 °C.

NOTE The data given apply to climates for which the average annual air temperature is not less than 1 °C. For annual average air temperature in the range 0 to 1°C, frost insulation can be designed by undertaking numerical calculations in accordance with annex B.

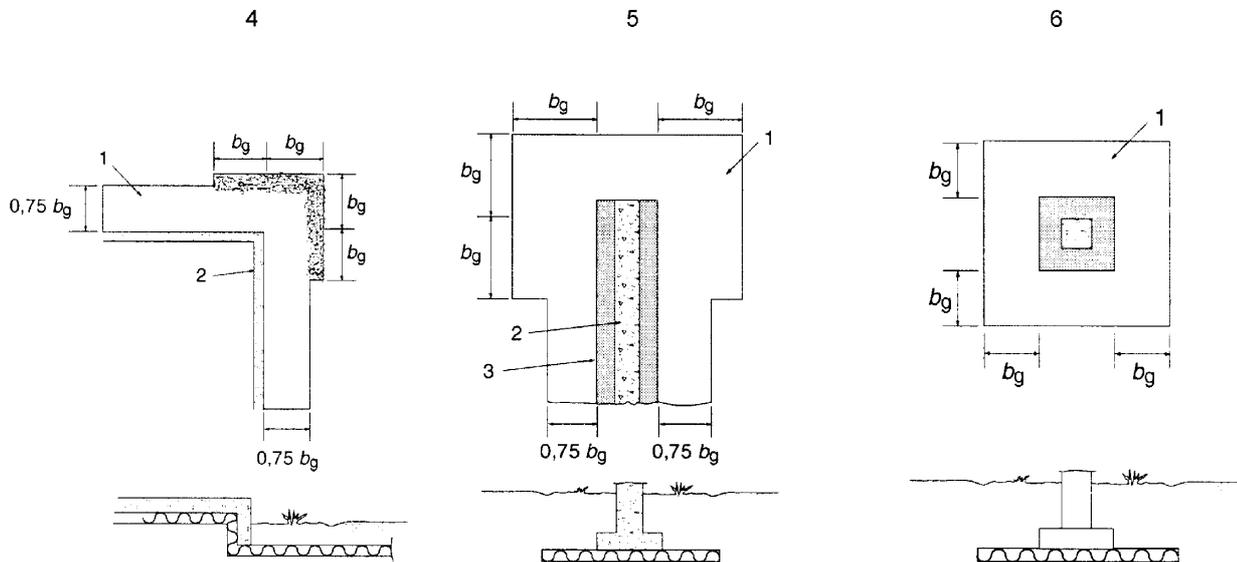
10.2 Without ground insulation

If ground insulation is not used, the foundation depth (including any layer of material that is non-susceptible to frost beneath the foundation) shall be at least the maximum frost depth in undisturbed ground, in accordance with clause 7.

10.3 With ground insulation

The foundation depth may be reduced to less than that required in 10.2 by having a continuous insulation layer beneath the foundations and extending to each side of the foundation. If frost heave will damage the floor, the insulation layer should continue under the whole floor. See Figure 6.

NOTE 1 The insulation is continued beneath the foundations to prevent them acting as a thermal bridge.



Key

- 1 Ground insulation
- 2 Foundation wall
- 3 Foundation base
- 4 Slab-on-ground
- 5 Foundation wall
- 6 Column

Figure 6 - Width of ground insulation for unheated buildings

The necessary thermal resistance, R_g , and width, b_g , of the insulation depends on:

- the design freezing index, F_d ;
- the annual average external air temperature, \bar{T}_e ;
- the foundation depth.

Determine the width b_g from Table 10 according to the design freezing index, F_d . Linear interpolation may be used for intermediate values of F_d .

Table 10 - Width of ground insulation for unheated building

F_d K·h	10 000	20 000	30 000	40 000	50 000	60 000	70 000
b_g m	0,75	1,20	1,60	2,00	2,40	2,75	3,10

For small foundations and near corners of larger foundations, the insulation shall extend at least b_g from the foundation. For whole buildings, or for strip foundations of length at least 3 m, the insulation width may be reduced to $0,75 b_g$ at distances greater than b_g from the corner or end of the foundation: see Figure 6.

Determine the minimum thermal resistance of the ground insulation, R_g , from Table 11 for foundations at least 0,4 m deep, or from Table 12 for foundations at least 1,0 m deep. Linear interpolation may be used in these tables for intermediate values, and linear interpolation may also be used between Tables 11 and 12 for foundation depths intermediate between 0,4 m and 1,0 m.

NOTE 2 The same value of R_g applies along walls and at corners.

NOTE 3 Values of thermal resistance greater than 5,0 m²-K/W in Table 11 have been put in brackets to indicate that it will usually be a more viable option to increase the foundation depth.

NOTE 4 If $F_d \geq 60\,000$ K·h, a foundation depth of 0,4 m is not sufficient and should be increased.

Table 11 - Minimum thermal resistance of ground insulation, R_g (m²-K/W) for unheated buildings with $H_f = 0,4$ m

F_d K·h	$\bar{\theta}_e$ °C				
	1	2	3	4	≥ 5
≤ 10 000	-	-	-	1,1	1,1
20 000	-	1,8	1,6	1,5	1,3
30 000	3,5	2,9	2,5	2,1	1,9
40 000	4,5	3,8	3,3	2,8	-
50 000	(5,6)	4,7	4,1	-	-
60 000	(6,7)	(5,7)	-	-	-

Table 12 - Minimum thermal resistance of ground insulation, R_g (m²-K/W) for unheated buildings with $H_f = 1,0$ m

F_d K·h	$\bar{\theta}_e$ °C				
	1	2	3	4	≥ 5
≤ 10 000	-	-	-	0,0	0,0
20 000	-	0,7	0,5	0,4	0,4
30 000	1,8	1,3	1,1	0,8	0,6
40 000	2,3	1,8	1,5	1,2	-
50 000	3,1	2,4	2,0	-	-
60 000	3,9	3,0	-	-	-
70 000	4,8	-	-	-	-

Protect the insulation layer as follows:

- a) place a layer of well-drained material that is non-susceptible to frost at least 100 mm thick beneath the insulation;
- b) above the insulation, arrange a protective cover consisting of:
 - under the foundations and within the building, at least 50 mm of concrete or similar;
 - outside the building, at least 300 mm of soil, unless covered by paving in which case the soil thickness may be reduced to 200 mm;
- c) place the insulation above the maximum level of the ground water Table.

10.4 Additional material that is non-susceptible to frost beneath insulation

The minimum thermal resistance of the ground insulation, R_g , specified in 10.3 may be reduced by having a layer of material that is non-susceptible to frost beneath the insulation of thickness greater than 100 mm.

R_g may be reduced by 0,2 m²·K/W per 100 mm increase in the thickness of this layer above 100 mm.

10.5 Additional soil cover above insulation

The minimum thermal resistance of the ground insulation, R_g , and its minimum width, b_g , specified in 10.3 may both be reduced by having a layer of soil above the insulation of thickness greater than 300 mm.

R_g may be reduced by 0,1 m²·K/W per 100 mm increase in thickness of soil cover above 300 mm.

b_g may be reduced by 0,1 m per 100 mm increase in thickness of soil cover above 300 mm.

NOTE The increase in soil cover can be limited by the requirement to keep the insulation above the water Table (see 10.2).

Annex A

(normative)

Definition and calculation of freezing index

A.1 General

This annex gives the method of calculation of the design freezing index F_d from meteorological records of daily mean external air temperatures for the locality concerned.

A.2 defines the calculation of the freezing index, F , for one particular winter. The design data given in clauses 8 to 10 are based on F_n , the freezing index which statistically is exceeded once in n years, e.g. F_{10} , F_{50} , F_{100} . These values may be obtained from a set of individual values of F calculated for several winters using the statistical treatment described in A.3.

A.2 Calculation of freezing index for one winter

The freezing index is the 24 times sum of the difference between freezing point and the daily mean external air temperature:

$$F = 24 \sum_j (\theta_f - \theta_{d,j}) \quad (\text{A.1})$$

where

- F is the freezing index for one winter, in K·h;
- θ_f is equal to 0°C;
- $\theta_{d,j}$ is the daily mean external air temperature for day j , in °C;

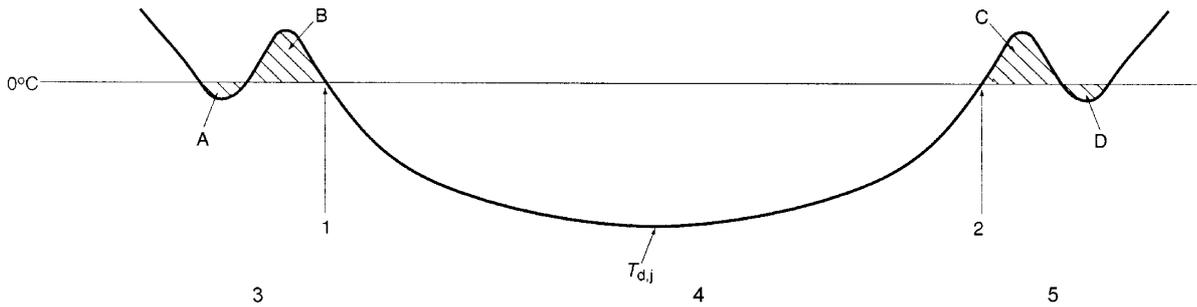
and the sum includes all days in the freezing season (as defined below).

The daily mean external air temperature may be obtained as the average of several readings, or as the average of the maximum and minimum values, for the day in question.

Both positive and negative differences, within the freezing season, are included in the accumulation of equation (A.1). A negative difference (daily mean temperature above 0 °C) implies some thawing of the ground, which serves to reduce the frost penetration in the ground.

For the purposes of the summation in equation (A.1) the freezing season starts at the point from which the accumulation remains always positive throughout the winter. With reference to Figure A.1, there is initially some freezing as a result of the area marked A, followed by complete thawing as a result of the area marked B since this is greater than area A. The accumulation therefore starts after this. In Figure A.2, area A is greater than area B, so the thawing is not complete and the accumulation starts earlier as indicated on that Figure.

The freezing season ends at the point which results in the largest total accumulation for the winter. If a short thawing period is followed by a larger freezing period both are included, while if a thawing period is followed by a lesser freezing period neither is included, as illustrated in Figures A.1 and A.2.

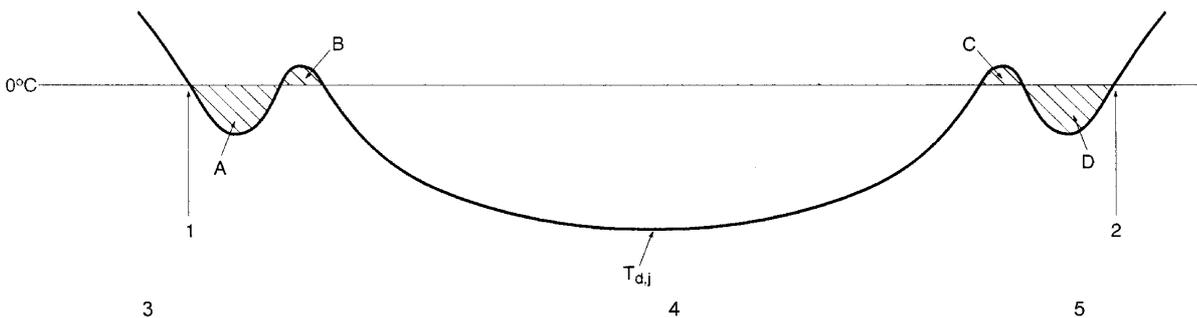


Key

- 1 Start
- 2 End
- 3 Autumn
- 4 Winter
- 5 Spring

NOTE Area B > area A, and area C > area D

Figure A.1 - Illustration of the limits of the freezing season (first example)



Key

- 1 Start
- 2 End
- 3 Autumn
- 4 Winter
- 5 Spring

NOTE Area B < area A, and area C < area D

Figure A.2 - Illustration of the limits of the freezing season (second example)

NOTE 1 In the past, freezing indexes have sometimes been calculated including only positive differences in equation (A.1), i.e. ignoring the effect of thawing periods. Tables or maps of freezing indexes calculated on that basis, which give higher values of F than as defined above and so a greater margin of safety, may be used for the purposes of this standard. On the other hand an accumulation on the basis of average monthly temperatures can significantly underestimate the true freezing index and such data should not be used.

NOTE 2 An alternative, and equivalent, method of obtaining the freezing index is to plot the cumulative difference between daily mean temperature and freezing point against time for a complete 12-month period (from midsummer to midsummer). The freezing index is then the largest difference between maximum and minimum turning points on this curve.

NOTE 3 Freezing in the ground depends on the ground surface temperature. However, because air temperatures are more readily available than ground surface temperatures, this standard uses the air freezing index, i.e. the freezing index calculated from external air temperatures, as the design parameter. In most cases the use of air temperatures provides a safety margin because factors such as the presence of vegetation and snow cover, and solar radiation, result in ground surface temperatures being higher than air temperatures. However the opposite may apply for snow-free surfaces in permanent sun shadow, for which ground surface temperatures can be lower as a result of radiation to clear skies.

A.3 Statistical determination of design freezing index

The design freezing index, F_n , is the freezing index that statistically is exceeded once in n years. This implies that the probability that the freezing index in any one winter exceeds F_n is $1/n$.

NOTE 1 The appropriate value of n should be decided upon with regard to the level of safety that is required for the building in question. Parameters to consider are the expected lifetime of the structure, the sensitivity of the type of structure to frost heave, etc. For permanent buildings n is normally chosen as 50 years or 100 years.

NOTE 2 n is referred to as the return period, i.e. the average number of years between successive occurrences of freezing indexes greater than F_n .

The design freezing index for a given location is obtained from a set of freezing indexes F_i , calculated as described in A.2, of m winters at the location. Whenever possible, the value of m should not be less than 20. The use of data from m consecutive, or nearly consecutive, winters is recommended.

Use a statistical distribution that realistically reflects extreme events. The Gumbel distribution (see A.4) has been found to be suitable for many climates, and is recommended in the absence of specific information for the locality concerned.

A.4 Use of the Gumbel distribution

Calculate the average freezing index, \bar{F} , using (A.2) and the standard deviation, s_F , using (A.3):

$$\bar{F} = \frac{\sum F_i}{m} \tag{A.2}$$

$$s_F = \sqrt{\frac{\sum (F_i - \bar{F})^2}{m - 1}} \tag{A.3}$$

where

$$i = 1, 2, \dots, m$$

The design freezing index is then given by (A.4):

$$F_n = \bar{F} + \frac{s_F}{s_y} (y_n - \bar{y}) \tag{A.4}$$

where y denotes the reduced variable in the Gumbel distribution.

Obtain the appropriate values of \bar{y} and s_y from Table A.1 corresponding to the number m of individual values of F_i used in the calculation.

Obtain the value of y_n from Table A.2 corresponding to the value of n chosen for the design.

Table A.1 - Values of \bar{y} and s_y

m	\bar{y}	s_y	m	\bar{y}	s_y
10	0,50	0,95	50	0,55	1,16
15	0,51	1,02	60	0,55	1,17
20	0,52	1,06	70	0,55	1,19
25	0,53	1,09	80	0,56	1,19
30	0,54	1,11	90	0,56	1,20
40	0,54	1,14	100	0,56	1,21

Table A.2 - Values of y_n

n	5	10	20	50	100
y_n	1,50	2,25	2,97	3,90	4,60

NOTE For further information about the Gumbel distribution, see [1] and [2] in Bibliography.

Annex B (normative)

Numerical calculations

B.1 General

The general case of frost penetration into the ground adjacent to buildings or structures is a three-dimensional, time-dependent, non-linear heat transfer problem, which can be modelled using suitable numerical techniques (for example finite differences or finite elements).

The design procedures given in this standard are based on such numerical calculations for buildings on homogeneous ground consisting of frost-susceptible soil with properties as given in 5.1, and with other conditions as described in B.2.

The procedures described in clauses 8 to 10 will give adequate frost protection of foundations in most cases. If, however, the soil properties differ substantially from those given in 5.1 (in particular if the dry density of the soil is outside the range 1100 kg/m³ to 1600 kg/m³ or if the water saturation is less than 80 %), numerical calculations according to B.2 shall be undertaken.

NOTE The calculated soil temperatures adjacent to the building are increasingly sensitive to the precise values of the soil properties as the freezing index increases, as the internal temperature decreases, and as the floor insulation increases.

Numerical calculations which conform with B.2 may be used as an alternative to the tables and graphs given in this standard.

B.2 Conditions for numerical calculations

B.2.1 Subdivision of the geometrical model

The geometrical model of the ground is subdivided in such a way that the subdivisions are smallest near to the edge of the floor, and gradually increasing in size to much larger subdivisions near the truncation planes. The criteria given in ISO 10211-1 for judging whether sufficient subdivisions have been used (related to the calculation of heat flows and surface temperatures) are recommended.

B.2.2 Dimensions of the ground

The following minimum dimensions of the ground define the truncation planes in the geometrical model:

- in the horizontal direction inside the building: 0,5 B ;
- in the horizontal direction outside the building: 2,5 B ;
- in the vertical direction below ground level: 2,5 B ;

where B is the width (smaller dimension) of the floor.

B.2.3 Three- or two-dimensional calculations

If the smaller dimension of the floor does not exceed 4 m, three-dimensional calculations shall be used. For other cases, the frost conditions along the walls can be judged from two-dimensional calculations with the building width set equal to the smaller dimension of the floor. The frost conditions at corners should then be judged from three-dimensional calculations or by using the appropriate tables and graphs in the standard.

B.2.4 Boundary conditions

For two-dimensional calculations, there is a vertical symmetry plane mid-way across the floor, which is taken as an adiabatic boundary (so that one half of the building is modelled). For three-dimensional calculations on a rectangular building, there are two vertical symmetry planes mid-way across the floor in each direction, which are taken as adiabatic boundaries (so that one quarter of the building is modelled).

Outside the building, the vertical truncation plane is taken as an adiabatic boundary.

The horizontal truncation plane in the ground is taken as an adiabatic boundary.

Surface resistances as specified in ISO 6946 apply at the inside floor surface and at the outside ground surface.

B.2.5 Thermal properties

For the thermal properties of the ground:

- a) if known, use values for the actual location, allowing for the normal moisture content;
- b) otherwise, use the values specified in 5.1.

When water in the soil freezes or melts, there is a change in the heat capacity per volume and in the thermal conductivity of the soil, and the latent heat of the water in the soil is released during freezing. Numerical calculations should allow for these effects.

The latent heat of water in the soil may be treated as an apparent increase in the heat capacity of the soil over a temperature interval of 1 K below 0 °C. Soil at a temperature of -1 °C or below is considered as fully frozen.

For materials other than the ground, use values according to 5.2.

B.2.6 Design external temperature

Use a sinusoidal variation of external temperature given by (B.1):

$$\theta_e = \bar{\theta}_e + \hat{\theta}_e \cos(2\pi t / t_p) \quad (\text{B.1})$$

where

- θ_e is the external air temperature at time t , in °C;
- $\bar{\theta}_e$ is the annual average external air temperature, in °C;
- $\hat{\theta}_e$ is the amplitude of the sinusoidal variation, in K;
- t_p is one year expressed in seconds ($3,15 \times 10^7$ s).

$\hat{\theta}_e$ is chosen such that the integral of (B.1) below 0 °C over a year gives the correct design freezing index F_d (see 6,1).

In order to start the calculation of the design year with an appropriate temperature distribution in the ground:

- the initial conditions should be the annual average external air temperature throughout the ground;
- the calculation period should extend over two consecutive design years, with the results being taken from the second year.

B.2.7 Design criterion

The foundation design is considered to be protected against frost heave when no fully frozen soil occurs below the foundation during the design winter, i.e. the temperature remains above $-1\text{ }^{\circ}\text{C}$ under the whole of the base of the foundation. This can be done by examining the maximum penetration of the $-1\text{ }^{\circ}\text{C}$ isotherm towards the base of the foundation. An example of such an isothermal plot is shown in Figure B.1.

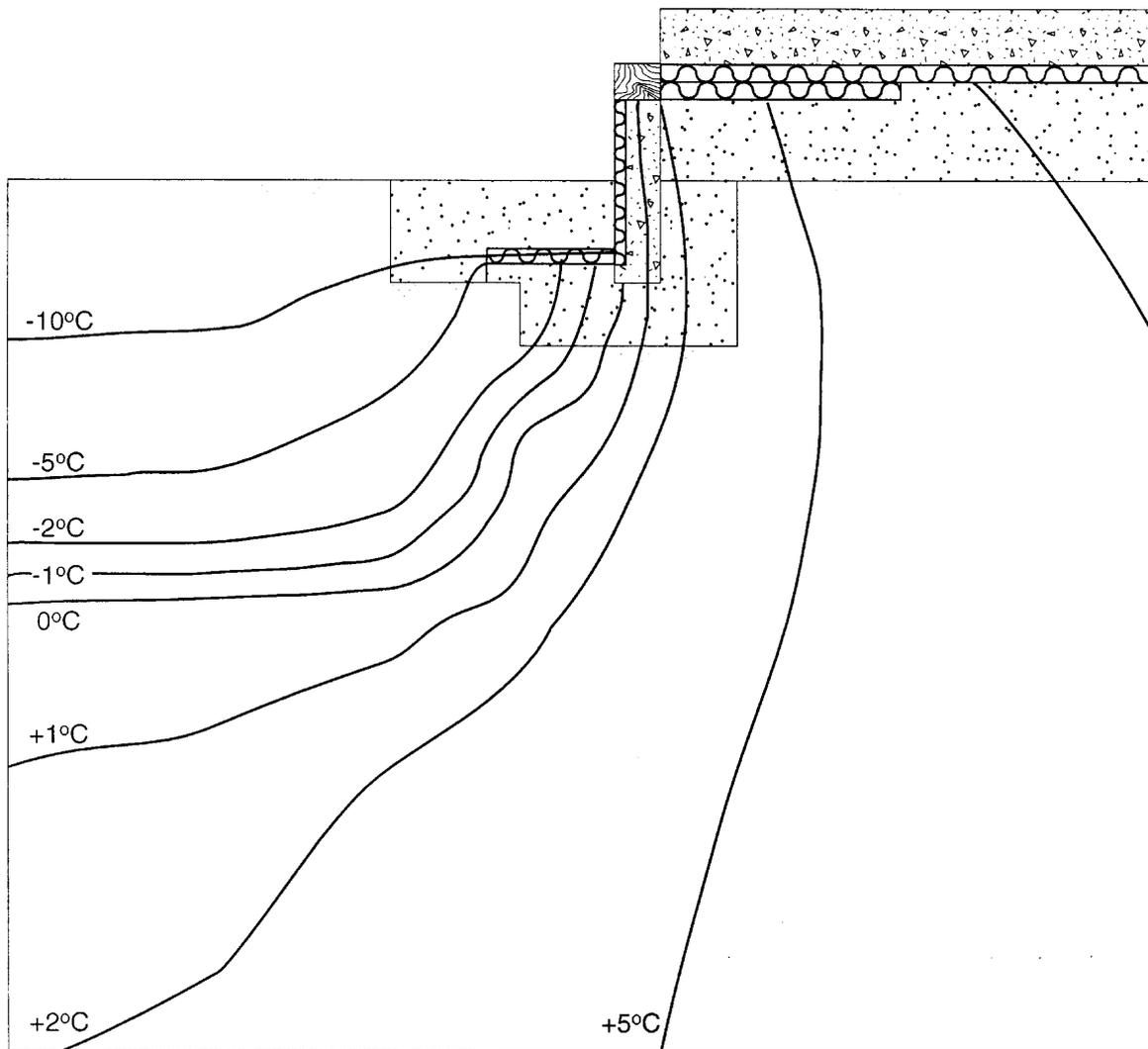


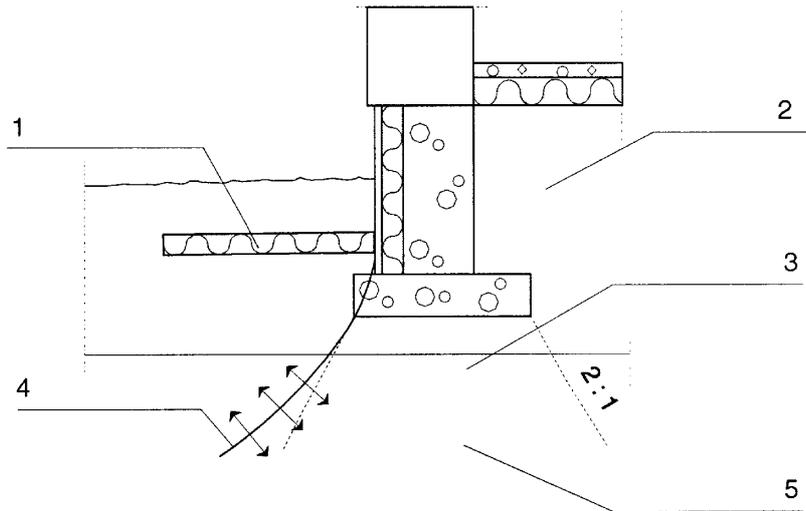
Figure B.1 - Illustration of isotherms in the ground near a foundation

Annex C
(normative)

Design data for slab-on-ground floors based on 0 °C criterion

C.1 Introduction

This annex provides data for the design of shallow foundations for slab-on-ground floors, when the design condition is that the 0 °C isotherm does not penetrate below a 2:1 load spread area beneath the foundation (see Figure C.1).



Key

- | | | |
|---------------------|------------------------------|----------------------------|
| 1 Ground insulation | 2 Non frost-susceptible fill | 3 Zone of stress influence |
| 4 0 °C isotherm | 5 Frost-susceptible soil | |

Figure C.1 - Frost protection based on 0 °C isotherm

C.2 Heated buildings

C.2.1 Foundations with no ground insulation

The design should conform with 8.3.1, 8.3.2, 8.3.3 and 8.6, and instead of 8.7.1 it should conform with the following.

The foundation depth should be:

- at the walls, at least H_f ;
- near the corners and at limited unheated parts for a distance L_c from these places, at least the greater depth H_{fc} ;

where the values of H_f , H_{fc} and L_c are given as a function of the design freezing index in Table C.1 for fine-grained soils (silt and clay) and in Table C.2 for coarse-grained soils (frost-susceptible sand and moraine). Linear interpolation may be used in these tables for intermediate values of F_d .

**Table C.1 - Foundation depth for slab-on-ground floor without ground insulation:
fine-grained soils**

F_d K·h	H_f m	H_{fc} m	L_c m
35 000	1,00	1,30	1,5
40 000	1,10	1,40	1,5
45 000	1,20	1,50	1,5
50 000	1,30	1,60	1,5
55 000	1,40	1,70	2,0
60 000	1,50	1,85	2,0
65 000	1,60	2,00	2,5
70 000	1,75	2,15	2,5
75 000	1,90	2,30	2,5

**Table C.2 - Foundation depth for slab-on-ground floor without ground insulation:
coarse-grained soils**

F_d K·h	H_f m	H_{fc} m	L_c m
35 000	1,20	1,60	1,5
40 000	1,30	1,70	1,5
45 000	1,40	1,80	1,5
50 000	1,50	2,00	1,5
55 000	1,60	2,10	2,0
60 000	1,70	2,25	2,0
65 000	1,80	2,40	2,5
70 000	2,05	2,55	2,5
75 000	2,20	2,70	2,5

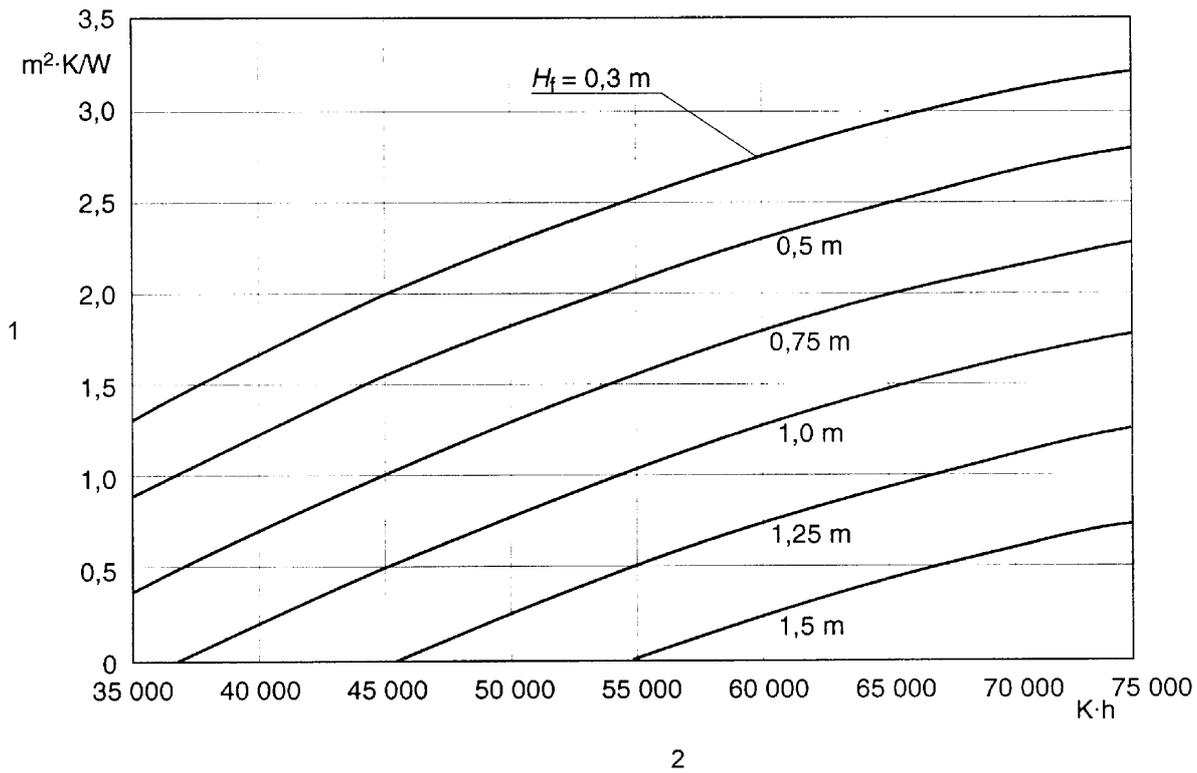
C.2.2 Ground insulation all round the building

The design should conform with 8.3.1, 8.3.2, 8.3.3 and 8.6, and instead of 8.7.3 it should conform with the following. The data apply when the thermal resistance of the floor slab is less than 5 m²·K/W.

The width of the ground insulation b_c , along the walls and at corners, should be at least 0,8 m.

Determine the minimum thermal resistance of the ground insulation along the walls, R_{gw} , according to the foundation depth H_f and the design freezing index F_d from Figure C.2.

At corners the thermal resistance of the ground insulation should be 40 % greater than along the walls, for a distance L_c (from Table C.1 or C.2) from each corner.



Key

- 1 Thermal resistance of ground insulation along walls, R_{gw}
- 2 Design freezing index, F_d

Thermal resistance of floor slab $R_f < 5,0 \text{ m}^2 \cdot \text{K/W}$

Figure C.2 - Thermal resistance of ground insulation along walls

C.3 Buildings with low internal temperature

For poorly heated buildings with $5^\circ\text{C} \leq \theta_{i,m} < 17^\circ\text{C}$, the values of H_f and H_{fc} in Table C.1 should be increased by 0,3 m.

If $\theta_{i,m} < 5^\circ\text{C}$ in any month, the frost protection of the foundations shall be designed as for unheated buildings (see clause 10).

Annex D (informative)

Frost susceptibility of the ground

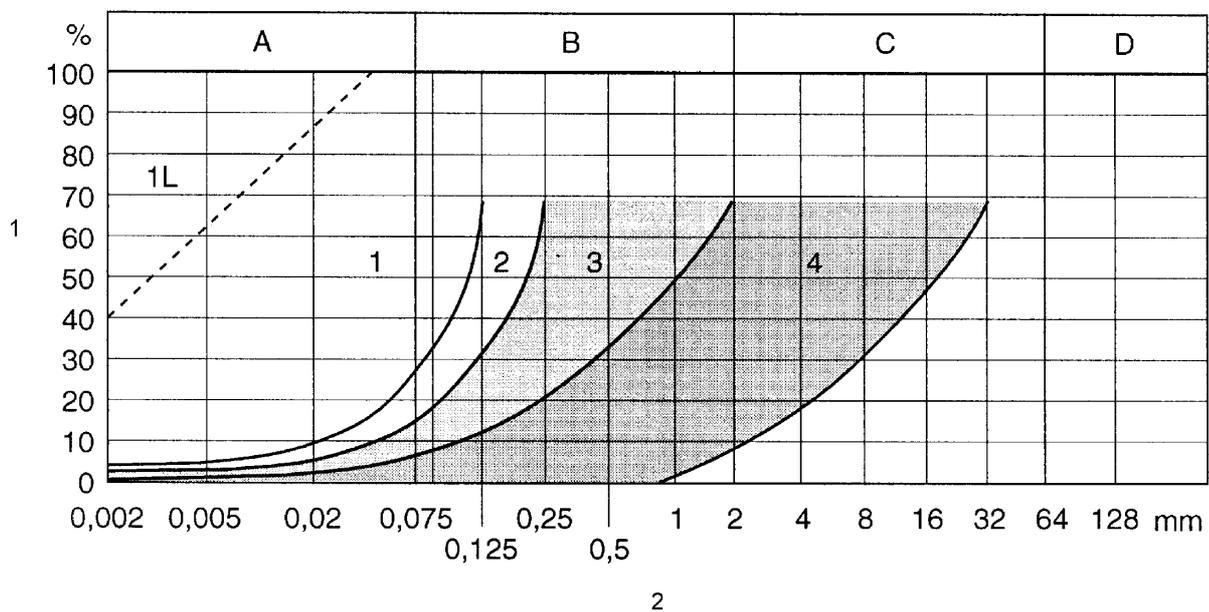
To what extent the ground is susceptible to frost depends both on the properties of the soil material and on local conditions, such as layering and ground water level. Normally a high ground water level, water-containing layers or a mixture of coarse and fine soil layers increases the risk of frost heave.

Frost heave occurs when ice-layers (ice lenses) are created during freezing of the soil below the foundation. This implies a sufficient supply of ground water and sufficiently high capillarity and permeability of the soil. Thus soils with a high content of silt or clay are those giving the greatest risk of frost heave. These types are considered frost-susceptible.

Fat clay (clay content > 40 %) is less susceptible to frost heave due to its low hydraulic conductivity.

In general, a geotechnical examination of the ground conditions at the building site to the depth of frost penetration is necessary.

A rough assessment of the frost susceptibility of a soil can be obtained on the basis of grain size distribution, as illustrated in Figure D.1, which shows the percentage of grains passing through sieves of different sizes.



Key

- 1 % through sieve
- 2 Size of sieve
- A Silt
- B Sand
- C Gravel
- D Stones

Figure D.1 - Estimation of frost susceptibility of the basis of grain size distribution

With reference to Figure D.1:

- 1) if the grain size distribution is such that grains of size less than 0,02 mm comprise less than 3 % of the soil, the soil is normally non-susceptible to frost;
- 2) if the grain size curve lies completely within region 1, the soil is always frost-susceptible (except for the "fat clay" region 1L where the frost susceptibility is low);
- 3) if the grain size curve falls completely inside regions 2, 3 or 4, the soil is non-susceptible to frost, provided that in the case of region 2 the capillary rise is also checked and is less than 1 m;
- 4) if the lower part of the grain size curve permanently passes the boundary of the next region on the finer side, the soil is frost-susceptible;
- 5) it is necessary to examine borderline cases using more exact methods.

The grain size distribution can be used in this way to classify the soil as either frost-susceptible or non-susceptible to frost. Borderline cases which do not fall precisely into either of these two limiting classifications should either be regarded as frost-susceptible for the purposes of design, or the frost susceptibility should be determined by laboratory tests or by representative frost-heave observations *in-situ*.

Further information about frost susceptibility and testing methods may be found in [3] to [6] in Bibliography.

Annex E (informative)

Worked examples

The procedures given in the standard are illustrated for a building 12 m long and 8 m wide in the following climate:

- design freezing index $F_{50} = 47\,000$ K·h,
- annual mean external temperature $\bar{\theta}_e = 1,5$ °C.

E.1 No frost insulation

The foundation depth is to be at least the maximum frost depth, according to clause 7. Using equation (1),

$$H_0 = \sqrt{\frac{7200 \times 47\,000 \times 2,5}{(150 + 3 \times 1,5) \times 10^6}} = 2,34 \text{ m}$$

The foundation depth is therefore 2,34 m (all round the building). This depth applies irrespective of any insulation of the floor. It is valid for both heated and unheated buildings, and for both slab-on-ground floors and suspended floors (although, in the case of a slab-on-ground floor below an unheated building, the slab itself would not be protected against frost heave damage).

E.2 Slab-on-ground floor using frost insulation

The floor will be insulated with all-over insulation of thermal resistance $R_f = 3,0$ m²·K/W.

a) Using vertical edge insulation only

Using Table 2, the thermal resistance of the vertical edge insulation will be at least 1,9 m²·K/W (interpolating between 1,7 m²·K/W and 2,0 m²·K/W), extending to at least 0,6 m below ground level.

The minimum foundation depth is then found using Table 3:

- along the walls, 0,75 m;
- for a distance of 1,5 m from each corner, 1,30 m.

b) Ground insulation at corners

Vertical edge insulation, of resistance at least 1,9 m²·K/W, is applied all round the building, extending to at least 0,6 m below ground level, as in a). From Table 4, the foundation depth is 0,75 m all round the building, and ground insulation 0,6 m wide of thermal resistance 1,0 m²·K/W is applied over a distance of 1,5 m from each corner.

c) Ground insulation all round the building

Using 8.6.3, the foundation depth can be 0,4 m all round the building, provided that:

- vertical edge insulation of thermal resistance not less than $1,9 \text{ m}^2\cdot\text{K}/\text{W}$ is applied all round the building, as in a) and b), but in this case extending to the lower surface of the ground insulation (typically 0,3 m to 0,4 m);
- along the walls, ground insulation is applied: to use Figure 5, either the thermal resistance of the ground insulation or its width is chosen (within the limits indicated on Figure 5), and the other parameter is determined from the Figure; suppose that ground insulation of thermal resistance $1,4 \text{ m}^2\cdot\text{K}/\text{W}$ will be used: in that case using Figure 5 its width is to be at least 650 mm;
- near the corners additional ground insulation is needed: again, either its thermal resistance or its width can be chosen; suppose that ground insulation of thermal resistance $2,0 \text{ m}^2\cdot\text{K}/\text{W}$ will be used near the corners: then using Figure 4 its width is to be at least 800 mm, and from Table 5 the corner insulation is to be continued for 1,5 m from each corner.

Figure E.1 illustrates the design for this case.

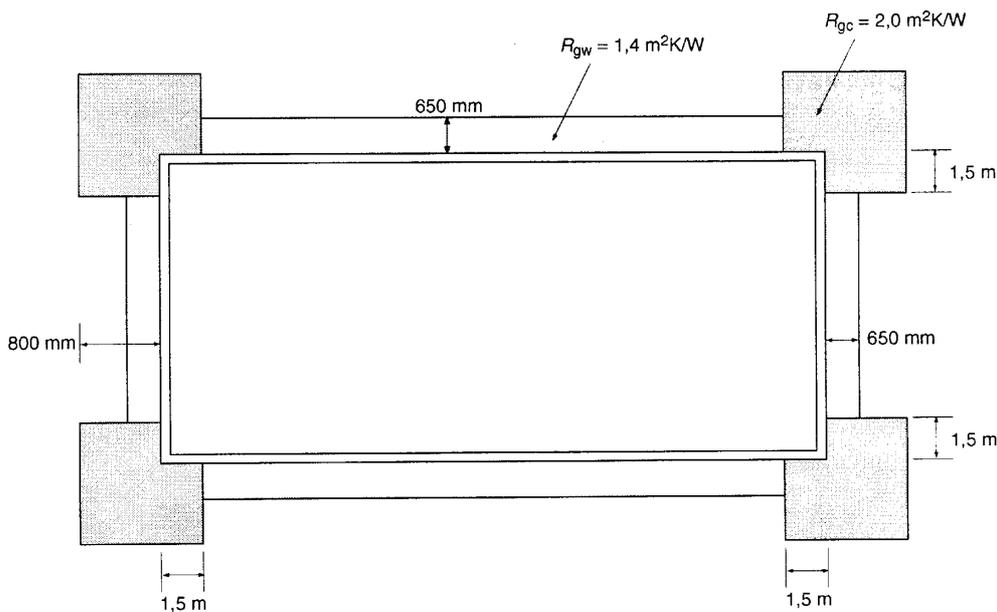


Figure E.1 - Illustration of the foundation insulation for example E.2 c)

E.3 Suspended floor

a) Using vertical edge insulation only

From Table 6, the thermal resistance of the foundation walls above ground, and of vertical edge insulation below ground, is to be at least $1,2 \text{ m}^2\cdot\text{K}/\text{W}$, extending to at least 0,6 m below ground. The length of the building is less than three times its width, so it is regarded as short. From Table 8 the foundation depth is:

- 1,10 m for $R_f = 2 \text{ m}^2\cdot\text{K}/\text{W}$
- 1,65 m for $R_f = 4 \text{ m}^2\cdot\text{K}/\text{W}$

and interpolation between these values for $R_f = 3 \text{ m}^2\cdot\text{K/W}$ gives a minimum foundation depth of 1,40 m all round the building.

b) Using ground insulation

Vertical edge insulation, of thermal resistance at least $1,2 \text{ m}^2\cdot\text{K/W}$, is applied all round the building, as in a), but in this case extending to the lower surface of the ground insulation. Different possibilities can then be deduced from Table 9:

- for a foundation depth of 1,25 m (all round the building), the ground insulation is 1,0 m wide and its thermal resistance is at least $1,0 \text{ m}^2\cdot\text{K/W}$ along the walls and $1,4 \text{ m}^2\cdot\text{K/W}$ within 1,5 m from each corner;
- for a foundation depth of 0,50 m (all round the building), the ground insulation is 1,0 m wide and its thermal resistance is at least $2,5 \text{ m}^2\cdot\text{K/W}$ along the walls and $3,5 \text{ m}^2\cdot\text{K/W}$ within 1,5 m from each corner.

E.4 Unheated building using frost insulation

If the building may be unheated during the winter, the design of the foundation is in accordance with the data in clause 10.

From Table 10, the width of the ground insulation needs to be at least 2,28 m (interpolating between 2,00 m and 2,40 m).

The annual mean external air temperature is $1,5^\circ\text{C}$: the column for 1°C in Tables 11 and 12 will be used to provide a safety margin.

For a foundation depth of $H_f = 0,4 \text{ m}$, $R_g = 5,3 \text{ m}^2\cdot\text{K/W}$ by interpolation between freezing indexes of 40 000 and 50 000 in Table 11.

For a foundation depth of $H_f = 1,0 \text{ m}$, $R_g = 2,9 \text{ m}^2\cdot\text{K/W}$ by interpolation between freezing indexes of 40 000 and 50 000 in Table 12.

The necessary thermal resistance of ground insulation for intermediate foundation depths can be obtained by linear interpolation between the values of $5,3 \text{ m}^2\cdot\text{K/W}$ and $2,9 \text{ m}^2\cdot\text{K/W}$. Thus, for a foundation depth of 0,6 m, R_g will be at least $4,5 \text{ m}^2\cdot\text{K/W}$.

For unheated buildings, the same ground insulation (in terms of both width and thermal resistance) is placed all round the building.

Bibliography

- [1] E J Gumbel. *Statistics of extremes*. Columbia University Press, New York, 1958. (In English).
- [2] R S Heiersted. *Statistisk bestemmelse av klimapåkjenninger* (Statistical treatment of climatic loads on constructions), *Frost i jord*, 19, December 1977. (In Norwegian).
- [3] ENV 1997-2. *Eurocode 7: Geotechnical design – Part 2: Design assisted by laboratory testing*.
- [4] *Report of ISSMFE Technical Committee on Frost (TC-8)*, International Society of Soil Mechanics and Foundation Engineering, 1989. (In English).
- [5] *Pohjarakennusohjeet* (Instructions for ground construction), publication RIL 121-1988, Finnish Union of Civil Engineers, Helsinki, 1988. (In Finnish).
- [6] *Talonrakennuksen Routasuojausohjeet* (Instructions for frost protection in building construction), Technical Research Centre of Finland, Helsinki, 1987. (In Finnish).

Приложение Д.А

(справочное)

Перевод международного стандарта ISO 13793:2001 на русский язык**1 Область применения**

В данном стандарте рассматриваются простые методы теплового расчета фундаментов зданий с целью предотвращения пучения при промерзании.

Данный стандарт действителен для фундаментов, расположенных на легко промерзающем грунте, и касается зданий с полами из «плит по грунту» и зданий с подвесными полами. Стандарт распространяется на обогреваемые и необогреваемые здания, исключая другие ситуации, требующие защиты от промерзания (например, дороги, водопроводы в земле). Стандарт не касается холодных складов и катков.

Данный стандарт действителен для климатических условий, в которых средняя годовая температура воздуха превышает 0°C, но он не распространяется на зоны вечной мерзлоты, в которых средняя годовая температура воздуха ниже 0°C.

2 Нормативные ссылки

С помощью датированных и недатированных ссылок данный Европейский стандарт содержит определенные положения из других публикаций. Данные нормативные ссылки приводятся в соответствующих местах в тексте с последующим указанием публикаций. Что касается датированных ссылок, последующие поправки или редакции данных публикаций применяются для настоящего Европейского стандарта только в том случае, если они включены в него в виде поправок или редакций. Для недатированных ссылок применяется последняя редакция публикации, на которую приводится ссылка (включая поправки).

ISO 6946 Составные части здания и конструктивные элементы – Тепловое сопротивление и коэффициент теплового пропускания – Метод расчета

ISO 7345 Тепловая изоляция – Физические величины и определения

ISO 10211-1 Тепловые мосты в конструкции здания – Тепловые потоки и поверхностные температуры – Часть 1: общие методы расчета

ISO 10456 Строительные материалы и изделия – Методы определения заявленных и расчетных тепловых значений

3 Определения, условные обозначения и единицы измерения

3.1 Термины и определения

В рамках данного стандарта используются термины и определения из ISO 7345 и следующее.

3.1.1

плита по грунту

конструкция пола непосредственно на грунте

3.1.2

подвесной пол

конструкция пола над грунтом, в результате чего между полом и грунтом образуется воздушное пространство

ПРИМЕЧАНИЕ. Данное воздушное пространство, которое называется также подпольным пространством или техническим (полупроходным) пространством, может быть вентилируемым или невентилируемым; оно не является частью жилого пространства.

3.1.3

верхняя изоляция по краю

вертикальная изоляция изнутри и/или снаружи фундамента, или в самом фундаменте

3.1.4

изоляция грунта

горизонтальная (или почти горизонтальная) изоляция ниже уровня земли с внешней стороны здания

ПРИМЕЧАНИЕ. См. рис.1.

3.1.5**показатель промерзания**

величина, в 24 раза превышающая сумму разности между 0°C и дневной средней температурой воздуха, накопленную на повседневной основе в течение морозного сезона (включая и положительную, и отрицательную разность)

3.1.6**морозный сезон**

сезон, в течение которого средняя дневная температура наружного воздуха остается ниже 0°C вместе с периодами замерзания/оттаивания с любой стороны данного сезона, если они приводят к чистому замерзанию

3.1.7**глубина промерзания**

глубина, на которую промерзает грунт

3.1.8**глубина заложения фундамента**

глубина фундамента ниже уровня наружной земли

ПРИМЕЧАНИЕ. Если фундамент находится на слое хорошо просушенного материала, который невосприимчив к морозу, толщина данного слоя может включаться в глубину фундамента.

3.1.9**легко промерзающий грунт**

тип грунта, который может вызвать образование сил пучения при промерзании как части почвы

3.1.10**положение изоляции пола**

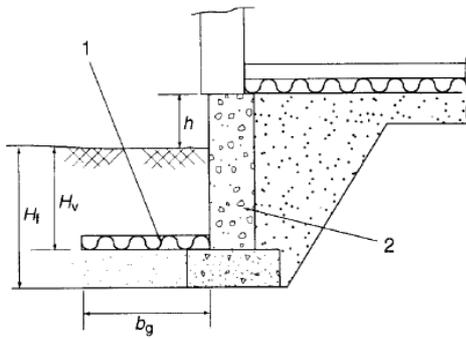
высота нижней поверхности изоляционного слоя пола над поверхностью земли снаружи

ПРИМЕЧАНИЕ. Если изоляция пола отсутствует, данная величина измеряется от поверхности пола.

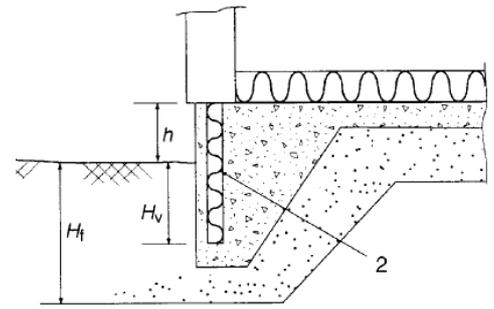
3.2 Условные обозначения и единицы измерения

Ниже приведен список основных используемых условных обозначений. Другие условные обозначения поясняются по мере их использования в тексте.

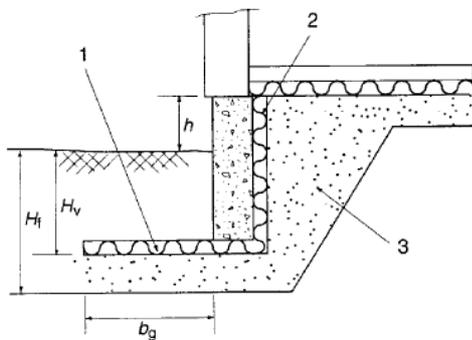
Символ	Значение	Ед.изм.
B	ширина (меньший размер) здания	м
b_g	ширина изоляции грунта, измеренная от наружного края основания фундамента	м
b_{gc}	ширина изоляции грунта в углу	м
b_{gw}	ширина изоляции грунта вдоль стены	м
F_d	расчетный показатель промерзания	К·ч
F_n	показатель промерзания, который статистически превышает один раз в период из n -ого количества лет	К·ч
H_0	максимальная глубина промерзания ненарушенного грунта без	м
H_f	глубина фундамента для стен	м
H_{fc}	глубина фундамента для углов	м
H_v	глубина вертикальной изоляции по краю	м
h	положение изоляции пола	м
L_c	длина угловой изоляции (измеренная вдоль наружной поверхности стены)	м
R_f	тепловое сопротивление конструкции пола (среднее значение для 1 м крайнего участка пола)	м ² ·К/Вт
R_v	тепловое сопротивление вертикальной изоляции по краю	м ² ·К/Вт
R_g	тепловое сопротивление изоляции грунта	м ² ·К/Вт
R_{gc}	тепловое сопротивление изоляции грунта на углу	м ² ·К/Вт
R_{gw}	тепловое сопротивление изоляции грунта вдоль стены	м ² ·К/Вт
θ_e	годовая средняя температура наружного воздуха	°С
$\theta_{i,m}$	средняя температура внутреннего воздуха за месяц m	°С



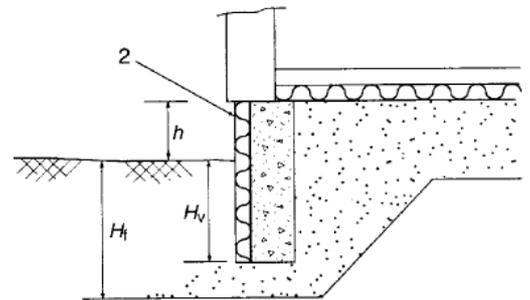
а) Фундаментная стена из легковесного бетона с изоляцией грунта



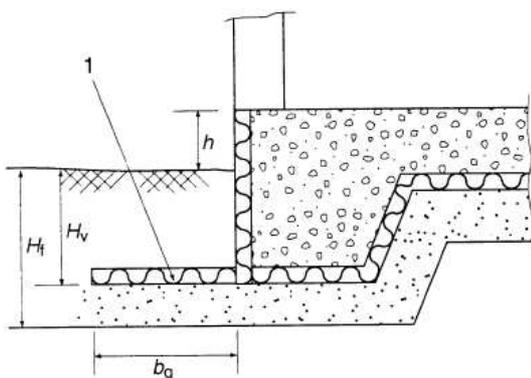
б) Плита перекрытия пола с краевой балкой



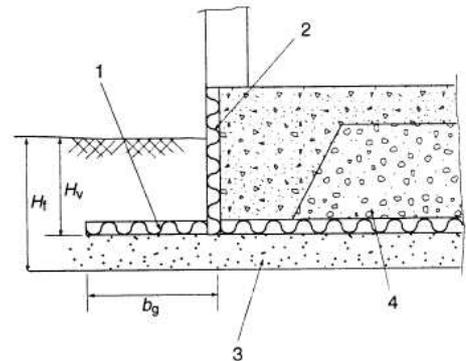
с) Бетонная фундаментная стена с изоляцией грунта и внутренней вертикальной изоляцией по краю



д) Бетонная фундаментная стена с наружной вертикальной изоляцией по краю



е) Сплошная конструкция с изоляцией грунта и вертикальной изоляцией по краю



ф) Сплошная конструкция на подушке из щебня (в этом случае $h < 0$ и поэтому она не учитывается)

Условные обозначения:

1 - Изоляция грунта

2 - Вертикальная изоляция по

3 - Грунт, нечувствительный к краю
морозу

4 - Подушка из щебенки с
вентиляцией изнутри

ПРИМЕЧАНИЕ. На данных рисунках показаны тепловые режимы, которые не должны рассматриваться как конструктивные данные.

Рис.1 – Примеры вертикальной изоляции и изоляции грунта фундаментных конструкций

4 Принципы проектирования

Грунт считается полностью замерзшим, если замерзла вся вода, содержащаяся в нем. Предполагается, что это происходит в тот момент, когда температура грунта достигает -1°C (см. Приложение D). Информация из разделов 8-10 используется тогда, когда нужно спроектировать фундамент так, чтобы исключить полное замерзание грунта под фундаментом в течение расчетной зимы. В Приложении С приводятся альтернативные данные, исходя из критерия 0°C . Один из четырех следующих способов может использоваться для достижения данного расчетного режима:

1) рассчитать глубину фундамента так, чтобы она оказалась больше глубины полного промерзания грунта;

2) снять слой легко промерзающего грунта с места планируемого заложения фундамента на такую же глубину, как и в 1), а вместо него использовать хорошо просушенный материал, нечувствительный к морозу;

3) изолировать фундамент для сокращения тепловых потерь из грунта под фундаментом, что будет препятствовать замерзанию грунта;

4) использовать тепловые потери здания или прибегнуть к специальному нагреванию для поддержания грунта под фундаментом в незамерзающем состоянии.

В рамках данного стандарта пункты 1) и 2) считаются эквивалентными и рассматриваются в разделе 7. Более того, принимаемым решением может быть комбинация пунктов 2), 3) и 4). Т.е. толщина любого слоя под фундаментом, нечувствительного к морозу, может включаться в глубину фундамента H_f для определения, в рамках данного стандарта, нужна ли защита от промерзания и, если нужна, какая теплоизоляция должна использоваться.

ПРИМЕЧАНИЕ 1. Если выбирается опция 4), для ограничения тепловых потерь, обычно требуется комбинация с 3).

Изоляцию, предусмотренную опциями 3) и 4), можно определить:

а) с помощью таблиц и графических представлений данного стандарта (см. раздел 8, 9 или 10 в зависимости от типа здания), или

б) с помощью численных расчетов в соответствии с положениями Приложения В.

Допускается также использование комбинации а) и б), например, для определения нужной изоляции на углах, с а) и (двухразмерными) численными расчетами для определения нужной изоляции в других местах.

Проектирование фундаментов согласно разделам 8-10 не предусматривает учет тепла от систем обогрева пола, обогревательных кабелей в земле и т.д. Если данные тепловые потоки должны учитываться, используйте методы численных расчетов.

ПРИМЕЧАНИЕ 2. Если в таких ситуациях используются принципы проектирования согласно разделам 8-10, в отношении пучения при замерзании появится дополнительный порог безопасности, а может и дополнительные потери тепла.

Проектирование фундаментов должно быть направлено также на предотвращение смерзания грунта, что поможет исключить пучение при промерзании посредством передачи сил сдвига, когда, например, слой нечувствительного к морозу материала примыкает к стенам фундамента или подвала.

Если оболочка здания не завершена и/или здание не обогревается перед сезоном морозов, необходимо предпринять дополнительные меры по изоляции и защите фундаментов.

ПРИМЕЧАНИЕ 3. Для обеспечения такой дополнительной защиты, фундаменты можно спроектировать как для необогреваемых зданий, используя расчетный показатель промерзания для временных конструкций (см. 6.1).

Ниже перечислены параметры, имеющие отношение к защите от промерзания:

- климат, в частности, показатель промерзания, а также годовая средняя температура;
- чувствительность грунта к морозу;
- тепловые свойства замерзшего и незамерзшего грунта;
- теплоизоляция пола;
- внутренняя температура в здании;

СТБ ISO 13793-2009

– геометрия, особенно, габариты здания и тип фундамента.

ПРИМЕЧАНИЕ 4. Снежный покров способствует уменьшению глубины промерзания, но так как снежный покров не может быть обеспечен для целей проектирования, он не принимается в расчет при определении критерия проектирования.

Некоторые примеры приведены на рис.1.

5 Характеристики материалов

5.1 Характеристики грунта

Если геотехнические исследования не определили иное, грунт считается чувствительным к морозу.

ПРИМЕЧАНИЕ 1. Данные о чувствительности к морозу приведены в Приложении D.

Данный стандарт основан на однородном грунте, состоящем из легко промерзающей почвы со следующими характеристиками:

Теплопроводность (незамерзшего	$\lambda = 1,5 \text{ Вт}/(\text{м}\cdot\text{К})$
Теплопроводность (замерзшего грунта)	$\lambda_f = 2,5 \text{ Вт}/(\text{м}\cdot\text{К})$
Объемная теплоемкость (незамерзшего	$C = 3 \times 10^6 \text{ Дж}/(\text{м}^3\cdot\text{К})$
Объемная теплоемкость (замерзшего	$C_f = 1,9 \times 10^6 \text{ Дж}/(\text{м}^3\cdot\text{К})$
Скрытое тепло замерзания на куб.метр	$L = 150 \times 10^6 \text{ Дж}/\text{м}^3$
Плотность сухого грунта	$\rho = 1350 \text{ кг}/\text{м}^3$
Содержание воды (степень	$w = 450 \text{ кг}/\text{м}^3$

Для большинства типов грунтов, чувствительных к морозу, глубина промерзания рядом со зданием немного отличается от глубины, определенной с помощью указанных выше значений. Однако, если действительные характеристики грунта будут значительно отличаться от характеристик, указанных выше, необходимо использовать методы численного расчета в соответствии с Приложением В.

ПРИМЕЧАНИЕ 2. В общем, расчетные данные разделов 8-10 могут применяться к грунтам с плотностью в сухом состоянии от 1100 кг/м³ до 1600 кг/м³ и водонасыщением более 80%.

ПРИМЕЧАНИЕ 3. Если используется изоляция грунта, релевантными характеристиками обладает тот грунт, который находится в непосредственной близости от здания. Если изоляция грунта не используется, важными могут оказаться

характеристики засыпного материала, в частности, если зона засыпки имеет относительно большую ширину. Засыпной материал (хорошо просушенный для предотвращения смерзания) может способствовать местному увеличению глубины промерзания ввиду отсутствия воды в грунте и соответствующего скрытой теплоты.

5.2 Характеристики строительных материалов

В отношении теплового сопротивления любого строительного материала, используйте соответствующие расчетные значения, полученные методом вычисления согласно ISO 10456 или взятые из таблицы. Тепловое сопротивление материалов, используемых ниже уровня земли, должно отражать и влажностные условия области применения.

ПРИМЕЧАНИЕ. Влажностные условия могут зависеть от того, будет здание обогреваться или нет, но чаще всего они имеют важное значение для необогреваемых зданий.

Если указывается теплопроводность, тепловое сопротивление необходимо вывести как толщину, разделенную на теплопроводность. Используемая толщина позволит любое уплотнение материала, если применимо.

Убедитесь, что любой изоляционный материал, подвергающийся воздействию сжимающих нагрузок, обладает адекватной прочностью на сжатие и соответствующими характеристиками деформации.

Если требуется защитная изоляция грунта, убедитесь, что она находится на месте и не повреждена после завершения строительства здания. Сообщите пользователю здания о местоположении изоляции грунта и о её назначении.

6 Климатические условия

6.1 Расчетный показатель промерзания

Изоляция, требующаяся для защиты от промерзания, зависит от суровости расчетной зимы, которая выражается через показатель промерзания и среднюю годовую температуру наружного воздуха.

Расчетный показатель промерзания F_d выражается через величину F_n , значение показателя промерзания, которое статистически превышает за n -ое количество лет в данном регионе, исходя из зарегистрированных метеорологических данных с расчетом согласно Приложению А. Величина F_n имеет 1 в n вероятность превышения для данной зимы.

СТБ ISO 13793-2009

Выбрав n , F_n можно вывести из таблиц или карт, составленных для данного региона.

Соответствующее значение n касается предполагаемого срока службы здания и его чувствительности к пучению при замерзании.

Для капитальных конструкций используйте F_{100} или F_{50} .

ПРИМЕЧАНИЕ. В практических целях F_{100} и F_{50} могут считаться эквивалентными, так как разница между ними очень малая и использовать можно любого из них (в зависимости от наличия).

При проектировании зданий, которые могут выдерживать некоторые движения, или при расчете временных зданий, можно использовать более низкий показатель промерзания (например, F_{20} , F_{10} , F_5).

6.2 Глубина промерзания в ненарушенном грунте

Самая большая глубина промерзания в ненарушенном грунте (т.е. в грунте, незащищенном зданиями, снежным покровом или растительностью) зависит от климатических условий (показателя промерзания и средней годовой температуры воздуха), а также от тепловых характеристики грунта.

ПРИМЕЧАНИЕ. Расчетные значения максимальной глубины промерзания в ненарушенном, однородном, морозо-чувствительном грунте без снежного покрова, H_0 , можно найти для некоторых регионов в национальных картах или таблицах.

Если значение H_0 неизвестно, приблизительное значение можно рассчитать с помощью следующего уравнения:

$$H_0 = \sqrt{\frac{7200 F_d \lambda_f}{L + C \theta_e}} \quad (1)$$

где:

F_d – расчетный показатель промерзания, в К·ч;

λ_f – теплопроводность замерзшего грунта, Вт/(м·К);

L – скрытая теплота замерзающей воды в грунте на объем грунта, в Дж/м³;

C – объемная теплоемкость незамерзшего грунта, в Дж/(м³·К);

θ_e – годовая средняя температура наружного воздуха, в °С.

Если данные о соответствующем грунте отсутствуют, используйте данные в 5.1.

7 Глубина фундаментов, превышающая глубину промерзания ненарушенного грунта

Фундаменты любого здания могут рассчитываться таким образом, что глубина промерзания, H_f , составит, по крайней мере, максимальную глубину промерзания в ненарушенном грунте без снега, H_0 .

Если $H_f \geq H_0$, фундаменты считаются адекватно защищенными от пучения при промерзании и не требуют ни изоляции грунта, ни изоляции края.

Если фундаменты расположены на слое хорошо просушенного материала, нечувствительного к морозу, толщина такого слоя может включаться в значение H_f .

ПРИМЕЧАНИЕ. Для климатических условий с $H_d < 2000$ К·ч, данное условие применяется для глубины фундамента 0,45 м или больше.

Если $H_f < H_0$, обратитесь к разделам 8-10 или проведите численные расчеты согласно Приложению В.

8 Полы из плит по грунту для обогреваемых зданий

8.1 Область применения

Данный раздел касается фундаментов, для которых $H_f < H_0$, а также:

а) зданий, в которых средняя внутренняя температура воздуха по всему зданию каждый месяц составляет, по крайней мере, 17°C (т.е. $\theta_{i,m} \geq 17^\circ\text{C}$ для всех значений m);

б) зданий, некоторые части которого обогреваются, а некоторые нет при условии, что температура в обогреваемых частях $\theta_{i,m} \geq 17^\circ\text{C}$ для всех значений m , а необогреваемые части поддерживаются согласно 8.5;

с) здания, в которых $5^\circ\text{C} \leq \theta_{i,m} < 17^\circ\text{C}$ с модификациями согласно 8.8.

Если $\theta_{i,m} < 5^\circ\text{C}$ в какой-либо месяц, теплоизоляция фундаментов должна рассчитываться как для необогреваемых зданий (см. раздел 10).

Данные на базе расчетного критерия 0°C ниже фундаментов приведены в Приложении С.

8.2 Общие принципы

Во всех случаях необходимо обеспечить вертикальную изоляцию по краю согласно 8.6.

СТБ ISO 13793-2009

Тепло из здания поднимает температуру грунта по углам меньше, чем вдоль боковых сторон здания. Поэтому для защиты углов могут потребоваться дополнительные меры: либо углубление фундаментов по углам, либо использование дополнительной изоляции.

Для защиты фундаментов от промерзания, в данном разделе предлагаются три опции:

1) использование только вертикальной изоляции, без изоляции грунта: фундаменты закладываются на глубине согласно 8.7.1 (фундаменты по углам должны иметь большую глубину, чем вдоль стен);

2) использование изоляции грунта только по углам, что позволит не углублять фундаменты под ними: т.е. глубина фундамента для углов будет такой же, как и для стен), см. 8.7.2;

3) использование ограниченной глубины фундамента (не менее 0,4 м), одинаковой для всего здания: обеспечить изоляцию грунта вокруг всего здания с определенным увеличением по углам, см. 8.7.3.

Глубина фундамента и/или масштабы изоляции грунта зависят от расчетного показателя промерзания, F_d .

Изоляция пола должна быть рассчитана так, чтобы обеспечить удовлетворительную температуру пола при нормальных энергозатратах (т.е. независимо от проблемы пучения при замерзании).

ПРИМЕЧАНИЕ. Использование вертикальной изоляции по краю и изоляции грунта способствует повышению поверхностной температуры пола и сокращает тепловые потери по краю пола.

8.3 Ограничения

8.3.1 Ширина здания

Глубина фундамента и теплоизоляция от промерзания рассматриваются в данном разделе для зданий, ширина B которых составляет не менее 4 м. Если $B < 4$ м, фундаменты должны рассчитываться либо по глубине, либо с использованием изоляции грунта согласно расчетам для углов, но вокруг всего здания.

8.3.2 Положение изоляции пола

Глубина фундаментов и теплоизоляция от промерзания, рассматриваемые в данном разделе, касается также полов, для которых положение изоляции h не

превышает 0,6 м. Если $h > 0,6$ м, проведите численные расчеты согласно Приложению В или используйте методы расчета для необогреваемых зданий (раздел 10).

8.3.3 Тепловое сопротивление плит пола

Тепловое сопротивление конструкции пола, R_f , это общее тепловое сопротивление между поверхностью пола и грунтом. Оно включает все слои изоляции, находящиеся сверху, снизу или в её пределах, вместе с напольным покрытием. Если пол имеет разное тепловое сопротивление на разных участках своей площади, величину R_f можно взять как среднее значение крайнего участка пола длиной 1 м.

Глубина фундаментов и теплоизоляция от промерзания, рассматриваемые в данном разделе, касается плит перекрытия, величина R_f которых не превышает $5\text{ м}^2\cdot\text{К}/\text{Вт}$. Если $R_f > 5\text{ м}^2\cdot\text{К}/\text{Вт}$, проведите численные расчеты согласно Приложению В или используйте методы расчета для необогреваемых зданий (раздел 10).

8.4 Изоляция грунта

Изоляция грунта должна быть защищена от механических повреждений. Верхняя поверхность любой изоляции грунта должна находиться, по крайней мере, на 300 мм ниже уровня земли; если земля имеет дорожное покрытие, глубину заложения изоляции можно уменьшить до 200 мм.

Данные о ширине изоляции грунта, b_g , b_{gw} и b_{gc} , предполагают, что эта ширина измеряется от крайней торцевой поверхности фундамента.

ПРИМЕЧАНИЕ. Возможно, общую ширину изоляции грунта нужно будет изменить так, чтобы она превышала b_g , если основание выступает за пределы фундаментной стены, как на рис.1а.

Если изоляция грунта используется вместе с изоляцией по внутреннему краю, постарайтесь избежать образования теплового моста, для чего изоляцию грунта нужно продолжить под фундаментом до вертикальной изоляции (см. рис.1с).

Убедитесь, что изоляция грунта не имеет прерываний, что она адекватно защищена от воздействия повышенной влаги с выступов крыши и стеков. При этом изоляция грунта должна находиться на слое хорошо просушенного материала.

8.5 Неотображаемые части здания

8.5.1 Общие положения

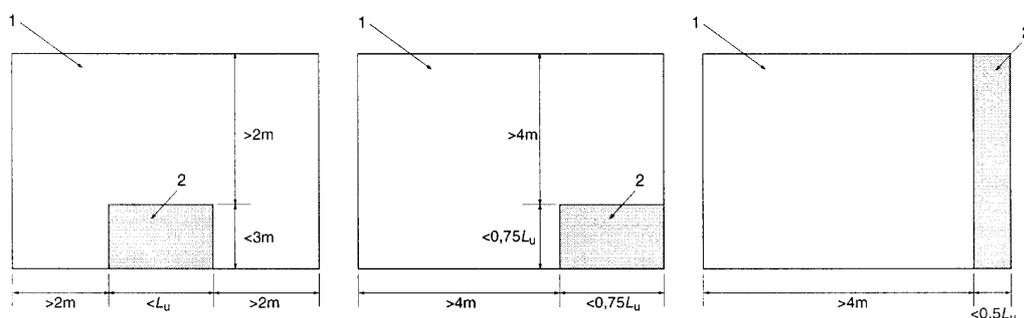
Если некоторые части здания не обогреваются, к обогреваемым частям могут применяться процедуры из разделов 8.6 и 8.7 при условии, что неотображаемые части здания имеют теплоизоляцию согласно 8.5.2 или 8.5.3 (в зависимости что подходит).

8.5.2 Здание с ограниченными неотображаемыми участками

Величина неотображаемых частей здания может считаться ограниченной, если их размеры не превышают размеры, указанные на рис.2, где параметр L_u представлен как функция расчетного показателя промерзания в таблице 1.

Таблица 1 – Максимальная неотображаемая длина L_u для ограниченной неотображаемой части

F_d (К·ч)	$\leq 30\,000$	от $> 30\,000$ до $40\,000$	от $> 40\,000$ до $50\,000$	$> 50\,000$
L_u (м)	3,0	2,5	2,0	1,5



Условные обозначения:

- 1 – Обогреваемая часть
- 2 – Неотображаемая часть

Рис.2 – Определение ограниченной неотображаемой части плит перекрытия пола

ПРИМЕЧАНИЕ. L_u – это максимальная длина неотображаемой части, окруженной с трех сторон обогреваемыми участками здания. В других случаях максимальная длина составляет менее L_u , как показано на рис.2.

Для ограниченных неотображаемых участков:

- изолируйте пол необогреваемой части так, чтобы тепловое сопротивление пола равнялось, по крайней мере, минимальному сопротивлению грунта, R_g , для необогреваемых зданий согласно 10.2 (таблица 11 или 12);
- по внешнему периметру необогреваемой части используйте вертикальную изоляцию по краю согласно 8.6;
- если необогреваемая часть окружена с трех сторон обогреваемыми частями здания (рис.2а): используйте тепловую изоляцию от промерзания как для углов согласно 8.7 по внешнему периметру необогреваемой части на расстоянии L_c до каждой её стороны, где значения L_c представлены как функция показателя промерзания из таблицы 5;
- если необогреваемая часть окружена только с одной или двух сторон обогреваемыми частями здания (рис.2b и 2с): по внешнему периметру необогреваемой части на расстоянии L_c до каждой её стороны используйте изоляцию грунта шириной $0,5b_g$ с b_g согласно 10.2 (таблица 10) и тепловым сопротивлением R_g как для необогреваемых зданий согласно 10.2 (таблица 11 или 12), где значения L_c представлены как функция расчетного показателя промерзания из таблицы 5;
- исключите тепловые мосты на внутреннем периметре необогреваемого участка.

8.5.3 Здание с более обширными необогреваемыми участками

Если какой-либо участок здания не может рассматриваться как ограниченный, так как его размеры превышают размеры, указанные на рис.2, рассматривайте обогреваемые и необогреваемые части как отдельные здания с соответствующим проектированием фундаментов. При этом обратите внимание на то, что расчет для необогреваемой части должен быть продолжен на расстояние L_c до соприкосновения с обогреваемой частью, где значения L_c представлены как функция расчетного показателя промерзания из таблицы 5.

8.6 Вертикальная изоляция по краю

Во всех случаях должна быть обеспечена вертикальная изоляция по краю с тепловым сопротивлением R_v , величина которого должна, по крайней мере, равняться значениям, указанным в таблице 2. Промежуточные значения можно получить с помощью линейной интерполяции.

Таблица 2 – Минимальное тепловое сопротивление вертикальной изоляции для полов из плит «по грунту», R_v (в $\text{м}^2 \cdot \text{К}/\text{Вт}$)

R_f в $\text{м}^2 \cdot \text{К}/\text{Вт}$, h в м

F_d К.ч	$0,0 < R_f \leq 1,0$		$1,0 < R_f \leq 2,6$		$2,6 < R_f \leq 5,0$	
	$h \leq 0,3$	$0,3 < h \leq 0,6$	$h \leq 0,3$	$0,3 < h \leq 0,6$	$h \leq 0,3$	$0,3 < h \leq 0,6$
5 000	-	-	0,5	0,8	0,8	1,0
10 000	0,5	0,8	1,0	1,0	1,5	2,0
20 000	0,8	1,0	1,0	1,2	1,5	2,3
30 000	1,0	1,0	1,0	1,3	1,5	2,5
40 000	1,0	1,0	1,2	1,5	1,7	2,7
50 000	1,0	1,2	1,4	1,7	2,0	3,0
60 000	1,2	1,4	1,8	2,1	2,4	3,4
70 000	1,4	1,6	2,1	2,4	2,8	3,6

ПРИМЕЧАНИЕ 1. Допускается использование значений R_v , превышающих значения, указанные в таблице 2 по причинам минимальных температур поверхности пола или ограничений тепловых потерь.

Необходимую вертикальную изоляцию можно получить посредством использования материала фундамента с низкой тепловой проводимостью (например, легковесный бетон) или посредством использования слоя изоляционного материала с внешней стороны, внутри или с внутренней стороны балки или стены фундамента.

ПРИМЕЧАНИЕ 2. Несмотря на то, что с точки зрения системы защиты от мороза предпочтение отдается внешней изоляции, представленные данные охватывают все указанные выше альтернативы.

Вертикальная изоляция должна начинаться с верхней части изоляции плит и проходить на глубину H_v ниже уровня земли. При этом должны быть исключены тепловые мосты между изоляцией плит, изоляцией стены и вертикальной изоляцией, где:

- без изоляции грунта: $H_v \geq 0,6$ м или полной глубины фундамента, если меньше;
- с изоляцией грунта: H_v – это глубина нижней поверхности изоляции грунта.

8.7 Альтернативные расчеты фундаментов

Расчет фундаментов должен производиться в соответствии с 8.6 и одной из следующих альтернатив.

8.7.1 Фундаменты без изоляции грунта

Глубина фундамента должна составлять:

- у стен: по крайней мере, H_f ;
- рядом с углами и ограниченными необогреваемыми участками на расстоянии L_c от них: по крайней мере, большее значение глубины H_{fc} (если $H_d > 30\,000$ К·ч);

где значения H_f , H_{fc} и L_c представлены в таблице 3 в виде функции расчетного показателя промерзания.

Таблица 3 – Глубина фундамента для пола из плит «по грунту» без изоляции грунта

F_d К·ч	H_f м	H_{fc} м	L_c м
$F_d \leq 30\,000$	0,35	0,35	-
$30\,000 < F_d \leq 35\,000$	0,40	0,60	1,0
$35\,000 < F_d \leq 40\,000$	0,50	0,80	1,0
$40\,000 < F_d \leq 45\,000$	0,60	1,00	1,5
$45\,000 < F_d \leq 50\,000$	0,75	1,30	1,5
$50\,000 < F_d \leq 55\,000$	0,90	1,60	1,5
$55\,000 < F_d \leq 60\,000$	1,10	1,80	2,0
$60\,000 < F_d \leq 65\,000$	1,30	2,00	2,0
$65\,000 < F_d \leq 70\,000$	1,50	2,20	2,5

8.7.2 Изоляция грунта только по углам

Если $F_d \leq 30\,000$ К·ч, изоляция грунта не требуется.

Для более высоких значений F_d , глубина фундамента должна составлять, по крайней мере, H_f вокруг всего здания. При этом изоляция грунта должна использоваться рядом с углами и ограниченными необогреваемыми участками на расстоянии L_c от них, где значения H_f и L_c представлены в таблице 4.

Тепловое сопротивление изоляции заземления должно составлять, по крайней мере, $1,0$ м²·К/Вт, а её ширина должна быть величиной b_{gc} , значения которой приведены в таблице 4. См. также рис.3.

Таблица 4 – Глубина фундамента и изоляция углов для пола из плит «по грунту»

F_d К·ч	H_f м	b_{gc} м	L_c м
$F_d \leq 30\ 000$	0,35	-	-
$30\ 000 < F_d \leq 35\ 000$	0,40	0,50	1,0
$35\ 000 < F_d \leq 40\ 000$	0,50	0,50	1,0
$40\ 000 < F_d \leq 45\ 000$	0,60	0,50	1,5
$45\ 000 < F_d \leq 50\ 000$	0,75	0,60	1,5
$50\ 000 < F_d \leq 55\ 000$	0,90	0,80	1,5
$55\ 000 < F_d \leq 60\ 000$	1,10	0,80	2,0
$60\ 000 < F_d \leq 65\ 000$	1,30	0,80	2,0
$65\ 000 < F_d \leq 70\ 000$	1,50	1,00	2,5

8.7.3 Изоляция грунта вокруг здания

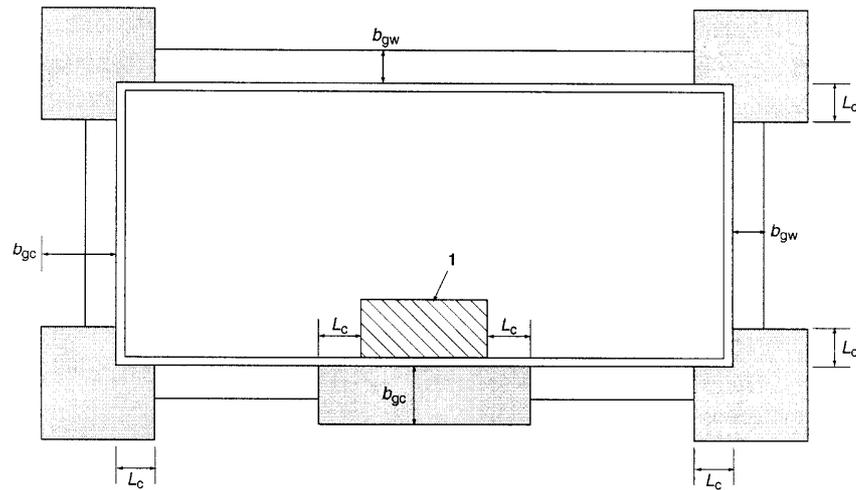
Если $F_d \leq 30\ 000$ К·ч, изоляция грунта не требуется.

Для более высоких значений F_d , глубину фундамента можно уменьшить максимум до 0,4м за счет изоляции грунта вокруг здания.

Если $F_d > 30\ 000$ К·ч, изоляция грунта требуется по углам и на ограниченных необогреваемых участках на расстоянии L_c от них согласно таблице 5. Вам нужно выбрать соответствующую комбинацию теплового сопротивления R_{gc} и ширины b_{gc} изоляции грунта рядом с углами с помощью рис.4 согласно значению F_d .

Если $F_d > 37\ 500$ К·ч, изоляция грунта требуется также и вдоль стен. Вам нужно выбрать соответствующую комбинацию теплового сопротивления R_{gw} и ширины b_{gw} изоляции грунта вдоль стен с помощью рис.5 согласно значению F_d . Затем с помощью рис.4 нужно определить большее значение изоляции грунта для углов и необогреваемых участков. Расстояние изоляция углов должно составлять L_c согласно таблице 5.

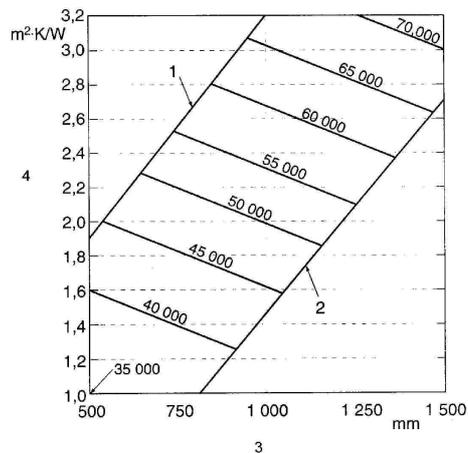
См. также рис.3.



Условные обозначения:

1 – Ограниченный необогреваемый участок (складское помещение, веранда и т.д.)

Рис. 3 – Ширина изоляции грунта



Условные обозначения:

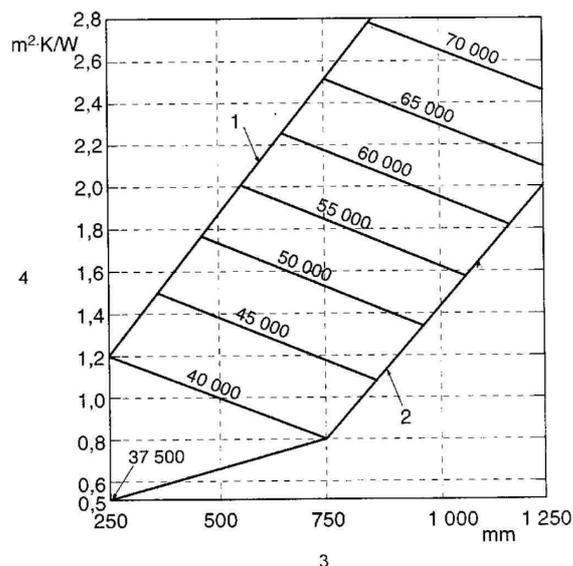
1 – Минимальное значение b_{gc}

2 – Минимальное значение R_{gc}

3 – Ширина изоляции грунта по углам, b_{gw}

4 – Тепловое сопротивление изоляции

Рис.4 – Ширина и тепловое сопротивление изоляции грунта по углам и ограниченным необогреваемым участкам для пола с плитами «по грунту» при $H_f \leq 0,4\text{м}$



Условные обозначения:

- 1 – Минимальное значение b_{gw}
- 2 – Минимальное значение R_{gw}
- 3 – Ширина изоляции грунта вдоль стен, b_{gw}
- 4 – Тепловое сопротивление изоляции грунта

Рис.5 – Ширина и тепловое сопротивление изоляции грунта вдоль стен для пола с плитами «по грунту» при $H_f \leq 0,4$ м

Таблица 5 – Длина угловой изоляции

F_d К.ч	L_c м
$F_d \leq 30\,000$	-
$30\,000 < F_d \leq 35\,000$	1,0
$35\,000 < F_d \leq 40\,000$	1,0
$40\,000 < F_d \leq 45\,000$	1,5
$45\,000 < F_d \leq 50\,000$	1,5
$50\,000 < F_d \leq 55\,000$	1,5
$55\,000 < F_d \leq 60\,000$	2,0
$60\,000 < F_d \leq 65\,000$	2,0
$65\,000 < F_d \leq 70\,000$	2,5

8.8 Здания с низкой внутренней температурой

Для плохо обогреваемых зданий с $5^\circ\text{C} \leq \theta_{i,m} < 17^\circ\text{C}$ могут использоваться значения из 8.7.3, если значение H_f составляет, по крайней мере, 0,6 м вместо 0,4 м. Поочередно увеличить значения H_f в таблице 3 или таблице 4 на 0,2 м.

Если $\theta_{i,m} < 5^{\circ}\text{C}$ за любой месяц, защита фундамента от промерзания должна рассчитываться как для необогреваемых зданий (см. раздел 10).

9 Подвесные полы для обогреваемых зданий

9.1 Обогреваемое подпольное пространство

Данный раздел распространяется на фундаменты, для которых $H_f < H_0$.

Такие же процедуры, как и для полов на плитах «по грунту» с использованием значений параметров согласно разделу 8 могут использоваться для подвесных полов, в которых подпольное пространство либо не вентилируется и является воздухонепроницаемым, либо вентилируется с использованием внутреннего воздуха при условии, что:

- стены в подпольном пространстве изолированы и тепловое сопротивление составляет, по крайней мере, R_v согласно таблице 2, а распространение данной изоляции соответствует условиям 8.6;
- значение R_f , выведенное как сумма тепловых сопротивлений подвешенной части пола и изоляции на основе подвального пространства, не превышает $5,0 \text{ м}^2 \cdot \text{К}/\text{Вт}$.

Убедитесь, что стены фундамента имеют хорошую герметичность и не допускают утечек воздуха.

9.2 Подпольное пространство, вентилируемое с использованием наружного воздуха

9.2.1 Общие положения

Расчет фундаментов может производиться либо без изоляции грунта согласно 9.2.2 или 9.2.3 (в зависимости, что подходит), либо с изоляцией грунта согласно 9.2.4 с учетом следующих ограничений.

- 1) Ширина здания B составляет не менее 4 м.
- 2) Средняя внутренняя температура воздуха за каждый месяц во всех частях здания составляет не менее 17°C .
- 3) Тепловое сопротивление любой изоляции на поверхности грунта у основания подпольного пространства не превышает $0,5 \text{ м}^2 \cdot \text{К}/\text{Вт}$.

4) Тепловое сопротивление подвешенной части пола не превышает $8\text{ м}^2\cdot\text{К}/\text{Вт}$ (без изоляции грунта) или $5\text{ м}^2\cdot\text{К}/\text{Вт}$ (с изоляцией грунта).

5) Тепловое сопротивление фундаментной стены выше уровня наружного грунта составляет не менее соответствующего значения в таблице 6, если нижняя часть пола находится на высоте не более 0,6 м над уровнем наружного грунта.

Если нижняя часть пола находится выше 0,6 м над уровнем наружного грунта, данное тепловое сопротивление нужно увеличить так, чтобы общий тепловой поток, проходящий через фундаментную стену над уровнем наружного грунта, не превышал поток стены высотой 0,6 м с тепловым сопротивлением, указанным в таблице 6.

6) Вертикальная изоляция по краю с тепловым сопротивлением не ниже значений, указанных в таблице 6, обеспечивается на глубину, по крайней мере, 0,6 м, если изоляция грунта отсутствует, или до нижней поверхности изоляции грунта, если таковая имеется.

7) Интенсивность вентиляции подпольного пространства не превышает 2 м^3 на квадратный метр пола в час.

ПРИМЕЧАНИЕ. Описание метода расчета интенсивности вентиляции приводится в EN ISO 13370, *Тепловые характеристики зданий – Передача тепла через грунт – Методы расчета.*

Если какое-либо из данных условий не выполняется, фундаменты необходимо рассчитать как для необогреваемых зданий согласно разделу 10 или использовать численные расчеты в соответствии с Приложением В.

Таблица 6 – Минимальное тепловое сопротивление фундаментных стен выше уровня земли и вертикальной изоляции ниже уровня земли для подвешенных полов

F_d К·ч	R_v $\text{м}^2\cdot\text{К}/\text{Вт}$
$F_d \leq 5\ 000$	0,5
$5\ 000 < F_d \leq 10\ 000$	0,8
$10\ 000 < F_d \leq 20\ 000$	1,0
$20\ 000 < F_d \leq 30\ 000$	1,0
$30\ 000 < F_d \leq 40\ 000$	1,0
$40\ 000 < F_d \leq 50\ 000$	1,2
$50\ 000 < F_d \leq 60\ 000$	1,4
$60\ 000 < F_d \leq 70\ 000$	1,6

9.2.2 Фундаменты без изоляции грунта: длинные здания

Длинное здание – это здание, длина которого в три раза превышает его ширину.

В зависимости от расчетного показателя промерзания, максимальная интенсивность вентиляции подпольного пространства, тепловое сопротивление подвесного пола и глубина заложения фундамента должны составлять:

- для стен: не ниже значений, указанных в таблице 7;
- для углов на расстоянии L_c от них: по крайней мере, большее значение глубины, указанной в таблице 8;

где значения L_c представлены в таблице 5 как функция расчетного показателя промерзания. Линейная интерполяция может использоваться в таблицах 7 и 8 для других значений R_f .

Таблица 7 – Глубина фундамента, в метрах, для подвесных полов: стены длинных зданий

Расчетный показатель промерзания F_d К.ч	Интенсивность вентиляции $\text{м}^3/\text{м}^2\text{ч}$					
	1			2		
	R_f $\text{м}^2 \cdot \text{К}/\text{Вт}$			R_f $\text{м}^2 \cdot \text{К}/\text{Вт}$		
	2	4	8	2	4	8
$F_d \leq 5\,000$	a)	a)	0,50	a)	0,40	0,55
$5\,000 < F_d \leq 10\,000$	a)	0,45	0,70	a)	0,55	0,80
$10\,000 < F_d \leq 15\,000$	a)	0,55	0,85	0,45	0,70	0,95
$15\,000 < F_d \leq 20\,000$	a)	0,65	0,95	0,50	0,80	1,15
$20\,000 < F_d \leq 25\,000$	0,35	0,75	1,10	0,60	0,90	1,25
$25\,000 < F_d \leq 30\,000$	0,50	0,85	1,25	0,70	1,00	1,35
$30\,000 < F_d \leq 35\,000$	0,60	1,00	1,40	0,80	1,20	1,60
$35\,000 < F_d \leq 40\,000$	0,70	1,15	1,60	0,90	1,35	1,80
$40\,000 < F_d \leq 45\,000$	0,75	1,25	1,75	1,00	1,50	2,00
$45\,000 < F_d \leq 50\,000$	0,85	1,40	1,90	1,10	1,65	2,20
$50\,000 < F_d \leq 55\,000$	0,90	1,50	2,05	1,20	1,75	2,35
$55\,000 < F_d \leq 60\,000$	0,95	1,60	2,20	1,25	1,90	2,50
$60\,000 < F_d \leq 65\,000$	1,05	1,70	2,35	1,35	2,05	2,60
$65\,000 < F_d \leq 70\,000$	1,10	1,80	2,50	1,45	2,15	2,70
a) означает менее 0,35						

9.2.3 Фундаменты без изоляции грунта: короткие здания.

Короткие здания – это здания, длина которых не превышает в три раза их ширину.

СТБ ISO 13793-2009

Глубина фундамента должна равняться, по крайней мере, значениям, указанным в таблице 8, вокруг здания.

ПРИМЕЧАНИЕ. Вокруг коротких зданий требуется большая глубина, так как для данной ширины здесь, в сравнении с длинными зданиями, наблюдаются более высокие потери (на квадратный метр площади пола) через грунт и через стены подпольного пространства, что приводит к снижению температуры в подпольном пространстве.

**Таблица 8 – Глубина фундамента, в метрах, для подвесных полов:
короткие здания и углы длинных зданий**

Расчетный показатель промерзания F_d К·ч	Интенсивность вентиляции					
	$\text{м}^3/(\text{м}^2 \cdot \text{ч})$					
	1			2		
	R_f			R_f		
	$\text{м}^2 \cdot \text{К/Вт}$			$\text{м}^2 \cdot \text{К/Вт}$		
	2	4	8	2	4	8
$F_d \leq 5\,000$	a)	0,40	0,55	a)	0,50	0,65
$5\,000 < F_d \leq 10\,000$	a)	0,55	0,80	0,45	0,70	0,90
$10\,000 < F_d \leq 15\,000$	0,45	0,70	0,95	0,55	0,85	1,10
$15\,000 < F_d \leq 20\,000$	0,50	0,80	1,15	0,65	0,95	1,30
$20\,000 < F_d \leq 25\,000$	0,60	0,90	1,25	0,75	1,10	1,45
$25\,000 < F_d \leq 30\,000$	0,70	1,00	1,35	0,85	1,25	1,60
$30\,000 < F_d \leq 35\,000$	0,80	1,20	1,60	1,00	1,40	1,80
$35\,000 < F_d \leq 40\,000$	0,90	1,35	1,80	1,15	1,60	2,05
$40\,000 < F_d \leq 45\,000$	1,00	1,50	2,00	1,25	1,75	2,25
$45\,000 < F_d \leq 50\,000$	1,10	1,65	2,20	1,40	1,90	2,40
$50\,000 < F_d \leq 55\,000$	1,20	1,75	2,35	1,50	2,05	2,50
$55\,000 < F_d \leq 60\,000$	1,25	1,90	2,50	1,60	2,20	2,60
$60\,000 < F_d \leq 65\,000$	1,35	2,05	2,60	1,70	2,35	2,70
$65\,000 < F_d \leq 70\,000$	1,45	2,15	2,70	1,80	2,50	2,80

a) означает менее 0,35

9.2.4 Фундаменты без изоляции грунта

Глубина фундамента (вокруг здания) должна равняться, по крайней мере, значениям, указанным в таблице 9.

Данные действительны для $R_f \leq 5 \text{ м}^2 \cdot \text{К/Вт}$. Изоляция грунта шириной $b_g \geq 1,0$ м применяется вокруг здания с тепловым сопротивлением R_{gw} вдоль стен и R_{gc} по углам на расстоянии L_c от каждого угла, где значения L_c приведены в таблице 5.

Таблица 9 – Глубина фундамента, в метрах, для подвешенного пола

с изоляцией грунта

R_{gw} ($m^2 \cdot K/Вт$)	0,0	0,5	1,0	1,5	2,0	2,5	3,0
R_{gc} ($m^2 \cdot K/Вт$)	0,0	0,7	1,4	2,1	2,8	3,5	4,2
F_d К.ч							
$F_d \leq 20\ 000$	0,80	0,35	а)	а)	а)	а)	а)
$20\ 000 < F_d \leq 25\ 000$	0,90	0,50	а)	а)	а)	а)	а)
$25\ 000 < F_d \leq 30\ 000$	1,00	0,70	0,35	а)	а)	а)	а)
$30\ 000 < F_d \leq 35\ 000$	1,20	0,90	0,60	0,35	а)	а)	а)
$35\ 000 < F_d \leq 40\ 000$	1,35	1,15	0,90	0,60	0,35	а)	а)
$40\ 000 < F_d \leq 45\ 000$	1,50	1,35	1,10	0,85	0,55	0,35	а)
$45\ 000 < F_d \leq 50\ 000$	1,65	1,45	1,25	1,00	0,75	0,50	0,35
$50\ 000 < F_d \leq 55\ 000$	1,75	1,55	1,35	1,15	0,90	0,65	0,45
$55\ 000 < F_d \leq 60\ 000$	1,90	1,65	1,45	1,30	1,05	0,85	0,60
$60\ 000 < F_d \leq 65\ 000$	2,00	1,80	1,60	1,40	1,20	0,95	0,75
$65\ 000 < F_d \leq 70\ 000$	2,15	1,90	1,70	1,50	1,30	1,05	0,90
а) означает меньше 0,35							

10 Неототагреваемые здания**10.1 Общие положения**

Данный раздел распространяется на фундаменты, для которых $H_f < H_0$, а также:

- на неототагреваемые здания;
- на здания, в которых средняя месячная внутренняя температура за любой месяц года может упасть ниже 5°C.

ПРИМЕЧАНИЕ. Представленные данные действительны для климатических условий, для которых средняя годовая температура воздуха составляет не менее 1°C. Для средней годовой температуры воздуха в диапазоне от 0 до 1°C, защита от промерзания может быть определена с помощью численных расчетов согласно Приложению В.

10.2 Без изоляции грунта

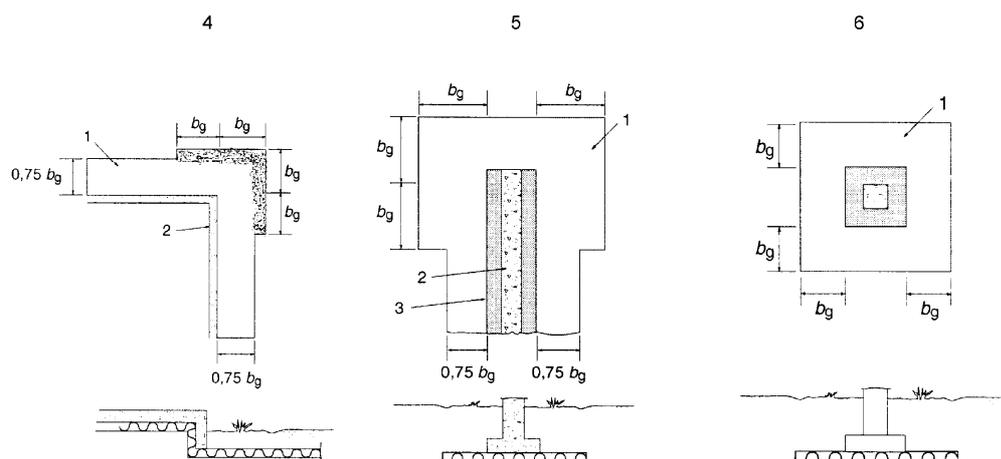
Если изоляция грунта не используется, глубина фундамента (включая слой материала, нечувствительного к морозу ниже фундамента) должна равняться, по крайней мере, максимальной глубине промерзания в ненарушенном грунте согласно условиям раздела 7.

10.3 С изоляцией грунта

СТБ ISO 13793-2009

Глубину фундамента можно уменьшить (ниже значений, указанных в 10.2) за счет использования сплошного слоя изоляции под фундаментом с выходом к каждой его стороне. Если существует риск повреждения пола от вспучивания при промерзании, слой изоляции необходимо предусмотреть под всем полом. См. рис.6.

ПРИМЕЧАНИЕ 1. Изоляция продолжается под фундаментами с тем, чтобы предотвратить их функционирование в качестве тепловых мостов.



Условные обозначения:

- 1 - Изоляция грунта
- 2 - Фундаментная стена
- 3 - Подошва фундамента
- 4 - Плита «по грунту»
- 5 - Фундаментная стена
- 6 - Колонна

Рис.6 – Ширина изоляции грунта для необогреваемых зданий

Необходимое тепловое сопротивление R_g и ширина b_g изоляции зависят от:

- расчетного показателя промерзания, F_d ;
- средней годовой температуры наружного воздуха, T_e ;
- глубины заложения фундамента.

Определить ширину b_g по таблице 10 согласно расчетному показателю промерзания F_d . Для промежуточных значений F_d может использоваться линейная интерполяция.

Таблица 10 – Ширина изоляции грунта для необогреваемых зданий

F_d К·ч	10 000	20 000	30 000	40 000	50 000	60 000	70 000
b_g м	0,75	1,20	1,60	2,00	2,40	2,75	3,10

Для небольших фундаментов и рядом с углами больших фундаментов изоляция должна выступать, по крайней мере, на b_g из фундамента. Для полных зданий или для ленточных фундаментов, длина которых составляет не менее 3 м, ширину изоляции можно уменьшить до $0,75 b_g$ при расстояниях свыше b_g от угла или торца фундамента; см. рис.6.

Определить минимальное тепловое сопротивление изоляции грунта R_g по таблице 11 для фундаментов глубиной не менее 0,4 м или по таблице для фундаментов глубиной не менее 1,0 м. Для вывода промежуточных значений, в рамках данных таблиц может использоваться линейная интерполяция. Линейная интерполяция может использоваться также между таблицей 11 и таблицей 12 для фундаментов, глубина которых находится в диапазоне между 0,1 м и 1,0 м.

ПРИМЕЧАНИЕ 2. Одно и то же значение R_g применяется и вдоль стен, и на углах.

ПРИМЕЧАНИЕ 3. Значения теплового сопротивления, превышающие $5,0 \text{ m}^2 \cdot \text{K}/\text{Вт}$ в таблице 11, указаны в скобках; это означает то, что это практически осуществимый вариант увеличения глубины фундамента.

ПРИМЕЧАНИЕ 4. Если $F_d \geq 60 000 \text{ К·ч}$, глубина фундамента величиной 0,4 м окажется недостаточной и её нужно будет увеличить.

Таблица 11 – Минимальное тепловое сопротивление изоляции грунта R_g ($\text{m}^2 \cdot \text{K}/\text{Вт}$) для необогреваемых зданий с $H_f = 0,4 \text{ м}$

F_d К·ч	θ_e °C				
	1	2	3	4	≥ 5
$\leq 10 000$	-	-	-	1,1	1,1
20 000	-	1,8	1,6	1,5	1,3
30 000	3,5	2,9	2,5	2,1	1,9
40 000	4,5	3,8	3,3	2,8	-
50 000	(5,6)	4,7	4,1	-	-
60 000	(6,7)	(5,7)	-	-	-

Таблица 12 – Минимальное тепловое сопротивление изоляции грунта R_g ($m^2 \cdot K/Вт$) для необогреваемых зданий с $H_f = 1,0$ м

F_d К·ч	θ_e °C				
	1	2	3	4	≥ 5
$\leq 10\ 000$	-	-	-	0,0	0,0
20 000	-	0,7	0,5	0,4	0,4
30 000	1,8	1,3	1,1	0,8	0,6
40 000	2,3	1,8	1,5	1,2	-
50 000	3,1	2,4	2,0	-	-
60 000	3,9	3,0	-	-	-
70 000	4,8	-	-	-	-

Обеспечить защиту изоляционного слоя следующим образом:

- а) уложить слой хорошо просушенного материала, нечувствительного к морозу, толщиной не менее 100 мм под слой изоляции;
- б) над изоляцией разместить следующее защитное покрытие:
 - под фундаментами и в пределах здания: не менее 50 мм бетона или аналогичного материала
 - снаружи здания: по крайней мере 300 мм грунта, если там отсутствует дорожное покрытие (если имеется дорожное покрытие, толщина грунта может быть снижена до 200 мм)
- с) изоляционный слой должен находиться выше максимального уровня грунтовых вод.

10.4 Дополнительный материал, нечувствительный к морозу под изоляцией

Минимальное тепловое сопротивление изоляции грунта R_g , указанное в 10.3, можно уменьшить за счет укладки слоя морозостойкого материала под изоляцией; толщина слоя материала должна быть более 100 мм.

Значение R_g можно уменьшить на $0,2 m^2 \cdot K/Вт$ на каждые 100мм увеличение толщины данного слоя свыше 100 мм.

10.5 Дополнительное грунтовое покрытие над изоляцией

Минимальное тепловое сопротивление изоляции грунта R_g и её минимальную ширину b_g , указанную в 10.3, можно уменьшить за счет размещения слоя грунта над изоляцией, толщиной свыше 300 мм.

Значение R_g можно уменьшить на $0,1 \text{ m}^2 \cdot \text{K}/\text{Вт}$ на каждые 100мм увеличение толщины грунтового покрытия свыше 100 мм.

Значение b_g можно уменьшить на 0,1м на каждые 100мм увеличение толщины грунтового покрытия свыше 100 мм.

ПРИМЕЧАНИЕ. Увеличение грунтового покрытия может быть ограничено условием укладки слоя изоляции выше уровня грунтовых вод (см. 10.2).

Приложение А

(обязательное)

Определение и расчет показателя промерзания

А.1 Общие положения

В данном приложении приводится описание метода вычисления расчетного показателя промерзания F_d на основании метеорологической регистрации дневных средних температур наружного воздуха в определенном регионе.

В А.2 приводится описание процедуры расчета показателя промерзания F для одного определенного зимнего периода. Расчетные данные в разделах 8-10 выведены на основании F_n , показателя промерзания, который статистически превышает один раз за n -ое количество лет, например, F_{10} , F_{50} , F_{100} . Данные значения можно вывести из набора отдельных значений F , рассчитанных для нескольких зимних сезонов с использованием статистической обработки, описание которой приводится в А.3.

А.2 Расчет показателя промерзания для одного зимнего сезона

Показатель промерзания – это величина, в 24 раза превышающая сумму разности между точкой замерзания и дневной средней температурой наружного воздуха:

$$F = 24 \sum_j (\theta_f - \theta_{d,j}) \quad (\text{А.1})$$

где:

F – показатель промерзания для одного зимнего сезона, в К·ч

θ_f –равняется 0°C

$\theta_{d,j}$ –дневная средняя температура наружного воздуха за день j , в °С

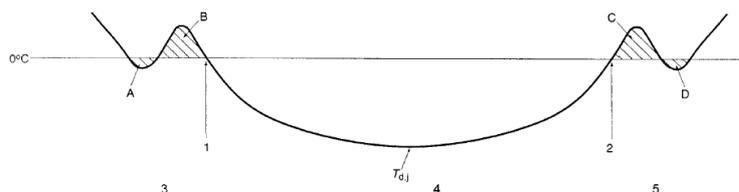
а сумма включает все дни в морозный период (см. ниже).

Дневную среднюю температуру наружного воздуха можно вывести как среднюю величину нескольких показаний или как среднюю величину максимальных и минимальных значений для определенного дня.

Суммарная величина уравнения (А.1) включает и положительную, и отрицательную разность в пределах в морозный период. Отрицательная разность (дневная средняя температура выше 0°C) предполагает определенное оттаивание почвы, что способствует снижению промерзания грунта.

В целях суммирования в уравнении (A.1), морозный период начинается в точке, из которой суммарное накопление всегда остается положительным в течение зимы. Как видно из рис.А.1, первоначально наблюдается некоторое промерзание на площади А, за которым следует полное оттаивание площади В, так как она больше площади А. Поэтому суммарное накопление начинается с этого. Из рис.А.2 видно, что площадь А превышает площадь В и поэтому происходит неполное оттаивание, а суммарное накопление начинается раньше, как показано на том рисунке.

Морозный период заканчивается в точке, которая дает самое большое суммарное накопление за зимний сезон. Если за коротким оттаиванием следует большой морозный период, в расчет включаются оба. Однако если за периодом оттаивания следует меньший морозный период, в расчет не включается ни один из них, как показано на рис. А.1 и А.2.

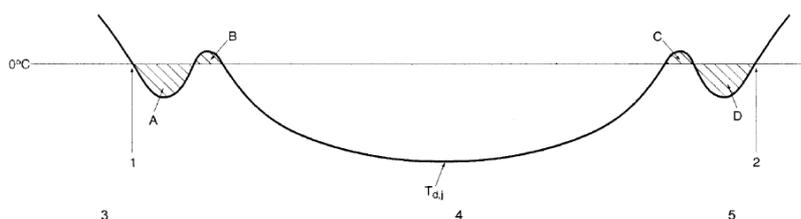


Условные обозначения:

- 1 - Начало
- 2 - Конец
- 3 - Осень
- 4 - Зима
- 5 – Весна

ПРИМЕЧАНИЕ. Площадь В > площади А, а площадь С > площади D

Рис. А.1 – Иллюстрация предельных значений морозного сезона (первый пример)



Условные обозначения:

- 1 - Начало
- 2 - Конец

СТБ ISO 13793-2009

3 - Осень

4 - Зима

5 – Весна

ПРИМЕЧАНИЕ. Площадь В < площади А, а площадь С < площади D

Рис. А.2 – Иллюстрация предельных значений морозного сезона (второй пример)

ПРИМЕЧАНИЕ 1. В прошлом расчет показателей промерзания производился с включением только положительной разности в уравнении (А.1), т.е. влияние периода оттаивания игнорировалось. В рамках данного стандарта могут использоваться таблицы или карты показателей промерзания, рассчитанные на данной основе, которые дают более высокие значения F , чем значения, рассчитанные выше, что ведет к увеличению запаса прочности. С другой стороны суммарное накопление на базе средних месячных температур может значительно занижать оценку действительного показателя промерзания; такие данные не должны использоваться.

ПРИМЕЧАНИЕ 2. Альтернативный и эквивалентный метод расчета показателя промерзания заключается в том, чтобы построить график суммарной разности между дневной средней температурой и точкой замерзания относительно времени для полного 12-месячного периода (от середины лета до середины лета). В этом случае показателем промерзания будет самая большая разность между максимальными и минимальными точками поворота на данной кривой.

ПРИМЕЧАНИЕ 3. Промерзание грунта зависит от температуры поверхности грунта. Однако так как данные по температуре воздуха доступней данных по температуре поверхности грунта, в данном стандарте используется показатель промерзания воздуха, т.е. показатель промерзания,

рассчитанный, исходя из показаний температуры наружного воздуха, как проектный параметр. В большинстве случаев использование показаний температуры воздуха ведет к созданию запаса прочности, потому что такие факторы, как наличие растительного и снежного покрова, солнечного излучения способствуют повышению поверхностной температуры грунта относительно температуры воздуха. Однако, если поверхность земли не покрыта снегом и находится в зоне постоянного затенения, её поверхностная температура может оказаться ниже.

А.3 Статистическое определение расчетного показателя промерзания

Расчетный показатель промерзания F_n – это показатель промерзания, который статистически превышает один раз за n -ое количество лет. Т.е. вероятность того, что показатель промерзания в какой-либо зимний сезон превысит F_n , составляет $1/n$.

ПРИМЕЧАНИЕ 1. Подходящее значение n должно выбираться с учетом запаса надежности, необходимого для соответствующего здания. При этом во внимание должны быть приняты такие факторы, как предполагаемый срок службы конструкции, чувствительность типа конструкции в пучению при промерзании и т.д. Для капитальных зданий значение n обычно выбирается для 50 лет или 100 лет.

ПРИМЕЧАНИЕ 2. Значение n – это период повторяемости, т.е. среднее количество лет между последовательными случаями превышения показателями промерзания значения F_n .

Расчетный показатель промерзания для данной местности выводится из набора показателей промерзания F_i , рассчитанных согласно А.2, для зимних сезонов m данного региона. По возможности, значение m должно быть не меньше 20. Рекомендуется использование данных последовательных или почти последовательных зимних сезонов m .

Используйте статистическое распределение, которое реалистично отражает экстремальные события. Установлено, что распределение Гумбеля (см. А.4) подходит для многих климатических условий; данное распределение рекомендуется при отсутствии информации, специфической для данного региона.

А.4 Использование распределения Гумбеля

Рассчитайте средний показатель промерзания \bar{F} с помощью (А.2) и стандартное отклонение S_F с помощью (А.3):

$$\bar{F} = \frac{\sum F_i}{m} \quad (\text{А.2})$$

$$S_F = \sqrt{\frac{\sum (F_i - \bar{F})^2}{m - 1}} \quad (\text{А.3})$$

где:

$$i = 1, 2, \dots, m$$

После этого расчетный показатель промерзания можно выразить через (А.4):

$$F_n = \bar{F} + \frac{S_F}{s_y} (y_n - \bar{y}) \quad (\text{А.4})$$

СТБ ISO 13793-2009

где y представляет приведенную переменную в распределении Гумбеля.

Вывести соответствующие значения \bar{y} и s_y из таблицы А.1 согласно числу m отдельных значений F_i , используемых при расчете.

Вывести значение y_n из таблицы А.2 согласно значению n , выбранному для расчета.

Таблица А.1 – Значения \bar{y} и s_y

m	\bar{y}	s_y	m	\bar{y}	s_y
10	0,50	0,95	50	0,55	1,16
15	0,51	1,02	60	0,55	1,17
20	0,52	1,06	70	0,55	1,19
25	0,53	1,09	80	0,56	1,19
30	0,54	1,11	90	0,56	1,20
40	0,54	1,14	100	0,56	1,21

Таблица А.2 – Значения y_n

n	5	10	20	50	100
y_n	1,50	2,25	2,97	3,90	4,60

ПРИМЕЧАНИЕ. Дополнительную информацию о распределении Гумбеля можно найти в библиографии [1] и [2].

Приложение В
(обязательное)
Численные расчеты

В.1 Общие положения

Обычный случай промерзания грунта рядом с зданиями или конструкциями представляет собой проблему трехразмерной, нелинейной передачи тепла, зависимой от времени, которая может моделироваться с помощью соответствующих численных методов (например, метода конечной разности или метода конечных элементов). Процедуры расчета в рамках данного стандарта основаны на таких численных расчетах для зданий на однородных почвах, состоящих из легко промерзающих грунтов, имеющих характеристики, указанные в разделе 5.1, а также другие свойства согласно В.2.

В разделах 8-10 приводится описание процедур расчета адекватной защиты фундаментов от мороза для большинства случаев. Однако, если характеристики грунта будут значительно отличаться от характеристик, приведенных в разделе 5.1 (в частности, если плотность грунта в сухом состоянии выходит за пределы диапазона $1100 \text{ кг/м}^3 - 1600 \text{ кг/м}^3$ или если водонасыщение составляет менее 80%), необходимо использовать методы численных расчетов согласно В.2.

ПРИМЕЧАНИЕ. Рассчитанная температура грунта рядом с зданием проявляет чувствительность к точным значениям характеристик грунта, повышающуюся по мере увеличения показателя промерзания, уменьшения внутренней температуры и увеличения изоляции пола.

Численные расчеты, которые соответствуют В.2, могут использоваться в качестве альтернативы таблицам и графикам, представленным в данном стандарте.

В.2 Условия численных расчетов

В.2.1 Подразделение геометрической модели

Геометрическая модель грунта подразделяется таким образом, что её меньшие части находятся около края пола, постепенно увеличиваясь в размерах в направлении плоскости усечения. Чтобы определить, достаточное ли количество частей используется при расчете (в отношении расчета тепловых

СТБ ISO 13793-2009

потоков и поверхностных температур), рекомендуется руководствоваться критерием, описание которого приведено в ISO 10211-1.

В.2.2 Размеры грунта

Следующие минимальные размеры грунта определяют плоскости усечения в геометрической модели:

- в горизонтальном направлении внутри здания: $0,5 B$;
- в горизонтальном направлении снаружи здания: $2,5 B$;
- в вертикальном направлении ниже уровня земли: $2,5 B$,

где B – это ширина (меньший размер) пола.

В.2.3 Трех- или двумерные расчеты

Если меньший размер пола не превышает 4 м, должны использоваться трехмерные расчеты. В других случаях условия промерзания вдоль стен могут определяться с помощью двумерных расчетов; при этом ширина здания должна быть равной меньшему размеру поля. Условия промерзания по углам должны определяться посредством трехмерных расчетов или с помощью соответствующих таблиц и графиков стандарта.

В.2.4 Граничные условия

Для двумерных расчетов имеется вертикальная симметричная плоскость посередине поля, которая принимается за адиабатическую границу (благодаря чему возможно моделирование половины здания). Для трехмерных расчетов прямоугольного здания имеются две вертикальные симметричные плоскости посередине пола в каждом направлении, которые принимаются за адиабатические границы (благодаря чему возможно моделирование одной четверти здания).

За пределами здания вертикальная плоскость усечения принимается за адиабатическую границу. Горизонтальная плоскость усечения в грунте также принимается за адиабатическую границу.

Поверхностные сопротивления согласно ISO 6946 применимы к внутренней поверхности пола и к наружной поверхности грунта.

В.2.5 Тепловые характеристики

Для тепловых характеристик грунта:

а) если известно, используйте значения для конкретной местности, предусматривая нормальное содержание влаги;

б) в противном случае используйте значения, указанные в разделе 5.1.

Замерзание или таяние воды в грунте ведет к изменению объемной теплоемкости и теплопроводности грунта. При этом, во время замерзания происходит выделение скрытой теплоты воды в грунте. Численные методы должны учитывать и данные явления.

Скрытая теплота воды в грунте может рассматриваться как существенное увеличение теплоемкости грунта в температурном интервале 1К ниже 0°C. Грунт при температуре -1°C или ниже считается полностью замерзшим.

Для остальных материалов (т.е. кроме грунта) используйте значения согласно 5.2.

В.2.6 Расчетная наружная температура

Используйте синусоидальную вариацию наружной температуры, представленную в уравнении (В.1):

$$\theta_e = \bar{\theta}_e + \hat{\theta}_e \cos(2\pi t / t_p) \quad (\text{В.1})$$

где:

- температура наружного воздуха во время t , в °С;
- средняя годовая температура наружного воздуха, в °С;
- амплитуда синусоидальной вариации, в К;
- один год, выраженный в секундах ($3,15 \times 10^7$ с).

$\hat{\theta}_e$ выбирается таким образом, что интеграл от (В.1) ниже 0°C через год дает правильный расчетный показатель промерзания F_d (см. 6.1).

Для того чтобы приступить к вычислению расчетного года с соответствующим температурным распределением в грунте:

- исходными условиями должна быть годовая средняя температура наружного воздуха через грунт;
- расчетный период должен охватывать два последовательных расчетных года, а результаты должны отбираться из второго года.

В.2.7 Расчетный критерий

Конструкция фундамента считается защищенной от пучения при замерзании, если полностью промерзший грунт отсутствует ниже фундамента в течение расчетного зимнего периода, т.е. температура остается выше -1°C под всем основанием фундамента. Для проверки, необходимо изучить максимальное прохождение изотермы -1°C к основанию фундамента. Пример такого изотермического графика приведен на рис.В.1.

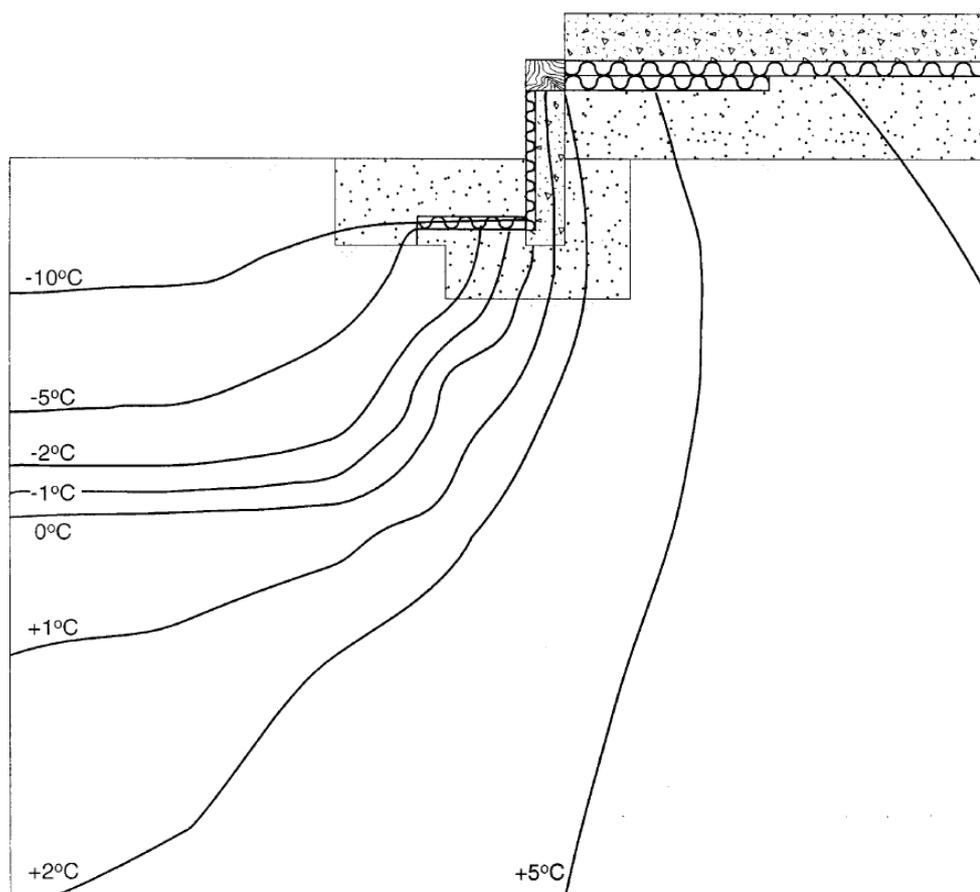


Рис.В.1 – Иллюстрация изотерм в грунте рядом с фундаментом

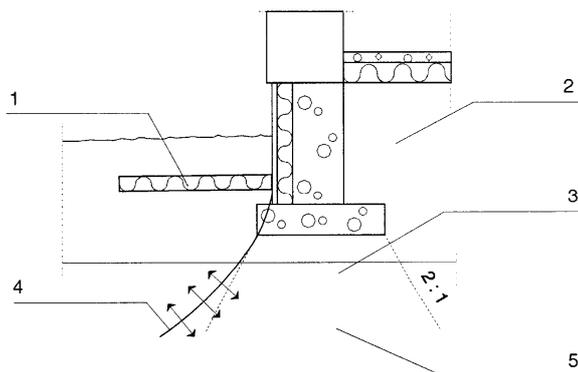
Приложение С

(обязательное)

Расчетные данные для полов из плит по грунту на базе критерия 0°C

С.1 Введение

В данном приложении приводятся данные для проектирования фундаментов мелкого заложения под полы из плит «по грунту»; при этом расчетные условия заключаются в том, что изотерма 0°C не должна проникать ниже 2:1 площади распределения нагрузки под фундаментом (см. рис.С.1).



Условные обозначения:

1 - Изоляция	2 - Морозостойчивая	3 - Зона воздействия
грунта	засыпка	напряжений
4 - Изотерма	5 - Чувствительный к	
0°C	морозу грунт	

Рис.С.1 – Система защиты от промерзания на основе изотермы 0°C

С.2 Обогреваемые здания

С.2.1 Фундаменты без изоляции грунта

Конструкция должна отвечать требованиям разделов 8.3.1, 8.3.2, 8.3.3 и 8.6, а вместо 8.7.1 она должна соответствовать следующим условиям.

Глубина заложения фундамента:

- под стенами: не менее H_f ;
- под углами и ограниченными необогреваемыми участками на расстоянии L_c от них: по крайней мере, большая глубина H_{fc} ,

где значения H_f , H_{fc} и L_c приводятся как функция расчетного показателя промерзания в таблице С.1 для мелкозернистого грунта (ил и глина) и в таблице

СТБ ISO 13793-2009

С.2 для крупнозернистого грунта (промерзаемый песок и морена). Для вывода промежуточных значений в рамках данных таблиц, можно использовать линейную интерполяцию.

Таблица С.1 – Глубина заложения фундамента под полы из плит «по грунту» без изоляции грунта: мелкозернистые грунты

F_d К·ч	H_f м	H_{fc} м	L_c м
35 000	1,00	1,30	1,5
40 000	1,10	1,40	1,5
45 000	1,20	1,50	1,5
50 000	1,30	1,60	1,5
55 000	1,40	1,70	2,0
60 000	1,50	1,85	2,0
65 000	1,60	2,00	2,5
70 000	1,75	2,15	2,5

Таблица С.2 – Глубина заложения фундамента под полы из плит «по грунту» без изоляции грунта: крупнозернистые грунты

F_d К·ч	H_f м	H_{fc} м	L_c м
35 000	1,20	1,60	1,5
40 000	1,30	1,70	1,5
45 000	1,40	1,80	1,5
50 000	1,50	2,00	1,5
55 000	1,60	2,10	2,0
60 000	1,70	2,25	2,0
65 000	1,80	2,40	2,5
70 000	2,05	2,55	2,5
75 000	2,20	2,70	2,5

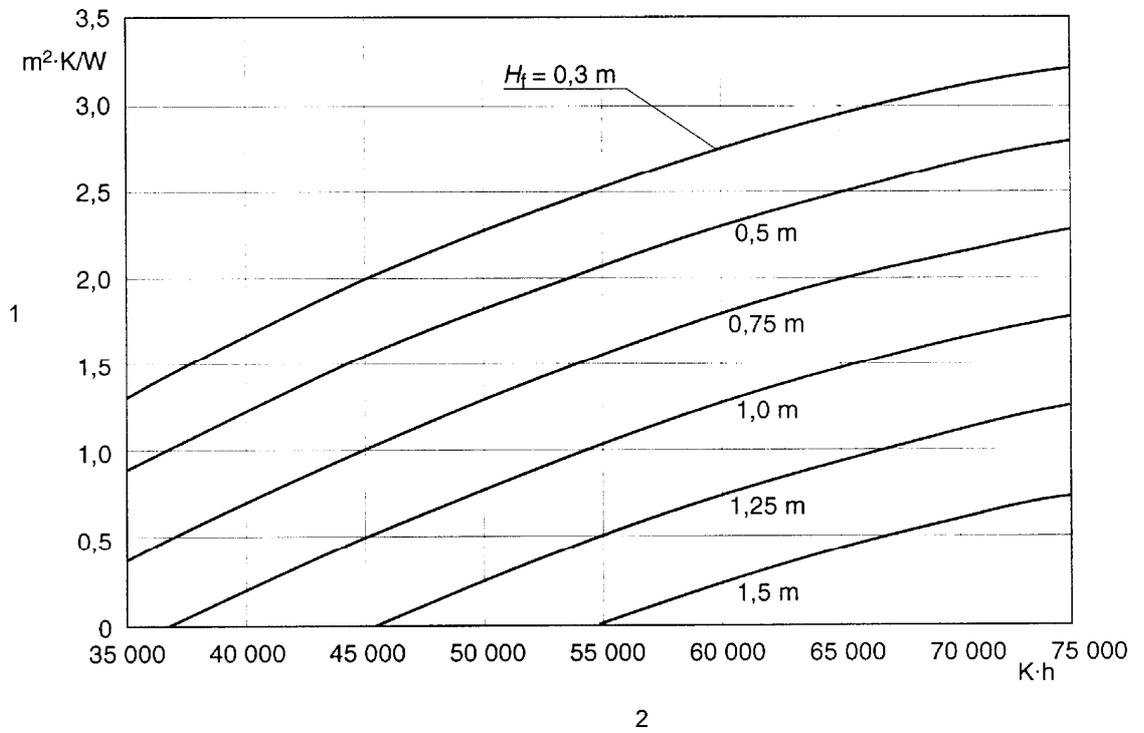
С.2.2 Изоляция грунта вокруг здания

Конструкция должна отвечать требованиям разделов 8.3.1, 8.3.2, 8.3.3 и 8.6, а вместо 8.7.3 она должна соответствовать следующим условиям. Эти данные применяются в том случае, когда тепловое сопротивление плит пола составляет менее $5 \text{ м}^2 \cdot \text{К}/\text{Вт}$.

Ширина изоляции грунта b_c вдоль стен и возле углов должна составлять не менее 0,8 м.

Определить минимальное тепловое сопротивление изоляции грунта вдоль стен R_{gw} в соответствии с глубиной фундамента H_f и расчетным показателем промерзания F_d согласно рис.С.2.

По углам тепловое сопротивление изоляции грунта должно быть на 40% больше, чем вдоль стен на расстоянии L_c (см. таблицу С.1 или С.2) от каждого угла.



Условные обозначения:

1 – Тепловое сопротивление изоляции грунта вдоль стен, R_{gw}

2 – Расчетный показатель промерзания, F_d

Тепловое сопротивление плит пола $R_f < 5,0$ м²·К/Вт

Рис.С.2 – Тепловое сопротивление изоляции грунта вдоль стен

С.3 Здания с низкой внутренней температурой

Для плохо обогреваемых зданий при $5^\circ\text{C} \leq \theta_{i,m} < 17^\circ\text{C}$, значения H_f и H_{fc} в таблице С.1 необходимо увеличить на 0,3 м.

Если в течение какого-либо месяца $\theta_{i,m} < 5^\circ\text{C}$, система защиты фундамента от промерзания должна рассчитываться как для необогреваемых зданий (см. раздел 10).

Приложение D

(справочное)

Чувствительность грунта к промерзанию

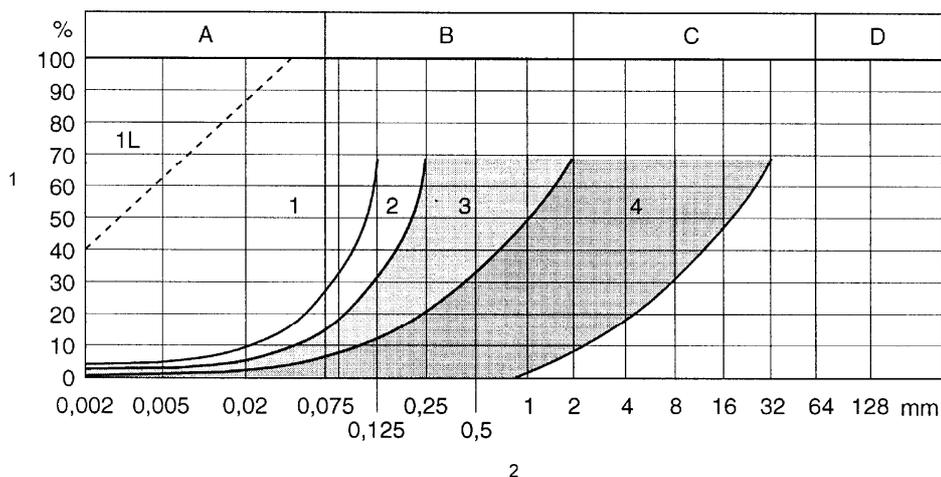
Чувствительность грунта к промерзанию зависит от характеристик данного грунта и от местных условий, таких как стратификация и уровень грунтовых вод. Обычно высокий уровень грунтовых вод, водосодержащие слои или смесь слоев мелкозернистых- и крупнозернистых грунтов способствует повышению риска пучения при промерзании.

Пучение при промерзании происходит при образовании ледяной прослойки (ледяных линз) во время промерзания грунта ниже фундамента. Это предполагает наличие значительного количества грунтовых вод и достаточно высокую капиллярность и проницаемость грунта. Таким образом, грунты с высоким содержанием ила или глины представляют наибольший риск пучения при промерзании.

Жирная глина (содержание глины > 40%) менее чувствительна к пучению при промерзании, благодаря своей низкой гидравлической проводимости.

В общем, для определения глубины промерзания, требуется геотехническое изучение состояния грунта на строительной площадке.

Грубую оценку чувствительности грунта к промерзанию можно произвести на основе гранулометрического состава, как показано на рис. D.1, который показывает процентное содержание тех или иных зерен, проходящих через сита с ячейками разных размеров.

**Условные обозначения:**

1 – Процентное содержание прохождения через сито

- 2 – Размер сита
- A Ил
- B Песок
- C Гравий
- D Каменная порода

Рис. D.1 – Оценка чувствительности к промерзанию на основе гранулометрического состава

В рамках рис.D.1:

1) если в гранулометрическом составе содержание зерен размером меньше 0,02мм составляет менее 3% грунта, такой грунт является, как правило, нечувствительным к промерзанию;

2) если кривая гранулометрического состава полностью находится в пределах области 1, грунт будет всегда проявлять чувствительность к промерзанию (за исключением области «жирной глины» 1L, где наблюдается низкая чувствительность к промерзанию);

3) если кривая гранулометрического состава находится полностью в пределах областей 2, 3 или 4, грунт считается нечувствительным к промерзанию при условии, что в области 2 проверяется и капиллярный подъем, который должен составлять менее 1 м;

4) если нижняя часть кривой гранулометрического состава постоянно пересекает границу следующей области на мелкозернистой стороне, грунт считается чувствительным к промерзанию;

5) граничные состояния должны проверяться с помощью более точных методов.

Гранулометрический состав, таким образом, может использоваться для классификации грунтов как чувствительных или нечувствительных к промерзанию. Граничные случаи, которые не подпадают в полном объеме ни под одну из данных двух классификаций, должны рассматриваться как чувствительные к промерзанию в целях проектирования или же чувствительность к промерзанию должна определяться с помощью лабораторных испытаний или репрезентативных наблюдений за пучением при промерзании прямо на строительной площадке.

Дополнительная информация о чувствительности к промерзанию и методах испытания приводится в библиографии, источники [3] – [6].

Приложение Е

(справочное)

Примеры с решением

Методы и технологии, рассматриваемые в рамках данного стандарта, касаются здания длиной 12 м и шириной 8 м в следующих климатических условиях:

- расчетный показатель промерзания $F_{50} = 47\,000$ К·ч
- средняя годовая наружная температура $\bar{\theta}_e = 1,5^\circ\text{C}$

Е.1 Изоляция грунта отсутствует

Глубина фундамента должна составлять, по крайней мере, максимальную глубину промерзания согласно разделу 7. Используя уравнение (1),

$$H_0 = \sqrt{\frac{7200 \times 47\,000 \times 2,5}{(150 + 3 \times 1,5) \times 10^6}} = 2,34 \text{ м}$$

получаем глубину фундамента, которая равняется 2,34 м (вокруг здания). Данная глубина не зависит от теплоизоляции пола. Она действительна и для обогреваемых, и для необогреваемых зданий, а также для полов из плит «по грунту» и подвешенных полов (при этом плиты пола из плит «по грунту» под необогреваемом зданием не будут защищены от повреждений в результате пучения при промерзании).

Е.2 Пол из плит «по грунту» с использованием тепловой изоляции

Пол оснащается сплошной теплоизоляцией с тепловым сопротивлением $R_f = 3,0 \text{ м}^2 \cdot \text{К/Вт}$.

а) Использование только вертикальной изоляции по краю

Согласно таблице 2, тепловое сопротивление вертикальной изоляции должно быть не менее $1,9 \text{ м}^2 \cdot \text{К/Вт}$ (интерполяция между $1,7 \text{ м}^2 \cdot \text{К/Вт}$ и $2,0 \text{ м}^2 \cdot \text{К/Вт}$), опускаясь, по крайней мере, на 0,6 м ниже уровня грунта.

Теперь минимальную глубину фундамента можно определить с помощью таблицы 3:

- вдоль стен: 0,75 м;
- на расстоянии 1,5 м от каждого угла: 1,30 м.

б) Изоляция грунта по углам

Вертикальная изоляция по краю, имеющая сопротивление не ниже $1,9 \text{ м}^2 \cdot \text{К}/\text{Вт}$, укладывается вокруг здания, выходя, по крайней мере, на 0,6 м ниже уровня грунта, как в а). Согласно таблице 4, глубина фундамента составляет 0,75 м вокруг здания, а изоляция грунта шириной 0,6 м с тепловым сопротивлением $1,0 \text{ м}^2 \cdot \text{К}/\text{Вт}$ производится на расстоянии 1,5 м от каждого угла.

с) Изоляция грунта вокруг здания

Согласно 8.6.3, глубина фундамента может составлять 0,4 м вокруг здания при условии, что:

- вертикальная изоляция с тепловым сопротивлением не ниже $1,9 \text{ м}^2 \cdot \text{К}/\text{Вт}$ укладывается вокруг здания, как в а) и б), но в данном случае до нижней поверхности изоляции грунта (обычно от 0,3 м до 0,4 м);

- вдоль стен имеется изоляция грунта: чтобы воспользоваться рис.5, необходимо выбрать тепловое сопротивление изоляции грунта или её ширину (в пределах данных, указанных на рис.5), а остальные параметры определить по рисунку; если тепловое сопротивление изоляции грунта составляет $1,4 \text{ м}^2 \cdot \text{К}/\text{Вт}$: в этом случае её ширина должна быть не менее 650 мм согласно рис.5;

- рядом с углами требуется дополнительная изоляция грунта: и в этом случае выбирается или её тепловое сопротивление, или её ширина; предположим, что рядом с углами будет использоваться изоляция грунта с тепловым сопротивлением $2,0 \text{ м}^2 \cdot \text{К}/\text{Вт}$: в этом случае, согласно рис.4, её ширина должна составлять, по крайней мере, 800 мм, а согласно рис.5, изоляцию углов нужно уложить на расстоянии 1,5 м от каждого угла.

На рис.Е.1 показано проектное решение для данного случая.

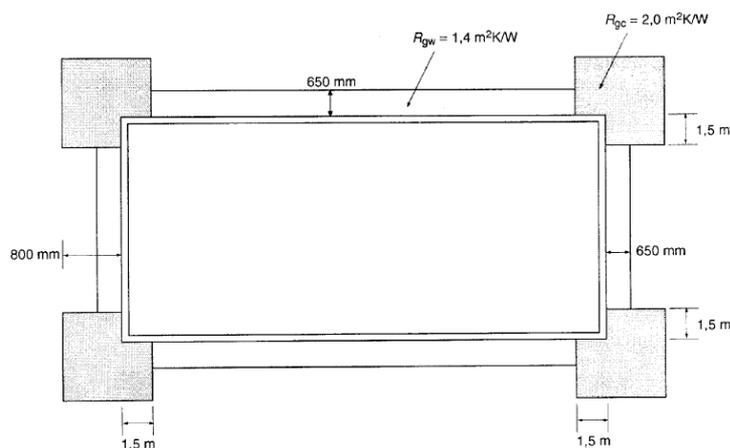


Рис.Е.1 – Изображение теплоизоляции фундамента в рамках примера Е.1 с)

Е.3 Подвесной пол

а) Использование только вертикальной изоляции по краю

Согласно таблице 6, тепловое сопротивление фундаментных стен выше уровня земли и вертикальной изоляции ниже уровня земли (не менее 0,6 м) должно быть, по крайней мере, $1,2 \text{ м}^2 \cdot \text{К/Вт}$. Так как длина здания составляет менее трех значений её ширины, данное здание рассматривается как короткое. Согласно таблице 8, глубина фундамента равняется:

- 1,10 м для $R_f = 2 \text{ м}^2 \cdot \text{К/Вт}$
- 1,65 м для $R_f = 4 \text{ м}^2 \cdot \text{К/Вт}$

а интерполяция между данными значениями для $R_f = 3 \text{ м}^2 \cdot \text{К/Вт}$ дает минимальную глубину фундамента вокруг здания, равную 1,40 м.

б) Использование изоляции грунта

Вертикальная изоляция с тепловым сопротивлением не менее $1,2 \text{ м}^2 \cdot \text{К/Вт}$ укладывается вокруг здания, как в а), но, в данном случае, доходит до нижней поверхности изоляции грунта. Теперь из таблицы 9 можно вывести следующее:

- для глубины фундамента 1,25 м (вокруг здания), ширина изоляции грунта составляет 1,0 м, а её тепловое сопротивление равняется не менее $1,0 \text{ м}^2 \cdot \text{К/Вт}$ вдоль стен и $1,4 \text{ м}^2 \cdot \text{К/Вт}$ на расстоянии 1,5 м от каждого угла;
- для глубины фундамента 0,50 м (вокруг здания), ширина изоляции грунта составляет 1,0 м, а её тепловое сопротивление равняется не менее $2,5 \text{ м}^2 \cdot \text{К/Вт}$ вдоль стен и $3,5 \text{ м}^2 \cdot \text{К/Вт}$ на расстоянии 1,5 м от каждого угла.

Е.4 Необогреваемое здание с использованием тепловой изоляции от промерзания

Если здание может не обогреваться в зимний период, расчет фундамента должен производиться в соответствии с условиями раздела 10.

Согласно таблице 10, ширина изоляции грунта должна быть, по крайней мере, 2,28 м (с интерполяцией между 2,00 м и 2,40 м).

Средняя годовая температура наружного воздуха составляет 1,5°C: графа для 1°C в таблицах 11 и 12 будет использоваться для обеспечения запаса прочности.

Для глубины фундамента $H_f = 0,4$, $R_g = 5,3 \text{ м}^2 \cdot \text{К/Вт}$ посредством интерполяции показателей промерзания 40 000 и 50 000 в таблице 11.

Для глубины фундамента $H_f = 1,0$, $R_g = 2,9 \text{ м}^2 \cdot \text{К/Вт}$ посредством интерполяции показателей промерзания 40 000 и 50 000 в таблице 12.

Необходимое тепловое сопротивление изоляции грунта для промежуточных значений глубины фундамента можно вывести посредством линейной интерполяции между значениями 5,3 $\text{ м}^2 \cdot \text{К/Вт}$ и 2,9 $\text{ м}^2 \cdot \text{К/Вт}$. Таким образом, для глубины фундамента 0,6 м, значение R_g должно составлять, по крайней мере, 4,5 $\text{ м}^2 \cdot \text{К/Вт}$.

Для необогреваемых зданий предусматривается такая же изоляция грунта (касательно ширины и теплового сопротивления) вокруг здания.

Библиография

- [1] Гумбель Е.Дж. Статистика крайних. Columbia University Press, Нью-Йорк, 1958. (На английском языке).
- [2] Хейрстед Р.С. Statistisk bestemmelse av klimapakjenninger (Статистическая обработка климатических нагрузок на конструкции), Frost i jord, 19 декабря 1977. (На норвежском языке).
- [3] ENV 1997-2. Еврокод 7: геотехническое проектирование – Часть 2: проектирование, сопровождаемое лабораторными испытаниями.
- [4] Доклад Технического комитета ISSMFE о воздействии морозов (ТС-8), Международное общество механики грунтов и расчета фундаментов, 1989. (На английском языке).
- [5] Pohjarakennusohjeet (Инструкции для грунтовых конструкций), Публикация RIL 121- 1988, Финский союз инженеров-строителей, Хельсинки, 1988. (На финском языке).
- [6] Talonrakennuksen Routasuojausohjeet (Инструкции по теплоизоляции строительных сооружений), Технический исследовательский центр Финляндии, Хельсинки, 1987.