

Algoritam za proračun potrebne energije za grijanje i hlađenje prostora zgrade prema HRN EN ISO 13790

Autori:

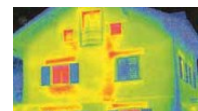
prof.dr.sc. Vladimir Soldo, dipl.ing.stroj.

Silvio Novak, dipl.ing.građ.

dr. sc. Ivan Horvat, mag.ing.stroj.

prod.dr.sc. Damir Dović, dipl.ing.stroj.

Zagreb, svibanj 2021.



S A D R Ž A J

DIJAGRAMI TOKA PRORAČUNA

1. GODIŠNJA POTREBNA TOPLINSKA ENERGIJA ZA GRIJANJE $Q_{H,nd}$ prema HRN EN ISO 13790

1.1 Potrebni ulazni podaci za proračun

1.2 Proračunske zone

1.3 Proračun godišnje potrebne toplinske energije za grijanje $Q_{H,nd}$

1.3.1 Izmjenjena toplinska energija transmisijom

1.3.2 Izmjenjena toplinska energija ventilacijom

1.3.3 Ukupni toplinski dobitci za proračunski period

1.3.3.1 Unutarnji toplinski dobitci

1.3.3.2 Toplinski dobitci od Sunčeva zračenja

1.3.4 Faktor iskorištenja toplinskih dobitaka za grijanje

1.3.5 Izračun mjesečnih vrijednosti toplinske energije za grijanje

1.3.6 Trajanje sezone grijanja

2. GODIŠNJA POTREBNA TOPLINSKA ENERGIJA ZA HLAĐENJE $Q_{C,nd}$ prema HRN EN ISO 13790

2.1 Ukupni toplinski dobitci za promatrani proračunski period

2.1.1 Toplinski dobitci od Sunčeva zračenja

2.2 Izmjenjena toplinska energija proračunske zone za promatrani period

2.3 Faktor iskorištenja toplinskih gubitaka za hlađenje

2.4 Izračun satnih i mjesečnih vrijednosti toplinske energije za hlađenje

2.5 Trajanje sezone hlađenja

3. TOPLINSKI OTPORI - KOEFICIJENTI PROLASKA TOPLINE prema HRN EN ISO 6946

4. TOPLINSKI MOSTOVI prema HRN EN ISO 14683

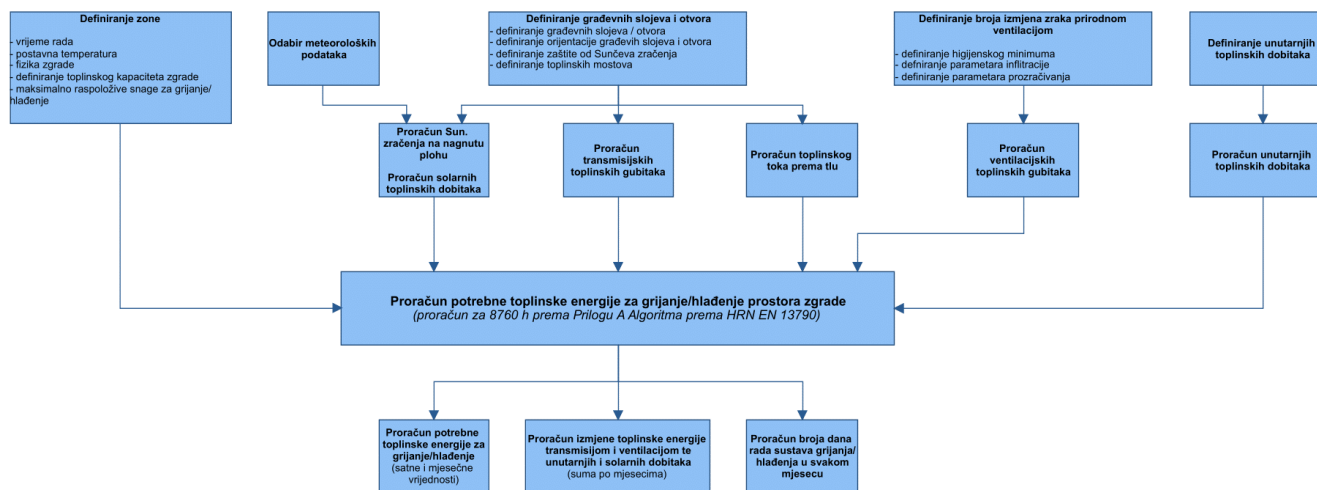
Prilog 1: REFERENTNI KLIMATSKI PODACI

Prilog 2: PRORAČUN KOEFICIJENTA PROLASKA TOPLINE ZA STAMBENO-POSLOVNU ZGRADU

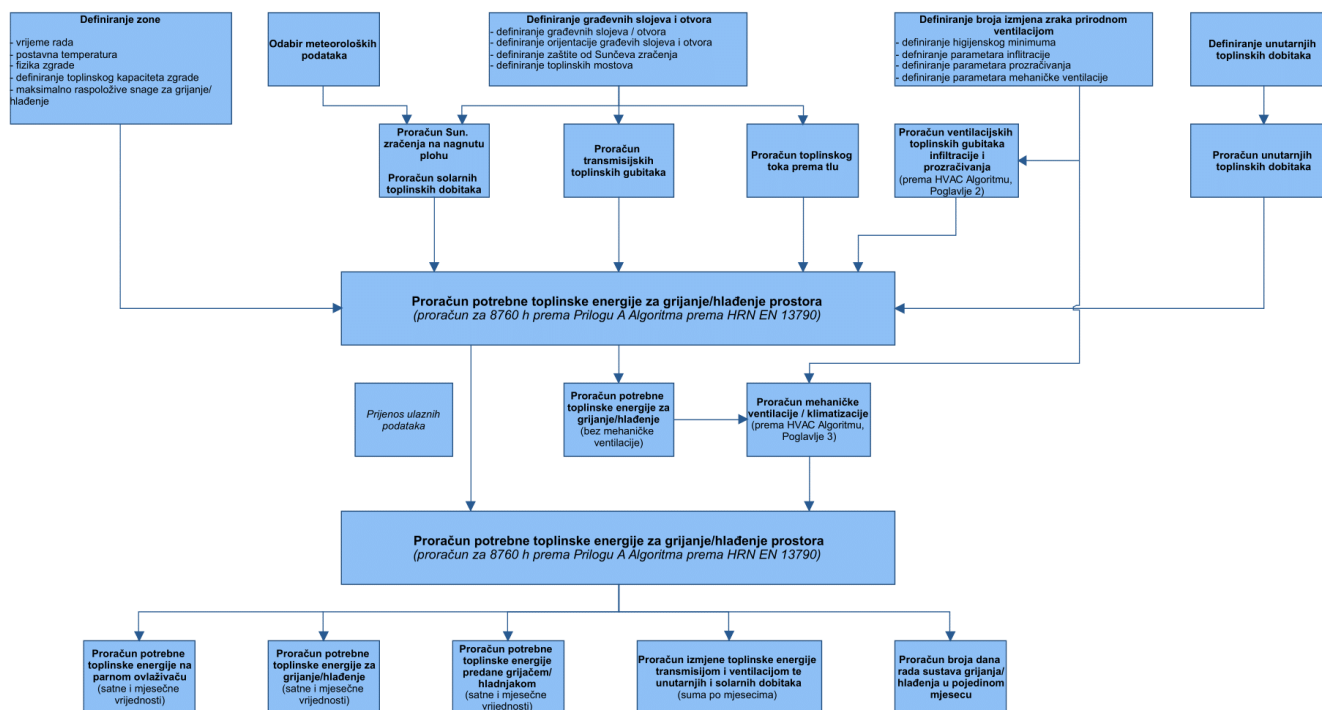
Prilog 3: PRORAČUN GODIŠNJE POTREBNE TOPLINSKE ENERGIJE ZA GRIJANJE I HLAĐENJE STAMBENO-POSLOVNE ZGRADE

Prilog A JEDNOSTAVNA SATNA METODA

DIJAGRAMI TOKA PRORAČUNA



Dijagram toka proračuna potrebne energije za grijanje i hlađenje prostora



Dijagram toka proračuna potrebne energije za grijanje, hlađenje prostora i mehaničku ventilaciju/klimatizaciju

Popis mjernih oznaka i jedinice korištenih u Poglavljima 1. i 2.

$Q_{H,nd,cont}$	- potrebna toplinska energija za grijanje pri kontinuiranom radu (kWh);
$Q_{H,ht}$	- ukupno izmjenjena toplinska energija u periodu grijanja (kWh);
$Q_{H,gn}$	- ukupni toplinski dobici zgrade u periodu grijanja: ljudi, uređaji, rasvjeta i sunčevo zračenje (kWh);
$\eta_{H,gn}$	- faktor iskorištenja toplinskih dobitaka (-);
$\vartheta_{int,H}$	- unutarnja postavna temperatura grijane zone (°C);
$\vartheta_{int,H,s}$	- unutarnja postavna temperatura za grijanje prostora s (°C);
Q_{Tr}	- izmjenjena toplinska energija transmisijom za proračunsku zonu (kWh);
Q_{Ve}	- izmjenjena toplinska energija ventilacijom za proračunsku zonu (kWh);
Q_{int}	- unutarnji toplinski dobici zgrade (ljudi, uređaji, rasvjeta) (kWh);
Q_{sol}	- toplinski dobici od Sunčeva zračenja (kWh);
H_{Tr}	- koeficijent transmisijske izmjene topline proračunske zone (W/K);
H_{Ve}	- koeficijent ventilacijske izmjene topline proračunske zone (W/K);
$\vartheta_{e,m}$	- srednja vanjska temperatura za proračunski period (mjesec) (°C);
t	- trajanje proračunskog razdoblja (h);
$H_{Tr,z,y}$	- koeficijent transmisijske izmjene topline između zona z i y (W/K);
$H_{Ve,z \rightarrow y}$	- koeficijent ventilacijske izmjene topline između zona z i y (W/K);
$\vartheta_{z,H}$	- unutarnja postavna temperatura grijane zone z (°C);
$\vartheta_{y,mn}$	- srednja temperatura u susjednoj zoni y (°C);
H_D	- koeficijent transmisijske izmjene topline prema vanjskom okolišu (W/K);
H_U	- koeficijent transmisijske izmjene topline kroz negrijani/nehlađeni prostor prema vanjskom okolišu (W/K);
H_g	- stacionarni koeficijent transmisijske izmjene topline prema tlu (W/K);
b_m	- faktor smanjenja temperaturne razlike za svaki mjesec kod proračuna izmijenjene topline s tlom (-);
H_A	- koeficijent transmisijske izmjene topline prema susjednoj zgradi (W/K);
Ψ_l	- duljinski koeficijent prolaska topline, W/(m K);
χ_j	- koeficijent prolaska topline točkastog toplinskog mosta (W/K);
ΔU_{TM}	- dodatak za toplinske mostove na koeficijent prolaska topline (W/(m ² K));
b_u	- faktor smanjenja temperaturne razlike za negrijane prostor (-);
$H_{Tr,ue}$	- koeficijent transmisijske izmjene topline između negrijanog prostora i vanjskog okoliša (W/K);
$H_{Ve,ue}$	- koeficijent ventilacijske izmjene topline između negrijanog prostora i vanjskog okoliša (W/K);
$H_{Tr,iu}$	- koeficijent transmisijske izmjene topline između grijanog i negrijanog prostora (W/K);
$H_{Ve,iu}$	- koeficijent ventilacijske izmjene topline između grijanog i negrijanog prostora (W/K);
ρ_a	- gustoća zraka (kg/m ³);
$c_{p,a}$	- specifični toplinski kapacitet zraka (J/(kg K));
n_{ue}	- broj izmjena zraka između negrijanog prostora i vanjskog okoliša (h ⁻¹);
n_{50}	- broj izmjena zraka pri razlici tlaka od 50 Pa (h ⁻¹);
V_{ue}	- volumen zraka negrijanog prostora (m ³);
ϑ_u	- temperatura negrijanog prostora (°C);
A	- oplošje grijanog dijela zgrade (m ²);
$H_{g,m}$	- koeficijent transmisijske izmjene topline prema tlu za proračunski mjesec;
Φ_m	- toplinski tok izmjene topline s tlom za proračunski mjesec (W);
H_{pi}	- unutarnji periodički koeficijent transmisijske izmjene topline (W/K);
H_{pe}	- vanjski periodički koeficijent transmisijske izmjene topline (W/K);
$\overline{\Phi}_m$	- srednji toplinski tok izmjene topline s tlom za sve mjesece u godini (W);
$\overline{\vartheta}_{int}$	- srednja godišnja unutarnja temperatura (°C);

\bar{g}_e	- srednja godišnja vanjska temperatura (°C);
U	- koeficijent prolaska topline, W/(m ² K);
A_g	- površina poda (m ²);
P	- izloženi opseg poda (m);
B'	- karakteristična dimenzija poda (-);
ψ_g	- duljinski koeficijent prolaska topline za spoj zida i poda, W/(m K);
d_t	- ekvivalentna debljina poda (m);
λ	- koeficijent toplinske provodljivosti tla, W/(m K);
w	- ukupna debljina zida (m);
R_f	- toplinski otpor podne konstrukcije (m ² K/W);
δ	- periodička dubina prodiranja u ovisnosti o tipu tla (m);
U_f	- koeficijent prolaska topline uzdignutog poda (W/(m ² K));
U_g	- koeficijent prolaska topline građevne konstrukcije na tlu (W/(m ² K));
U_x	- ekvivalentni koeficijent prolaska topline uzdignutog poda (W/(m ² K));
R_f	- toplinski otpor uzdignute podne konstrukcije (m ² K/W);
h	- visina uzdignutog poda od razine tla (m);
U_w	- koeficijent prolaska topline zida zgrade iznad razine tla (W/(m ² K));
v	- brzina vjetra (m/s);
f_w	- faktor zaklonjenosti zgrade od vjetra (-);
d_w	- ekvivalentna debljina zida u podrumu (m);
U_{bf}	- koeficijent prolaska topline za pod u podrumu (W/(m ² K));
U_{bw}	- koeficijent prolaska topline za zid u podrumu (W/(m ² K));
R_w	- toplinski otpor zida u podrumu (m ² K/W);
z	- dubina podruma ispod razine tla (m);
b_A	- faktor smanjenja temperaturne razlike za susjedni prostor (-);
g_{adj}	- temperatura susjedne prostorije (°C);
$Q_{Ve,inf}$	- potrebna toplinska energija radi infiltracije vanjskog zraka (kWh);
$Q_{Ve,win}$	- potrebna toplinska energija radi pozračivanja otvaranjem prozora (kWh);
$Q_{Ve,mech}$	- potrebna toplinska energija u sustavu mehaničke ventilacije/klimatizacije (kWh);
$H_{Ve,inf}$	- koeficijent ventilacijske izmjene topline uslijed infiltracije vanjskog zraka (W/K);
$H_{Ve,win}$	- koeficijent ventilacijske izmjene topline uslijed otvaranja prozora (W/K);
$H_{Ve,mech}$	- koeficijent ventilacijske izmjene topline uslijed mehaničke ventilacije/klimatizacije (W/K);
n_{inf}	- broj izmjena zraka uslijed infiltracije (h ⁻¹);
e_{wind}, f_{wind}	- faktori zaštićenosti zgrade od vjetra (-);
n_{win}	- broj izmjena zraka uslijed otvaranja prozora (h ⁻¹);
A_K	- korisna površina (m ²);
$Q_{sol,k}$	- srednja dozračena energija sunčevog zračenja kroz k -ti građevni dio u grijani prostor (kWh);
$F_{sh,ob}$	- faktor zasjenjena od vanjskih prepreka direktnom upadu sunčevog zračenja (-);
$S_{S,k}$	- srednja dozračena energija sunčevog zračenja na površinu građevnog dijela k za promatrani period (MJ/m ²);
$A_{sol,k}$	- efektivna površina otvora k na koju upada sunčevo zračenje (m ²);
$F_{r,k}$	- faktor oblika između otvora k i neba (-);
$\Phi_{r,k}$	- toplinski tok zračenjem od površine otvora k prema nebu (W);
$F_{sh,gl}$	- faktor smanjenja zbog sjene od pomičnog zasjenjenja (-);
g_{gl}	- ukupna propusnost Sunčeva zračenja kroz prozirne elemente kada pomično zasjenjenje nije uključeno (-);
g_{\perp}	- stupanj propuštanja ukupnog zračenja okomito na ostakljenje kada pomično zasjenjenje nije uključeno (-);
F_W	- faktor smanjenja zbog ne okomitog upada sunčevog zračenja (-);
F_F	- udio ploštine prozorskog okvira u ukupnoj površini prozora (-);
A_{pr}	- ukupna površina prozora (m ²);

g_{gl+sh}	- ukupna propusnost Sunčeva zračenja kroz prozirne elemente s uključenom pomičnom zaštitom (-);
F_C	- faktor smanjenja zbog sjene od pomičnog zasjenjenja (-);
f_{with}	- udio vremena s uključenom pomičnom zaštitom (-);
F_{hor}	- parcijalni faktor zasjenjenja zbog konfiguracije terena u ovisnosti o orijentaciji plohe, kuta horizonta i zemljopisnoj širini (-);
F_{ov}	- parcijalni faktor zasjenjenja zbog gornjih elemenata prozorskog otvora u ovisnosti o orijentaciji plohe, kutu gornjeg zasjenjenja α , zemljopisnoj širini (-);
F_{fin}	- parcijalni faktor zasjenjenja zbog bočnih elemenata prozorskog otvora u ovisnosti o orijentaciji plohe, kutu bočnog prozorskog zasjenjenja β , zemljopisnoj širini (-);
$A_{sol,c}$	- efektivna površina neprozirnog građevnog elementa na koju upada sunčevo zračenje, m^2
$\alpha_{s,c}$	- bezdimenzijski apsorpcijski koeficijent zida/krova (-);
R_{se}	- plošni toplinski otpor vanjske površine zida/krova (m^2K/W);
U_c	- koeficijent prolaska topline zida/krova ($W/(m^2 K)$);
A_c	- projicirana površina zida (m^2);
ε	- koeficijent emisivnosti zida (-);
h_r	- vanjski koeficijent prijelaza topline zračenjem ($W/(m^2 K)$);
$\Delta\vartheta_{er}$	- prosječna temperaturna razlika vanjske temperature zraka i temperature neba (K);
y_H	- omjer toplinskih dobitaka i ukupne izmjenjenje topline transmisijom i ventilacijom u režimu grijanja (-);
a_H	- bezdimenzijski parametar ovisan o vremenskoj konstanti zgrade (-);
τ	- vremenska konstanta zgrade (h);
$\tau_{H,o}$	- referentna mjesečna konstanta zgrade za grijanje (h);
C_m	- efektivni toplinski kapacitet grijanog dijela zgrade/zone (J/K);
a_o	- bezdimenzijski parametar za mjesečni proračun ovisan o vremenskoj konstanti zgrade (-);
m'	- plošna masa zgrade (kg/m^2);
$f_{H,m}$	- udio broja dana u mjesecu koji pripada sezoni grijanja (-);
$L_{H,m}$	- ukupni broj dana grijanja u mjesecu (d/mj);
d_m	- ukupni broj dana u mjesecu (d/mj);
$\alpha_{H,red}$	- bezdimenzijski redukcijfski faktor koji uzima u obzir prekide u grijanju (-);
$f_{H,hr}$	- udio sati u tjednu tijekom kojih grijanje radi s normalnom postavnom vrijednošću unutarnje temperature (-);
t_d	- vrijeme rada sustava grijanja/hlađenja s normalnom postavnom vrijednošću (h/d);
$d_{use,tj}$	- tjedni broj dana korištenja sustava (d/tj);
$d_{use,a}$	- godišnji broj dana korištenja sustava (d/a);
$Q_{H,nd,cont,m}$	- potrebna toplinska energija za grijanje zgrade/zone u promatranom mjesecu pri kontinuiranom radu (kWh/mj);
$Q_{H,nd,cont,a}$	- godišnja potrebna toplinska energija za grijanje zgrade (zone) pri kontinuiranom radu (kWh/a);
$Q_{H,nd,a}$	- godišnja potrebna toplinska energija za grijanje zgrade (zone) pri nekontinuiranom radu (kWh/a);
$Q_{C,nd}$	- potrebna toplinska energija za hlađenje pri kontinuiranom radu (kWh)
$Q_{C,gn}$	ukupni toplinski dobitci zgrade u periodu hlađenja: ljudi, rasvjeta, uređaji, solarni dobitci (kWh);
$Q_{C,ht}$	- ukupno izmjenjena toplinska energija u periodu hlađenja (kWh);
$\eta_{C,ls}$	- faktor iskorištenja toplinskih gubitaka kod hlađenja (-);
$H_{g,h}$	- koeficijent transmisijske izmjene topline prema tlu za svaki sat (W/K);
$\vartheta_{int,h}$	- unutarnja postavna temperatura za proračunski sat ($^{\circ}C$);
$\vartheta_{e,h}$	- srednja vanjska temperatura za proračunski sat ($^{\circ}C$);
$\vartheta_{int,C}$	- unutarnja proračunska temperatura hlađene zone ($^{\circ}C$);
$\vartheta_{z,C}$	- unutarnja proračunska temperatura hlađene zone z ($^{\circ}C$);

γ_C	- omjer toplinskih dobitaka i ukupne izmjenjenje topline transmisijom i ventilacijom u režimu hlađenja (-);
a_C	- bezdimenzijski parametar ovisan o vremenskoj konstanti zgrade (-);
$\tau_{C,o}$	- referentna konstanta zgrade za hlađenje (h);
$f_{C,m}$	- udio broja dana u mjesecu koji pripada sezoni hlađenja (-);
$L_{C,m}$	- ukupni broj dana hlađenja u mjesecu (d/mj);
$\alpha_{C,red}$	- bezdimenzijski redukcijski faktor koji uzima u obzir prekide u hlađenju (-);
$f_{C,day}$	- udio dana u tjednu tijekom kojih hlađenje radi s normalnom postavnom vrijednošću unutarnje temperature (-);
$Q_{C,nd,d}$	- dnevna vrijednost potrebne toplinske energije za hlađenje zgrade/zone (kWh/d);
$Q_{C,nd,m}$	- mjesečna vrijednost potrebne toplinske energije za hlađenje zgrade/zone (kWh/mj);
$Q_{C,nd,a}$	- godišnja potrebna toplinska energija za hlađenje zgrade/zone (kWh/a).

Indeksi

H	- grijanje	sol	- sunčevo zračenje
C	- hlađenje	int	- unutarnji
Tr	- transmisija	e	- vanjski
Ve	- ventilacija		

1. GODIŠNJA POTREBNA TOPLINSKA ENERGIJA ZA GRIJANJE $Q_{H,nd}$ prema HRN EN ISO 13790

Godišnja potrebna toplinska energija za grijanje $Q_{H,nd}$

- jest računski određena količina topline koju sustavom grijanja treba tijekom jedne godine dovesti u zgradu za održavanje unutarnje projektne temperature u zgradi tijekom razdoblja grijanja zgrade.

Potrebna toplinska energija za grijanje:

$$Q_{H,nd,cont} = Q_{H,ht} - \eta_{H,gn} Q_{H,gn} \quad [\text{kWh}] \quad \text{HRN EN (3)} \quad (1.1)$$

gdje su:

$Q_{H,nd,cont}$ - potrebna toplinska energija za grijanje pri kontinuiranom radu (kWh);

$Q_{H,ht}$ - ukupno izmjenjena toplinska energija u periodu grijanja (kWh);

$Q_{H,gn}$ - ukupni toplinski dobitci zgrade u periodu grijanja (ljudi, uređaji, rasvjeta i sunčevo zračenje) (kWh);

$\eta_{H,gn}$ - faktor iskorištenja toplinskih dobitaka (-).

Tipovi proračuna :

Prema HRN EN ISO 13790, tri su pristupa proračunu potrošnje energije za grijanje i hlađenje s obzirom na vremenski korak proračuna:

- kvazistacionarni proračun na bazi sezonskih vrijednosti
- kvazistacionarni proračun na bazi mjesečnih vrijednosti
- dinamički proračun s vremenskim korakom od jednog sata ili kraćim

Kod energetske certificiranja zgrada, za proračun $Q_{H,nd}$ koristiti se kvazistacionarni proračun na bazi mjesečnih vrijednosti. Godišnja vrijednost potrebne toplinske energije za grijanje izračunava se kao suma pozitivnih mjesečnih vrijednosti.

Energetski razredi iskazuju se za referentne klimatske podatke (prema podacima iz pravilnika koji se odnosi na energetske certificiranje zgrada).

Referentni klimatski podaci određuju se posebno za kontinentalnu i za primorsku Hrvatsku u odnosu na broj stupanj dana grijanja.

Za gradove i mjesta koji imaju 2200 i više stupanj dana grijanja godišnje, proračun energetske potrebe se provodi prema referentnim klimatskim podacima za Kontinentalnu Hrvatsku (Prilog 1).

Za gradove i mjesta koji imaju manje od 2200 stupanj dana grijanja godišnje, proračun energetske potrebe se provodi prema referentnim klimatskim podacima za Primorsku Hrvatsku (Prilog 1).

1.1 Ulazni/izlazni podaci proračuna

Potrebni ulazni podaci za proračun $Q_{H,nd}$ [kWh]:

Klimatski podaci:

ϑ_e – srednja vanjska temperatura za proračunski period, (°C) (Prilog 1, za Referentne klimatske podatke i za Stvarne klimatske podatke);

S_s – srednja dozračena sunčeva energija za proračunski period, (MJ/m²) (Prilog 1, za Referentne klimatske podatke i za Stvarne klimatske podatke za mjesečni proračun).

Stvarni klimatski podaci sadržani su u tehničkom propisu koji se odnosi na racionalnu uporabu energije i toplinsku zaštitu u zgradama.

U Prilogu 1 ovog Algoritma dani su Referentni klimatski podaci.

Proračunski parametri:

t_{int} - unutarnja proračunska temperatura pojedinih temperaturnih zona (°C), Tablica 1.1;

n – broj izmjena zraka svake proračunske zone u jednom satu (h^{-1}).

Podaci o zgradi:

A_k – ploština pojedinih građevnih dijelova zgrade (m^2);

(vanjski zidovi, zidovi između stanova, zidovi prema garaži/tavanu, zidovi prema negrijanom stubištu, zidovi prema tlu, stropovi između stanova, stropovi prema tavanu, stropovi iznad vanjskog prostora, stropovi prema negrijanom podrumu, podovi na tlu, podovi s podnim grijanjem prema tlu, kosi krovovi iznad grijanih prostora, ravni krovovi iznad grijanih prostora)

A_f – površina kondicionirane zone zgrade s vanjskim dimenzijama (m^2);

A_K – ploština korisne površine zgrade (m^2);

za stambene zgrade može se približno odrediti $A_K = 0,32 \cdot V_e$

A – ukupna ploština građevnih dijelova koji razdvajaju grijani dio zgrade od vanjskog prostora, tla ili negrijanih dijelova zgrade (omotač grijanog dijela zgrade), uređena prema HRN EN ISO 13789:2007, dodatak B, za slučaj vanjskih dimenzija (m^2);

V_e - bruto obujam, obujam grijanog dijela zgrade kojemu je oplošje A (m^3);

V – neto obujam, obujam grijanog dijela zgrade u kojem se nalazi zrak (m^3);

Taj se obujam određuje koristeći unutarnje dimenzije ili prema približnom izrazu $V = 0,76 \cdot V_e$ za zgrade do tri etaže, odnosno $V = 0,8 \cdot V_e$ u ostalim slučajevima

f – udio ploštine prozora u ukupnoj ploštini pročelja.

Podaci o termotehničkim sustavima:

- način grijanja zgrade,
- izvori energije koji se koriste za grijanje i pripremu PTV-a,
- vrsta ventilacije (prirodna, prisilna),
- vođenje i regulacija sustava grijanja,
- karakteristike unutarnjih izvora topline.

Rezultati proračuna:

Izlazni rezultati proračuna prema HRN EN ISO 13790 su mjesečni podaci za svaku zonu i ukupni sezonski podaci:

1) REŽIM GRIJANJA

- transmisijski toplinski gubici
- ventilacijski toplinski gubici
- unutarnji toplinski dobici (ljudi, rasvjeta, uređaji)
- ukupni toplinski dobici od sunčeva zračenja
- faktor iskorištenja toplinskih dobitaka za grijanje
- broj dana grijanja u mjesecu/godini
- potrebna toplinska energija za grijanje svedena na grijani prostor

2) REŽIM HLAĐENJA

- ukupna izmjenjena toplina transmisijom
- ukupna izmjenjena toplina ventilacijom
- unutarnji toplinski dobici (ljudi, rasvjeta, uređaji)
- ukupni toplinski dobici od sunčeva zračenja
- faktor iskorištenja toplinskih gubitaka za hlađenje
- broj dana hlađenja u mjesecu/godini
- potrebna toplinska energija za hlađenje svedena na hlađeni prostor

1.2 Proračunske zone

Podjela na **proračunske zone** za koje se odvojeno računa potrebna energija za grijanje i hlađenje, te se za svaku zonu zasebno izdaje energetska certifikat, provodi se za dijelove zgrade ako se razlikuju:

- vrijednosti unutarnje projektne temperature za više od 4 °C,
- namjena drugačija od osnovne i to u iznosu od 10 % i više neto podne površine prostora veće od 50 m²,
- u pogledu ugrađenog termotehničkog sustava i njegovog režima uporabe.

Proračun prema normi HRN EN ISO 13790 moguć je na tri načina:

- cijela zgrada tretirana kao jedna zona,
- zgrada podijeljena u nekoliko zona, među kojima je razlika unutarnjih temperatura < 5°C, pa se izmjena topline između samih zona ne uzima u obzir
- zgrada podijeljena u nekoliko zona, među kojima je razlika unutarnjih temperatura ≥ 5°C, pa se izmjena topline između zona uzima u obzir

Unutarnja proračunska temperatura zone

Tablica 1.1 (temeljem HRN EN 13790 Tablica G.12 i DIN V 18599-10) Unutarnje proračunske temperature

Vrsta prostora	Sezona grijanja zimi t_{int} , °C	Kontinentalna Hrvatska – sezona hlađenja t_{int} , °C	Primorska Hrvatska - sezona hlađenja t_{int} , °C
Obiteljske kuće	20	22	24
Stambene zgrade	20	22	24
Uredske, administrativne i druge poslovne zgrade slične pretežite namjene	20	22	24
Školske, fakultetske zgrade, i druge odgojne i obrazovne ustanove	20	22	24
Vrtići	22	22	24
Knjižnice – prostorije za čitanje	20	22	24
Knjižnice – prostorije s policama	20	22	24
Bolnice i zgrade za rehabilitaciju	22	22	24
Hoteli, moteli i sl.	20	22	24
Muzeji	20	22	
Ostale zgrade sa stalnim radom (kolodvori, i sl.)	20	22	24
Robne kuće, trgovački centri, trgovine	20	22	24
Sportske zgrade	18	22	24
Radionice i proizvodne hale	18	22	24
Kongresni centri	20	22	24
Kazališta i kina	20	22	24
Kantine	20	22	24

Restorani	20	22	24
Kuhinje	20	22	24
Serverske sobe, kompjuterski centri	-	24	26
Spremišta opreme, arhive	16	22	24
Bazeni	26	26	26
Zgrade koje nisu navedene	20	22	24

1.3 Proračun godišnje potrebne toplinske energije za grijanje $Q_{H,nd}$

Sumiranje se provodi za sve mjesece u godini ako su vrijednosti mjesečne potrebne toplinske energije za grijanje pozitivne.

Proračun $Q_{H,nd,cont}$ uključuje sljedeći izraz:

$$Q_{H,nd,cont} = Q_{Tr} + Q_{Ve} - \eta_{H,gn}(Q_{int} + Q_{sol}) \quad [\text{kWh}] \quad (1.2)$$

gdje su:

Q_{Tr} – izmjenjena toplinska energija transmisijom za proračunsku zonu (kWh);

Q_{Ve} – potrebna toplinska energija za ventilaciju/klimatizaciju za proračunsku zonu (kWh);

$\eta_{H,gn}$ – faktor iskorištenja toplinskih dobitaka (-);

Q_{int} – unutarnji toplinski dobitci zgrade (ljudi, uređaji, rasvjeta) (kWh);

Q_{sol} – toplinski dobitci od Sunčeva zračenja (kWh).

Izmjenjena toplinska energija transmisijom i ventilacijom proračunske zone za promatrani period računa se pomoću koeficijenta toplinske izmjene topline H (W/K):

$$Q_{Tr} = \frac{H_{Tr}}{1000} (\vartheta_{int,H} - \vartheta_e) t \quad [\text{kWh}] \quad \text{HRN EN 13790 (16)} \quad (1.3)$$

$$Q_{Ve} = \frac{H_{Ve}}{1000} (\vartheta_{int,H} - \vartheta_e) t \quad [\text{kWh}] \quad \text{HRN EN 13790 (20)} \quad (1.4)$$

gdje su:

H_{Tr} – koeficijent transmisijske izmjene topline proračunske zone (W/K);

H_{Ve} – koeficijent ventilacijske izmjene topline proračunske zone (W/K);

$\vartheta_{int,H}$ – unutarnja postavna temperatura grijane zone (°C);

$\vartheta_{e,m}$ – srednja vanjska temperatura za proračunski period (sat ili mjesec) (°C);

t – trajanje proračunskog razdoblja (h)

$\Phi_{m,g}$ – toplinski tok izmjene topline s tlom za proračunski mjesec (W) (izraz 1.24)

Napomena:

- kod mjesečne metode t = ukupan broj sati u mjesecu (Tablica 1.6)

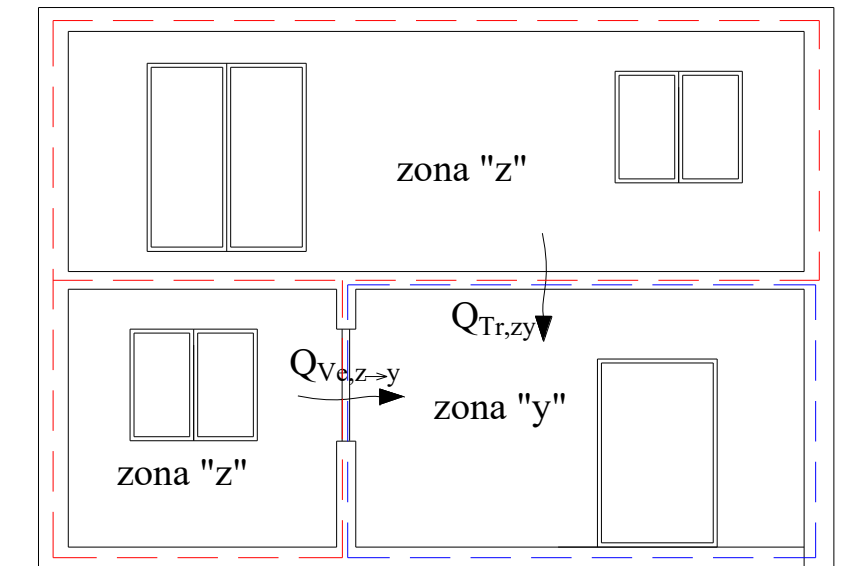
- kod satne metode $t = 1$ h unutar perioda kada radi sustav grijanja (vidi poglavlje 1.3.5).

Komentar:

Ako su dostupni satni meteorološki podaci o temperaturi i sunčevom ozračenju, kod proračuna $Q_{C,nd}$ koristi se satna metoda radi veće točnosti proračuna. Naime, kod primjene mjesečne metode nije moguće izuzeti iz ukupne toplinske bilance situacije kada je $Q_{C,nd} < 0$

(npr. kada je $\vartheta_e < \vartheta_{int}$ i $Q_{C,gn} < \eta_{C,ls} Q_{C,ht}$), pa zbog osrednjavanja satnih temperatura na mjesečnoj razini dolazi do umanjivanja sume pozitivnih vrijednosti $Q_{C,nd}$ (koja predstavlja stvarno potrebu toplinsku energiju za hlađenje). Kod proračuna $Q_{H,nd}$ situacije kada je $Q_{H,nd} < 0$ su vrlo rijetke, pa je razlika između rezultata proračuna dobivenih mjesečnom i satnom metodom znatno manja nego kod proračuna $Q_{C,nd}$.

Ako zgrada ima više zona potrebno je za proračun izmjenjene topline transmisijom i ventilacijom među zonama koristiti sljedeće izraze:



Slika 1.1 Podjela zgrade na dvije proračunske zone

Izmjenjena toplinska energija transmisijom iz zone z prema zoni y:

$$Q_{Tr,zy} = \frac{H_{Tr,zy}}{1000} (\vartheta_{z,H} - \vartheta_{y,mn}) t \quad [\text{kWh}] \quad \text{HRN EN 13790 (pB.3)} \quad (1.5)$$

Izmjenjena toplinska energija ventilacijom iz zone z prema zoni y:

$$Q_{Ve,z \rightarrow y} = \frac{H_{Ve,z \rightarrow y}}{1000} (\vartheta_{z,H} - \vartheta_{y,mn}) t \quad [\text{kWh}] \quad \text{HRN EN 13790 (pB.3)} \quad (1.6)$$

gdje su

$H_{Tr,zy}$ – koeficijent transmisijske izmjene topline između zona z i y (W/K);

$H_{Ve,z \rightarrow y}$ – koeficijent ventilacijske izmjene topline između zona z i y (W/K);

$\vartheta_{z,H}$ – unutarnja postavna temperatura grijane zone z (°C);

$\vartheta_{y,mn}$ – srednja temperatura u susjednoj zoni y (°C);

t – trajanje proračunskog razdoblja (h).

1.3.1 Izmjenjena toplinska energija transmisijom

Koeficijent transmisijske izmjene topline H_{Tr} određuje se za svaki mjesec prema normi HRN EN ISO 13789 iz sljedećeg izraza:

$$H_{Tr} = H_D + H_U + H_A + H_{g,m} \quad [\text{W/K}] \quad \text{HRN EN 13790 (17)} \quad (1.7)$$

gdje su:

H_D – koeficijent transmisijske izmjene topline prema vanjskom okolišu (W/K);

H_U – koeficijent transmisijske izmjene topline kroz negrijani/nehlađeni prostor prema vanjskom okolišu (W/K);

H_A – koeficijent transmisijske izmjene topline prema susjednoj zgradi (W/K);

$H_{g,m}$ – koeficijent transmisijske izmjene topline prema tlu za proračunski mjesec (W/K).

Koeficijenta transmisijske izmjene topline po jedinici oplošja grijanog dijela zgrade $H'_{Tr,adj}$ računa se iz sljedećeg izraza:

$$H'_{Tr,adj} = \frac{H_{Tr,avg}}{A} \quad [\text{W}/(\text{m}^2\text{K})] \quad (1.8)$$

gdje su:

$H_{Tr,avg}$ - prosječni koeficijent transmisijske izmjene topline (W/K);

A – oplošje grijanog dijela zgrade (m^2).

Prosječni koeficijent transmisijske izmjene topline $H_{Tr,avg}$ računa se iz sljedećeg izraza:

$$H_{Tr,avg} = H_D + H_U + H_A + H_{g,avg} \quad [\text{W/K}] \quad (1.9)$$

Koeficijent transmisijske izmjene topline od grijanog prostora prema vanjskom okolišu H_D , računa se pomoću površine građevinskih elemenata A_k , koeficijenata prolaska topline pojedinih građevinskih elemenata U_k (W/(m^2K)), uzimajući u račun i dodatak za toplinske mostove:

$$H_D = \sum_k A_k U_k + \sum_l \psi_l l_l + \sum_j \chi_j \quad [\text{W/K}] \quad \text{HRN EN 13789 (2)} \quad (1.10)$$

Dodatak za toplinske mostove ΔU_{TM} određuje se iz dužine l (m) i toplotnog gubitka u odnosu na dužni metar ψ_l (vidi poglavlje 4.1), te koeficijenta prolaska topline točkastog toplinskog mosta χ_j (vidi poglavlje D.3)

ili se pojednostavljenim postupkom proračuna uzima dodatak na koeficijent prolaska topline ΔU_{TM} (W/(m^2K)).

$$H_D = \sum_k A_k (U_k + \Delta U_{TM}) \quad [\text{W/K}] \quad (1.11)$$

$\Delta U_{TM} = 0,05$ W/(m^2K) - toplinski most projektiran u skladu s katalogom dobrih rješenja toplinskih mostova;

$\Delta U_{TM} = 0,10$ W/(m^2K) - ako rješenje toplinskog mosta nije iz kataloga dobrih rješenja toplinskih mostova.

Napomena: Za proračun zgrada koje se karakteriziraju kao zgrade Energetskog razreda A i A+ potrebno je koristiti detaljni proračun linijskih toplinskih mostova prema jednadžbi (1.10) i Tablici 4.2. Detaljnija klasifikacija toplinskih mostova dana je u poglavlju 4.2.

Koeficijent transmisije izmjene topline između negrijanog prostora i vanjskog okoliša H_U računa se prema:

$$H_U = b_u H_{iu} \quad [\text{W/K}] \quad \text{HRN EN 13789 (5)} \quad (1.12)$$

b_u - faktor smanjenja temperaturne razlike (-);

Faktor smanjenja temperaturne razlike b_u računa se prema:

$$b_u = \frac{H_{ue}}{H_{iu} + H_{ue}} = \frac{H_{Tr,ue} + H_{Ve,ue}}{H_{Tr,iu} + H_{Ve,iu} + H_{Tr,ue} + H_{Ve,ue}}, \quad [-] \quad \text{HRN EN 13789 (5)} \quad (1.13)$$

$$H_{iu} = H_{Tr,iu} + H_{Ve,iu} \quad [\text{W/K}] \quad (1.14)$$

$$H_{ue} = H_{Tr,ue} + H_{Ve,ue} \quad [\text{W/K}] \quad (1.15)$$

H_{iu} – koeficijent transmisije i ventilacijske izmjene topline između grijanog i negrijanog prostora (W/K);

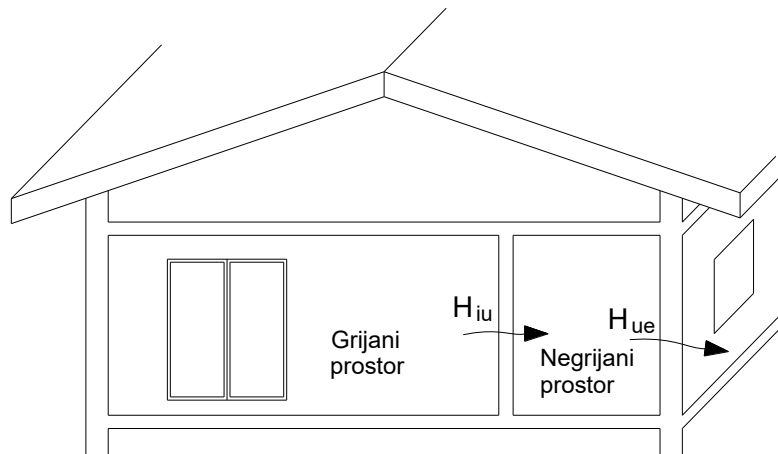
H_{ue} – koeficijent transmisije i ventilacijske izmjene topline između negrijanog prostora i vanjskog okoliša (W/K);

$H_{Tr,iu}$ – koeficijent transmisije izmjene topline između grijanog i negrijanog prostora (W/K);

$H_{Ve,iu}$ – koeficijent ventilacijske izmjene topline između grijanog i negrijanog prostora (W/K) (može se zanemariti);

$H_{Tr,ue}$ – koeficijent transmisije izmjene topline između negrijanog prostora i vanjskog okoliša (W/K);

$H_{Ve,ue}$ – koeficijent ventilacijske izmjene topline između negrijanog prostora i vanjskog okoliša (W/K).



Slika 1.2 Izmjena toplinske energije kroz negrijani prostor

$H_{Tr,ue}$ i $H_{Tr,ie}$ računaju se pomoću izraza (1.9) ili (1.10).

Koeficijent ventilacijske izmjene topline $H_{V,ue}$ računa se koristeći sljedeći izraz:

$$H_{V,ue} = \frac{\rho_a c_{p,a} V_{ue}}{3600} \quad [\text{W/K}] \quad \text{HRN EN 13789 (7)} \quad (1.16)$$

gdje su:

ρ_a - gustoća zraka (kg/m^3);

$c_{p,a}$ – specifični toplinski kapacitet zraka (J/(kg K));

\dot{V}_{ue} – volumni protok zraka između negrijanog prostora i vanjskog okoliša (m³/h).

Volumni protok zraka između negrijanog prostora i vanjskog okoliša računa se iz sljedećeg izraza:

$$\dot{V}_{ue} = V_{ue} \cdot n_{ue} \text{ [m}^3\text{/h]} \quad \text{HRN EN 13789 (11)} \quad (1.17)$$

gdje su:

V_{ue} – volumen zraka negrijanog prostora (m³);

n_{ue} – broj izmjena zraka između negrijanog prostora i vanjskog okoliša (Tablica 1.2).

Tablica 1.2 (HRN EN 13789 Tablica 2) Broj izmjena zraka u ovisnosti o zrakopropusnosti prostora

Br.	Tip zrakopropusnosti	n_{ue} [1/h]
1	Bez prozora i vrata prema vanjskom okolišu, svi spojevi dobro završeni, bez ventilacijskih otvora prema vanjskom okolišu	0,1
2	Svi spojevi dobro završeni, bez ventilacijskih otvora prema vanjskom okolišu	0,5
3	Svi spojevi dobro završeni, mali ventilacijski otvori	1
4	Postoji zrakopropusnost zbog pojedinih otvorenih spojeva ili stalno otvorenih ventilacijskih otvora	3
5	Postoji zrakopropusnost zbog brojnih otvorenih spojeva ili velikih ili brojnih stalno otvorenih ventilacijskih otvora	10

Ako je broj izmjena zraka n_{50} poznat, potrebno je za n_{ue} uzeti onaj broj izmjena zraka koji je najbliži vrijednosti iz Tablice 1.2:

$$\frac{n_{50}}{20}, \text{ [1/h]} \quad \text{HRN EN 13789 (12)} \quad (1.18)$$

Temperatura negrijanog prostora:

$$\vartheta_u = \frac{\Phi_U + \vartheta_i(H_{Tr,iu} + H_{Ve,iu}) + \vartheta_e(H_{Tr,ue} + H_{Ve,ue})}{H_{Tr,iu} + H_{Ve,iu} + H_{Tr,ue} + H_{Ve,ue}} \text{ [}^\circ\text{C]} \quad \text{HRN EN 13789 (A.1)} \quad (1.19)$$

gdje je:

Φ_U - toplinski tok negrijanog prostora od unutarnjih toplinskih izvora ili solarnih dobitaka (W);

ϑ_i - unutarnja postavna temperatura pojedinih temperaturnih zona (°C);

ϑ_e – srednja vanjska temperatura za proračunski period (°C).

Toplinski gubici kroz tavanske prostore

Tavanski prostor se tretira kao vanjski prostor, pri čemu se radi korekcija toplinskog otpora tavanske konstrukcije prema normi HRN EN ISO 6946 Tablica 3 (vidi poglavlje 3.4.4, Tablica 3.4 predmetnog Algoritma).

Izmjenjena toplinska energija transmisijom između grijanog prostora i tla (HRN EN 13370:2007)

Kako bi se uzela u obzir toplinska tromost tla te prikladna temperaturna razlika kod izmjene topline s tlom proračun se provodi na mjesečnoj bazi i to prema normi HR EN ISO 13370, dodatak A.

Koeficijent transmisijske izmjene topline prema tlu za proračunski period (mjesec), $H_{g,m}$, iznosi:

$$H_{g,m} = \frac{\Phi_m}{\vartheta_{int,m} - \vartheta_{e,m}} \quad [\text{W/K}] \quad \text{HRN EN 13370 (A.10)} \quad (1.20)$$

pri čemu je

Φ_m - toplinski tok izmjene topline s tlom za proračunski mjesec (W);

$\vartheta_{int,m}$ - unutarnja postavna temperatura za proračunski mjesec (°C);

$\vartheta_{e,m}$ - srednja vanjska temperatura za proračunski mjesec (°C).

Uprosječeni koeficijent transmisijske izmjene topline prema tlu $H_{g,avg}$ računa se pomoću izraza:

$$H_{g,avg} = \frac{\overline{\Phi}_m}{(\overline{\vartheta}_{int,m} - \overline{\vartheta}_{e,m})} \quad [\text{W/K}] \quad (1.21)$$

pri čemu je:

$\overline{\Phi}_m$ - srednji uprosječeni toplinski tok izmjene topline s tlom za sve mjesece u godini (W);

$\overline{\vartheta}_{int,m}$ - srednja unutarnja postavna temperatura za sve mjesece u godini (°C);

$\overline{\vartheta}_{e,m}$ - srednja vanjska temperatura za sve mjesece u godini (°C).

Za poznate srednje mjesečne temperature vanjskog zraka toplinski tok izmjene topline s tlom za proračunski mjesec može se pojednostavljeno računati prema sljedećem izrazu:

$$\Phi_m = H_g(\overline{\vartheta}_{int} - \overline{\vartheta}_e) - H_{pi}(\overline{\vartheta}_{int} - \vartheta_{int,m}) + H_{pe}(\overline{\vartheta}_e - \vartheta_{e,m-\beta}) \quad (1.22)$$

gdje su:

H_g - stacionarni koeficijent transmisijske izmjene topline prema tlu (W/K);

H_{pi} - unutarnji periodički koeficijent transmisijske izmjene topline (W/K);

H_{pe} - vanjski periodički koeficijent transmisijske izmjene topline (W/K);

$\overline{\vartheta}_{int}$ - srednja godišnja unutarnja temperatura (°C);

$\overline{\vartheta}_e$ - srednja godišnja vanjska temperatura (°C);

$\vartheta_{int,m}$ - unutarnja temperatura za proračunski mjesec m (°C), prema Tablici 1.1 (zimski mjeseci: siječanj, veljača, ožujak, travanj, listopad, studeni, prosinac; ljetni mjeseci: svibanj, lipanj, srpanj, kolovoz i rujanj);

$\vartheta_{e,m-\beta}$ - vanjska temperatura za proračunski mjesec $(m-\beta)$ (°C), kad je $m-\beta=0$ potrebno je uzeti temperaturu za prosinac, a kad je $m-\beta=-1$ potrebno je uzeti temperaturu za studeni;

m - broj mjeseca (od $m = 1$ za siječanj do $m = 12$ za prosinac);

β - fazni pomak u mjesecima (Tablica 1.3a).

Tablica 1.3a (HRN EN 13370 Tablica F.2) Fazni pomaci (u mjesecima)

Izvedba poda	β
Pod na tlu, bez rubne izolacije	1
Pod na tlu s unutarnjom vodoravnom rubnom izolacijom	1
Pod na tlu s vertikalnom ili vanjskom rubnom izolacijom	2
Pod uzdignut od tla	0
Grijani/negrijani podrum	1

Stacionarni koeficijent transmisijske izmjene topline prema tlu računa se prema izrazu:

$$H_g = A_g \cdot U + P \cdot \psi_g \quad [\text{W/K}] \quad \text{HRN EN 13370 (1)} \quad (1.23)$$

gdje je:

A_g - površina poda (m^2);

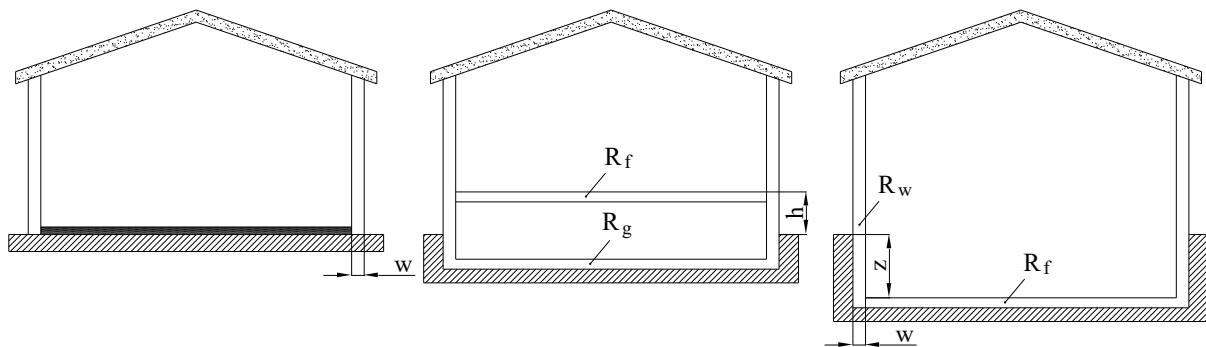
U - koeficijent prolaska topline između unutarnjeg i vanjskog prostora ($\text{W}/(\text{m}^2\text{K})$);

P - izloženi opseg poda (m);

ψ_g - duljinski koeficijent prolaska topline za spoj zida i poda ($\text{W}/(\text{m K})$), poglavlje 4.1.

Koeficijent prolaska topline U i koeficijenti H_{pi} i H_{pe} računaju se posebno za četiri različita slučaja (Slika 1.3):

- pod na tlu
- pod uzdignut od tla
- grijani podrum
- negrijani podrum



a) pod na tlu

b) pod uzdignut od tla

c) i d) grijani/negrijani podrum

Slika 1.3 Različite izvedbe poda

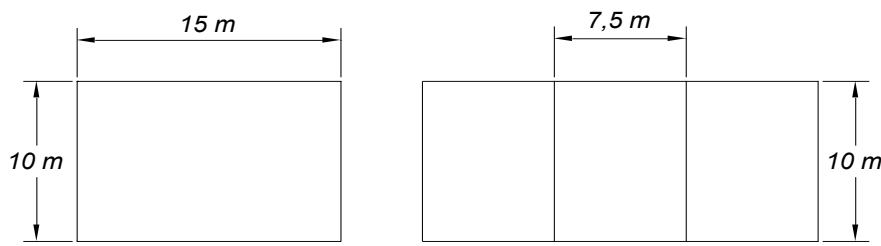
Karakteristična dimenzija poda B' potrebna za proračun U , računa se iz sljedećeg izraza:

$$B' = \frac{A_g}{0,5P} \quad [\text{m}] \quad \text{HRN EN 13370 (2)} \quad (1.24)$$

A_g – površina poda (m^2);

P – ukupna dužina vanjskih zidova koji odvajaju grijani prostor od vanjskog okoliša (izloženi opseg poda) (m).

Izloženi opseg poda P predstavlja ukupnu duljinu vanjskih zidova koji odvajaju unutarnji prostor od vanjskog okoliša.



a) $A_g=150 \text{ m}^2, P=50 \text{ m}, B'=6 \text{ m}, A_g=75 \text{ m}^2, P=15 \text{ m}, B'=10 \text{ m}$ Pod na tlu

Način proračuna koeficijenta prolaska topline U za pod na tlu u ovisnosti o d_t

- za $d_t < B'$ - neizolirani ili slabo izolirani podovi:

$$U = \frac{2 \cdot \lambda}{\pi B' + d_t} \cdot \ln \left(\frac{\pi B'}{d_t} + 1 \right) \quad [\text{W/m}^2\text{K}] \quad \text{HRN EN 13370 (4)} \quad (1.25)$$

- za $d_t \geq B'$ - dobro izolirani podovi: $U = \frac{\lambda}{0,457 \cdot B' + d_t}$ HRN EN 13370 (5) (1.26)

gdje je: $d_t = w + \lambda(R_{si} + R_f + R_{se})$ [m] HRN EN 13370 (3) (1.27)

d_t – ekvivalentna debljina poda (m);

B' - karakteristična dimenzija poda (m);

λ - koeficijent toplinske provodljivosti tla, uzima se $\lambda = 2 \text{ W/(m K)}$;

w - ukupna debljina zida (m);

R_{si} - plošni unutarnji toplinski otpor $R_{si} = 0,17 \text{ (m}^2\text{K)/W}$, Tablica 3.2;

R_f - toplinski otpor podne konstrukcije ($\text{m}^2\text{K/W}$), vidi poglavlje 3.4;

R_{se} - plošni vanjski toplinski otpor ($\text{m}^2\text{K/W}$), $R_{se} = 0$, Tablica 3.2.

Unutarnji periodički koeficijent transmisije izmjene topline H_{pi} (W/K) za pod na tlu računa se prema sljedećem izrazu:

$$H_{pi} = A_g \frac{\lambda}{d_t} \sqrt{\frac{2}{(1 + \delta/d_t)^2 + 1}} \quad [\text{W/K}] \quad \text{HRN EN 13370 (F.4)} \quad (1.28)$$

Vanjski periodički koeficijent transmisije izmjene topline H_{pe} (W/K) za pod na tlu računa se prema sljedećem izrazu:

$$H_{pe} = 0,37 \cdot P \cdot \lambda \cdot \ln \left(\frac{\delta}{d_t} + 1 \right) \quad [\text{W/K}] \quad \text{HRN EN 13370 (F.5)} \quad (1.29)$$

gdje je:

A_g - površina poda (m^2);

δ - periodička dubina prodiranja uzima se u ovisnosti o tipu tla prema podacima danim u sljedećoj tablici (m):

Tablica 1.4b Periodička dubina prodiranja ovisno o vrsti tla

Kategorija	Vrsta tla	δ (m)
1	glinasto ili muljevito tlo	2,2
2	pijesak ili šljunak	3,2
3	homogena stijena	4,2

b) Uzdignuti pod

Koeficijent prolaska topline za uzdignuti pod računa se na sljedeći način:

$$\frac{1}{U} = \frac{1}{U_f} + \frac{1}{U_g + U_x} \quad [\text{m}^2\text{K} / \text{W}] \quad \text{HRN EN 13370 (6)} \quad (1.30)$$

gdje su:

U_f – koeficijent prolaska topline uzdignutog poda ($\text{W}/(\text{m}^2 \text{K})$), vidi poglavlje 3.4;

U_g – koeficijent prolaska topline građevne konstrukcije na tlu ($\text{W}/(\text{m}^2 \text{K})$) $U_g = 1/R_g$;

U_x – ekvivalentni koeficijent prolaska topline uzdignutog poda ($\text{W}/\text{m}^2\text{K}$);

R_f – toplinski otpor uzdignute podne konstrukcije ($(\text{m}^2 \text{K})/\text{W}$), vidi poglavlje 3.4;

R_g – efektivni toplinski otpor građevne konstrukcije na tlu ($(\text{m}^2 \text{K})/\text{W}$).

Koeficijent prolaska topline građevne konstrukcije na tlu U_g računa se prema sljedećem izrazu:

$$U_g = \frac{2 \cdot \lambda}{\pi B' + d_g} \cdot \ln \left(\frac{\pi B'}{d_g} + 1 \right) \quad [\text{W}/\text{m}^2\text{K}] \quad \text{HRN EN 13370 (8)} \quad (1.31)$$

gdje je: $d_g = w + \lambda(R_{si} + R_f + R_{se}) \quad [\text{m}] \quad \text{HRN EN 13370 (7)} \quad (1.32)$

d_g - ekvivalentna debljina konstrukcije na tlu (m)

Ekvivalentni koeficijent prolaska topline U_x računa se iz sljedećeg izraza:

$$U_x = 2 \frac{h \cdot U_w}{B'} + 1450 \frac{\varepsilon v f_w}{B'} \quad [\text{W}/\text{m}^2\text{K}] \quad \text{HRN EN 13370 (9)} \quad (1.33)$$

h – visina uzdignutog poda od razine tla (m);

U_w – koeficijent prolaska topline zida zgrade iznad razine tla ($\text{W}/(\text{m}^2 \text{K})$), vidi poglavlje 3.4;

ε - površina ventilacijskih otvora po opsegu uzdignutog prostora (m^2/m);

v – prosječna brzina vjetra na visini 10 m (m/s);

f_w – faktor zaklonjenosti zgrade od vjetra (Tablica 1.5).

Tablica 1.5 (HRN EN ISO 13370 Tablica 2) Faktor zaklonjenosti zgrade od nastrojavanja vjetra, f_w

Lokacija zgrade	Primjer	f_w [-]
Zaklonjena	Centar grada	0,02
Umjereno zaklonjna	Predgrađe	0,05
Otvorena	Ruralno područje	0,10

Napomena: Faktor f_w vezan je za jednadžbu (1.27) razlikuje se od faktora e_{wind} i f_{wind} iz Algoritma za ventilaciju/klimatizaciju korištenog za proračun infiltracije.

Unutarnji periodički koeficijent transmisije izmjene topline H_{pi} (W/K) za uzdignuti pod računa se prema sljedećem izrazu:

$$H_{pi} = A_g \left[\frac{1}{U_f} + \frac{1}{\lambda/\delta + U_x} \right]^{-1} \quad [\text{W/K}] \quad \text{HRN EN 13370 (F.8)} \quad (1.34)$$

Vanjski periodički koeficijent transmisije izmjene topline H_{pe} (W/K) za uzdignuti pod računa se prema sljedećem izrazu:

$$H_{pe} = U_f \frac{0,37 \cdot P \cdot \lambda \cdot \ln(\delta/d_g + 1) + U_x \cdot A_g}{\lambda/\delta + U_x + U_f} \quad [\text{W/K}] \quad \text{HRN EN 13370 (F.9)} \quad (1.35)$$

c) Grijani podrum

Način proračuna koeficijenta prolaska topline za pod u podrumu U_{bf} u ovisnosti o d_t

za $(d_t + 0,5z) < B'$ - neizolirani ili slabo izolirani podovi

$$U_{bf} = \frac{2 \cdot \lambda}{\pi B' + d_t + 0,5z} \cdot \ln \left(\frac{\pi B'}{d_t + 0,5z} + 1 \right) \quad [\text{W/m}^2\text{K}] \quad \text{HRN EN 13370 (11)} \quad (1.36)$$

za $(d_t + 0,5z) \geq B'$ - dobro izolirani podovi

$$U_{bf} = \frac{\lambda}{0,457 \cdot B' + d_t + 0,5z} \quad [\text{W/m}^2\text{K}] \quad \text{HRN EN 13370 (12)} \quad (1.37)$$

gdje je: $d_t = w + \lambda(R_{si} + R_f + R_{se})$ [m] HRN EN 13370 (10) (1.38)

Proračun koeficijenta prolaska topline za zid u podrumu, U_{bw} u ovisnosti o d_w

$$d_w = \lambda(R_{si} + R_w + R_{se}) \quad [\text{m}] \quad \text{HRN EN 13370 (13)} \quad (1.39)$$

$$U_{bw} = \frac{2\lambda}{\pi z} \left(1 + \frac{0,5d_t}{d_t + z} \right) \cdot \ln \left(\frac{z}{d_w} + 1 \right) \quad [\text{W/m}^2\text{K}] \quad \text{HRN EN 13370 (14)} \quad (1.40)$$

gdje su:

d_t – ekvivalentna debljina poda (m);

d_w – ekvivalentna debljina zida u podrumu (m);

U_{bf} - koeficijent prolaska topline za pod u podrumu (W/(m² K));

U_{bw} - koeficijent prolaska topline za zid u podrumu (W/(m² K));

R_f – toplinski otpor podne konstrukcije ((m² K)/W), vidi poglavlje 3.4;

R_w – toplinski otpor zida u podrumu ((m² K)/W), vidi poglavlje 3.4;

w - ukupna debljina zida zgrade na visini razine tla (m);

z – dubina podruma ispod razine tla (m).

Ako je $d_w \geq d_t$ vrijedi prethodno navedena jednadžba. U slučaju da je $d_w < d_t$ tada se d_t treba zamijeniti s d_w .

Stacionarni koeficijent transmisivne izmjene topline prema tlu, H_g za grijani podrum iznosi:

$$H_g = (A_g \cdot U_{bf}) + (zPU_{bw}) + (P \cdot \psi_g) \quad [\text{W/K}] \quad \text{HRN EN 13370 (16)} \quad (1.41)$$

Unutarnji periodički koeficijent transmisivne izmjene topline H_{pi} (W/K) za grijani podrum računa se prema sljedećem izrazu:

$$H_{pi} = A_g \frac{\lambda}{d_t} \sqrt{\frac{2}{(1+\delta/d_t)^2 + 1}} + zP \frac{\lambda}{d_w} \sqrt{\frac{2}{(1+\delta/d_w)^2 + 1}} \quad [\text{W/K}] \quad \text{HRN EN 13370 (F.10)} \quad (1.42)$$

Vanjski periodički koeficijent transmisivne izmjene topline H_{pe} (W/K) za grijani podrum računa se prema sljedećem izrazu:

$$H_{pe} = 0,37 \cdot P \cdot \lambda \left[e^{-z/\delta} \ln \left(\frac{\delta}{d_t} + 1 \right) + 2(1 - e^{-z/\delta}) \ln \left(\frac{\delta}{\delta_w} + 1 \right) \right] \quad [\text{W/K}] \quad \text{HRN EN 13370 (F.11)} \quad (1.43)$$

d) Negrijani podrum

Koeficijenta prolaska topline za negrijani podrum U dan je jednadžbom:

$$\frac{1}{U} = \frac{1}{U_f} + \frac{A_g}{(A_g \cdot U_{bf}) + (zPU_{bw}) + (hPU_w) + (0,33nV)} \quad \text{HRN EN 13370 (17)} \quad (1.44)$$

gdje su:

U_f - koeficijenta prolaska topline poda između grijanog prostora i negrijanog podruma (W/(m² K)), vidi poglavlje 3.4;

U_w - koeficijent prolaska topline zida zgrade iznad razine tla (W/(m² K)), vidi poglavlje 3.4;

n - broj izmjena zraka u podrumu, u nedostatku podataka koristi se $n = 0,3 \text{ h}^{-1}$;

V - volumen zraka u podrumu (m³);

A_g - površina poda (m²).

Unutarnji periodički koeficijent transmisivne izmjene topline H_{pi} (W/K) za negrijani podrum računa se prema sljedećem izrazu:

$$H_{pi} = \left[\frac{1}{A_g U_f} + \frac{1}{(A_g + zP)\lambda/\delta + hPU_w + 0,33nV} \right]^{-1} \quad [\text{W/K}] \quad \text{HRN EN 13370 (F.12)} \quad (1.45)$$

Vanjski periodički koeficijent transmisivne izmjene topline H_{pe} (W/K) za negrijani podrum računa se prema sljedećem izrazu:

$$H_{pe} = A_g U_f \frac{0,37 \cdot P \cdot \lambda (2 - e^{-z/\delta}) \ln(\delta/d_t + 1) + hPU_w + 0,33nV}{(A_g + zP)\lambda/\delta + hPU_w + 0,33nV + A U_f} \quad [\text{W/K}] \quad \text{HRN EN 13370 (F.13)} \quad (1.46)$$

Koeficijent transmisivne izmjene topline između susjednih prostorija grijanih na različitu temperaturu H_A , računa se prema:

$$H_A = b_A \left(\sum_k A_k U_k + \sum_l \psi_l l_l + \sum_j \chi_j \right) \quad [\text{W/K}] \quad \text{HRN EN 13789 (8)} \quad (1.47)$$

Faktor smanjenja temperaturne razlike b_A računa se prema:

$$b_A = \frac{\vartheta_{int,i} - \vartheta_{adj}}{\vartheta_{int,i} - \vartheta_e} \quad [-] \quad \text{HRN EN 13789 (9)} \quad (1.48)$$

gdje su:

ϑ_{int} – unutarnja postavna temperatura grijane zone (°C);

ϑ_{adj} – temperatura susjedne prostorije (°C);

ϑ_e – srednja vanjska temperatura za proračunski period (°C).

1.3.2 Potrebna toplinska energija za ventilaciju

Potrebna toplinska energija za ventilaciju Q_{Ve} računa se prema Algoritmu za ventilaciju/klimatizaciju. U nastavku su dani osnovni izrazi i tablice radi lakšeg povezivanja dvaju algoritama.

Potrebna toplinska energija za ventilaciju/klimatizaciju zgrade može se iskazati kao:

Period grijanja

$$Q_{Ve} = Q_{Ve,inf} + Q_{Ve,win} + Q_{H,Ve,mech} \quad [\text{kWh}] \quad (1.49)$$

Period hlađenja

$$Q_{Ve} = Q_{Ve,inf} + Q_{Ve,win} + Q_{C,Ve,mech} \quad [\text{kWh}] \quad (1.50)$$

odnosno kao:

Period grijanja

$$Q_{Ve} = \frac{H_{H,Ve} (\vartheta_{int,i} - \vartheta_e)}{1000} t \quad [\text{kWh}] \quad \text{HRN EN 13790 (20)} \quad (1.51)$$

Period hlađenja

$$Q_{Ve} = \frac{H_{C,Ve} (\vartheta_{int,i} - \vartheta_e)}{1000} t \quad [\text{kWh}] \quad \text{HRN EN 13790 (20)} \quad (1.52)$$

pri čemu je koeficijent ventilacijske izmjene topline:

Period grijanja

$$H_{Ve} = H_{Ve,inf} + H_{Ve,win} + H_{H,Ve,mech} \quad [\text{W/K}] \quad (1.53)$$

Period hlađenja

$$H_{Ve} = H_{Ve,inf} + H_{Ve,win} + H_{C,Ve,mech} \quad [\text{W/K}] \quad (1.54)$$

- $Q_{Ve,inf}$ – potrebna toplinska energija uslijed infiltracije vanjskog zraka (kWh);
 $Q_{Ve,win}$ – potrebna toplinska energija uslijed pozračivanja otvaranjem prozora (kWh);
 $Q_{H,Ve,mech}$ – potrebna toplinska energija u GViK sustavu kod zagrijavanja zraka (kWh).
 $Q_{C,Ve,mech}$ – potrebna toplinska energija u GViK sustavu kod hlađenja zraka (kWh).
 $H_{Ve,win}$ - koeficijent ventilacijske izmjene topline uslijed otvaranja prozora (W/K);
 $H_{H,Ve,mech}$ - koeficijent ventilacijske izmjene topline uslijed mehaničke ventilacije/klimatizacije kod zagrijavanja zraka (W/K);
 $H_{C,Ve,mech}$ - koeficijent ventilacijske izmjene topline uslijed mehaničke ventilacije/klimatizacije kod hlađenja zraka (W/K);
 t - proračunsko vrijeme (h).

Potrebna toplinska energija uslijed infiltracije

$$Q_{Ve,inf} = \frac{H_{Ve,inf} (\vartheta_{int} - \vartheta_e)}{1000} t \quad [\text{kWh}] \quad \text{DIN V 18599-2 (56)} \quad (1.55)$$

Koeficijent izmjene topline uslijed infiltracije

$$H_{Ve,inf} = n_{inf} V \rho_a c_{p,a} \quad [\text{W/K}] \quad \text{DIN V 18599-2 (58)} \quad (1.56)$$

gdje su:

 n_{inf} - broj izmjena zraka uslijed infiltracije (h^{-1}); V - volumen zraka u zoni (m^3); ρ_a - gustoća zraka, $\rho_a = 1,2 \text{ kg/m}^3$; $c_{p,a}$ - specifični toplinski kapacitet zraka, $c_p = 1005 \text{ J/(kg K)}$.**Broj izmjena zraka uslijed infiltracije ako nema mehaničke ventilacije ili je mehanička ventilacija balansirana**

$$n_{inf} = e_{wind} n_{50} \quad [\text{h}^{-1}] \quad \text{DIN V 18599-2 (59)} \quad (1.57)$$

 n_{50} - broj izmjena zraka pri narinutoj razlici tlaka od 50 Pa (h^{-1}), mjerena vrijednost ili **Tablica 1.6** e_{wind}, f_{wind} - faktori zaštićenosti zgrade od vjetra (-), **Tablica 1.7****Tablica 1.6 (DIN V 18599-2) Proračunske vrijednosti n_{50} za netestirane zgrade**

Kategorije za općenito određivanje zrakopropusnosti zgrade	Proračunske vrijednosti za n_{50} [h^{-1}]
I	a) 2 ; b) 1
II	4
III	6
IV	10

Kategorija I:

Zgrade kojih se testiranje zrakopropusnosti izvodi nakon završetka zgrade

- a) zgrade bez HVAC sustava (zahtjev zrakopropusnosti: $n_{50} \leq 3 \text{ h}^{-1}$)
- b) zgrade sa HVAC sustava (zahtjev zrakopropusnosti: $n_{50} \leq 1.5 \text{ h}^{-1}$)

Kategorija II:

Zgrade, ili dijelovi zgrada koje će tek biti završene, za koje se ne planiraju raditi testiranja zrakopropusnosti

Kategorija III :Zgrade koje ne spadaju u kategorije **I, II** ni **IV****Kategorija IV :**

Zgrade s očitim otvorima kroz koje slobodno ulazi zrak, kao što su pukotine u ovojnici zgrade.

Tablica 1.7 (HRN EN ISO 13789 Tablica C.4) Koeficijenti e_{wind} i f_{wind}

Koeficijent e_{wind} za klasu zaklonjenosti:	Izloženo više od jedne fasade	Izložena jedna fasada
Nezaklonjene: zgrade na otvorenom, visoke zgrade u gradskim centrima	0.1	0.03
Srednje zaklonjene: zgrade okružene drvećem ili drugim zgradama, predgrađa	0.07	0.02
Jako zaklonjene: zgrade prosječnih visina u gradskim centrima, zgrade u šumama	0.04	0.01
Koeficijent f_{wind}	15	20

Potrebna toplinska energija uslijed prozračivanja

$$Q_{Ve,win} = \frac{H_{Ve,win}(g_{int} - g_e)}{1000} t \quad [\text{kWh}] \quad \text{DIN V 18599-2 (64)} \quad (1.58)$$

Koeficijent izmjene topline uslijed prozračivanja

$$H_{Ve,win} = n_{win} V \rho_a c_{p,a} \quad [\text{W/K}] \quad \text{DIN V 18599-2 (66)} \quad (1.59)$$

n_{win} - broj izmjena zraka uslijed otvaranja prozora (h^{-1}).
(Proračun dan u Algoritmu za ventilaciju i klimatizaciju)

Potrebna toplinska energija uslijed mehaničke ventilacije/klimatizacije

$$Q_{Ve,mech} = \frac{H_{Ve,mech}(g_{int} - g_e)}{1000} t \quad [\text{kWh}] \quad \text{DIN V 18599-2 (64)} \quad (1.60)$$

U slučaju kad nema mehaničke ventilacije mora za stambene i nestambene zgrade vrijediti (prema tehničkom propisu koji se odnosi na o racionalnu uporabu energije i toplinsku zaštitu u zgradama)

$$n_{inf} + n_{win} = \max \{ n_{inf} + n_{win}; 0.5 \} \quad [\text{h}^{-1}]$$

Napomena: gornji uvjet potrebno zadovoljiti samo u periodu korištenja zgrade

1.3.3 Ukupni toplinski dobitci za proračunski period

$$Q_{H,gn} = Q_{int} + Q_{sol} \quad [\text{kWh}] \quad \text{HRN EN 13790 (8)} \quad (1.61)$$

1.3.3.1 Unutarnji toplinski dobitci

Unutarnji toplinski dobitci Q_{int} od ljudi i uređaja računaju se s vrijednošću 5 W/m^2 ploštine korisne površine za stambene prostore, a 6 W/m^2 za nestambene prostore.

$$Q_{int} = \frac{q_{spec} A_K \cdot t}{1000} \quad [\text{kWh}] \quad (1.62)$$

gdje su:

q_{spec} – specifični unutarnji dobitak po m^2 korisne površine, 5 W/m^2 ili 6 W/m^2 ;

A_K – korisna površina (m^2);

t - proračunsko vrijeme (h) (Tablica 1.8).

Tablica 1.8 Broj dana i sati u mjesecu

Mjesec	Broj dana	Vrijeme, h
I	31	744
II	28	672
III	31	744
IV	30	720
V	31	744
VI	30	720
VII	31	744
VIII	31	744
IX	30	720
X	31	744
XI	30	720
XII	31	744
Godina	365	8760

1.3.3.2 Toplinski dobitci od Sunčeva zračenja Q_{sol}

Solarni toplinski dobitci za promatrani vremenski period t (h):

$$Q_{sol} = \sum_k Q_{sol,k} + \sum_l (1 - b_{tr,l}) Q_{sol,u,l} \quad [\text{kWh}] \quad \text{HRN EN 13790 (40)} \quad (1.63)$$

gdje su:

$Q_{sol,k}$ – srednja dozračena energija sunčevog zračenja kroz k -ti građevni dio u grijani prostor (kWh);

$Q_{sol,u,l}$ – srednja dozračena energija sunčevog zračenja kroz l -ti građevni dio u susjedni negrijani prostor (kWh);

$b_{tr,l}$ – faktor smanjenja za susjedni negrijani prostor s unutarnjim toplinskim izvorom l prema HRN EN ISO 13789 (-).

Kod prozirnih površina uzima se u račun mjera zasjenjena od unutarnjeg pomičnog zasjenjenja (F_C).

Srednja dozračena energija sunčevog zračenja kroz građevni dio zgrade k :

$$Q_{sol,k} = \frac{F_{sh,ob} S_{S,k} A_{sol,k}}{3,6} - \frac{F_{r,k} \Phi_{r,k}}{1000} t \quad [\text{kWh}] \quad \text{HRN EN 13790 (43)} \quad (1.64)$$

gdje su:

- $F_{sh,ob}$ – faktor zasjenjena od vanjskih prepreka direktnom upadu sunčevog zračenja;
- $S_{S,k}$ – srednja dozračena energija sunčevog zračenja na površinu građevnog dijela k za promatrani period (MJ/m²), za mjesečni proračun podaci dani u Tablici 1.19 ;
- $A_{sol,k}$ – efektivna površina građevnog elementa (otvora, zida) k na koju upada sunčevo zračenje (m²);
- $F_{r,k}$ – faktor oblika između otvora k i neba (za nezasjenjeni vodoravni krov $F_{r,k} = 1$, za nezasjenjeni okomiti zid $F_{r,k} = 0,5$);
- $\Phi_{r,k}$ – toplinski tok zračenjem od površine otvora k prema nebu (W);
- t - proračunsko vrijeme (h) (**Tablica 1.8**).

$A_{sol,k}$ – efektivna površina otvora k (prozirnog elementa) na koju upada sunčevo zračenje (m²)

Efektivna površina otvora k (prozirnog elementa) se u mjesečnoj metodi računa prema:

$$A_{sol,k} = F_{sh,gl} g_{gl} (1 - F_F) A_{pr} \quad [\text{m}^2] \quad \text{HRN EN 13790 (44)} \quad (1.65)$$

$$g_{gl} = F_W \cdot g_{\perp} \quad [-] \quad \text{HRN EN 13790 (47)} \quad (1.66a)$$

Kod satne metode se efektivna površina otvora k (prozirnog elementa) računa prema (ako je intezitet Sunčeva zračenja manji od 300 W/m²):

$$A_{sol,k} = g_{gl} (1 - F_F) A_{pr} \quad [\text{m}^2] \quad (1.67)$$

ukoliko je intezitet Sunčeva zračenja manji od 300 W/m² tada se računa prema:

$$A_{sol,k} = g_{gl+sh} (1 - F_F) A_{pr} \quad [\text{m}^2] \quad (1.68)$$

gdje su:

- $F_{sh,gl}$ – faktor smanjenja zbog sjene od pomičnog zasjenjenja;
- g_{gl} – ukupna propusnost Sunčeva zračenja kroz prozirne elemente kada pomično zasjenjenje nije uključeno;
- g_{\perp} – stupanj propuštanja ukupnog zračenja okomito na ostakljenje kada pomično zasjenjenje nije uključeno, **Tablica 1.10**;
- $F_W = 0,9$ – faktor smanjenja zbog ne okomitog upada sunčevog zračenja;
- F_F – udio ploštine prozorskog okvira u ukupnoj površini prozora (0,2 - 0,3);
- A_{pr} – ukupna površina prozora (m²).

Faktor smanjenja zbog sjene od pomičnog zasjenjenja računa se prema sljedećem izrazu:

$$F_{sh,gl} = \frac{(1 - f_{with}) g_{gl} + f_{with} g_{gl+sh}}{g_{gl}} \quad [-] \quad \text{HRN EN 13790 (49)} \quad (1.69)$$

gdje su:

g_{gl+sh} – ukupna propusnost Sunčeva zračenja kroz prozirne elemente s uključenom pomičnom zaštitom:

$$g_{gl+sh} = F_W \cdot g_{\perp} \cdot F_C \quad [-]$$

F_C - faktor smanjenja zbog sjene od pomičnog zasjenjenja, **Tablica 1.9**;

f_{with} – udio vremena s uključenom pomičnom zaštitom (kod proračuna $Q_{H,nd}$ uzima se da je zaštita uključena ako je intezitet Sunčeva zračenja veći od 300 W/m²), **Tablica 1.11**,

Tablica 1.12.

Tablica 1.9 (Prema tehničkom propisu koji se odnosi na racionalnu uporabu energije i toplinsku zaštitu u zgradama) Faktor umanjenja naprave za zaštitu od sunčeva zračenja F_c [-]

R.br.	Naprava za zaštitu od sunčeva zračenja	F_c [-]
1.	Bez naprave za zaštitu od sunčeva zračenja	1
2.	Naprava s unutrašnje strane ili između stakala	
2.1	- bijele ili reflektirajuće površine i malene transparentnosti	0,75
2.2	- svjetle boje ili malene transparentnosti	0,80
2.3	- tamne boje ili povišene transparentnosti	0,90
3.	Naprave s vanjske strane	
3.1	- žaluzine, lamele koje se mogu okretati, otraga provjetravano	0,25
3.2	- žaluzine, rolete, kapci (škure, grilje)	0,30
4.	Strehe, lođe	0,50
5.	Markize, gore i bočno provjetranje	0,40

Tablica 1.10 (Prema tehničkom propisu koji se odnosi na racionalnu uporabu energije i toplinsku zaštitu u zgradama) Računske vrijednosti stupnja propuštanja ukupne energije kroz ostakljenje, g (-), za slučaj okomitog upada sunčeva zračenja

R.br.	Tip ostakljenja	g [-]
1.	Jednostruko staklo (bezbojno, ravno float staklo)	0,87
2.	Dvostruko izolirajuće staklo (s jednim međuslojem stakla)	0,80
3.	Trostruko izolirajuće staklo (s dva međusloja stakla)	0,70
4.	Dvostruko izolirajuće staklo s jednim staklom niske emisije (Low-E obloga)	0,60
5.	Trostruko izolirajuće staklo s dva stakla niske emisije (dvije Low-E obloge)	0,50
6.	Dvostruko izolirajuće staklo sa staklom za zaštitu od sunčeva zračenja	0,50
7.	Staklena opeka	0,60

Tablica 1.11 Koeficijent udjela vremena s uključenom pomičnom zaštitom f_{with} za grad Split (proračun napravljen prema podacima o sunčevom zračenju danim u METENORM-u)

Mjesec	Strana svijeta							
	Sjever	Istok	Jug	Zapad	SI	SZ	JI	JZ
siječanj	0,00	0,42	0,86	0,45	0,00	0,00	0,80	0,81
veljača	0,00	0,53	0,85	0,48	0,00	0,00	0,82	0,77
ožujak	0,00	0,59	0,82	0,61	0,03	0,09	0,79	0,77
travanj	0,00	0,62	0,76	0,60	0,26	0,28	0,75	0,73
svibanj	0,00	0,68	0,69	0,63	0,42	0,45	0,71	0,70
lipanj	0,00	0,65	0,63	0,67	0,46	0,53	0,64	0,67
srpanj	0,00	0,71	0,70	0,70	0,56	0,55	0,74	0,75
kolovoz	0,00	0,67	0,74	0,68	0,37	0,41	0,77	0,77
rujan	0,00	0,69	0,86	0,67	0,16	0,17	0,81	0,82
listopad	0,00	0,66	0,88	0,59	0,00	0,01	0,84	0,84
studeni	0,00	0,41	0,83	0,49	0,00	0,00	0,76	0,83
prosina	0,00	0,47	0,88	0,45	0,00	0,00	0,85	0,84

Tablica 1.12 Koeficijent udjela vremena s uključenom pomičnom zaštitom f_{with} za grad Zagreb (proračun napravljen prema podacima o sunčevom zračenju danim u METENORM-u)

Mjesec	Strana svijeta							
	Sjever	Istok	Jug	Zapad	SI	SZ	JI	JZ
siječanj	0,00	0,29	0,75	0,33	0,00	0,00	0,67	0,69
veljača	0,00	0,38	0,72	0,37	0,00	0,00	0,69	0,66
ožujak	0,00	0,44	0,66	0,41	0,06	0,06	0,63	0,60
travanj	0,00	0,53	0,65	0,51	0,17	0,19	0,65	0,62
svibanj	0,00	0,51	0,55	0,51	0,28	0,28	0,60	0,57
lipanj	0,00	0,56	0,50	0,51	0,32	0,34	0,55	0,53
srpanj	0,00	0,55	0,62	0,57	0,29	0,33	0,62	0,64
kolovoz	0,00	0,58	0,72	0,62	0,28	0,25	0,70	0,71
rujan	0,00	0,57	0,76	0,54	0,10	0,11	0,72	0,73
listopad	0,00	0,48	0,71	0,40	0,00	0,00	0,68	0,65
studeni	0,00	0,20	0,71	0,20	0,00	0,00	0,61	0,67
prosinac	0,00	0,14	0,62	0,26	0,00	0,00	0,49	0,55

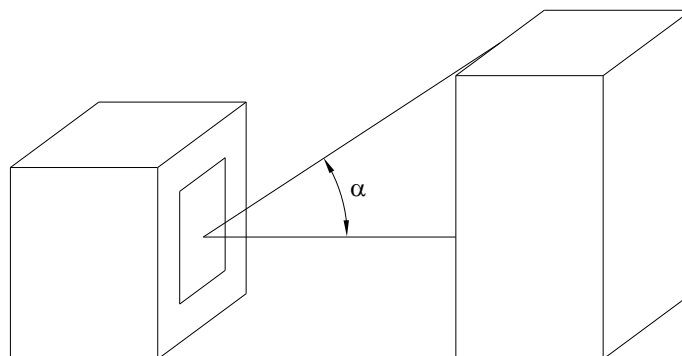
Faktor zasjenjena $F_{sh,ob}$ od vanjskih prepreka direktnom upadu sunčevog zračenja (susjedne zgrade, konfiguracija terena, vanjski dijelovi otvora prozora) – opisani proračun vrijedi za mjesečnu metodu

$$F_{sh,ob} = F_{hor} \cdot F_{ov} F_{fin} [-] \quad \text{HRN EN 13790 (G2)} \quad (1.70)$$

F_{hor} – parcijalni faktor zasjenjenja zbog konfiguracije terena u ovisnosti o orijentaciji plohe, kuta horizonta i zemljopisnoj širini (Tablica 1.12, Slika 1.4);

F_{ov} – parcijalni faktor zasjenjenja zbog gornjih elemenata prozorskog otvora u ovisnosti o orijentaciji plohe, kutu gornjeg zasjenjenja α , zemljopisnoj širini (Tablica 1.13, Slika 1.5);

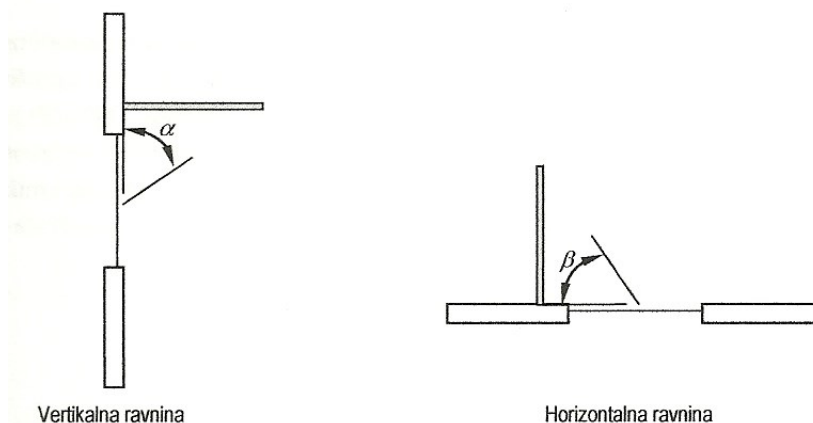
F_{fin} – parcijalni faktor zasjenjenja zbog bočnih elemenata prozorskog otvora u ovisnosti o orijentaciji plohe, kutu bočnog prozorskog zasjenjenja β , zemljopisnoj širini (Tablica 1.14, Slika 1.5).



Slika 1.4 Kut zaklonjenosti zgrade

Tablica 1.13 (HRN EN Tablica G5) Parcijalni faktor zasjenjenja zbog konfiguracije terena F_{hor}

Kut horizonta	45° S zem. širine		
	J	I / Z	S
0°	1,00	1,00	1,00
10°	0,97	0,95	1,00
20°	0,85	0,82	0,98
30°	0,62	0,70	0,94
40°	0,46	0,61	0,90



Slika 1.5 Prozorsko zasjenjenje: a) vertikalna ravnina, b) horizontalna ravnina

Tablica 1.14 (HRN EN Tablica G6) Parcijalni faktor zasjenjenja zbog gornjih elemenata prozorskog otvora F_{ov}

Kut gornjeg prozorskog sjenila α	45° S zem. širine		
	J	I / Z	S
0°	1,00	1,00	1,00
30°	0,90	0,89	0,91
45°	0,74	0,76	0,80
60°	0,50	0,58	0,66

Tablica 1.15 (HRN EN Tablica G7) Parcijalni faktor zasjenjenja zbog bočnih elemenata prozorskog otvora F_{fn}

Kut bočnog prozorskog sjenila β	45° S zem. širine		
	J	I / Z	S
0°	1,00	1,00	1,00
30°	0,94	0,92	1,00
45°	0,84	0,84	1,00
60°	0,72	0,75	1,00

$A_{sol,c}$ – efektivna površina neprozirnog građevnog elementa (zida) na koju upada sunčevo zračenje (m^2)

$$A_{sol,c} = \alpha_{S,c} R_{se} U_c A_c \quad [m^2] \quad \text{HRN EN 13790 (45)} \quad (1.71)$$

$\alpha_{S,c}$ – bezdimenzijski apsorpcijski koeficijent zida/krova (-), **Tablica 1.16**;

R_{se} – plošni toplinski otpor vanjske površine zida/krova, $R_{se} = 0,04$ (m^2K)/W, Tablica 3.2;

U_c - koeficijent prolaska topline zida/krova prema ($W/(m^2K)$), vidi poglavlje 3.4;

A_c – projicirana površina zida (m^2).

Tablica 1.16 (DIN V 18599-2 Tablica 6) Bezdimenzijski apsorpcijski koeficijent različitih površina

Površina	$\alpha_{S,c}$ [-]
Zidovi	
- svjetle boje	0,4
- zamućene boje	0,6
- tamne boje	0,8
Krovovi	
- crijep	0,6
- tamne površine	0,8
- metal visokog sjaja	0,2
- šindra	0,6

Toplinski tok zračenja k -tog građevnog elementa prema nebu (W);

$$\Phi_{r,k} = R_{se} U_c A_c h_r \Delta\vartheta_{er} \quad [W] \quad \text{HRN EN 13790 (46)} \quad (1.72)$$

h_r – vanjski koeficijent prijelaza topline zračenjem ($W/(m^2K)$);

$h_r \approx 5\varepsilon$ ($W/(m^2K)$), koeficijent emisivnosti zida $\varepsilon \approx 0,9$, prema HRN EN 13790 pog. 11.4.6;

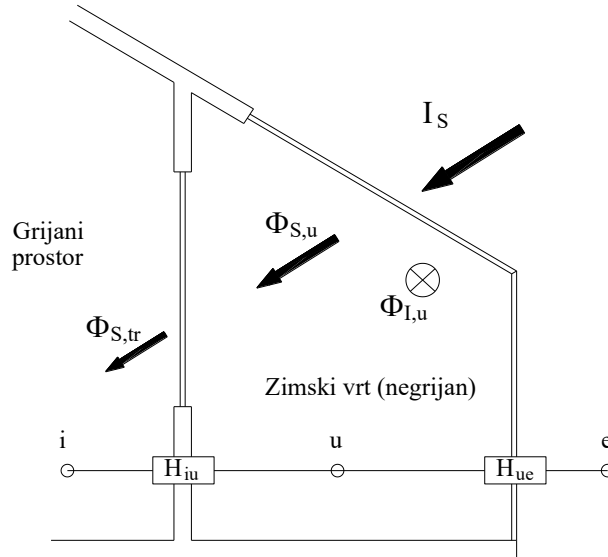
$\Delta\vartheta_{er}$ – prosječna temperaturna razlika vanjske temperature zraka i temperature neba (K),

$\Delta\vartheta_{er} \approx 10^\circ C$, prema HRN EN pog. 11.4.6.

Staklenici

Solarni dobici grijanog prostora kroz staklenik (Slika 1.6) računaju se iz sljedećeg izraza, DIN V 18599-2 (pojednostavljena metoda prema HRN EN ISO 13790):

$$Q_{S,tr} = F_{sh,ob} (1 - F_{F,iu}) g_{eff,iu} A_{iu} (1 - F_{F,ue}) g_{eff,ue} \frac{S_{S,k}}{3,6} \quad [\text{kWh}] \quad \text{DIN V 18599-2 (114)} \quad (1.73)$$



Slika 1.6 Solarni dobici kroz negrijani zimski vrt

gdje su:

$Q_{S,tr}$ - solarni dobici grijanog prostora kroz staklenik (kWh);

$F_{sh,ob}$ - faktor zasjenjena od vanjskih prepreka direktnom upadu sunčevog zračenja (-);

$F_{F,iu}$ - udio ploštine prozorskog okvira građevnog elementa u ukupnoj površini unutarnjeg prozora (0,2 ÷ 0,3);

A_{iu} - ukupna površina unutarnjeg prozora od grijanog prema negrijanom prostoru (stakleniku) (m^2);

$g_{eff,iu}$ - ukupna efektivna propusnost Sunčeva zračenja kroz prozirne elemente unutarnjeg prozirnog elementa, $g_{eff,iu} = g_{gl,iu} = 0,9 * g_{\perp}$;

$F_{F,ue}$ - udio ploštine prozorskog okvira vanjskog prozirnog elementa (za zimski vrt postavna vrijednost 0,1);

$g_{eff,ue}$ - propusnost Sunčeva zračenja vanjske staklene površine, $g_{eff,ue} = 0,9 * g_{\perp} F_{sh,e}$;

$F_{sh,e}$ - faktor zasjenjena od vanjskih prepreka direktnom upadu sunčevog zračenja (-);

$S_{S,k}$ - srednja dozračena energija sunčevog zračenja na vanjsku površinu građevnog dijela k za proračunski period (MJ/m^2).

Toplinski tok uslijed sunčevog zračenja u negrijani staklenik računa se prema izrazu:

$$\Phi_u = \sum \Phi_{S,u} - \frac{\sum Q_{S,tr}}{t} + \sum \Phi_{I,u} \quad [\text{kW}] \quad \text{DIN V 18599-2 (115)} \quad (1.74)$$

$$\Phi_{S,u} = (1 - F_{F,ue}) g_{eff,ue} A_{ue} I_S \quad [\text{kW}] \quad \text{DIN V 18599-2 (116)} \quad (1.75)$$

gdje su:

$\Phi_{S,u}$ - ukupno dozračeni toplinski tok unutar staklenika (kW);

$Q_{S,tr}$ - ukupni solarni dobici grijanog prostora kroz negrijani staklenik (kWh);

$\Phi_{I,u}$ - toplinski tok uslijed unutarnjih toplinskih izvora staklenika (kW) (općenito zanemariv toplinski tok);

$I_{S,k}$ - srednji toplinski tok od sunčevog zračenja na vanjsku površinu građevnog dijela k (W/m^2).

1.3.4 Faktor iskorištenja toplinskih dobitaka za grijanje

Faktor iskorištenja toplinskih dobitaka $\eta_{H,gn}$ (unutarnjih dobitaka i dobitaka od sunčevog zračenja) funkcija je efektivnog toplinskog kapaciteta zgrade i računa se na sljedeći način:

$$\eta_{H,gn} = \frac{1 - y_H^{a_H}}{1 - y_H^{a_H+1}} \quad \text{za } y_H > 0 \text{ i } y_H \neq 1 \quad [-] \quad \text{HRN EN 13790 (52)} \quad (1.76)$$

$$\eta_{H,gn} = \frac{a_H}{a_H + 1} \quad \text{za } y_H = 1 \quad [-] \quad \text{HRN EN 13790 (53)} \quad (1.77)$$

$$\eta_{H,gn} = \frac{1}{y_H} \quad \text{za } y_H < 0 \quad [-] \quad \text{HRN EN 13790 (54)} \quad (1.78)$$

pri čemu su:

a_H - bezdimenzijski parametar ovisan o vremenskoj konstanti zgrade τ (-);

y_H - omjer toplinskih dobitaka i ukupne izmjenjenje topline transmisijom i ventilacijom u režimu grijanja:

$$y_H = \frac{Q_{H,gn}}{Q_{H,ht}} \quad [-] \quad \text{HRN EN 13790 (55)} \quad (1.79)$$

Bezdimenzijski parametar računa se iz sljedećeg izraza:

$$a_H = a_o + \frac{\tau}{\tau_{H,o}} \quad [-] \quad \text{HRN EN 13790 (56)} \quad (1.80)$$

gdje je:

$\tau_{H,o}$ – referentna vremenska konstanta za grijanje; za mjesečni proračun iznosi 15 h.

	a_o	$\tau_{H,o}$ [h]
Mjesečni proračun	1	15
Sezonski proračun	0,8	30

Vremenska konstanta zgrade τ (h):

$$\tau = \frac{C_m / 3600}{H_{Tr} + H_{Ve}} \quad [\text{h}] \quad \text{HRN EN 13790 (62)} \quad (1.81)$$

C_m - efektivni toplinski kapacitet grijanog dijela zgrade (zone) (J/K);

H_{Tr} – koeficijent transmisijske izmjene topline proračunske zone (W/K);

H_{Ve} - koeficijent ventilacijske izmjene topline proračunske zone (W/K).

C_m se može odrediti na sljedeći način:

$C_m = 370 \text{ kJ}/(\text{m}^2\text{K}) \cdot A_f$ - za zgrade s masivnim unutarnjim i vanjskim zidovima (plošna masa veća od $550 \text{ kg}/\text{m}^2$),

za ostale zgrade prema Tablici 1.15

pri čemu je A_f (m^2) površina kondicionirane zone zgrade s vanjskim dimenzijama

Napomena: U izračun vremenske konstante zgrade ulazi se sa vrijednošću $H_{Ve,mech}'$ koja u obzir uzima samo broj izmjena zraka u prostoru (osjetna toplina) tj.

$$H_{Ve,mech}' = \frac{\rho_a \cdot c_{pa} \cdot \dot{V}_{mech,sup}}{3600}$$

Tablica 1.17 (HRN EN Tablica 12) Proračun efektivnog toplinskog kapaciteta grijanog dijela zgrade kao funkcija plošne mase građevnog dijela (vanjske ovojnice)

Klasa zgrade	C_m kJ/K	Plošna masa kg/m ²
Vrlo lagana	80 x A_f	$m' \leq 100$
Lagana	110 x A_f	$250 \geq m' \geq 100$
Srednje teška	165 x A_f	$400 \geq m' \geq 250$
Teška	260 x A_f	$550 \geq m' \geq 400$
Masivna gradnja	370 x A_f	$m' \geq 550$

„Vrlo lagana“

Vanjska ovojnica - lagane montažne i polumontažne konstrukcije od drveta ili metala s ispunom od toplinsko-izolacijskih materijala i tankim završnim oblogama, ili toplinskim panelima kao završnom oblogom. Unutarnji zidovi izvedeni kao suhomontažni, od porobetona, šuplje ili pune opeke debljine do 15,00 cm.

„Lagana“

Zgrada izvedena pretežno od laganih građevnih materijala – vanjska ovojnica od porobetona (plino ili pjenobetona), šuplje opeke od gline gustoće $\leq 900 \text{ kg/m}^3$, te laganih pregradnih zidova (suhomontažni, od porobetona, opeke debljine do 15,00 cm i sl.).

„Srednje teška“

Zgrada izvedena pretežno od šuplje opeke od gline gustoće $>900 \text{ kg/m}^3$ i s udjelom armirano-betonskih dijelova do 15% ukupne ploštine vanjskih zidova, zgrada s vanjskim zidovima od pune opeke od gline, te s laganim ili masivnim pregradnim zidovima.

„Teška“

Zgrada izvedena od šuplje ili pune opeke od gline gustoće $>900 \text{ kg/m}^3$ i debljine $> 20,00 \text{ cm}$ i s udjelom armirano-betonskih dijelova više od 15% ukupne ploštine vanjskih zidova, zgrada sa zidovima od šupljih blokova od betona, te masivnim unutarnjim pregradnim zidovima.

„Masivna gradnja“

Zgrada od vanjskih armirano-betonskih zidova debljine $\geq 20,00 \text{ cm}$, te masivnim unutarnjim pregradnim zidovima.

1.3.5 Izračun mjesečnih i godišnjih vrijednosti toplinske energije za grijanje

Sustavi s kontinuiranim radom (bez prekida tijekom noći i/ili vikenda)

$$Q_{H,nd,cont,m} = Q_{H,ht} - \eta_{H,gn} Q_{H,gn} \quad [\text{kWh/mj}] \quad (1.82)$$

$$Q_{H,nd,cont,a} = \sum_i Q_{H,nd,cont,m,i} \cdot L_{H,m,i} / d_{m,i} \quad [\text{kWh/a}] \quad (1.83)$$

gdje su:

$Q_{H,nd,cont,m}$ – toplinska energije za grijanje zgrade (zone) pri kontinuiranom radu u i -tom mjesecu (kWh/mj);

$Q_{H,nd,cont,a}$ - ukupna toplinska energije za grijanje zgrade (zone) pri kontinuiranom radu u periodu grijanja (kWh/a);

$d_{m,i}$ – ukupan broj dana u i -tom mjesecu (d/mj);

$L_{H,m,i}$ – broj dana rada sustava grijanja u i -tom mjesecu (d/mj).

Sustavi s nekontinuiranim radom (s prekidom tijekom noći i/ili vikenda)

$$Q_{H,nd,a} = \sum_i \alpha_{H,red,i} \cdot Q_{H,nd,cont,m,i} \cdot L_{H,m,i} / d_{m,i} \quad [\text{kWh/a}] \quad (1.84)$$

gdje su:

$Q_{H,nd,a}$ - ukupna toplinska energije za grijanje zgrade (zone) pri nekontinuiranom radu u periodu grijanja (kWh/a);

$\alpha_{H,red,i}$ - redukcijski faktor koji uzima u obzir prekide u grijanju u i -tom mjesecu (-).

Napomena: Jedn. 1.81 i 1.82 vrijede samo za mjesečnu metodu.

Proračun bezdimenzijskog redukcijskog faktora $\alpha_{H,red}$ koji uzima u obzir prekide u grijanju, npr. noću (računa se za svaki mjesec):

$$\alpha_{H,red} = 1 - 3 \cdot \left(\frac{\tau_{H,o}}{\tau} \right) \cdot y_H \cdot (1 - f_{H,hr}) \quad [-] \quad \text{HRN EN 13790 (68)} \quad (1.85)$$

gdje je

$f_{H,hr}$ – udio sati u tjednu tijekom kojih grijanje radi s normalnom postavnom vrijednošću unutarnje temperature (-), npr. ako grijanje u poslovnoj zgradi (uredi) radi pet dana u tjednu po 13 sati (**Tablica 1.17**) slijedi

$$f_{H,hr} = (d_{use,tj} \cdot t_d) / (7 \cdot 24) = (5 \cdot 13) / (7 \cdot 24) = 0,39$$

$$\alpha_{H,red,min} = f_{H,hr}$$

$$\alpha_{H,red,max} = 1$$

t_d - vrijeme rada sustava grijanja s normalnom postavnom vrijednošću za stambene zgrade i sustave s nekontinuiranim radom (h/d), $t_d = 17$ h/d, od 06:00 do 23:00 sati;

Faktor $f_{H,hr}$ za stambene zgrade iznosi 0,71.

$d_{use,tj}$ – tjedni broj dana korištenja sustava (d/tj);

$d_{use,a}$ – godišnji broj dana korištenja sustava (d/a), $d_{use,a} = 365$ d/a (DIN V 18599-10).

Za nestambene zgrade vrijeme rada sustava grijanja/hlađenja s normalnom postavnom vrijednošću prema tipu prostorije dano je u sljedećoj tablici:

Napomena: Ako se proračun $Q_{H,nd}$ provodi satnom metodom, $f_{H,hr}$ se računa kao

$$f_{H,hr} = (d_{use,tj}) / (7)$$

Tablica 1.18 (temeljem DIN V 18599-10 Tablica 4) Vrijeme rada sustava grijanja/hlađenja za nestambene zgrade

Namjena prostora	Period korištenja (h)*	Broj sati rada sustava grijanja/hlađenja**, t_d (h/dan)	Broj dana rada sustava grijanja / hlađenja u tjednu, $d_{use,tj}$ (dan/tj)
Uredske, administrativne i druge poslovne zgrade slične pretežite namjene	07:00 – 18:00	13	5
Školske, fakultetske zgrade, i druge odgojne i obrazovne ustanove	08:00 – 20:00	14	5
Vrtići	07:00 – 18:00	13	5
Knjižnice – prostorije za čitanje	08:00 – 20:00	14	6
Knjižnice – prostorije s policama	08:00 – 20:00	14	6
Bolnice i zgrade za rehabilitaciju	00:00 – 24:00	24	7
Hoteli, moteli i sl.	00:00 – 24:00	24	7
Muzeji	00:00 – 24:00	24	7
Ostale zgrade sa stalnim radom (kolodvori, i sl.)	00:00 – 24:00	24	7
Robne kuće, trgovački centri, trgovine	08:00 – 21:00	15	6
Sportske zgrade	08:00 – 23:00	17	6
Radionice i proizvodne hale	07:00 – 19:00	14	5
Kongresni centri	09:00 – 18:00	11	3
Kazališta i kina	13:00 – 23:00	12	5
Kantine	08:00 – 15:00	9	5
Restorani	10:00 – 00:00	16	6
Kuhinje	10:00 – 23:00	15	6
Serverske sobe, kompjuterski centri	00:00 – 24:00	24	7
Garaže	00:00 – 24:00	24	7
Spremišta opreme, arhive	07:00 – 18:00	13	5
Zgrade koje nisu navedene	07:00 – 19:00	14	5

* Sustav grijanja/hlađenja s radom počinje 2 sata prije početka korištenja prostora

** U Algoritmu za ventilaciju/klimatizaciju ove vrijednosti se odnose na vrijeme rada sustava mehaničke ventilacije/klimatizacije $t_{ve,mech}$.

1.3.6 Trajanje sezone grijanja

- prema HRN EN ISO 13790 (metoda b) – proračun za mjesečnu metodu i proračun prema karakterističnom danu

Određuje se iz udjela broja dana u mjesecu koji pripada sezoni grijanja $f_{H,m}$.

Parametar potreban za proračun je granična vrijednost omjera toplinskih dobitaka i gubitaka,

$y_{H,lim}$:

$$y_{H,lim} = \frac{a_H + 1}{a_H} [-] \quad \text{HRN EN 13790 (12)} \quad (1.86)$$

Ako je $y_{H,2} < y_{H,lim} \Rightarrow f_{H,m} = 1$ (grijanje je cijeli mjesec u radu)

Ako je $y_{H,1} > y_{H,lim} \Rightarrow f_{H,m} = 0$ (nema potreba za grijanjem)

U ostalim slučajevima:

$$\text{- ako je } y_H > y_{H,lim} : f_H = 0,5 \frac{y_{H,lim} - y_{H,1}}{y_H - y_{H,1}} \quad \text{HRN EN 13790 (p7.4)} \quad (1.87)$$

$$\text{- ako je } y_H \leq y_{H,lim} : f_H = 0,5 + 0,5 \frac{y_{H,lim} - y_H}{y_{H,2} - y_H} \quad \text{HRN EN 13790 (p7.4)} \quad (1.88)$$

pri čemu veća vrijednost od sljedeće dvije prosječne vrijednosti predstavlja $y_{H,2}$, a manja vrijednost $y_{H,1}$

$(y_{H,m} + y_{H,m-1})/2$	Manja od dvije vrijednosti je $y_{H,1}$, veća je $y_{H,2}$ ($y_{H,2} > y_{H,1}$)
$(y_{H,m} + y_{H,m+1})/2$	

$y_{H,m}$ – omjer toplinskih dobitaka i gubitaka u mjesecu m za koji se proračunava $f_{H,m}$ (npr. veljača)

$y_{H,m-1}$ – omjer toplinskih dobitaka i gubitaka u mjesecu prije mjeseca m za koji se proračunava $f_{H,m}$ (ako je mjesec m bila veljača onda je mjesec $m-1$ siječanj)

$y_{H,m+1}$ – omjer toplinskih dobitaka i gubitaka u mjesecu nakon mjeseca m za koji se proračunava $f_{H,m}$ (ako je mjesec m bila veljača onda je mjesec $m+1$ ožujak)

Ako je y_H pojedinog mjeseca manji od nule, u proračunu se y_H zamjenjuje s vrijednošću $y_H=1000$.

Ukupni broj dana grijanja u mjesecu:

$$L_{H,m} = f_{H,m} d_{m,i} \quad [d/mj] \quad (1.89)$$

$d_{m,i}$ – broj dana u mjesecu (d/mj).

Napomena: Kod proračuna za 8760 sati u godini predlaže se proračun opisan u A.11

2. GODIŠNJA POTREBNA TOPLINSKA ENERGIJA ZA HLAĐENJE $Q_{C,nd}$

Potrebna toplinska energija za hlađenje proračunske zone:

$$Q_{C,nd} = Q_{C,gn} - \eta_{C,ls} Q_{C,ht} \quad [\text{kWh}] \quad \text{HRN EN 13790 (5)} \quad (2.1)$$

$Q_{C,nd}$ - potrebna toplinska energija za hlađenje (kWh);

$Q_{C,gn}$ - ukupni toplinski dobici zgrade u periodu hlađenja: ljudi, rasvjeta, uređaji, solarni dobici (kWh);

$Q_{C,ht}$ - ukupno izmjenjena toplinska energija u periodu hlađenja (kWh);

$\eta_{C,ls}$ – faktor iskorištenja toplinskih gubitaka kod hlađenja (-).

Proračun potrebne toplinske energije za hlađenje $Q_{C,nd}$ [kWh/a]

$$Q_{C,nd} = Q_{int} + Q_{sol} - \eta_{C,ls} (Q_{Tr} + Q_{Ve}) \quad [\text{kWh}] \quad (2.2)$$

Q_{int} – unutarnji toplinski dobici zgrade: ljudi, rasvjeta i uređaji (kWh);

Q_{sol} – toplinski dobici od Sunčeva zračenja (kWh);

Q_{Tr} – izmjenjena toplinska energija transmisijom za proračunsku zonu (kWh);

Q_{Ve} – potrebna toplinska energija za ventilaciju/klimatizaciju za proračunsku zonu (kWh).

2.1 Ukupni toplinski dobici za promatrani proračunski period

$$Q_{C,gn} = Q_{int} + Q_{sol} \quad [\text{kWh}] \quad \text{HRN EN 13790 (8)} \quad (2.3)$$

Unutarnji toplinski dobici i toplinski dobici od sunčeva zračenja izračunavaju se na isti način kao kod proračuna godišnje potrebne toplinske energije za grijanje.

2.1.1 Toplinski dobici od Sunčeva zračenja Q_{sol}

U odnosu na proračun $Q_{H,nd}$ kod mjesečne metode faktor smanjenja zbog sjene od pomičnog zasjenjenja F_C je stalno uključen te se efektivna površina otvora k (prozirnog elementa) na koju upada sunčevo zračenje $A_{sol,k}$ računa iz sljedećeg izraza:

$$A_{sol,k} = g_{gl+sh} (1 - F_F) A_p \quad [\text{m}^2]$$

$$g_{gl+sh} = F_C \cdot F_W \cdot g_{\perp} \quad [-] \quad \text{HRN EN 13790 (47)} \quad (2.4)$$

Kod satne metode (karakterističan dan ili 8760 sati) primijenjuje se postupak opisan u 1.3.3.2.

Ostale jednadžbe vrijede kao i za proračun $Q_{H,nd}$.

2.2 Izmjenjena toplinska energija proračunske zone za promatrani period

$$Q_{Tr} = \frac{H_{Tr}}{1000} (\vartheta_{int,C} - \vartheta_e) t \quad [\text{kWh}] \quad (2.5)$$

$$Q_{Ve} = \frac{H_{Ve}}{1000} (\vartheta_{int,C} - \vartheta_e) t \quad [\text{kWh}] \quad \text{HRN EN 13790 (20)} \quad (2.6)$$

H_{Tr} – koeficijent transmisije izmjene topline proračunske zone (W/K);

H_{Ve} – koeficijent ventilacijske izmjene topline proračunske zone (W/K), Jedn. (1.53);

$\vartheta_{int,C}$ – unutarnja proračunska temperatura hlađene zone (°C);

ϑ_e – srednja vanjska temperatura za proračunski period (°C);

t – trajanje proračunskog razdoblja (h),

Koeficijent transmisije izmjene topline H_{Tr} računa se iz sljedećeg izraza:

$$H_{Tr} = H_D + H_U + H_A + H_g \quad [\text{W/K}]$$

Koeficijent transmisije izmjene topline prema tlu za proračunski period (sat) H_g iznosi:

$$H_g = \frac{\Phi_m}{\vartheta_{int,C} - \vartheta_e} \quad [\text{W/K}] \quad (2.7)$$

$\vartheta_{int,C}$ – unutarnja postavna temperatura za proračunski sat (°C);

ϑ_e – srednja vanjska temperatura za proračunski sat (°C).

Pretpostavlja se konstantan toplinski tok prema tlu kroz cijeli dan: $\Phi_{\dot{h}} = \Phi_m$ (Jedn. (1.22)).

Izmjenjena toplinska energija transmisijom iz zone z prema zoni y:

$$Q_{Tr,zy} = \frac{H_{Tr,zy}}{1000} (\vartheta_{z,C} - \vartheta_{y,mn}) t \quad [\text{kWh}] \quad \text{HRN EN 13790 (pB.3)} \quad (2.8)$$

Izmjenjena toplinska energija ventilacijom iz zone z prema zoni y:

$$Q_{Ve,z \rightarrow y} = \frac{H_{Ve,z \rightarrow y}}{1000} (\vartheta_{z,C} - \vartheta_{y,mn}) t \quad [\text{kWh}] \quad \text{HRN EN 13790 (pB.3)} \quad (2.9)$$

gdje su

$H_{Tr,zy}$ – koeficijent transmisije izmjene topline između zona z i y (W/K);

$H_{Ve,z \rightarrow y}$ – koeficijent ventilacijske izmjene topline između zona z i y (W/K);

$\vartheta_{z,C}$ – unutarnja proračunska temperatura hlađene zone z (°C);

$\vartheta_{y,mn}$ – srednja temperatura u susjednoj zoni y (°C);

t – trajanje proračunskog razdoblja (h).

2.3 Faktor iskorištenja toplinskih gubitaka za hlađenje $\eta_{C,ls}$

Kod satne metode $\eta_{C,ls}$ se računa za svaki sat.

$$\eta_{C,ls} = \frac{1 - y_C^{-a_C}}{1 - y_C^{-(a_C+1)}} \quad \text{za } y_C > 0 \text{ i } y_C \neq 1 \quad [-] \quad \text{HRN EN 13790 (57)} \quad (2.10)$$

$$\eta_{C,ls} = \frac{a_C}{a_C + 1} \quad \text{za } y_C = 1 \quad [-] \quad \text{HRN EN 13790 (58)} \quad (2.11)$$

$$\eta_{C,ls} = 1 \quad \text{za } y_C < 0 \quad [-] \quad \text{HRN EN 13790 (59)} \quad (2.12)$$

Odnos toplinskih dobitaka i ukupne izmjenjene topline transmisijom i ventilacijom:

$$y_C = \frac{Q_{C,gn}}{Q_{C,ht}} \quad [-] \quad \text{HRN EN 13790 (60)} \quad (2.13)$$

Bezdimenzijski numerički parametar koji uzima u obzir utjecaj toplinske inercije:

$$a_C = a_o + \frac{\tau}{\tau_{C,o}} \quad [-] \quad \text{HRN EN 13790 (61)} \quad (2.14)$$

τ - vremenska konstanta zgrade (h), Jedn. (1.79);

$\tau_{C,o}$ – referentna vremenska konstanta za hlađenje (h), $\tau_{C,o} = 15$ h;

$a_o = 1$;

2.4 Izračun godišnje vrijednosti toplinske energije za hlađenje

Vrijeme rada sustava hlađenja s normalnom postavnom vrijednošću iznosi $t_d = 24$ h/d za stambene zgrade za sustave bez prekida rada tijekom noći, a za sustave s prekidom rada tijekom noći iznosi $t_d = 17$ h/d (od 06:00 do 23:00 sati).

Mjesečna vrijednost potrebne toplinske energije za hlađenje $Q_{C,nd,m}$ (kWh/mj) proračunske zone određuje se iz sljedećeg izraza:

Godišnja vrijednost potrebne toplinske energije za hlađenje proračunske zone $Q_{C,nd,a}$ (kWh/a), izračunava se kao suma pozitivnih mjesečnih vrijednosti (jednadžba vrijedi za mjesečnu metodu):

$$Q_{C,nd,a} = \sum_i \alpha_{C,red,i} Q_{C,nd,m,i} \cdot L_{C,m,i} / d_{m,i} \quad [\text{kWh/a}] \quad \text{HRN EN 13790 (69)} \quad (2.17)$$

gdje su:

$L_{C,m,i}$ – broj dana rada sustava hlađenja u i -tom mjesecu (d/mj);

$d_{m,i}$ – ukupni broj dana u i -tom mjesecu (d/mj);

$\alpha_{C,red,i}$ – bezdimenzijski redukcijski faktor koji uzima u obzir prekide u hlađenju računa se prema:

Sustavi bez prekida tijekom vikenda:

$$\alpha_{C,red} = 1$$

Sustavi s prekidom tijekom vikenda:

$$\alpha_{C,red} = 1 - 3 \cdot \left(\frac{\tau_{C,o}}{\tau} \right) \cdot y_C \cdot (1 - f_{C,day}) \quad [-] \quad \text{HRN EN 13790 (70)} \quad (2.18)$$

$f_{C,day}$ – udio dana u tjednu tijekom kojih hlađenje radi s normalnom postavnom vrijednošću unutarnje temperature (npr. hlađenje je u pogonu 5 od 7 dana u tjednu (-), $f_{C,day} = t_{use,tj}/7 = 5/7 = 0,71$)

$$\alpha_{C,red,min} = f_{C,day}$$

$$\alpha_{C,red,max} = 1$$

$t_{use,tj}$ – tjedni broj dana rada sustava hlađenja s normalnom postavnom vrijednošću za nestambene zgrade dan je u **Tablica 1.18**;

Za stambene zgrade: $f_{C,day} = 1$

U proračun godišnje potrebne toplinske energije za hlađenje ulaze pozitivne mjesečne vrijednosti korisne potrebne energije za hlađenje za one mjesece u kojima nema potrebe za grijanjem. U graničnim mjesecima (npr. travanj, listopad) proračun za hlađenje provodi se samo za dane u kojima nema potrebe za grijanjem.

2.5 Trajanje sezone hlađenja

- prema HRN EN ISO 13790 (metoda b) – proračun za mjesečnu metodu i proračun prema karakterističnom danu

Određuje se iz mjesečne vrijednosti potrebne energije za hlađenje i udjela broja dana u mjesecu koji pripada sezoni hlađenja $f_{C,m}$.

Parametar potreban za proračun je granična vrijednost $y_{C,lim}$:

$$\left(\frac{1}{y_C}\right)_{lim} = \frac{a_C + 1}{a_C} \quad [-] \quad \text{HRN EN 13790 (15)} \quad (2.19)$$

Ako je $(1/y_C)_2 < (1/y_C)_{lim} \Rightarrow f_{C,m} = 1$ (hlađenje je cijeli mjesec u radu)

Ako je $(1/y_C)_1 > (1/y_C)_{lim} \Rightarrow f_{C,m} = 0$ (nema potreba za hlađenjem)

U ostalim slučajevima:

$$\text{- ako je } (1/y_C) > (1/y_C)_{lim} : f_C = 0,5 \frac{(1/y_C)_{lim} - (1/y_C)_1}{(1/y_C) - (1/y_C)_1} \quad [-] \quad \text{HRN EN 13790 (p7.4)} \quad (2.20)$$

$$\text{- ako je } (1/y_C) \leq (1/y_C)_{lim} : f_C = 0,5 + 0,5 \frac{(1/y_C)_{lim} - (1/y_C)}{(1/y_C)_2 - (1/y_C)} \quad [-] \quad \text{HRN EN 13790 (p7.4)} \quad (2.21)$$

pri čemu veća vrijednost od sljedeće dvije prosječne vrijednosti predstavlja $(1/y_C)_2$, a manja vrijednost $(1/y_C)_1$.

$(1/y_{C,m} + 1/y_{C,m-1})/2$	Manja od dvije vrijednosti je $(1/y_C)_1$, veća je $(1/y_C)_2$
$(1/y_{C,m} + 1/y_{C,m+1})/2$	

$y_{C,m}$ – omjer toplinskih dobitaka i ukupno izmjenjene topline transmisijom i ventilacijom u mjesecu m za koji se proračunava $f_{C,m}$ (npr. lipanj)

$y_{C,m-1}$ – omjer toplinskih dobitaka i ukupno izmjenjene topline transmisijom i ventilacijom u mjesecu prije mjeseca m za koji se proračunava $f_{C,m}$ (ako je mjesec m bilo lipanj onda je mjesec $m-1$ svibanj)

$y_{C,m+1}$ – omjer toplinskih dobitaka i ukupno izmjenjene topline transmisijom i ventilacijom u mjesecu nakon mjeseca m za koji se proračunava $f_{C,m}$ (ako je mjesec m bilo lipanj onda je mjesec $m+1$ srpanj)

Ako je $(1/y_C)$ negativan za pojedini mjesec, uzima se $y_C=1000$.

Ukupni broj dana hlađenja u mjesecu:

$$L_{C,m} = f_{C,m} d_m \quad [d/mj] \quad (2.22)$$

Ukupni broj dana sezone hlađenja zbraja se za mjesece kod kojih nema potrebe za grijanjem i kod kojih je energija za hlađenje pozitivna. U graničnim mjesecima u kojima ima i potrebe i za grijanjem i za hlađenjem (npr. travanj, listopad) zbrajaju se dani u kojima grijanje ne radi.

Napomena: Kod proračuna za 8760 sati u godini predlaže se proračun opisan u A.11

Prilog 1: PRIMJER KLIMATSKIH PODATAKA ZA MJESEČNU METODU

U nastavku je prikazan primjer mjesečnih klimatskih podataka za Kontinentalnu i Primorsku Hrvatsku. Za potrebe proračuna energetske svojstva zgrade koriste se meteorološki podaci za 8760 h za odabranu lokaciju.

Tablica 1.19 Primjer- Prosječna mjesečna temperatura zraka za Kontinentalnu i Primorsku Hrvatsku (Prema podacima iz pravilnika koji se odnosi na energetske certificiranje zgrada)

Mjesec	$\vartheta_{e,m}$	
	Kont. HR	Prim. HR
I	-0,6	6,6
II	2,2	7,5
III	6,5	9,9
IV	11,2	13,4
V	15,9	18
VI	19,2	21,6
VII	21,1	24,5
VIII	20,1	24
IX	16,4	20,5
X	11,1	16,2
XI	5,6	11,6
XII	0,9	7,9
God.	10,8	15,1

Tablica 1.20 Primjer- Referentni podaci o sunčevom zračenju za Kontinentalnu Hrvatsku (Prema podacima iz pravilnika koji se odnosi na energetske certificiranje zgrada)

GLOBALNO SUNČEVO ZRAČENJE (MJ/m ²)												
		Orijentacija					Orijentacija					
Nagib [°]	Mjesec	J	JI, JZ	I,Z	SI, SZ	S	Mjesec	J	JI, JZ	I,Z	SI, SZ	S
0	I	115	115	115	115	115	II	175	175	175	175	175
15		141	133	115	97	85		207	198	175	151	137
30		160	144	114	84	76		230	212	173	130	104
45		171	151	110	71	71		241	217	167	114	98
60		175	150	105	65	65		241	213	158	92	90
75		170	142	96	58	58		230	200	145	81	81
90		157	128	85	51	51		208	177	128	72	72
0	III	340	340	340	340	340	IV	461	461	461	461	461
15		381	369	339	304	286		485	478	457	430	417
30		404	384	333	266	220		487	480	445	389	353
45		407	384	320	234	169		468	464	424	346	276
60		393	367	301	203	154		428	432	395	308	205
75		359	337	273	153	141		372	386	356	258	181
90		310	294	241	126	126		301	327	311	185	163
0	V	612	612	612	612	612	VI	652	652	652	652	652
15		616	615	605	588	575		645	647	645	636	623
30		596	602	586	542	507		613	624	622	593	556
45		552	568	555	487	416		559	583	588	534	462
60		488	517	512	432	311		486	524	541	473	351
75		406	450	460	378	229		397	451	484	417	235
90		316	374	398	292	208		301	370	418	333	214
0	VII	676	676	676	676	676	VIII	574	574	574	574	574
15		675	676	668	654	639		595	589	568	539	525
30		647	656	647	606	565		589	587	552	489	448

45		595	617	613	543	463		559	564	527	435	353
60		519	557	565	481	344		504	520	490	386	248
75		426	482	507	423	234		429	460	442	330	205
90		325	397	439	330	214		339	387	385	240	186
0	IX	427	427	427	427	427	X	268	268	268	268	268
15		474	461	424	381	360		319	304	268	228	205
30		499	478	417	332	276		355	327	266	193	142
45		498	476	403	291	191		374	337	258	167	126
60		474	455	379	254	161		373	330	244	132	117
75		426	414	346	192	149		354	309	224	107	107
90		359	357	305	137	136		317	276	200	96	96
0	XI	125	125	125	125	125	XII	87	87	87	87	87
15		151	143	125	107	95		105	99	87	75	66
30		171	156	124	93	81		118	107	86	66	61
45		181	161	120	79	77		126	112	83	58	58
60		185	159	113	70	70		129	110	78	52	52
75		178	150	104	63	63		125	105	71	47	47
90		164	136	92	55	55		116	95	62	41	41
0	GOD	4512	4512	4512	4512	4512						
15		4793	4712	4477	4190	4012						
30		4869	4756	4365	3782	3388						
45		4732	4633	4167	3359	2760						
60		4395	4333	3883	2948	2168						
75		3871	3885	3508	2507	1730						
90		3213	3319	3064	1959	1563						

Tablica 1.21 **Primjer** - Referentni podaci o sunčevom zračenju za Primorsku Hrvatsku (Prema podacima iz pravilnika koji se odnosi na energetska certificiranje zgrada)

GLOBALNO SUNČEVO ZRAČENJE (MJ/m ²)												
		Orijentacija					Orijentacija					
Nagib [°]	Mjesec	J	Jl, JZ	I,Z	Sl, SZ	S	Mjesec	J	Jl, JZ	I,Z	Sl, SZ	S
0	I	181	181	181	181	181	II	263	263	263	263	263
15		240	222	182	140	114		332	311	264	212	181
30		288	253	182	112	87		384	346	263	170	109
45		320	272	180	86	83		415	363	258	143	101
60		335	277	173	77	77		423	363	247	103	95
75		331	267	161	70	70		408	344	229	88	88
90		309	243	144	64	64		371	308	205	81	81
0	III	437	437	437	437	437	IV	563	563	563	563	563
15		501	483	436	381	353		596	588	558	519	501
30		539	509	430	325	253		602	593	544	464	415
45		550	513	416	280	173		578	576	521	407	310
60		532	496	393	240	155		527	536	485	359	210
75		488	455	359	171	144		454	476	438	300	181
90		419	396	317	133	133		361	403	383	204	167
0	V	694	694	694	694	694	VI	745	745	745	745	745
15		699	699	686	666	652		734	738	735	727	712
30		674	682	665	613	569		696	711	711	676	630
45		622	643	629	547	461		629	661	671	605	515
60		543	583	581	482	334		538	591	618	534	380
75		446	506	522	422	225		431	505	553	468	237
90		337	417	452	324	208		316	411	477	372	212
0	VII	770	770	770	770	770	VIII	661	661	661	661	661
15		767	769	761	744	728		686	681	655	619	599
30		732	745	737	687	637		681	679	637	558	506

45		667	699	696	613	513		644	652	607	491	388
60		575	628	643	539	369		577	600	565	432	258
75		463	540	577	473	227		484	529	510	371	201
90		341	442	500	367	210		376	443	444	263	186
0	IX	505	505	505	505	505	X	372	372	372	372	372
15		567	550	503	447	419		462	435	373	302	263
30		598	573	495	384	313		527	479	372	243	151
45		599	572	478	330	201		564	500	364	204	124
60		569	546	450	288	158		569	497	348	151	117
75		510	497	411	216	149		542	468	323	112	110
90	426	429	363	143	139	485	416	287	103	103		
0	XI	204	204	204	204	204	XII	156	156	156	156	156
15		271	251	205	158	129		213	195	157	118	93
30		323	285	206	124	91		259	225	158	94	77
45		359	306	203	96	86		291	244	156	74	74
60		374	310	195	81	81		308	251	151	68	68
75		368	299	181	75	75		307	244	141	62	62
90	342	272	163	67	67	289	224	126	56	56		
0	GOD	5552	5552	5552	5552	5552						
15		6068	5921	5517	5034	4743						
30		6302	6080	5400	4451	3837						
45		6238	6001	5180	3876	3029						
60		5871	5677	4849	3353	2301						
75		5233	5130	4406	2827	1769						
90	4373	4406	3861	2175	1625							

3. TOPLINSKI OTPORI - KOEFICIJENTI PROLASKA TOPLINE prema HRN EN ISO 6946

3.1. HRN EN ISO 6946:2007 Građevni dijelovi i građevni dijelovi zgrade – Toplinski otpor i koeficijent prolaska topline – Metode proračuna

3.2. Područje primjene

U normi **HRN EN ISO 6946:2007** iznosi se metoda proračuna toplinskog otpora i koeficijenta prolaska topline građevnih dijelova, ne uzimajući u obzir otvore (vrata, prozore i druge ostakljene elemente), građevne dijelove koji graniče s tlom i elemente za provjetravanje.

Temelji se na odgovarajućim projektnim vrijednostima toplinske provodljivosti ili projektnim vrijednostima toplinskih otpora materijala i proizvoda obuhvaćenih proračunom.

Primjenjuje se na građevne dijelove koji se sastoje od toplinski homogenih slojeva (koji mogu uključivati slojeve zraka).

Navedena je i približna metoda koja se može koristiti za proračun nehomogenih slojeva, osim u slučaju premoštenja izolacijskog sloja metalnim dijelovima.

Oznake i jedinice:

A	– ploština (m^2);
d	– debljina (m);
h	– plošni koeficijent prijelaza topline (W/m^2K);
R	– projektna vrijednost toplinskog otpora (m^2K/W);
R_g	– toplinski otpor sloja zraka (m^2K/W);
R_{se}	– vanjski plošni otpor prijelaza topline (m^2K/W);
R_{si}	– unutarnji plošni otpor prijelaza topline (m^2K/W);
R_T	– ukupan toplinski otpor (između dva okoliša) (m^2K/W);
R'_T	– gornja granica ukupnog toplinskog otpora (m^2K/W);
R''_T	– donja granica ukupnog toplinskog otpora (m^2K/W);
R_u	– toplinski otpor negrijanog prostora (m^2K/W);
U	– koeficijent prolaska topline (W/m^2K);
λ	– projektna vrijednost toplinske provodljivosti (W/mK).

3.3. Načela

Načelo metode proračuna je:

- izračunavanje toplinskog otpora svakog toplinski homogenog sloja građevnog dijela
- združivanje ovih pojedinačnih otpora kako bi se izračunao ukupni toplinski otpor građevnog dijela, uključujući (gdje dolazi u obzir) utjecaj plošnih otpora prijelaza topline.

Toplinski otpori pojedinih slojeva izračunavaju se u skladu s točkom 3.4.1. Vrijednosti plošnih otpora prijelaza topline navedene u točki 3.4.2. i prikladne su u većini slučajeva. U dodatku A navedene su detaljne metode za površinu niske emisivnosti, za određene brzine vanjskog vjetra i za površine koje nisu ravne.

Pretpostavlja se da su slojevi zraka homogeni. Vrijednosti toplinskog otpora velikih zračnih slojeva s površinama velike emisivnosti navedene su u 3.4.3., a u dodatku B navedene su metode u drugim slučajevima.

Toplinski otpori slojeva kombiniraju se na sljedeći način:

- a. za građevne dijelove koji se sastoje od toplinski homogenih slojeva, ukupan toplinski otpor izračuna se prema izrazu u točki 3.5.1., a koeficijent prolaska topline u skladu s točkom C.4.
- b. za građevne dijelove koji sadrže jedan ili više toplinski nehomogenih slojeva, ukupan toplinski otpor izračuna se u skladu s točkom 3.5.2, a koeficijent prolaska topline u skladu s točkom C.4.
- c. za građevne dijelove koji sadrže sloj sužen na kraju, toplinski otpor i/ili ukupan toplinski otpor izračuna se u skladu s dodatkom C.

Konačno, ako je potrebno, koeficijent prolaska topline korigira se u skladu s dodatkom D, da bi se uzeli u obzir učinci slojeva zraka u izolaciji, mehaničkih pričvrstnica koje prolaze kroz izolacijski sloj i oborina na inverznim (obnutim) krovovima.

Tako izračunat koeficijent prolaska topline primjenjuje se između prostora koji se nalaze s obje strane promatranog građevnog dijela, npr. između unutarnjih i vanjskih prostora, dva unutarnja prostora u slučaju unutarnje pregrade, unutarnjeg prostora i negrijanog prostora.

3.4. Toplinski otpori

3.4.1. Toplinski otpor homogenih slojeva

Projektne toplinske vrijednosti mogu biti zadane kao projektna vrijednost toplinske provodljivosti, ili kao projektna vrijednost toplinskog otpora. Ako je poznata vrijednost toplinske provodljivosti, toplinski otpor sloja izračuna se iz izraza:

$$R = \frac{d}{\lambda} \quad [\text{m}^2\text{K/W}] \quad \text{HRN EN (1)} \quad (3.1)$$

pri čemu je

d - debljina sloja materijala u građevnom dijelu, iz energetskog pregleda ili projektne dokumentacije (m);

λ - projektna vrijednost toplinske provodljivosti materijala iz energetskog pregleda ili projektne dokumentacije (W/mK).

Projektne vrijednosti toplinskih provodljivosti dane su Tablicom 3.1.

Tablica 3.1 (Prema tehničkom propisu koji se odnosi na racionalnu uporabu energije i toplinsku zaštitu u zgradama) Projektne vrijednosti toplinske provodljivosti λ

Redni broj	Građevni materijal	Gustoća ρ kg/m ³	Toplinska provodljivost λ W/(m·K)
1.	ZIDOVI, uključivo mort u reškama		
1.01	puna opeka od gline	1800	0,81
1.02	puna opeka od gline	1600	0,68
1.03	klinker opeka	1900	0,85
1.04	klinker opeka	1700	0,80
1.05	puna fasadna opeka od gline	1800	0,83
1.06	puna fasadna opeka od gline	1600	0,70
1.07	šuplja fasadna opeka od gline	1200	0,55
1.08	šuplji blokovi od gline	1100	0,48
1.09	šuplji blokovi od gline	1000	0,45
1.10	šuplji blokovi od gline	900	0,42
1.11	šuplji blokovi od gline	800	0,39
1.12	puna vapneno silikatna opeka	1800	0,99
1.13	puna vapneno silikatna opeka	1600	0,79
1.14	vapneno silikatni šuplji blokovi	1200	0,56
1.15	prirodni kamen	2000	1,40
1.16	šuplji blokovi od betona	1000	0,70
1.17	šuplji blokovi od betona	1200	0,80
1.18	šuplji blokovi od betona	1400	0,90
1.19	šuplji blokovi od betona	1600	1,10
1.20	šuplji blokovi od betona	1800	1,20
1.21	šuplji blokovi od betona	2000	1,40
1.22	šuplji blokovi od laganog betona	500	0,30
1.23	šuplji blokovi od laganog betona	700	0,37
1.24	šuplji blokovi od laganog betona	900	0,46
1.25	šuplji blokovi od laganog betona	1000	0,52
1.26	šuplji blokovi od laganog betona	1200	0,60
1.27	šuplji blokovi od laganog betona	1400	0,72
2.	BETON I ARMIRANI BETON		

2.01	armirani beton	2500	2,60
2.02	teški beton	3200	2,60
2.03	beton	2400	2,00
2.04	beton	2200	1,65
2.05	beton	2000	1,35
2.06	beton s laganim agregatom	2000	1,35
2.07	beton s laganim agregatom	1800	1,30
2.08	beton s laganim agregatom	1600	1,00
2.09	beton s laganim agregatom	1500	0,89
2.10	beton s laganim agregatom	1400	0,79
2.11	beton s laganim agregatom	1300	0,70
2.12	beton s laganim agregatom	1200	0,62
2.13	beton s laganim agregatom	1100	0,55
2.14	beton s laganim agregatom	1000	0,49
2.15	beton s laganim agregatom	900	0,44
2.16	beton s laganim agregatom	800	0,39
2.17	porobeton	1000	0,31
2.18	porobeton	900	0,29
2.19	porobeton	800	0,25
2.20	porobeton	750	0,24
2,21	porobeton	700	0,22
2.22	porobeton	650	0,21
2.23	porobeton	600	0,19
2.24	porobeton	550	0,18
2.25	porobeton	500	0,16
2.26	porobeton	450	0,15
2.27	porobeton	400	0,13
2.28	porobeton	350	0,11
2.29	porobeton	300	0,10
2.30	beton s jednozrnatim šljunkom	2000	1,40
2.31	beton s jednozrnatim šljunkom	1800	1,10
2.32	beton s jednozrnatim šljunkom	1600	0,81
3.	ŽBUKE, MORTOVI, ESTRISI		
3.01	cementna žbuka	2000	1,60
3.02	vapnena žbuka	1600	0,80
3.03	vapneno-cementna žbuka	1800	1,00

3.04	vapneno-gipsana žbuka	1400	0,70
3.05	gipsana žbuka	1500	0,54
3.06	gipsana žbuka	1400	0,51
3.07	gipsana žbuka	1300	0,47
3.08	gipsana žbuka	1200	0,43
3.09	lagana žbuka	1300	0,56
3.10	lagana žbuka	1000	0,38
3.11	lagana žbuka	700	0,25
3.12	toplinsko-izolacijska žbuk	400	0,11
3.13	toplinsko-izolacijska žbuka	250	0,08
3.14	sanacijska žbuka	1400	0,65
3.15	polimerna žbuka	1100	0,70
3.16	silikatna žbuka	1800	0,90
3,17	žbuka na bazi akrilata	1700	0,90
3.18	cementni mort	2000	1,60
3.19	cementni estrih	2000	1,60
3.20	anhidrit estrih	2100	1,20
3.21	magnezitni estrih	2300	0,70
3.22	polimerno-cementno ljepilo	1650	0,9
4.	PODNE, ZIDNE I STROPNE OBLOGE		
4.01	gipskartonske ploče	900	0,25
4.02	gipsane ploče s dodatkom celuloznih vlakana	1300	0,38
4.03	keramičke pločice	2300	1,30
4.04	kamene ploče	2500	2,80
4.05	drvo	550	0,15
5.	HIDROIZOLACIJSKI MATERIJALI, PARNE BRANE (KOČNICE)		
5.01	bitumenska traka s uloškom staklenog voala	1100	0,23
5.02	bitumenska traka s uloškom staklene tkanine	1100	0,23
5.03	bitumenska traka s uloškom poliesterskog filca	1100	0,23
5.04	bitumenska traka s uloškom krovnog kartona	1100	0,23
5.05	polimerna hidroizolacijska traka na bazi PVC-P	1200	0,14

5.06	polimerna hidroizolacijska traka na bazi PIB	1600	0,26
5.07	polimerna hidroizolacijska traka na bazi CR	1300	0,23
5.08	polimerna hidroizolacijska traka na bazi VAE	1300	0,14
6.	RASTRESITI MATERIJALI ZA NASIPAVANJE		
6.01	ekspandirani perlit	≤ 100	0,060
6.02	lomljevina ekspandiranog pluta	≤ 200	0,055
6.03	lomljevina opeke od gline	≤ 800	0,41
6.04	pijesak, šljunak, tucanik (drobljenac)	≤ 1700	0,81
7.	TOPLINSKO – IZOLACIJSKI MATERIJALI		
7.01	mineralna vuna (MW) prema HRN EN 13162	10 do 200	0,035 do 0,050
7.02	ekspandirani polistiren (EPS) prema HRN EN 13163	15 do 30	0,035 do 0,040
7.03	ekstrudirana polistirenska pjena (XPS) prema HRN EN 13164	≥ 25	0,030 do 0,040
7.04	tvrda poliuretanska pjena (PUR) prema HRN EN 13165	≥ 30	0,020 do 0,040
7.05	fenolna pjena (PF) prema HRN EN 13166	≥ 30	0,030 do 0,045
7.06	čelijasto (pjenasto) staklo (CG) prema HRN EN 13167	100 do 150	0,045 do 0,060
7.07	drvena vuna (WW) prema HRN EN 13168	360 do 460	0,065 do 0,09
	drvena vuna (WW) prema HRN EN 13168, debljina ploča $15 \text{ mm} \leq d \leq 25 \text{ mm}$	550	0,150
7.08	ekspandirani perlit (EPB) prema HRN EN 13169	140 do 240	0,040 do 0,065
7.09	ekspandirano pluto (ICB) prema HRN EN 13170	80 do 500	0,045 do 0,055

7.10	drvena vlakanca (WF) prema HRN EN 13171	110 do 450	0,035 0,070
------	---	------------	-------------

3.4.2. Plošni otpori prijelaza topline

Vrijednosti iz Tablice 3.2 koriste se za ravne površine kad nema specifičnih podataka o rubnim uvjetima. Vrijednosti u stupcu „vodoravan“ primjenjuju se za smjerove toplinskog toka nagiba do $\pm 30^\circ$ u odnosu na vodoravnu površinu. Za površine kojima strane nisu paralelne ili posebne rubne uvjete, koriste se metode iz dodatka A, Jedn. (A.7).

R_{Si} – unutarnji plošni otpor prijelaza topline ($\text{m}^2\text{K}/\text{W}$);

R_{Se} – vanjski plošni otpori prijelaza topline ($\text{m}^2\text{K}/\text{W}$).

Tablica 3.2 (temeljem HRN EN Tablica 1) Plošni otpori prijelaza topline ($\text{m}^2\text{K}/\text{W}$) za određene građevne dijelove iznose:

Smjer toplinskog toka	Građevni dijelovi:	R_{Si} $\text{m}^2\text{K}/\text{W}$	R_{Se} $\text{m}^2\text{K}/\text{W}$
- prema gore	Ravni i kosi krovovi iznad grijanog prostora, stropovi prema tavanu	0,10	0,04
- vodoravan	Vanjski zidovi, zidovi prema garaži, tavanu	0,13	0,04
	Zidovi prema negrijanim prostorijama i negrijanom stubištu temperature više od 0°C	0,13	0,13
	Zidovi prema tlu	0,13	0,00
- prema dolje	Zidovi između grijanih radnih prostorija različitih korisnika	0,13	0,13
	Stropovi iznad vanjskog zraka, stropovi iznad garaže	0,17	0,04
	Stropovi prema negrijanim prostorijama i negrijanom stubištu temperature više od 0°C	0,17	0,10
	Podovi na tlu	0,17	0,00
	Stropovi između stanova, stropovi između grijanih radnih prostorija različitih korisnika	0,17	0,10

* za građevne dijelove koji graniče s tlom uzima se da je $R_{Se} = 0$;

** U slučaju proračuna otpora unutarnjih građevnih dijelova (pregradnih zidova i sl.), ili građevnih dijelova između unutarnjeg i negrijanog prostora, R_{Si} se primjenjuje na obje strane.

3.4.3. Toplinski otpor slojeva zraka

Vrijednosti dane u točkama od 3.4.3.1. do 3.4.3.3. vrijede za sloj zraka koji:

- je omeđen dvjema plohama koje su paralelne i okomite na smjer toplinskog toka, a stupanj emisivnosti im nije manji od 0,8;
- ima debljinu (u smjeru toplinskog toka) manju od 0,1 pomnoženo sa svakom od druge dvije dimenzije i ne veću od 0,3 m;
- nema razmjene zraka s unutarnjim prostorom zgrade.

Napomena: jedinstven koeficijent prolaska topline ne bi se trebao izračunavati za građevne dijelove koji sadrže slojeve zraka debljine veće od 0,3 m.

Ukoliko ne postoje gornji uvjeti, primjeniti postupke u dodatku B

3.4.3.1. Netrovjetravan sloj zraka

Netrovjetravan sloj zraka je onaj kojem nije unaprijed predviđen protok zraka. Projektne vrijednosti toplinskog otpora dane su u Tablici 3.3. Vrijednosti u stupcu „vodoravan“ vrijede za smjerove toplinskog toka nagiba do $\pm 30^\circ$ u odnosu na vodoravnu ravninu.

Sloj zraka bez izolacijskog sloja između njega i vanjskog prostora, ali s malim otvorima prema vanjskom prostoru će se također uzeti u obzir kao netrovjetravan sloj zraka, ako ovi otvori nisu smješteni tako da dopuštaju protok zraka kroz sloj i ako nisu veći od:

- 500 mm² po metru duljine (u horizontalnom smjeru) za vertikalne slojeve zraka;
- 500 mm² po m² ploštine za vodoravne slojeve zraka.

Napomena: otvori za isušivanje (drenažu) u obliku otvorenih vertikalnih reški u vanjskom dijelu dvostrukog zidanog zida sa šupljinom između dijelova, ne smatraju se otvorima za provjetranje.

Tablica 3.3 (HRN EN Tablica 2) Toplinski otpor R [m²K/W] netrovjetravnih slojeva zraka: površine velike emisivnosti

Debljina sloja zraka (mm)	Smjer toplinskog toka		
	Prema gore	Vodoravan	Prema dolje
0	0,00	0,00	0,00
5	0,11	0,11	0,11
7	0,13	0,13	0,13
10	0,15	0,15	0,15
15	0,16	0,17	0,17
25	0,16	0,18	0,19
50	0,16	0,18	0,21
100	0,16	0,18	0,22
300	0,16	0,18	0,23

Napomena: međuvrijednosti se mogu odrediti interpolacijom

3.4.3.2 Slabo provjetravan sloj zraka

Slabo provjetravan sloj zraka je onaj kroz koji je omogućen tok zraka iz vanjskog prostora putem otvora ploštine A_v , unutar sljedećih raspona:

- > 500 mm², ali < 1500 mm² po metru duljine (u horizontalnom smjeru) za vertikalne slojeve zraka;
- > 500 mm², ali < 1500 mm² po m² ploštine za vodoravne slojeve zraka

Utjecaj provjetravanja ovisi o veličini i načinu prolaska kroz otvore za provjetravanje. Aproksimativno, ukupni toplinski otpor građevnog dijela sa slabo provjetravanim slojem zraka može se izračunati kao

$$R_T = \frac{1500 - A_V}{1000} R_{T,u} + \frac{A_V - 500}{1000} R_{T,v} \quad [\text{m}^2\text{K/W}] \quad \text{HRN EN (2)} \quad (3.2)$$

gdje je:

$R_{T,u}$ – ukupni toplinski otpor s neventiliranim slojem zraka u skladu s točkom 3.4.3.1 ($\text{m}^2\text{K/W}$);

$R_{T,v}$ – ukupni toplinski otpor s dobro (jako) ventiliranim slojem zraka u skladu s točkom 3.4.3.3 ($\text{m}^2\text{K/W}$);

A_v – površina otvora (mm^2).

3.4.3.3 Dobro provjetravan sloj zraka

Dobro provjetravan sloj zraka je onaj za koji je ploština otvora A_v između sloja zraka i vanjskog prostora:

- $A_v > 500 \text{ mm}^2$ po metru duljine (u horizontalnom smjeru) za vertikalne slojeve zraka
- $A_v > 500 \text{ mm}^2$ po m^2 ploštine za vodoravne slojeve zraka

Ukupni toplinski otpor građevnog dijela koji sadrži dobro provjetravan sloj zraka, izračunat će se pomoću Jedn. (3.3) tako da se **zanemari toplinski otpor sloja zraka i svih ostalih slojeva između sloja zraka i vanjskog prostora** i uključi plošni otpor prijelazu topline za nepomičan zrak (vidi dodatak A, Jedn. A.1-A.4). Za pojednostavljeni proračun umjesto vanjskog plošnog otpora se može koristiti vrijednost unutarnjeg plošnog otpora, a sve prema Tablici 3.2.

3.4.4 Toplinski otpor negrijanih prostorija

Ako vanjski omotač negrijanog prostora nije toplinski izoliran, mogu se primjeniti sljedeće pojednostavnjene metode, u kojima se negrijani prostor tretira kao toplinski otpor.

3.4.4.1 Tavanske prostorije

U slučaju krovne konstrukcije koja se sastoji od ravnog, izoliranog stropa i kosog krova, može se pretpostaviti kao da je tavanski prostor toplinske homogeni sloj s toplinskim otporom u skladu s Tablicom 3.4.

Prilikom proračuna, isti se tretira kao vanjski prostor uz korekciju toplinskog otpora prema dolje navedenoj tablici.

Tablica 3.4 (HRN EN Tablica 3) Toplinski otpor tavanskih prostora

Obilježja krova		R_u m ² K/W
1	Pokrov crijepom, bez krovne ljepenke, oplatnih ploča, ili sl.	0,06
2	Pokrov pločama, ili pokrov crijepom, sa sekundarnim pokrovom od paropropusne-vodonepropusne folije ili sl.	0,2
3	Kao 2, ali s aluminijskom oblogom, ili drugom oblogom male emisivnosti na donjoj strani krova	0,3
4	Krov podstavljen s oplatnim pločama u kombinaciji s pp folijom, krovnom ljepenkom i sl.	0,3

Napomena: vrijednosti u Tablici 3.4. uključuju toplinski otpor provjetranog prostora i toplinski otpor (kosog) krova. Ne uključuju vanjski otpor prijelaza topline (R_{Se}).

3.5 Ukupni toplinski otpor

3.5.1 Ukupni toplinski otpor građevnog dijela, koji se sastoji od homogenih slojeva

Ukupni toplinski otpor građevnog dijela, koji se sastoji od toplinski homogenih slojeva okomitih na toplinski tok, izračunat će se pomoću sljedećeg izraza:

$$R_T = R_{Si} + R_1 + R_2 + \dots + R_n + R_u + R_{Se} \quad [\text{m}^2\text{K/W}] \quad \text{HRN EN (4)} \quad (3.3)$$

pri čemu je:

R_{Si} – unutarnji plošni otpor prijelaza topline (m²K/W);

R_1, R_2, R_n - projektne vrijednosti toplinskog otpora svakog sloja (m²K/W);

R_u – toplinski otpor tavanskih prostora (m²K/W);

R_{Se} – vanjski plošni otpori prijelaza topline (m²K/W).

U slučaju proračuna otpora unutarnjih građevnih dijelova (pregradnih zidova i sl.), ili građevnih dijelova između unutarnjeg i negrijanog prostora, u Jedn. (3.3) R_{Si} se primjenjuje na obje strane, ovisno o smjeru toplinskog toka (vidi Tablica 3.2).

Ako ukupan toplinski otpor predstavlja konačan rezultat, mora se zaokružiti na dva decimalna mjesta.

Napomena: Otpore prijelaza topline R_{Si} i R_{Se} treba izostaviti u Jedn. (3.3) kad se traži otpor građevnog dijela od površine do površine.

3.5.2 Ukupni toplinski otpor građevnog dijela koji se sastoji od homogenih i nehomogenih slojeva

U niže navedenim podtočkama dana je pojednostavljena metoda za izračunavanje toplinskog otpora građevnih dijelova koji se sastoje od homogenih i nehomogenih slojeva. Metoda nije valjana u slučajevima kada omjer između gornje i donje granične vrijednosti toplinskog otpora prelazi 1,5.

Spomenuta metoda nije primjenljiva u slučajevima toplinskih mostova od metala koji prolaze kroz sloj toplinske izolacije.

Kod primjene metalnih pričvrsnica i ankera, metoda se može primijeniti kao da nema metalnih spojnih sredstava, a rezultat se korigira u skladu s Jedn. D.3.

3.5.2.1 Ukupni toplinski otpor građevnog dijela

Ukupni toplinski otpor, R_T , građevnog dijela koji se sastoji od toplinski homogenih i toplinski nehomogenih slojeva paralelnih s površinom, računa se kao aritmetička sredina između gornje i donje granične vrijednosti otpora:

$$R_T = \frac{R'_T + R''_T}{2} \quad [\text{m}^2\text{K/W}] \quad \text{HRN EN (5)} \quad (3.4)$$

pri čemu je:

R'_T – gornja granična vrijednost ukupnog toplinskog otpora ($\text{m}^2\text{K/W}$), izračunata u skladu s 3.5.2.2.;

R''_T – donja granična vrijednost ukupnog toplinskog otpora ($\text{m}^2\text{K/W}$), izračunata u skladu s 3.5.2.3.;

Napomena: metoda je valjana kad je $R'_T/R''_T < 1,5$

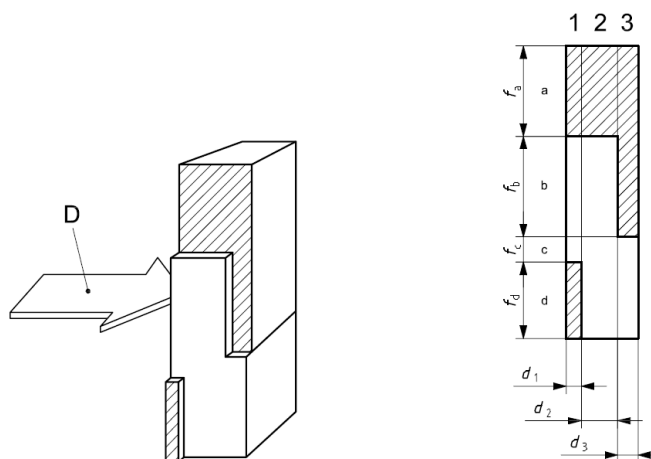
Gornja i donja vrijednost izračunat će se tako da se građevni dio razmatra kao da je razdijeljen u odsječke i slojeve, na način kako je prikazano na Slici 3.1., tako da se građevni dio razdjeli u dijelove m i j , koji su svaki za sebe toplinski homogeni.

Odsječak m ($m=a, b, c, \dots, q$) okomit na površine građevnog dijela ima djelomičnu ploštinu f_m .

Sloj j ($j = 1, 2, \dots, n$) paralelan s površinama ima debljinu d_j .

Dio m_j ima vrijednost koeficijenta toplinske provodljivosti λ_{mj} , debljinu d_j , djelomičnu ploštinu f_m i toplinski otpor R_{mj} .

Djelomična ploština odsječka je njegov udio u ukupnoj ploštini. Tako je $f_a + f_b + \dots + f_q = 1$



Slika 3.1 Odsječci i slojevi toplinski nehomogenog građevnog dijela

3.5.2.2 Gornja granična vrijednost ukupnog toplinskog otpora (R'_T)

Gornja granična vrijednost ukupnog toplinskog otpora izračunava se uz pretpostavku jednodimenzionalnog toplinskog toka, okomitog na površine građevnog dijela. Prikazana je sljedećim izrazom:

$$\frac{1}{R'_T} = \frac{f_a}{R_{Ta}} + \frac{f_b}{R_{Tb}} + \dots + \frac{f_q}{R_{Tq}} \quad [\text{W/m}^2\text{K}] \quad \text{HRN EN (6)} \quad (3.5)$$

gdje su:

$R_{Ta}, R_{Tb}, \dots, R_{Tq}$ - ukupni toplinski otpori između dva prostora različitih temperatura, za svaki odsječak ($\text{m}^2\text{K/W}$), izračunati pomoću Jedn. (3.3);
 f_a, f_b, \dots, f_q su djelomične ploštine svakog odsjeka (-).

3.5.2.3. Donja granična vrijednost ukupnog toplinskog otpora (R''_T)

Donja granična vrijednost se izračunava uz pretpostavku da su sve ravnine koje su paralelne s površinama građevnog dijela, izotermne površine. ¹⁾

Ekvivalentan toplinski otpor R_j za svaki toplinski nehomogeni sloj izračuna se pomoću sljedećeg izraza: ²⁾

$$\frac{1}{R_j} = \frac{f_a}{R_{aj}} + \frac{f_b}{R_{bj}} + \dots + \frac{f_q}{R_{qj}} \quad [\text{W/m}^2\text{K}] \quad \text{HRN EN (7)} \quad (3.6)$$

Donja granična vrijednost se određuje pomoću izraza (3), odnosno:

$$R''_T = R_{Si} + R_l + R_2 + \dots + R_n + R_{Se} \quad [\text{W/m}^2\text{K}] \quad \text{HRN EN (8)} \quad (3.7)$$

- 1) Ako površina koja nije ravna graniči sa slojem zraka, proračun treba provesti kao da je ravna, zamislivši da su uži odsječci produljeni (ali bez promjene toplinskog otpora):



ili da su dijelovi koji strše odstranjeni (uz smanjenje toplinskog otpora):



2) Alternativna metoda je pomoću ekvivalentne toplinske provodljivosti sloja:

$$R_j = \frac{d_j}{\lambda''_j} \quad [\text{m}^2\text{K/W}] \quad (3.8)$$

gdje je ekvivalentna toplinska provodljivost

$$\lambda''_j = \lambda_{aif_a} + \lambda_{bif_b} + \dots + \lambda_{aif_q} \quad [\text{W/mK}] \quad (3.9)$$

Ako je sloj zraka dio nehomogenog sloja, može se tretirati kao materijal ekvivalentne toplinske provodljivosti $\lambda''_j = d_j/R_g$, pri čemu je R_g toplinski otpor sloja zraka, određen u skladu s dodatkom B.

3.5.3 Ispravci i dodaci toplinskim otporima

Vidi dodatak D.

Dodatak A (normativan)

Plošni otpor prijelaza topline

A.1 Ravne površine

Plošni otpor dan je izrazom

$$R_s = \frac{1}{h_c + h_r} \quad [\text{m}^2\text{K/W}] \quad \text{HRN EN (A.1)} \quad (A.1)$$

gdje je

h_c - koeficijent prijelaza topline konvekcijom ($\text{W/m}^2\text{K}$);

h_r - koeficijent prijelaza topline zračenjem ($\text{W/m}^2\text{K}$).

pri čemu je

$$h_r = \varepsilon h_{r0} \quad [\text{W}/(\text{m}^2\text{K})] \quad \text{HRN EN (A.2)} \quad (A.2)$$

$$h_{r0} = 4\sigma T_m^3 \quad [\text{W}/(\text{m}^2\text{K})] \quad \text{HRN EN (A.3)} \quad (A.3)$$

gdje je:

ε – koeficijent emisivnosti površine (-);

h_{r0} - koeficijent prijelaza topline zračenjem crnog tijela (vidi tablicu 3.A.1);

σ - Stefan-Boltzmann-ova konstanta ($5,67 \times 10^{-8} \text{W}/(\text{m}^2\text{K})$);

T_m - srednja temperatura površine i njene okoline (K);

θ_m - srednja temperatura površine i njene okoline ($^{\circ}\text{C}$).

$\varepsilon = 0,9$ je obično prikladna vrijednost za unutarnje i vanjske površine. Gdje se koriste druge vrijednosti, potrebno je uzeti u obzir sve efekte pogoršanja i nakupine prašine tijekom vremena.

Tablica 3.A.1 (HRN EN Tablica A.1) Vrijednosti koeficijenta prijelaza topline zračenjem crnog tijela, h_{r0}

Srednja temperatura θ_m °C	h_{r0} W/(m ² K)
-10	4,1
0	4,6
10	5,1
20	5,7
30	6,3

Na unutarnjim ploham, ili vanjskim ploham uz dobro provjetravan sloj zraka (vidi 3.4.3.3.),

$$h_c = h_{ci} \quad [\text{W}/(\text{m}^2\text{K})] \quad \text{HRN EN (A.4)} \quad (\text{A.4})$$

gdje je

$h_{ci} = 5,0 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ za toplinski tok prema gore
 $h_{ci} = 2,5 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ za vodoravan toplinski tok
 $h_{ci} = 0,7 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ za toplinski tok prema dolje

Na vanjskim ploham,

$$h_c = h_{ce} \quad [\text{W}/(\text{m}^2\text{K})] \quad \text{HRN EN (A.5)} \quad (\text{A.5})$$

pri čemu je

$$h_{ce} = 4 + 4 \cdot v \quad [\text{W}/(\text{m}^2\text{K})] \quad \text{HRN EN (A.6)} \quad (\text{A.6})$$

v - brzina vjetra uz površinu (m/s).

Vrijednosti za vanjski plošni otpor prijelaza topline R_{se} za različite brzine vjetra prikazane su u Tablici 3.A.2

Napomena – Vrijednosti dane u točki 3.4.2 za unutarnji plošni otpor prijelaza topline izračunate su za $\varepsilon = 0,9$ i sa h_{r0} određenim za $\theta_m = 20^\circ\text{C}$. Vrijednost dana u 3.4.2 za vanjski plošni otpor prijelaza topline, izračunata je za $v = 4 \text{ m/s}$ i $\varepsilon = 0,9$, s h_{r0} određenim za $\theta_m = 0^\circ\text{C}$.

Tablica 3.A.2 (HRN EN Tablica A.2) Vrijednosti R_{se} pri raznim brzinama vjetra

Brzina vjetra m/s	R_{se} (m ² K)/W
1	0,08
2	0,06
3	0,05
4	0,04
5	0,04
7	0,03
10	0,02

A.2 Građevni dijelovi s neravnim površinama

Istake na inače ravnim površinama, kao što su stupovi konstrukcije, neće se uzeti u obzir u proračunu ukupnog toplinskog otpora, ako se sastoje od materijala čija je vrijednost koeficijenta toplinske provodljivosti manja od 2 W/(mK). Ako se istaknuti dio sastoji od materijala čija je toplinska provodljivost veća od 2 W/(mK) i nije toplinski izoliran, plošni otpor prijelaza topline će se smanjiti, tako da se pomnoži omjerom ploštine projicirane plohe u odnosu na ploštinu stvarne plohe istaknutog dijela (vidi Sliku 3.A.1):

$$R_{sp} = R_s \frac{A_p}{A} \quad [\text{m}^2\text{K}/\text{W}] \quad \text{HRN EN (A.7)} \quad (\text{A.7})$$

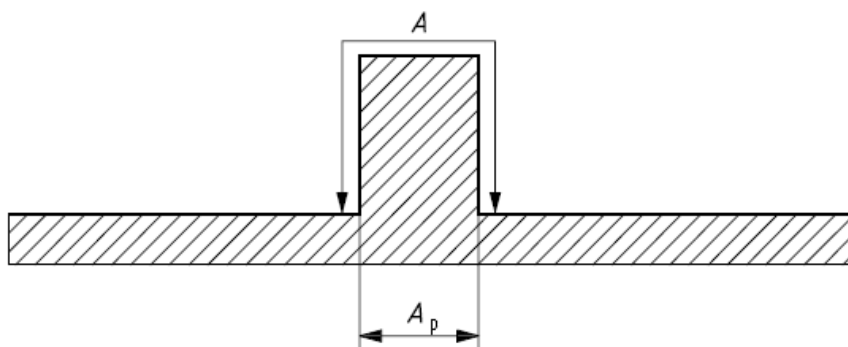
gdje je

R_{sp} - plošni otpor prijelaza topline ravnog građevnog dijela u skladu s A.1 (m²K/W);

R_s - plošni otpor prijelaza topline projicirane plohe istaknutog dijela (m²K/W);

A - ploština stvarne plohe istaknutog dijela (m²).

Jednadžba (A.7) primjenjuje se za izračunavanje i unutarnjeg i vanjskog otpora prijelaza topline.



Slika 3.A.1 – Stvarna i projicirana ploština

Dodatak B

Toplinski otpor neprovjetravnih slojeva zraka

B.1 Općenito

Ovaj dodatak odnosi se na slojeve zraka u građevnim dijelovima s izuzetkom ostakljenja. Za ostakljenje i okvire prozora nužan je točniji postupak.

Pojam sloja zraka uključuje slojeve zraka (kod kojih su širina i duljina 10 puta veće od debljine, pri čemu se debljina mjeri u smjeru toplinskog toka), tako i zračne šupljine (kod kojih su širina ili duljina usporedive s debljinom). Ako je debljina zračnog sloja promjenljiva, za proračun toplinskog otpora trebala bi se koristiti njena prosječna vrijednost.

Napomena – Sloj zraka može biti tretiran kao medij koji ima toplinski otpor, budući da je prijenos topline zračenjem i konvekcijom kroz njih približno razmjernan temperaturnoj razlici između površina koje ih omeđuju.

B.2 Neprovjetravani prostori zraka kod kojih su omjer duljine i širine veći od 10 puta u odnosu na duljinu

Toplinski otpor sloja zraka određen je izrazom:

$$R_g = \frac{1}{h_a + h_r} \quad [\text{m}^2\text{K/W}] \quad \text{HRN EN (B.1)} \quad (\text{B.1})$$

gdje je

- R_g - toplinski otpor sloja zraka ($\text{m}^2\text{K/W}$);
- h_a - koeficijent prijelaza topline provođenjem/konvekcijom ($\text{m}^2\text{K/W}$);
- h_r - koeficijent prijelaza topline zračenjem ($\text{m}^2\text{K/W}$).

h_a je određen provođenjem kroz zrak za uske prostore (slojeve) zraka i konvekcijom kroz široke šupljine. Za proračune prema međunarodnim normama, vrijednost je veća od $0,025/d$ i uzima se iz Tablice 3.B.1 ili 3.B.2.

U Tablici 3.B.1 je

d - debljina sloja zraka u smjeru toplinskog toka (m);

ΔT - temperaturna razlika kroz sloj zraka (K).

Tablica 3.B.1 (HRN EN 6946:2008, Tablica B.1) Koeficijent h_a za $\Delta T \leq 5\text{K}$

Smjer toplinskog toka	h_a
vodoravan	1,25
prema gore	1,95
prema dolje	$0,12 \times d^{-0,44}$

Tablica 3.B.2 (HRN EN 6946:2008, Tablica B.2) Koeficijent h_a za $\Delta T > 5K$

Smjer toplinskog toka	h_a
vodoravan	$0,73 \times (\Delta T)^{1/3}$
prema gore	$1,14 \times (\Delta T)^{1/3}$
prema dolje	$0,09 \times (\Delta T)^{0,187} d^{-0,44}$

Napomena: Vrijednosti u Tablici 3.B.2 su izračunate pomoću Jedn. (B.1) s $\varepsilon_1 = 0,9$, $\varepsilon_2 = 0,9$, i h_{r0} određenim kod 10°C.

h_r je dan izrazom

$$h_r = E \cdot h_{r0} \quad [W/m^2K] \quad \text{HRN EN (B.2)} \quad (B.2)$$

gdje je

E - stupanj zračenja između površina (-);
 h_{r0} - koeficijent zračenja za plohu crnog tijela (W/m²K), Tablica 3.A.2;

$$E = \frac{1}{1/\varepsilon_1 + 1/\varepsilon_2 - 1} \quad [-] \quad \text{HRN EN (B.3)} \quad (B.3)$$

gdje su

$\varepsilon_1, \varepsilon_2$ - koeficijenti emisivnosti površina koje omeđuju sloj zraka (-).

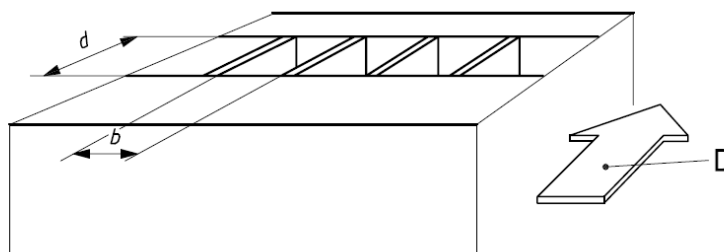
B.3 Slojevi zraka duljine i širine veće 10 puta u odnosu na debljinu

Za slabo provjetravane slojeve zraka (definirano u 3.4.3.2.), pratiti postupak prema 3.4.3.2.

Za dobro provjetravane slojeve zraka (definirano u 3.4.3.3.), pratiti postupak prema 3.4.3.3.

B.4 Mali ili razdijeljeni neprovjetravani slojevi zraka (zračne pore)

Slika 3.B.1 prikazuje mali sloj zraka sa širinom koja je manja od njegove deseterostruke debljine.



b širina sloja zraka
 d debljina sloja zraka
 D smjer toplinskog toka

Slika 3.B.1 – Dimenzije malih slojeva zraka

Toplinski otpor R_g određen je izrazom:

$$R_g = \frac{1}{h_a + h_r} \quad [\text{m}^2\text{K} / \text{W}] \quad \text{HRN EN (B.4)} \quad (\text{B.4})$$

gdje je

$$h_r = \frac{h_{r0}}{1/\varepsilon_1 + 1/\varepsilon_2 - 2 + \frac{2}{(1 + \sqrt{1 + d^2/b^2} - d/b)}} \quad [\text{W} / \text{m}^2\text{K}] \quad \text{HRN EN (B.5)} \quad (\text{B.5})$$

gdje je

d - debljina zračnog sloja (m);

b - širina zračnog sloja (m).

$\varepsilon_1, \varepsilon_2$ – koeficijenti emisivnosti površina na toplim i hladnim stranama zračnih prostora (-).

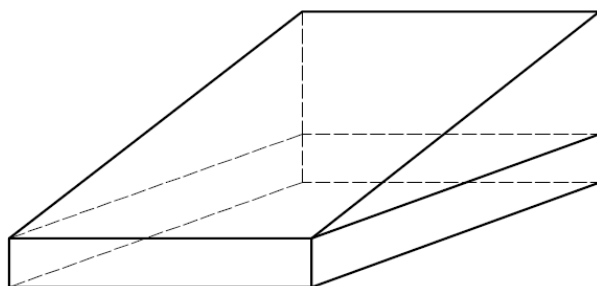
h_a i h_{r0} se računaju kao i u B.2

Dodatak C (normativan)**Proračun koeficijenta prolaska topline građevnih dijelova sa slojevima koji se sužavaju (slojevi u nagibu)****C.1 Općenito**

Kad je u građevnom dijelu sloj koji se sužava (npr. u slojevima vanjske toplinske izolacije krova, radi postizanja nagiba), ukupan toplinski otpor se mijenja u raznim točkama površine građevnog dijela.

Građevni dijelovi sa slojevima u nagibu prikazani su na Slici 3.C.1.

Napomena – za slojeve zraka koji se sužavaju vidjeti prilog B.



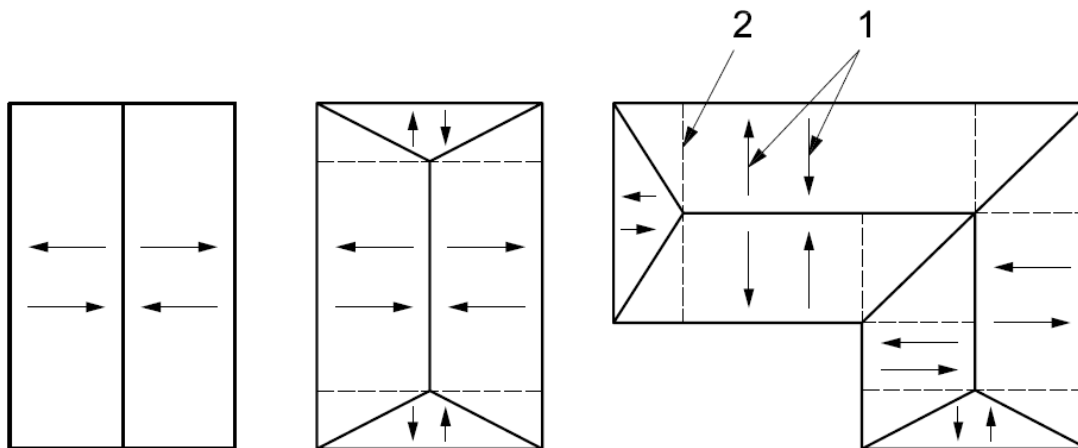
Slika 3.C.1 – Načelo sastavljanja građevnog dijela

Koeficijent prolaska topline određen je integralom po površini promatranog građevnog dijela.

Za svaki dio (npr. krova) različitog nagiba i/ili oblika, proračun će se provesti odvojeno, kako je prikazano na crtežu C.2.

Uz one u poglavlju 3, sljedeći simboli se koriste u ovom prilogu:

Simbol	Veličina	Jedinica
d_1	srednja debljina sloja u nagibu	m
d_2	najveća debljina sloja u nagibu	m
R_0	projektna vrijednost toplinskog otpora preostalih slojeva, uključujući plošne otpore prijelaza topline na obje strane	$\text{m}^2\text{K/W}$
R_1	prosječna vrijednost toplinskog otpora sloja u nagibu	$\text{m}^2\text{K/W}$
R_2	najveća vrijednost toplinskog otpora sloja u nagibu	$\text{m}^2\text{K/W}$
λ_t	projektna vrijednost koeficijenta toplinske provodljivosti sloja koji se sužava (s debljinom nula na kraju)	$\text{W}/(\text{mK})$



→ smjer nagiba (može biti u oba smjera)
 - - - označava alternativnu (dodatnu) podjelukako bi se omogućilo korištenje izraza (C.1) do (C.4)

Slika 3.C.2 Primjeri podjele krovova u zasebne dijelove

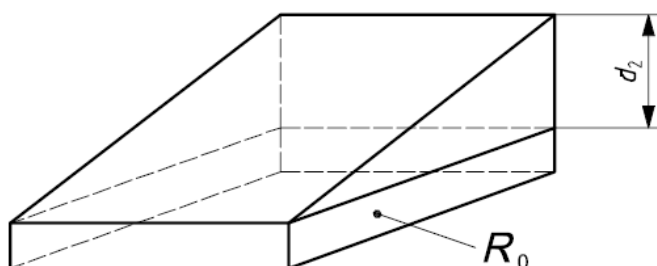
Koeficijent prolaska topline za uobičajene oblike izračunat će se pomoću jednadžbi (C.1) do (C.4) za krovove kojima nagib ne prelazi 5%.

Napomena: za veće nagibe mogu se koristiti numeričke metode

C.2 Proračun za uobičajene oblike

C.2.1 Pravokutna površina

$$U = \frac{1}{R_2} \ln \left(1 + \frac{R_2}{R_0} \right) \quad [\text{W/m}^2\text{K}] \quad \text{HRN EN (C.1)} \quad (\text{C.1})$$

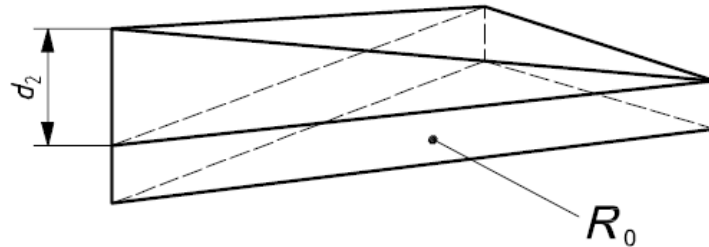


Slika 3.C.3 – Pravokutna površina

d_2 - najveća debljina sloja u nagibu (m);
 R_0 - projektna vrijednost toplinskog otpora preostalog dijela, uključujući otpore prijelaza topline s obje strane građevnog dijela ($\text{m}^2\text{K/W}$).

C.2.2. Trokutna površina, najdeblja na vrhu

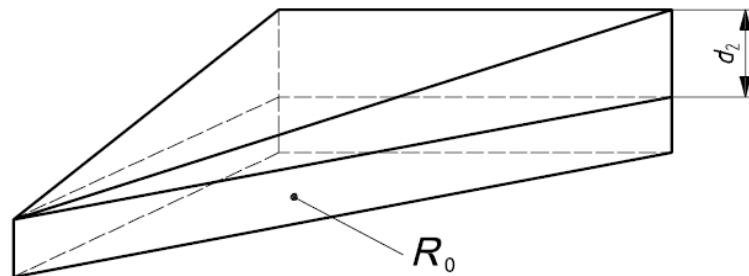
$$U = \frac{2}{R_2} \left[\left(1 + \frac{R_0}{R_2} \right) \ln \left(1 + \frac{R_2}{R_0} \right) - 1 \right] \quad [\text{W/m}^2\text{K}] \quad \text{HRN EN (C.2)} \quad (\text{C.2})$$



Slika 3.C.4 Trokutna površina, najdeblja na vrhu

C.2.3 Trokutna površina, najtanja na vrhu

$$U = \frac{2}{R_2} \left[1 - \frac{R_0}{R_2} \ln \left(1 + \frac{R_2}{R_0} \right) \right] \quad [\text{W/m}^2\text{K}] \quad \text{HRN EN (C.3)} \quad (\text{C.3})$$

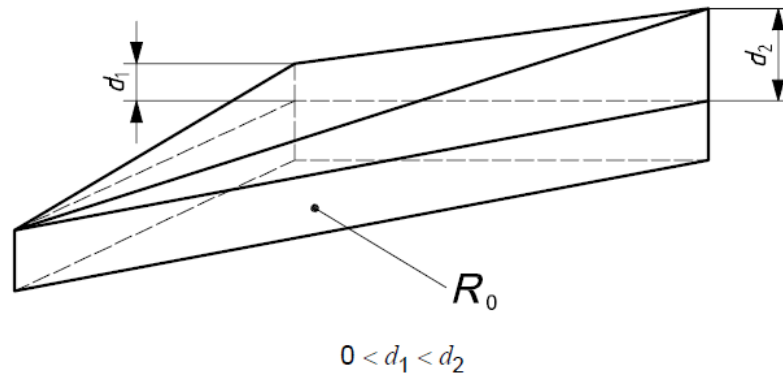


Slika 3.C.5 Trokutna površina, najtanja na vrhu

C.2.4 Trokutna površina, različite debljine na svakom tjemenu

$$U = 2 \left[\frac{R_0 R_1 \ln \left(1 + \frac{R_2}{R_0} \right) - R_0 R_2 \ln \left(1 + \frac{R_1}{R_0} \right) + R_1 R_2 \ln \left(\frac{R_0 + R_2}{R_0 + R_1} \right)}{R_1 R_2 (R_2 - R_1)} \right] [\text{W/m}^2\text{K}]$$

HRN EN (C.4) (C.4)



Slika 3.C.6 Trokutna površina, različite debljine na svakom tjemenu

d_1 - srednja debljina sloja u nagibu (m);

d_2 - najveća debljina sloja u nagibu (m);

R_0 - projektna vrijednost toplinskog otpora preostalog dijela, uključujući otpore prijelaza topline na obje površine građevnog dijela ($\text{m}^2\text{K}/\text{W}$).

C.3 Postupak proračuna

Proračun će se provesti kako slijedi:

- a) Izračunati R_0 kao ukupan toplinski otpor građevnog dijela bez uzimanja u obzir sloja koji se sužava, koristeći Jedn. (3.4), ako su svi slojevi toplinski homogeni, ili postupak u 3.5.2, ako su slojevi nehomogeni.
- b) Podijeliti po potrebi u zasebne dijelove površinu sa slojevima koji se sužavaju (vidjeti crtež C.2)
- c) Izračunati R_1 i R_2 za svaki sloj koji se sužava, koristeći

$$R_1 = \frac{d_1}{\lambda_1} \quad [\text{m}^2\text{K/W}] \quad \text{HRN EN (C.5)} \quad (\text{C.5})$$

$$R_2 = \frac{d_2}{\lambda_2} \quad [\text{m}^2\text{K/W}] \quad \text{HRN EN (C.6)} \quad (\text{C.6})$$

- d) Izračunati koeficijent prolaska topline za svaki pojedini dio u skladu s odgovarajućom jednačbom u C.2
- e) Izračunati ukupan koeficijent prolaska topline za cijelu ploštinu A koristeći

$$U = \frac{\sum U_i A_i}{\sum A_i} \quad [\text{W/m}^2\text{K}] \quad \text{HRN EN (C.7)} \quad (\text{C.7})$$

Ako se traži ukupan toplinski otpor građevnog dijela sa slojevima koji se sužavaju, tada je $R_T = 1/U$ $[\text{m}^2\text{K/W}]$ HRN EN (C.8) (C.8)

C.4 Koeficijent prolaska topline

Koeficijent prolaska topline dan je izrazom:

$$U = \frac{1}{R_T} \quad [\text{W/m}^2\text{K}] \quad \text{HRN EN (C.7)} \quad (\text{C.9})$$

Kad je potrebno, koeficijent prolaska topline će se ispraviti u skladu s dodatkom D. Ukoliko, međutim, ukupna ispravka iznosi manje od 3% od U , ispravke se ne moraju primjeniti.

U proračunu koeficijenta prolaska topline, U $[\text{W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})]$, kod podova na tlu i krovova u obzir se uzimaju samo slojevi koji su sa strane prostorije do sloja hidroizolacije. Iznimno, odredba se ne primjenjuje u slučaju sustava obrnutog krova na toplinsko-izolacijski sloj i na perimetarsku toplinsku izolaciju (vanjska toplinska izolacija dijela zgrade koji je u dodiru s tlom koja ne leži u podzemnoj vodi kada su oni od ekstrudiranog polistirena ili drugog odgovarajućeg vodoneupojnog materijala.

Za prozore i balkonska vrata proračun se vrši prema HRN EN ISO 10077-1:2002, s tim da se mogu koristiti izmjerene U vrijednosti okvira prema HRN EN 12412-2:2004 i ostakljenja prema HRN EN 674:2005, ili prema tehničkim specifikacijama za proizvode, odnosno mjerenjem prema HRN EN ISO 12567-1:2002;

Za potrebe energetskog certificiranja postojećih zgrada mogu se koristiti i pretpostavljene vrijednosti ugrađenih otvora dane Tablicom 3.C.10:

Tablica 3.C.10 (HRN U.J5.600; Priručnik za energetska certificiranje zgrada (UNDP, 2010. god.) Pretpostavljene vrijednosti koeficijenta prolaska ugrađenih otvora (W/m^2K)

VRSTA OTVORA/ Materijal	OKVIR		Vrsta ostakljenja						
			do 1970. god.		do 1987. god.		do 2006. god.	Od 2006. god.	
PROZORI			1 – struko ostakljenje	2x 1-struko ostakljenje (4 mm), 2 doprozornika $d=30$ cm bez brtvljenja.	2-struko obično ostakljenje bez brtvljenja. Razmak međuprostora zraka 6-8 mm; 8-10 mm; 10-16 mm;	3-struko obično ostakljenje bez brtvljenja (4/6-8/4/6-8/4 mm)	2-struko izolacijsko staklo (4/10-16/4 mm) i 2-strukim brtvljenjem	2-struko izolacijsko staklo (4/16/4 mm) s plinovitim punjenjem LowE premazom i 3-strukim brtvljenjem	3-struko izolacijsko staklo (4/16/4/16/4 mm) s plinovitim punjenjem LowE premazom i 3-strukim brtvljenjem
	d (cm)	U (W/m^2K)	5,7	5,7	3,4	2,3	2,4-2,1	1,1	0,7-0,5
Drveni okvir	5-7	2,9-2,4	5,2	3,6	3,1; 3,0; 2,9	2,6	2,2-2,0	1,6-1,1	1,1
Drveni okvir (krilo na krilo)	7	2,4	-	2,7	-	-	-	-	-
Drvo aluminij s poliuretanom 4,00 cm	11	0,5	-	-	-	-	-	1,3	0,9
Metalni okvir bez prekinutog toplinskog mosta	5	5,9	5,9	3,1	4,0	3,2	-	-	-
Metalni okvir s prekinutim toplinskim mostom	5	3,4	5,9	2,7	3,2	2,6	2,6	1,7	1,4
PVC okvir	5-8	2,2-2,0	-	-	-	-	-	1,4	1,0-0,8
	10	1,4							

Dodatak D(normativan)**Ispravci koeficijenta prolaska topline****D.1 Općenito**

Koeficijent prolaska topline izračunat pomoću postupaka opisanih u ovoj normi ispravit će se gdje je potrebno, da bi se uzelo u obzir utjecaje:

- zračnih šupljina u sloju izolacije;
- mehaničkih pričvrsnica koje prodiru kroz sloj toplinske izolacije;
- oborina na obrnutim krovovima

Napomena: Obrnuti krov je onaj kod kojeg je toplinsko izolacijski sloj iznad sloja hidroizolacije.

Ispravljen koeficijent prolaska topline U_c izračuna se dodavanjem korekcijskog člana ΔU :

$$U_c = U + \Delta U \quad [\text{W/m}^2\text{K}] \quad \text{HRN EN (D.1)} \quad (\text{D.1})$$

ΔU je određen izrazom

$$\Delta U = \Delta U_g + \Delta U_f + \Delta U_r \quad [\text{W/m}^2\text{K}] \quad \text{HRN EN (D.2)} \quad (\text{D.2})$$

pri čemu je:

- ΔU_g - ispravak za zračne šupljine ($\text{W/m}^2\text{K}$);
 ΔU_f - ispravak za mehaničke pričvrsnice ($\text{W/m}^2\text{K}$);
 ΔU_r - ispravak za obrnute krovove ($\text{W/m}^2\text{K}$).

D.2 Ispravak za zračne šupljine

Za potrebe ovog dodatka, pojam „zračne šupljine“ se općenito odnosi na prostore zraka u toplinskoj izolaciji, ili između toplinske izolacije i susjedne konstrukcije koja postoji na konstrukciji zgrade, ali nije prikazana u detaljima. Mogu biti podijeljene u dvije osnovne kategorije:

- praznine, između ploča ili rola toplinske izolacije, ili između toplinske izolacije i konstruktivnih građevnih dijelova, u smjeru kretanja toplinskog toka;
- šupljine, u toplinskoj izolaciji ili između toplinske izolacije i konstrukcije, okomito na smjer kretanja toplinskog toka;

Tablica 3.D.1 (HRN EN Tablica D.1) Ispravak za zračne šupljine, $\Delta U''$

Razina	Opis	$\Delta U''$ W/(m ² K)
0	Nema zračnih šupljina, ili se radi o zračnim šupljinama koje su prisutne, ali nemaju značajan utjecaj na vrijednost koeficijenta prolaska topline.	0,00
1	Zračne šupljine povezuju toplu i hladnu stranu toplinske izolacije, ali pri tome ne uzrokuju protok zraka između tople i hladne strane toplinske izolacije.	0,01
2	Zračne šupljine povezuju toplu i hladnu stranu toplinske izolacije, zajedno sa šupljinama rezultiraju slobodnim protokom zraka između tople i hladne strane toplinske izolacije.	0,04

Ovaj ispravak se provodi u skladu s jednadžbom (D.3):

$$\Delta U_g = \Delta U'' \left(\frac{R_l}{R_{T,h}} \right)^2 \quad [\text{W/m}^2\text{K}] \quad \text{HRN EN (D.3)} \quad (\text{D.3})$$

gdje je:

R_l - toplinski otpor sloja koji sadrži šupljine (m²K/W), prema točki 3.4.1;

$R_{T,h}$ - ukupan toplinski otpor građevnog dijela ignorirajući toplinska premošćivanja (m²K/W), prema točki 3.4.1;

D.3 Ispravak za mehaničke pričvrsnice

Utjecaj pričvrsnica može biti procijenjen proračunom u skladu s HRN ISO 10211 kako bi dobili točkasti koeficijent prolaska topline, χ kroz pričvrsnice. Ispravak koeficijenta prolaska topline je dan izrazom:

$$\Delta U_f = n_f \cdot \chi \quad [\text{W/m}^2\text{K}] \quad \text{HRN EN (D.4)} \quad (\text{D.4})$$

gdje je

n_f - broj pričvrsnica po kvadratnom metru (-).

D.3.2. Približan proračun

Ovaj podčlanak daje procjenu utjecaja pričvrsnica, koji može biti uzet ukoliko pričvrsnice nisu uzete u obzir nekom drugom metodom.

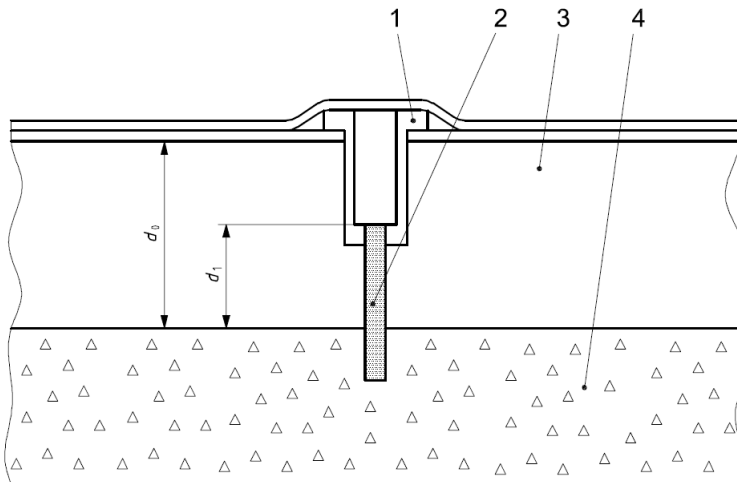
U slučaju kada kroz sloj toplinske izolacije prodiru pričvrsnice, kao u slučaju dijelova zida, pričvrsnice u ravnim krovovima ili kompozitnim sustavima panela, ispravak koeficijenta prolaska topline je dan izrazom:

$$\Delta U_f = \alpha \frac{\lambda_f A_f n_f}{d_0} \left(\frac{R_1}{R_{T,h}} \right)^2 \quad [\text{W/m}^2\text{K}] \quad \text{HRN EN (D.5)} \quad (\text{D.5})$$

gdje je vrijednost koeficijenta α dana:

$\alpha = 0,8$ ukoliko pričvrsnica prolazi kroz cijeli sloj toplinske izolacije

$\alpha = 0,8 \times \frac{d_1}{d_0}$ u slučaju upuštene pričvrsnice (slika ispod)



λ_f - toplinska provodljivost pričvrsnice (W/mK);

n_f - broj pričvrsnica po metru kvadratnom (-);

A_f - ploština presjeka jedne pričvrsnice (m²);

d_0 - debljina sloja toplinske izolacije kroz koju prolazi pričvrsnica (m);

d_1 - duljina spojnice koja prolazi kroz sloj toplinske izolacije (m);

$R_{T,h}$ - ukupni toplinski otpor građevnog dijela ne uzimajući u obzir utjecaj toplinskih ostova (m²K/W), prema 3.4.1.

D.4 Ispravak za obrnute krovove

Opisana procedura u ovom članku odnosi se samo na toplinsku izolaciju od ekstrudiranog polistirena (XPS-a).

D.4.1. Ispravak zbog protjecanja vode između sloja toplinske izolacije i hidroizolacijske membrane

Ispravak izračunate vrijednosti koeficijenta prolaska topline građevnog dijela krova, ΔU_r , uzevši u obzir dodatne gubitke topline uzrokovane protjecanjem oborinske vode kroz pukotine u toplinskoj izolaciji i dosezanjem do hidroizolacijske membrane dan je izrazom:

$$\Delta U_r = p \cdot f \cdot x \cdot \left(\frac{R_1}{R_T} \right)^2 \quad [\text{W/m}^2\text{K}] \quad \text{HRN EN (D.6)}$$

(D.6)

gdje je

- p - srednja vrijednost količine oborina tijekom razdoblja grijanja relevantna za određenu lokaciju (mm/dan), Tablica 3.D.2;
- f - faktor otjecanja kojim je dan udio veličine p koji se prošao do hidroizolacijske membrane (-);
- x - faktor povećanja toplinskog gubitka zbog kišnice (oborinske vode) koja se probila do hidroizolacijske membrane (W dan)/(m² K mm);
- R_1 - toplinski otpor sloja toplinske izolacije (XPS) iznad hidroizolacijske membrane (m²K/W);
- R_T - ukupni toplinski otpor građevnog dijela (m²K/W).

Tablica 3.D.2 Vrijednosti količine oborina p

Grad	p mm/dan
Dubrovnik	4,03
Osijek	1,69
Rijeka	4,53
Split Marjan	2,72
Šibenik	2,65
Varaždin	1,94
Zagreb Maksimir	2,00
Zavižan	5,86

Za slučaj toplinske izolacije u jednom sloju iznad hidroizolacijske membrane i mehaničkom zaštitom kao šljunak, $fx = 0,04$.

Niže vrijednosti se uzimaju u obzir za konstrukcije krovova koje imaju manje drenaže (odvodnju) kroz toplinsku izolaciju.

4. TOPLINSKI MOSTOVI

4.1 HRN EN ISO 14683:2007 Toplinski mostovi u graditeljstvu – Linearni koeficijent prolaska topline – Pojednostavnjena metoda i utvrđene vrijednosti

Oznake i jedinice:

A	– ploština (m ²);
b	– širina (m);
d	– debljina (m);
H_T	– koeficijent transmisivskog toplinskog gubitka (W/K);
H_D	– koeficijent direktnog transmisivskog toplinskog gubitka (W/K);
H_U	– koeficijent transmisivskog toplinskog gubitka kroz negrijane prostore (W/K);
l	– duljina (m);
R	– toplinski otpor (m ² K/W);
R_{se}	– vanjski plošni otpor prijelazu topline (m ² K/W);
R_{si}	– unutarnji plošni otpor prijelazu topline (m ² K/W);
U	– koeficijent prolaska topline (W/m ² K);
θ	– temperatura Celzijus (°C);
λ	– projektna vrijednost toplinske provodljivosti (W/mK).
Φ	– toplinski tok (W);
Ψ	– duljinski koeficijent prolaska topline (m ² K/W);
χ	– točkasti koeficijent prolaska topline (W/K);

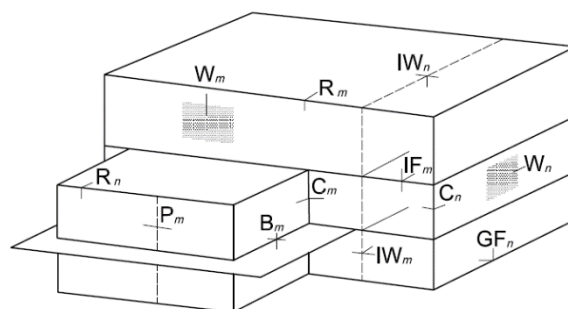
Popis indeksa:

e	- vanjski
i	- unutarnji
oi	- ukupni unutarnji

Pretpostavljene vrijednosti linearnog koeficijenta prolaska topline Ψ

Pretpostavljene vrijednosti Ψ za područje dvodimenzivskih toplinskih mostova koji se uobičajeno pojavljuju, navedene su u Tablici 4.2. Moraju se koristiti kad stvarna vrijednost Ψ nije poznata, te nisu dostupni detalji za određeni toplinski most, ili kada je gruba vrijednost Ψ dovoljna za traženu točnost procjene ukupnih toplinskih gubitaka.

Oznake B_m , C_m , C_n , GF_n , IF_n , IW_n , P_m , R_m , R_n , W_m , W_n odnose se na položaj toplinskog mosta u skladu sa Slikom 4.1:








Slika 4.1: Položaji toplinskih mostova

Tablica 4.4.1 (Izvor: HRN EN ISO 14683:2007, Tablica A.1)
Parametri korišteni za proračun Ψ u Tablici 4.2.

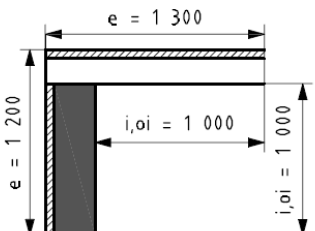
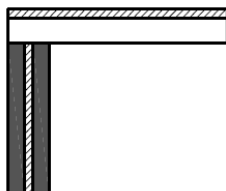
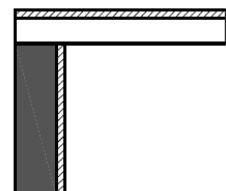
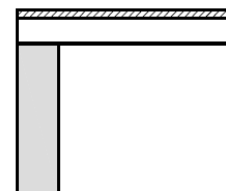
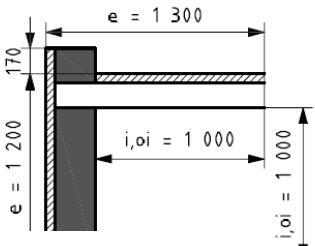
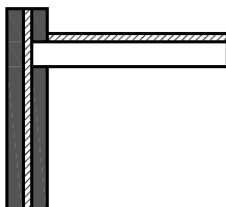
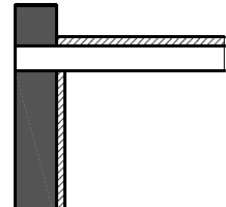
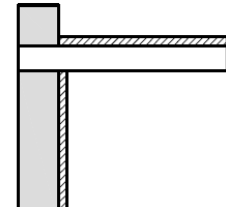
Za sve detalje:		$R_{Si} = 0,13 \text{ m}^2\text{K/W}$ $R_{Se} = 0,04 \text{ m}^2\text{K/W}$
Za vanjske zidove:		$d = 300 \text{ mm}$
Za unutarnje zidove:		$d = 200 \text{ mm}$
Za zidove s toplinskom izolacijom:	- koeficijent prolaska topline - toplinski otpor t-i sloja	$U = 0,343 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ $R = 2,5 \text{ m}^2\text{K/W}$
Za lagane zidove:		$U = 0,375 \text{ W}/\text{m}^2\text{K}$
Za podove na tlu:	- podna ploča - toplinska provodljivost tla - toplinski otpor t-i sloja	$d = 200 \text{ mm}$ $\lambda = 2,0 \text{ W}/(\text{mK})$ $R = 2,5 \text{ m}^2\text{K/W}$
Za međukatne konstrukcije:		$d = 200 \text{ mm}$ $\lambda = 2,0 \text{ W}/(\text{mK})$
Za krovove:	- koeficijent prolaska topline - toplinski otpor t-i sloja	$U = 0,365 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ $R = 2,5 \text{ (m}^2\text{K)}/\text{W}$
Za okvire u otvorima:		$d = 60 \text{ mm}$
Za stupove:		$d = 300 \text{ mm}$ $\lambda = 2,0 \text{ W}/(\text{mK})$

U Tablici 4.2 su dane pretpostavljene vrijednosti Ψ na osnovi dvodimenzijskih numeričkih proračuna uzevši u obzir parametre iz Tablice 4.1.

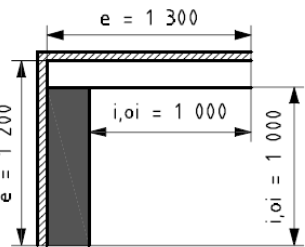
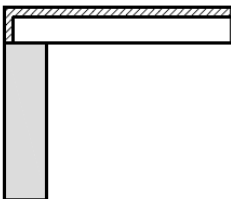
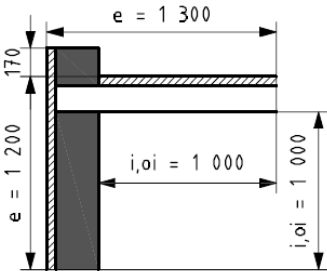
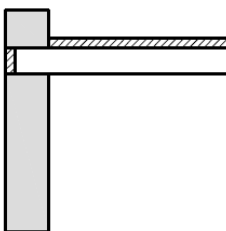
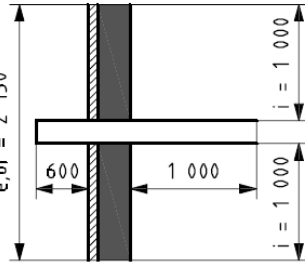
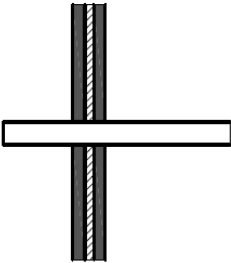
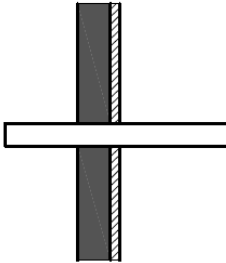
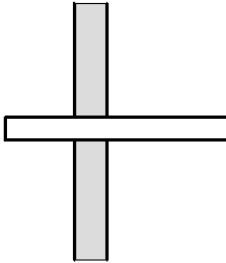
Tablica 4.2 (HRN EN ISO 14683:2007, A.2) Pretpostavljene vrijednosti linearnog koeficijenta prolaska topline Ψ

	Zid		Lagani zid (uključivo zid od lagane opeke i drvene okvirne zidne konstrukcije)		Izolacijski sloj
	Ploča/stup		Okvir otvora		

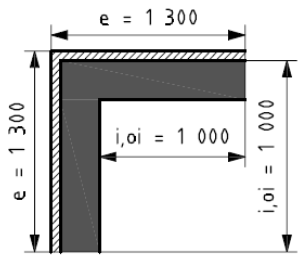
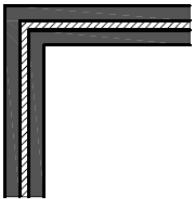
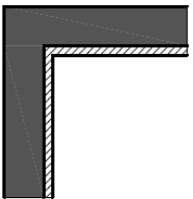
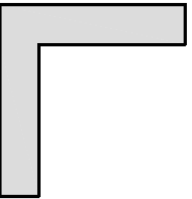
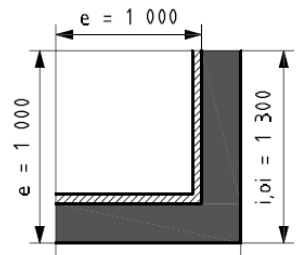
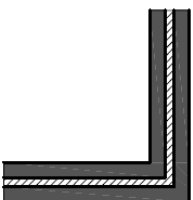
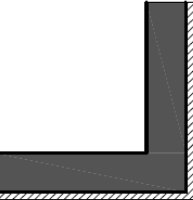
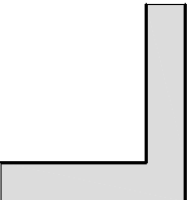
Krovovi

			
<p>R1</p> <p>$\Psi_e = 0,55$ $\Psi_{oi} = 0,75$ $\Psi_i = 0,75$</p>	<p>R2</p> <p>$\Psi_e = 0,50$ $\Psi_{oi} = 0,75$ $\Psi_i = 0,75$</p>	<p>R3</p> <p>$\Psi_e = 0,40$ $\Psi_{oi} = 0,75$ $\Psi_i = 0,75$</p>	<p>R4</p> <p>$\Psi_e = 0,40$ $\Psi_{oi} = 0,65$ $\Psi_i = 0,65$</p>
			
<p>R5</p> <p>$\Psi_e = 0,60$ $\Psi_{oi} = 0,80$ $\Psi_i = 0,80$</p>	<p>R6</p> <p>$\Psi_e = 0,50$ $\Psi_{oi} = 0,70$ $\Psi_i = 0,70$</p>	<p>R7</p> <p>$\Psi_e = 0,65$ $\Psi_{oi} = 0,85$ $\Psi_i = 0,85$</p>	<p>R8</p> <p>$\Psi_e = 0,45$ $\Psi_{oi} = 0,70$ $\Psi_i = 0,70$</p>

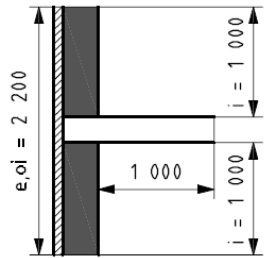
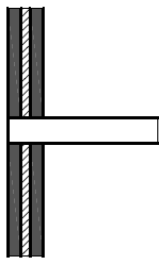
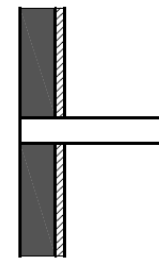
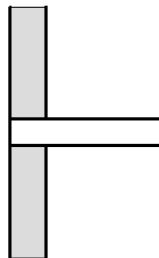
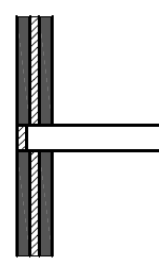
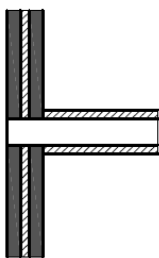
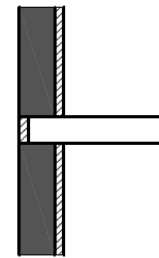
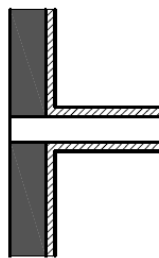
Krovovi-nastavak

 <p>R9</p> $\begin{aligned} \psi_e &= -0,05 \\ \psi_{oi} &= 0,15 \\ \psi_i &= 0,15 \end{aligned}$	 <p>R10</p> $\begin{aligned} \psi_e &= 0,00 \\ \psi_{oi} &= 0,20 \\ \psi_i &= 0,20 \end{aligned}$	 <p>R11</p> $\begin{aligned} \psi_e &= 0,05 \\ \psi_{oi} &= 0,25 \\ \psi_i &= 0,25 \end{aligned}$	 <p>R12</p> $\begin{aligned} \psi_e &= 0,15 \\ \psi_{oi} &= 0,40 \\ \psi_i &= 0,40 \end{aligned}$
<p>Balconies</p>			
 <p>B1</p> $\begin{aligned} \psi_e &= 0,95 \\ \psi_{oi} &= 0,95 \\ \psi_i &= 1,05 \end{aligned}$	 <p>B2</p> $\begin{aligned} \psi_e &= 0,95 \\ \psi_{oi} &= 0,95 \\ \psi_i &= 1,05 \end{aligned}$	 <p>B3</p> $\begin{aligned} \psi_e &= 0,90 \\ \psi_{oi} &= 0,90 \\ \psi_i &= 1,00 \end{aligned}$	 <p>B4</p> $\begin{aligned} \psi_e &= 0,70 \\ \psi_{oi} &= 0,70 \\ \psi_i &= 0,80 \end{aligned}$

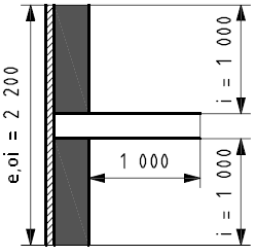
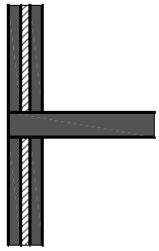
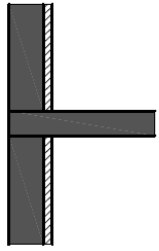
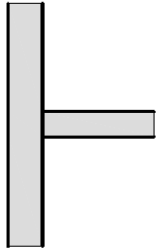
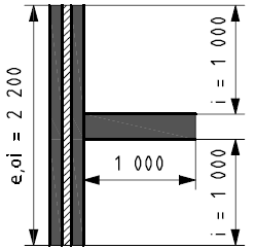
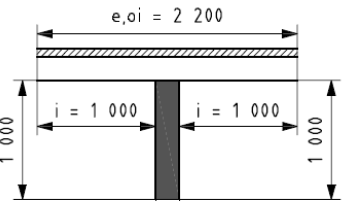
Krovovi-nastavak

Corners			
 <p>C1</p> <p>$\psi_e = -0,05$ $\psi_{oi} = 0,15$ $\psi_i = 0,15$</p>	 <p>C2</p> <p>$\psi_e = -0,10$ $\psi_{oi} = 0,10$ $\psi_i = 0,10$</p>	 <p>C3</p> <p>$\psi_e = -0,20$ $\psi_{oi} = 0,05$ $\psi_i = 0,05$</p>	 <p>C4</p> <p>$\psi_e = -0,15$ $\psi_{oi} = 0,10$ $\psi_i = 0,10$</p>
 <p>C5</p> <p>$\psi_e = 0,05$ $\psi_{oi} = -0,15$ $\psi_i = -0,15$</p>	 <p>C6</p> <p>$\psi_e = 0,15$ $\psi_{oi} = -0,10$ $\psi_i = -0,10$</p>	 <p>C7</p> <p>$\psi_e = 0,15$ $\psi_{oi} = -0,05$ $\psi_i = -0,05$</p>	 <p>C8</p> <p>$\psi_e = 0,10$ $\psi_{oi} = -0,10$ $\psi_i = -0,10$</p>

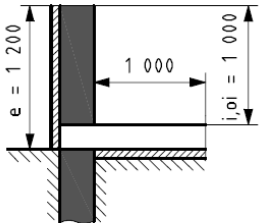
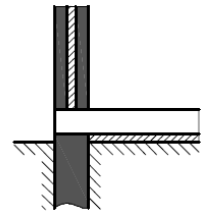
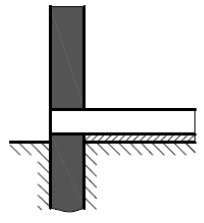
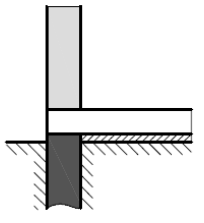
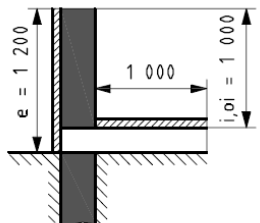
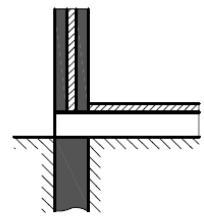
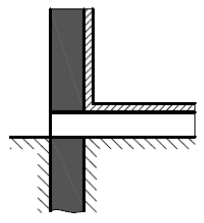
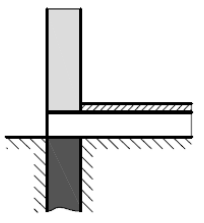
Međukatne konstrukcije

 <p>IF1</p> $\Psi_e = 0,00$ $\Psi_{oi} = 0,00$ $\Psi_i = 0,10$	 <p>IF2</p> $\Psi_e = 0,95$ $\Psi_{oi} = 0,95$ $\Psi_i = 1,05$	 <p>IF3</p> $\Psi_e = 0,90$ $\Psi_{oi} = 0,90$ $\Psi_i = 1,00$	 <p>IF4</p> $\Psi_e = 0,70$ $\Psi_{oi} = 0,70$ $\Psi_i = 0,80$
 <p>IF5</p> $\Psi_e = 0,60$ $\Psi_{oi} = 0,60$ $\Psi_i = 0,65$	 <p>IF6</p> $\Psi_e = 0,90$ $\Psi_{oi} = 0,90$ $\Psi_i = 1,00$	 <p>IF7</p> $\Psi_e = 0,70$ $\Psi_{oi} = 0,70$ $\Psi_i = 0,80$	 <p>IF8</p> $\Psi_e = 0,45$ $\Psi_{oi} = 0,45$ $\Psi_i = 0,60$

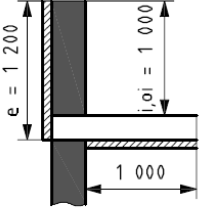
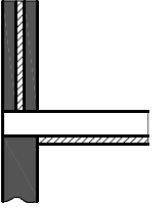
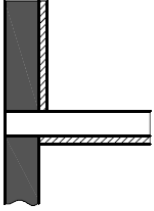
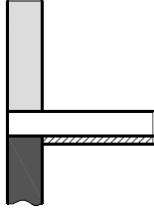
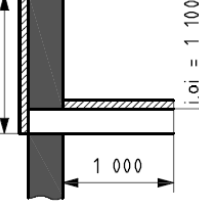
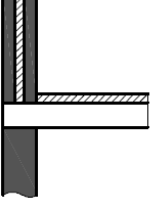
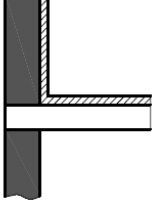
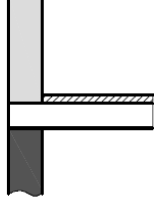
Unutarnji zidovi

 <p>IW1</p> <p>$\psi_e = 0,00$ $\psi_{oi} = 0,00$ $\psi_i = 0,10$</p>	 <p>IW2</p> <p>$\psi_e = 0,95$ $\psi_{oi} = 0,95$ $\psi_i = 1,05$</p>	 <p>IW3</p> <p>$\psi_e = 0,90$ $\psi_{oi} = 0,90$ $\psi_i = 1,00$</p>	 <p>IW4</p> <p>$\psi_e = 0,00$ $\psi_{oi} = 0,00$ $\psi_i = 0,20$</p>
 <p>IW5</p> <p>$\psi_e = 0,00$ $\psi_{oi} = 0,00$ $\psi_i = 0,10$</p>	 <p>IW6</p> <p>$\psi_e = 0,00$ $\psi_{oi} = 0,00$ $\psi_i = 0,10$</p>		

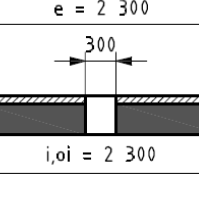


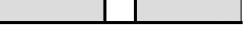
Podovi na tlu

 <p>GF1</p> $\begin{aligned} \psi_e &= 0,65 \\ \psi_{oi} &= 0,80 \\ \psi_i &= 0,80 \end{aligned}$	 <p>GF2</p> $\begin{aligned} \psi_e &= 0,60 \\ \psi_{oi} &= 0,75 \\ \psi_i &= 0,75 \end{aligned}$	 <p>GF3</p> $\begin{aligned} \psi_e &= 0,55 \\ \psi_{oi} &= 0,70 \\ \psi_i &= 0,70 \end{aligned}$	 <p>GF4</p> $\begin{aligned} \psi_e &= 0,50 \\ \psi_{oi} &= 0,65 \\ \psi_i &= 0,65 \end{aligned}$
 <p>GF5</p> $\begin{aligned} \psi_e &= 0,60 \\ \psi_{oi} &= 0,75 \\ \psi_i &= 0,75 \end{aligned}$	 <p>GF6</p> $\begin{aligned} \psi_e &= 0,45 \\ \psi_{oi} &= 0,60 \\ \psi_i &= 0,60 \end{aligned}$	 <p>GF7</p> $\begin{aligned} \psi_e &= -0,05 \\ \psi_{oi} &= 0,10 \\ \psi_i &= 0,10 \end{aligned}$	 <p>GF8</p> $\begin{aligned} \psi_e &= 0,05 \\ \psi_{oi} &= 0,20 \\ \psi_i &= 0,20 \end{aligned}$

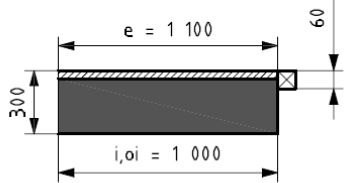
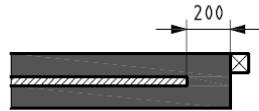
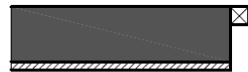

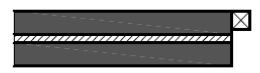
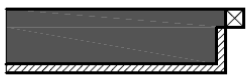
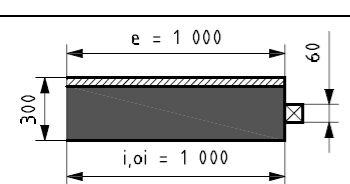
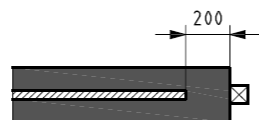
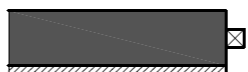
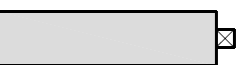


Uzdignuti podovi

 <p>GF9</p> $\begin{aligned} \Psi_e &= 0,75 \\ \Psi_{oi} &= 0,95 \\ \Psi_i &= 0,95 \end{aligned}$	 <p>GF10</p> $\begin{aligned} \Psi_e &= 0,65 \\ \Psi_{oi} &= 0,85 \\ \Psi_i &= 0,85 \end{aligned}$	 <p>GF11</p> $\begin{aligned} \Psi_e &= 0,55 \\ \Psi_{oi} &= 0,75 \\ \Psi_i &= 0,75 \end{aligned}$	 <p>GF12</p> $\begin{aligned} \Psi_e &= 0,50 \\ \Psi_{oi} &= 0,70 \\ \Psi_i &= 0,70 \end{aligned}$
 <p>GF13</p> $\begin{aligned} \Psi_e &= 0,60 \\ \Psi_{oi} &= 0,80 \\ \Psi_i &= 0,80 \end{aligned}$	 <p>GF14</p> $\begin{aligned} \Psi_e &= 0,45 \\ \Psi_{oi} &= 0,65 \\ \Psi_i &= 0,65 \end{aligned}$	 <p>GF15</p> $\begin{aligned} \Psi_e &= -0,10 \\ \Psi_{oi} &= 0,10 \\ \Psi_i &= 0,10 \end{aligned}$	 <p>GF16</p> $\begin{aligned} \Psi_e &= 0,00 \\ \Psi_{oi} &= 0,20 \\ \Psi_i &= 0,20 \end{aligned}$

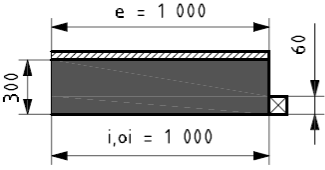
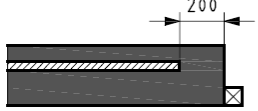
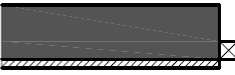

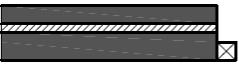
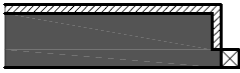
Stupovi

 <p>P1</p> $\begin{aligned} \Psi_e &= 1,30 \\ \Psi_{oi} &= 1,30 \\ \Psi_i &= 1,30 \end{aligned}$	 <p>P2</p> $\begin{aligned} \Psi_e &= 1,20 \\ \Psi_{oi} &= 1,20 \\ \Psi_i &= 1,20 \end{aligned}$	 <p>P3</p> $\begin{aligned} \Psi_e &= 1,15 \\ \Psi_{oi} &= 1,15 \\ \Psi_i &= 1,15 \end{aligned}$	 <p>P4</p> $\begin{aligned} \Psi_e &= 0,90 \\ \Psi_{oi} &= 0,90 \\ \Psi_i &= 0,90 \end{aligned}$
--	--	--	--

Prozori i vrata

 <p>W1</p> <p>$\Psi_e = 0,00$ $\Psi_{oi} = 0,00$ $\Psi_i = 0,00$</p>	 <p>W2</p> <p>$\Psi_e = 1,00$ $\Psi_{oi} = 1,00$ $\Psi_i = 1,00$</p>	 <p>W3</p> <p>$\Psi_e = 0,80$ $\Psi_{oi} = 0,80$ $\Psi_i = 0,80$</p>	 <p>W4</p> <p>$\Psi_e = 0,15$ $\Psi_{oi} = 0,15$ $\Psi_i = 0,15$</p>
 <p>W5</p> <p>$\Psi_e = 0,40$ $\Psi_{oi} = 0,40$ $\Psi_i = 0,40$</p>	 <p>W6</p> <p>$\Psi_e = 0,10$ $\Psi_{oi} = 0,10$ $\Psi_i = 0,10$</p>		
 <p>W7</p> <p>$\Psi_e = 0,45$ $\Psi_{oi} = 0,45$ $\Psi_i = 0,45$</p>	 <p>W8</p> <p>$\Psi_e = 1,00$ $\Psi_{oi} = 1,00$ $\Psi_i = 1,00$</p>	 <p>W9</p> <p>$\Psi_e = 0,60$ $\Psi_{oi} = 0,60$ $\Psi_i = 0,60$</p>	 <p>W10</p> <p>$\Psi_e = 0,10$ $\Psi_{oi} = 0,10$ $\Psi_i = 0,10$</p>
 <p>W11</p> <p>$\Psi_e = 0,00$ $\Psi_{oi} = 0,00$ $\Psi_i = 0,00$</p>	 <p>W12</p> <p>$\Psi_e = 0,10$ $\Psi_{oi} = 0,10$ $\Psi_i = 0,10$</p>		

Prozori i vrata - nastavak

 <p>W13</p> <p>$\Psi_e = 0,80$ $\Psi_{oi} = 0,80$ $\Psi_i = 0,80$</p>	 <p>W14</p> <p>$\Psi_e = 1,00$ $\Psi_{oi} = 1,00$ $\Psi_i = 1,00$</p>	 <p>W15</p> <p>$\Psi_e = 0,00$ $\Psi_{oi} = 0,00$ $\Psi_i = 0,00$</p>	 <p>W16</p> <p>$\Psi_e = 0,15$ $\Psi_{oi} = 0,15$ $\Psi_i = 0,15$</p>
 <p>W17</p> <p>$\Psi_e = 0,40$ $\Psi_{oi} = 0,40$ $\Psi_i = 0,40$</p>	 <p>W18</p> <p>$\Psi_e = 0,20$ $\Psi_{oi} = 0,20$ $\Psi_i = 0,20$</p>		

4.2 Toplinski mostovi – pojednostavnjena metoda – korekcija koeficijenta prolaska topline građevnih dijelova vanjske ovojnice zgrade

(Tekst preuzet iz Metodologije energetskog pregleda zgrada 2021, radi nedvosmislenosti tumačenja)

Toplinski mostovi se računaju u ovisnosti o tome radi li se o novoj zgradi, ili pak o postojećoj ili rekonstruiranoj.

- Toplinski mostovi kod **NOVIH ZGRADA**

Paušalni dodatak u iznosu od **0,05 W/(m²K)** se koristi kod novih i rekonstruiranih zgrada ukoliko su toplinski mostovi izrađeni u skladu s prijedlozima iz *Tehničkog propisa o racionalnoj uporabi energije i toplinskoj zaštiti u zgradama, prilog D*, te za to postoji dokumentacija kojom se prikazuju rješenja. U slučaju da rješenja toplinskih mostova nisu izrađena prema „*prilogu D*“, potrebno je provesti **izračun točkastih toplinskih mostova i barem jednostavni izračun toplinskih mostova (svi linijski toplinski mostovi), te priložiti dokaze o izračunu.**

- Toplinski mostovi kod **POSTOJEĆIH i REKONSTRUIRANIH** zgrada

Zbog jednostavnosti izračuna, **paušalni dodatak za toplinske mostove** u iznosu od **0,10 W/(m²K)** se dopušta koristiti za izračun energetskog svojstva **postojećih i rekonstruiranih zgrada osim u zgradama energetskog razreda A i A+ gdje je potrebno provesti izračun točkastih mostova i barem jednostavni izračun toplinskih mostova (svi linijski toplinski mostovi) uz prilaganje dokaza o izračunu.**

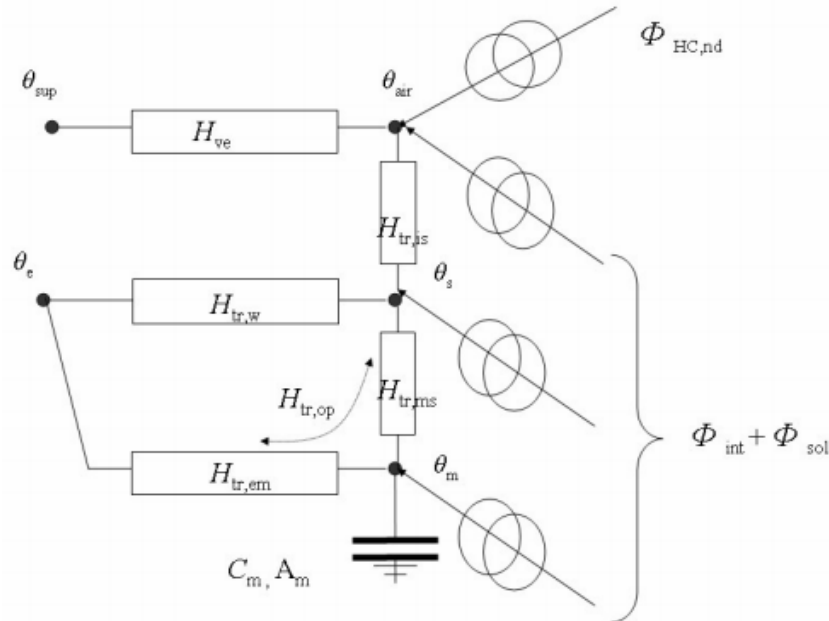
Paušalni dodatak u iznosu od **0,05 W/(m²K)** se dopušta koristiti isključivo ukoliko su toplinski mostovi izrađeni u skladu s prijedlozima iz *Tehničkog propisa o racionalnoj uporabi energije i toplinskoj zaštiti u zgradama, prilog D*, te za to postoji dokumentacija kojom se prikazuju rješenja.

Dopušta se izuzimanje paušalnih dodataka u slučaju provođenja **izračun točkastih toplinskih mostova i barem jednostavnog izračuna toplinskih mostova (svi linijski toplinski mostovi) ili detaljnijih metoda uz prilaganje dokaza o izračunu.**

PRILOG A

JEDNOSTAVNA SATNA METODA

A.1 Općenito



Slika A.1 5R1C model

Jednostavna satna metoda iterativnim postupkom, koji se sastoji od 3 koraka, proračunava satnu vrijednost potrebne toplinske snage za grijanje/hlađenje kako bi se unutar proračunske zone održala unutarnja proračunska temperatura u željenom intervalu. Prilikom proračuna satne vrijednosti potrebne toplinske snage za grijanje/hlađenje metoda se poziva na vrijednosti dobivene u prethodnom vremenskom koraku. Prilikom proračuna početnog sata vrijednost temperature $\vartheta_{m,ac,t-1}$ mora se pretpostaviti.

Ukoliko se proračun vrši za karakterističan dan u mjesecu iterativnim postupkom potrebno je odrediti stvarnu vrijednost temperature $\vartheta_{m,ac,t-1}$. Određivanje temperature $\vartheta_{m,ac,t-1}$ vrši se tako da se u sljedećem koraku pretpostavljena vrijednost $\vartheta_{m,ac,t-1}$ zamijeni vrijednosti temperature $\vartheta_{m,ac,t}$ na kraju dana. Postupak je potrebno ponavljati sve do trenutka kad se pretpostavljenja i temperatura dobivena u zadnjem satnu ne poklope u dvije decimale.

Ukoliko se proračun vrši za svaki sat u godini pretpostavljena vrijednost temperature $\vartheta_{m,ac,t-1}$ zamjeni se vrijednošću temperature $\vartheta_{m,ac,t}$ zadnjeg sata u godini.

Isti postupak kao i kod mjesečne metode primjenjuje se kako bi se odredili koeficijenti transmisijske i ventilacijske izmjene topline. Koeficijent transmisijske izmjene topline dijeli se na koeficijent transmisijske izmjene topline prozirnih površina ovojnice $H_{tr,w}$, na koji nije vezana masa zgrade, te na koeficijent transmisijske izmjene topline neprozirnih površina ovojnice $H_{tr,op}$, na koje je vezana ukupna masa zgrade.

Za slučaj kad dobavni zrak (i/ili infiltracija i provjetranje) ima karakteristike vanjskog zraka temperatura dobavnog zraka ϑ_{sup} je jednaka temperaturi vanjskog zraka ϑ_e . Također, kada se

jednostavna satna metoda koristi u kombinaciji s Algoritmom za proračun potrebne energije za primjenu ventilacijskih i klimatizacijskih sustava kod grijanja i hlađenja prostora zgrade $\vartheta_{sup} = \vartheta_e$.

Važno je napomenuti da se u dinamičkim metodama koje imaju period proračuna od jednog sata ili manje gubi koncept proračuna potrebne energije preko faktora iskorištenja toplinskih dobitaka/gubitaka. Navedeni faktor tipično se koristi u mjesečnoj metodi gdje isti za slučaj grijanja opisuje nemogućnost iskorištenja ukupnih toplinskih dobitaka (toplinski dobitci uzrokuju porast temperature iznad projektne te posljedično veće toplinske gubitke), dok za slučaj hlađenja opisuje nemogućnost iskorištenja ukupnih toplinskih dobitaka (toplinski gubici uzrokuju pad temperature ispod projektne). U dinamičkim metodama utjecaj toplinskih gubitaka se očituje u dinamici zagrijavanja/hlađenja zgrade koja rezultira ostvarenom temperaturom zraka u pojedinom trenutku (sat).

A.2 Koeficijent transmisije izmjene topline prozirnih površina ovojnice $H_{tr,w}$

Isti postupak kao i kod mjesečne metode primjenjuje se kako bi se odredio koeficijent transmisije izmjene topline prozirnih površina ovojnice samo što se u obzir uzimaju samo prozirni građevni elementi, kao što su prozori. Cijeli postupak je opisan u poglavlju 1.3.1.

A.3 Koeficijent transmisije izmjene topline neprozirnih površina ovojnice $H_{tr,op}$

Kako bi se odredio koeficijent transmisije izmjene topline neprozirnih površina ovojnice $H_{tr,op}$ primjenjuje se isti postupak kao i kod mjesečne metode, jedino što se u obzir uzimaju samo neprozirni građevni elementi. Cijeli postupak je opisan u poglavlju 1.3.1.

Napomena: U koeficijent transmisije izmjene topline neprozirnih površina ovojnice $H_{tr,op}$ ne uzima se u obzir koeficijent transmisije izmjene topline prema tlu. Toplinski gubici prema tlu proračunske zone uzimaju se u obzir na način da se jednadžba (A.9) umanjí za izračunati toplinski tok prema tlu prema jednadžbi (1.22). Toplinski tok prema tlu jednak je za svaki sat proračunskog mjeseca/karakterističnog dana u proračunskom mjesecu.

Koeficijent transmisije izmjene topline neprozirnih površina ovojnice $H_{tr,op}$ se razdvaja na dva dijela $H_{tr,ms}$ i $H_{tr,em}$ koji se određuju se na sljedeći način:

$$H_{tr,ms} = h_{ms} \cdot A_m \quad [\text{W/K}] \quad \text{HRN EN 13790 (64)} \quad (\text{A.1})$$

gdje su:

h_{ms} – koeficijent izmjene topline između čvorova m i s , fiksna vrijednost $h_{ms} = 9,1 \text{ W/m}^2\text{K}$
 A_m – efektivna površina mase zgrade (Tablica A.1)

Tablica A.1 Dinamički parametri

Klasa zgrade	A_m m ²
Vrlo lagana	2,5 x A_f
Lagana	2,5 x A_f
Srednje teška	2,5 x A_f
Teška	3 x A_f
Masivna gradnja	3,5 x A_f

$$H_{tr,em} = 1/(1/H_{tr,op} - 1/H_{tr,ms}) \quad [W/K] \quad \text{HRN EN 13790 (63)} \quad (\text{A.2})$$

A.4 Koeficijent ventilacijske izmjene topline H_{ve}

Isti postupak kao i kod mjesečne metode primjenjuje se kako bi se odredio koeficijent ventilacijske izmjene topline. Cijeli postupak je opisan u poglavlju 1.3.2.

Kod sustava s mehaničkom ventilacijom, za izračun H_{ve} potrebno je iterativno odrediti ulaznu veličinu $Q_{ve,mech}$ pošto su izlazne veličine iz ovog Algoritma ulazne u Algoritam za ventilaciju i klimatizaciju.

A.5 Određivanje ostalih koeficijenata izmjene topline

$$H_{tr,is} = h_{is} \cdot A_{tot} \quad [W/K] \quad \text{HRN EN 13790 (9)} \quad (\text{A.3})$$

gdje su:

h_{is} – koeficijent izmjene topline između čvorova *air* i *s*, fiksna vrijednost $h_{is} = 3,45 W/m^2K$

A_{tot} – površina svih ploština koje okružuju proračunsku zonu (m²)

$$A_{tot} = A_{at} \cdot A_f \quad [m^2] \quad (\text{A.4})$$

A_{at} – omjer površina svih ploština koje okružuju proračunsku zonu i površine poda ($A_{at}=4,5$)

A_f – tlocrtna površina poda proračunske zone (m²)

$$H_{tr,1} = 1/(1/H_{ve} + 1/H_{tr,is}) \quad [W/K] \quad \text{HRN EN 13790 (C.6)} \quad (\text{A.5})$$

$$H_{tr,2} = H_{tr,1} + H_{tr,w} \quad [W/K] \quad \text{HRN EN 13790 (C.7)} \quad (\text{A.6})$$

$$H_{tr,3} = 1/(1/H_{tr,2} + 1/H_{tr,ms}) \quad [W/K] \quad \text{HRN EN 13790 (C.8)} \quad (\text{A.7})$$

A.6 Određivanje unutarnjih toplinskih dobitaka ϕ_{int}

Isti postupak kao i kod mjesečne metode primjenjuje se kako bi se odredili unutarnji toplinski dobitci. Cijeli postupak je opisan u poglavlju 1.3.3.1.

A.7 Određivanje toplinskih dobitaka od Sunčeva zračenja ϕ_{sol}

Isti postupak kao i kod mjesečne metode primjenjuje se kako bi se odredili toplinski dobitci od Sunčeva zračenja. Cijeli postupak je opisan u poglavlju 1.3.3.2.

A.8 Raspodjela toplinskih dobitaka

$$\phi_{ia} = 0,5 \cdot \phi_{int} \quad [W] \quad \text{HRN EN 13790 (C.1)} \quad (\text{A.8})$$

$$\phi_m = A_m/A_{tot} \cdot (0,5 \cdot \phi_{int} + \phi_{sol}) \quad [W] \quad \text{HRN EN 13790 (C.2)} \quad (\text{A.9})$$

$$\phi_{st} = (1 - A_m/A_{tot} - H_{tr,w}/(9,1 \cdot A_{tot})) \cdot (0,5 \cdot \phi_{int} + \phi_{sol}) \quad [W] \quad \text{HRN EN 13790 (C.3)} \quad (\text{A.10})$$

A.9 Određivanje efektivnog toplinskog kapaciteta C_m

Isti postupak kao i kod mjesečne metode primjenjuje se kako bi se odredio efektivni toplinski kapacitet. Cijeli postupak je opisan u poglavlju 1.3.4.

A.10 Postupak proračuna

1. Korak: Provjera ukoliko postoji potreba za grijanje/hlađenje

$$\phi_{HC,nd} = \phi_{HC,nd,0} = 0$$

$\phi_{HC,nd}$ – snaga grijanja/hlađenja (W)

$$\phi_{m,tot} = \phi_m + H_{tr,em} \cdot \vartheta_e + H_{tr,3} \cdot [\phi_{st} + H_{tr,w} \cdot \vartheta_e + H_{tr,1} \cdot (\frac{\phi_{ia} + \phi_{HC,nd}}{H_{ve}} + \vartheta_{sup})] / H_{tr,2} \quad [W] \quad \text{HRN EN 13790 (C.5)} \quad (\text{A.11})$$

$$\vartheta_{m,t} = [\vartheta_{m,ac,t-1} \cdot (\frac{C_m}{3600} - 0,5 \cdot (H_{tr,3} + H_{tr,em})) + \phi_{m,tot}] / [\frac{C_m}{3600} + 0,5 \cdot (H_{tr,3} + H_{tr,em})] \quad [^{\circ}C] \quad \text{HRN EN 13790 (C.4)} \quad (\text{A.12})$$

$\vartheta_{m,ac,t-1}$ – vrijednost temperature $\vartheta_{m,t}$ iz prethodnog vremenskog intervala ($^{\circ}C$)

$$\vartheta_m = (\vartheta_{m,t} + \vartheta_{m,ac,t-1})/2 \quad [^{\circ}C] \quad \text{HRN EN 13790 (C.9)} \quad (\text{A.13})$$

$$\vartheta_s = [H_{tr,ms} \cdot \vartheta_m + \phi_{st} + H_{tr,w} \cdot \vartheta_e + H_{tr,1} \cdot (\vartheta_{sup} + \frac{\phi_{ia} + \phi_{HC,nd}}{H_{ve}})] / [H_{tr,ms} + H_{tr,w} + H_{tr,1}] \quad [^{\circ}C] \quad \text{HRN EN 13790 (C.10)} \quad (\text{A.14})$$

$$\vartheta_{air} = (H_{tr,is} \cdot \vartheta_s + H_{ve} \cdot \vartheta_{sup} + \phi_{ia} + \phi_{HC,nd}) / (H_{tr,is} + H_{ve}) \quad [^{\circ}C] \quad \text{HRN EN 13790 (C.11)} \quad (\text{A.15})$$

ϑ_{air} – proračunski određena temperatura zraka unutar proračunske zone ($^{\circ}C$)

$$\vartheta_{air,0} = \vartheta_{air} \quad [^{\circ}C] \quad (\text{A.16})$$

$\vartheta_{air,0}$ – proračunski određena temperatura zraka unutar proračunske zone za slučaj kad sustav grijanja/hlađenja ne radi ($^{\circ}C$)

Ako je $\vartheta_{int,H,set} \leq \vartheta_{air,0} \leq \vartheta_{int,C,set}$ ne postoji potreba za grijanje/hlađenje te vrijedi:

$$\Phi_{HC,nd,ac} = \Phi_{HC,nd,0} = 0 \quad [W] \quad (A.17)$$

$$\vartheta_{air,ac} = \vartheta_{air,0} \quad [^{\circ}C] \quad (A.18)$$

$$\vartheta_{m,ac,t} = \vartheta_{m,t} \quad [^{\circ}C] \quad (A.19)$$

Ukoliko je prethodni uvjet zadovoljen daljnji proračuni nisu potrebni. Ukoliko prethodni uvjet nije zadovoljen, potrebno je primijeniti korake 2 i 3.

2. Korak: Određivanje stvarne potrebe za grijanje/hlađenje

Ako je $\vartheta_{int,H,set} > \vartheta_{air,0}$ uzima se $\phi_{HC,nd} = \phi_{HC,nd,10} = 10 \cdot A_f$ te $\vartheta_{air,set} = \vartheta_{int,H,set}$.

Ako je $\vartheta_{int,C,set} < \vartheta_{air,0}$ uzima se $\phi_{HC,nd} = \phi_{HC,nd,10} = -10 \cdot A_f$ te $\vartheta_{air,set} = \vartheta_{int,C,set}$.

Nakon određivanja ulazne snage grijanja/hlađenja potrebno je primijeniti izraze (A.11) do (A.15). Proračunski određena temperature zraka unutar proračunske zone koja odgovara snazi grijanja/hlađenja od $\pm 10 \cdot A_f$ W (A.20).

$$\vartheta_{air,10} = \vartheta_{air} \quad [^{\circ}C] \quad (A.20)$$

Zbog pretpostavke linearnog odnosa potrebne snage za grijanje/hlađenje i temperature zraka unutar proračunske zone pomoću izraza (E.21) određuje se potrebna snaga za grijanje/hlađenje.

$$\Phi_{HC,nd,un} = \Phi_{HC,nd,10} \cdot \frac{(\vartheta_{air,set} - \vartheta_{air,0})}{(\vartheta_{air,10} - \vartheta_{air,0})} \quad [W] \quad \text{HRN EN 13790 (C.13)} \quad (A.21)$$

3. Korak: Provjera dostupnosti potrebne snage za grijanje/hlađenje

Ako je $-P_{C,max} < \Phi_{HC,nd,un} < P_{H,max}$ uzima se $\phi_{HC,nd} = \Phi_{HC,nd,un}$.

Ako je $\Phi_{HC,nd,un} > P_{H,max}$ uzima se $\phi_{HC,nd} = P_{H,max}$.

Ako je $-\phi_{C,max} > \Phi_{HC,nd,un}$ uzima se $\phi_{HC,nd} = -P_{C,max}$.

$P_{H,max}$ – raspoloživa snaga grijanja (W)

$P_{C,max}$ – raspoloživa snaga hlađenja (W)

Nakon određivanja nove ulazne snage grijanja/hlađenja potrebno je primijeniti izraze (A.11) do (A.15).

$$\vartheta_{air,ac} = \vartheta_{air} \quad (A.22)$$

$\vartheta_{air,ac}$ – proračunski određena temperatura zraka unutar proračunske zone za slučaj proračunski određene potrebne snage grijanja/hlađenja ($^{\circ}C$)

$$\vartheta_{m,ac,t} = \vartheta_{m,t} \quad (A.23)$$

A.11 Određivanje potrebne toplinske energije za grijanje/hlađenje (kontinuirani i nekontinuirani rad)

Proračun za karakterističan dan

Dnevno (integracija za period kada sustav radi):

$$Q_{HC,nd,day} = \frac{1}{1000} \sum_{i=1}^{24} \Phi_{HC,nd,i} \cdot t \quad [\text{kWh}] \quad (\text{A.24})$$

$\Phi_{HC,nd,i}$ - potrebna snaga za grijanje/hlađenje u periodima kada sustav radi (W)

$Q_{HC,nd,day}$ - dnevna potrebna toplinska energija za grijanje/hlađenje (kWh)

t - korak proračuna, $t = 1$ h

Napomena 1: U periodu kada sustav ne radi, u proračunu (A.13 do A.23) treba računati sa $\Phi_{HC,nd,i} = 0$.

Napomena 2: Posebno se zbrajaju pozitivne vrijednosti ($Q_{H,nd,day}$), a posebno negativne vrijednosti ($Q_{C,nd,day}$)

Napomena 3: U sve daljnje proračuna uzima se apsolutna vrijednost potrebne snage, odnosno toplinske energije za hlađenje ($Q_{C,nd,day}$)

Mjesečno (integracija kroz cijeli mjesec):

$$Q_{HC,nd,m} = \sum_i Q_{HC,nd,day,i} \cdot d_{use,tj} / 7 \cdot L_{HC,m,i} / d_i \quad [\text{kWh}] \quad (\text{A.25})$$

$d_{use,tj}$ – broj dana rada sustava u tjednu (d/tj);

d_i – ukupan broj dana u mjesecu (d).

$L_{HC,m,i}$ – broj dana kad ima potrebe za grijanjem/hlađenjem u pojedinom mjesecu (d/mj),
određen prema 1.3.6 i 2.5.

Godišnje (integracija kroz cijelu godinu):

$$Q_{HC,nd,a} = \sum_i Q_{HC,nd,m,i} \quad [\text{kWh/a}] \quad (\text{A.26a})$$

Proračun za sve sate u godini

Ukoliko se proračun radi za 8760 sati mjesečna potrebne energija za grijanje/hlađenje računa se prema:

$$Q_{HC,nd,m} = \frac{1}{1000} \sum_{i=A}^B \Phi_{HC,nd,i} \cdot t \quad [\text{kWh}] \quad (\text{A.26b})$$

gdje je:

t - korak proračuna, $t = 1$ h;

A – početni sat mjeseca (Tablica A.2);

B – završni sat mjeseca (Tablica A.2).

Tablica A.2 Početni i završni sat mjeseca

Mjesec	A	B
Siječanj	1	744
Veljača	745	1416
Ožujak	1417	2160
Travanj	2161	2880
Svibanj	2881	3624
Lipanj	3625	4344
Srpanj	4345	5088
Kolovoz	5089	5832
Rujan	5833	6552
Listopad	6553	7296
Studeni	7297	8016
Prosinac	8017	8760

Napomena 1: U periodu kada sustav ne radi, u proračunu (A.13 do A.23) treba računati sa $\Phi_{HC,ndi} = 0$. Prekid rada tokom vikenda/nedelje uzima se u obzir na način da u proračun (A.13 do A.23) za svaki 6. i 7./7. dana računa sa $\Phi_{HC,ndi} = 0$.

Napomena 2: Posebno se zbrajaju pozitivne vrijednosti ($Q_{H,nd,day}$), a posebno negativne vrijednosti ($Q_{C,nd,day}$)

Napomena 3: U sve daljnje proračuna uzima se apsolutna vrijednost potrebne snage, odnosno toplinske energije za hlađenje ($Q_{C,nd,day}$)

Kod proračuna za sve sate u godini broj dana grijanja/hlađenja u pojedinom mjesecu se može odrediti prema (vrijednost se može zaokružiti na cijeli broj):

$$L_{HC,m} = f_{HC,m} \cdot d_{m,i} \quad [\text{kWh}] \quad (\text{A.26c})$$

gdje je:

$$f_{H,m} = \frac{Q_{H,nd,m}}{Q_{H,nd,m} + Q_{C,nd,m}} \quad [\text{kWh}] \quad \text{HRN EN 13790 (11)} \quad (\text{A.26d})$$

$$f_{C,m} = \frac{Q_{C,nd,m}}{Q_{H,nd,m} + Q_{C,nd,m}} \quad [\text{kWh}] \quad \text{HRN EN 13790 (14)} \quad (\text{A.26e})$$

Napomena: Ako je prosječna potrebna snaga za grijanje u pojedinom mjesecu manja od 1 W/m^2 uzima se $f_{H,m} = 0$ (prema HRN EN 13790). U tom slučaju i $Q_{H,nd,m} = 0$.

Napomena: Ako je prosječna potrebna snaga za hlađenje (apsolutna vrijednost) u pojedinom mjesecu manja od 1 W/m^2 uzima se $f_{C,m} = 0$ (prema HRN EN 13790). U tom slučaju i $Q_{C,nd,m} = 0$.

A.12 Određivanje faktora iskorištenja $\eta_{H,gn}$ i $\eta_{C,ls}$

Proračun za karakterističan dan

Integracija u periodu kada sustav radi

$$Q_{int,day} = \frac{1}{1000} \sum_{i=1}^{24} \Phi_{int,i} \quad [\text{kWh}] \quad (\text{A.27})$$

$Q_{int,day}$ - dnevni toplinski dobitak od unutarnjih izvora topline (kWh)

$$Q_{sol,day} = \frac{1}{1000} \sum_{i=1}^{24} \Phi_{sol,i} \quad [\text{kWh}] \quad (\text{A.28})$$

$Q_{sol,day}$ - dnevni toplinski dobitak od Sunčeva zračenja (kWh)

$$Q_{ve,day} = \frac{1}{1000} \sum_{i=1}^{24} \left(H_{ve,inf,i} + H_{ve,win,i} + 0,34 \cdot V_{mech,sup} \right) \cdot (\mathcal{G}_{int,set} - \mathcal{G}_e) \quad [\text{kWh}] \quad (\text{A.29})$$

$Q_{ve,day}$ - dnevno izmjenjena toplinska energija ventilacijom (kWh)

$V_{mech,sup}$ - volumni protok vanjskog zraka mehaničkom ventilacijom (m^3/h)

$$Q_{tr,day} = \frac{1}{1000} \sum_{i=1}^{24} \left[(H_{tr,w,i} + H_{tr,op,i}) \cdot (\mathcal{G}_{air,ac,i} - \mathcal{G}_{sup,i}) + \Phi_m \right] \quad [\text{kWh}] \quad (\text{A.30})$$

$Q_{tr,day}$ - dnevno izmjenjena toplinska energija transmisijom (kWh)

Φ_m - toplinski tok izmjene topline s tlom za proračunski mjesec (W)

$$y_{H,day} = \frac{Q_{int,day} + Q_{sol,day}}{Q_{tr,day} + Q_{ve,day}} \quad [-] \quad (\text{A.31})$$

$y_{H,day}$ - omjer toplinskih dobitaka i ukupne izmjenjenije topline transmisijom i ventilacijom u danu

Dobivenim omjerom ulazi se u proračune opisane u poglavlju 1.3.4 (za određivanje dnevnog odnosno mjesečnog faktora iskorištenja toplinskih dobitaka $\eta_{H,gn}$), odnosno u poglavlje 2.3 (za određivanje dnevnog odnosno mjesečnog faktora iskorištenja toplinskih gubitaka $\eta_{C,ls}$).

Kod proračuna toplinskih gubitaka sustava prema pripadajućim Algoritmima koristi se mjesečne vrijednosti navedenih veličina (omjer y_H ostaje isti).

Proračun za sve sate u godini

$$Q_{\text{int},m} = \frac{1}{1000} \sum_{i=A}^B \Phi_{\text{int},i} \quad [\text{kWh}] \quad (\text{A.32})$$

$Q_{\text{int},m}$ - mjesečni toplinski dobitak od unutarnjih izvora topline (kWh)

$$Q_{\text{sol},m} = \frac{1}{1000} \sum_{i=A}^B \Phi_{\text{sol},i} \quad [\text{kWh}] \quad (\text{A.33})$$

$Q_{\text{sol},m}$ - mjesečni toplinski dobitak od Sunčeva zračenja (kWh)

$$Q_{\text{ve},m} = \frac{1}{1000} \sum_{i=A}^B (H_{\text{ve,inf},i} + H_{\text{ve,win},i} + 0,34 \cdot V_{\text{mech,sup}}) \cdot (\vartheta_{\text{int,set}} - \vartheta_e) \quad [\text{kWh}] \quad (\text{A.34})$$

$Q_{\text{ve},m}$ - mjesečno izmjenjena toplinska energija ventilacijom (kWh)

$V_{\text{mech,sup}}$ - volumni protok vanjskog zraka mehaničkom ventilacijom (m^3/h)

$$Q_{\text{tr},m} = \frac{1}{1000} \sum_{i=A}^B [(H_{\text{tr,w},i} + H_{\text{tr,op},i}) \cdot (\vartheta_{\text{int,set}} - \vartheta_e) + \Phi_m] \quad [\text{kWh}] \quad (\text{A.35})$$

$Q_{\text{tr},m}$ - mjesečno izmjenjena toplinska energija transmisijom (kWh)

Φ_m - toplinski tok izmjene topline s tlom za proračunski mjesec (W)

$$y_{H,m} = \frac{Q_{\text{int},m} + Q_{\text{sol},m}}{Q_{\text{tr},m} + Q_{\text{ve},m}} \quad [-] \quad (\text{A.36})$$

$y_{H,m}$ - omjer toplinskih dobitaka i ukupne izmjenjenje topline transmisijom i ventilacijom u promatranom mjesecu

Dobivenim omjerom ulazi se u proračune opisane u poglavlju 1.3.4 (za određivanje mjesečnog faktora iskorištenja toplinskih dobitaka $\eta_{H,gn}$), odnosno u poglavlje 2.3 (za određivanje mjesečnog faktora iskorištenja toplinskih gubitaka $\eta_{C,ls}$).

Kod proračuna iskorištenja iskoristivih toplinskih gubitaka prethodni omjer se računa prema:

$$y_{H,m} = \frac{Q_{\text{int},m} + Q_{\text{sol},m} + \sum Q_{\text{rbl},m}}{Q_{\text{tr},m} + Q_{\text{ve},m}} \quad [-] \quad (\text{A.37})$$

$\sum Q_{\text{rbl},m}$ – ukupni zbroj iskoristivih toplinskih dobitaka svih podsustava u pojedinom mjesecu (vidi jedn. (1.4) Algoritama za određivanje energijskih zahtjeva i učinkovitosti termotehničkih sustava u zgradama - Sustavi grijanja prostora i pripreme potrošne tople vode) [kWh]