

UPOREDNE KARAKTERISTIKE I ANALIZA TOPLOTNOG UČINKA RADIJATORA

COMPARATIVE CHARACTERISTICS AND THERMAL OUTPUT ANALYSIS OF RADIATORS

PREDRAG RADIVOJEVIĆ i NEBOJŠA LUKIĆ,
Mašinski fakultet Univerziteta u Kragujevcu, Kragujevac

U radu je izložen pregled radijatorskih grejnih tela različitih proizvođača, koji se najčešće nalaze na srpskom tržištu, a zatim i uporedna analiza toplotnog učinka grejnih tela različitih proizvođača. Ključni faktor za ocenu efikasnosti konstrukcije radijatora predstavlja njegov specifičan toplotni učinak [W/kg]. Takođe, u radu se analizira uticaj promene visine i širine panelnih radijatora, iste površine razmene toplote na njihov toplotni učinak. Pokazalo se da aluminijumski radijatori imaju veliku prednost u pogledu specifičnog toplotnog učinka u odnosu na čelične. Došlo se do zaključka da povećanje visine radijatora u odnosu na njegovu širinu (identična površina) nepovoljno utiče na njegov toplotni učinak.

A survey of radiators of various manufacturers, which are mostly present in the Serbian market, and a comparative analysis of specific thermal output of these radiators are given in this paper. The key factor for efficiency evaluation of the radiator construction is its specific power in [W/kg]. In addition, the influence of height and length changes of panel radiators with equal front surface to their thermal output is analyzed.

Ključne reči: člankasti radijator; panelni radijator; specifični toplotni učinak
Key words: sectional radiator; panel radiator; specific thermal output

1. Uvod

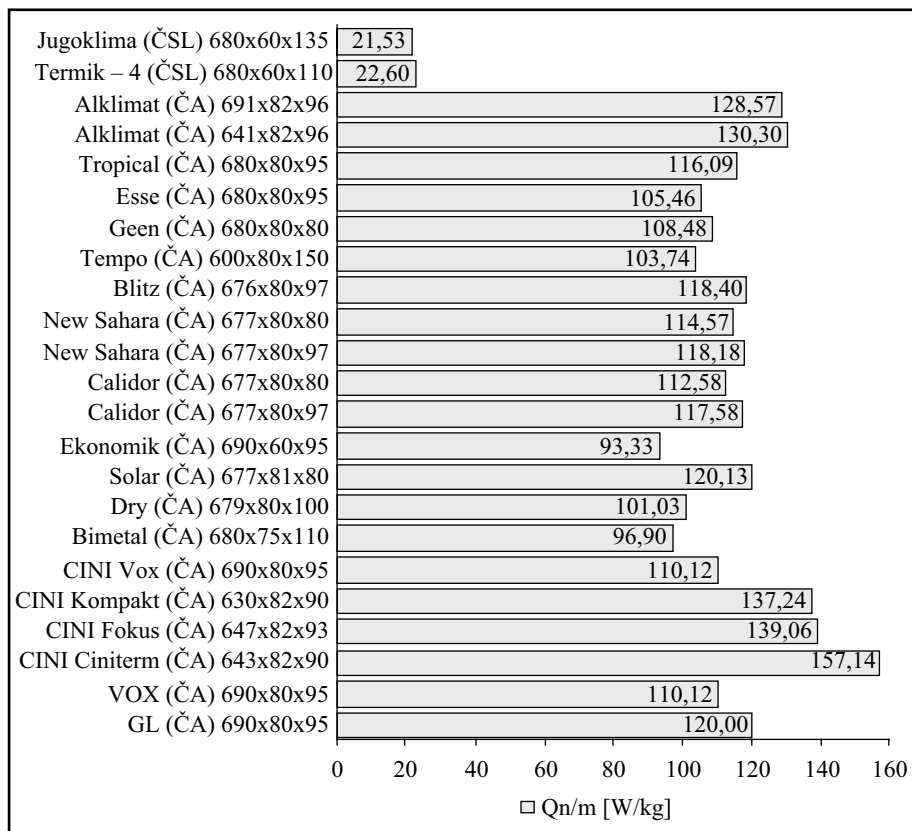
U okviru istog tipa, radijatorska grejna tela se razlikuju prvenstveno po vrsti materijala od koga su izrađeni, a zatim i po gabaritnim dimenzijama. Radi uspešnog poređenja, potrebno im je toplotni učinak svesti na jedinicu prostorne dimenzije ili jedinicu mase, tj. odrediti specifični toplotni učinak. Specifičan toplotni učinak može biti definisan kao toplotni učinak po jedinici dužine [W/m], odnosno površine [W/m²], gabaritne zapremine [W/L] ili mase [W/kg]. Podaci proizvođača o toplotnom učinku člankastih radijatora odnose se na toplotni učinak izražen u [W/čl.] grejnog tela, pa se može govoriti o toplotnom učinku po članku.

Osim sa aspekta opšte efikasnosti, gde su svi napori usmereni ka minimiziranju potrošnje kako materijalnih, tako i energetske resursa, svođenje toplotnog učinka na jedinicu mase [W/kg] ima smisla i sa komercijalnog aspekta. S obzirom na ekonomske pokazatelje, veoma se precizno može ustanoviti u kojim okvirima može da se kreće tržišna cena 1 kg radijatora, da bi se istovremeno postigla isplativost proizvodnje i dobra konkurentnost na tržištu. Na osnovu toga može se zaključiti da specifičan toplotni učinak [W/kg] predstavlja jednu od važnih karakteristika ne samo radijatora, već i ostalih grejnih tela uopšte. Preko masenog specifičnog toplotnog učinka grejna

tela se mogu međusobno upoređivati, bez obzira na to što se po tehnološkom načinu izrade, vrsti konstrukcije i korišćenim materijalima mogu potpuno razlikovati.

2. Analiza toplotnog učinka člankastih radijatora

U praksi se najčešće ugrađuju člankasti radijatori visoki 600 mm, pa su toplotni učinci analizirani za radijatore te nazivne visine. Analizom su obuhvaćena 23 komercijalna modela 10 različitih proizvođača. Dva modela su izrađena od sivog liva (označeni sa ČSL), dok su ostali izrađeni od aluminijuma, od čega 4 ekstruzijom (AL-E), a preostalih 17 livenjem (AL-L).



Slika 1. Specifičan toplotni učinak [W/kg] člankastih radijatora visine 600 mm

Specifični toplotni učinci u [W/m], [W/m²], [W/L] za sve modele su približno ujednačeni [1], dok je kod modela od aluminijuma specifični toplotni učinak [W/kg] od 4,5 do 7 puta veći nego kod modela od sivog liva. Radijatori od sivog liva imaju specifični toplotni učinak oko 20 W/kg, dok radijatori od aluminijuma dostižu vrednosti od 90 W/kg do preko 150 W/kg.

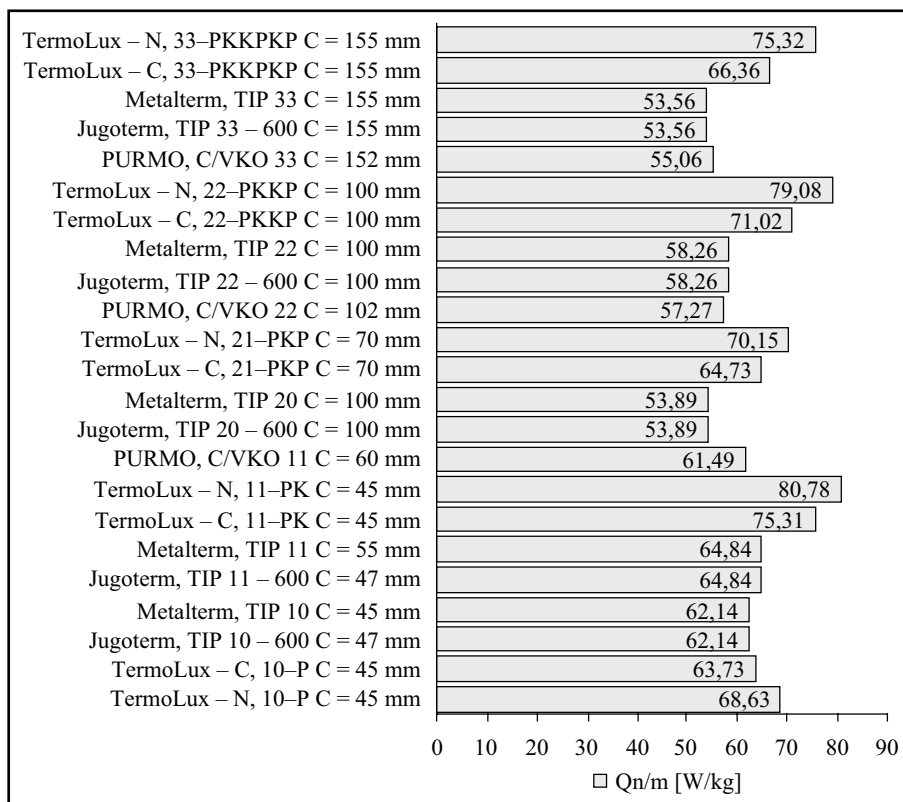
Moglo bi se reći da je ovo očekivano s obzirom na činjenicu da aluminijum ima znatno nižu gustinu od sivog liva. Međutim, iako aluminijum ima oko 3 puta manju gustinu od sivog liva, razlika u specifičnom toplotnom učinku je 4,5÷7 puta u korist

radijatora od aluminijuma. Posledica ovako velike razlike u specifičnom toplotnom učinku je kvalitetnija konstrukcija koju omogućuju dobre mehaničke i termičke karakteristike legura aluminijuma, od kojih se ovi radijatori izrađuju, i činjenica da su radijatori od sivog liva, zbog napuštanja te tehnologije od strane ogromnog broja proizvođača, na relativno zastareloj konstrukcijsko-tehničkoj nivou. Ovde je potrebno istaći da aluminijumski radijatori dobijeni hladnim istiskivanjem AL-legure imaju prednost nad livenim od istog materijala. Razlog se krije u mogućnosti postizanja manje debljine rebra radijatora, uslovljene samom tehnologijom proizvodnje.

Na sl. 1 je prikazana specifičan toplotni učinak u [W/kg] radijatora nazivne visine 600 mm. U tabeli 1 su podaci na osnovu kojih je konstruisan dijagram. U [1] je i analiza toplotnog učinka člankastih radijatora nazivne visine 800 mm. Sa *C*, *H* i *L* označeni su dubina, visina i dužina radijatora.

3. Analiza toplotnog učinka panelnih radijatora

Svi analizirani panelni radijatori su izrađeni od čeličnih limova, presovanjem i zavarivanjem. Kod proizvođača se u ponudi mogu naći panelni radijatori različitih visina, a najčešće 200, 300, 400, 500, 600, 700 i 900 mm.



Slika 2. Specifičan toplotni učinak [W/kg] panelnih radijatora $H \times L = 600 \times 1000$ mm

Tabela 1. Podaci o komercijalnim modelima člankastih radijatora nazivne visine 600 mm

Proizvođač	Tip	Model	Vrsta	Q_n [W]	H [mm]	L [mm]	C [mm]	m [kg]	A [m ²]	V [L]
Global – Rogno (Bg), Italy	GL	GL 600/80	AL-L	192,0	690	80	95	1,6	0,055	5,24
Global – Rogno (Bg), Italy	VOX	VOX 600	AL-L	185,0	690	80	95	1,68	0,055	5,24
CINI – Čačak	CINI Cimiterm	CT 600	LA-E	176,0	643	82	90	1,12	0,053	4,75
CINI – Čačak	CINI Fokus	F 600	LA-E	178,0	647	82	93	1,28	0,053	4,93
CINI – Čačak	CINI Kompakt	KT 600	LA-E	175,0	630	82	90	1,13	0,061	5,70
CINI – Čačak	CINI Vox	VOX 600	LA-E	185,0	690	80	95	1,68	0,055	5,24
Sira S,p,A, – Rastiganano (BO), Italy	Bimetal	CF 600	AL-L	203,5	680	75	110	2,10	0,051	5,61
Uniterm-eko d.o.o, – Beograd	Dry	600/80	AL-L	196,0	679	80	100	1,94	0,054	5,43
Lipovica d.o.o, – Popovača, HR	Solar	600/80	AL-L	185,0	677	81	80	1,54	0,055	4,39
Lipovica d.o.o, – Popovača, HR	Ekonomik	SE 690	AL-L	168,0	690	60	95	1,8	0,041	3,93
Fondital – Venstone (Brescia), Italy	Calidor	600	AL-L	194,0	677	80	97	1,65	0,054	5,25
Fondital – Venstone (Brescia), Italy	Calidor	600/80	AL-L	170,0	677	80	80	1,51	0,054	4,33
Fondital – Venstone (Brescia), Italy	New Sahara	600	AL-L	195,0	677	80	97	1,65	0,054	5,25
Fondital – Venstone (Brescia), Italy	New Sahara	600/80	AL-L	173,0	677	80	80	1,51	0,054	4,33
Fondital – Venstone (Brescia), Italy	Blitz	600	AL-L	193,0	676	80	97	1,63	0,054	5,25
CIM Gas – Subotica	Tempo	600	AL-L	194,0	600	80	150	1,87	0,048	7,20
Faral – Campogalliano (Modena), Italy	Geen	G600	AL-L	179,0	680	80	80	1,65	0,054	4,35
Faral – Campogalliano (Modena), Italy	Esse	E600	AL-L	193,0	680	80	95	1,83	0,054	5,17
Faral – Campogalliano (Modena), Italy	Tropical	T600	AL-L	202,0	680	80	95	1,74	0,054	5,17
MLM – Lenart (Maribor), Slovenija	Alklimat	MS600	AL-L	172,0	641	82	96	1,32	0,053	5,05
MLM – Lenart (Maribor), Slovenija	Alklimat	MS650	AL-L	180,0	691	82	96	1,40	0,057	5,44
Radijator – Zrenjanin	Termik – 4	680/110	ČSL	120,9	680	60	110	5,35	0,041	4,49
Radijator – Zrenjanin	Jugoklima	623/135	ČSL	155,0	680	60	135	7,20	0,041	5,51

Međutim, u praksi se najčešće ugrađuju radijatori visine 600 mm, za koje će se sprovesti analiza. Kao reprezentativna je uzeta dužina od 1000 mm, tako da toplotni učinak koji je naveo proizvođač praktično predstavlja specifični toplotni učinak u W/m. Kod ovih radijatora je zračenje značajan mehanizam prenosa toplote. Radi povećanja toplotnog učinka, izrađuju se u više redova sa orebrenjima. Time se povećava udeo konvekcije u ukupnom prenosu toplote.

Specifičan toplotni učinak u [W/m] i [W/m²] ovih radijatora srazmerno se povećava sa povećanjem broja ploča i orebrenjem. Međutim, najveći toplotni učinak po jedinici zapremine imaju panelni radijatori sa jednom pločom i orebrenjem i sa dve ploče i jednim orebrenjem [1].

Specifičan toplotni učinak u [W/kg] panelnih radijatora prilično je ujednačen, bez obzira na konstrukcijsko rešenje. Ipak se može primetiti da proizvođač TERMO TEKNIK iz Istanbula (Turska), sa svojim modelima *termolux* ima oko 15÷24% veći maseni specifični toplotni učinak od modela ostalih proizvođača (sl. 2). U tabeli 2 su dati podaci o ovim radijatorima.

4. Analiza uticaja promene visine na toplotni učinak panelnih radijatora

Šta se dešava sa toplotnim učinkom panelnih radijatora kada su dubina i vrednost čeoone površine fiksirani, a menjaju se visina i dužina radijatora? Radijatori iste dubine i iste čeoone površine, a manje visine, imaju veći toplotni učinak. Tako niži, a duži radijatori imaju veći toplotni učinak od viših, a kraćih. Zašto je to tako? Prenos toplote sa radijatora na okolinu vrši se zračenjem toplote sa tela radijatora na okolne predmete, i konvekcijom, pri strujanju okolnog vazduha preko površina tela radijatora i u njegovim kanalima.

U opštem slučaju, količina toplote predata zračenjem zavisi i od oblika i od međusobnog položaja zračećih površina, odnosno od ugaonih faktora geometrijske konfiguracije jedne zračeće površine u odnosu na drugu. Međutim, za geometrijski slične raspodele ugaoni faktor zavisi samo od površinskih i prostornih uglova, a ne od oblika i rastojanja razmatranih površina [2]. U tom slučaju ni količina toplote predata okolini zračenjem neće zavisiti od oblika i rastojanja razmatranih površina, već samo od pomenutih uglova, temperature i, na kraju, ukupne površine. Razlika potiče od konvektivnog prenosa toplote.

Analiza konvektivnog prenosa toplote može se vršiti preko poznatog sistema diferencijalnih jednačina (jednačina kontinuiteta, *Navier–Stokesove* jednačine, jednačina prenosa toplote). Rešavanje ovog sistema diferencijalnih jednačina predstavlja veoma kompleksan problem za primenjenu matematiku. Analitička rešenja su specijalni slučajevi, jednostavne geometrije. Dakle, u većini slučajeva se pokušavalo do rešenja doći eksperimentalnim putem, uz korišćenje numeričkih metoda.

U slučaju prirodne konvekcije, tj. kada strujanje nastaje samo usled razlika u gustinama, brzine strujanja fluida su tako male da se sile viskoznog trenja mogu zanemariti. Tada otpada zavisnost od Re-broja, pa se dobija izraz za srednji Nu-broj pri prirodnoj konvekciji:

$$\overline{\text{Nu}} = C' (\text{Gr} \cdot \text{Pr})^{n'} \cdot \left(\frac{\text{Pr}}{\text{Pr}_z} \right)^{0,25} \quad (1)$$

Tabela 2. Podaci o komercijalnim modelima panelnih radijatora dimenzija 600 × 1000 mm

Proizvođač	Tip	Model	Q_n [W]	H [mm]	L [mm]	C [mm]	m [kg]	A [m ²]	V [L]
Termo Teknik – Istanbul – Turkey	TermoLux – N	10-P	803	600	1000	45	11,7	0,6	27,00
Termo Teknik – Istanbul – Turkey	TermoLux – C	10-P	803	600	1000	45	12,6	0,6	27,00
Jugoterm – Merošina	Jugoterm	TIP 10 – 600	814	600	1000	47	13,1	0,6	28,20
Metalterm – Beograd	Metalterm	TIP 10	814	600	1000	45	13,1	0,6	27,00
Jugoterm – Merošina	Jugoterm	TIP 11 – 600	1219	600	1000	47	18,8	0,6	28,20
Metalterm – Beograd	Metalterm	TIP 11	1219	600	1000	55	18,8	0,6	33,00
Termo Teknik – Istanbul – Turkey	TermoLux – C	11-PK	1220	600	1000	45	16,2	0,6	27,00
Termo Teknik – Istanbul – Turkey	TermoLux – N	11-PK	1236	600	1000	45	15,3	0,6	27,00
Rettig Heating – Rybnik – Poland	Purmo	C/VKO 11	1236	600	1000	60	20,1	0,6	36,00
Jugoterm – Merošina	Jugoterm	TIP 20 – 600	1412	600	1000	100	26,2	0,6	60,00
Metalterm – Beograd	Metalterm	TIP 20	1412	600	1000	100	26,2	0,6	60,00
Termo Teknik – Istanbul – Turkey	TermoLux – C	21-PKPK	1806	600	1000	70	27,9	0,6	42,00
Termo Teknik – Istanbul – Turkey	TermoLux – N	21-PKPK	1873	600	1000	70	26,7	0,6	42,00
Rettig Heating – Rybnik – Poland	Purmo	C/VKO 22	2079	600	1000	102	36,3	0,6	61,20
Jugoterm – Merošina	Jugoterm	TIP 22 – 600	2214	600	1000	100	38	0,6	60,00
Metalterm – Beograd	Metalterm	TIP 22	2214	600	1000	100	38	0,6	60,00
Termo Teknik – Istanbul – Turkey	TermoLux – C	22-PKKPK	2237	600	1000	100	31,5	0,6	60,00
Termo Teknik – Istanbul – Turkey	TermoLux – N	22-PKKPK	2396	600	1000	100	30,3	0,6	60,00
Rettig Heating – Rybnik – Poland	Purmo	C/VKO 33	2973	600	1000	152	54	0,6	91,20
Jugoterm – Merošina	Jugoterm	TIP 33 – 600	3053	600	1000	155	57	0,6	93,00
Metalterm – Beograd	Metalterm	TIP 33	3053	600	1000	155	57	0,6	93,00
Termo Teknik – Istanbul – Turkey	TermoLux – C	33-PKKPKPK	3132	600	1000	155	47,2	0,6	93,00
Termo Teknik – Istanbul – Turkey	TermoLux – N	33-PKKPKPK	3412	600	1000	155	45,3	0,6	93,00

odakle se dobija opšta jednačina za izračunavanje srednjeg koeficijenta prelaza toplote pri prirodnoj konvekciji, nezavisno od geometrije:

$$\bar{h} = C' \cdot \lambda \cdot H^{3n'-1} \left(\frac{g \cdot \beta \cdot (T_z - T_f)}{\nu \cdot a} \right)^{n'} \cdot \left(\frac{\text{Pr}}{\text{Pr}_z} \right)^{0,25} \quad (2)$$

U gornjim jednačinama su:

Nu – prosečna vrednost Nusseltovog broja [–]

C' – bezdimenzijska konstanta [–]

Gr – Grashoffov broj [–]

Pr – Prandtlov broj [–]

n' – bezdimenzijski eksponent [–]

λ – koeficijent provođenja toplote [W/m]

H – visina radijatora [m]

g – gravitaciono ubrzanje [m/s²]

β – koeficijent zapreminskog širenja [1/K]

T_z – srednja temperatura zida [K]

T_f – srednja temperatura fluida daleko od zida [K]

ν – kinematski koeficijent viskoznosti [m²/s]

a – koeficijent temperaturne provodnosti [m²/s].

Sve veličine se određuju pri srednjoj temperaturi:

$$T_m = \frac{1}{2}(T_z - T_f) \quad (3)$$

osim kod Pr_z , gde su veličine određene za srednju temperaturu zida T_z .

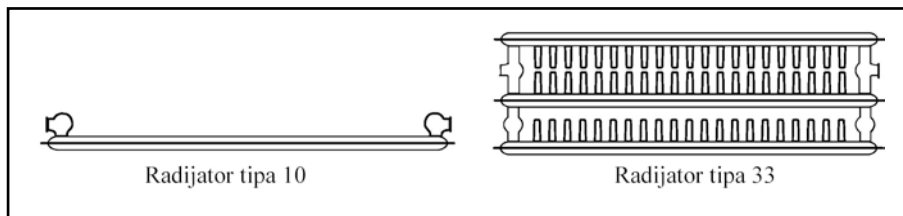
Odavde se lako može zaključiti da je srednji koeficijent prelaza toplote pri prirodnoj konvekciji obrnuto proporcionalan četvrtom korenu visine zida ili cevi, preko kojih fluid struji.

Sada je potrebno videti šta se dešava sa konvektivnim prenosom toplote u unutrašnjosti panelnog radijatora, u međurebarnom prostoru. Pri povećanju visine radijatora, doći će do povećanja Arhimedove uzgonske sile, a samim tim i brzine strujanja fluida. Na osnovu teorije hidromehaničkog i temperaturnog graničnog sloja, zna se da pri se pri porastu brzine strujanja smanjuje visina graničnog sloja, a sa njom povećava prenos toplote sa površine radijatora na vazduh.

Nasuprot povoljnom uticaju povećanja koeficijenta prelaza toplote u relativno zatvorenom međurebarnom prostoru, srednja temperatura vazduha daleko od zida T_f u međurebarnom prostoru unutar radijatora se povišava, pa se temperaturna razlika $T_z - T_f$ smanjuje. Svi ovi uticaji, kao rezultanta, smanjuju ukupni toplotni učinak radijatora sa povećanjem njegove visine. Dakle, povećanje visine radijatora negativno se odražava na njegov ukupni toplotni učinak.

Kao dopuna ovoj teorijskoj analizi, izvršena je i analiza korišćenjem podataka o toplotnoj snazi radijatora navedenoj u katalogima proizvođača. Mada se ista analiza može uraditi i kod panelnih radijatora drugih proizvođača, kao što su „Vogel&Noot“, „Rettig Heating“, „Delta Term“ itd. (zavisnosti su slične), analiza je izvršena prema podacima za panelne radijatore proizvođača *Jugoterm – Merošina*.

Radi reprezentativnosti uzorka, posebno su posmatrani radijator sa jednom pločom (tip 10) i bez orebrenja, kod koga je izražen prenos toplote zračenjem, i posebno radijator sa 3 ploče i 3 reda orebrenja (tip 33), kod koga je povećan udeo konvekcije u ukupnoj razmeni toplote (sl. 3).



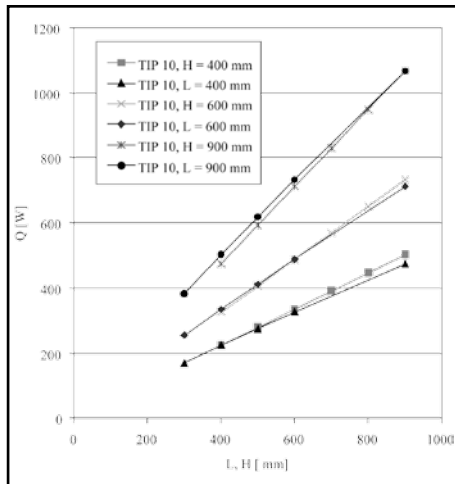
Slika 3. Panelni radijatori sa jednom i sa tri ploče

Vrednosti visine i dužine radijatora od 400, 600 i 900 mm izabrane su kao fiksne. Dijagram je konstruisan tako što su pri konstantnoj visini, a za različite dužine radijatora, unete u dijagram odgovarajuće vrednosti toplotnog učinka tih radijatora, a onda su na istom dijagramu pri konstantnoj dužini, a za različite visine takođe unete odgovarajuće vrednosti toplotnog učinka. Radi lakše analize, tačke istih visina, odnosno dužina, međusobno su spojene linijama, tako da obrazuju familije krivih, od kojih svaka odgovara konstantnoj vrednosti visine odnosno dužine. Primećeno je da se krive iste konstantne visine i dužine grupišu u parovima. Tako se u paru javljaju krive za konstantnu visinu 400 mm i konstantnu dužinu 400 mm, a slično važi za krive ostalih fiksnih vrednosti. Uparene krive se seku u tački u kojoj su iste vrednosti visine i dužine radijatora, npr. 400 × 400

mm, 600 × 600 mm, 900 × 900 mm, što je logično jer ta jedna tačka predstavlja jedan te isti radijator, koji pripada obema grupama.

Za uparene krive može se primetiti da tačkama koje imaju istu vrednost apscise, odgovara jednaka čeoona površina radijatora. Tada je sasvim očigledno da tačka koja ima veću vrednost ordinate predstavlja radijator iste čeoone površine, a većeg toplotnog učinka.

U svim slučajevima, pri istoj čeoonoj površini, veći toplotni učinak ima radijator koji ima manju visinu. Na dijagramu se takođe može videti da je kod tipa panelnog radijatora sa tri reda (sl. 5), upravo zbog povećanog udelela konvektivnog prenosa toplote, veća razlika u toplotnoj snazi između nižih i viših radijatora, nego što je to slučaj kod radijatora sa jednim redom, bez orebrenja (sl. 4).



Slika 4. Poređenje promene toplotnog učinka panelnih radijatora „Jugoterm“ (Merošina), tipa 10, debljine $C = 47$ mm, sa promenom dužine, a konstantnom visinom i sa promenom visine, a konstantnom dužinom

5. Zaključak

U sistemima centralnog grejanja, od svih postojećih vrsta grejnih tela najčešće se primenjuju člankasti, panelni i cevni radijatori. Analizom u [1] je obuhvaćeno preko 20 proizvođača, sa preko 40 različitih tipova i preko 1100 različitih komercijalnih modela radijatora.

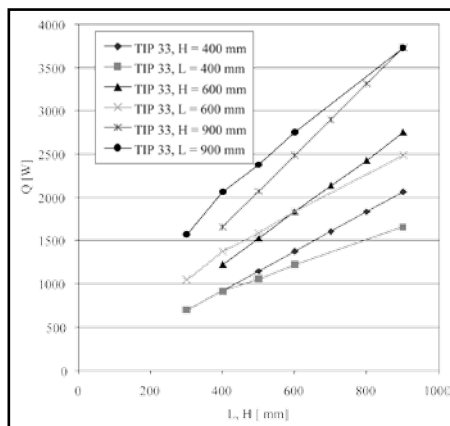
S obzirom na dobre fizičko-hemijske i mehaničke karakteristike svojih legura, aluminijum preuzima primat u izradi člankastih radijatora u odnosu na čelik. Na tržištu člankastih radijatora se, osim livenih aluminijumskih, mogu naći aluminijumski radijatori izrađeni ekstruzijom. I jedni i drugi imaju svoje prednosti i nedostatke. Sivi liv je gotovo izbačen iz upotrebe u izradi člankastih radijatora. Čelik još uvek ostaje najzastupljeniji materijal u izradi panelnih radijatora.

Radijatori su međusobno poređeni na osnovu specifičnog toplotnog učinka u $[W/m]$, $[W/m^2]$, $[W/L]$ i $[W/kg]$.

Najuniverzalnije poređenje radijatora je na osnovu (masenog) specifičnog toplotnog učinka u $[W/kg]$. U analizi toplotnog učinka člankastih radijatora, uočeno je da radijatori izrađeni od aluminijuma imaju 4,5÷7 puta veći specifični toplotni učinak od radijatora od sivog liva. Pri tome aluminijumski radijatori izrađeni ekstruzijom imaju 5÷20% veći specifični toplotni učinak od livenih.

Specifičan toplotni učinak u $[W/m]$, $[W/m^2]$ kod panelnih radijatora raste sa povećanjem broja ploča, dok je specifičan toplotni učinak u $[W/L]$ najveći kod modela sa jednom pločom i oreberenjem i sa dve ploče i jednim oreberenjem. Specifičan toplotni učinak u $[W/kg]$ panelnih radijatora prilično je ujednačen, bez obzira na konstrukciono rešenje.

Povećanje visine radijatora pri konstantnoj površini negativno se odražava na njegov ukupni toplotni učinak. Pokazano je da među panelnim radijatorima iste dužine i iste čeoone površine radijator manje visine ima veći toplotni učinak.



Slika 5. Poređenje promene toplotnog učinka panelnih radijatora „Jugoterm“ (Merošina) tipa 33, debljine $C = 155$ mm, sa promenom dužine, a konstantnom visinom i sa promenom visine, a konstantnom dužinom

Literatura

- [1] **Radivojević, P.**, *Uticao sniženja temperaturnog nivoa razmene toplote u sistemima centralnog grejanja na potrošnju energije*, magistarski rad, Mašinski fakultet u Kragujevcu, Kragujevac, 2007.
- [2] **Jakob, M.**, *Heat Transfer*, Volume II, John Wiley&Sons, Inc., New York–London, 1957.
- [3] *** Kao izvor podataka o karakteristikama grejnih tela korišćeni su originalni katalozi (brošure) proizvođača te opreme.