

1

Uvod u predmet

Ključni pojmovi

temperatura
toplina
tlak
protok
energija
snaga
rad
parametri ugodnosti prostorije
načini prijenosa topline (provodenje, konvekcija i zračenje)
toplinska zaštita zgrada
vanjska projektna temperatura (VPT)
klimatske zone

Ciljevi

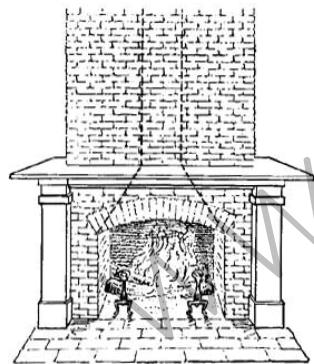
Razlikovati temperaturu od topline.
Razlikovati vrste prijenosa topline.
Razlikovati vrste tlakova.
Znati nabrojati instrumente za mjerjenje temperature i tlaka.
Znati nabrojati parametre ugodnosti.
Znati uočiti važnost vanjske projektne temperature i klimatskih zona Republike Hrvatske na proračun gubitaka topline.
Izračunati potrebnu količinu topline za jednostavni stambeni prostor.

Povijest grijanja



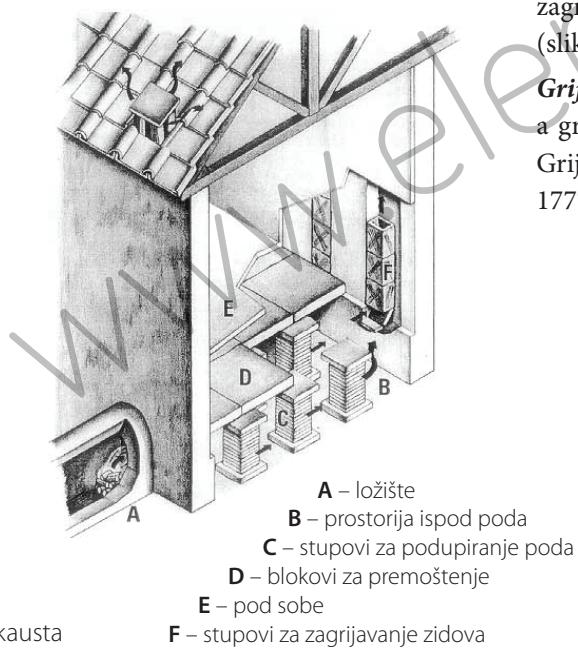
Slika 1-1

Talijanska srebrna zdjela za drveni ugljen



Slika 1-2

Zidana peć



Slika 1-3

Crtež hipokausta

Još od prapovijesti, kada je čovjek naučio paliti vatu, počeo se njome koristiti u hladnim vremenima kako bi se grijao. Prije otkrića same vatre prvi 'sustav grijanja' svakako je bilo izlaganje sunčevim zrakama.

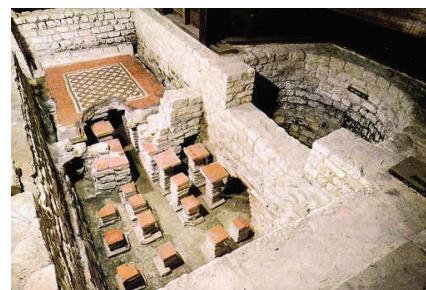
Najstariji oblik grijanja jest grijanje drvima na otvorenom **ognjištu** – ložištu koje je smješteno na prikladnoj podlozi u sredini prostorije s otvorom na stropu. Pritom se toplina prenosila pretežno zračenjem plamena i žara. Međutim, veliki nedostatak takvog načina grijanja je zadimljenost cijele prostorije.

Način grijanja se kroz vrijeme usavršavao pa se postupno prešlo na grijanje s pomoću drvenog ugljena smještenog u metalne posude različitih oblika (slika 1-1). Posude su se izrađivale od bakra, mjedi, bronce, itd. Kako bi se umanjio nedostatak grijanja s otvorenim ložištem, samo ložište se smještalo uza zid te se obzidavalo u obliku kamina, a za odvod dima podizao se dimnjak.

Takav se način grijanja dodatno usavršavao gradnjom zidanih peći od kamena ili keramičkih pločica koje se još i danas upotrebljavaju, ali su njihov oblik i dizajn znatno promijenjeni (slika 1-2).

Prvim načinom centralnog zagrijavanja prostora možemo smatrati tzv. **hipokaust – antički uređaj za grijanje** (slike 1-3 i 1-4). Ispod prostorija koje su zagrijavane smješten je podrum – hipokaust – sa stupovima (*pilae*) visokim 74 cm, koji su se izrađivali od opeke ili glinenih cijevi. Na stupovima su bile postavljene ploče od opeke koje su nosile 20-ak cm debeli strop. Ložište je bilo smješteno pokraj zgrade. Vrući dimni plinovi strujali su između stupova hipokausta i odvodili se kroz otvore u zidovima. Kad su stupovi, a djełomično i strop, bili dovoljno zagrijani, obustavilo bi se loženje, a zatim su se zatvarali otvori za odvod dimnih plinova iz hipokausta, a otvarali otvori na podu ili u zidovima za dovod vanjskog syježeg zraka koji bi strujao preko zagrijanih stupova i kao topli zrak ulazio u prostorije (slika 1-5). Dakle, toplina je dolazila zrakom.

Grijanje parom započelo je 1745. godine u Engleskoj, a grijala su bila u obliku cijevnih registara (slika 1-6). Grijanje toplom vodom izumio je Francuz Bonnemain 1777. godine, ali daljnji razvoj takvog sustava slijedi tek

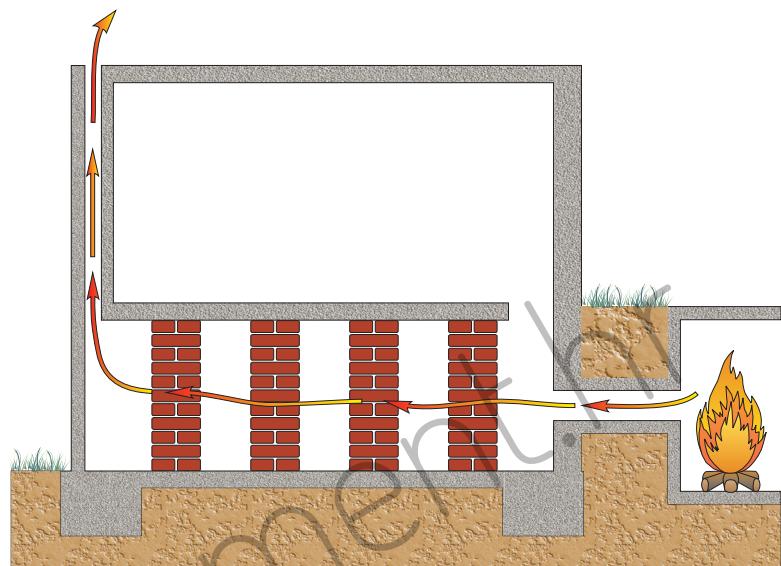


Slika 1-4

Ostaci građevine s hipokaustom

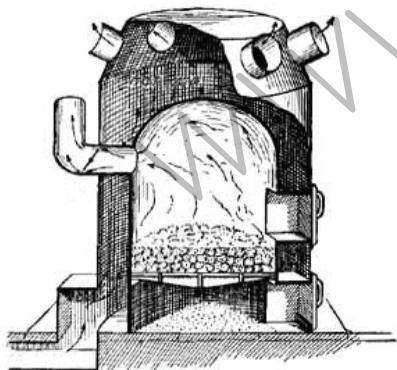
Slika 1-5

Hipokaust – zagrijavanje stupova



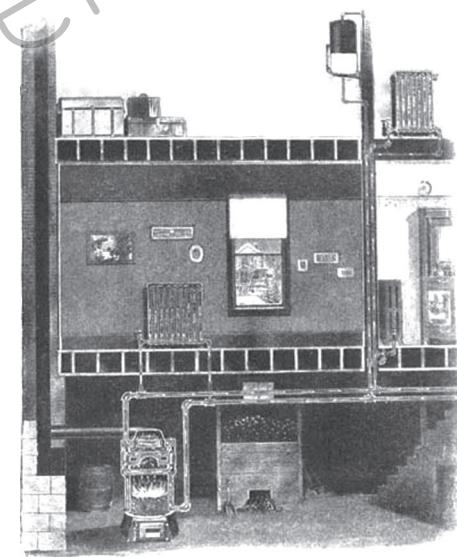
Slika 1-6

Peć – grijanje na paru



Slika 1-7

Presjek građevine – sustav grijanja
toplom vodom



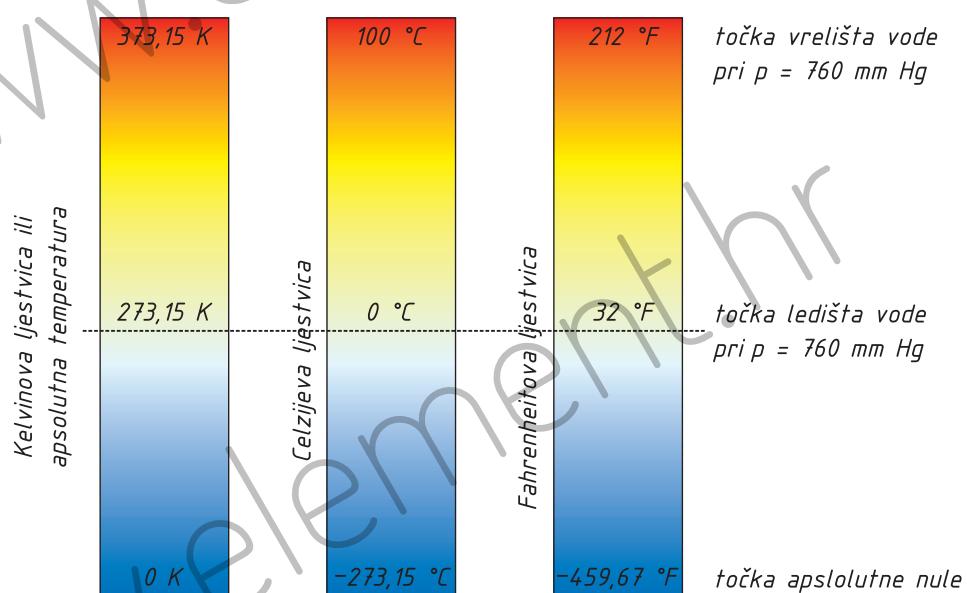
Spomenimo povezivanje sustava grijanja sa sustavom za decentraliziranu proizvodnju električne energije, odnosno primjenu kogeneracije, npr. s pomoću malih kogeneracijskih postrojenja u bloku, kotlova s gorivim čelijama ili Stirlingovih motora. No, svakako treba težiti primjeni bilo kakve vrste energije, pa tako i toplinske, iz obnovljivih izvora, a pritom je ključna podrška i potpora svih relevantnih čimbenika u državi.

Osnovni fizikalni i tehnički pojmovi

Kako bismo bolje razumjeli metodologiju predmeta, prvo moramo upoznati neke osnovne fizikalne i tehničke pojmove koji su nam pritom od ključnog značaja.

TEMPERATURA

Temperatura je fizikalno svojstvo nekog tijela koje nam govori je li ono u toplinskoj ravnoteži s okolišem ili nije. Naime, dva tijela imaju istu temperaturu ako su u međusobnoj toplinskoj ravnoteži. Mjerna jedinica stupanj s ozakom temperaturne ljestvice (slika 1-8) po kojoj se temperatura mjeri.



Slika 1-8

Temperaturne ljestvice (skale)

1 °C definira se kao stoti dio između točke ledišta i točke vrelišta vode pri tlaku od 760 mm Hg. 1 K se definira kao 1/273,16-ti dio temperaturne razlike između apsolutne nulte točke i trojne točke kemijski čiste vode.

Veza između Kelvinove i temperaturne ljestvice je sljedeća:

$$T \text{ K} = t \text{ }^{\circ}\text{C} + 273,15$$

Obje su temperaturne ljestvice podijeljene na isti broj podjela između istih toplinskih stanja vode.



Slika 1-9

Živin termometar

Instrumenti za mjerjenje temperature su toplomjeri ili termometri. Razlikujemo sljedeće vrste termometara:

- tekućinski – živa i alkohol (slika 1-9)
- bimetalni
- otporni
- termoelementi.

TLAK

Tlak je omjer sile F (N) i površine A (m^2) na koju ta sila djeluje:

$$p = \frac{F}{A} \text{ N/m}^2.$$

Mjerna jedinica za tlak je paskal, Pa:

$$1 \text{ Pa} = 1 \text{ N/m}^2.$$

S obzirom na to da je paskal mala jedinica, u tehniči se upotrebljava veća jedinica koja se naziva bar:

$$1 \text{ bar} = 100\,000 \text{ Pa} = 1\,000 \text{ hPa} = 10^5 \text{ Pa}$$

Tlak se mjeri i mmH_2O (mmVS) i mmHg (mmSŽ)

Postoje više vrsta tlakova, pa ćemo ih nabrojati:

- atmosferski (barometarski) tlak ili tlak okoliša stvara se djelovanjem Zemljine sile teže na površinu Zemlje. To je zapravo referentni tlak za promatranje svih ostalih tlakova. Povećanjem nadmorske visine atmosferski tlak pada.

$$p_{\text{atm}} = p_o = p_{\text{amb}}.$$

Tablica 1-1

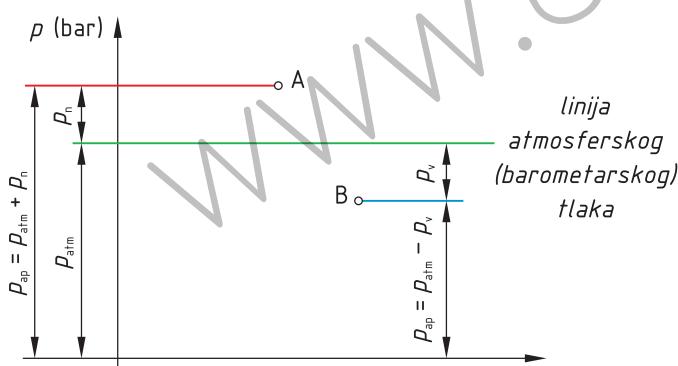
Tlakovi u mmH_2O i mmHg

	Pa	bar
1 mmH_2O	9,81	$0,981 \cdot 10^{-4}$
1 mmHg	133,322	$1,332 \cdot 10^{-3}$

Tablica 1-2

Vrijednosti atmosferskog tlaka

visina (km)	0	0,5	1	2	4	10	20
vrijednost tlaka (bar)	1,013	0,955	0,899	0,795	0,615	0,264	0,055



Slika 1-10

Grafički prikaz odnosa tlakova

- apsolutni tlak ili ukupni tlak (p_{ap}) je tlak plina, pare ili nekog drugog medija u promatranoj sustavu mjerjen od tzv. apsolutnog nultog tlaka, odnosno stanja u kojem nema nikakvog tlaka (zrakoprazni prostor ili 100 % vakuum).

- relativni tlak predstavlja razliku između apsolutnog i okolišnog atmosferskog tlaka, koji se izražava kao:

- pretlak, nadtlak ili manometarski tlak (p_n)
- podtlak ili vakuum (p_v).

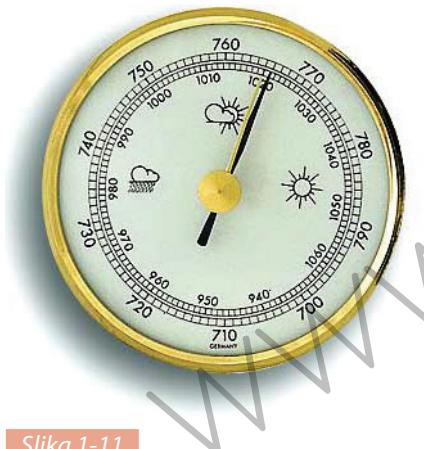
Prema slici 1-10, za točku A vrijedi:

$$p_{\text{ap}} = p_{\text{atm}} + p_n.$$

Za točku B vrijedi:

$$p_{\text{ap}} = p_{\text{atm}} - p_v.$$

Drugim riječima u točki A vlada pretlak p_n , a u točki B vlada podtlak ili vakuumski tlak p_v .



Slika 1-11

Instrumenti za mjerjenje tlaka

Za mjerjenje tlaka služe sljedeći instrumenti (slika 1-11):

- za atmosferski tlak – barometar
- za relativni tlak, nadtlak – manometar
- za relativni tlak, podtlak – vakummetar
- za razliku tlaka (diferencija) – diferencijalni manometri.

Hidrostatski tlak je tlak tekućine u posudi u stanju mirovanja.

Često se tlak izražava s pomoću visine stupca neke tekućine, prema jednadžbi:

$$p = \rho gh,$$

gdje je:

- ρ kg/m³ gustoća tekućine
 g 9,81 m/s² gravitacijska konstanta
 h m visina stupca tekućine.

Hidrometri su manometri kojima je mjerna ljestvica tlaka izražena u mSV (metrima stupca vode).

OBUJAM

Obujam (zapremina) je prostor koji zaprima čvrsta tvar, kapljevina, para ili plin.

Mjerna jedinica je m³, a obujam kapljevine najčešće mjerimo u litrama, L. 1 L je obujam koju zauzima masa od 1 kg vode bez zraka, pri temperaturi od +4 °C i tlaku $p = 1,013$ bara.

$$1 \text{ L} = 1 \text{ dm}^3$$

Specifični obujam nekog tijela je omjer njegova obujma i njegove mase:

$$\nu = \frac{V}{m} \text{ m}^3/\text{kg.}$$

Obujamni protok (q_v) je strujanje bilo kojeg medija, određenog obujma pri konstantnoj brzini protoka (v) kroz zadani poprečni presjek (A) u jedinici vremena:

$$q_v = A \cdot v \text{ m}^3/\text{s},$$

gdje je:

- q_v m³/s obujamni protok
 A m² površina poprečnog presjeka otvora
 v m/s brzina tekućine.

Maseni protok (q_m) je strujanje bilo koje određene mase medija gustoće (ρ), pri konstantnoj brzini protoka (v) kroz zadani poprečni presjek (A) u jedinici vremena.

Veza između obujamnog i masenog protoka je:

$$q_v = \frac{q_m}{\rho} \text{ m}^3/\text{s}, \text{ ili } q_m = q_v \cdot \rho$$

gdje je:

- q_v m³/s obujamni protok
 q_m kg/s maseni protok
 ρ kg/m³ gustoća tekućine.

ENERGIJA, SNAGA I RAD

Energija, kao temeljni koncept fizike, karakterizira svojstvo sustava da modificira, tj. mijenja stanje svojeg okoliša.

Energija je sposobnost obavljanja nekog rada. Ne može nastati ni iz čega niti nestati, ali može prelaziti iz jednog oblika u drugi. I toplina je jedan od prijelaznih oblika energije, koji počiva na razlici temperaturu između dvaju tijela.

Snaga je rad obavljen u jedinici vremena:

$$P = \frac{W}{\tau} \quad \text{W,}$$

gdje je:

P W snaga

W J rad

τ s vrijeme.

Rad je djelovanje sile na putu:

$$W = F \cdot s \quad \text{J,}$$

gdje je:

- W J rad

F N sila

s m put.

POTREBNA TOPLINA

Toplina potrebna za zagrijavanje nekog krutog ili kapljevitog tijela mase m od temperature T_1 na temperaturu T_2 , uz prosječnu vrijednost specifičnog toplinskog kapaciteta c , računa se prema izrazu:

$$Q = m \cdot c (t_2 - t_1),$$

gdje je:

Q J toplina

m kg masa

c J/(kg K) specifični toplinski kapacitet

t_1 i t_2 °C temperature.

Ako se radi o zagrijavanju idealnog plina, tada se najčešće razlikuju dva slučaja:

- zagrijavanje pri konstantnom tlaku, $p = \text{konst.}$

$$Q = m c_p (t_2 - t_1)$$

- zagrijavanje pri konstantnom obujmu, $V = \text{konst.}$

$$Q = m c_v (t_2 - t_1),$$

pri čemu je:

c_p J/(kg K) specifični toplinski kapacitet idealnog plina pri $p = \text{konst.}$

c_v J/(kg K) specifični toplinski kapacitet idealnog plina pri $V = \text{konst.}$

Tablica 1-3

Specifični toplinski kapacitet (c) različitih tvari na temperaturi od 20 °C

Tvar	c kJ/(kg K)
aluminij	0,942
bakar	0,385
čelik 1,3 % C	0,477
željezo – lijevano, 4 % C	0,540
beton (suhí)	0,88
kamen kotlovac	0,84
puna cigla	0,84
led pri 0 °C	2,05
zemlja (suhá)	0,84
loživo ulje EL pri temp. 20 °C	1,88
100 °C	2,01
mineralno ulje	2,00
amonijak	4,73

Tablica 1-4

Specifični toplinski kapacitet zraka (c_p) u ovisnosti o temperaturi

Temperatura °C	c kJ/(kg K)
0	1,004
50	1,007
100	1,01
200	1,024

TOPLINSKI TOK

Toplinski tok predstavlja prenesenu toplinsku energiju u jedinici vremena:

$$\Phi = \frac{Q}{\tau}$$

Ako se radi o zagrijavanju (ohlađivanju) protoka kapljevine, tada se toplinski tok računa prema izrazu:

$$\Phi = q_m \cdot c \cdot \Delta t,$$

gdje je:

Φ J/s = W toplinski tok

q_m kg/s maseni protok kapljevine

c J/kg K specifični toplinski kapacitet kapljevine

Δt °C temperaturna razlika kapljevine.

Stara jedinica za toplinu je kalorija (cal). Kilokalorija (kcal) je ona količina topline koju je potrebno dovesti da bi se 1 kg čiste vode pri tlaku od 1,013 bara zagrijao od 14,5 °C na 15,5 °C (ovo je kalorija petnaestog stupnja).

$$1 \text{ kcal} = \frac{1}{860} \text{ kWh}$$

ili

$$1 \text{ kWh} = 860 \text{ kcal.}$$

Pitanja za provjeru

1. Što je temperatura i koja je mjerna jedinica za temperaturu u SI sustavu?
2. Prikažite temperaturne ljestvice i tri najvažnije točke na njima.
3. Što je tlak?
4. Kakvi tlakovi postoje?
5. Koja je mjerna jedinica za tlak?
6. Kojim instrumentima mjerimo pojedine tlakove?
7. Dijagramom prikažite odnos atmosferskog i ostalih tlakova.
8. Što je snaga, a što rad?
9. Što je energija, a što toplina?

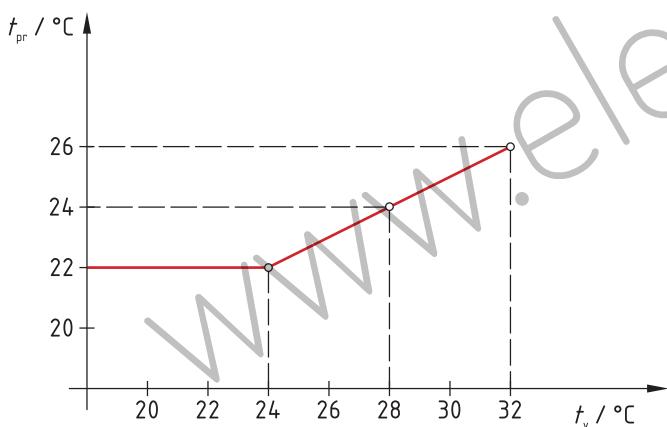
Parametri ugodnosti u boravišnom prostoru

Pravi osjećaj ugodnosti u fizičkom smislu tijekom boravka u zatvorenom prostoru uglavnom ovisi o toplinskoj ugodnosti, a nju prvenstveno čine sljedeći parametri:

- temperatura zraka u prostoriji
- relativna vlažnost zraka u prostoriji
- brzina strujanja zraka u prostoriji.

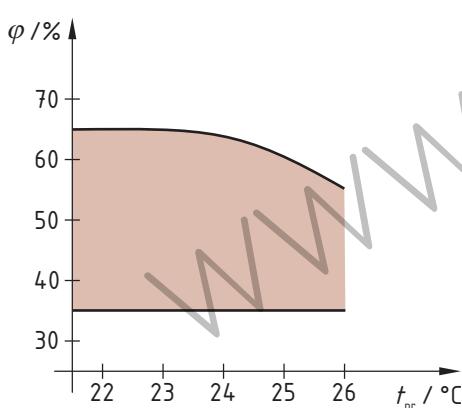
Temperatura ljudskog tijela je 37°C , dok je temperatura koja se preporučuje u prostoru $20 - 22^{\circ}\text{C}$. Pri tim temperaturama se ljudsko tijelo najbolje osjeća.

Osim ova tri navedena parametra, velik utjecaj imaju i razina tjelesne aktivnosti i toplinski otpor odjeće.



Slika 1-12

Ovisnost preporučljive ljetne temperature zraka u prostoriji o vanjskoj temperaturi



Slika 1-13

Područje preporučljivih vrijednosti relativne vlažnosti zraka u ovisnosti o temperaturi prostorije

TEMPERATURA ZRAKA

Temperatura zraka se mjeri u visini glave, najmanje 1 m udaljeno od zidova.

Tijekom zimskog razdoblja preporučuje se da temperatura prostorije (t_{pr}) bude od 20 do 21°C , te 22°C za prostorije s prisilnim strujanjem zraka. Tijekom ljetnog razdoblja ona je nešto veća, i to od $24 - 26^{\circ}\text{C}$ (slika 1-12). Ako su vanjske temperature (t_v) iznad 32°C , onda se računa po formuli:

$$t_{pr} = 0,5 (t_v + 22).$$

RELATIVNA VLAŽNOST ZRAKA

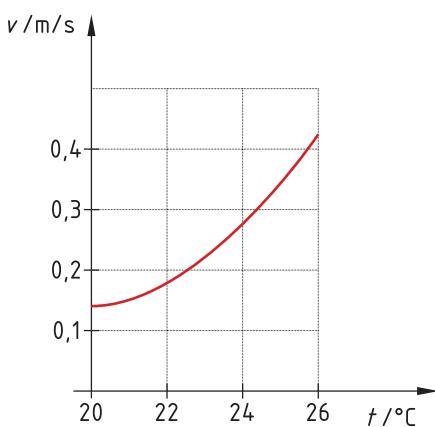
Relativna vlažnost pokazuje zasićenje zraka vlagom. Ona se dobije iz omjera parcijalnog tlaka vodene pare u zraku p i tlaka zasićenja p' pri istoj temperaturi:

$$\varphi (\%) = \frac{p}{p'} \cdot 100.$$

Kod $\varphi = 0$ zrak je suh, a kad je $\varphi = 100\%$, zrak je zasićen pa se relativna vlažnost zraka kreće od 0 do 100 %.

Pri preporučenoj temperaturi prostorije i srednjoj temperaturi zračenja vlažni zrak nema značajnijeg utjecaja na ugodnost. Zimi relativnu vlažnost zraka (φ) smatramo ugodnom ako iznosi $40 - 50\%$, dok je ljeti ta vrijednost nešto viša (slika 1-13). Vrijednosti manje od 30% su nepoželjne, međutim ako je relativna vlažnost zraka veća od 65% , u prostoriji može doći do rošenja i stvaranja pljesni na hladnim površinama.

Poveća li se temperatura prostorije na vrijednost koja ne odgovara kriterijima toplinske ugodnosti, tada relativna vlažnost zraka ima važnu ulogu za samu ugodnost.



Slika 1-14

Ovisnost najveće preporučljive brzine strujanja zraka o temperaturi

BRZINA STRUJANJA ZRAKA

Brzina strujanja zraka uz površinu ljudskog tijela utječe na izmjenu topline konvekcijom i ishlapljivanjem te može utjecati na ugodnost ljudskog tijela u boravišnom prostoru. Taj utjecaj ovisi o brzini i smjeru strujanja.

Za normalnu temperaturu prostorije ($20 - 22^{\circ}\text{C}$) preporučljiva brzina zraka iznosi $0,15 - 0,25 \text{ m/s}$ (slika 1-14).

Iz dijagrama na slici 1-14 vidljivo je da su za više temperature zraka u prostoriji prihvatljive i veće brzine strujanja zraka.

Dovođenjem zraka nastoji se postići takva raspodjela zraka koja omogućuje njegovu izmjenu u što većem dijelu prostorije.

Navedeni parametri udobnosti sumarno su prikazani u tablici 1-5.

Temperatura graničnih površina

Pravi osjećaj ugodnosti dobije se tek kada su svi zidovi koji okružuju prostoriju i svi predmeti koji se nalazi u njoj zagrijani na određenu temperaturu (slika 1-15). Razlika između temperature zraka u prostoriji i temperature graničnih površina ne smije biti velika.

U svakom slučaju temperatura površine zidova mora biti viša od temperature kondenzacije vodene pare u zraku, barem $1 - 2^{\circ}\text{C}$ za odgovarajuću vlažnost zraka. U protivnom će zbog kondenzacije doći do rošenja površina, a time i do povećanja potrošnje toplinske energije, stvaranja pljesni i neugodnih mirisa.

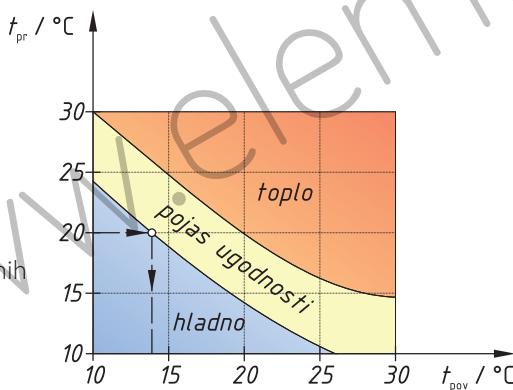
Tablica 1-5

Vrijednosti t_v , v i ϕ u prostoriji u ovisnosti o vanjskoj temperaturi

Vanjski zrak $t_v / ^\circ\text{C}$	Zrak u prostoriji		Maksimalna dop. brzina strujanja zraka (v) u m/s
	$t_{pr} / ^\circ\text{C}$	$\phi / \%$	
		min.	maks.
< 20	22	35	65
do 25			65
do 30			60
do 32			55
			0,1
			0,2
			0,35
			0,5

Slika 1-15

Pojas udobnosti ovisno o temperaturi prostorije i graničnih površina
 t_{pr} – temperatura prostorije
 t_{pov} – temperatura graničnih površina



Pitanja za provjeru

1. Nabrojite parametre ugodnosti i navedite njihove približne veličine.
2. S pomoću dijagrama prikažite pojedine parametre u ovisnosti o vanjskoj temperaturi.