Sveučilište u Zagrebu
Fakultet strojarstva i brodogradnje

Proračun potrošnje primarne energije za obiteljsku kuću sa sunčanim toplovodnim sustavom i kotlom na biomasu

Mihaela Berković-Šubić
Martina Rauch
Damir Dović
Mladen Andrassy

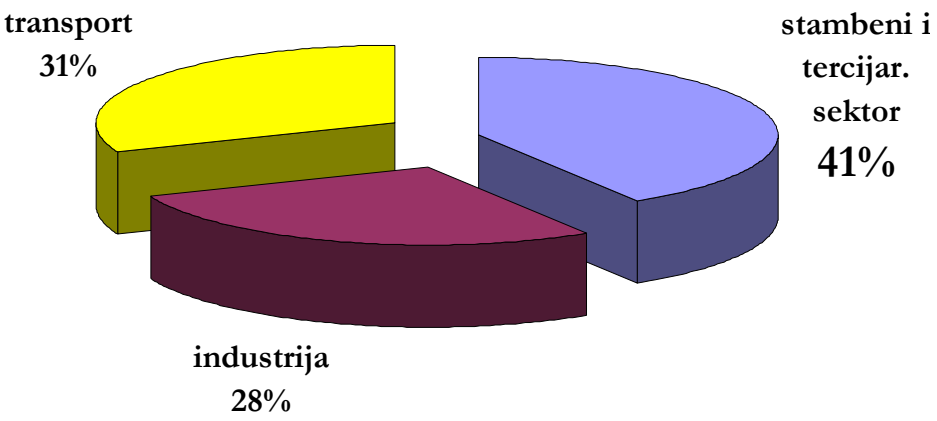
SADRŽAJ

- Uvod
- Koncept Algoritma
- Metode proračuna
- Primjer proračuna
- Rezultati
- Zaključak

UVOD

- EPBD – smanjenje potrošnje primarne energije u zgradarstvu (~ **40%!)** i ostvarivanje jedinstvene metodologije za proračun energetskih svojstava zgrada

- Udio potrošnje primarne energije po pojedinim granama u EU:



UVOD

- Ne postoji jedinstvena EU metodologija

  ⟶ **Algoritam za određivanje energetskih zahtjeva i učinkovitost termotehničkih sustava u zgradama**

- Primjer proračuna: referentna obiteljska kuća opremljena sunčanim toplovodnim sustavom i kotlom na biomasu

Izgled certifikata za stambene zgrade

Pravilnik o energetskim pregledima građevina i energetskom certificiranju zgrada NN 81/12

prema Direktivi 2002/91/EC

Zgrada ☐ nova ☐ postojeća

Vrsta zgrade
K.č. k.o.
Adresa
Mjesto
Vlasnik / investitor
Izvođač
Godina izgradnje

Energetski certifikat za stambene zgrade

$Q''_{H,nd,ref}$ kWh/(m²a)		Izračun 49
A+	≤ 15	
A	≤ 25	
B	≤ 50	B
C	≤ 100	
D	≤ 150	
E	≤ 200	
F	≤ 250	
G	> 250	

Podaci o osobi koja je izdala energetski certifikat

Ovlaštena fizička osoba
Ovlaštena pravna osoba
Imenovana osoba
Registarski broj ovlaštene osobe
Broj energetskog certifikata
Datum izdavanja/rok važenja
Potpis

Podaci o zgradi

A_K [m²]
V_e [m³]
f_0 [m⁻¹]
$H'_{tr,adj}$ [W/(m²K)]

Klimatski podatci

Klimatski podaci (kontinentalna ili primorska Hrvatska)	
Broj stupanj dana grijanja SD [Kd/a]	
Broj dana sezone grijanja Z [d]	
Srednja vanjska temperatura u sezoni grijanja θ_e [°C]	
Unutarnja projektna temperatura u sezoni grijanja θ_i [°C]	

Podaci o termotehničkim sustavima zgrade

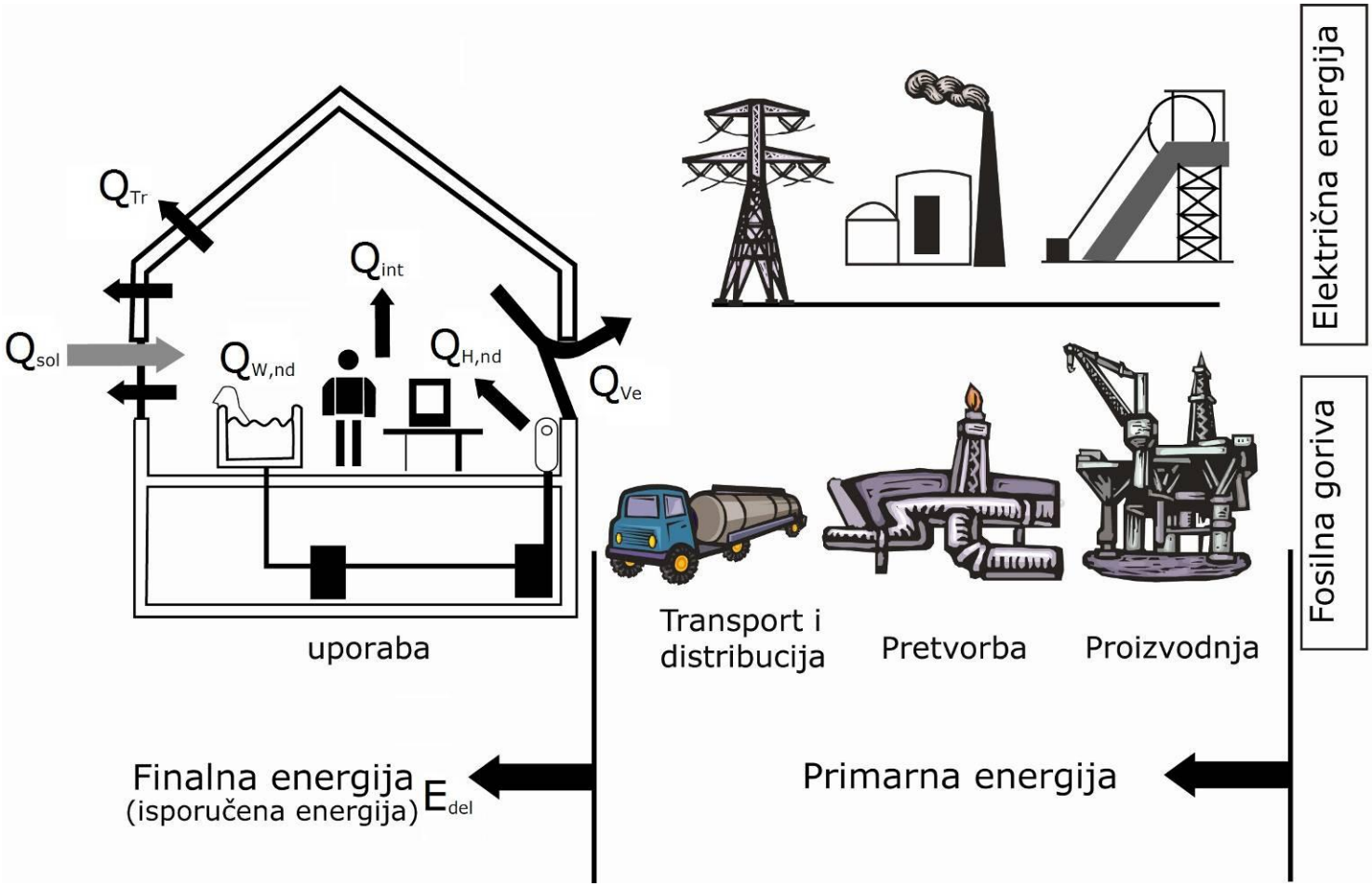
Način grijanja zgrade (lokalno, etažno, centralno, daljinski izvor)	
Izvori energije koji se koriste za grijanje i pripremu potrošne tople vode	
Način hlađenja (lokalno, etažno, centralno, daljinski izvor)	
Izvori energije koji se koriste za hlađenje	
Vrsta ventilacije (prirodna, prisilna bez ili s povratom topline)	
Vrsta i način korištenja sustava s obnovljivim izvorima energije	
Udio obnovljivih izvora energije u potrebnoj toplinskoj energiji za grijanje [%]	

Energetske potrebe

	Za referentne klimatske podatke		Za stvarne klimatske podatke		Zahtjev	
	Ukupno [kWh/a]	**Specifično** [kWh/(m²a)]	**Ukupno** [kWh/a]	**Specifično** [kWh/(m²a)]	**Dopušteno** [kWh/(m²a)]	**Ispunjeno** DA / NE
$Q_{H,nd}$						
Q_W						
$Q_{H,ls}$						
$Q_{W,ls}$						
Q_H						
E_{del}						
E_{prim}						
CO_2 [kg/a]						

Objašnjenje: ☐ obvezna ispuna ☐ ispunjava se opcijski

- Metodologija proračuna energetskih značajki zgrada obuhvaća sve energetske tokove zgrade i pretvorbe energije od primarne do isporučene



KONCEPT ALGORITMA

$Q_{H,nd} + Q_W$

HRN EN 13790

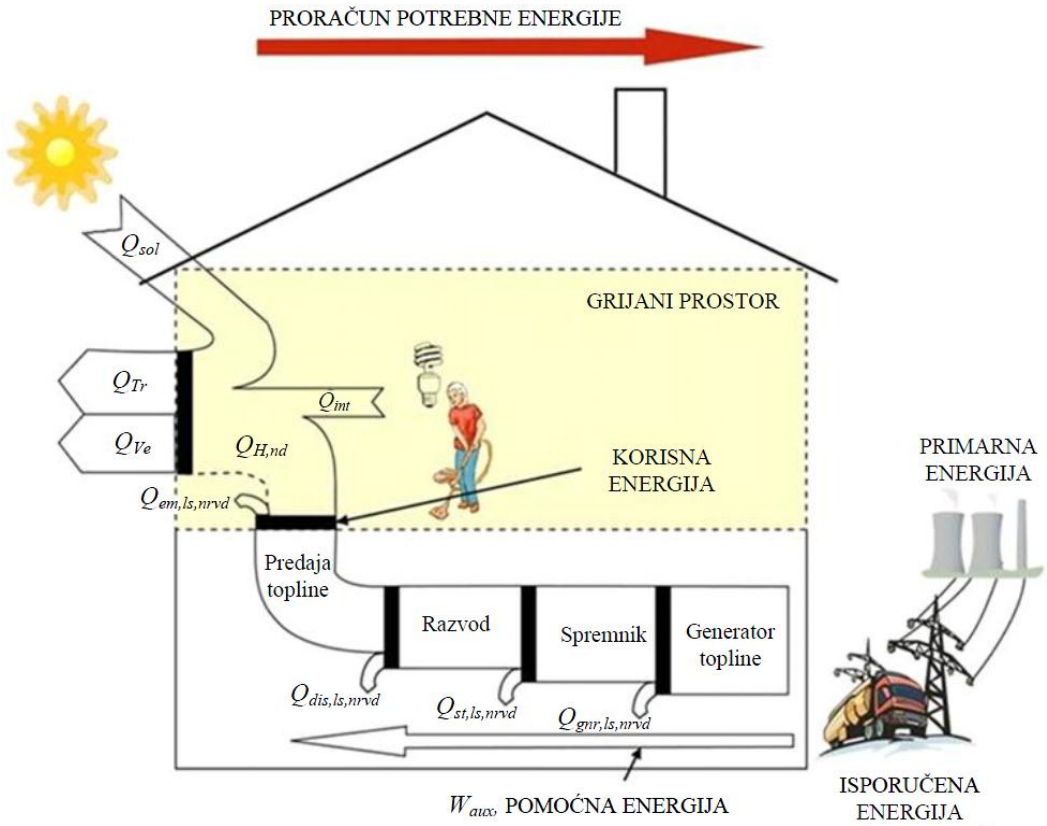
HRN EN 15316-3-1

Ukupni toplinski gubici i pomoćna energija

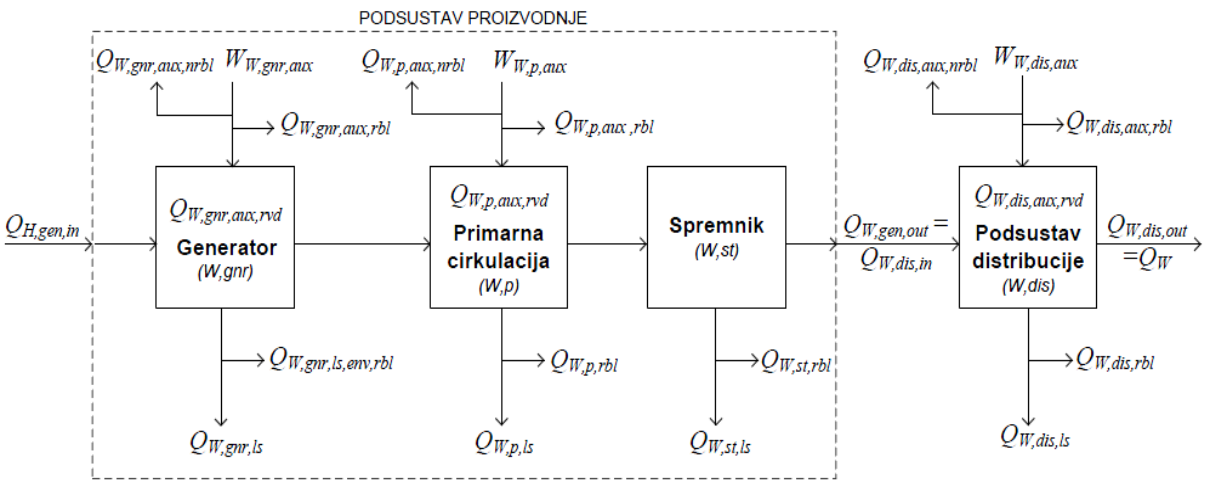
Isporučena i primarna energija

HRN EN 15316

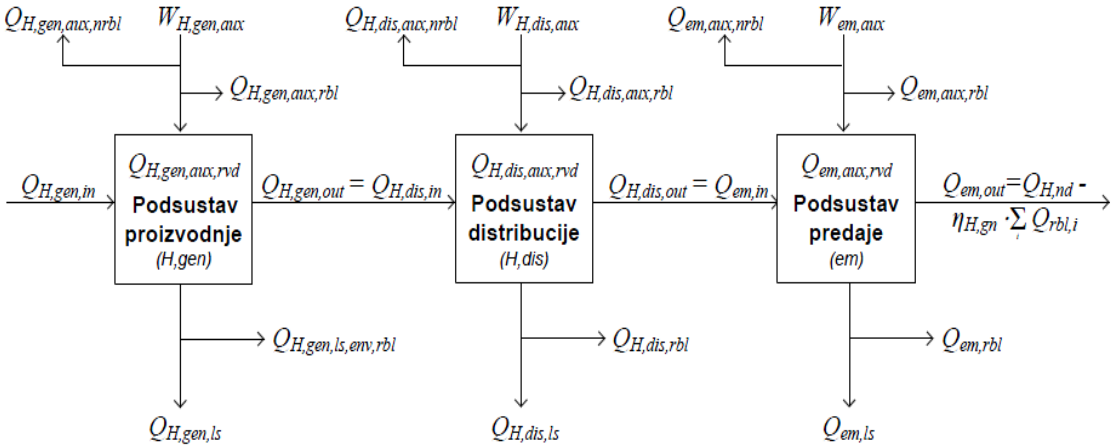
HRN EN 15603



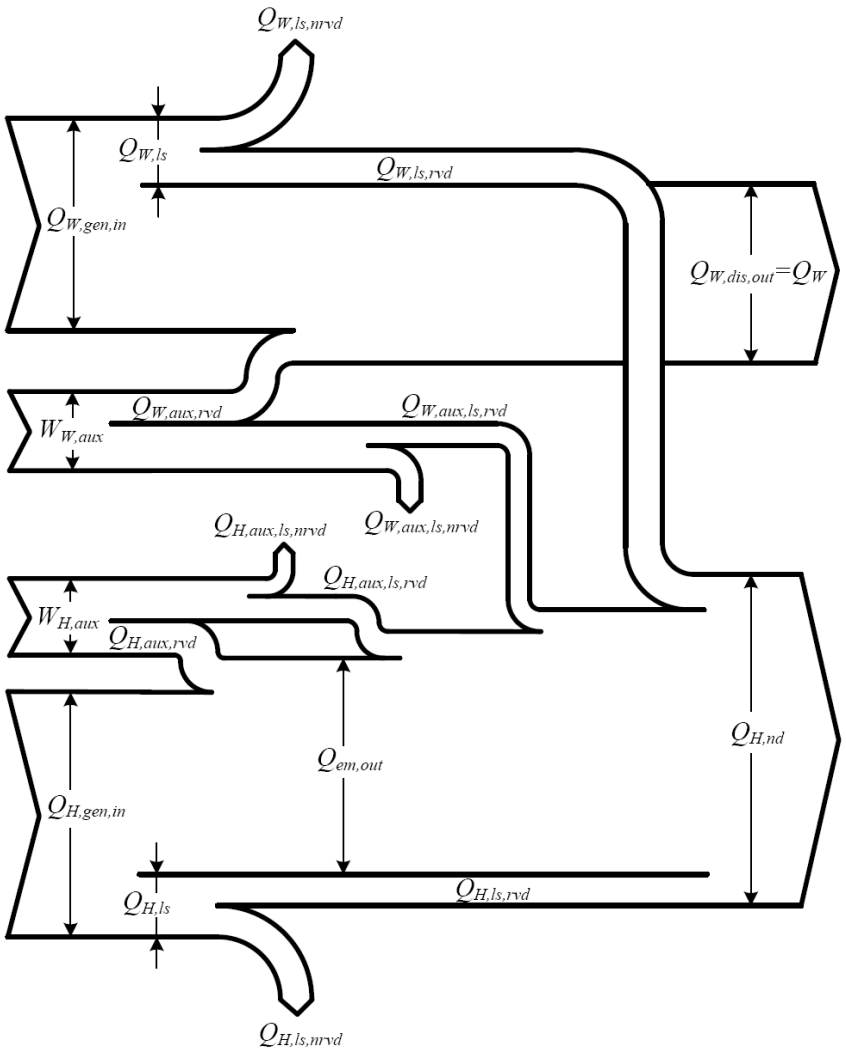
PRIPREMA PTV-a



GRIJANJE



METODA PRORAČUNA



- Potrebna toplinska energija za grijanje:

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

- Toplinska energija na izlazu iz podsustava predaje:

$$Q_{em,out} = Q_{H,nd} - \sum_i Q_{ls,rvd,i} \quad [\text{kWh}]$$

- Iskorišteni dio pojedinog iskoristivog gubitka:

$$Q_{ls,rvd,i} = \eta_{H,gn} \cdot Q_{rbl,i} \quad [\text{kWh}]$$

- Toplinska energija koju je potrebno isporučiti u promatrani podsustav:

$$Q_{in} = Q_{out} - Q_{aux,rvd} + Q_{ls} \quad [\text{kWh}]$$

ISPORUČENA I PRIMARNA ENERGIJA

- Isporučena energija:

$$E_{del} = Q_{H,gen,in} + W_{em,aux} + W_{H,dis,aux} + W_{H,gen,aux} + Q_{W,gen,in} + W_{W,dis,aux} + W_{W,gen,aux} + W_{sol,aux}*$$

- Primarna energija:

$$E_{prim} = Q_{H,gen,in} \cdot f_{p,i} + (W_{em,aux} + W_{H,dis,aux} + W_{H,gen,aux}) \cdot f_{p,el} + Q_{W,gen,in} \cdot f_{p,i} + (W_{W,dis,aux} + W_{W,gen,aux} + W_{sol,aux*}) \cdot f_{p,el}$$

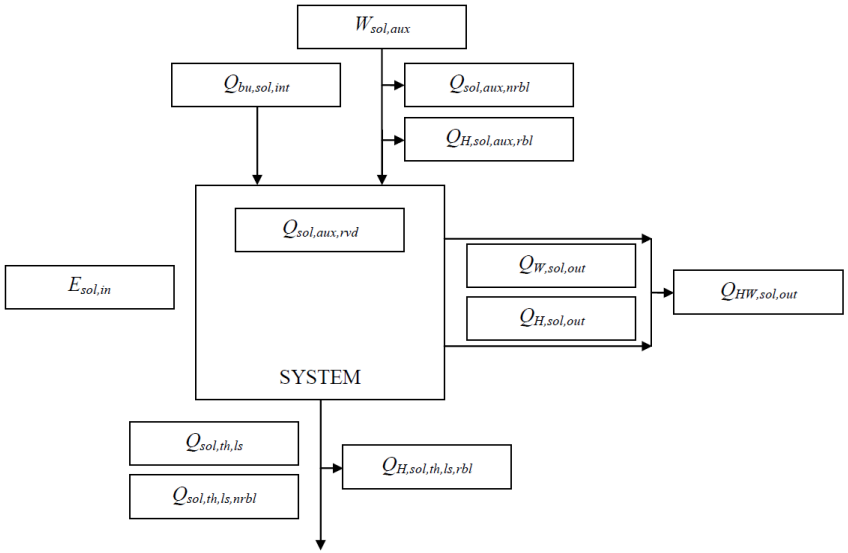
PRORAČUN SUNČANOG TOPLOVODNOG SUSTAVA – HRN EN 15316-4-3

- Isporučena toplinska energija sunčanog sustava:

$$Q_{sol,out} = Q_{sol,us} \cdot \left(aY + bX + cY^2 + dX^2 + eY^3 + fX^3\right) \quad [\text{kWh}]$$

- Pomoćna energija sunčanog sustava:

$$W_{sol,aux} = W_{col,aux} + W_{bu,aux} \quad [\text{kWh}]$$



- Toplinski gubici sunčanog sustava:

$$Q_{sol,ls} = Q_{sol,st,ls} + Q_{bu,dis,ls} \quad [\text{kWh}]$$

- Ukupni iskoristivi gubici sunčanog sustava:

$$Q_{sol,ls,rbl} = Q_{sol,aux,rbl} + Q_{sol,st,ls,rbl} + Q_{bu,dis,ls,rbl} \quad [\text{kWh}]$$

- Sunčani doprinos:

$$SUN = Q_{gen,in,ns}\, C_{gas} - Q_{gen,in} \cdot C_{biomass} + (\sum W_{aux,ns} - \sum W_{aux}) \cdot C_{el} \qquad \text{[kn/god]}$$

- Period povrata investicije:

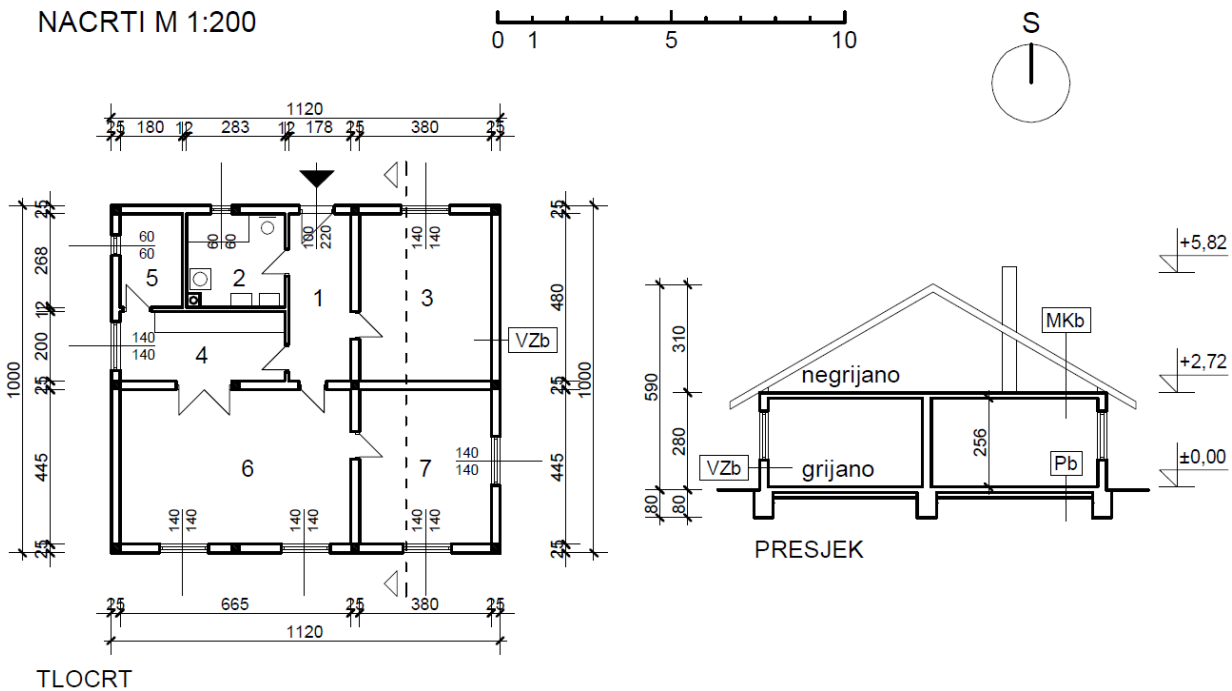
$$P = \frac{I}{SUN} \qquad \text{[god]}$$

PRIMJER PRORAČUNA

- Godišnja potrebna toplinska energija za grijanje prostora:

  a) $Q_{H,nd}$ = 65,75 kWh/m^2 → **energetski razred C**

  b) $Q_{H,nd}$ = 213,05 kWh/m^2 → **energetski razred F**

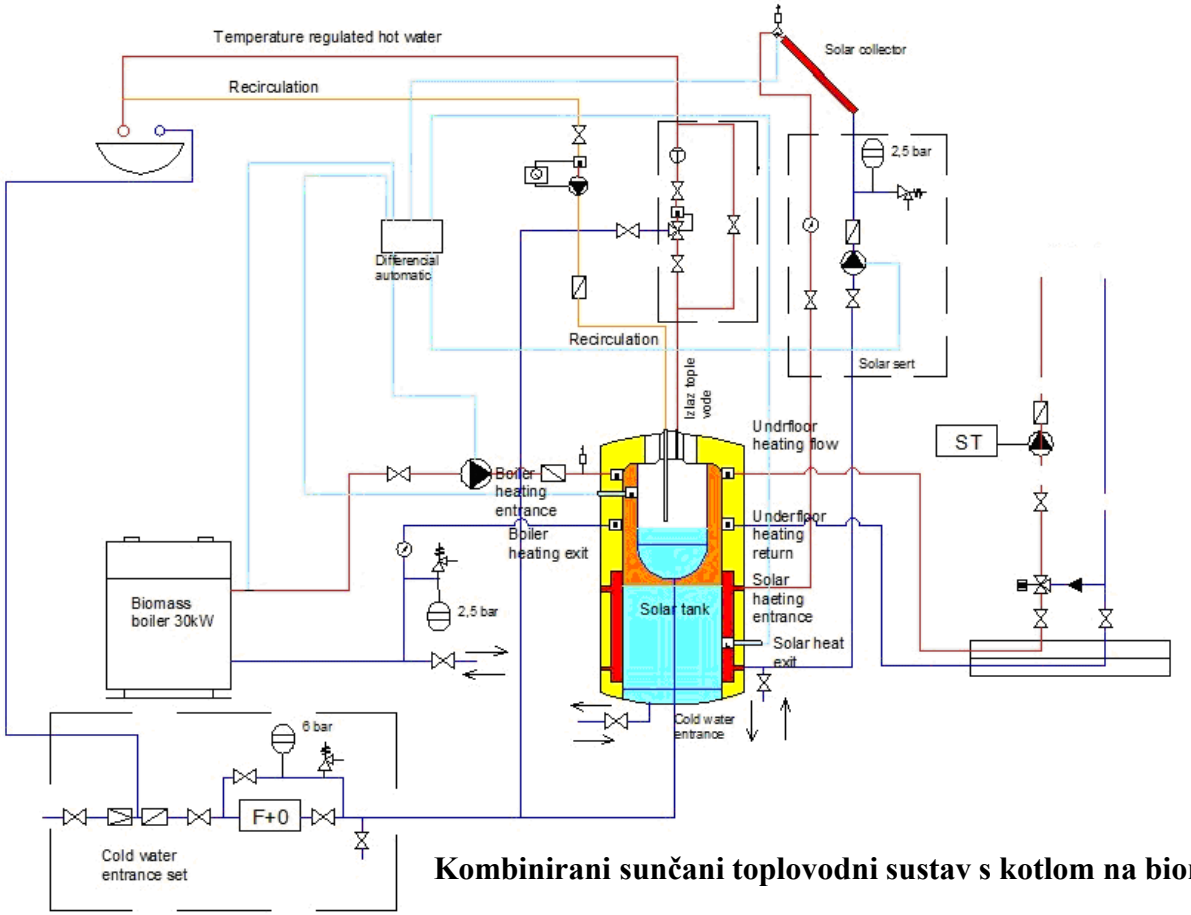


Referentna obiteljska kuća (1971. – 1986.), kontinentalna Hrvatska

- Tipovi sustava:

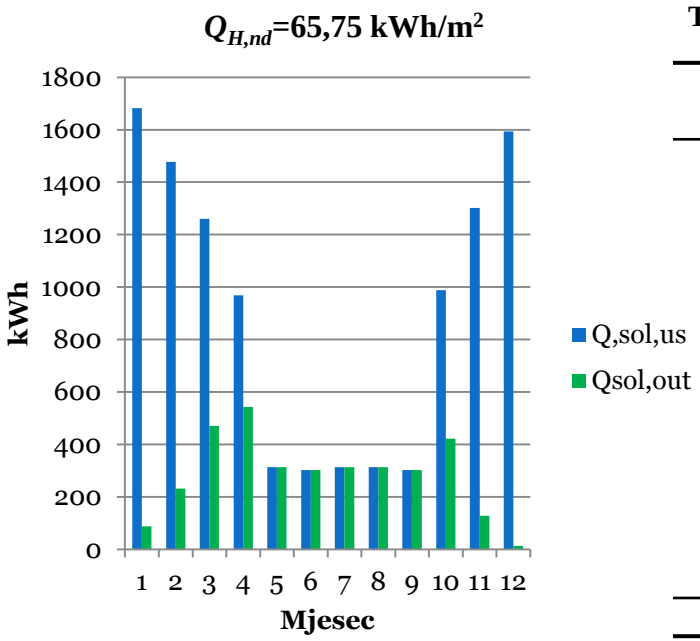
  a) Konvencionalni (plinski kotao)

  b) Kombinirani sunčani toplovodni sustav s kotlom na biomasu



Kombinirani sunčani toplovodni sustav s kotlom na biomasu

REZULTATI



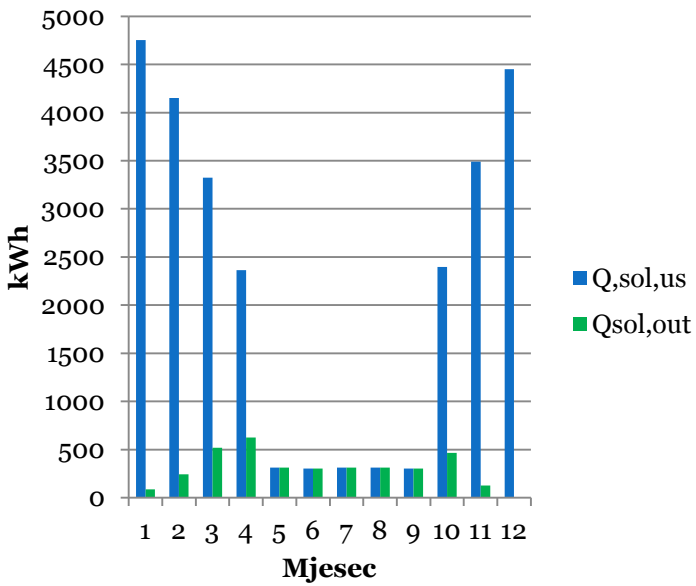
Tablica 1. Ulazne i izlazne veličine proračuna sunčanog sustava, $Q_{H,nd}$ = 65,75 kWh/m²

	$Q_{H,sol,us,m}$ (kWh/mj)	$Q_{W,sol,us,m}$ (kWh/mj)	$Q_{sol,us,m}$ (kWh/mj)	$Q_{sol,out,m}$ (kWh/mj)	$f_{sol,m}$ -	$W_{sol,aux,m}$ (kWh/mj)	$Q_{sol,ls,rbl,m}$ (kWh/mj)
Siječanj	1282,0	400,2	1682,2	87,1	0,05	13,6	17,3
Veljača	1115,8	361,5	1477,3	231,3	0,16	12,6	41,2
Ožujak	860,6	400,2	1260,8	471,1	0,37	12,9	100,6
Travanj	581,7	387,3	968,9	542,6	0,56	11,7	141,0
Svibanj	0,0	312,9	312,9	312,9	1,00	10,5	0,0
Lipanj	0,0	302,9	302,9	302,9	1,00	10,6	0,0
Srpanj	0,0	312,9	312,9	312,9	1,00	11,3	0,0
Kolovoz	0,0	312,9	312,9	312,9	1,00	10,6	0,0
Rujan	0,0	302,9	302,9	302,9	1,00	9,5	0,0
Listopad	587,6	400,2	987,8	421,6	0,43	10,8	111,4
Studeni	914,0	387,3	1301,3	128,1	0,10	11,0	28,2
Prosinac	1193,0	400,2	1593,2	12,7	0,01	12,6	5,6
Godišnje	6534,7	4281,2	10816,0	3439,0	0,32	137,7	445,3

$$Q_{sol,out} > Q_{sol,us}$$

$$Q_{sol,out} = Q_{sol,us}$$

$Q_{H,nd}$=213,05 kWh/m²



Tablica 2. Ulazne i izlazne veličine proračuna sunčanog sustava, $Q_{H,nd}$ = 213,05 kWh/m²

	$Q_{H,sol,us,m}$ (kWh/mj)	$Q_{W,sol,us,m}$ (kWh/mj)	$Q_{sol,us,m}$ (kWh/mj)	$Q_{sol,out,m}$ (kWh/mj)	$f_{sol,m}$ -	$W_{sol,aux,m}$ (kWh/mj)	$Q_{sol,ls,rbl,m}$ (kWh/mj)
Siječanj	4353,3	400,2	4753,5	86,4	0,02	15,6	9,95
Veljača	3789,0	361,5	4150,4	241,9	0,06	14,9	21,1
Ožujak	2922,4	400,2	3322,5	519,6	0,16	15,2	51,3
Travanj	1975,1	387,3	2362,4	623,5	0,26	13,5	76,6
Svibanj	0,0	312,9	312,9	312,9	1,00	10,5	0,0
Lipanj	0,0	302,9	302,9	302,9	1,00	10,6	0,0
Srpanj	0,0	312,9	312,9	312,9	1,00	11,3	0,0
Kolovoz	0,0	312,9	312,9	312,9	1,00	10,6	0,0
Rujan	0,0	302,9	302,9	302,9	1,00	9,5	0,0
Listopad	1995,3	400,2	2395,4	466,2	0,19	12,2	59,0
Studeni	3103,7	387,3	3491,0	127,8	0,04	12,3	14,5
Prosinac	4051,0	400,2	4451,2	7,3	0,00	14,1	4,2
Godišnje	22189,7	4281,2	26470,9	3617,3	0,14	150,4	236,7

$$Q_{sol,out} > Q_{sol,us}$$

$$Q_{sol,out} = Q_{sol,us}$$

Tablica 3. Usporedba sustava, $Q_{H,nd}$ = 65,75 kWh/m²

$Q_{H,nd}$ = 65,75 kWh/m²god	Sezona grijanja (kWh/god)		Van sezone grijanja (kWh/god)		**Ukupno (kWh/god)**	
	Konven.	Solar/ biomasa	Konven.	Solar/ biomasa	**Konven.**	**Solar/ biomasa**
Potrebna topl. energija, $Q_{H,nd}+Q_W$	8337	8337	1446	1446	**9783**	**9783**
Toplinski gubici, Q_{ls}	5662	5308	1663	694	**7325**	**6002**
Iskoristivi toplinski gubici, $Q_{ls,rbl}$	2272	2196	0	0	**2272**	**2196**
Vraćena pomoćna energija, $Q_{aux,rvd}$	500	541	57	81	**556**	**622**
Iskoristiva pomoćna energija, $Q_{aux,rbl}$	161	181	0	0	**161**	**181**
Iskorišteni toplinski gubici, $\sum Q_{ls,rvd}$	1946	1901	0	0	**1946**	**1901**
Pomoćna energija, W_{aux}	671	726	76	108	**747**	**834**
Isporučena toplinska energija generatoru, $Q_{gen,in}$	11553	8815	3052	0	**14605**	**8815**
Isporučena energija, E_{del}	12224	9541	3128	108	**15352**	**9649**
Primarna energija, E_{prim}	14722	3942	3585	324	**18307**	**4266**
Specifična primarna energija, E_{prim} (kWh/m²god)	152,8	40,9	37,2	3,4	**190,1**	**44,3**
Koeficijent utroška primarne energije, e_p (-)	1,77	0,47	2,48	0,22	**1,87**	**0,44**

Tablica 4. Usporedba sustava, $Q_{H,nd}$ = 213,05 kWh/m²

$Q_{H,nd}$ = 213,05 kWh/m²god	Sezona grijanja (kWh/god)		Van sezone grijanja (kWh/god)		**Ukupno (kWh/god)**	
	Konven.	Solar/ biomasa	Konven.	Solar/ biomasa	**Konven.**	**Solar/ biomasa**
Potrebna topl. energija, $Q_{H,nd}+Q_W$	22525	22525	1446	1446	**23971**	**23971**
Toplinski gubici, Q_{ls}	10006	9433	1754	694	**11759**	**10127**
Iskoristivi toplinski gubici, $Q_{ls,rbl}$	2352	2149	0	0	**2352**	**2149**
Vraćena pomoćna energija, $Q_{aux,rvd}$	756	806	56	81	**812**	**887**
Iskoristiva pomoćna energija, $Q_{aux,rbl}$	244	268	0	0	**244**	**268**
Iskorišteni toplinski gubici, $\sum Q_{ls,rvd}$	2077	1933	0	0	**2077**	**1933**
Pomoćna energija, W_{aux}	1013	1080	75	108	**1087**	**1188**
Isporučena toplinska energija generatoru, $Q_{gen,in}$	29698	26852	3144	0	**32842**	**26852**
Isporučena energija, E_{del}	30711	27932	3219	108	**33929**	**28040**
Primarna energija, E_{prim}	35706	8609	3683	324	**39388**	**8933**
Specifična primarna energija, E_{prim} (kWh/m²god)	370,7	89,4	38,2	3,4	**408,9**	**92,7**
Koeficijent utroška primarne energije, e_p (-)	1,59	0,38	2,55	0,22	**1,64**	**0,37**

Tablica 5. Sunčani doprinos, period povrata investicije

	$Q_{sol,out}$ (kWh)	$Q_{gen,in,ns}$ (kWh)	$Q_{gen,in}$ (kWh)	$\sum W_{aux,ns}$ (kWh)	$\sum W_{aux}$ (kWh)	*SUN* (kn/god)	*P* (godina)
$Q_{H,nd}$ = 65,75 kWh/m^2	3439,0	14605,1	8814,6	747,0	834,3	398,7	16,75
$Q_{H,nd}$ = 213,05 kWh/m^2	3617,3	32841,7	26852,5	1087,5	1187,5	647,5	10,31

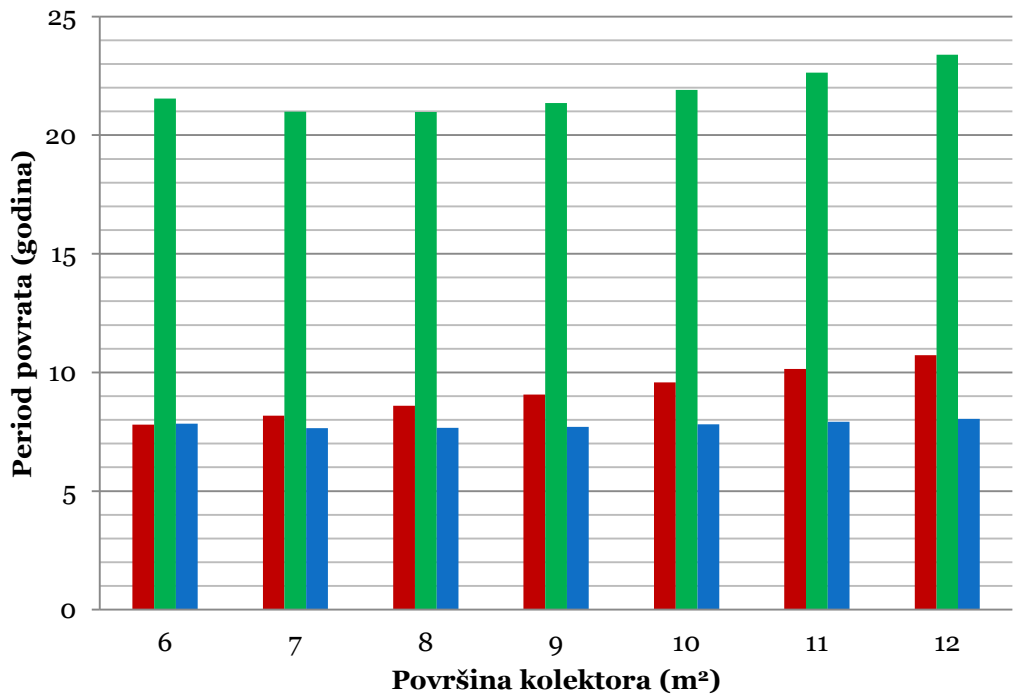
~ 60%

Tablica 6. Investicija

Komponente	Cijena (kn)
Sunčani spremnik (600 L)	12000
Sunčev kolektor (10 m^2)	20000
Instalacija	3500
Razlika u cijeni Kotao na biomasu/plinski kotao	3500
Ostalo (regulacija, solarni set, priključci)	11000
UKUPNO	**50000**

*Analiza–primjena različitih energenata

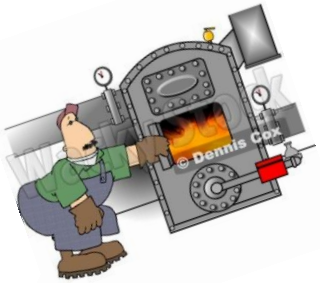
- Analiza 1 – Konvencionalni sustav s PLINSKIM kotlom
  v.s. sunčani toplovodni sustav s kotlom na BIOMASU
- Analiza 2 – Konvencionalni sustav s PLINSKIM kotlom
  v.s. sunčani toplovodni sustav s PLINSKIM kotlom
- Analiza 3 – Konvencionalni sustav s ELEKTRIČNIM kotlom
  v.s. sunčani toplovodni sustav s ELEKTRIČNIM kotlom



*za $Q_{H,nd}$=213,05 kWh/m^2

ZAKLJUČAK

$Q_{H,nd}$ = 65,75 kWh/m²god	Sezona grijanja (kWh/god)		Van sezone grijanja (kWh/god)		**Ukupno (kWh/god)**	
	Konven.	Solar/biomasa	Konven.	Solar/biomasa	**Konven.**	**Solar/biomasa**
Isporučena energija, E_{del}	12224	9541	3128	108	**15352**	**9649**
Primarna energija, E_{prim}	14722	3942	3585	324	**18307**	**4266**



$Q_{H,nd}$ = 213,05 kWh/m²god	Sezona grijanja (kWh/god)		Van sezone grijanja (kWh/god)		**Ukupno (kWh/god)**	
	Konven.	Solar/biomasa	Konven.	Solar/biomasa	**Konven.**	**Solar/biomasa**
Isporučena energija, E_{del}	30711	27932	3219	108	**33929**	**28040**
Primarna energija, E_{prim}	35706	8609	3683	324	**39388**	**8933**

E_{del}~ 30%
E_{prim}~ 75%

MI POKUŠAVAMO POVEĆATI ENERGETSKU EFIKASNOST NAŠE KOTLOVNICE!
Felix

HVALA NA PAŽNJI!