



## Trajnostno vrednotenje jeklenih konstrukcij

### TEORETIČNE OSNOVE: FAZA UPORABE- ENERGIJA POTREBNA ZA OBRATOVANJE



## Vsebina

### 1) Določitev potrebne energije za obratovanje

- uvod
- lokacija stavbe in klima
- metoda za izračun energetskega potreba
- algoritem za določitev količine potrebne energije (faza uporabe)

### 2) Kalibracija in validacija algoritma

- referenčni prostor (SIST EN 15265:2007)
- referenčno večsobno stanovanje (prilagojen primer iz SIST EN 15265:2007)
- računski primer stanovanjske stavbe

### 3) Zaključki



## 1) Določitev potrebne energije za obratovanje

### Uvod

Algoritem za določitev potrebne energije za  
fazo uporabe je bil razvit v okviru  
raziskovalnega projekta RFCS



**SB STEEL**

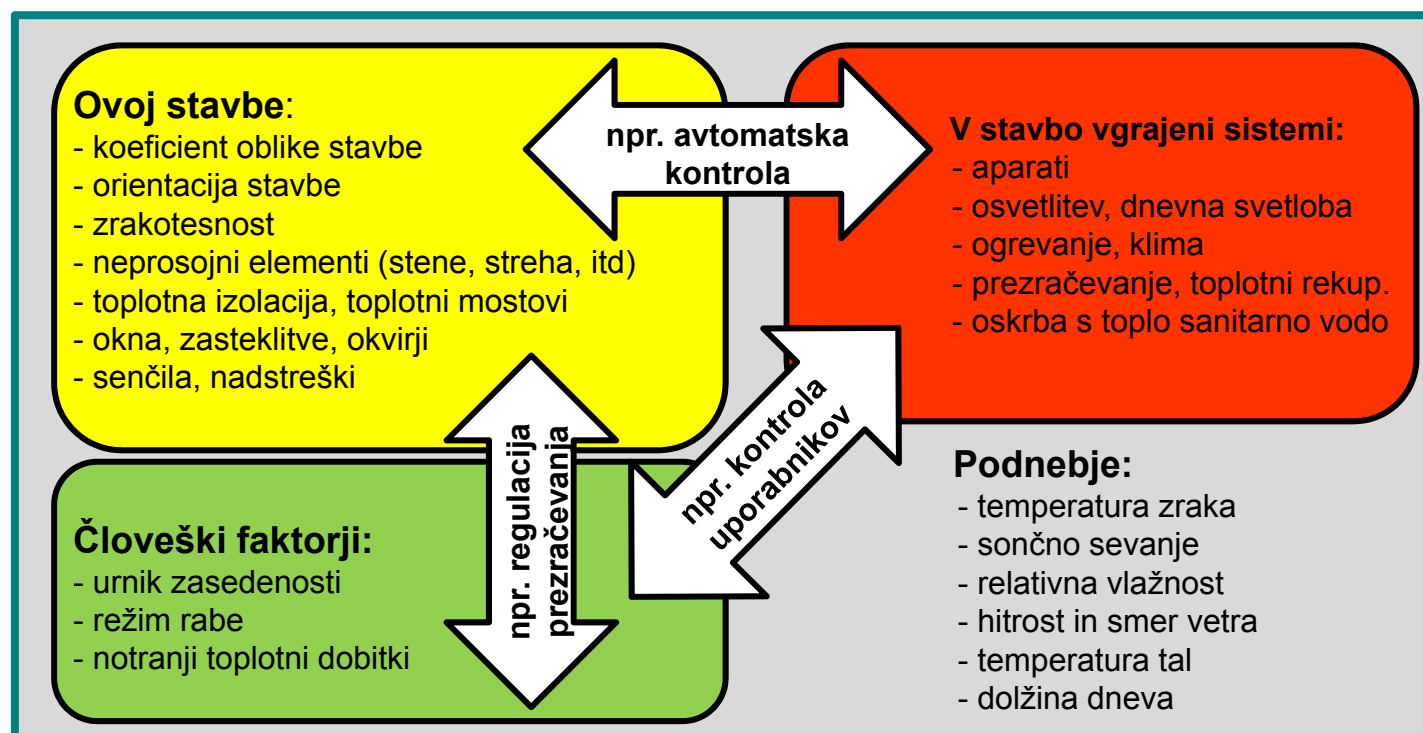
**SB\_Steel** (2014), Sustainable Building Project in Steel. Osnutek končnega poročila. RFSR-CT-2010-00027. Raziskovalni program Evropske skupnosti za premog in jeklo (angl. Research Fund for Coal and Steel – RFCS).



## Uvod

Energetska učinkovitost stavbe je odvisna od večjega števila parametrov.

Posledično je zelo zahtevno natančno predvideti potrebno energijo za obratovanje stavbe.



Zaradi nerazpoložljivosti in nenatančnosti vhodnih podatkov, je izračun potrebne energije v zgodnji fazi projektiranja še težje.



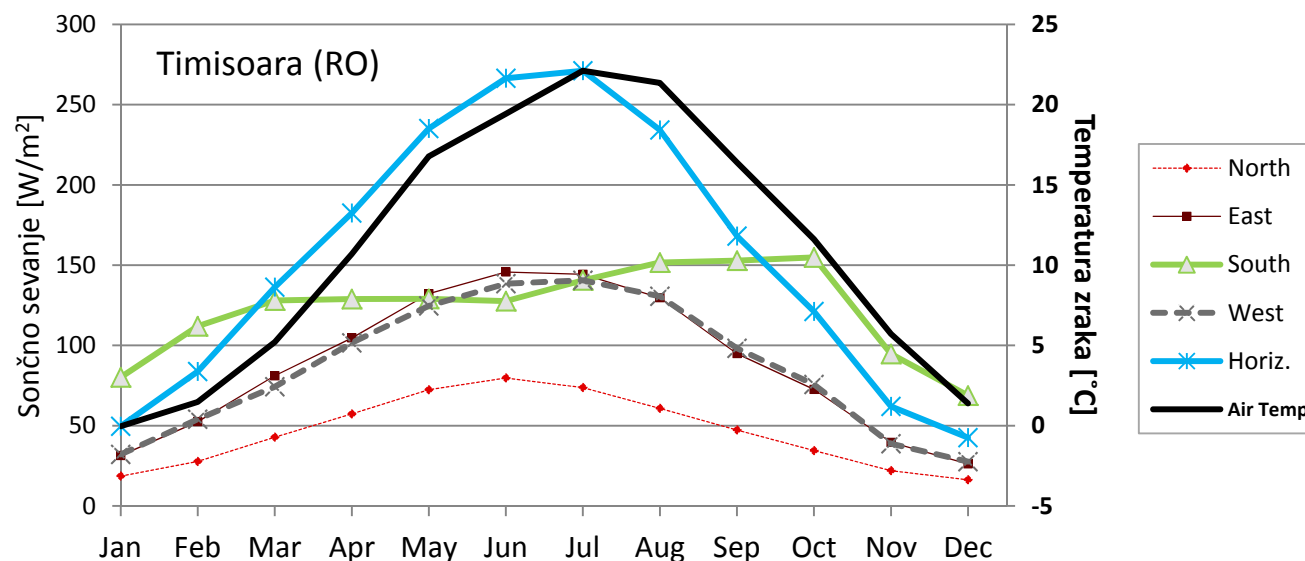
# Lokacija stavbe in klima

Lokacija stavbe je v smislu klimatskih pogojev ključnega pomena v izračunih toplotnega odziva stavbe. V zvezi s tem je za izračun energetskih potreb potrebno definirati dva glavna podnebna parametra:

- temperatura zraka;
- sončno sevanje na površino s podano orientacijo.

Večina teh klimatskih podatkov je bila dobljena iz podnebne podatkovne baze programskega orodja za energetske simulacije EnergyPlus (**EERE-USDoE, 2014**), preostali del pa s strani raziskovalnih partnerjev v projektu.

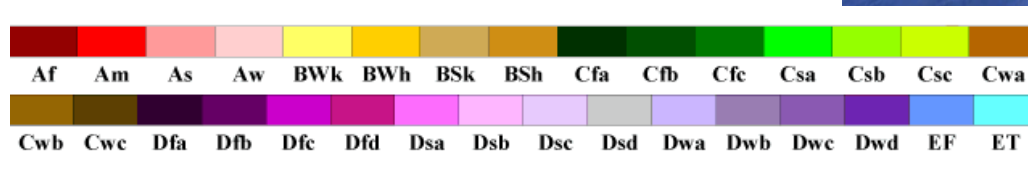
**EERE-USDoE (2014)**, Energy Efficiency and Renewable Energy Website, spletna stran ameriškega ministrstva za energijo (United States Department of Energy):  
[http://apps1.eere.energy.gov/buildings/energyplus/cfm/weather\\_data2.cfm/?region=6\\_europe\\_wmo\\_region\\_6](http://apps1.eere.energy.gov/buildings/energyplus/cfm/weather_data2.cfm/?region=6_europe_wmo_region_6)



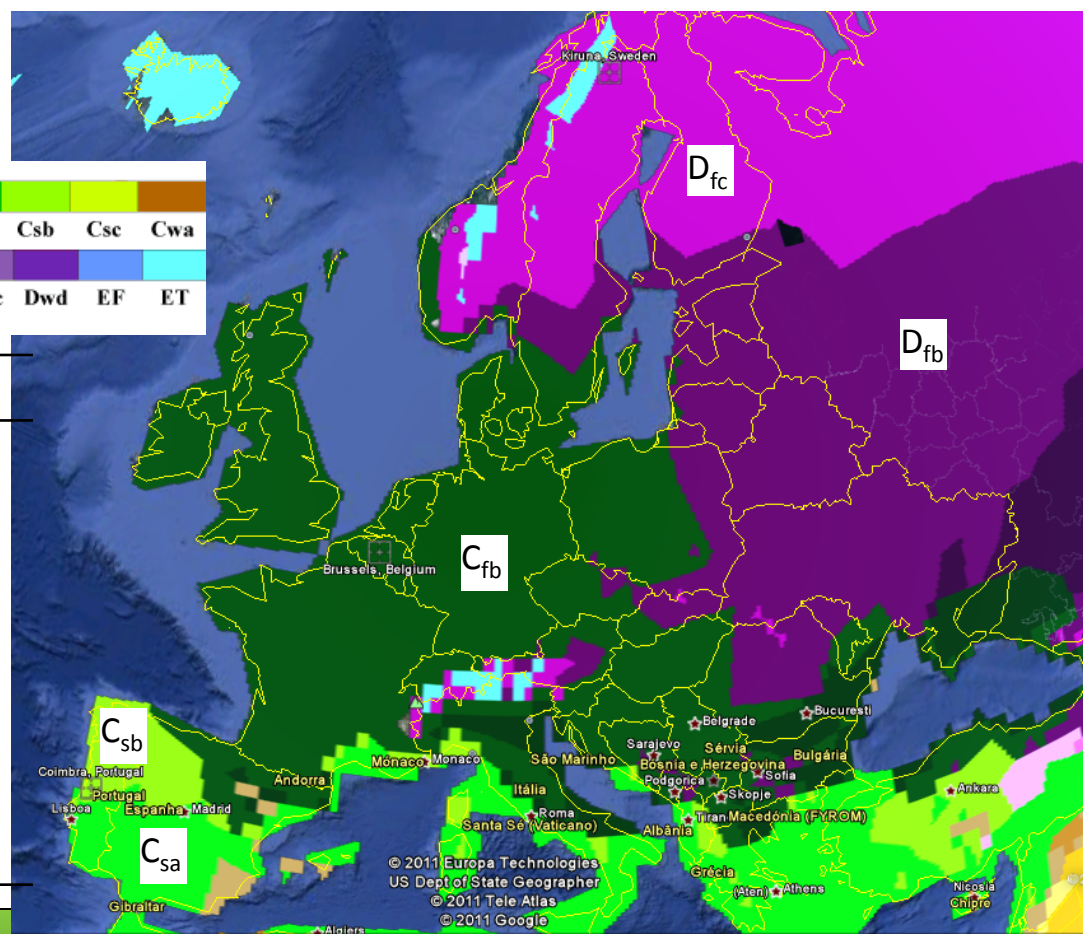


## Lokacija stavbe in klima

Trenutno je metodologija kalibrirana za pet podnebnih območij (razvrščena v skladu s podnebnimi klasifikacijami po Köppen-Geiger): (i) Csa; (ii) Csb; (iii) Cfb; (iv) Dfb; (v) Dfc.



Podnebni tipi:	Padavine:	Temperatura:
A: ekvatorialno	W: puščava	h: vroče in sušno
B: suho	S: stepa	F: polarno - led
C: tople temperature	f: vlažno	k: mrzlo in sušno
D: sneg	s: suha poletja	a: vroča poletja
E: polarno	w: suhe zime	b: topla poletja
	m: monsunska	c: hladna poletja
		d: ekstremno kontinentalno





## Lokacija stavbe in klima

Podatkovna baza za 52 mest

Mesto	Država	Podnebna regija	Mesto	Država	Podnebna regija	Mesto	Država	Podnebna regija
Amsterdam	Nizozemska	Cfb	Kijev	Ukrajina	Dfb	Oslo	Norveška	Dfb
Ankara	Turčija	Csb	Kiruna	Švedska	Dfc	Ostersund	Švedska	Dfc
Arhangelsk	Rusija	Dfc	Krakov	Poljska	Cfb	Pariz	Francija	Cfb
Atene	Grčija	Csa	La Korunja	Španija	Csb	Porto	Portugalska	Csb
Barcelona	Španija	Csa	Lizbona	Portugalska	Csa	Poznan	Poljska	Cfb
Berlin	Nemčija	Cfb	<b>Ljubljana</b>	<b>Slovenija</b>	<b>Cfb</b>	Praga	Češka	Cfb
Bilbao	Španija	Cfb	London	Anglija	Cfb	Rim	Italija	Csa
Bratislava	Slovaška	Cfb	Lublin	Poljska	Dfb	Salamanca	Španija	Csb
Bruselj	Belgija	Cfb	Madrid	Španija	Csa	Sanremo	Italija	Csb
Cluj-Napoca	Romunija	Dfb	Marseille	Francija	Csa	Sevilla	Španija	Csa
Coimbra	Portugalska	Csb	Milano	Italija	Cfb	Stockholm	Švedska	Dfb
Gdansk	Poljska	Cfb	Minsk	Belorusija	Dfb	Tampere	Finska	Dfc
Genova	Italija	Csb	Montpellier	Francija	Csa	Timisoara	Romunija	Cfb
Gradec	Avstrija	Dfb	Moskva	Rusija	Dfb	Dunaj	Avstrija	Dfb
Hamburg	Nemčija	Cfb	Munchen	Nemčija	Cfb	Varšava	Poljska	Dfb
Helsinki	Finska	Dfb	Nantes	Francija	Cfb	Vroclav	Poljska	Cfb
Istambul	Turčija	Csa	Nica	Francija	Csb			
Katowice	Poljska	Cfb	Opole	Poljska	Cfb			





# Računska metoda za določitev energetskih potreb

Poenostavljen algoritem vgrajen v program AMECO 3 omogoča napoved energetskih potreb stavbe iz naslova:

- ogrevanja prostorov;
- hlajenja prostorov;
- oskrbe s toplo sanitarno vodo (DHW).

Algoritem temelji na smernicah iz več mednarodnih standardov.

Izračun potrebne energije za ogrevanje in hlajenje sledi mesečni računski metodi na podlagi navidezno stacionarnega stanja, ki je definirana v standardu **SIST EN ISO 13790 (2008)**.

Energijske potrebe za proizvodnjo tople sanitarne vode (DHW) so izračunane v skladu s standardom **SIST EN 15316-3-1 (2007)**.

**SIST EN ISO 13790**, (2008) Energijske lastnosti stavb - Račun rabe energije za ogrevanje in hlajenje prostorov (ISO 13790:2008), SIST – Slovenski inštitut za standardizacijo.

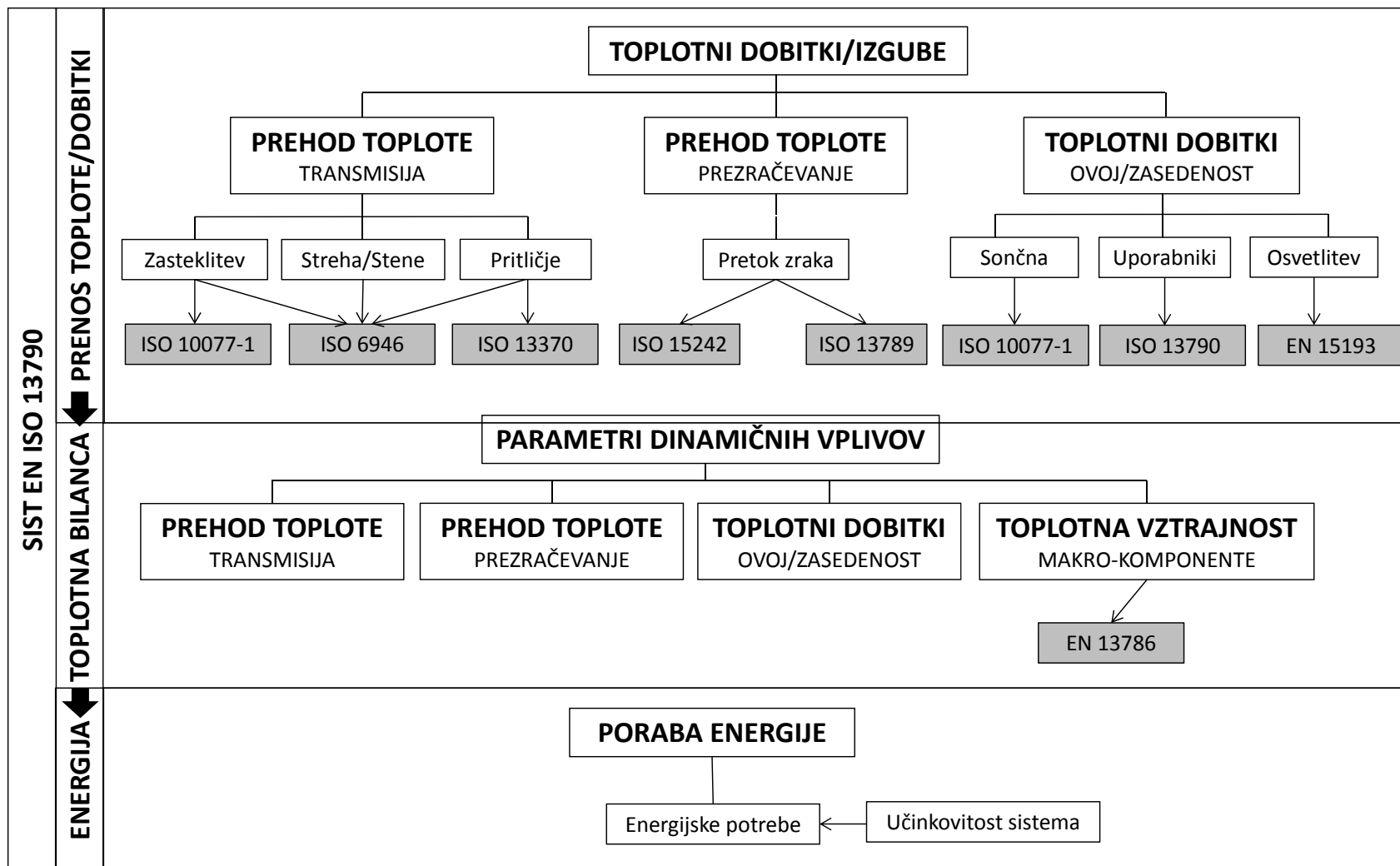
**SIST EN 15316-3-1**, (2007) Grelni sistemi v stavbah - Metoda izračuna energijskih zahtev in učinkovitosti sistema - 3-1.del.: Hišni sistemi in značilnosti potreb za toplo vodo (zahteve porabe) , SIST – Slovenski inštitut za standardizacijo.





## Računska metoda za določitev energetskih potreb

Mesečna računska metoda z upoštevanjem  
navidezno stacionarnega stanja





# Algoritem za količinsko opredelitev energije (faza uporabe)

## Vhodni podatki

LOKACIJA STAVBE → v povezavi s podnebjem (za izbrano mesto oz. klimatsko regijo):

- i) temperatura zraka;
- ii) sončno sevanje na površino s podano orientacijo.

VRSTA STAVBE: npr. stanovanjska, pisarne, trgovska ali industrijska.

OVOJ STAVBE, ki temelji na makro-komponentah oziroma konstrukcijskih sestavih (npr. stene, stropovi, strehe, pritličje, odprtine).

DIMENZIJE STAVBE in ORIENTACIJA (npr. dolžina, širina, višina in št. etaž).

NOTRANJI POGOJI: nastavljena temperatura za ogrevanje in hlajenje, hitrost pretoka zraka v povezavi s prezračevanjem.

VGRAJENI SISTEMI za ogrevanje in hlajenje prostorov ter za oskrbo s toplo sanitarno vodo.

## Rezultati

Potrebna energija za ogrevanje, hlajenje in za oskrbo s toplo sanitarno vodo.

Toplotna bilanca z upoštevanjem toplotnega prehoda skozi glavne konstrukcijske elemente stavbe (npr. stene, streha, okna).



## Algoritem za količinsko opredelitev energije (faza uporabe)

Postopek za izračun potrebne energije za **OGREVANJE** prostorov,  $Q_{H,nd}$ :

1) Toplotna bilanca z upoštevanjem NEPREKINJENEGA ogrevanja:

a)  $Q_{H,ht}$  celoten prenos toplote (transmisija + prezračevanje) → (toplotne izgube)

b)  $Q_{H,gn}$  celotni toplotni dobitki (notranji + solarni)

c)  $\eta_{H,gn}$  izkoristek energijskih dobitkov

$$Q_{H,nd} = Q_{H,nd,cont} = Q_{H,ht} - \eta_{H,gn} Q_{H,gn}$$

2) Korekcija za upoštevanje PREKINJENEGA režima ogrevanja:

a) redukcijski faktor za prekinjeno ogrevanje ( $a_{H,red}$ )

$$Q_{H,nd,interm} = a_{H,red} Q_{H,nd,cont}$$



## Algoritem za količinsko opredelitev energije (faza uporabe)

Postopek za izračun potrebne energije za **HLAJENJE**\* prostorov,  $Q_{C,nd}$ :

1) Toplotna bilanca z upoštevanjem NEPREKINJENEGA hlajenja:

a)  $Q_{C,ht}$  celoten prenos toplote (transmisija + bprezračevanje)

b)  $Q_{C,gn}$  celotni toplotni dobitki (notranji + solarni)

c)  $\eta_{C,ls}$  izkoristek energijskih izgub v režimu hlajenja

Primerjava z  
režimom ogrevanja

$$Q_{H,nd} = Q_{H,nd,cont} = Q_{H,ht} - \eta_{H,gn} Q_{H,gn}$$

$$Q_{C,nd} = Q_{C,nd,cont} = Q_{C,gn} - \eta_{C,ls} Q_{C,ht}$$

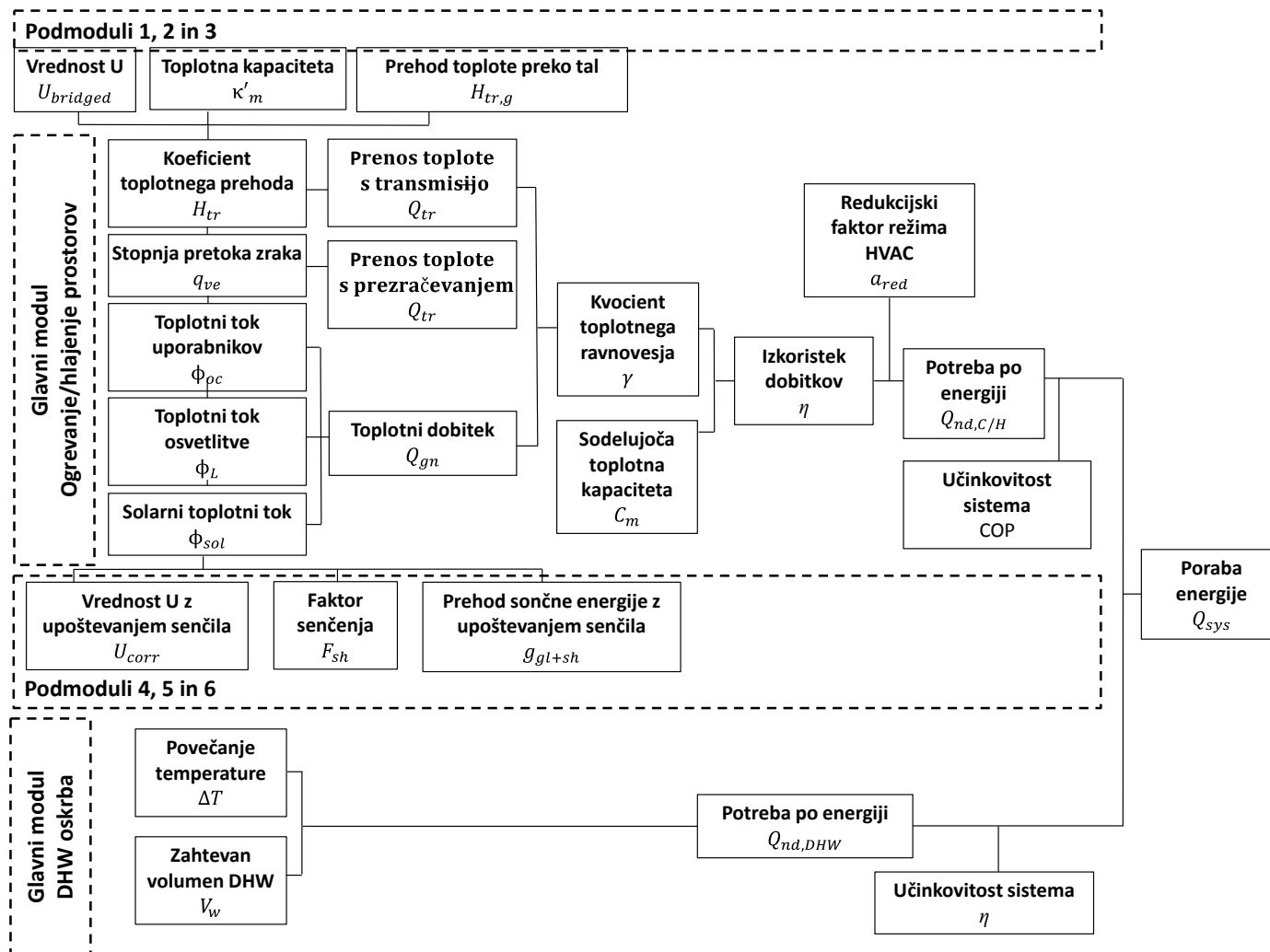
2) Korekcija za upoštevanje PREKINJENEGA režima hlajenja:

a) redukcijski faktor za prekinjeno hlajenje

\* Podoben pristop kot v primeru ogrevanja



## Algoritem za količinsko opredelitev energije (faza uporabe)





## 2) Validacija uporabljenih metodologij

### Izračun potrebne energije

Vgrajen algoritem za napoved energetske potrebe iz naslova ogrevanja in hlajenja prostorov stavbe je bil kalibriran, natančnost rezultatov je bila preverjena na različnih nivojih (Santos *et al.* 2014):

- referenčni prostor (SIST EN 15265:2007);
- referenčno večsobno stanovanje (prilagojen primer iz SIST EN 15265:2007);
- računski primer stanovanjske stavbe.

P. SANTOS; R. MARTINS; H. GERVÁSIO; L. SIMÕES DA SILVA, "Assessment of building operational energy at early stages of design – A monthly quasi-steady-state approach", *Energy and Buildings* (ISSN: 0378-7788), vol. 79, pp. 58–73, 2014.

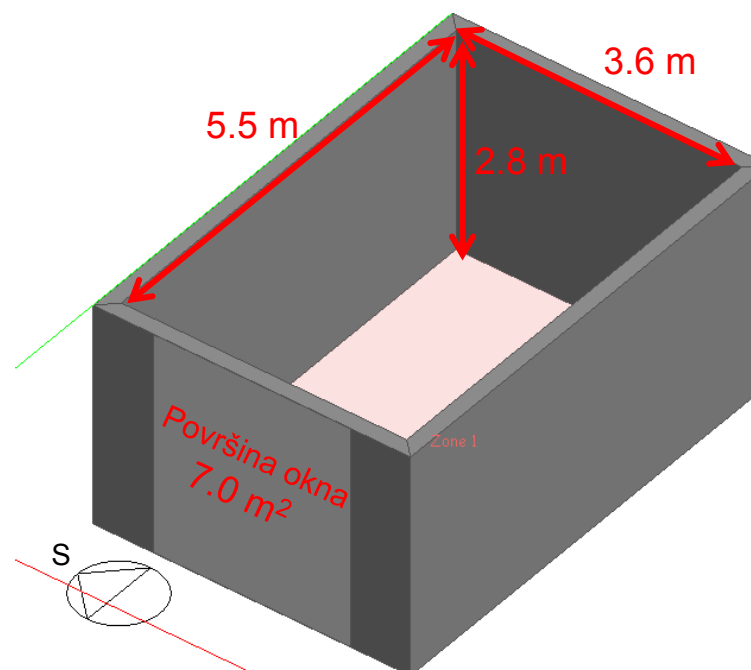
**SIST EN 15265**, (2007) Energijske značilnosti stavb - Računanje porabljene energije za segrevanje in hlajenje prostora z dinamično metodo - Splošna merila in validacija postopka, SIST – Slovenski inštitut za standardizacijo.



## Referenčni prostor (SIST EN 15265:2007)

Standard definira nabor 12 računskih primerov za referenčni prostor.

(Informativen)	<b>Test 1</b> Referenčni primer <b>Test 2</b> visoka toplotna vztrajnost <b>Test 3</b> brez notranjih dobitkov <b>Test 4</b> brez sončne zaščite
Prekinjen HVAC (predpisan)	<b>Test 5</b> = Test1 + <b>Test 6</b> = Test2 + <b>Test 7</b> = Test3 + <b>Test 8</b> = Test4 + <b>HVAC samo za interval 8h-18h od ponedeljka do petka</b>
Prekinjen HVAC + streha (predpisan)	<b>Test 9</b> = Test5 + <b>Test 10</b> = Test6 + <b>Test 11</b> = Test7 + <b>Test 12</b> = Test8 + <b>streha</b>



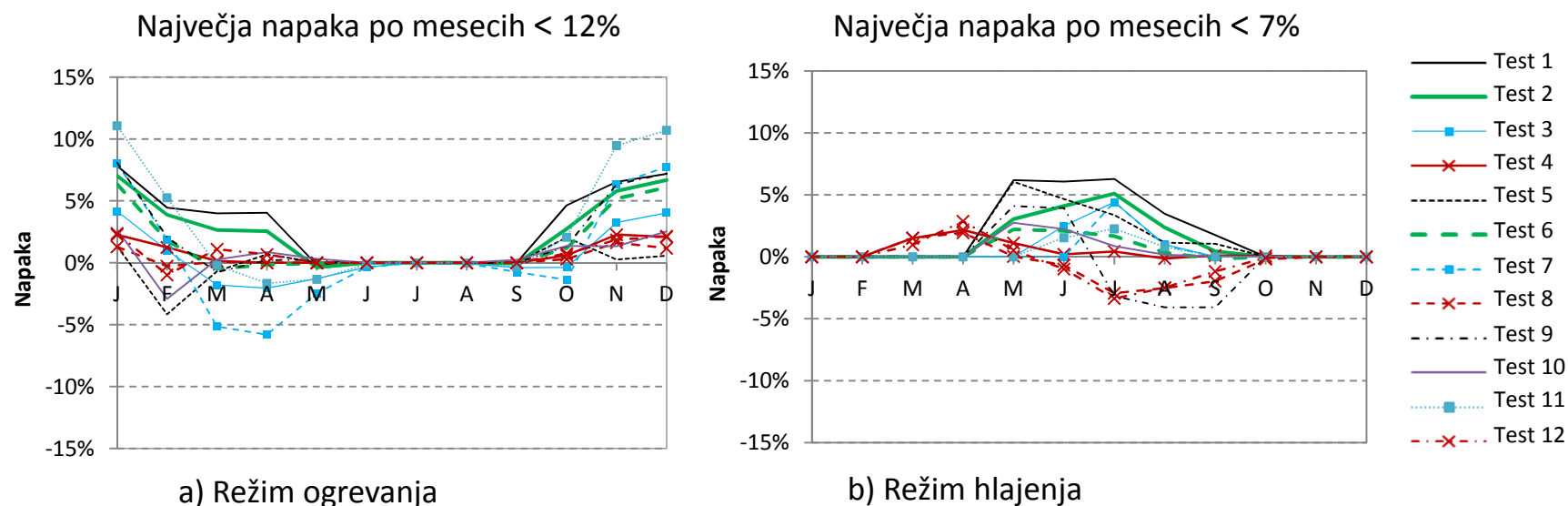
Ti računski primeri omogočajo študijo vpliva nekaterih ključnih parametrov v računskem postopku za določitev potrebne energije, kot npr.: naprave za senčenje, toplotna masa, prekinjeno oz. neprekinjeno delovanje sistema HVAC, notranji dobitki, itd.





## Referenčni prostor (SIST EN 15265:2007)

Natančnost algoritma je odvisna od: računskega primera, obravnavanega meseca v letu ter od režima ogrevanja oz. hlajenja.

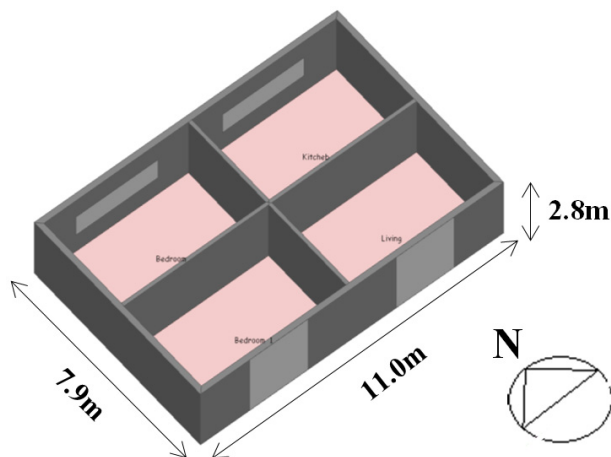


Natančnost mesečnega algoritma za režim ogrevanja / hlajenja: 12 računskih primerov iz SIST EN 15265:2007.



## Referenčno večsobno stanovanje (prilagojen primer iz SIST EN 15265:2007)

Ker algoritem mesečne računske metode ocenjuje potrebe po energiji celotne stavbe in se ne osredotoča samo na en določen prostor v stavbi, kot je to upoštevano v **SIST EN 15265 (2007)**, so bili vsi kalibracijski izračuni izvedeni na novi skupini testnih primerov, ki upoštevajo tipične lastnosti stanovanjske stavbe.



a) računski model stanovanja (notranje dimenzije)

Element	Vrednost U [W/m <sup>2</sup> .K]	$\kappa_m$ [J/m <sup>2</sup> .K]
zunanja stena	0,493	81297
notranja stena	-	9146
streha	0,243	6697
talna plošča	-	63380

$\kappa_m$  Površinska toplotna kapaciteta

### b) Toplotne karakteristike ovoja

Rač. primer	GFR [%]	NGWR [%]	SGWR [%]	senčilo
T1	35	36	54	ON
T2				OFF
T3	25	20	40	ON
T4				OFF
T5	15	12	24	ON
T6				OFF

GFR: delež zasteklitve glede na tlorisno površino; NGWR: delež zasteklitve severne stene; SGWR: delež zasteklitve južne stene.

### c) Glavne spremenljivke računskega primera

Referenčno stanovanje uporabljeno za kalibracijo korekcijskih faktorjev







# Stanovanjska stavba

Dvoetažna stanovanjska stavba iz lahke jeklene okvirne konstrukcije v Coimbri na Portugalskem.



Pogled: jugozahod

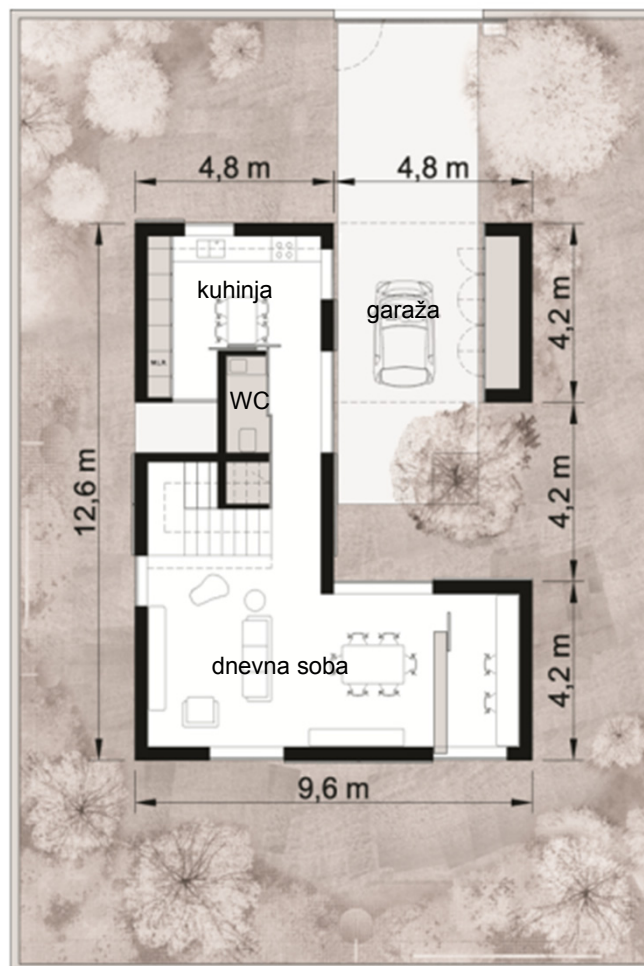
Pogled: severozahod





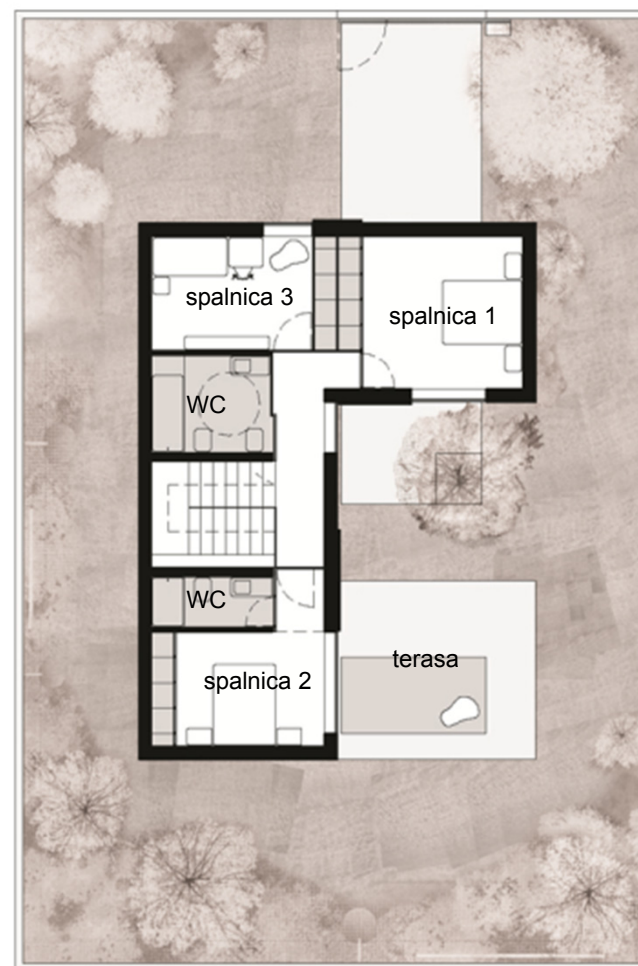
# Računski primer stanovanjske stavbe

Pritličje



Tloris etaž

Nadstropje

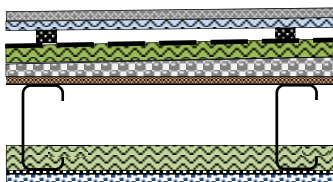




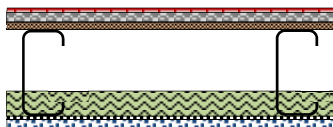
## Računski primer stanovanjske stavbe

Neprosojni del ovoja stavbe:

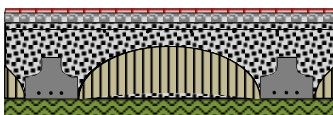
Pohodna streha



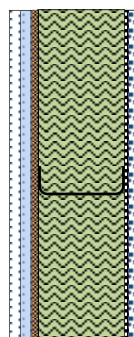
Strop etaže



Talna plošča



Zunanja stena    Notranja stena



Toplotne karakteristike:

Element	Vrednost U [W/m <sup>2</sup> .K]	$\kappa_m$ [J/m <sup>2</sup> .K]
strop strehe	0,37	13435
strop etaže	-	61062
talna plošča	0,60	65957
zunanja stena	0,29	13391
notranja stena	-	26782

Zastekleni del ovoja:

Toplotne karakteristike:

Materiali	Vrednost U [W/m <sup>2</sup> .K]	SHGC
PVC okvir, dvojna zasteklitev (8+6 mm, zračna plast 14 mm)	2,60	0,78

SHGC – koeficient sončnih toplotnih dobitkov





# Računski primer stanovanjske stavbe

Referenčni rezultati za primer obravnavane stavbe so bili dobljeni s pomočjo naprednih dinamičnih simulacij.

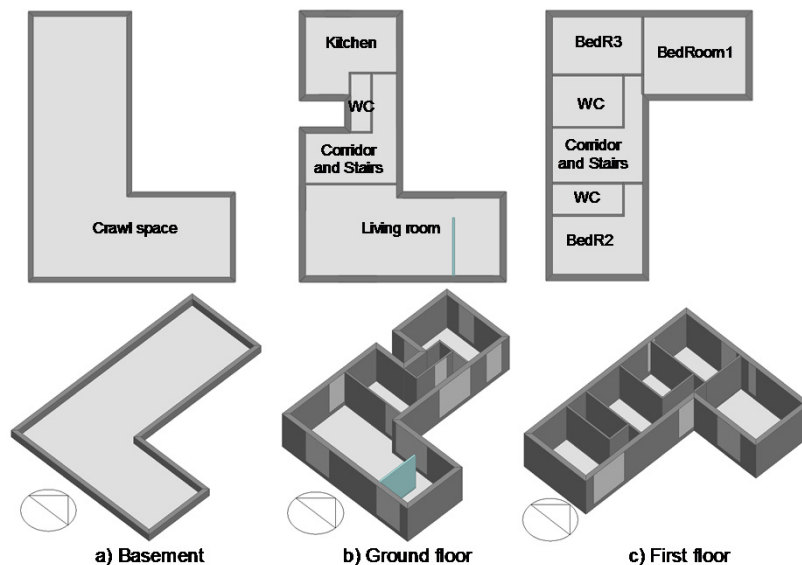
Programska  
orodja:



**DesignBuilder**  
SOFTWARE

**et EnergyPlus**

Model je razdeljen na 10 toplotnih con.



Prikaz etaž stavbe



3D pogled na model v programu DsB



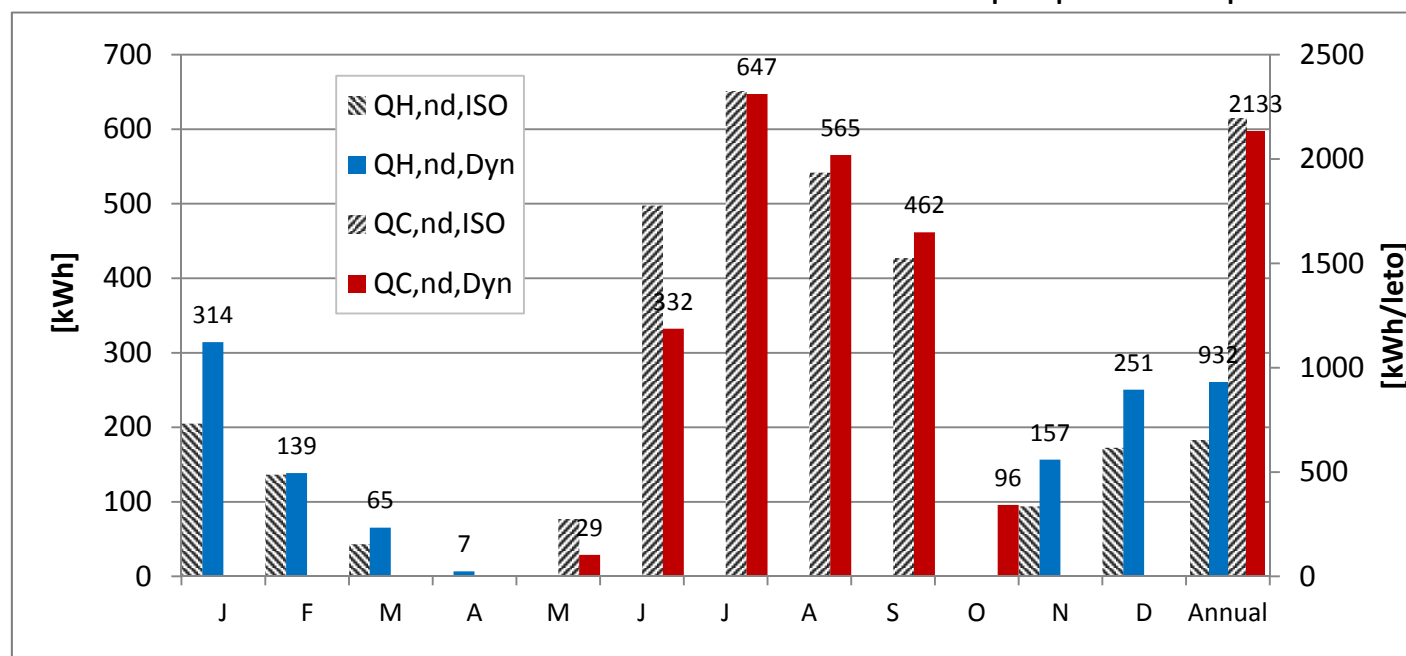
Simulacija senčenja za 10 Avgust



# Računski primer stanovanjske stavbe

Dobljeni rezultati:

povprečna napaka: -7.2%



Potrebna energija za ogrevanje in hlajenje prostorov v stavbi: primerjava rezultatov med dinamično analizo (Dyn) in *mesečnim algoritmom* (ISO)



### 3) Zaključki

- Ocena energije vložene pri izgradnji stavbe ter energije potrebne za obratovanje stavbe je bistvenega pomena za izvedbo analize življenjskega cikla stavbe.
- Natančna napoved količine energije potrebne za obratovanje stavbe ni enostaven postopek, saj je problem odvisen od mnogih parametrov.
- V program je bil vgrajen poenostavljen računski algoritem za izvedbo ocene o količini potrebne energije za ogrevaje / hlajenje stavbe ter oskrbo s toplo sanitarno vodo. Pri tem so bila upoštevana določila nekaterih mednarodnih standardov.
- Natančnost mesečne računske metode z upoštevanjem navidezno stacionarnega stanja v skladu s SIST EN ISO 13790 je bila preverjena na podlagi primerjave z naprednimi dinamičnimi simulacijami.
- Na podlagi primerjave rezultatov lahko zaključimo, da je natančnost vgrajenega poenostavljenega računskega postopka povsem sprejemljiva (povprečna napaka < 10%).