

**Algoritam za određivanje energijskih zahtjeva i učinkovitosti
termotehničkih sustava u zgradama**

Sustavi grijanja prostora i pripreme potrošne tople vode

SADRŽAJ**UVOD**

1. HRN EN 15316-1:2008 Sustavi grijanja u zgradama – Metoda proračuna energijskih zahtjeva i učinkovitosti sustava – 1. dio: Općenito
2. HRN EN 15316-2-1:2008 Sustavi grijanja u zgradama – Metoda proračuna energijskih zahtjeva i učinkovitosti sustava – Dio 2-1: Sustavi za grijanje prostora zračenjem topline
3. HRN EN 15316-2-3:2008 Sustavi grijanja u zgradama – Metoda proračuna energijskih zahtjeva i učinkovitosti sustava – Dio 2-3: Razvodi sustava grijanja prostora
4. HRN EN 15316-4-1:2008 Sustavi grijanja u zgradama – Metoda proračuna energijskih zahtjeva i učinkovitosti sustava – Dio 4-1: Sustavi za proizvodnju topline izgaranjem (kotlovi)
5. HRN EN 15316-4-7:2008 Sustavi grijanja u zgradama – Metoda proračuna energijskih zahtjeva i učinkovitosti sustava – Dio 4-7: Sustavi za proizvodnju topline izgaranjem biomase
6. HRN EN 15316-3-1:2008 Sustavi grijanja u zgradama – Metoda proračuna energijskih zahtjeva i učinkovitosti sustava – Dio 3-1: Sustavi za pripremu potrošne tople vode, pokazatelji potreba prema izljevnome mjestu
7. HRN EN 15316-3-2:2008 Sustavi grijanja u zgradama – Metoda proračuna energijskih zahtjeva i učinkovitosti sustava – Dio 3-2: Sustavi za pripremu potrošne tople vode, razvod
8. HRN EN 15316-3-3:2008 Sustavi grijanja u zgradama – Metoda proračuna energijskih zahtjeva i učinkovitosti sustava – Dio 3-3: Sustavi za pripremu potrošne tople vode, zagrijavanje
9. HRN EN 15316-4-2:2008 Sustavi grijanja u zgradama – Metoda proračuna energijskih zahtjeva i učinkovitosti sustava – Dio 4-2: Sustavi za proizvodnju topline, sustavi dizalica topline
10. HRN EN 15316-4-3:2008 Sustavi grijanja u zgradama – Metoda proračuna energijskih zahtjeva i učinkovitosti sustava – Dio 4-3: Sustavi za proizvodnju topline, toplinski sustavi sunčevog zračenja
11. Primarna i isporučena energija
12. Analiza rezultata proračuna - primjer
13. Energetski certifikat zgrade - primjer

UVOD

Algoritam za određivanje energijskih zahtjeva i učinkovitosti termotehničkih sustava u zgradama se temelji na normama na koje upućuje Pravilnik o energetskom certificiranju zgrada (Narodne novine br. 36/10). Obuhvaća proračune konvencionalnih sustava grijanja prostora i pripreme PTV-a te sustave s dizalicama topline i sunčane toplovodne sustave. Radi lakšeg povezivanja izraza u algoritmu s onima iz normi, pored svakog izraza preuzetog iz norme dan je broj odgovarajućeg izraza iz te norme na kojoj se temelji predmetno poglavlje - npr. HRN EN (2), ili iz neke druge norme - npr. HRN EN 15316-4-1 (3). Isto vrijedi i za tablice. Uz to, svi izrazi imaju svoju zasebnu numeraciju s brojem poglavlja - npr. (4.3). Za svaku pojedinu cjelinu proračuna, dan je popis onih ulaznih podataka koji se ne računaju u algoritmu, već se unose iz priloženih Tablica, projektne dokumentacije, podataka proizvođača, izvješća o en. pregledu i dr. Slijed izraza je načelno takav da omogućuje kontinuirani izračun svake naredne veličine koristeći one prethodno izračunate. Na kraju svakog poglavlja dana je toplinska bilanca za predmetni podsustav, odnosno proračun veličina koje predstavljaju ulazne vrijednosti za proračun u slijedećem poglavlju. Algoritam započinje s izračunom toplinske energije na izlazu iz sustava predaje toplinske energije u prostor i završava izračunom toplinske energije na ulazu u sustav proizvodnje toplinske energije. Temeljem toga se kao krajnji rezultat računaju isporučena i primarna energija. Proračun je potrebno provesti iterativnim putem jer ulazne veličine u proračun ovise o kasnije izračunatim veličinama (toplinskim gubicima). Na kraju je dan pregled svih izlaznih veličina iz proračuna, dobivenih za konkretan primjer termotehničkog sustava zgrade. Temeljem toga ispunjen je energetski certifikat analizirane zgrade za referentne klimatske podatke.

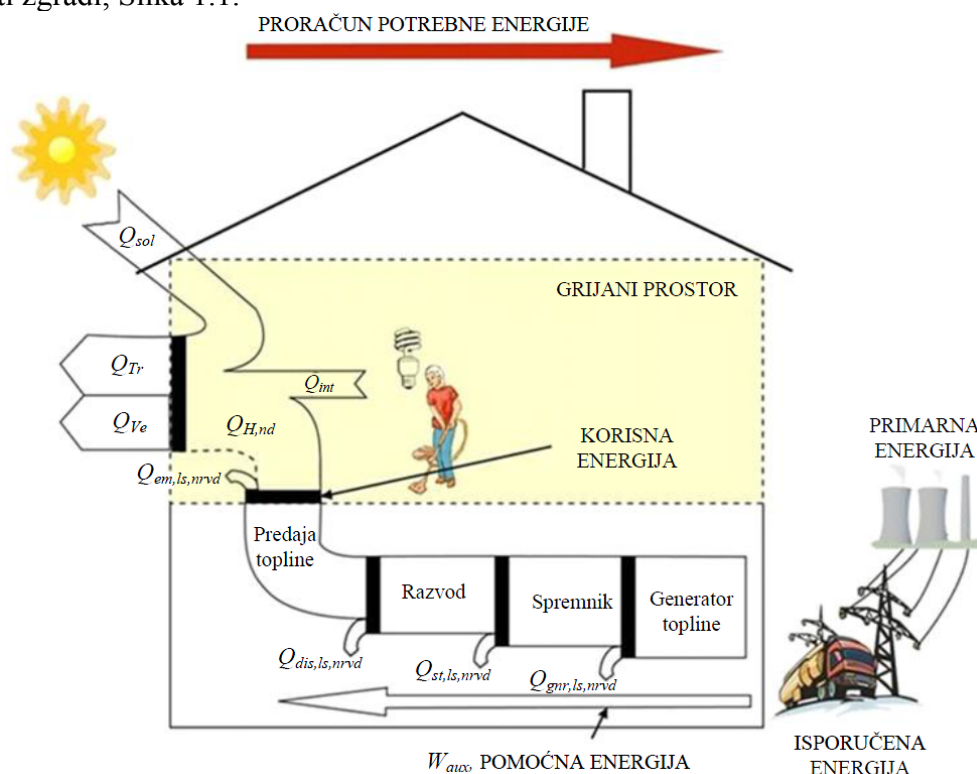
1. HRN EN 15316-1:2008 Sustavi grijanja u zgradama – Metoda proračuna energijskih zahtjeva i učinkovitosti sustava – 1. dio: Općenito

Termotehnički sustavi grijanja prostora i pripreme potrošne tople vode (PTV)

Metoda proračuna temelji se na određivanju toplinskih gubitaka i energije za pogon pomoćnih uređaja u slijedećim podsustavima na koje se dijeli promatrani termotehnički sustav:

- podsustav predaje toplinske energije u prostor (ogrjevna tijela), uključujući regulaciju
- podsustav razvoda ogrjevnog medija i potrošne tople vode, uključujući regulaciju
- podsustav proizvodnje toplinske energije, uključujući spremnik i cjevovode primarne cirkulacije do generatora topline (kotla) te regulaciju

Proračun se provodi u svrhu određivanja energetske tokova u zgradi kako bi se izračunala isporučena i primarna energije zgrade za zadanu korisnu toplinsku energiju koju je potrebno isporučiti zgradi, Slika 1.1.



$Q_{H,nd}$	– potrebna toplinska energija za grijanje prostora (kWh);
Q_{Tr}	– transmisijski toplinski gubici (kWh);
Q_{Ve}	– ventilacijski toplinski gubici (kWh);
Q_{sol}	– toplinski dobici od sunčevog zračenja (kWh);
Q_{int}	– toplinski dobici od unutrašnjih izvora (ljudi, uređaja, rasvjete) (kWh);
$Q_{em,ls,nrvd}$	– neiskorišteni toplinski gubici podsustava predaje toplinske energije u prostor (kWh);
$Q_{dis,ls,nrvd}$	– neiskorišteni toplinski gubici podsustava razvoda (kWh);
$Q_{st,ls,nrvd}$	– neiskorišteni toplinski gubici spremnika (kWh);
$Q_{gnr,ls,nrvd}$	– neiskorišteni toplinski gubici generatora topline (kWh);
W_{aux}	– pomoćna električna energija za pogon pomoćnih uređaja (kWh).

Slika 1.1 Energetski tokovi u zgradi s termotehničkim sustavom za grijanje

Vremenski korak proračuna

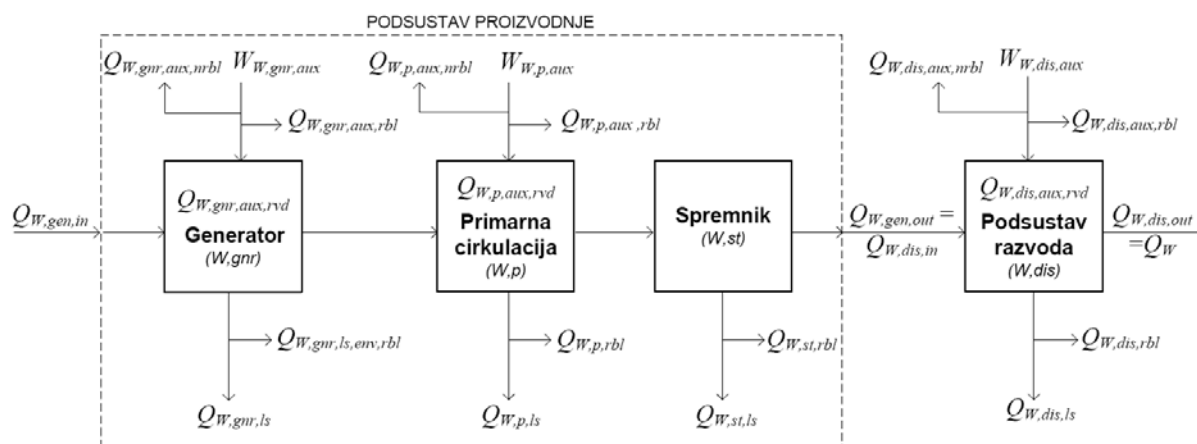
Proračun je moguće provesti na godišnjoj, sezonskoj, mjesečnoj ili dnevnoj razini, osim u slučaju sunčanih sustava i dizalica topline kada se proračun može provesti jedino na razini mjeseca i sati tijekom godine, respektivno. U energetske certifikat zgrade unose se kumulativne vrijednosti dobivene proračunom na mjesečnoj razini. Ukupni broj dana sezone grijanja određuje se u Algoritmu prema HRN EN ISO 13790. Kod postupka računanja na mjesečnoj razini, u svim mjesecima sezone grijanja se računa s ukupnim brojem dana d u pojedinom mjesecu i za rad od 24 h/d. Korekcija na stvarno vrijeme rada se vrši preko broja dana rada sustava u pojedinom mjesecu L_m i redukcijskim faktorima $\alpha_{H,red}$ i $\alpha_{C,red}$ sukladno proceduri opisanoj u Algoritmu prema HRN EN ISO 13790 i Algoritmu za sustave ventilacije i klimatizacije.

NAPOMENA: Za brzi orijentacijski proračun u sklopu postupka pronalaženja optimalnih mjera poboljšanja, preporuča se provesti proračun na sezonskoj razini (npr. za sezonu grijanja $d=205$ dana, za period izvan sezone grijanja $d=160$ dana). Dakako, konačne vrijednosti koje se unose u certifikat moraju biti dobivene proračunom na mjesečnoj razini.

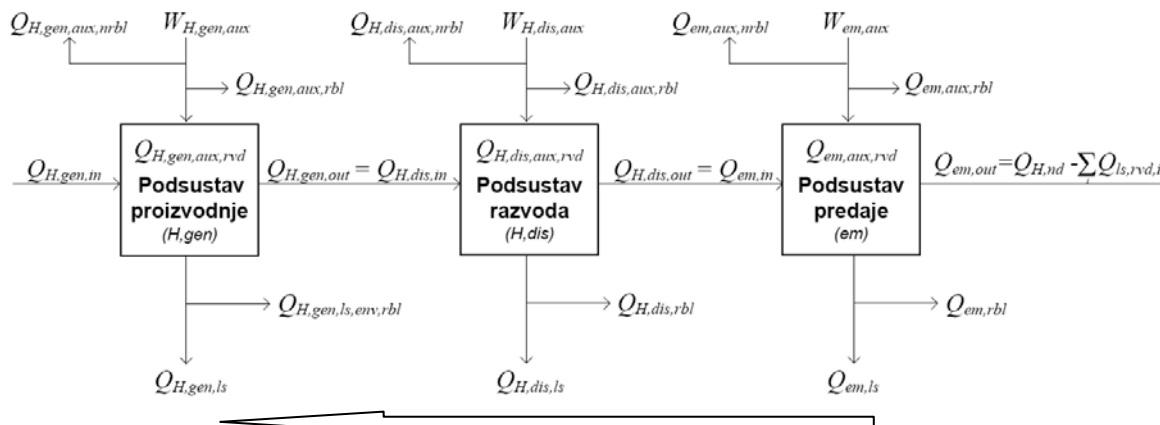
Postupak proračuna

Shematski prikaz podjele termotehničkog sustava grijanja i pripreme potrošne tople vode (PTV) na podsustave dan je na Slici 1.2.

PRIPREMA PTV-a



GRIJANJE



Tijek proračuna

Slika 1.2 Podjela termotehničkog sustava grijanja i pripreme potrošne tople vode (PTV) na podsustave s prikazom ulazno/izlaznih veličina

Potrebna toplinska energija za grijanje ovdje je definirana kao

$$Q_{H,nd} = (Q_{Tr} + Q_{Ve}) - \eta_{H,gn} \cdot Q_{H,gn} \text{ [kWh]} \text{ HRN EN 13790 (3), HRN EN 15316-2-1 (3)} \quad (1.1)$$

Q_{Tr} – transmisijski toplinski gubici (kWh);

Q_{Ve} – ventilacijski toplinski gubici (kWh);

$Q_{H,gn}$ – toplinski dobiti od ljudi, uređaja, rasvjete i sunčevog zračenja (kWh);

$\eta_{H,gn}$ – stupanj iskorištenja toplinskih dobitaka (-), prema Jedn. (52)÷(56) iz HRN EN 13790.

Ulazna veličina u proračun je toplinska energija $Q_{em,out}$ koju je podsustavom predaje tj. ogrjevnim tijelima potrebno predati u grijani prostor, a računa se iterativno prema

$$Q_{em,out} = Q_{H,nd} - \sum_i Q_{ls,rvd,i} \text{ [kWh]} \quad (\text{temeljem 6.1.3 iz HRN EN 15603}) \quad (1.2)$$

$\sum_i Q_{ls,rvd,i}$ - zbroj svih iskorištenih toplinskih gubitaka sustava grijanja i pripreme potrošne tople vode (kWh);

pri čemu iskorišteni gubitak $Q_{ls,rvd,i}$ predstavlja stvarno iskorišteni dio pojedinog iskoristivog gubitka $Q_{rbl,i}$, odnosno

$$Q_{ls,rvd,i} = \eta_{rvd} \cdot Q_{rbl,i} \text{ [kWh]} \quad (\text{temeljem 6.1.3 iz HRN EN 15603}) \quad (1.3)$$

gdje je stupanj iskorištenja iskoristivih gubitaka

$$\eta_{rvd} = 0,8 \cdot \eta_{H,gn} \text{ [kWh]} \quad (\text{temeljem 6.1.3 iz HRN EN 15603}) \quad (1.4)$$

NAPOMENA: Jedn. (1.2) izvedena je koristeći Jedn. (1.7) koja odražava pristup iz HRN EN 13790 (točka 3.6.2, 10.1 i 10.4.5.2) prema kojem se iskoristivi toplinski gubici (a time i iskorišteni gubici) odbijaju od ukupnih toplinskih gubitaka, i u tom slučaju nisu uključeni u toplinske dobitke $Q_{H,gn}$.

Prema proceduri opisanoj u točki 6.1.3 iz HRN EN 15603, postupak proračuna započinje tako da se na početku uzme da je $Q_{em,out} = Q_{H,nd}$, a nakon što se temeljem toga izračuna $\sum_i Q_{rbl,i}$, u narednim koracima se $Q_{em,out}$ računa prema Jedn. (1.2), sve dok razlika vrijednosti $Q_{em,out}$ iz posljednja dva koraka ne bude $< 1\%$.

Općenito, toplinska energija na ulazu u pojedini podsustav računa se kao

$$Q_{in} = Q_{out} - \sum_i Q_{aux,rvd,i} + Q_{ls} \text{ [kWh]} \text{ HRN EN 15316-2-1 (1), HRN EN 15316-4-1 (1)} \quad (1.5)$$

Q_{in} – toplinska energija na ulazu u podsustav (kWh);

Q_{out} – toplinska energija na izlazu iz podsustava (kWh);

$Q_{aux,rvd,i}$ – vraćena pomoćna energija u podsustav (kWh);

Q_{ls} – ukupni toplinski gubici podsustava (kWh).

Primjenjujući Jedn. (1.5) na svaki podsustav sa Slike 1.2, u konačnici se dobije potrebna toplinska energija koju je gorivom potrebno isporučiti u sustav grijanja $Q_{H,gen,in}$ i u sustav pripreme PTV-a $Q_{W,gen,in}$. Temeljem tih vrijednosti i izračunate ukupne potrebne pomoćne električne energije, računa se isporučena i primarna energija prema izrazima iz Poglavlja 11.

Oznake (Slika 1.2):

Sustav grijanja

$Q_{H,nd}$	– potrebna toplinska energija za grijanje prostora (kWh);
$Q_{em,out}$	– toplinska energija na izlazu iz podsustava predaje (kWh);
$Q_{em,ls}$	– ukupni toplinski gubici podsustava predaje (kWh);
$Q_{em,rbl}$	– iskoristivi toplinski gubici podsustava predaje (kWh);
$W_{em,aux}$	– pomoćna energija podsustava predaje (kWh);
$Q_{em,aux,rvd}$	– vraćena pomoćna energija u podsustav predaje (kWh);
$Q_{em,aux,rbl}$	– iskoristivi toplinski gubici pomoćnih uređaja podsustava predaje (iskoristiva pomoćna energija) (kWh);
$Q_{em,aux,nrbl}$	– neiskoristivi toplinski gubici pomoćnih uređaja podsustava predaje (kWh);
$Q_{em,in}$	– toplinska energija na ulazu u podsustav predaje (kWh);
$Q_{H,dis,out}$	– toplinska energija na izlazu iz podsustava razvoda ogrjevnog medija (kWh);
$Q_{H,dis,ls}$	– ukupni toplinski gubici u podsustavu razvoda (kWh);
$Q_{H,dis,rbl}$	– iskoristivi toplinski gubici podsustava razvoda (kWh);
$W_{H,dis,aux}$	– pomoćna energija podsustava razvoda (kWh);
$Q_{H,dis,aux,rvd}$	– vraćena pomoćna energija u podsustav razvoda (kWh);
$Q_{H,dis,aux,rbl}$	– iskoristivi toplinski gubici pomoćnih uređaja podsustava razvoda (iskoristiva pomoćna energija) (kWh);
$Q_{H,dis,aux,nrbl}$	– neiskoristivi toplinski gubici pomoćnih uređaja podsustava razvoda (kWh);
$Q_{H,dis,in}$	– toplinska energija na ulazu u podsustav razvoda (kWh);
$Q_{H,gen,out}$	– toplinska energija na izlazu iz podsustava proizvodnje (kWh);
$Q_{H,gen,ls}$	– ukupni toplinski gubici podsustava proizvodnje (kWh);
$Q_{H,gen,ls,env,rbl}$	– iskoristivi toplinski gubici generatora sustava grijanja ili skupno grijanja i pripreme PTV-a (kWh);
$W_{H,gen,aux}$	– pomoćna energija podsustava proizvodnje (kWh);
$Q_{H,gen,aux,rvd}$	– vraćena pomoćna energija u podsustav proizvodnje (kWh);
$Q_{H,gen,aux,rbl}$	– iskoristivi toplinski gubici pomoćnih uređaja podsustava proizvodnje (iskoristiva pomoćna energija) (kWh);
$Q_{H,gen,aux,nrbl}$	– neiskoristivi toplinski gubici pomoćnih uređaja podsustava proizvodnje (kWh);
$Q_{H,gen,in}$	– toplinska energija na ulazu u podsustav proizvodnje (kWh);
$E_{H,del}$	– isporučena energija u sustav grijanja (kWh);
$E_{H,prim}$	– primarna energija sustava grijanja (kWh).

Sustav pripreme PTV-a

Q_W	– potrebna toplinska energija za pripremu PTV-a (kWh);
$Q_{W,dis,out}$	– toplinska energija na izlazu iz podsustava razvoda PTV-a (kWh);
$Q_{W,dis,ls}$	– ukupni toplinski gubici u podsustavu razvoda (kWh);
$Q_{W,dis,rbl}$	– iskoristivi toplinski gubici podsustava razvoda (kWh);
$W_{W,dis,aux}$	– pomoćna energija podsustava razvoda (kWh);
$Q_{W,dis,aux,rvd}$	– vraćena pomoćna energija u podsustav razvoda (kWh);
$Q_{W,dis,aux,rbl}$	– iskoristivi toplinski gubici pomoćnih uređaja podsustava razvoda (iskoristiva pomoćna energija) (kWh);
$Q_{W,dis,aux,nrbl}$	– neiskoristivi toplinski gubici pomoćnih uređaja podsustava razvoda (kWh);
$Q_{W,dis,in}$	– toplinska energija na ulazu u podsustav razvoda (kWh);
$Q_{W,gen,out}$	– toplinska energija na izlazu iz podsustava proizvodnje (kWh);
$Q_{W,st,ls}$	– ukupni toplinski gubici spremnika PTV-a (kWh);

$Q_{W,st,rbl}$	– iskoristivi toplinski gubici spremnika PTV-a (kWh);
$Q_{W,p,ls}$	– ukupni topl.gubici primarne cirkulacije između generatora i spremnika PTV-a (kWh);
$Q_{W,p,rbl}$	– iskoristivi topl.gubici primarne cirkulacije između generatora i spremnika PTV-a (kWh);
$Q_{W,gnr,ls}$	– ukupni toplinski gubici generatora za pripremu PTV-a (kWh);
$Q_{W,gnr,ls,env,rbl}$	– iskoristivi toplinski gubici generatora za pripremu PTV-a (kWh);
$W_{W,p,aux}$	– pomoćna energija primarne cirkulacije (kWh);
$W_{W,gnr,aux}$	– pomoćna energija generatora za pripremu PTV-a (kWh);
$Q_{W,p,aux,rvd}$	– vraćena pomoćna energija primarne cirkulacije u podsustav proizvodnje (kWh);
$Q_{W,gnr,aux,rvd}$	– vraćena pomoćna energija generatora PTV-a u podsustav proizvodnje (kWh);
$Q_{W,p,aux,rbl}$	– iskoristivi toplinski gubici pomoćnih uređaja primarne cirkulacije (iskoristiva pomoćna energija) (kWh);
$Q_{W,p,aux,nrbl}$	– neiskoristivi toplinski gubici pomoćnih uređaja primarne cirkulacije (kWh);
$Q_{W,gnr,aux,nrbl}$	– iskoristivi toplinski gubici pomoćnih uređaja generatora PTV-a (iskoristiva pomoćna energija) (kWh);
$Q_{W,gen,in}$	– toplinska energija na ulazu u podsustav proizvodnje PTV-a (kWh);
$Q_{W,gnr,aux,nrbl}$	– neiskoristivi toplinski gubici pomoćnih uređaja generatora PTV-a (kWh);
$E_{W,del}$	– isporučena energija u sustav pripreme PTV-a (kWh);
$E_{W,prim}$	– primarna energija sustava pripreme PTV-a (kWh).

Indeksi:

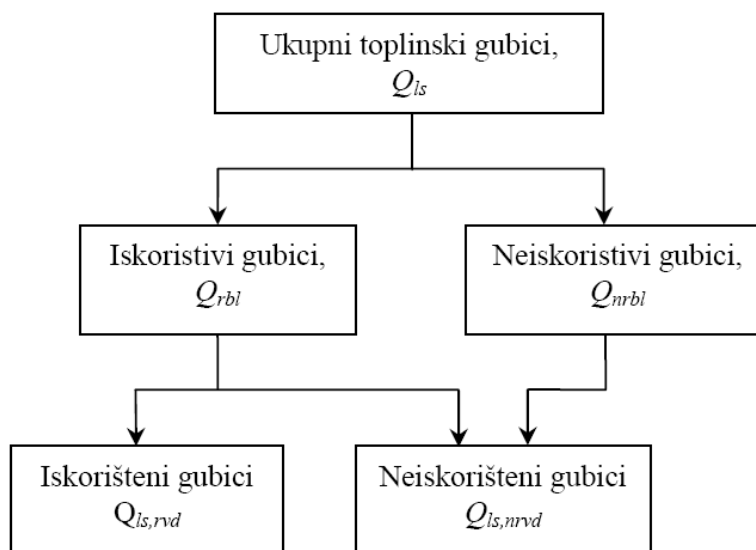
H	– sustav grijanja prostora;
W	– sustav pripreme PTV-a;
HW	– kombinirani sustav grijanja prostora i pripreme PTV-a;
em	– podsustav predaje toplinske energije u prostor;
dis	– podsustav razvoda radnog medija;
gen	– podsustav proizvodnje;
gnr	– generator topline;
st	– spremnik;
p	– primarna cirkulacija između generatora i spremnika;
ls	– ukupni toplinski gubici;
rvd	– vraćena pomoćna energija radnom mediju;
rbl	– iskoristivi toplinski gubitak vraćen u grijani prostor;
$nrbl$	– neiskoristivi toplinski gubitak;
ls,rvd	– iskorišteni toplinski gubitak;
$ls,nrbd$	– neiskorišteni toplinski gubitak;
aux	– pomoćna energija/pomoćni uređaj;
in	– ulaz u pojedini podsustav;
out	– izlaz iz jedinog podsustava;
del	– isporučena energija;
$prim$	– primarna energija.

Toplinski gubici i vraćena pomoćna energija

Ukupni toplinski gubici (index ls - eng. loss) dijele se na (Slika 1.3):

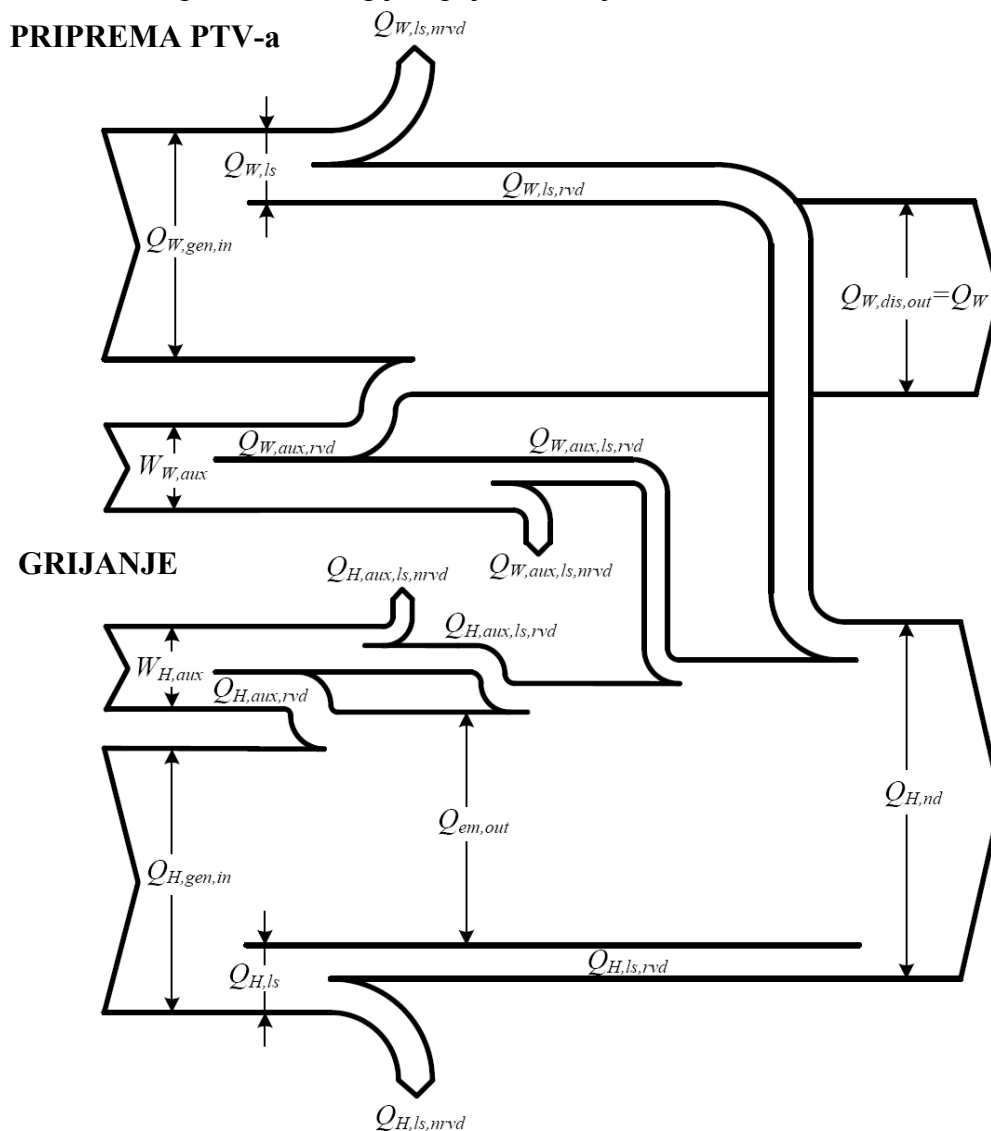
- iskoristive gubitke (index rbl - eng. recoverable) – to su oni toplinski gubici dijelova sustava (kotlova, spremnika, cjevovoda, regulacije i dr.) koji se mogu vratiti u grijani prostor tijekom sezone grijanja i smanjiti toplinsku energiju $Q_{em,out}$ koju je ogrjevnim tijelima potrebno predati u grijani prostor
- neiskoristive gubitke (index $nrbl$ – engl non-recoverable) – to su oni toplinski gubici koji se ne mogu iskoristiti za grijanje prostora, a predstavljaju razliku ukupnih i iskoristivih toplinskih gubitaka
- iskorištene gubitke (index ls,rvd - engl. losses,recovered) - predstavljaju stvarno iskorišteni dio iskoristivih gubitaka za smanjenje $Q_{em,out}$
- neiskorištene gubitke (index $ls,nrvd$ - engl. losses,non-recovered) - predstavljaju u konačnici neiskorišteni dio ukupnih gubitaka koji se nije iskoristio za smanjenje $Q_{em,out}$, i računaju se kao razlika ukupnih i iskorištenih gubitaka (prema Jedn. (2) iz HRN EN 15306)

Vraćena pomoćna energija (index rvd - engl. recovered) je onaj dio energije potrebne za pogon pojedinog pomoćnog uređaja (pumpe, ventilatora, plamenika i dr.) koja se direktno vraća radnom mediju i zraku za izgaranje. Preostali dio pomoćne energije se predaje u okolinu kao iskoristivi i/ili neiskoristivi toplinski gubitak.



Slika 1.3 Podjela toplinskih gubitaka (prema HRN EN 15316-1 i HRN EN 15306)

Slika 1.4 prikazuje način određivanja isporučene energije u termotehnički sustav za zadanu toplinsku potrebu (korisnu energiju), za izračunate iskorištene i neiskorištene toplinske gubitke te vraćene pomoćne energije u pojedinim dijelovima sustava.



Slika 1.4 Energetski tokovi u termotehničkom sustavu za grijanje i pripremu PTV-a.

Oznake (Slika 1.4)

- Q_W – potrebna toplinska energija za pripremu PTV-a (kWh);
- $Q_{H,nd}$ – potrebna toplinska energija za grijanje prostora (kWh);
- $Q_{W,dis,out}$ – toplinska energija na izlazu iz podsustava razvoda PTV-a (kWh);
- $Q_{em,out}$ – toplinska energija na izlazu iz podsustava predaje (kWh);
- $Q_{W,ls,rvd}$ – iskorišteni toplinski gubici sustava pripreme PTV-a (kWh);
- $Q_{H,ls,rvd}$ – iskorišteni toplinski gubici sustava grijanja (kWh);
- $Q_{W,ls,nrvd}$ – neiskorišteni toplinski gubici sustava pripreme PTV-a (kWh);
- $Q_{H,ls,nrvd}$ – neiskorišteni toplinski gubici sustava grijanja (kWh);
- $Q_{W,ls}$ – ukupni toplinski gubici sustava pripreme PTV-a (kWh);
- $Q_{H,ls}$ – ukupni toplinski gubici sustava grijanja (kWh);
- $Q_{W,aux,ls,rvd}$ – iskorišteni toplinski gubici pomoćnih uređaja sustava pripreme PTV-a (kWh);
- $Q_{H,aux,ls,rvd}$ – iskorišteni toplinski gubici pomoćnih uređaja sustava grijanja (kWh);
- $Q_{W,aux,ls,nrvd}$ – neiskorišteni topl. gubici pomoćnih uređaja sustava pripreme PTV-a (kWh);
- $Q_{H,aux,ls,nrvd}$ – neiskorišteni toplinski gubici pomoćnih uređaja sustava grijanja (kWh);

$Q_{W,aux,rvd}$	– vraćena pomoćna energija u sustav pripreme PTV-a (kWh);
$Q_{H,aux,rvd}$	– vraćena pomoćna energija u sustav grijanja (kWh);
$W_{W,aux}$	– pomoćna energija sustava pripreme PTV-a (kWh);
$W_{H,aux}$	– pomoćna energija sustava grijanja (kWh);
$Q_{W,gen,in}$	– toplinska energija na ulazu u podsustav proizvodnje PTV-a (kWh);
$Q_{H,gen,in}$	– toplinska energija na ulazu u podsustav proizvodnje (kWh).

Kontrolni proračun

Nakon provedenog proračuna $Q_{em,out}$ i $Q_{W,dis,out}$ (ulazne veličine) te $Q_{H,gen,in}$ i $Q_{W,gen,in}$ (izlazne veličine), a prije konačnog proračuna isporučene i primarne energije, preporuča se provesti kontrolni proračun spomenutih ulazno/izlaznih veličina na temelju ukupne toplinske bilance sustava, kako je pokazano u nastavku.

Iz dijagrama na Slici 1.4 vidi se kako je isporučena toplinska energija u prostor $Q_{H,nd}$ zbroj toplinske energije predane ogrjevnim tijelima u prostor $Q_{em,out}$ i iskorištenih toplinskih gubitaka $\sum_i Q_{ls,rvd,i}$ iz oboje sustava grijanja i pripreme PTV-a, tj.

$$Q_{H,nd} = Q_{em,out} + (Q_{H,aux,ls,rvd} + Q_{W,aux,ls,rvd} + Q_{H,ls,rvd} + Q_{W,ls,rvd}) = Q_{em,out} + \sum_i Q_{ls,rvd,i} \quad [\text{kWh}] \quad (1.6)$$

Iz bilance toplinskih tokova u istom dijagramu na Slici 1.4 dobije se izraz za izračun toplinske energije koju je gorivom potrebno isporučiti u sustav grijanja

$$\begin{aligned} Q_{H,gen,in} &= Q_{H,nd} - Q_{H,aux,rvd} + Q_{H,ls} - (Q_{H,aux,ls,rvd} + Q_{W,aux,ls,rvd} + Q_{H,ls,rvd} + Q_{W,ls,rvd}) \\ &= Q_{H,nd} - Q_{H,aux,rvd} + Q_{H,ls} - \sum_i Q_{ls,rvd,i} \quad [\text{kWh}] \quad (1.7) \end{aligned}$$

Također, identična vrijednost $Q_{H,gen,in}$ mora se dobiti računajući prema slijedećem izrazu

$$Q_{H,gen,in} = Q_{em,out} - Q_{H,aux,rvd} + Q_{H,ls} \quad [\text{kWh}] \quad (\text{temeljem Slike 1.4 i Jedn. (1.4)}) \quad (1.8)$$

Iz Jedn. (1.6) ili izjednačavajući Jedn. (1.7) i (1.8), dobije se izraz za toplinsku energiju predanu ogrjevnim tijelima u prostor

$$Q_{em,out} = Q_{H,nd} - \sum_i Q_{ls,rvd,i} \quad [\text{kWh}] \quad (= \text{Jedn. (1.2)})$$

Toplinska energija koju je gorivom potrebno dovesti u sustav pripreme PTV-a je

$$Q_{W,gen,in} = Q_{W,dis,out} - \sum_i Q_{W,aux,rvd,i} + Q_{W,ls} \quad [\text{kWh}] \quad (\text{temeljem Slike 1.4 i Jedn. (1.5)}) \quad (1.9)$$

pri čemu je

$$Q_{W,dis,out} = Q_W \quad [\text{kWh}] \quad (1.10)$$

NAPOMENA: Iz Jedn. (1.2) može se vidjeti da je toplinska energija $Q_{em,out}$ koju je ogrjevnim tijelima potrebno predati u grijani prostor tim manja što su veći iskoristivi toplinski gubici sustava (npr. kada su cijevi razvoda sustava grijanja i/ili PTV-a koje prolaze kroz grijani prostor neizolirane). Naravno, termotehničkim sustavom ukupno isporučena toplinska energija u grijani prostor (kroz ogrjevna tijela+kroz ostale dijelove sustava poput razvodnog cjevovoda, spremnika, cirkulacijske petlje, pumpi, itd) i dalje ostaje ista= $Q_{H,nd}$ (Jedn. (1.1))

2. HRN EN 15316-2-1:2008 Sustavi grijanja u zgradama – Metoda proračuna energijskih zahtjeva i učinkovitosti sustava – Dio 2-1: Sustavi za grijanje prostora zračenjem topline

Period proračuna: sezona grijanja

Toplinska energija koju je potrebno dovesti podsustavu predaje toplinske energije u grijani prostor

$$Q_{em,in} = Q_{em,out} - Q_{em,aux,rvd} + Q_{em,ls} \quad [\text{kWh}] \quad (2.1)$$

$Q_{em,out}$ – toplinska energija na izlazu iz podsustava predaje (kWh), Jedn. (1.2), (2.17);

$Q_{em,aux,rvd}$ – vraćena pomoćna energija (kWh);

$Q_{em,ls}$ – toplinski gubici podsustava predaje (kWh).

NAPOMENA: Kako je jedna od ulaznih veličina za računanje $Q_{em,in}$ zbroj svih iskorištenih gubitaka sustava grijanja i pripreme PTV-a (Jedn. (1.2)), a koji posredno ovise upravo o $Q_{em,in}$, konačne vrijednosti $Q_{em,in}$ i spomenutih gubitaka, se dobiju iterativnim putem.

Proračun $Q_{em,ls}$ – Metoda s korištenjem učinkovitosti

Ulazne veličine:

- f_{hydr} – faktor hidrauličke ravnoteže razvoda radnog medija (-), Tablica 2.1;
- f_{im} – faktor intermitentnog rada (kod primjene vremenski određene regulacije smanjenja temperature za svaku pojedinu prostoriju) (-), $f_{im} = 0,97$, (za kontinuirani rad $f_{im} = 1$);
- f_{rad} – faktor utjecaja zračenja (uzima se u obzir samo kod visine prostorije $h > 4$ m, uza toplovodne panele, cijevne i direktne grijalice zračenjem te podno grijanje), $f_{rad} = 0,85$;
- η_{str} – učinkovitost predaje uslijed vertikalne raspodjele temperatura (-), Tablice 2.2-2.6;
- η_{ctr} – učinkovitost predaje uslijed djelovanja regulacije temperature prostorije (-), Tablice 2.2-2.6;
- η_{emb} – učinkovitost predaje uslijed specifičnih gubitaka kroz vanjske površine (ugrađeni sustavi) (-), Tablice 2.2÷2.6.

U pojedinim slučajevima (Tablica 2.2) srednja vrijednost učinkovitosti η_{str} uzima u utjecaj nadtemperature medija ogrjevnog tijela (η_{str1}) i toplinske gubitke kroz vanjske površine (η_{str2}) te se računa prema

$$\eta_{str} = (\eta_{str1} + \eta_{str2}) / 2 \quad [-] \quad \text{HRN EN (A.4)} \quad (2.2)$$

Na sličan način, u pojedinim slučajevima (Tablica 2.3) srednja vrijednost učinkovitosti η_{emb} uzima u obzir karakteristike ugrađenog ogrjevnog tijela (η_{emb1}) i toplinske gubitke kroz priležuću površinu (η_{emb2}) te se računa prema

$$\eta_{emb} = (\eta_{emb1} + \eta_{emb2}) / 2 \quad [-] \quad \text{HRN EN (A.5)} \quad (2.3)$$

Ukupna učinkovitost η_{em}

$$\eta_{em} = \frac{1}{4 - (\eta_{str} + \eta_{ctr} + \eta_{emb})} \quad [-] \quad \text{HRN EN (8)} \quad (2.4)$$

 Toplinski gubici podsustava predaje $Q_{em,ls}$

$$Q_{em,ls} = \left(\frac{f_{hydr} \cdot f_{im} \cdot f_{rad}}{\eta_{em}} - 1 \right) \cdot Q_{em,out} \quad [\text{kWh}] \quad \text{HRN EN (7)} \quad (2.5)$$

Tablica 2.1 (HRN EN A.2) Faktor hidrauličke ravnoteže

Utjecajni parametri	Faktor hidrauličke ravnoteže f_{hydr}
Ne-uravnoteženi sustavi	1,03
Potpisano izvješće o uravnotežavanju u skladu s HRN EN 14336 - više od 8 ogrjevnih tijela po automatskom regulatoru tlaka ili samo statički uravnoteženi sustavi	1,01
Potpisano izvješće o uravnotežavanju u skladu s HRN EN 14336 - najviše 8 ogrjevnih tijela po automatskom regulatoru tlaka	1,00

 Tablica 2.2 (HRN EN A.1) Učinkovitost za slobodno stojeća ogrjevna tijela (radijatore)
(visina prostorije ≤ 4 m)

Utjecajni parametri		Učinkovitosti		
		η_{str}	η_{ctr}	η_{emb}
Regulacija temperature prostora	Neregulirana, s centralnom regulacijom temperature polaza		0,80	
	Regulacija preko referentne prostorije		0,88	
	P-regulator (2 K)		0,93	
	P-regulator (1 K)		0,95	
	PI-regulator		0,97	
	PI-regulator (s funkcijom optimizacije, npr. u ovisnosti o periodu boravka)		0,99	
		η_{str1}	η_{str2}	
Nad-temperatura (referentna $\theta_i = 20^\circ\text{C}$)	60 K (npr. 90/70)	0,88		
	42,5 K (npr. 70/55)	0,93		
	30 K (npr. 55/45)	0,95		
Specifični toplinski gubici kroz vanjske površine	Ogrjevno tijelo smješteno uz unutrašnji zid		0,87	1
	Ogrjevno tijelo smješteno uz vanjski zid:			
	- staklena površina bez zaštite od zračenja		0,83	1
	- staklena površina sa zaštitom od zračenja		0,88	1
	- normalni vanjski zid		0,95	1

Tablica 2.3 (HRN EN A.3) Učinkovitosti za ugradbena ogrjevnja tijela (panelna) (visina prostorije $h \leq 4$ m)

Utjecajni parametri		Učinkovitosti			
		η_{str}	η_{ctr}	η_{emb}	
Regulacija temperature prostora	Ogrjevnji medij – voda:				
	- neregulirana		0,75		
	- neregulirana, s centralnom regulacijom temperature polaza		0,78		
	- neregulirana s uspostavom prosječne vrijednosti razlike temp. polaza i povrata		0,83		
	- regulacija preko referentne prostorije		0,88		
	- dvopoložajni (on-off)/P-regulator		0,93		
	- PI regulator		0,95		
	Električno grijanje				
Sustav	- dvopoložajni (on-off) regulator		0,91		
	- PI regulator		0,93		
	Podno grijanje:			η_{emb1}	η_{emb2}
	- mokri sustav	1		0,93	
	- suhi sustav	1		0,96	
	- suhi sustav s podnom oblogom	1		0,98	
Specifični toplinski gubici kroz naliježne površine	Zidno grijanje	0,96		0,93	
	Stropno grijanje	0,93		0,93	
	Površinsko grijanje bez minimalne izolacije prema HRN EN 1264				0,86
	Površinsko grijanje s minimalnom izolacijom prema HRN EN 1264				0,95
	Površinsko grijanje sa 100% boljom izolacijom u donosu na traženu u HRN EN 1264				0,99

Tablica 2.4 (HRN EN A.6) Učinkovitosti za zračno grijanje, ventilacijski sustavi u nestambenim zgradama (visina prostorije $h \leq 4$ m)

Opis sustava	Parametar regulacije	η_{em}	
		niska kvaliteta regulacije	visoka kvaliteta regulacije
Dodatno grijanje ubacivanog zraka (dodatni grijač)	Temperatura prostorije	0,82	0,87
	Temperatura prostorije (stupnjevana regulacija temperature ubacivanog zraka)	0,88	0,90
	Temperatura otpadnog zraka	0,81	0,85
Grijanje optočnog zraka (indukcijski grijači, ventilokonvektori)	Temperatura prostorije	0,89	0,93

Tablica 2.5 (HRN EN A.7) Učinkovitosti za prostore visine $h = 4 \div 10$ m

Utjecajni parametri			Učinkovitosti					
			η_{str}				η_{ctr}	η_{emb}
			4 m	6 m	8 m	10 m		
Regulacija temp. prostora	Neregulirana						0,80	
	Dvopoložajni (on-off) regulator						0,93	
	P-regulator (2 K)						0,93	
	P-regulator (1 K)						0,95	
	PI-regulator						0,97	
	PI-regulator (s optimizacijom)						0,99	
Sustavi grijanja	Radijatori		0,98	0,94	0,88	0,83		1
	Topli zrak bez dodatne vertikal. cirkulacije	Horizont. istrujav.	0,98	0,94	0,88	0,83		1
		Vertikal. istrujav.	0,99	0,96	0,91	0,87		1
	Topli zrak s dodatnom vertikal. cirkulacijom	Horizont. istrujav.	0,99	0,97	0,94	0,91		1
		Vertikal. istrujav.	0,99	0,98	0,96	0,93		1
	Toplovodni paneli		1,00	0,99	0,97	0,96		1
	Stropne IC grijalice (cijevne)		1,00	0,99	0,97	0,96		1
	Stropne IC grijalice		1,00	0,99	0,97	0,96		1
	Podno grijanje	Integrirano u konstrukciju Toplinski odvojeno	1,00	0,99	0,97	0,96		0,95 1

Tablica 2.6 (HRN EN A.8) Učinkovitosti za prostore visine $h > 10$ m

Utjecajni parametri			Učinkovitosti				
			η_{str}			η_{ctr}	η_{emb}
			12 m	15 m	20 m		
Regulacija temp. prostora	Neregulirana					0,80	
	Dvopoložajni					0,93	
	(on-off) regulator						
	P-regulator (2 K)					0,93	
	P-regulator (1 K)					0,95	
	PI-regulator					0,97	
	PI-regulator (s optimizacijom)					0,99	
Sustavi grijanja	Topli zrak bez dodatne vertikal. cirkulacije	Horizont. istrujav.	0,78	0,72	0,63		1
		Vertikal. istrujav.	0,84	0,78	0,71		1
	Topli zrak s dodatnom vertikal. cirkulacijom	Horizont. istrujav.	0,88	0,84	0,77		1
		Vertikal. istrujav.	0,91	0,88	0,83		1
	Toplovodni paneli		0,94	0,92	0,89		1
	Stropne IC grijalice (cijevne)		0,94	0,92	0,89		1
	Stropne IC grijalice		0,94	0,92	0,89		
	Podno grijanje	Integrirano u konstrukciju Toplinski odvojeno	0,94	0,92	0,89		0,95 1

Proračun pomoćne energije $W_{em,aux}$ Ulazne veličine:

- Φ_{em} – nazivna snaga instaliranih ogrjevnih tijela (kW);
 P_{ctr} – električna snaga sustava regulacije (W), podaci proizvođača ili Tablica 2.7;
 d – broj dana u promatranom periodu (dan);
 n_{fan} – broj ventilatora;
 n_{pmp} – broj dodatnih pumpi (one koje nisu uzete u obzir u podsustavu razvoda);
 P_{fan} – nazivna potrošnja električne energije (W), podaci proizvođača ili Tablica 2.8;
 P_{pmp} – nazivna potrošnja električne energije za dodatne pumpe (W), podaci proizvođača ili prema Jedn. (2.6).

$$P_{pmp} = 50 \cdot [\dot{Q}_{LH}]^{0,08} \quad [\text{W}] \quad \text{HRN EN (C.4)} \quad (2.6)$$

$\dot{Q}_{LH}$ – nazivna potrošnja električne energije zagrijača zraka (kW).

Vrijeme rada u promatranom periodu

$$t_{rad} = \frac{Q_{em,out}}{\Phi_{em}} \quad [\text{h}] \quad (2.7)$$

Pomoćna energija sustava regulacije u promatranom periodu

$$W_{ctr} = \frac{P_{ctr} \cdot d \cdot 24}{1000} \quad [\text{kWh}] \quad \text{HRN EN (C.2)} \quad (2.8)$$

Pomoćna energija za ventilatore i dodatne pumpe u promatranom periodu

$$W_{others} = \frac{(P_{fan} \cdot n_{fan} + P_{pmp} \cdot n_{pmp}) \cdot t_{rad}}{1000} \quad [\text{kWh}] \quad \text{HRN EN (C.3)} \quad (2.9)$$

Ukupna pomoćna energija za podsustav predaje u promatranom periodu

$$W_{em,aux} = W_{ctr} + W_{others} \quad [\text{kWh}] \quad \text{HRN EN (C.1)} \quad (2.10)$$

Pomoćna energija u prostorima visine $h > 4$ m

a) Sustavi s direktnim grijanjem (obuhvaćena je predaja i proizvodnja toplinske energije)

$$W_{others} = \frac{P_{H,aux} \cdot t_{rad}}{1000} \quad [\text{kWh}] \quad \text{HRN EN (C.5)} \quad (2.11)$$

$P_{H,aux}$ – nazivna potrošnja električne energije uređaja (npr. direktne infra grijalice) (W), podaci proizvođača ili Tablica 2.9;

b) Sustavi s indirektnim grijanjem tj. odvojenim ogrjevnim tijelom od generatora (obuhvaćena je samo predaja toplinske energije)

$$W_{others} = \frac{P_{em,aux} \cdot t_{rad}}{1000} \quad [\text{kWh}] \quad \text{HRN EN (C.6)} \quad (2.12)$$

$P_{em,aux}$ – nazivna potrošnja električne energije uređaja (npr. cijevne grijalice) (W), podaci proizvođača ili Tablica 2.9;

Napomena: $W_{ctr}=0$ za $h>4$ m.

Tablica 2.7 (HRN EN C.1) Nazivne vrijednosti pomoćne energije sustava regulacije

Utjecajni parametri		P_{ctr} [W]
Sustav regulacije s pomoćnom energijom	Električni sustav regulacije s elektromotornim pogonom	0,1 (po pogonskom elementu)
	Električni sustav regulacije s elektro-toplinskim pogonom	1,0 (po pogonskom elementu)
	Električni sustav regulacije s elektromagnetskim pogonom	1,0 (po pogonskom elementu)

Tablica 2.8 (HRN EN C.2) Nazivne vrijednosti pomoćne energije ventilatora za dobavu zraka u prostorima visine $h \leq 4$ m

Utjecajni parametri		P_{fan} [W]
Ventilator	Ventilokonvektor	10
	Električno grijan ventilokonvektor	10
	Termoakumulacijsko grijanje s dinamičkim odavanjem topline	12
	Termoakumulacijsko grijanje s kontinuiranim odavanjem topline	12

Tablica 2.9 (HRN EN C.3) Nazivne vrijednosti pomoćne energije ventilatora i sustava regulacije u prostorima visine $h > 4$ m

Utjecajni parametri		$P_{H,aux}$ [W]
Generator topline smješten u tretiranom prostoru	Stropne IC grijalice	25 (po jedinici)
	Stropne IC grijalice (cijevne) do 50 kW (regulacija i ventilator zraka za izgaranje)	80 (po jedinici)
	Stropne IC grijalice (cijevne) iznad 50 kW (regulacija i ventilator zraka za izgaranje)	100 (po jedinici)
	Zagrijač zraka s atmosferskim plamenikom i aksijalnim ventilatorom za optočni zrak (regulacija i ventilator zraka za izgaranje)	$0,014 \cdot Q_{h,b}$
	Zagrijač zraka s ventilatorskim plamenikom i radijalnim ventilatorom za optočni zrak (regulacija i ventilator optočnog i zraka za izgaranje)	$0,022 \cdot Q_{h,b}$
Utjecajni parametri		$P_{em,aux}$ [W]
Indirektno grijani zagrijač zraka	Zagrijač zraka u tretiranom prostoru ($h \leq 8$ m)	$0,012 \cdot Q_{h,b}$
	Zagrijač zraka u tretiranom prostoru ($h > 8$ m)	$0,016 \cdot Q_{h,b}$
	Vertikalni ventilator za optočni zrak ($h \leq 8$ m)	$0,002 \cdot Q_{h,b}$
	Vertikalni ventilator za optočni zrak ($h > 8$ m)	$0,013 \cdot Q_{h,b}$

Proračun vraćene pomoćne energije radnom mediju u promatranom periodu za podsustav predaje

$$Q_{em,aux,rvd} = 0.75 \cdot W_{others} \quad [\text{kWh}] \quad \text{temeljem HRN EN (2) i HRN EN 15316-2-3 (21)} \quad (2.13)$$

Proračun iskoristive pomoćne energije koja se vraća u prostor u promatranom periodu za podsustav predaje

$$Q_{em,aux,rbl} = 0.25 \cdot W_{others} + W_{ctr} \quad [\text{kWh}] \quad (2.14)$$

tj. sva električna energija potrošena za pogon pomoćnih uređaja, ventilatora, pumpi i sustava regulacije, se vraća u prostor kao toplinska energija.

Proračun iskoristivih toplinskih gubitaka koji se vraćaju u prostor u promatranom periodu za podsustav predaje

$$Q_{em,rbl} = 0 \quad [\text{kWh}] \quad (2.15)$$

Toplinska energija koju je potrebno isporučiti podsustavu predaje

$$Q_{em,in} = Q_{H,dis,out} = Q_{em,out} - Q_{em,aux,rvd} + Q_{em,ls} \quad [\text{kWh}] \quad \text{HRN EN (1)} \quad (2.16)$$

pri čemu je toplinska energija koja se ogrjevnim tijelima predaje u prostor

$$Q_{em,out} = Q_{H,nd} - \eta_{rvd} (Q_{em,aux,rbl} + Q_{H,dis,rbl} + Q_{H,dis,aux,rbl} + Q_{gnr,ls,env,rbl} + Q_{H,gen,aux,rbl}) - \eta_{rvd} (Q_{W,dis,rbl} + Q_{W,dis,aux,rbl} + Q_{W,st,rbl} + Q_{W,p,rbl} + Q_{W,gnr,ls,env,rbl} + Q_{W,p,aux,rbl} + Q_{W,gnr,aux,rbl}) \quad [\text{kWh}] \quad (2.17)$$

tj. jednaka je potrebnoj toplinskoj energiji $Q_{H,nd}$ (norma HRN EN 13790) umanjenoj za zbroj svih iskorištenih topl. gubitaka sustava grijanja i pripreme PTV-a (vidi Jedn. (1.1) i (1.2))

NAPOMENA: U slučaju da kotao na biomasu ima dodatni akumulacijski spremnik onda je u Jedn. (2.17) ostalim iskoristivim topl. gubicima potrebno pridodati iskoristive topl. gubitke pripadajućeg akumulacijskog sustava $Q_{sto,ls,rbl}$ (Jedn. (5.33)) i iskoristive topl. gubitke pumpe primarne cirkulacije $Q_{sto,aux,pu,rbl}$ (Jedn. (5.36)).

3. HRN EN 15316-2-3:2008 Sustavi grijanja u zgradama – Metoda proračuna energijskih zahtjeva i učinkovitosti sustava – Dio 2-3: Razvodi sustava grijanja prostora

Period proračuna: sezona grijanja

Proračun toplinskih gubitaka

Toplinski gubici svih dionica cjevovoda u promatranom periodu (*iz detaljne metode*)

$$Q_{H,dis,ls} = \sum_j \psi_j \cdot (\theta_m - \theta_{i,j}) \cdot L_j \cdot t_{uk} / 1000 \quad [\text{kWh}] \quad \text{HRN EN (23)} \quad (3.1)$$

Proračun se provodi za sve dionice, kroz grijane i negrijane prostore, a dobivene vrijednosti se zbrajaju.

Ulazne veličine:

L_j – duljina pojedine dionice cjevovoda (m), iz projektne dokumentacije, en. pregleda ili Slika 3.1 i Tablice 3.1÷3.3;

ψ_j – koeficijent toplinskih gubitaka pojedine dionice cjevovoda (W/mK), iz projektne dokumentacije, en. pregleda ili Tablica 3.4;

θ_m – prosječna temperatura ogrjevnog medija – funkcija faktora opterećenja β_{dis} (°C);

$\theta_{i,j}$ – temperatura okolišnog zraka pojedine dionice (°C);

t_{uk} – broj sati u promatranom periodu (h) ($t_{uk} = 24 \cdot d$);

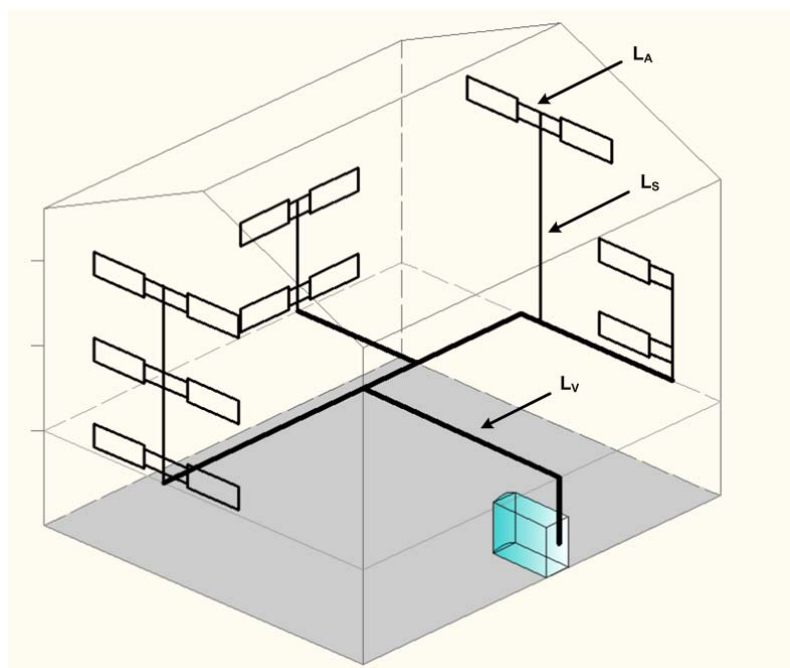
d – broj dana u promatranom periodu (dan).

Faktor opterećenja β_{dis} je definiran kao

$$\beta_{dis} = \frac{Q_{H,dis,out}}{\Phi_{em} \cdot t_{uk}} \quad [-] \quad \text{HRN EN (38)} \quad (3.2)$$

$Q_{H,dis,out}$ – toplinska energija na izlazu iz podsustava razvoda (kWh);

Φ_{em} – nazivna snaga instaliranih ogrjevnih tijela (kW).



L_V – cjevovodi između generatora i vertikalala;

L_S – cjevovodi vertikalala;

L_A – spojni cjevovodi s ogrjevnim tijelima.

Slika 3.1 (HRN EN A.1) Podjela cjevovoda u sustavu razvoda ogrjevnog medija

Tablica 3.1 (HRN EN A.4) Aproximacija duljine cjevovoda (dvocijevni sustav grijanja)

Veličina	Dio L_V (od generatora do vertikalala)	Dio L_S (vertikale)	Dio L_A (spojni cjevovodi)
Prosječna okolišna temperatura, $\theta_{i,j}$ [°C]	13 za negrijani prostor 20 za grijani prostor	20	20
Duljina cjevovoda ako su u vanjskim zidovima, L_j [m]	$2 \cdot L_L + 0,01625 \cdot L_L \cdot L_w^2$	$0,025 \cdot L_L \cdot L_w \cdot h_{lev} \cdot N_{lev}$	$0,55 \cdot L_L \cdot L_w \cdot N_{lev}$
Duljina cjevovoda ako su u unutarnjim zidovima, L_j [m]	$2 \cdot L_L + 0,0325 \cdot L_L \cdot L_w + 6$	$0,025 \cdot L_L \cdot L_w \cdot h_{lev} \cdot N_{lev}$	$0,55 \cdot L_L \cdot L_w \cdot N_{lev}$

L_L – najveća razvijena duljina zgrade ili zone (m);

L_w – najveća razvijena širina zgrade ili zone (m);

h_{lev} – visina kata (m);

N_{lev} – broj katova.

Tablica 3.2 (HRN EN A.5) Aproksimacija duljine cjevovoda (jednocijevni sustav grijanja)

Veličina	Dio V (od generatora do vertikala)	Dio S (vertikale)	Dio A (spojni cjevovodi)
Prosječna temperatura okoline, $\theta_{t,i}$ [°C]	13 za negrijani prostor 20 za grijani prostor	20	20
Duljina cjevovoda u unutarnjim zidovima, L_j [m]	$2 \cdot L_L + 0,0325 \cdot L_L \cdot L_w + 6$	$0,025 \cdot L_L \cdot L_w \cdot h_{lev} \cdot N_{lev}$ $+ 2 \cdot (L_L + L_w) \cdot N_{lev}$	$0,1 \cdot L_L \cdot L_w \cdot N_{lev}$

Tablica 3.3 (HRN EN A.7) Ekvivalentne duljine ventila

Ventili uključujući prirubnice	Ekvivalentna duljina u [m] (promjer ≤ 100 mm)	Ekvivalentna duljina u [m] (promjer > 100 mm)
Neizolirani	4,0	6,0
izolirani	1,5	2,5

Tablica 3.4 (HRN EN A.6) Aproksimacija koef. toplinskih gubitaka ψ [W/mK] za razne cjevovode u novim i postojećim zgradama

Godina ili klasa zgrade	Dio razvoda		
	Dio V	Dio S	Dio A
Izolirane cijevi			
Od 1995 – pretpostavka da je debljina izolacije jednaka vanjskom promjeru cijevi	0,2	0,3	0,3
1980 do 1995 – pretpostavka da je debljina izolacije jednaka polovici vanjskog promjera cijevi	0,3	0,4	0,4
Do 1980	0,4	0,4	0,4
Neizolirane cijevi			
$A \leq 200 \text{ m}^2$	1,0	1,0	1,0
$200 \text{ m}^2 < A \leq 500 \text{ m}^2$	2,0	2,0	2,0
$A > 500 \text{ m}^2$	3,0	3,0	3,0
Cijevi položene u vanjskim zidovima		ukupno/ iskoristivo*	
Vanjski zid neizoliran		1,35/0,80	
Vanjski zid izoliran izvana		1,00/0,90	
Vanjski zid bez izolacije ali manjeg koef. prolaska topline $U=0,4 \text{ W/(m}^2\text{K)}$		0,75/0,55	

*(ukupno=ukupni topl. gubitak cjevovoda / iskoristivo = iskoristivi gubitak cjevovoda)

A - površina etaže (m^2).

Proračun prosječne temperature ogrjevnog medijaUlazne veličine: $\theta_{s,des}$ – projektna temperatura polaza ogrjevnog medija u sustav (°C); $\theta_{r,des}$ – projektna temperatura povrata ogrjevnog medija iz sustava (°C); θ_i – temperatura prostorije (°C); n – eksponent sustava predaje (-), Tablica 3.5.

Razlika projektne srednje temperature sustava predaje i temperature prostorije

$$\Delta\theta_{des} = \frac{\theta_{s,des} + \theta_{r,des}}{2} - \theta_i \quad [^{\circ}\text{C}] \quad \text{HRN EN (42)} \quad (3.3)$$

a) Prosječna temperatura vode u sustavu – kod regulacije prema unutrašnjoj temperaturi uz pomoć termostatskih ventila, sa sobnim termostatom

$$\theta_m = \Delta\theta_{des} \cdot \beta_{dis}^{\frac{1}{n}} + \theta_i \quad [^{\circ}\text{C}] \quad \text{HRN EN (39),(43)} \quad (3.4)$$

b) Prosječna temperatura vode u sustavu – kod regulacije u ovisnosti o vanjskoj temperaturi i konstantnoj unutrašnjoj temperaturi

$$\theta_m = \theta_d + f_c \cdot (\theta_i - \theta_d) \quad [^{\circ}\text{C}] \quad \text{HRN EN 15316-4-1 (19)} \quad (3.5)$$

 θ_d – projektna temperatura sustava razvoda (°C), Tablica 3.6; f_c – korekcijski faktor, uzima u obzir vrstu regulacije (protoka ili temperature) i standardne vrijednosti tijekom perioda rada, (-), Tablica 3.7.

Tablica 3.5 Standardne vrijednosti eksponenta toplinskog učina ogrjevnih tijela

Tip ogrjevnog tijela	n
Radijator	1,30
Konvektor	1,40
Podno grijanje	1,13
Ventilokonvektor	1,00

Tablica 3.6 Klase razvoda prema temperaturi i pripadajućoj projektnoj temperaturi

Tip razvoda (klasa)	Projektna temperatura θ_d
Niskotemperaturni razvod	35 °C
Srednjetemperaturni razvod	50 °C
Visokotemperaturni razvod	70 °C

Tablica 3.7 Vrijednost korekcijskog faktora koji uzima u obzir vrstu regulacije

Vrsta regulacije kotla	f_c
Regulacija s konstantnom temperaturom ogrjevnog medija	0
Regulacija s promjenjivom temperaturom ogrjevnog medija	$\frac{\theta_e - \theta_{e,design}}{\theta_i - \theta_{e,design}}$

θ_e – vanjska temperatura u pojedinom mjesecu (°C);

$\theta_{e,design}$ - vanjska projektna temperatura (°C).

Iskoristivi toplinski gubici podsustava razvoda koji se vraćaju u grijani prostor

$$Q_{H,dis,rbl} = \sum_j k_1 \cdot k_2 \cdot \psi_j \cdot (\theta_m - \theta_{i,j}) \cdot L_j \cdot t_{uk} / 1000 \quad [\text{kWh}] \quad \text{HRN EN (31)} \quad (3.6)$$

L_j – duljina pojedine dionice cjevovoda (m).

k_1 – udio iskoristivih gubitaka u ukupnim za pojedinu dionicu u ovisnosti o vrsti prostora (-);

$k=1$ tj. 100% ukupnih gubitaka ako dionica prolazi kroz grijani prostor;

$k=0,5$ tj. 50% ukupnih gubitaka ako dionica prolazi kroz negrijani prostor koji graniči s grijanim;

$k=0$ tj. 0% ukupnih gubitaka ako dionica prolazi kroz negrijani prostor koji ne graniči s grijanim.

k_2 – udio iskoristivih gubitaka u ukupnim za pojedinu dionicu u ovisnosti o načinu ugradnje (-), (temeljem Tabl. 3.4);

$k=1$ tj. 100% ukupnih gubitaka ako dionica prolazi kroz unutrašnji zid ili izvan zida;

$k=0,9$ tj. 90% ukupnih gubitaka ako dionica prolazi kroz vanjski zid izoliran izvana;

$k=0,6$ tj. 60% ukupnih gubitaka ako dionica prolazi kroz vanjski neizolirani zid.

Proračun pomoćne energije

Pomoćna energija potrebna za (kontinuirani) pogon pumpi u promatranom periodu se računa prema

$$W_{H,dis,aux} = \frac{P_{hydr,des}}{1000} \cdot \beta_{dis} \cdot t_{uk} \cdot f_{NET} \cdot f_{HB} \cdot f_{G,PM} \cdot e_{dis} \quad [\text{kWh}] \quad \text{HRN EN (A.1),(4)} \quad (3.7)$$

$P_{hydr,des}$ – projektna hidraulička snaga (W), Jedn. (3.12);

β_{dis} – faktor opterećenja (-);

e_{dis} – faktor energetskeg utroška (-), Jedn. (3.15).

Ulazne veličine:

f_{NET} – korekcijski faktor hidrauličke mreže (za jednocijevne i dvocijevne mreže) (-),
 $f_{NET} = 1$ – za dvocijevni sustav,
 $f_{NET} = 8,6k_{by} + 0,7$ – za jednocijevni sustav, k_{by} je omjer protoka kroz ogrjevno tijelo i ukupnog protoka u grani tj. $k_{by} \approx 1/\text{ukupan broj ogrjevnih tijela u grani}$;

f_{HB} – korekcijski faktor hidrauličke ravnoteže mreže (-),
 $f_{HB} = 1$ – za balansirane,
 $f_{HB} = 1.15$ – nebalansirane mreže;

$f_{G,PM}$ – korekcijski faktor za generatore topline s integriranom pumpom (-),
 $f_{G,PM} = 1$ standardni generator, regulacija prema vanjskoj temperaturi,
 $f_{G,PM} = 0.75$ zidni generator, regulacija prema vanjskoj temperaturi,
 $f_{G,PM} = 0.45$ zidni generator, regulacija prema unutarnjoj temperaturi.

Najveća duljina kruga grijanja u promatranoj zoni (aproksimacija)

$$L_{max} = 2 \cdot \left(L_L + \frac{L_w}{2} + N_{lev} \cdot h_{lev} + l_c \right) \quad [\text{m}] \quad \text{HRN EN (A.3)} \quad (3.8)$$

$l_c = 10$ m za dvocijevni sustav

$l_c = L_L + L_w$ za jednocijevni sustav

(za ostale veličine vidi Tablicu 3.1)

Projektni pad tlaka (aproksimacija) – vrijedi za primarne i sekundarne krugove

$$\Delta p_{des} = 0,13 \cdot L_{max} + 2 + \Delta p_{FH} + \Delta p_G \quad [\text{kPa}] \quad \text{HRN EN (A.2)} \quad (3.9)$$

Δp_{FH} – dodatni pad tlaka za sustave podnog grijanja (kPa), $\Delta p_{FH} = 25$ kPa;

Δp_G – pad tlaka generatora topline (kPa), Tablica 3.8.

Projektni volumni protok

$$\dot{V}_{des} = \frac{\Phi_{em,out}}{1.15 \cdot \Delta \theta_{dis,des}} \quad [\text{m}^3/\text{h}] \quad \text{HRN EN (2)} \quad (3.10)$$

$\Phi_{em,out}$ – projektno toplinsko opterećenje (kW) (prema HRN EN 12831), ukoliko nije poznato uzeti $\Phi_{em,out} = \Phi_{em}$ (vidi Poglavlje 2);

Projektna razlika temperatura

$$\Delta\theta_{dis,des} = \theta_{s,des} - \theta_{r,des} \quad [\text{K}] \quad (3.11)$$

Projektna hidraulička snaga

$$P_{hydr,des} = 0,2778 \cdot \Delta p_{des} \cdot \dot{V}_{des} \quad [\text{W}] \quad \text{HRN EN (1)} \quad (3.12)$$

Tablica 3.8 (HRN EN A.1) Pad tlaka generatora topline

Tip generatora topline		Δp_G [kPa]
Generator sa sadržajem vode > 0,3 Lit/kW		1
Generator sa sadržajem vode ≤ 0,3 Lit/kW	$\Phi_{em,out,max} < 35 \text{ kW}$	$20 \cdot (\dot{V}_{des})^2$
	$\Phi_{em,out,max} \geq 35 \text{ kW}$	80

$\Phi_{em,out,max}$ – najveće toplinsko opterećenje (kW), (prema HRN EN 12831), ukoliko nije poznato uzeti $\Phi_{em,out,max} = \Phi_{em}$

Faktor učinkovitosti

$$f_e = \frac{P_{el,pmp}}{P_{hydr,des}} \quad [-] \quad \text{HRN EN (A.5)} \quad (3.13)$$

$P_{el,pmp}$ – nazivna električna snaga pumpe (pri broju okretaja na kojem radi) (W), podatak proizvođača ili kad nije poznata $P_{el,pmp}$

$$f_e = \left[1,25 + \left(\frac{200}{P_{hydr,des}} \right)^{0,5} \right] \cdot 1,5 \cdot b \quad [-] \quad \text{HRN EN (A.6)} \quad (3.14)$$

$b=1$ za nove zgrade i $b=2$ za postojeće zgrade.

Faktor energetskeg utroška

$$e_{dis} = f_e \cdot (C_{P1} + C_{P2} / \beta_{dis}) \quad [-] \quad \text{HRN EN (A.4)} \quad (3.15)$$

C_{P1} , C_{P2} – konstante, Tablica 3.9

Tablica 3.9 (HRN EN A.2) Konstante za izračun faktora energetskeg utroška

Regulacija pumpe	C_{P1}	C_{P2}
Pumpa nije regulirana (konstantna brzina vrtnje)	0,25	0,75
konstantan Δp	0,75	0,25
promjenjiv Δp	0,90	0,10

Proračun vraćene pomoćne energije radnom mediju u promatranom periodu za podsustav razvoda

$$Q_{H,dis,aux,rvd} = 0,75 \cdot W_{H,dis,aux} \quad [\text{kWh}] \quad \text{HRN EN (21)} \quad (3.16)$$

Proračun iskoristive pomoćne energije koja se vraća u prostor u promatranom periodu za podsustav razvoda

$$Q_{H,dis,aux,rbl} = k \cdot 0,25 \cdot W_{H,dis,aux} \quad [\text{kWh}] \quad \text{HRN EN (22)} \quad (3.17)$$

k – udio iskoristivih gubitaka u ukupnim (-);

$k=1$ tj. 100% ukupnih gubitaka ako je komponenta smještena u grijanoj zoni;

$k=0,5$ tj. 50% ako je komponenta smještena u negrijanoj zoni;

$k=0$ tj. 0% ako je komponenta smještena izvan zgrade.

Proračun iskoristivih toplinskih gubitaka koji se vraćaju u prostor u promatranom periodu za podsustav razvoda $Q_{H,dis,rbl}$

Vidi Jedn. (3.6)

Toplinska energija koju je potrebno isporučiti sustavu razvoda grijanja

$$Q_{H,dis,in} = Q_{H,gen,out} = Q_{H,dis,out} - Q_{H,dis,aux,rvd} + Q_{H,dis,ls} \quad [\text{kWh}] \quad (3.18)$$

4. HRN EN 15316-4-1:2008 Sustavi grijanja u zgradama – Metoda proračuna energijskih zahtjeva i učinkovitosti sustava – Dio 4-1: Sustavi za proizvodnju topline izgaranjem (kotlovi)

Period proračuna: sezona grijanja, izvan sezone grijanja

4.1 Proračun prosječne snage podsustava proizvodnje

Ulazne veličine:

(iz projektnog rješenja ili iz ostalih dijelova ove norme)

$Q_{H,gen,out}$ – toplinska energija koju je potrebno isporučiti podsustavu razvoda (kWh),
($Q_{H,gen,out} = Q_{H,dis,in}$);

d – broj dana u promatranom periodu (dan);

t_{ci} – broj sati u promatranom periodu (h), ($t_{ci} = t_{uk} = 24 \cdot d$).

Prosječna snaga podsustava proizvodnje $\phi_{H,gen,out}$ računa se prema sljedećem izrazu:

$$\phi_{H,gen,out} = \frac{Q_{H,gen,out}}{t_{ci}} \quad [\text{kW}] \quad \text{HRN EN (8)} \quad (4.1)$$

4.2 Radna temperatura vode u kotlu

Radna temperatura vode u kotlu $\theta_{gnr,w,x}$ računa se pomoću sljedećeg izraza:

$$\theta_{gnr,w,x} = \max(\theta_{gnr,w,min}, \theta_{gnr,w,m}) \quad [^{\circ}\text{C}] \quad \text{HRN EN (33)} \quad (4.2)$$

$\theta_{gnr,w,min}$ – ograničenje pogonske temperature za svaki kotao ($^{\circ}\text{C}$). Ako je sustav opremljen sa nekoliko kotlova, vrijednost ograničenja pogonske temperature koja se koristi u proračunu je najveća vrijednost ograničenja koja se javlja kod kotlova koji rade u isto vrijeme. Vrijednosti se nalaze u Tablici 4.1

$\theta_{gnr,w,m}$ – prosječna temperatura vode u sustavu ovisno o vrsti regulacije ($^{\circ}\text{C}$), $\theta_{gnr,w,m} = \theta_m$, Jedn. (3.4) i (3.5).

Tablica 4.1 (HRN EN 15316-4-1 B.1) Podaci za proračun temperaturnih ograničenja raznih kotlova

Vrsta kotla	Godina proizvodnje	$\theta_{gnr,w,min}$
Kotlovi na kombinirano gorivo	prije 1978	50 °C
	1978 do 1987	50 °C
Kotlovi na kruta goriva	prije 1978	50 °C
	1978 do 1994	50 °C
	poslije 1994	50 °C
Standardni kotlovi		
Atmosferski kotao na plin	prije 1978	50 °C
	1978 do 1994	50 °C
	poslije 1994	50 °C
Toplovodni kotao s ventilatorskim plamenikom	prije 1978	50 °C
	1978 do 1986	50 °C
	1987 do 1994	50 °C
	poslije 1994	50 °C
Instaliran zamjenski plamenik (samo toplovodni kotlovi s ventilatorskim plamenikom)	prije 1978	50 °C
	1978 do 1994	50 °C
Niskotemperaturni kotlovi		
Atmosferski kotao na plin	1978 do 1994	35 °C
	poslije 1994	35 °C
Protočni zagrijač vode (11 kW, 18 kW i 24 kW)	prije 1987	35 °C
	1987 do 1992	35 °C
Toplovodni kotao s ventilatorskim plamenikom	prije 1987	35 °C
	1987 do 1994	35 °C
	poslije 1994	35 °C
Instaliran zamjenski plamenik (samo toplovodni kotlovi s ventilatorskim plamenikom)	prije 1987	35 °C
	1987 do 1994	35 °C
Kondenzacijski kotlovi		
Kondenzacijski kotao	prije 1987	20 °C
	1987 do 1994	20 °C
	poslije 1994	20 °C
Poboljšan kondenzacijski kotao	poslije 1999	20 °C

4.3 Opterećenje pojedinog kotla

4.3.1 Podsustav proizvodnje s jednim kotlom

Ako je instaliran samo jedan kotao, faktor opterećenja β_{gnr} računa se prema sljedećem izrazu:

$$\beta_{gnr} = \frac{\phi_{H,gen,out}}{\phi_{Pn}} \quad [-] \quad \text{HRN EN (9)} \quad (4.3)$$

ϕ_{Pn} – nazivna snaga kotla (kW).

4.3.2 Podsustav proizvodnje s više kotlova

A) Općenito

Ako je u podsustavu proizvodnje instalirano više kotlova, raspodjela opterećenja među kotlovima ovisi o sustavu regulacije. Razlikujemo dvije vrste regulacije sustava:

- bez prioriteta
- s prioritetom

B) Više kotlova bez prioriteta

Svi kotlovi su u pogonu u isto vrijeme pa je faktor opterećenja β_{gnr} jednak za sve kotlove i prikazan sljedećim izrazom:

$$\beta_{gnr} = \frac{\phi_{H,gen,out}}{\sum_i \phi_{Pn,i}} \quad [-] \quad \text{HRN EN (10)} \quad (4.4)$$

$\phi_{Pn,i}$ – nazivna snaga kotla i pri punom opterećenju (kW).

C) Više kotlova s prioritetom

Prvo su u pogonu kotlovi višeg prioriteta. Određeni kotao zadanog prioriteta u pogonu je samo ako kotlovi višeg prioriteta rade pri punom opterećenju ($\beta_{gnr,i} = 1$).

Ako su svi kotlovi jednake nazivne snage ϕ_{Pn} , broj kotlova u pogonu $N_{gnr,on}$ prikazan je sljedećim izrazom:

$$N_{gnr} = \text{int} \left(\frac{\phi_{H,gen,out}}{\phi_{Pn}} \right) \quad [-] \quad \text{HRN EN (11)} \quad (4.5)$$

Ako svi kotlovi nisu jednake nazivne snage ϕ_{Pn} , kotlovi u pogonu utvrđuju se tako da vrijedi $0 < \beta_{gnr,j} < 1$ (vidi Jedn. (4.4)).

Faktor opterećenja $\beta_{gnr,j}$ za intermitirajući pogon kotla računa se prema sljedećem izrazu:

$$\beta_{gnr,j} = \frac{\phi_{H,gen,out} - \sum_{i=1}^{N_{gnr,on}} \phi_{Pn,i}}{\phi_{Pn,j}} \quad [-] \quad \text{HRN EN (12)} \quad (4.6)$$

$\phi_{Pn,i}$ – nazivna snaga kotla i pri punom opterećenju (kW);

$\phi_{Pn,j}$ – nazivna snaga kotla u radu s prekidima (kW).

4.4 Kotlovi s dvostrukom namjenom (grijanje prostora i priprema PTV)

Tijekom sezone grijanja, kotao može, osim za isporuku potrebne energije za zagrijavanje prostora, služiti i za zagrijavanje PTV-a (dvostruka namjena).

Proračun toplinskih gubitaka u slučaju kotla kao sustava samo za pripremu potrošne tople vode, specificiran je u dijelu HRN EN 15316-3-3 ove norme.

Priprema potrošne tople vode povećava opterećenje kotlova s dvostrukom namjenom. Taj se učinak uzima u obzir povećanjem opterećenja podsustava proizvodnje tijekom odabranog proračunskog perioda prema izrazu (4.7) te korištenjem $Q_{HW,gen,out}$ umjesto $Q_{H,gen,out}$ u izrazu (4.37).

$$Q_{HW,gen,out} = Q_{H,dis,in} + Q_{W,gnr,out} \quad [\text{kWh}] \quad \text{HRN EN (13)} \quad (4.7)$$

$Q_{H,dis,in}$ – potrebna energija za podsustav razvoda (kWh);

$Q_{W,gnr,out}$ – potrebna energija za pripremu PTV-a (kWh), Poglavlje 8.

4.5 Proračun korigirane učinkovitosti kotla na 100% opterećenja

Učinkovitost kod punog opterećenja mjeri se kod srednje temperature kotlovske vode od 70 °C. Dobivena vrijednost mora se preračunavati ako se temperatura vode razlikuje za više od 5 K u odnosu na definiranu temperaturu. Mogu se koristiti podaci proizvođača ili, ako nisu poznati, standardne vrijednosti dane u Tablicama u nastavku.

Ulazne veličine:

c_1, c_2 – koeficijenti za proračun učinkovitosti kotla (%), dani u Tablici 4.3;

$\phi_{Pn,ltd}$ – nazivna snaga kotla s ograničenom maksimalnom vrijednošću od 400 kW. Ako je nazivna snaga kotla veća od 400 kW, uzima se vrijednost od 400 kW, (kW);

$\theta_{gnr,w,test,Pn}$ – srednja temperatura vode u kotlu, u uvjetima ispitivanja pri punom opterećenju (°C), (70 °C prema EN 303), Tablica 4.4;

$f_{corr,Pn}$ – faktor korekcije kod punog opterećenja (%/°C), Tablica 4.4. Uzima u obzir promjenu stupnja djelovanja u ovisnosti o promjeni srednje temperature vode u kotlu.

Faktor korekcije kod punog opterećenja $f_{corr,Pn}$ može se izračunati korištenjem podataka o učinkovitosti, dobivenih dodatnim ispitivanjima provedenim pri nižoj prosječnoj temperaturi vode, primjenom sljedećeg izraza:

$$f_{corr,Pn} = \frac{\eta_{Pn} - \eta_{Pn,add}}{\theta_{gnr,w,test,Pn,add} - \theta_{gnr,w,test,Pn}} \quad [\%/^{\circ}\text{C}] \quad \text{HRN EN (B6)} \quad (4.8)$$

η_{Pn} – učinkovitost pri punom opterećenju sa standardnim ispitnim uvjetima uz prosječnu temperaturu vode $\theta_{gnr,w,test,Pn}$ (%);

$\eta_{Pn,add}$ – učinkovitost pri punom opterećenju uz prosječnu temperaturu vode $\theta_{gnr,w,test,Pn,add}$ (%).

Tablica 4.3 (HRN EN 15316-4-1 B.1) Koeficijenti za proračun učinkovitosti kotla i ograničenje temperature

Vrsta kotla	Godina proizvodnje	c ₁ [%]	c ₂ [%]	c ₃ [%]	c ₄ [%]	$\theta_{gnr,w,min}$
Kotlovi na kombinirano gorivo	prije 1978	77,0	2,0	701,0	3,0	50 °C
	1978 do 1987	79,0	2,0	74,0	3,0	50 °C
Kotlovi na kruto gorivo	prije 1978	78,0	2,0	72,0	3,0	50 °C
	1978 do 1994	80,0	2,0	75,0	3,0	50 °C
	poslije 1994	81,0	2,0	77,0	3,0	50 °C
Standardni kotlovi						
Atmosferski kotlovi na plin	prije 1978	79,5	2,0	76,0	3,0	50 °C
	1978 do 1994	82,5	2,0	78,0	3,0	50 °C
	poslije 1994	85,0	2,0	81,5	3,0	50 °C
Toplovodni kotao s ventilatorskim plamenikom	prije 1978	80,0	2,0	75,0	3,0	50 °C
	1978 do 1986	82,0	2,0	77,5	3,0	50 °C
	1987 do 1994	84,0	2,0	80,0	3,0	50 °C
	poslije 1994	85,0	2,0	81,5	3,0	50 °C
Instaliran zamjenski plamenik (samo toplovodni kotao s ventilatorskim plamenikom)	prije 1978	82,5	2,0	78,0	3,0	50 °C
	1978 do 1994	84,0	2,0	80,0	3,0	50 °C
Niskotemperaturni kotlovi						
Atmosferski kotlovi na plin	1978 do 1994	85,5	1,5	86,0	1,5	35 °C
	poslije 1994	88,5	1,5	89,0	1,5	35 °C
Protočni zagrijač vode (11 kW, 18 kW i 24 kW)	prije 1987	86,0	0,0	84,0	0,0	35 °C
	1987 do 1992	88,0	0,0	84,0	0,0	35 °C
Toplovodni kotao s ventilatorskim plamenikom	prije 1987	84,0	1,5	82,0	1,5	35 °C
	1987 do 1994	86,0	1,5	86,0	1,5	35 °C
	poslije 1994	88,5	1,5	89,0	1,5	35 °C
Instaliran zamjenski plamenik (samo toplovodni kotao s ventilatorskim plamenikom)	prije 1987	86,0	1,5	85,0	1,5	35 °C
	1987 do 1994	86,0	1,5	85,0	1,5	35 °C
Kondenzacijski kotlovi						
Kondenzacijski kotlovi	prije 1987	89,0	1,0	95,0	1,0	20 °C
	1987 do 1994	91,0	1,0	97,5	1,0	20 °C
	poslije 1994	92,0	1,0	98,0	1,0	20 °C
Poboljšani kondenzacijski kotlovi ¹⁾	poslije 1999	94,0	1,0	103,0	1,0	20 °C

1) Ako se u proračunu za „poboljšani kondenzacijski kotao“ koriste standardne vrijednosti, tada vrijednosti koeficijenata za proračun učinkovitosti kotlova moraju biti veće od navedenih.

NAPOMENA: Ispitne temperature navedene su u Tablicama 4.4 i 4.5. (HRN EN 15316-4-1 B.3 i B.4)

Tablica 4.4 Standardne vrijednosti faktora korekcije pri punom opterećenju i srednje ispitne temperature vode u kotlu

Vrsta kotla	Prosječna temperatura vode u kotlu na ispitnim temperaturama, pri punom opterećenju $\theta_{gnr,w,test,Pn}$	Korekcijski faktor $f_{corr,Pn}$
Standardni kotao	70 °C	0,04 % /°C
Niskotemperaturni kotao	70 °C	0,04 % /°C
Plinski kondenzacijski kotao	70 °C	0,20 % /°C
Uljni kondenzacijski kotao	70 °C	0,10 % /°C

NAPOMENA: Kod kondenzacijskog kotla, ispitivanje se ne provodi na definiranoj prosječnoj temperaturi vode kotla (prosječna vrijednost polaza i povrata kotla), već sa temperaturom vode povrata od 30 °C. Učinkovitost se proračunava sa prosječnom temperaturom vode kotla od 35 °C.

Učinkovitost kotla pri punom opterećenju, u ovisnosti o učinku, dana je sljedećim izrazom:

$$\eta_{gnr,Pn} = c_1 + c_2 \cdot \log\left(\frac{\phi_{Pn,ltd}}{1kW}\right) \quad [\%] \quad \text{HRN EN (B2)} \quad (4.9)$$

Korigirana učinkovitost na 100% opterećenja računa se prema sljedećem izrazu:

$$\eta_{gnr,Pn,corr} = \eta_{gnr,Pn} + f_{corr,Pn} \cdot (\theta_{gnr,w,test,Pn} - \theta_{gnr,w,x}) \quad [\%] \quad \text{HRN EN (14)} \quad (4.10)$$

Korigirani toplinski gubitak na 100% opterećenja računa se prema sljedećem izrazu:

$$\phi_{gnr,ls,Pn,corr} = \frac{(100 - \eta_{gnr,Pn,corr})}{\eta_{gnr,Pn,corr}} \cdot \phi_{Pn} \quad [kW] \quad \text{HRN EN (15)} \quad (4.11)$$

ϕ_{Pn} – učinak kotla pri punom opterećenju (kW).

4.6 Proračun korigirane učinkovitosti kotla na djelomičnom opterećenju

Učinkovitost pri djelomičnom opterećenju $\eta_{gnr,Pint}$ mjeri se kod srednje temperature kotlovske vode $\theta_{gnr,w,test,Pint}$. Dobivena vrijednost mora se korigirati prema stvarnoj prosječnoj temperaturi kotla pojedine instalacije. Mogu se koristiti podaci proizvođača ili, ako nisu poznati, standardne vrijednosti dane u Tablicama u nastavku.

Ulazne veličine:

- c_3, c_4 – koeficijenti za proračun učinkovitosti kotla (%), dani u Tablici 4.3;
 $\phi_{Pn, ltd}$ – nazivna snaga kotla s ograničenom maksimalnom vrijednošću od 400 kW. Ako je nazivna snaga kotla veća od 400 kW, uzima se vrijednost od 400 kW, (kW);
 $\theta_{gnr, w, test, Pint}$ – srednja temperatura vode u kotlu, u uvjetima ispitivanja pri djelomičnom opterećenju (°C), vrijednosti su dane u Tablici 4.5;
 $f_{corr, Pint}$ – faktor korekcije (%/°C), Tablica 4.5 ili podaci proizvođača.

Faktor korekcije pri djelomičnom opterećenju $f_{corr, Pint}$ može se izračunati korištenjem podataka o učinkovitosti, dobivenih dodatnim ispitivanjima provedenim pri višoj prosječnoj temperaturi vode, primjenom sljedećeg izraza:

$$f_{corr, Pint} = \frac{\eta_{Pint} - \eta_{Pint, add}}{\theta_{gnr, w, test, Pint, add} - \theta_{gnr, w, test, Pint}} \quad [\%/^{\circ}\text{C}] \quad \text{HRN EN (B7)} \quad (4.12)$$

- η_{Pint} – učinkovitost pri djelomičnom opterećenju sa standardnim ispitnim uvjetima uz prosječnu temperaturu vode $\theta_{gnr, w, test, Pint}$ (%);
 $\eta_{Pint, add}$ – učinkovitost pri punom opterećenju uz prosječnu temperaturu vode $\theta_{gnr, w, test, Pint, add}$ (%).

Tablica 4.5 (HRN EN 15316-4-1 B.3) Standardne vrijednosti faktora korekcije pri djelomičnom opterećenju i prosječne ispitne temperature vode u kotlu

Vrsta kotla	Prosječna temperatura vode u kotlu na ispitnim temperaturama, pri djelomičnom opterećenju $\theta_{gnr, w, test, Pint}$	Korekcijski faktor $f_{corr, Pint}$
Standardni kotao	50 °C	0,05 % /°C
Niskotemperaturni kotao	40 °C	0,05 % /°C
Plinski kondenzacijski kotao	30 °C (*)	0,2 % /°C
Uljni kondenzacijski kotao	30 °C (*)	0,1 % /°C
(*) Temperatura vode povrata		

Učinkovitost kotla pri djelomičnom opterećenju, u ovisnosti o učinku, dana je sljedećim izrazom:

$$\eta_{gnr, Pint} = c_3 + c_4 \cdot \log\left(\frac{\phi_{Pn, ltd}}{1kW}\right) \quad [\%] \quad \text{HRN EN (B3)} \quad (4.13)$$

Učinkovitost kotla pri djelomičnom opterećenju kod uljnih kondenzacijskih kotlova, u ovisnosti o učinku, dana je sljedećim izrazom:

$$\eta_{gnr, Pint} = \frac{c_3 + c_4 \cdot \log\left(\frac{\phi_{Pn, ltd}}{1kW}\right)}{1,05} \quad [\%] \quad \text{HRN EN (B4)} \quad (4.14)$$

Djelomično opterećenje kotla ϕ_{int} određuje se prema sljedećem izrazu:

$$\phi_{Pint} = \phi_{Pn} \cdot \beta_{int} \quad [\text{kW}] \quad \text{HRN EN (D1)} \quad (4.15)$$

Za uljne i plinske kotlove, standardna vrijednost β_{int} iznosi 0,3.

Korigirana učinkovitost pri djelomičnom opterećenju računa se prema sljedećem izrazu:

$$\eta_{gnr,Pint,corr} = \eta_{gnr,Pint} + f_{corr,Pint} \cdot (\theta_{gnr,w,test,Pint} - \theta_{gnr,w,x}) \quad [\%] \quad \text{HRN EN (16)} \quad (4.16)$$

Korigirani toplinski gubitak pri djelomičnom opterećenju računa se prema sljedećem izrazu:

$$\phi_{gnr,ls,Pint,corr} = \frac{(100 - \eta_{gnr,Pint,corr})}{\eta_{gnr,Pint,corr}} \cdot \phi_{Pint} \quad [\text{kW}] \quad \text{HRN EN (17)} \quad (4.17)$$

4.7 Proračun toplinskih gubitaka kotla na 0% opterećenja (stanje pripravnosti)

Ulazne veličine:

- ϕ_{Pn} – nazivni učinak kotla (kW);
- c_5, c_6 – koeficijenti za proračun učinkovitosti kotla (%), dani u Tablici 4.6;
- $\Delta\theta_{gnr,test,P0}$ – razlika između prosječne temperature kotla i temperature prostorije u kojoj se nalazi kotao (°C). Podaci proizvođača ili standardne vrijednosti dane Tablici 4.6;
- $\theta_{i,brm}$ – unutarnja temperatura prostorije u kojoj je kotao smješten (°C), Tablici 4.7.

Tablica 4.6. (HRN EN 15316-4-1 B.2) Koeficijenti za proračun gubitaka topline u stanju pripravnosti

Vrsta kotla	Godina proizvodnje	c_5 [%]	c_6 [-]	$\Delta\theta_{gnr,test,P0}$ [°C]
Kotlovi na kombinirano gorivo	do 1987	12,5	-0,28	50
Kotlovi na kruto gorivo	prije 1978	12,5	-0,28	50
	1978 do 1994	10,5	-0,28	50
	poslije 1994	8,0	-0,28	50
Standardni kotlovi				
Atmosferski kotlovi na plin	prije 1978	8,0	-0,27	50
	1978 do 1994	7,0	-0,3	50
	poslije 1994	8,5	-0,4	50
Toplovodni kotao s ventilatorskim plamenikom (ulje/plin)	prije 1978	9,0	-0,28	50
	1978 do 1994	7,5	-0,31	50
	poslije 1994	8,5	-0,4	50
Niskotemperaturni kotlovi				
Atmosferski kotlovi na plin	do 1994	7,5	-0,3	50
	poslije 1994	6,5	-0,35	50
Protočni zagrijač vode (11 kW, 18 kW i 24 kW)	do 1994	3,0	0,0	50
Kombinirani kotlovi KSp ^{a)}	poslije 1994	3,0	0,0	50
Kombinirani kotlovi DL ^{b)}	poslije 1994	2,4	0,0	50
Toplovodni kotao s ventilatorskim plamenikom (ulje/plin)	do 1994	8,0	-0,33	50
	poslije 1994	5,0	-0,35	50
Kondenzacijski kotlovi				
Kondenzacijski kotlovi (ulje/plin)	do 1994	8,0	-0,33	50
	poslije 1994	4,8	-0,35	50
Kombinirani kotlovi KSp (11 kW, 18 kW i 24 kW) ^{a)}	poslije 1994	3,0	0,0	50
Kombinirani kotlovi DL (11 kW, 18 kW i 24 kW) ^{b)}	poslije 1994	2,4	0,0	50

a) Ksp: Kotao sa ugrađenim zagrijačem PTV-a (ugrađen mali akumulacijski spremnik, 2L<V<10L).

b) DL: Kotao sa ugrađenim zagrijačem PTV-a (ugrađen izmjenjivač topline, V<2L).

Tablica 4.7 (HRN EN 15316-4-1 B.7) Standardne temperature prostorija u kojima je smješten kotao

Smještaj kotla	Faktor redukcije temperature $b_{brm} [-]$	Temperatura prostorije u kojoj se nalazi kotao $\theta_{i,brm} [^{\circ}\text{C}]$
U prostoru izvan zgrade	1	θ_{ext}
U kotlovnici	0,3	13
U prostoru ispod krova	0,2	5
U grijanom prostoru	0,0	20

Gubitak topline u stanju pripravnosti $\phi_{gnr,ls,P0}$ pri ispitnoj temperaturnoj razlici $\Delta\theta_{gnr,test,P0}$, u ovisnosti o učinku kotla, računa se prema sljedećem izrazu:

$$\phi_{gnr,ls,P0} = \phi_{Pn} \cdot \frac{c_5}{100} \cdot \left(\frac{\phi_{Pn}}{1kW} \right)^{c_6} \quad [\text{kW}] \quad \text{HRN EN (B5)} \quad (4.18)$$

Korigirani toplinski gubitak pri 0% opterećenja $\phi_{gnr,ls,P0,corr}$ računa se prema sljedećem izrazu:

$$\phi_{gnr,ls,P0,corr} = \phi_{gnr,ls,P0} \cdot \left(\frac{\theta_{gnr,w,m} - \theta_{i,brm}}{\Delta\theta_{gnr,test,P0}} \right)^{1,25} \quad [\text{kW}] \quad \text{HRN EN (18)} \quad (4.19)$$

4.8 Toplinski gubitak kotla pri specifičnom faktoru opterećenja β_{gnr} i izlaznoj snazi ϕ_{Px}

Ulazne veličine:

β_{gnr} – faktor opterećenja kotla (-);

t_{ci} – proračunski period (h).

Stvarna izlazna snaga ϕ_{Px} kotla računa se prema sljedećem izrazu:

$$\phi_{Px} = \phi_{Pn} \cdot \beta_{gnr} \quad [\text{kW}] \quad \text{HRN EN (19)} \quad (4.20)$$

Ako je ϕ_{Px} između 0 ($\beta_{gnr} = 0$) i ϕ_{Pint} (djelomičnog opterećenja, $\beta_{gnr} = \beta_{int} = \phi_{Pint} / \phi_{Pn}$), toplinski gubitak kotla $\phi_{gnr,ls,Px}$ računa se prema sljedećem izrazu:

$$\phi_{gnr,ls,Px} = \frac{\phi_{Px}}{\phi_{Pint}} \cdot (\phi_{gnr,ls,Pint,corr} - \phi_{gnr,ls,P0,corr}) + \phi_{gnr,ls,P0,corr} \quad [\text{kW}] \quad \text{HRN EN (20)} \quad (4.21)$$

Ako je ϕ_{Px} između ϕ_{Pint} i ϕ_{Pn} (punog opterećenja, $\beta_{gnr} = 1$), toplinski gubitak kotla $\phi_{gnr,ls,Px}$ računa se prema sljedećem izrazu:

$$\phi_{gnr,ls,Px} = \frac{\phi_{Px} - \phi_{Pint}}{\phi_{Pn} - \phi_{Pint}} \cdot (\phi_{gnr,ls,Pn,corr} - \phi_{gnr,ls,Pint,corr}) + \phi_{gnr,ls,Pint,corr} \quad [\text{kW}] \quad \text{HRN EN (21)} \quad (4.22)$$

Ukupni toplinski gubitak kotla $Q_{gnr,ls}$ tijekom promatranog vremena rada t_{ci} kotla računa se prema sljedećem izrazu:

$$Q_{gnr,ls} = \phi_{gnr,ls,Px} \cdot t_{ci} \quad [\text{kWh}] \quad \text{HRN EN (22)} \quad (4.23)$$

4.9 Ukupni toplinski gubici podsustava proizvodnje

Ukupni toplinski gubici podsustava proizvodnje su zbroj toplinskih gubitaka kotlova:

$$Q_{H,gen,ls} = \sum Q_{gnr,ls} \quad [\text{kWh}] \quad \text{HRN EN (23)} \quad (4.24)$$

4.10 Ukupna potrebna pomoćna energija podsustava proizvodnje

Prosječna potrebna pomoćna energija pojedinog kotla $P_{aux,Px}$ računa se linearnom interpolacijom, prema faktoru opterećenja kotla β_{gnr} , između vrijednosti:

- $P_{aux,Pn}$ – pomoćna energija kotla pri punom opterećenju ($\beta_{gnr} = 1$) (W);
- $P_{aux,Pint}$ – pomoćna energija kotla pri djelomičnom opterećenju ($\beta_{gnr} = \beta_{int}$) (W);
- $P_{aux,P0}$ – pomoćna energija kotla u stanju pripravnosti ($\beta_{gnr} = 0$) (W);

izmjerenih u skladnosti sa EN 15456.

Ako nisu dostupni podaci proizvođača, potrebna pomoćna energija pojedinog kotla $P_{aux,Px}$ kod sva tri stanja opterećenja tj. $P_{aux,Pn}$, $P_{aux,Pint}$ i $P_{aux,P0}$, računa se prema sljedećem izrazu:

$$P_{aux,P(n,int,0)} = c_7 + c_8 \cdot \left(\frac{\phi_{Pn}}{1 \text{ kW}} \right)^n \quad [\text{W}] \quad \text{HRN EN (B8)} \quad (4.25)$$

c_7 , c_8 – parametri za proračun potrebne energije za pogon pomoćnih uređaja (W),

Tablica 4.8;

n – koeficijent za proračun potrebne energije za pogon pomoćnih uređaja (-), Tablica 4.8;

ϕ_{Pn} – nazivni učinak kotla (kW);

Ako je $0 < \beta_{gnr} \leq \beta_{int}$ tada se $P_{aux,Px}$ računa prema sljedećem izrazu:

$$P_{aux,Px} = P_{aux,P0} + \frac{\beta_{gnr}}{\beta_{int}} \cdot (P_{aux,Pint} - P_{aux,P0}) \quad [\text{W}] \quad \text{HRN EN (25)} \quad (4.26)$$

Ako je $\beta_{int} < \beta_{gnr} \leq 1$ tada se $P_{aux,Px}$ računa prema sljedećem izrazu:

$$P_{aux,Px} = P_{aux,Pint} + \frac{\beta_{gnr} - \beta_{int}}{1 - \beta_{int}} \cdot (P_{aux,Pn} - P_{aux,Pint}) \quad [\text{W}] \quad \text{HRN EN (26)} \quad (4.27)$$

Tablica 4.8 (HRN EN 15316-4-1 B.5) Parametri za proračun potrebne energije za pogon pomoćnih uređaja

Vrsta kotla	Opterećenje	c_7 [W]	c_8 [W]	n
Kotlovi na kombinirano gorivo	P_n	0	45	0,48
	P_{int}	0	15	0,48
	P_0	15	0	0
Kotao na biomasu s automatskim punjenjem (peleti) ¹⁾	P_n	40	2	1
	P_{int}	40	1,8	1
	P_0	15	0	0
Kotao na biomasu s automatskim punjenjem (sječeka) ¹⁾	P_n	60	2,6	1
	P_{int}	70	2,2	1
	P_0	15	0	0
Standardni kotlovi				
Atmosferski kotlovi na plin	P_n	40	0,148	1
	P_{int}	40	0,148	1
	P_0	15	0	0
Toplovodni kotao s ventilatorskim plamenikom (ulje/plin)	P_n	0	45	0,48
	P_{int}	0	15	0,48
	P_0	15	0	0
Niskotemperaturni kotlovi				
Atmosferski kotlovi na plin	P_n	40	0,148	1
	P_{int}	40	0,148	1
	P_0	15	0	0
Protočni zagrijač vode	P_n	0	45	0,48
	P_{int}	0	15	0,48
	P_0	15	0	0
Toplovodni kotao s ventilatorskim plamenikom (ulje/plin)	P_n	0	45	0,48
	P_{int}	0	15	0,48
	P_0	15	0	0
Kondenzacijski kotlovi				
Kondenzacijski kotlovi (ulje/plin)	P_n	0	45	0,48
	P_{int}	0	15	0,48
	P_0	15	0	0
1) Uz korištenje ventilatorskog plamenika, vrijednosti P_n i P_{int} potrebno je uvećati za 40%.				

Ukupna pomoćna energija za kotao, računa se prema sljedećem izrazu:

$$W_{gnr,aux} = [P_{aux,Px} \cdot t_{ci} \cdot \beta_{gnr} + P_{aux,off} \cdot t_{ci} \cdot (1 - \beta_{gnr})] / 1000 \quad [\text{kWh}] \quad \text{HRN EN (24)} \quad (4.28)$$

$P_{aux,off}$ – pomoćna energija tijekom mirovanja sustava (W). Ako je kotao tijekom mirovanja odvojen od izvora električne struje, onda vrijedi $P_{aux,off} = 0$, inače

vrijedi $P_{aux,off} = P_{aux,P0}$;

t_{ci} – proračunski period (h);

Ukupna pomoćna energija podustava proizvodnje

$$W_{H,gen,aux} = \sum W_{gnr,aux} \quad [\text{kWh}] \quad (4.29)$$

4.11 Proračun vraćene i iskoristive pomoćne energije

Vraćena pomoćna energija, predana ogrjevnom mediju $Q_{gnr,aux,rvd}$ računa se prema sljedećem izrazu:

$$Q_{gnr,aux,rvd} = W_{gnr,aux} \cdot f_{rvd,aux} \quad [\text{kWh}] \quad \text{HRN EN (28)} \quad (4.30)$$

$f_{rvd,aux}$ – dio pomoćne energije predan podsustavu razvoda (-). Standardna vrijednost iznosi $f_{rvd,aux} = 0,75$. Kod kotlova certificiranih sukladno odgovarajućim EN normama, podaci se uzimaju od proizvođača kotla.

Dio pomoćne energije predan grijanom prostoru $f_{rbl,aux}$ računa se prema sljedećem izrazu:

$$f_{rbl,aux} = 1 - f_{rvd,aux} \quad [-] \quad \text{HRN EN (B9)} \quad (4.31)$$

Kod kotlova certificiranih sukladno odgovarajućim EN normama, podaci se mogu uzeti od proizvođača kotla.

Vraćena pomoćna energija, već uzeta u obzir u podacima za učinkovitost, ne računa se ponovo. Istu je potrebno izračunati samo za potrebnu pomoćnu energiju.

NAPOMENA: Izmjerena učinkovitost u sukladnosti sa odgovarajućim normama obično se odnosi i na iskorištenu toplinu od pomoćne energije za pogon ventilatora plamenika, primarne pumpe (tj. toplina iskorištena od pomoćnih uređaja, mjeri se s korisnom izlaznom energijom).

Iskoristiva pomoćna energija koja se predaje grijanom prostoru $Q_{gnr,aux,rbl}$ računa se prema sljedećem izrazu:

$$Q_{gnr,aux,rbl} = W_{gnr,aux} \cdot (1 - b_{brm}) \cdot f_{rbl,aux} \quad [\text{kWh}] \quad \text{HRN EN (29)} \quad (4.32)$$

b_{brm} – faktor smanjenja temperature u ovisnosti o lokaciji kotla (-), Tablica 4.7.

4.12 Iskoristivi toplinski gubici kroz ovojnicu kotla

Za kotlove na ulje i plin, toplinski gubici kroz ovojnicu kotla izražavaju se kao dio ukupnih toplinskih gubitaka kotla u stanju pripravnosti.

Iskoristivi toplinski gubici kroz ovojnicu kotla $Q_{gnr,ls,env,rbl}$ računaju se prema sljedećem izrazu:

$$Q_{gnr,ls,env,rbl} = \phi_{gnr,ls,P0,corr} \cdot (1 - b_{brm}) \cdot f_{gnr,env} \cdot t_{ci} \quad [\text{kWh}] \quad \text{HRN EN (30)} \quad (4.33)$$

$f_{gnr,env}$ – faktor toplinskih gubitaka kroz ovojnicu kotla (-), (udio od ukupnih toplinskih - gubitaka kotla u stanju pripravnosti). Podaci su dani u Tablici 4.9.

Tablica 4.9 (HRN EN 15316-4-1 B.6) Udio od ukupnih toplinskih gubitaka kotla koji se odnosi na gubitke u stanju pripravnosti

Vrsta plamenika	$f_{gnr,env}$
Atmosferski plamenik	0,50
Ventilatorski plamenik	0,75

4.13 Ukupna vraćena i iskoristiva toplinska energija

Proračun ukupne vraćene pomoćne energije radnom mediju u promatranom periodu za podsustav proizvodnje:

$$Q_{H,gen,aux,rvd} = \sum Q_{gnr,aux,rvd} \quad [\text{kWh}] \quad \text{HRN EN (31)} \quad (4.34)$$

Proračun ukupne iskoristive pomoćne energije koja se vraća u prostor u promatranom periodu za podsustav proizvodnje

$$Q_{H,gen,aux,rbl} = \sum Q_{gnr,aux,rbl} \quad [\text{kWh}] \quad (4.35)$$

Proračun ukupnih iskoristivih toplinskih gubitaka kroz ovojnice kotlova (u kotlovnici) koji se vraćaju u prostor u promatranom periodu za podsustav proizvodnje

$$Q_{H,gen,ls,env,rbl} = \sum Q_{gnr,ls,env,rbl} \quad [\text{kWh}] \quad \text{HRN EN (32)} \quad (4.36)$$

4.14 Toplinska energija koju je potrebno gorivom isporučiti podsustavu proizvodnje

$$Q_{H,gen,in} = Q_{H,gen,out} - Q_{H,gen,aux,rvd} + Q_{H,gen,ls} \quad [\text{kWh}] \quad \text{HRN EN (1)} \quad (4.37)$$

5. HRN EN 15316-4-7:2008 Sustavi grijanja u zgradama – Metoda proračuna energijskih zahtjeva i učinkovitosti sustava – Dio 4-7: Sustavi za proizvodnju topline izgaranjem biomase

Period proračuna: sezona grijanja, period izvan sezone grijanja

5.1 Proračun prosječne snage podsustava proizvodnje

Ulazne veličine:

(iz projektnog rješenja ili iz ostalih dijelova ove norme)

$Q_{H,gnr,out}$ – toplinska energija koju je potrebno isporučiti podsustavu (–ima) razvoda

$$(Q_{H,gnr,out} = Q_{H,dis,in}) \text{ (kWh)};$$

NAPOMENA: U slučaju kada kotao ima dodatni akumulacijski spremnik onda se uzima

$$Q_{H,gnr,out} = Q_{H,dis,in} + Q_{sto,ls} \text{ (kWh) (vidi točku 5.15);}$$

d – broj dana u promatranom periodu (dan);

t_{ci} – broj sati u promatranom periodu (h), ($t_{ci} = t_{uk} = 24 d$).

Prosječna snaga podsustava proizvodnje $\phi_{H,gnr,out}$ računa se prema sljedećem izrazu:

$$\phi_{H,gnr,out} = \frac{Q_{H,gnr,out}}{t_{ci}} \quad [\text{kW}] \quad \text{HRN EN (9)} \quad (5.1)$$

5.2 Proračun radne temperature kotla na biomasu

Radna temperatura vode u kotlu $\theta_{gnr,w,m}$ računa se pomoću sljedećeg izraza:

$$\theta_{gnr,w,x} = \max(\theta_{gnr,w,min}, \theta_{gnr,w,m}) \quad [^{\circ}\text{C}] \quad \text{HRN EN (31)} \quad (5.2)$$

$\theta_{gnr,w,min}$ – ograničenje pogonske temperature za svaki kotao ($^{\circ}\text{C}$), $\theta_{gnr,w,min} = 50^{\circ}\text{C}$.

$\theta_{gnr,w,m}$ – temperatura ogrjevnog medija u podsustavu razvoda i akumulacijskom spremniku (ako je potrebno) tijekom promatranog perioda ($^{\circ}\text{C}$), $\theta_{gnr,w,m} = \theta_m$, Jedn. (3.4) i (3.5).

5.3 Opterećenje pojedinog kotla

Faktor opterećenja β_{gnr} računa se prema sljedećem izrazu:

$$\beta_{gnr} = \frac{\phi_{H,gnr,out}}{\phi_{Pn}} \quad [-] \quad \text{HRN EN (9)} \quad (5.3)$$

ϕ_{Pn} – nazivna snaga kotla (kW);

5.4 Kotlovi s dvostrukom namjenom (grijanje prostora i priprema PTV-a)

Tijekom sezone grijanja, kotao može, osim za isporuku potrebne energije za zagrijavanje prostora, služiti i za zagrijavanje PTV-a (dvostruka namjena). Kod kotlova na biomasu nije potrebno provoditi proračun radne temperature za pojedini slučaj.

NAPOMENA: Minimalne radne temperature kotlova na biomasu, uvijek su više od potrebne radne temperature sustava za pripremu potrošne tople vode.

5.5 Proračun korigirane učinkovitosti kotla na 100% opterećenja

Učinkovitost kod punog opterećenja $\eta_{gnr,Pn}$ mjeri se kod srednje temperature kotlovske vode $\theta_{gnr,w,test,Pn}$. Dobivena vrijednost mora se preračunavati ako se temperatura vode razlikuje za više od 5 K u odnosu na definiranu temperaturu. Mogu se koristiti podaci proizvođača ili, ako nisu poznati, standardne vrijednosti dane u Tablicama u nastavku.

Ulazne veličine:

- c_1, c_2 – koeficijenti za proračun učinkovitosti kotla (%). Vrijednosti dane u Tablici 5.1 i 5.2;
- $\phi_{Pn,ltd}$ – nazivna snaga kotla s ograničenom maksimalnom vrijednošću od 400 kW; Ako je nazivna snaga kotla veća od 400 kW, uzima se vrijednost od 400 kW, (kW);
- $\theta_{gnr,w,test,Pn}$ – srednja temperatura vode u kotlu, u uvjetima ispitivanja pri punom opterećenju, ($\theta_{gnr,w,test,Pn}=70\text{ °C}$);
- $f_{corr,Pn}$ – faktor korekcije (%/°C). Uzima u obzir promjenu stupnja djelovanja u ovisnosti o promjeni srednje temperature vode u kotlu. Kod standardnih kotlova na biomasu certificiranih sukladno odgovarajućim EN normama, faktor korekcije iznosi $f_{corr,Pn}=0,04\text{ \%/°C}$.

Faktor korekcije $f_{corr,Pn}$ može se i izračunati korištenjem podataka o učinkovitosti, dobivenih dodatnim ispitivanjima provedenim pri nižoj prosječnoj temperaturi vode, primjenom sljedećeg izraza:

$$f_{corr,Pn} = \frac{\eta_{Pn} - \eta_{Pn,add}}{\theta_{gnr,w,test,Pn,add} - \theta_{gnr,w,test,Pn}} \text{ [%/°C]} \quad \text{HRN EN (A4)} \quad (5.4)$$

- η_{Pn} – učinkovitost pri punom opterećenju sa standardnim ispitnim uvjetima uz prosječnu temperaturu vode $\theta_{gnr,w,test,Pn}$ (%);
- $\eta_{Pn,add}$ – učinkovitost pri punom opterećenju uz prosječnu temperaturu vode $\theta_{gnr,w,test,Pn,add}$ (%).

Tablica 5.1 (HRN EN 15316-4-7 A.1) Koeficijenti za proračun učinkovitosti kotla i ograničenje temperature

Vrsta kotla	Godina proizvodnje	c ₁ [%]	c ₂ [%]	c ₃ [%]	c ₄ [%]	$\theta_{gnr,w,min}$ [°C]
Atmosferski kotao na biomasu	prije 1978	78,0	2,0	72,0	3,0	50
	1978 do 1994	80,0	2,0	75,0	3,0	50
	poslije 1994	81,0	2,0	77,0	3,0	50
Kotao na biomasu s ventilatorskim plamenikom	prije 1978	80,0	2,0	75,0	3,0	50
	1978 do 1986	82,0	2,0	77,5	3,0	50
	1987 do 1994	84,0	2,0	80,0	3,0	50
	poslije 1994	85,0	2,0	81,5	3,0	50
NAPOMENA: Ispitna temperatura za korigirane vrijednosti učinkovitosti kotla pri punom i djelomičnom opterećenju iznosi 70 °C						

Tablica 5.2 (HRN EN 15316-4-7 A.2) Koeficijenti za proračun učinkovitosti kotla i ograničenje temperature prema EN 303-5

Vrsta kotla	c ₁ [%]	c ₂ [%]	c ₃ [%]	c ₄ [%]	$\theta_{gnr,w,min}$ [°C]
Klasa 1	47	6	48	6	50
Klasa 2	57	6	58	6	50
Klasa 3	67	6	68	6	50

Učinkovitost kotla pri punom opterećenju, u ovisnosti o učinku, dana je sljedećim izrazom:

$$\eta_{gnr,Pn} = c_1 + c_2 \cdot \log\left(\frac{\phi_{Pn,ltd}}{1kW}\right) [\%] \quad \text{HRN EN (A1)} \quad (5.5)$$

Korigirana učinkovitost na 100% opterećenja računa se prema sljedećem izrazu:

$$\eta_{gnr,Pn,corr} = \eta_{gnr,Pn} + f_{corr,Pn} \cdot (\theta_{gnr,w,test,Pn} - \theta_{gnr,w,x}) [\%] \quad \text{HRN EN (12)} \quad (5.6)$$

Korigirani toplinski gubitak na 100% opterećenja računa se prema sljedećem izrazu:

$$\phi_{gnr,ls,Pn,corr} = \frac{(100 - \eta_{gnr,Pn,corr})}{\eta_{gnr,Pn,corr}} \cdot \phi_{Pn} [kW] \quad \text{HRN EN (13)} \quad (5.7)$$

ϕ_{Pn} – učinak kotla pri punom (nazivnom) opterećenju (kW).

5.6 Proračun korigirane učinkovitosti kotla na djelomičnom opterećenju

Učinkovitost pri djelomičnom opterećenju $\eta_{gnr,Pint}$ mjeri se kod srednje temperature kotlovske vode. Dobivena vrijednost mora se korigirati prema stvarnoj prosječnoj temperaturi kotla pojedine instalacije. Mogu se koristiti podaci proizvođača ili, ako nisu poznati, standardne vrijednosti dane u Tablicama u nastavku.

Ulazne veličine:

- c_3, c_4 – koeficijenti za proračun učinkovitosti kotla (%). Vrijednosti dane u Tablici 5.1 i 5.2
- $\phi_{Pn,ltd}$ – nazivna snaga kotla s ograničenom maksimalnom vrijednošću od 400 kW. Ako je nazivna snaga kotla veća od 400 kW, uzima se vrijednost od 400 kW, (kW);
- $\theta_{gnr,w,test,Pint}$ – srednja temperatura vode u kotlu pri ispitnim uvjetima, u uvjetima ispitivanja pri djelomičnom opterećenju, ($\theta_{gnr,w,test,Pint} = 70^\circ\text{C}$);
- $f_{corr,Pint}$ – faktor korekcije ($\%/^\circ\text{C}$). Uzima u obzir promjenu stupnja djelovanja u ovisnosti o promjeni srednje temperature vode u kotlu. Kod standardnih kotlova na biomasu certificiranih sukladno odgovarajućim EN normama, faktor korekcije iznosi $f_{corr,Pint} = 0,05 \%/^\circ\text{C}$.

Faktor korekcije $f_{corr,Pint}$ može se izračunati korištenjem podataka o učinkovitosti, dobivenih dodatnim ispitivanjima provedenim pri višoj prosječnoj temperaturi vode, primjenom sljedećeg izraza:

$$f_{corr,Pint} = \frac{\eta_{Pint} - \eta_{Pint,add}}{\theta_{gnr,w,test,Pint,add} - \theta_{gnr,w,test,Pint}} [\%/^\circ\text{C}] \quad \text{HRN EN (A5)} \quad (5.8)$$

η_{Pint} – učinkovitost pri djelomičnom opterećenju sa standardnim ispitnim uvjetima uz prosječnu temperaturu vode $\theta_{gnr,w,test,Pint}$ (%);

$\eta_{Pint,add}$ – učinkovitost pri punom opterećenju uz prosječnu temperaturu vode $\theta_{gnr,w,test,Pint,add}$ (%).

Učinkovitost kotla pri djelomičnom opterećenju, u ovisnosti o učinku, dana je sljedećim izrazom:

$$\eta_{gnr, Pint} = c_3 + c_4 \cdot \log\left(\frac{\phi_{Pn, ltd}}{1kW}\right) \quad [\%] \quad \text{HRN EN (A2)} \quad (5.9)$$

Djelomično opterećenje kotla na biomasu ovisi o vrsti kotla i uzima se od proizvođača ako je kotao certificiran sukladno odgovarajućim EN normama. Standardna vrijednost djelomičnog opterećenja kod kotlova na biomasu s prisilnom ventilacijom iznosi $\phi_{Pint} = 50\%$.

Korigirana učinkovitost pri djelomičnom opterećenju računa se prema sljedećem izrazu:

$$\eta_{gnr, Pint, corr} = \eta_{gnr, Pint} + f_{corr, Pint} \cdot (\theta_{gnr, w, test, Pint} - \theta_{gnr, w, x}) \quad [\%] \quad \text{HRN EN (14)} \quad (5.10)$$

Korigirani toplinski gubitak pri djelomičnom opterećenju računa se prema sljedećem izrazu:

$$\phi_{gnr, ls, Pint, corr} = \frac{(100 - \eta_{gnr, Pint, corr})}{\eta_{gnr, Pint, corr}} \cdot \phi_{Pint} \quad [kW] \quad \text{HRN EN (15)} \quad (5.11)$$

5.7 Proračun toplinskih gubitaka kotla na 0% opterećenja (stanje pripravnosti)

Ulazne veličine:

ϕ_{Pn} – nazivni učinak kotla (kW).

c_5, c_6 – koeficijenti za proračun gubitaka topline u stanju pripravnosti (%), Tablica 5.3;

$\theta_{gnr, test, P0}$ – razlika između prosječne temperature kotla i temperature prostorije u kojoj se nalazi kotao (°C), Podaci proizvođača ili standardne vrijednosti iz Tablice 5.3;

$\theta_{i, brm}$ – unutarnja temperatura prostorije u kojoj je kotao smješten (°C), Tablica 5.4.

Tablica 5.3 (HRN EN 15316-4-7 A.3) Koeficijenti za proračun gubitaka topline u stanju pripravnosti

Vrsta kotla	Godina proizvodnje	c_5 [%]	c_6 [-]	$\Delta\theta_{gnr, test, P0}$ [°C]
Atmosferski kotao na biomasu	prije 1978	8,0	-0,27	50
	1978 do 1994	7,0	-0,3	50
	poslije 1994	8,5	-0,4	50
Kotao na biomasu s ventilatorskim plamenikom	prije 1978	9,0	-0,28	50
	1978 do 1994	7,5	-0,31	50
	poslije 1994	8,5	-0,4	50

Tablica 5.4 (HRN EN 15316-4-1 A.8) Standardne temperature prostorija u kojima je smješten kotao

Smještaj kotla	Temperatura prostorije u kojoj se nalazi kotao $\theta_{i,brm} [^{\circ}\text{C}]$
U prostoru izvan zgrade	θ_{ext}
U kotlovnici	13
U prostoru ispod krova	5
U grijanom prostoru	20

Gubitak topline u stanju pripravnosti $\phi_{gnr,ls,P0}$ pri ispitnoj temperaturnoj razlici $\Delta\theta_{gnr,test,P0}$, u ovisnosti o učinku kotla, računa se prema sljedećem izrazu:

$$\phi_{gnr,ls,P0} = \phi_{Pn} \cdot \frac{c_5}{100} \cdot \left(\frac{\phi_{Pn}}{1kW} \right)^{c_6} \quad [\text{kW}] \quad \text{HRN EN (A3)} \quad (5.12)$$

Korigirani toplinski gubitak pri 0% opterećenja $\phi_{gnr,ls,P0,corr}$ računa se prema sljedećem izrazu:

$$\phi_{gnr,ls,P0,corr} = \phi_{gnr,ls,P0} \cdot \left(\frac{\theta_{gnr,w,m} - \theta_{i,brm}}{\Delta\theta_{gnr,test,P0}} \right)^{1,25} \quad [\text{kW}] \quad \text{HRN EN (15)} \quad (5.13)$$

5.8 Toplinski gubitak kotla pri specifičnom faktoru opterećenja β_{gnr} i izlaznoj snazi ϕ_{Px}

Ulazne veličine:

β_{gnr} – faktor opterećenja kotla (-), (izraz HRN EN (9), odnosno (5.3));

t_{ci} – proračunski period (h).

Stvarna izlazna snaga ϕ_{Px} kotla računa se prema sljedećem izrazu:

$$\phi_{Px} = \phi_{Pn} \cdot \beta_{gnr} \quad [\text{kW}] \quad \text{HRN EN (17)} \quad (5.14)$$

Ako je ϕ_{Px} između 0 ($\beta_{gnr} = 0$) i ϕ_{Pint} (djelomičnog opterećenja, $\beta_{gnr} = \beta_{int} = \phi_{Pint} / \phi_{Pn}$), toplinski gubitak kotla $\phi_{gnr,ls,Px}$ računa se prema sljedećem izrazu:

$$\phi_{gnr,ls,Px} = \frac{\phi_{Px}}{\phi_{Pint}} \cdot (\phi_{gnr,ls,Pint,corr} - \phi_{gnr,ls,P0,corr}) + \phi_{gnr,ls,P0,corr} \quad [\text{kW}] \quad \text{HRN EN (18)} \quad (5.15)$$

Ako je ϕ_{Px} između ϕ_{Pint} i ϕ_{Pn} (punog opterećenja, $\beta_{gnr} = 1$), toplinski gubitak kotla $\phi_{gnr,ls,Px}$ računa se prema sljedećem izrazu:

$$\phi_{gnr,ls,Px} = \frac{\phi_{Px} - \phi_{Pint}}{\phi_{Pn} - \phi_{Pint}} \cdot (\phi_{gnr,ls,Pn,corr} - \phi_{gnr,ls,Pint,corr}) + \phi_{gnr,ls,Pint,corr} \quad [\text{kW}] \quad \text{HRN EN (19)} \quad (5.16)$$

Ukupni toplinski gubitak kotla $Q_{gnr,ls}$ tijekom ukupnog vremena rada t_{ci} kotla računa se prema sljedećem izrazu:

$$Q_{gnr,ls} = \phi_{gnr,ls,Px} \cdot t_{ci} \quad [\text{kWh}] \quad \text{HRN EN (22)} \quad (5.17)$$

5.9 Ukupni toplinski gubici podsustava proizvodnje topline izgaranjem biomase

Ukupni toplinski gubici podsustava proizvodnje su zbroj toplinskih gubitaka kotlova:

$$Q_{H,gen,ls} = \sum Q_{gnr,ls} \quad [\text{kWh}] \quad \text{HRN EN (21)} \quad (5.18)$$

5.10 Ukupna potrebna pomoćna energija podsustava proizvodnje

Prosječna potrebna pomoćna energija svakog kotla $P_{aux,Px}$ računa se linearnom interpolacijom, prema faktoru opterećenja kotla β_{gnr} , između vrijednosti:

- $P_{aux,Pn}$ – pomoćna energija kotla pri punom opterećenju (W), ($\beta_{gnr} = 1$);
- $P_{aux,Pint}$ – pomoćna energija kotla pri djelomičnom opterećenju (W), ($\beta_{gnr} = \beta_{int}$);
- $P_{aux,P0}$ – pomoćna energija kotla u stanju pripravnosti, (W), ($\beta_{gnr} = 0$);

Ako nisu dostupni podaci proizvođača, potrebna pomoćna energija svakog kotla $P_{aux,Px}$ kod sva tri stanja opterećenja tj. $P_{aux,Pn}$, $P_{aux,Pint}$ i $P_{aux,P0}$, računa se prema sljedećem izrazu:

$$P_{aux,P(n,int,0)} = c_7 + c_8 \cdot \left(\frac{\phi_{Pn}}{1kW} \right)^n \quad [\text{W}] \quad \text{HRN EN (B8)} \quad (5.19)$$

c_7, c_8 – parametri za proračun potrebne energije za pogon pomoćnih uređaja (W), Tablica 5.5;

n – koeficijent za proračun potrebne energije za pogon pomoćnih uređaja (-), Tablica 5.5.

Ako je $0 \leq \beta_{gnr} \leq \beta_{int}$ tada se $P_{aux,Px}$ računa prema sljedećem izrazu:

$$P_{aux,Px} = P_{aux,P0} + \frac{\beta_{gnr}}{\beta_{int}} \cdot (P_{aux,Pint} - P_{aux,P0}) \quad [\text{W}] \quad \text{HRN EN (23)} \quad (5.20)$$

Ako je $\beta_{int} \leq \beta_{gnr} \leq 1$ tada se $P_{aux,Px}$ računa prema sljedećem izrazu:

$$P_{aux,Px} = P_{aux,Pint} + \frac{\beta_{gnr} - \beta_{int}}{1 - \beta_{int}} \cdot (P_{aux,Pn} - P_{aux,Pint}) \quad [\text{W}] \quad \text{HRN EN (24)} \quad (5.21)$$

Tablica 5.5 (HRN EN 15316-4-7 A.6) Parametri za proračun potrebne energije za pogon pomoćnih uređaja

Vrsta kotla	Opterećenje	c_7 [W]	c_8 [W]	n
Kotao na biomasu s atmosferskim plamenikom	P_n	40	0,35	1
	P_{int}	20	0,1	1
	P_0	15	0	0
Kotao na biomasu s ventilatorskim plamenikom	P_n	0	45	0,48
	P_{int}	0	15	0,48
	P_0	15	0	0

Ukupna pomoćna energija za kotao, računa se prema sljedećem izrazu:

$$W_{gnr,aux} = [P_{aux,Px} \cdot t_{ci} \cdot \beta_{gnr} + P_{aux,off} \cdot t_{ci} \cdot (1 - \beta_{gnr})] / 1000 \quad [\text{kWh}] \quad \text{HRN EN (22)} \quad (5.22a)$$

$P_{aux,off}$ – pomoćna energija tijekom mirovanja sustava (W). Ako je kotao tijekom mirovanja odvojen od izvora električne struje, onda vrijedi $P_{aux,off} = 0$, inače vrijedi

$$P_{aux,off} = P_{aux,P0};$$

t_{ci} – proračunski period (h);

Ukupna pomoćna energija podustava proizvodnje

$$W_{H,gen,aux} = \sum W_{gnr,aux} \quad [\text{kWh}] \quad (5.22b)$$

5.11 Proračun vraćene i iskoristive pomoćne energije

Vraćena pomoćna energija, predana ogrjevnom mediju $Q_{gnr,aux,rvd}$ računa se prema sljedećem izrazu:

$$Q_{gnr,aux,rvd} = W_{gnr,aux} \cdot f_{rvd,aux} \quad [\text{kWh}] \quad \text{HRN EN (26)} \quad (5.23)$$

$f_{rvd,aux}$ – dio pomoćne energije predan podsustavu razvoda (-). Standardna vrijednost iznosi $f_{rvd,aux} = 0,75$.

Dio pomoćne energije predan grijanom prostoru $f_{rbl,aux}$ računa se prema sljedećem izrazu:

$$f_{rbl,aux} = 1 - f_{rvd,aux} \quad [-] \quad \text{HRN EN (A7)} \quad (5.24)$$

Vraćena pomoćna energija, već uzeta u obzir u podacima za učinkovitost, ne računa se ponovo. Istu je potrebno izračunati samo za potrebnu pomoćnu energiju.

NAPOMENA: Izmjerena učinkovitost u skladnosti sa odgovarajućim normama obično se odnosi i na iskorištenu toplinu od pomoćne energije za pogon ventilatora plamenika, primarne pumpe (tj. toplina iskorištena od pomoćnih uređaja, mjeri se s korisnom izlaznom energijom).

Iskoristiva pomoćna energija koja se predaje grijanom prostoru računa se prema sljedećem izrazu:

$$Q_{gnr,aux,rbl} = W_{gnr,aux} \cdot (1 - b_{brm}) \cdot f_{rbl,aux} \quad [\text{kWh}] \quad \text{HRN EN (27)} \quad (5.25)$$

b_{brm} – faktor smanjenja temperature u ovisnosti o lokaciji kotla (-), Tablica 5.6.

Tablica 5.6 (HRN EN 15316-4-7 A.8) Standardne vrijednosti faktora redukcije temperature u ovisnosti o smještaju kotla

Smještaj kotla	Faktor redukcije temperature b_{brm} [-]
U prostoru izvan zgrade	1
U kotlovnici	0,3
U prostoru ispod krova	0,2
U grijanom prostoru	0,0

5.12 Iskoristivi toplinski gubici kroz ovojnicu kotla

Samo se toplinski gubici kroz ovojnicu kotla smatraju iskoristivima i to ovisno o vrsti plamenika. Toplinski gubici kroz ovojnicu kotla izražavaju se kao dio ukupnih toplinskih gubitaka kotla u stanju pripravnosti.

Iskoristivi toplinski gubici kroz ovojnicu kotla $Q_{gnr,ls,env,rbl}$ računaju se prema sljedećem izrazu:

$$Q_{gnr,ls,env,rbl} = \phi_{gnr,ls,P0,corr} \cdot (1 - b_{brm}) \cdot f_{gnr,env} \cdot t_{ci} \quad [\text{kWh}] \quad \text{HRN EN (28)} \quad (5.26)$$

$f_{gnr,env}$ – toplinski gubici kroz ovojnicu kotla, izraženi kao dio ukupnih toplinskih gubitaka kotla u stanju pripravnosti (-), Tablica 5.7.

Tablica 5.7 (HRN EN 15316-4-7 A.7) Udio od ukupnih toplinskih gubitaka kotla koji se odnosi na gubitke u stanju pripravnosti

Vrsta plamenika	$f_{gnr,env}$
Atmosferski plamenik	0,50
Ventilatorski plamenik	0,75

5.13 Ukupna vraćena i iskoristiva toplinska energija

Proračun ukupne vraćene pomoćne energije radnom mediju u promatranom periodu za podsustav proizvodnje:

$$Q_{H,gen,aux,rvd} = \sum Q_{gnr,aux,rvd} \quad [\text{kWh}] \quad \text{HRN EN (29)} \quad (5.27a)$$

Proračun ukupne iskoristive pomoćne energije koja se vraća u prostor u promatranom periodu za podsustav proizvodnje

$$Q_{H,gen,aux,rbl} = \sum Q_{gnr,aux,rbl} \quad [\text{kWh}] \quad (5.27b)$$

Proračun ukupnih iskoristivih toplinskih gubitaka kroz ovojnice kotlova (u kotlovnici) koji se vraćaju u prostor u promatranom periodu za podsustav proizvodnje

$$Q_{H,gen,ls,env,rbl} = \sum Q_{gnr,ls,env,rbl} \quad [\text{kWh}] \quad \text{HRN EN (30)} \quad (5.28)$$

5.14 Toplinska energija koju je potrebno gorivom isporučiti podsustavu proizvodnje

$$Q_{H,gen,in} = Q_{H,gnr,out} - Q_{H,gen,aux,rvd} + Q_{H,gen,ls} \quad [\text{kWh}] \quad \text{HRN EN (1)} \quad (5.29)$$

$Q_{H,gnr,out}$ – energija koju je potrebno isporučiti podsustavu (-ima) razvoda (kWh),
($Q_{H,gnr,out} = Q_{H,dis,in}$ prema HRN EN 15316-2-3);

$Q_{H,gen,aux,rvd}$ – ukupna iskorištena pomoćna energija, (kWh), izraz HRN EN (29), tj. (5.27);

$Q_{H,gen,ls}$ – ukupni toplinski gubici podsustava proizvodnje (kW), izraz HRN EN (21), tj. (5.18).

5.15 Akumulacijski sustav za kotlove s izgaranjem biomase

Ako je omjer nominalne snage kotla $\phi_{gnr,nom}$ i projektnog toplinskog opterećenja $P_{bg,nom}$ (prema HR EN 12831) veći od 1.5, preporuča se, sukladno s normom EN 303-5, ugradnja akumulacijskog spremnika u sustav proizvodnje.

Akumulacijski sustav sastoji se od spremnika, cijevnog razvoda s pripadajućom pumpom te opreme za regulaciju.

Dimenzioniranje akumulacijskog spremnika izvodi se, ovisno o vrsti punjenja biomase, prema sljedećim izrazima:

a) Volumen akumulacijskog spremnika $V_{acc,ta}$ kod kotlova s ručnim punjenjem biomase

$$V_{acc,ta} = 50 \cdot P_{bg,nom} \quad \text{HRN EN (C.2)} \quad (5.30)$$

b) Volumen akumulacijskog spremnika $V_{lob,ta}$ kod kotlova s automatskim punjenjem biomase

$$V_{lob,ta} = 25 \cdot P_{bg,nom} \quad \text{HRN EN (C.4)} \quad (5.31)$$

Ukupni toplinski gubici akumulacijskog sustava

Toplinski gubici akumulacijskog sustava računaju se prema sljedećem izrazu:

$$Q_{sto,ls} = Q_{sto,ls,ta} + Q_{sto,ls,pip} \quad [\text{kW}] \quad \text{HRN EN (C.5)} \quad (5.32)$$

$Q_{sto,ls,ta}$ – toplinski gubitak kroz ovojnicu akumulacijskog spremnika (kW),
podatak proizvođača prema HR EN 12241 ili Jedn. (8.1) i (8.2);

$Q_{sto,ls,pip}$ – toplinski gubitak u primarnoj cirkulaciji akumulacijskog sustava (kW), Jedn.
(8.3a) i (8.3b).

Proračun iskoristivih toplinskih gubitaka koji se vraćaju u prostor u promatranom periodu za podsustav proizvodnje

$$Q_{sto,ls,rbl} = k \cdot Q_{sto,ls,ta} + k \cdot Q_{sto,ls,pip} \quad [\text{kW}] \quad \text{HRN EN (C.5)} \quad (5.33)$$

k – udio iskoristivih gubitaka pojedine komponente(-);

$k=1$ tj. 100% ukupnih gubitaka ako su komponente smještene u grijanoj zoni;

$k=0,5$ tj. 50% ako su komponente smještene u negrijanoj zoni;

$k=0$ tj. 0% ako su komponente smještene izvan zgrade i/ili izvan sezone grijanja.

Pomoćna energija potrebna za pogon pumpe

$$W_{sto,aux,pu} = 0,12 \cdot \phi_{el,pu} \cdot t_{ci} \cdot \beta_{gnr} \quad [\text{kWh}] \quad \text{HRN EN (C.6)} \quad (5.34)$$

$\phi_{el,pu}$ - nazivna snaga pumpe (kW), podatak proizvođača;

Proračun vraćene pomoćne energije pumpe primarne cirkulacije radnom mediju

$$Q_{sto,aux,pu,rvd} = W_{sto,aux,pu} \cdot 0,75 \quad [\text{kWh}] \quad \text{temeljem HRN EN (C.6)} \quad (5.35)$$

Proračun iskoristivih toplinskih gubitaka pumpe primarne cirkulacije koji se vraćaju u prostor u promatranom periodu

$$Q_{sto,aux,pu,rbl} = k \cdot W_{sto,aux,pu} \cdot 0,25 \quad [\text{kWh}] \quad \text{HRN EN (C.6)} \quad (5.36)$$

k – udio iskoristivih gubitaka pojedine komponente(-);

$k=1$ tj. 100% ukupnih gubitaka ako su komponente smještene u grijanoj zoni;

$k=0,5$ tj. 50% ako su komponente smještene u negrijanoj zoni;

$k=0$ tj. 0% ako su komponente smještene izvan zgrade i/ili izvan sezone grijanja.

5.16 Toplinska energija koju je potrebno gorivom isporučiti podsustavu proizvodnje

$$Q_{H,gen,in} = Q_{H,gnr,out} - Q_{H,gen,aux,rvd} + Q_{H,gen,ls} - Q_{sto,aux,pu,rvd} \quad [\text{kWh}] \quad \text{HRN EN (1)} \quad (5.37)$$

6. HRN EN 15316-3-1:2008 Sustavi grijanja u zgradama – Metoda proračuna energijskih zahtjeva i učinkovitosti sustava – Dio 3–1: Sustavi za pripremu potrošne tople vode, pokazatelji potreba prema izljevnome mjestu

Period proračuna: sezona grijanja, period izvan sezone grijanja

Potrebna toplinska energija za pripremu potrošne tople vode (PTV)

Stambene zgrade

$$Q_W = \frac{Q_{W,A,a}}{365} \cdot A_k \cdot d \quad [\text{kWh}] \quad \text{temeljem HRN EN (5)} \quad (6.1)$$

A_k – korisna površina zgrade (m^2);

d – broj dana u promatranom periodu (dan);

Q_W – toplinska energija potrebna za pripremu PTV-a u promatranom periodu (kWh)

$Q_{W,A,a}$ – specifična toplinska energija potrebna za pripremu PTV-a ($\text{kWh/m}^2\text{a}$),
 $Q_{W,A,a} = 12,5 \text{ kWh/m}^2\text{a}$ za zgrade s 3 stambene jedinice (prema PECZ NN 36/10)
 $Q_{W,A,a} = 16 \text{ kWh/m}^2\text{a}$ za zgrade s više od 3 stambene jedinice (prema PECZ NN 36/10).

Nestambene zgrade

$$Q_W = 4,182 \cdot V_{W,f,day} \cdot f \cdot (\theta_{W,del} - \theta_{W,0}) \cdot d / 3600 \quad [\text{kWh}] \quad \text{HRN EN (1, 2, 6.2)} \quad (6.2)$$

$V_{W,f,day}$ – dnevna potrošnja PTV-a po jedinici pri temperaturi $\theta_{W,del}$ (lit/jedinici/dan), Tablica 6.1;

f – broj jedinica (npr. kreveta);

$\theta_{W,del}$ – temperatura PTV-a ($^{\circ}\text{C}$), $\theta_{W,del} = 60^{\circ}\text{C}$;

$\theta_{W,0}$ – temperatura svježe vode ($^{\circ}\text{C}$), $\theta_{W,0} = 13,5^{\circ}\text{C}$.

Tablica 6.1 (HRN EN B.1) Vrijednosti specifične potrošnje PTV-a za nestambene zgrade

Vrsta aktivnosti	$V_{w,f,day}$ [lit/jedinici/dan]	$f[-]$
Smještaj	28	Broj kreveta
Zdravstvena ustanova bez smještaja	10	Broj kreveta
Zdravstvena ustanova sa smještajem-bez praonice rublja	56	Broj kreveta
Zdravstvena ustanova sa smještajem-sa praonicom	88	Broj kreveta
Izobrazba	Potrošnja PTV-a se ne uzima u obzir	
Uredi		
Kazališta		
Dučani		
Ugostiteljstvo, 2 obroka/dan, tradicionalna hrana	21	Broj gostiju po obroku
Ugostiteljstvo, 2 obroka/dan, samoposluživanje	8	Broj gostiju po obroku
Ugostiteljstvo, 1 obrok/dan, tradicionalna hrana	10	Broj gostiju po obroku
Ugostiteljstvo, 1 obroka/dan, samoposluživanje	4	Broj gostiju po obroku

Tablica 6.1-nastavak (HRN EN B.1) Vrijednosti specifične potrošnje PTV-a za nestambene zgrade

Vrsta aktivnosti	$V_{w,f,day}$ [lit/jedinici/dan]	$f[-]$
Hotel, 1-zvjezdica, bez praonice rublja	56	Broj kreveta
Hotel, 1-zvjezdica, s praonicom rublja	70	Broj kreveta
Hotel, 2-zvjezdice, bez praonice rublja	76	Broj kreveta
Hotel, 2-zvjezdice, s praonicom rublja	90	Broj kreveta
Hotel, 3-zvjezdice, bez praonice rublja	97	Broj kreveta
Hotel, 3-zvjezdice, s praonicom rublja	111	Broj kreveta
Hotel, 4-zvjezdice, bez praonice rublja	118	Broj kreveta
Hotel, 4-zvjezdice, s praonicom rublja	132	Broj kreveta
Spotski objekti	101	Broj tuševa
Skladištenje	Potrošnja PTV-a se ne uzima u obzir	
Industrija		
Transport		
Ostalo		

7. HRN EN 15316-3-2:2008 Sustavi grijanja u zgradama – Metoda proračuna energijskih zahtjeva i učinkovitosti sustava – Dio 3-2: Sustavi za pripremu potrošne tople vode, razvod

Period proračuna: sezona grijanja, period izvan sezone grijanja

Proračun toplinskih gubitaka (metoda na temelju duljine cjevovoda i profila korištenja)

Toplinski gubici sustava razvoda u promatranom periodu (za dijelove koji nisu dio cirkulacijske petlje)

$$Q_{W,dis,ls,nc} = \alpha_{W,dis} \cdot Q_W \quad [\text{kWh}] \quad \text{HRN EN (C.1)} \quad (7.1)$$

$\alpha_{W,dis}$ – faktor gubitka toplinske energije (-);

Q_W – potrebna toplinska energija za pripremu PTV-a u promatranom periodu (kWh),
Jedn.(6.1) ili (6.2).

Ulazne veličine:

$L_{W,dis,hs,i}$ – duljina dionice razvodnog cjevovoda izvan cirkulacijske petlje u grijanom prostoru (m), iz projektne dokumentacije, en. pregleda ili Tablica 7.1, kod decentraliziranih sustava bez cirkulacijske petlje Tablica 7.2;

$L_{W,dis,nhs,i}$ – duljina dionice razvodnog cjevovoda izvan cirkulacijske petlje u negrijanom prostoru (m), iz projektne dokumentacije, en. pregleda ili Tablica 7.1;

d – broj dana u promatranom periodu (dan).

Faktor gubitka toplinske energije za program korištenja PTV-a No.2 s $Q_{W,2}=5,845$ kWh/dan (prema HRN EN 15316-3-1)

$$\alpha_{W,dis,2} = 0,1 + 0,005 \cdot \left(\sum_i L_{W,dis,hs,i} - 6 \right) + 0,008 \cdot \sum_i L_{W,dis,nhs,i} \quad [-] \quad \text{HRN EN (C.1)} \quad (7.2)$$

Q_W sveden na dnevne vrijednosti

$$Q_{W,day} = \frac{Q_W}{d} \quad [\text{kWh/dan}] \quad (7.3)$$

Faktor gubitka toplinske energije za određeni Q_W

za $Q_{W,day} < Q_{W,2}$

$$\alpha_{W,dis} = \alpha_{W,dis,2} - 0,01 \cdot \left[(Q_{W,2} - Q_{W,day}) / (Q_{W,2} - Q_{W,1}) \right] \quad [-] \quad \text{HRN EN An.C} \quad (7.4a)$$

za $Q_{W,2} < Q_{W,day} < Q_{W,3}$

$$\alpha_{W,dis} = \alpha_{W,dis,2} - 0,05 \cdot \left[(Q_{W,day} - Q_{W,2}) / (Q_{W,3} - Q_{W,2}) \right] \quad [-] \quad \text{HRN EN An.C} \quad (7.4b)$$

za $Q_{W,day} > Q_{W,3}$ (program korištenja PTV-a No.3 s $Q_{W,3}=11,655$ kWh/dan)

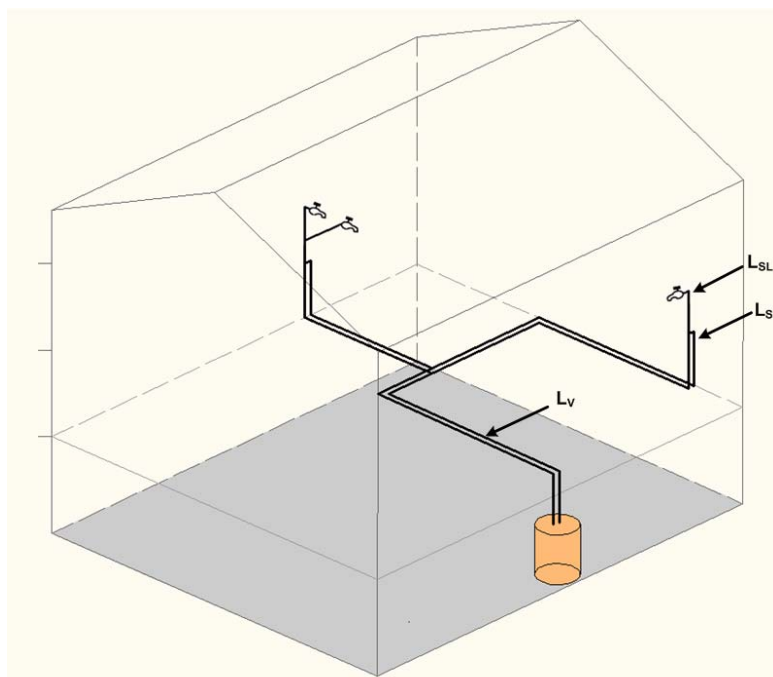
$$\alpha_{W,dis} = 0,05 + 0,005 \cdot \left(\sum_i L_{W,dis,hs,i} - 6 \right) + 0,008 \cdot \sum_i L_{W,dis,nhs,i} \quad [-] \quad \text{HRN EN An.C} \quad (7.4a)$$

gdje je,

$Q_{W,1}=2,100$ kWh/dan

$Q_{W,2}=5,845$ kWh/dan

$Q_{W,3}=11,655$ kWh/dan



L_V – cjevovodi između generatora i vertikalala;

L_S – cjevovodi vertikalala;

L_{SL} – individualni spojni cjevovodi izvan cirkulacijske petlje.

Slika 7.1 (HRN EN D.1) Podjela cjevovoda u sustavu razvoda PTV-a

Tablica 7.1 (HRN EN D.1) Aproximacija duljine cjevovoda razvoda PTV-a s cirkulacijskom petljom

Veličina	Dio L_V (od generatora do vertikalala)	Dio L_S (vertikale)	Dio L_{SL} (spojni cjevovodi)
Prosječna okolišna temperatura izvan sezone grijanja, $\theta_{amb,i}$ [°C]	22		
Prosječna okolišna temperatura, $\theta_{amb,i}$ [°C]	13 za negrijani prostor 20 za grijani prostor	20	20
Duljina cirkulacijske petlje, $L_{W,i}$ [m]	$2 \cdot L_L + 0,0125 \cdot L_L \cdot L_w$	$0,075 \cdot L_L \cdot L_w \cdot N_{lev} \cdot h_{lev}$	-
Duljina glavnog razvodnog cjevovoda izvan cirkulac. petlje, $L_{W,dis,i}$ [m]	$L_L + 0,0625 \cdot L_L \cdot L_w$	$0,038 \cdot L_L \cdot L_w \cdot N_{lev} \cdot h_{lev}$	-
Duljina spojnih cjevovoda u prostorijama s zajedničkim zidom, $L_{W,dis,i}$ [m]	-	-	$0,05 \cdot L_L \cdot L_w \cdot N_{lev}$
Duljina individualnih cjevovoda u ostalim slučajevima, $L_{W,dis,i}$ [m]	-	-	$0,075 \cdot L_L \cdot L_w \cdot N_{lev}$

L_L – najveća razvijena duljina zgrade ili zone (m);

L_w – najveća razvijena širina zgrade ili zone (m);

h_{lev} – visina kata (m);

N_{lev} – broj katova.

Tablica 7.2 (HRN EN D.1) Aproximacija duljine cjevovoda individualnih dijelova razvoda PTV-a kod decentraliziranih sustava bez cirkulacijske petlje (generator topline i svi cjevovodi smješteni u grijanom prostoru)

Veličina	Dio L_{SL} (individualni cjevovodi)
Prosječna okolišna temperatura, $\theta_{amb,i}$ [°C]	20
Duljina cjevovoda za jedno izljevno mjesto u prostoriji, $L_{W,dis,i}$ [m]	$1 \cdot \left(\frac{A_N}{80} \right)$
Duljina cjevovoda za više izljevni mjesta u prostoriji (npr. u kupaonici), $L_{W,dis,i}$ [m]	$3 \cdot \left(\frac{A_N}{80} \right)$
Duljina cjevovoda za više izljevni mjesta u susjednoj prostoriji s instalacijom u zajedničkom zidu, $L_{W,dis,i}$ [m]	$4 \cdot \left(\frac{A_N}{80} \right)$
Duljina cjevovoda za razdjelnik u sklopu kućne jedinice, $L_{W,dis,i}$ [m]	$6 \cdot \left(\frac{A_N}{80} \right)$

A_N – korisna (podna) površina zgrade (m²).

Proračun gubitaka cirkulacijske petlje

Fizikalna metoda

Toplinski gubici cirkulacijske petlje koja se sastoji od više dionica

$$Q_{W,dis,ls,col} = \sum_i Q_{W,dis,ls,col,i} = \sum_i \frac{l}{1000} \cdot U_{W,i} \cdot L_{W,i} \cdot (\theta_{W,dis,avg} - \theta_{amb,i}) \cdot t_W \cdot d \quad [\text{kWh}]$$

HRN EN (3) (7.5)

$Q_{W,dis,ls,i}$ – toplinski gubici dionice petlje (tijekom perioda cirkulacije) (kWh);

Ulazne veličine:

$U_{W,i}$ – koeficijent toplinskih gubitaka pojedine dionice petlje (W/mK), iz projektne dokumentacije, en. pregleda ili Tablica 7.3;

$L_{W,i}$ – duljina dionice petlje i (m), iz projektne dokumentacije, en. pregleda ili Slika 7.1, Tablica 7.2;

$\theta_{W,dis,avg}$ – prosječna temperatura tople vode u petlji (°C), $\theta_{W,dis,avg}=60^\circ\text{C}$ (HRN EN D.2.6);

$\theta_{amb,i}$ – temperatura okolišnog zraka pojedine dionice (°C) (HRN EN Tabl. D.1)

$\theta_{amb,i}=22^\circ\text{C}$ izvan sezone grijanja

$\theta_{amb,i}=20^\circ\text{C}$ za grijani prostor u sezoni grijanja

$\theta_{amb,i}=13^\circ\text{C}$ za negrijani prostor u sezoni grijanja

d – broj dana u promatranom periodu (dan).

Dnevni period rada cirkulacijske pumpe

$$t_W = 10 + \frac{I}{0,07 + \frac{50}{0,32 \cdot L_L \cdot L_W \cdot h_{lev} \cdot N_{lev}}} \quad [\text{h/dan}] \quad \text{HRN EN (F.6)} \quad (7.6)$$

L_L – najveća razvijena duljina zgrade (m);

L_W – najveća razvijena širina zgrade ili zone (m);

h_{lev} – visina kata (m);

N_{lev} – broj katova.

NAPOMENA: U slučaju da ne postoji regulacija rada cirkulacijske pumpe $t_W=24$ h/dan

Pojednostavljena metoda

a) Toplinski gubici izolirane petlje

$$Q_{W,dis,ls,col} = (14 \text{ W/m}) \cdot L_W \cdot t_W \cdot d / 1000 \quad [\text{kWh}] \quad (7.7)$$

b) Toplinski gubici neizolirane petlje

$$Q_{W,dis,ls,col} = (40 \text{ W/m}) \cdot L_W \cdot t_W \cdot d / 1000 \quad [\text{kWh}] \quad \text{HRN EN An.D.1} \quad (7.8)$$

L_W – ukupna duljina cjevovoda u petlji (m).

Tablica 7.3 (HRN EN D.3) Aproximacija koef. toplinskih gubitaka U_W [W/mK] za razne cjevovode u novim i postojećim zgradama

Godina ili klasa zgrade	Dio razvoda		
	Dio V	Dio S	Dio A
Izolirane cijevi			
Od 1995 – pretpostavka da je debljina izolacije jednaka vanjskom promjeru cijevi	0,2	0,3	0,3
1980 do 1995- pretpostavka da je debljina izolacije jednaka polovici vanjskog promjera cijevi	0,3	0,4	0,4
Do 1980	0,4	0,4	0,4
Neizolirane cijevi			
$A \leq 200 \text{ m}^2$	1,0	1,0	1,0
$200 \text{ m}^2 < A \leq 500 \text{ m}^2$	2,0	2,0	2,0
$A > 500 \text{ m}^2$	3,0	3,0	3,0
Cijevi položene u vanjskim zidovima		ukupno/ iskoristivo*	
Vanjski zid neizoliran		1,35/0,80	
Vanjski zid izoliran izvana		1,00/0,90	
Vanjski zid bez izolacije ali manjeg koef. prolaska topline $U=0,4 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$		0,75/0,55	

*(ukupno=ukupni topl. gubitak cjevovoda / iskoristivo = iskoristivi gubitak cjevovoda)

A - površina etaže (m^2).

Proračun pomoćne energije

Pomoćna energija potrebna za pogon pojedine cirkulacijske pumpe u cirkulacijskoj petlji u promatranom periodu se računa prema

$$W_{W,dis,aux} = \frac{P_{hydr}}{1000} \cdot t_W \cdot d \cdot e_{pmp,eff} \quad [\text{kWh}] \quad \text{temeljem HRN EN (9, F.1)} \quad (7.9)$$

P_{hydr} – hidraulička snaga cirkulacijske pumpe (W);

$e_{pmp,ef}$ – faktor energetskeg utroška (-).

Volumni protok u cirkulacijskoj petlji

$$\dot{V} = \frac{Q_{W,dis,ls,col}}{1,15 \cdot \Delta\theta_{W,gen} \cdot t_W \cdot d} \quad [\text{m}^3/\text{h}] \quad \text{temeljem HRN EN (F.3)} \quad (7.10)$$

$Q_{W,dis,ls,col}$ – toplinski gubici petlje (tijekom perioda cirkulacije) (kWh), Jedn. (7.5÷7.8);

$\Delta\theta_{W,gen}$ – najveća razlika temperatura kroz generator (K), $\Delta\theta_{W,gen}=5 \text{ K}$ (preuzeta vrijednost).

Najveća duljina cjevovoda u cirkulacijskoj petlji (aproksimacija)

$$L_{W,dis,col,max} = 2 \cdot (L_L + 2,5 + N_{lev} \cdot h_{lev}) \quad [\text{m}] \quad \text{HRN EN (F.5)} \quad (7.11)$$

Pad tlaka u cirkulacijskoj petlji (aproksimacija)

$$\Delta p = 0,1 \cdot L_{W,dis,col,max} + \sum \Delta p_{W,fittings} + \Delta p_{W,gen} \quad [\text{kPa}] \quad \text{HRN EN (F.4)} \quad (7.12)$$

$L_{W,dis,col,max}$ – najveća duljina cjevovoda u cirkulacijskoj petlji (m);

$\Delta p_{W,fittings}$ – pad tlaka na armaturi (kPa) (npr. protupovratni ventil), iz projektne dokumentacije ili en. pregleda;

$\Delta p_{W,gen}$ – pad tlaka generatora topline (kPa), podaci proizvođača ili

$\Delta p_{W,gen} = 1 \text{ kPa}$ – za sustave sa spremnikom tople vode

$\Delta p_{W,gen} = 15 \text{ kPa}$ – za sustave s kontinuiranim protokom (npr. protočni grijač vode)

Projektna hidraulička snaga

$$P_{hydr} = 0,2778 \cdot \Delta p \cdot \dot{V} \quad [\text{W}] \quad \text{HRN EN (F.2)} \quad (7.13)$$

Faktor učinkovitosti

$$f_{eff} = \frac{P_{pmp}}{P_{hydr}} \quad [-] \quad \text{HRN EN (F.8)} \quad (7.14)$$

P_{pmp} – nazivna električna snaga pumpe (pri broju okretaja na kojem radi) (W), podatak proizvođača ili kada nije poznata P_{pmp}

$$f_{eff} = \frac{1,5 \cdot b}{0,015 \cdot (P_{hydr} / 1000)^{0,74} + 0,04} \quad [-] \quad \text{HRN EN (F.9)} \quad (7.15)$$

$b=1$ za nove zgrade i $b=2$ za postojeće zgrade.

Faktor energetskeg utroška

$$e_{pmp,eff} = f_{eff} \cdot C_{pmp} \cdot \beta_D^{-0,94} \quad [-] \quad \text{HRN EN (F.7)} \quad (7.16)$$

C_{pmp} – faktor regulacije pumpe (-), Tablica 7.4;

β_D – faktor opterećenja je omjer stvarnog i najvećeg protoka pumpe. Ukoliko ne postoji regulator protoka $\beta_D=1$.

Tablica 7.4 (HRN EN F.1) Faktor regulacije pumpe

Regulacija pumpe	C_{pmp}
Pumpa nije regulirana (konstantna brzina vrtnje)	0,97
konstantan Δp	0,66
promjenjiv Δp	0,52

Proračun vraćene pomoćne energije radnom mediju u promatranom periodu za podsustav razvoda (u cirkulacijskoj petlji)

$$Q_{W,dis,aux,rvd} = 0,75 \cdot W_{W,dis,aux} \quad [\text{kWh}] \quad \text{HRN EN (F.3)} \quad (7.17)$$

Proračun iskoristive pomoćne energije koja se vraća u prostor u promatranom periodu za podsustav razvoda

$$Q_{W,dis,aux,rbl} = k \cdot 0,25 \cdot W_{W,dis,aux} \quad [\text{kWh}] \quad (7.18)$$

k – udio iskoristivih gubitaka u ukupnim (-);

$k=1$ tj. 100% ukupnih gubitaka ako je komponenta smještena u grijanoj zoni;

$k=0,5$ tj. 50% ako je komponenta smještena u negrijanoj zoni;

$k=0$ tj. 0% ako je komponenta smještena izvan zgrade.

Ukupni toplinski gubici podsustava razvoda

$$Q_{W,dis,ls} = Q_{W,dis,ls,nc} + Q_{W,dis,ls,col} \quad [\text{kWh}] \quad (7.19)$$

$Q_{W,dis,ls,nc}$ – toplinski gubici dijelova sustava razvoda izvan cirkulacijske petlje (kWh);

$Q_{W,dis,ls,col}$ – toplinski gubici cirkulacijske petlje (kWh).

Proračun iskoristivih toplinskih gubitaka koji se vraćaju u prostor u promatranom periodu za podsustav razvoda

$$Q_{W,dis,rbl} = Q_{W,dis,ls,nc} \frac{L_{W,dis,hs,avg}}{L_{W,dis,hs,avg} + L_{W,dis,nhs,avg}} + \sum_j Q_{W,dis,ls,col,j} \quad [\text{kWh}] \quad (7.20)$$

Indeks j se odnosi na dionice cirkulacijske petlje koje prolaze kroz grijane prostore.

$L_{W,dis,hs,avg}$ – duljina razvodnog cjevovoda izvan cirkulacijske petlje u grijanom prostoru (m), iz projektne dokumentacije, en. pregleda ili Tablica 7.1, ili ako nema cirkulacijske petlje Tablica 7.2;

$L_{W,dis,nhs,avg}$ – duljina razvodnog cjevovoda izvan cirkulacijske petlje u negrijanom prostoru (m), iz projektne dokumentacije, en. pregleda ili Tablica 7.1.

Toplinska energija koju je potrebno isporučiti sustavu razvoda potrošne tople vode

$$Q_{W,dis,in} = Q_W - Q_{W,dis,aux,rvd} + Q_{W,dis,ls} \quad [\text{kWh}] \quad (7.21)$$

8. HRN EN 15316-3-3:2008 Sustavi grijanja u zgradama – Metoda proračuna energijskih zahtjeva i učinkovitosti sustava – Dio 3-3: Sustavi za pripremu potrošne tople vode, zagrijavanje

Period proračuna: sezona grijanja, period izvan sezone grijanja

Toplinski gubici indirektno grijanog spremnika potrošne tople vode (PTV)

$$Q_{W,st,ls} = U_{W,st} \cdot (\theta_{W,st,av} - \theta_{amb,avg}) \cdot 24 \cdot d / 1000 \quad [\text{kWh}] \quad \text{temeljem Jedn. (10.10)} \quad (8.1)$$

Ulazne veličine:

$\theta_{W,st,av}$ – prosječna temperatura vode u spremniku (°C), $\theta_{W,st,av} = 60^\circ\text{C}$;

$\theta_{amb,avg}$ – prosječna temperatura okolišnog zraka,

$\theta_{amb,avg} = 20^\circ\text{C}$ ako je spremnik smješten u grijanom prostoru;

$\theta_{amb,avg} = \theta_{e,avg} + (20^\circ\text{C} - \theta_{e,avg}) / 2$ ako je spremnik smješten u negrijanom prostoru unutar zgrade;

$\theta_{amb,avg} = \theta_{e,avg}$ ako je spremnik smješten u prostoru izvan zgrade.

$\theta_{e,avg}$ – prosječna vanjska temperatura u promatranom periodu (Tablica 10.2), (°C);

d – broj dana u promatranom periodu (dan).

Ukupni koeficijent toplinskih gubitaka spremnika

$$U_{W,st} = 0,16 \cdot V_{W,st}^{0,5} \quad [\text{W/K}] \quad \text{HRN EN 15316-4-3 (B.9)} \quad (8.2)$$

$V_{W,st}$ – zapremina spremnika (Lit), iz projektne dokumentacije ili en. pregleda.

Proračun gubitaka primarne cirkulacije između generatora topline i spremnika

Izolirani cjevovod

$$Q_{W,p,ls} = (14 \text{ W/m}) \cdot L_{W,p} \cdot t_{W,gen,nom} / 1000 \quad [\text{kWh}] \quad (8.3a)$$

Neizolirani cjevovod

$$Q_{W,p,ls} = (40 \text{ W/m}) \cdot L_{W,p} \cdot t_{W,gen,nom} / 1000 \quad [\text{kWh}] \quad (8.3b)$$

$L_{W,p}$ – ukupna duljina cjevovoda primarne cirkulacije (m), iz projektne dokumentacije ili en. pregleda.

Period rada pumpe

$$t_{W,gen,nom} = \frac{Q_{W,gen,out}}{P_{gen,nom}} \quad [\text{h}] \quad \text{temeljem HRN EN (A.4)} \quad (8.4)$$

$P_{gen,nom}$ – nazivna snaga generatora (kW);

$Q_{W,gen,out}$ – toplinska energija koju generator predaje u sustav razvoda (kWh)

$Q_{W,gen,out} = Q_{W,dis,in}$ (Jedn. (7.21)).

Proračun toplinskih gubitaka i pomoćne energije generatora topline

Primjeniti metodu proračuna toplinskih gubitaka generatora i pomoćne energije iz HRN EN 15316-4-1 (Poglavlje 4) ili HRN EN 15316-4-7 (Poglavlje 5), ovisno o tipu generatora.

NAPOMENA: postupak proračuna svih veličina ostaje nepromijenjen osim što se indeks H zamjenjuje s indeksom W (npr. $Q_{H,gen,out}$ postaje $Q_{W,gen,out}$)

1. Za slučaj kada se generator koristi samo za pripremu PTV-a, ukupna potrebna toplinska energija generatora se računa prema

$$Q_{W,gnr,out} = Q_{W,dis,in} + Q_{W,st,ls} + Q_{W,p,ls} \quad [\text{kWh}] \quad \text{temeljem HRN EN (8)} \quad (8.5)$$

Period proračuna je

$$t_{ci} = t_{uk} = d \cdot 24 \quad [\text{h}] \quad (8.6)$$

pri čemu je d broj dana u promatranom periodu (npr. period izvan sezone grijanja ili cijela godina).

Radna temperatura vode u kotlu i u sustavu se u tom slučaju uzima kao

$$\theta_{gnr,w,x} = \theta_{gnr,w,m} = 60^{\circ}\text{C} \quad (\text{vidi Jedn. (4.2)}) \quad (8.7)$$

Prosječna temperatura tijekom stanja pripravnosti (stand by)

$$\theta_{grn,w,min} = 50^{\circ}\text{C} \quad \text{HRN EN A.3.2} \quad (8.8a)$$

osim za protočne uređaje

$$\theta_{grn,w,min} = 40^{\circ}\text{C} \quad \text{HRN EN A.3.2} \quad (8.8b)$$

Ukupni toplinski gubitak generatora $Q_{W,gnr,ls}$ se dobije iz Jedn. (4.23).

Iskoristivi toplinski gubici kroz ovojnicu generatora $Q_{W,gnr,ls,env,rbl}$ računaju se prema Jedn. (4.33).

Pomoćna energija za generator $W_{W,gnr,aux}$ računa se prema Jedn. (4.28).

Vraćena pomoćna energija generatora predana ogrjevnom mediju $Q_{W,gnr,aux,rvd}$ računa se prema Jedn. (4.30).

Iskoristivi toplinski gubici pomoćnih uređaja generatora koji se predaju grijanom prostoru $Q_{W,gnr,aux,rbl}$ računaju se prema Jedn. (4.32).

2. U slučaju kada isti generator opskrbljuje i sustav razvoda grijanja prostora i sustav pripreme PTV-a proračun se provodi za povećano opterećenje generatora $Q_{HW,gen,out}$ (vidi Poglavlje 4.4)

$$Q_{HW,gen,out} = Q_{H,dis,in} + Q_{W,gnr,out} \quad [\text{W}] \quad \text{HRN EN 15316-4-1 (13)} \quad (8.9)$$

$Q_{H,dis,in}$ - potrebna topl. energija za podsustav razvoda (kWh);

$Q_{W,gnr,out}$ - potrebna topl. energija za pripremu PTV-a (kWh), Jedn. (8.5).

U tom se slučaju ne računaju zasebno toplinski gubici generatora uslijed pripreme PTV-a $Q_{W,gnr,ls}$, već su oni sadržani u $Q_{HW,gen,ls}$ tj. uzima se da je

$$Q_{W,gnr,ls}=0 \quad [\text{kWh}] \quad (8.10a)$$

$$Q_{W,gnr,ls,env,rbl}=0 \quad [\text{kWh}] \quad (8.10b)$$

Isto vrijedi i za pomoćnu energiju tj.

$$W_{W,gnr,aux}=0. \quad (8.11)$$

$$Q_{W,gnr,aux,rvd}=0 \quad (8.12)$$

$$Q_{W,gnr,aux,rbl}=0 \quad (8.13)$$

Proračun toplinskih gubitaka direktno grijanog plinskog akumulacijskog spremnika

$$Q_{W,gnr,ls} = \frac{(\theta_{W,gen/st,avg} - \theta_{amb,avg})}{\Delta\theta_{W,gen/st,avg}} \cdot \frac{P_{W,gen/st,ls}}{1000} \cdot 24 \cdot d + (1 - \eta_{gen}) \cdot Q_{W,gen,out} \quad [\text{kWh}]$$

HRN EN (B.3) (8.14)

- $\theta_{W,gen/st,avg}$ – prosječna temperatura vode u spremniku ($^{\circ}\text{C}$), $\theta_{W,st,av}=60^{\circ}\text{C}$;
 $\theta_{amb,avg}$ – prosječna temperatura okolišnog zraka,
 $\theta_{amb,avg}=20^{\circ}\text{C}$ ako je spremnik smješten u grijanom prostoru;
 $\theta_{amb,avg} = \theta_{e,avg} + (20^{\circ}\text{C} - \theta_{e,avg})/2$ ako je spremnik smješten u negrijanom prostoru unutar zgrade;
 $\theta_{amb,avg} = \theta_{e,avg}$ ako je spremnik smješten u prostoru izvan zgrade.
 $\theta_{e,avg}$ – prosječna vanjska temperatura, ($^{\circ}\text{C}$);
 d – broj dana u promatranom periodu (dan);
 $\Delta\theta_{W,gen/st,avg}$ – razlika temperatura vode i okolišnog zraka pri kojoj su određeni nazivni toplinski gubici ($^{\circ}\text{C}$), $\Delta\theta_{W,gen/st,avg}=50^{\circ}\text{C}$;
 η_{gen} – učinkovitost generatora (-),
 $\eta_{gen}=0,84$ za sve uređaje osim kondenzacijskih;
 $\eta_{gen}=0,98$ za kondenzacijske uređaje.
 $Q_{W,gen,out}$ – toplinska energija koju generator predaje u sustav razvoda (kWh)
 $Q_{W,gen,out} = Q_{W,dis,in}$ (Jedn. (7.20)).

Nazivni toplinski gubici spremnika (snaga potrebna za održavanje tražene temperature vode u spremniku)- podatak proizvođača ili

za $V_{W,gen/st} < 200 \text{ Lit}$

$$P_{W,gen/st,ls} = \max\left[0,8 \cdot \left(11 \cdot V_{W,gen/st}^{0,67} + 0,015 \cdot P_{gen/st,nom}\right), 250\right] \quad [\text{W}] \quad \text{HRN EN B.1} \quad (8.15a)$$

za $V_{W,gen/st} \geq 200 \text{ Lit}$

$$P_{W,gen/st,ls} = \max\left[0,8 \cdot \left(9 \cdot V_{W,gen/st}^{0,67} + 0,017 \cdot P_{gen/st,nom}\right), 250\right] \quad [\text{W}] \quad \text{HRN EN B.1} \quad (8.15b)$$

$V_{W,gen/s}$ – nazivna zapremnina spremnika (Lit);

$P_{gen/st,nom}$ – nazivna snaga uređaja (W).

Iskoristivi toplinski gubici kroz ovojnicu direktno grijanog plinskog akumulacijskog spremnika

$$Q_{W,gnr,ls,env,rbl} = k \cdot \frac{(\theta_{W,gen/st,avg} - \theta_{amb,avg})}{\Delta\theta_{W,gen/st,avg}} \cdot \frac{P_{W,gen/st}}{1000} \cdot 24 \cdot d \quad [\text{kWh}] \quad (8.16)$$

k – udio iskoristivih gubitaka u ukupnim (-);

$k=1$ tj. 100% ukupnih gubitaka ako je komponenta smještena u grijanoj zoni;

$k=0,5$ tj. 50% ako je komponenta smještena u negrijanoj zoni;

$k=0$ tj. 0% ako je komponenta smještena izvan zgrade.

Proračun toplinskih gubitaka direktno grijanog električnog akumulacijskog spremnika

$$Q_{W,gnr,ls} = \frac{(\theta_{W,gen/st,avg} - \theta_{amb,avg})}{\Delta\theta_{W,gen/st,avg}} \cdot q_{W,gen/st} \cdot d \quad [\text{kWh}] \quad \text{temeljem HRN EN (C.1)} \quad (8.17)$$

$\theta_{W,gen/st,avg}$ – prosječna temperatura vode u spremniku ($^{\circ}\text{C}$), $\theta_{W,st,av}=60^{\circ}\text{C}$;

$\theta_{amb,avg}$ – prosječna temperatura okolišnog zraka,

$\theta_{amb,avg}=20^{\circ}\text{C}$ ako je spremnik smješten u grijanom prostoru;

$\theta_{amb,avg} = \theta_{e,avg} + (20^{\circ}\text{C} - \theta_{e,avg})/2$ ako je spremnik smješten u negrijanom prostoru unutar zgrade;

$\theta_{amb,avg} = \theta_{e,avg}$ ako je spremnik smješten u prostoru izvan zgrade.

$\theta_{e,avg}$ – prosječna vanjska temperatura, ($^{\circ}\text{C}$);

d – broj dana u promatranom periodu (dan);

$\Delta\theta_{W,gen/st,avg}$ – razlika temperatura vode i okolišnog zraka pri kojoj su određeni nazivni toplinski gubici ($^{\circ}\text{C}$), $\Delta\theta_{W,gen/st,avg}=45^{\circ}\text{C}$;

Nazivni toplinski gubici spremnika (energija potrebna za održavanje tražene temperature vode u spremniku) podatak proizvođača ili

$$q_{W,gen/st,ls} = 0,29 + 0,019 \cdot V_{W,gen/st} \quad [\text{kWh/d}] \quad (8.18)$$

Iskoristivi toplinski gubici kroz ovojnicu direktno grijanog električnog akumulacijskog spremnika

$$Q_{W,gnr,env,ls,rbl} = k \cdot Q_{W,gnr,ls} \quad [\text{kWh}] \quad (8.19)$$

k – udio iskoristivih gubitaka u ukupnim (-);

$k=1$ tj. 100% ukupnih gubitaka ako je komponenta smještena u grijanoj zoni;

$k=0,5$ tj. 50% ako je komponenta smještena u negrijanoj zoni;

$k=0$ tj. 0% ako je komponenta smještena izvan zgrade.

Proračun pomoćne energije u primarnom krugu

Proračun se provodi temeljem odgovarajućih izraza iz Poglavlja 7 HRN EN 15316-3-2 (vidi Jedn. (7.9)÷(7.16)).

Pri tome je protok u primarnom krugu određen sljedećim izrazom

$$\dot{V} = \frac{Q_{W,gen,out}}{1,15 \cdot 20 \cdot t_{W,gen,nom}} \quad [\text{m}^3/\text{h}] \quad (8.20)$$

Pad tlaka u primarnom krugu (vidi Jedn. (7.12))

$$\Delta p = 10 \quad [\text{kPa}] \quad \text{prema HRN EN A.3.4} \quad (8.21)$$

Projektna hidraulička snaga

$$P_{hydr} = 0,2778 \cdot \Delta p \cdot \dot{V} \quad [\text{W}] \quad (\text{vidi Jedn. (7.13)}) \quad (8.22)$$

Električna energija potrebna za pogon pumpe primarnog cirkulacijskog kruga (između generatora i spremnika)

$$W_{W,p,aux} = \frac{P_{hydr}}{1000} \cdot t_{W,gen,nom} \cdot e_{pmp,eff} \quad [\text{kWh}] \quad (\text{vidi Jedn. (7.9)}) \quad (8.23)$$

$e_{pmp,eff}$ – faktor energetskog utroška (-), vidi Jedn. (7.16).

Proračun ukupne pomoćne energije generatora

$$W_{W,gen,aux} = W_{W,gnr,aux} + W_{W,p,aux} \quad [\text{kWh}] \quad \text{HRN EN (9)} \quad (8.24)$$

$W_{W,gnr,aux}$ – pomoćna energija generatora (kWh), Jedn. (4.28), (4.29) ili (8.11);

$W_{W,p,aux}$ – pomoćna energija pumpe primarnog kruga (kWh).

Proračun vraćene pomoćne energije radnom mediju u promatranom periodu za podsustav proizvodnje

1. Generator se koristi samo za pripremu PTV-a

$$Q_{W,gen,aux,rtd} = Q_{W,gnr,aux,rtd} + Q_{W,p,aux,rtd} \quad [\text{kWh}] \quad (8.25)$$

$Q_{W,gnr,aux,rtd}$ – vraćena pomoćna energija generatora (kWh), Jedn. (4.30) ili (8.12);

$Q_{W,p,aux,rtd}$ – vraćena pomoćna energija primarne cirkulacije (kWh).

$$Q_{W,p,aux,rtd} = 0,75 \cdot W_{W,p,aux} \quad [\text{kWh}] \quad (8.26)$$

2. Isti generator se koristi za grijanje prostora i pripremu PTV-a

$$Q_{W,gen,aux,rnd} = Q_{W,p,aux,rnd} = 0,75 \cdot W_{W,p,aux} \quad [\text{kWh}] \quad (8.27)$$

Proračun iskoristive pomoćne energije koja se vraća u prostor u promatranom periodu za podsustav proizvodnje

1. Generator se koristi samo za pripremu PTV-a

$$Q_{W,gen,aux,rbl} = Q_{W,gnr,aux,rbl} + Q_{W,p,aux,rbl} \quad [\text{kWh}] \quad (8.28)$$

$Q_{W,gnr,aux,rbl}$ – iskoristiva pomoćna energija generatora (kWh);

$Q_{W,p,aux,rbl}$ – iskoristiva pomoćna energija primarne cirkulacije (kWh).

$$Q_{W,p,aux,rbl} = k \cdot 0,25 \cdot W_{W,p,aux} \quad [\text{kWh}] \quad (8.29)$$

k – udio iskoristivih gubitaka u ukupnim (-);

$k=1$ tj. 100% ukupnih gubitaka ako je komponenta smještena u grijanoj zoni;

$k=0,5$ tj. 50% ako je komponenta smještena u negrijanoj zoni;

$k=0$ tj. 0% ako je komponenta smještena izvan zgrade.

2. Isti generator se koristi za grijanje prostora i pripremu PTV-a

$$Q_{W,gen,aux,rbl} = Q_{W,p,aux,rbl} \quad [\text{kWh}] \quad (8.30)$$

Proračun ukupnih toplinskih gubitaka

1. Generator se koristi samo za pripremu PTV-a

$$Q_{W,gen,ls} = Q_{W,gnr,ls} + Q_{W,st,ls} + Q_{W,p,ls} \quad [\text{kWh}] \quad (8.31)$$

$Q_{W,gnr,ls}$ – ukupni toplinski gubici generatora (kWh);

$Q_{W,st,ls}$ – ukupni toplinski gubici spremnika (kWh);

$Q_{W,p,ls}$ – ukupni toplinski gubici primarne cirkulacije (kWh).

2. Isti generator se koristi za grijanje prostora i pripremu PTV-a

$$Q_{W,gen,ls} = Q_{W,st,ls} + Q_{W,p,ls} \quad [\text{kWh}] \quad (8.32)$$

Proračun iskoristivih toplinskih gubitaka koji se vraćaju u prostor promatranom periodu za podsustav proizvodnje

1. Generator se koristi samo za pripremu PTV-a

$$Q_{W,gen,ls,rbl} = Q_{W,gnr,ls,env,rbl} + Q_{W,st,rbl} + Q_{W,p,rbl} = Q_{W,gnr,ls,env,rbl} + k_i Q_{W,st,ls} + k_j Q_{W,p,ls} \quad [\text{kWh}] \quad (8.33)$$

$Q_{W,gnr,ls,env,rbl}$ – iskoristivi toplinski gubici generatora kroz ovojnicu (kWh), Jedn. (4.33) za kotao, Jedn. (8.16) za direktno grijani plinski spremnik, Jedn. (8.19) za spremnik s el. grijačem)

2. Isti generator se koristi za grijanje prostora i pripremu PTV-a

$$Q_{W,gen,ls,rbl} = Q_{W,st,rbl} + Q_{W,p,rbl} = k_j Q_{W,st,ls,j} + k_k Q_{W,p,ls} \quad [\text{kWh}] \quad (8.34)$$

$k_{j,k}$ – udio iskoristivih gubitaka pojedine komponente (-);

$k=1$ tj. 100% ukupnih gubitaka ako su komponente smještene u grijanoj zoni;

$k=0,5$ tj. 50% ako su komponente smještene u negrijanoj zoni;

$k=0$ tj. 0% ako su komponente smještene izvan zgrade.

Toplinska energija koju je potrebno isporučiti podsustavu proizvodnje PTV-a

$$Q_{W,gen,in} = Q_{W,gen,out} - Q_{W,gen,aux,rld} + Q_{W,gen,ls} \quad [\text{kWh}] \quad (8.35)$$

Toplinska energija koju je potrebno isporučiti podsustavu proizvodnje sustava grijanja i PTV-a (kada se isti generator koristi za grijanje prostora i pripremu PTV-a)

$$Q_{HW,gen,in} = Q_{H,gen,in} + Q_{W,gen,in} \quad [\text{kWh}] \quad (8.36)$$

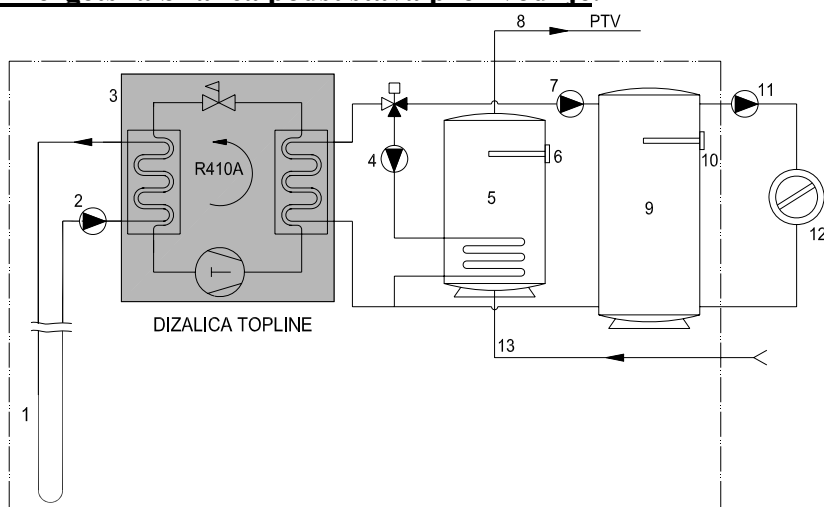
9. HRN EN 15316-4-2:2008 Sustavi grijanja u zgradama – Metoda proračuna energijskih zahtjeva i učinkovitosti sustava – 1. dio: Općenito, Dio 4-2: Sustavi za proizvodnju topline, sustavi dizalica topline

Period proračuna: sati tijekom cijele godine

Norma se odnosi na proračun sljedećih tipova dizalica topline (skraćenica DT):

- parne kompresijske dizalice topline s električnim pogonom;
- parne kompresijske dizalice topline pogonjene motorom s unutrašnjim izgaranjem;
- parne apsorpcijske dizalice topline pogonjene toplinskom energijom.

Energetska bilanca podsustava proizvodnje:



Legenda

1 – izvor topline (ovdje: tlo u vertikalnoj izvedbi izmjenjivača)
 2 – cirkulacijska pumpa izvora topline
 3 – dizalica topline
 4 – cirkulacijska pumpa spremnika PTV-a
 5 – spremnik PTV-a
 6 – pomoćni grijač PTV-a

7 – cirkulacijska pumpa međuspremnika
 8 – polazni vod PTV-a
 9 – međuspremnik sustava grijanja
 10 – pomoćni grijač sustava grijanja
 11 – cirkulacijska pumpa podsustava grijanja
 12 – podsustav predaje toplinske energije
 13 – napojna voda

Slika 9.1 Granice podsustava proizvodnje topline

DETALJAN POSTUPAK PRORAČUNA - bin metoda

Metoda uz rezultate ispitivanja za standardne ispitne uvjete prema HRN EN 14511, uzima u proračun specifične radne uvjete za svaku individualnu instalaciju.

Proračun prema bin metodi podrazumijeva podjelu sezone grijanja na temperaturne intervale (razrede). Za određivanje trajanja pojedinih temperaturnih intervala koriste se ulazni podaci o satnoj vanjskoj temperaturi zraka (ispitne referentne godine) za promatranu geografsku lokaciju.

ULAZNI PODACI - OPĆENITO:

Meteorološki podaci:

- učestalost pojave vanjske temperature zraka s korakom od 1 °C ili prosječne satne temp. zraka;

- vanjska i unutarnja projektna temperatura zraka.

Režim grijanja prostora:

- tip, izvedba i način rada dizalice topline, način upravljanja dizalicom topline (uključeno- isključeno, frekvencijska regulacija, stupnjevana);

- godišnja potrebna toplinska energija podsustava razvoda grijanja $Q_{H,dis,in}=Q_{H,gen,out}$ (HRN EN 15316-2-3);

- **učinak i toplinski množitelj dizalice topline pri standardnim ispitnim uvjetima (HRN EN 1451)** i maksimalna temperatura polazne vode (do 55 °C);

- učinak dizalice topline pri parcijalnom opterećenju prema CEN/TS 14825 (opcijski);

- krivulja grijanja, temperaturni režim u projektnoj točki, granična vanjska temperatura za grijanje;

- izvedba sustava grijanja: instalacija pomoćnog grijača, učinak, učinkovitost, instalacija međuspremnika, gubici, temperaturni režim;

- snaga pomoćnih komponenti (pumpe izvora i ponora topline, pumpe spremnika).

Režim pripreme PTV-a:

- potrebna toplinska energija podsustava razvoda PTV-a $Q_{W,dis,in}=Q_{W,gen,out}$ (HRN EN 15316-3-2);

- temperaturni zahtjevi: temperatura napojne vode (15 °C), projektna temp. PTV-a (60 °C);

- **učinak i toplinski množitelj dizalice topline za zagrijavanje PTV-a pri standardnim ispitnim uvjetima (HRN EN 255-3)** i maksimalna temperatura polazne vode (do 55 °C);

- temperaturni parametri spremnika PTV-a i gubici;

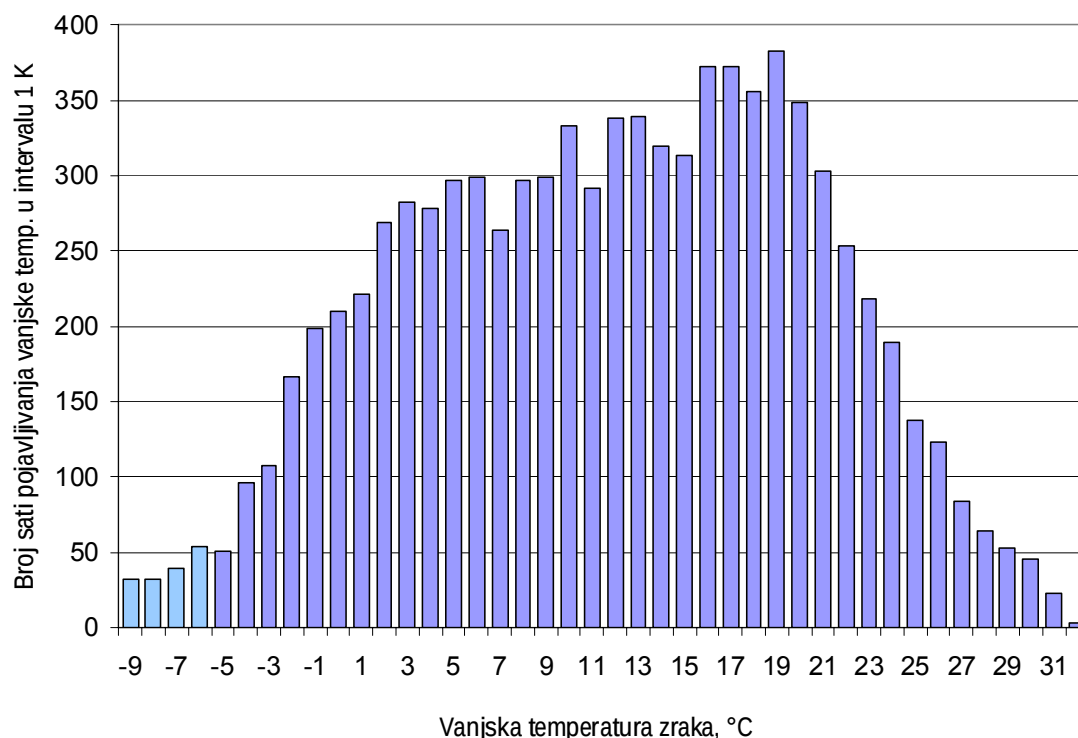
- instalacija pomoćnog grijača, učinak, učinkovitost;

Postupak proračuna provodi se u deset koraka.**1. korak:** Podjela sezone grijanja na temperaturne intervale i određivanje energetske potreba po binovima

Ulazni podaci: Valorizirani meteorološki podaci ispitne referentne godine za predmetnu lokaciju: - učestalost pojave vanjske temperature zraka s korakom od 1 °C ili prosječne satne temp. zraka;

- vanjska i unutarnja projektna temperatura zraka.

Ulazni podaci o satnoj vanjskoj temperaturi zraka su svrstani u temperaturne razrede s korakom 1 K, počevši s prosječnom minimalnom vanjskom temperaturom zraka (Slika 9.2).



Slika 9.2 Godišnja učestalost (frekvencija) pojavljivanja vanjske temperature zraka za grad Zagreb

Učestalost pojavljivanja vanjske satne temperature i stupanj sati grijanja za pojedini razred računaju se prema sljedećim izrazima:

Kumulativni broj sati pojavljivanja vanjske temperature u razredima j do k , N_k

$$N_k = \sum_{j=1}^k N_j \quad [\text{h}] \quad \text{HRN EN (A.1) (9.1)}$$

N_j - broj sati pojavljivanja vanjske temperature zraka u razredu (binu) j

(h), Tablica 9.1, Tablica 9.2;

j - broj trenutnog razreda;

k - broj razreda s temperaturnim korakom 1 K.

Stupanj sati grijanja za razred j , $DH_{H,j}$

$$DH_{H,j} = N_j (\vartheta_{i,des} - \vartheta_{e,j}) \quad [^\circ\text{Ch}] \quad \text{HRN EN (A.2) (9.2)}$$

$\vartheta_{i,des}$ - unutarnja projektna temperatura (°C);

$\vartheta_{e,j}$ - vanjska temperatura za razred j (°C).

Kumulativno broj stupanj sati grijanja do razreda k , DH_k

$$DH_{H,k} = \sum_{j=1}^k DH_{H,j} \quad [^{\circ}\text{Ch}] \quad \text{HRN EN (A.3) (9.3)}$$

Tablica 9.1 Valorizirani meteorološki podaci o satnoj okolišnjoj temperaturi zraka ispitne referentne godine za grad Zagreb

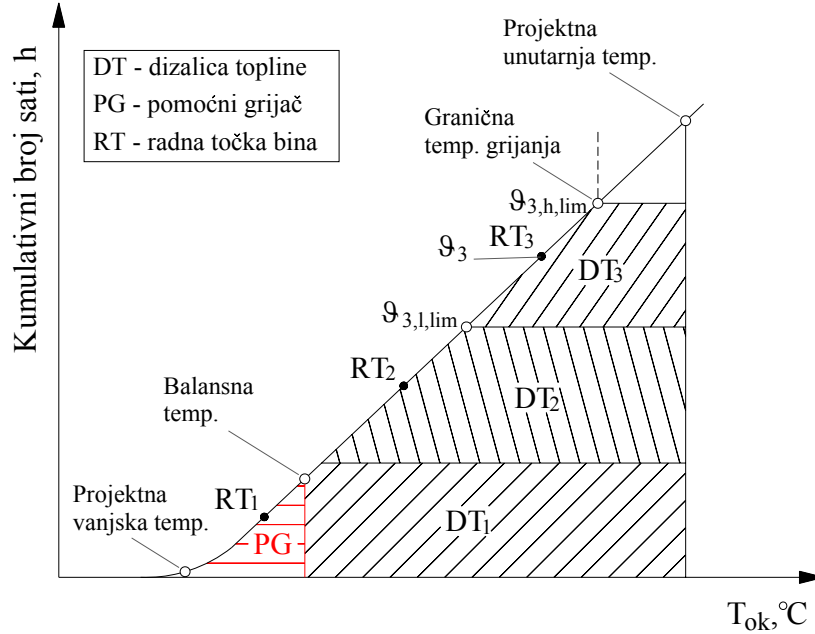
Razred - bin (Temperatura okoline, $^{\circ}\text{C}$)		N_j (h)	N_k (h)	$DH_{H,i}$ 20/15 ($^{\circ}\text{Ch}$)	$DH_{H,k}$ 20/15 ($^{\circ}\text{Ch}$)
-10	-9	32	32	928	928
-9	-8	32	64	896	1824
-8	-7	39	103	1053	2877
-7	-6	54	157	1404	4281
-6	-5	51	208	1275	5556
-5	-4	96	304	2304	7860
-4	-3	108	412	2484	10344
-3	-2	167	579	3674	14018
-2	-1	199	778	4179	18197
-1	0	210	988	4200	22397
0	1	221	1209	4199	26596
1	2	269	1478	4842	31438
2	3	282	1760	4794	36232
3	4	278	2038	4448	40680
4	5	297	2335	4455	45135
5	6	299	2634	4186	49321
6	7	264	2898	3432	52753
7	8	297	3195	3564	56317
8	9	299	3494	3289	59606
9	10	333	3827	3330	62936
10	11	292	4119	2628	65564
11	12	338	4457	2704	68268
12	13	339	4796	2373	70641
13	14	320	5116	1920	72561
14	15	314	5430	1570	74131
15	16	373	5803	1492	75623
16	17	373	6176	1119	76742
17	18	356	6532	712	77454
18	19	383	6915	383	77837
19	20	349	7264	0	77837
20	21	303	7567	0	77837
21	22	253	7820	0	77837
22	23	218	8038	0	77837
23	24	189	8227	0	77837
24	25	138	8365	0	77837
25	26	123	8487	0	77837
26	27	84	8572	0	77837
27	28	64	8636	0	77837
28	29	53	8689	0	77837
29	30	45	8734	0	77837
30	31	23	8757	0	77837
31	32	3	8760	0	77837
		8760			

Tablica 9.2 Valorizirani meteorološki podaci o satnoj okolišnoj temperaturi zraka ispitne referentne godine za grad Split

Razred - bin (Temperatura okoline, °C)		N _j (h)	N _k (h)	DH _{H,i} 20/15 (°Ch)	DH _{H,k} 20/15 (°Ch)
-3	-2	8	8	176	176
-2	-1	21	29	441	617
-1	0	23	52	460	1077
0	1	35	87	665	1742
1	2	48	135	864	2606
2	3	71	206	1207	3813
3	4	104	310	1664	5477
4	5	198	508	2970	8447
5	6	237	745	3318	11765
6	7	295	1040	3835	15600
7	8	328	1368	3936	19536
8	9	371	1739	4081	23617
9	10	397	2136	3970	27587
10	11	421	2557	3789	31376
11	12	480	3037	3840	35216
12	13	428	3465	2996	38212
13	14	340	3805	2040	40252
14	15	343	4148	1715	41967
15	16	368	4516	1472	43439
16	17	387	4903	1161	44600
17	18	378	5281	756	45356
18	19	391	5672	391	45747
19	20	354	6026	0	45747
20	21	348	6374	0	45747
21	22	352	6726	0	45747
22	23	330	7056	0	45747
23	24	302	7358	0	45747
24	25	287	7645	0	45747
25	26	291	7936	0	45747
26	27	230	8166	0	45747
27	28	176	8342	0	45747
28	29	149	8491	0	45747
29	30	117	8608	0	45747
30	31	72	8680	0	45747
31	32	37	8717	0	45747
32	33	25	8742	0	45747
33	34	14	8756	0	45747
34	35	4	8760	0	45747

Podjela sezone grijanja u temperaturne intervale i određivanje energetske potrebe po binovima

Sezona grijanja se dijeli u 3 do 5 temperaturnih razreda, te se za svaki razred osrednjava radna točka uređaja za koju se proračunava dizalica topline i njeni parametri. Slika 9.3 prikazuje primjer proračuna dizalice topline s tri temperaturna intervala u režimu grijanja (u režimu pripreme PTV-a koristi se jedan temperaturni interval više).



Slika 9.3 Kumulativna godišnja frekvencija vanjske temperature za paralelni režim rada pomoćnog grijača, primjer s tri temperaturna intervala-bina za grijanje prostora

Potrebe sustava grijanja u razredu j računaju se preko težinskog faktora $k_{H,j}$:

$$k_{H,j} = \frac{DH_{H,\theta_{h,lim,j}} - DH_{H,\theta_{l,lim,j}}}{DH_{H,tot}} = \frac{Q_{H,gen,out,j}}{Q_{H,gen,out}} \quad [-] \quad \text{HRN EN (4)} \quad (9.4)$$

Ulazni podaci:

$DH_{H,\theta_{h,lim,j}}$ – kumulativni broj stupanj sati grijanja do gornje temp. granice razreda j (°Ch), Tablica 9.1 i 9.2;

$DH_{H,\theta_{l,lim,j}}$ – kumulativni broj stupanj sati grijanja do donje temp. granice razreda j (°Ch), Tablica 9.1 i 9.2;

$DH_{H,tot}$ – ukupni kumulativni broj stupanj sati grijanja do gornje granične temp. grijanja prostora (°Ch), Tablica 9.1 i 9.2.

Vrijeme razreda j , t_j računa se iz sljedećeg izraza:

$$t_j = N_{k,\theta_{h,lim,j}} - N_{k,\theta_{l,lim,j}} \quad [h] \quad \text{HRN EN (6)} \quad (9.5)$$

$N_{k,\theta_{h,lim,j}}$ – kumulativni broj sati pojavljivanja vanjske temperature do gornje temp. granice razreda j (h) (Tablica 9.1 i 9.2)

$N_{k,\theta_{l,lim,j}}$ – kumulativni broj sati pojavljivanja vanjske temperature do donje temp. granice razreda j (h) (Tablica 9.1 i 9.2)

Efektivno vrijeme razreda j , $t_{eff,j}$ računa se iz sljedećeg izraza (dizalica topline ne radi 24 sata u danu):

$$t_{eff,j} = t_j \frac{24 - t_{co}}{24} \quad [\text{h}] \quad \text{HRN EN (7)} \quad (9.6)$$

t_j - vrijeme razreda j (h);

t_{co} - broj sati u danu u kojima DT nije u pogonu (h), npr. 3 h.

Godišnja toplinska energija na izlazu iz podsustava proizvodnje $Q_{H,gen,out,j}$ za razred j , kWh:

$$Q_{H,gen,out,j} = k_{H,j} Q_{H,gen,out} \quad [\text{kWh}] \quad \text{HRN EN (5)} \quad (9.7)$$

$k_{H,j}$ – težinski faktor dizalice topline u režimu grijanja prostora za razred j (-);

$Q_{H,gen,out}$ – godišnja toplinska energija na izlazu iz podsustava proizvodnje (kWh) (=godišnja potrebna topl. energija podsustava razvoda grijanja)

Potrebe za zagrijavanjem PTV-a u razredu j računaju se preko težinskog faktora $k_{W,j}$:

$$k_{W,j} = \frac{t_j}{t_{tot}} = \frac{Q_{W,gen,out,j}}{Q_{W,gen,out}} \quad [-] \quad \text{HRN EN (8)} \quad (9.8)$$

$k_{W,j}$ – težinski faktor dizalice topline u režimu pripreme PTV-a za razred j (-);

t_j – vrijeme razreda j (h);

t_{tot} – ukupno vrijeme rada sustava za pripremu PTV-a (h), max. 8760 h.

Potrebna toplinska energija za pripremu PTV-a $Q_{W,gen,out,j}$ u razredu j , kWh:

$$Q_{W,gen,out,j} = k_{W,j} Q_{W,gen,out} \quad [\text{kWh}] \quad \text{HRN EN (9)} \quad (9.9)$$

$k_{W,j}$ – težinski faktor dizalice topline u režimu pripreme PTV-a za razred j (-);

$Q_{W,gen,out}$ – godišnja toplinska energija na izlazu iz podsustava proizvodnje (=godišnja potrebna topl. energija podsustava razvoda PTV-a) (kWh).

Primjer proračuna težinskih faktora za dizalicu topline zrak-voda (Zagreb)

Br. bin-a	Bin 1	Bin 2	Bin 3	Bin 4
Radna točka, °C	-7	2	7	20
ϑ_D , °C	-10	-2	4	15
ϑ_G , °C	-2	4	15	32
Broj sati intervala, h	579	1.459	3.392	3.330
Stupanj sati gr., °Ch	14.018	26.662	33.451	
Težinski faktor, GR	0,19	0,36	0,45	
Težinski faktor, PTV	0,066	0,167	0,387	0,380

2. korak: Utjecaj temp. toplinskog izvora i toplinskog ponora na učinak i *COP* DT

Neophodni podaci za proračun dizalice topline su standardni i aplikacijski podaci u više radnih točaka o učinku i *COP* prema normi HRN EN 14511.

U Tablici 9.3 su dane radne točke proizvođača za dizalicu topline zrak-voda. Za ostale tipove dizalica topline voda-voda i rasolina (tlo)-voda koristiti ekvivalentne podatke proizvođača uređaja. Ako podaci nisu dostupni koriste se referentne vrijednosti iz stare norme EN 252-2 (Tablica 9.4, Tablica 9.5 i Tablica 9.6)

Tablica 9.3 Radne točke dizalice topline zrak-voda za temp. ogrjevnice vode 35 i 45 °C, standardna točka A7/W35 (HRN EN 14511)

Temperatura polaza ϑ_{sk} , °C	35 °C				45 °C			
Ulazna temp. izvora ϑ_{sc} , °C	-7	2	7	20	-7	2	7	20
Učinak, kW	8,7	10,6	12,7	15,8	9,1	11,0	13,2	16,1
<i>COP</i>	3,0	3,5	4	4,9	2,55	3,0	3,4	4,1

Tablica 9.4 Referentne vrijednosti dizalice topline zrak-voda, standardna točka prema EN 252-2 A7/W50

Temperatura polaza ϑ_{sk} , °C	35 °C					50 °C				
Ulazna temp. izvora ϑ_{sc} , °C	-7	2	7	15	20	-7	2	7	15	20
Relativni toplinski učinak	0,72	0,88	1,04	-	1,36	0,68	0,85	1,00	1,24	1,29
<i>COP</i>	2,7	3,1	3,7	4,3	4,9	2,0	2,3	2,8	3,3	3,5

Tablica 9.5 Referentne vrijednosti dizalice topline tlo-voda, standardna točka prema EN 252-2 B0/W50

Temperatura polaza ϑ_{sk} , °C	35 °C			50 °C		
Ulazna temp. izvora ϑ_{sc} , °C	-5	0	5	-5	0	5
Relativni toplinski učinak	0,92	1,07	1,22	0,86	1,00	1,15
<i>COP</i>	3,7	4,3	4,9	2,6	3,0	3,4

Tablica 9.6 Referentne vrijednosti dizalice topline voda-voda, standardna točka prema EN 252-2 W10/W50

Temperatura polaza ϑ_{sk} , °C	35 °C		50 °C	
Ulazna temp. izvora ϑ_{sc} , °C	10	15	10	15
Relativni toplinski učinak	1,07	1,20	1,00	1,13
<i>COP</i>	5,5	6,0	3,8	4,1

U Tablici 9.7 dane je primjer iz norme za radne točke proizvođača za dizalicu topline tlo (rasolina) –voda samo za pripremu PTV-a prema EN 255-3

Tablica 9.7 Radne točke dizalice topline tlo-voda za temp. polazne vode PTV-a 55 °C, prema EN 255-3

Polazna temp. PTV-a $\vartheta_{W, st, out}$, °C	55 °C		
Ulazna temp. izvora ϑ_{sc} , °C	-5	0	5
COP_t (EN 255-3)		2,36	
Učinak, kW	0,7	1,05	1,4

Interpolacija učinka dizalice topline i toplinskog množitelja u uvjetima različitih od standardnih u režimu grijanja, režimu pripreme PTV-a, te kombinirano.

- Temperatura polaza ogrjevnog medija određuje se prema karakteristici krivulje grijanja (Slika 9.4).
- Temperatura izvora topline ovisna je o vrsti izvora topline. Npr. temperatura glikolne smjese na izlazu iz izmjenjivača položenom u tlo određuje se prema izrazu danom u normi ili nacionalnom aneksu.
- Temperaturni režim grijanja (temp. režim na kondenzatoru) u radnim uvjetima razlikuje se od standardnog temperaturnog režima, a time i protočna masa vode kao ogrjevnog medija.

Interpolacija učinka dizalice topline za temperature izvora i ponora topline različitih od temperatura radnih točaka (HRN EN 14511)

Linearna interpolacija učinka dizalice topline u ovisnosti o temperaturi toplinskog izvora ($\vartheta_{sc, in}$) za svaki temperaturni razred za temperaturu polaza DT $\vartheta_{sk, stand1}$ (npr. $\vartheta_{sk, stand1} = 35$ °C):

$$\Phi_{H, hp(\vartheta_{sc, in}, \vartheta_{sk, s \tan d 1})} = \frac{\Phi_{H, hp(\vartheta_{sc, s \tan d 2} / \vartheta_{sk, s \tan d 1})} - \Phi_{H, hp(\vartheta_{sc, s \tan d 1} / \vartheta_{sk, s \tan d 1})}}{\vartheta_{sc, s \tan d 2} - \vartheta_{sc, s \tan d 1}} \cdot (\vartheta_{sc, in} - \vartheta_{sc, s \tan d 1}) + \Phi_{H, hp(\vartheta_{sc, s \tan d 1} / \vartheta_{sk, s \tan d 1})}$$

HRN EN (D.11) (9.10)

Primjer ulaznih podataka za dizalicu topline tlo-voda: $\vartheta_{sc, stand2} = 5$ °C, $\vartheta_{sc, stand1} = 0$ °C, $\vartheta_{sc, in}$ - ovisna o izvoru topline, $\vartheta_{sk, stand1} = 35$ °C, $\Phi_{H, hp(\vartheta_{sc, s \tan d 2} / \vartheta_{sk, s \tan d 1})}$ i $\Phi_{H, hp(\vartheta_{sc, s \tan d 1} / \vartheta_{sk, s \tan d 1})}$ standardni učinci DT koje daje proizvođač (kao Tablica D.5 u normi HRN EN 15316-4-2).

Ekvivalentno izrazu (9.10) potrebno je intepolirati učinak DT $\Phi_{H, hp(\vartheta_{sc, in}, \vartheta_{sk, s \tan d 2})}$ prema temperaturi toplinskog izvora ($\vartheta_{sc, in}$) za temperaturu toplinskog ponora (npr. $\vartheta_{sk, stand2} = 45$ °C).

$$\Phi_{H, hp(\vartheta_{sc, in}, \vartheta_{sk, s \tan d 2})} = \frac{\Phi_{H, hp(\vartheta_{sc, s \tan d 2} / \vartheta_{sk, s \tan d 2})} - \Phi_{H, hp(\vartheta_{sc, s \tan d 1} / \vartheta_{sk, s \tan d 2})}}{\vartheta_{sc, s \tan d 2} - \vartheta_{sc, s \tan d 1}} \cdot (\vartheta_{sc, in} - \vartheta_{sc, s \tan d 1}) + \Phi_{H, hp(\vartheta_{sc, s \tan d 1} / \vartheta_{sk, s \tan d 2})}$$

HRN EN (D.11) (9.11)

Nakon interpolacije učinka DT na strani izvora topline potrebno je interpolirati učinak DT prema temperaturi toplinskog ponora ($\vartheta_{sk,out}$) koja se određuje iz krivulje grijanja (Slika 9.4). Linearna interpolacija učinka dizalice topline u ovisnosti o temperaturi toplinskog ponora ($\vartheta_{sk,out}$) za svaki temperaturni razred:

$$\Phi_{H,hp}(\vartheta_{sc,in}, \vartheta_{sk,out}) = \frac{\Phi_{H,hp}(\vartheta_{sc,in}/\vartheta_{sk,s \tan d 2}) - \Phi_{H,hp}(\vartheta_{sc,in}/\vartheta_{sk,s \tan d 1})}{\vartheta_{sk,s \tan d 2} - \vartheta_{sk,s \tan d 1}} \cdot (\vartheta_{sk,out} - \vartheta_{sk,s \tan d 1}) + \Phi_{H,hp}(\vartheta_{sc,in}/\vartheta_{sk,s \tan d 1})$$

HRN EN (D.12) (9.12)

$\Phi_{H,hp}(\vartheta_{sc,in}, \vartheta_{sk,out})$ – učinak dizalice topline u ovisnosti o temperaturi polaza grijanja (kW);

$\Phi_{H,hp}(\vartheta_{sc,in}/\vartheta_{sk,s \tan d 1})$ - učinak DT interpoliran prema temperaturi izvora topline (Jedn. 9.10),

vrijedi za $\vartheta_{sk,stand1}$ (kW);

$\Phi_{H,hp}(\vartheta_{sc,in}/\vartheta_{sk,s \tan d 2})$ - učinak DT interpoliran prema temperaturi izvora topline (Jedn. 9.10),

vrijedi za $\vartheta_{sk,stand2}$ (kW);

$\vartheta_{sc,s \tan d 2}$ - standardna ulazna temperatura izvora topline, (npr. glikolna smjesa 5 °C);

$\vartheta_{sc,s \tan d 1}$ - standardna ulazna temperatura izvora topline, (npr. glikolna smjesa 0 °C);

$\vartheta_{sc,in}$ - stvarna ulazna temperatura izvora topline (ovisna o izvoru topline) (°C);

$\vartheta_{sk,s \tan d 2}$ - standardna polazna radna temperatura sustava grijanja, (npr. voda 45 °C);

$\vartheta_{sk,s \tan d 1}$ - standardna polazna radna temperatura sustava grijanja, (npr. voda 35 °C);

$\vartheta_{sk,out}$ - stvarna temperatura polaza grijanja prema krivulji grijanja, (°C) (Slika 9.4).

Temperatura izvora topline $\vartheta_{sc,in}$ za podzemne vode iznosi 10 °C; za DT s tlom kao izvorom računa se prema nacionalnom dodatku normi ili prema izrazu:

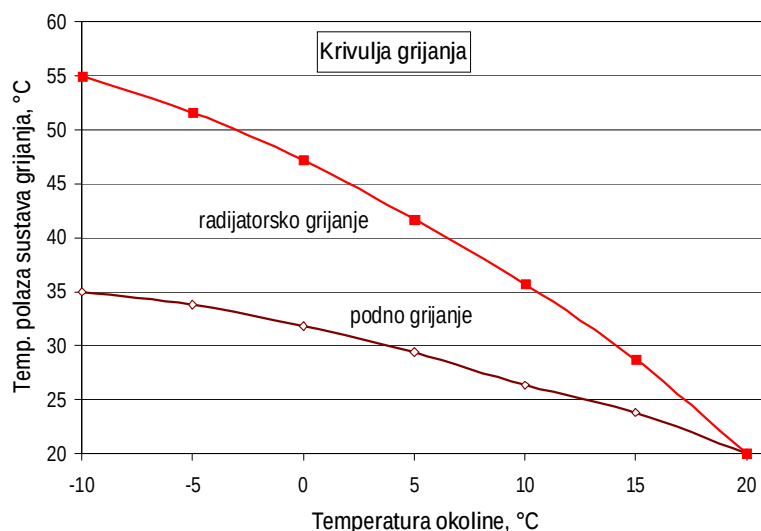
$$\vartheta_{sc,in} = 0,15\vartheta_e + 1,5 \quad [^{\circ}\text{C}]$$

HRN EN (D.9) (9.13)

ϑ_e – temperatura okoline (°C).

Interpolacija COP za temperaturni režim na kondenzatoru različit od standardnog

Budući se u radu uređaja temperaturna razlika vode na kondenzatoru mijenja, kao i sama temperatura polaza sustava grijanja (prema krivulji grijanja, Slika 9.4), potrebno je korigirati faktor grijanja $COP_{\Delta\vartheta}$ za uvjete koji su različiti od standardnih.



Slika 9.4 Primjer krivulje grijanja radijatorskog grijanja (polaz 55 °C) i podnog grijanja (polaz 35 °C) iz Priloga B

Temperaturna razlika na kondenzatoru ovisna je o masenom protoku vode kroz kondenzator:

$$\Delta \vartheta = \frac{\Phi_{DT}}{m_w \cdot c_w} \quad [^{\circ}\text{C}] \Rightarrow m_{w,standard} \Rightarrow \Delta \vartheta_{standard} \text{ za svaki razred } j \quad \text{HRN EN (10)} \quad (9.14)$$

$\Delta \vartheta$ – temperaturna razlika na kondenzatoru (°C);

Φ_{DT} – učinak dizalice topline u standardnoj točki (podatak proizvođača, npr. *Tablica D.5 norme*), kW;

m_w – maseni protok vode na strani kondenzatora (kg/s);

c_w – spec. toplinski kapacitet vode, 4,187 kJ/kgK.

Prema normi HRN EN 14511 za standardnu radnu točku (npr. B0/W35) temperaturna razlika vode na kondenzatoru je $\Delta \vartheta = 5^{\circ}\text{C}$ i prema njoj se određuje ispitni maseni protok vode

$m_{w,standard}$.

Projektni (efektivni) maseni protok vode $m_{w,opr}$ određuje se iz projektne temperature razlike vode na kondenzatoru $\Delta \vartheta_{e,des}$ (npr. $\Delta \vartheta_{e,des} = 45 - 35 = 10^{\circ}\text{C}$):

$$m_{w,opr} = \frac{\Phi_{H,hp,sngl}(\vartheta_{e,des}, \vartheta_{sk,out})}{\Delta \vartheta_{e,des} \cdot c_w} \quad [\text{kg/s}] \quad \text{HRN EN (D15)} \quad (9.15)$$

$\Phi_{H,hp,sngl}(\vartheta_{e,des}, \vartheta_{sk,out})$ - učinak dizalice topline u pojedinačnom radu grijanja prostora prema vanjskoj projektnoj temperaturi $\vartheta_{e,des}$ (kW), Jedn. (9.12)

Temperaturna razlika sustava grijanja ($\Delta \vartheta_{opr}$) za svaki razred j prema efektivnom masenom protoku vode ($m_{w,opr}$) u ispitnim točkama određuje se iz sljedećeg izraza :

$$\Delta \vartheta_{opr} = \frac{\Phi_{H,hp,sngl}(\vartheta_{sc,s \tan d}, \vartheta_{sk,s \tan d})}{m_{w,opr} \cdot c_w} \quad [^{\circ}\text{C}] \quad \text{HRN EN (D16)} \quad (9.16)$$

$\Phi_{H,hp,sngl}(\vartheta_{sc,s \tan d}, \vartheta_{sk,s \tan d})$ - učinak dizalice topline u pojedinačnom radu grijanja prostora za ispitnu standardnu točku (kW), Jedn. (9.12).

Korigirati faktor grijanja $COP_{\Delta g}$ za uvjete različite od standardnih:

$$COP_{\Delta g} = COP_{standard} \left[1 - \frac{\frac{\Delta g_{standard} - \Delta g_{opr}}{2}}{\left\{ T_{sk} - \frac{\Delta g_{standard}}{2} + \Delta g_{sk} - (T_{sc} - \Delta g_{sc}) \right\}} \right] \quad [-] \quad \text{HRN EN (11) (9.17)}$$

$COP_{standard}$ – toplinski množitelj pri standardnoj radnoj točki (-);

$\Delta g_{standard}$ – temperaturna razlika vode na strani kondenzatora pri standardnim uvjetima (°C);

Δg_{opr} – temperaturna razlika vode na strani kondenzatora pri radnim uvjetima (°C);

T_{sk} – temperatura ponora topline (K);

T_{sc} – temperatura izvora topline (K); za podzemne vode iznosi 10 °C; za DT s tlom kao izvorom računa se prema nacionalnom dodatku normi ili prema Jedn. (9.13).

$\Delta g_{sc} = \Delta g_{sk} = 4$ °C temp. razlika na isparivaču i kondenzatoru DT voda-glikol/radna tvar;

$\Delta g_{sc} = \Delta g_{sk} = 15$ °C temp. razlika na isparivaču i kondenzatoru DT zrak/radna tvar.

Korekcija toplinskog množitelja danog za standardnu točku $COP_{standard}$ (EN 255-3) za pripremu PTV-a dana je sljedećim izrazom (vrijedi za dizalice topline zrak-voda i voda-voda):

$$COP_{opr} = COP_{standard} \cdot f_T \quad [-] \quad \text{HRN EN (C4) (9.18)}$$

$$f_T = \frac{T_{sk,out,opr} (g_{sk,out,standard} - g_{sc,in,standard})}{T_{sk,out,standard} (g_{sk,out,opr} - g_{sc,in,opr})} \quad [-] \quad \text{HRN EN (C5) (9.19)}$$

pri čemu je:

COP_{opr} – toplinski množitelj u projektnoj radnoj točki (-);

$T_{sk,out,opr}$ – polazna temperatura sustava PTV-a u radu (K);

$T_{sk,out,standard}$ – polazna temperatura sustava PTV-a u ispitnoj radnoj točki (K);

$g_{sk,out,standard}$ – polazna temperatura sustava PTV-a u ispitnoj radnoj točki (°C);

$g_{sk,out,opr}$ – polazna temperatura sustava PTV-a u radu (°C);

$g_{sc,in,standard}$ – ulazna temperatura izvora topline u ispitnoj radnoj točki (°C);

$g_{sc,in,opr}$ – ulazna temperatura izvora topline u radu (°C).

Nakon provedene iteracije COP s obzirom na temperaturnu razliku polaza i povrata sustava grijanja, potrebno je u sljedećem koraku interpolirati COP prema temperaturama toplinskog izvora g_{sc} i toplinskog ponora g_{sk} , kako bi se dobile konačne vrijednosti $COP_{H,sngl,j}$, $COP_{H,combi,j}$, $COP_{W,sngl,j}$, $COP_{W,combi,j}$ (vidi Jedn. (9.55) i (9.56)).

KOMENTAR: Korak 2 je najsloženiji dio proračuna dizalice topline prema normi HRN EN 15316-4-2. Prema podacima proizvođača (HRN EN 14511) interpolacija se provodi za učinak i COP i za grijanje prostora i za pripremu PTV-a. Ako uređaj radi u kombiniranom radu potrebno je za ulazne podatke za kombinirani rad (Tablica D.7 u normi) također interpolirati učinak i COP .

4. korak: Gubici međuspremnik i spremnik PTV-a integriranih u sustav grijanja

Norma daje opcijski mogućnost proračuna dizalice topline pri parcijalnom opterećenju, tako da se 3. korak može zanemariti.

Pri proračunu toplinskih gubitaka norma zanemaruje toplinske gubitke same dizalice topline.

Toplinski gubici spremnika PTV-a i međuspremnik sustava grijanja $Q_{HW,st,ls,j}$ u razredu j računaju se preko srednje temperature spremnika:

$$Q_{HW,st,ls,j} = U_{HW,st} \cdot (\theta_{w,st,av} - \theta_{amb,avg}) \cdot t_j / 1000 \text{ [kWh]} \quad \text{temeljem Jedn. (10.10)} \quad (9.20)$$

Ulazne veličine:

$\theta_{w,st,av}$ – prosječna temperatura vode u spremniku (°C), $\theta_{w,st,av} = 55^\circ\text{C}$;

$\theta_{amb,avg}$ – prosječna temperatura okolišnog zraka,

$\theta_{amb,avg} = 20^\circ\text{C}$ ako je spremnik smješten u grijanom prostoru;

$\theta_{amb,avg} = \theta_{e,avg} + (20^\circ\text{C} - \theta_{e,avg}) / 2$ ako je spremnik smješten u negrijanom prostoru

unutar zgrade;

$\theta_{amb,avg} = \theta_{e,avg}$ ako je spremnik smješten u prostoru izvan zgrade.

$\theta_{e,avg}$ – prosječna vanjska temperatura u promatranom periodu (Tablica 10.2), (°C);

t_j – vrijeme razreda j , (h).

Ukupni koeficijent toplinskih gubitaka spremnika:

$$U_{HW,st} = 0,16 \cdot V_{W,st}^{0,5} \text{ [W/K]} \quad \text{HRN EN 15316-4-3 (B.9)} \quad (9.21)$$

$V_{HW,st}$ – zapremina spremnika/međuspremnik (Lit).

Toplinski gubici cjevovoda ogrjevnog medija od dizalice topline do spremnika, $Q_{HW,pi,ls,j}$ računaju se prema normi HRN EN 15316-2(3)-3:

Izolirani cjevovod

$$Q_{HW,pi,ls,j} = (14 \text{ W/m}) \cdot L_{W,p} \cdot t_{HW,hp,on,j} / 1000 \text{ [kWh]} \quad (9.22)$$

Neizolirani cjevovod

$$Q_{HW,pi,ls,j} = (40 \text{ W/m}) \cdot L_{W,p} \cdot t_{HW,hp,on,j} / 1000 \text{ [kWh]} \quad (9.23)$$

$L_{W,p}$ – ukupna duljina cjevovoda primarne cirkulacije (m).

$t_{HW,hp,on,j}$ – vrijeme rada dizalice topline u režimu grijanja prostora/pripreme PTV-a za razred j :

$$t_{H,hp,on,j} = \frac{Q_{H,gen,out,j} + Q_{H,st,ls,j}}{\Phi_{H,hp,sngl,j}} \text{ [h]} ; \quad t_{W,hp,on,j} = \frac{Q_{W,gen,out,j} + Q_{W,st,ls,j}}{\Phi_{W,hp,sngl,j}} \text{ [h]} \quad (9.24)$$

$\Phi_{H,hp,sngl,j}$ – učinak dizalice topline u pojedinačnom radu grijanja prostora (kW), Jedn. (9.12);

$\Phi_{W,hp,sngl,j}$ – učinak dizalice topline u pojedinačnom radu pripreme PTV-a (kW), Jedn. (9.12).

5. korak: Proračun energije pomoćnog izvora topline za grijanje i PTV

Pomoćni izvor topline koristi se u slučaju kada:

- dolazi do pada učinka dizalice topline (pri nižim okolišnim temperaturama)
- dizalica topline ne osigurava projektu temperaturu polaznog voda. U većini slučajeva dizalica topline za potrebe grijanja osigurava temperaturu polaznog voda do 55 °C.

Faktor udjela rada pomoćnog grijača za pripremu PTV-a računa se prema sljedećem izrazu:

$$k_{W,bu,opr,j} = \frac{(\vartheta_{w,out} - \vartheta_{hp,opr})}{(\vartheta_{w,out} - \vartheta_{w,in})} \quad [-] \quad \text{HRN EN (18)} \quad (9.25)$$

$\vartheta_{w,out}$ – temperatura polaznog voda sustava grijanja dogrijavana pomoćnim grijačem, °C (npr. 60 °C);

$\vartheta_{hp,opr}$ – temperatura polaza dizalice topline (°C) (npr. 55 °C);

$\vartheta_{w,in}$ – temperatura hladne napojne vode (°C).

Računa se ako je $\vartheta_{w,out} > \vartheta_{hp,opr}$.

Faktor udjela rada pomoćnog grijača za grijanje prostora računa se prema sljedećem izrazu (paralelni režim rada DT, *Slika 9.3*) $\vartheta_{bal} < \vartheta_{h,lim,j}$

$$k_{H,bu,cap,j} = \frac{A_{bu,j}}{A_j} = \frac{DH_{H,\vartheta_{bal}} - (\vartheta_{i,des} - \vartheta_{bal})N_{k,\vartheta_{bal}}}{DH_{H,\vartheta_{h,lim,j}}} \quad [-] \quad \text{HRN EN (24)} \quad (9.26)$$

$DH_{H,\vartheta_{bal}}$ – kumulativni broj stupanj sati grijanja od minimalne vanjske temperature do balansne temperature °Ch (*Tablica 9.1 i 9.2*);

$DH_{H,\vartheta_{h,lim,j}}$ – kumulativni broj stupanj sati grijanja do gornje temperaturne granice razreda j , °Ch (*Tablica 9.1 i 9.2*);

$\vartheta_{i,des}$ – unutarnja projektna temperatura (°C);

ϑ_{bal} – balansna temperatura, okolišna temperatura zraka kod koje se uključuje pomoćni grijač, (npr. -4 °C);

$N_{k,\vartheta_{bal}}$ – kumulativni broj sati pojavljivanja vanjske temperature do balansne temperature (h) (*Tablica 9.1 i 9.2*).

Za slučaj da je balansna temperatura ϑ_{bal} viša od gornje temperaturne granice razreda j , $\vartheta_{h,lim,j}$ ($\vartheta_{bal} > \vartheta_{h,lim,j}$) faktor udjela rada pomoćnog grijača za paralelni režim rada dizalice topline računa se na sljedeći način:

$$k_{H,bu,cap,j} = \frac{A_{bu,j}}{A_j} = \frac{DH_{H,\vartheta_{h,lim,j}} - (\vartheta_{i,des} - \vartheta_{bal}) \cdot N_{k,\vartheta_{h,lim,j}}}{DH_{H,\vartheta_{h,lim,j}}} \quad [-] \quad \text{HRN EN (22)} \quad (9.27)$$

$$k_{H,bu,cap,j+1} = \frac{A_{bu,j+1}}{A_{j+1}} = \frac{(DH_{H,\vartheta_{bal}} - DH_{H,\vartheta_{h,lim,j}}) - (\vartheta_{i,des} - \vartheta_{bal}) \cdot (N_{k,\vartheta_{bal}} - N_{k,\vartheta_{h,lim,j}})}{DH_{H,\vartheta_{h,lim,j+1}} - DH_{H,\vartheta_{h,lim,j+1}}} \quad [-] \quad \text{HRN EN (23)} \quad (9.28)$$

Faktor udjela rada pomoćnog grijača za **alternativni režim rada dizalice topline**

$\vartheta_{bal} < \vartheta_{h,lim,j}$:

$$k_{H,bu,cap,j} = \frac{A_{bu,j}}{A_j} = \frac{DH_{H,\vartheta_{bal}}}{DH_{H,\vartheta_{h,lim,j}}} \quad [-] \quad \text{HRN EN (21)} \quad (9.29)$$

$DH_{H, \vartheta_{bal}}$ – kumulativni broj stupanj sati grijanja od minimalne vanjske temperature do balansne temperature ($^{\circ}\text{Ch}$) (Tablica 9.1 i 9.2);

$DH_{H, \vartheta_{h, \lim, j}}$ – kumulativni broj stupanj sati grijanja do gornje temperaturne granice razreda j ($^{\circ}\text{Ch}$) (Tablica 9.1 i 9.2).

Za slučaj da je balansna temperatura ϑ_{bal} viša od gornje temperaturne granice razreda j , $\vartheta_{h, \lim, j}$ ($\vartheta_{bal} > \vartheta_{h, \lim, j}$) faktor udjela rada pomoćnog grijača za grijanje prostora računa se na sljedeći način:

$$k_{H, bu, cap, j} = \frac{A_{bu, j}}{A_j} = \frac{DH_{H, \vartheta_{h, \lim, j}}}{DH_{H, \vartheta_{h, \lim, j}} - DH_{H, \vartheta_{l, \lim, j}}} = 1 \quad [-] \quad \text{HRN EN (19) (9.30)}$$

$$k_{H, bu, cap, j+1} = \frac{A_{bu, j+1}}{A_{j+1}} = \frac{DH_{H, \vartheta_{bal}} - DH_{H, \vartheta_{l, \lim, j+1}}}{DH_{H, \vartheta_{h, \lim, j+1}} - DH_{H, \vartheta_{l, \lim, j+1}}} \quad [-] \quad \text{HRN EN (20) (9.31)}$$

Sve oznake kao u prethodnoj jednadžbi.

U praksi se rijetko pojavljuje situacija da je $\vartheta_{bal} > \vartheta_{h, \lim, j}$ (Jedn. (9.27), (9.28), (9.30) i (9.31)).

Toplinska energija pomoćnog izvora topline $Q_{HW, bu, j}$:

$$\begin{aligned} Q_{HW, bu, j} &= Q_{bu, cap, j} + Q_{bu, opr, j} \\ &= k_{H, bu, cap, j} (Q_{H, gen, out, j} + Q_{H, gen, ls, j}) + k_{W, bu, opr, j} (Q_{W, gen, out, j} + Q_{W, gen, ls, j}) \quad [\text{kWh}] \end{aligned} \quad (9.32)$$

$k_{H, bu, cap, j}$ - faktor udjela rada pomoćnog grijača za gr. prostora uslijed pada učinka DT (-);

$k_{W, bu, opr, j}$ - faktor udjela rada pomoćnog grijača za pripremu PTV-a uslijed povećanja temperature polaznog voda (-).

6. korak: Proračun vremena rada tri različita režima grijanja - GR, PTV, GR/PTV

Dizalica topline može se primjeniti na sljedeće načine:

- samo zagrijavanje prostora ili samo priprema PTV-a;
- naizmjenično za zagrijavanje prostora i pripremu PTV-a (kad radi grijanje ne radi PTV i obrnuto);
- simultano (kombinirano) za zagrijavanje prostora i pripremu PTV-a (posebna izvedba dizalice topline, znatno skuplji uređaji).

Vrijeme rada dizalice topline ovisi o učinku dizalice topline za zadane radne uvjete i potrebnoj toplinskoj energiji podsustava razvoda.

Ukupno vrijeme rada dizalice topline u razredu j , $t_{hp,on,tot,j}$:

$$t_{hp,on,tot,j} = t_{H,hp,on,sngl,j} + t_{W,hp,on,sngl,j} + t_{HW,hp,on,combi,j} \quad [\text{h}] \quad \text{HRN EN (30)} \quad (9.33)$$

$t_{H,hp,on,sngl,j}$ – vrijeme rada DT samo u režimu zagrijavanja prostora u razredu j (h);

$t_{W,hp,on,sngl,j}$ – vrijeme rada DT samo u režimu pripreme PTV-a u razredu j (h);

$t_{HW,hp,on,combi,j}$ – vrijeme rada DT samo u simultanom režimu zagrijavanja prostora i PTV-a u razredu j (h).

Maksimalno vrijeme rada DT u simultanom (kombiniranom) režimu određuje se iz sljedeće jednadžbe:

$$t_{HW,hp,on,combi,max,j} = \min \begin{cases} t_{H,hp,on,j} \\ t_{W,hp,on,j} \end{cases} \quad [\text{h}] \quad \text{HRN EN (31)} \quad (9.34)$$

gdje se vrijeme rada DT u režimu pripreme PTV-a određuje iz sljedeće jednadžbe

$$t_{W,hp,on,j} = \frac{Q_{W,hp,j}}{\Phi_{W,hp,combi,j}} \quad [\text{h}] \quad \text{HRN EN (32)} \quad (9.35)$$

i analogno za režim zagrijavanja prostora:

$$t_{H,hp,on,j} = \frac{Q_{H,hp,j}}{\Phi_{H,hp,combi,j}} \quad [\text{h}] \quad \text{HRN EN (33)} \quad (9.36)$$

$t_{HW,hp,on,combi,max,j}$ - maksimalno moguće vrijeme rada DT u kombiniranom radu u razredu j (h);

$t_{W,hp,on,j}$ – vrijeme rada DT u režimu pripreme PTV-a u razredu j (h);

$Q_{W,hp,j}$ - proizvedena toplinska energija DT za pripremu PTV-a u razredu j (kWh);

$\Phi_{W,hp,combi,j}$ - toplinski učinak DT za pripremu PTV-a u kombiniranom radu u razredu j (kW), interpolacija prema temperaturi topl. izvora i ponora ekvivalentno prema Jedn. (9.10)÷(9.12);

$t_{H,hp,on,j}$ – vrijeme rada DT u režimu zagrijavanja prostora u razredu j (h);

$Q_{H,hp,j}$ - proizvedena toplinska energija DT za zagrijavanje prostora u razredu j , (kWh);

$\Phi_{H,hp,combi,j}$ - toplinski učinak DT za zagrijavanje prostora u kombiniranom radu u razredu j (kW), interpolacija prema temperaturi topl. izvora i ponora ekvivalentno prema Jedn. (9.10) ÷ (9.12).

Utjecaj regulacijskog sustava (sustava upravljanja) na vrijeme rada uređaja uzima se preko korekcijskog faktora f_{combi} :

$$t_{HW, hp, on, combi, j} = f_{combi} t_{HW, hp, on, combi, max, j} \quad [h] \quad \text{HRN EN (34)} \quad (9.37)$$

$t_{HW, hp, on, combi, j}$ - vrijeme rada DT u kombiniranom radu u razredu j (h);

$t_{HW, hp, on, combi, max, j}$ - maksimalno moguće vrijeme rada DT u kombiniranom radu u razredu j (h);

f_{combi} - korekcijski faktor regulacijskog sustava, (procijenjena $f_{combi} = 0,7$, ako se zanemaruje $f_{combi} = 1$).

Proizvedena toplinska energija dizalice topline za pripremu PTV-a u razredu j računa se prema sljedećem izrazu:

$$Q_{W, hp, j} = (Q_{W, gen, out, j} + Q_{W, gen, ls, j}) (1 - k_{W, bu, opr, j}) \quad [kWh] \quad (9.38)$$

$Q_{W, gen, out, j}$ – toplinska energija na izlazu iz podsustava proizvodnje (=potrebna toplinska energija podsustava razvoda PTV-a u razredu j) (kWh);

$Q_{W, gen, ls, j}$ – toplinski gubici generatora topline u razredu j (kWh);

$k_{W, bu, opr, j}$ - faktor udjela rada pomoćnog grijača za pripremu PTV-a u razredu j (-).

Proizvedena toplinska energija dizalice topline za zagrijavanje prostora u razredu j računa se prema sljedećem izrazu:

$$Q_{H, hp, j} = (Q_{H, gen, out, j} + Q_{H, gen, ls, j}) (1 - k_{H, bu, cap, j}) \quad [kWh] \quad (9.39)$$

$Q_{H, gen, out, j}$ – toplinska energija na izlazu iz podsustava proizvodnje (=potrebna toplinska energija podsustava razvoda grijanja prostora u razredu j) (kWh);

$Q_{H, gen, ls, j}$ – toplinski gubici podsustava proizvodnje u razredu j (kWh);

$k_{H, bu, cap, j}$ - faktor udjela rada pomoćnog grijača za zagrijavanje prostora u razredu j (-).

Toplinska energija proizvedena u kombiniranom radu za pripremu PTV-a računa se prema sljedećem izrazu:

$$Q_{W, hp, combi, j} = \Phi_{W, hp, combi, j} t_{W, hp, on, combi, j} \quad [kWh] \quad \text{HRN EN (35)} \quad (9.40)$$

Ostatak energije proizvedene dizalicom topline za pripremu PTV-a, proizvede se u pojedinačnom radu i određuje se prema sljedećoj jednadžbi:

$$Q_{W, hp, sngl, j} = Q_{W, hp, j} - Q_{W, hp, combi, j} \quad [kWh] \quad \text{HRN EN (36)} \quad (9.41)$$

gdje su

$Q_{W, hp, combi, j}$ – topl. energija proizvedena u kombiniranom radu DT za pripremu PTV-a u razredu j (kWh);

$\Phi_{W, hp, combi, j}$ - toplinski učinak DT za pripremu PTV-a u kombiniranom radu u razredu j (kW), interpolacija prema temperaturi topl. izvora i ponora ekvivalentno prema Jedn. (9.10)÷(9.12);

$t_{W, hp, on, combi, j}$ - vrijeme rada DT u kombiniranom radu u razredu j (h);

$Q_{W, hp, sngl, j}$ - topl. energija proizvedena u pojedinačnom radu DT za pripremu PTV-a u razredu j (kWh);

$Q_{W, hp, j}$ - proizvedena toplinska energija DT za pripremu PTV-a u razredu j (kWh).

Toplinska energija proizvedena u kombiniranom radu za grijanje prostora računa se prema sljedećem izrazu:

$$Q_{H,hp,combi,j} = \Phi_{H,hp,combi,j} t_{H,hp,on,combi,j} \quad [\text{kWh}] \quad \text{HRN EN (35)} \quad (9.42)$$

Ostatak energije proizvedene dizalicom topline za grijanje prostora, proizvede se u pojedinačnom radu i određuje se prema sljedećoj jednadžbi:

$$Q_{H,hp,sngl,j} = Q_{H,hp,j} - Q_{H,hp,combi,j} \quad [\text{kWh}] \quad \text{HRN EN (36)} \quad (9.43)$$

gdje su

$Q_{H,hp,combi,j}$ – topl. energija proizvedena u kombiniranom radu DT za grijanje prostora u razredu j (kWh);

$\Phi_{H,hp,combi,j}$ – toplinski učinak DT za grijanje prostora u kombiniranom radu u razredu j (kW), interpolacija prema temperaturi topl. izvora i ponora ekvivalentno prema Jedn. (9.10)÷(9.12);

$t_{H,hp,on,combi,j}$ – vrijeme rada DT u kombiniranom radu u razredu j (h);

$Q_{H,hp,sngl,j}$ – proizvedena toplinska energija u pojedinačnom radu DT za grijanje prostora u razredu j (kWh);

$Q_{H,hp,j}$ – proizvedena toplinska energija DT za grijanje prostora u razredu j (kWh).

Toplinsku energiju proizvedenu u pojedinačnom radu DT za pripremu PTV-a u razredu j , $Q_{W,hp,sngl,j}$ potrebno je korigirati (oduzeti) za gubitke spremnika koje je već norma EN 255-3 uzela u obzir. Ovo nije nužno učiniti ako podaci o radu dizalici topline prema EN 255-3 nisu dostupni. Korigirana vrijednost iznosi:

$$Q_{W,hp,out,sngl,j} = Q_{W,hp,sngl,j} - Q_{W,st,ls,j} (1 - k_{W,bu,opr,j}) \cdot (1 - f_{combi}) \quad [\text{kWh}] \quad \text{HRN EN (37)} \quad (9.44)$$

Sličan izraz glasi i za korekciju potrebne toplinske energije za pripremu PTV-a od strane DT u kombiniranom radu:

$$Q_{W,hp,out,combi,j} = Q_{W,hp,combi,j} - Q_{W,st,ls,j} (1 - k_{W,bu,opr,j}) \cdot f_{combi} \quad [\text{kWh}] \quad \text{HRN EN (38)} \quad (9.45)$$

Vrijeme rada dizalice topline samo u režimu pripremu PTV-a računa se iz sljedećeg izraza:

$$t_{W,hp,on,sngl,j} = \frac{Q_{W,hp,sngl,j}}{\Phi_{W,hp,sngl,j}} \quad [\text{h}] \quad \text{HRN EN (D.42)} \quad (9.46)$$

Analogno vrijedi izraz za vrijeme rada dizalice topline samo u režimu grijanja prostora:

$$t_{H,hp,on,sngl,j} = \frac{Q_{H,hp,sngl,j}}{\Phi_{H,hp,sngl,j}} \quad [\text{h}] \quad \text{HRN EN (D.43)} \quad (9.47)$$

gdje su:

$Q_{W,hp,sngl,j}$ – topl. energija proizvedena u pojedinačnom radu DT za pripremu PTV-a u razredu j (kWh);

$\Phi_{W,hp,sngl,j}$ – toplinski učinak DT za zagrijavanje PTV-a u pojedinačnom radu u razredu j (kW), interpolacija prema temperaturi topl. izvora i ponora ekvivalentno prema Jedn. (9.10) ÷ (9.12);

$Q_{H,hp,sngl,j}$ – topl. energija proizvedena u pojedinačnom radu DT za grijanje prostora u razredu j (kWh);

$\Phi_{H,hp,sngl,j}$ – toplinski učinak DT za grijanje prostora u pojedinačnom radu u razredu j (kW), Jedn. (9.12).

Ukupno vrijeme rada dizalice topline $t_{hp,on,tot,j}$ računa se iz sljedećeg izraza:

$$t_{hp,on,tot,j} = \min \left\{ t_{eff,j} \right. \left. t_{H,hp,on,sngl,j} + t_{W,hp,on,sngl,j} + t_{HW,hp,on,combi,j} \right\} \quad [\text{h}] \quad \text{HRN EN (39)} \quad (9.48)$$

gdje su:

$t_{eff,j}$ - efektivno vrijeme razreda j , h

$t_{H,hp,on,sngl,j}$ - vrijeme rada dizalice topline samo u režimu grijanja prostora u razredu j (h);

$t_{W,hp,on,sngl,j}$ - vrijeme rada dizalice topline samo u režimu pripreme PTV-a u razredu j (h);

$t_{hp,on,combi,j}$ - vrijeme rada DT u kombiniranom radu u razredu j (h);

Dizalice topline u praksi se rijetko izvode na način da rade u kombiniranom radu. To bi pretpostavilo posebnu izvedbu uređaja kod kojeg se toplina pregrijanih para koristi za grijanje PTV-a, a u isto vrijeme toplina kondenzacije za zagrijavanje vode za grijanje prostora. Dizalice topline u većini slučajeva ili griju prostor ili PTV, što prilično pojednostavljuje proračun dan u izrazima (9.33) do (9.48).

Ako je $t_{hp,on,tot,j} > t_{eff,j}$ potrebnu energiju za grijanje uslijed gubitka kapacitea potrebno je pokriti pomoćnim grijačem.

Pomoćna energija za grijanje uslijed gubitka kapaciteta $Q_{bu,cap,j}$ računa se na sljedeći način:

$$Q_{bu,cap,j} = \Phi_{HW,hp,sngl,j} (t_{hp,on,tot,j} - t_{eff,j}) \quad [\text{kWh}] \quad \text{HRN EN (40)} \quad (9.49)$$

gdje su:

$\Phi_{HW,hp,sngl,j}$ - toplinski učinak DT za grijanje prostora ili pripremu PTV-a u pojedinačnom radu u razredu j (kW), interpolacija prema temperaturi topl. izvora i ponora ekvivalentno prema Jedn. (9.10)÷(9.12);

$t_{hp,on,tot,j}$ - ukupno proračunsko vrijeme rada dizalice topline u razredu j (h);

$t_{eff,j}$ - efektivno vrijeme razreda j (h).

7. korak: Pomoćna energija toplinskog izvora i toplinskog ponora

Pomoćna energija računa se iz sljedećeg izraza:

$$W_{HW,gen,aux} = \sum_k P_{gen,aux,k} \cdot t_{gen,aux,on,k} \quad [\text{kWh}] \quad \text{HRN EN (42)} \quad (9.50)$$

$W_{HW,gen,aux}$ – ukupna pomoćna energija (kWh);

$P_{gen,aux,k}$ – električna snaga pomoćne komponente k (kW);

$t_{gen,aux,on,k}$ – vrijeme rada ili aktivacije pomoćne komponente (pumpe, ventilatora) (h).

Vrijeme rada cirkulacijske pumpe izvora topline je vrijeme rada dizalice topline. Norma HRN EN 14511 za izračun COP vrijednosti u radnim točkama uzima ventilator izvora topline i električni grijač sustava za odleđivanje (zrak izvor topline). Regulacija je također sadržana u izraz za COP prema normi HRN EN 14511.

Kod sustava s međuspremnikom, pumpa ogrjevnog medija (primarna pumpa) je vezana s radom dizalice topline i nju je ovdje potrebno uzeti u proračun. Pumpa spremnika PTV-a je uključena u COP prema EN 255-3 i ne uzima se u proračun pomoćne energije, ali se uzima u proračun toplinskih gubitaka.

Primjer: dizalica topline tlo-voda. Sumu pomoćne energije prema Jedn. (9.50) u tom slučaju čine tri člana:

- pomoćna energija pumpe izvora topline;
- pomoćna energija primarne pumpe (DT-međuspremnik);
- pomoćna energija regulacije kada je uređaj izvan pogona.

8. korak: Ukupni toplinski gubici podsustava proizvodnje i iskoristivi toplinski gubici

Kod mehaničkih pomoćnih uređaja (pumpe i ventilatori) gdje se toplinski gubici predaju cirkulacijskom mediju (izraženi su u *COP* vrijednostima prema HRN EN 14 511, $k_{gen,aux,ls,rnd,k}=0$), gubici na okolinu se računaju s koeficijentom udjela $k_{gen,aux,ls}=0,2$ (za regulacijske uređaje $k_{gen,aux,ls}=1$):

$$Q_{gen,aux,ls,j} = \sum_k W_{gen,aux,k,j} \cdot k_{gen,aux,ls,k} \quad [\text{kWh}] \quad \text{HRN EN (44)} \quad (9.51)$$

$Q_{gen,aux,ls,j}$ – gubici topline od pomoćnih komponenti u razredu j (kWh);

$W_{gen,aux,k,j}$ – pomoćna energija za pogon pomoćne komponente k u razredu j (kWh);

$k_{gen,aux,ls,k}$ – koeficijent udjela pomoćne energije komponente k predane okolini (-).

Ukupni toplinski gubici podsustava proizvodnje u razredu j $Q_{HW,gen,ls,tot,j}$, računaju se sljedećom jednadžbom:

$$Q_{HW,gen,ls,tot,j} = Q_{HW,gen,ls,j} + Q_{HW,gen,aux,ls,j} = \sum_k Q_{gen,ls,k,j} + Q_{HW,gen,aux,ls,j} \quad [\text{kWh}] \quad \text{HRN EN (46)} \quad (9.52)$$

gdje su:

$Q_{HW,gen,ls,j}$ – toplinski gubici podsustava proizvodnje u razredu j (kWh);

$Q_{gen,ls,k,j}$ – toplinski gubici kroz ovojnicu k -te komponente podsustava proizvodnje u razredu j (kWh);

$Q_{HW,gen,aux,ls,j}$ – gubici topline na okolinu od pomoćnih komponenti u razredu j (kWh).

Iskoristivi toplinski gubici pomoćne komponente k :

$$Q_{HW,gen,aux,ls,rbl,j} = \sum_k W_{gen,aux,k,j} \cdot k_{gen,aux,ls,k} (1 - b_{gen,aux}) \quad [\text{kWh}] \quad \text{HRN EN (45)} \quad (9.53)$$

Iskoristivi toplinski gubici kroz ovojnicu k -te komponente podsustava proizvodnje koriste sličan izraz prethodnom:

$$Q_{HW,gen,ls,rbl,j} = \sum_k Q_{gen,ls,k,j} \cdot (1 - b_{gen,k}) \quad [\text{kWh}] \quad \text{HRN EN (47)} \quad (9.54)$$

gdje su:

$Q_{HW,gen,aux,ls,rbl,j}$ – iskoristivi toplinski gubici na okolinu od pomoćnih komponenti u razredu j , (kWh);

$W_{gen,aux,k,j}$ – pomoćna energija za pogon pomoćne komponente k u razredu j (kWh);

$k_{gen,aux,ls,k}$ – koeficijent udjela pomoćne energije komponente k predane okolini (-);

$b_{gen,aux}$ – redukcijski temperaturni faktor pomoćne komponente k (-);

$Q_{HW,gen,ls,rbl,j}$ – iskoristivi toplinski gubici kroz ovojnicu k -te komponente podsustava proizvodnje u razredu j (kWh);

$Q_{gen,ls,k,j}$ – toplinski gubici kroz ovojnicu k -te komponente podsustava proizvodnje u razredu j (kWh);

b_{gen} – redukcijski temperaturni faktor podsustava proizvodnje, (-).

U slučaju da su dizalica topline (podsustav proizvodnje), spremnici i pomoćne komponente instalirane unutar grijanog prostora, redukcijski temperaturni faktor $b_{gen} = b_{gen,aux} = 0$.

Ako su navedene komponente instalirane izvan grijanog prostor redukcijski temperaturni faktor $b_{gen} = b_{gen,aux} = 1$.

9. korak: Proračun električne energije za pogon dizalice topline**Električna energija za pogon dizalice topline za grijanje prostora:**

$$E_{H,hp,in} = \sum_{j=1}^{N_{bins}} \frac{Q_{H,hp,sngl,j}}{COP_{H,sngl,j}} + \sum_{j=1}^{N_{bins}} \frac{Q_{H,hp,combi,j}}{COP_{H,combi,j}} \quad [\text{kWh}] \quad \text{HRN EN (49)} \quad (9.55)$$

 $E_{H,hp,in,j}$ – utrošena el. energija za pogon dizalice topline u režimu grijanja (kWh); $Q_{H,hp,sngl,j}$ – proizvedena toplinska energija DT u režimu grijanja prostora u pojedinačnom radu u razredu j (kWh); $Q_{H,hp,combi,j}$ – proizvedena toplinska energija DT u režimu grijanja prostora u kombiniranom radu u razredu j (kWh); $COP_{H,sngl,j}$ – prosječni toplinski množitelj u režimu grijanja prostora u pojedinačnom radu za radnu točku razreda j (-), Jedn. (9.17) i druga interpolacija prema temp. topl izvora i topl. ponora; $COP_{H,combi,j}$ – prosječni toplinski množitelj u režimu grijanja prostora u kombiniranom radu za radnu točku razreda j (-), Jedn. (9.17) i druga interpolacija prema temp. topl izvora i topl. ponora; N_{bins} – broj razreda (-).**Električna energija za pogon dizalice topline za pripremu PTV-a:**

$$E_{W,hp,in} = \sum_{j=1}^{N_{bins}} \frac{Q_{W,hp,out,sngl,j}}{COP_{W,sngl,j}} + P_{es,sngl} t_{W,sngl,tot,j} + \sum_{j=1}^{N_{bins}} \frac{Q_{W,hp,out,combi,j}}{COP_{W,combi,j}} + P_{es,combi} t_{W,combi,tot,j} \quad [\text{kWh}] \quad \text{HRN EN (50)} \quad (9.56)$$

 $E_{W,hp,in}$ – utrošena el. energija za pogon DT za pripremu PTV-a (kWh); $Q_{W,hp,out,sngl,j}$ – proizvedena toplinska energija DT u režimu pripreme PTV u pojedinačnom radu s korekcijom gubitaka spremnika PTV-a u razredu j (kWh); $Q_{W,hp,out,combi,j}$ – proizvedena toplinska energija DT u režimu pripreme PTV-a u kombiniranom radu s korekcijom gubitaka spremnika PTV-a u razredu j (kWh); $COP_{W,sngl,j}$ – prosječni toplinski množitelj u režimu pripreme PTV-a u pojedinačnom radu za radnu točku razreda j (-), Jedn. (9.18) i druga interpolacija prema temp. topl izvora i topl. ponora; $COP_{W,combi,j}$ – prosječni toplinski množitelj u režimu pripreme PTV-a u kombiniranom radu za radnu točku razreda j (-), Jedn. (9.18) i druga interpolacija prema temp. topl izvora i topl. ponora; $P_{es,sngl}$ – el. snaga za pokrivanje gubitaka spremnika u režimu pripreme PTV-a u pojedinačnom radu prema EN 255-3 (ulazni podatak) (kW); $P_{es,combi}$ – el. snaga za pokrivanje gubitaka spremnika u režimu pripreme PTV-a u kombiniranom radu prema EN 255-3 (ulazni podatak) (kW); $t_{W,sngl,tot}$ – ukupno vrijeme rada sustava za pripremu PTV-a u pojedinačnom radu,

$$t_{W,sngl,tot} = t_j \cdot (1 - f_{combi}) \quad (\text{h});$$

 $t_{W,combi,tot}$ – ukupno vrijeme rada sustava za pripremu PTV-a u kombiniranom radu,

$$t_{W,combi,tot} = t_j \cdot f_{combi} \quad (\text{h});$$

 N_{bins} – broj razreda (-).

Energija za pogon pomoćnog grijača:

$$E_{HW,bu,in} = \sum_{j=1}^{N_{bins}} \frac{(Q_{H,gen,out,j} + Q_{H,gen,ls,j}) \cdot k_{H,bu,cap,j}}{\eta_{H,bu}} + \frac{(Q_{W,gen,out,j} + Q_{W,gen,ls,j}) \cdot k_{W,bu,opr,j}}{\eta_{W,bu}} \quad [\text{kWh}]$$

HRN EN (52) (9.57)

$\eta_{H,bu}$ - stupanj djelovanja pomoćnog grijača za slučaj zagrijavanja prostora, (-);

$\eta_{W,bu}$ - stupanj djelovanja pomoćnog grijača za slučaj pripreme PTV-a, (za električni grijač

$\eta_{H,bu} = \eta_{W,bu} = 0,95$).

Za slučaj da je pomoćni grijač uljni ili plinski bojler (kotao) za određivanje stupnja djelovanja koristi se norma HRN EN 15316-4-1.

Ukupno isporučena energija generatoru topline (dizalica topline + pomoćni grijač) u svim temperaturnim razredima:

$$E_{HW,gen,in} = E_{H,hp,in} + E_{W,hp,in} + E_{HW,bu,in} \quad [\text{kWh}]$$

HRN EN (53) (9.58)

$E_{HW,gen,in}$ – pogonska energija za pogon generatora topline (dizalice topline i pomoćnog grijača) za grijanje prostora i pripremu PTV-a, (kWh);

$E_{H,hp,in}$ – utrošena energija za pogon dizalice topline u režimu grijanja u svim razredima, (kWh);

$E_{W,hp,in}$ – utrošena energija za pogon DT za pripremu PTV-a u svim razredima (kWh);

$E_{HW,bu,in}$ – utrošena energija za pogon pomoćnog grijača u režimu grijanja prostora i pripreme PTV-a u svim razredima (kWh).

10. korak: Rezultati proračuna – Izlazni podaci**Ukupna pomoćna energija podsustava proizvodnje:**

$$W_{HW,gen,aux} = \sum_k P_{gen,aux,k} \cdot t_{gen,aux,on,k} \quad [\text{kWh}] \quad \text{HRN EN (42)} \quad (9.59)$$

Proračun vraćene pomoćne energije radnom mediju:

$Q_{HW,gen,aux,rvd}=0$ (NAPOMENA: energija uzeta u obzir u vrijednosti COP prema HRN EN 14511)

Ukupni toplinski gubici podsustava proizvodnje:

$$Q_{HW,gen,ls,tot} = Q_{H,gen,ls} + Q_{W,gen,ls} + Q_{HW,gen,aux,ls} \quad [\text{kWh}] \quad \text{HRN EN (46)} \quad (9.60)$$

Ukupni iskoristivi toplinski gubici podsustava proizvodnje:

$$Q_{HW,gen,ls,rbl,tot} = Q_{HW,gen,ls,rbl} + Q_{HW,gen,aux,ls,rbl} \quad [\text{kWh}] \quad \text{HRN EN (48)} \quad (9.61)$$

Ukupna pogonska energija potrebna za pogon dizalice topline i pomoćnog grijača:

$$E_{HW,gen,in} = E_{H,hp,in} + E_{W,hp,in} + E_{HW,bu,in} \quad [\text{kWh}] \quad \text{HRN EN (53)} \quad (9.62)$$

Ukupna toplinska energija proizvedena pomoćnim grijačem:

$$Q_{HW,bu,out}=Q_{HW,bu} = Q_{H,bu,cap} + Q_{W,bu,opr} \quad [\text{kWh}] \quad (9.63)$$

Godišnji toplinski množitelj podsustava proizvodnje topline pomoću dizalice topline:

$$SPF_{HW,gen} = \frac{Q_{H,gen,out} + Q_{W,gen,out}}{E_{HW,hp,in} + E_{HW,bu,in} + W_{HW,gen,aux}} \quad [-] \quad \text{HRN EN (54)} \quad (9.64)$$

Godišnji toplinski množitelj dizalice topline:

$$SPF_{HW,hp} = \frac{Q_{HW,hp,out}}{E_{HW,hp,in} + W_{gen,aux,sc} + W_{gen,aux,sby}} = \frac{(Q_{H,gen,out} + Q_{H,gen,ls} + Q_{W,gen,out} + Q_{W,gen,ls} - Q_{HW,bu,out})}{E_{HW,hp,in} + W_{gen,aux,sc} + W_{gen,aux,sby}} \quad [-] \quad \text{HRN EN (55 i 58)} \quad (9.65)$$

$W_{gen,aux,sc}$ – pomoćna energija izvora topline (kWh), Jedn. (9.50);

$W_{gen,aux,sby}$ – pomoćna energija regulacije (kWh), Jedn. (9.50).

Obnovljiva energija podsustava proizvodnje (od izvora topline: zrak, voda, tlo) – proizlazi iz energetske bilance generatora topline:

$$Q_{HW,renew,in} = Q_{HW,gen,out} + Q_{HW,gen,ls} - E_{HW,gen,in} - k_{gen,aux,ls,rvd} W_{HW,gen,aux} \quad [\text{kWh}] \quad \text{HRN EN (1)} \quad (9.66)$$

$Q_{HW,renew,in}$ – obnovljiva energija podsustava proizvodnje (kWh);

$Q_{HW,gen,out}$ – potrebna topl. energija podsustava razvoda (kWh);

$Q_{HW,gen,ls}$ – topl. gubici podsustava proizvodnje (kWh);

$E_{HW,gen,in}$ – utrošena električna energija za pogon podsustava proizvodnje (kWh);

$k_{gen,aux,ls,rvd}$ – udio iskorištene pomoćne energije kao toplinske energije, $k_{gen,aux,ls,rvd,k}=0$ za kompresijske dizalice topline s el. pogonom, vidi Korak 8 (-);

$W_{HW,gen,aux}$ – utrošena pomoćna energija podsustava proizvodnje (pumpe, ventilatori, regulacija) (kWh).

PRIMJER PRORAČUNA DIZALICE TOPLINE ZRAK-VODA

Dva scenarija: - niskoenergetska kuća: godišnja potrebna topl. en za gr. 7.375 kWh (27,4 kWh/m²a) - prosječna kuća: godišnja potrebna toplinska energija za grijanje 46.909 kWh/a (175 kWh/m²a).

Ulazni podaci

Parametar	Niskoenergetska kuća	Prosječna kuća
Meteorološki podaci	Zagreb	Zagreb
Vrsta dizalice topline	zrak-voda	zrak-voda
GRIJANJE	podno gr. 35/30 °C	rad. gr. 55/45°C
Učinak dizalice topline (A2/W35), kW	10,6	21,1
Vanjska projektna temperatura, °C	-10	-10
Potrebna topl. en. podsustava razvoda, kWh/a	8.070	53.922
Unutarnja projektna temperatura, °C	20	20
Krivulja grijanja podnog grijanja, °C	-10/35; +7/28,3	-10/55; +7/39,4
Granična vanjska temperatura grijanja, °C	15	15
Balansna točka dizalice topline, °C	-4	-4
Režim rada pomoćnog električnog grijača	paralelni	paralelni
PTV		
Potrebna topl. en. podsustava razvoda, kWh/a	8475	8292
Temperatura hladne vode, °C	15	15
Prosječna temp. PTV-a na izlazu iz spremnika, °C	55	55
Volumen spremnika, l	750	750
Temperatura prostorije spremnika, °C	15	15
DODATNI PODACI		
Pumpa spremnika PTV-a, W	45	45
Regulacija, W	12	20

Rezultati proračuna

Parametar	Niskoenergetska kuća - podno grijanje	Prosječna kuća - radijatorsko grijanje
El. en. za pogon dizalice topline, GR, kWh/a	2.072	18.847
El. en. za pogon dizalice topline, PTV, kWh/a	3.063	3.410
Energija za pogon pomoćnog grijača, kWh/a	61	394
Ukupna pomoćna energija (pumpe, regulacija), kWh/a	290	461
Ukupno isporučena el. energija podsustavu proizvodnje, kWh/a	5.486	23.112
Ukupni toplinski gubici podsustava proizvodnje, kWh/a	847	877
Iskoristivi toplinski gubici podsustava proizvodnje, kWh/a	0	0
Obnovljiva energija podsustava proizvodnje, kWh/a	12.103	40.316
Ukupno isporučena topl.en., kWh/a	17.298	62.967
God. topl. množitelj podsustava proizvodnje (GR+PTV+pom.gr.+pom.en.)	3,02	2,69
God. topl. množitelj dizalice topline (GR+PTV+pom.en.)	3,18	2,75
God. topl. množitelj dizalice topline (GR+pom.en.)	3,56	2,78
God. topl. množitelj dizalice topline (PTV+pom.en.)	2,83	2,52

10. HRN EN 15316-4-3:2008 Sustavi grijanja u zgradama – Metoda proračuna energijskih zahtjeva i učinkovitosti sustava – Dio 4-3: Sustavi za proizvodnju topline, toplinski sustavi sunčevog zračenja

Metoda proračuna: Metoda B s korištenjem podataka o karakteristikama pojedinačnih komponenti

Period proračuna: proračun se provodi na mjesečnoj razini za sve mjesece u godini

Proračun se primjenjuje

- samo za sustave za pripremu PTV-a;
- samo za sustave grijanja prostora;
- kombinirane sustave za pripremu PTV-a i grijanje prostora.

Proračun toplinskog opterećenja sunčanog sustava

Toplinsko opterećenje sunčanog sustava je toplinska energija koju je potrebno isporučiti sustavu razvoda grijanja i pripreme PTV-a kako bi se pokrila toplinska potreba za grijanjem prostora, pripremu PTV-a te svi toplinski gubici u podsustavu predaje i razvoda, umanjeno za vraćenu pomoćnu energiju i iskorištene gubitke u navedenim podsustavima.

NAPOMENA: Toplinski gubici primarne cirkulacije između sunčanog spremnika i dodatnog generatora te gubici samog sunčanog spremnika i kolektorskog kruga nisu uključeni u toplinsko opterećenje (računaju se ovom normom).

$$Q_{H,sol,us,m} = Q_{H,dis,in,m} \quad [\text{kWh}] \quad (10.1a)$$

$$Q_{W,sol,us,m} = Q_{W,dis,in,m} \quad [\text{kWh}] \quad (10.1b)$$

Ukoliko su već otprije izračunate kumulativne vrijednosti za sezonu grijanja i period izvan sezone grijanja, za brzi orijentacijski proračun mogu se koristiti slijedeći izrazi

$$Q_{H,sol,us,m} = Q_{H,nd,m} + [Q_{em,ls} + Q_{H,dis,ls} - Q_{em,aux,rvd} - Q_{H,dis,aux,rvd} - \eta_{rvd} (Q_{H,dis,aux,rbl} + Q_{H,dis,ls,rbl} + Q_{W,dis,aux,rbl} + Q_{W,dis,rbl})] / d \cdot t_m \quad [\text{kWh}] \quad (10.2a)$$

$$Q_{W,sol,us,m} = (Q_W + Q_{W,dis,ls} - Q_{W,dis,aux,rvd}) / d \cdot t_m \quad [\text{kWh}] \quad (10.2b)$$

$Q_{H,sol,us,m}$ – mjesečno toplinsko opterećenje sunčanog sustava u dijelu koji se odnosi na potrebnu energiju za grijanje prostora (kWh);

$Q_{W,sol,us,m}$ – mjesečno toplinsko opterećenje sunčanog sustava u dijelu koji se odnosi na potrebnu energiju za pripremu PTV-a (kWh);

$Q_{H,dis,in,m}$ – mjesečni iznos potrebne toplinske energije na ulazu u sustav razvoda grijanja (kWh);

$Q_{W,dis,in,m}$ – mjesečni iznos potrebne toplinske energije na ulazu u sustav razvoda grijanja (kWh);

$Q_{H,nd,m}$ – mjesečni iznos potrebne toplinske energije za grijanje (kWh);

d – broj dana u promatranom periodu, u ovom slučaju u sezoni grijanja i izvan sezone grijanja (dan);

t_m – broj dana u pojedinom mjesecu (dan).

Proračun isporučene sunčeve energije u sustav

$$Q_{H,sol,out,m} = Q_{H,sol,us,m} \cdot (aY_H + bX_H + cY_H^2 + dX_H^2 + eY_H^3 + fX_H^3) \quad [\text{kWh}] \quad \text{HRN EN (11)} \quad (10.3a)$$

$$Q_{W,sol,out,m} = Q_{W,sol,us,m} \cdot (aY_W + bX_W + cY_W^2 + dX_W^2 + eY_W^3 + fX_W^3) \quad [\text{kWh}] \quad \text{HRN EN (11)} \quad (10.3b)$$

a, b, c, d, e – faktori sunčanog spremnika (-), Tablica 10.1;

f – faktor koji se odnosi na direktan spoj kolektora na cijevi podnog grijanja koje djeluju kao spremnik (-), Tablica 10.1.

X, Y – bezdimenzijski faktori (-).

Napomene:

Ukoliko je računaska vrijednost $Q_{sol,out,m} < 0$, onda vrijedi $Q_{sol,out,m} = 0$.

Ukoliko je računaska vrijednost $Q_{H,sol,out,m} > Q_{H,sol,us,m}$, onda vrijedi $Q_{H,sol,out,m} = Q_{H,sol,us,m}$.

Ukoliko je $Q_{W,sol,out,m} > Q_{W,sol,us,m}$, onda vrijedi $Q_{W,sol,out,m} = Q_{W,sol,us,m}$.

Mjesečni udjeli isporučene energije za grijanje i pripremu PTV-a

$$P_H = Q_{H,sol,us,m} / (Q_{W,sol,us,m} + Q_{H,sol,us,m}) \quad [-] \quad \text{HRN EN (9)} \quad (10.4a)$$

$$P_W = Q_{W,sol,us,m} / (Q_{W,sol,us,m} + Q_{H,sol,us,m}) \quad [-] \quad \text{HRN EN (10)} \quad (10.4b)$$

P_H – udio isporučene energije za grijanje u ukupnoj (-);

P_W – udio isporučene energije za pripremu PTV-a u ukupnoj (-);

Kombinirani sustavi za grijanje i pripremu PTV-a

NAPOMENA: Kod proračuna faktora X, Y se ukupna svijetla površina kolektora A množi s faktorom P_H ili P_W ovisno o tome da li se računa isporučena energija za pokrivanje toplinskog opterećenja $Q_{H,sol,us,m}$ ili $Q_{W,sol,us,m}$, respektivno.

Tablica 10.1 (HRN EN B.1) Faktori sunčanog spremnika

Faktor	Spremnik ^a	Podno grijanje ^b
a	1,029	0,863
b	-0,065	-0,147
c	-0,245	-0,263
d	0,0018	0,008
e	0,0215	0,029
f	0	0,025

^a Kolektorski krug spojen na sunčani spremnik (prema f -chart metodi)

^b Kolektorski krug direktno spojen na cijevi podnog grijanja

Izračun faktora X

$$X_H = A_H \cdot U_{loop} \cdot \eta_{loop} \cdot \Delta T \cdot f_{st} \cdot t_m / (Q_{H,sol,us,m} \cdot 1000) \quad [-] \quad \text{HRN EN (12)} \quad (10.5a)$$

$$X_W = A_W \cdot U_{loop} \cdot \eta_{loop} \cdot \Delta T \cdot f_{st} \cdot t_m / (Q_{W,sol,us,m} \cdot 1000) \quad [-] \quad \text{HRN EN (12)} \quad (10.5b)$$

Ulazne veličine:

t_m – broj sati pojedinog mjeseca (h);

V_{nom} – nazivna zapremina sunčanog spremnika (Lit);

V_{bu} – zapremina dijela spremnika između vrha spremnika i donjeg dijela dodatnog grijačeg elementa (el. grijača ili izmjenjivača)

Svijetla površina kolektora za potrebe grijanja prostora i pripremu PTV-a

$$A_H = A \cdot P_H \quad [\text{m}^2] \quad (10.6a)$$

$$A_W = A \cdot P_W \quad [\text{m}^2] \quad (10.6b)$$

Efektivni udio

$$f_{aux} = x \cdot V_{bu} / V_{nom} \quad [-] \quad \text{HRN EN (B.7)} \quad (10.7)$$

x - regulacijski koeficijent (-);

$x=1$ ako je dodatni generator stalno uključen;

$x=0,7$ ako je uključen noću;

$x=0,3$ ako se uključuje u slučaju nužde.

Zapremina dijela sunčanog spremnika koji nije grijan dodatnim generatorom topline

$$V_{sol} = V_{nom} (1 - f_{aux}) \quad [\text{Lit}] \quad \text{HRN EN (B.6)} \quad (10.8)$$

Korekcijski faktor zapremine spremnika

$$f_{st} = (V_{ref} / V_{sol})^{0,25} = (75 \cdot A / V_{sol})^{0,25} \quad [-] \quad \text{HRN EN (B.5)} \quad (10.9)$$

(V_{ref} - referentna vrijednost zapremine sunčanog spremnika u odnosu na svijetlu površinu kolektora (Lit/m^2), $V_{ref}=75 \text{ Lit/m}^2$)

Ukupni koeficijent toplinskih gubitaka svih cjevovoda u kolektorskom krugu (uključujući cjevovode između kolektora te one između kolektorskog polja i spremnika)

$$U_{loop,p} = 5 + 0,5 \cdot A \quad [\text{W/m}^2\text{K}] \quad \text{HRN EN (B.3)} \quad (10.10)$$

Koeficijent toplinskih gubitaka kolektorskog kruga (ovisi o karakteristikama kolektora i izolaciji cijevovoda)

$$U_{loop} = a_1 + a_2 \cdot 40 + U_{loop,p} / A \quad [\text{W/m}^2\text{K}] \quad \text{HRN EN (13)} \quad (10.11)$$

a_1, a_2 - koeficijent toplinskih gubitaka kolektora prvog reda, podaci s mjerenja prema HRN EN 12975-2, ili

$a_1=1,8 \text{ W/m}^2\text{K}$ – cijevni vakuumski kolektori;
 $a_1=3,5 \text{ W/m}^2\text{K}$ – ostakljeni pločasti kolektori;
 $a_1=15 \text{ W/m}^2\text{K}$ – neostakljeni pločasti kolektori;
 $a_2=0 \text{ W/m}^2\text{K}^2$.

Faktor učinkovitosti kolektorskog kruga (uzima u obzir utjecaj izmjenjivača topline)

Uobičajena vrijednost:

$$\eta_{loop} = 0,9 \quad \text{HRN EN B.2.2} \quad (10.12a)$$

ili

$$\eta_{loop} = 1 - \Delta\eta \quad [-] \quad \text{HRN EN B.2.2} \quad (10.12b)$$

$$\Delta\eta = (\eta_0 \cdot A \cdot a_1) / (U_{st})_{hx} \quad [-] \quad \text{HRN EN B.2.2} \quad (10.13)$$

η_0 - učinkovitost kolektora pri razlici srednje temperature radnog medija i zraka = 0 K, podatak s mjerenja prema HRN EN 12975-2 ili $\eta_0=0,8$;

$(U_{st})_{hx}$ - koeficijent prolaza topline izmjenjivača topline (W/K), podatak s mjerenja prema ENV 12977-3 (vidi također HRN EN 12977-2).

Referentna temperatura (ovisi o vrsti sustava i primjeni)

Sustav grijanja prostora

$$\theta_{ref} = 100^\circ\text{C} \quad \text{HRN EN (B.8)} \quad (10.14a)$$

Sustav pripreme PTV-a

$$\theta_{ref} = 11,6 + 1,18 \cdot \theta_w + 3,86 \cdot \theta_{cw} - 1,32 \cdot \theta_{e,avg} \quad [^\circ\text{C}] \quad \text{HRN EN (B.8)} \quad (10.14b)$$

θ_w - tražena temperatura PTV-a ($^\circ\text{C}$), $\theta_w=40^\circ\text{C}$;

θ_{cw} - temperatura svježe hladne vode ($^\circ\text{C}$), $\theta_{cw}=10^\circ\text{C}$;

$\theta_{e,avg}$ - prosječna vanjska temperatura u promatranom periodu ($^\circ\text{C}$), Tablica 10.2;

Referentna razlika temperatura

$$\Delta T = \theta_{ref} - \theta_{e,avg} \quad [\text{K}] \quad \text{HRN EN (14)} \quad (10.15)$$

Tablica 10.2 (Pravilnik o energetske certifikiranju NN 36/10) Prosječne mjesečne temperature za kontinentalnu i primorsku Hrvatsku

Mjesec	Kontinentalni dio	Primorski dio
1	-0,6	6,6
2	2,2	7,5
3	6,5	9,9
4	11,2	13,4
5	15,9	18
6	19,2	21,6
7	21,1	24,5
8	20,1	24
9	16,4	20,5
10	11,1	16,2
11	5,6	11,6
12	0,9	7,9

Izračun faktora Y

$$Y_H = A_H \cdot IAM \cdot \eta_0 \cdot \eta_{loop} \cdot I_m \cdot t_m / (Q_{H,sol,us,m} \cdot 1000) \quad [-] \quad \text{HRN EN (15)} \quad (10.16a)$$

$$Y_W = A_W \cdot IAM \cdot \eta_0 \cdot \eta_{loop} \cdot I_m \cdot t_m / (Q_{W,sol,us,m} \cdot 1000) \quad [-] \quad \text{HRN EN (15)} \quad (10.16b)$$

Ulazne veličine:

t_m - broj sati pojedinog mjeseca (h);

η_0 - učinkovitost kolektora pri razlici srednje temperature radnog medija i zraka = 0 K, podatak s mjerenja prema HRN EN 12975-2 ili $\eta_0=0,8$;

IAM - faktor promjene kuta upadnog zračenja= $K_{50}(\tau\alpha)$ (-), podatak s mjerenja prema HRN EN 12975-2 ili

$IAM=0,94$ za ostakljeni pločasti kolektor,

$IAM=1$ za neostakljeni pločasti kolektor;

$IAM=0,97$ za vakuumski kolektor s ravnim apsorberom;

$IAM=1$ za vakuumski s ovalnim apsorberom.

I_m - prosječno sunčevo zračenje tijekom promatranog mjeseca koji ima t_m sati (W/m^2), Tablica 10.3.

Tablica 10.3 (Pravilnik o energetske certifikiranju 36/10) Podaci o prosječnom zračenju I_m i ozračenosti $E_{sol,in}$ plohe nagnute pod kutom od 45° prema horizontali, u pojedinom mjesecu za kontinentalnu i primorsku Hrvatsku

	Kontinentalni dio		Primorski dio	
mjesec	I_m	$E_{sol,in}$	I_m	$E_{sol,in}$
	W/m ²	kWh/mj	W/m ²	kWh/mj
1	63,8	47,5	119,5	88,9
2	99,6	66,9	171,6	115,3
3	152,0	113,1	205,4	152,8
4	180,6	130,0	223,1	160,6
5	206,0	153,3	232,3	172,8
6	215,7	155,3	242,6	174,7
7	222,2	165,3	249,1	185,3
8	208,7	155,3	240,5	178,9
9	192,1	138,3	231,1	166,4
10	139,7	103,9	210,6	156,7
11	69,9	50,3	138,5	99,7
12	47,0	35,0	108,6	80,8
sum		1314,2		1732,8

Proračun pomoćne energije

Pomoćna energija za pogon pumpi kruga kolektora (kWh) se računa prema

$$W_{col,aux,m} = P_{aux,nom} \cdot t_{aux,m} / 1000 \quad [\text{kWh}] \quad \text{HRN EN (16)} \quad (10.17)$$

$P_{aux,nom}$ - nazivna snaga pumpe (W), podatak proizvođača ili

$$P_{aux,nom} = 25 + 2 \cdot A \quad [\text{W}] \quad \text{HRN EN (B.2)} \quad (10.18)$$

Mjesečno vrijeme rada pumpe

$$t_{aux,m} = (2000 \text{ h}) \cdot \frac{E_{sol,in,m}}{E_{sol,in,a}} \quad [\text{h}] \quad \text{temeljem HRN EN 6.3.4} \quad (10.19)$$

$E_{sol,in,m}$ – mjesečno sunčevo ozračenje na plohu kolektora (kWh/m²), Tablica 10.3;

$E_{sol,in,a}$ – ukupno godišnje sunčevo ozračenje na plohu kolektora (kWh/m²), Tablica 10.3;

Ukupno godišnje vrijeme rada pumpe je 2000 h (prema HRN EN 12976) .

Toplinski gubici sunčanog sustava

Toplinski gubici sunčanog spremnika

Kod pripreme PTV-a

$$Q_{W,sol,st,ls,m} = U_{st} \cdot (\theta_{setpoint,W} - \theta_{a,avg}) \cdot (Q_{W,sol,out,m} / Q_{W,sol,us,m}) \cdot t_m / 1000 \text{ [kWh]} \quad \text{HRN EN (17)} \quad (10.20)$$

Kod grijanja prostora

$$Q_{H,sol,st,ls,m} = U_{st} \cdot (\theta_{setpoint,H} - \theta_{a,avg}) \cdot (Q_{H,sol,out,m} / Q_{H,sol,us,m}) \cdot t_m / 1000 \text{ [kWh]} \quad \text{HRN EN (18)} \quad (10.21)$$

$\theta_{setpoint,W}$ - referentna temperatura PTV-a; $\theta_{setpoint,W} = 60^\circ\text{C}$;

$\theta_{setpoint,H}$ - referentna temperatura sustava grijanja, ($^\circ\text{C}$), projektna vrijednost

$\theta_{a,avg}$ - prosječna temperatura okolišnog zraka,

$\theta_{a,avg} = 20^\circ\text{C}$ ako je spremnik smješten u grijanom prostoru;

$\theta_{a,avg} = \theta_{e,avg} + (20^\circ\text{C} - \theta_{e,avg}) / 2$ ako je spremnik smješten u negrijanom prostoru

unutar zgrade;

$\theta_{a,avg} = \theta_{e,avg}$ ako je spremnik smješten u prostoru izvan zgrade;

$\theta_{e,avg}$ - prosječna vanjska temperatura, ($^\circ\text{C}$), Tablica 10.2.

Ukupni koeficijent toplinskih gubitaka spremnika

$$U_{st} = 0,16 \cdot V_{sol}^{0,5} \quad [\text{W/K}] \quad \text{HRN EN (B.3)} \quad (10.22)$$

V_{sol} - zapremina dijela spremnika grijanog kolektorima (Lit).

(U slučaju kad nema zagrijavanja vode dodatnim generatorom $V_{sol} = V_{nom}$ = nazivna zapremina)

Toplinski gubici razvoda između solarnog sustava i dodatnog generatora topline

Ako su cjevovodi izolirani

$$Q_{H,bu,dis,ls,m} = 0,02 \cdot Q_{H,sol,us,m} \cdot (Q_{H,sol,out,m} / Q_{H,sol,us,m}) \quad [\text{kWh}] \quad \text{HRN EN (B.10)} \quad (10.23a)$$

$$Q_{W,bu,dis,ls,m} = 0,02 \cdot Q_{W,sol,us,m} \cdot (Q_{W,sol,out,m} / Q_{W,sol,us,m}) \quad [\text{kWh}] \quad \text{HRN EN (B.10)} \quad (10.23b)$$

Ako cjevovodi nisu izolirani

$$Q_{H,bu,dis,ls,m} = 0,05 \cdot Q_{H,sol,us,m} \cdot (Q_{H,sol,out,m} / Q_{H,sol,us,m}) \quad [\text{kWh}] \quad \text{HRN EN (B.10)} \quad (10.24a)$$

$$Q_{W,bu,dis,ls,m} = 0,05 \cdot Q_{W,sol,us,m} \cdot (Q_{W,sol,out,m} / Q_{W,sol,us,m}) \quad [\text{kWh}] \quad \text{HRN EN (B.10)} \quad (10.24b)$$

Pomoćna energija primarne cirkulacije

Udio isporučene sunčeve energije u toplinskom opterećenju

$$f_{sol,m} = (Q_{H,sol,out,m} + Q_{W,sol,out,m}) / (Q_{H,sol,us,m} + Q_{W,sol,us,m}) \quad [-] \quad \text{HRN EN (21)} \quad (10.25)$$

Pomoćna energija za pogon pumpe primarne cirkulacije između spremnika i dodatnog generatora se računa prema

$$W_{bu,aux,nom,m} = P_{bu,aux,nom} \cdot t_{bu,aux,m} / 1000 \text{ [kWh]} \quad \text{temeljem HRN EN (16)} \quad (10.26)$$

$P_{bu,aux,nom}$ - nazivna snaga pumpe (W), podatak proizvođača ili Jedn. (8.22).

Mjesečno vrijeme rada pumpe

$$t_{bu,aux,m} = (1000 \text{ h}) \cdot \frac{(Q_{H,sol,us,m} + Q_{W,sol,us,m})}{(Q_{H,sol,us,a} + Q_{W,sol,us,a})} \text{ [h]} \quad \text{temeljem HRN EN 6.3.4 i A.3.1} \quad (10.27)$$

Indeksi m , a se odnose na mjesečne i godišnje vrijednosti, respektivno.

Ukupno godišnje vrijeme rada pumpe je 1000 h (prema HRN EN A.3.1).

Smanjeni iznos mjesečne potrošnje električne energije za pogon pomoćnih uređaja dodatnog generatora uslijed rada sunčanog sustava

$$W_{bu,aux,m} = W_{bu,aux,nom,m} \cdot (1 - f_{sol,m}) \quad \text{[kWh]} \quad \text{HRN EN (22)} \quad (10.28)$$

Smanjeni iznos mjesečnih toplinskih gubitaka dodatnog generatora (izvora) topline

$$Q_{bu,ls,m} = Q_{gen,in,ns,m} - Q_{gen,in,m} \quad \text{[kWh]} \quad (\text{vidi Jedn. (10.42)}) \quad (10.29)$$

$Q_{gen,in,ns,m}$ – mjesečna potrošnja energije na generatoru u slučaju bez instaliranog sunčanog sustava (kWh);

$Q_{gen,in,m}$ – mjesečna potrošnja energije na generatoru u slučaju s instaliranim sunčanim sustavom (kWh).

Ukupna pomoćna energija sunčanog sustava

$$W_{sol,aux,m} = W_{col,aux,m} + W_{bu,aux,m} \quad \text{[kWh]} \quad (10.30)$$

Proračun vraćene pomoćne energije radnom mediju u pojedinom mjesecu za sunčani sustav

$$Q_{sol,aux,rnd,m} = 0,75 \cdot W_{sol,aux,m} \quad \text{[kWh]} \quad (10.31)$$

Proračun iskoristive pomoćne energije koja se vraća u prostor u pojedinom mjesecu za sunčani sustav

$$Q_{sol,aux,rbl,m} = k \cdot 0,25 \cdot W_{sol,aux,m} \quad \text{[kWh]} \quad \text{temeljem HRN EN (B.8)} \quad (10.32)$$

k - udio iskoristivih gubitaka pojedine komponente(-);

$k=1$ tj. 100% ukupnih gubitaka ako su komponente smještene u grijanoj zoni;

$k=0,5$ tj. 50% ako su komponente smještene u negrijanoj zoni;

$k=0$ tj. 0% ako su komponente smještene izvan zgrade.

Proračun iskoristivih toplinskih gubitaka koji se vraćaju u prostor u pojedinom mjesecu za sunčani sustav

Iskoristivi toplinski gubici sunčanog spremnika

$$Q_{sol,st,ls,rbl,m} = k \cdot (Q_{W,sol,st,ls,m} + Q_{H,sol,st,ls,m}) \quad [\text{kWh}] \quad \text{temeljem HRN EN (B.8)} \quad (10.33)$$

Iskoristivi toplinski gubici razvoda između sunčanog spremnika i dodatnog generatora iznose

$$Q_{H,bu,dis,ls,rbl,m} = k \cdot Q_{H,bu,dis,ls,m} \quad [\text{kWh}] \quad \text{temeljem HRN EN (B.8)} \quad (10.34a)$$

$$Q_{W,bu,dis,ls,rbl,m} = k \cdot Q_{W,bu,dis,ls,m} \quad [\text{kWh}] \quad \text{temeljem HRN EN (B.8)} \quad (10.34b)$$

k - udio iskoristivih gubitaka pojedine komponente(-);

$k=1$ tj. 100% ukupnih gubitaka ako su komponente smještene u grijanoj zoni;

$k=0,5$ tj. 50% ako su komponente smještene u negrijanoj zoni;

$k=0$ tj. 0% ako su komponente smještene izvan zgrade.

Ukupno vraćena i iskorištena toplinska energija, odnosno onaj iznos za koji se umanjuje energija na ulazu u podsustav proizvodnje (generator) je onda

a) za period sezone grijanja

$$Q_{sol,rvd/rbl,m} = (Q_{sol,aux,rvd,m} + \eta_{rvd} \cdot Q_{sol,aux,rbl,m}) + f_{sol,m} \cdot \eta_{rvd} \cdot Q_{sol,st,ls,rbl,m} \quad [\text{kWh}] \quad (10.35a)$$

b) za period izvan sezone grijanja

$$Q_{sol,rvd/rbl,m} = Q_{sol,aux,rvd,m} \quad [\text{kWh}] \quad (10.35b)$$

Ukoliko je zbroj isporučene toplinske energije sunčanog sustava s ukupno vraćenom i iskorištenom toplinskom energijom veći od ukupnog toplinskog opterećenja tj.

$$(Q_{H,sol,out,m} + Q_{W,sol,out,m}) + Q_{sol,rvd/rbl,m} > (Q_{H,sol,us,m} + Q_{W,sol,us,m}) \quad [\text{kWh}] \quad (10.36a)$$

onda se ukupno vraćena i iskorištena toplinska energija za bilo koji period u godini računa kao

$$Q_{sol,rvd/rbl,m} = (Q_{H,sol,us,m} + Q_{W,sol,us,m}) - (Q_{H,sol,out,m} + Q_{W,sol,out,m}) \quad [\text{kWh}] \quad (10.36b)$$

ako je $Q_{sol,rvd/rbl,m} < 0$ prema (10.36b) uzeti

$$(Q_{H,sol,out,m} + Q_{W,sol,out,m}) = (Q_{H,sol,us,m} + Q_{W,sol,us,m}) \quad [\text{kWh}] \quad (10.36c)$$

tj. $Q_{sol,rvd/rbl,m} = 0$

Neiskorišteni toplinski gubici spremnika i primarne cirkulacije u sunčanom sustavu koje nadoknađuje dodatni generator (izvor)

Sezona grijanja

$$Q_{gen,sol,nrvd,m} = (1 - k + 1 - \eta_{rvd}) \cdot [(1 - f_{sol,m}) \cdot Q_{sol,st,ls,rbl,m} + (Q_{H,bu,dis,ls,rbl,m} + Q_{W,bu,dis,ls,rbl,m})] \quad [\text{kWh}] \quad (10.37a)$$

Izvan sezone grijanja

$$Q_{gen,sol,nrvd,m} = (1 - f_{sol,m}) \cdot Q_{sol,st,ls,m} + Q_{W,bu,dis,ls,m} \quad [\text{kWh}] \quad (10.37b)$$

Toplinska energija koju je potrebno dovesti dodatnim generatorom topline u termotehnički sustav zgrade

$$Q_{bu,m} = Q_{gen,out,m} = (Q_{H,sol,us,m} + Q_{W,sol,us,m}) + Q_{gen,sol,nrvd,m} - (Q_{H,sol,out,m} + Q_{W,sol,out,m}) - Q_{sol,rvd/rbl,m} \quad [\text{kWh}] \quad (10.38)$$

Toplinska energija koju je potrebno isporučiti podsustavu proizvodnje tj. dodatnom generatoru (izvoru)

$$Q_{gen,in,m} = Q_{gen,out,m} - Q_{gen,aux,rvd,m} + Q_{gen,ls,m} \quad [\text{kWh}] \quad (10.39)$$

$Q_{gen,aux,rvd,m}$ – vraćena energija za pogon pomoćnih uređaja generatora (kWh), Poglavlje 4,5 ili 8;

$Q_{gen,ls,m}$ – ukupni toplinski gubici generatora (kWh), Poglavlje 4,5 ili 8.

Ukupna korisna **obnovljiva energija** prikupljena sunčanim sustavom

$$Q_{sol,renew,m} = (Q_{H,sol,out,m} + Q_{W,sol,out,m}) + f_{sol,m} \cdot \eta_{rvd} \cdot Q_{sol,st,ls,rbl,m} \quad [\text{kWh}] \quad (10.40)$$

Jednostavni period povrata investicije u sunčani sustav

$$P = \frac{I}{SUN} \quad [\text{a}] \quad (10.41)$$

I – investicija (kn);

SUN – sunčani doprinos, dobije se kao razlika ukupnih godišnjih troškova za energiju termotehničkog sustava bez i sa instaliranim sunčanim sustavom tj.

$$SUN = (Q_{gen,in,ns} - Q_{gen,in}) \cdot C_G + (\sum W_{aux,ns} - \sum W_{aux}) \cdot C_{el} \quad [\text{kn/a}] \quad (10.42)$$

$Q_{gen,in,ns}$ – godišnja potrošnja energije na generatoru u slučaju bez instaliranog sunčanog sustava (kWh/a);

$Q_{gen,in,sol}$ – godišnja potrošnja energije na generatoru u slučaju s instaliranim sunčanim sustavom (kWh/a);

$\sum W_{aux,ns}$ – ukupna godišnja pomoćna energija termotehničkog sustava u slučaju bez instaliranog sunčanog sustava (kWh/a);

$\sum W_{aux}$ – ukupna godišnja pomoćna energija termotehničkog sustava u slučaju s instaliranim sunčanim sustavom (kWh/a);

C_G – cijena energenta po jedinici toplinske energije svedena na gornju ogrjevnu moć goriva (kn/kWh);

C_{el} – cijena električne energije (kn/kWh).

11. Isporučena i primarna energija

11.1 Isporučena energija

Sustav grijanja (s jednim generatorom)

$$E_{H,del} = Q_{H,gen,in} + (W_{em,aux} + W_{H,dis,aux} + W_{H,gen,aux}) \quad [\text{kWh}] \quad (11.1)$$

Sustav pripreme PTV-a (s jednim generatorom)

$$E_{W,del} = Q_{W,gen,in} + (W_{W,dis,aux} + W_{W,gen,aux}) \quad [\text{kWh}] \quad (11.2)$$

Kod dizalice topline $W_{H,gen,aux} + W_{W,gen,aux} = W_{HW,gen,aux}$

Ukupno isporučena energija u termotehnički sustav zgrade

$$E_{del} = E_{H,del} + E_{W,del} \quad [\text{kWh}] \quad (11.3)$$

Kod sustava s dizalicom topline potrebno je Jedn. (11.3) još pridodati $E_{HW,hp,in}$

Kod sunčanog sustava potrebno je Jedn. (11.3) još pridodati $W_{sol,aux}$

Za sustave s više generatora u Jedn. (11.1) i (11.2) potrebno je zbrojiti energije na ulazu u svaki pojedini generator i pomoćne el. energije za pogon svih pomoćnih uređaja u sustavu.

NAPOMENA: Obnovljiva energija se ne računa u isporučenu

Godišnja isporučena energija

Računa se prema proceduri iz Algoritma za sustave ventilacije i klimatizacije u ovisnosti o načinu rada sustava grijanja (kontinuirani/nekontinuirani rad) u Pog. 6.

11.2 Primarna energija

Općenito

$$E_{prim} = \sum_i (f_{p,i} \cdot Q_{gen,in,i}) + \sum_j (f_{p,el} \cdot W_{aux,j}) \quad [\text{kWh}] \quad (11.4)$$

$Q_{gen,in,i}$ – isporučena energija i -tom generatoru topline (kWh);

$W_{aux,j}$ – energija za pogon pojedinog pomoćnog uređaja (kWh);

$f_{p,i}$ – faktor primarne energije za i -ti izvor energije (-), Tablica 11.1;

$f_{p,el}$ – faktor primarne energije za električnu energiju (-), Tablica 11.1.

Sustav grijanja (s jednim generatorom)

$$E_{H,prim} = Q_{H,gen,in} \cdot f_{p,i} + (W_{em,aux} + W_{H,dis,aux} + W_{H,gen,aux}) \cdot f_{p,el} \quad [\text{kWh}] \quad (11.5)$$

Sustav pripreme PTV-a (s jednim generatorom)

$$E_{W,prim} = Q_{W,gen,in} \cdot f_{p,i} + (W_{W,dis,aux} + W_{W,gen,aux}) \cdot f_{p,el} \quad [\text{kWh}] \quad (11.6)$$

Ukupna primarna energija za termotehnički sustav zgrade

$$E_{prim} = E_{H,prim} + E_{W,prim} \quad [\text{kWh}] \quad (11.7)$$

Kod sustava s dizalicom topline potrebno je Jedn. (11.7) još pridodati $E_{HW, hp, in} \cdot f_{p, el}$
 Kod sunčanog sustava potrebno je Jedn. (11.7) još pridodati $W_{sol, aux} \cdot f_{p, el}$

Godišnja primarna energija

Računa se prema proceduri iz Algoritma za sustave ventilacije i klimatizacije u ovisnosti o načinu rada sustava grijanja (kontinuirani/nekontinuirani rad) u Pog. 6.

Koeficijent utroška primarne energije

Koeficijent utroška primarne energije e_p predstavlja omjer primarne energije i potrebne (korisne) toplinske energije

$$e_p = E_{prim} / (Q_{H, nd} + Q_W) \quad (11.8)$$

11.3 Emisija CO₂

Emisija CO₂ se računa prema isporučenoj energiji u sustav

$$CO_2 = (Q_{H, gen, in} + Q_{W, gen, in}) \cdot C_{p, i} + (W_{em, aux} + W_{H, dis, aux} + W_{H, gen, aux} + W_{W, dis, aux} + W_{W, gen, aux}) \cdot C_{el} \quad [kg] \quad (11.9)$$

$C_{p, i}$ - faktor pretvorbe za i -ti izvor energije (-), Tablica 11.2;

C_{el} - faktor pretvorbe za električnu energiju (-), Tablica 11.2.

Godišnja emisija CO₂

Računa se prema proceduri iz Algoritma za sustave ventilacije i klimatizacije u ovisnosti o načinu rada sustava grijanja (kontinuirani/nekontinuirani rad) u Pog. 6.

Tablica 11.1 (Pravilnik o energetske certifikaciji 36/10) Faktori primarne energije

Izvor energije		Faktor primarne energije f_p [-]
Gorivo	Lako loživo ulje	1,1
	Zemni plin	1,1
	Ukapljeni plin	1,1
	Kameni ugljen	1,1
	Mrki ugljen	1,2
	Drvo	0,2
Lokalna/daljinska toplina iz TO-TE	Obnovljiva goriva	0
	Fosilno gorivo	0,7
Lokalna/daljinska toplina iz kotlovnice/toplane	Obnovljiva goriva	0,1
	Fosilno gorivo	1,3
Struja		3,0 (2,0 pri korištenju akumulacijskih sustava grijanja)

Tablica 11.2 (Pravilnik o energetske certifikaciji 36/10) Faktori pretvorbe za određivanje emisije ugljičnog dioksida prema jedinici utrošenog goriva i isporučene energije

Izvor energije	Po jedinici goriva	Po jedinici energije E_{del}
Zemni plin	1,9 kg/m ³ *	0,20 kg/kWh
Ukapljeni naftni plin	2,9 kg/kg	0,215 kg/kWh
Ekstra lako loživo ulje	2,6 kg/l	0,265 kg/kWh
Lako loživo ulje	3,2 kg/kg	0,28 kg/kWh
Daljinsko grijanje	0,33 kg/kWh	0,33 kg/kWh*
Električna energija	0,53 kg/kWh	0,53 kg/kWh
Mrki ugljen (domaći)	1,5 kg/kg	
Mrki ugljen (strani)	1,88 kg/kg	
Lignit (domaći)	1,0 kg/kg	
* Volumen plina pri standardnim uvjetima (pri temperaturi 15 °C i tlaku 1,01325 bar).		

12. Analiza rezultata proračuna

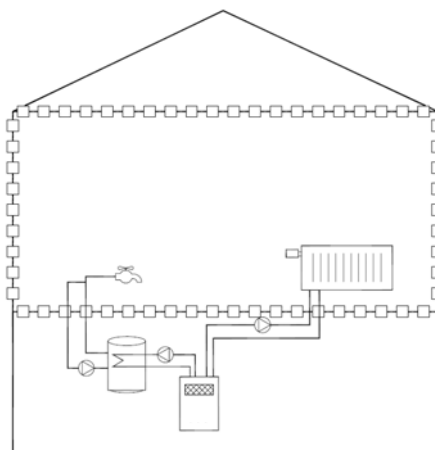
U nastavku su dani rezultati proračuna isporučene i primarne energije za primjer termotehničkog sustava za grijanje prostora i pripremu PTV-a u zgradi, dvokatnici, s korisnom površinom $A_k=150 \text{ m}^2$, smještenoj u kontinentalnoj klimatskoj zoni.

Osnovni dijelovi sustava (Slika 12.1) su:

- plinski toplovodni kotao 30 kW, indirektno grijani spremnik PTV-a 150 Lit, cirkulacijska petlja PTV-a i radijatori (70/55°C).

Sustav je smješten unutar zgrade, dijelom u negrijanom prostoru.

NAPOMENA: Numeričke vrijednosti iz Tablica 12.1÷12.3 su oglednog karaktera, i ovdje su u funkciji lakšeg praćenja tijeka postupka proračuna veličina iz energetskeg certifikata zgrade.



Slika 12.1 Shematski prikaz analiziranog termotehničkog sustava

Izlazne veličine iz proračuna

Tablica 12.1 Pregled svih izlaznih veličina iz proračuna potrebnih za proračun isporučene i primarne energije

	sezona grijanja, kWh	izvan sezone grijanja, kWh	ukupno kWh/a
pod sustav predaje, grijanje			
$Q_{em,out}=Q_{H,nd}-\sum_i Q_{ls,rvd,i}$	19485		19485
$Q_{em,ls}$	3483		3483
$W_{em,aux}$	5		5
$Q_{em,aux,rvd}$	0		0
$Q_{em,aux,rbl}$	5		5
$Q_{em,in}$	22967		22967
pod sustav razvoda, grijanje			0
$Q_{H,dis,out}=Q_{em,in}$	22967		22967
$Q_{H,dis,ls}$	7573		7573
$Q_{H,dis,rbl}$	6692		6692
$W_{H,dis,aux}$	222		222
$Q_{H,dis,aux,rvd}$	166		166
$Q_{H,dis,aux,rbl}$	28		28
$Q_{H,dis,in}$	30374		30374

	sezona grijanja, kWh	izvan sezone grijanja, kWh	ukupno kWh/a
pod sustav razvoda, PTV			
$Q_{W,dis,out}=Q_W$	1027	848	1875
$Q_{W,dis,ls}$	113	93	206
$Q_{W,dis,ls,col}$	1768	1458	3226
$Q_{W,dis,rbl}$	1858	0	1858
$W_{W,dis,aux}$	31	26	57
$Q_{W,dis,aux,rvd}$	23	19	43
$Q_{W,dis,aux,rbl}$	4	0	4
$Q_{W,dis,in}$	2885	2380	5264
pod sustav proizvodnje, PTV			
$Q_{W,gen,out}=Q_{W,dis,in}$	2885	2380	5264
$Q_{W,st,ls}$	446	316	762
$Q_{W,st,rbl}$	223	0	223
$Q_{W,p,ls}$	16	13	28
$Q_{W,p,rbl}$	8	0	8
$Q_{W,gnr,ls}$	0	2105	2105
$Q_{W,gnr,ls,env,rbl}$	0	0	0
$W_{W,p,aux}$	13	11	23
$W_{W,gnr,aux}$	0	60	60
$W_{W,gen,aux}$	13	70	83
$Q_{W,p,aux,rvd}$	10	8	18
$Q_{W,gnr,aux,rvd}$	0	45	45
$Q_{W,gen,aux,rvd}$	10	53	62
$Q_{W,p,aux,rbl}$	1	0	1
$Q_{W,gnr,aux,rbl}$	0	0	0
$Q_{W,gen,aux,rbl}$	1	0	1
$Q_{W,gen,in}$	3336	4761	8097
pod sustav proizvodnje, grijanje			
$Q_{H,gen,out}=Q_{H,dis,in}$	30374		30374
$Q_{H,gen,ls}$	6799		6799
$Q_{H,gen,ls,env,rbl}$	554		554
$W_{H,gen,aux}$	153		153
$Q_{H,gen,aux,rvd}$	115		115
$Q_{H,gen,aux,rbl}$	27		27
$Q_{H,gen,in}$	37058		37058
$Q_{HW,gen,in}$	40394	4761	45155

Skupni prikaz rezultata

Tablica 12.2 Pregled izračunatih energija za sezonu grijanja i izvan sezone grijanja

	sezona grijanja, kWh	izvan sezone grijanja, kWh	ukupno kWh/a
Ukupna toplinska potreba, $Q_{H,nd}+Q_W$	28027	848	28875
Ukupni topl. gubici, $\sum_i Q_{ls,i}$	20196	3985	24181
Iskoristivi topl. gubici, $\sum_i Q_{rbl,i}$	9335	0	9335
Vraćena pomoćna energija, $\sum_i Q_{aux,rvd,i}$	314	72	386
Iskoristivi topl. gubici pomoćnih uređaja, $\sum_i Q_{aux,rbl,i}$	59	0	59
Iskorišteni topl. gubici, $\sum_i Q_{ls,rvd,i}$	7515	0	7515
Pomoćna energija, $\sum_i W_{aux,i}$	424	96	520
Isporučena topl. energija generatorima, $Q_{gen,in}$	40394	4761	45155
Isporučena energija, E_{del}	40818	4857	45674
Primarna energija, E_{prim}	45704	5525	51229
Koeficijent utroška primarne energije, e_p (primarna en./topl.potreba)	1,63	6,52	1,77

Izrazi korišteni za računanje veličina iz Tablice 12.2

$$\sum Q_{ls,rvd} = \eta_{rvd} \left(\sum_i Q_{rbl,i} + \sum_i Q_{aux,rbl,i} \right) \quad [\text{kWh}] \quad (12.1)$$

$$Q_{gen,in} = Q_{H,gen,in} + Q_{W,gen,in} \quad [\text{kWh}] \quad (\text{vidi Tablicu 12.1}) \quad (12.2)$$

$$E_{del} = Q_{gen,in} + \sum_i W_{aux,i} \quad [\text{kWh}] \quad (12.3)$$

$$E_{prim} = Q_{gen,in} f_{p,i} + \sum_i W_{aux,i} f_{p,el} \quad [\text{kWh}] \quad (12.4)$$

$$e_p = E_{prim} / (Q_{H,nd} + Q_W) \quad [\text{kWh}] \quad (12.5)$$

Tablica 12.3 Pregled izračunatih energija za sustav grijanja i sustav pripreme PTV-a

	grijanje, kWh/a	PTV, kWh/a	ukupno, kWh/a
Ukupna toplinska potreba, $Q_{H,nd}/Q_W$	27000	1875	28875
Ukupni topl. gubici, $\sum_i Q_{H,ls,i} / \sum_i Q_{W,ls,i}$	17854	6327	24181
Iskoristivi topl. gubici, $\sum_i Q_{H,rbl,i} / \sum_i Q_{W,rbl,i}$	7246	2089	9335
Vraćena pomoćna energija, $\sum_i Q_{H,aux,rld,i} / \sum_i Q_{W,aux,rld,i}$	281	105	386
Iskoristivi topl. gubici pomoćnih uređaja, $\sum_i Q_{H,aux,rbl,i} / \sum_i Q_{W,aux,rbl,i}$	54	5	59
Iskorišteni topl. gubici, $\sum_i Q_{H,ls,rld,i} / \sum_i Q_{W,ls,rld,i}$	5841	1675	7515
Pomoćna energija $\sum_i W_{H,aux,i} / \sum_i W_{W,aux,i}$	379	140	520
Isporučena topl. energija generatorima, $Q_{H,gen,in}/Q_{W,gen,in}$	37058	8097	45155
Isporučena energija, $E_{H,del}/E_{W,del}$	37437	8237	45674
Primarna energija, $E_{H,prim}/E_{W,prim}$	41902	9327	51229
Koeficijent utroška primarne energije, $e_{H,p}/e_{W,p}$ (primarna en./topl.potreba)	1,55	4,97	1,77

Izrazi korišteni za računanje veličina iz Tablice 12.3

$$\sum_i Q_{H,ls,rld,i} = \eta_{rld} \left(\sum_i Q_{H,rbl,i} + \sum_i Q_{H,aux,rbl,i} \right) \quad [\text{kWh}] \quad (12.6)$$

$$\sum_i Q_{W,ls,rld,i} = \eta_{rld} \left(\sum_i Q_{W,rbl,i} + \sum_i Q_{W,aux,rbl,i} \right) \quad [\text{kWh}] \quad (12.7)$$

$$Q_{H,gen,in} = Q_{H,nd} + \sum_i Q_{H,ls,i} - \sum_i Q_{H,ls,rld,i} - \sum_i Q_{H,aux,rld,i} - \sum_i Q_{W,ls,rld,i} \quad [\text{kWh}]$$

ili očitati iz Tablice 12.1 (12.8)

$$Q_{W,gen,in} = Q_W + \sum_i Q_{W,ls,i} - \sum_i Q_{W,aux,rld,i} \quad [\text{kWh}]$$

ili očitati iz Tablice 12.1 (12.9)

$$E_{H,del} = Q_{H,gen,in} + \sum_i W_{H,aux,i} \quad [\text{kWh}] \quad (12.10)$$

$$E_{W,del} = Q_{W,gen,in} + \sum_i W_{W,aux,i} \quad [\text{kWh}] \quad (12.11)$$

$$E_{H,prim} = Q_{H,gen,in} \cdot f_{p,i} + \sum_i W_{H,aux,i} \cdot f_{p,el} \quad [\text{kWh}] \quad (12.12)$$

$$E_{W,prim} = Q_{W,gen,in} \cdot f_{p,i} + \sum_i W_{W,aux,i} \cdot f_{p,el} \quad [\text{kWh}] \quad (12.13)$$

$$e_{H,p} = E_{H,prim} / Q_{H,nd} \quad [\text{kWh}] \quad (12.14)$$

$$e_{W,p} = E_{W,prim} / Q_W \quad [\text{kWh}] \quad (12.15)$$

13. Energetski certifikat zgrade

Za primjer zgrade i termotehničkog sustava iz Poglavlja 12.

 prema Direktivi 2002/91/EC Energetski certifikat za stambene zgrade	Zgrada ☒ nova ☐ postojeća		
	Vrsta zgrade		
	K.č. k.o.		
	Adresa		
	Mjesto		
	Vlasnik / investitor		
	Izvođač		
	Godina izgradnje		
	$Q''_{H,nd,ref}$	$\text{kWh}/(\text{m}^2\text{a})$	Izračun 180
	A+	≤ 15	 E
	A	≤ 25	
	B	≤ 50	
	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			
$A_K [\text{m}^2]$	150		
$V_e [\text{m}^3]$	467		
$f_0 [\text{m}^{-1}]$	0,76		
$H''_{tr,adj} [\text{W}/(\text{m}^2\text{K})]$	0,95		

Klimatski podatci		
Klimatski podaci (kontinentalna ili primorska Hrvatska)	kontinentalna	
Broj stupanj dana grijanja SD [Kd/a]	3083	
Broj dana sezone grijanja Z [d]	200	
Srednja vanjska temperatura u sezoni grijanja θ_e [°C]	5,3	
Unutarnja projektna temperatura u sezoni grijanja θ_i [°C]	21	

Podaci o termotehničkim sustavima zgrade	
Način grijanja zgrade (lokalno, etažno, centralno, daljinski izvor)	centralno
Izvori energije koji se koriste za grijanje i pripremu potrošne tople vode	standardni plinski toplov. kotao 30 kW s ind. grijan. spremnikom 150 Lit +radijatori+cirk. PTV
Način hlađenja (lokalno, etažno, centralno, daljinski izvor)	
Izvori energije koji se koriste za hlađenje	
Vrsta ventilacije (prirodna, prisilna bez ili s povratom topline)	prirodna
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/(m ² a)]	Ukupno [kWh/a]	Specifično [kWh/(m ² a)]	Dopušteno [kWh/(m ² a)]	Ispunje no DA / NE
$Q_{H,nd}$	27000	180			80	
Q_W	1875	13				
$Q_{H,ls}$	12014	80				
$Q_{W,ls}$	4652	31				
Q_H	45541	303				
E_{del}	45674	304				
E_{prim}	51229	342				
CO ₂ [kg/a]	9306					

Objašnjenje:

☐ obvezna ispuna☒ ispunjava se opcijski

Izrazi korišteni za računanje veličina iz certifikata (oznake prema Tablicama 12.2 i 12.3):

$$Q_{H,ls} = Q_{H,ls,nrvd} = \sum_i Q_{H,ls,i} - \sum_i Q_{H,ls,rvd,i} \quad [\text{kWh}] \quad (\text{Tablica 12.3}) \quad (13.1)$$

$$Q_{W,ls} = Q_{W,ls,nrvd} = \sum_i Q_{W,ls,i} - \sum_i Q_{W,ls,rvd,i} \quad [\text{kWh}] \quad (\text{Tablica 12.3}) \quad (13.2)$$

$$Q_H = Q_{H,nd} + Q_W + Q_{H,ls,nrvd} + Q_{W,ls,nrvd} \quad [\text{kWh}] \quad (13.3a)$$

$$\text{ili} \\ Q_H = Q_{gen,in} + \sum_i Q_{aux,rvd,i} \quad [\text{kWh}] \quad (\text{Tablica 12.2}) \quad (13.3b)$$

$$E_{del} = Q_{gen,in} + \sum_i W_{aux,i} \quad [\text{kWh}] \quad (\text{Tablica 12.2}) \quad (13.4)$$

$$E_{prim} = Q_{gen,in} \cdot f_{p,i} + \sum_i W_{aux,i} \cdot f_{p,el} \quad [\text{kWh}] \quad (\text{Tablica 12.2}) \quad (13.5)$$

$$CO_2 = Q_{gen,in} \cdot C_{p,i} + \sum_i W_{aux,i} \cdot C_{el} \quad [\text{kg}] \quad (13.6)$$

NAPOMENA: Toplinski gubici označeni u certifikatu s $Q_{H,ls}$ i $Q_{W,ls}$ predstavljaju neiskorištene toplinske gubitke te su, sukladno ostalim oznakama u ovom Algoritmu, u Jedn. (13.1), (13.2) i (13.3a) označeni s $Q_{H,ls,nrvd}$ i $Q_{W,ls,nrvd}$ respektivno.