

**HOONETE SOOJUSLIK TOIMIVUS**  
**Soojuslevi pinnasesse**  
**Arvutusmeetodid**

**Thermal performance of buildings**  
**Heat transfer via the ground**  
**Calculation methods**

## EESTI STANDARDI EESSÖNA

Käesolev Eesti standard:

- on Euroopa standardi EN ISO 13370:2007 “Thermal performance of buildings - Heat transfer via the ground - Calculation methods” ingliskeelse teksti identne tõlge eesti keelde ning tõlgendamise erimeelsuste korral tuleb lähtuda ametlikes keeltes avaldatud tekstidest,
- omab sama staatust, mis jõustumisteate meetodil vastuvõetud originaalversioon,
- on kinnitatud Eesti Standardikeskuse 03.01.2011 käskkirjaga nr 2,
- jõustub sellekohase teate avaldamisel EVS Teataja 2011. aasta jaanuarikuu numbris.

Standardi tõlkis Premium tõlkebüroo, eestikeelse kavandi ekspertiisi teostas Targo Kalamees, käesoleva standardi on heaks kiitnud tehniline komitee EVS/TK 14 “Ehitiste soojuslik toimivus”.

Standardi tõlke koostamisettepaneku esitas Majandus- ja Kommunikatsiooniministeerium, standardi tõlkimist korraldas Eesti Standardikeskus ning rahastas Majandus- ja Kommunikatsiooniministeerium.

Euroopa standardimisorganisatsioonide poolt rahvuslikele liikmetele Euroopa standardi teksti kättesaadavaks tegemise kuupäev on 15.12.2007.

Date of Availability of the European Standard EN ISO 13370:2007 is 15.12.2007.

Käesolev standard on eestikeelne [et] versioon Euroopa standardist EN ISO 13370:2007. Teksti tõlke avaldas Eesti Standardikeskus ja see omab sama staatust ametlike keelte versioonidega.

This standard is the Estonian [et] version of the European Standard EN ISO 13370:2007. It was translated by Estonian Centre for Standardisation. It has the same status as the official versions.

ICS 91.120.10 Soojusisolatsioon

Võtmesõnad: arvutamine, ehitised, pinnased, põrandad, soojusjuhtivus, soojuslikud omadused, soojusülekanne  
Hinnagrupp U

### Standardite reprodutseerimis- ja levitamiseõigus kuulub Eesti Standardikeskusele

Andmete paljundamine, taastekitamine, kopeerimine, salvestamine elektroonsesse süsteemi või edastamine ükskõik millises vormis või millisel teel ilma Eesti Standardikeskuse poolt antud kirjaliku loata on keelatud.

Kui Teil on küsimusi standardite autorikaitse kohta, palun võtke ühendust Eesti Standardikeskusega:  
Aru 10, 10317 Tallinn, Eesti; [www.evs.ee](http://www.evs.ee); telefon: 605 5050; e-post: [info@evs.ee](mailto:info@evs.ee)

English Version

Thermal performance of buildings - Heat transfer via the ground  
- Calculation methods (ISO 13370:2007)

Performance thermique des bâtiments - Transfert de  
chaleur par le sol - Méthodes de calcul (ISO 13370:2007)

Wärmetechnisches Verhalten von Gebäuden -  
Wärmeübertragung über das Erdreich -  
Berechnungsverfahren (ISO 13370:2007)

This European Standard was approved by CEN on 7 December 2007.

CEN members are bound to comply with the CEN/CENELEC Internal Regulations which stipulate the conditions for giving this European Standard the status of a national standard without any alteration. Up-to-date lists and bibliographical references concerning such national standards may be obtained on application to the CEN Management Centre or to any CEN member.

This European Standard exists in three official versions (English, French, German). A version in any other language made by translation under the responsibility of a CEN member into its own language and notified to the CEN Management Centre has the same status as the official versions.

CEN members are the national standards bodies of Austria, Belgium, Bulgaria, Cyprus, Czech Republic, Denmark, Estonia, Finland, France, Germany, Greece, Hungary, Iceland, Ireland, Italy, Latvia, Lithuania, Luxembourg, Malta, Netherlands, Norway, Poland, Portugal, Romania, Slovakia, Slovenia, Spain, Sweden, Switzerland and United Kingdom.



EUROPEAN COMMITTEE FOR STANDARDIZATION  
COMITÉ EUROPÉEN DE NORMALISATION  
EUROPÄISCHES KOMITEE FÜR NORMUNG

Management Centre: rue de Stassart, 36 B-1050 Brussels

## SISUKORD

EESSÕNA.....	3
SISSEJUHATUS.....	4
1 KÄSITLUSALA.....	5
2 NORMIVIITED.....	5
3 TERMINID, MÄÄRATLUSED, SÜMBOLID JA MÕÕTÜHIKUD.....	5
3.1 Määratlused ja definitsioonid.....	5
3.2 Sümbolid ja ühikud.....	7
4 ARVUTUSMEETODID.....	7
5 SOOJUSLIKUD OMADUSED.....	8
5.1 Pinnase soojuslikud omadused.....	8
5.2 Ehitusmaterjalide soojuslikud omadused.....	9
5.3 Pindade soojustakistused.....	9
6 SISETEMPERATUURI JA KLIIMA ANDMED.....	9
6.1 Sisetemperatuur.....	9
6.2 Kliimat puudutavad andmed.....	9
7 SOOJUSJUHTIVUS JA SOOJUSVOOL.....	10
7.1 Soojusjuhtivus.....	10
7.2 Külmasillad põrandaservades.....	10
7.3 Soojusvoolu arvutamine.....	10
7.4 Pinnasevee mõju.....	10
7.5 Erijuhtumid.....	11
8 ARVUTUSTES KASUTATUD PARAMEETRID.....	11
8.1 Põranda tunnusmõõtmised.....	11
8.2 Võrdväärne paksus.....	12
9 SOOJUSJUHTIVUSE ARVUTAMINE.....	12
9.1 Põrand pinnasel.....	12
9.2 Põrand välisõhu kohal.....	13
9.3 Köetav kelder.....	15
9.4 Kütmata kelder.....	18
9.5 Osaliselt köetav kelder.....	18
Lisa A (normlisa) Pinnasesse kulgeva soojusvoolu arvutamine.....	19
Lisa B (normlisa) Soojustatud servadega pinnasel asuv põrand.....	24
Lisa C (normlisa) Soojusvoolud eraldi ruumides.....	28
Lisa D (normlisa) Dünaamiliste simulatsiooniprogrammide kohaldamine.....	29
Lisa E (normlisa) Välisõhu kohal asuva põranda alune tuulutus.....	30
Lisa F (teatmelisa) Perioodilised soojuse erikaod.....	32
Lisa G (teatmelisa) Pinnase soojuslikud omadused.....	36
Lisa H (teatmelisa) Voolava pinnasevee mõju.....	37
Lisa I (teatmelisa) Pinnasel asuv põrand põrandakütte- või jahutussüsteemiga.....	38
Lisa J (teatmelisa) Külmlaad.....	39
Lisa K (teatmelisa) Näidised.....	40
Kasutatud kirjandus.....	48

## EESSÕNA

Dokumendi (EN ISO 13370:2007) on ette valmistanud ISO tehniline komitee ISO/TC 163 "Thermal performance and energy use in the built environment" koostöös CEN-i tehnilise komiteega CEN/TC 89 "Thermal performance of buildings and building components", mille sekretariaati haldab SIS.

Euroopa standardile tuleb anda rahvusliku standardi staatus kas identse tõlke avaldamisega või jõustumistega hiljemalt 2008. a juuniks ja sellega vastuolus olevad rahvuslikud standardid peavad olema kehtetuks tunnistatud hiljemalt 2008. a juuniks.

Tuleb pöörata tähelepanu võimalusele, et mõned käesoleva dokumendi elemendid võivad olla patendiõiguse subjektiks. CEN [ja/või CENELEC] ei ole kohustatud mingeid või kõiki selliseid patendiõigusi välja selgitama.

Käesolev dokument asendab standardi EN ISO 13370:1998.

CEN-i/CENELEC-i sisereeglite järgi peavad Euroopa standardi kasutusele võtma järgmiste riikide rahvuslikud standardimisorganisatsioonid: Austria, Belgia, Bulgaaria, Eesti, Hispaania, Holland, Iirimaa, Island, Itaalia, Kreeka, Küpros, Leedu, Luksemburg, Läti, Malta, Norra, Poola, Portugal, Prantsusmaa, Rootsi, Rumeenia, Saksamaa, Slovakkia, Sloveenia, Soome, Šveits, Taani, Tšehhi Vabariik, Ungari ja Ühendkuningriik.

### Jõustumisteade

Standardi ISO 13370:2007 tekst on CEN-i poolt üle võetud standardina EN ISO 13370:2007 ilma ühegi muudatuseta.

## SISSEJUHATUS

Käesolev rahvusvaheline standard kehtestab abinõud (osaliselt) ehitustoodete ja -teenuste osaluse energia säästmise ja hoonete üldise soojusliku toimimise tagamisel.

Erinevalt standardist ISO 6946<sup>1</sup>, milles on sätestatud arvutusmeetodid välisõhuga kontaktis oleva läbipaistmatu piirdetarindi soojusläbivuse arvutamiseks, keskendub käesolev rahvusvaheline standard maapinnaga soojuslikus kontaktis olevatele piirdetarinditele. Nimetatud standardite kasutuspiir paikneb pinnasel asuvate pörandate sisepindade, pörandate välisõhu kohal ja kütmata keldrite ning köetavate keldrite välispindade tasandil. Et ehitise kogusoojuskadude arvutamisel arvestada seina ja pörandade ühenduskohtadesse tekkivaid külmasildasid, kasutatakse reeglina standardis ISO 13789 kirjeldatud soojusmeetodeid.

Hindamaks sisepinna minimaalset temperatuuri võib soojuslevi pinnasesse leida numbriliste meetoditega, mis võimaldavad analüüsida ka külmasildasid, sh sein/pörand ühendusi.

Käesolevas standardis on antud lihtsustatud meetodid, mis arvestavad soojusvoo kolmemõõtmelist olemust ja enamikel juhtudel on sobivad soojuslevi ja soojuskadude arvutamiseks.

Pörandate soojusläbivus annab vajalikke võrdlusandmeid erinevate pörandakonstruktsioonide soojustakistuste suuruste kohta ning neid kasutatakse mitmete riikide ehitusmäärustes pörandade kaudu toimivate soojuskadude vähendamiseks.

Kuigi soojusjuhtivus on määratletud, eeldades, et tingimused on püsivad, on see seotud ka keskmise soojusvoo suhtega keskmisesse temperatuurivahesse. Sõltuvalt ööpäevastest temperatuuri muutustest võib välisõhuga kokkupuutuvate piirdetarindite puhul neid ööpäeva jooksul läbiva soojusvoo suund perioodiliselt muutuda, kuid see taandub välja ja ööpäevase keskmise soojuskao võib leida soojusjuhtivuse ja ööpäeva keskmise sise- ja välistemperatuuri vahe abil. Kuid pinnasega kokkupuutuvatele pörandatele ja keldri seintele mõjub pinnase suur soojusinerts perioodiliste soojusvoogudena sõltuvalt aastasest sise- ja välistemperatuuride tsüklit. Püsiv soojusvoog on sageli hea lähendus keskmise soojuskao leidmiseks kütteperioodi jooksul.

Lisaks püsivale osale saab pörandade soojuskadusid detailselt määrata aastaste perioodilise soojuslevi suhetega pinnase soojusmahtuvusse ja ka soojusjuhtivusse, arvestades ka kuu keskmist temperatuuri aastase kõikumise amplituudiga.

Lisa D pakub meetodi soojuslevi arvutamiseks pinnasesse ja pinnasest lühematel ajavahemikel (näiteks üks tund).

Käesolevas rahvusvahelises standardis käsitletud meetodite illustreeritud kirjeldused on ära toodud lisa K.

<sup>1</sup> EE MÄRKUS: (ja standardist EVS 908).

## 1 KÄSITLUSALA

Käesolevas rahvusvahelises standardis on esitatud arvutusmeetodid pinnasega soojuslikus kontaktis olevate piirdetarindite, kaasa arvatud pinnasel asuvad põrandad, põrand välisõhu kohal<sup>2</sup> ja keldrid, soojusjuhtivuse ja soojusvoo arvutamiseks. See hõlmab ehituselemente või nende osi, mis asuvad maapinnast madalamal:

— pinnasel ja välisõhu kohal asuvate põrandate puhul põrand sisepind;

MÄRKUS Teatud puhkudel on sisepinna piiriks põrandaplaadi aluspind.

— köetavate keldrite puhul maapinna välise tasandini.

Käesolev rahvusvaheline standard sisaldab soojuslevi arvutust püsivates tingimustes (aasta keskmine soojusvoog) ja arvestatud on ka aastaste perioodiliste temperatuurimuutustega (soojusvoogude hooajalised erinevused aasta keskmise väärtuse suhtes). Nimetatud hooajaliste erinevuste arvutamine toimub kuude lõikes ja kui lisas D antud dünaamiline simulatsiooniprogramm välja arvata, ei hõlma antud rahvusvaheline standard lühemaid ajavahemikke.

## 2 NORMIVIITED

Järgnevalt loetletud dokumendid on vajalikud käesoleva standardi rakendamiseks. Dateeritud viidete korral kehtib üksnes viidatud väljaanne. Dateerimata viidete korral kehtib viidatud dokumendi uusim väljaanne koos võimalike muudatustega.

ISO 6946, *Building components and building elements — Thermal resistance and thermal transmittance — Calculation method*

ISO 7345, *Thermal insulation — Physical quantities and definitions*

ISO 10211, *Thermal bridges in building construction — Heat flows and surface temperatures — Detailed calculations*

ISO 10456, *Building materials and products — Hygrothermal properties — Tabulated design values and procedures for determining declared and design thermal values*

ISO 14683, *Thermal bridges in building construction — Linear thermal transmittance — Simplified methods and default values*

## 3 TERMINID, MÄÄRATLUSED, SÜMBOLID JA MÕÕTÜHIKUD

### 3.1 Määratlused ja definitsioonid

Käesolevas dokumendis kohaldatakse standardis ISO 7345 ja alljärgnevalt toodud termineid ja määratlusi.

#### 3.1.1

**põrand pinnasel** (*slab on ground*)

põrandatarind, mis toetub kogu pinna ulatuses otse pinnasele

#### 3.1.2

**põrand välisõhu kohal**<sup>1</sup> (*suspended floor*)

põrandatarind, mille puhul põrand on pinnasest kõrgemal ning põrand ja pinnase vahel on õhkvahe

MÄRKUS See õhkvahe, mida nimetatakse ka põrandaaluseks ruumiks (*crawl space*), võib olla ventileeritud või ventileerimata ja ei ole elamiskõlblik ruum.

<sup>2</sup> EE MÄRKUS: Ka alttuulutav põrand.

### 3.1.3

#### **kelder** (*basement*)

kasutatav hoone osa, mis asub osaliselt või täielikult maa all

MÄRKUS See ruum võib olla köetav või kütmata.

### 3.1.4

#### **võrdväärne paksus** $d_g, d_t, d_w$ m (*equivalent thickness*)

<soojustakistus> (*thermal resistance*) tegeliku pinnase (võib sisaldada soojustust ja erinevate omadustega pinnaseid) soojustakistusega võrdne homogeense pinnasekihi paksus

### 3.1.5

#### **püsiv soojusjuhtivus** $U_{\text{stats}}$ , **W/(m<sup>2</sup>·K)** (*steady-state heat transfer coefficient*)

püsiv soojusvoog, jagatuna sise- ja väliskeskkonnavahelise temperatuurierinevusega

### 3.1.6

#### **sisemine perioodiline soojusjuhtivus** $U_{\text{int.per}}$ , **W/(m<sup>2</sup>·K)** (*internal periodic heat transfer coefficient*)

perioodilise soojusvoo amplituud, jagatuna sisetemperatuuri aastase amplituudiga

### 3.1.7

#### **väline perioodiline soojusjuhtivus** $U_{\text{ext.per}}$ , **W/(m<sup>2</sup>·K)** (*external periodic heat transfer coefficient*)

perioodilise soojusvoo amplituud, jagatuna välistemperatuuri aastase amplituudiga

### 3.1.8

#### **põranda tunnusmõõt** $B^2$ , m (*characteristic dimension of floor*)

põrandapindala ja poole põranda perimeetri jagatis

### 3.1.9

#### **faasinihe** (*phase difference*)

muutuva temperatuuri maksimaalse või minimaalse suuruse vaheline ajavahemik ning sellega kaasnev maksimaalne või minimaalne soojusvoog



### 3.2 Sümbolid ja ühikud

Alljärgnevalt on esitatud ülevaade peamistest kasutatud sümbolitest. Ülejäänud sümbolite määratlused antakse nende kasutamisel tekstis.

Sümbol	Suurus	Ühik
$A$	põrandapindala	$m^2$
$B'$	põranda tunnismõõtmed	m
$c$	külmumata pinnase erisoojusmahutavus	J/(kg·K)
$d_g$	võrdväärne kogupaksus – välisõhu kohal asuva põranda alune pinnas	m
$d_t$	võrdväärne kogupaksus – pinnasel asuv põrand	m
$d_w$	võrdväärne kogupaksus – keldrisein	m
$H_g$	pinnase soojuse erikadu püsivates tingimustes	W/K
$h$	põrandapinna kõrgus ümbritseva pinnase tasapinna suhtes	m
$P$	põranda avatud perimeeter	m
$Q$	soojushulk	J
$R$	soojustakistus	$m^2 \cdot K/W$
$R_f$	põrandatarindi soojustakistus	$m^2 \cdot K/W$
$R_{si}$	piirdetarindi sisepinna takistus	$m^2 \cdot K/W$
$R_{se}$	piirdetarindi välispinna takistus	$m^2 \cdot K/W$
$R_g$	maapinna võrdväärne soojustakistus	$m^2 \cdot K/W$
$U$	piirdetarindi soojusjuhtivus	W/( $m^2 \cdot K$ )
$U_{bf}$	keldripõranda soojusjuhtivus	W/( $m^2 \cdot K$ )
$U_{bw}$	keldriseinte soojusjuhtivus	W/( $m^2 \cdot K$ )
$U'$	kogu keldri võrdväärne soojusjuhtivus	W/( $m^2 \cdot K$ )
$w$	välisseinte paksus	m
$z$	keldri sügavus maapinna suhtes	m
$\Phi$	soojusvool	W (J/s)
$\lambda$	pinnase soojuserijuhtivus (külmumata pinnas)	W/(m·K)
$\rho$	pinnase tihedus (külmumata pinnas)	kg/m <sup>3</sup>
$\theta$	temperatuur	°C
$\Psi_g$	põranda/seina ühenduskoha joonkülmasilla lisasoojusjuhtivus	W/(m·K)
$\Psi_{g,e}$	servast soojustatud vundamendi joonkülmasilla lisasoojusjuhtivus	W/(m·K)

## 4 ARVUTUSMEETODID

Soojuslevi pinnasesse iseloomustavad järgmised näitajad:

- soojuslevi läbi põranda, mis sõltub põranda tarindusest;
- soojuslevi läbi põranda ääreala, mis sõltub seal asuvast külmasillast;
- soojuslevi läbi põranda ääreala, mis sõltub pinnase soojuslikust inertsiist.

Püsiva soojusjuhtivuse ehk aasta keskmise soojusjuhtivuse hindamiseks kasutatakse ühte alljärgnevalt kirjeldatud meetoditest.

- Täismahus kolmesuunaline soojuslevi arvutus, mille põhjal saadakse vahetult kõnealust põrandat iseloomustavad tulemused: arvutuste tegemisel võetakse aluseks standard ISO 10211. Tulemus on kohaldatav üksnes arvutuses kasutatud põranda mõõtmetele.
- Kahesuunaline soojuslevi arvutus, mille puhul on aluseks võetud lõputu pikkusega põrand, mille laius on võrdne põranda tunnusmõõduga  $B'$ , m (põrandapindala ja poole perimeetri jagatis, vt. 8.1): arvutuste teostamisel võetakse aluseks standard ISO 10211. Tulemust on võimalik kohaldada arvutatud tunnusmõõduga põrandate osas.

**MÄRKUS** Suurimad soojusvood tekivad reeglina põranda servades ning enamasti tekivad kolmesuunalise ülesande kahesuunaliseks teisendamisel (ehitise laiust põranda tunnusmõõtmena kasutavaks ülesandeks teisendamisel) üksnes väikesed vead.

- Vertikaalne soojuslevi läbi põranda pindala, mille arvutamisel on aluseks võetud standardis ISO 10211 sätestatud kahemõõtmeline valem koos põrandaservas asuvate joonkülmasildade arvestamisega (soojuslevimist on arvutatud käesolevas rahvusvahelises standardis toodud valemite põhjal (vt 9. peatükk)).
- Vertikaalne soojuslevi läbi põranda pindala, mille arvutamisel on aluseks võetud käesolevas rahvusvahelises standardis toodud valem (vt 9. peatükk), koos põrandaservades asuvate külmasildade lisajuhtivustega, mis on saadud kahe- või kolmesuunalise temperatuurivälja arvutustest või võetud standardis ISO 14683 kirjeldatud korras koostatud tabelitest.

Punktide c) ja d) puhul on soojuslevi püsiv osa leitud valemi (1) alusel:

$$H_g = U \cdot A + \Psi_g \cdot P, [W/m] \quad (1)$$

kus  $\Psi_g$  leitakse punktis c) kirjeldatud arvutusmeetodi põhjal või punktis d) kirjeldatud tabelist,  $W/(m \cdot K)$ .

**EE MÄRKUS:**

$H_g$	soojuse erikadu püsivates tingimustes, $W/m$ ;
$U$	põranda soojusjuhtivus, $W/(m^2 \cdot K)$ ;
$P$	põranda välisperimeeter, m.

Mõlemal juhul on meetodit võimalik kohaldada igasuguse kuju või suurusega põrandatele. Põranda soojusjuhtivus  $U$  sõltub põranda mõõtmetest, kuid  $\Psi_g$  väärtus põranda mõõtmetest ei sõltu. Kõetavate keldrite ja lisa B (vt B.1) kohaldamise puhul (vt 9.3.4) täiendatakse valemit (1).

Aastaste perioodiliste soojusvoogudega seotud teave on toodud punktis 7.3 ja lisa A.

## 5 SOOJUSLIKUD OMADUSED

### 5.1 Pinnase soojuslikud omadused

Pinnase soojuslikud omadused võivad olla määratud rahvuslikes määrustes või muudes dokumentides, mida võib kasutada vastavalt vajadusele. Muudel juhtudel võib tegutseda ka järgnevalt:

- juhul, kui konkreetse ehitise aluse pinnase soojuslikud omadused on teada, kasutada neid vastavalt keskmisele sügavusele, mis on võrdne ehitise laiusega, ja pinnase niiskusesisaldusele;
- kui pinnase tüüp on teada või määratletud, kuid konkreetseid omadusi ei ole teada, kasutage tabelis 1 toodud omadusi;
- muudel juhtudel kasutage liiva või kruusa andmeid:  $\lambda = 2,0 W/(m \cdot K)$  ja  $\rho c = 2,0 \times 10^6 J/(m^3 \cdot K)$ .

MÄRKUS Lisa G sisaldab täpsemat teavet maapinna omaduste kohta.

**Tabel 1 — Pinnase soojuslikud omadused**

Kategooria	Kirjeldus	Soojusjuhtivus $\lambda$ W/(m·K)	Soojusmahtuvus $\rho \cdot C$ J/(m <sup>3</sup> ·K)
1	Savi või savimöll	1,5	$3,0 \times 10^6$
2	Liiv või kruus	2,0	$2,0 \times 10^6$
3	Homogeenne kivim	3,5	$2,0 \times 10^6$

## 5.2 Ehitusmaterjalide soojuslikud omadused

Igasuguste tarindite soojustakistuse puhul kasutage standardis ISO 10456 määratletud arvutuslikke väärtusi. Maapinnast allpool kasutatavate tarindite soojustakistus peaks arvesse võtma ka ehitise asukoha niiskus- ja temperatuuritingimusi.

Soojusjuhtivuse kasutamisel leitakse soojustakistus paksuse ja soojusjuhtivuse jagatisena.

MÄRKUS Põrandatarindites kasutatud ehitusmaterjalide soojusmahtuvus on pinnase vastava väärtusega võrreldes väike ning jäetakse arvestamata.

## 5.3 Pindade soojustakistused

Pindade soojustakistuste suurused peavad vastama standardile ISO 6946.

Põrandaaluse ruumi ülemise ja alumise pinna juures kasutatakse sisepinna soojustakistust,  $R_{si}$ .

## 6 SISETEMPERATUURI JA KLIIMA ANDMED

### 6.1 Sisetemperatuur

Juhul, kui vahetult põranda kohal asuvaid erinevaid tube või ruume iseloomustavad erinevad temperatuurid, tuleks kasutada nende kaalutud keskmist suurust. Kaalutud keskmise sisetemperatuuri leidmiseks võrreldakse iga ruumi temperatuuri antud ruumi maapinnaga kontaktis oleva pindalaga.

Soojusvoolu arvutamiseks käesolevas rahvusvahelises standardis sätestatud korras on vaja teada:

- aasta keskmist sisetemperatuuri;
- juhul, kui arvesse võetakse ruumitemperatuuri kõikumisi ja sisemise temperatuuri keskmise hälbeid aastasest keskmisest, määratletakse kõikumine iga kuu keskmise temperatuuri maksimum- ja miinimumväärtuste vahelise erinevuse poole väärtusena.

### 6.2 Kliimat puudutavad andmed

Soojusvoolu arvutamiseks käesolevas rahvusvahelises standardis sätestatud korras on vaja teada:

- aasta keskmist välistemperatuuri;
- juhul, kui arvesse võetakse välistemperatuuri kõikumisi ja välistemperatuuri keskmise hälbeid aastasest keskmisest, määratletakse kõikumine iga kuu keskmise välistemperatuuri maksimum- ja miinimumväärtuste vahelise erinevuse poole väärtusena;
- loomuliku ventilatsiooniga välisõhu kohal asuvate põrandate puhul keskmist tuulekiirust, mõõdetuna 10 m kõrgusel maapinna tasemest väljaspool hoonet.

Juhul, kui pinnase temperatuur on teada või seda on võimalik prognoosida, võib välisõhu temperatuuri väärtuse asemel kasutada seda näitajat, kuna selle alusel on võimalik arvesse võtta lumikatte ja päikeseenergia mõju maapinnale ja/või selge taeva korral pikklaineikiirgust. Niisugustel puhkudel tuleks  $R_{se}$  kõikidest valemiteest välja jätta.

## 7 SOOJUSJUHTIVUS JA SOOJUSVOOL

### 7.1 Soojusjuhtivus

Põrandate ja keldrite soojusjuhtivused on seotud soojuslevi püsivate komponentidega. Erinevate põranda- ja keldritüüpide puhul kasutatavad arvutusmeetodid on ära toodud 9. peatükis. Valemities on kasutatud põranda tunnusmõõtmeid ja põranda soojustuskihi paksuse ekvivalenti (vt 8. peatükk).

Kui vajatakse pinnase soojuste erikadu, loetakse see võrdseks soojuste erikaoga püsivates tingimustes,  $H_g$ , mille arvutamisel on kasutatud valemit (1).

### 7.2 Külmasillad põrandaservades

Käesolevas rahvusvahelises standardis kasutatud valemite valikul on aluseks võetud soojustatud põrandad, mida vaadeldakse sõltumatult põranda ja seinte vahelistest suhetest. Nende puhul on arvestatud ka pinnase ühtsete soojuslike omadustega (välja arvatud eeskätt servade isolatsiooniga seotud mõjud).

Praktikas tekivad pinnasel asuvate seinte/põrandate ühenduskohtadesse külmasillad. Neid tuleb ehitise soojuskao koguväärtuse arvutamisel arvesse võtta, kasutades selleks lineaarset soojusjuhtivust,  $\Psi_g$ .

**MÄRKUS** Lineaarne soojusjuhtivus sõltub süsteemist, mida kasutatakse hoone mõõtmete määratlemiseks (vt ISO 13789).

Kogu ehitise soojuskao arvutamisel võetakse seejärel arvesse eraldavat pinda

- pinnasel asuvate põrandate, põrand välisõhu kohal ja kütmata keldrite sisepinna tasandil või
- kütmissõimaluseta keldrite puhul maapinna tasandil väljaspool ehitist.

**MÄRKUS** Teatud puhkudel sätestavad põrandaplaadi alumise pinna piiritlese välised mõõtsüsteemid.

Eraldavast pinnast kõrgemal asuvate elementide soojusjuhtivuse hindamisel tuleb aluseks võtta asjaomased standardid, näiteks ISO 6946.

### 7.3 Soojusvoolu arvutamine

Soojustkadu pinnasesse on võimalik arvutada aastase näitajana, kasutades üksnes pinnase soojuste erikadu püsivates tingimustes, või hooajaliselt või kuude kaupa, kasutades täiendavaid periooditegureid, mis võtavad arvesse pinnase soojuslikku inertsi. Asjaomased valemities on esitatud lisas A.

### 7.4 Pinnasevee mõju

Pinnasevee mõju soojuslevile võib jätta arvestamata, välja arvatud juhul, kui vesi asub madalatel kõrgustel ning on suure voolukiirusega. Sedalaadi tingimusi tuleb ette väga harva ning reeglina ei ole pinnaseveega arvestamine vajalik.

Kui pinnaseveetase ja pinnasevee kogused on teada, võib pinnase soojuste erikadu püsivates tingimustes,  $H_g$ , korrutada teguriga  $G_w$ .

**MÄRKUS** Illustreerivad väärtused  $G_w$  kohta on toodud lisas H.

## 7.5 Erijuhtumid

Käesolevas rahvusvahelises standardis kirjeldatud meetodeid on võimalik kohaldada ka järgmistes olukordades, jälgides seejuures asjaomases osas kirjeldatud täiendusi:

- soojusvool üksikutes ruumides (vt lisa C);
- kohaldamine dünaamilistes simulatsiooniprogrammides (vt lisa D).

**MÄRKUS** Käesolevat rahvusvahelist standardit on võimalik kasutada ka põrandküttesüsteemiga pinnasele toetuvate põrandate (vt lisa I) ja külmladude puhul (vt lisa J).

## 8 ARVUTUSTES KASUTATUD PARAMEETRID

### 8.1 Põranda tunnusmõõtmel

Põrandas tekkiva soojusvoo kolmemõõtmelisusega arvestamiseks on käesolevas rahvusvahelises standardis toodud valemites kasutatud põranda "tunnusmõõtmel"  $B'$ , mis on määratletud kui põrandapindala ja poole perimeetri väärtuse jagatis:

$$B' = \frac{A}{0,5P} \quad (2)$$

**EE MÄRKUS:** kus

$B'$	põranda tunnusmõõde, m;
$A$	põranda pindala, m <sup>2</sup> ;
$P$	põranda välisperimeeter, m.

**MÄRKUS** Määratlemata pikkusega põranda puhul on  $B'$  põranda laius; ruudukujulise põranda korral on  $B'$  võrdne põranda ühe külje poole pikkusega.

Vundamendiga seotud eritingimusi, näiteks põrandaservade soojustust, koheldakse perimeetril esineva külmasilla lisajuhtivusena.

Keldrite puhul toimub  $B'$  arvutamine keldri põranda pindala ja perimeetri alusel, võtmata arvesse keldriseinu, ja soojusvoog keldrist võtab arvesse ka perimeetrit ja keldripõranda sügavust (kaugust) maapinna suhtes.

Käesolevas rahvusvahelises standardis on  $P$  põranda avatud perimeeter: hoonet väliskeskonnast või väljaspool isolatsioonimaterjali asuvast kütmata ruumist eraldava välisseina kogupikkus. Sellest tingitult,

- kogu hoone puhul on  $P$  hoone välisperimeeter ja  $A$  omakorda põranda kogupindala;
- hoone soojuskao arvutamiseks (nt ridamajas iga boksi kohta) peab  $P$  juhul, kui  $A$  on vaadeldav põranda pindala, sisaldama hoonet väliskeskonnast eraldava välisseina pikkuseid, jättes seejuures arvestamata kõnealust majaosa teistest hoone köetavatest ruumidest eraldavate seinte pikkused;
- kütmata ruumide puhul jäetakse  $P$  ja  $A$  määramisel arvesse võtmata väljaspool hoone soojustuskohti asuvad kütmata ruumid (näiteks verandad, garaažid või hoiuruumid) (kuid perimeetri määramisel tuleb arvesse võtta köetava hoone ja kütmata ruumi vahel asuva seina pikkust); soojuskadu pinnasesse arvutatakse nii, nagu kütmata ruume ei eksisteeriks).

## 8.2 Võrdväärne paksus

Kontseptsiooni “võrdväärne paksus” kasutatakse soojustatud põranda soojusjuhtivuse vältendamise hõlbustamiseks.

Põranda soojustakistust esindab selle võrdväärne paksus, milleks on sama soojustakistusega maapinna paksus. Käesoleva rahvusvahelise standardi tähenduses:

- $d_t$  on põrandate võrdväärne paksus;
- $d_w$  on maapinnast allpool asuvate keldriseinte võrdväärne paksus.

Pinnase soojuse erikadu püsivates tingimustes on seotud ekvivalentse paksuse ja põranda tunnusmõõtmete suhtega ning perioodilised soojuse erikadod on seotud ekvivalentse paksuse ja perioodilise süvistussügavuse suhtega.

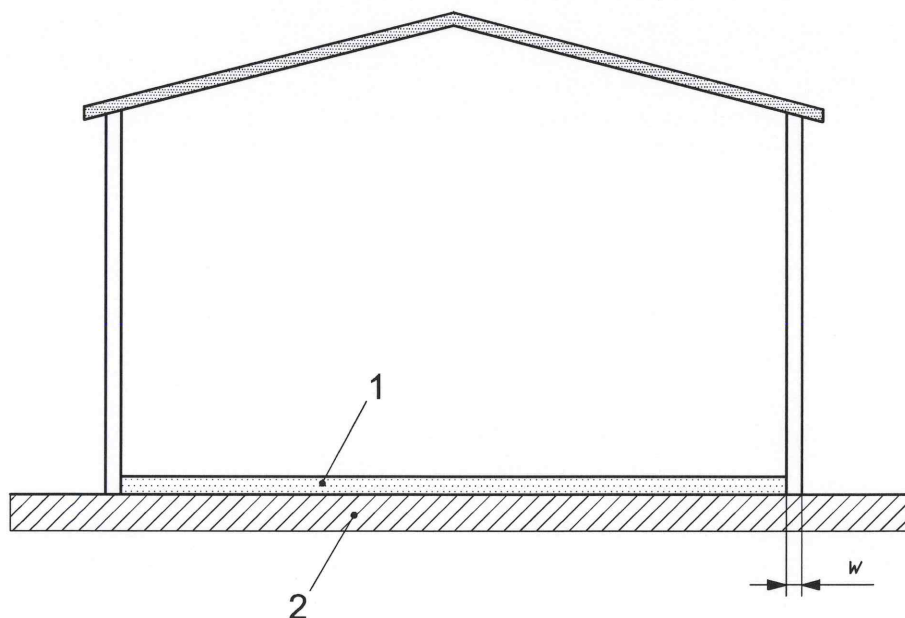
## 9 SOOJUSJUHTIVUSE ARVUTAMINE

### 9.1 Põrand pinnasel

Põrand pinnasel on igasugune põrand, mis on kontaktis aluspinnasega, olenemata sellest, kas see toetub tervikuna pinnasele või mitte ja asub välispinnaga samal või ligilähedasel kõrgusel (vt joonis 1). Nimetatud põrandaplaat võib olla

- isolatsioonita või
- ühtlaselt isoleeritud (plaadi kohalt, alt või seest) kogu pinna ulatuses.

Kui põrandal on äärtes horisontaalne ja/või vertikaalne isolatsioon, võib soojusjuhtivust korrigeerida lisa B toodud korras.



#### Võti

- |   |                    |
|---|--------------------|
| 1 | põrandaplaat       |
| 2 | pinnas             |
| w | välisseinte paksus |

Joonis 1 — Pinnasel asuv põranda kujutis

Soojusjuhtivus sõltub pöranda tunnismõõdust  $B'$  [vt 8.1 ja valem (2)] ja võrdväärse paksuse  $d_t$  koguväärtusest (vt 8.2), mis on arvatav valemiga (3):

$$d_t = w + \lambda(R_{si} + R_f + R_{se}) \quad (3)$$

kus

- $w$  on seinte kogupaksus koos seina kõikide kihtidega;  
 $R_f$  on pörandaplaadi soojustakistus, kaasa arvatud kõik soojustuskihid plaadi peal, all ja vahel, ning pörandakattematerjali soojustakistus;

ja muud sümbolid on määratletud punktis 3.2.

Tihedate betoonplaatide ja õhukeste pörandakattematerjalide soojustakistuse võib jätta arvestamata. Plaadi all asuva killustiku ja/või kruusakihi soojusjuhtivus loetakse pinnase omaga samaväärseks ning selle soojustakistust ei arvestata.

Arvutage välja soojusjuhtivus, kasutades pöranda soojusisolatsioonist sõltuvalt kas valemit (4) või (5).

Kui  $d_t < B'$  (soojustamata ja mõõdukalt soojustatud pörandad),

$$U = \frac{2\lambda}{\pi B' + d_t} \ln\left(\frac{\pi B'}{d_t} + 1\right) \quad (4)$$

Kui  $d_t \geq B'$  (hästi soojustatud pörandad),

$$U = \frac{\lambda}{0,457 \times B' + d_t} \quad (5)$$

MÄRKUS 1 Hästi soojustatud pörandate puhul võib valemi esitada ka järgmisel kujul:

$$U_g = \frac{1}{(R_f + R_{si} + R_{se} + w/\lambda) + R_g}$$

kus  $R_g$  on maapinna võrdväärne soojustakistus, mis leitakse valemiga

$$R_g = \frac{0,457 \times B'}{\lambda}$$

Lõpptulemusena esitatav soojusjuhtivuse väärtus ümardatakse kahe komakohani. Vahepealsete arvutuste puhul võetakse arvesse kolme kohta pärast koma.

MÄRKUS 2 Soojusjuhtivuse väärtus võib suurte pörandate puhul väike olla ning seega on vaja rohkem kohti pärast koma.

Pinnase soojuste erikadu püsivates tingimustes sise- ja väliskeskkonna vahel leitakse valemit (1) kasutades.

## 9.2 Pörand välisõhu kohal<sup>3</sup>

Pörand välisõhu kohal on igasugune pörand, mis ei ole kontaktis pinnasega, näiteks on toetatud puitu või talasid ja plokke kasutades (vt joonis 2).

<sup>3</sup> EE MÄRKUS: Ka alttuulutav pörand.

Käesolevas punktis käsitletakse tavapärase konstruktsiooniga pörandat välisõhu kohal, mille õhkvahet tuulutatakse loomulikult ja välisõhku kasutades. Õhkvahe mehaanilise tuulutamise korral või kui ventilatsiooni õhuvooluhulgad on teada, vt lisa E.

Pöranda soojuslähivus on antud valemiga (6):

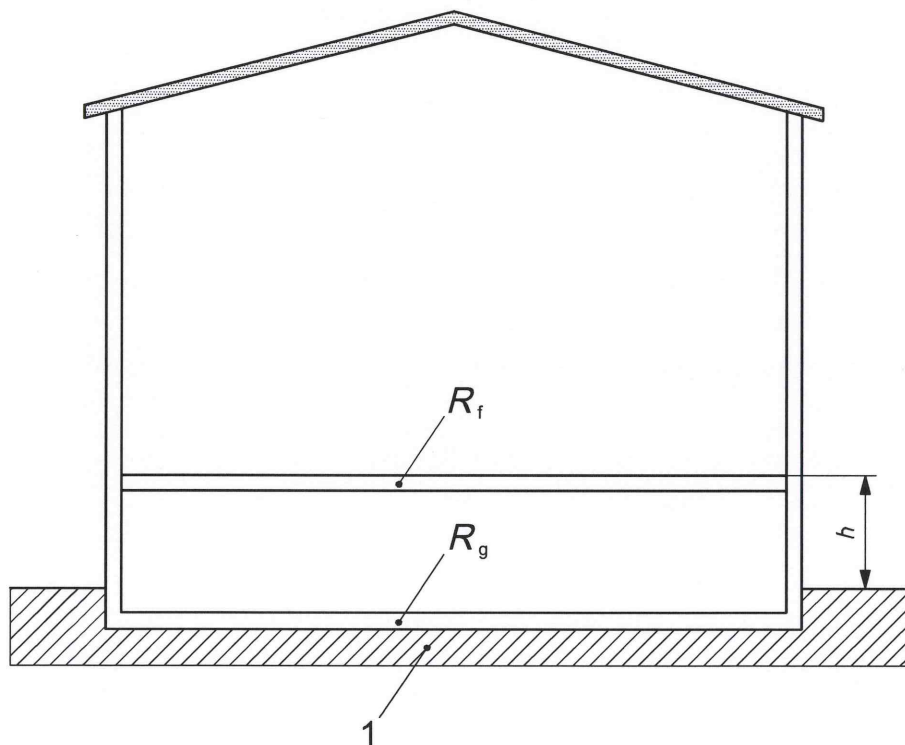
$$\frac{1}{U} = \frac{1}{U_f} + \frac{1}{U_g + U_x} \quad (6)$$

kus

$U_f$  on pöranda välisõhu kohal asuva osa soojusjuhtivus  $W/(m^2 \cdot K)$  (hoone siseruumi ja õhkvahe vahel);

$U_g = \frac{1}{R_g}$  on soojusjuhtivus, mis tuleneb pinnasesse suunduvast soojusvoost,  $W/(m^2 \cdot K)$ ;

$U_x$  on võrdväärne soojusjuhtivus õhkvahe ja väliskeskkonna vahel, mis tuleneb soojuslevist läbi õhkvahe seinte ning õhkvahe tuulutamisest,  $W/(m^2 \cdot K)$ .



#### Võti

- 1 pörandaplaat
- $h$  pörandapinna keskmine kõrgus ümbritseva maapinna suhtes
- $R_f$  pörandakonstruktsiooni soojustakistus
- $R_g$  pinnase võrdväärne soojustakistus

#### Joonis 2 — Välisõhu kohal asuva pöranda joonis

$U_f$  arvutamisel võetakse arvesse külmasildade mõju. Arvutamisel võib lähtuda standardist ISO 6946 või kasutada numbrilisi meetodeid. Juhul, kui pöranda madalamal poolel on tegemist väikese pinna emissiooniga pindadega, võib pindade soojustakistust korrigeerida standardis ISO 6946 kirjeldatud meetodit kasutades.



Kõetavates hoonetes kohaldatakse alla suunas olevate soojusvoogude puhul kehtivaid takistusi ja külmades hoonetes pindade takistusi, mis on omased ülespoole suunduvatele soojusvoogudele.

Kasutage  $U_g$  arvutamiseks valemeid (2), (7) ja (8):

$$d_g = w + \lambda(R_{si} + R_f + R_{se}) \quad (7)$$

$$U_g = \frac{2\lambda}{\pi B' + d_g} \ln\left(\frac{\pi B' + d_g}{d_g} + 1\right) \quad (8)$$

kus  $R_g$  on õhkvahe põhjas asuva isolatsioonikihi soojustakistus, väljendatuna  $m^2 \cdot K/W$ .

Kui õhkvahe ulatub keskmiselt enam kui 0,5 m võrra maapinnast allapoole, tuleb  $U_g$  arvutamisel aluseks võtta valem (E.2).

Kui õhkvahe ääred soojustatakse, tuleks  $U_g$  väärtus vastavalt valemile (B.3) korrigeerida.

Leidke  $U_x$  valemi (9) põhjal:

$$U_x = 2 \times \frac{hU_w}{B'} + 1450 \times \frac{\varepsilon v f_w}{B'} \quad (9)$$

kus

$h$	põrandapinna keskmine kõrgus ümbritseva maapinna suhtes;
$U_w$	on õhkvahe seinte soojusjuhtivus välise maapinna kohal, $W/(m^2 \cdot K)$ , arvatud vastavalt standardile ISO 6946;
$\varepsilon$	on tuulutusavade pindala õhkvahe ümbermõõdu pikkuses, $m^2/m$ ;
$v$	on keskmine tuulekiirus 10 meetri kõrgusel, $m/s$ ;
$f_w$	on tuuletõkketegur.

Kui põrandapinna kõrgus ümbritseva maapinna suhtes muutub, tuleb valemis (9) kasutada keskmist väärtust.

Lisas E on toodud valemid keskmise temperatuuri arvutamiseks õhkvaheas.

Tuuletõkketeguri puhul on aluseks võetud tuulekiirus 10 meetri kõrgusel (takistuste puudumise eeldusel) ja maapinna lähedal, võttes arvesse ka külgnevatest hoonetest tulenevat takistust jne. Vastavad väärtused on esitatud tabelis 2.

**Tabel 2 — Tuuletõkketeguri väärtused**

Asukoht	Näide	Tuuletõkketegur $f_w$
Varjatud	Linnakeskus	0,02
Keskmine	Äärelinn	0,05
Tuultele avatud	Maapiirkond	0,10

Pinnase soojuse erikadu sise- ja väliskeskonna vahel püsivates tingimustes leitakse valemiga (1).

### 9.3 Kõetav kelder

#### 9.3.1 Üldist

Keldrite arvutusmeetodit kohaldatakse ehitistes, mille kasutatavad ruumid asuvad osaliselt maa all (vt joonis 3). Arvutuspõhimõtted sarnanevad pinnasel paiknevate põrandate osas kohaldatutega, võttes muu hulgas arvesse:

- keldri pöranda sügavust,  $z$ , maapinna suhtes;
- võimalust, et keldri seinte ja keldri pöranda puhul on kasutatud erineva paksusega soojustuskihte.

Kui  $z$  väärtus on pöranda ümbermõõdu löikes erinev, tuleb arvutamisel kasutada keskmist suurust.

MÄRKUS 1 Kui  $z = 0$ , piirduakse valemite osas punktis 9.1 antud pinnasel asuvate pörandate osas kohaldatavatega.

Käesolev rahvusvaheline standard ei hõlma konkreetselt hooneid, mille pörand asub osaliselt maapinnal ja osalt maa all. Samas on siiski võimalik teha üldistusi niisuguste hoonete soojuskadude koguväärtuste kohta, vaadeldes nimetatud hooneid sellistena, mille all on täismõõtudes kelder, mille sügavus on võrdne poolega keldriosa tegelikust sügavusest.

MÄRKUS 2 Osaliselt köetavate keldritega seonduvat on käsitletud punktis 9.5.

Protsess kirjeldab kogu soojusvoogu keldrist maapinda, st läbi keldripörandi ning maapinna välispinnast kõrgemal asuvate seinte kaudu kulgevat soojusvoogu.

MÄRKUS 3 Maapinnast kõrgemal asuvate seinte osade puhul võib hindamisel aluseks võtta standardis ISO 6946 kirjeldatud korras arvatud soojusjuhtivuse.

### 9.3.2 Keldripörand

Keldripörandi soojusjuhtivuse  $U_{bf}$  määramiseks arvutage välja keldri pörandi tunnismõõt, kasutades selleks valemit (3) ning võttes seejuures arvesse keldripörandi soojustuse võrdväärse paksuse  $d_t$  koguväärtust, mis leitakse valemit (10) kasutades:

$$d_t = w + \lambda(R_{si} + R_f + R_{se}) \quad (10)$$

kus

- $w$  on maapinnast kõrgemal asuvate seinte kogupaksus, kaasa arvatud kõik soojustuskihid;
- $R_f$  on pörandplaadi soojustakistus, kõik kogu selle pindala hõlmavad soojustuskihid pörandplaadi peal, all ja vahel ning pörandakattmaterjal kaasa arvatud;

ja muud punktis 3.2 määratletud sümbolid.

Tihedate betoonplaatide soojustakistuse ja õhukesed pörandakattmaterjalid võib jätta arvestamata. Plaadi all asuva täitematerjali soojusjuhtivus loetakse pinnase omaga samaväärseks ning selle soojustakistust ei arvestata.

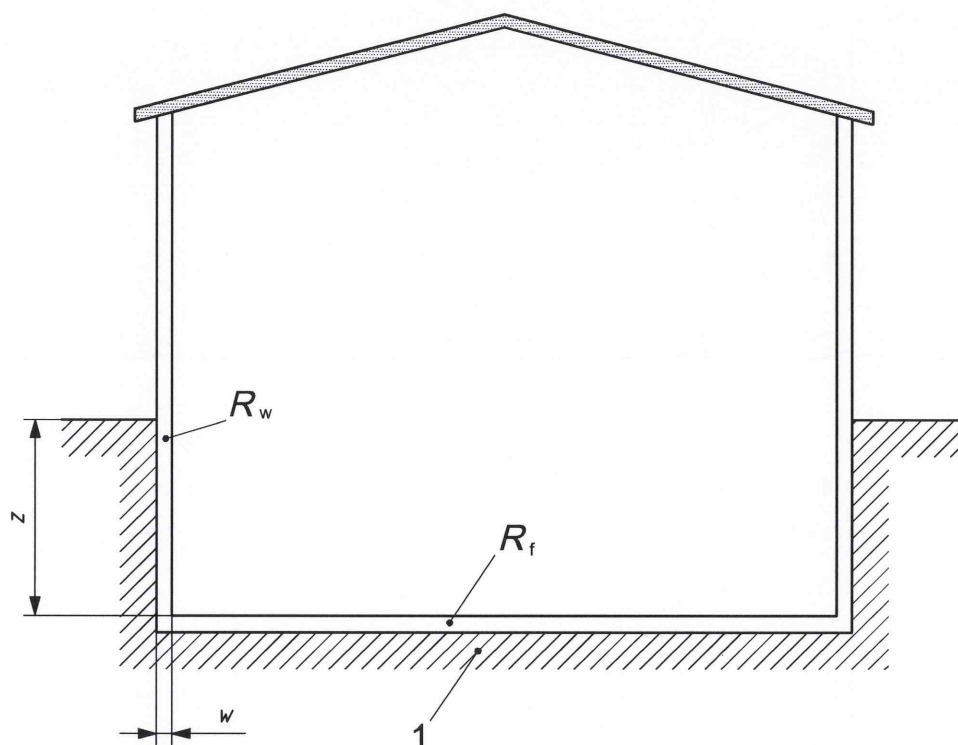
Kasutage keldripörandi soojustusest sõltuvalt kas valemit (11) või (12).

Kui  $(d_t + 0,5z) < B'$  (soojustamata ja mõõdukalt soojustatud keldripörandad),

$$U_{bf} = \frac{2\lambda}{\pi B' + d_t + 0,5z} \ln\left(\frac{\pi B'}{d_t + 0,5z} + 1\right) \quad (11)$$

Kui  $(d_t + 0,5z) \geq B'$  (hästi soojustatud keldripörandad),

$$U_{bf} = \frac{\lambda}{0,457B' + d_t + 0,5z} \quad (12)$$



### Võti

- 1 põrandaplaat  
 $R_f$  keldripõranda soojustakistus  
 $R_w$  keldriseinte soojustakistus, kõik kihid kaasa arvatud  
 $w$  välisseinte paksus  
 $z$  keldri sügavus maapinna suhtes

Joonis 3 — Kõetava keldriga ehitise joonis

### 9.3.3 Keldriseinad

Keldriseina soojusjuhtivus  $U_{bw}$  sõltub keldriseinte võrdväärse paksuse koguväärtusest  $d_w$ , mis on tuletatud valemist (13):

$$d_w = \lambda(R_{si} + R_w + R_{se}) \quad (13)$$

kus  $R_w$  on keldriseinte soojustakistus, mis hõlmab kõiki materjalikihte ja punktis 3.2 käsitletud sümboleid.

$U_{bw}$  leitakse valemist (14) kohaldades:

$$U_{bw} = \frac{2\lambda}{\pi z} \left( 1 + \frac{0,5d_t}{d_t + z} \right) \ln \left( \frac{z}{d_w} + 1 \right) \quad (14)$$

$U_{bw}$  arvutamise valem sisaldab nii  $d_w$  kui ka  $d_t$ . See kehtib  $d_w \geq d_t$  puhul, mis on tavaliselt juhtum. Juhul, kui  $d_w < d_t$ , siis  $d_t$  tuleks valemis (14) asendada  $d_w$ -ga.

### 9.3.4 Soojuslevi kogu keldrist

Kogu maapinnaga kontaktis olevat keldrit iseloomustav võrdväärne soojusjuhtivus on:

$$U' = \frac{(AU_{bf}) + (zPU_{bw})}{A + (zP)} \quad (15)$$

Pinnase soojuste erikadu püsivates tingimustes sise- ja väliskeskonna vahel leitakse valemit (16) kasutades (vt ka 4. peatükk):

$$H_g = (AU_{bf}) + (zPU_{bw}) + (P\Psi_g) \quad (16)$$

MÄRKUS Valemis (16) on esitatud soojuste kogukogu keldri kohta. Soojuslevi läbi keldri põranda ja seinte on omavahel seotud ja just sel põhjusel on valemi (16) kahe esimese suuruse, soojuste kogukogu läbi põranda ja seinte, väärtused ümardatud.

#### 9.4 Kütmata kelder

Selles alapunktis toodud valemit kohaldatakse välisõhuga tuulutatavate kütmata keldrite puhul.

Sise- ja väliskeskonna vaheline soojuste juhtivus,  $U$ , leitakse valemi (17) põhjal:

$$\frac{1}{U} = \frac{1}{U_f} + \frac{A}{(AU_{bf}) + (zPU_{bw}) + (hPU_w) + (0,33 \times nV)} \quad (17)$$

kus

$U_f$  on (väliskeskonna ja keldri vahelise) põranda soojuste juhtivus;

$U_w$  on keldriseinte soojuste juhtivus maapinnast kõrgemal;

$n$  on keldri õhuvahetuskordsus tunni kohta;

$V$  keldri sisekubatuur.

Täpsustava informatsiooni puudumise korral võib õhuvahetuskorduseks kasutada suurust  $n = 0,3 \text{ h}^{-1}$ .

Arvutage vastavalt standardile ISO 6946 välja  $U_f$  ja  $U_w$  väärtused, kasutades punktis 5.3 antud pinnatakistuse väärtuseid.

Arvutage  $U_{bf}$  ja  $U_{bw}$  välja punktis 9.3 kirjeldatud korras.

MÄRKUS Keldri keskmise temperatuuri arvutamiseks võib kasutada lisa E toodud meetodit.

Pinnase soojuste erikadu püsivates tingimustes sise- ja väliskeskonna vahel leitakse valemit (1) kasutades.

#### 9.5 Osaliselt köetav kelder

Soojuste vool osaliselt köetavas keldris arvutatakse välja järgmist protsessi kohaldades:

- arvutage välja soojuste vool täielikult köetavale keldrile;
- arvutage välja soojuste vool keldrile, mida ei köeta;
- osaliselt köetava keldri soojuste voolu leidmiseks kasutage punktides a) ja b) toodud köetava ja kütmata keldri osade soojuste voolu proportsionaalseks kohaldamiseks pindala lõikes.

## Lisa A (normlisa) Pinnasesse kulgeva soojusvoolu arvutamine

### A.1 Arvutusmeetodid

Soojusvoolu  $\Phi$  arvutamiseks on võimalik kasutada kolme allpool kirjeldatud meetodit. Kasutajal on võimalik valida sobiv meetod, lähtudes arvutuste otstarbest ja täpsusest, mille kohaldamine on soojusvoolu hindamisel vajalik või asjakohane:

- a) pinnasesse kulgeva soojusvoolu arvutamine eraldi kuude lõikes (vt A.2);
- b) keskmise pinnasesse kulgeva soojusvoolu arvutamine kütteperioodil (vt A.4);
- c) keskmise aastase pinnasesse kulgeva soojusvoo arvutamine (vt A.5).

### A.2 Soojusvool kuude lõikes temperatuurimuutuste sinusoidgraafiku põhjal

Pinnase suure soojusinerentsiga arvestamiseks esitatakse soojusülekanne püsivatel tingimustel või komponendi keskmise väärtusena koos aasta lõikes periooditi esinevate komponentide väärtustega. Püsiv komponent on seotud aastase keskmise sisetemperatuuri ja aastase keskmise välistemperatuuri erinevusega. Perioodiline komponent on seotud sise- ja välistemperatuuri vastavate keskmiste väärtustega kõikumiste amplituudi lõikes.

Eeldatakse, et sise- ja välistemperatuur kõiguvad aasta keskmise väärtuse suhtes sinusoidina ja seda kujutatakse järgmiselt:

$$\theta_{i,m} = \bar{\theta}_i - \hat{\theta}_i \cos\left(2\pi \frac{m-\tau}{12}\right) \quad (\text{A.1})$$

$$\theta_{e,m} = \bar{\theta}_e - \hat{\theta}_e \cos\left(2\pi \frac{m-\tau}{12}\right) \quad (\text{A.2})$$

kus

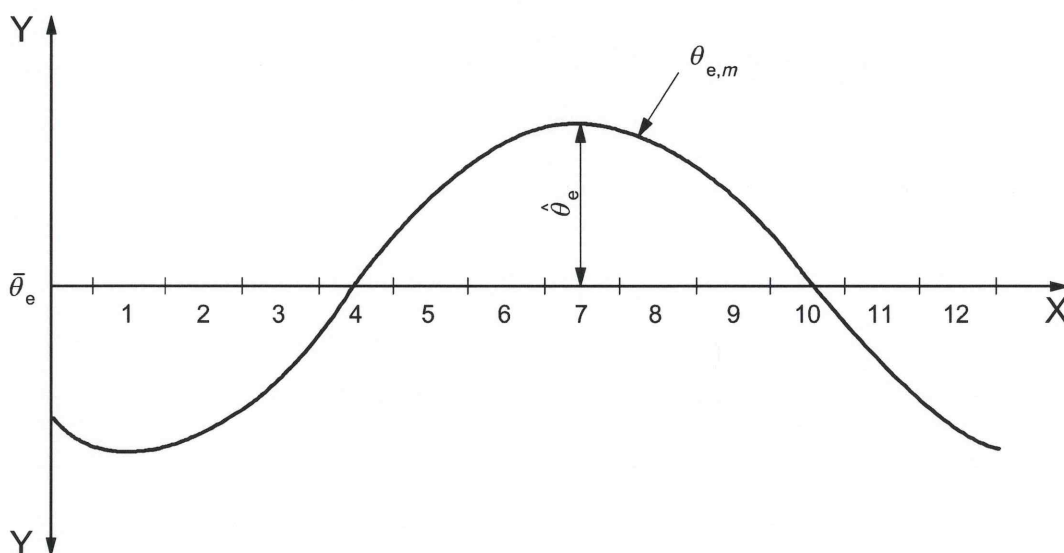
$\theta_{i,m}$	on kuu keskmine sisetemperatuur antud kuul $m$ , ühik °C;
$\bar{\theta}_i$	on aastane keskmine sisetemperatuur, ühik °C;
$\hat{\theta}_i$	on kuu keskmiste sisetemperatuuride erinevuste kõikumine, ühik K (nagu määratletud punktis 6.1);
$\theta_{e,m}$	on kuu keskmine välistemperatuur vaadeldaval kuul $m$ , ühik °C;
$\bar{\theta}_e$	on aastane keskmine välistemperatuur, ühik °C;
$\hat{\theta}_e$	kuu keskmiste välistemperatuuride erinevuste kõikumine, ühik K (nagu määratletud punktis 6.2);
$m$	on kuu järjekorranumber ( $m = 1$ on jaanuar kuni $m = 12$ , mis on detsember);
$\tau$	on minimaalse välistemperatuuriga kuu järjekorranumber (vajadusel võib $\tau$ väärtuse edasi anda komakohtadega).

$\tau$  väärtuse hindamisel tuleb aluseks võtta keskmine välistemperatuur igas kuus; lühiajalisemate kõikumistega arvestamine ei ole vajalik. Aluseks võib võtta asjassepuutuva riigi või asukoha kliimat puudutavad andmed, mida esitatakse kuude või kuu osade kaupa, olenevalt olemasolevast informatsioonist. Konkreetse teabe puudumise korral kasutage põhjapoolkeral valemit  $\tau = 1$  ja lõunapoolkeral valemit  $\tau = 7$ .

MÄRKUS 1  $\tau = 1$  eelduseks on miinimumtemperatuuride esinemine jaanuarikuu keskpaigas ja maksimumtemperatuuride esinemine juuli keskel ning  $\tau = 7$  puhul vastavate väärtuste vastupidine esinemine. Tegemist on paljudele kliimadele sobiva üldistusega.

MÄRKUS 2 Arvutuste teostamiseks on vajalik üksnes aasta keskmine temperatuur ja aastane kõikumine. Neid väärtuseid on võimalik arvutada kuude kaupa esitatud andmete põhjal.

Joonis A.1 illustreerib  $\bar{\theta}_e$  ja  $\hat{\theta}_e$  määratlusi. Sama kehtib sisetemperatuuri osas.



### Võti

X kuude arv,  $m$  ( $m = 1$  on jaanuar kuni  $m = 12$ , mis on detsember)

Y temperatuur,  $\theta$

$\bar{\theta}_e$  aastane keskmine välistemperatuur

$\hat{\theta}_e$  kuu keskmiste välistemperatuuride erinevuste kõikumine

$\theta_{e,m}$  kuu keskmiste välistemperatuuride erinevuste kõikumine vaadeldaval kuul  $m$

**Joonis A.1 — Näide välistemperatuuride kõikumisest aasta jooksul (põhjapoolkeral)**

Seejärel arvutatakse välja kuu keskmine soojusvoog, kasutades selleks järgmist valemit

$$\Phi_m = H_g (\bar{\theta}_i - \bar{\theta}_e) - H_{pi} \hat{\theta}_i \cos\left(2\pi \frac{m - \tau + \alpha}{12}\right) + H_{pe} \hat{\theta}_e \cos\left(2\pi \frac{m - \tau - \beta}{12}\right) \quad (\text{A.3})$$

kus

$H_g$  on pinnase soojuse erikadu püsivates tingimustes, ühik W/K;

$H_{pi}$  on sisemine perioodiline soojuse erikadu, ühik W/K;

$H_{pe}$  on välistemperatuuri perioodiline soojuse erikadu, ühik W/K;

$\alpha$  on soojusvoo tsükli ülemineku aeg sisetemperatuuri tsükliga võrreldes, kuudes;

$\beta$  on soojusvoo tsükli üleminekuage välistemperatuuri tsükliga võrreldes, kuudes.

$H_{pi}$  ja  $H_{pe}$  hõlmavad külmasilla poolt pöranda servas avaldatavat mõju. Kui arvutatakse ilma servas toimuvat soojuslevi arvesse võtmata, lisatakse igale väärtusele näitaja  $P \cdot \Psi_g$  (vt 4. peatükk).

**MÄRKUS 3** Perioodiline soojusvoo tsükkel toob endaga kaasa sisetemperatuuri muutumise kiirenemise ja välistemperatuuri muutumise hiline. Käesolevas rahvusvahelises standardis on nii  $\alpha$  kui ka  $\beta$  väärtused positiivsed arvud; kiirenemist/hilinemist võetakse arvesse valemi (A.3) koostamisel.

Lisas F on toodud orienteeruvad arvutusmeetodid koefitsientide  $H_{pi}$  ja  $H_{pe}$  ning faasierinevuste  $\alpha$  ja  $\beta$  arvutamiseks. Lisas F toodud  $H_{pe}$  arvutamise valemit kohaldatakse situatsioonides, kus servas toimuvat soojuslevi ei arvestata. Üksikasjalikud arvutused  $H_{pe}$  leidmiseks on ära toodud standardis ISO 10211.

Valemi (A.3) puhul on eeldatud, et sisetemperatuuride varieerumine aasta lõikes on selline, et  $\theta_i$  väärtus on talvel madalam kui suvel. Vastupidises olukorras peab  $\hat{\theta}_i$  väärtus olema negatiivne.

**MÄRKUS 4** Juhul, kui arvutuste puhul eeldatakse sisetemperatuuri püsivust, ei ole  $\hat{\theta}_i = 0$  ja  $H_{pi}$  arvestamine vajalik.

### A.3 Igakuiste soojusvoogude mahtude arvutamine kuu keskmiste temperatuuride põhjal

Kui sise- ja välistemperatuuri igakuised keskmised on teada, toimub igakuiste soojusvoogude mahtude arvutamine järgmise valemi põhjal

$$\Phi_m = H_g(\bar{\theta}_i - \bar{\theta}_e) - H_{pi}(\bar{\theta}_i - \theta_{i,m}) + H_{pe}(\bar{\theta}_e - \theta_{e,m}) \quad (\text{A.4})$$

kus eeldatakse, et faasierinevused  $\alpha$  ja  $\beta$  (vt A.2) on nullis.

### A.4 Keskmise soojusvool kütteperioodil või jahutusperioodil

Hooajalise soojuslevi arvutamisel võib soojusvoo ja temperatuurikõikumiste vahelise faasierinevuse reeglina tähelepanuta jätta. Keskmise soojusvoogu pinnasesse kütteperioodil arvutatakse välja koosinuse keskmise väärtusena, kasutades valemit (A.3):

$$\bar{\Phi} = H_g(\bar{\theta}_i - \bar{\theta}_e) - \gamma H_{pi} \hat{\theta}_i + \gamma H_{pe} \hat{\theta}_e \quad (\text{A.5})$$

kus  $\gamma$  väärtus sõltub kütteperioodi pikkusest kuudes ja arvutatakse valemis (A.6) toodud arvutuskäiku kohaldades:

$$\gamma = \frac{12}{n\pi} \sin\left(\frac{n\pi}{12}\right) \quad (\text{A.6})$$

kus  $n$  on kütteperioodi kuude arv.

Valemi (A.5) puhul on eeldatud, et sisetemperatuuride varieerumine aasta lõikes on selline, et  $\theta_i$  väärtus on talvel madalam kui suvel. Vastupidises olukorras peab  $\hat{\theta}_i$  väärtus olema negatiivne.

**MÄRKUS** Juhul, kui arvutuste puhul eeldatakse sisetemperatuuri püsivust, ei ole  $\hat{\theta}_i = 0$  ja  $H_{pi}$  arvestamine vajalik.

Valemi (A.5) kasutamine on asjakohane soojuskadude arvutuste koostamisel hooegade, mitte kuude lõikes.

Valemit (A.5) võib kasutada ka soojuskadude arvutamiseks kuude kaupa juhul, kui erinevust kuude lõikes ei ole vaja soojuskadu pinnasesse käsitledes arvesse võtta. Selle tulemusel vaadeldakse soojuskadu pinnasesse püsiväärtusena ning kadusid kütteperioodi lõpus ülehinnatakse ja kadusid kütteperioodi keskel seevastu alahinnatakse.

Keskmiist soojusvoolu jahutusperioodil arvutatakse samal põhimõttel:

$$\bar{\Phi} = H_g(\bar{\theta}_i - \bar{\theta}_e) + \gamma H_{pi}\hat{\theta}_i - \gamma H_{pe}\hat{\theta}_e \quad (\text{A.7})$$

võttes  $\gamma$  väärtuse valemist (A.6) ja kasutades  $n$  väärtusena jahutusperioodi pikkust kuudes.

### A.5 Aasta keskmine soojusvool

Kui  $\hat{\theta}_i$ ,  $\hat{\theta}_e$  või kütteperioodi pikkus ei ole teada või kui kadude maht on teada vaid ligikaudselt, võib soojusvoolu pinnasesse käsitleda konstantse väärtusena, mis on samaväärne püsiva komponendi väärtusega:

$$\bar{\Phi} = H_g(\bar{\theta}_i - \bar{\theta}_e) \quad (\text{A.8})$$

Sageli on tegemist külaltki adekvaatse üldistamisega, eriti juhul, kui kütteperiood on pikk või kui  $\hat{\theta}_i$  ja  $\hat{\theta}_e$  toime soojusvoole on vastandväärtusega.

### A.6 Maksimaalne igakuine soojusvool

Maksimaalne igakuine soojusvool arvutatakse välja järgmise valemi põhjal:

$$\Phi_{\max} = H_g(\bar{\theta}_i - \bar{\theta}_e) + H_{pe}\hat{\theta}_e \quad (\text{A.9})$$

MÄRKUS Antud avaldis vastab konstantsele sisetemperatuurile ja välistemperatuuri kõikumiste maksimaalsele osatähtsusele.

### A.7 Pinnase igakuine soojuste erikadu

Pinnase soojuste erikadu,  $H_{g,m}$  ühes kuus arvutatakse välja järgmise valemi alusel:

$$H_{g,m} = \frac{\Phi_m}{\theta_{i,m} - \theta_{e,m}} \quad (\text{A.10})$$

### A.8 Kogu soojuste hulk kütteperioodil või jahutusperioodil

Kogu soojuste hulk pinnasesse on soojuste voolu integraal, mida võib esitada igakuiste väärtuste summana:

$$Q = \sum_{m=m_1}^{m_2} Q_m \quad (\text{A.11})$$

$$Q_m = 86\,400 \times N_m \Phi_m \quad (\text{A.12})$$

kus

$Q$	on kogu soojuste hulk, J;
$Q_m$	on soojuste hulk kuus $m$ , J;
$N_m$	on päevade arv kuus $m$ ;
$\Phi_m$	on soojuste voolu maht kuus $m$ , W;
$m_1$	on kütte- või jahutusperioodi esimene kuu;
$m_2$	on kütte- või jahutusperioodi viimane kuu;
86 400	on sekundite arv ühes päevas.



Juhul, kui keskmine soojushulk on tuletatud valemist (A.4) või valemist (A.7):

$$Q = 86\,400 \times N \bar{\phi} \quad (\text{A.13})$$

kus  $N$  on kütteperioodi päevade arv kokku.

## Lisa B (normlisa) Soojustatud servadega pinnasel asuv pörand

### B.1 Üldist

Pinnasel asuva pörandi servades võib olla soojustus, mis on paigaldatud pörandi ümber horisontaalselt või vertikaalselt. Antud lisa esitatud valemid on kohaldatavad juhul, kui pörandi serva isolatsiooni  $D$  laius või sügavus on ehitise laiusega võrreldes väike.

Alternatiivina võib kasutada numbrilisi meetodeid. Juhul, kui lineaarse soojusjuhtivuse numbrilised arvutused hõlmavad ka igasuguseid pörandi serva isolatsioonist tulenevaid mõjusid, ei võeta antud lisa toodud arvutusi arvesse.

Pörandi serva isolatsiooni toimet käsitletakse lineaarse soojusjuhtivusena  $\Psi_{g,e}$ , mis leitakse horisontaalse serva isolatsiooni korral punktis B.2 kirjeldatud viisil või vertikaalse isolatsiooni korral punktis B.3 kirjeldatud meetodil. Madala tihedusega vundamente või pinnase soojusjuhtivusest väiksemat soojusjuhtivust käsitletakse pörandiserva vertikaalse isolatsioonina.  $\Psi_{g,e}$  väärtus on negatiivne.

Juhul, kui vundamendi detailil on servaisolatsiooni tükke mitu (vertikaal- või horisontaalsuunalisi, sees- või väljaspool), arvutatakse  $\Psi_{g,e}$  allpool kirjeldatud meetodeid kasutades välja igale servale ja isolatsioonile eraldi ning kasutatakse väärtust, mis tagab soojuskao suurima vähenemise.

**MÄRKUS 1** Käesolevas lisa toodud valemid annavad hea ülevaate sellest, millist efekti annab servasoojustuse lisamine isolatsioonita pörandate korral. Soojustusega pörandale täiendava servasoojustuse lisamise korral saadavat mõju antud valemid alahindavad, kuid neid on sellegipoolest võimalik kasutada: servasoojustuse mõju on võimalik vähemasti prognoosida.

Valemid (B.5) ja (B.6) võtavad arvesse ka täiendavat võrdväärset paksust, mis serva soojustusest tuleneb ja  $d'$  väärtust, mida määratletakse järgmiselt:

$$d' = R' \lambda \quad (\text{B.1})$$

kus  $R'$  on täiendav soojustakistus, mis serva (või vundamendi) soojustamisega kaasneb, st serva soojustuse ja seda asendava pinnase (või plaadi) soojustakistuse erinevus:

$$R' = R_n - \frac{d_n}{\lambda} \quad (\text{B.2})$$

kus

$R_n$  on horisontaalse või vertikaalse serva (või vundamendi) soojustuse soojustakistus,  $\text{m}^2 \cdot \text{KW}$ ;

$d_n$  on serva (või vundamendi) isolatsiooni paksus meetrites.

Kui arvutus sisaldab ka  $\Psi_{g,e}$ , siis täiendatakse käesolevas rahvusvahelises standardis esitatud valemit (1) järgmisel kujul:

$$H_g = (AU) + P(\Psi_g + \Psi_{g,e}) \quad (\text{B.3})$$

Püsivate tingimuste põhjal teostatavate arvutuste puhul võib pöranda soojusjuhtivuse arvutamiseks valemit (B.4) kasutades arvestada ka serva isolatsiooni mõjuga.

$$U = U_0 + \frac{2\psi_{g,e}}{B'} \quad (\text{B.4})$$

kus  $U_0$  on pöranda soojusjuhtivus ilma serva isolatsiooni arvestamata; sel juhul kasutatakse valemit (1) pinnase soojuse erikao arvutamiseks püsivates tingimustes.

MÄRKUS 2  $U_0$  arvutamisel võetakse arvesse kogu pörandaplaati katvat isolatsiooni.

MÄRKUS 3  $H_{pi}$  ja  $H_{pe}$  sisaldavad ka  $\psi_g$  and  $\psi_{g,e}$  (vt lisa A).

## B.2 Horisontaalne servasoojustus

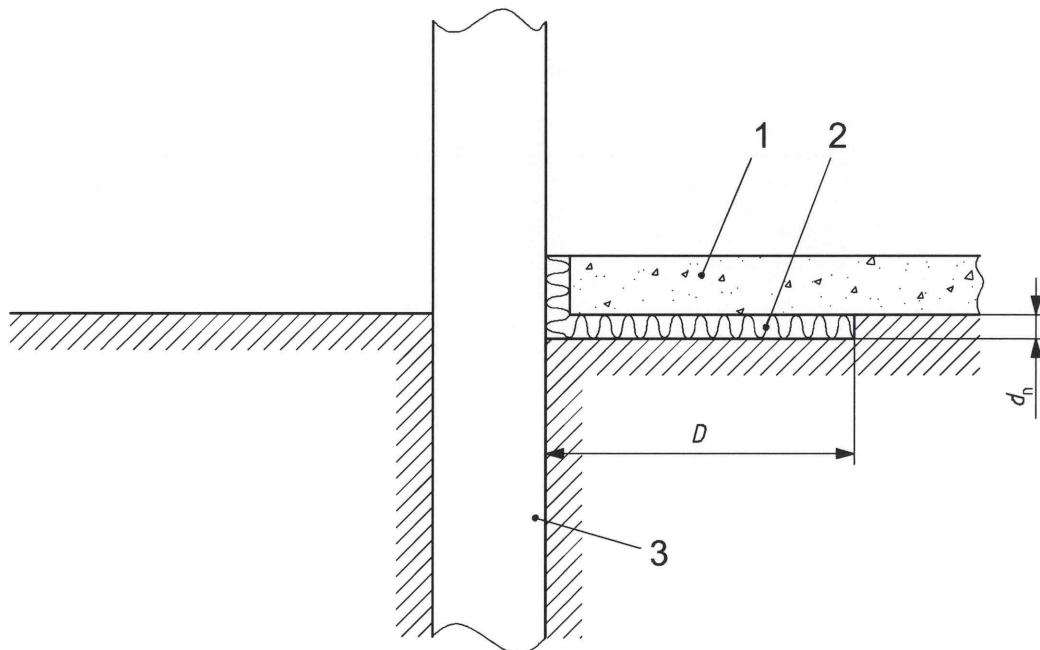
Valemit (B.5) kohaldatakse horisontaalselt paikneva soojustuse korral (vt joonis B.1):

$$\psi_{g,e} = -\frac{\lambda}{\pi} \left[ \ln\left(\frac{D}{d_t} + 1\right) - \ln\left(\frac{D}{d_t + d'} + 1\right) \right] \quad (\text{B.5})$$

kus

$D$  on horisontaalse servasoojustuse laius meetrites;

$d'$  on määratletud valemis (B.1).



### Võti

- 1 pörandaplaat
- 2 horisontaalne servasoojustus
- 3 vundament
- $d_n$  servaisolatsiooni (või vundamendi) paksus
- $D$  horisontaalse servasoojustuse laius

Joonis B.1 — Horisontaalse servasoojustuse skeem

Joonisel B.1 on kujutatud servasoojustus plaadi all. Valemit (B.5) kohaldatakse ka plaadi peal või hoonest väljaspool asuva servasoojustuse korral.

### B.3 Vertikaalne servaisolatsioon

Valemit (B.6) kohaldatakse pöranda perimeetri suhtes horisontaalselt paikneva isolatsiooni korral (vt joonis B.2) ja pinnasest madalama soojusjuhtivusega vundamendimaterjalide korral (vt joonis B.3):

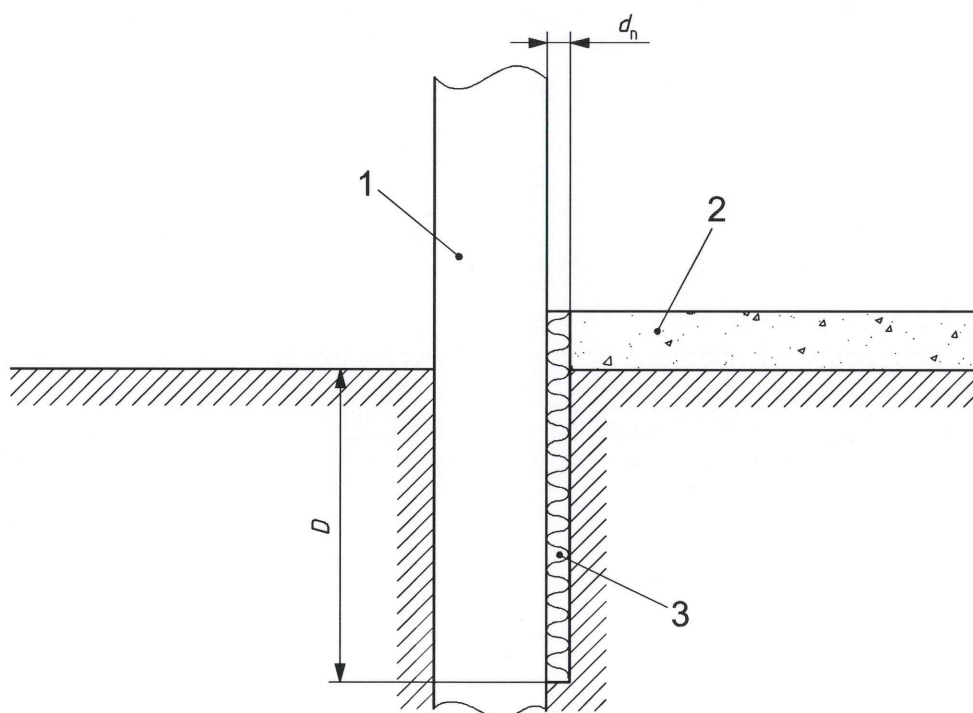
$$\Psi_{g,e} = -\frac{\lambda}{\pi} \left[ \ln\left(\frac{2D}{d_t} + 1\right) - \ln\left(\frac{2D}{d_t + d'} + 1\right) \right] \quad (\text{B.6})$$

kus

$D$  on vertikaalse servasoojustuse (või vundamendi) sügavus maapinnast meetrites;

$d'$  on määratletud valemis (B.1).

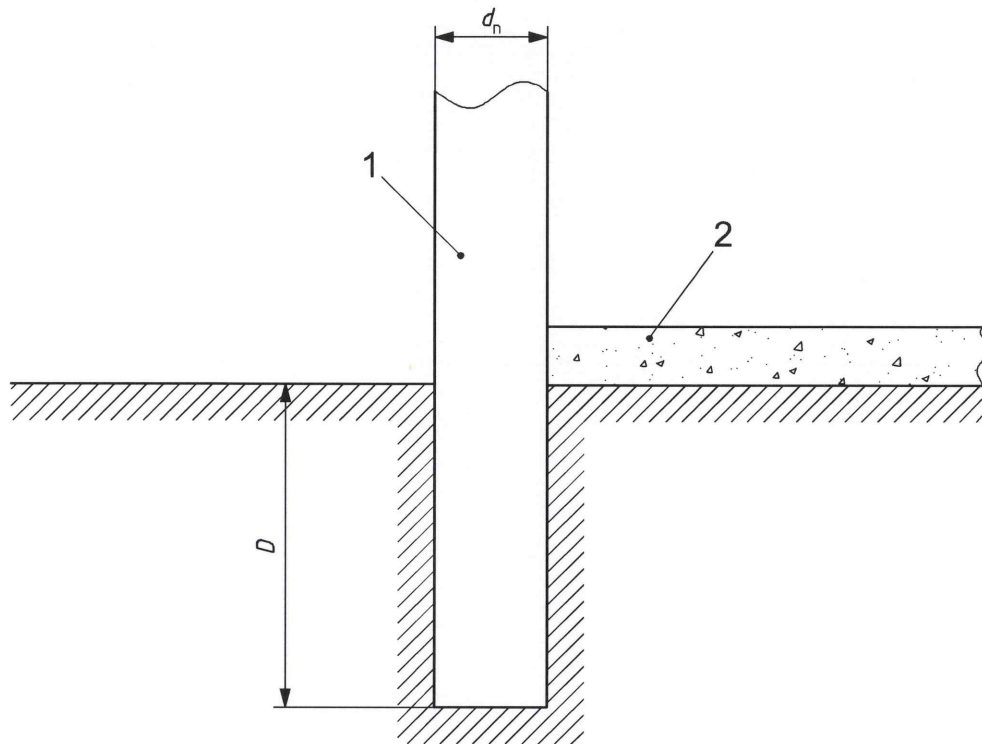
Joonisel B.2 on kujutatud vundamendiseina servasoojustus. Valemit (B.6) kohaldatakse ka väljaspool või vundamendiseina sees asuva vertikaalse servasoojustuse korral.



#### Võti

- 1 vundamendi sein
- 2 pörandaplaat
- 3 vertikaalne servasoojustus
- $d_n$  servasoojustuse (või vundamendi) paksus
- $D$  vertikaalse servaisolatsiooni (või vundamendi) sügavus maapinnast

**Joonis B.2 — Vertikaalne servasoojustus (soojustuse kiht)**

**Võti**

- 1 väikese soojusjuhtivusega materjalist vundamendisein, mille soojusjuhtivus on väiksem pinnase omast
- 2 põrandaplaat
- $d_n$  servasoojustuse (või vundamendi) paksus
- $D$  vertikaalse servaisolatsiooni (või vundamendi) sügavus maapinnast

**Joonis B.3 — Vertikaalne servasoojustus (väikese soojusjuhtivusega vundamendimaterjal)**

## Lisa C (normlisa) Soojusvoolud eraldi ruumides

Käesolevas rahvusvahelises standardis esitatud valemite põhjal leitakse soojusvool kogu põranda ulatuses. Juhul, kui vajalikuks osutub soojusvoolu arvutamine hoones asuvatele eraldi ruumidele ning mõnel ruumil on välisseinad ja mõnel mitte, võib soojusvoo läbi põranda jagada kaheks osaks, mida kohaldatakse vastavalt välisseintega ruumides (äärealadel) ja ruumides, kus välisseinad puuduvad (keskosa). Eraldi ruumide summaarse soojusvoolu leidmiseks tuleb arvesse võtta ka seinte ja muude elementide osalust.

Kõigepealt arvutatakse soojusvool püsivates tingimustes välja kogu põrandale,  $\Phi_t$ . Seejärel jagatakse antud väärtus ääreala vastava väärtuse,  $\Phi_e$ , ja keskosa vastava väärtusega,  $\Phi_m$ , nagu näidatud:

$$\Phi_e = \Phi_t \frac{A_e}{A_m \frac{b + d_t}{0,5 \times B' + d_t} + A_e} \quad (\text{C.1})$$

$$\Phi_m = \Phi_t - \Phi_e \quad (\text{C.2})$$

$$q_e = \frac{\Phi_e}{A_e} \quad (\text{C.3})$$

$$q_m = \frac{\Phi_m}{A_m} \quad (\text{C.4})$$

kus

$q_e$	on soojusvoolu tihedus hoone servades asuvates ruumides;
$q_m$	on soojusvoolu tihedus hoone keskel asuvates ruumides;
$A_e$	on põranda üldpindala hoone servas asuvates ruumides;
$A_m$	on põranda üldpindala hoone keskel asuvates ruumides;
$b$	on ruumide keskmine laius hoone servas asuvates ruumides;
$B'$	on kogu põranda tunnusmõõt, nagu määratletud punktis 8.1.

Välistemperatuuri iga-aastastest kõikumistest tingitud perioodilist soojuslevi kohaldatakse üksnes hoone servas asuvates ruumides.

## Lisa D (normlisa) Dünaamiliste simulatsiooniprogrammide kohaldamine

Käesolevas lisis on esitatud meetodid pinnase kaudu toimuva soojuslevi käsitlemiseks, kasutades selleks hoonete soojusvoogude või temperatuuride arvutamise meetoditest tuletatud meetodeid ja kohaldades tunniajalist või lühemat intervalli.

Põranda konstruktsioon koos pinnasega modelleeritakse ühe komponendina, mis koosneb kõigist põrandakonstruktsiooni kihtidest, maapinna sügavusest 0,5 meetri ulatuses ja virtuaalkihist.

Virtuaalkihi kaasamine tagab õige tulemuse keskmise aastase soojusvoo osas. Sellel on soojustakistus  $R_v$ , soojusmahtuvuse väärtuse võib jätta arvestamata.  $R_v$  arvutatakse valemi (D.1) alusel:

$$R_v = \frac{1}{U} - R_{si} - R_f - R_g \quad (D.1)$$

kus

$U$  on põranda soojusjuhtivus püsivates tingimustes, pinnase toime kaasa arvatud; selle arvutamiseks kasutatakse käesolevas rahvusvahelises meetodis toodud meetodeid või numbrilisi meetodeid, võttes aluseks piirtingimused ja käesolevas rahvusvahelises standardis  $U$  arvutamise korral kehtivad eeldused;

$R_{si}$  on põranda sisepinna takistus;

$R_f$  on põrandakonstruktsiooni kõigi kihtide soojustakistuse koguväärtus;

$R_g$  on 0,5 meetri pinnase soojustakistus.

Soojuse mudeli koostamiseks omistatakse virtuaalsele kihile paksus 0,1 m, seega on soojusjuhtivus  $0,1/R_v$ . Selle tihedus ja erisoojuslik võimsus peaksid jääma nulli või väga väikeseks (vastavalt  $1 \text{ kg/m}^3$  ja  $1 \text{ J/(kg}\cdot\text{K)}$ ).

Piirtingimuseks virtuaalkihi põhjas on virtuaaltemperatuur,  $\theta_v$ .

$\theta_v$  saab omistada kõigile kuudele aastas, võttes aluseks valemi:

$$\theta_{v,m} = \theta_{i,m} - \frac{\Phi_m}{AU} \quad (D.2)$$

kus  $\Phi_m$  väärtuse arvutamine toimub lisis A kirjeldatud korras.

**MÄRKUS** Arvesse on võetud ka servadega seotud soojuslevi.

Valem (D.2) annab reeglina head üldistavad tulemused. Teiseks võimaluseks on  $\theta_v$  arvutamine numbrilisi meetodeid ja erinevaid ajalisi intervalle kasutades:

$$\theta_{v,t} = \theta_{i,t} - \frac{\Phi_t}{AU} \quad (D.3)$$

kus  $\Phi_t$  arvutatakse numbrilisi meetodeid kasutades välja ajahetkel  $t$ .

**Lisa E**  
**(normlisa)**  
**Välisõhu kohal asuva pöranda alune tuulutus**

**E.1 Keskmise temperatuuri ja soojusjuhtivuse üldine väljendamine**

Välisõhuga tuulutatava pörandi õhkvaheesse tungiv soojus kandub õhkvahest väliskeskkonda kolmel viisil:

- a) läbi pinnase,
- b) läbi õhkvahe (maapinnast kõrgemal asuva) seina;
- c) õhkvahe tuulutamisel.

Eelpool kirjeldatud püsivates tingimustes tasakaalustatud soojusvoogude põhjal on võimalik järgmise valemi abil välja arvutada keskmine temperatuur õhkvahes:

$$\bar{\theta}_{us} = \frac{AU_f \bar{\theta}_i + \dot{V} c_p \rho \bar{\theta}_v + (AU_g + hPU_w) \bar{\theta}_e}{AU_f + \dot{V} c_p \rho + AU_g + hPU_w} \quad (\text{E.1})$$

kus

$\bar{\theta}_{us}$	on aastane keskmine temperatuur õhkvahes, °C;
$\bar{\theta}_i$	on aastane keskmine sisetemperatuur, °C;
$\bar{\theta}_e$	on aastane keskmine välistemperatuur, °C;
$\bar{\theta}_v$	on tuulutussõhu keskmine aastane temperatuur, °C;
$U_f$	on välisõhu kohal asuva pörandi osa soojusjuhtivus, W/(m <sup>2</sup> ·K);
$U_g$	on pinnase soojusjuhtivus, W/(m <sup>2</sup> ·K);
$U_w$	on õhkvahe seinte soojusjuhtivus (maapinnast kõrgemal), W/(m <sup>2</sup> ·K);
$\dot{V}$	on õhuvooluhulk, m <sup>3</sup> /s;
$h$	on välisõhu kohal asuva pörandi kõrgus maapinnast, m;
$c_p$	on õhu erisoojus ühtlase rõhu korral, J/(kg·K);
$\rho$	on õhu tihedus, kg/m <sup>3</sup> .

Juhul, kui õhkvahe põhja sügavus maapinna suhtes  $z$  ei ole suurem kui 0,5 m, on  $U_g$  väärtust võimalik leida punktis 9.2 kirjeldatud meetodit kasutades. Kui  $z > 0,5$  m, kasutatakse punktis 9.3 kirjeldatud analoogmeetodeid, saades sellise tulemuse:

$$U_g = U_{bf} + \frac{zPU_{bw}}{A} \quad (\text{E.2})$$

kus  $U_{bf}$  ja  $U_{bw}$  on leitud punktis 9.3 kirjeldatud korras.

(Sise- ja väliskeskkonnavahelise) pörandi soojusjuhtivus leitakse valemit (E.3) kasutades:

$$U = U_f \frac{AU_g + hPU_w + \dot{V} c_p \rho (\bar{\theta}_i - \bar{\theta}_v)}{AU_f + AU_g + hPU_w + \dot{V} c_p \rho} \quad (\text{E.3})$$



Valemeid (E.2) ja (E.3) on võimalik kasutada ka kütmata keldrites.

## E.2 Õhuvooluhulgad

Õhuvooluhulk  $\dot{V}$  (m<sup>3</sup>/s) on määratletud mehaanilise tuulutusega pörandatele.

Loomuliku tuulutusega pörandate puhul,

$$\dot{V} = 0,59 \times \varepsilon \nu f_w P \quad (\text{E.4})$$

kus

$\varepsilon$	on ventilatsiooniavade pindala ümbermõõdu pikkuse ulatuses, m <sup>2</sup> /m;
$\nu$	on arvutuslik tuulekiirus 10 m kõrgusel, m/s;
$f_w$	on punktis 9.2 määratletud tuulekaitsetegur.

Käesolevas rahvusvahelises standardis toodud arvutuste põhjal,

$$c_p = 1000 \text{ J}/(\text{kg}\cdot\text{K}) \text{ (temperatuuril } 10 \text{ }^\circ\text{C});$$

$$\rho = 1,23 \text{ kg}/\text{m}^3 \text{ (temperatuuril } 10 \text{ }^\circ\text{C ja } 100 \text{ kPa õhurõhu tingimustes).}$$

## E.3 Loomulik tuulutus

Selle variandi puhul on  $\bar{\theta}_v = \bar{\theta}_e$  ja valemit (E.3) koos valemiga (E.4) kombineerides saadakse tulemuseks punktis 9.2 toodud valem.

## E.4 Mehaaniline tuulutus seestpoolt

Selle variandi puhul  $\bar{\theta}_v = \bar{\theta}_i$  ja valemi (E.3) põhjal:

$$\frac{1}{U} = \frac{1}{U_f} + \frac{1 + \dot{V} c_p \rho / A U_f}{U_g + 2hU_w / B'} \quad (\text{E.5})$$

## E.5 Mehaaniline tuulutus väljastpoolt

Selle variandi puhul  $\bar{\theta}_v = \bar{\theta}_e$  ja valemi (E.3) põhjal:

$$\frac{1}{U} = \frac{1}{U_f} + \frac{1}{U_g + 2hU_w / B' + \dot{V} c_p \rho / A} \quad (\text{E.6})$$

## E.6 Tuulutuseteta õhkvahe

Antud juhul on  $\dot{V} = 0$  ja valemi (E.3) põhjal:

$$\frac{1}{U} = \frac{1}{U_f} + \frac{1}{U_g + 2hU_w / B'} \quad (\text{E.7})$$

## E.7 Kütteta keldrid

Kohaldatakse valemit (E.6), kus  $\dot{V} c_p \rho = 0,34 \times nV$ .

## Lisa F (teatmelisa) Perioodilised soojuse erikaod

### F.1 Üldist

Selles lisas on esitatud valemid lisa A määratletud perioodiliste soojuse erikadude  $H_{pe}$  ja  $H_{pi}$  leidmiseks.  $H_{pi}$  arvutamise valemit võib kasutada siis, kui tegemist on pörandatega, mille konstruktsioon on kogu pindala ulatuses ühesugune.  $H_{pe}$  arvutamise valemid on võimalik kasutada ka ideaalsetes sein/pörand ühenduskohtades. Muudel juhtudel on soovitud väärtusi võimalik leida numbrilisi meetodeid kasutades (vt ISO 10211).

### F.2 Perioodiline läbistussügavus

Perioodilised soojuse erikaod on seotud perioodilise läbistussügavusega,  $\delta$ , ehk pinnase sügavusega, mille saavutamisel (ühemõõtmelise soojusvoo korral) temperatuuri kõikumine väheneb kuni 1/e pinnal kogetavast kõikumisest; e on aluseks loomulikule logaritmile ( $e = 2,718$ ). Aastaste temperatuuritsükli  $\delta$  leitakse järgmiselt

$$\delta = \sqrt{\frac{3,15 \times 10^7 \times \lambda}{\pi \rho c}} \quad (\text{F.1})$$

MÄRKUS  $3,15 \times 10^7$  on sekundite arv aastas.

Tabelis F.1 on toodud  $\delta$  ligikaudsed väärtused, mida võib kasutada käesolevas rahvusvahelises standardis kasutatud arvutuste teostamiseks.

**Tabel F.1 — Perioodiline läbistussügavus**

Kategooria	Kirjeldus	$\delta$ m
1	Savi või savimöll	2,2
2	Liiv või kruus	3,2
3	Homogeenne kivim	4,2

### F.3 Faasierinevused

Valemities (F.2) ja (F.3) on antud orienteeruvad faasierinevuste väärtused pinnasel asuvate pörandate korral:

$$\alpha = 1,5 - \frac{12}{2\pi} \arctan\left(\frac{d_t}{d_t + \delta}\right) \quad (\text{F.2})$$

$$\beta = 1,5 - 0,42 \times \ln\left(\frac{\delta}{d_t + 1}\right) \quad (\text{F.3})$$

Pinnasel asuva pöranda servade soojustamine võib võrreldes välistemperatuuri kõikumistega oluliselt suurendada ajalist mahajäämust, eriti juhul, kui isolatsioon paigaldatakse hoone suhtes vertikaalselt või väljapoole hoonet.

Välisõhu kohal asuva pöranda puhul on mõjud väiksemad, kuna tuulutuse soojusvool puudub ajaline mahajäämus.

Kui tegemist on keldritega, mille sügavus on  $\delta$  väärtusega võrreldav või samaväärne, kohaldatakse valemeid (F.2) ja (F.3) ning asendatakse  $d_t$   $d_w$  väärtusega.

Soojusvoo ja temperatuurikõikumiste täpne mahajäämus või üleminekuage ei pruugi energiaarvutuste tulemusi oluliselt mõjutada. Faasierinevuste ligikaudsed väärtused lähimal kuul on esitatud tabelis F.2. Need sobivad eeskätt arvutuste teostamiseks ja praktikas on mahajäämuse või üleminekuaja eiramisel tekkivad vead minimaalsed (temperatuuri ja soojusvoo esinemist käsitletakse samas faasis).

**Tabel F.2 — Faasierinevused (kuudes)**

Põranda tüüp	$\alpha$	$\beta$
Pinnasel asuv, ilma servaisolatsioonita	0	1
Pinnasel asuv, sisemise horisontaalse servaisolatsiooniga	0	1
Pinnasel asuv, vertikaalse või välimise servaisolatsiooniga	0	2
Põrand välisõhu kohal	0	0
Kelder (kõetav või kütmata)	0	1

## F.4 Pinnasel asuv põrand: isoleerimata või täieliku isolatsiooniga

### F.4.1 Sisetemperatuuri muutumine

Sisetemperatuuriga seotud perioodilise soojuse erikao muutumine aastase tsükli jooksul on leitav järgmise valemi alusel

$$H_{pi} = A \frac{\lambda}{d_t} \sqrt{\frac{2}{(1 + \delta/d_t)^2 + 1}} \quad (\text{F.4})$$

### F.4.2 Välistemperatuuri muutumine

Välistemperatuuriga seotud perioodilise soojuse erikao muutumine aastase tsükli jooksul on leitav järgmise valemi alusel

$$H_{pe} = 0,37 \times P \lambda \ln\left(\frac{\delta}{d_t} + 1\right) \quad (\text{F.5})$$

## F.5 Servaisolatsiooniga pinnasel asuv põrand

### F.5.1 Sisetemperatuuri muutumine

Jätke serva isolatsioon tähelepanuta ja arvutage  $H_{pi}$  väärtus valemi (F.4) alusel välja.

### F.5.2 Välistemperatuuri muutumine

$H_{pe}$  koosneb kahest tegurist, neist üks on seotud põranda serva ja teine põranda keskosaga.

Horisontaalse servaisolatsiooniga pörandate puhul kasutatakse järgmist valemit,

$$H_{pe} = 0,37 \times P \lambda \left[ \left( 1 - e^{-D/\delta} \right) \ln \left( \frac{\delta}{d_t + d'} + 1 \right) + e^{-D/\delta} \ln \left( \frac{\delta}{d_t} + 1 \right) \right] \quad (\text{F.6})$$

kus

- $D$  on horisontaalse servaisolatsiooni laius meetrites;  
 $d_t$  on määratletud punktis 9.1;  
 $d'$  on määratletud lisas B.

Vertikaalse servaisolatsiooniga pörandate puhul kasutatakse järgmist valemit,

$$H_{pe} = 0,37 \times P \lambda \left[ \left( 1 - e^{-2D/\delta} \right) \ln \left( \frac{\delta}{d_t + d'} + 1 \right) + e^{-2D/\delta} \ln \left( \frac{\delta}{d_t} + 1 \right) \right] \quad (\text{F.7})$$

kus

- $D$  on vertikaalse servaisolatsiooni (või vundamendi) sügavus maapinna suhtes meetrites.

Juhul, kui vundamendi detailil on servaisolatsiooni tükke mitu (vertikaal- või horisontaalsuunalisi, sees- või väljaspool), arvutatakse  $H_{pe}$  allpool kirjeldatud meetodeid kasutades välja igale servale ja kasutatakse madalaimat väärtust.

## F.6 Pörand välisõhu kohal

### F.6.1 Üldist

Perioodilise koefitsiendi arvutamisel kasutage  $U_t$ ,  $U_x$  ja  $d_g$ , nagu määratletud punktis 9.2.

### F.6.2 Sisetemperatuuri muutumine

$$H_{pi} = A \left[ \frac{1}{U_f} + \frac{1}{\lambda/\delta + U_x} \right]^{-1} \quad (\text{F.8})$$

### F.6.3 Välistemperatuuri muutumine

$$H_{pe} = U_f \frac{0,37 \times P \lambda \ln(\delta/d_g + 1) + U_x A}{\lambda/\delta + U_x + U_f} \quad (\text{F.9})$$

## F.7 Kõetav kelder

### F.7.1 Sisetemperatuuri muutumine

Sisetemperatuuri muutumisest aasta lõikes tingitud perioodiline soojuse erikadu koosneb kahest tegurist, neist üks on seotud keldri pörandaga ja teine keldri seintega:

$$H_{pi} = A \frac{\lambda}{d_t} \sqrt{\frac{2}{(1 + \delta/d_t)^2 + 1}} + z P \frac{\lambda}{d_w} \sqrt{\frac{2}{(1 + \delta/d_w)^2 + 1}} \quad (\text{F.10})$$

### F.7.2 Välistemperatuuri muutumine

Välistemperatuuri muutumisest aasta lõikes tingitud perioodiline soojuse erikadu koosneb kahest tegurist, neist üks on seotud keldri põranda ja teine keldri seintega:

$$H_{pe} = 0,37 \times P \lambda \left[ e^{-z/\delta} \ln \left( \frac{\delta}{d_t} + 1 \right) + 2 \left( 1 - e^{-z/\delta} \right) \ln \left( \frac{\delta}{d_w} + 1 \right) \right] \quad (\text{F.11})$$

## F.8 Kütmata kelder

### F.8.1 Sisetemperatuuri muutumine

$$H_{pi} = \left[ \frac{1}{AU_f} + \frac{1}{(A+zP)\lambda/\delta + hPU_w + 0,33 \times nV} \right]^{-1} \quad (\text{F.12})$$

### F.8.2 Välistemperatuuri muutumine

$$H_{pe} = AU_f \frac{0,37 \times P \lambda \left( 2 - e^{-z/\delta} \right) \ln \left( \delta/d_t + 1 \right) + hPU_w + 0,33 \times nV}{(A+zP)\lambda/\delta + hPU_w + 0,33 \times nV + AU_f} \quad (\text{F.13})$$

## Lisa G (teatmelisa) Pinnase soojuslikud omadused

Pinnase soojuslikud omadused sõltuvad mitmetest teguritest, kaasa arvatud pinnase tihedus, veega küllastatuse aste, osakeste suurus, osakeste koostisesse kuuluvate mineraalide tüüp ja kas pinnas on külmunud või mitte. Selle tulemusel on soojuslikud omadused paikkonniti ja samas kohas erinevatel sügavustel väga erinevad ning võivad lisaks tulenevalt niiskusesisalduse muutumisest või külmumisest ja sulamisest ajas muutuda.

Pinnase omadusi kasutatakse soojusleviga seotud arvutuste teostamisel ning need sisaldavad mõõdetud väärtusi, mis peaksid olema iseloomulikud pinnasele hoone läheduses ning ajavahemikule, mida arvutused puudutavad (nt kütteperiood).

Tabelis G.1 on ära toodud eri tüüpi külmumata pinnase soojusjuhtivuse vahemikud ja nende esindusväärtused, millest oli juttu punktis 5.1.

**Tabel G.1 — Pinnase soojusjuhtivus**

Pinnasetüüp	Kuivtihedus $\rho$ kg/m <sup>3</sup>	Niiskuse- sisaldus $u$ kg/kg	Küllastatuse aste %	Soojusjuhtivus $\lambda$ W/(m·K)	$\lambda$ esindusväärtus W/(m·K)
savimöll	1400 kuni 1800	0,10 kuni 0,30	70 kuni 100	1,0 kuni 2,0	1,5
savi	1200 kuni 1600	0,20 kuni 0,40	80 kuni 100	0,9 kuni 1,4	1,5
turvas	400 kuni 1100	0,05 kuni 2,00	0 kuni 100	0,2 kuni 0,5	—
kuiv liiv	1700 kuni 2000	0,04 kuni 0,12	20 kuni 60	1,1 kuni 2,2	2,0
märg liiv	1700 kuni 2100	0,10 kuni 0,18	85 kuni 100	1,5 kuni 2,7	2,0
kivi	2000 kuni 3000	a	a	2,5 kuni 4,5	3,5

<sup>a</sup> Reeglina väga madal (niiskusesisaldus < 0,03 mass), poorsed kivimid välja arvatud.

Mahuline erisoojus  $\rho c$  on leitav järgmise valemi alusel:

$$\rho c = \rho(c_s + c_w u) \quad (G.1)$$

kus

- $c$  on pinnase erisoojus, J/(kg·K);
- $\rho$  on kuivtihedus, kg/m<sup>3</sup>;
- $c_s$  on mineraalide erisoojus, J/(kg·K);
- $c_w$  on vee erisoojus, J/(kg·K);
- $u$  on niiskusesisaldus, kg/kg.

Enamiku mineraalide puhul on  $c_s \approx 1000$  J/(kg·K) ja  $c_w = 4180$  J/(kg·K) temperatuuril 10 °C.

Punktis 5.1 viidatud  $\rho c$  väärtused leitakse valemit (G.1) kasutades (tulemused ümardatakse kuni ühe komakohani):

- savi/savimöll:  $\rho c = 1600 \times (1000 + 4180 \times 0,20) = 2,94 \times 10^6 \rightarrow 3 \times 10^6$
- liiv:  $\rho c = 1800 \times (1000 + 4180 \times 0,05) = 2,18 \times 10^6 \rightarrow 2 \times 10^6$
- kivim:  $\rho c = 2500 \times 800 = 2,00 \times 10^6 \rightarrow 2 \times 10^6$

## Lisa H (teatmelisa) Voolava pinnasevee mõju

Voolava pinnasevee mõju on võimalik hinnata, korrutades soojusvoolu püsivates tingimustes läbi teguriga  $G_w$ . Nimetatud teguri kindlaksmääramiseks on vaja teada pinnasevee sügavust ja pinnasevee voolukiirust. Pinnasel asuvate põrandate ja keldrite puhul korrutatakse  $G_w$  läbi pinnase soojuse erikaoga püsivates tingimustes,  $H_g$ . Kui tegu on põrandaga välisõhu kohal, korrutatakse  $G_w$  läbi pinnase soojusjuhtivusega  $U_g$ . Antud tegurit ei kohaldata perioodiliste soojuse erikadude  $H_{pi}$  ja  $H_{pe}$  suhtes.

$G_w$  väärtused on antud tabelis H.1 dimensioonita suhtarvudena  $\frac{z_w}{B'}$ ,  $\frac{l_c}{B'}$  ja  $\frac{d_t}{B'}$ , kus

$z_w$  on pinnaseveetabloo sügavus maapinna suhtes, meetrites;

$l_c$  on arvutuslik sügavus, mis sõltub juhtivuslikust soojusvoost ja pinnaseveest tingitud soojusvoost, meetrites.

Pikkus  $l_c$  leitakse nii

$$l_c = \frac{\lambda}{\rho_w c_w q_w} \quad (\text{H.1})$$

kus

$q_w$  on pinnasevee keskmine voolukiirus, m/s;

$\rho_w$  on vee tihedus, kg/m<sup>3</sup>;

$c_w$  on vee erisoojus, J/(kg·K).

MÄRKUS 1  $\rho_w c_w = 4,18 \times 10^6$ , J/(m<sup>3</sup>·K) temperatuuril 10 °C.

MÄRKUS 2 Kui  $l_c \gg B'$ , soojusvoo juhtivus domineerib. Kui  $l_c \ll B'$ , domineerib pinnasevee soojusvoog.

**Tabel H.1 —  $G_w$  väärtused**

$z_w/B'$	$l_c/B'$	$G_w$		
		$d_t/B' = 0,1$	$d_t/B' = 0,5$	$d_t/B' = 1,0$
0,0	1,0	1,01	1,01	1,00
0,0	0,2	1,16	1,11	1,07
0,0	0,1	1,33	1,20	1,13
0,0	0,0	—	1,74	1,39
0,5	1,0	1,00	1,00	1,00
0,5	0,1	1,06	1,04	1,02
0,5	0,02	1,11	1,07	1,05
0,5	0,0	1,20	1,12	1,08
1,0	0,1	1,05	1,03	1,02
2,0	0,0	1,02	1,01	1,00

## Lisa I (teatmelisa) Pinnasel asuv pörand pörandakütte- või jahutussüsteemiga

Ühtlase väljundsoojusega pörandakütte- või jahutussüsteemiga pörandate soojusvoolu on võimalik arvutada käesolevas rahvusvahelises standardis toodud meetoditega, rakendades alljärgnevaid muudatusi:

- sisetemperatuur  $T_i$  asendatakse keskmise temperatuuriga kütteelementide  $T_h$  tasandil;
- $d_t$  arvutamisel kasutatakse üksnes soojustakistust kütte/jahutuselemendi all, seina paksust ja välispinna takistust.

Keskmine temperatuur kütte/jahutuselemendi tasandil ei ole reeglina teada, kuna tegemist on kontrollitava ruumitemperatuuriga ning süsteem ei pruugi töötada pidevalt (öine sisse- või väljalülitamine). Niisugustel puhkudel on keskmist pörandapinna temperatuuri võimalik hinnata ühel allpool kirjeldatud viisidest.

- a) Kui pörandaküttesüsteemi keskmine soojussisend (või väljund)  $\Phi_h$  on teada, arvutage kõigepealt välja soojusvool läbi pöranda, kasutades sisetemperatuurina toatemperatuuri ja nimetades saadud väärtust  $\Phi_1$ . Seejärel arvutage välja keskmine temperatuur kütteelemendi tasandil  $\theta_h$ , lähtudes valemist

$$\theta_h = \theta_i + R_i \frac{(\Phi_h - \Phi_1)}{A} \quad (I.1)$$

kus

- $\theta_i$  on keskmine toatemperatuur, °C;
- $R_i$  on soojustakistus sisekeskkonna ja kütteelemendi tasandi vahel, m<sup>2</sup>·K/W;
- $A$  on pörandapindala, m<sup>2</sup>.

- b) Kui pörandaküttesüsteemi keskmine soojussisend (või väljund) ei ole teada, tuleb soojusvajaduse netoväärtuse  $\Phi_2$  leidmiseks tasakaalustada ruumi temperatuur (võtmata arvesse soojusekadu pinnasesse). Keskmine temperatuur kütteelemendi tasandil arvutatakse välja järgmise valemi põhjal

$$\theta_h = \theta_i + \frac{R_i \Phi_2}{A} \quad (I.2)$$



## Lisa J (teatmelisa) Külmlaad

**J.1** Külmlaad on külmutussüsteemidega hooned sisetemperatuuriga alla 0 °C.

Pinnast külmlao all on vaja kaitsta külmakerke eest. Sellest tingitult tuleb külmlao põrand soojustada ning soojustuse all peab olema kütte, mis aitab tagada pinnase temperatuuri 0 °C-st kõrgemal hoidmise (5 °C on tavapärase arvutuslik temperatuur). Käesolevas lisas kirjeldatud protseduuri võib kasutada ka muudes samalaadsetes oludes, näiteks jäähallides.

**J.2** Käesolevas rahvusvahelises standardis toodud arvutuste puhul on eeldatud püsivat temperatuuri maapinnal. (Suveperioodil võib maapinna temperatuur tõusta arvutuslikust temperatuurist kõrgemale, kuid selle mõju on minimaalne.)

Arvutused võivad olla vajalikud

- külmumise eest kaitsvate kütteelementide võimsuse määramiseks;
- külmutusseadmete võimsuse määramiseks;
- iga-aastase energiakulu hindamiseks.

**J.3** Arvutuste seisukohast on olulisteks soojuslevi variantideks:

- a) küttekehadelt väliskeskkonda (pinnase kaudu);
- b) küttekehadelt külmutatavasse ruumi.

**J.4** Soojusvoolu pinnasesse võib arvutada vastavalt käesolevas rahvusvahelises standardis kirjeldatud protsessile, rakendades seejuures vajalikke muudatusi:

- a) sisetemperatuuri  $\theta_i$  asendamine pinnase arvutusliku temperatuuriga (nt 5 °C);
- b)  $d_i$  arvutamisel kasutatakse üksnes soojustakistust kütte/jahutuselemendi all, seinapaksust ja välispinna takistust.

**J.5** Soojusvool kütteelementidelt külmutatud keskkonda arvutatakse järgmiselt:

$$\Phi_f = A(\theta_g - \theta_i) / (R_{si} - R_i) \quad (J.1)$$

kus

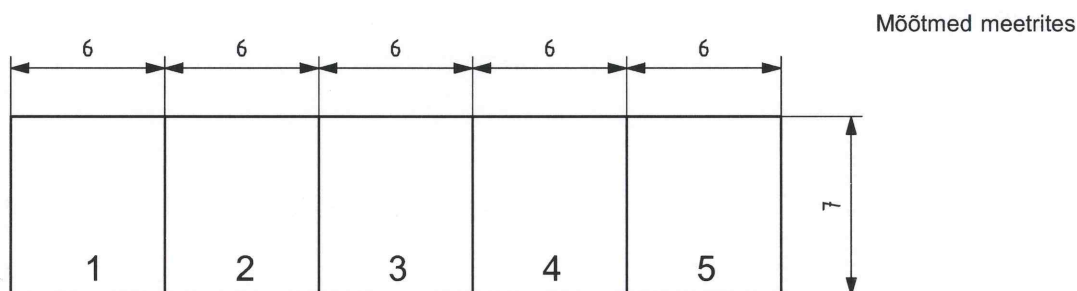
- |            |   |
|------------|---|
| $\Phi_f$   | on soojusvool, W;   |
| $\theta_i$ | on külmlao arvutuslik temperatuur, °C;  |
| $\theta_g$ | on pinnase arvutuslik temperatuur, °C;  |
| $R_i$      | on kõigi põrandakihtide soojustakistus kütteelementide tasandi ja sisemise põrandapinna vahel, m <sup>2</sup> ·K/W. |

## Lisa K (teatmelisa) Näidised

### K.1 Näide 1: Pinnasel asuv ristkülikukujuline põrand

#### K.1.1 Määratlus

Joonisel K.1 on kujutatud viiest sektsioonist koosnev ridaelamu, mille sektsioonid on tähistatud numbritega 1 kuni 5; tegemist on savipinnasel asuva põrandaga; põranda mõõtmed on näidatud joonisel; põrand on isoleerimata; seinapaksus on 0,3 m.



#### Võti

1, 2, 3, 4, 5 bokside numbrid

**Joonis K.1 — Ridamaja**

Arvutage välja pinnase soojuse erikadu püsivates tingimustes,  $H_g$ :

- kogu ehitisele (kõik viis maja kokku);
- igale viiele majale eraldi;
- liitke punktis b) toodud tulemused kokku ja võrrelge neid punktis a) saadud tulemusega.

#### K.1.2 Kogu ehitis

$P = 30 + 7 + 30 + 7 = 74$  m ja  $A = 7 \times 30 = 210$  m<sup>2</sup>, seega

$$B' = \frac{210}{0,5 \times 74} = 5,676 \text{ m}$$

Savipinnasel,  $\lambda = 1,5$  W/(m·K), seega

$$d_t = 0,3 + 1,5 (0,17 + 0 + 0,04) = 0,615 \text{ m.}$$

$d_t < B'$ , seega

$$U = \frac{2 \times 1,5}{3,142 \times 5,676 + 0,615} \ln \left( \frac{3,142 \times 5,676}{0,615} + 1 \right) = 0,1626 \times \ln(30,00) = 0,553 \text{ W/(m}^2 \cdot \text{K)};$$

$$H_g = 0,553 \times 210 = 116,1 \text{ W/K.}$$

### K.1.3 Sektsioonid 1 ja 5

$P$  ei sisalda vaadeldavat majaosa ehitise köetavatest osadest eraldavate seinte pikkuseid, nagu kirjeldatud punktis 8.1.

$$P = 6 + 7 + 6 = 19 \text{ m ja } A = 42 \text{ m}^2, \text{ seega } B' = 4,421 \text{ m.}$$

$d_t = 0,615 \text{ m}$ , nagu eelnevalt.

See annab tulemuseks  $U = 0,654 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$  ja  $H_g = 27,4 \text{ W/K}$ .

### K.1.4 Sektsioonid 2, 3 ja 4

$$P = 6 + 6 = 12 \text{ m ja } A = 42 \text{ m}^2, \text{ seega } B' = 7,0 \text{ m.}$$

$d_t = 0,615 \text{ m}$ , nagu eelnevalt.

See annab tulemuseks  $U = 0,478 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$  ja  $H_g = 20,1 \text{ W/K}$ .

### K.1.5 Kogu hoone väärtuste võrdlemine individuaalsete sektsioonide väärtuste summaga

Kõigi majade  $H_g$  väärtuste liitmisel saame tulemuseks

$$2 \times 27,4 + 3 \times 20,1 = 115,1 \text{ W/K}$$

mis on pisut erinev väärtusest 116,1 W/K, mis saadi hoonet tervikuna hinnates. See erinevus, väiksem kui 1%, on tavalise suurusega viga, mis on tingitud kirjeldatud arvutuskäigu kohaldamisest mitte hoone kui terviku, vaid eraldi bokside lõikes.

## K.2 Näide 2: Pinnasel asuv põrand: L-kujuline hoone, erinev isolatsioon

### K.2.1 Määratlus

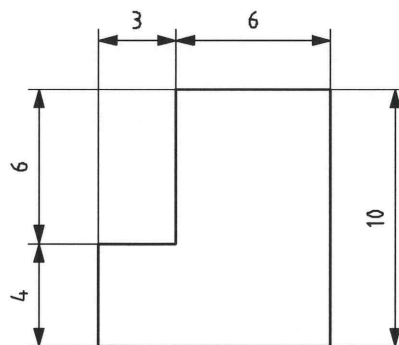
Joonisel K.2 on kujutatud L-kujuline hoone, mille  $w = 0,3 \text{ m}$ . Pinnase kategooria on 2, seega  $\lambda = 2,0 \text{ W}/(\text{m} \cdot \text{K})$ .

$$P = 10 + 6 + 6 + 3 + 4 + 9 = 38 \text{ m.}$$

Pindala leitakse kahe ristküliku pindala summana:

$$A = (10 \times 6) + (3 \times 4) = 72 \text{ m}^2;$$

$$B' = 72/19 = 3,789 \text{ m.}$$



Joonis K.2 — L-kujuline hoone

Mõõtmed meetrites

### K.2.2 Põranda soojustus puudub (põrandaplaadi soojustakistust ei võeta arvesse)

$$d_t = 0,3 + 2,0 (0,17 + 0 + 0,04) = 0,72 \text{ m}$$

$$U = \frac{2 \times 2,0}{3,142 \times 3,789 + 0,72} \ln \left( \frac{3,142 \times 3,789}{0,72} + 1 \right) = 0,91 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$$

### K.2.3 Väikese soojuseriitvusega materjalist vundamendid

Vundamendid on 300 mm paksused ja 600 mm sügavused; soojuseriitvusega 0,25 W/(m·K). Antud olukorda hinnatakse vertikaalsele servasoojustusele iseloomulikku meetodit kohaldades.

Vundamendid:

$$R' = \frac{0,3}{0,25} - \frac{0,3}{2,0} = 1,05 \text{ m}^2 \text{ K/W};$$

$$d' = R' \cdot \lambda = 1,05 \times 2,0 = 2,1 \text{ m};$$

$$D = 0,6 \text{ m};$$

$$\psi_g = -\frac{2,0}{3,142} [\ln(2,667) - \ln(1,426)] = -0,400 \text{ W}/(\text{m} \cdot \text{K});$$

$$U = 0,91 - 2 \times 0,400/3,789 = 0,70 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K}).$$

### K.2.4 Kogu pindala kattev soojustus

Põranda konstruktsioon koosneb 25 mm paksusest soojustuskihist soojuseriitvusega 0,04 W/(m·K).

$$R_f = 0,025/0,04 = 0,625 \text{ m}^2 \text{ K/W}$$

$$d_t = 0,3 + 2,0 (0,17 + 0,625 + 0,04) = 1,97 \text{ m}$$

$$U = \frac{2 \times 2,0}{3,142 \times 3,789 + 1,97} \ln \left( \frac{3,142 \times 3,789}{1,97} + 1 \right) = 0,56 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$$

### K.2.5 Suure soojustakistusega soojustus

Põranda konstruktsiooni osaks on 100 mm paksune soojustuskiht soojuseriitvusega 0,04 W/(m·K).

$$R_f = 0,1/0,04 = 2,5 \text{ m}^2 \text{ K/W}$$

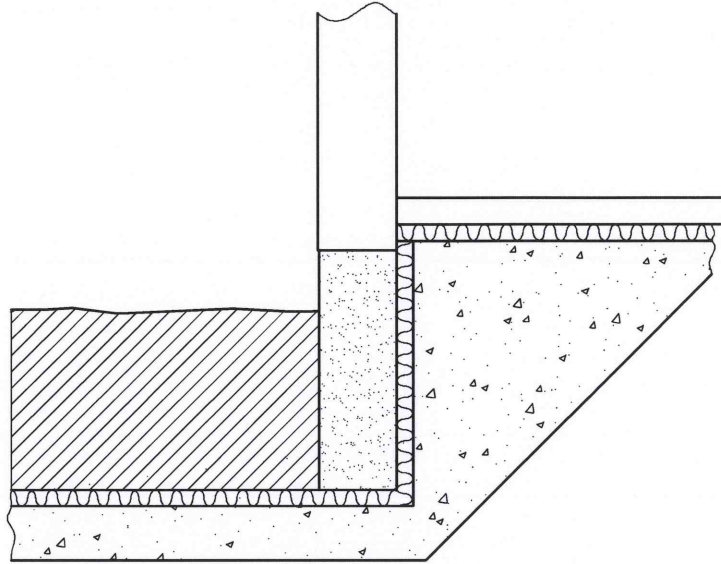
$$d_t = 0,3 + 2,0(0,17 + 2,5 + 0,04) = 5,72 \text{ m};$$

$$U = \frac{2,0}{0,457 \times 3,789 + 5,72} = 0,27 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K}).$$

### K.2.6 Eelmine näide servaisolatsiooniga (eeskätt külmakerkekaitseks)

Lisaks kogu vundamenti katvale soojustuskihile, mida on kirjeldatud punktis K.2.5, on vundamendid täiendavalt kaitsitud vertikaalse servasoojustusega, mis on paigaldatud vundamendi sisepinnale, 500 mm sügavusele ning jätkub vundamendi all, ulatudes 600 mm kaugusele hoonest (vt joonis K.3). Nii vertikaalne kui ka pinnases asuv isolatsioon on 75 mm paksused, soojuseriitvusega 0,05 W/(m·K), andes soojustakistuseks 1,5 m<sup>2</sup>·K/W.

Nurkades on täiendav külmakerkekaitsena toimiv soojustus, kuid soojuskadude arvutamisel ei võeta seda arvesse.



Joonis K.3 — Külumiskaitsena toimiv servaisolatsioon

Vastavalt lisale B arvutatakse serva termin  $\Psi_{g,e}$  väärtus välja kõigepealt vertikaalsele servasoojustusele ja seejärel pinnasesoojustusele, otsustamaks, kummaga on seotud soojuskaod suurem vähenemine.

Servasoojustuse täiendav soojustakistus on:

$$R' = 1,5 - 0,075/2,0 = 1,46 \text{ m}^2 \text{ K/W}$$

Seega on täiendav ekvivalentne paksus:

$$d' = 1,46 \times 2,0 = 2,92 \text{ m}$$

Vertikaalse soojustuse puhul:

$$\Psi_g = -\frac{2,0}{3,142} \left[ \ln \left( \frac{2 \times 0,5}{5,72} + 1 \right) - \ln \left( \frac{2 \times 0,5}{5,72 + 2,92} + 1 \right) \right] = -0,033 \text{ W/(m} \cdot \text{K)}$$

Pinnase soojustuse puhul:

$$\Psi_g = -\frac{2,0}{3,142} \left[ \ln \left( \frac{0,6}{5,72} + 1 \right) - \ln \left( \frac{0,6}{5,72 + 2,92} + 1 \right) \right] = -0,021 \text{ W/(m} \cdot \text{K)}$$

$\Psi_g$  annab vertikaalse soojustuse puhul suurema efekti, seega:

$$U = 0,27 - 2 \times 0,033/3,789 = 0,25 \text{ W/(m}^2 \cdot \text{K)}$$

### K.2.7 Külmasild põranda servas

Põrandaisolatsioon sarnaselt punktis K.2.5 kirjeldatule, kuid plaadi all; seega külmasillaks on plaadi serv (vt joonis K.4). Lineaarse soojusjuhtivuse arvutamiseks kasutatakse kahemõõtmelisi numbrilisi arvutusi.

Nagu punktis K.2.5,

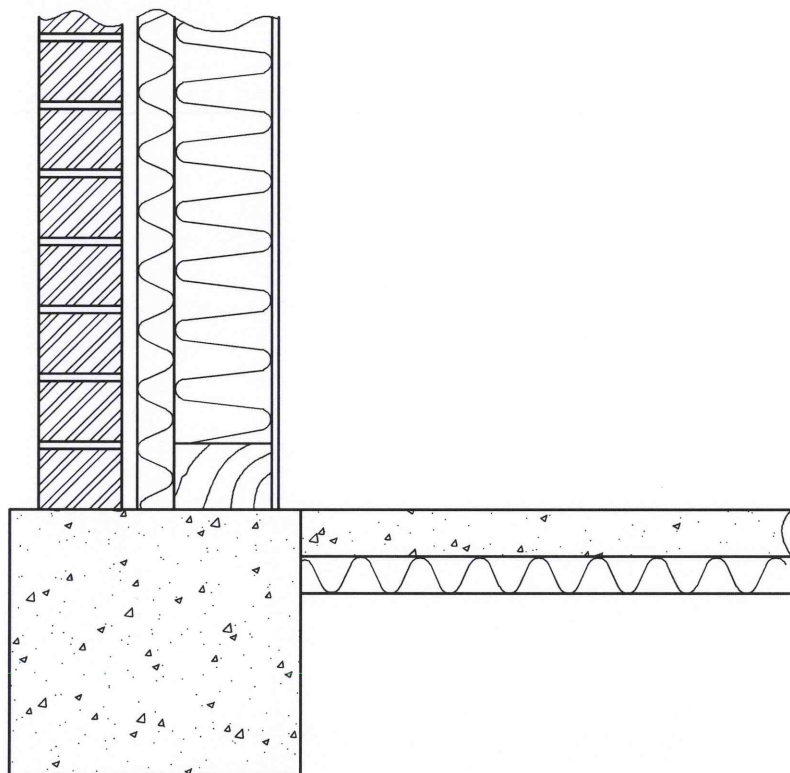
$$U_0 = 0,27 \text{ W/(m}^2 \cdot \text{K)}$$

Numbrilised arvutused vastavalt standardile ISO 10211 annavad tulemuseks

$$\psi_g = +0,07 \text{ W/(m}\cdot\text{K)}$$

Soojuskaotus kiirus kraadi kohta, võttes arvesse külmasilda, on sel juhul:

$$H_g = 0,27 \times 72 + 0,07 \times 38 = 22,1 \text{ W/K.}$$



Joonis K.4 — Külmasild põrandaservas

### K.3 Näide 3: Põrand välisõhu kohal

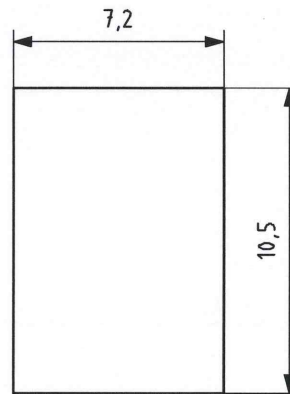
#### K.3.1 Määratlus

Joonisel K.5 on kujutatud riskülikukujuline põrand välisõhu kohal mõõtmetega 10,5 m × 7,2 m. Asukoht on keskmiselt avatud ilmastikuoludele; arvutuslik tuulekiirus on 4,0 m/s; tuulutavad õhkvahe seintes on 0,002 m<sup>2</sup>/m; põranda kõrgus maapinna suhtes on 0,3 m; seina paksus on 0,3 m; pinnase kategooria 1.

$$P = 35,4 \text{ m};$$

$$A = 75,6 \text{ m}^2;$$

$$B' = 4,271 \text{ m}.$$



Joonis K.5 — Välisõhu kohal asuva põranda mõõtmed

### K.3.2 Ilma isolatsioonita

Põrand välisõhu kohal on soojustamata [ $U_f = 2,0 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$ ] ja õhkvahe seinad on samuti soojustamata [ $U_w = 1,7 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$ ].

$U_g$  arvutatakse välja õhkvahe aluse (mis on soojustamata) ekvivalentset paksust kasutades  $R_g = 0$ :

$$d_g = 0,3 + 1,5(0,17 + 0 + 0,04) = 0,615 \text{ m};$$

$$U_g = \frac{2 \times 1,5}{3,142 \times 4,271 + 0,615} \ln\left(\frac{3,142 \times 4,271}{0,615} + 1\right) = 0,668 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K});$$

$$U_x = \frac{2 \times 0,3 \times 1,7}{4,271} + \frac{1450 \times 0,002 \times 4,0 \times 0,05}{4,271} = 0,375 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K}).$$

Seega

$$U = \frac{1}{1/2,0 + 1/(0,668 + 0,373)} = 0,69 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K}).$$

### K.3.3 Seinte isolatsioon õhkvahes

Õhkvahe seinad on soojustatud, seega

$$U_w = 0,5 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K});$$

$$U_x = \frac{2 \times 0,3 \times 0,5}{4,271} + 0,136 = 0,206 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K});$$

$$U = \frac{1}{1/2,0 + 1/(0,668 + 0,206)} = 0,61 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K}).$$

### K.3.4 Välisõhu kohal asuv isoleeritud põrand

Põrand välisõhu kohal on soojustatud, seega

$$U_f = 0,5 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K});$$

$U_x = 0,375 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$ , nagu kirjeldatud punktis K.3.2;

$$U = \frac{1}{1/0,5 + 1/(0,668 + 0,375)} = 0,34 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K}).$$

#### K.4 Näide 4: Kõetav kelder

Keldri pörandi pindala on 10 m x 7,5 m ning sügavus maapinnast 2,5 m; pinnase kategooria on 2; seinte paksus maapinnal on 0,3 meetrit; keldri pörand on isoleerimata; keldri seinad koosnevad 300 mm paksusest müüritisest [soojusjuhtivus 1,7 W/(m·K)] ja 50 mm paksusest isolatsioonikihist soojuseri juhtivusega 0,035 W/(m·K).

$$P = 35 \text{ m}; A = 75 \text{ m}^2; B = 4,286 \text{ m}; z = 2,5 \text{ m};$$

$$R_f = 0 \text{ ja } R_w = 0,05/0,035 + 0,3/1,7 = 1,605 \text{ m}^2 \text{ K/W};$$

$$d_t = 0,3 + 2,0 (0,17 + 0 + 0,04) = 0,72 \text{ m};$$

$$d_w = 2,0 (0,13 + 1,605 + 0,04) = 3,550 \text{ m};$$

$$d_t + 0,5 z = 0,66 + 1,25 = 1,91.$$

See on väiksem kui  $B'$ , seega

$$U_{bf} = \frac{2 \times 2,0}{3,142 \times 4,286 + 0,72 + 1,25} \ln \left( \frac{3,142 \times 4,286}{0,72 + 1,25} + 1 \right) = 0,533 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K});$$

$$U_{bw} = \frac{2 \times 2,0}{3,142 \times 2,5} \left( 1 + \frac{0,5 \times 0,72}{0,72 + 2,5} \right) \ln \left( \frac{2,5}{3,550} + 1 \right) = 0,302 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K});$$

$$H_g = AU_{bf} + zPU_{bw} = 75 \times 0,533 + 2,5 \times 35 \times 0,302 = 66,4 \text{ W/K};$$

$$U' = 66,4 / (75 + 2,5 \times 35) = 0,41 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K}).$$

#### K.5 Näide 5: Soojusvool kuu lõikes

Võtame aluseks näites 1 toodud hoone, mille isolatsiooni soojustakistus kogu pörandi lõikes on 1,25 m<sup>2</sup>·K/W. Kuu keskmised välistemperatuurid on näidatud tabelis K.1.

Tabel K.1 — Kuu keskmised välistemperatuurid

Kuu	Jan.	Veebr	Märts	Apr	Mai	Juuni	Juuli	Aug	Sept	Okt	Nov	Dets
Temperatuur °C	1,3	1,8	3,7	7,6	10,3	13,5	15,4	14,2	10,4	7,3	5,9	4,3

Sisetemperatuure puudutav info ei ole nii täpne: kõigi eelduste kohaselt on temperatuur jaanuaris 15 °C ja juulis 19 °C.

Aasta keskmised temperatuurid:

— Sisemine:  $\bar{\theta}_i \approx (15 + 19)/2 = 17,0 \text{ °C};$

— Väline: (eeltoodud temperatuuride summa jagatuna 12-ga):  $\bar{\theta}_e = 7,98 \text{ °C}.$



Temperatuurikõikumine:

— Sisemine:  $\bar{\theta}_i \approx (19 - 15)/2 = 2,0 \text{ K}$ ;

— Väline:  $\bar{\theta}_e = (15,4 - 1,3)/2 = 7,05 \text{ K}$ .

$P = 19 \text{ m}$ ;  $A = 42 \text{ m}^2$ ;  $B' = 4,421 \text{ m}$ ;  $\lambda = 1,5 \text{ W/(m}\cdot\text{K)}$ ;  $d_t = 2,49 \text{ m}$ ;

$U_0 = 0,345 \text{ W/(m}^2\cdot\text{K)}$ ;  $H_0 = 14,49 \text{ W/K}$ .

Tabelist F.1,  $\delta = 2,2 \text{ m}$ .

$$H_{pi} = 42 \times \frac{1,5}{2,49} \sqrt{\frac{2}{(1 + 2,2/2,49)^2 + 1}} = 16,78 \text{ W/K}$$

$$H_{pe} = 0,37 \times 19 \times 1,5 \times \ln\left(\frac{2,2}{2,49} + 1\right) = 6,68 \text{ W/K}$$

Kui  $\tau = 1$ ,  $\alpha = 0$  ja  $\beta = 1$ , siis on võimalik leida soojusvool iga kuu kohta (vt tabel K.2):

$$\begin{aligned} \Phi_m &= 14,49(17,0 - 7,98) - 16,78 \times 2,0 \times \cos\left(6,284 \times \frac{m-1}{12}\right) + 6,68 \times 7,05 \times \cos\left(6,284 \times \frac{m-2}{12}\right) = \\ &= 131 - 33,6 \cos\left(6,284 \times \frac{m-1}{12}\right) + 47,1 \cos\left(6,284 \times \frac{m-2}{12}\right) \end{aligned}$$

**Tabel K.2 — Soojusvool kuude lõikes**

Kuu	Jan.	Veebr	Märts	Apr	Mai	Juuni	Juuli	Aug	Sept	Okt	Nov	Dets
<b>Soojusvool W</b>	138	149	155	154	148	136	124	113	107	107	114	125

Kui kütteperiood algab septembris ja kestab mai lõpuni (üheksa kuud), siis on keskmine soojusvool antud perioodil tabelis K.2 toodud andmete põhjal 133 W.

Teiseks võimaluseks on valemite (A.4) ja (A.5) kasutamine, st faasierinevusi ignoreeritakse ja keskmine soojusvool kütteperioodil on järgmine (vt tabel K.3):

$$\bar{\Phi} = 14,49(17,0 - 7,98) - 0,3 \times 16,78 \times 2,0 + 0,3 \times 6,68 \times 7,05 = 131 - 10 + 14 = 135 \text{ W}.$$

Kui sisemine temperatuur on ühtlaselt 20 °C:

$$\Phi_m = 174 + 47,1 \cos\left(6,284 \frac{m-2}{12}\right)$$

**Tabel K.3 — Igakuine soojusvool faasierinevuse eiramise korral**

Kuu	Jan.	Veebr	Märts	Apr	Mai	Juuni	Juuli	Aug	Sept	Okt	Nov	Dets
<b>Soojusvool W</b>	215	221	215	198	174	151	133	127	133	151	174	198

Keskmine soojusvool tabeli K.3 kohaselt (september kuni mai) = 187 W.

Valemist (A.4), keskmine soojusvool (september kuni mai) = 188 W.

Faasierinevus mõjutab keskmist soojusvoolu kütteperioodil väga vähe.

### Kasutatud kirjandus

- [1] ISO 13789, *Thermal performance of buildings — Transmission and ventilation heat transfer coefficients — Calculation method*
- [2] ANDERSON, B.R., Calculation of the steady-state heat transfer through a slab-on-ground floor. *Building and Environment*, Vol. 26, No. 4, pp. 405-415 (1991)
- [3] ANDERSON, B.R., The effect of edge insulation on the steady-state heat loss through a slab-on-ground floor. *Building and Environment*, Vol. 28, No. 3, pp. 361-367 (1993)
- [4] CLAESSON, J. and HAGENTOFT, C-E., Heat loss to the ground from a building — I. General theory. *Building and Environment*, Vol. 26, No. 2, pp. 95-208 (1991)
- [5] HAGENTOFT, C.-E. and CLAESSON, J., Heat loss to the ground from a building — II. Slab on the ground. *Building and Environment*, Vol. 26, No. 4, pp. 395-403 (1991)
- [6] HAGENTOFT, C.-E., Heat losses and temperature in the ground under a building with and without ground water flow — I. Infinite ground water flow rate. *Building and Environment*, Vol. 31, No. 1, pp. 3-11 (1996)
- [7] HAGENTOFT, C.-E., Heat losses and temperature in the ground under a building with and without ground water flow — II. Finite ground water flow rate. *Building and Environment*, Vol. 31, No. 1, pp. 13-19 (1996)
- [8] HAGENTOFT, C.-E., Steady-state heat loss for an edge insulated slab Part I. *Building and Environment*, Vol. 37, No. 1, pp. 19-26 (2002)
- [9] HAGENTOFT, C.-E., Periodic heat loss for an edge insulated slab Part II. *Building and Environment*, Vol. 37, No. 1, pp. 27-36 (2002)