

KLIMATIZACIJA

Tema: - PRORAČUN TOPLINSKOG OPTEREĆENJA

Doc.dr.sc. Igor BALEN

Potrošnja energije za grijanje/hlađenje

Kolika je potrošnja energije za grijanje/hlađenje zgrade?

Na odgovor utječe sljedeće:

- koliko je energije raspoloživo
- kvaliteta života
- okolišnji/vremenski uvjeti
- oblik, konstrukcija, veličina zgrade
- toplinski dobici, povrat topline
- broj osoba koji borave u zgradi
- vrijeme boravka u zgradi
- ponašanje/navike osoba koje borave u zgradi
- oprema i uređaji koji se koriste
- kriteriji toplinske ugodnosti

Toplinsko opterećenje – osnovna terminologija

PROSTOR – volumen ili lokacija bez pregrada ili pregrađena prostorija ili više njih.

PROSTORIJA – zatvoren ili pregrađen prostor za koji se obično određuje zasebno opterećenje.

ZONA – prostor, nekoliko prostorija ili jedinica prostora koji imaju jednolika opterećenja ili slične pogonske uvjete (može, ali ne mora biti zatvoren prostor ili se može sastojati od više razdvojenih prostorija) → podjela na toplinske zone (svaka zona ima svoj sustav regulacije).

TOPLINSKO OPTEREĆENJE – količina topline koja se mora odvoditi od hladnog prostora da bi se održala konstantna temperatura i prihvatljiva relativna vlažnost; obično se javlja ljeti, ali se može pojaviti i u drugim godišnjim dobima u prostorima s velikim toplinskim dobitcima.

Toplinsko opterećenje – osnovna terminologija

TOPLINSKI DOBICI PROSTORA – količina topline koja ulazi u hlađeni prostor iz vanjskih izvora ili se predaje prostoru od unutarnjih izvora topline u promatranom vremenskom intervalu.

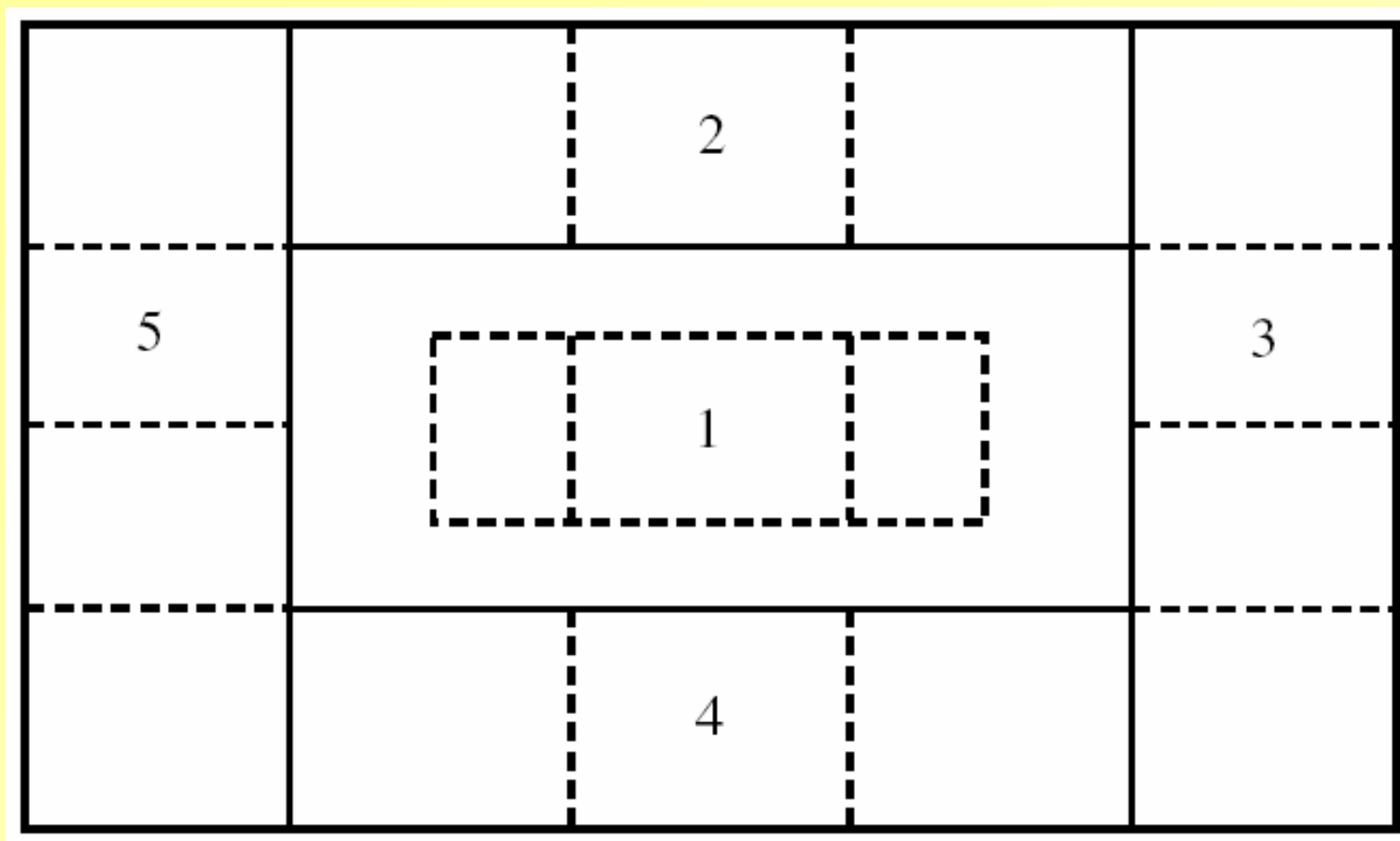
OSJETNI DOBICI – direktno se predaju hlađenom prostoru provođenjem, konvekcijom i/ili zračenjem; utječu na temperaturu suhog termometra.

LATENTNI DOBICI – javljaju se kada se vlaga unosi u prostor, utječu na temperaturu vlažnog termometra.

KOLIČINA ODVEDENE TOPLINE – količina topline koja se odvodi od hlađenog prostora klimatizacijskim sustavom (jednaka je osjetnom toplinskom opterećenju samo kada temperatura zraka u prostoru ostaje konstantna).

RASHLADNI UČINAK IZMJENJIVAČA – količina energije koja se odvodi na izmjenjivaču koji opslužuje jedan ili više hlađenih prostora; jednaka je zbroju trenutnih toplinskih opterećenja svih prostora koje opslužuje izmjenjivač plus svi vanjski dobici (od ventilatora, od vodova, od topline i vlage vanjskog zraka unesenog u rashladnu opremu).

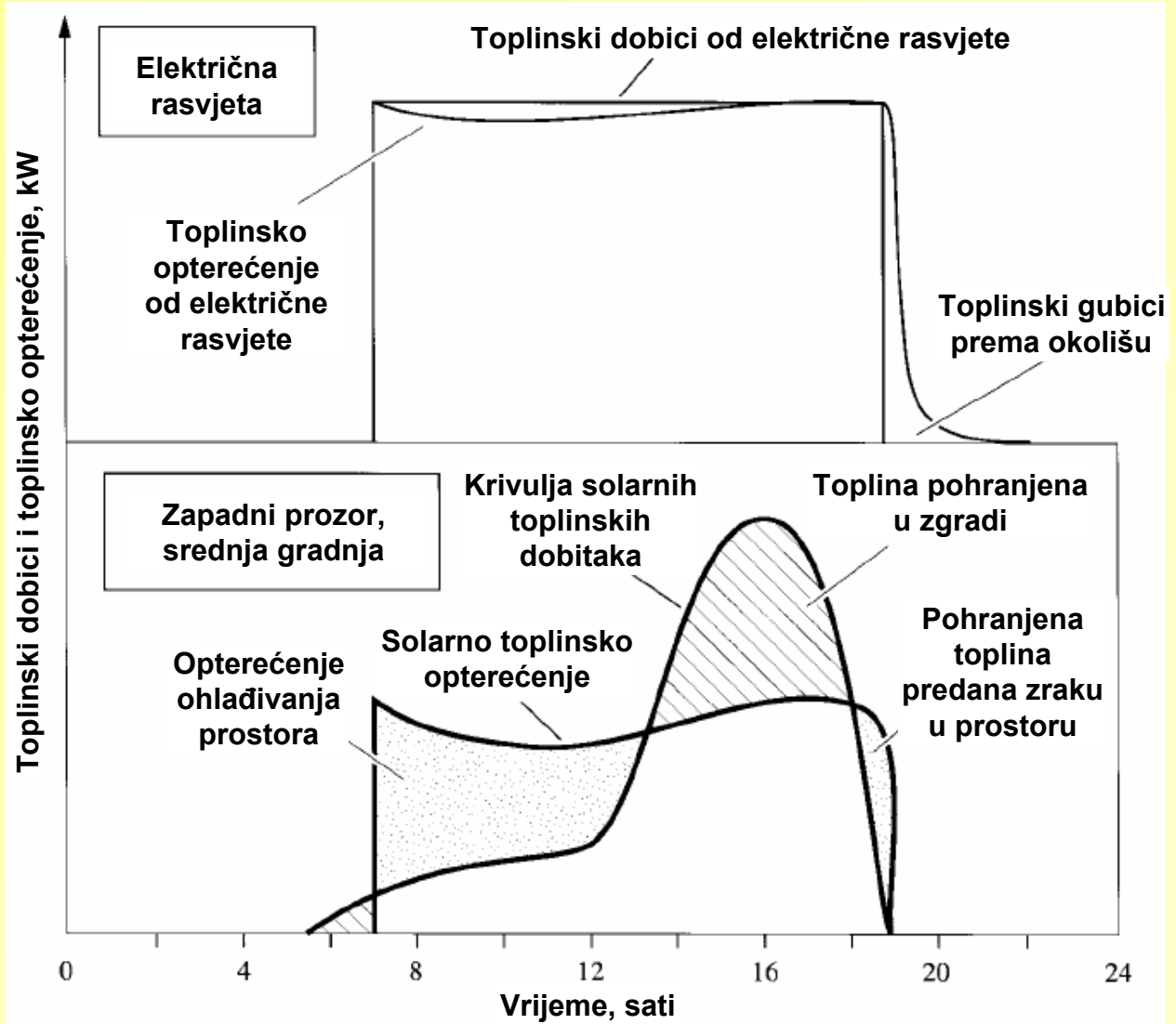
Hlađenje – osnovni principi



Podjela na toplinske zone

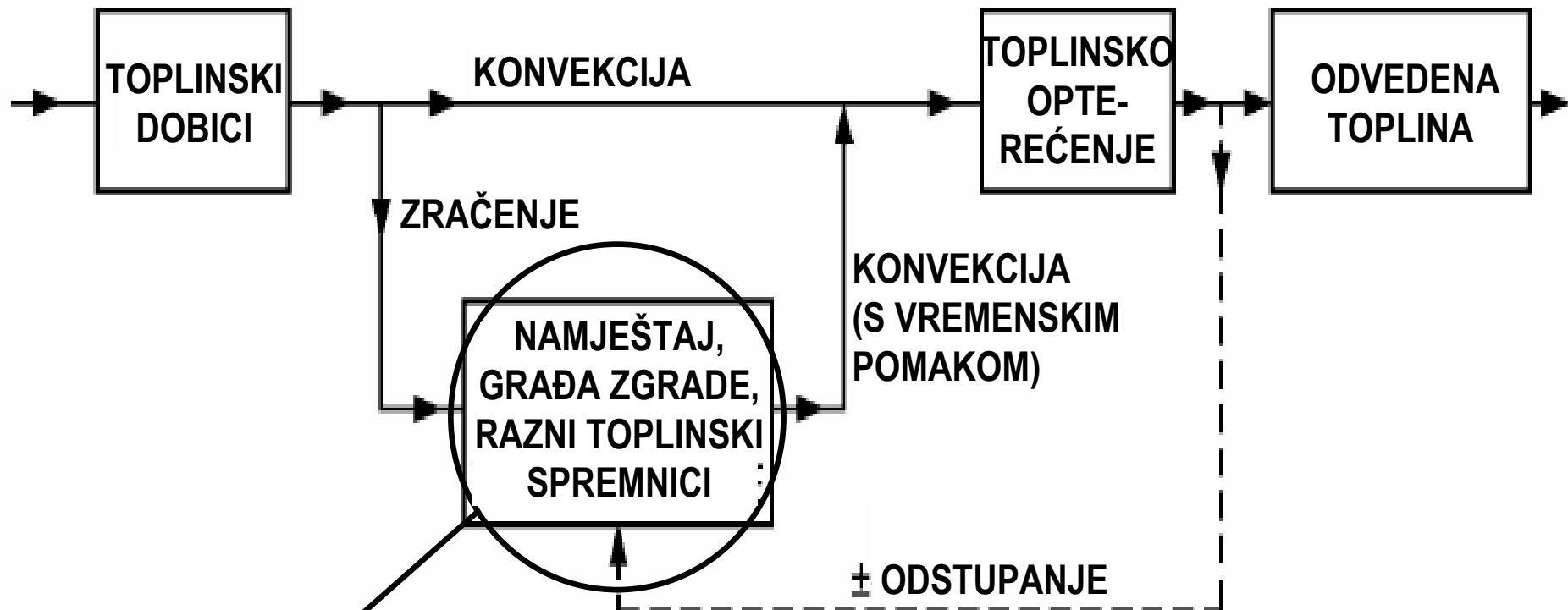
Hlađenje – osnovni principi

- primjer prikazuje razliku između toplinskih dobitaka i toplinskog opterećenja za dani prostor



Toplinski dobici i toplinsko opterećenje kod zračnih sustava

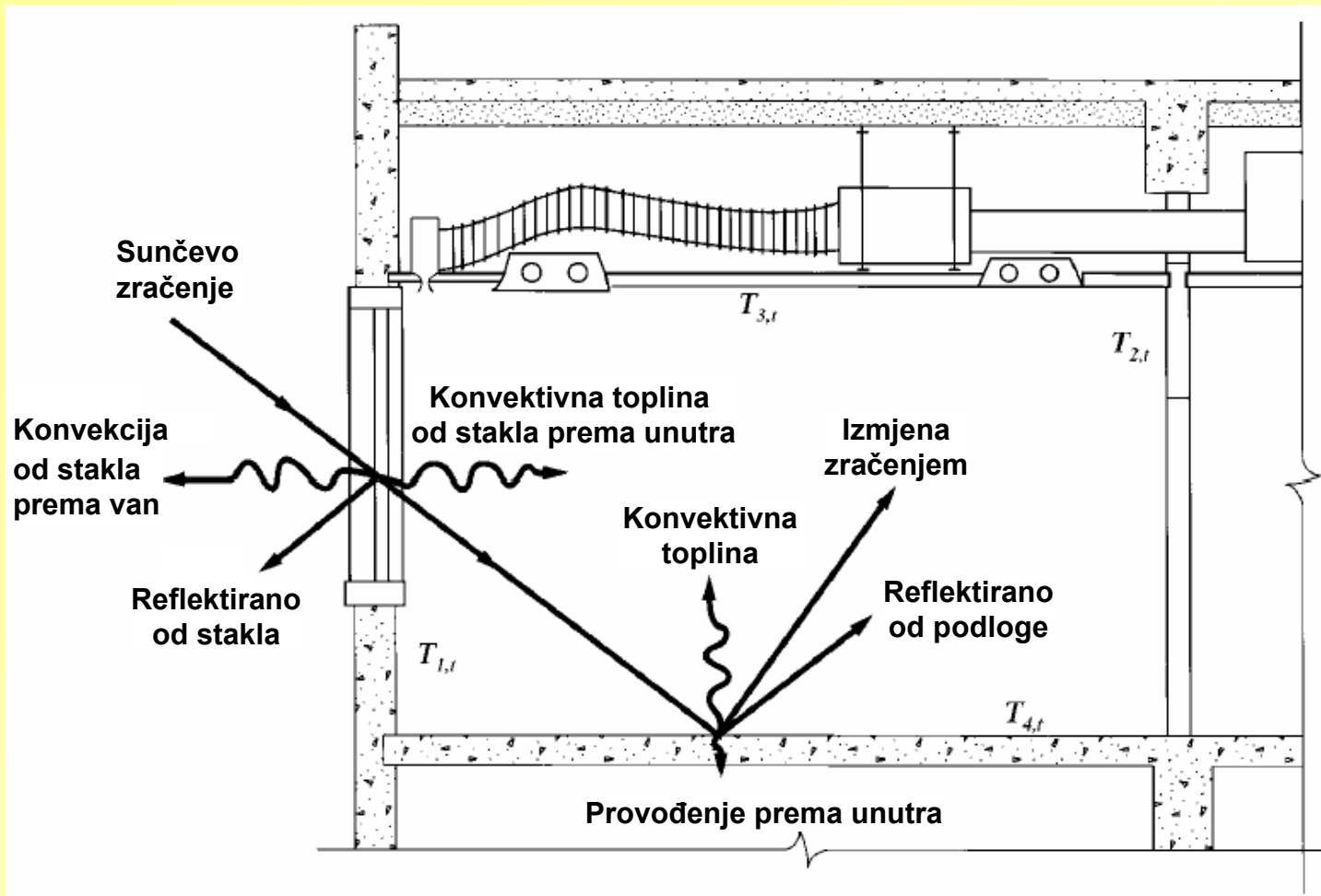
Hlađenje – osnovni principi



Pretvorba toplinskih dobitaka u toplinsko opterećenje

Efekt toplinskog spremnika (akumulacije) je izrazito bitan pri razlikovanju trenutnih toplinskih dobitaka za dani prostor od njegovog toplinskog opterećenja u tom trenutku.

Hlađenje – osnovni principi



Konvekcija i zračenje topline u hlađenom prostoru

Hlađenje – osnovni principi

Osjetni dobici topline	Konvekcija (%)	Zračenje (%)
Sunčevo zračenje uz unutrašnje zasjenjenje	42	58
Fluorescentna rasvjeta	50	50
Osobe koje borave u prostoru	67	33
Vanjski zid, unutarnja površina	40	60

Utjecaj akumulacije topline (toplinskog spremnika)

- količina topline pohranjena unutar strukture zgrade predstavlja razliku između maksimalnih solarnih toplinskih dobitaka i maksimalnog toplinskog opterećenja → značajno utječe na dimenzioniranje potrebne opreme za klimatizaciju.

- najvećim dijelom ovisi o masi vanjske površine zgrade:

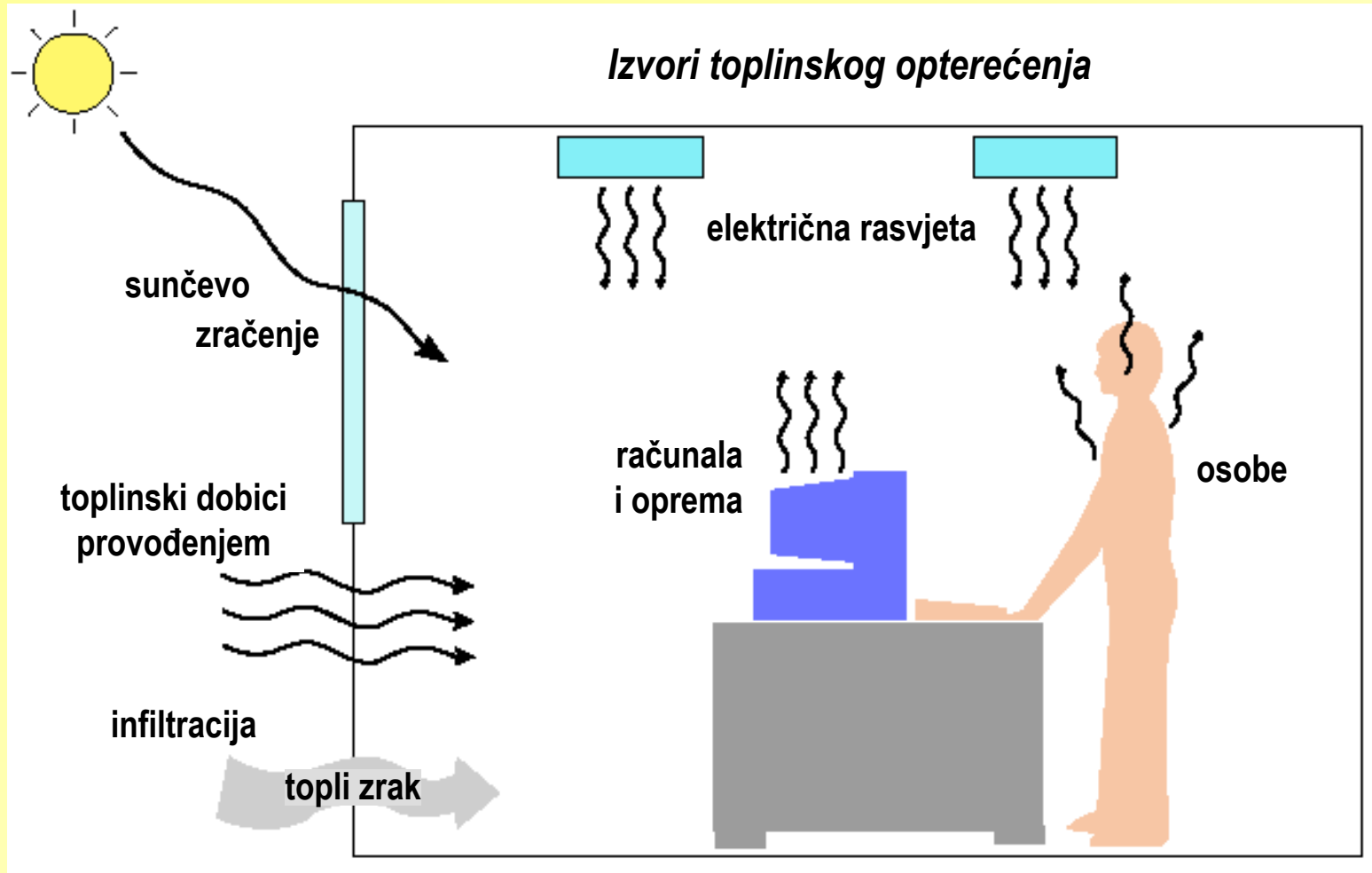
- teška gradnja približno 630 kg/m²površine poda
- srednja gradnja približno 340 kg/m²površine poda
- laka gradnja približno 140 kg/m²površine poda

Proračun toplinskog opterećenja

Proračuni toplinskog opterećenja pri projektiranju sustava klimatizacije se uglavnom koriste:

- za određivanje volumenskog protoka u zračnim sustavima
 - za određivanje rashladnog učinka izmjenjivača i učinka druge opreme
 - za dimenzioniranje opreme GViK sustava
 - kao ulazni podaci sustava za proračun potrošnje energije kako bi se odabrala optimalna varijanta rješenja.
-
- toplinsko opterećenje dijeli se u dvije skupine:
 - vanjsko opterećenje
 - unutarnje opterećenje

Izvori toplinskog opterećenja



Izvori toplinskog opterećenja

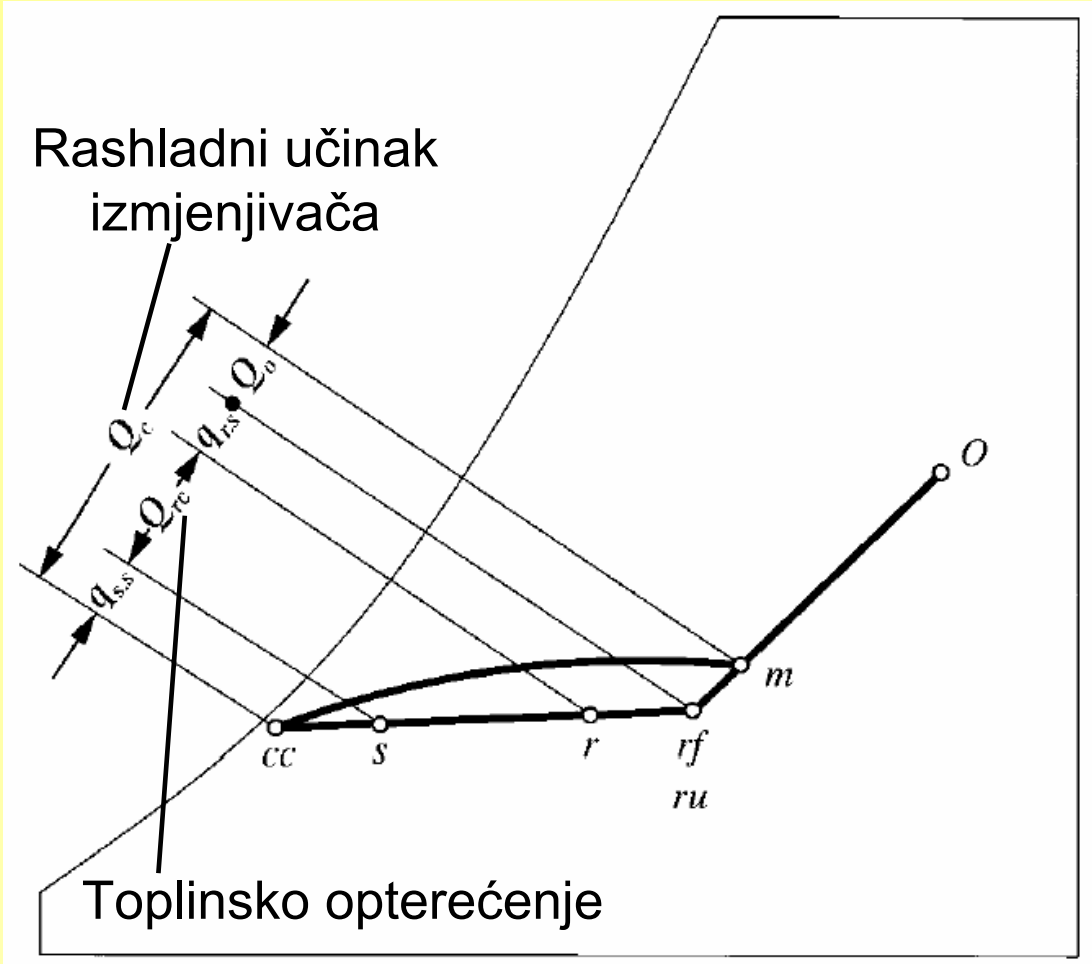
VANJSKO TOPLINSKO OPTEREĆENJE – toplinski dobici hlađenog prostora od vanjskih izvora kroz vanjske površine zgrade ili kroz vanjske i pregradne zidove:

1. Toplinski dobici kroz vanjske zidove i krov
2. Solarni toplinski dobici kroz ostakljenja zgrade
3. Toplinski dobici provođenjem kroz ostakljenja
4. Toplinski dobici kroz pregradne zidove i unutarnja vrata
5. Infiltracija vanjskog zraka u hlađeni prostor

UNUTARNJE TOPLINSKO OPTEREĆENJE – dobici osjetne i latentne topline od toplinskih izvora unutar hlađenog prostora:

1. Osobe
2. Rasvjeta
3. Oprema i uređaji

Komponente rashladnog učinka izmjenjivača



Proces hlađenja zraka ljeti

1. Toplinsko opterećenje prostora (osjetno i event. latentno) Q_{rc}
2. Toplinski dobici sustava dobave (dobavni ventilator i dobavni vodovi) – uglavnom osjetni q_{ss}
3. Toplinski dobici sustava povrata (električna rasvjeta i stropni plenum, povratni vodovi i povratni ventilator) – uglavnom osjetni q_{rs}
4. Osjetno i latentno opterećenje usljed ventilacije vanjskim zrakom Q_o

Vršno opterećenje i blok opterećenje

VRŠNO OPTEREĆENJE ZONE – maksimalno toplinsko opterećenje u prikazu opterećenja regulacijske zone iste orijentacije i sličnog unutarnjeg opterećenja izračunato prema vanjskim projektnim uvjetima za ljeto → maksimalni zbroj komponenata toplinskog opterećenja pojedine zone (solarno opterećenje kroz prozore, prolaz topline kroz krov, unutarnje opterećenje od električne rasvjete) u promatranom vremenskom trenutku → daje dobavni volumenski protok zraka potreban za zonu.

PROJEKTNO OPTEREĆENJE (prostora, kata ili zgrade) – maksimalni zbroj komponenata toplinskog opterećenja za taj prostor u istom vremenskom trenutku → daje dobavni volumenski protok zraka za to područje.

Za izračunavanje toplinskog opterećenja:

- uzima se 1% projektna T_{ST} i pripadajuća T_{VT} za toplinsko opterećenje prostora (1% sati tijekom ljeta će biti toplije od projektne temperature)
- uzima se 1% projektna T_{VT} za dimenzioniranje posebne opreme (evaporativni hladnjaci, rashladni tornjevi, evaporativni kondenzatori).

Proračun toplinskog opterećenja

OSNOVNI POSTUPAK

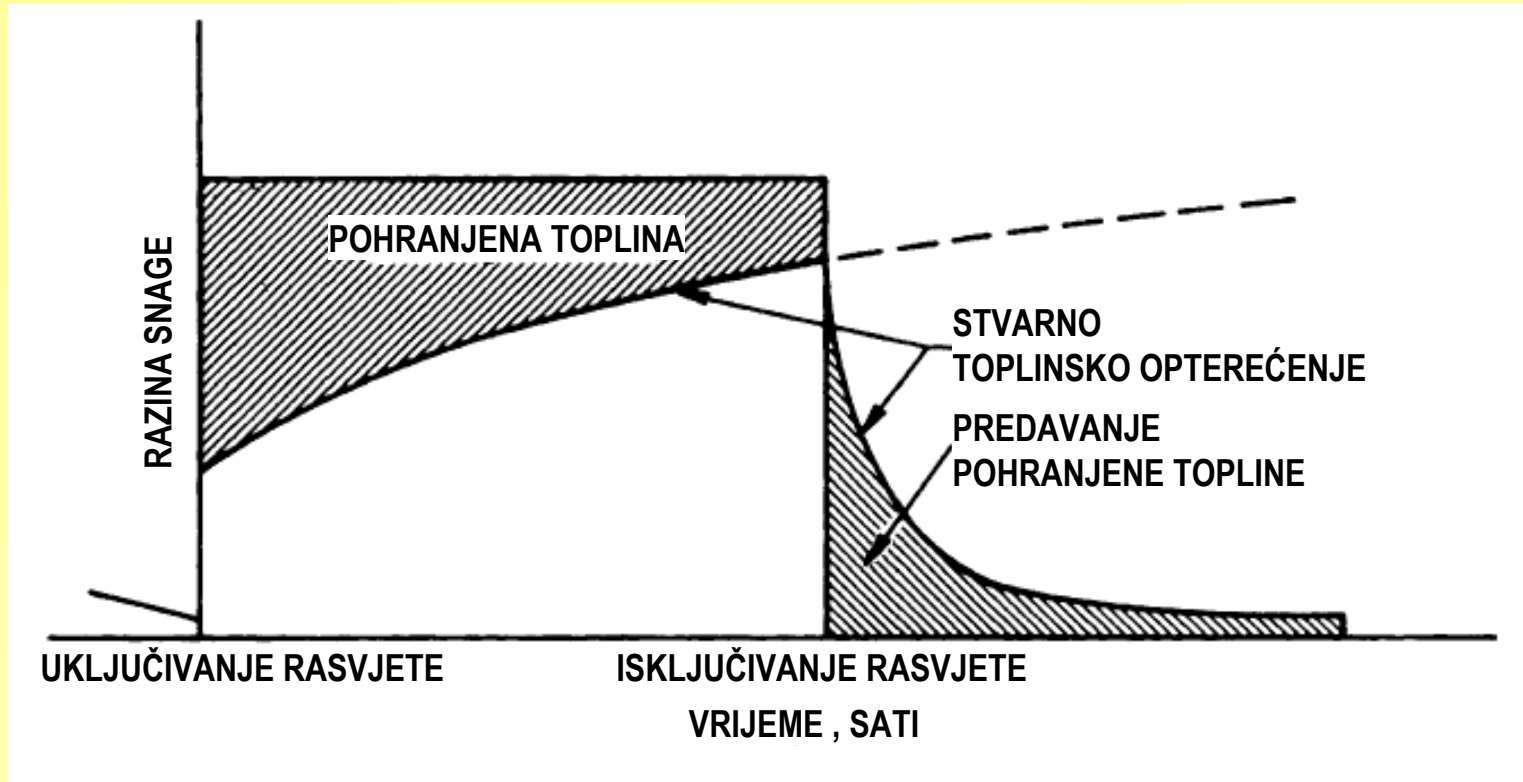
- procijeniti vršno toplinsko opterećenje za svaku prostoriju/prostor/zonu koju treba hladiti → trenutak (sat) maksimalnog toplinskog opterećenja zgrade → projektno toplinsko opterećenje.

VAŽNO!

- postupak je različit od proračuna toplinskih gubitaka kod grijanja; energija koju su apsorbirali zidovi, pod, namještaj, itd. pridonosi toplinskom opterećenju prostora s vremenskim pomakom, tako da se dio te energije predaje nakon što su izvori topline isključeni ili nisu više prisutni → ovaj **vremenski pomak** se mora uzeti u obzir kod proračuna toplinskog opterećenja budući da opterećenje prostora može biti različito od trenutnih toplinskih dobitaka (mora se koristiti **nestacionarna analiza**).

→ izračunavanje projektnog toplinskog opterećenja se treba provesti za nekoliko sati za redom u projektom danu kako bi se našao maksimalni zbroj svih komponenata toplinskog opterećenja.

Proračun toplinskog opterećenja



Efekt toplinskog spremnika kod toplinskog opterećenja od rasvjete

Metode proračuna toplinskog opterećenja

- dva osnovna pristupa:

1. Energetska analiza

- izračunavanje potrošnje energije i uspoređivanje proračunskih opcija
METODA TOPLINSKE BILANCE - **HB** (Heat Balance)

2. Proračun toplinskog opterećenja

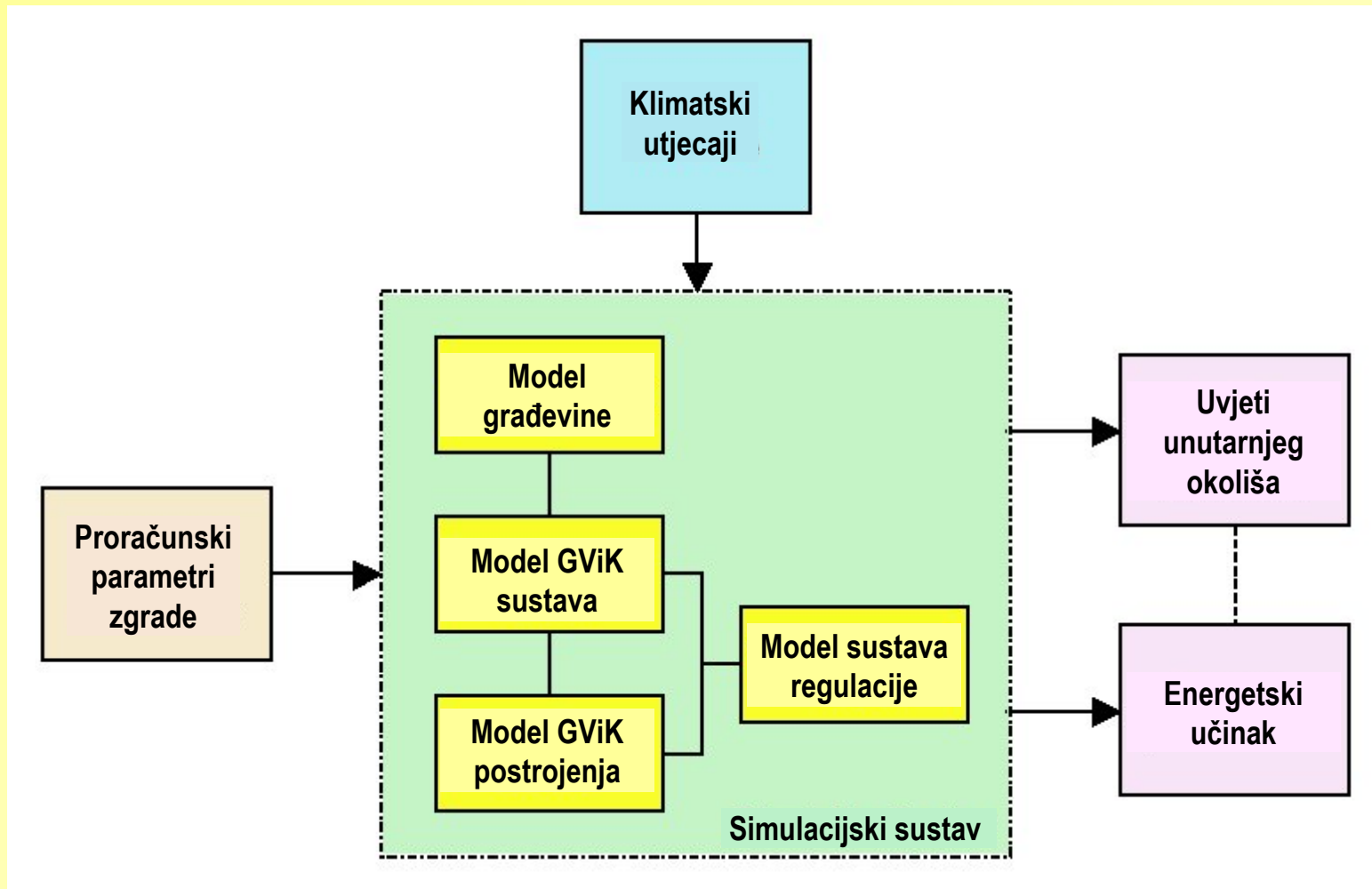
- proračun maksimalnog opterećenja za dimenzioniranje/izbor opreme
METODA VREMENSKIH REDOVA ZRAČENJA - **RTS** (Radiant Time Series)

METODA PRIJENOSNIH FUNKCIJA - **TFM** (Transfer Function Method)

METODA UKUPNE EKVIVALENTNE TEMPERATURNE RAZLIKE /
VREMENSKO OSREDNJAVANJE - **TETD/TA** (Total Equivalent
Temperature Differential / Time Averaging)

METODA TEMPERATURNE RAZLIKE TOPLINSKOG OPTEREĆENJA /
TOPLINSKOG OPTEREĆENJA OD SUNCA / FAKTORA
TOPLINSKOG OPTEREĆENJA - **CLTD/SCL/CLF** (Cooling Load
Temperature Differential / Solar Cooling Load / Cooling Load Factor)

Metode proračuna toplinskog opterećenja



Glavni elementi energetske simulacije za zgradu

Metode proračuna toplinskog opterećenja

METODA TOPLINSKE BILANCE (HB)

- postavljaju se toplinske bilance provođenja, konvekcije i zračenja pojedinačno za svaku površinu prostorije te konvektivna toplinska bilanca za zrak u prostoriji.

Pretpostavke modela:

- Jednolika temperatura u cijeloj zoni
- Jednolike temperature površina
- Jednoliko dugovalno i kratkovalno toplinsko zračenje
- Površine prostorije zrače difuzno
- Jednodimenzijsko provođenje topline kroz površine
- Proračun na osnovi srednjih vrijednosti u određenom vremenskom intervalu, npr. 1 h.

- za detalje pogledati *ASHRAE Handbook of fundamentals 2005*; i *McQuinston, Parker, Spitler: Heating, Ventilating, and Air Conditioning –*

Metode proračuna toplinskog opterećenja

METODA TOPLINSKE BILANCE (HB)

- model s toplinskim bilancama se promatra kao četiri odvojena procesa:

1. Toplinska bilanca na vanjskoj površini
2. Provođenje kroz zid
3. Toplinska bilanca na unutarnjoj površini
4. Toplinska bilanca za zrak

- potrebno je riješiti sustav parcijalnih diferencijalnih jednačbi i postupak često uključuje iteraciju

- omogućuje detaljnu simulaciju rada sustava za svaki sat (npr. za svih 8760 sati u godini)

- koristi se uglavnom u istraživanjima i detaljnim analizama GViK sustava

- varijable modela su temperature unutarnjih i vanjskih površina, te temperatura zraka (ako je zadan kapacitet GViK sustava) → rješavanje zahtjeva korištenje dvostruke iteracijske petlje.

NUŽNO KORIŠTENJE RAČUNALA!

Toplinska bilanca vanjske površine

$$q''_{\alpha sol} + q''_{LWR} + q''_{conv} - q''_{ko} = 0$$

gdje je:

$q''_{\alpha sol}$ = apsorbirano direktno i difuzno sunčevo zračenje (q/A), W/m²

q''_{LWR} = neto izmjena dugovalnim zračenjem sa zrakom i okolišem, W/m²

q''_{conv} = toplinski tok konvekcijom s vanjskim zrakom, W/m²

q''_{ko} = toplinski tok provođenjem (Q/A) kroz zid, W/m²

Toplinska bilanca unutarnje površine

$$q''_{LWX} + q''_{SW} + q''_{LWS} + q''_{ki} + q''_{sol} + q''_{conv} = 0$$

gdje je:

q''_{LWX} = neto izmjena dugovalnim zračenjem između površina u zoni, W/m²

q''_{SW} = neto kratkovalno zračenje od rasvjete, W/m²

q''_{LWS} = dugovalno zračenje od opreme u zoni, W/m²

q''_{ki} = toplinski tok provođenjem kroz zid, W/m²

q''_{sol} = propušteno sunč. zračenje apsorbirano na površinama, W/m²

q''_{conv} = izmjena topline konvekcijom sa zrakom u zoni, W/m²

Toplinska bilanca za zrak

$$q_{conv} + q_{CE} + q_{IV} + q_{sys} = 0$$

gdje je:

q_{conv} = konvektivni prijelaz topline s površina, W

q_{CE} = konvektivni dijelovi unutarnjih toplinskih opterećenja, W

q_{IV} = osjetno opterećenje usljed ventilacije i infiltracije, W

q_{sys} = prijelaz topline prema/od GViK sustava, W

Metode proračuna toplinskog opterećenja

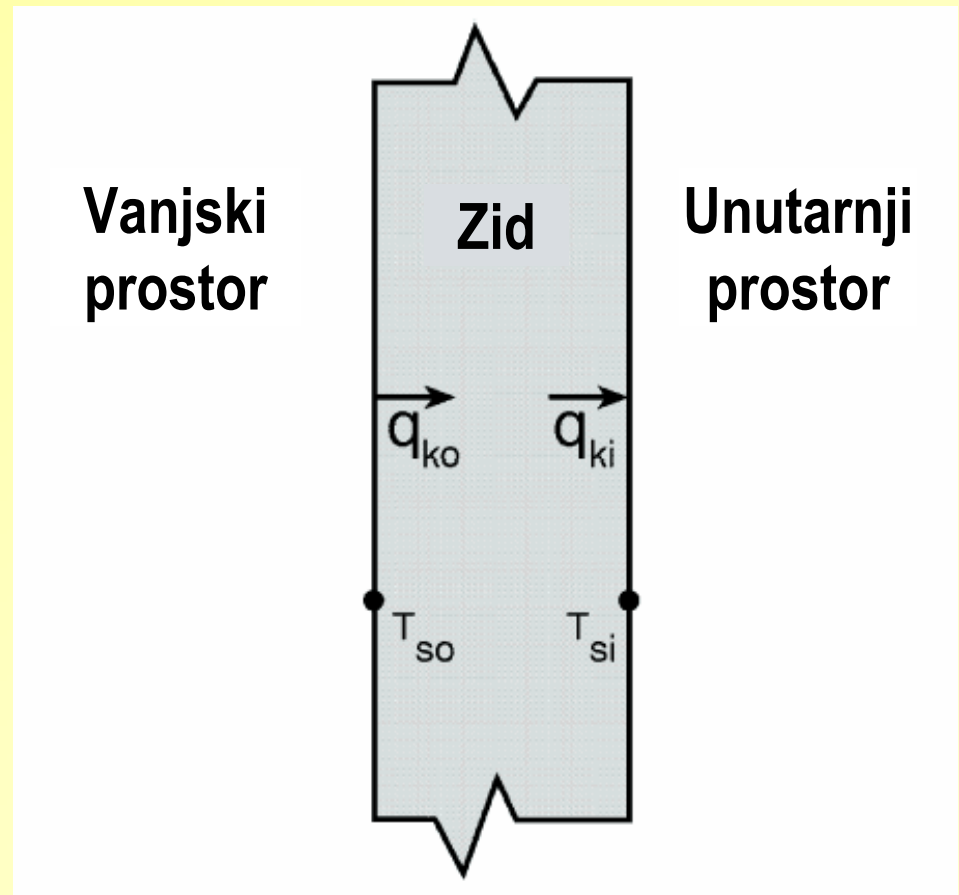
METODA TOPLINSKE BILANCE (HB)

- mogući načini modeliranja procesa provođenja kroz zid:

1. Metoda konačnih razlika
2. Metoda konačnih elemenata
3. Metode transformacija
4. Metode vremenskih redova

VAŽNO!

$q_{ko} \neq q_{ki}$ u danom vremenu



METODA TOPLINSKE BILANCE (HB)

Toplinska bilanca na
unutarnjoj površini

Toplinska bilanca na
vanjskoj površini

Provođenje kroz zid se opisuje
koristeći prijenosne funkcije
provođenja (eng. *CTF*) –
jedna od metoda vremenskih
redova.

Dodatno, jednadžbe za
toplinske tokove konvekcijom i
zračenjem treba pisati i za
vanjske i za unutarnje površine!
Latentni dobici se uzimaju kao
trenutno opterećenje!



$$q''_{ki}(t) = -Z_o T_{si, \theta} - \sum_{j=1}^{nz} Z_j T_{si, \theta - j\delta} \\ + Y_o T_{so, \theta} + \sum_{j=1}^{nz} Y_j T_{so, \theta - j\delta} + \sum_{j=1}^{nq} \Phi_j q''_{ki, \theta - j\delta}$$

$$q''_{ko}(t) = -Y_o T_{si, \theta} - \sum_{j=1}^{nz} Y_j T_{si, \theta - j\delta} \\ + X_o T_{so, \theta} + \sum_{j=1}^{nz} X_j T_{so, \theta - j\delta} + \sum_{j=1}^{nq} \Phi_j q''_{ko, \theta - j\delta}$$

gdje je:

X_j = vanjski CTF, $j = 0, 1, \dots, nz$

Y_j = unakrsni CTF, $j = 0, 1, \dots, nz$

Z_j = unutarnji CTF, $j = 0, 1, \dots, nz$

Φ_j = CTF toplinskog toka, $j = 1, 2, \dots, nq$

θ = vrijeme

δ = vremenski korak, h

T_{st} = temperatura unutarnje površine, °C

T_{so} = temperatura vanjske površine, °C

q''_{ki} = toplinski tok provođenjem na unutarnjoj površini, W/m²

q''_{ko} = toplinski tok provođenjem na vanjskoj površini, W/m²

Metode proračuna toplinskog opterećenja

METODA VREMENSKIH REDOVA ZRAČENJA (RTS)

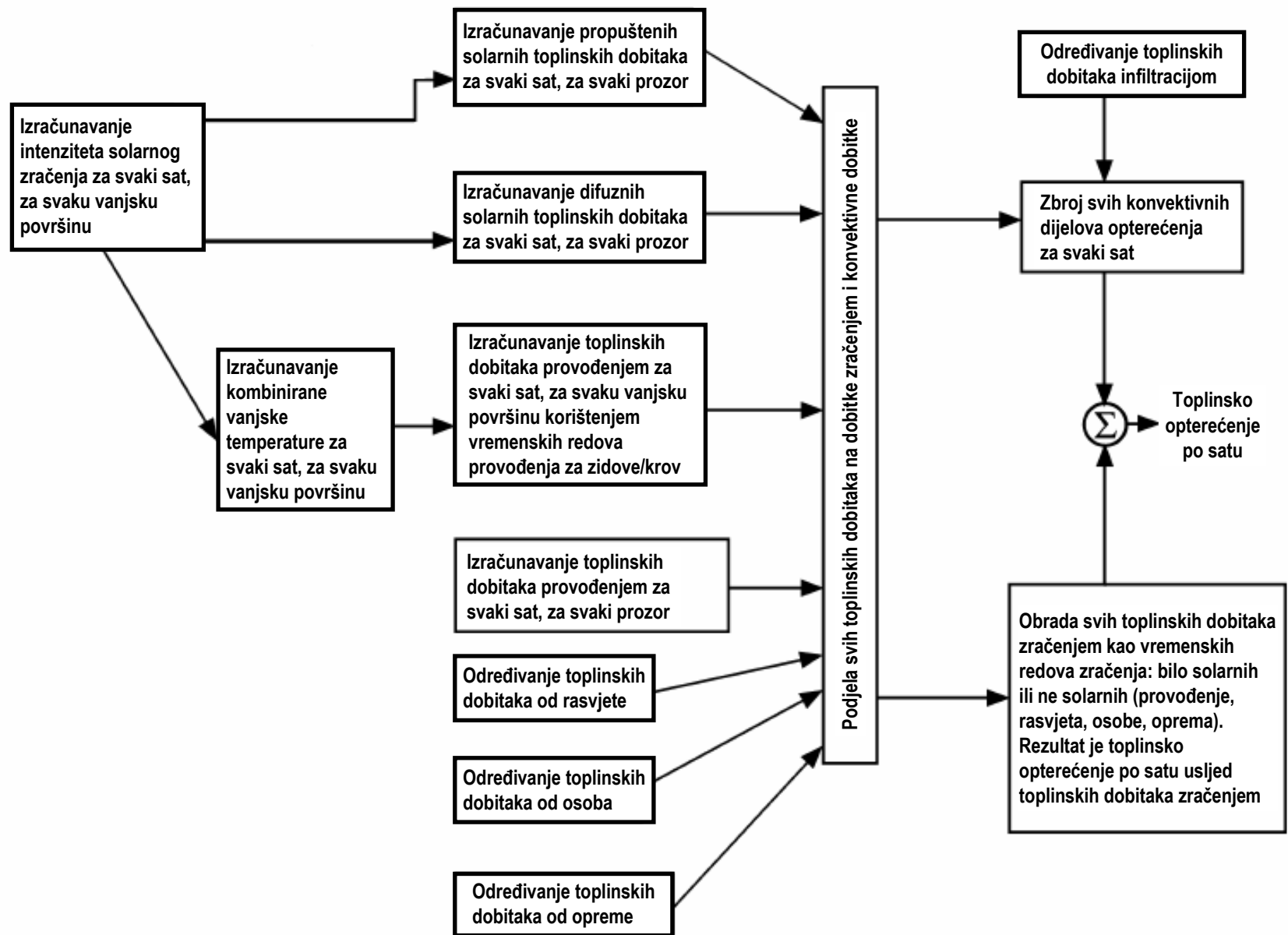
- nova pojednostavljena metoda za izračunavanje projektnog toplinskog opterećenja koja je izvedena iz HB metode
 - ne zahtjeva iteracijski postupak
 - može odrediti doprinos svake komponente sustava ukupnom toplinskom opterećenju
 - pogodna za izračunavanje projektnog opterećenja, ali ne za energetske simulacije kroz godinu
 - može se “lako” provesti u jednostavnim proračunskim tablicama na računalu (tablična kalkulacija)
- za detalje pogledati *ASHRAE Handbook of fundamentals 2005*; i *McQuinston, Parker, Spitler: Heating, Ventilating, and Air Conditioning - Analysis and Design, 2000*

Metode proračuna toplinskog opterećenja

METODA VREMENSKIH REDOVA ZRAČENJA (RTS)

Pretpostavke i principi modela:

- periodičko-stacionarno stanje toplinskih dobitaka - jednaki su onima od prethodnog dana tako da se opterećenja ponavljaju na osnovi jednakog 24-satnog ciklusa.
- proračun toplinskog opterećenja uključuje dva efekta vremenskog pomaka prisutna u procesima prijelaza topline u zgradi:
 - (1) kašnjenje toplinskih dobitaka provođenjem kroz neprozirne masivne vanjske površine (zidove, krovove, ili podove)
 - (2) kašnjenje pretvorbe trenutnih toplinskih dobitaka zračenjem u toplinsko opterećenje.
- ukupno toplinsko opterećenje za svaki sat za svaku komponentu opterećenja je zbroj trenutnog konvektivnog dijela toplinskih dobitaka i dijela toplinskih dobitaka od zračenja s vremenskim pomakom.



RTS METODA

Upad topline
provođenjem sa
vanjske strane

$$q_{i,\theta-n} = UA(t_{e,\theta-n} - t_{rc})$$

gdje je:

$q_{i,\theta-n}$ = upad topline provođenjem za površinu prije n sati, W

U = koeficijent prolaza topline za površinu, W/m²K

A = površina, m²

$t_{e,\theta-n}$ = kombinirana vanjska temperatura prije n sati, °C

t_{rc} = konstantna temperatura zraka u prostoriji, °C

Toplinski dobici
provođenjem kroz
zidove i krovove

$$q_{\theta} = c_0 q_{i,\theta} + c_1 q_{i,\theta-1} + c_2 q_{i,\theta-2} + c_3 q_{i,\theta-3} + \dots + c_{23} q_{i,\theta-23}$$

gdje je:

q_{θ} = toplinski dobici provođenjem po satu za površinu, W

$q_{i,\theta}$ = unos topline u trenutnom satu, W

$q_{i,\theta-n}$ = unos topline prije n sati, W

$c_0, c_1, \text{etc.}$ = vremenski faktor provođenja

Pretvaranje toplinskih
dobitaka zračenjem u
satno toplinsko
opterećenje

$$Q_{r,\theta} = r_0 q_{r,\theta} + r_1 q_{r,\theta-1} + r_2 q_{r,\theta-2} + r_3 q_{r,\theta-3} + \dots + r_{23} q_{r,\theta-23}$$

gdje je:

$Q_{r,\theta}$ = toplinsko opterećenje zračenjem (Q_r) za trenutni sat (θ), W

$q_{r,\theta}$ = toplinski dobici zračenjem za trenutni sat, W

$q_{r,\theta-n}$ = toplinski dobici zračenjem prije n sati, W

$r_0, r_1, \text{etc.}$ = vremenski faktor zračenja

Metode proračuna toplinskog opterećenja

METODA VREMENSKIH REDOVA ZRAČENJA (RTS)

- pri proračunu sunčevog zračenja, solarnih toplinskih dobitaka kroz prozore, kombinirane vanjske temperature i infiltracije, RTS metoda je potpuno jednaka kao prije razvijene pojednostavljene metode (TFM i TETD/TA).

KOMBINIRANA VANJSKA TEMPERATURA

- efektivna vanjska temperatura zraka koja daje jednak toplinski tok kroz površinu kao i kombinacija upada sunčevog zračenja, izmjene topline zračenjem sa nebom i ostalim vanjskim okolišem, te izmjene topline konvekcijom s vanjskim zrakom.

$$t_e = t_o + \frac{\alpha E_t}{h_o} - \frac{\varepsilon \Delta R}{h_o} \quad [^{\circ}\text{C}]$$

3.9 °C za vodoravne površine
0.0 °C za okomite površine

0.026 m²K/W za svijetle površine
0.052 m²K/W za tamne površine

Metode proračuna toplinskog opterećenja

KOMBINIRANA VANJSKA TEMPERATURA

- prijenos topline na vanjskoj suncem obasjanoj površini, izražen preko kombinirane vanjske temperature:

$$\frac{q}{A} = h_o(t_e - t_s)$$

gdje je:

α = koeficijent apsorpcije sunčevog zračenja za površinu

E_t = ukupni upad sunčevog zračenja na površinu, W/m²K

h_o = koeficijent prijenosa topline dugovalnim zračenjem i konvekcijom na vanjskoj površini, W/m²K

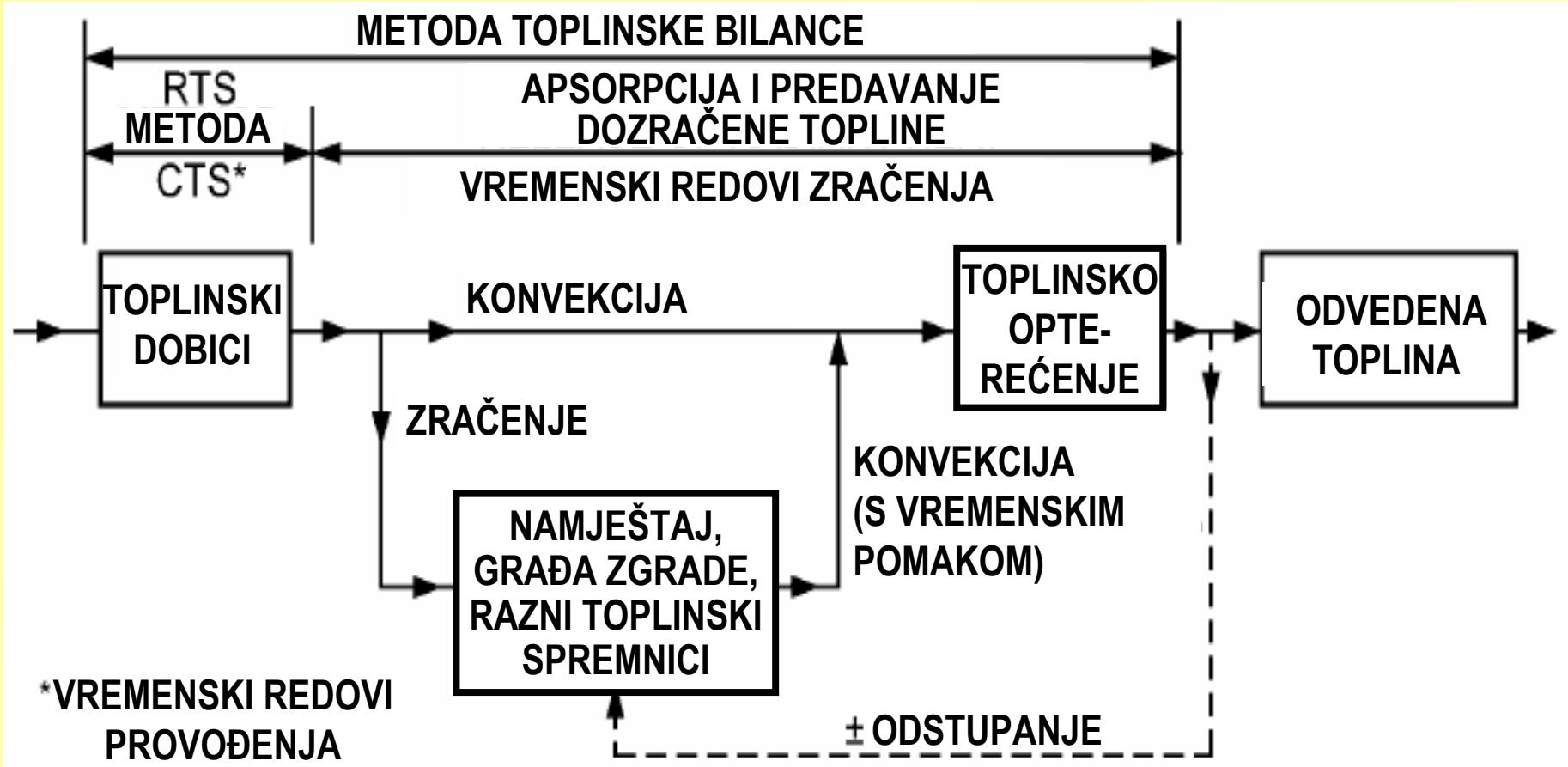
t_o = vanjska temperatura zraka, °C

t_s = temperatura površine, °C

ε = emisijski faktor površine

ΔR = razlika između dugovalnog zračenja pristiglog na površinu iz okoliša i s neba, i zračenja koje emitira crno tijelo pri temperaturi vanjskog zraka, W/m²

Metode proračuna toplinskog opterećenja



Metode proračuna toplinskog opterećenja

METODA PRIJENOSNIH FUNKCIJA (TFM)

- ideja je da se pojednostavi složen postupak proračuna kod HB metode
- proračun zahtjeva množenje prijenosnih funkcija s rezultatima toplinskih dobitaka preko vremenskih redova i kasnije sumiranje tih umnožaka → vrši se pomoću računala.

Načela metode:

- izračunavanje toplinskog opterećenja prostora korištenjem TFM metode se sastoji od dva koraka:
 - (1) toplinski dobitci/gubici od vanjskih zidova, krovova i podova se izračunavaju koristeći odzivne faktore ili CTF koeficijente; solarni i unutarnji dobitci se izračunavaju direktno za pripadajući sat
 - (2) koriste se koeficijenti prijenosnih funkcija prostorije ili težinski faktori za prostoriju da bi se toplinski dobitci pretvorili u toplinska opterećenja (ili toplinski gubici u toplinsko opterećenje kod grijanja).

- za detalje pogledati *ASHRAE Handbook of fundamentals 1997*; i

Metode proračuna toplinskog opterećenja

METODA PRIJENOSNIH FUNKCIJA (TFM)

- primjenjuje se Laplaceova transformacija i z-transformacije vremenskih redova, uz uključivanje tri skupa parametara:
 - prijenosne funkcije provođenja (CTF)
 - prijenosne funkcije prostorijske (RTF)
 - prijenosne funkcije zraka (SATF)
- z-transformacija vremenskog reda predstavlja pretvorbu kontinuirane funkcije vremena u diskretnu funkciju vremena.
- TFM uvodi:
 - uključivanje toplinske akumulacijske mase dijelova zgrade
 - uključivanje utjecaja toplinske mase na temperaturu zraka
 - razlikovanje između prijenosa topline konvekcijom i zračenjem

Metode proračuna toplinskog opterećenja

METODA PRIJENOSNIH FUNKCIJA (TFM)

- vanjski toplinski dobici provođenjem kroz vanjski zid ili krov:

$$q_{e,t} = \left(\sum_{n=0} b_n T_{sol,t-n\Delta} - \sum_{n=1} d_n \frac{q_{e,t-n\Delta}}{A} - T_r \sum_{n=0} c_n \right) A$$

gdje je:

t = vrijeme, h

Δ = vremenski interval, h

n = indeks zbrajanja broja uvjeta

$T_{sol,t-n\Delta}$ = kombinirana vanjska temperatura u vremenu $t-n\Delta$, °F (°C)

$q_{e,t-n\Delta}$ = toplinski dobici provođenjem u vremenu $t-n\Delta$, Btu/h (W)

b_n, c_n, d_n = koeficijenti prijenosnih funkcija provođenja; za detalje pogledati *ASHRAE Fundamentals*

A = unutarnja površina zida ili krova, ft² (m²)

- pretvorba osjetnih toplinskih dobitaka koji se sastoje od dobitaka zračenjem i konvekcijom u osjetno toplinsko opterećenje prostora:

$$Q_{rs,t} = \sum_{i=1} (v_0 q_{s,t} + v_1 q_{s,t-\Delta} + v_2 q_{s,t-2\Delta} + \dots) - (w_1 Q_{rs,t-\Delta} + w_2 Q_{rs,t-2\Delta} + \dots)$$

gdje je:

i = broj komponenata toplinskog dobitka iz iste skupine

Δ = vremenski interval

$t-n\Delta$ = vrijeme u $t-n\Delta$

Metode proračuna toplinskog opterećenja

METODA PRIJENOSNE FUNKCIJE (TFM)

- ukupno toplinsko opterećenje prostora za određeni sat:

$$Q_{rc,t} = Q_{rs,t} + Q_{in,t} + Q_{l,t} = Q_{s,t} + Q_{l,t}$$

gdje je: $Q_{s,t}$, $Q_{l,t}$ = osjetno toplinsko opterećenje prostora i latentno opterećenje, Btu/h (W)

$Q_{in,t}$ je trenutno toplinsko opterećenje prostora koje uključuje osjetne toplinske dobitke koji imaju samo konvektivnu komponentu i osjetne toplinske dobitke od infiltracije.

- odnos između odvedene topline i temperature zraka u prostoru u trenutku t , ako se unutarnja temperatura mijenja u vremenu usljed isključivanja GViK sustava:

$$\sum_{i=0}^1 p_i (Q_{ex,t-\Delta} - Q_{rc,t-i\Delta}) = \sum_{i=0}^2 g_i (T_{r,con} - T_{r,t-i\Delta})$$

gdje je:

- p_i , g_i = koeficijenti prijenosnih funkcija zraka, za detalje pogledati *ASHRAE Fundamentals*
- $Q_{ex,t-\Delta}$ = količina odvedene topline u trenutku $t-n\Delta$, Btu/h (W)
- $Q_{rc,t-i\Delta}$ = izračunato toplinsko opterećenje prostora u trenutku $t-n\Delta$, Btu/h (W)
- $T_{r,con}$ = pretpostavljena konstantna temperatura zraka u prostoru, °F (°C)

Metode proračuna toplinskog opterećenja

TETD/TA METODA

- metoda je razvijena prvenstveno kao postupak ručnog proračuna baziran na TFM metodi.
- temelji se na rješenju Fourierovog reda za jednadžbu 1-dimenzijskog provođenja topline za višeslojnu stijenku.
- jednostavnije, ali subjektivnije od TFM.
- vanjski toplinski dobici provođenjem kroz vanjski zid ili krov:

$$q_w = AU(\text{TETD})$$

gdje je:

A = površina zida ili krova, ft² (m²)

U = koeficijent prolaza topline za zid ili krov, Btu/h ft² °F (W/m² °C)

$TETD$ u °C je ukupna ekvivalentna temperaturna razlika, koja se dobije za standardni zid i krov koristeći CTF kao u TFM, ili se izračuna iz:

$$\text{TETD} = T_{\text{sol},a} - T_r + \lambda(T_{\text{sol},\delta} - T_{\text{sol},a})$$

gdje je:

$T_{\text{sol},a}$ = dnevna srednja kombinirana vanjska temperatura, °F (°C)

$T_{\text{sol},\delta}$ = kombinirana vanjska temperatura s vremenskim pomakom, °F (°C)

λ = faktor efektivnog smanjenja

Metode proračuna toplinskog opterećenja

TETD/TA METODA

- osjetno toplinsko opterećenje se određuje vremenskim osrednjavanjem komponenata toplinskih dobitaka zračenjem po svakom satu, za prošlih 1 do 8 sati, s vrijednošću od trenutnog sata, uz dodavanje rezultata ukupnim konvektivnim dobitcima topline za trenutni sat:

$$q_{sensible} = q_{conv,f} + q_{rad,fa} + q_{conv}$$

$$q_{conv,f} = q_{s,1}(1 - rf_1) + q_{s,2}(1 - rf_2) + \dots + q_{s,n}(1 - rf_n)$$

$$q_{rad,fa} = \frac{\sum_{\gamma=h_{a+1}-\theta}^{h_a} (q_{s,1} \cdot rf_1 + q_{s,2} \cdot rf_2 + \dots + q_{s,n} \cdot rf_n)_{\gamma}}{\theta}$$

- za detalje pogledati *ASHRAE Handbook of fundamentals 1997*

Metode proračuna toplinskog opterećenja

TETD/TA METODA

$q_{\text{conv},f}$ – konvektivni udio osjetnih toplinskih dobitaka po satu (za trenutni sat) za n komponenata opterećenja [W]

$q_{s,n}$ – osjetni topl. dobici po satu za komponente opterećenja $1, \dots, n$ [W]

rf_n – udio izmjene topline zračenjem

$q_{\text{rad},fa}$ – srednji udio zračenja u osjetnim toplinskim dobicima po satu za n komponenata opterećenja [W]

θ – broj sati za koje se osrednjavaju udjeli zračenjem

h_a – trenutni sat za koji se računa toplinsko opterećenje $1, \dots, 24$

γ – sat za koji se provodi proračun od $h_{a+1-\theta}$ do h_a , a za koji se treba osrednjiti udio zračenjem

q_{conv} – konvektivni osjetni toplinski dobici po satu (za trenutni sat) za β komponente opterećenja koje nemaju udio zračenja [W]

Metode proračuna toplinskog opterećenja

CLTD/SCL/CLF METODA

- razvijena kao postupak ručnog proračuna u jednom prolazu temeljen na TFM metodi.
- TFM se koristi za izračunavanje toplinskih dobitaka, koji se zatim pretvaraju u toplinsko opterećenje pomoću RTF i prikazuju u nizu tablica za različite tipove gradnje u obliku CLTD, SCL i CLF faktora
- pogreške uvedene ovim postupkom ovise o razlikama između stvarnog tipa gradnje za koji se provodi izračun i onog korištenog za određivanje tabličnog CLTDa.
- metoda se koristi u slučaju kad je potrebna procjena ili gruba provjera proračuna toplinskog opterećenja pomoću neke računarske metode.
- toplinsko opterećenje se dobiva kao zbroj opterećenja zasebnih komponenti (zidova, krova, ostakljenja, osoba, rasvjete, opreme, itd.)

- za detalje pogledati *ASHRAE Handbook of fundamentals 1997*; i *Wang: Handbook of Air Conditioning and Refrigeration, 2001*

Metode proračuna toplinskog opterećenja

CLTD/SCL/CLF METODA

- vanjsko toplinsko opterećenje kroz vanjski zid, krov i provođenjem kroz staklo:

$$q_{c,\theta} = UA(CLTD)_{\theta} \quad [W]$$

CLTD [°C] je temperaturna razlika koja uzrokuje toplinsko opterećenje u satu θ ; određena je za različite tipove gradnje i dana u tablicama.

Dani tablični CLTD se mogu primjenjivati direktno pri sljedećim uvjetima:

- sunčevo zračenje karakteristično za vedar dan, 21. dana u mjesecu na 40° sjeverne geografske širine
- tamna, ravna površina
- unutarnja temperatura zraka 25.5°C
- maksimalna vanjska temperatura 35°C; srednja temperatura 29.4°C; dnevni raspon temperatura 11.6 °C
- vanjski koeficijent prijelaza topline 17 W/(m²K); unutarnji koeficijent prijelaza topline 8.3 W/(m²K)

Metode proračuna toplinskog opterećenja

CLTD/SCL/CLF METODA

- pri uvjetima različitim od navedenih, CLTD se mora prilagoditi prema sljedećoj formuli:

$$CLTD_{KOR} = (CLTD + LM)K + (25.5 - t_r) + (t_m - 29.4) \text{ [}^\circ\text{C]}$$

LM – faktor ispravka geografske širine i mjeseca [$^\circ\text{C}$]

K – faktor prilagodbe boje

t_r – unutarnja temperatura [$^\circ\text{C}$]

t_m – srednja vanjska temperatura [$^\circ\text{C}$]

t_m = maksimalna vanjska temperatura – (dnevni raspon)/2

- toplinsko opterećenje prostora usljed solarnih toplinskih dobitaka kroz ostakljenje u satu θ :

$$q_{s,\theta} = A(SC)(SCL)_\theta \text{ [W]}$$

SCL – solarno toplinsko opterećenje za suncem obasjane staklene površine određene orijentacije u satu θ [W/m^2]

SC – koeficijent zasjenjenja

Metode proračuna toplinskog opterećenja

CLTD/SCL/CLF METODA

- toplinsko opterećenje prostora usljed solarnih toplinskih dobitaka, prema starijoj verziji metode:

$$q_{s,\theta} = A(SC)(SHGF)(CLF_s)_\theta \quad [\text{W}]$$

SHGF – faktor solarnih toplinskih dobitaka za suncem obasjane staklene površine određene orijentacije [W/m^2] – maksimalni dobitak za određeni mjesec, orijentaciju i zemljopisnu širinu

CLF – faktor toplinskog opterećenja za sat θ - iskazuje toplinski odziv dijela topline dovedenog zračenjem

- toplinsko opterećenje od pregradnih zidova, stropova i podova:

$$q_{a,\theta} = UA(t_{i,\theta} - t_r) \quad [\text{W}]$$

$t_{i,\theta}$ – temperatura susjednih (neklimatiziranih) prostora u satu θ [$^{\circ}\text{C}$]

Metode proračuna toplinskog opterećenja

CLTD/SCL/CLF METODA

- ukupno **vanjsko osjetno** toplinsko opterećenje u satu θ :

$$q_{ex-s,\theta} = \sum_n (q_{c,\theta} + q_{s,\theta} + q_{a,\theta}) \quad [\text{W}]$$

- toplinska opterećenja unutarnjih izvora topline se dijele u tri kategorije:

1. Osobe
2. Rasvjeta
3. Oprema

- opći izraz za unutarnje osjetno toplinsko opterećenje u satu θ :

$$q_{in-s,\theta} = q_i (CLF)_{\theta} \quad [\text{W}]$$

q_i – trenutni toplinski dobici od osoba, rasvjete i opreme [W]

Metode proračuna toplinskog opterećenja

CLTD/SCL/CLF METODA

Osobe – toplinski dobici

Table 1 Representative Rates at Which Heat and Moisture Are Given Off by Human Beings in Different States of Activity

Degree of Activity		Total Heat, W		Sensible Heat, W	Latent Heat, W	% Sensible Heat that is Radiant ^b	
		Adult Male	Adjusted, M/F ^a			Low <i>V</i>	High <i>V</i>
Seated at theater	Theater, matinee	115	95	65	30		
Seated at theater, night	Theater, night	115	105	70	35	60	27
Seated, very light work	Offices, hotels, apartments	130	115	70	45		
Moderately active office work	Offices, hotels, apartments	140	130	75	55		
Standing, light work; walking	Department store; retail store	160	130	75	55	58	38
Walking, standing	Drug store, bank	160	145	75	70		
Sedentary work	Restaurant ^c	145	160	80	80		
Light bench work	Factory	235	220	80	140		
Moderate dancing	Dance hall	265	250	90	160	49	35
Walking 4.8 km/h; light machine work	Factory	295	295	110	185		
Bowling ^d	Bowling alley	440	425	170	255		
Heavy work	Factory	440	425	170	255	54	19
Heavy machine work; lifting	Factory	470	470	185	285		
Athletics	Gymnasium	585	525	210	315		

Notes:

1. Tabulated values are based on 24°C room dry-bulb temperature. For 27°C room dry bulb, the total heat remains the same, but the sensible heat values should be decreased by approximately 20%, and the latent heat values increased accordingly.

2. Also refer to [Table 4, Chapter 8](#), for additional rates of metabolic heat generation.

3. All values are rounded to nearest 5 W.

^aAdjusted heat gain is based on normal percentage of men, women, and children for the application listed, with the postulate that the gain from an adult female is

85% of that for an adult male, and that the gain from a child is 75% of that for an adult male.

^bValues approximated from data in [Table 6, Chapter 8](#), where *V* is air velocity with limits shown in that table.

^cAdjusted heat gain includes 18 W for food per individual (9 W sensible and 9 W latent).

^dFigure one person per alley actually bowling, and all others as sitting (117 W) or standing or walking slowly (231 W).

Metode proračuna toplinskog opterećenja

CLTD/SCL/CLF METODA

Osobe – toplinsko opterećenje

- trenutno osjetno opterećenje:

$$q_{O-s,\theta} = N(\textit{Osjetni dobitak})(CLF_o)_\theta \quad [\text{W}]$$

- latentno opterećenje :

$$q_{O-l,\theta} = N(\textit{Latentni dobitak}) \quad [\text{W}]$$

N – broj osoba

CLF – faktor toplinskog opterećenja - odabire se iz tablica u literaturi

Napomena:

CLF=1 za 24-satni boravak u prostoru; za prostore s gustom popunjenošću (kazališta, kino-dvorane, auditoriji); ako je sustav klimatizacije isključen noću ili tijekom vikenda

Metode proračuna toplinskog opterećenja

CLTD/SCL/CLF METODA

Rasvjeta – toplinsko opterećenje

- trenutno osjetno opterećenje:

$$q_{L,\theta} = P F_u F_s (CLF_L)_\theta \quad [\text{W}]$$

P – ukupna elektr. snaga sve instalirane rasvjete, [W]

F_u – faktor korištenja – omjer snage koja se koristi prema ukupno instaliranoj snazi

F_s – faktor vrste rasvjete - za rasvjetu koja odaje topline više od nazivne snage – odnosi se prvenstveno na gubitke prigušenja; primjer - 40W fluorescentno svijetlo $F_s = 1.2$

CLF – faktor toplinskog opterećenja - odabire se iz tablica u literaturi

Napomena:

CLF=1 za 24-satno korištenje rasvjete; ako je sustav klimatizacije isključen noću ili tijekom vikenda

Metode proračuna toplinskog opterećenja

CLTD/SCL/CLF METODA

Oprema – toplinsko opterećenje

- trenutno osjetno opterećenje:

$$q_{E-s,\theta} = q_{input} F_U F_R (CLF_E)_\theta \quad [W]$$

q_{input} – nazivni upad topline od uređaja [W]

F_U – faktor korištenja – omjer snage koja se koristi prema ukupno instaliranoj snazi

F_R – faktor zračenja – primjenjen na prosječni iznos potrošnje energije uređaja

CLF – odabire se iz tablica u literaturi

Napomena: CLF=1 za 24-satno korištenje opreme; ako je sustav klimatizacije isključen noću ili tijekom vikenda

- latentno opterećenje:

$$q_{E-l,\theta} = \sum (\text{Latentni dobitak}) \quad [W]$$

Napomena:

$q_{E-l,\theta} = 0$ ako je uređaj smješten ispod odsisne nape

CLTD/SCL/CLF METODA

Uredski uređaji – toplinski dobici

Table 8 Recommended Heat Gain from Typical Computer Equipment

	Continuous, W	Energy Saver Mode, W
Computers^a		
Average value	55	20
Conservative value	65	25
Highly conservative value	75	30
Monitors^b		
Small monitor (330 to 380 mm)	55	0
Medium monitor (400 to 460 mm)	70	0
Large monitor (480 to 510 mm)	80	0

Sources: Hosni et al. (1999), Wilkins and McGaffin (1994).

^aBased on 386, 486, and Pentium grade.

^bTypical values for monitors displaying Windows environment.

Table 9 Recommended Heat Gain from Typical Laser Printers and Copiers

	Continuous, W	1 page per min., W	Idle, W
Laser Printers			
Small desktop	130	75	10
Desktop	215	100	35
Small office	320	160	70
Large office	550	275	125
Copiers			
Desktop copier	400	85	20
Office copier	1,100	400	300

Source: Hosni et al. (1999).

Table 10 Recommended Heat Gain from Miscellaneous Office Equipment

Appliance	Maximum Input Rating, W	Recommended Rate of Heat Gain, W
Mail-processing equipment		
Folding machine	125	80
Inserting machine, 3,600 to 6,800 pieces/h	600 to 3300	390 to 2150
Labeling machine, 1,500 to 30,000 pieces/h	600 to 6600	390 to 4300
Postage meter	230	150
Vending machines		
Cigarette	72	72
Cold food/beverage	1150 to 1920	575 to 960
Hot beverage	1725	862
Snack	240 to 275	240 to 275
Other		
Bar code printer	440	370
Cash registers	60	48
Check processing workstation, 12 pockets	4800	2470
Coffee maker, 10 cups	1500	1050 sens., 450 latent
Microfiche reader	85	85
Microfilm reader	520	520
Microfilm reader/printer	1150	1150
Microwave oven, 28 L	600	400
Paper shredder	250 to 3000	200 to 2420
Water cooler, 30 L/h	700	350

Metode proračuna toplinskog opterećenja

CLTD/SCL/CLF METODA

Oprema – toplinsko opterećenje od elektromotora

- trenutno osjetno toplinsko opterećenje kada je elektromotor izvan, a korištena oprema unutar prostora:

$$q_{EM-s,\theta} = P F_{UM} F_{LM} (CLF_M)_{\theta} \text{ [W]}$$

P – instalirana snaga elektromotora, [W]

F_{UM} – faktor korištenja elektromotora – omjer snage koja se koristi prema ukupno instaliranoj snazi

F_{LM} – toplinsko opterećenje elektromotora – dio nazivne snage koja se koristi u uvjetima promatranog sata toplinskog opterećenja

CLF – odabire se iz tablica u literaturi

Napomena: CLF=1 za 24-satno korištenje elektromotora; ako je sustav klimatizacije isključen noću ili tijekom vikenda

- opterećenje kada su i elektromotor i korištena oprema unutar prostora:

$$q_{EM-s,\theta} = \frac{P}{\eta_M} F_{UM} F_{LM} (CLF_M)_{\theta} \text{ [W]}$$

η_M ← Iskorištenje elektromotora

Metode proračuna toplinskog opterećenja

CLTD/SCL/CLF METODA

- ukupno **unutarnje osjetno** toplinsko opterećenje u satu θ :

$$q_{in-s,\theta} = \sum_n (q_{O-s,\theta} + q_{L,\theta} + q_{E-s,\theta}) \quad [\text{W}]$$

- ukupno **unutarnje latentno** toplinsko opterećenje u satu θ :

$$q_{in-l,\theta} = \sum_n (q_{O-l,\theta} + q_{E-l,\theta}) \quad [\text{W}]$$

Metode proračuna toplinskog opterećenja

CLTD/SCL/CLF METODA

Ventilacija i infiltracija zraka – toplinsko opterećenje

- strujanje vanjskog zraka u unutrašnjost zgrade kroz zazore i otvore na zgradi usljed razlike tlaka oko oplošja zgrade

- razlika tlaka se može pojaviti usljed:

1. Vjetar
2. Efekt dimnjaka zbog razlike vanjske i unutarnje temperature
3. Mehanička ventilacija (podtlak)

- osjetno opterećenje:

$$q_{\text{inf-s},\theta} = \dot{V}_{\text{inf}} \rho_0 (c_p + 1.86x)(t_{o,\theta} - t_r) \quad [\text{W}]$$

vanjska temperatura [°C]

- latentno opterećenje : volumenski protok infiltracije [L/s]

$$q_{\text{inf-l},\theta} = \dot{V}_{\text{inf}} \rho_0 2501(x_{o,\theta} - x_r) \quad [\text{W}]$$

sadržaj vlage vanjskog zraka [$\text{kg}_w/\text{kg}_{sz}$]

Metode proračuna toplinskog opterećenja

CLTD/SCL/CLF METODA

Ukupno osjetno toplinsko opterećenje prostora u satu θ :

$$q_{s,\theta} = q_{ex-s,\theta} + q_{in-s,\theta} + q_{inf-s,\theta} \quad [W]$$

Ukupno latentno toplinsko opterećenje prostora u satu θ :

$$q_{l,\theta} = q_{in-l,\theta} + q_{inf-l,\theta} \quad [W]$$

UKUPNO TOPLINSKO OPTEREĆENJE PROSTORA U SATU θ :

$$q_{T,\theta} = q_{s,\theta} + q_{l,\theta} \quad [W]$$

→ izračunavanje toplinskog opterećenja se mora provesti za nekoliko sati za redom u projektom danu da bi se našao maksimalni zbroj svih komponenata toplinskog opterećenja.

Metode proračuna toplinskog opterećenja

-s izračunatim toplinskim opterećenjem moguće je dimenzionirati sustav

Volumenski protok kondicioniranog zraka:

$$\dot{V}_{AC} = \frac{q_{s,\max}}{\rho c_p \Delta t_{AC}} \quad [\text{m}^3/\text{s}]$$

Sadržaj vlage kondicioniranog zraka:

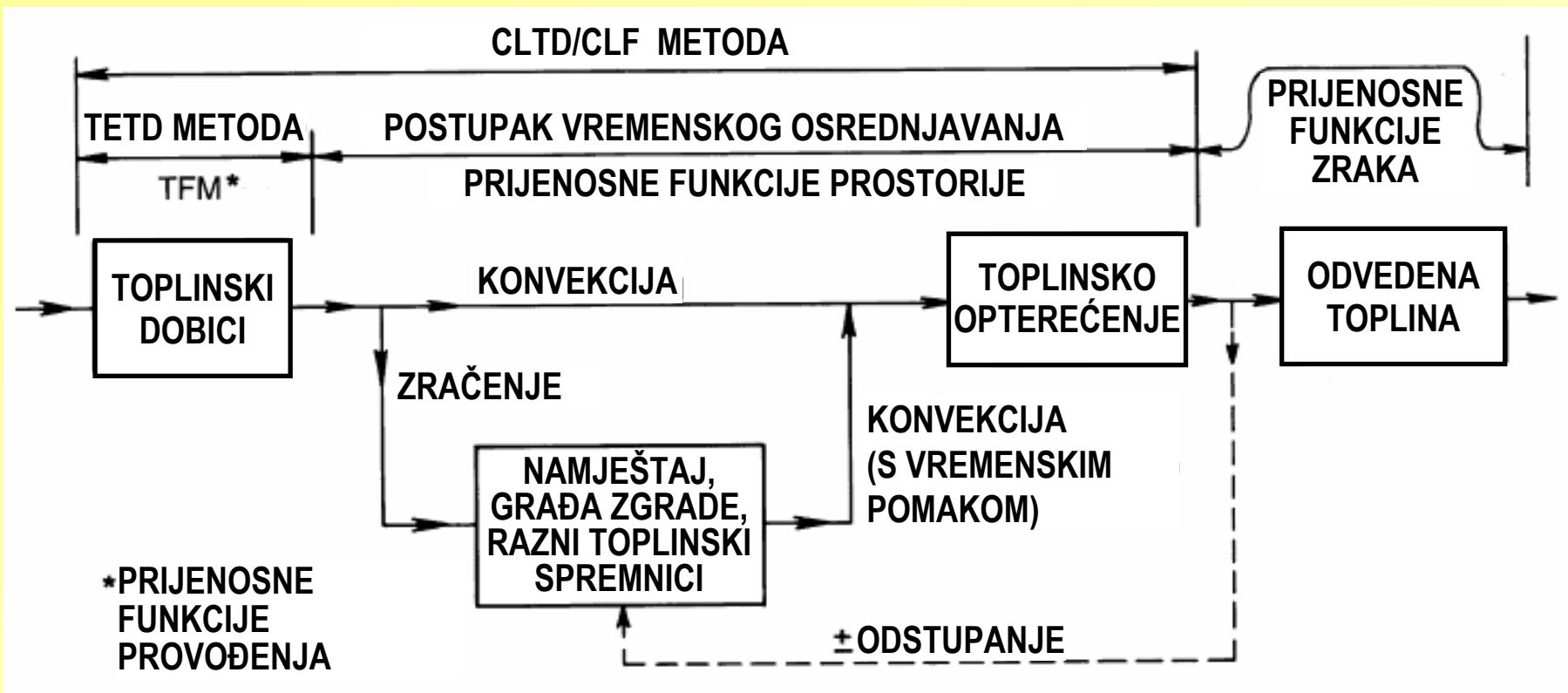
$$x_s = x_r - \frac{q_{l,\max}}{\rho r_0 \dot{V}_{AC}} \quad [\text{kg}_w/\text{kg}_{sz}]$$

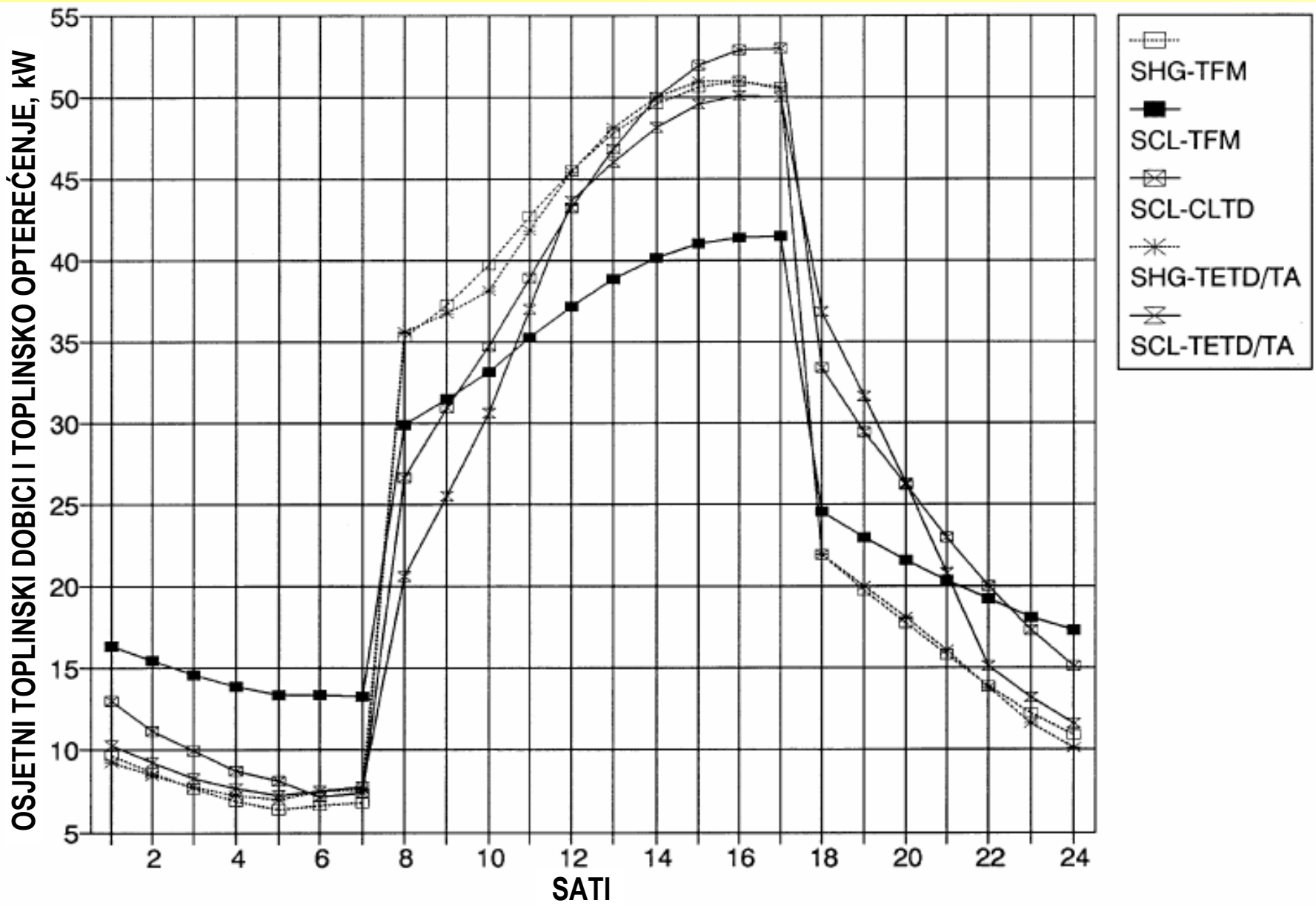
$q_{s,\max}$ – osjetno toplinsko opterećenje prostora pri maksimalnom ukupnom toplinskom opterećenju [W]

$q_{l,\max}$ – latentno toplinsko opterećenje prostora pri maksimalnom ukupnom toplinskom opterećenju [W]

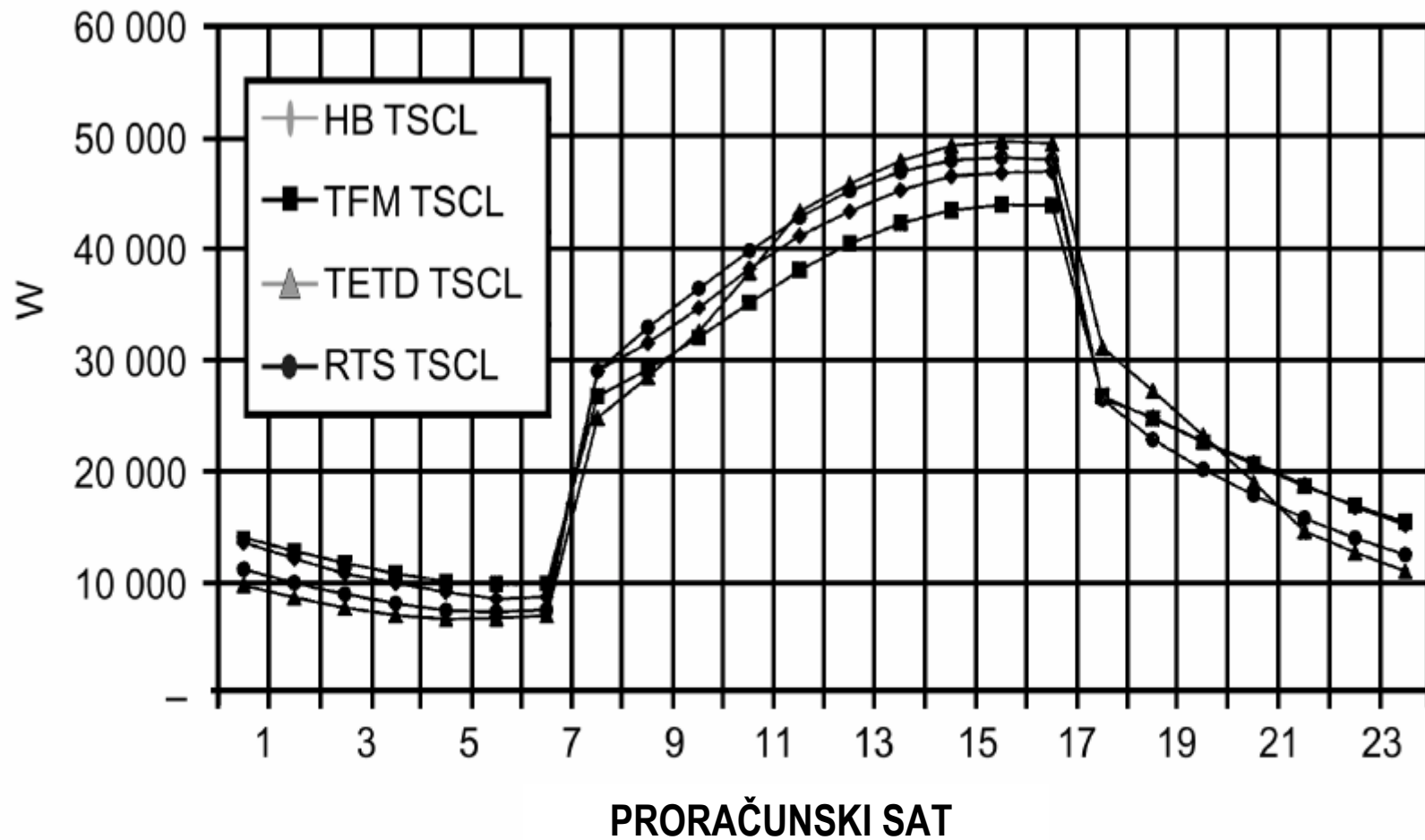
Δt_{AC} – razlika temperatura između dobavnog zraka i zraka u prostoriji za ljetno razdoblje – odabire se 3 - 8(10)°C za sustav komforne klimatizacije

Metode proračuna toplinskog opterećenja

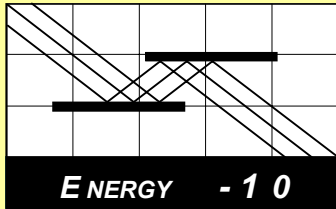




Odnos rezultata između TFM, CLTD/SCF/CLF i TETD/TA metoda za izračunavanje osjetnih toplinskih dobitaka i toplinskog opterećenja



Usporedba rezultata toplinskog opterećenja



Solar-5

blast



DOE-2



ESP-r



**Software za energetske
simulacije zgrade**



E-20-II & HAP

QUICKcontrol



TRACE 700

