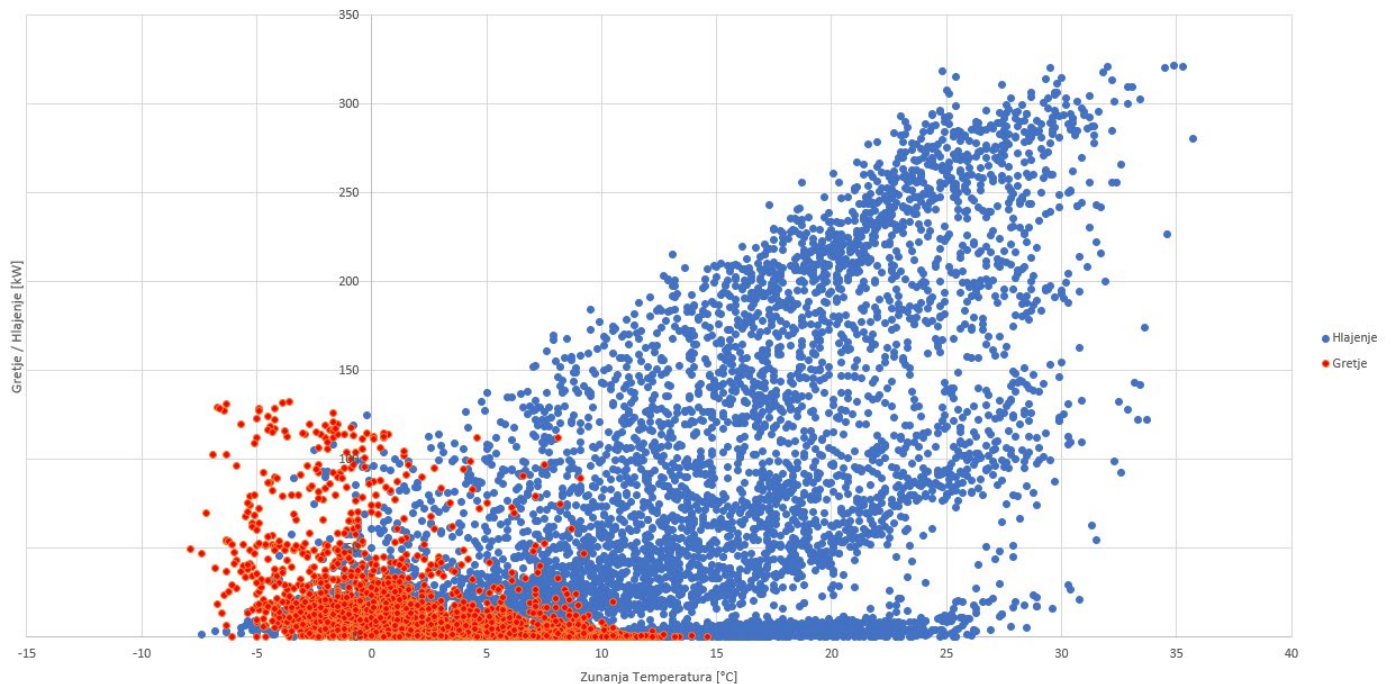


DO RAZOGLIČENJA STAVB S TOPLOTNIMI ČRPALKAMI IN HRANILNIKI TOPLOTE

Elektrifikacija postaja splošno sprejeto vodilo do nizkoogljične prihodnosti. Čeprav mnogi ne verjamejo v brezogljico električno omrežje, je dejstvo, da stavba ni brezogljica, če se v njej kuri fosilno gorivo. Brez dvoma bo elektrifikacija stavb igrala pomembno vlogo pri doseganju nizkoogljične prihodnosti, zato bo razumevanje delovanja toplotnih črpalk v povezavi s shranjevanjem toplote za projektante zelo pomembno. V MSS že za to pomlad pripravljamo izobraževanje s to tematiko.

Stavbni ovoj danes projektiranih stavb ima zelo visoko izolativnost in zrakotesnost, da še tako majhni notranji viri, z izjemo pri izredno nizkih temperaturah in jutranjih ponastavitvah prostorskih temperatur po nočnem znižanju, povzročajo potrebo po hlajenju. Slika 1 prikazuje grelne in hladilne obremenitve v odvisnosti od zunanjih temperatur za primer predpostavljene pisarniške stavbe v Ljubljani s tehničnimi in drugimi lastnostmi, prikazanimi na koncu v Prilogi.

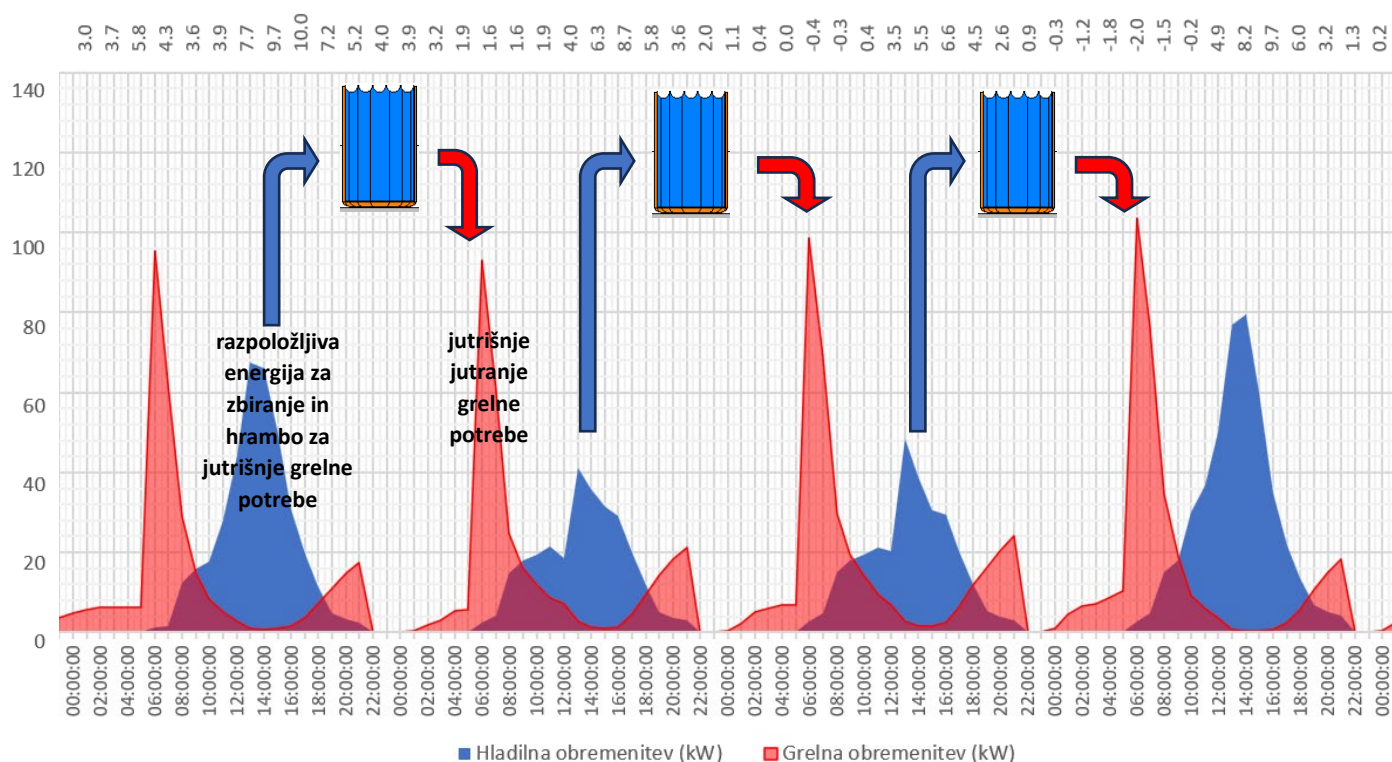


Slika 1: Prikaz grelnih in hladilnih obremenitev pisarniške stavbe v Ljubljani v odvisnosti od zunanjih temperatur za primer neuporabe prostega hlajenja

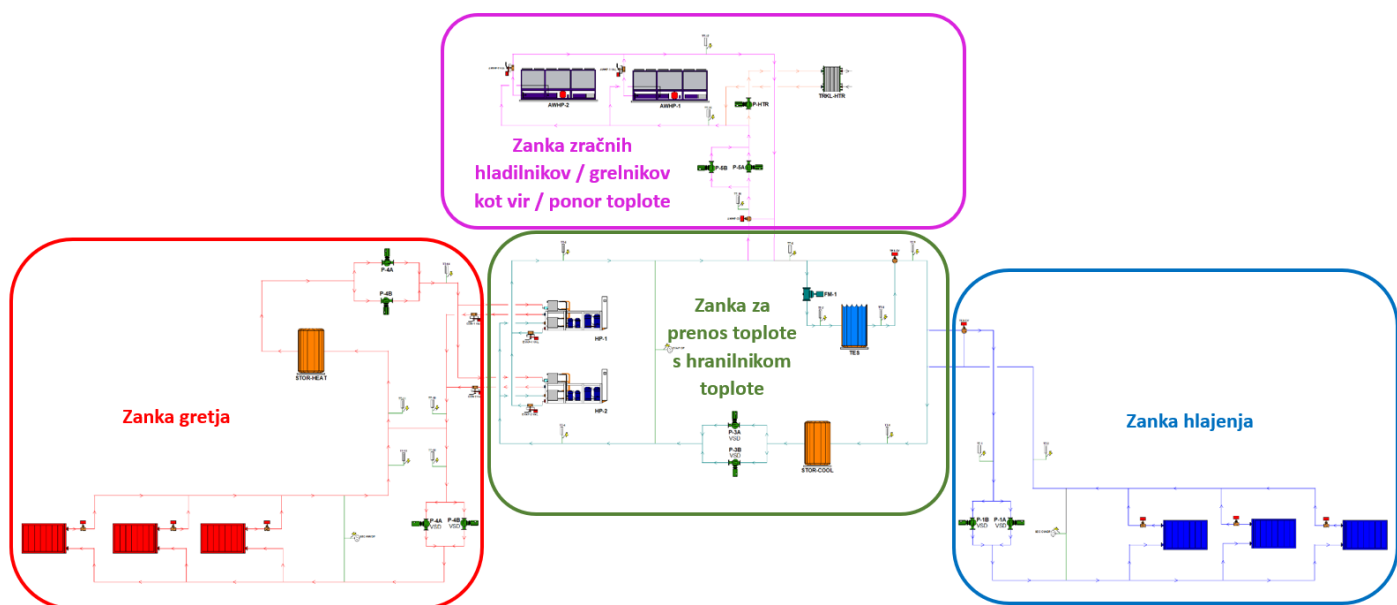
V večini primerov stavb s hladnejšim podnebjem, se ob nižjih zunanjih temperaturah za izničenje hladilnih obremenitev uporablja t. i. prosto hlajenje. S procesom prostega hlajenja se iz prostorov odvaja s strani oseb in električnih naprav oddana toplota in zavrže v okoliški zrak.

Energijska logika uporabe prostega hlajenja se poruši tisti dan, ko se toplota od poznega dopoldneva iz prostorov prične metati na prosto in ob jutrih kuriti fosilno gorivo za dovajanje toplote tem istim prostorom. Če to ocenimo z zornega kota cilja elektrifikacije stavb s toplotnimi črpalkami z namenom odprave uporabe fosilnih goriv, postane praksa prostega hlajenja nerazumna.

Oviro za drugačno prakso predstavlja dejstvo, da grelne in hladilne obremenitve prostorov ne nastopajo sočasno in/ali uravnoteženo, kar prikazuje slika 2. Dodan hranilnik toplote v sistem gretja in hlajenja lahko v določenih vrstah stavb zmanjša ali odpravi zapravljanje toplote z odvajanjem v ozračje, s čimer zniža njihovo energijsko intenzivnost. Shramba toplote omogoča sistemu, da prihrani odvečno današnjo toploto za potrebe jutrišnjega jutranjega gretja.



Slika 2: Grelne in hladilne potrebe obravnavane pisarniške stavbe preko štirih delovnih dni v običajnem januarju (urne temperature v °C prikazane zgoraj)



Slika 3: Primer sistema toplotnih črpalk s hranilnikom toplote s 4-cevnim razvodom hlajenja/gretja

Slika 3 prikazuje hranilnik toplote, vključen v grelno hladilni sistem stavbe. Na prvi pogled se zdi precej običajni sistem s hrambo hladu, vendar je ta sistem zmožen greti stavbo ob sočasni proizvodnji hladu¹. Razlika je v tem, da v primeru grelnih potreb namesto zračnega hladilnika tekočin hlad proizvaja tekočinska toplotna črpalka. Hranilnik toplote, prednostno latentni hranilnik hladu, je na energijsko nizkem nivoju (v celoti led) pripravljen, da prevzame odvečno toploto iz prostorov, s čemer se led spremeni v vodo in tako shrani odvečno toploto. V zimskih popoldnevih, namesto da bi se odvečna toplota stavbe spuščala v zrak, se uporabi za

¹ Več o »bankah ledu« in vpliva na elektroenergetska omrežja v obvestilu MSS na e-naslovu:

http://arhiv.izs.si/fileadmin/dokumenti/aktualno/aktualno-let-2019/BANKE_LEDU_IN_ELEKTROENERGETSKA_OMREZJA-2-9-19.pdf

taljenje ledu, s čemer se shrani toplota za jutrišnje grelne potrebe. V zimskem času je projektantski cilj, da je hranilnik toplote ob koncu delovnega dne v celoti na energijsko visokem nivoju (v celoti voda). V tem stanju hranilnik toplote predstavlja stotine kWh, ki so pripravljeni za »toplotno črpanje« v prostore, potrebne pretežno jutranjega gretja. To izvaja tekočinska toplotna črpalka z grelnim COP_H okoli 3,8, to je odvisno od temperaturnega razpona sistema gretja. Odvzem energije iz zalogovnika vode kot hranilnika toplote za gretje stavbe spremeni agregatno stanje vode iz tekočega v trdega, v led, ki je na razpolago hlajenju prostorov od okoli poldneva do zaključka delovnega dne. Sistem v načinu gretja si je mogoče predstavljati kot toplotno črpalko z zalogovnikom vode kot virom toplote. Tehnično je sistem mogoče primerjati s tekočinsko toplotno črpalko, delujočo v povezavi z zemeljskimi toplotnimi menjalniki, katere pa v mestih zaradi omejitve s prostorom običajno ni mogoče uporabiti.

Vezano na cilj razogljivenja stavb je mogoče izvesti primerjavo tega načina gretja, to je s toplotnimi črpalkami in hranilnikom toplote, z uporabo kondenzacijskih plinskih kotlov. Iz na sliki 3 predstavljenih toplotnih potreb stavbe izhaja povprečna dnevna grelna potreba stavbe 320 kWh, slika 4 pa prikazuje v PURES 2022, Priloga 1, Tabela 1, navedene vrednosti faktorjev neobnovljive, obnovljive in skupne primarne energije ter specifične izpuste CO_2 .

Vrsta energenta	$f_{Pn-ren} (-)$	$f_{Pren} (-)$	$f_{Ptot} (-)$	$k_{CO_2} (g/kWh)$
Zemeljski plin	1,1	0	1,1	220
Električna energija	1,5	1,0	2,5	420

Slika 4: V PURES 2022 podane vrednosti faktorjev primarne energije in specifičnih izpustov CO_2

Na sliki 5 je prikazana analiza za sistem gretja prostorov z uporabo toplotnih črpalk in hranilnikom toplote, pri čemer je upoštevan $COP_H = 3,8$, na sliki 6 analiza z uporabo kondenzacijskih plinskih kotlov z izkoristkom $\eta = 102\%$. Razlika v rezultatih za oba sistema govori sama po sebi!

Dovedena energija	Dnevna količina energije E_i (kWh/d)	Primarni faktor $f_{p,i}$			Kazalnik primarne energije EP_P (kWh/d)	RER _P = A/B (-)	
		neobnovljiv	obnovljiv	celoten		A - obnovljiv	B – celoten
Zajeta toplota prostorov	235,8	0,0	1,0	1,0	0,0	235,8	235,8
Dovedena elektrika	84,2	1,5	1,0	2,5	126,3	84,2	210,5
Skupaj					126,3	320,0	446,3

$EP_P = 126,3 \text{ kWh/d}$

$RER_P = 320,0 \text{ kWh} / 446,3 \text{ kWh} = 0,717 \rightarrow 71,7 \%$

$M_{CO_2,d} = 84,2 \text{ kWh/d} * 420 \text{ g/kWh} = 35.364 \text{ g/d} = 35,3 \text{ kg/d}$

Slika 5: Izračun kazalnika primarne energije, deleža obnovljive primarne energije in specifičnih izpustov CO_2 za sistem gretja s toplotnimi črpalkami in hranilnikom toplote

Dovedena energija	Dnevna količina energije E_i (kWh/d)	Primarni faktor $f_{p,i}$			Kazalnik primarne energije EP_P (kWh/d)	RER _P = A/B (-)	
		neobnovljiv	obnovljiv	celoten		A - obnovljiv	B – celoten
Doveden plin	313,7	1,1	0,0	1,1	345,1	0,0	345,1
Skupaj					345,1	0,0	345,1

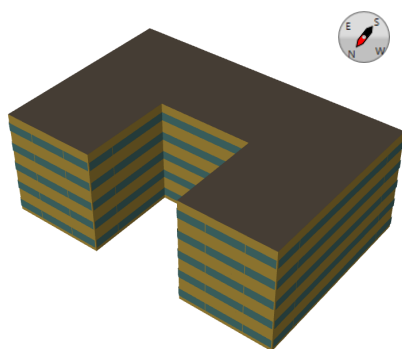
$EP_P = 345,1 \text{ kWh/d}$

$RER_P = 0 \text{ kWh} / 345,1 \text{ kWh} = 0 \rightarrow 0 \%$

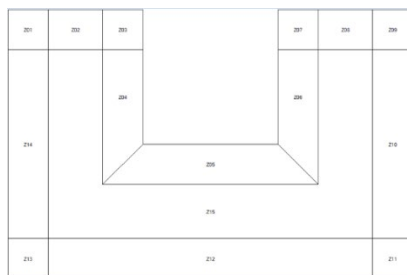
$M_{CO_2,d} = 313,7 \text{ kWh/d} * 220 \text{ g/kWh} = 69.014 \text{ g/d} = 69,0 \text{ kg/d}$

Slika 6: Izračun kazalnika primarne energije, deleža obnovljive primarne energije in specifičnih izpustov CO_2 za sistem gretja s kondenzacijskima plinskima kotloma

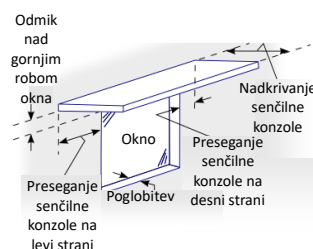
TEHNIČNE IN DRUGE LASTNOSTI OBRAVNAVANE PISARNIŠKE STAVBE



Toplotna območja v vsakem nivoju



Senčilna konzola



Pisarniška stavba v 5-ih nivojih s skupno (kondicionirano) površino
 Višina med nivoji iz AB plošč
 Višina do tehničnega stropa
 Višina parapeta
 Višina okna
 Toplotna območja v posameznem nivoju (4,5 m v globino in glede na smer neba)
 Fasadni ovoj (kovinski okvir z izolacijo in svetlo oblogo)
 Ravna streha (svetlo prekrita toplotna izolacija na AB plošči)
 Toplotna prehodnost oken (3-slojno, nizki-e nanos na površini 5)
 Koeficient sončnih toplotnih dobitkov zasteklitve (brez spuščene senčila)
 Vidna prepustnost zasteklitve
 Senčilna konzola nad okni (odmik nad gornjim robom okna in nadkrivanje)
 Infiltracija (neprestana)

$A_k = 5625 \text{ m}^2$
 $H_{ET} = 3,4 \text{ m}$
 $H = 2,8 \text{ m}$
 $h_P = 0,9 \text{ m}$
 $h_{OK} = 1,4 \text{ m}$
 15 (shema zgoraj)
 $U_{ZZ} = 0,21 \text{ W/m}^2\text{K}$
 $U_{STR} = 0,16 \text{ W/m}^2\text{K}$
 $U_{OK} = 1,86 \text{ W/m}^2\text{K}$
 $SHGC = 0,62$
 $VT = 0,68$
 $h/L = 0,4/1,0 \text{ m}$
 $n = 0,1 \text{ h}^{-1}$

Število oseb v stavbi (18,6 m² na osebo)
 Količina zunanjega zraka (2,5 l/s na osebo + 0,3 l/(s*m²))
 Učinek zajetja toplote zavrženega zraka
 Vzdrževana kakovost notranjega zraka glede vsebnost CO₂ (nad 420 ppm)
 Gostota moči razsvetljave (LED, ugreznjena v tehnični strop)
 Gostota električne opreme na vtičnicah
 Uporaba naravne osvetlitve - krmiljenje umetne pri 500 lx v stopnjah
 V vsakem nivoju strežnik električne moči
 Temperatura prostorov v obdobju gretja časa zasedenosti / nezasedenosti
 Temperatura prostorov v obdobju hlajenja časa zasedenosti / nezasedenosti
 Vršna hladilna obremenitev stavbe (september ob 14.00, pri $t_{OK} = 29,7 \text{ }^\circ\text{C}$)
 Vršna grelna obremenitev stavbe (pri projektni temperaturi $t_{OK} = -8,7 \text{ }^\circ\text{C}$)

$n_{OS} = 302$
 $V_{ZZ} = 8800 \text{ m}^3/\text{h}$
 $\eta_t = 78\%$
 700 ppm
 $P_{RAZ} = 7 \text{ W/m}^2$
 $P_{RAZ} = 5 \text{ W/m}^2$
 $ST = 100/67/33/0 \%$
 $P_{EL,ST} = 5,0 \text{ kW}$
 $t_{GR} = 21,5 / 18,5 \text{ }^\circ\text{C}$
 $t_{HL} = 24,5 / 28,0 \text{ }^\circ\text{C}$
 $Q_{HL} = 330 \text{ kW}$
 $Q_{GR} = 122 \text{ kW}$

Poraba energije po sklopih tehničnih sistemov

Sklop	Dovedena energija (kWh)	Dovedena energija (kWh/m ²)	Primarna energija (kWh)	Primarna energija (kWh/m ²)
Ventilatorji zračnih sistemov	29.262	5,202	73.155	13,005
Hlajenje	122.604	21,796	306.511	54,491
Gretje	15.500	2,756	38.751	6,889
Črpalke	7.305	1,299	18.262	3,247
Ventilatorji zavržene toplote	0	0,000	0	0,000
HVAC Delna vsota	174.671	31,053	436.679	77,632
Razsvetljava	94.351	16,774	235.877	41,934
Električna oprema na vtičnicah	194.984	34,664	487.461	86,660
Ostala električna oprema (dvigala)	24.332	4,326	60.830	10,814
Oprema z drugimi energenti	0	0,000	0	0,000
Ne-HVAC Delna vsota	313.667	55,763	784.168	139,408
Skupna vsota	488.338	86,816	1.220.846	217,039

Letne obremenitve toplotnih tuljav

Sklop	Obremenitev (kWh)	(kWh/m ²)
Obremenitve hladilnih tuljav	399.528	71,027
Obremenitve grelnih tuljav	44.360	7,886
Skupna vsota	443.888	78,914

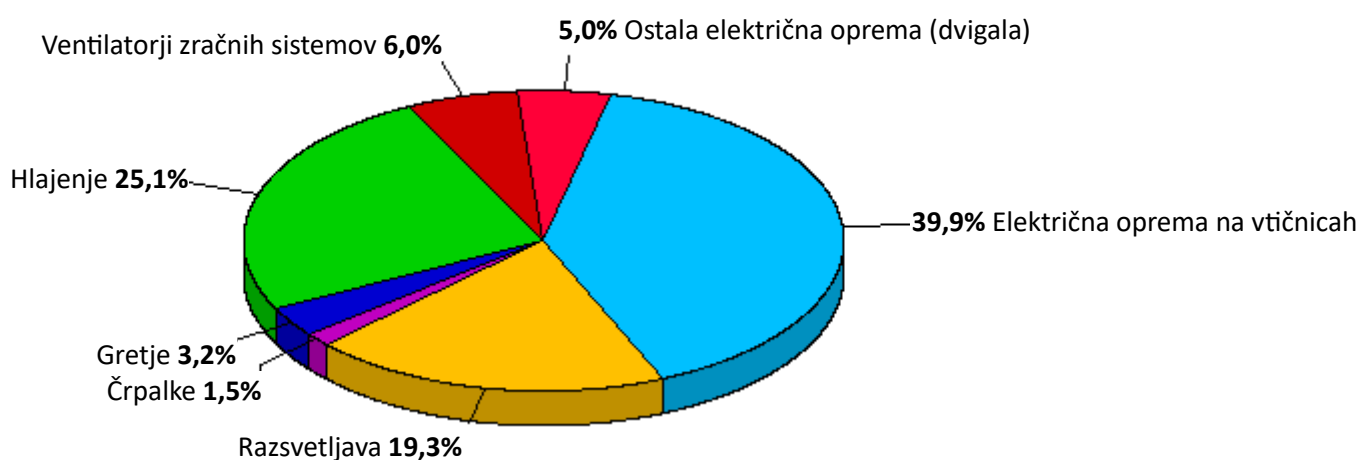
Opombe:

1. 'Obremenitve hladilnih tuljav' predstavlja vsoto vseh obremenitev hladilnih tuljav zračnih sistemov.
2. 'Obremenitve grelnih tuljav' predstavlja vsoto vseh obremenitev grelnih tuljav zračnih sistemov.
3. Dovedena energija je dejanska porabljena energija.
4. Primarna energija je dovedena energija, deljena z učinkovitostjo proizvodnje električne energije (40,0 %).
5. Primarna energija drugih energentov je enaka njihovi dovedeni energiji.
6. Energija na enoto tlorisne površine temelji na kondicionirani bruto tlorisni površini stavbe.

Bruto tlorisna površina 5625,0 m²

Modelirana tlorisna površina 5625,0 m²

Delež potrebne energije po posameznem sklopu



Mesečni stroški za energijo po sklopih tehničnih sistemov

(pri privzeti enotni ceni 1,4 €/kWh_{EL} in omrežnini 3,0 €/kW_{EL})

