

Univerza  
v Ljubljani

Fakulteta  
*za gradbeništvo  
in geodezijo*



2. stopnja  
*Magistrski program Stavbarstvo*

**MAST**

# KONSTRUKCIJSKA GRADBENA FIZIKA

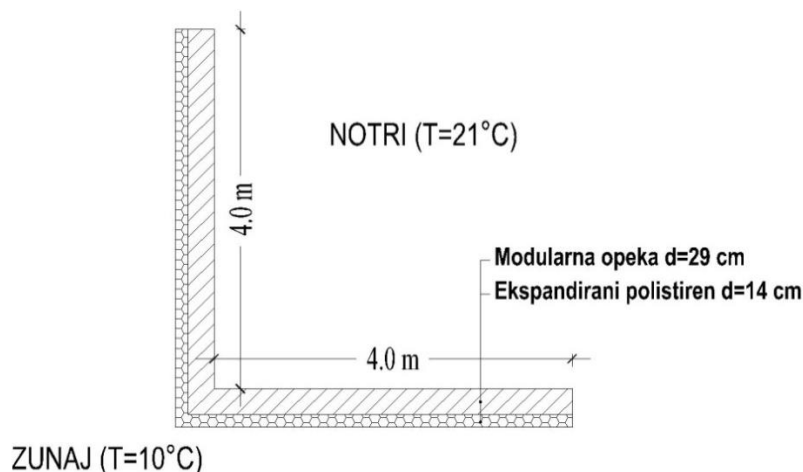
Poročilo o izdelanih vajah

Študenta:  
Primož Šestan in Teja Penko

Ljubljana, 25. 10. 2013

IZRAČUN PRENOSA TOPLOTE ZA PRIMER VOGALA ZIDU

1. **PRIMER:** opečni zid, izoliran s 14 cm debelo toplotno izolacijo



Robni pogoji:

- Notranja temperatura  $T_1=21^\circ\text{C}$
- Zunanja temperatura  $T_2=10^\circ\text{C}$

Materialne karakteristike:

- Modularna opeka:  $\lambda_1=0,52 \text{ W/mK}$ ;  $d_1=0,29\text{m}$
- Ekspandirani polistiren:  $\lambda_2=0,03$
- $7 \text{ W/mK}$ ;  $d_2=0,14\text{m}$

Karakteristike zidu:

- Višina  $H=3\text{m}$
- Dolžina, širina:  $x=y=4\text{m}$
- Toplotni upor mejne zračne plasti, kjer je  $h$  prestopni koeficient, pridobljen iz <ftp://ftp.fgg.uni-lj.si//> (*8 difuzija toplote in vodne pare.pdf*):
  - Notranja mejna plast:  $1/h_N=0,13 \frac{\text{m}^2\text{K}}{\text{W}} \rightarrow h_N=7,69 \frac{\text{W}}{\text{m}^2\text{K}}$
  - Zunanja mejna plast  $1/h_Z=0,04 \frac{\text{m}^2\text{K}}{\text{W}} \rightarrow h_Z=25 \frac{\text{W}}{\text{m}^2\text{K}}$

Izračun uporov plasti R in celotna toplotna prehodnost U:

$$\sum R = \frac{1}{h_N} + \sum \left( \frac{d_i}{\lambda_i} \right) + \frac{1}{h_Z} = \frac{1}{7,69 \frac{\text{W}}{\text{m}^2\text{K}}} + \frac{0,29 \text{ m}}{0,52 \frac{\text{W}}{\text{mK}}} + \frac{0,14 \text{ m}}{0,037 \frac{\text{W}}{\text{mK}}} + \frac{1}{25 \frac{\text{W}}{\text{m}^2\text{K}}} = 4,51 \frac{\text{m}^2\text{K}}{\text{W}}$$

$$U = \frac{1}{\sum R} + \text{"dodatek"} = \frac{1}{4,51 \frac{\text{m}^2\text{K}}{\text{W}}} + 0,06 \frac{\text{W}}{\text{m}^2\text{K}} = 0,28 \frac{\text{W}}{\text{m}^2\text{K}}$$

»dodatek« iz tehnične smernice (2010): »Če imajo vsi toplotni mostovi v stavbi linijsko toplotno prehodnost  $\Psi_e < 0,2 \text{ W/mK}$  (standard SIST EN ISO 14683, Tabela 2), se lahko njihov vpliv upošteva na poenostavljen način, s povečanjem toplotne prehodnosti celotnega ovoja stavbe za  $0,06 \text{ W/m}^2\text{K}$ .«

## KONSTRUKCIJSKA GRADBENA FIZIKA 2013/2014

Penko, Šestan

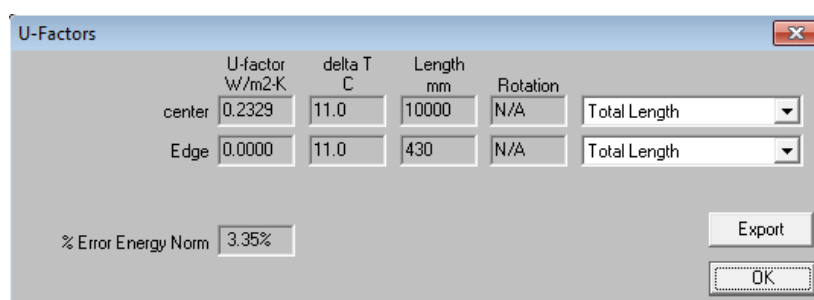
Izračunali smo torej toplotno prehodnost z dodatkom iz standarda, kjer smo za obravnavani zid predpostavili, da pripada stavbi, katere toplotni mostovi izpolnjujejo zgoraj zapisano zahtevo.

Toplotna prehodnost U ali t.i. U-faktor za obravnavan zid, ob predpostavki, da gre za zunanjo steno, ravno še izpolnjuje zahteva tehnične smernice, ki narekuje maksimalno toplotno prehodnost  $0,28 \frac{W}{m^2K}$  v stavbah.

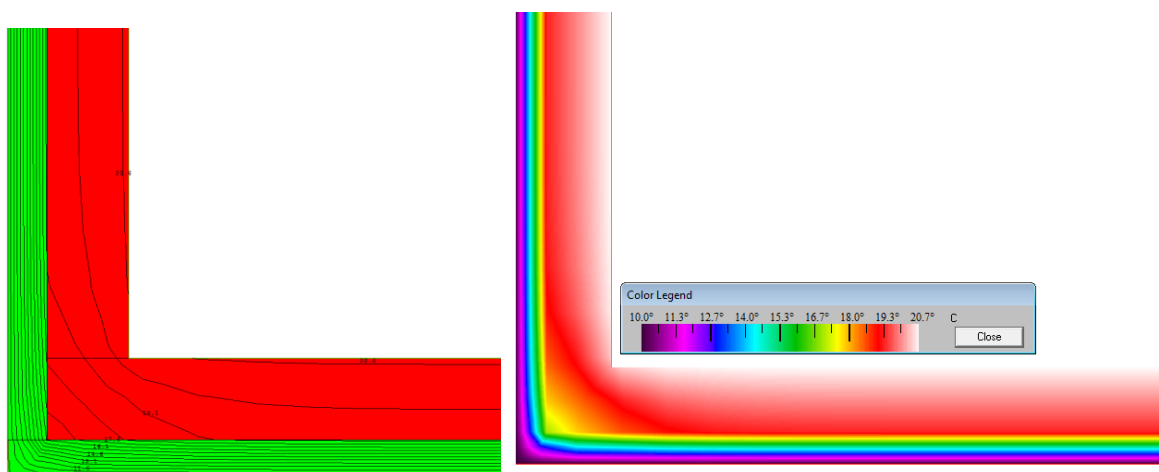
### Preveritev s programom Therm V6.3.46.0:

(<http://windows.lbl.gov/software/therm/therm.html>)

Pri izračunu smo upoštevali robne pogoje in materialne karakteristike kot so bile uporabljene pri »peš postopku«. V program smo morali ročno vnesti tudi vrednosti za prestopna koeficienta zunanje in notranje mejne zračne plasti.



Izračunana toplotna prehodnost U znaša  $0,2329 \text{ W/m}^2\text{K}$ , kar je manj kot je znašala pri »peš postopku«. Pri tem primeru je mogoče »dodatek« toplotne prehodnosti zaradi upoštevanja toplotnih mostov preveč strogo, kajti obravnavan je le konstrukcijski sklop v dveh dimenzijah. Pri neki zahtevnejši geometrijski obliki bi bil »dodatek« iz tehnične smernice verjetno upravičen. Rezultati izračuna s programom Therm kažejo na odstopanje pri končni vrednosti U-faktorja.



Na levi sliki so prikazane izoterme obeh plasti, ki sestavljajo konstrukcijski sklop. Desna slika prikazuje potek temperature v konstrukcijskem sklopu.

Z izračunom po »peš postopku« smo izračunali vrednost U-faktorja  $0,28 \text{ W/m}^2 \text{ K}$ , medtem ko nam je program Therm podal vrednost U-faktorja  $0,2329 \text{ W/m}^2 \text{ K}$ . Razlika med izračunoma znaša približno 17%. Predvidevamo, da do odstopanja med izračuni nastane zaradi nenatančnosti v ozadju »peš računa« in računom s programom. »Dodatek« iz tehnične smernice je verjetno prestroj za izračunan primer. Program Therm računa toplotno prehodnost po metodi končnih elementov, ki je precej natančna numerična metoda.

2. **PRIMER:** zidova, ki se stikata pod pravim kotom in sta povsod enake debeline

Primer je preračunan po izrazu iz priročnika: W. M. Rohsenow, J. P. Hartnett, E. N. Ganić. Handbook of heat transfer fundamentals. (<http://www.e-fizika.si/>)

Robni pogoji:  $\Delta T = 30 \text{ K}$

Materialne karakteristike:

a)  $\lambda = 0,1 \text{ W/mK}$ ;  $d = 0,5 \text{ m}$

Karakteristike zidu:

a) Višina  $H = 3 \text{ m}$

b) Dolžina, širina:  $x = y = 4 \text{ m}$

c) Toplotni tok:  $P = 149 \text{ W}$

Izpeljan izraz po priročniku:

$$\frac{P}{H} = \lambda \left( \frac{x}{d} + \frac{y}{d} + 1 - \frac{2}{\pi} \cdot \ln 2 \right) \Delta T,$$

kjer člen  $\lambda \left( 1 - \frac{2}{\pi} \cdot \ln 2 \right)$  predstavlja dodatek zaradi kota med zidovoma in znaša

$$\lambda 0,56 \Delta T$$

$$P = \lambda \frac{x}{d} H \Delta T + \lambda \frac{y}{d} H \Delta T + \lambda 0,56 \Delta T H$$

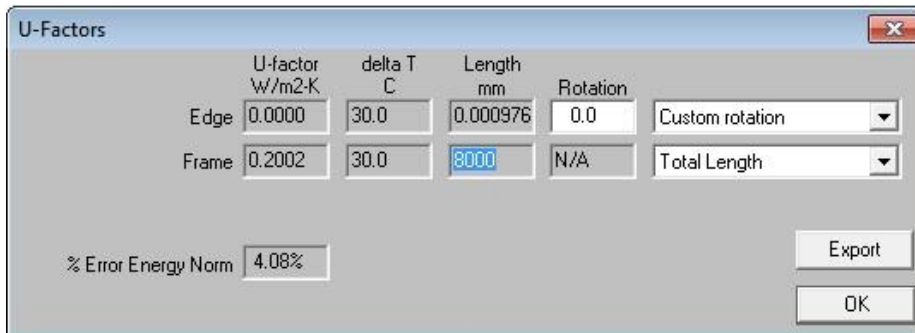
$$P = 2 \cdot \left( 0,1 \frac{\text{W}}{\text{mK}} \cdot \frac{4 \text{ m}}{0,5 \text{ m}} \cdot 3 \text{ m} \cdot 30 \text{ K} \right) + 0,1 \frac{\text{W}}{\text{mK}} \cdot 0,56 \cdot 30 \text{ K} \cdot 3 \text{ m} = 144 \text{ W} + 5 \text{ W} = \mathbf{149 \text{ W}}$$

Izračun uporov plasti R in celotna toplotna prehodnost U:

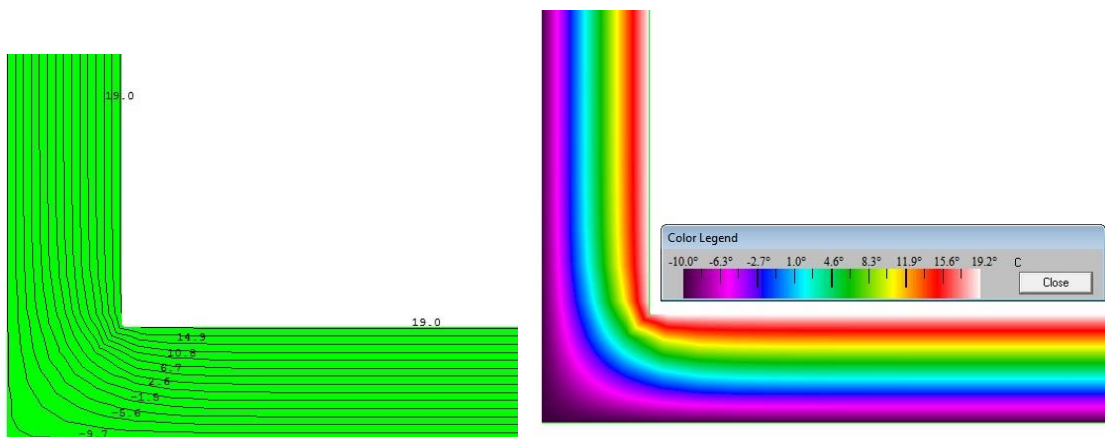
$$P = U S \Delta T \rightarrow U = \frac{P}{\Delta T S} = \frac{149 \text{ W}}{30 \text{ K} \cdot (2 \cdot 4 \text{ m} \cdot 3 \text{ m})} = \mathbf{0,21 \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \text{ K}}}$$

**Preveritev s programom Therm V6.3.46.0:**

S programom Therm smo kontrolirali rezultate izračunanega primera po enačbi iz omenjenega priročnika. Izhajali smo iz toplotnega toka, ki je vsota prispevkov toplotnega toka ravnega in vogalnega dela zidu. Dobili smo naslednje rezultate:



Izračunana toplotna prehodnost U znaša 0,2002 W/m<sup>2</sup>K.



Na levi sliki so prikazane izoterme zidu, ki je po celotni dolžini enake debeline. Desna slika prikazuje potek temperature v zidu.

*Izračun po »peš postopku« nam je podal rezultat U-faktorja 0,21W/m<sup>2</sup>K. Program Therm nam je podal vrednost U-faktorja 0,2002 W/m<sup>2</sup>K. Rezultata se razlikujeta med seboj za 5%. Izračuna nam podata dokaj podobne rezultate, kar je bilo za pričakovati glede na kompleksnost izbrane enačbe iz priročnika.*