



Sveučilište u Zagrebu  
Fakultet strojarstva i brodogradnje



Naručitelj: **Ministarstvo graditeljstva i prostornog uređenja**  
Sektor za energetske učinkovitost u zgradarstvu  
Republike Austrije 20  
Zagreb 10000

Predmet: **Algoritam za određivanje energijskih zahtjeva i učinkovitosti**  
**dizalica topline zrak-zrak (*Sustavi grijanja prostora*)**

Autori: prof. dr. sc. Vladimir Soldo, dipl.ing.stroj.  
Iva Bertović, mag.ing.stroj.  
dr. sc. Luka Boban, mag.ing.stroj.

Zagreb, listopad 2021.

**SADRŽAJ**

UVOD.....	5
1. ULAZNI PODACI .....	7
1.1. Opći ulazni podaci o uređaju i sustavu .....	7
1.2. Radne točke prema HRN EN 14511:2018.....	8
1.3. Meteorološki podaci .....	9
1.4. Podaci o potrebnoj toplinskoj energiji za grijanje.....	10
2. PRORAČUN ENERGIJSKIH ZAHTEVA I UČINKOVITOSTI DIZALICA TOPLINE ZRAK-ZRAK PRI PUNOM OPTEREĆENJU .....	11
2.1. Toplinski množitelj (COP) i ogrjevni učinak dizalice topline pri punom opterećenju..	11
2.2. Vrijeme rada dizalice topline .....	15
2.3. Isporučena toplinska energija dizalicom topline i privedena električna energija za pogon dizalice topline pri punom opterećenju.....	16
2.4. Isporučena toplinska energija pomoćnim podsustavom proizvodnje.....	16
3. PRORAČUN ENERGIJSKIH ZAHTEVA I UČINKOVITOSTI DIZALICA TOPLINE ZRAK-ZRAK PRI DJELOMIČNOM OPTEREĆENJU .....	17
3.1. Faktor djelomičnog opterećenja .....	17
3.2. Isporučena toplinska energija dizalicom topline pri djelomičnom opterećenju.....	17
3.3. Toplinski množitelj (COP) i potrebna električna energija za pogon dizalice topline pri kontinuiranom radu .....	17
3.4. Toplinski množitelj (COP) i potrebna električna energija za pogon dizalice topline s cikličkim radom ON/OFF.....	20
4. KOREKCIJA SEZONSKOG TOPLINSKOG MNOŽITELJA S OBZIROM NA IZVEDBU SUSTAVA.....	23
5. IZLAZNI PODACI - REZULTATI PRORAČUNA .....	25
5.1. Ukupna isporučena toplinska energija dizalicom topline .....	25
5.2. Ukupna privedena električna energija za pogon dizalice topline.....	25
5.3. Ukupna energija pomoćnih uređaja .....	26
5.4. Sezonski toplinski množitelj (SCOP) sustava.....	26
5.5. Ukupna energija preuzeta iz obnovljivih izvora energije (OIE) .....	27
5.6. Udio preuzete obnovljive energije u ukupnoj energetske bilanci .....	27
6. PRIMJER PRORAČUNA DIZALICE TOPLINE ZRAK-ZRAK.....	28

Popis mjernih oznaka i jedinica korištenih u algoritmu

$C_{COP}$	- COP korekcijski faktor, [-];
$C_{Pn}$	- korekcijski faktor ogrjevnog učinka, [-];
$COP_{gen,LR100}$	- COP pri punom opterećenju za odgovarajuće temperature toplinskih spremnika, [-]
$COP_{\vartheta a; \vartheta int; ref}$	- deklarirani toplinski množitelj (COP) dizalice topline od proizvođača, [-];
$COP_{\vartheta a; \vartheta int; Pn}$	- deklarirani toplinski množitelj (COP) dizalice topline od proizvođača za standardne uvjete ispitivanja (7/20 °C), [-];
$COP_{gen;LR;cont;min;net}$	- COP pri minimalnom faktoru djelomičnog opterećenja umanjen za snagu pomoćnih komponenti, [-];
$COP_{gen;LR;net}$	- COP pri djelomičnom opterećenju umanjen za snagu pomoćnih komponenti, [-];
$COP_{gen;LR100;net}$	- COP pri punom opterećenju umanjen za snagu pomoćnih komponenti, [-];
$COP_{gen;LRcont}$	- COP pri djelomičnom opterećenju dizalice topline s kontinuiranim upravljanjem rada, [-];
$COP_{gen;ONOFF;LR}$	- COP pri djelomičnom opterećenju dizalice topline s cikličkim upravljanjem rada, [-];
$E_{H;gen;in}$	- privedena električna energija za pogon dizalice topline, [kWh];
$E_{gen;in;LR100}$	- privedena električna energija za pogon dizalice topline pri punom opterećenju, [kWh];
$E_{gen;in;LRcont}$	- privedena električna energija za pogon dizalice topline s kontinuiranim radom pri djelomičnom opterećenju, [kWh];
$E_{gen;in;ONOFF;LR}$	- privedena električna energija za pogon dizalice topline s cikličkim radom pri djelomičnom opterećenju, [kWh];
$f_{COP}$	- COP težinski faktor za pripadajuću vanjsku i unutarnju temperaturu zraka proračunskog perioda, [-];
$f_{Pn}$	- težinski faktor ogrjevnog učinka za pripadajuću vanjsku i unutarnju temperaturu zraka, [-];
$f_{gen;LR;cont;min;net}$	- korekcijski faktor za prilagodbu COP-a pri djelomičnom opterećenju, [-];
$f_{gen;aux;el}$	- udio električne energije za pogon dizalice topline (upravljanje dizalicom topline), [-];
$H$	- najveća visinska razlika razvoda dizalice topline zrak-zrak, [m];
$H_{max}$	- maksimalna dopuštena visinska razlika razvoda dizalice topline zrak-zrak, [m];
$k_{\Delta p}$	- korekcijski faktor zbog pada tlaka na strani razvoda radne tvari, [m];
$L$	- duljina razvoda od vanjske jedinice do kritične unutarnje jedinice, [m];
$LR_H$	- faktor djelomičnog opterećenja, [-];
$LR_{cont;min}$	- minimalni faktor djelomičnog opterećenja dizalice topline pri kojem dizalica topline radi kontinuirano, [-];
$P_{toff}$	- potrebna električna snaga kada termostat isključuje uređaj, [kW];

$P_{stby}$	- potrebna električna snaga u pripravnom stanju, [kW];
$P_{ck}$	- potrebna električna snaga u načinu rada grijanja kućišta kartera kompresora, [kW];
$P_{comp;LR}$	- snaga kompresora pri djelomičnom opterećenju, [kW];
$P_{comp;LR;cont;min}$	- snaga kompresora pri minimalnom faktoru djelomičnog opterećenja, [kW];
$P_{comp;LR100}$	- snaga kompresora pri punom opterećenju, [kW];
$P_{comp;ONOFF;LR}$	- snaga zbog ireverzibilnosti rada dizalice topline (toplinske inercije), [kW];
$P_{gen;LR100}$	- električna snaga za pogon dizalice topline pri punom opterećenju, [kW];
$P_{gen;aux;el}$	- električna snaga potrebna za rad dizalice topline (ventilator, regulacija, električni uređaji); [kW];
$r_{ren}$	- udio preuzete obnovljive energije u ukupnoj energetskej bilanci, [-];
$SCOP_{gen}$	- sezonski toplinski množitelj (SCOP) sustava, [-];
$Q_{H,nd}$	- potrebna toplinska energija za grijanje, [kWh];
$Q_{H;gen;bu}$	- toplinska energija koju je potrebno isporučiti drugim podsustavima proizvodnje, [kWh];
$Q_{H;gen,out}$	- isporučena toplinska energija dizalicom topline, [kWh];
$Q_{H;gen;ren;in}$	- energija preuzeta iz obnovljivog izvora energije (zraka), [kWh];
$Q_{gen,out;LR100}$	- isporučena toplinska energija dizalicom topline pri punom opterećenju, [kWh];
$t_{ci}$	- proračunski period, [h];
$t_{ck}$	- vrijeme rada dizalice topline s uključenim grijačem kućišta kartera kompresora, [h];
$t_H$	- vrijeme rada dizalice topline, [h];
$t_{H;real}$	- stvarno vrijeme rada dizalice topline, [h];
$t_{stby}$	- vrijeme rada dizalice topline u pripravnom stanju, [h];
$W_{gen;aux}$	- energija pomoćnih uređaja, [kWh];
$\vartheta_a$	- temperatura vanjskog zraka, [°C];
$\vartheta_{int}$	- temperatura kondicioniranog prostora, [°C];
$\tau_{eq}$	- vremenska konstanta za ciklički ON/OFF način rada, [s];
$\tau_{eq;em;type}$	- vremenska konstanta za održavanje toplinskog stanja na strani unutarnjeg toplinskog spremnika, [s];
$\Phi_{gen,LR100}$	- ogrjevni učinak dizalice topline pri punom opterećenju, [kW];
$\Phi_{gen;LR;cont;min}$	- ogrjevni učinak dizalice topline pri minimalnom faktoru djelomičnog opterećenja, [kW];
$\Phi_{\vartheta_a;\vartheta_{int};P_n}$	- deklarirani ogrjevni učinak dizalice topline od proizvođača za standardne uvjete ispitivanja (7/20 °C), [kW];
$\Phi_{\vartheta_a;\vartheta_{int};ref}$	- deklarirani ogrjevni učinak dizalice topline od proizvođača, [kW];

Indeksi

a	-	zrak	LR	-	djelomično opterećenje
aux	-	pomoćni	LR100	-	puno opterećenje
cont	-	kontinuirani	min	-	minimalni
el	-	električna energija	max	-	maksimalni
gen	-	proizvedeni	ON/OFF	-	ciklički
H	-	grijanje	out	-	izlazni
in	-	ulazni	ref	-	deklarirani
int	-	unutarnji	X	-	proračunski period

## UVOD

*Algoritam za određivanje energijskih zahtjeva i učinkovitosti termotehničkih sustava u zgradama* temelji se na normama na koje upućuje *Pravilnik o energetsom pregledu zgrade i energetsom certificiranju* (Narodne novine br. 88/17). Obuhvaća proračune konvencionalnih sustava grijanja prostora i pripreme PTV-a te sustave s dizalicama topline i sunčane toplovodne sustave. Postojeći *Algoritam* dostupan na stranicama Ministarstva graditeljstva i prostornog uređenja sadrži proračune dizalica topline zrak-voda, tlo-voda i voda-voda. U ovome dokumentu dana je metodologija proračuna dizalice topline zrak-zrak koja nije sadržana u postojećem *Algoritmu*.

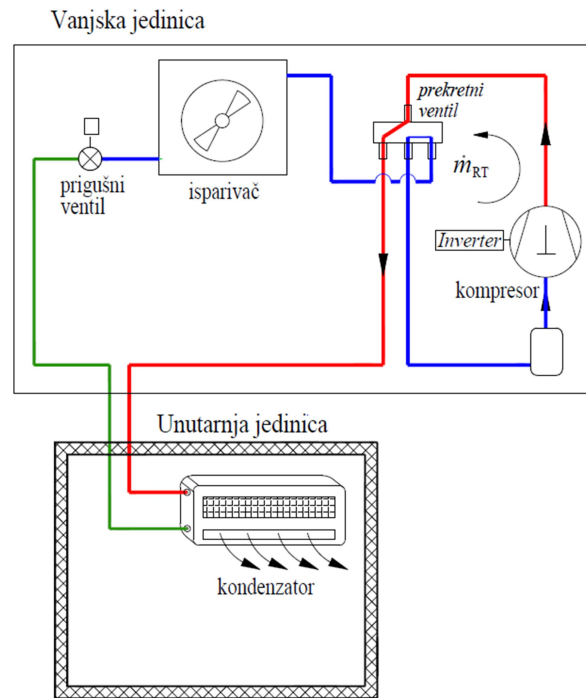
Budući da ne postoji izvorna norma koja eksplicitno daje proračun dizalica topline zrak-zrak, za razvoj *Algoritma* i metodologije proračuna kombinirane su norme HRN EN 15316-4-2 (metoda A, put A), HRN EN 14511 i HRN EN 14825.

Radi lakšeg povezivanja izraza u *Algoritmu za proračun dizalice topline zrak-zrak* s onima iz normi, pored svakog izraza preuzetog iz norme dan je broj odgovarajućeg izraza iz norme na kojoj se temelji predmetno poglavlje, npr. HRN EN 14511:2018. Isto vrijedi i za tablice. Uz to, svi izrazi imaju svoju zasebnu numeraciju s brojem poglavlja, npr. (2.1). Dan je popis svih ulaznih podataka koji se ne računaju u algoritmu, već se unose iz priloženih tablica, projektne dokumentacije, podataka proizvođača o radnim točkama dizalice topline, izvješća o energetsom pregledu i dr. Slijed izraza je načelno takav da omogućuje kontinuirani izračun svake naredne veličine koristeći one prethodno izračunate.

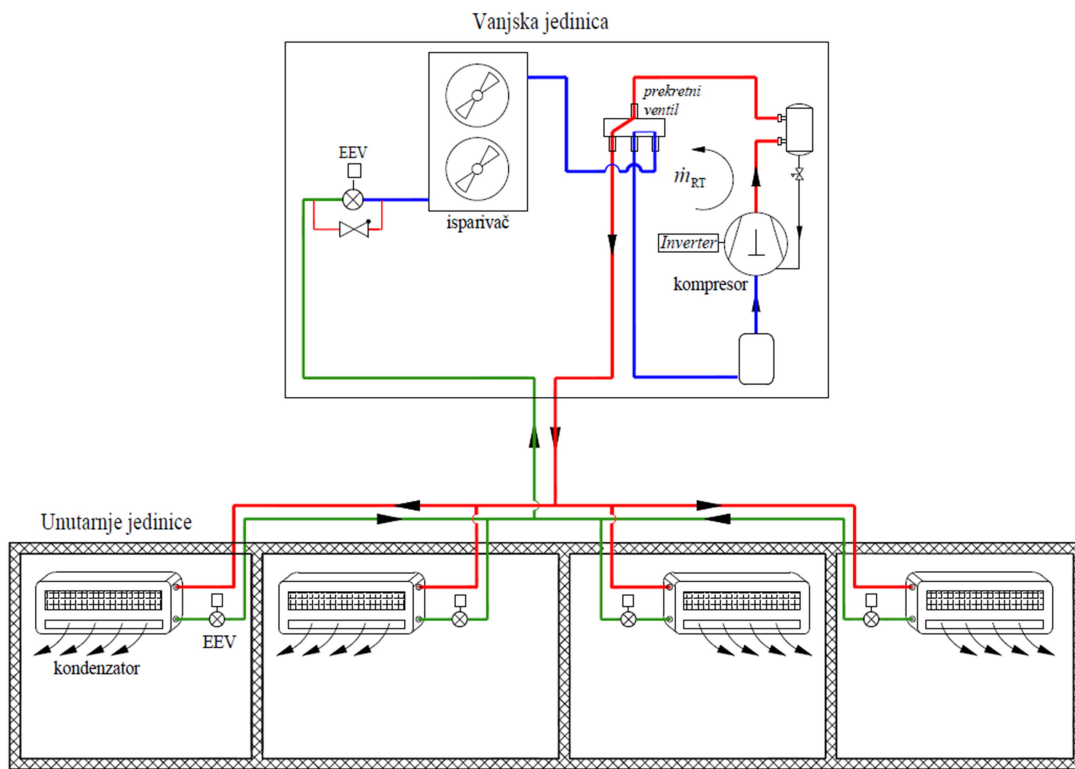
Razvijena metoda proračuna je satna. Proračun se odnosi na kompresijske dizalice topline zrak-zrak pogonjene električnom energijom u režimu grijanja: split izvedba (Slika 1), multi-split izvedba i izvedba s promjenjivim protokom radne tvari – VRF, Slika 2 (ne uključuje sustave s povratom toplinske energije). Budući da se radi o direktnom sustavu grijanja s dizalicom topline s kondenzatorom u prostoru (bez posrednog prijenosnika energije), kao ulazni podatak koristi se satna vrijednost potrebne toplinske energije za grijanje,  $Q_{H,nd}$ . Radne točke za proračun sezonske učinkovitosti dizalice topline u režimu grijanja uzimaju se iz podataka proizvođača prema normi HRN EN 14511:2018.

Rezultat proračuna je sezonska učinkovitost dizalice topline u režimu grijanja, privedena električna energija za pogon sustava, obnovljiva energija preuzeta od zraka kao izvora topline te isporučena toplinska energija dizalicom topline. Primarna energija sustava izračunava se na jednostavan način iz privedene električne energije za pogon dizalice topline.

Na kraju je dan pregled svih izlaznih veličina proračuna, dobivenih za konkretan primjer termotehničkog sustava zgrade/zone.



Slika 1: Shematski prikaz dizalice topline zrak-zrak (split izvedba)



Slika 2: Shematski prikaz dizalice topline zrak-zrak (VRF izvedba)

## 1. ULAZNI PODACI

### 1.1. Opći ulazni podaci o uređaju i sustavu

Opći ulazni podaci o uređaju i sustavu za proračun energijskih zahtjeva i učinkovitosti dizalica topline zrak-zrak su:

- a) Način upravljanja radom dizalice topline
  - cikličko ili kontinuirano upravljanje radom;
- b) Minimalni faktor djelomičnog opterećenja dizalice topline pri kojem dizalica topline radi kontinuirano, ( $LR_{cont;min}$ )
  - ako nije deklarirano drugačije, usvaja se vrijednost 0,2 za VRF sustave i 0,3 za split i multi split sustave;
  - vrijedi kod uređaja s kontinuiranim upravljanjem;
- c) Udio električne energije za pogon dizalice topline, ( $f_{gen;aux;el}$ )
  - upravljanje dizalicom topline
  - ako nije deklarirano drugačije, usvaja se vrijednost 0,05;
- d) Potrebna električna snaga kada termostat isključi uređaj, ( $P_{toff}$ )
- e) Potrebna električna snaga u pripravnim stanju,  $P_{stby}$
- f) Potrebna električna snaga u načinu rada grijanja kućišta kartera kompresora,  $P_{ck}$

U Tablici 1.1 nalaze se opći ulazni podaci o uređaju i sustavu za proračun energijskih zahtjeva i učinkovitosti dizalica topline zrak-zrak s pripadajućim oznakama, mjernim jedinicama te izvorom podatka.

Tablica 1.1: Opći ulazni podaci o uređaju i sustavu

Naziv	Oznaka	Jedinica	Izvor
Način upravljanja dizalicom topline	-	-	Proizvođač
Minimalni faktor djelomičnog opterećenja dizalice topline pri kojem radi kontinuirano	$LR_{cont;min}$	-	Proizvođač
Udio električne energije za pogon dizalice topline (upravljanje dizalicom topline)	$f_{gen;aux;el}$	-	EN 15316-4-2:2017
Potrebna el. snaga kada termostat isključi uređaj	$P_{toff}$	kW	Proizvođač
Potrebna el. snaga u pripravnim stanju	$P_{stby}$	kW	Proizvođač
Potrebna el. snaga u načinu rada grijanja kućišta kartera kompresora	$P_{ck}$	kW	Proizvođač



## 1.2. Radne točke prema HRN EN 14511:2018

Uz opće ulazne podatke o uređaju i sustavu, za proračun je potrebno poznavati vrijednosti ogrjevnog učinka i toplinskog množitelja (COP) razmatrane dizalice topline pri punom opterećenju prema HRN EN 14511:2018. Spomenute vrijednosti navodi proizvođač u tehničkoj specifikaciji uređaja.

U Tablici 1.2 navedene su gore spomenute radne točke s preporučenim vanjskim i unutarnjim temperaturama zraka prema HRN EN 14511:2018 za koje proizvođač u tehničkoj specifikaciji uređaja navodi pripadajuće vrijednosti ogrjevnog učinka i toplinskog množitelja pri punom opterećenju uređaja.

*Tablica 1.2: Radne točke prema HRN EN 14511:2018*

$\vartheta_a$ , [°C]	$\vartheta_{int}$ , [°C]	$COP_{\vartheta_a;\vartheta_{int};ref}$ , [-]	$\Phi_{\vartheta_a;\vartheta_{int};ref}$ , [kW]
-15	20		
-7	20		
2	20		
7	20		
12	20		

### 1.3. Meteorološki podaci

Potrebni meteorološki podaci za proračun energijskih zahtjeva i učinkovitosti dizalica topline zrak-zrak, tj. vrijednosti vanjske temperature zraka, svedeni su na satne vrijednosti temperatura u karakterističnom danu svakog mjeseca te se odabiru proizvoljno ovisno o lokaciji razmatranog sustava. Kao referentni podaci za područje kontinentalne Hrvatske koriste se satni podaci za grad Zagreb, dok se kao referentni podaci za područje primorske Hrvatske, koriste satni podaci za grad Split.

Ako su satne vrijednosti temperatura u karakterističnom danu svakog mjeseca poznate za stvarnu lokaciju primjene, preporuča se koristiti te vrijednosti kao ulazni podatak umjesto referentnih vrijednosti.

U Tablicama 1.3 i 1.4 navedeni su meteorološki podaci o satnoj okolišnoj temperaturi zraka u karakterističnom danu svakog mjeseca za gradove Zagreb i Split.

**Tablica 1.3: Meteorološki podaci o satnoj okolišnoj temperaturi zraka u karakterističnom danu svakog mjeseca za grad Zagreb (kontinentalna Hrvatska)**

ZAGREB												
Sat	Siječanj	Veljača	Ožujak	Travanj	Svibanj	Lipanj	Srpanj	Kolovoz	Rujan	Listopad	Studeni	Prosinac
1	-1,87	0,69	4,71	10,08	13,09	17,15	18,78	19,35	15,29	10,15	7,30	1,53
2	-2,06	0,48	4,20	9,41	12,89	16,48	18,14	18,74	15,11	9,81	7,18	1,24
3	-2,22	0,25	3,90	9,11	12,42	16,20	17,67	18,31	14,79	9,35	6,94	1,05
4	-2,30	0,00	3,52	8,73	12,01	15,88	17,36	17,92	14,22	9,11	6,80	0,97
5	-2,34	-0,13	3,27	8,21	11,83	15,95	16,91	17,56	13,96	8,75	6,71	0,74
6	-2,33	-0,17	3,09	8,24	13,03	17,49	17,95	17,88	13,92	8,63	6,61	0,81
7	-2,34	-0,13	3,45	9,47	14,85	19,39	19,70	20,05	14,94	8,68	6,64	0,77
8	-2,26	0,31	5,18	11,39	16,32	20,75	21,14	22,17	16,68	9,81	6,95	0,80
9	-1,91	1,47	7,17	13,34	17,70	22,22	22,43	23,85	18,80	11,68	8,70	0,87
10	-1,32	2,29	8,70	14,40	18,85	23,10	23,62	25,41	20,27	13,36	9,83	1,62
11	-0,72	3,24	9,74	15,38	19,73	23,68	24,57	26,63	21,41	14,96	10,77	2,49
12	-0,13	4,32	10,75	16,06	20,36	24,21	25,62	27,72	22,27	16,28	11,38	3,03
13	0,32	4,83	11,51	16,54	21,03	24,59	26,42	28,49	22,86	17,34	12,24	3,46
14	0,54	5,35	11,82	17,08	21,16	24,94	26,74	29,12	23,18	17,97	12,54	3,68
15	0,65	5,52	12,01	16,83	21,43	24,85	26,80	29,30	23,31	18,04	12,50	3,75
16	0,28	5,58	12,02	16,85	21,31	24,83	26,53	29,37	23,12	17,75	11,90	3,41
17	-0,14	5,07	11,54	16,47	21,05	24,62	26,31	28,87	22,65	16,66	10,94	2,93
18	-0,46	4,23	10,45	15,66	20,25	24,18	25,70	27,94	21,71	14,53	9,78	2,66
19	-0,85	3,10	9,04	14,23	18,85	23,23	24,59	26,13	19,80	13,33	9,17	2,31
20	-1,05	2,29	7,84	12,54	16,59	21,47	23,03	23,37	18,19	12,58	8,68	2,22
21	-1,35	1,87	6,99	11,78	15,33	19,97	21,28	21,87	17,10	11,94	8,06	1,91
22	-1,56	1,62	6,25	11,31	14,61	19,02	20,50	21,00	16,46	11,20	7,86	1,73
23	-1,59	1,56	5,76	10,83	14,35	18,26	19,83	20,35	15,81	10,44	7,77	1,55
24	-1,70	1,31	5,23	10,54	13,72	17,78	19,08	19,96	15,50	10,13	7,34	1,46

**Tablica 1.4: Meteorološki podaci o satnoj okolišnoj temperaturi zraka u karakterističnom danu svakog mjeseca za grad Split (primorska Hrvatska)**

SPLIT												
Sat	Siječanj	Veljača	Ožujak	Travanj	Svibanj	Lipanj	Srpanj	Kolovoz	Rujan	Listopad	Studeni	Prosinac
1	8,02	7,06	8,97	13,76	18,09	22,81	24,60	25,46	21,60	14,97	11,43	10,42
2	7,89	6,87	8,89	13,53	18,02	22,69	24,52	25,21	21,42	14,72	11,35	10,25
3	7,71	6,59	8,80	13,32	17,68	22,44	24,13	24,97	21,08	14,45	11,08	10,04
4	7,64	6,48	8,70	13,29	17,52	22,23	23,85	24,77	21,01	14,30	11,04	9,91
5	7,66	6,46	8,58	13,05	17,44	22,21	23,83	24,60	20,85	14,21	11,02	9,88
6	7,52	6,40	8,56	12,99	17,88	22,99	24,37	24,81	20,69	14,07	10,97	9,79
7	7,46	6,33	8,59	13,58	18,79	24,05	25,30	25,55	21,08	14,18	10,97	9,78
8	7,47	6,47	9,16	14,57	19,92	25,09	26,71	26,99	21,84	14,20	11,12	9,71
9	7,62	6,94	10,07	15,50	21,03	26,38	27,86	28,22	23,00	14,84	11,39	9,95
10	8,10	7,55	10,98	16,29	21,91	27,08	28,84	29,43	24,12	15,69	11,94	10,36
11	8,81	8,29	11,75	16,85	22,80	27,80	29,56	30,37	24,90	16,58	12,61	11,02
12	9,50	9,01	12,34	17,45	23,24	28,54	30,21	30,77	25,37	17,35	13,13	11,46
13	9,98	9,42	12,71	17,86	23,62	28,67	30,30	31,13	25,62	17,89	13,40	11,99
14	10,11	9,66	12,89	18,08	23,47	28,68	30,31	31,07	25,57	18,10	13,39	12,21
15	10,09	9,65	12,96	18,12	23,37	28,65	30,16	30,76	25,34	18,13	13,26	11,98
16	9,75	9,19	12,75	17,71	22,81	28,22	29,72	30,27	25,08	17,63	12,88	11,68
17	9,27	8,79	12,03	17,20	22,23	27,66	29,19	29,47	24,52	16,98	12,46	11,37
18	9,07	8,24	11,33	16,29	21,55	27,00	28,50	28,56	23,57	16,52	12,20	11,17
19	8,92	7,93	10,75	15,53	20,88	26,18	27,71	27,68	22,94	16,18	11,95	11,14
20	8,68	7,60	10,19	15,07	20,20	25,01	26,78	26,94	22,51	15,86	11,78	10,92
21	8,58	7,49	9,89	14,77	19,76	24,59	26,23	26,57	22,29	15,62	11,70	10,75
22	8,50	7,26	9,67	14,55	19,32	24,22	25,75	26,27	22,12	15,39	11,56	10,57
23	8,31	7,10	9,47	14,25	18,93	23,67	25,30	25,95	21,78	15,09	11,43	10,33
24	8,20	7,03	9,36	13,99	18,44	23,26	24,89	25,66	21,59	14,95	11,36	10,24

#### 1.4. Podaci o potrebnoj toplinskoj energiji za grijanje

Potrebna toplinska energija za grijanje,  $Q_{H,nd}$ , definirana je prema HRN EN ISO 13790 kao računski određena količina topline koju sustavom grijanja treba tijekom jedne godine dovesti u zgradu za održavanje unutarnje projektne temperature u zgradi tijekom razdoblja grijanja zgrade.

Ulazni podaci o potrebnoj toplinskoj energiji za grijanje prema *Algoritmu za proračun potrebne energije za grijanje i hlađenje prema HRN EN ISO 13790* svedeni su na satne vrijednosti za meteorološke podatke navedene u poglavlju 1.3.

## 2. PRORAČUN ENERGIJSKIH ZAHTJEVA I UČINKOVITOSTI DIZALICA TOPLINE ZRAK-ZRAK PRI PUNOM OPTEREĆENJU

Budući da je proračun energijskih zahtjeva i učinkovitosti dizalica topline zrak-zrak, koji se provodi, satni, proračunski period jednak je jednom satu. Sukladno tome, vrijednosti toplinskog množitelja (COP), ogrjevnog učinka i isporučene toplinske energije dizalice topline mijenjaju se za svaki period.

### 2.1. Toplinski množitelj (COP) i ogrjevni učinak dizalice topline pri punom opterećenju

Ovisno o vanjskoj temperaturi zraka u razmatranom proračunskom periodu, potrebno je definirati toplinski množitelj (COP) i ogrjevni učinak u istom koristeći radne točke prema HRN EN 14511:2018 iz poglavlja 1.2.

Razvijena su dva pristupa (a i b) ovisno o dostupnosti radnih točaka iz poglavlja 1.2:

a) Poznate su sve vrijednosti COP-a i ogrjevnog učinka dizalice topline prema HRN EN 14511:2018:

Izračun COP-a i ogrjevnog učinka pri punom opterećenju za proračunski period temelji se na interpolaciji između tabličnih vrijednosti za pripadajuće vanjske i unutarnje temperature toplinskih spremnika. Tablične vrijednosti koje se unose su vrijednosti radnih točaka prema HRN EN 14511:2018. U Tablicu 2.1 unose se vrijednosti radnih točaka uređaja za pripadajuće vanjske i unutarnje temperature toplinskih spremnika.

*Tablica 2.1: Radne točke prema HRN EN 14511:2018*

Temp. vanjskog okolišnjeg zraka	Temp. unutarnjer zraka prostora	Deklarirani toplinski množitelj od proizvođača	Deklarirani ogrjevni učinak od proizvođača
$\vartheta_a, [^{\circ}\text{C}]$	$\vartheta_{int}, [^{\circ}\text{C}]$	$COP_{\vartheta_a; \vartheta_{int}; ref}, [-]$	$\Phi_{\vartheta_a; \vartheta_{int}; ref}, [\text{kW}]$
-15	20		
-7	20		
2	20		
7	20		
12	20		

Ogrjevni učinak i COP pri punom opterećenju za odgovarajuće temperature proračunskog perioda dobivaju se interpolacijom između poznatih vrijednosti.

Ovaj pristup se preporuča jer pruža precizniji izračun učinkovitosti uređaja.

b) Poznata je referentna vrijednost COP-a i ogrjevnog učinka dizalice topline za standardne uvjete ispitivanja (7/20 °C) prema HRN EN 14511:2018:

U slučaju kada sve vrijednosti COP-a i ogrjevnog učinka dizalice topline prema HRN EN 14511:2018 nisu poznate (dostupne), izračun COP-a i ogrjevnog učinka pri punom opterećenju za proračunski period temelji se na interpolaciji iz matrica prikazanih u Tablicama 2.2 i 2.3. Matrice se sastoje od težinskih faktora za pripadajuće temperature zraka na isparivaču i izlaznu temperaturu zraka na kondenzatoru koji se množe s referentnim vrijednostima COP-a i ogrjevnog učinka ( $COP_{\vartheta_a;\vartheta_{int};P_n}$ ,  $\Phi_{\vartheta_a;\vartheta_{int};P_n}$ ).

**Tablica 2.2: Princip uspostavljanja matrice za izračunavanje vrijednosti COP težinskih faktora**

	$\vartheta_a$			$\vartheta_{a;k-1}$	$\vartheta_{a;k}$		Težinski faktor, $\vartheta_a$
$\vartheta_{int}$							
$\vartheta_{int;l}$		$f_{COP;k-1} \cdot f_{COP;k-2} \cdot f_{COP;k-3}$	$f_{COP;k-1} \cdot f_{COP;k-2}$	$f_{COP;k-1}$	$COP_{\vartheta_a;\vartheta_{int};P_n}$	$f_{COP;k+1}$	1
Težinski faktor, $\vartheta_{int}$		$f_{COP;k-3}$	$f_{COP;k-2}$	$f_{COP;k-1}$	1	$f_{COP;k+1}$	

Tablica 2.3 prikazuje vrijednosti vanjskih i unutarnje temperature toplinskih spremnika s pripadajućim COP težinskim faktorima.

**Tablica 2.3: Težinski faktori za izračun COP-a pri punom opterećenju za VRF te split i multi-split sustave**

	$\vartheta_a$	-15 °C	-7 °C	2 °C	7 °C	12 °C	Težinski faktor, $\vartheta_a$
$\vartheta_{int}$							
20 °C					$COP_{\vartheta_a;\vartheta_{int};P_n}$		1
Težinski faktor, $\vartheta_{int}$		0,63	0,68	0,84	1	1,12	za VRF
		0,55	0,61	0,8	1,00	1,18	za split i multi split

Tablične vrijednosti COP-a pri punom opterećenju za pripadajuću vanjsku i unutarnju temperaturu toplinskog spremnika računaju se na sljedeći način:

$$COP_{gen,LR100,k,l} = f_{COP} \cdot COP_{\vartheta_a;\vartheta_{int};P_n} [-] \quad \text{HRN EN 15316-4-2: 2017} \quad (2.1)$$

gdje su:

- $f_{COP}$  - COP težinski faktor za pripadajuću vanjsku i unutarnju temperaturu toplinskog spremnika, [-];
- $COP_{\vartheta_a; \vartheta_{int}; Pn}$  - deklarirani toplinski množitelj (COP) dizalice topline od proizvođača za standardne uvjete ispitivanja (7/20 °C), [-].

Nakon što se uspostavi matrica s vrijednostima COP-a za sve tablične temperature vanjskog i unutarnjeg zraka, može se interpolirati vrijednost COP-a za odgovarajuće temperature proračunskog perioda.

Računa se sljedeći korekcijski faktor (l: indeks retka, k: indeks stupca):

$$C_{COP} = \frac{\vartheta_{a;X} - \vartheta_{a;k}}{\vartheta_{a;k+1} - \vartheta_{a;k}} \quad [-] \quad \begin{array}{l} \text{HRN} \\ \text{EN 15316-4-2:} \\ \text{2017} \end{array} \quad (2.2)$$

gdje vrijedi

$$\vartheta_{a;k+1} \geq \vartheta_{a;X} \geq \vartheta_{a;k}$$

gdje su:

- $\vartheta_{a;X}$  - temperatura vanjskog zraka za proračunski period, [°C];
- $\vartheta_{a;k}$  - manja tablična vrijednost temperature vanjskog zraka od  $\vartheta_{a;X}$ , [°C]
- $\vartheta_{a;k+1}$  - veća tablična vrijednost temperature vanjskog zraka od  $\vartheta_{a;X}$ , [°C].

COP pri punom opterećenju za odgovarajuće temperature proračunskog perioda računa se prema:

$$COP_{gen;LR100}(\vartheta_{a;X}, \vartheta_{int}) = (1 - C_{COP}) \cdot COP_{gen;LR100;k;l} + C_{COP} \cdot COP_{gen;LR100;k+1;l} \quad [-] \quad \begin{array}{l} \text{HRN} \\ \text{EN 15316-4-2:} \\ \text{2017} \end{array} \quad (2.3)$$

Vrijednosti ogrjevnog učinka dizalice topline pri punom opterećenju dobivaju se na isti način kao i COP pri punom opterećenju, ali uz različite težinske faktore. Matrica (Tablica 2.4) koja računa vrijednosti težinskih faktora ogrjevnog učinka uspostavlja se istim principom kao Tablica 2.2.

**Tablica 2.4: Princip uspostavljanja matrice za izračunavanje vrijednosti težinskih faktora ogrjevnog učinka**

	$\vartheta_a$			$\vartheta_{a;k-1}$	$\vartheta_{a;k}$		Težinski faktor, $\vartheta_a$
$\vartheta_{int}$							
$\vartheta_{int;l}$		$f_{Pn;k-1}$ $\cdot f_{Pn;k-2}$ $\cdot f_{COP;k-3}$	$f_{Pn;k-1}$ $\cdot f_{Pn;k-2}$	$f_{Pn;k-1}$	$\Phi_{\vartheta_a; \vartheta_{int}; Pn}$	$f_{Pn;k+1}$	1
Težinski faktor,		$f_{Pn;k-3}$	$f_{Pn;k-2}$	$f_{Pn;k-1}$	1	$f_{Pn;k+1}$	

$\vartheta_{int}$							
-------------------	--	--	--	--	--	--	--

Tablica 2.5 prikazuje vrijednosti vanjskih i unutarnje temperature toplinskih spremnika s pripadajućim težinskim faktorima ogrjevnog učinka.

Tablica 2.5: Težinski faktori za izračun ogrjevnog učinka pri punom opterećenju za VRF te split i multi-split sustave

	$\vartheta_a$	-15 °C	-7 °C	2 °C	7 °C	12 °C	Težinski faktor, $\vartheta_a$
$\vartheta_{int}$							
20 °C					$\Phi_{\vartheta_a;\vartheta_{int};P_n}$		1
Težinski faktor, $\vartheta_{int}$		0,75	0,87	0,94	1	1,05	za VRF
		0,73	0,82	0,94	1,00	1,12	za split i multi split

Tablične vrijednosti ogrjevnog učinka pri punom opterećenju za pripadajuću vanjsku i unutarnju temperaturu toplinskog spremnika računaju se na sljedeći način:

$$\Phi_{gen,LR100,k,l} = f_{Pn} \cdot \Phi_{\vartheta_a;\vartheta_{int};P_n} \text{ [kW]} \quad \begin{matrix} \text{HRN} \\ \text{EN 15316-4-2:} \\ \text{2017} \end{matrix} \quad (2.4)$$

gdje su:

- $f_{Pn}$  - težinski faktor ogrjevnog učinka za pripadajuću vanjsku i unutarnju temperaturu toplinskog spremnika, [-];
- $\Phi_{\vartheta_a;\vartheta_{int};P_n}$  - deklarirani ogrjevni učinak dizalice topline od proizvođača za standardne uvjete ispitivanja (7/20 °C), [kW].

Korekcijski faktor računa se prema (l: indeks retka, k: indeks stupca):

$$C_{Pn} = \frac{\vartheta_{a;X} - \vartheta_{a;k}}{\vartheta_{a;k+1} - \vartheta_{a;k}} \text{ [-]} \quad \begin{matrix} \text{HRN} \\ \text{EN 15316-4-2:} \\ \text{2017} \end{matrix} \quad (2.5)$$

gdje vrijedi

$$\vartheta_{a;k+1} \geq \vartheta_{a;X} \geq \vartheta_{a;k}$$

Ogrjevni učinak pri punom opterećenju za odgovarajuće temperature proračunskog perioda računa se prema:

$$\begin{aligned} \Phi_{gen;LR100}(\vartheta_{a;X}, \vartheta_{int}) &= (1 - C_{Pn}) \cdot \Phi_{gen;LR100;k,l} + C_{Pn} \cdot \Phi_{gen;LR100;k+1,l} \quad [\text{kW}] \end{aligned} \quad \begin{array}{l} \text{HRN} \\ \text{EN 15316-4-2:} \\ 2017 \end{array} \quad (2.6)$$

NAPOMENA: Ovaj je pristup prikladan jedino u slučajevima kada su COP i ogrjevni učinak dizalice topline poznati samo u jednoj radnoj točki (standardna radna točka).

Odgovarajuća električna snaga za pogon dizalice topline pri punom opterećenju za proračunski period računa se kao omjer ogrjevnog učinka i COP-a dizalice topline pri punom opterećenju za odgovarajuće temperature vanjskog i unutarnjeg toplinskog spremnika:

$$P_{gen;LR100}(\vartheta_{a;X}, \vartheta_{int}) = \frac{\Phi_{gen;LR100}(\vartheta_{a;X}, \vartheta_{int})}{COP_{gen;LR100}(\vartheta_{a;X}, \vartheta_{int})} \quad [\text{kW}] \quad \begin{array}{l} \text{HRN} \\ \text{EN 15316-4-2:} \\ 2017 \end{array} \quad (2.7)$$

Električna snaga potrebna za rad dizalice topline (ventilator, regulacija, električni uređaji) proizlazi iz električne snage za pogon dizalice topline pri punom opterećenju:

$$P_{gen;aux;el;X} = P_{gen;LR100;X} \cdot f_{gen;aux;el} \quad [\text{kW}] \quad \begin{array}{l} \text{HRN} \\ \text{EN 15316-4-2:} \\ 2017 \end{array} \quad (2.8)$$

gdje je:

$f_{gen;aux;el}$  - udio električne energije za pogon dizalice topline (upravljanje dizalicom topline), [-].

NAPOMENA: Zadana vrijednost:  $f_{gen;aux;el} = 0,05$  [-].

## 2.2. Vrijeme rada dizalice topline

Vrijeme rada dizalice topline zrak-zrak za potrebe grijanja prostora računa se kao omjer potrebne toplinske energije za grijanje i ogrjevnog učinka dizalice topline u razmatranom proračunskom periodu:

$$t_{H;X} = \text{Min} \left( \frac{Q_{H,nd;X}}{\Phi_{gen;LR100;X}}; t_{ci} \right) \quad [\text{h}] \quad \begin{array}{l} \text{HRN} \\ \text{EN 15316-4-2:} \\ 2017 \end{array} \quad (2.9)$$

gdje su:

$Q_{H,nd;X}$  - potrebna toplinska energija za grijanje za proračunski period, [kWh];  
 $t_{ci}$  - proračunski period, [h].

Vrijednost vremena rada dizalice topline u razmatranom proračunskom periodu ne može biti veća od jedan buduća da je proračunski period jednak jednom satu.



NAPOMENA: Ako je stvarno potrebno vrijeme rada dizalice topline u razmatranom proračunskom periodu veće od jednog sata,  $t_{H;real;X} = \frac{Q_{H,nd;X}}{\Phi_{gen;LR100;X}} > t_{ci}$ , javlja se potreba za pomoćnim podsustavom proizvodnje (back up sustav) kako bi se mogla isporučiti potrebna toplinska energija za grijanje za razmatrani proračunski period.

### 2.3. Isporučena toplinska energija dizalicom topline i privedena električna energija za pogon dizalice topline pri punom opterećenju

Isporučena toplinska energija dizalice topline te privedena električna energija za pogon dizalice topline pri punom opterećenju za grijanje prostora računaju se prema:

$$E_{gen;in;LR100;X} = \frac{\Phi_{gen;LR100;X}}{COP_{gen;LR100;X}} \cdot t_{H;X} \text{ [kWh]} \quad \begin{array}{l} \text{HRN} \\ \text{EN 15316-4-2:} \\ \text{2017} \end{array} \quad (2.10)$$

$$Q_{gen;out;LR100;X} = \Phi_{gen;LR100;X} \cdot t_{H;X} \text{ [kWh]} \quad \begin{array}{l} \text{HRN} \\ \text{EN 15316-4-2:} \\ \text{2017} \end{array} \quad (2.11)$$

NAPOMENA: Ako je toplinska energija koju isporučuje dizalica topline manja ili jednaka potrebnoj toplinskoj energiji za proračunski period, tada dizalica topline radi s punim opterećenjem.

### 2.4. Isporučena toplinska energija pomoćnim podsustavom proizvodnje

Kada je toplinska energija koju isporučuje dizalica topline manja od potrebne toplinske energije za proračunski period, javlja se potreba za pomoćnim podsustavom proizvodnje (back up sustav).

Toplinska energija koju je potrebno isporučiti drugim podsustavima proizvodnje računa se prema:

$$Q_{H;gen;bu;X} = \Phi_{gen;LR100;X} \cdot \left( \frac{Q_{H,nd;X}}{\Phi_{gen;LR100;X}} - t_{ci} \right) \text{ [kWh]} \quad (2.12)$$

Isporučena toplinska energija pomoćnim podsustavom jednaka je 0 kWh kada dizalica topline ima učinak jednak ili veći od potrebnog za proračunski period ili u slučaju da za promatrani proračunski period nije potrebna isporuka toplinske energije za grijanje.

### 3. PRORAČUN ENERGIJSKIH ZAHTJEVA I UČINKOVITOSTI DIZALICA TOPLINE ZRAK-ZRAK PRI DJELOMIČNOM OPTEREĆENJU

U slučaju da je za promatrani proračunski period toplinska energija isporučena dizalicom topline veća od potreba za toplinskom energijom za grijanjem, dizalica topline radi pri djelomičnom opterećenju.

Dva različita načina rada su moguća pri radu pri djelomičnom opterećenju:

- kompresor radi kontinuirano (kontinuirano upravljanje radom dizalice topline)
- kompresor radi ciklički ON/OFF pri punom opterećenju (cikličko upravljanje radom dizalice topline)

#### 3.1. Faktor djelomičnog opterećenja

Faktor djelomičnog opterećenja  $LR_H$  za pojedini proračunski period definiran je sljedećim izrazom:

$$LR_{H;X} = \frac{t_{H;X}}{t_{ci}} [-] \quad \begin{array}{l} \text{HRN} \\ \text{EN 15316-4-2:} \\ \text{2017} \end{array} \quad (3.1)$$

NAPOMENA: Najveća dopuštena vrijednost za faktor djelomičnog opterećenja iznosi 1, tj. vrijedi da je  $LR_H \leq 1$ .

#### 3.2. Isporučena toplinska energija dizalicom topline pri djelomičnom opterećenju

Toplinska energija koju dizalica topline treba isporučiti pri djelomičnom opterećenju za svaki proračunski period određuje se koristeći sljedeći izraz:

$$Q_{H;gen;out;X} = \Phi_{gen;LR100;X} \cdot LR_{H;X} \cdot t_{H;X} \text{ [kWh]} \quad (3.2)$$

Privedena energija, potrebna za pogon dizalice topline pri djelomičnom opterećenju, ovisi o načinu upravljanja radom dizalice topline pri djelomičnom opterećenju: kontinuirano upravljanje rada kompresora ili ciklički ON/OFF rad.

#### 3.3. Toplinski množitelj (COP) i potrebna električna energija za pogon dizalice topline pri kontinuiranom radu

Ovakav način rada moguć je kod dizalica topline s inverterski upravljanim kompresorom kada je potrebna toplinska energija manja od toplinske energije koju isporučuje dizalica topline pri punom opterećenju za trenutne temperature vanjskog i unutarnjeg toplinskog spremnika u promatranom proračunskom periodu.

NAPOMENA: Faktor djelomičnog opterećenja veći je od minimalnog faktora djelomičnog opterećenja dizalice topline pri kojem radi kontinuirano ( $LR_{H;X} > LR_{cont,min}$ ).

NAPOMENA: Preporučena vrijednost:  $LR_{cont,min} = 0,2$  [-].

Privedena električna energija za pogon dizalice topline pri djelomičnom opterećenju, kada kompresor radi kontinuirano, određuje se na sljedeći način:

Vrijednost COP-a pri punom opterećenju umanjena za snagu pomoćnih komponenti definirana je sljedećim izrazom:

$$COP_{gen;LR100;net;X} = \frac{COP_{gen;LR100;X} \cdot \Phi_{gen;LR100;X}}{\Phi_{gen;LR100;X} - P_{gen;aux;el;X} \cdot t_{ci} \cdot COP_{gen;LR100;X}} \quad [-] \quad \begin{array}{l} \text{HRN} \\ \text{EN 15316-4-2:} \\ \text{2017} \end{array} \quad (3.3)$$

Privedena snaga kompresoru pri punom opterećenju i u promatranom proračunskom periodu određena je s:

$$P_{comp;LR100;X} = P_{gen;LR100;X} - P_{gen;aux;el;X} \quad [\text{kW}] \quad \begin{array}{l} \text{HRN} \\ \text{EN 15316-4-2:} \\ \text{2017} \end{array} \quad (3.4)$$

Veličina koja definira utjecaj kontinuiranog rada dizalice topline na COP iste je  $f_{gen;LR;cont;min;net}$ . Preporučena vrijednost korekcijskog faktora za prilagodbu COP-a pri neprekidnom radu i opterećenju od  $LR_{cont,min}$ ,  $f_{gen;LR;cont;min;net}$ , iznosi 1,25, međutim, ostale vrijednosti dobivene ispitivanjem pri djelomičnom opterećenju ili na temelju deklariranih vrijednosti proizvođača mogu se uzeti u obzir.

Izraz koji opisuje linearni porast COP-a umanjenog za snagu pomoćnih uređaja ovisno o faktoru djelomičnog opterećenja za promatrani proračunski period je:

$$COP_{gen;LR;net;X} = COP_{gen;LR100;net;X} \cdot 1 + \left[ (f_{gen;LR;cont;min;net} - 1) \cdot \frac{1 - LR_{H;X}}{1 - LR_{cont,min}} \right] \quad [-] \quad \begin{array}{l} \text{HRN} \\ \text{EN 15316-4-2:} \\ \text{2017} \end{array} \quad (3.5)$$

Privedena snaga pri djelomičnom opterećenju i u promatranom proračunskom periodu određena je izrazom:

$$P_{comp;LR;X} = \frac{Q_{H;gen;out;X}}{COP_{gen;LR;net;X} \cdot t_{H;X}} \quad [\text{kW}] \quad \begin{array}{l} \text{HRN} \\ \text{EN 15316-4-2:} \\ \text{2017} \end{array} \quad (3.6)$$

Privedena električna energija za pogon dizalice topline u slučaju kontinuiranog rada pri djelomičnom opterećenju računa se prema:

$$E_{gen;in;LRcont;X} = (P_{comp;LR;X} + P_{gen;aux;el;X}) \cdot t_{H;X} \quad [\text{kWh}] \quad \begin{array}{l} \text{HRN} \\ \text{EN 15316-4-2:} \\ \text{2017} \end{array} \quad (3.7)$$

Vrijednost COP-a u slučaju kontinuiranog rada dizalice topline pri djelomičnom opterećenju za promatrani proračunski period određena je sljedećim izrazom:

$$COP_{gen;LRcont;X} = \frac{Q_{H;gen;out;X}}{E_{gen;in;cont;X}} [-] \quad \begin{array}{l} \text{HRN} \\ \text{EN 15316-4-2:} \\ 2017 \end{array} \quad (3.8)$$

NAPOMENA:  $COP_{gen;LRcont;X}$  je veličina koja sadrži utjecaj pomoćnih komponenti.

Kada je kod dizalica topline s kontinuiranim načinom upravljanja faktor djelomičnog opterećenja manji od minimalnog faktora djelomičnog opterećenja za kontinuirani rad ( $LR_{H;X} < LR_{cont;min}$ ), dizalica topline radi u načinu cikličkog rada ON/OFF.

U tom slučaju privedena električna energija za pogon dizalice topline pri djelomičnom opterećenju, kada kompresor radi ciklički, određuje se na sljedeći način:

Vrijednost COP-a, umanjena za snagu pomoćnih komponenti, za minimalni faktor djelomičnog opterećenja određuje se na sljedeći način:

$$COP_{gen;LR;cont;min;net;X} = COP_{gen;LR100;net;X} \cdot 1 + \left[ (f_{gen;LR;cont;min;net} - 1) \cdot \frac{1 - LR_{cont;min}}{1 - LR_{cont;min}} \right] [-] \quad \begin{array}{l} \text{HRN} \\ \text{EN 15316-4-2:} \\ 2017 \end{array} \quad (3.9)$$

Ogrjevni učinak dizalice topline pri minimalnom faktoru djelomičnog opterećenja za promatrani proračunski period definiran je na sljedeći način:

$$\Phi_{gen;LR;cont;min;X} = \Phi_{gen;LR100;X} \cdot LR_{cont;min} [\text{kW}] \quad \begin{array}{l} \text{HRN} \\ \text{EN 15316-4-2:} \\ 2017 \end{array} \quad (3.10)$$

Snaga kompresora pri minimalnom faktoru djelomičnog opterećenja računa se prema:

$$P_{comp;LR;cont;min;X} = \frac{\Phi_{gen;LR;cont;min;X}}{COP_{gen;LR;cont;min;net;X}} [\text{kW}] \quad (3.11)$$

Snaga kompresora pri djelomičnom opterećenju ( $LR_{H;X} < LR_{cont;min}$ ) i za trenutne uvjete toplinskih spremnika u promatranom proračunskom periodu računa se prema:

$$P_{comp;LR;X} = P_{comp;LR;cont;min;X} \cdot \frac{LR_{H;X}}{LR_{cont;min}} [\text{kW}] \quad \begin{array}{l} \text{HRN} \\ \text{EN 15316-4-2:} \\ 2017 \end{array} \quad (3.12)$$

Privedena snaga zbog ireverzibilnosti rada dizalice topline (toplinske inercije),  $P_{comp;ONOFF;LR;X}$ , određuje se iz izraza:

$$P_{comp;ONOFF;LR;X} = P_{comp;LR;cont;min;X} \cdot \frac{\tau_{eq} \cdot LR_{H;X} \cdot (1 - LR_{H;X})}{\tau_{eq;em;type}} [\text{kW}] \quad \begin{array}{l} \text{HRN} \\ \text{EN 15316-4-2:} \\ 2017 \end{array} \quad (3.13)$$

gdje su:

- $\tau_{eq}$  - vremenska konstanta za ciklički ON/OFF način rada, [s];  
 $\tau_{eq;em;type}$  - vremenska konstanta za održavanje toplinskog stanja na strani unutarnjeg toplinskog spremnika, [s].

NAPOMENA: Preporučena vrijednost:  $\tau_{eq} = 30$  s;  $\tau_{eq;em;type} = 120$  s.

NAPOMENA: Vrijednost  $P_{comp;ONOFF;LR;X}$  iznosi 0 kW za granične vrijednosti djelomičnog opterećenja ( $LR_{H;X} = 0$ ;  $LR_{H;X} = LR_{cont;min}$ ).

Privedena električna energija za ciklički ON/OFF način rada pri djelomičnom opterećenju za dizalicu topline s kontinuiranim upravljanjem računa se prema:

$$E_{gen;in;ONOFF;LR;X} = (P_{comp;LR;X} + P_{comp;ONOFF;LR;X} + P_{gen;aux;el;X}) \cdot t_{H;X} + P_{toff} \cdot (1 - t_{H;X}) \quad \text{[kWh]} \quad \begin{array}{l} \text{HRN} \\ \text{EN 15316-4-2:} \\ \text{2017} \end{array} \quad (3.14)$$

gdje je:

$P_{toff}$  - potrebna električna snaga kada termostat isključi dizalicu topline, [kW].

NAPOMENA: Potrebna električna snaga kada termostat isključi dizalicu topline,  $P_{toff}$ , razmatra se kod dizalica topline s cikličkim ON/OFF načinom rada u režimu isključenog termostata u ostatku proračunskog perioda.

NAPOMENA: Vrijednost električne snage očitava se iz podataka proizvođača (rezultati ispitivanja uređaja prema normi HRN EN 14511:2018 ili HRN EN 14825:2019). Za slučaj nedostatka podataka usvojiti vrijednost  $P_{toff} = 0,003 \cdot \Phi_{\vartheta a; \vartheta int; Pn}$  za sustave ogrjevnog učinka manjeg od 12 kW, odnosno usvojiti vrijednost  $P_{toff} = 0,0023 \cdot \Phi_{\vartheta a; \vartheta int; Pn}$  za sustave ogrjevnog učinka većeg od 12 kW.

Vrijednost COP-a u slučaju ON/OFF načina rada pri djelomičnom opterećenju za dizalicu topline s kontinuiranim upravljanjem u promatranom proračunskom periodu određena je sljedećim izrazom:

$$COP_{gen;ONOFF;LR;X} = \frac{Q_{H;gen;out;X}}{E_{gen;in;ONOFF;LR;X}} \quad [-] \quad \begin{array}{l} \text{HRN} \\ \text{EN 15316-4-2:} \\ \text{2017} \end{array} \quad (3.15)$$

NAPOMENA: Ako je potrebna toplinska energije za grijanje jednaka 0, vrijednost COP-a i privedene energija za ON/OFF način rada pri djelomičnom opterećenju dizalicu topline s kontinuiranim upravljanjem također iznose 0.

### 3.4. Toplinski množitelj (COP) i potrebna električna energija za pogon dizalice topline s cikličkim radom ON/OFF

Postupak izračuna COP-a i potrebne električne energije za pogon dizalice topline s cikličkim upravljanjem rada jednak je postupku izračuna istih veličina kada je kod dizalica topline s

kontinuiranim načinom upravljanja faktor djelomičnog opterećenja manji od minimalnog faktora djelomičnog opterećenja za kontinuirani rad ( $LR_{H;X} < LR_{cont;min}$ ). U slučaju dizalica topline s cikličkim upravljanjem rada, dizalica topline uvijek radi (u ciklusu rada) pri punom opterećenju bez obzira na vrijednost faktora djelomičnog opterećenja.

COP i privedena električna energija za pogon dizalice topline pri djelomičnom opterećenju određuju se na sljedeći način:

Vrijednost COP-a, umanjena za snagu pomoćnih komponenti, pri punom opterećenju, računa se prema:

$$COP_{gen;LR100;net;X} = \frac{COP_{gen;LR100;X} \cdot \Phi_{gen;LR100;X}}{\Phi_{gen;LR100;X} - P_{gen;aux;el;X} \cdot t_{ci} \cdot COP_{gen;LR100;X}} [-] \quad \begin{array}{l} \text{HRN} \\ \text{EN 15316-4-2:} \\ \text{2017} \end{array} \quad (3.16)$$

Ogrjevni učinak dizalice topline pri punom opterećenju određuje se prema izrazima u poglavlju 2.1.

Snaga kompresora pri punom opterećenju računa se prema:

$$P_{comp;LR100;X} = \frac{\Phi_{gen;LR100;X}}{COP_{gen;LR100;net;X}} \text{ [kW]} \quad (3.17)$$

Snaga kompresora pri djelomičnom opterećenju za promatrani proračunski period definirana je izrazom:

$$P_{comp;LR;X} = P_{comp;LR100;X} \cdot LR_{H;X} \text{ [kW]} \quad \begin{array}{l} \text{HRN} \\ \text{EN 15316-4-2:} \\ \text{2017} \end{array} \quad (3.18)$$

Privedena snaga zbog ireverzibilnosti rada dizalice topline (toplinske inercije),  $P_{comp;ONOFF;LR;X}$ , određuje se iz izraza:

$$P_{comp;ONOFF;LR;X} = P_{comp;LR;cont;min;X} \cdot \frac{\tau_{eq} \cdot LR_{H;X} \cdot (1 - LR_{H;X})}{\tau_{eq;em;type}} \text{ [kW]} \quad \begin{array}{l} \text{HRN} \\ \text{EN 15316-4-2:} \\ \text{2017} \end{array} \quad (3.19)$$

NAPOMENA: Preporučena vrijednost:  $\tau_{eq} = 30 \text{ s}$ ;  $\tau_{eq;em;type} = 120 \text{ s}$ .

NAPOMENA: Vrijednost  $P_{comp;ONOFF;LR;X}$  iznosi 0 kW za granične vrijednosti djelomičnog opterećenja ( $LR_{H;X} = 0$ ;  $LR_{H;X} = LR_{cont;min}$ ).

Privedena električna energija za ciklički ON/OFF način rada pri djelomičnom opterećenju za dizalicu topline s cikličkim upravljanjem rada računa se prema:

$$E_{gen;in;ONOFF;LR;X} = (P_{comp;LR;X} + P_{comp;ONOFF;LR;X} + P_{gen;aux;el;X}) \cdot t_{H;X} + P_{toff} \cdot (1 - t_{H;X}) \text{ [kWh]}$$

HRN  
EN 15316-4-2: 2017 (3.20)

NAPOMENA: Potrebna električna snaga kada termostat isključi dizalicu topline,  $P_{toff}$ , razmatra se kod dizalica topline s cikličkim ON/OFF načinom rada u režimu isključenog termostata u ostatku proračunskog perioda.

NAPOMENA: Vrijednost električne snage očitava se iz podataka proizvođača (rezultati ispitivanja uređaja prema normi HRN EN 14511:2018 ili HRN EN 14825:2019). Za slučaj nedostatka podataka usvojiti vrijednost  $P_{toff} = 0,003 \cdot \Phi_{\vartheta a; \vartheta int; Pn}$  za sustave ogrjevnog učinka manjeg od 12 kW, odnosno usvojiti vrijednost  $P_{toff} = 0,0023 \cdot \Phi_{\vartheta a; \vartheta int; Pn}$  za sustave ogrjevnog učinka većeg od 12 kW.

Vrijednost COP-a u slučaju ON/OFF načina rada pri djelomičnom opterećenju za dizalicu topline s cikličkim upravljanjem rada u promatranom proračunskom periodu određena je sljedećim izrazom:

$$COP_{gen;ONOFF;LR;X} = \frac{Q_{H;gen;out;X}}{E_{gen;in;ONOFF;LR;X}} [-]$$

HRN  
EN 15316-4-2: 2017 (3.21)

NAPOMENA: Ako je potrebna toplinska energije za grijanje jednaka 0, vrijednost COP-a i privedene energija za ON/OFF način rada pri djelomičnom opterećenju dizalica topline s cikličkim upravljanjem rada također iznose 0.

#### 4. KOREKCIJA SEZONSKOG TOPLINSKOG MNOŽITELJA S OBZIROM NA IZVEDBU SUSTAVA

S obzirom na to da sustavi dizalice topline zrak-zrak u svojoj izvedbi mogu biti kompaktni, ali i razgranati po objektu, nužno je kod usporedbe dvaju sustava uzeti u obzir i utjecaj izvedbe sustava na sezonsku učinkovitost.

Za multi-split izvedbe (izvedba kod kojeg je jedna vanjska jedinica povezana s više unutarnjih jedinica i predstavlja jedan uređaj) norme HRN EN14511:2018 i HRN EN 14825:2019 samo djelomično specificiraju uvjete ispitivanja takvih uređaja te se rezultati deklariraju za vanjsku jedinicu:

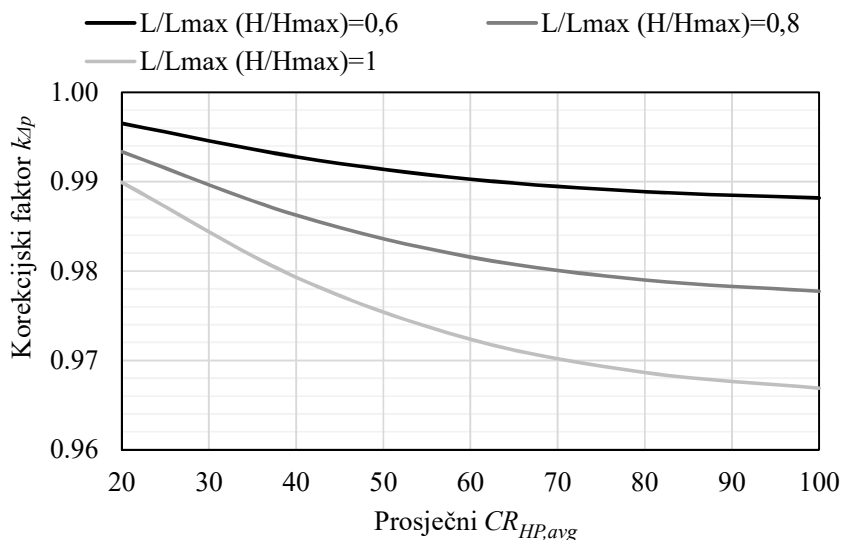
*Tablica 4.1: Primjer uvjeta ispitivanja (broj unutarnjih jedinica) multi-split izvedbi sustava prema HRN EN 14825: 2019 s obzirom na kapacitet i broj vanjskih jedinica*

<b>Kapacitet vanjske jedinice</b>	12 kW - 30 kW	30 kW - 50 kW	> 50 kW	> 50 kW i više vanjskih jedinica
<b>Broj unutarnjih jedinica</b>	4	6	8	Suma unutarnjih jedinica prema definiciji za sustave s jednom vanjskom jedinicom

Norme ne definiraju točnu duljinu razvoda, tip unutarnjih jedinica ni visinsku razliku između vanjske i unutarnjih jedinica. Za svaki tip sustava tehnički podaci proizvođača specificiraju maksimalne dopuštene duljine razvoda i visinske razlike. Korekcijski koeficijent definiran je s obzirom na relativnu duljinu sustava te faktor djelomičnog opterećenja dizalice topline s obzirom da je utjecaj duljine razvoda, tj. pad tlaka na strani radne tvri, manji pri nižem djelomičnom opterećenju dizalice topline.

Korekcijski faktor određuje se grafički iz sljedećeg dijagrama:





Iz tehničke dokumentacije sustava potrebno je iščitati duljinu od vanjske jedinice do kritične unutarnje jedinice ( $L$ ) (najudaljenija u slučaju jednakih kapaciteta ili najvećeg kapaciteta u slučaju jedinica sličnih duljina razvoda) i najveću visinsku razliku između vanjske i unutarnjih jedinica u razvodu ( $H$ ). Iz tehničke dokumentacije proizvođača potrebno je iščitati maksimalnu dopuštenu duljinu razvoda ( $L_{max}$ ) te dopuštenu visinsku razliku ( $H_{max}$ ).

S većom vrijednosti omjera izvedenog i dopuštenog ( $L/L_{max}$  ili  $H/H_{max}$ ) ulazi se u dijagram te se na presjecištu s osrednjenim faktorom djelomičnog opterećenja dizalice topline za sezonu grijanja očitava korekcijski faktor  $k_{\Delta p}$ . Za vrijednosti omjera manjih ili jednakih 0,4 usvojiti vrijednost korekcijskog faktora 1. U slučaju nedostupnih podataka za korištenje dijagrama preporuča se vrijednost  $k_{\Delta p} = 0,982$ . Korekcijski faktor,  $k_{\Delta p}$ , se množi s izračunatom vrijednosti sezonskog toplinskog množitelja (SCOP).

## 5. IZLAZNI PODACI - REZULTATI PRORAČUNA

### 5.1. Ukupna isporučena toplinska energija dizalicom topline

$$Q_{H;gen;out} = \sum_{X=1}^{N_H} (\Phi_{gen;LR100;X} \cdot LR_{H;X} \cdot t_{H;X}) \text{ [kWh]} \quad \text{EN 15316-4-2:2017} \quad (5.1)$$

gdje je:

$N_H$  - sati grijanja u sezoni grijanja, [h].

Sati grijanja u sezoni grijanja,  $N_H$ , ovise o trajanju sezone grijanja i vremenu rada sustava grijanja u skladu s *Algoritmom za proračun potrebne energije za grijanje i hlađenje prema HRN EN ISO 13790*.

Isporučena toplinska energija dizalice topline jednaka je ili manja (u slučaju kada postoji proračunski period/i u kojima dizalica topline ima manji učinak od potrebnog) od potrebne toplinske energije za grijanje.

### 5.2. Ukupna privedena električna energija za pogon dizalice topline

Dizalice topline s kontinuiranim upravljanjem:

$$E_{H;gen;in} = \sum_{X=1}^{N_H} (E_{gen;in;LRcont;X} + E_{gen;in;ONOFF;LR;X}) + P_{stby} \cdot t_{stby} + P_{ck} \cdot t_{ck} \text{ [kWh]} \quad (5.2)$$

Dizalice topline s cikličkim upravljanjem rada:

$$E_{H;gen;in} = \sum_{X=1}^{N_H} (E_{gen;in;ONOFF;LR;X}) + P_{stby} \cdot t_{stby} + P_{ck} \cdot t_{ck} \text{ [kWh]} \quad (5.3)$$

gdje je:

$t_{stby}$  - vrijeme rada dizalice topline kada je dizalica topline u pripravnom stanju, [h];

$P_{stby}$  - potrebna električna snaga kada je dizalica topline u pripravnom stanju, [kW];

$t_{ck}$  - vrijeme rada dizalice topline s uključenim grijačem kućišta kartera kompresora, [h];

$P_{ck}$  - električna snaga grijača kada je dizalica topline u načinu rada grijanja kućišta kartera kompresora, [kW].

NAPOMENA: Vrijeme rada dizalice topline u pripravnom stanju ovisi o trajanju sezone grijanja i vremenu rada sustava grijanja s nekontinuiranim radom (u slučaju prekida tijekom

noći i/ili vikenda) u skladu s *Algoritmom za proračun potrebne energije za grijanje i hlađenje prema HRN EN ISO 13790*. Ukupno vrijeme rada dizalice topline u pripravnom stanju jednako je zbroju svih sati u sezoni grijanja kada dizalica topline ne isporučuje toplinsku energiju zbog postavki prekida rada sustava grijanja (u proračunskom periodu postoji potreba za grijanjem).

NAPOMENA: Vrijednost električne snage,  $P_{stby}$ , očitava se iz podataka proizvođača (rezultati ispitivanja uređaja prema normi HRN EN 14511:2018 ili HRN EN 14825:2019). Za slučaj nedostatka podataka usvojiti vrijednost  $P_{stby} = 0,003 \cdot \Phi_{\vartheta a; \vartheta int; Pn}$  za sustave ogrjevnog učinka manjeg od 12 kW, odnosno usvojiti vrijednost  $P_{stby} = 0,0023 \cdot \Phi_{\vartheta a; \vartheta int; Pn}$  za sustave ogrjevnog učinka većeg od 12 kW.

NAPOMENA: Ukupno vrijeme rada dizalice topline u načinu rada grijanja kućišta kartera kompresora ovisi o trajanju sezone grijanja i vremenu rada sustava grijanja s nekontinuiranim radom (u slučaju prekida tijekom noći i/ili vikenda) u skladu s *Algoritmom za proračun potrebne energije za grijanje i hlađenje prema HRN EN ISO 13790*. Ukupno vrijeme rada dizalice topline u načinu rada grijanja kućišta kartera kompresora jednako je broju dana u sezoni grijanja s prekidom rada sustava grijanja (pretpostavlja se da u ovom načinu rada radi jedan sat prije ponovnog pokretanja uređaja nakon prekida grijanja).

NAPOMENA: Vrijednost električne snage očitava se iz podataka proizvođača (rezultati ispitivanja uređaja prema normi HRN EN 14511:2018 ili HRN EN 14825:2019). Za slučaj nedostatka podataka usvojiti vrijednost  $P_{ck} = 0$  za sustave ogrjevnog učina manjeg od 12 kW, odnosno usvojiti vrijednost  $P_{ck} = 0,0026 \cdot \Phi_{\vartheta a; \vartheta int; Pn}$  za sustave ogrjevnog učina većeg od 12 kW.

### 5.3. Ukupna energija pomoćnih uređaja

$$W_{gen;aux} = f_{gen;aux;el} \cdot E_{H;gen;in} \text{ [kWh]} \quad (5.4)$$

gdje je:

$f_{gen;aux;el}$  - udio električne energije za pogon dizalice topline (upravljanje dizalicom topline), [-].h

### 5.4. Sezonski toplinski množitelj (SCOP) dizalice topline

$$SCOP_{gen} = \frac{Q_{H;gen;out}}{E_{H;gen;in}} \cdot k_{\Delta p} \text{ [-]} \quad (5.5)$$

gdje je:

$k_{\Delta p}$  - korekcijski faktor zbog pada tlaka uslijed izvedbe sustava, [m].

**5.5. Ukupna energija preuzeta iz obnovljivih izvora energije (OIE)**

$$Q_{H;gen;ren;in} = Q_{H;gen;out} - E_{H;gen;in} \text{ [kWh]} \quad \text{EN 15316-4-2:2017} \quad (5.6)$$

**5.6. Udio preuzete obnovljive energije u ukupnoj energetske bilanci**

$$r_{ren} = \frac{Q_{H;gen;ren;in}}{Q_{H;gen;out}} \cdot 100 \text{ [%]} \quad (5.7)$$

**5.7. Ukupno isporučena toplinska energija pomoćnim podsustavom proizvodnje**

$$Q_{H;gen;bu} = \sum_{X=1}^{N_H} (Q_{H;gen;bu;X}) \text{ [kWh]} \quad (5.8)$$

gdje je:

$N_H$  - sati grijanja u sezoni grijanja, [h].

Sati grijanja u sezoni grijanja,  $N_H$ , ovise o trajanju sezone grijanja i vremenu rada sustava grijanja u skladu s *Algoritmom za proračun potrebne energije za grijanje i hlađenje prema HRN EN ISO 13790*.

## 6. PRIMJER PRORAČUNA DIZALICE TOPLINE ZRAK-ZRAK

- Scenarij:
- manja stambena zgrada,  $A_k = 466 \text{ m}^2$ , kontinentalna Hrvatska
  - godišnja potrebna top. en. za gr.  $Q_{H,nd} = 19.377,00 \text{ kWh/a}$  ( $41,58 \text{ kWh/m}^2\text{a}$ )
  - s prekidom rada sustava grijanja

Tablica 6.1: Ulazni podaci za primjer proračuna dizalice topline zrak-zrak (VRF sustav)

Opći ulazni podaci			
Meteorološki podaci			Zagreb
Način upravljanja dizalicom topline			Inverter
Minimalni faktor djelomičnog opterećenja dizalice topline pri kojem radi kontinuirano	$LR_{cont,min}$	-	0.2
Udio električne energije za pogon dizalice topline (upravljanje dizalicom topline)	$f_{gen,aux;el}$	-	0.05
Potrebna el. snaga kada termostat isključi uređaj	$P_{toff}$	kW	0,058
Potrebna el. snaga u pripravnom stanju	$P_{stby}$	kW	0,058
Potrebna el. snaga u načinu rada grijanja kućišta kartera kompresora	$P_{ck}$	kW	0,065
Radne točke prema HRN EN 14511:2018			
$\vartheta_a, [^{\circ}\text{C}]$	$\vartheta_{int}, [^{\circ}\text{C}]$	$COP_{\vartheta_a;\vartheta_{int};ref}, [-]$	$\Phi_{\vartheta_a;\vartheta_{int};ref}, [\text{kW}]$
-15	20	3,18	17,9
-7	20	3,54	21,9
2	20	4,05	25
7	20	4,5	25
12	20	4,93	25

Tablica 6.2: Rezultati proračuna dizalice topline zrak-zrak

Rezultati proračuna			
Ukupna isporučena toplinska energija dizalice topline	$Q_{H;gen,out}$	kWh	19.377
Sezonski toplinski množitelj (SCOP) sustava	$SCOP_{gen}$	-	<b>3,76</b>
Ukupna privedena električna energija za pogon dizalice topline	$E_{H;gen,in}$	kWh	5.136
Ukupna energija pomoćnih uređaja	$W_{gen,aux}$	kWh	257
Ukupna energija preuzeta iz obnovljivih izvora energije (OIE)	$Q_{H;gen;ren,in}$	kWh	14.242
Udio preuzete obnovljive energije u ukupnoj energetske bilanci	$r_{ren}$	%	73,5 %

## LITERATURA

1. HRN EN 14511:2018: Klimatizacijski uređaji, rashladnici kapljevina i dizalice topline za grijanje i hlađenje prostora te procesni rashladnici s kompresorima na električni pogon – Dio 1-4
2. Hrvatska norma HRN EN 15316-4-2:2017: Sustavi grijanja u zgradama – Metoda proračuna energijskih zahtjeva i učinkovitosti sustava – Dio 4-2: Sustavi za proizvodnju topline, sustavi dizalica topline
3. Hrvatska norma HRN EN 14825:2019 Klimatizacijski uređaji, rashladnici kapljevina i dizalice topline s kompresorima na električni pogon za grijanje i hlađenje prostora -- Ispitivanje i mjerenje učinka pri uvjetima djelomičnog opterećenja i proračun sezonskih značajka
4. Tehnička dokumentacija: Daikin, Mitsubishi, Samsung, Toshiba